

# 港灣結構物設計基準研究

—碼頭設計基準研訂及說明草案—



交通部運輸研究所

中華民國八十四年二月

# 交通部運輸研究所

## 合作研究計畫出版品摘要表

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| <b>出版品名稱</b><br>中文：港灣結構物設計基準研究—碼頭設計基準研訂及說明草案<br>外文：Research on Design Standards for Harbor Structure—Wharf (Draft)  |                                  |  |  |
| <b>國際標準書號 (或叢刊號)</b><br>ISBN 957-00-4880-8 (平裝)   | <b>政府出版品統一編號</b><br>009104840010 | <b>運輸研究所出版品編號</b><br>84—1—234  |  |
| <b>本所主辦單位：運輸工程組</b><br><b>主 管：侯和雄</b><br><b>計畫主持人：侯和雄</b><br><b>研究人員：歐陽餘慶、翁國和</b>   |                                  | <b>合作研究單位：宇泰工程顧問有限公司</b><br><b>計畫主持人：陳吉紀</b><br><b>研究人員：陳森河、胡聰明、王志成、鍾兆君、林文崇、張富南、張金機、鄧 陽、賴淵光、曾次弘、韓敏初、劉俊秀、黃煌輝、黃材成、許硯蓀、劉進義、陳國鏞。</b><br><b>地 址：台北市南京東路五段145-1號12樓</b><br><b>聯絡電話：(02)7632330</b> |  |
| <b>研究期間</b><br>自 82 年 10 月<br>至 83 年 10 月   |                                  |  |  |
| <b>關鍵詞：重力式碼頭、板樁式碼頭、圓筒式碼頭、棧橋式碼頭、繫靠船台、平版樁基式碼頭、離岸式碼頭、浮碼頭</b>   |                                  |  |  |
| <b>摘要：</b> 國內目前習慣採用之港灣結構物設計基準，除台灣省政府交通處於民國 70 年頒訂之「港灣構造物設計標準」外，主要之設計依循為日本港灣協會發行之「港灣の施設の技術上の基準・同解説」。交通處頒訂之設計標準主要之參考規範為昭和 42 年（1967 年）版日本港灣協會發行之「港灣構造物設計基準」，交通處設計標準研訂之際，適逢日本之基準亦正進行全面之修訂，甚後日本基準又進行了一次修訂，因此，修訂後之設計新觀念，無法適時予以加入，加以近十年來，隨著各項技術能力及新材料之開發，交通處現有之設計標準已無法滿足現時之需要，故目前港灣結構物設計另須參考日本之設計基準，唯因語文之隔閡，及日本與國內之設計施工條件又不盡相同，使用上總有其限制與不便。因此，適時研擬並頒行國內適用之新設計基準，實有其必要性。本基準研訂之目的，係訂定碼頭工程之設計基準及程序，作為設計單位規劃設計之參考，及業主審核之依據。 |                                  |  |  |
| <b>出版日期</b>   | <b>頁數</b>                        | <b>工本費</b>   | <b>本出版品取得方式</b>  |
| 84 年 2 月  | 609                              | 247  | 凡屬機密或限閱性出版品均不對外公開。一般性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。 |
| <b>管制等級：</b><br><input type="checkbox"/> 機密（ <input type="checkbox"/> 解密日期為      年      月      日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解密）<br><input type="checkbox"/> 限閱（ <input type="checkbox"/> 解限日期為      年      月      日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解限）<br><input checked="" type="checkbox"/> 一般  |                                  |  |  |
| <b>備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</b>   |                                  |  |  |

# 港灣結構物設計基準研究

## 碼頭設計基準研訂

### 基 準 草 案

#### 目 錄 頁 碼

#### 第一篇 通 則

#### 第二篇 設計條件

|                  |    |
|------------------|----|
| 第一章 概論           | 2  |
| 第二章 船舶           | 3  |
| 第三章 風及風力         | 3  |
| 第四章 波力           | 4  |
| 第五章 潮位及暴潮位       | 4  |
| 第六章 水流及水流力       | 5  |
| 第七章 作用於浮體之外力及其搖動 | 6  |
| 第八章 地質           | 6  |
| 第九章 地震及地震力       | 8  |
| 第十章 砂質土壤之液化      | 8  |
| 第十一章 土壓及水壓       | 9  |
| 第十二章 載重          | 9  |
| 第十三章 摩擦係數        | 10 |

### 第三篇 工程材料

|          |    |
|----------|----|
| 第一章 通則   | 11 |
| 第二章 鋼鐵材料 | 11 |
| 第三章 混凝土  | 12 |
| 第四章 石料   | 13 |

### 第四篇 基礎

|            |    |
|------------|----|
| 第一章 概要     | 15 |
| 第二章 淺基礎承载力 | 15 |
| 第三章 深基礎承载力 | 15 |
| 第四章 樁基礎承载力 | 15 |
| 第五章 基礎沉陷   | 18 |
| 第六章 斜面之安定  | 19 |

### 第五篇 預鑄混凝土

|          |    |
|----------|----|
| 第一章 沉箱   | 20 |
| 第二章 L型塊  | 21 |
| 第三章 空心方塊 | 22 |
| 第四章 方塊   | 23 |

### 第六篇 碼頭工程

|               |    |
|---------------|----|
| 第一章 概說        | 25 |
| 第二章 碼頭相關事項    | 25 |
| 第三章 碼頭之結構型式   | 26 |
| 第四章 重力式碼頭     | 27 |
| 第五章 板樁式碼頭     | 29 |
| 第六章 圓筒式碼頭     | 32 |
| 6.1 鋼板樁圓筒式碼頭  | 32 |
| 6.2 置放式鋼板圓筒碼頭 | 35 |
| 6.3 埋入式鋼板圓筒碼頭 | 36 |



|                |    |
|----------------|----|
| 第七章 棧橋式碼頭      | 37 |
| 7.1 概要         | 37 |
| 7.2 直樁棧橋式碼頭    | 37 |
| 7.3 斜樁棧橋式碼頭    | 39 |
| 第八章 平版樁基式碼頭    | 42 |
| 第九章 其他型式碼頭     | 44 |
| 9.1 直立消波式碼頭    | 44 |
| 9.2 自立式板樁碼頭    | 44 |
| 9.3 斜樁錨碇式板樁碼頭  | 45 |
| 9.4 前斜樁式板樁碼頭   | 46 |
| 9.5 雙重板樁式碼頭    | 48 |
| 9.6 圓柱或腳柱式棧橋碼頭 | 48 |
| 9.7 橋墩式棧橋碼頭    | 49 |
| 9.8 離岸式碼頭      | 49 |
| 9.9 繫、靠船台      | 51 |
| 9.10 浮碼頭       | 53 |
| 9.11 繫船浮筒      | 56 |
| 第十章 連接結構物      | 56 |
| 第十一章 附屬設施      | 57 |
| 第十二章 曳船道       | 58 |
| 第十三章 岸肩        | 60 |
| 第十四章 裝卸機械基礎    | 61 |
| 第十五章 碼頭維護與管理   | 62 |
| <br>第七篇 專門碼頭   |    |
| 第一章 貨櫃終站       | 63 |
| 第二章 渡輪終站       | 64 |

# 交通部 運輸研究所

## 港灣構造物設計基準研究 碼頭設計基準研訂

### 基 準 說 明 草 案

#### 目 錄 頁 碼

#### 第一篇 通 則

#### 第二篇 設計條件

##### 第一章 概論

|            |       |
|------------|-------|
| 1.1 設計條件   | 2 - 1 |
| 1.2 影響設計因素 | 2 - 2 |

##### 第二章 船舶

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 2.1 船舶尺寸             | 2 - 5  |
| 2.2 船舶所產生之外力         | 2 - 8  |
| 2.2.1 概要             | 2 - 8  |
| 2.2.2 船舶靠岸所產生之衝擊作用力  | 2 - 9  |
| 2.2.3 繫泊中船舶搖動所產生之作用力 | 2 - 12 |
| 2.2.4 作用於繫船柱之拉力      | 2 - 15 |

##### 第三章 風及風力

|            |        |
|------------|--------|
| 3.1 風      | 2 - 17 |
| 3.1.1 概要   | 2 - 17 |
| 3.1.2 風之定義 | 2 - 17 |
| 3.1.3 梯度風  | 2 - 17 |
| 3.1.4 海面風速 | 2 - 18 |
| 3.2 風力     | 2 - 19 |

## 第四章 波力

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 4.1 概要          | 2 - 20 |
| 4.2 設計波         | 2 - 20 |
| 4.2.1 概要        | 2 - 20 |
| 4.2.2 設計波之定義    | 2 - 20 |
| 4.2.3 設計波擬定     | 2 - 21 |
| 4.3 作用於海中結構物之波力 | 2 - 23 |
| 4.3.1 概要        | 2 - 23 |
| 4.3.2 Morison公式 | 2 - 23 |

## 第五章 潮位及暴潮位

|              |        |
|--------------|--------|
| 5.1 概要       | 2 - 25 |
| 5.2 設計潮位     | 2 - 25 |
| 5.3 天文潮      | 2 - 25 |
| 5.3.1 概要     | 2 - 25 |
| 5.3.2 天文潮位定義 | 2 - 26 |
| 5.4 颱風暴潮位    | 2 - 27 |

## 第六章 水流及水流力

|                  |        |
|------------------|--------|
| 6.1 概要           | 2 - 28 |
| 6.2 作用於水中結構物之水流力 | 2 - 28 |

## 第七章 作用於浮體之外力及其搖動

|               |        |
|---------------|--------|
| 7.1 概要        | 2 - 29 |
| 7.2 作用於浮體之外力  | 2 - 29 |
| 7.3 浮體之搖動及繫留力 | 2 - 29 |

## 第八章 地質

|                    |        |
|--------------------|--------|
| 8.1 土壤物理性質         | 2 - 30 |
| 8.1.1 土壤單位體積重量     | 2 - 30 |
| 8.1.2 土壤分類         | 2 - 32 |
| 8.1.3 土壤透水係數       | 2 - 32 |
| 8.2 土壤力學性質         | 2 - 32 |
| 8.2.1 彈性常數         | 2 - 32 |
| 8.2.2 壓密特性         | 2 - 35 |
| 8.2.3 土壤之剪力特性      | 2 - 39 |
| 8.3 土壤動態性質         | 2 - 40 |
| 8.3.1 動態變形參數       | 2 - 40 |
| 8.3.2 動態強度特性       | 2 - 40 |
| 8.4 基地調查           | 2 - 41 |
| 8.4.1 調查要求         | 2 - 41 |
| 8.4.2 調查方法之選擇      | 2 - 45 |
| 8.5 N值             | 2 - 45 |
| 8.5.1 概要           | 2 - 45 |
| 8.5.2 適用範圍         | 2 - 45 |
| 8.5.3 影響砂質土N值之因素   | 2 - 47 |
| 8.5.4 N值在使用時應注意之事項 | 2 - 47 |

## 第九章 地震及地震力

|              |        |
|--------------|--------|
| 9.1 概要       | 2 - 50 |
| 9.2 震度法      | 2 - 50 |
| 9.3 設計震度     | 2 - 50 |
| 9.3.1 概要     | 2 - 50 |
| 9.3.2 地區震度   | 2 - 50 |
| 9.3.3 地盤分類係數 | 2 - 52 |
| 9.3.4 重要度係數  | 2 - 52 |
| 9.4 換算震度     | 2 - 53 |

## 第十章 砂質土壤之液化

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 10.1 概要                   | 2 - 54 |
| 10.2 土壤液化預測及判定            | 2 - 54 |
| 10.2.1 概要                 | 2 - 54 |
| 10.2.2 依土壤粒徑及N值進行液化預測及判定  | 2 - 55 |
| 10.2.3 依動態三軸試驗結果進行液化預測及判定 | 2 - 59 |

## 第十一章 土壓及水壓

|                |        |
|----------------|--------|
| 11.1 土壓        | 2 - 61 |
| 11.1.1 概要      | 2 - 61 |
| 11.1.2 常時土壓    | 2 - 61 |
| 11.1.3 地震時之土壓  | 2 - 64 |
| 11.1.4 土壓係數參考值 | 2 - 66 |
| 11.2 水壓        | 2 - 66 |
| 11.2.1 概要      | 2 - 66 |
| 11.2.2 殘留水壓    | 2 - 66 |
| 11.2.3 地震時之動水壓 | 2 - 79 |

## 第十二章 載重

|                  |        |
|------------------|--------|
| 12.1 概要          | 2 - 80 |
| 12.2 自重          | 2 - 80 |
| 12.3 裝載載重        | 2 - 80 |
| 12.3.1 概要        | 2 - 80 |
| 12.3.2 常時裝載載重    | 2 - 80 |
| 12.3.3 地震時裝載載重   | 2 - 81 |
| 12.3.4 不均佈裝載載重   | 2 - 81 |
| 12.4 活載重         | 2 - 82 |
| 12.4.1 概要        | 2 - 82 |
| 12.4.2 汽車、火車及拖車等 | 2 - 82 |
| 12.4.3 裝卸機械      | 2 - 82 |
| 12.4.4 群眾        | 2 - 82 |

## 第十三章 摩擦係數

## 第三篇 工程材料

### 第一章 通則

### 第二章 鋼鐵材料

|                |        |
|----------------|--------|
| 2.1 鋼鐵材料之規格及性質 | 3 - 2  |
| 2.2 鋼鐵材料設計用常數  | 3 - 2  |
| 2.3 容許應力       | 3 - 4  |
| 2.3.1 概要       | 3 - 4  |
| 2.3.2 結構用鋼鐵材料  | 3 - 4  |
| 2.3.3 鋼樁及鋼管板樁  | 3 - 5  |
| 2.3.4 鋼板樁      | 3 - 5  |
| 2.3.5 鑄鍛鋼材     | 3 - 5  |
| 2.3.6 焊接及接合用鋼材 | 3 - 5  |
| 2.3.7 容許應力之提高  | 3 - 5  |
| 2.4 防蝕         | 3 - 10 |
| 2.4.1 概要       | 3 - 10 |
| 2.4.2 鏽蝕現象     | 3 - 10 |
| 2.4.3 鋼材鏽蝕速度   | 3 - 11 |
| 2.4.4 防蝕方法     | 3 - 11 |
| 2.4.5 鋼材之維護管理  | 3 - 18 |

### 第三章 混凝土

|                  |        |
|------------------|--------|
| 3.1 概要           | 3 - 20 |
| 3.2 耐久性          | 3 - 20 |
| 3.2.1 概要         | 3 - 20 |
| 3.2.2 耐久性設計應考慮項目 | 3 - 20 |
| 3.2.3 施工接縫       | 3 - 21 |
| 3.2.4 保護層        | 3 - 21 |
| 3.2.5 張力裂痕       | 3 - 22 |

|               |        |
|---------------|--------|
| 3.3 材料        | 3 - 22 |
| 3.3.1 概要      | 3 - 22 |
| 3.3.2 水泥      | 3 - 22 |
| 3.3.3 水       | 3 - 23 |
| 3.3.4 粒料      | 3 - 23 |
| 3.3.5 鋼料      | 3 - 23 |
| 3.3.6 摻料      | 3 - 24 |
| 3.3.7 氯化物含量規定 | 3 - 24 |
| 3.4 混凝土品質     | 3 - 24 |
| 3.4.1 概要      | 3 - 24 |
| 3.4.2 一般原則    | 3 - 25 |
| 3.4.3 混凝土配比   | 3 - 25 |
| 3.4.4 混凝土施工   | 3 - 25 |
| 3.5 水中混凝土     | 3 - 26 |
| 3.6 預力混凝土     | 3 - 27 |
| 3.7 容許應力      | 3 - 27 |
| 3.7.1 概要      | 3 - 27 |
| 3.7.2 混凝土設計強度 | 3 - 27 |
| 3.7.3 混凝土容許應力 | 3 - 27 |
| 3.7.4 鋼筋容許應力  | 3 - 27 |
| 3.7.5 容許應力之提高 | 3 - 30 |
| 3.8 混凝土結構維護管理 | 3 - 30 |

#### 第四章 石料

|         |        |
|---------|--------|
| 4.1 概述  | 3 - 31 |
| 4.2 拋石料 | 3 - 31 |
| 4.3 背填料 | 3 - 31 |



第四篇 基礎

第一章 概要

第二章 淺基礎承載力

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 2.1 概要              | 4 - 2  |
| 2.2 砂質土基礎承載力        | 4 - 2  |
| 2.3 黏性土基礎承載力        | 4 - 6  |
| 2.4 二層土壤之基礎承載力      | 4 - 7  |
| 2.5 承受偏心傾斜載重之基礎承載力  | 4 - 8  |
| 2.5.1 概要            | 4 - 8  |
| 2.5.2 Bishop圓弧滑動分析法 | 4 - 8  |
| 2.5.3 經驗法則          | 4 - 11 |

第三章 深基礎承載力

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 3.1 概要          | 4 - 18 |
| 3.2 垂直承載力       | 4 - 18 |
| 3.2.1 概要        | 4 - 18 |
| 3.2.2 砂質土基礎側面抵抗 | 4 - 18 |
| 3.2.3 黏性土基礎側面抵抗 | 4 - 19 |

第四章 樁基礎承載力

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 4.1 概要                 | 4 - 21 |
| 4.2 樁之軸向容許承載力          | 4 - 21 |
| 4.2.1 概要               | 4 - 21 |
| 4.2.2 標準軸向容許承載力        | 4 - 22 |
| 4.2.3 單樁軸向極限承載力        | 4 - 22 |
| 4.2.4 依載重試驗推算軸向極限承載力   | 4 - 22 |
| 4.2.5 依靜力承載公式推算軸向極限承載力 | 4 - 23 |

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 4.2.6 依打樁公式推算軸向極限承载力   | 4 - 24 |
| 4.2.7 樁材容許壓應力之影響       | 4 - 24 |
| 4.2.8 接樁折減             | 4 - 24 |
| 4.2.9 細長比折減            | 4 - 24 |
| 4.2.10 表面負摩擦力檢討        | 4 - 25 |
| 4.2.11 基樁間距            | 4 - 26 |
| 4.2.12 群樁承载力           | 4 - 26 |
| 4.2.13 基樁沉陷量檢討         | 4 - 27 |
| 4.3 樁之軸向容許拉拔力          | 4 - 27 |
| 4.3.1 概要               | 4 - 27 |
| 4.3.2 標準軸向容許拉拔力        | 4 - 28 |
| 4.3.3 單樁軸向最大拉拔力        | 4 - 29 |
| 4.3.4 推算基樁軸向容許拉拔力應考量事項 | 4 - 30 |
| 4.4 樁之橫向容許承载力          | 4 - 31 |
| 4.4.1 概要               | 4 - 31 |
| 4.4.2 基樁行為推定           | 4 - 31 |
| 4.4.3 以橫向載重試驗推定單樁行為    | 4 - 32 |
| 4.4.4 以分析方法推定單樁行為      | 4 - 32 |
| 4.4.5 以既有資料推定單樁行為      | 4 - 50 |
| 4.4.6 斜組樁橫向承载力         | 4 - 50 |
| 4.4.7 群樁效果之考量          | 4 - 52 |
| 4.5 設計概要               | 4 - 52 |
| 4.5.1 設計原則             | 4 - 52 |
| 4.5.2 載重分配             | 4 - 52 |
| 4.5.3 樁材容許應力           | 4 - 54 |
| 4.6 細部設計               | 4 - 54 |
| 4.6.1 施工時載重檢討          | 4 - 54 |
| 4.6.2 樁頭與上部結構連結設計      | 4 - 54 |
| 4.6.3 接樁               | 4 - 56 |
| 4.6.4 樁端               | 4 - 56 |

## 第五章 基礎沉陷

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 5.1 土壤垂直內應力           | 4 - 57 |
| 5.1.1 概要              | 4 - 57 |
| 5.1.2 集中載重所引起之土壤垂直內應力 | 4 - 57 |
| 5.1.3 線形載重所引起之土壤垂直內應力 | 4 - 58 |
| 5.1.4 帶狀載重所引起之土壤垂直內應力 | 4 - 58 |
| 5.1.5 面載重所引起之土壤垂直內應力  | 4 - 62 |
| 5.2 即時沉陷              | 4 - 68 |
| 5.2.1 概要              | 4 - 68 |
| 5.2.2 垂直集中載重所引起之沉陷    | 4 - 69 |
| 5.2.3 垂直線形載重所引起之沉陷    | 4 - 69 |
| 5.2.4 均佈帶狀載重所引起之沉陷    | 4 - 69 |
| 5.2.5 均佈圓形載重所引起之沉陷    | 4 - 70 |
| 5.2.6 均佈長方形載重所引起之沉陷   | 4 - 70 |
| 5.3 壓密沉陷              | 4 - 71 |
| 5.3.1 概要              | 4 - 71 |
| 5.3.2 最終壓密沉陷量         | 4 - 71 |
| 5.3.3 壓密沉陷之時間變化       | 4 - 73 |

## 第六章 斜面之安定

|              |        |
|--------------|--------|
| 6.1 概要       | 4 - 75 |
| 6.2 斜面安定分析法  | 4 - 76 |
| 6.2.1 概要     | 4 - 76 |
| 6.2.2 圓弧形滑動面 | 4 - 76 |
| 6.2.3 直線形滑動面 | 4 - 83 |

## 第五篇 預鑄混凝土

### 第一章 沉箱

|        |       |
|--------|-------|
| 1.1 概要 | 5 - 1 |
|--------|-------|

|                |        |
|----------------|--------|
| 1.2 尺寸之決定      | 5 - 2  |
| 1.3 浮遊安定       | 5 - 2  |
| 1.4 設計外力       | 5 - 4  |
| 1.4.1 概要       | 5 - 4  |
| 1.4.2 短期載重     | 5 - 4  |
| 1.4.3 製作時外力    | 5 - 4  |
| 1.4.4 下水及浮遊時外力 | 5 - 4  |
| 1.4.5 拖航時外力    | 5 - 6  |
| 1.4.6 安放時外力    | 5 - 7  |
| 1.4.7 完成後外力    | 5 - 7  |
| 1.5 結構設計       | 5 - 11 |

## 第二章 L型塊

|                |        |
|----------------|--------|
| 2.1 概要         | 5 - 13 |
| 2.2 尺寸之決定      | 5 - 13 |
| 2.3 作用於結構體載重   | 5 - 14 |
| 2.3.1 概要       | 5 - 14 |
| 2.3.2 作用於構件之土壓 | 5 - 15 |
| 2.3.3 載重分割法    | 5 - 15 |
| 2.4 結構設計       | 5 - 15 |
| 2.4.1 概要       | 5 - 15 |
| 2.4.2 前牆       | 5 - 15 |
| 2.4.3 基腳       | 5 - 15 |
| 2.4.4 底版       | 5 - 16 |
| 2.4.5 扶壁       | 5 - 16 |
| 2.4.6 施吊部位     | 5 - 16 |

## 第三章 空心方塊

|           |        |
|-----------|--------|
| 3.1 概要    | 5 - 17 |
| 3.2 尺寸之決定 | 5 - 17 |

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 3.3 作用於結構體載重    | 5 - 18 |
| 3.3.1 概要        | 5 - 18 |
| 3.3.2 內填料土壓     | 5 - 18 |
| 3.3.3 載重分割法     | 5 - 18 |
| 3.4 結構設計        | 5 - 19 |
| 3.4.1 概要        | 5 - 19 |
| 3.4.2 前牆        | 5 - 19 |
| 3.4.3 後牆        | 5 - 19 |
| 3.4.4 側牆        | 5 - 19 |
| 3.4.5 隔牆        | 5 - 20 |
| 3.4.6 底版        | 5 - 20 |
| 3.4.7 施吊部位      | 5 - 20 |
| <br>第四章 方塊      |        |
| 4.1 概要          | 5 - 21 |
| 4.2 方塊接合部之形狀及尺寸 | 5 - 21 |
| 4.3 施吊部份設計      | 5 - 22 |
| <br>第六篇 碼頭工程    |        |
| <br>第一章 概說      |        |
| 1.1 概要          | 6 - 1  |
| 1.2 碼頭規模        | 6 - 2  |
| 1.3 碼頭佈置        | 6 - 2  |
| 1.4 碼頭結構        | 6 - 2  |
| <br>第二章 碼頭相關事項  |        |
| 2.1 船席長度與水深     | 6 - 3  |
| 2.2 碼頭面高程       | 6 - 5  |
| 2.3 碼頭前趾界限      | 6 - 6  |
| 2.4 設計水深        | 6 - 7  |

### 第三章 碼頭之結構型式

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 3.1 結構斷面基本型式      | 6 - 8  |
| 3.2 結構斷面型式選定應考慮事項 | 6 - 25 |

### 第四章 重力式碼頭

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 4.1 設計原則              | 6 - 33 |
| 4.2 作用於壁體之外力與載重       | 6 - 34 |
| 4.2.1 概要              | 6 - 34 |
| 4.2.2 壁體定義            | 6 - 34 |
| 4.2.3 上載載重            | 6 - 36 |
| 4.2.4 壁體自重            | 6 - 36 |
| 4.2.5 土壓力及殘留水壓力       | 6 - 36 |
| 4.2.6 浮力              | 6 - 36 |
| 4.2.7 地震力             | 6 - 37 |
| 4.2.8 船舶拉力            | 6 - 37 |
| 4.2.9 船舶衝擊力           | 6 - 37 |
| 4.3 安定計算              | 6 - 38 |
| 4.3.1 概要              | 6 - 38 |
| 4.3.2 壁體滑動檢討          | 6 - 38 |
| 4.3.3 壁體傾覆檢討          | 6 - 39 |
| 4.3.4 基礎承载力檢討         | 6 - 40 |
| 4.3.5 軟弱基礎之檢討         | 6 - 40 |
| 4.3.6 空心方塊之安定計算       | 6 - 41 |
| 4.4 背填石料之土壓減輕效果       | 6 - 43 |
| 4.4.1 概要              | 6 - 43 |
| 4.4.2 背填石料設置目的        | 6 - 43 |
| 4.4.3 背填石料之形狀及其土壓減輕效果 | 6 - 43 |
| 4.5 細部設計              | 6 - 44 |
| 4.5.1 概要              | 6 - 44 |
| 4.5.2 壁體              | 6 - 45 |
| 4.5.3 背填及防止漏沙設施       | 6 - 45 |
| 4.5.4 方塊接合部之形狀及尺寸     | 6 - 45 |
| 4.5.5 上部結構            | 6 - 46 |
| 4.5.6 附屬設施            | 6 - 46 |

## 第五章 板樁式碼頭

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 5.1 設計原則          | 6 - 48 |
| 5.2 作用於板樁之外力      | 6 - 48 |
| 5.2.1 概要          | 6 - 48 |
| 5.2.2 土壓力及殘留水壓力   | 6 - 48 |
| 5.2.3 船舶拉力        | 6 - 51 |
| 5.2.4 船舶衝擊力       | 6 - 51 |
| 5.3 板樁設計          | 6 - 51 |
| 5.3.1 概要          | 6 - 51 |
| 5.3.2 拉桿裝設位置      | 6 - 52 |
| 5.3.3 板樁入土長度      | 6 - 52 |
| 5.3.4 作用於板樁之彎矩    | 6 - 53 |
| 5.3.5 板樁容許應力      | 6 - 54 |
| 5.4 拉桿設計          | 6 - 54 |
| 5.5 圍梁設計          | 6 - 56 |
| 5.6 錨碇設施設計        | 6 - 56 |
| 5.6.1 概要          | 6 - 56 |
| 5.6.2 選擇錨碇設施型式    | 6 - 57 |
| 5.6.3 錨碇設施設置位置    | 6 - 58 |
| 5.6.4 錨碇版設計       | 6 - 61 |
| 5.6.5 錨碇直樁設計      | 6 - 64 |
| 5.6.6 錨碇斜組樁設計     | 6 - 65 |
| 5.6.7 錨碇板樁設計      | 6 - 65 |
| 5.7 細部設計          | 6 - 66 |
| 5.7.1 概要          | 6 - 66 |
| 5.7.2 上部工程        | 6 - 66 |
| 5.7.3 板樁與拉桿及圍梁之連接 | 6 - 67 |
| 5.7.4 拉桿          | 6 - 69 |
| 5.7.5 錨碇設施與拉桿之連接  | 6 - 71 |
| 5.7.6 角隅部份        | 6 - 71 |
| 5.7.7 防止沖刷設施      | 6 - 72 |
| 5.8 軟弱地盤上板樁式碼頭之設計 | 6 - 72 |
| 5.9 圓弧滑動檢討        | 6 - 72 |



## 第六章 圓筒式碼頭

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 6.1 鋼板樁圓筒式碼頭      | 6 - 73 |
| 6.1.1 設計原則        | 6 - 73 |
| 6.1.2 作用於鋼板樁圓筒之外力 | 6 - 74 |
| 6.1.3 圓筒壁體剪力變形檢討  | 6 - 76 |
| 6.1.4 板樁入土長度      | 6 - 80 |
| 6.1.5 圓筒壁體安定檢討    | 6 - 82 |
| 6.1.6 圓筒佈置        | 6 - 83 |
| 6.1.7 板樁拉力計算      | 6 - 83 |
| 6.1.8 T型板樁設計      | 6 - 84 |
| 6.1.9 細部設計        | 6 - 84 |
| 6.2 置放式鋼板圓筒碼頭     | 6 - 86 |
| 6.2.1 設計原則        | 6 - 86 |
| 6.2.2 作用於鋼板圓筒之外力  | 6 - 87 |
| 6.2.3 圓筒壁體剪力變形檢討  | 6 - 87 |
| 6.2.4 圓筒壁體安定檢討    | 6 - 89 |
| 6.2.5 鋼板圓筒前趾承载力檢討 | 6 - 91 |
| 6.2.6 圓筒鋼板厚度計算    | 6 - 93 |
| 6.2.7 圓筒佈置        | 6 - 93 |
| 6.2.8 細部設計        | 6 - 93 |
| 6.3 埋入式鋼板圓筒碼頭     | 6 - 94 |
| 6.3.1 設計原則        | 6 - 94 |
| 6.3.2 作用於鋼板圓筒之外力  | 6 - 96 |
| 6.3.3 圓筒壁體剪力變形檢討  | 6 - 97 |
| 6.3.4 圓筒壁體安定檢討    | 6 - 97 |
| 6.3.5 圓弧滑動檢討      | 6 -101 |
| 6.3.6 圓筒佈置        | 6 -101 |
| 6.3.7 圓筒及圓弧鋼板厚度計算 | 6 -101 |
| 6.3.8 接頭部份與補強構件   | 6 -102 |
| 6.3.9 細部設計        | 6 -103 |

## 第七章 棧橋式碼頭

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 7.1 概要            | 6 -104 |
| 7.1.1 靜態分析        | 6 -104 |
| 7.1.2 動態分析        | 6 -105 |
| 7.2 直樁棧橋式碼頭       | 6 -106 |
| 7.2.1 設計原則        | 6 -106 |
| 7.2.2 棧橋單元大小及基樁配置 | 6 -106 |
| 7.2.3 上部結構相關尺寸    | 6 -108 |
| 7.2.4 繫船柱及防舷材配置   | 6 -108 |
| 7.2.5 作用於棧橋之外力    | 6 -108 |
| 7.2.6 海底面設計相關事項   | 6 -111 |
| 7.2.7 基樁設計        | 6 -113 |
| 7.2.8 擋土護岸設計      | 6 -119 |
| 7.2.9 圓弧滑動檢討      | 6 -119 |
| 7.2.10 細部設計       | 6 -119 |
| 7.3 斜樁棧橋式碼頭       | 6 -120 |
| 7.3.1 設計原則        | 6 -120 |
| 7.3.2 棧橋單元大小及基樁配置 | 6 -120 |
| 7.3.3 上部結構相關尺寸    | 6 -120 |
| 7.3.4 繫船柱及防舷材配置   | 6 -122 |
| 7.3.5 作用於棧橋之外力    | 6 -122 |
| 7.3.6 海底面設計相關事項   | 6 -122 |
| 7.3.7 基樁作用力及斷面之決定 | 6 -122 |
| 7.3.8 法線方向結構分析    | 6 -125 |
| 7.3.9 基樁入土深度      | 6 -125 |
| 7.3.10 擋土護岸設計     | 6 -126 |
| 7.3.11 圓弧滑動檢討     | 6 -126 |
| 7.3.12 細部設計       | 6 -126 |

## 第八章 平版樁基式碼頭

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 8.1 設計原則            | 6 -127 |
| 8.2 決定平版高度及寬度       | 6 -127 |
| 8.3 作用於板樁之土壓力及殘留水壓力 | 6 -129 |
| 8.3.1 概要            | 6 -129 |
| 8.3.2 土壓力           | 6 -129 |
| 8.3.3 殘留水壓力         | 6 -130 |
| 8.4 板樁設計            | 6 -130 |
| 8.4.1 板樁入土深度        | 6 -130 |
| 8.4.2 板樁斷面          | 6 -130 |
| 8.5 平版設計            | 6 -131 |
| 8.5.1 作用於平版之外力      | 6 -131 |
| 8.5.2 平版結構設計        | 6 -132 |
| 8.5.3 平版承載基樁設計      | 6 -133 |
| 8.6 壁體安定檢討          | 6 -134 |
| 8.7 圓弧滑動檢討          | 6 -135 |

## 第九章 其他型式碼頭

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 9.1 直立消波式碼頭     | 6 -136 |
| 9.1.1 設計原則      | 6 -136 |
| 9.1.2 消波式碼頭配置原則 | 6 -136 |
| 9.1.3 選定結構型式    | 6 -136 |
| 9.2 自立式板樁碼頭     | 6 -138 |
| 9.2.1 設計原則      | 6 -138 |
| 9.2.2 作用於板樁之外力  | 6 -138 |
| 9.2.3 板樁斷面      | 6 -140 |
| 9.2.4 板樁入土長度    | 6 -140 |
| 9.2.5 板樁頂端變位量檢討 | 6 -141 |
| 9.2.6 施工中外力檢討   | 6 -142 |
| 9.2.7 圓弧滑動檢討    | 6 -142 |
| 9.2.8 細部設計      | 6 -142 |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 9.3 斜樁錨碇式板樁碼頭             | 6 -142 |
| 9.3.1 設計原則                | 6 -142 |
| 9.3.2 作用於板樁之外力            | 6 -142 |
| 9.3.3 作用於板樁與斜樁連結點之水平力及垂直力 | 6 -143 |
| 9.3.4 板樁及斜樁斷面             | 6 -144 |
| 9.3.5 板樁及斜樁入土長度           | 6 -144 |
| 9.3.6 細部設計                | 6 -144 |
| 9.4 前斜樁式板樁碼頭              | 6 -144 |
| 9.4.1 設計原則                | 6 -144 |
| 9.4.2 棧橋單元大小及基樁配置         | 6 -145 |
| 9.4.3 上部結構相關尺寸            | 6 -145 |
| 9.4.4 板樁岸壁設計              | 6 -145 |
| 9.4.5 棧橋設計                | 6 -145 |
| 9.4.6 基樁入土深度              | 6 -147 |
| 9.4.7 細部設計                | 6 -147 |
| 9.5 雙重板樁式碼頭               | 6 -148 |
| 9.5.1 設計原則                | 6 -148 |
| 9.5.2 作用於壁體之外力            | 6 -148 |
| 9.5.3 雙重板樁壁體設計            | 6 -148 |
| 9.5.4 細部設計                | 6 -151 |
| 9.6 圓柱或腳柱式棧橋碼頭            | 6 -151 |
| 9.6.1 設計原則                | 6 -151 |
| 9.6.2 圓柱或腳柱設計             | 6 -151 |
| 9.6.3 擋土護岸設計              | 6 -152 |
| 9.6.4 細部設計                | 6 -152 |
| 9.7 橋墩式棧橋碼頭               | 6 -152 |
| 9.7.1 設計原則                | 6 -152 |
| 9.7.2 橋墩設計                | 6 -152 |
| 9.7.3 擋土護岸設計              | 6 -152 |
| 9.7.4 細部設計                | 6 -153 |

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 9.8 離岸式碼頭         | 6 -153 |
| 9.8.1 設計原則        | 6 -153 |
| 9.8.2 配置及相關事項     | 6 -153 |
| 9.8.3 設計外力及載重     | 6 -154 |
| 9.8.4 柱腳設計        | 6 -155 |
| 9.8.5 大樑設計        | 6 -155 |
| 9.8.6 擋土護岸設計      | 6 -156 |
| 9.8.7 圓弧滑動檢討      | 6 -156 |
| 9.8.8 附屬設備        | 6 -156 |
| 9.8.9 細部設計        | 6 -156 |
| 9.9 繫、靠船台         | 6 -157 |
| 9.9.1 設計原則        | 6 -157 |
| 9.9.2 繫、靠船台配置     | 6 -157 |
| 9.9.3 作用於繫、靠船台之外力 | 6 -159 |
| 9.9.4 基樁式繫、靠船台    | 6 -160 |
| 9.9.5 鋼板圓筒式繫、靠船台  | 6 -160 |
| 9.9.6 沉箱式繫、靠船台    | 6 -160 |
| 9.10 浮碼頭          | 6 -161 |
| 9.10.1 設計原則       | 6 -161 |
| 9.10.2 浮碼頭興建位置及配置 | 6 -161 |
| 9.10.3 浮箱設計       | 6 -161 |
| 9.10.4 錨鏈設計       | 6 -170 |
| 9.10.5 錨錠設施設計     | 6 -174 |
| 9.10.6 連絡橋及引橋設計   | 6 -176 |
| 9.11 繫船浮筒         | 6 -178 |

## 第十章 連接結構物

|              |        |
|--------------|--------|
| 10.1 設計原則    | 6 -181 |
| 10.2 水深變化段   | 6 -182 |
| 10.3 不同結構之連接 | 6 -182 |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 10.4 角隅結構 -----                   | 6 -183 |
| 10.4.1 概要 -----                   | 6 -183 |
| 10.4.2 板樁結構與板樁結構之角隅結構 -----       | 6 -183 |
| 10.4.3 鋼板樁結構與自立式板樁結構連接之角隅結構 ----- | 6 -184 |
| 10.4.4 其他角隅結構 -----               | 6 -184 |
| <br><b>第十一章 附屬設施</b>              |        |
| 11.1 概要 -----                     | 6 -185 |
| 11.2 繫船設施 -----                   | 6 -185 |
| 11.2.1 概要 -----                   | 6 -185 |
| 11.2.2 繫船柱及繫船環配置 -----            | 6 -186 |
| 11.2.3 船舶拉力 -----                 | 6 -186 |
| 11.3 防撞設施 -----                   | 6 -187 |
| 11.3.1 概要 -----                   | 6 -187 |
| 11.3.2 防舷材配置 -----                | 6 -187 |
| 11.3.3 船舶靠岸及繫泊所產生之作用力 -----       | 6 -187 |
| 11.3.4 防舷材選擇 -----                | 6 -187 |
| 11.4 安全設施 -----                   | 6 -189 |
| 11.4.1 概要 -----                   | 6 -189 |
| 11.4.2 防止船侵入設施 -----              | 6 -189 |
| 11.4.3 柵欄 -----                   | 6 -189 |
| 11.4.4 標誌及標示 -----                | 6 -189 |
| 11.4.5 車擋 -----                   | 6 -189 |
| 11.5 服務設施 -----                   | 6 -190 |
| 11.5.1 概要 -----                   | 6 -190 |
| 11.5.2 照明設施 -----                 | 6 -190 |
| 11.5.3 旅客上下船設施 -----              | 6 -190 |
| 11.5.4 車輛上下船設施 -----              | 6 -190 |
| 11.5.5 給水設施 -----                 | 6 -190 |
| 11.5.6 加油及供電設施 -----              | 6 -191 |
| 11.5.7 公廁及電話 -----                | 6 -191 |
| 11.5.8 標誌及標示 -----                | 6 -191 |

## 第七章 棧橋式碼頭

|         |                   |        |
|---------|-------------------|--------|
| 圖 7-2.1 | 直樁棧橋式碼頭設計流程       | 6 -107 |
| 圖 7-2.2 | 裝載載重與活載重分佈示意圖     | 6 -110 |
| 圖 7-2.3 | 碼頭後緣重力式擋土結構物位置示意圖 | 6 -112 |
| 圖 7-2.4 | 假想地表面示意圖          | 6 -112 |
| 圖 7-2.5 | 棧橋基樁配置及水平力作用點示意圖  | 6 -115 |
| 圖 7-2.6 | 基樁樁頭彎矩分佈示意圖       | 6 -117 |
| 圖 7-3.1 | 斜樁棧橋式碼頭設計流程       | 6 -121 |
| 圖 7-3.2 | 斜組樁中心線與各斜組樁距離示意圖  | 6 -123 |

## 第八章 平版樁基式碼頭

|         |                      |        |
|---------|----------------------|--------|
| 圖 8-1.1 | 平版樁基式碼頭設計流程          | 6 -128 |
| 圖 8-3.1 | 作用於平版樁基式碼頭板樁之土壓及殘留水壓 | 6 -129 |
| 圖 8-5.1 | 作用於平版之外力             | 6 -131 |
| 圖 8-5.2 | 平版結構設計示意圖            | 6 -133 |
| 圖 8-6.1 | 平版樁基式碼頭壁體示意圖         | 6 -135 |

## 第九章 其他型式碼頭

|          |                 |        |
|----------|-----------------|--------|
| 圖 9-1.1  | 直立消波式碼頭設計流程     | 6 -137 |
| 圖 9-2.1  | 自立式板樁碼頭設計流程     | 6 -139 |
| 圖 9-2.2  | 作用於自立式板樁碼頭板樁之外力 | 6 -139 |
| 圖 9-2.3  | 自立式板樁碼頭板樁頂端變位量  | 6 -141 |
| 圖 9-3.1  | 斜樁錨碇式板樁碼頭設計流程   | 6 -143 |
| 圖 9-4.1  | 前斜樁式板樁碼頭設計流程    | 6 -144 |
| 圖 9-5.1  | 雙重板樁式碼頭設計流程     | 6 -149 |
| 圖 9-9.1  | 繫、靠船台設計流程       | 6 -158 |
| 圖 9-10.1 | 浮碼頭設計流程         | 6 -162 |
| 圖 9-10.2 | 浮碼頭各部份名稱        | 6 -163 |



## 第十四章 裝卸機械基礎

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 14.1 設計原則       | 6 -200 |
| 14.1.1 概要       | 6 -200 |
| 14.1.2 裝卸機械基礎型式 | 6 -200 |
| 14.1.3 容許沉陷量    | 6 -201 |
| 14.1.4 設計流程     | 6 -201 |
| 14.2 作用於基礎之外力   | 6 -201 |
| 14.3 使用基樁之基礎設計  | 6 -203 |
| 14.3.1 混凝土樁     | 6 -203 |
| 14.3.2 基樁承载力    | 6 -203 |
| 14.4 不使用基樁之基礎設計 | 6 -203 |
| 14.4.1 對碼頭影響檢討  | 6 -203 |
| 14.4.2 混凝土樁     | 6 -203 |

## 第十五章 碼頭維護與管理

|                  |        |
|------------------|--------|
| 15.1 概要          | 6 -204 |
| 15.2 沉箱式碼頭之維護與管理 | 6 -204 |
| 15.2.1 變化狀況      | 6 -204 |
| 15.2.2 檢測        | 6 -204 |
| 15.2.3 維修        | 6 -205 |
| 15.3 板樁式碼頭之維護與管理 | 6 -206 |
| 15.3.1 變化狀況      | 6 -206 |
| 15.3.2 檢測        | 6 -206 |
| 15.3.3 維修        | 6 -207 |
| 15.4 棧橋式碼頭之維護與管理 | 6 -207 |
| 15.4.1 變化狀況      | 6 -207 |
| 15.4.2 檢測        | 6 -208 |
| 15.4.3 維修        | 6 -208 |

## 第七篇 專門碼頭

### 第一章 貨櫃碼頭

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 1.1 設計原則                 | 7 - 1 |
| 1.1.1 概要                 | 7 - 1 |
| 1.1.2 貨櫃碼頭位置選擇應考慮事項      | 7 - 1 |
| 1.1.3 決定貨櫃碼頭規模與設施配置應考慮事項 | 7 - 1 |
| 1.2 碼頭設施設計               | 7 - 2 |
| 1.2.1 碼頭長度及碼頭水深          | 7 - 2 |
| 1.2.2 繫船設施               | 7 - 3 |
| 1.2.3 防撞設施               | 7 - 3 |
| 1.3 陸上設施設計               | 7 - 4 |
| 1.3.1 岸肩                 | 7 - 4 |
| 1.3.2 貨櫃起重機              | 7 - 4 |
| 1.3.3 貨櫃場                | 7 - 5 |
| 1.3.4 貨櫃集散倉棧             | 7 - 6 |
| 1.3.5 維修站                | 7 - 6 |
| 1.3.6 管理中心               | 7 - 7 |
| 1.3.7 出入口(GATE)          | 7 - 7 |
| 1.3.8 其他附屬設施             | 7 - 7 |

### 第二章 渡輪碼頭

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 2.1 設計原則        | 7 - 8  |
| 2.2 碼頭設施設計      | 7 - 8  |
| 2.2.1 碼頭長度及碼頭水深 | 7 - 8  |
| 2.2.2 繫船設施      | 7 - 10 |
| 2.2.3 防撞設施      | 7 - 10 |
| 2.2.4 防止沖刷設施    | 7 - 10 |

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 2.3 車輛上下船設施設計       | 7 - 10 |
| 2.3.1 概要            | 7 - 10 |
| 2.3.2 寬度、長度、坡度及曲率半徑 | 7 - 11 |
| 2.3.3 附屬設施及標識等      | 7 - 12 |
| 2.3.4 車輛上下船設施活動部份設計 | 7 - 12 |
| 2.4 旅客上下船設施設計       | 7 - 12 |
| 2.4.1 概要            | 7 - 12 |
| 2.4.2 寬度、長度、坡度及附屬設施 | 7 - 13 |
| 2.4.3 旅客上下船設施活動部份設計 | 7 - 14 |
| 2.5 其他設施設計          | 7 - 14 |
| 2.5.1 概要            | 7 - 14 |
| 2.5.2 道路            | 7 - 14 |
| 2.5.3 人行道           | 7 - 15 |
| 2.5.4 停車場           | 7 - 15 |
| 2.5.5 旅客候船室         | 7 - 15 |
| 2.5.6 安全設施          | 7 - 15 |

## 第二篇 設計條件

### 第二章 船舶

|   |        |
|---|--------|
| 圖 2-1.1 船舶之主要尺寸                         | 2 - 5  |
| 圖 2-2.1 船舶靠岸示意圖                         | 2 - 10 |
| 圖 2-2.2 長軸方向轉動半徑與 $C_b$ 之關係(Myers 1969) | 2 - 10 |
| 圖 2-2.3 風力計算示意圖                         | 2 - 13 |
| 圖 2-2.4 流壓係數 $C$                        | 2 - 15 |

### 第三章 風及風力

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 圖 3-1.1 低氣壓與高氣壓之吹風方向(北半球) | 2 - 18 |
|---------------------------|--------|

### 第四章 波力

|                  |        |
|------------------|--------|
| 圖 4-2.1 設計波擬定流程圖 | 2 - 21 |
|------------------|--------|

### 第八章 地質

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 圖 8-2.1 變形模數之種類       | 2 - 34 |
| 圖 8-2.2 壓力與孔隙比關係圖     | 2 - 36 |
| 圖 8-2.3 壓密之進行狀態       | 2 - 38 |
| 圖 8-2.4 平均壓密度與時間係數之關係 | 2 - 39 |
| 圖 8-4.1 地質調查與設計之關連示意圖 | 2 - 43 |

### 第十章 砂質土壤之液化

|  |        |
|--|--------|
| 圖 10-1.1 液化潛能分析流程  | 2 - 54 |
| 圖 10-2.1 土壤粒徑與土壤液化分析圖  | 2 - 56 |
| 圖 10-2.2 當量 $N$ 值, $(N)_{0.66}$ 計算圖                                      | 2 - 57 |
| 圖 10-2.3(a) 根據等值加速度與當量 $N$ 值為液化預測所做<br>之土層分類(提供粒徑範圍A的土層使用)               | 2 - 58 |
| 圖 10-2.3(b) 根據等值加速度與當量 $N$ 值為液化預測所做<br>之土層分類(提供粒徑範圍 $B_f$ 及 $B_c$ 的土層使用) | 2 - 58 |
| 圖 10-2.4 界限 $N$ 值的遞減係數(僅適用在粒徑範圍A的土層)                                     | 2 - 59 |

## 第十一章 土壓及水壓

|                    |        |
|--------------------|--------|
| 圖 11-1.1 土壓力計算示意圖  | 2 - 61 |
| 圖 11-2.1 殘留水壓計算示意圖 | 2 - 66 |
| 圖 11-2.2 動水壓分佈圖    | 2 - 79 |

## 第三篇 工程材料

### 第二章 鋼鐵材料

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 圖 2-4.1 深度方向鏽蝕分佈示意圖 | 3 - 11 |
| 圖 2-4.2 鏽蝕修護設計流程    | 3 - 19 |

## 第四篇 基礎

### 第二章 淺基礎承载力

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 圖 2-2.1 承载力係數             | 4 - 3  |
| 圖 2-2.2 連續基礎下面地層之塑性平衡狀態   | 4 - 5  |
| 圖 2-2.3 載重強度與沉陷量關係示意圖     | 4 - 5  |
| 圖 2-3.1 承载力係數 $N_c$       | 4 - 6  |
| 圖 2-4.1 砂質土與粘性土二層地層中之載重分佈 | 4 - 7  |
| 圖 2-5.1 Bishop 法之載重條件示意圖  | 4 - 9  |
| 圖 2-5.2 底面反力計算示意圖         | 4 - 13 |
| 圖 2-5.3 基礎地盤載重分佈示意圖       | 4 - 14 |
| 圖 2-5.4 三建法之載重條件示意圖       | 4 - 15 |
| 圖 2-5.5 片山・內田法承载力係數計算圖    | 4 - 17 |

### 第四章 樁基礎承载力

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 圖 4-4.1 $N$ 值與橫向抵抗常數 $k_s$ 之關係 | 4 - 35 |
| 圖 4-4.2 $N$ 值與橫向抵抗常數 $k_c$ 之關係 | 4 - 35 |
| 圖 4-4.3 依載重試驗推算橫向抵抗常數          | 4 - 36 |

|         |                     |        |
|---------|---------------------|--------|
| 圖 4-4.4 | 基樁行爲(樁頭自由樁, $h=0$ ) | 4 - 45 |
| 圖 4-4.5 | 基樁行爲(樁頭固定樁, $h=0$ ) | 4 - 45 |
| 圖 4-4.6 | 基樁行爲(樁頭自由樁, $h>0$ ) | 4 - 45 |
| 圖 4-4.7 | 基樁行爲(樁頭固定樁, $h>0$ ) | 4 - 45 |
| 圖 4-4.8 | 斜組樁之軸向力             | 4 - 51 |
| 圖 4-5.1 | 樁基礎設計流程             | 4 - 53 |

## 第五章 基礎沉陷

|          |                        |        |
|----------|------------------------|--------|
| 圖 5-1.1  | 集中載重引起之土壤垂直內應力影響係數值    | 4 - 58 |
| 圖 5-1.2  | 線載重引起之土壤垂直內應力影響係數值     | 4 - 59 |
| 圖 5-1.3  | 均佈帶狀載重引起之土壤垂直內應力影響係數值  | 4 - 59 |
| 圖 5-1.4  | 直線狀應力分佈                | 4 - 60 |
| 圖 5-1.5  | 由均佈帶狀載重所產生之土壤垂直內應力增量   | 4 - 61 |
| 圖 5-1.6  | 梯形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值    | 4 - 63 |
| 圖 5-1.7  | 三角形載重合成之梯形載重           | 4 - 63 |
| 圖 5-1.8  | 均佈圓形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值  | 4 - 64 |
| 圖 5-1.9  | 均佈長方形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值 | 4 - 64 |
| 圖 5-1.10 | 長方形分割法範例               | 4 - 66 |
| 圖 5-1.11 | Newmark 影響圖            | 4 - 67 |
| 圖 5-2.1  | 均佈長方形載重隅角點沉陷量影響係數值     | 4 - 71 |
| 圖 5-3.1  | 壓密沉陷量計算示意圖             | 4 - 72 |
| 圖 5-3.2  | 平均壓密度與時間係數之關係          | 4 - 74 |

## 第六章 斜面之安定

|         |               |        |
|---------|---------------|--------|
| 圖 6-2.1 | 圓弧形滑動面斜面穩定計算  | 4 - 76 |
| 圖 6-2.2 | 定常滲透流狀況下滑動之計算 | 4 - 79 |
| 圖 6-2.3 | 地震力           | 4 - 80 |
| 圖 6-2.4 | Bishop法斜面穩定計算 | 4 - 82 |
| 圖 6-2.5 | 直線形滑動面斜面穩定計算  | 4 - 83 |

## 第十章 砂質土壤之液化

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 10.1 概要                   | 2 - 54 |
| 10.2 土壤液化預測及判定            | 2 - 54 |
| 10.2.1 概要                 | 2 - 54 |
| 10.2.2 依土壤粒徑及N值進行液化預測及判定  | 2 - 55 |
| 10.2.3 依動態三軸試驗結果進行液化預測及判定 | 2 - 59 |

## 第十一章 土壓及水壓

|                |        |
|----------------|--------|
| 11.1 土壓        | 2 - 61 |
| 11.1.1 概要      | 2 - 61 |
| 11.1.2 常時土壓    | 2 - 61 |
| 11.1.3 地震時之土壓  | 2 - 64 |
| 11.1.4 土壓係數參考值 | 2 - 66 |
| 11.2 水壓        | 2 - 66 |
| 11.2.1 概要      | 2 - 66 |
| 11.2.2 殘留水壓    | 2 - 66 |
| 11.2.3 地震時之動水壓 | 2 - 79 |

## 第十二章 載重

|                  |        |
|------------------|--------|
| 12.1 概要          | 2 - 80 |
| 12.2 自重          | 2 - 80 |
| 12.3 裝載載重        | 2 - 80 |
| 12.3.1 概要        | 2 - 80 |
| 12.3.2 常時裝載載重    | 2 - 80 |
| 12.3.3 地震時裝載載重   | 2 - 81 |
| 12.3.4 不均佈裝載載重   | 2 - 81 |
| 12.4 活載重         | 2 - 82 |
| 12.4.1 概要        | 2 - 82 |
| 12.4.2 汽車、火車及拖車等 | 2 - 82 |
| 12.4.3 裝卸機械      | 2 - 82 |
| 12.4.4 群眾        | 2 - 82 |

## 第十三章 摩擦係數



### 第三章 碼頭之結構型式

|            |                |        |
|------------|----------------|--------|
| 圖 3-1.1(a) | 沉箱重力式碼頭斷面示意圖   | 6 - 10 |
| 圖 3-1.1(b) | L型塊重力式碼頭斷面示意圖  | 6 - 11 |
| 圖 3-1.1(c) | 方塊重力式碼頭斷面示意圖   | 6 - 12 |
| 圖 3-1.1(d) | 空心方塊重力式碼頭斷面示意圖 | 6 - 13 |
| 圖 3-1.2    | 板樁式碼頭斷面示意圖     | 6 - 14 |
| 圖 3-1.3(a) | 鋼板樁圓筒式碼頭斷面示意圖  | 6 - 15 |
| 圖 3-1.3(b) | 置放式鋼板圓筒碼頭斷面示意圖 | 6 - 16 |
| 圖 3-1.4(a) | 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖   | 6 - 17 |
| 圖 3-1.4(b) | 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖   | 6 - 18 |
| 圖 3-1.5    | 平版樁基式碼頭斷面示意圖   | 6 - 19 |
| 圖 3-1.6    | 直立消波式碼頭斷面示意圖   | 6 - 20 |
| 圖 3-1.7    | 自立式板樁碼頭斷面示意圖   | 6 - 21 |
| 圖 3-1.8    | 斜樁錨碇式板樁碼頭斷面示意圖 | 6 - 22 |
| 圖 3-1.9    | 前斜樁式板樁碼頭斷面示意圖  | 6 - 23 |
| 圖 3-1.10   | 雙重板樁式碼頭斷面示意圖   | 6 - 24 |
| 圖 3-1.11   | 圓柱式棧橋斷面示意圖     | 6 - 26 |
| 圖 3-1.12   | 橋墩式棧橋斷面示意圖     | 6 - 27 |
| 圖 3-1.13   | 離岸式碼頭斷面示意圖     | 6 - 28 |
| 圖 3-1.14   | 繫、靠船台斷面示意圖     | 6 - 29 |
| 圖 3-1.15   | 浮碼頭斷面示意圖       | 6 - 30 |
| 圖 3-1.16   | 繫船浮筒斷面示意圖      | 6 - 31 |

### 第四章 重力式碼頭

|         |                   |        |
|---------|-------------------|--------|
| 圖 4-1.1 | 重力式碼頭設計流程         | 6 - 33 |
| 圖 4-2.1 | 重力式碼頭之壁體範圍示意圖     | 6 - 35 |
| 圖 4-2.2 | 方塊式碼頭滑動檢討時壁體範圍示意圖 | 6 - 35 |
| 圖 4-2.3 | 方塊式碼頭傾覆檢討時壁體範圍示意圖 | 6 - 36 |
| 圖 4-2.4 | 重力式碼頭浮力作用範圍示意圖    | 6 - 37 |
| 圖 4-3.1 | 空心方塊壁面摩擦抵抗計算示意圖   | 6 - 42 |
| 圖 4-4.1 | 重力式碼頭背填石料形狀示意圖    | 6 - 44 |
| 圖 4-5.1 | 作用於上部結構之船舶衝擊力     | 6 - 47 |

## 第五章 板樁式碼頭

|         |  |        |
|---------|--|--------|
| 圖 5-1.1 | 板樁式碼頭設計流程                                | 6 - 49 |
| 圖 5-2.1 | 作用於板樁之土壓力及殘留水壓力                          | 6 - 50 |
| 圖 5-3.1 | 作用於板樁之外力                                 | 6 - 54 |
| 圖 5-6.1 | 錨碇版設置位置                                  | 6 - 59 |
| 圖 5-6.2 | 錨碇直樁設置位置                                 | 6 - 59 |
| 圖 5-6.3 | 錨碇斜組樁設置位置                                | 6 - 60 |
| 圖 5-6.4 | 作用於錨碇版之外力                                | 6 - 61 |
| 圖 5-6.5 | 版樁之主動土壤破壞面與錨碇版之被動土壤破壞面<br>在地表面下相交時之土壓分佈圖 | 6 - 63 |
| 圖 5-6.6 | 短錨碇板樁假想土壓分佈圖                             | 6 - 65 |
| 圖 5-7.1 | 作用於上部結構之船舶拉力                             | 6 - 68 |
| 圖 5-7.2 | 作用於上部結構之船舶衝擊力                            | 6 - 68 |
| 圖 5-7.3 | 板樁與拉桿及圍梁之連接示意圖                           | 6 - 69 |
| 圖 5-7.4 | 拉桿(tie rod)斷面示意圖                         | 6 - 70 |
| 圖 5-7.5 | 鋼索(tie wire)斷面示意圖                        | 6 - 70 |

## 第六章 圓筒式碼頭

|         |                     |         |
|---------|---------------------|---------|
| 圖 6-1.1 | 鋼板樁圓筒式碼頭設計流程        | 6 - 73  |
| 圖 6-1.2 | 作用於上部結構之外力          | 6 - 75  |
| 圖 6-1.3 | 作用於圓筒內填料地震力之震度分佈    | 6 - 76  |
| 圖 6-1.4 | 圓筒平面形狀及換算壁體寬度       | 6 - 77  |
| 圖 6-1.5 | 圓筒壁體剪力變形檢討應考慮外力及抵抗力 | 6 - 78  |
| 圖 6-1.6 | 圓筒壁體換算壁高            | 6 - 80  |
| 圖 6-1.7 | 作用於板樁入土部份之土壓力       | 6 - 82  |
| 圖 6-1.8 | T型板樁斷面示意圖           | 6 - 84  |
| 圖 6-1.9 | 平版結構設計示意圖           | 6 - 85  |
| 圖 6-2.1 | 置放式鋼板圓筒碼頭設計流程       | 6 - 86  |
| 圖 6-2.2 | 傾覆抵抗係數計算圖           | 6 - 91  |
| 圖 6-3.1 | 埋入式鋼板圓筒碼頭設計流程       | 6 - 95  |
| 圖 6-3.2 | 作用於埋入式鋼板圓筒之土壓       | 6 - 96  |
| 圖 6-3.3 | 作用於埋入式鋼板圓筒之外力分佈     | 6 - 98  |
| 圖 6-3.4 | 水平地盤反力分佈例           | 6 - 99  |
| 圖 6-3.5 | 埋入式鋼板圓筒變位示意圖        | 6 - 100 |
| 圖 6-3.6 | 圓筒與圓弧接頭結構斷面示意       | 6 - 103 |

## 第七章 棧橋式碼頭

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 圖 7-2.1 直樁棧橋式碼頭設計流程       | 6 -107 |
| 圖 7-2.2 裝載載重與活載重分佈示意圖     | 6 -110 |
| 圖 7-2.3 碼頭後線重力式擋土結構物位置示意圖 | 6 -112 |
| 圖 7-2.4 假想地表面示意圖          | 6 -112 |
| 圖 7-2.5 棧橋基樁配置及水平力作用點示意圖  | 6 -115 |
| 圖 7-2.6 基樁樁頭彎矩分佈示意圖       | 6 -117 |
| 圖 7-3.1 斜樁棧橋式碼頭設計流程       | 6 -121 |
| 圖 7-3.2 斜組樁中心線與各斜組樁距離示意圖  | 6 -123 |

## 第八章 平版樁基式碼頭

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 圖 8-1.1 平版樁基式碼頭設計流程          | 6 -128 |
| 圖 8-3.1 作用於平版樁基式碼頭板樁之土壓及殘留水壓 | 6 -129 |
| 圖 8-5.1 作用於平版之外力             | 6 -131 |
| 圖 8-5.2 平版結構設計示意圖            | 6 -133 |
| 圖 8-6.1 平版樁基式碼頭壁體示意圖         | 6 -135 |

## 第九章 其它型式碼頭

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 圖 9-1.1 直立消波式碼頭設計流程     | 6 -137 |
| 圖 9-2.1 自立式板樁碼頭設計流程     | 6 -139 |
| 圖 9-2.2 作用於自立式板樁碼頭板樁之外力 | 6 -139 |
| 圖 9-2.3 自立式板樁碼頭板樁頂端變位量  | 6 -141 |
| 圖 9-3.1 斜樁錨碇式板樁碼頭設計流程   | 6 -143 |
| 圖 9-4.1 前斜樁式板樁碼頭設計流程    | 6 -144 |
| 圖 9-5.1 雙重板樁式碼頭設計流程     | 6 -149 |
| 圖 9-9.1 繫、靠船台設計流程       | 6 -158 |
| 圖 9-10.1 浮碼頭設計流程        | 6 -162 |
| 圖 9-10.2 浮碼頭各部份名稱       | 6 -163 |

|                    |                      |        |
|--------------------|----------------------|--------|
| 圖 9-10.3           | 浮箱各部份名稱 -----        | 6 -163 |
| 圖 9-10.4           | 浮箱承受偏心載重時之穩定計算 ----- | 6 -168 |
| 圖 9-10.5           | 浮碼頭錨鏈設計示意圖 -----     | 6 -172 |
| 圖 9-10.6           | 浮碼頭錨錠混凝土方塊設計例 -----  | 6 -176 |
| 圖 9-10.7           | 連絡橋調節塔結構示意圖 -----    | 6 -179 |
| 圖 9-11.1           | 繫船浮筒型式示意圖 -----      | 6 -179 |
| 圖 9-11.2           | 繫船浮筒設計流程 -----       | 6 -180 |
|                    |                      |        |
| <b>第十一章 附屬設施</b>   |                      |        |
| 圖 11-3.1           | 防舷材設計流程 -----        | 6 -188 |
|                    |                      |        |
| <b>第十二章 曳船道</b>    |                      |        |
| 圖 12-1.1           | 曳船道斷面示意圖 -----       | 6 -193 |
|                    |                      |        |
| <b>第十四章 裝卸機械基礎</b> |                      |        |
| 圖 14-1.1           | 裝卸機械基礎設計流程 -----     | 6 -202 |

## 第二篇 設計條件

### 第二章 船舶

|         |             |       |     |    |
|---------|-------------|-------|-----|----|
| 表 2-1.1 | 大型船舶尺寸參考表   | ----- | 2 - | 6  |
| 表 2-1.2 | 小型船舶尺寸參考表   | ----- | 2 - | 7  |
| 表 2-2.1 | 船舶作用於繫船柱之拉力 | ----- | 2 - | 16 |

### 第三章 風及風力

|         |            |       |     |    |
|---------|------------|-------|-----|----|
| 表 3-1.1 | 梯度風與海面風之關係 | ----- | 2 - | 19 |
|---------|------------|-------|-----|----|

### 第八章 地質

|         |                            |       |     |    |
|---------|----------------------------|-------|-----|----|
| 表 8-1.1 | 土壤統一分類表                    | ----- | 2 - | 33 |
| 表 8-4.1 | 地質調查分類                     | ----- | 2 - | 42 |
| 表 8-4.2 | 以調查目的為區分之調查方法及調查內容         | ----- | 2 - | 46 |
| 表 8-5.1 | 砂質土之N值與 $D_r$ , $\phi$ 之關係 | ----- | 2 - | 48 |
| 表 8-5.2 | 砂質土之N值與 $\phi$ 之關係         | ----- | 2 - | 48 |

### 第九章 地震及地震力

|         |           |       |     |    |
|---------|-----------|-------|-----|----|
| 表 9-3.1 | 台灣地區震度分區表 | ----- | 2 - | 51 |
| 表 9-3.2 | 地盤分類係數    | ----- | 2 - | 52 |
| 表 9-3.3 | 地盤分類表     | ----- | 2 - | 52 |

### 第十章 砂質土壤之液化

|          |                       |       |     |    |
|----------|-----------------------|-------|-----|----|
| 表 10-2.1 | 依據粒徑與 N 值進行土層液化之預測及判定 | ----- | 2 - | 60 |
|----------|-----------------------|-------|-----|----|

### 第十一章 土壓及水壓

|          |         |       |     |    |
|----------|---------|-------|-----|----|
| 表 11-1.1 | 土壓係數參考值 | ----- | 2 - | 67 |
|----------|---------|-------|-----|----|

### 第十二章 載重

|          |           |       |     |    |
|----------|-----------|-------|-----|----|
| 表 12-2.1 | 材料之單位體積重量 | ----- | 2 - | 81 |
|----------|-----------|-------|-----|----|

### 第十三章 摩擦係數

|          |        |       |     |    |
|----------|--------|-------|-----|----|
| 表 13-1.1 | 靜止摩擦係數 | ----- | 2 - | 83 |
|----------|--------|-------|-----|----|

第三篇 工程材料

第二章 鋼鐵材料

|         |                     |        |
|---------|---------------------|--------|
| 表 2-1.1 | 中國國家標準鋼鐵材料          | 3 - 3  |
| 表 2-3.1 | 結構用鋼鐵材料容許應力         | 3 - 4  |
| 表 2-3.2 | 鋼樁、鋼管板樁容許應力         | 3 - 6  |
| 表 2-3.3 | 鋼板樁容許應力             | 3 - 7  |
| 表 2-3.4 | 鋼板樁與結構用鋼鐵材料之容許應力之比較 | 3 - 7  |
| 表 2-3.5 | 焊接部位容許應力            | 3 - 8  |
| 表 2-3.6 | 鉚釘容許應力              | 3 - 8  |
| 表 2-3.7 | 鉚釘容許拉應力             | 3 - 9  |
| 表 2-3.8 | 鋼板樁以鉚釘接合時鉚釘之容許應力    | 3 - 9  |
| 表 2-3.9 | 容許應力之提高係數           | 3 - 9  |
| 表 2-4.1 | 鋼材單面鏽蝕速度            | 3 - 12 |
| 表 2-4.2 | 陰極防蝕工法之防蝕率          | 3 - 14 |

第三章 混凝土

|         |              |        |
|---------|--------------|--------|
| 表 3-2.1 | 鋼筋保護層厚度      | 3 - 21 |
| 表 3-2.2 | 鋼筋混凝土容許裂痕寬度  | 3 - 22 |
| 表 3-7.1 | 混凝土容許應力      | 3 - 28 |
| 表 3-7.2 | 鋼筋混凝土中鋼筋容許應力 | 3 - 29 |
| 表 3-7.3 | 容許應力之提高係數    | 3 - 30 |

第四章 石料

|         |          |        |
|---------|----------|--------|
| 表 4-3.1 | 背填料設計參考值 | 3 - 32 |
|---------|----------|--------|

第四篇 基礎

第二章 淺基礎承载力

|         |              |        |
|---------|--------------|--------|
| 表 2-2.1 | 基礎形狀係數       | 4 - 3  |
| 表 2-5.1 | Bishop法之安全係數 | 4 - 10 |

第三章 深基礎承载力

|         |          |        |
|---------|----------|--------|
| 表 3-2.1 | 黏性土平均黏著力 | 4 - 20 |
|---------|----------|--------|

## 第四章 樁基礎承載力

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 表 4-2.1 標準軸向容許承載力安全係數        | 4 - 22 |
| 表 4-3.1 標準軸向容許拉拔力安全係數        | 4 - 28 |
| 表 4-4.1 基準樁特性                | 4 - 37 |
| 表 4-4.2(a) 基準曲線(S型地盤, 樁頭自由樁) | 4 - 38 |
| 表 4-4.2(b) 基準曲線(S型地盤、樁頭固定樁)  | 4 - 39 |
| 表 4-4.2(c) 基準曲線(C型地盤, 樁頭自由樁) | 4 - 40 |
| 表 4-4.2(d) 基準曲線(C型地盤、樁頭固定樁)  | 4 - 41 |
| 表 4-4.3 群樁基樁之間距              | 4 - 52 |
| 表 4-5.1 樁材容許應力               | 4 - 55 |

## 第六篇 碼頭工程

### 第二章 碼頭相關事項

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 表 2-1.1 大型船舶碼頭尺寸參考表    | 6 - 4 |
| 表 2-1.2 小型船舶碼頭尺寸參考表    | 6 - 5 |
| 表 2-2.1 碼頭面高程參考值       | 6 - 6 |
| 表 2-2.2 臺灣主要港口碼頭面高程參考值 | 6 - 6 |

### 第三章 碼頭之結構型式

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 表 3-1.1 碼頭結構斷面基本型式分類 | 6 - 8 |
|----------------------|-------|

### 第十一章 附屬設施

|                  |        |
|------------------|--------|
| 表 11-2.1 曲柱配置參考表 | 6 -186 |
|------------------|--------|

### 第十三章 岸肩

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 表 13-2.1 岸肩寬度參考值    | 6 -197 |
| 表 13-3.1 岸肩作業機械載重條件 | 6 -199 |

### 第十五章 碼頭維護與管理

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 表 15-2.1 重力式碼頭定期檢測項目參考表 | 6 -205 |
| 表 15-3.1 板樁碼頭定期檢測項目參考表  | 6 -206 |
| 表 15-4.1 棧橋式碼頭定期檢測項目參考表 | 6 -208 |

第七篇 專門碼頭

第一章 貨櫃碼頭

表 1.2-1 貨櫃輪碼頭長度及水深參考表 ----- 7 - 3

第二章 渡輪碼頭

表 2-2.1 渡輪碼頭長度及水深參考表 ----- 7 - 9

表 2-2.2 小型渡輪碼頭長度及水深參考表 ----- 7 - 9

表 2-3.1 車輛上下船設施車道寬度參考表 ----- 7 - 11



港灣結構物設計基準研究  
碼頭設計基準研訂

基 準 草 案

# 第一篇 通 則

# 第一篇 通 則

本基準研訂之目的，係訂定碼頭工程之設計基準及程序，作為設計單位規劃設計之參考，及業主審核之依據。

本基準，於可能之範圍內考慮各種設計條件，但制定包含所有設計條件之基準，幾乎為不可能，因此本基準僅能制定一般條件之基準，因之設計者於進行設計時，須充分了解基準內容及碼頭設計條件，詳加檢討後再行設計。

同時，海岸地區狀況複雜，制定單一之設計基準亦為不可能之事，故亦有數種現行通用之設計標準或公式並列之情形，設計者若採用其一時，須確實瞭解各標準與公式之適用性及限制條件，或者數種標準及公式並用，以為比較，並取其安全性較佳者，以確保碼頭結構安全。

此外，本基準之制定，乃為減輕設計者之負擔，增進設計效率，以達到設計合理化為目標，唯設計者不可過份依賴既設之基準，而忽視新技術之開發與創造。設計者如引用新穎之設計公式、設計方法、新型結構物型式…等本基準未制訂之新技術時，應說明其所用新技術之來源及其相關參考文獻，如為一全新之技術時，則應驗證其可靠性。

本基準中註明引用其他技術規則，如建築技術規則、中國國家標準…等，使用時應查明該引用資料是否有更新。

## 第二篇 設計條件

# 第一章 概論

## 1.1 設計條件

港灣結構物之設計條件，應依該結構物之特性及結構物所處之狀況，就下列設計條件項目中，選定設計應考量之項目。對所選定之設計條件項目，應再考量自然條件、該結構物之利用狀況，該結構物之施工條件，結構特性，社會對該結構物之需求等因素，以訂定該結構物之設計條件。

- 船舶尺寸
- 船舶所產生之外力
- 風及風力等
- 波浪及波力
- 潮位及暴潮位
- 水流及水流力
- 作用於浮體之外力及其搖動
- 地質
- 地震及地震力
- 土壓
- 水壓
- 自重
- 上載載重
- 摩擦係數
- 其他必要之設計條件

## 1.2 影響設計因素

於設計港灣結構物時，應考慮下列因素。

- 結構物功能
- 結構物重要性
- 使用年限
- 自然條件

- 載重
- 材料
- 安全係數
- 施工方法
- 施工精度
- 工期
- 工程費
- 維護費

## 第二章 船舶

### 2.1 船舶尺寸

計畫進港或靠泊船舶之尺寸應適切研定，以確保港口及港口設施能適用於該等船舶。

### 2.2 船舶所產生之外力

船舶於靠岸時或繫泊時，作用於繫泊設施（碼頭或繫泊浮筒等）之外力，應考量計畫靠泊船舶尺寸（總噸、船長、船寬、船深、吃水等）、靠岸方法及靠岸速度、繫泊設施結構、繫泊方法、及繫泊系統性質等，並就風、波、水流等之影響，採用適宜之方法計算之。

## 第三章 風及風力

### 3.1 風

用於推算暴潮及波浪之風速及風向，參考實測資料及修正之梯度風估算之。

計算作用於結構物及船舶風力所採用之設計風速，原則以長期實測資料統計而得。

## 3.2 風力

台灣地區風力計算，可參考「建築技術規則」建築構造篇第一章第四節風力相關規定辦理。

# 第四章 波力

## 4.1 概要

作用於結構物之波力，應考慮結構物型式、海底地形、水深以及波浪等各因素，以水工模型試驗或經驗公式計算之。

## 4.2 設計波

港灣工程所用之設計波，應依實測資料或波浪推算結果，採適當之統計分析過程，並考慮波浪於淺水域之變形。

## 4.3 作用於海中結構物之波力

作用於海中結構物之波力，須依結構物型式，採用適合之計算式，必要時應以模型試驗加以檢討。

# 第五章 潮位及暴潮位

## 5.1 概要

港灣工程所用之設計潮位，應依實測資料或估算之天文潮位及颱風暴潮，採適當之統計分析過程決定之。

## 5.2 設計潮位

設計潮位應選擇對結構物最危險潮位為原則，依各種結構型式而有所不同。

## 5.3 天文潮

設計用天文潮位主要為下列各項，其至少應以一年實測資料分析而得。

- 平均海平面(M.W.L.)
- 基本水準面(C.D.L.)
- 朔望平均高潮位(H.W.L.)或大潮平均高潮位(H.W.O.S.T.)
- 朔望平均低潮位(L.W.L.)或大潮平均低潮位(L.W.O.S.T.)
- 最高高潮位(H.H.W.L.)
- 最低低潮位(L.L.W.L.)

## 5.4 颱風暴潮位

因颱風而造成之暴潮水位，原則上應以長期潮位觀測記錄統計而得，或以颱風資料，採電腦數值模式推算之。

# 第六章 水流及水流力

## 6.1 概要

港灣工程設計上所須之水流流速、流向資料，以實測資料或數值推算為原則。

## 6.2 作用於水中結構物之水流力

由於水流之加速度甚小，故作用於水中孤立柱狀構件之水流力，可採用僅考慮拖曳力之公式計算。必要時應以模型試驗加以檢討。



# 第七章 作用於浮體之外力及其搖動

## 7.1 概要

浮體設計，應充分考量因風、流、波浪等外力作用所致之搖動量及繫留力。

## 7.2 作用於浮體之外力

作用於浮體之外力，除風、流、波浪等外，尚有起因於浮體自身搖動所致之外力，及因繫留設施拘束浮體運動所致之繫留力等。對於此些外力，應採適宜之分析法或模型實驗估算之。

## 7.3 浮體之搖動及繫留力

浮體之搖動及繫留力，應充分考量浮體形狀、作用外力，及繫留系統特性等，採適當分析法或模型實驗估算之。

# 第八章 地質

## 8.1 土壤物理性質

### 8.1.1 土壤單位體積重量

土壤單位體積重量，不論粘性土或砂質土皆應從現場採取土樣，於試驗室測定之。

### 8.1.2 土壤分類

於本基準中，土壤分類法原則上採用統一土壤分類法。

### 8.1.3 土壤透水係數

土壤透水係數可採適合計算式，以室內透水試驗或現場透水試驗估算之。

## 8.2 土壤力學性質

### 8.2.1 彈性常數(Elastic Constants)

假設土壤為彈性體進行分析時，其彈性常數一般以變形模數 (Modulus of Deformation)及波森比(Poisson's Ratio)表示。

### 8.2.2 壓密特性

用於預測及估算黏土壓密現象之相關性質參數，以試驗室求取為原則。

### 8.2.3 土壤之剪力特性

砂質土壤及黏性土壤，應依其土壤剪力行為特性及排水狀況，採用適合之計算式，分別計算其剪力強度。

## 8.3 土壤動態性質

### 8.3.1 動態變形參數

進行地震反應分析時，應適宜地設定土壤之動態變形參數。

### 8.3.2 動態強度特性

土壤承受動態外力時，其動態強度特性以試驗決定為原則，試驗時須適當設定外力特性及地盤狀況。

## 8.4 基地調查

### 8.4.1 調查要求

設計時所須地質條件，應以地質調查及試驗決定為原則。

### 8.4.2 調查方法之選擇

地質調查方法之選擇，原則上依結構物型式、規模、重要性、附近地質狀況，及調查範圍、所須費用等，依設計目的決定最適宜之方法。

## 8.5 N 值

測定N值，應以標準貫入試驗(Standard Penetration Test)方法辦理。

## 第九章 地震及地震力

### 9.1 概要

港灣結構物須具有適當之耐震性，於設計時應考慮地震之影響。港灣結構物之耐震性設計，除特別規定外，以採用本章中所述之震度法為原則。

### 9.2 震度法

對固有振動週期短、減衰大之結構物而言，作用於其上之地震力，可採震度法計算，即作用於結構物重心之水平地震力為自重與設計震度之乘積。

### 9.3 設計震度

設計震度須依地區、地層及結構物之重要性，依下式計算。

設計震度 = 地區震度 × 地盤分類係數 × 重要度係數

### 9.4 換算震度

對水中土壤之震度，應使用換算震度。

## 第十章 砂質土壤之液化

### 10.1 概要

飽和鬆散之砂質土壤，於地震力作用時，可能呈現液化狀態，致使構築其上之結構物遭受破壞，因之於結構物設計及施工時，須考量基礎地盤發生液化現象之潛能。

## 10.2 土壤液化預測及判定

結構物基礎地盤之液化潛能，應基於地質調查結果，採經驗法則或試驗預測及判定之。

# 第十一章 土壓及水壓

## 11.1 土壓

作用於結構物之主動、被動土壓，應依砂質土、粘性土等土質、結構物型式，結構物於常時、地震時之行爲，分別計算之。

## 11.2 水壓

作用於結構物之水壓，須考慮殘留水壓及地震時之動水壓。

# 第十二章 載重

## 12.1 概要

於設計港灣結構物時，應視須要考慮結構物自重、上載載重(Surcharge)等。

## 12.2 自重

自重可依材料體積及單位體積重量計算之。

## 12.3 裝載載重

裝載載重包含碼頭、通棧、倉庫等裝載之散雜貨等重量。裝載載重應依須要分別檢討常時、地震時及不均佈載重等狀況。

## 12.4 活載重

活載重包含汽車、火車、施工機具、裝卸機具、及群眾等動態載重。對載重所引起之衝擊載重、煞車載重、開車起動載重及離心載重等均不加以考慮。

# 第十三章 摩擦係數

結構物滑動安定計算，應依結構物及基礎材質，採用適宜之摩擦係數。

### 第三篇 工程材料

# 第一章 通則

本基準中碼頭結構物及基礎所使用之材料，須考慮作用之外力、使用年限、結構型式、施工性及經濟性等，依本篇相關章節規定予以適當的選定。

## 第二章 鋼鐵材料

### 2.1 鋼鐵材料之規格及性質

國內生產之鋼鐵材料，已制訂有中國國家標準者，其規格及性質依中國國家標準規定為準。非屬中國國家標準之鋼材，國內已能生產製造者，須經公立檢驗機關或主管機關認可之單位，就其所定之尺度標準、化學成份、物理性質及公差等，依中國國家標準 CNS 2608[鋼料之檢驗通則]，不足時輔以國際通行之檢驗規則(如美國 ASTM)，檢驗合格始得應用。鋼鐵材料，由國外進口者，應符合原產製國之國家標準，進口時應具備原製造廠家之品質證明書，必要時須經公立檢驗機關或主管機關認可之單位，依中國國家標準 CNS 2608[鋼料之檢驗通則]，不足時輔以國際通行檢驗規則(如美國 ASTM)，檢驗合格始得應用。

### 2.2 鋼鐵材料設計用常數

鋼材及鑄鐵之常數，可參考下列數值。下列數值為適用於一般鋼材及鑄鐵的數值。

- 鋼材(鋼及鑄鋼)

彈性模數  $E$  :  $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

剪力彈性模數  $G$  :  $8.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

溫度伸縮係數  $\alpha$  :  $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

- 鑄鐵

彈性模數  $E$  :  $1.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

剪力彈性模數  $G$  :  $3.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

## 2.3 容許應力

鋼鐵材料之容許應力，除考量材料特性外，尚應考量下列各因素後決定之。

- 設計理論與實際結構之不同。
- 結構物施工期間與完工後載重條件之不同。
- 有發生疲勞與腐蝕現象之材料其歷年變化。
- 設計載重與實際載重之不同。
- 發生破壞時之狀況。
- 結構物之重要性。
- 維護、修護及補強之難易。
- 對無法預料載重之安全性。

## 2.4 防蝕

由於港灣結構物所處之環境，其對鋼材之鏽蝕條件，一般均較為嚴重，故於設計時，對鋼材之鏽蝕及防蝕應予注意，特別是平均低潮位下方之局部集中鏽蝕，更應特別注意。

# 第三章 混凝土

## 3.1 概要

本章為混凝土，或混凝土配以鋼筋或鋼材結構物之技術標準，作為設計與施工之參考。

## 3.2 耐久性

混凝土之耐久性係指抗氣象作用、海水化學及物理作用、波浪衝擊、漂流物衝擊磨損、鋼筋鏽蝕、骨材有害之鹼性反應及其他各種有害侵蝕作用等性質而言。



### 3.3 材料

混凝土所用材料，須考量混凝土所須之強度及耐久性，以經濟容易取得為原則。

### 3.4 混凝土品質

混凝土品質視結構物種類、環境條件、各部份材料斷面、須具有耐久性及適合於作業之施工性等而定。

### 3.5 水中混凝土

水中混凝土品質以達到本章3.4節[混凝土品質]之要求為原則。

### 3.6 預力混凝土

預力混凝土設計依中華民國內政部營建署「建築技術規則」建築構造篇第六章第七節第五小節[預力構材]相關規定辦理。

### 3.7 容許應力

混凝土及鋼筋混凝土容許應力，應基於混凝土設計強度  $f_c'$ ，考量結構物特性、使用目的、結構尺寸、使用材料及混凝土品質…等因素決定之。

### 3.8 混凝土結構維護管理

為維護混凝土結構於使用年限內之功能，應依需要進行混凝土劣化狀況檢查，以供混凝土結構維護管理之需。

## 第四章 石料

### 4.1 概要

於港灣工程相關結構物，一般均須使用大量石料，因石料之選定，影響結構物安全及工程費至巨，故須充分之考慮並審慎行事。

## 4.2 拋石料

碼頭基礎所採用之拋石料，其石質須密實、堅硬，其強度與耐久性  
久性

良好，不得含有風化石質及細長或扁平之石料，石料外形應力求接近立方體。火成岩如花崗石、閃綠岩、玄武岩及斑岩等應優先考慮使用。

## 4.3 背填料

為減低背填之土壓力時，背填料以選用內摩擦角大而比重小之石料  
為原則。

## 第四篇 基礎

# 第一章 概要

設計港灣工程相關設施時，應充分考量結構物之重要性，及基礎地盤之地質條件，慎重選擇基礎型式。

## 第二章 淺基礎承載力

所謂淺基礎，係指基礎之設置深度，小於基礎之最小寬度。淺基礎於計算垂直承載力時，可不考慮基礎之側面摩擦抵抗。

淺基礎承載力，應依基礎地盤為砂質土或黏性土，採用適宜之公式、圖表計算承載力。

## 第三章 深基礎承載力

所謂深基礎，係指基礎之設置深度，大於基礎之最小寬度。深基礎之垂直承載力，為基礎底面之垂直承載力與基礎側面之摩擦抵抗之和。

深基礎承載力，應依基礎地盤為砂質土或黏性土，採用適宜之公式、圖表計算承載力。

## 第四章 樁基礎承載力

### 4.1 概要

樁基礎承載力，應依基礎地盤條件，採用適宜之公式、圖表計算承載力。

- 樁之軸向容許承载力
- 樁之容許拉拔力
- 樁之橫向容許承载力

## 4.2 樁之軸向容許承载力

基樁軸向容許承载力，依單樁軸向極限承载力除以規定安全係數求得之值為標準，再綜合考量下列各項因素決定之。

- 樁材容許壓應力
- 接樁折減
- 細長比折減
- 表面負摩擦力
- 群樁效果(基樁間距大小之影響)
- 基樁沉陷量

## 4.3 樁之軸向容許拉拔力

基樁軸向容許拉拔力，依單樁最大軸向拉拔力除以規定安全係數求得之值為標準，並考量下列各項因素決定之。

- 樁材之容許抗拉強度
- 接樁之影響
- 群樁效果
- 基樁之拔出量

## 4.4 樁之橫向容許承载力

### 4.4.1 概要

單樁之橫向容許承载力，應依其承受橫向力時之行爲研判推算。

### 4.4.2 基樁行爲推定

單樁承受橫向力時之行爲，可依下列方法推定，並以組合下列方法綜合研判為佳。

- 以載重試驗推定
- 以分析方法推定
- 以既有資料推定

#### 4.4.3 以橫向載重試驗推定單樁行爲

單樁承受橫向外力時之行爲，以載重試驗推定時，須充分考量實際結構物基樁及載重，與載重試驗所用樁及載重條件之差異。

#### 4.4.4 以分析方法推定單樁行爲

以分析方法研判單樁承受橫向力時之行爲，以採用日本港灣研究所之方法爲標準。

### 4.5 設計概要

#### 4.5.1 設計原則

垂直載重原則上僅由樁承受，而不能期待與樁頭基座底面相接之地層承載。水平載重原則上亦僅由樁承受，但樁頭基座側面土壓如能可靠抵抗時，亦可考量此土壓抵抗。

#### 4.5.2 載重分配

於同一樁基礎上，作用於各樁之垂直載重及水平載重，應儘可能使其具有相同之值，而決定基樁之配置。

#### 4.5.3 樁材容許應力

樁材容許應力，依其所使用材料及製造方法等決定之。

### 4.6 細部設計

#### 4.6.1 施工時載重檢討

樁之設計不僅考慮完工後之載重，運送、豎立、錘擊時之載重均應加以檢討。

#### 4.6.2 樁頭與上部結構連結設計

樁頭與上部結構連結部份，須考慮各種條件所致之應力設計之。

#### 4.6.3 接樁

基樁續接位置以設置於斷面有餘裕處，且受腐蝕影響較少之處為佳。接頭強度須大於接頭位置處之設計應力，且不小於樁體強度之75%。

#### 4.6.4 樁端

基樁樁端結構，應視地質條件及施工方法而定。

## 第五章 基礎沉陷

### 5.1 土壤垂直內應力

土壤一般不能視為彈性體，但其容許承载力採用十分保守之安全係數（大於 2.0）時，可假設土壤承受載重時之變形行為為近似彈性體，求得合理之近似解。估算土壤因載重所致之垂直內應力之彈性解析法，以 Boussinesq 氏之方法為主，假設土壤為等向均質半無限彈性體，表面承受垂直集中載重為基本條件，由其積分，求得線載重 (Line Load) 及面載重 (Plane Load) 之土壤垂直內應力。

### 5.2 即時沉陷

即時沉陷係由於地層承受載重產生剪力變形所引起之沉陷，於載重施加之同時發生。因之，即時沉陷主要發生於砂性地層或具有適當強度之黏性土壤地層。

即時沉陷係將土壤視為彈性體估計而得。至於壓密沉陷則係由於黏性土壤地層承受載重導致黏性土層產生超額孔隙水壓，該孔隙水壓隨時間而逐漸消散，所引起之沉陷。一般黏性土壤地層之即時沉陷量遠較壓密沉陷量為小。

## 5.3 壓密沉陷

壓密沉陷為黏性土壤地層於承受載重後，土壤產生超額孔隙水壓，經長期間該超額孔隙水壓逐漸消散所產生之沉陷。於砂性地層則不致產生超額孔隙水壓，故並無後續之長期間壓密沉陷量發生。壓密沉陷之持續時間依黏土之性質、排水路徑長短及黏土地層之厚度等因素而定，常有持續十年以上者。

# 第六章 斜面之安定

## 6.1 概要

因自重或上載載重所致斜面滑動破壞之安定性分析，建議假設滑動面為圓弧形或直線，以二次元問題分析為原則。此項斜面安定分析，應於斜面安定性最低狀況下進行。

## 6.2 斜面安定分析法

斜面安定分析，應依土壤性質及所假設之滑動面型式，採適宜之方法分析之。



## 第五篇 預鑄混凝土

# 第一章 沉箱

## 1.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般沉箱。

## 1.2 尺寸之決定

在決定沉箱各部份形狀及尺寸時，應考量下列各項因素：

- 沉箱製作設備之能力
- 沉箱製作時，作業上所須要之結構最小尺寸。
- 沉箱吃水與安放位置水深及拋石基礎頂高度之關係。
- 自立浮遊沉箱之浮遊安定。
- 拖航及安放作業條件，如：流、波浪、風等。
- 沉箱安放後之作業條件，如：填充及上部結構施工等。
- 不均勻沉陷問題。
- 碼頭沉箱應考量其上部結構、後線設施及車輛、起重機、貨物等相關事項。

## 1.3 浮遊安定

為使沉箱自立浮遊時不致有傾覆或傾斜，應依壓艙之有無及壓艙物種類，進行安定計算。

## 1.4 設計外力

設計沉箱應考量之外力如下。

- 短期載重
- 製作時外力
- 下水及浮遊時外力
- 拖航時外力
- 安放時外力
- 完成後外力

## 1.5 結構設計

沉箱外牆、隔牆、底版等，可視為平版，以 1.4節[設計外力]所述外力為載重設計之。

# 第二章 L型塊

## 2.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般L型塊。

## 2.2 尺寸之決定

於決定L型塊各構件形狀及尺寸時，應考慮下列各項因素：

- L型塊製作設備能力
- 起重機施吊能力
- 壁體設計水深
- 潮差
- 上部結構施工高程

## 2.3 作用於結構體載重

作用於L型塊各構件之載重，不論是常時或地震時，均應考慮下列各項。

### 1. 前牆

- 上載載重及背填石料或砂土之土壓
- 殘留水壓

### 2. 基腳

- 底面反力
- 基腳自重

### 3. 底版

- 上載載重
- 背填料重量
- 底版自重
- 底面反力

### 4. 扶壁

- 前牆之支承反力
- 底版之支承反力
- 作用於扶壁背面之土壓及殘留水壓

施工時應另考慮下列載重

- 起吊載重
- 扶起載重

## 2.4 結構設計

L型塊之前牆、基腳、底版、扶壁、施吊部位，依其結構型式，以2.3節[作用於結構體載重]所述外力為載重設計之。

# 第三章 空心方塊

## 3.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般空心方塊。

## 3.2 尺寸之決定

於決定空心方塊各構件形狀及尺寸時，應考慮下列各項因素：

- 空心方塊製作設備能力
- 起重機施吊能力

- 壁體設計水深
- 潮差
- 上部結構施工高程
- 分層方塊堆積之整體性

### 3.3 作用於結構體載重

作用於空心方塊各構件之載重，不論是常時或地震時，均應考慮下列各項。

- 內填料土壓
- 殘留水壓
- 自重
- 上部結構重量
- 上載載重
- 底面反力
- 施工時載重
- 波力

### 3.4 結構設計

空心方塊之前牆、後牆、側牆、隔牆、基腳、底版、施吊部位等，依其結構型式，以 3.3 節[作用於結構體載重]所述外力為載重設計之。

## 第四章 方塊

### 4.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般使用於重力式壁體或護基等之方塊。

## 4.2 方塊接合部之形狀及尺寸

重力式壁體所使用之方塊，方塊頂面與底面建議作成凹凸形楔榫，以增加方塊互相接合的整體性並防止方塊滑動。

## 4.3 施吊部份設計

以能安全施工為原則，設計方塊吊點配置及吊筋。

## 第六篇 碼頭工程

# 第一章 概說

## 1.1 概要

碼頭係為提供船舶安全靠離岸、順利裝卸貨物及旅客上下船之設施，其規模、配置、種類、結構等均依此原則而決定。

## 1.2 碼頭規模

碼頭之規模須掌握使用該港之客貨數量、種類、載貨狀況及水陸運輸狀況，並充分考慮將來運量之增加、船舶之大型化等因素而決定。

## 1.3 碼頭佈置

碼頭之佈置須考慮氣象、海象、地形、地質等，使船舶易於靠離碼頭，並考量陸上運輸、背後土地利用等之相互關係而決定之。

## 1.4 碼頭結構

碼頭結構型式選擇，須考量自然條件、使用條件等因素，就各種結構型式特性，選擇適宜之碼頭結構型式。

# 第二章 碼頭相關事項

## 2.1 船席長度與水深

碼頭船席計畫長度及水深，應考慮計畫靠泊船型之長度及吃水，以船舶能安全且順利靠泊及裝卸為原則。

## 2.2 碼頭面高程

碼頭面高程，應綜合考量計畫靠泊船型、該地之潮差、暴潮位、波浪、工程費及地盤下陷等因素，以貨物能順利裝卸，同時可避免碼頭設施受災為原則，而慎重決定之。



## 2.3 碼頭前趾界限

碼頭海側之壁面及前趾之形狀，以船舶靠岸及停泊時不碰撞為原則。

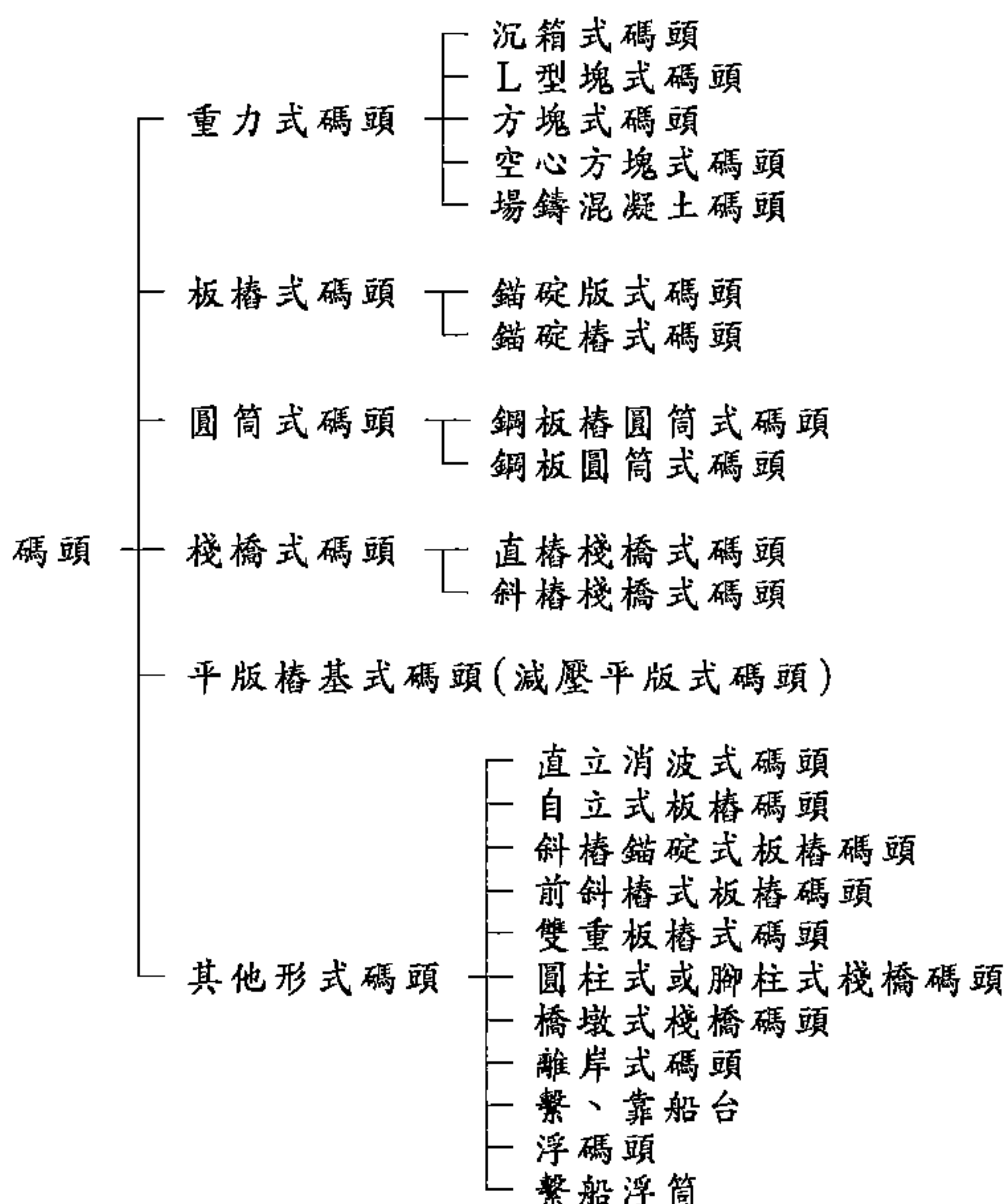
## 2.4 設計水深

設計水深應依碼頭之計畫水深，考慮碼頭的結構型式、現地之水深、施工方法、施工精度，及碼頭前方之沖刷淤積狀況等因素後決定之。

# 第三章 碼頭之結構型式

## 3.1 結構斷面基本型式

碼頭結構斷面依其結構型式分類如下所示。



## 2.3 碼頭前趾界限

碼頭海側之壁面及前趾之形狀，以船舶靠岸及停泊時不碰撞為原則。

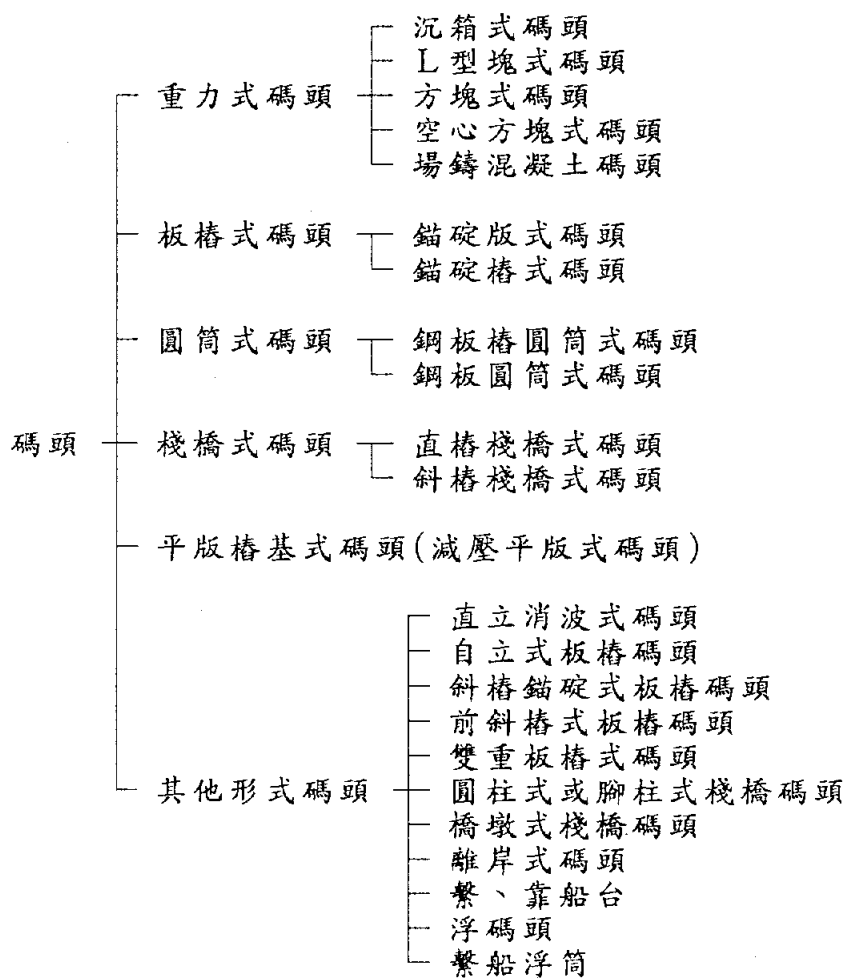
## 2.4 設計水深

設計水深應依碼頭之計畫水深，考慮碼頭的結構型式、現地之水深、施工方法、施工精度，及碼頭前方之沖刷淤積狀況等因素後決定之。

# 第三章 碼頭之結構型式

## 3.1 結構斷面基本型式

碼頭結構斷面依其結構型式分類如下所示。



## 4.3 安定計算

重力式碼頭之安定計算，應檢討下列各項：

- 壁體滑動
- 壁體傾覆
- 基礎承载力
- 圓弧滑動及沉陷

## 4.4 背填石料之土壓減輕效果

重力式碼頭若採用良質的石塊、碎石或礫石作為背填料時，可減小作用於碼頭壁體之土壓強度。

## 4.5 細部設計

### 4.5.1 概要

重力式碼頭之細部設計，主要為下列各項：

- 壁體
- 背填
- 防止漏沙設施
- 方塊接合部之形狀及尺寸
- 上部結構
- 附屬設施
- 其他

### 4.5.2 壁體

壁體為構成重力式碼頭之主要部份，故須有充分之強度，以抵抗外力作用，壁體除採用場鑄混凝土外，一般設計均採用預鑄混凝土，如方塊、沉箱、L型方塊…等，預鑄混凝土設計，請詳第五篇[預鑄混凝土]。

### 4.5.3 背填及防止漏沙設施

重力式碼頭若採用良質的石塊、碎石或礫石作為背填石料時，可減小作用於碼頭壁體之土壓強度。背填石料宜採用形狀相互配合之級配石料以增加其效果，易於風化之石料則不可作為背填石料。

### 4.5.4 方塊接合部之形狀及尺寸

為增加方塊互相接合的整體性及防止方塊滑動，方塊頂面與底面通常作成凹凸形楔樁，其設計請參考第五篇第四章[方塊]。

### 4.5.5 上部結構

於設計上部結構時，應考量各種附屬設施之安裝，必要時應預埋安裝附屬設施之基座。於進行上部結構設計時，須考慮作用於繫船柱、防舷材等的作用力。於進行結構安定檢討時，船舶之拉力及衝擊力可視為異常狀況處理。

### 4.5.6 附屬設施

重力式碼頭附屬設施主要為下列各項，附屬設施依本篇第十一章[附屬設施]規定設計。

- 防舷材
- 繫船柱
- 輪檔
- 給、排水設施
- 階梯、爬梯等
- 其他

## 第五章 板樁式碼頭

### 5.1 設計原則

本章所述設計法，適用打設於砂質地層或硬粘土地層，具錨錠設施之鋼板樁碼頭。

## 5.2 作用於板樁之外力

作用於板樁碼頭之外力，須考慮下列各項：

- 土壓力：板樁岸側之主動土壓力

板樁入土部份海側之被動土壓力

- 殘留水壓力
- 船舶拉力
- 船舶衝擊力

## 5.3 板樁設計

板樁斷面，依計算之最大彎矩，求得板樁應力應小於材料之容許應力。

拉桿裝設位置，應考量工程費及施工難易等而定。

## 5.4 拉桿設計

拉桿斷面，依計算之拉力，求得拉桿應力應小於材料之容許應力。

## 5.5 圍梁設計

圍梁(Wale)斷面，依計算之最大彎矩，求得圍梁應力應小於材料之容許應力。

## 5.6 錨碇設施設計

選擇錨碇設施型式時，應考慮各種錨碇型式特性，並比較相關條件後決定之。

錨碇設施設置位置及設計，依所採用之錨碇設施型式，採適宜分析方法決定並設計之。

## 5.7 細部設計

### 5.7.1 概要

板樁式碼頭之細部設計，主要為下列各項：

- 上部結構
- 板樁與拉桿及圍梁之連接
- 拉桿
- 錨碇設施與拉桿之連接
- 角隅部份
- 防止沖刷設施

### 5.7.2 上部結構

1. 板樁上部結構一般採鋼筋混凝土結構，於垂直方向可視為以板樁頂端為固定支點，並以土壓力為載重之懸臂梁設計之；於水平方向，可視上部結構為彈性支承梁設計之。
2. 上部結構於設置有繫船柱處之作用外力，除背填主動土壓力外，尚須考慮船舶拉力。
3. 上部結構於設置有防舷材處之作用外力，須考慮船舶衝擊力及被動土壓力。
4. 地震時之外力，僅考慮地震時之主動土壓力即可。

### 5.7.3 板樁與拉桿及圍梁之連接

板樁與拉桿及圍梁之連接，在設計時務使作用於板樁岸壁之水平作用力經過圍梁並安全均勻傳至各拉桿上。

### 5.7.4 拉桿

設計拉桿時，務使作用於拉桿之拉力能安全傳至錨碇設施上。若因背填土砂沉陷，使拉桿有承受彎矩之慮時，於設計時亦須加以處理。

### 5.7.5 錨碇設施與拉桿之連接

錨碇設施與拉桿之連接，在設計時務使作用於拉桿之拉力能安全均勻傳至各錨碇設施上。

### 5.7.6 角隅部份

板樁式碼頭之角隅部份，於地震時特別容易受損，故須特別加強。角隅部份依本篇第十章[連接結構物]規定設計。

### 5.7.7 防止沖刷設施

板樁式碼頭前水域，因海流或特定船舶之推進器作用等因素，可能產生大量沖刷時，應以覆蓋石塊或混凝土塊等於海底面予以保護。

## 5.8 軟弱地盤上板樁碼頭設計

於軟弱地盤上設計板樁式碼頭，應以本章第5.3節[板樁設計]、5.4節[拉桿設計]、5.6節[錨碇設施設計]所述設計法及其他設計法，予以綜合比較檢討。

## 5.9 圓弧滑動檢討

興建於軟弱地盤上之板樁式碼頭，應檢討板樁下端之圓弧滑動。圓弧滑動檢討依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行檢討。

# 第六章 圓筒式碼頭

## 6.1 鋼板樁圓筒式碼頭

### 6.1.1 設計原則

本章 6.1節[鋼板樁圓筒式碼頭]所述設計法，適用於以鋼板樁打設之圓筒式碼頭。

### 6.1.2 作用於鋼板樁圓筒之外力

作用於鋼板樁圓筒之外力與載重，須考慮下列各項：



### 1. 作用於圓筒之外力

- 土壓力：圓筒背後之主動土壓力  
圓筒前面之被動土壓力  
圓筒內填料之土壓力
- 殘留水壓力
- 作用於圓筒內填料之地震力
- 圓筒內填料重量
- 上載載重

### 2. 作用於上部結構之外力

#### (1) 水平力

- 土壓力之水平分力
- 殘留水壓力
- 作用於上部結構、上部結構上土砂及上載載重之地震力
- 船舶之衝擊力及拉力

#### (2) 垂直力

- 上部結構自重、上部結構上土砂重量及上載載重
- 土壓力之垂直分力

## 6.1.3 圓筒壁體剪力變形檢討

圓筒壁體應檢討於海底面之剪力變形，即圓筒壁體於海底面之抵抗力矩，應足以抵抗於海底面之變形力矩。

## 6.1.4 板樁入土長度

圓筒海側之板樁，須打設至能達到足夠承载力之深度為止。圓筒後面之板樁如海底地盤良好時，打設至海底面下1m~2m即可，如係軟弱地盤，其入土深度則採與海側板樁相同。

## 6.1.5 圓筒壁體安定檢討

圓筒壁體之安定檢討，依本篇第四章〔重力式碼頭〕4.3節〔安定計算〕所述方法為準。圓筒壁體安定檢討一般僅檢討滑動安定，傾覆安定及承载力則可不予檢討。



## 6.1.6 圓筒佈置

圓筒佈置，應以其水平斷面積與依換算壁體寬度計算所得之水平斷面積相等為原則。換算壁體寬度採用本章6.1.3節[圓筒壁體剪力變形檢討]，或本章6.1.5節[圓筒壁體安定檢討]所得之壁體寬度。

## 6.1.7 板樁拉力計算

板樁斷面，依計算之板樁拉力，應小於材料容許拉力。

## 6.1.8 T型板樁設計

T型板樁為使用於連接圓筒本身與圓弧之異型板樁，其應能承受作用於圓筒本身及圓弧板樁之拉力。

## 6.1.9 細部設計

### 1. 上部結構設計

#### (1) 直立部份設計

上部結構直立部份可視為與底版之連接點為固定支點，並以土壓力及殘留水壓力為載重之懸臂梁設計之。

#### (2) 底版設計

底版可視為以基樁樁頭為支承點，並以下列外力為載重，將底版分為碼頭法線方向及法線垂直角方向之連續樑設計之。底版鋼筋以雙向配筋為原則。

- 上部結構自重(包含直立部份及底版)
- 上部結構上回填之土砂重量
- 上載載重
- 作用於上述載重之地震力
- 直立部份所傳達之彎矩

### 2. 上部結構承載基樁設計

上部結構承載基樁，以承受上小節所述作用於上部結構之外力，依第四篇第四章[樁基礎承載力]規定設計之，圓筒鋼板樁之承載力不予考慮。

## 6.2 置放式鋼板圓筒碼頭

### 6.2.1 設計原則

本章 6.2節[置放式鋼板圓筒碼頭]所述設計法，適用於鋼板圓筒壁體不埋入土中之圓筒式碼頭。

### 6.2.2 作用於鋼板圓筒之外力

作用於鋼板圓筒之外力，依本章6.1.2[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

### 6.2.3 圓筒壁體剪力變形檢討

圓筒壁體應檢討於海底面之剪力變形，即圓筒壁體於海底面之抵抗力矩，應足以抵抗於海底面之變形力矩。

### 6.2.4 圓筒壁體安定檢討

圓筒壁體之安定計算，應檢討下列各項：

- 1.滑動檢討
- 2.傾覆檢討

### 6.2.5 鋼板圓筒前趾承載力檢討

圓筒前趾反力，應小於海底地盤容許承載力。

### 6.2.6 圓筒鋼板厚度計算

圓筒鋼板厚度，依計算之水平方向拉力，求得鋼板應力應小於材料之容許應力。

### 6.2.7 圓筒佈置

置放式鋼板圓筒碼頭之圓筒佈置原則，請參考本章 6.1.6節[圓筒佈置]所述之鋼板樁圓筒式碼頭圓筒佈置原則。

### 6.2.8 細部設計

置放式鋼板圓筒碼頭細部設計，依本章 6.1.9節[細部設計]所述鋼板樁圓筒式碼頭細部設計為準。

## 6.3 埋入式鋼板圓筒碼頭

### 6.3.1 設計原則

本章 6.3 節[埋入式鋼板圓筒碼頭]所述設計法，適用於鋼板圓筒壁體埋入砂質地盤中之圓筒式碼頭。

### 6.3.2 作用於鋼板圓筒之外力

作用於鋼板圓筒之外力，原則依本章 6.1.2[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

### 6.3.3 圓筒壁體剪力變形檢討

圓筒壁體常時之剪力變形檢討，依本章 6.2.3 節[圓筒壁體剪力變形檢討]規定檢討。

### 6.3.4 圓筒壁體安定檢討

埋入型鋼板圓筒，可視為由彈性地盤支撐之重力式壁體，以求取地盤反力及圓筒變位。為確保圓筒重力式壁體之安定，地盤反力及圓筒變位應小於其容許值。

### 6.3.5 圓弧滑動檢討

海底地盤與圓筒背後土壤之內摩擦角大於  $30^{\circ}$  時，可不檢討圓弧滑動。圓弧滑動面以不通過圓筒為原則。

### 6.3.6 圓筒佈置

埋入式鋼板圓筒碼頭之圓筒佈置原則，請參考本章 6.1.6 節[圓筒佈置]所述之鋼板樁圓筒式碼頭圓筒佈置原則。

### 6.3.7 圓筒及圓弧鋼板厚度計算

圓筒及圓弧鋼板厚度，依本章 6.2.6 節[圓筒鋼板厚度計算]計算之水平方向拉力，求得鋼板應力應小於材料之容許應力。

### 6.3.8 接頭部份與補強構件

圓筒與圓弧接頭，應能承受作用於圓筒本身及圓弧之最大拉力，並應考慮圓弧之施工及防止圓弧背填土之流失。

### 6.3.9 細部設計

埋入式鋼板圓筒碼頭細部設計，依本章 6.2.9 節[細部設計]所述鋼板樁圓筒式碼頭細部設計為準。

## 第七章 棧橋式碼頭

### 7.1 概要

棧橋式碼頭結構須能承受自重及使用年限內之各種外力，使其不致遭受結構系統破壞(Structural Collapse)，於設計上，一般可經由結構靜態分析（地震力可採用震度法設計）得到各桿件之應力，但對特別重要結構物，則應進行地震動態分析。

### 7.2 直樁棧橋式碼頭

#### 7.2.1 設計原則

本章 7.2 節[直樁棧橋式碼頭]所述設計法，適用於僅具直樁之棧橋式碼頭。

直樁棧橋式碼頭耐震設計，可採震度法設計，但對特別重要結構物，宜進行地震動態分析。

#### 7.2.2 棧橋單元大小及基樁配置

棧橋單元大小、基樁間距及各樁排間隔，應考量下列各項條件後決定之。

- 碼頭岸肩寬度
- 通棧位置
- 海底之安定性，特別是斜坡之安定
- 既有護岸
- 混凝土澆鑄等施工能力
- 裝載載重及活載重大小，及裝卸設備尺寸

#### 7.2.3 上部結構相關尺寸

棧橋式碼頭上部結構相關尺寸，應考慮下列各事項後決定之。

- 基樁間距、樁排間隔及樁之形狀、尺寸
- 裝載載重及活載重

- 潮位
- 模板及支撐等施工條件
- 地質條件
- 繫船柱配置
- 防舷材配置、尺寸及型式

#### 7.2.4 繫船柱及防舷材配置

繫船柱及防舷材之配置，應儘可能減小經由繫船柱及防舷材傳達之外力，以偏心外力作用於棧橋之單元。

#### 7.2.5 作用於棧橋之外力

作用於棧橋主體之外力與載重，應考慮下列各項。其中地震力、風力及船舶拉力，可視為異常載重。

##### 1. 垂直力

- 上部結構自重(包含各基樁自重)
- 裝載載重
- 活載重：列車載重、汽車載重、裝卸機械載重、群眾載重等
- 船舶拉力
- 上揚力

##### 2. 水平力

- 作用於上部結構之地震力(包含作用於基樁自重之地震力)
- 作用於裝載載重之地震力
- 作用於活載重之地震力
- 作用於活載重之風力
- 船舶衝擊力及拉力
- 後線擋土設施所傳達之水平力

#### 7.2.6 海底面設計相關事項

棧橋式碼頭重力式擋土結構物，應興建於結構物前斜坡安定面之後。

基樁之假想地表面，原則上可簡單假設為各基樁位置水深與碼頭設計水深之平均值。

### 7.2.7 基樁設計

棧橋由樁與上部結構所構成，樁與上部結構之連接可視為剛性，可假設各樁於海底某處為固定點，依剛性構架設計之。

### 7.2.8 擋土護岸設計

擋土護岸設計，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。

### 7.2.9 圓弧滑動檢討

棧橋碼頭擋土護岸，依第四篇第六章[斜面之安定]規定檢討圓弧滑動安定。

### 7.2.10 細部設計

#### 1. 上部結構設計應檢討之載重組合

##### (1) 平版及連接版

- 自重＋裝載載重
- 自重＋活載重
- 自重＋上揚力

##### (2) 樑

- 自重＋裝載載重
- 自重＋活載重
- 自重＋水平力所致樁頭彎矩之影響＋考慮水平力時之上載載重
- 樁彈性沉陷之影響

#### 2. 樁頭設計

基樁樁頭與上部結構連接設計，依第四篇第四章 4.6.2節[樁頭與上部結構連接設計]規定辦理。

## 7.3 斜樁棧橋式碼頭

### 7.3.1 設計原則

本章 7.3節[斜樁棧橋式碼頭]所述設計法，適用於具有斜組樁以承擔水平力之棧橋式碼頭。

### 7.3.2 棧橋單元大小及基樁配置

斜樁式棧橋單元大小及基樁配置原則，同本章7.2.2節[棧橋單元大小及基樁配置]所述直樁式棧橋單元大小及基樁配置原則。

### 7.3.3 上部結構相關尺寸

決定斜樁式棧橋上部結構相關尺寸時，其應考慮事項同本章7.2.3節[上部結構相關尺寸]所述決定直樁式棧橋上部結構相關尺寸應考慮事項。

### 7.3.4 繫船柱及防舷材配置

斜樁式棧橋繫船柱及防舷材配置原則，同本章7.2.4節[繫船柱及防舷材配置]所述直樁式棧橋繫船柱及防舷材配置原則。

### 7.3.5 作用於棧橋之外力

作用於斜樁式棧橋之外力，依本章7.2.5節[作用於棧橋之外力]規定計算。

### 7.3.6 海底面設計相關事項

斜樁棧橋式碼頭擋土結構物前之斜坡，其於地震時之安定角度，依本章7.2.6節第1小節[斜面坡度]所述規定辦理。

斜樁棧橋式碼頭假想地表面，依本章7.2.6節第2小節[假想地表面]所述規定辦理。

### 7.3.7 基樁作用力及斷面之決定

#### 1. 分配至各斜組樁樁頭之水平力

斜樁棧橋式碼頭，假設水平力由斜組樁承受，計算分配至各斜組樁樁頭之水平力。

#### 2. 分配至各基樁樁頭之垂直力

因垂直載重而分配至各基樁之垂直力，可假設基樁位置為支承之簡支樑，計算各支點之反力而得。

### 3. 基樁軸力

作用於斜組樁各基樁之軸力，由上二小節計算所得之各斜組樁樁頭之水平力及垂直力，依第四篇第四章4.3.6節[斜組樁水平承载力]規定計算之。

斜樁棧橋式碼頭含有直樁時，作用於直樁之軸力，可依上小節[分配至各基樁樁頭之垂直力]原則計算。

### 4. 基樁應力

斜樁棧橋式碼頭基樁，可視為承受軸力之基樁或視為承受軸力及彎矩之基樁，依本章 7.2.7節第5小節[基樁應力]規定計算各基樁應力。

## 7.3.8 法線方向結構分析

斜樁棧橋式碼頭有沿法線方向之斜組樁時，依本章 7.3.7節[基樁作用力及斷面之決定]規定檢討各基樁應力。

斜樁棧橋式碼頭無沿法線方向之斜組樁時，可視為直樁棧橋式碼頭，依本章7.2.7節[基樁設計]規定檢討各基樁應力。

## 7.3.9 基樁入土深度

對斜樁承载力及橫向抵抗之入土深度檢討，依本章 7.2.7節第 6小節[對承载力之入土深度檢討]及第7小節[對橫向抵抗之入土深度檢討]規定檢討。

## 7.3.10 擋土護岸設計

擋土護岸設計，視其所採用結構型式，依相關規定設計。

## 7.3.11 圓弧滑動檢討

棧橋碼頭擋土護岸，依第四篇第六章[斜面之安定]規定檢討圓弧滑動安定。

## 7.3.12 細部設計

斜樁棧橋式碼頭細部設計原則，請參考本章 7.2.10節[細部設計]。



## 第八章 平版樁基式碼頭

### 8.1 設計原則

平版樁基式碼頭，亦稱為減壓平版式碼頭或稱樁基擁壁式碼頭。本章所述設計法，適用於板樁擋土護岸設於平版前面，無其他錨碇設施，且平版結構為L型之平版樁基式碼頭。

### 8.2 決定平版高度及寬度

平版高度及寬度，須檢討設計條件、工程費及施工難易等各項條件後決定之。

### 8.3 作用於板樁之土壓力及殘留水壓力

作用於板樁之外力，須考慮下列各項：

- 土壓力：板樁岸側之主動土壓力  
板樁入土部份海側之被動土壓力
- 殘留水壓力

### 8.4 板樁設計

#### 8.4.1 板樁入土深度

平版樁基式碼頭板樁入土深度，可將平版底面視為拉桿位置，依8.3節[作用於板樁之土壓力及殘留水壓力]計算之土壓力及殘留水壓力為作用外力，依本篇第五章[板樁式碼頭]第5.3.2節[板樁入土長度]及第5.8節[軟弱地盤上板樁式碼頭之設計]所述方法計算之。

#### 8.4.2 板樁斷面

平版樁基式碼頭板樁設計，可將平版底面視為拉桿位置，依8.3節[作用於板樁之土壓力及殘留水壓力]計算之土壓力及殘留水壓力為作用外力，依本篇第五章[板樁式碼頭]第5.3節[板樁設計]及第5.8節[軟弱地盤上板樁式碼頭之設計]所述方法設計之。

## 8.5 平版設計

### 8.5.1 作用於平版之外力

作用於平版之外力，須考慮下列各項：

- 板樁所傳達之水平力
- 作用於平版背面之土壓力及殘留水壓力
- 平版自重、平版上回填土砂重量及上載載重
- 作用平版自重、平版上回填土砂及上載載重之地震力

### 8.5.2 平版結構設計

#### 1. 直立部份

平版直立部份可視為與底版之連接點為固定支點，並以土壓力及殘留水壓力為載重之懸臂梁設計之。

#### 2. 底版

底版可視為以基樁樁頭為支承點，並以下列外力為載重，將底版分為碼頭法線方向及法線垂直方向之連續樑設計之。底版鋼筋以雙向配筋為原則。

- 平版自重（包含直立部份及底版）
- 平版上回填土砂重量
- 上載載重
- 作用於上述載重之地震力
- 直立部份所傳達之彎矩
- 板樁所傳達之水平力

### 8.5.3 平版承載基樁設計

平版承載基樁，以承受本章 8.5.1 節[作用於平版之外力]所述之外力，依第四篇第四章[樁基礎承载力]規定設計之。

## 8.6 壁體安定檢討

平版樁基式碼頭壁體安定檢討，依本篇第四章 4.3 節[安定計算]所述重力式碼頭安定檢討方法為準。

## 8.7 圓弧滑動檢討

興建於軟弱地盤上之平版樁基式碼頭，應檢討板樁下端之圓弧滑動。  
圓弧滑動檢討依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行檢討。

# 第九章 其他型式碼頭

## 9.1 直立消波式碼頭

### 9.1.1 設計原則

直立消波式碼頭屬重力式碼頭之一種，其設計方法除本節所述原則外，依本篇第四章[重力式碼頭]所述設計法為準。

### 9.1.2 消波式碼頭配置原則

從港口航道進入港內之入射波及越過防波堤之越波，傳達至港內設施或陸地岸邊，其反射波將影響港內水域之靜穩度，為提升港內水域之靜穩度，除檢討防波堤、碼頭等設施之法線規劃外，港內設施採用消波結構亦可有效減小其反射波，提升港內水域之靜穩度。

### 9.1.3 選定結構型式

於選擇直立消波式碼頭型式時，應針對入射波條件及所須之反射率，選定適宜之結構型式。

## 9.2 自立式板樁碼頭

### 9.2.1 設計原則

本章 9.2節[自立式板樁碼頭]所述設計法，適用於打設於砂質地盤，無錨錠設施之懸臂式板樁碼頭。

## 9.2.2 作用於板樁之外力

作用於板樁之外力，依本篇第五章5.2節[作用於板樁之外力]規定計算。

## 9.2.3 板樁斷面

板樁斷面，依第四篇第四章 4.4[樁之橫向容許承载力]計算之最大彎矩，求得板樁應力應小於材料之容許應力。

## 9.2.4 板樁入土長度

板樁入土長度，以大於依第四篇第四章4.4[樁之橫向容許承载力]規定計算所須之基樁有效長度為原則。

## 9.2.5 板樁頂端變位量檢討

自立式板樁碼頭，其板樁容許頂端變位量以不影響碼頭使用為原則。

## 9.2.6 施工中外力檢討

於設計自立式板樁碼頭時，應考慮施工中之外力，其結構須能承受該等外力之作用。

## 9.2.7 圓弧滑動檢討

興建於軟弱地盤上之板樁式碼頭，應檢討板樁下端之圓弧滑動。圓弧滑動檢討依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行檢討。

## 9.2.8 細部設計

自立式板樁碼頭細部設計，依本篇第五章[板樁式碼頭] 5.7節[細部設計]相關規定辦理。

# 9.3 斜樁錨碇式板樁碼頭

## 9.3.1 設計原則

本章 9.3節[斜樁錨碇式板樁碼頭]所述設計法，適用於板樁背側打設斜樁，並將斜樁樁頭與板樁連結，以支承背填砂土之板樁式碼頭。

### 9.3.2 作用於板樁之外力

作用於板樁之外力，依本篇第五章5.2節[作用於板樁之外力]規定計算。

### 9.3.3 作用於板樁與斜樁連結點之水平力及垂直力

板樁與斜樁連結點之結構，可假設為插梢結構，計算作用於連結點之水平力及垂直力。

### 9.3.4 板樁及斜樁斷面

板樁及斜樁斷面，依計算之板樁及斜樁最大彎矩，求得板樁及斜樁應力應小於材料之容許應力。

### 9.3.5 板樁及斜樁入土長度

板樁及斜樁對承载力、橫向抵抗之入土長度檢討，依第四篇第四章[樁基礎承载力]規定辦理。板樁及斜樁軸向承载力，應進行載重試驗及拉力試驗檢討。

### 9.3.6 細部設計

斜樁錨碇式板樁碼頭細部設計，依本篇第五章[板樁式碼頭]5.7節[細部設計]及第四篇第四章4.6.2節[樁頭與上部結構連接設計]規定辦理。

## 9.4 前斜樁式板樁碼頭

### 9.4.1 設計原則

本章9.4節[前斜樁式板樁碼頭]所述設計法，適用於板樁岸壁海側打設斜樁，並將斜樁樁頭與板樁連結，以支承板樁背填砂土之板樁式碼頭。

### 9.4.2 棧橋單元大小及基樁配置

前斜樁式板樁碼頭棧橋單元大小及基樁配置，依本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.2節[棧橋單元大小及基樁配置]所述原則辦理。

### 9.4.3 上部結構相關尺寸

於決定棧橋上部結構相關尺寸時，其應考慮之事項詳本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.3節[上部結構相關尺寸]。

### 9.4.4 板樁岸壁設計

前斜樁式板樁碼頭之板樁岸壁設計，假想斜樁與板樁之連接點為拉桿位置，依本篇第五章[板樁式碼頭]相關章節所述辦理。

### 9.4.5 棧橋設計

前斜樁式板樁碼頭之棧橋設計，以下述外力為載重，依本篇第七章[棧橋式碼頭]相關章節所述辦理。

作用於前斜樁式板樁碼頭棧橋之外力與載重，應考慮下列各項。除下述規定外，依第七章[棧橋式碼頭]7.2.5節[作用於棧橋之外力]規定計算。

#### 1. 垂直力

- 土壓力垂直分力
- 自重
- 上載載重
- 活載重：列車載重、汽車載重、裝卸機械載重、群眾載重等
- 船舶拉力
- 上揚力

#### 2. 水平力

- 作用於板樁土壓力之水平分力、殘留水壓力
- 地震力
- 風力
- 船舶衝擊力及拉力

### 9.4.6 基樁入土深度

板樁及基樁之入土深度，依本篇第七章 [棧橋式碼頭]7.2.7節[基樁設計]第6小節[對承载力之入土深度檢討]及第 7小節[對橫向抵抗之入土深度檢討]規定檢討。



### 9.4.7 細部設計

前斜樁式板樁碼頭細部設計，除下述原則外，依本篇第五章[板樁式碼頭]5.7節[細部設計]，及第七章[棧橋式碼頭] 7.2.10節[細部設計]規定辦理。

—板樁岸壁與斜樁之連結部份，須能充分傳遞載重，若連結部份破壞，將導致碼頭整體結構破壞，於設計連結部份時，應予注意並充分加強。

—於設計棧橋上部結構時，應考慮由板樁所傳遞之彎矩。  
矩。

## 9.5 雙重板樁式碼頭

### 9.5.1 設計原則

本章 9.5節[雙重板樁式碼頭]所述設計法，適用於打設雙排板樁並以拉桿連結，內填砂土或級配之板樁式碼頭。

### 9.5.2 作用於壁體之外力

作用於雙重板樁式碼頭壁體之外力，依本篇第六章[圓筒式碼頭]第 6.1.2節[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

### 9.5.3 雙重板樁壁體設計

雙重板樁壁體設計，須考慮其重要性，採適當方法設計之。

### 9.5.4 細部設計

上部結構底版及直立部份，依本篇第八章[平台樁基式碼頭] 8.5.2節[平版結構設計]相關規定設計。

## 9.6 圓柱或腳柱式棧橋碼頭

### 9.6.1 設計原則

本章 9.6節[圓柱或腳柱式棧橋碼頭]所述設計法，適用於採用剛性較大之混凝土圓柱或腳柱作為上部結構之棧橋式碼頭。

## 9.6.2 圓柱或腳柱設計

如棧橋僅由圓柱或腳柱與上部結構所構成，可將圓柱或腳柱基礎處視為一鉸接之剛架結構予以設計。

## 9.6.3 擋土護岸設計

圓柱或腳柱式棧橋碼頭擋土護岸，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。

## 9.6.4 細部設計

圓柱或腳柱式棧橋碼頭上部結構及連接版細部設計原則，請參考本篇第七章[棧橋式碼頭] 7.2.10節[細部設計]。

# 9.7 橋墩式棧橋碼頭

## 9.7.1 設計原則

本章 9.7節[橋墩式棧橋碼頭]所述設計法，適用於採用墩座為基礎之棧橋式碼頭。

## 9.7.2 橋墩設計

橋墩式棧橋碼頭之橋墩，視其所採用結構型式，依相關規定設計。

## 9.7.3 擋土護岸設計

橋墩式棧橋碼頭擋土護岸，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。

## 9.7.4 細部設計

橋墩式棧橋碼頭上部結構及連接版細部設計原則，請參考本篇第七章[棧橋式碼頭] 7.2.10節[細部設計]。

# 9.8 離岸式碼頭

## 9.8.1 設計原則

離岸式碼頭一般亦提供作為裝卸機械之基礎，故其設計應充分考量裝卸機械型式、尺寸、移動特性及安裝後之沉陷等因素。



## 9.8.2 配置及相關事項

離岸式碼頭離岸距離、軌道間距及法線方向之跨距等配置，應考量裝卸機械尺寸及海底地質等因素，依工程費及施工難易度等決定之。

## 9.8.3 設計外力及載重

於設計離岸式碼頭時，應考慮下列外力及載重：

### 1. 垂直力

- 裝卸機械載重
- 船舶拉力
- 上部結構自重
- 柱腳自重

### 2. 水平力

- 船舶拉力及衝擊力
- 作用於裝卸機械之風力
- 作用於上部結構之風力
- 作用於裝卸機械之地震力
- 作用於上部結構之地震力
- 作用於柱腳之地震力

## 9.8.4 柱腳設計

離岸式碼頭柱腳設計，依其所採用結構型式，依本篇第七章[棧橋式碼頭]相關章節所述設計法設計，但採用橋墩式結構時，其設計依本篇第四章[重力式碼頭]及第七章[圓筒式碼頭]相關章節所述設計法設計。

## 9.8.5 大樑設計

離岸式碼頭連接柱腳之大樑，應考量下列垂直與水平兩方向之載重加以設計之。

為考量柱腳之不均勻沉陷，一般假設大樑為一簡支樑設計之。

### 1. 垂直方向載重

- 裝卸機械載重
- 船舶拉力
- 自重

### 2. 水平方向載重

- 船舶拉力及衝擊力
- 裝卸機械剎車力
- 作用於大梁及裝卸機械之風力
- 作用於大梁及裝卸機械之地震力

## 9.8.6 擋土護岸設計

離岸式碼頭擋土護岸，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。如擋土護岸後側設有裝卸機械之另一條軌道時，依本篇第十四章[裝卸機械之基礎]相關規定設計之。

## 9.8.7 圓弧滑動檢討

離岸式碼頭擋土護岸，依第四篇第六章[斜面之安定]規定檢討圓弧滑動安定。

## 9.8.8 附屬設備

離岸式碼頭須設置防舷材、繫船柱、連絡橋等附屬設備。

## 9.8.9 細部設計

離岸式碼頭上部結構，依本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.10節[細部設計]相關規定設計之。

連絡橋設計，依一般橋樑設計相關規定辦理。

# 9.9 繫、靠船台

## 9.9.1 設計原則

本章 9.9節[繫、靠船台]所述設計法，適用於採用基樁、鋼板圓筒或沉箱為基礎之繫、靠船台。

### 9.9.2 繫、靠船台配置

於進行繫、靠船台配置時，應考量靠泊船舶尺寸、水深、風向、波向及水流狀況等因素，並須留意不得妨礙其他船舶之停泊及航行。

### 9.9.3 作用於繫、靠船台之外力

作用於繫、靠船台之外力及載重，一般應考慮下列各項。於設計時，設計者應針對現況，刪除不須考量之外力，或增加須特別考量之外力。

- 船舶衝擊力
- 船舶拉力
- 繫、靠船台自重與活載重等所致之垂直力
- 作用於結構物及裝卸機械之地震力
- 作用於裝卸機械之風力

### 9.9.4 基樁式繫、靠船台

基樁式繫、靠船台設計，依本篇第七章[棧橋式碼頭]所述相關設計法辦理。

基樁式繫、靠船台設計，應檢討下列事項：

- 基樁應力(水平力、垂直力、扭轉力)
- 基樁入土深度
- 繫、靠船台撓曲量

### 9.9.5 鋼板圓筒式繫、靠船台

鋼板圓筒式繫、靠船台設計，依本篇第六章[圓筒式碼頭]所述相關設計法辦理。

鋼板圓筒式繫、靠船台設計，應檢討下列事項：

- 壁體剪斷變形檢討
- 板樁入土深度
- 壁體安定檢討(滑動、承载力、傾覆)
- 板樁拉力

### 9.9.6 沉箱式繫、靠船台

沉箱式繫、靠船台設計，依本篇第四章[重力式碼頭]所述相關設計法辦理。

沉箱式繫、靠船台設計，應檢討下列事項：

- 滑動安定
- 傾覆安定
- 地盤承载力
- 沉箱之迴轉(Rotation)

## 9.10 浮碼頭

### 9.10.1 設計原則

本章9.10節[浮碼頭]所述設計法，適用於浮箱以鏈條錨錠，且設置在波浪及海流影響較小處之浮碼頭。

### 9.10.2 浮碼頭興建位置及配置

浮碼頭之配置形式有突堤式及平行式兩種，於研擬浮碼頭興建位置及配置時，應考量擬靠泊船舶之型式、大小及水深、水流、波浪、海底地質等自然條件。

### 9.10.3 浮箱設計

#### 1. 浮箱材質

目前浮碼頭浮箱最重要之材料為保麗龍發泡體（聚苯乙烯 polystyrene）。本材料具有水密之特性，但表面硬度較軟，不耐碰撞磨損，以致衍生許多不同材質之保護層外殼，依其使用材料之不同，可分為鋼筋混凝土製、鋼製、塑膠製、FRP 製、鋼絲混凝土製、木製等。

#### 2. 浮箱尺寸

為方便裝卸貨物及旅客上下船，浮箱甲板須有充足之面積及適宜之乾舷高度，且浮箱各部份尺寸，須能使整個浮碼頭保持穩定狀態。

### 3. 作用於浮箱之外力及載重

作用於浮箱之外力及載重，應考慮下列各項：

- 裝載載重及活載重
- 連絡橋及引橋之支點反力
- 水壓力
- 浮箱自重
- 壓艙重量

### 4. 浮箱穩定性檢討

為確保浮箱穩定性，應針對下二事項進行檢討：

— 當下列外力或載重同時作用於浮箱時，浮箱仍能保持穩定及維持必要之乾舷高度。

- 連絡橋支點反力
- 甲板上滿載載重
- 浮箱內有若干浸水

— 浮箱長向對稱軸連絡橋邊滿載載重，加上連絡橋支點反力後，浮箱仍能保持穩定狀態，甲板傾斜須小於1:10，且甲板面仍保持於水面上，即乾舷高度大於0.0。

### 5. 浮箱構件設計

浮箱面版、外牆、底版、隔牆、梁及支柱，依其結構假設適宜型式設計之。

### 6. 浮箱連結

浮箱於波浪作用發生搖動時，為避免各浮箱互相碰撞發生破損，各浮箱互相間之連結須非常堅固，且須在各浮箱間加裝防舷材以策安全。

## 9.10.4 錨鏈設計

### 1. 設計外力

設計浮箱之錨鏈時，須考慮下列各項外力：

- 船舶衝擊力
- 船舶拉力
- 波力
- 水流力

## 2. 錨鏈長度及設置方式

固定浮箱之錨鏈，應具有適當長度，並以錨錠(Anchor)固定於海底。

## 3. 錨鏈拉力計算

各錨鏈所承受之拉力，可依浮箱與錨鏈之關係，採用動力學解法計算。然此種解法非常複雜困難，故一般將錨鏈視為懸垂曲線(catenary curve)，採用靜力學方法計算。

## 4. 錨鏈直徑

錨鏈直徑，於高潮承受本章 9.10.4 節[錨鏈設計]第1小節[設計外力]所述外力時，作用於錨鏈之拉力應小於錨鏈之容許拉力。

# 9.10.5 錨錠設施設計

## 1. 設計外力

設計錨錠設施時，作用於錨錠設施之外力，可採用本章第 9.10.4 節[錨鏈設計]第 3 小節[錨鏈拉力計算]中，計算所得之值。

## 2. 錨錠設施安定計算

錨錠設施重量及裝設方法，應考量當錨鏈承受最大拉力時，錨錠設施仍應保持安定。

# 9.10.6 連絡橋及引橋設計

## 1. 連絡橋及引橋尺寸與傾斜度

連絡橋及引橋之尺寸及傾斜度，應不妨礙貨物裝卸、旅客上下船及客貨通行。

## 2. 連絡橋及引橋細部設計

連絡橋及引橋設計，依一般橋樑設計相關規定辦理。但僅供旅客通行使用之連絡橋及引橋，設計時僅須考慮行人載重。

## 3. 調節塔設計

調節塔結構，須能承受連絡橋支點反力及地震力之作用。

## 9.11 繫船浮筒

繫船浮筒(Mooring buoy)係防止船舶因風、水流、波浪等之作用，從停泊位置流失，並使船舶可在泊地內安全錨碇停泊之設備。

# 第十章 連接結構物

## 10.1 設計原則

碼頭連接結構物設計，並無一定之準則，故須充分瞭解連接結構物附近狀況，因地制宜。設計連接結構物時，應考量下列各項條件。

- 連接結構物附近之自然環境
- 連接結構物附近結構物之狀況
- 施工順序及施工機械

## 10.2 水深變化段

連接段銜接不同水深結構時，連接段結構設計條件應採水深較大碼頭之設計條件，其設計方法及安全係數則應適合各結構型式。

## 10.3 不同結構之連接

不同結構之連接，有將不同結構直接予以連接，及在不同結構間，另加連接結構兩種方式。於兩結構間另加連接結構時，其設計條件，應取兩側結構之設計條件中，對連接結構在安定上較不利者進行設計為原則。

## 10.4 角隅結構

設計向海側凸出之角隅結構，應取相鄰兩側結構設計條件中，對角隅結構在安定上較不利者進行設計為原則。角隅結構之角度，應避免採用銳角。



# 第十一章 附屬設施

## 11.1 概要

爲防止危險發生及有效利用港灣設施等原因，港灣設施應依需要配置附屬設施。

## 11.2 繫船設施

碼頭繫船設施，應依下列原則設計：

- 繫船設施須具有充足之強度，以確保繫泊船隻之安全。
- 繫船設施應配置於碼頭適當位置，以供繫泊船隻使用。

## 11.3 防撞設施

### 11.3.1 概要

碼頭設施除繫船浮筒外，均應配置防撞設施，以吸收船舶靠岸及繫泊時所產生之衝擊力。

### 11.3.2 防舷材配置

碼頭防舷材配置，應使防舷材吸收船舶靠岸能量前，船舶不可直接接觸碼頭岸壁爲原則。

### 11.3.3 船舶靠岸及繫泊所產生之作用力

船舶靠岸及繫泊所產生之作用力，依第二篇第二章〔船舶所產生之外力〕規定計算。

### 11.3.4 防舷材選擇、

選擇橡膠、空氣式等防舷材時，應考量下列事項。

- 船舶靠岸衝擊力應小於碼頭容許載重。
- 受波浪影響之碼頭，應考量繫泊船舶搖動所產生之作用力。
- 考量船舶靠岸角度、靠岸速度等靠岸狀況，選擇適宜之防舷材。
- 不可僅考量防舷材特性，而應整體考量碼頭結構特性，選擇適宜之防舷材。



## 11.4 安全設施

爲防止小船侵入棧橋，及確保碼頭區人車安全，碼頭應依須要配置防止船侵入設施(Skirt Guard)、柵欄(Fence or Rope)、標誌及標示(Marking Signs and Signs)、及車擋(Curbing)等安全設施。

## 11.5 服務設施

碼頭應依作業需求，設置照明、旅客上下船、車輛上下船、給水、供電、加油、公廁、電話等服務設施，並依配置之服務設施設立標誌及標示等。

## 11.6 其他設施

碼頭除上述設施外，依作業需求，應另設置排水設施、救生設備、消防設備及警報裝置等。

# 第十二章 曳船道

## 12.1 設計原則

曳船道設計，以方便船舶能安全且順利上下岸爲原則設計之。

## 12.2 選擇設置位置

選擇曳船道設置位置時，應注意下列各點。

- 曳船道海側水域須穩靜，以避免波浪沿滑道斜坡上湧
- 曳船道海側水域須不發生淤積或沖刷
- 不妨礙其他船隻航行及停泊
- 曳船道陸側須有適當空地，以供船舶上岸之用

## 12.3 曳船道相關事項

### 12.3.1 各部份高程

海側壁體頂高程，以朔望平均低潮位(L.W.L.)為基準，且低於最大船隻吃水深度為標準。

曳船道之頂端高程，參考本篇第二章 2.2節[碼頭面高程]所述決定。曳船道與碼頭等鄰接時，則可考量使用上之方便性，而與碼頭面等之高程相同。曳船道海側水域波高較大時，則須考量波浪之溯上高度。

### 12.3.2 長度及岸上面積

曳船道長度及陸側岸上面積，以能順利使用為原則，儘可能規劃較廣闊之面積。

### 12.3.3 海側水深

滑道海側水深，應考量船隻下水方法及海側壁體頂高程等因素決定之。原則以最大船隻滿載吃水深度，再加 0.5公尺之值為標準。

### 12.3.4 滑道坡度

滑道原則以採單一坡度為佳。其坡度以 1:6~1:12為標準。

### 12.3.5 滑道海側泊地面積

滑道海側水域泊地面積，以確保待修船隻上下岸作業時，不損害修理船隻，及不妨礙其他船舶航行等因素決定之。

## 12.4 海側壁體及滑道鋪面

### 12.4.1 海側壁體

海側壁體設計時，須考慮下列事項。

- 海側壁體可採用各種結構型式設計之。
- 海側壁體基礎須具有充分之承载力，並避波浪沖刷。

## 12.4.2 滑道鋪面

滑道鋪設設計時，應注意下列事項。

- 應防止被船舶等載重破壞鋪面。
- 應防止鋪面被波浪破壞。
- 應防止因滑道基礎不均勻沉陷而破壞鋪面。

## 12.5 側壁

側壁可採用各種結構型式設計之。

# 第十三章 岸肩

## 13.1 設計原則

碼頭岸肩 (Apron) 係指碼頭法線至碼頭後線倉庫或置貨場間之區域，其主要係提供暫置貨物、貨物處理、裝卸機械作業、車輛通行等功能。

岸肩應規劃有適宜之面積，以確保碼頭裝卸作業能順利進行。岸肩應採適當鋪面，以確保貨物處理、裝卸機具作業、車輛行走能安全且順利進行。

## 13.2 岸肩形狀

### 13.2.1 寬度

岸肩寬度應考量下列事項，並確保碼頭裝卸作業能安全且順利進行為原則決定之。

- 碼頭使用型態
- 倉庫型式
- 有無設置裝卸機械，若有其型式為何
- 有無交通設施，若有其規模為何

### 13.2.2 坡度

岸肩坡度應考量降雨強度，碼頭後側使用狀況等因素，以不防礙裝卸作業為原則決定之。

## 13.3 鋪面設計

### 13.3.1 鋪面型式

岸肩鋪面型式，應綜合考量下列事項後決定之。

- 土壤條件
- 施工性
- 鄰接地區鋪面型式
- 貨物裝卸型式
- 經濟性
- 維護管理

### 13.3.2 載重條件

載重條件應依裝卸貨物種類及裝卸型式等決定之。

## 第十四章 裝卸機械基礎

### 14.1 設計原則

裝卸機械基礎，應考量下列事項後決定之。

- 作用於基礎之外力
- 基礎容許沉陷量
- 基礎維護難易度
- 基礎與碼頭本體關連性及其相互間之影響
- 經濟性

## 14.2 作用於基礎之外力

作用於裝卸機械基礎之外力，應考量裝卸機械型式及使用狀況等決定之。

## 14.3 使用基樁之基礎設計

### 14.3.1 混凝土樑

樁基礎上之混凝土樑，可視為以樁頭為支點之連續樑設計之。

### 14.3.2 基樁承載力

基樁承載力依第四篇第四章[樁基礎承載力]相關規定檢討。

## 14.4 不使用基樁之基礎設計

### 14.4.1 對碼頭影響檢討

裝卸機械基礎不使用樁基礎時。應檢討裝卸機械及基礎載重對碼頭結構之影響。

### 14.4.2 混凝土樑

原地面鋪設塊石為基礎，於其上設置鋼筋混凝土樑，應檢討混凝土樑之彎曲力矩、剪力及撓曲等。且其沉陷量應小於容許沉陷量。

# 第十五章 碼頭維護與管理

為確保碼頭之安全，及維持較佳之功能狀態，應採取適宜之維護與管理措施。

## 第七篇 專門碼頭

# 第一章 貨櫃碼頭

## 1.1 設計原則

貨櫃碼頭，為海上貨櫃運輸之中樞，因此於選擇設置位置時，應考量腹地、聯外交通系統，及可供用地面積等。貨櫃碼頭應設置各種設施，以順利裝卸貨櫃，為使各設施能充份發揮其功能，應仔細考量設施配置及確保充足之使用面積。

## 1.2 碼頭設施設計

### 1.2.1 碼頭長度及碼頭水深

泊靠貨櫃輪之碼頭長度及碼頭水深，以滿足計畫靠泊最大及最小貨櫃輪能安全且順利使用為原則。

### 1.2.2 繫船設施

貨櫃碼頭繫船設施，應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊貨櫃輪型式、尺寸等予以設置，並決定其配置及型式。

### 1.2.3 防撞設施

貨櫃碼頭防撞設施，應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊貨櫃輪型式、尺寸等予以設置，並決定其配置及型式。

## 1.3 陸上設施設計

### 1.3.1 岸肩

岸肩(Apron)設計，應使貨櫃暫置、貨櫃車通行，及裝卸機械運作等能安全且利進行為原則。

### 1.3.2 貨櫃起重機

貨櫃起重機型式及作業能力，應考量計畫靠泊貨櫃輪型式、貨櫃裝載量、貨櫃種類、碼頭結構，及後線貨物裝卸機械種類等因素決定之。

### 1.3.3 貨櫃場

貨櫃場設計，應使貨櫃及貨櫃車架之保管、進出、堆取能須利進行為原則。

### 1.3.4 貨櫃集散倉棧

貨櫃集散倉棧(CFS)設計，應使貨物保管置放、貨物裝進及卸出貨櫃能順利進行為原則。

### 1.3.5 維修站

維修站設計，應使貨櫃之檢查、修理，及車輛、裝卸機器維修能須利進行為原則。

### 1.3.6 管理中心

管理中心設計，應使貨櫃碼頭管理、營運能順利進行為原則。

### 1.3.7 出入口(GATE)

出入口設計，應使出入貨櫃碼頭之貨櫃檢查、重量量測、文件收受能須利進行為原則。

### 1.3.8 其他附屬設施

在貨櫃碼頭內，依須要設置洗淨場、污水處理場、加油站、受變電設備、停車場、作業人員休息室等。其他附屬設施，請參考第六篇第十一章[附屬設施]。

## 第二章 渡輪碼頭

### 2.1 設計原則

渡輪碼頭規劃設計，應使船舶航行、汽車上下船、旅客上下船、汽車暫置等，能安全且須利進行為原則。

渡輪碼頭可能同時供旅客及車輛上下岸使用，且夜間亦可能使用，故於設計渡輪碼頭時，不僅在結構上應特別考量安全問題，使用上之安全亦應特別注意。



## 2.2 碼頭設施設計

### 2.2.1 碼頭長度及碼頭水深

泊靠渡輪之碼頭長度及碼頭水深，以滿足計畫靠泊渡輪能安全且順利使用為原則。

### 2.2.2 繫船設施

渡輪碼頭繫船設施，除應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊渡輪型式、尺寸等外，應特別考量風壓予以設置，並決定其配置及型式。

### 2.2.3 防撞設施

渡輪碼頭防撞設施，應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊渡輪型式、尺寸等予以設置，並決定其配置及型式。

### 2.2.4 防止沖刷設施

渡輪碼頭前水域，因渡輪推進器作用等因素，可能產生大量沖刷，應以覆蓋石塊或混凝土塊等於海底面予以保護。

## 2.3 車輛上下船設施設計

車輛上下船設施(Vehicles Ramp)設計，應考量潮差、計畫靠泊渡輪吃水差及車輛上下船設施架設位置、船舶搖動所致之移動量等因素，使車輛能安全且順利上下渡輪為原則。

## 2.4 旅客上下船設施設計

旅客上下船設施設計，應考量潮差、計畫靠泊渡輪吃水差及旅客上下船設施架設位置、船舶搖動所致之移動量等因素，使旅客能安全且容易上下渡輪為原則。

## 2.5 其他設施設計

渡輪碼頭除碼頭設施、車輛及旅客上下船設施外，尚有道路、停車場、旅客服務中心、安全設施等其他相關設施，其設計可參考相關設計規範。

港灣構造物設計基準研究  
碼頭設計基準研訂

基 準 說 明 草 案

# 第一篇 通 則

# 第一篇 通 則

本基準研訂之目的，係訂定碼頭工程之設計基準及程序，作為設計單位規劃設計之參考，及業主審核之依據。

本基準，於可能之範圍內考慮各種設計條件，但制定包含所有設計條件之基準，幾乎為不可能，因此本基準僅能制定一般條件之基準，因之設計者於進行設計時，須充分了解基準內容及碼頭設計條件，詳加檢討後再行設計。

同時，海岸地區狀況複雜，制定單一之設計基準亦為不可能之事，故亦有數種現行通用之設計標準或公式並列之情形，設計者若採用其一時，須確實瞭解各標準與公式之適用性及限制條件，或者數種標準及公式並用，以為比較，並取其安全性較佳者，以確保碼頭結構安全。

此外，本基準之制定，乃為減輕設計者之負擔，增進設計效率，以達到設計合理化為目標，唯設計者不可過份依賴既設之基準，而忽視新技術之開發與創造。設計者如引用新穎之設計公式、設計方法、新型結構物型式…等本基準未制訂之新技術時，應說明其所用新技術之來源及其相關參考文獻，如為一全新之技術時，則應驗證其可靠性。

本基準中註明引用其他技術規則，如建築技術規則、中國國家標準…等，使用時應查明該引用資料是否有更新。

## 第二篇 設計條件

# 第一章 概論

# 第一章 概論

## 1.1 設計條件

港灣結構物之設計條件，應依該結構物之特性及結構物所處之狀況，就下列設計條件項目中，選定設計應考量之項目。對所選定之設計條件項目，應再考量自然條件、該結構物之利用狀況，該結構物之施工條件，結構特性，社會對該結構物之需求等因素，以訂定該結構物之設計條件。

- 船舶尺寸
- 船舶所產生之外力
- 風及風力等
- 波浪及波力
- 潮位及暴潮位
- 水流及水流力
- 作用於浮體之外力及其搖動
- 地質
- 地震及地震力
- 土壓
- 水壓
- 自重
- 上載載重
- 摩擦係數
- 其他必要之設計條件

由於設計條件對結構物之安全、功能及經濟性等有重要之影響，因此須慎重為之。設計條件一般是依調查及試驗結果決定，因此為決定適宜之設計條件，設計前須作充份之調查及試驗，並應充份了解調查及試驗方法及其結果。此外，為決定設計條件，必要時應進行相關研究。

## 1.2 影響設計因素

於設計港灣結構物時，應考慮下列因素。

- 結構物功能
- 結構物重要性
- 使用年限
- 自然條件
- 載重
- 材料
- 安全係數
- 施工方法
- 施工精度
- 工期
- 工程費
- 維護費

### 1. 結構物功能

由於結構物之功能，不一定僅為一項，因此須考量其各別之功能得以充分發揮。

### 2. 結構物重要性

考量結構物之安全性及經濟性所進行之合理設計，須考量結構物之重要性。

結構物重要性所影響之設計條件，有自然條件、設計震度、使用年限、載重、安全係數等。

於研判結構物重要性時，須考慮下列事項。

- 結構物之可替代性
- 結構物之興建費用
- 結構物破壞後，對生命、財產之影響
- 結構物破壞後，對其他結構物之影響
- 結構物破壞後，對社會經濟之影響
- 結構物破壞後，對環境生態之影響



### 3. 使用年限

於進行結構物設計時，應考量結構物之使用年限，選擇與使用年限匹配之結構型式及材料。

結構物使用年限，應檢討下列事項後決定之。

- 結構物之功能
- 從經濟觀點檢討結構物
- 從社會計畫觀點檢討結構物
- 結構物之物理特性(如材料之耐久性、鋼料鏽蝕…等)

一般港灣永久結構物之使用年限為40年。

### 4. 自然條件

就自然條件而言，不僅須考量對結構物設計有直接影響之風、波浪、地震、地形、地質條件…等，亦須考量水質、底質、生物、空氣…等。

### 5. 安全係數

安全係數為表示結構物安全性之指標，就現狀而言，亦可視為彌補設計上各種不明確因素之係數。嚴格而言，依安全係數之大小，於定性上比較結構物之安全性時，只能針對相同條件之結構物。而條件不同之結構物，就安全係數大小比較其安全性，則毫無意義可言。

由於對結構物之抵抗力、估算作用於結構物之外力及載重等各種因素本身，及因定量上無法完全了解各因素間之關係，故目前尚須採用經驗性之安全係數。

於設計條件相同時，個別設計條件之變動值越大、調查試驗之精度越差、設計公式之精度越差、結構物之使用年限越長，且結構物之重要性越高，則安全係數會越大。因此，嚴格而言，安全係數應依各種條件決定較為適宜。但依個別條件予以決定，有導致研判錯誤之虞，況且效率亦不佳。鑒此，本基準在標準條件下，規定經驗上認為充份安全之安全係數。然視結構物個別設計條件，可降低本基準中所規定之安全係數，於此狀況，須依據充份之理由，經慎重判斷後決定之，不可輕率地降低安全係數。

## 6. 施工方法

為使設計合理化，於設計時即須考量施工方法，更進一步，亦須考量施工對環境之影響。

## 7. 施工精度

於設計時，應依實際狀況，考量合理之施工精度。

## 8. 工期

於研擬工期時，務使工程於所定工期內得以完工，故於設計時，須與施工方法一併考量。

工期一般可視材料取得難易、施工設備、施工難易度，需要使用該結構物之時間，及自然條件等而定。

## 9. 工程費及維護費

於設計時，應比較工程費及維護費間之關係，於安全之前提下，設計最經濟之結構斷面。

## 第二章 船舶

## 第二章 船舶

### 2.1 船舶尺寸

計畫進港或靠泊船舶之尺寸應適切研定，以確保港口及港口設施能適用於該等船舶。

船舶主要尺寸如圖 2-1.1所示。船長一般指船舶登記長度或垂線間長度，而於表 2-1.1及表 2-1.2所示則為全長。滿載吃水係表示船舶最大吃水。計畫進港或靠泊船舶之尺寸不明確時，設計者可參考表 2-1.1及表2-1.2所列之尺寸。

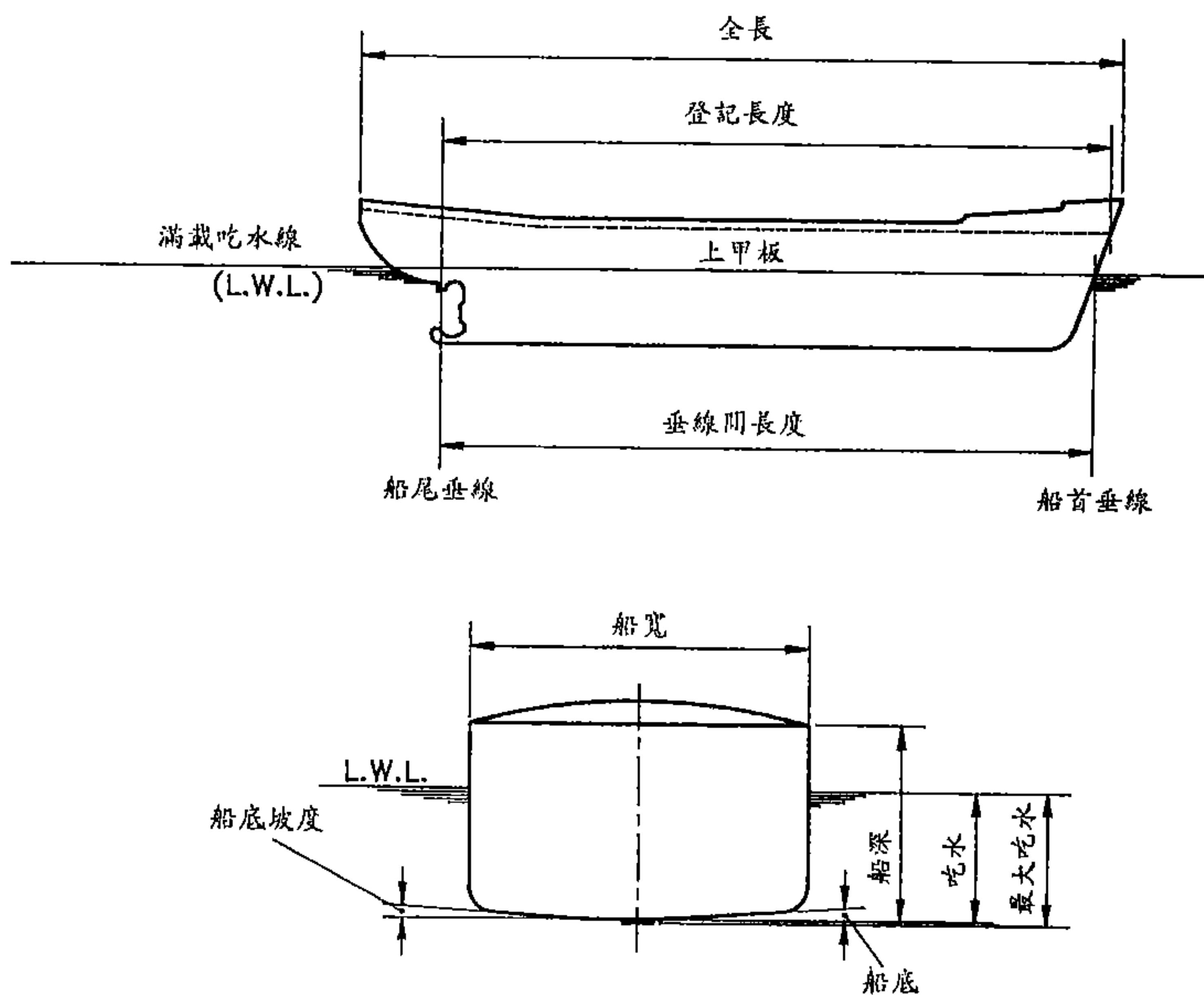


圖 2-1.1 船舶之主要尺寸

表 2-1.1 大型船舶尺寸參考表

| 種類          | 噸 數     | 全長<br>(m) | 船寬<br>(m) | 船深<br>(m) | 滿載吃水<br>(m) | 種類                    | 噸 數    | 全長<br>(m) | 船寬<br>(m) | 船深<br>(m) | 滿載吃水<br>(m) |
|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 客<br>輪      | (總噸)    |           |           |           |             | 油<br>輪                | (重量噸)  |           |           |           |             |
|             | 2,000   | 86        | 13.2      | 6.4       | 4.0         |                       | 1,000  | 61        | 9.8       | 4.4       | 4.0         |
|             | 3,000   | 99        | 14.7      | 7.6       | 4.5         |                       | 2,000  | 77        | 12.2      | 5.6       | 5.0         |
|             | 5,000   | 120       | 16.9      | 9.5       | 5.2         |                       | 3,000  | 88        | 13.8      | 6.5       | 5.6         |
|             | 8,000   | 142       | 19.2      | 11.6      | 5.8         |                       | 5,000  | 104       | 16.2      | 7.8       | 6.5         |
|             | 10,000  | 154       | 20.4      | 12.9      | 6.2         |                       | 10,000 | 130       | 20.1      | 10.1      | 8.0         |
|             | 15,000  | 179       | 22.8      | 14.7      | 6.8         |                       | 15,000 | 148       | 22.8      | 11.7      | 9.0         |
|             | 20,000  | 198       | 24.7      | 16.1      | 7.5         |                       | 20,000 | 162       | 24.9      | 13.0      | 9.8         |
| 渡<br>輪      | 30,000  | 230       | 27.5      | 18.3      | 8.5         |                       | 30,000 | 185       | 28.3      | 15.2      | 10.9        |
|             | (總噸)    |           |           |           |             |                       | 40,000 | 204       | 30.9      | 16.6      | 11.8        |
|             | 1,000   | 73        | 14.3      | 9.4       | 3.7         |                       | 50,000 | 219       | 33.1      | 17.5      | 12.7        |
|             | 2,000   | 96        | 17.1      | 10.7      | 4.4         |                       | 60,000 | 232       | 35.0      | 18.4      | 13.6        |
|             | 3,000   | 113       | 18.9      | 11.5      | 4.9         |                       | 70,000 | 244       | 36.7      | 19.2      | 14.3        |
|             | 4,000   | 127       | 20.2      | 12.2      | 5.3         |                       | 80,000 | 255       | 38.3      | 19.9      | 14.9        |
|             | 6,000   | 138       | 22.4      | 13.2      | 5.9         | 汽<br>車<br>輪           | (總噸)   |           |           |           |             |
|             | 10,000  | 170       | 25.4      | 14.5      | 6.5         |                       | 700    | 77        | 12.8      | 6.9       | 4.3         |
|             | 13,000  | 188       | 27.1      | 15.3      | 6.7         |                       | 1,000  | 86        | 14.1      | 8.0       | 4.7         |
|             | 15,000  | 200       | 28.1      | 15.7      | 6.9         |                       | 2,000  | 105       | 17.1      | 10.7      | 5.5         |
| 貨<br>輪      | (重量噸)   |           |           |           |             |                       | 3,000  | 117       | 19.1      | 12.7      | 6.0         |
|             | 700     | 58        | 9.7       | 5.5       | 3.7         |                       | 5,000  | 136       | 22.0      | 15.8      | 6.8         |
|             | 1,000   | 64        | 10.4      | 5.8       | 4.2         |                       | 6,000  | 144       | 23.1      | 17.1      | 7.1         |
|             | 2,000   | 81        | 12.7      | 6.8       | 4.9         |                       | 10,000 | 166       | 26.6      | 21.2      | 8.0         |
|             | 3,000   | 92        | 14.2      | 7.7       | 5.7         |                       | 15,000 | 187       | 29.8      | 25.1      | 8.8         |
|             | 5,000   | 109       | 16.4      | 9.0       | 6.8         |                       | 20,000 | 203       | 32.2      | 28.4      | 9.5         |
|             | 8,000   | 126       | 18.7      | 10.3      | 8.0         | 液<br>化<br>瓦<br>斯<br>船 | (總噸)   |           |           |           |             |
|             | 10,000  | 137       | 19.9      | 11.1      | 8.5         |                       | 1,000  | 70        | 11.7      | 5.7       | 5.0         |
|             | 15,000  | 153       | 22.3      | 12.5      | 9.3         |                       | 2,000  | 87        | 14.3      | 7.3       | 5.9         |
|             | 30,000  | 186       | 27.1      | 15.2      | 10.9        |                       | 3,000  | 99        | 16.1      | 8.5       | 6.6         |
|             | 40,000  | 201       | 29.4      | 16.5      | 11.7        |                       | 5,000  | 117       | 18.6      | 10.2      | 7.5         |
|             | 50,000  | 216       | 31.5      | 17.5      | 12.4        |                       | 10,000 | 145       | 22.7      | 13.1      | 9.0         |
|             | 70,000  | 235       | 33.8      | 19.2      | 13.4        |                       | 15,000 | 165       | 25.5      | 15.2      | 10.2        |
|             | 90,000  | 252       | 37.2      | 20.6      | 14.2        |                       | 20,000 | 181       | 27.7      | 16.9      | 11.0        |
|             | 100,000 | 259       | 38.7      | 21.2      | 15.8        |                       | 30,000 | 206       | 31.2      | 19.6      | 12.0        |
|             | 150,000 | 290       | 45.0      | 23.7      | 17.5        |                       | 50,000 | 242       | 36.1      | 23.6      | 13.5        |
| 貨<br>櫃<br>輪 | (重量噸)   |           |           |           |             |                       |        |           |           |           |             |
|             | 20,000  | 201       | 27.1      | 15.6      | 10.6        |                       |        |           |           |           |             |
|             | 30,000  | 237       | 30.7      | 18.4      | 11.6        |                       |        |           |           |           |             |
|             | 40,000  | 263       | 23.5      | 20.7      | 12.4        |                       |        |           |           |           |             |
|             | 50,000  | 280       | 35.8      | 22.6      | 13.0        |                       |        |           |           |           |             |

表 2-1.2 小型船舶尺寸參考表

| 種類  | 噸數           | 全長<br>(m) | 船寬<br>(m) | 船深<br>(m) | 滿載吃水<br>(m) | 種類    | 噸數           | 全長<br>(m) | 船寬<br>(m) | 船深<br>(m) | 滿載吃水<br>(m) |
|-----|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 貨船  | (重量噸)<br>300 | 42.0      | 8.1       | 4.3       | 3.2         | 渡輪    | (總噸)<br>300  | 45.5      | 10.5      | 3.3       | 2.6         |
|     | 600          | 54.3      | 9.4       | 5.4       | 3.6         |       | 500          | 56.1      | 12.3      | 3.7       | 3.0         |
|     |              |           |           |           |             |       | 900          | 71.3      | 14.0      | 4.3       | 3.5         |
| 油駁船 | (重量噸)<br>200 | 31.2      | 6.5       | 2.7       | 2.5         | 土砂運搬船 | (重量噸)<br>200 | 34.5      | 8.6       | 3.3       | 2.7         |
|     | 400          | 41.4      | 7.8       | 3.3       | 3.1         |       | 300          | 38.2      | 9.4       | 3.7       | 3.0         |
|     | 600          | 48.9      | 8.6       | 3.8       | 3.5         |       | 500          | 47.1      | 10.2      | 4.9       | 3.6         |
| 客輪  | (總噸)<br>100  | 31.7      | 6.8       | 2.6       | 1.8         | 拖船    | (總噸)<br>100  | 26.1      | 7.6       | 3.3       | 2.5         |
|     | 300          | 39.2      | 8.0       | 3.1       | 2.2         |       | 200          | 33.5      | 9.0       | 4.0       | 3.1         |
|     | 500          | 49.6      | 9.9       | 3.8       | 2.5         |       | 300          | 38.7      | 10.0      | 4.4       | 3.5         |

船舶噸位表示法，有總噸(GT)、淨噸(NT)、排水噸(DT) 及重量噸(DWT)等。

### 1. 總噸

總噸係以船舶內部總容積為基礎算出，為表示商船大小之標準。

總噸廣泛被使用之同時，亦作為大部份統計之基準。

### 2. 淨噸

淨噸係指主要供旅客或貨物運輸使用之容積，表示船舶之有用噸數，一般用為繫泊費等各種手續費以及稅捐之基準。

### 3. 排水噸

排水噸係指船舶某一吃水時之全重量(包括裝載物品)。船舶滿載吃水狀態時之重量稱為滿載排水量，而船體重量與輪機重量之和，稱為空載重量。軍艦噸位即採排水噸表示。

#### 4. 重量噸

重量噸係指船舶滿載排水量扣除空載重量之噸位，表示該船舶可裝載之貨物、燃料、水、油、其他裝載物品等之重量(載貨重量)。貨輪、油輪、貨櫃輪等之重量噸與總噸間之關係，可依下式估算之。

|       |  |
|-------|--|
| 貨輪    | $\left[ \begin{array}{l} \log GT = -0.347 + 1.049 \cdot \log(DWT) \quad (DWT < 6000) \\ \log GT = 0.162 + 0.915 \cdot \log(DWT) \quad (DWT \geq 6000) \end{array} \right.$ |
| 油輪    | $\log GT = -0.336 + 1.014 \cdot \log(DWT)$   |
| 貨櫃輪   | $\log GT = -0.670 + 1.140 \cdot \log(DWT)$   |
| 汽車專用船 | $\log GT = -0.260 + 1.079 \cdot \log(DWT)$   |
| 液化瓦斯船 | $\log GT = -0.051 + 0.994 \cdot \log(DWT)$   |

總噸1.0之相對重量噸，大致上可採用貨輪為1.9，油輪為2.0，貨櫃輪為1.0，汽車專用船為0.8，液化瓦斯船為1.2。上列所示重量噸與總噸間之關係，適用於表2-1.1中所列之船舶。

## 2.2 船舶所產生之外力

### 2.2.1 概要

船舶於靠岸時或繫泊時，作用於繫泊設施（碼頭或繫泊浮筒等）之外力，應考量計畫靠泊船舶尺寸(總噸、船長、船寬、船深、吃水等)、靠岸方法及靠岸速度、繫泊設施結構、繫泊方法、及繫泊系統性質等，並就風、波、水流等之影響，採用適宜之方法計算之。

船舶於靠岸或繫泊時，作用於繫泊設施之外力為下列二項。

- 船舶靠岸所產生之衝擊作用力
- 船舶繫泊時，船舶因風、波、水流作用搖動所產生之作用力

船舶靠岸時，作用於繫泊設施之衝擊作用力，依船舶靠岸能量及防舷材變形復元特性計算為原則。

繫泊中船舶因搖動所產生之拉力及衝擊力，依作用於船舶之波力、風力、水流力，及繫泊設施之特性等，進行搖動計算為原則。



## 2.2.2 船舶靠岸所產生之衝擊作用力

### 1. 概要

船舶靠岸能量，即船舶靠岸所產生之衝擊作用力，依下式計算之。

$$E_f = \frac{W_s \cdot V^2}{2g} C_e \cdot C_m \cdot C_s \cdot C_c \quad (2-2.1)$$

式中

$E_f$ ：船舶靠岸能量(t-m)

$g$ ：重力加速度( $m/s^2$ )

$W_s$ ：船舶排水量(t)

$V$ ：船舶靠岸速度( $m/s$ )

$C_e$ ：偏心係數

$C_m$ ：附加質量係數

$C_s$ ：船舶柔性係數(以1.0為標準)

$C_c$ ：船舶形狀係數(以1.0為標準)

### 2. 船舶排水量

船舶之重量噸(DWT)與排水噸(DT)間之關係，可依下式估算之。

$$\left. \begin{array}{l} \text{貨輪} \quad \text{Log}(DT) = 0.404 + 0.932 \cdot \text{Log}(DWT) \\ \text{油輪} \quad \text{Log}(DT) = 0.326 + 0.950 \cdot \text{Log}(DWT) \end{array} \right\} \quad (2-2.2)$$

$$DT \geq 1,000 \text{ t}$$

### 3. 船舶靠岸速度

船舶靠岸速度，應考量計畫靠泊船舶之船型、載貨狀況、繫泊設施位置及結構型式、氣象、海象狀況，及有無拖船協助及拖船大小等，依實測值或經驗值決定之。

### 4. 偏心係數

船舶靠岸時之偏心係數，應考量操船狀況、船舶性能、防舷材配置等，依下式計算之。



$$C_e = \frac{1}{1 + (\ell/r)^2} \quad (2-2.3)$$

式中

$\ell$ ：船舶靠岸點與船舶重心平行岸壁之距離(m)，如圖 2-2.1 所示。

$r$ ：通過船舶重心垂線之水平迴轉半徑(轉動半徑)(m)，參考圖 2-2.2 估算之。

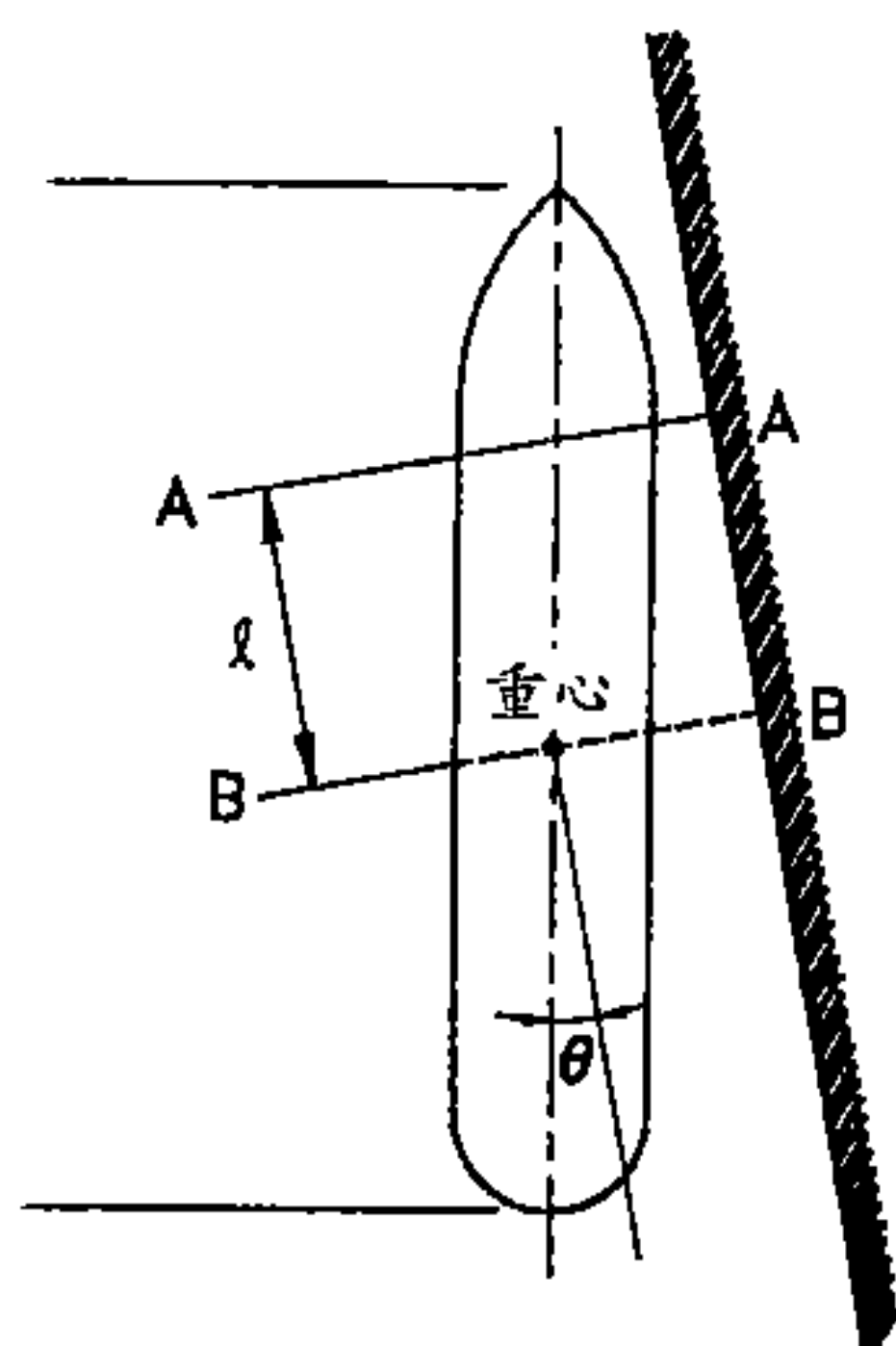
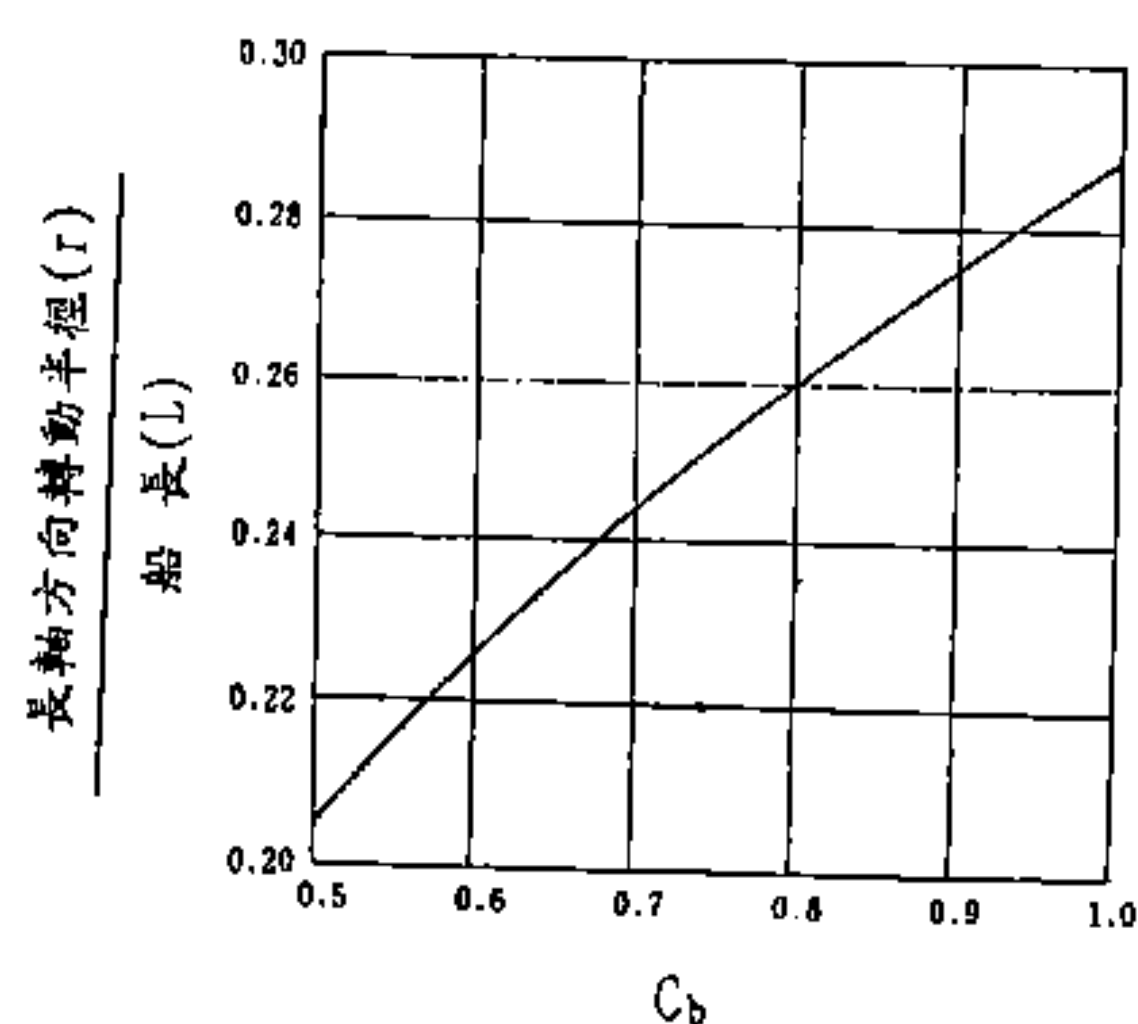


圖 2-2.1 船舶靠岸示意圖



$$C_b = \frac{W_s}{L \cdot B \cdot d \cdot w_0}$$

式中

$W_s$ ：船舶排水量(t)

$L$ ：船長(m)

$B$ ：船寬(m)

$d$ ：吃水(m)

$w_0$ ：海水單位體積重量( $t/m^3$ )

圖 2-2.2 長軸方向轉動半徑與 $C_b$ 之關係(Myers 1969)

## 5. 附加質量係數

船舶靠岸時，船舶與船舶周邊之水團同時被減速，由此水團質量所致之慣性力，將附加於船舶。附加質量係數，定義如下式。

$$C_m = \frac{M_s + M_w}{M_s} \quad (2-2.4)$$

式中

$C_m$ ：附加質量係數

$M_s$ ：船舶質量(船舶排水量除以重力加速度)

$M_w$ ：船舶周邊水團附加質量

由於船舶周邊水團附加質量不易估算，日本上田茂依模型試驗及現場觀測結果，建議附加質量係數可依下式估算之。

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2 \cdot C_b} \cdot \frac{d}{B} \quad (2-2.5)$$

$$C_b = \frac{W_s}{L \cdot B \cdot d \cdot w_0} \quad (2-2.6)$$

式中

$C_m$ ：附加質量係數

$d$ ：吃水(m)

$B$ ：船寬(m)

$W_s$ ：船舶排水量(t)，詳公式(2-2.2)

$L$ ：船長(m)

$w_0$ ：海水單位體積重量( $t/m^3$ )

## 6. 船舶柔性係數

柔性係數 $C_s$ ，為船舶靠岸能量與因船舶外殼變形所吸收能量之比，因船舶外殼變形所吸收之能量甚小，故船舶柔性係數可採用1.0。

## 7. 船舶形狀係數

於船舶周圍之水團，當船舶開始移動靠岸之最初階段，水團對於繫泊設施無任何影響，然當船舶靠岸時，在船舶與繫泊設施間之水團被壓縮，而出現緩衝之效果，使應由防舷材吸收之衝擊能量減少。船舶形狀係數，即用以表現此現象，一般認為船舶形狀係數與船舶靠岸角度、船舶外殼形狀、船舶底部形狀及船舶靠岸速度有關。船舶形狀係數在定量計算上，目前尚存有許多疑點，一般採用1.0。

### 2.2.3 繫泊中船舶搖動所產生之作用力

#### 1. 概要

繫泊於繫泊設施之船舶，受波浪、風、流等作用時，依須要考量因繫泊船舶之搖動所產生之外力。

因船舶搖動所產生之作用力，依作用於船舶之波力、風力、水流力、繫泊設施之特性等，採用適宜模式模擬船舶搖動為原則。

#### 2. 作用於繫泊船舶之波力

作用於繫泊船舶之波力，應考量船型及波浪特性，採適當方法計算之。

作用於繫泊浮體之波力之計算法，有切片法、特異點分佈法、邊界元素法，有限元素法等，而對於船舶則最普遍採用切片法。

#### 3. 作用於繫泊船舶之風力

如圖 2-2.3所示，作用於繫泊船舶之風力，依下式計算之。

$$R = \frac{W_0}{2g} \cdot C \cdot U^2 \cdot (A \cdot \cos^2\theta + B \cdot \sin^2\theta) \quad (2-2.7)$$

式中

$R$ ：作用風力(kg)

$w_0$ ：空氣單位體積重量(Kg/m<sup>3</sup>)

$g$ ：重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$U$ ：風速(m/s)，一般採用最大風速(10分鐘平均風速)

$A$ ：水面上船體正面投影面積(m<sup>2</sup>)

$B$ ：水面上船體側面投影面積(m<sup>2</sup>)

$\theta$ ：風向與船體中心線之夾角(度)

$C$ ：風力係數

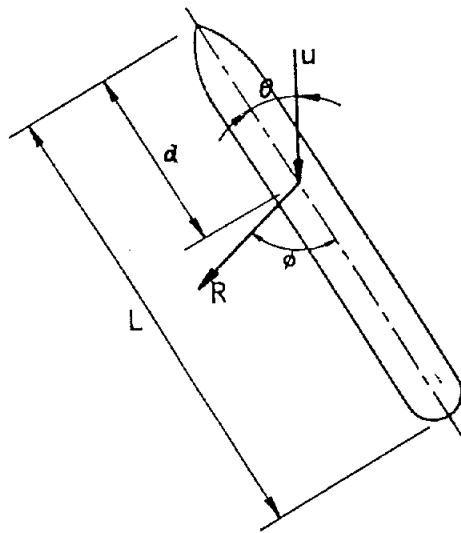


圖 2-2.3 風力計算示意圖

風力係數 $C$ ，可參考下列公式估算之。

貨輪  $C = 1.325 - 0.05\cos 2\theta - 0.35\cos 4\theta - 0.175\cos 6\theta$

客輪  $C = 1.142 - 0.142\cos 2\theta - 0.367\cos 4\theta - 0.133\cos 6\theta$  (2-2.8)

油輪  $C = 1.20 - 0.083\cos 2\theta - 0.25\cos 4\theta - 0.177\cos 6\theta$

風力作用點與船首之距離，依下式計算之。

$$a = (0.291 + 0.0023 \cdot \theta) \cdot L \quad (2-2.9)$$

式中

a：風力作用點與船首之距離(m)

L：船長(m)

$\theta$ ：風向與船體中心線之夾角(度)

風力作用方向，依下式計算之。

$$\varphi = \left[ 1 - 0.15 \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right) - 0.80 \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right)^3 \right] \cdot 90 \quad (2-2.10)$$

式中

$\varphi$ ：風力作用方向(度)

$\theta$ ：風向與船體中心線之夾角(度)

風力作用方向，亦可採用下列修正公式，式中係數 q，貨輪及空載油輪採用 5，滿載油輪則採用 3。

$$\begin{aligned} \varphi &= \left[ 3 - \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right) q \right] \cdot 90 \quad \theta \geq 0 \\ \varphi &= \left[ 1 + \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right) q \right] \cdot 90 \quad \theta < 0 \end{aligned} \quad (2-2.11)$$

#### 4. 作用於繫泊船舶之水流力

##### (1) 平行船舶方向水流所致之水流力

平行船舶方向水流，作用於船舶之水流力，依下式計算之。

$$R_f = 0.14 \cdot S \cdot V^2 \quad (2-2.12)$$

式中

$R_f$ ：水流力(Kg)

S：船舶浸水面積(m<sup>2</sup>)

V：水流流速(m/s)

##### (2) 垂直船舶方向水流所致之水流力

垂直船舶方向水流，作用於船舶之水流力，依下式計算之。

$$R = \frac{w_0}{2g} \cdot C \cdot V^2 \cdot B \quad (2-2.13)$$

式中

R：水流力(Kg)

$w_0$ ：海水單位體積重量(Kg/m<sup>3</sup>)

g：重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

C：流壓係數(參考圖2-2.4)

V：水流流速(m/s)

B：吃水線下之船體側面投影面積(m<sup>2</sup>)

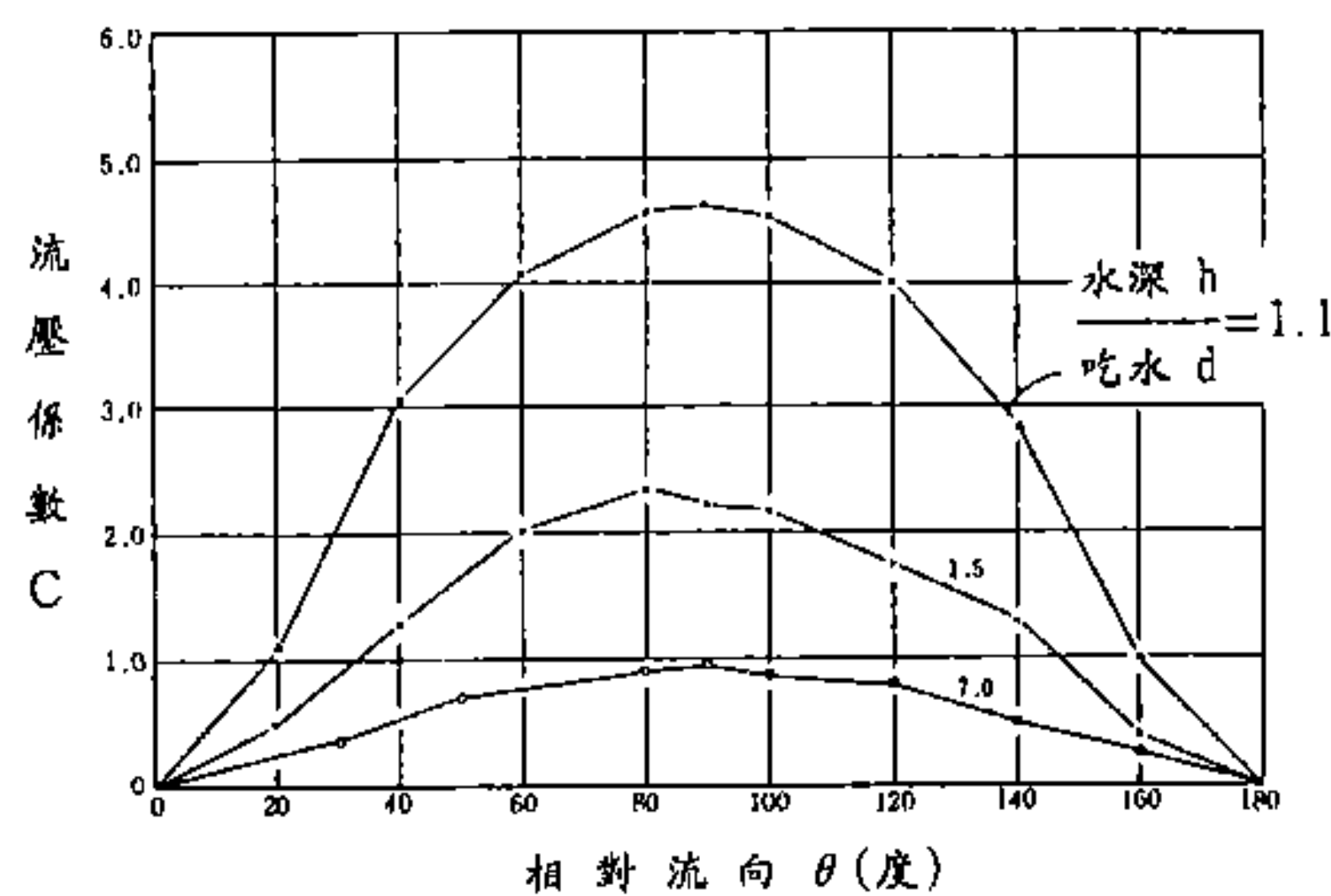


圖 2-2.4 流壓係數 C

## 2.2.4 作用於繫船柱之拉力

作用於繫船柱之拉力，可參考下列原則決定之。

1. 如表 2-2.1 所示，作用於直柱之拉力，依船舶總噸數，水平方向作用力採用表中所示之值，垂直方向作用力則採用表中所示值之 1/2，且同時作用於繫船柱上。
2. 如表 2-2.1 所示，作用於曲柱之拉力，依船舶總噸數，水平方向及垂直方向作用力均採用表中所示之值。

3. 總噸數小於 200 噸及總噸數大於 10 萬噸之船舶、颱風期亦供使用之繫泊設施，及設置於外海等氣象、海象條件惡劣水域之繫泊設施等，表 2-2.1 中未明訂作用於繫船設施之拉力，應考量氣象、海象條件、船舶型式、靠岸狀況、繫泊設施之結構型式，及作用於繫船設施拉力之實測資料等決定之。
4. 總噸數小於 200 噸之小型船舶，作用於繫船柱之拉力，為方便設計使用，作用於直柱之拉力可採用 15.0 噸，作用於曲柱之拉力可採用 5.0 噸。
5. 渡輪及貨櫃輪等受風面積較大之船舶，使用表 2-2.1 示之值時應予注意。

表 2-2.1 船舶作用於繫船柱之拉力

| 船舶總噸數<br>(t)    | 作用於直柱之拉力<br>(t) | 作用於曲柱之拉力<br>(t) |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 200～ 500        | 15              | 15              |
| 500～ 1,000      | 25              | 25              |
| 1,000～ 2,000    | 35              | 25              |
| 2,000～ 3,000    | 35              | 35              |
| 3,000～ 5,000    | 50              | 35              |
| 5,000～ 10,000   | 70              | 50(25)          |
| 10,000～ 15,000  | 100             | 70(35)          |
| 15,000～ 20,000  | 100             | 70(35)          |
| 20,000～ 50,000  | 150             | 100(50)         |
| 50,000～ 100,000 | 200             | 100(50)         |

註：( ) 內數值表示船席一定，位於船舶中間部份之繫船柱，其所繫倒纜(Spring Line)不超過二條時，作用於繫船柱之拉力。船纜配置及名稱，請參考第六篇第二章 2.1 節圖 2-1.1 所示。

### 第三章 風及風力



## 第三章 風及風力

### 3.1 風

#### 3.1.1 概要

用於推算暴潮及波浪之風速及風向，參考實測資料及修正之梯度風估算之。

計算作用於結構物及船舶風力所採用之設計風速，原則以長期實測資料統計而得。

#### 3.1.2 風之定義

##### 1. 風向

風向係指風之來向，地表面風向一般以 N、NNE、NE、ENE、E、ESE、SE、SSE、S、SSW、SW、WSW、W、WNW、NW 及 NNW 等十六方向表示之。

##### 2. 風速

- 平均風速：某觀測時間內風速之平均值（一般採用觀測時間正時前10分鐘記錄之平均值，作為該觀測時間之平均風速）。
- 最大風速：某一觀測期間內，平均風速之最大值。

#### 3.1.3 梯度風

梯度風(Gradient Wind)風速為氣壓梯度、等壓線之曲率半徑、緯度、空氣密度等之函數，可以下式表示之：

$$V_g = r \cdot \omega \cdot \sin \varphi \left( \sqrt{1 + \frac{\partial p / \partial r}{\rho_a \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin^2 \varphi}} - 1 \right) \quad (3-1.1)$$

式中  $V_g$ ：梯度風速(cm/s)，高氣壓時 (3-1.1)式之值為負數，故須取絕對值。

$\partial p / \partial r$ ：氣壓梯度 (質量 $g/cm^2/s^2$ )(低氣壓為正，高氣壓為負)

$p$ ：大氣壓力(通用單位為mb,  $1mb=10^3g/cm/s^2$ )

$r$ ：等壓線曲率半徑(cm)

$\omega$ ：地球自轉角速度(1/s)， $\omega=7.29 \times 10^{-5}/s$

$\phi$ ：緯度(度)

$\rho_a$ ：空氣密度(質量 $g/cm^3$ )

### 3.1.4 海面風速

實際上之海面風速通常較梯度風所求得的數值為小。而且梯度風風向在理論上雖說與等壓線平行，但實際上則如圖 3-1.1所示，是與等壓線之切線形成一 $\alpha$ 角在吹動著。地球北半球氣壓梯度，以高壓指向低壓為正，反之為負，故低氣壓中心如颱風等，其周圍的風向反時針方向向內吹，而高氣壓中心如蒙古冷氣團周圍的風，則順時針方向向外吹。而梯度風與海面風之關係則隨緯度之不同而異，其關係可參考表3-1.1所示之值。

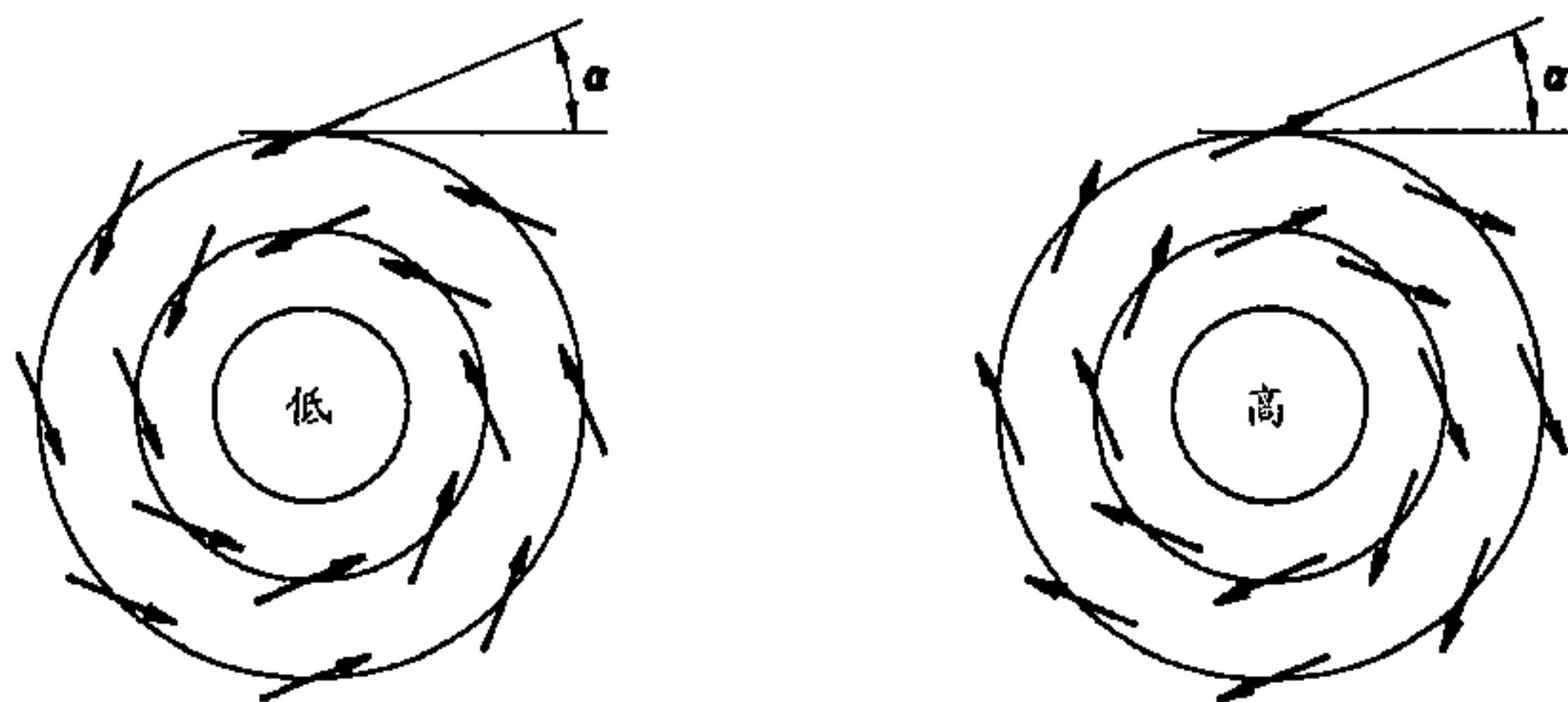


圖 3-1.1 低氣壓與高氣壓之吹風方向(北半球)

表 3-1.1 梯度風與海面風之關係

| 緯 度       | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  | 50°  |
|-----------|------|------|------|------|------|
| $\alpha$  | 24°  | 20°  | 18°  | 17°  | 15°  |
| $V_s/V_g$ | 0.51 | 0.60 | 0.64 | 0.67 | 0.70 |

註： $V_s$ ：海面風速(m/s)

$V_g$ ：梯度風速(m/s)

$\alpha$ ：海面風風向與等壓線之夾角。

## 3.2 風力

台灣地區風力計算，可參考「建築技術規則」建築構造篇第一章第四節風力相關規定辦理。

## 第四章 波力

## 第四章 波力

### 4.1 概要

作用於結構物之波力，應考慮結構物型式、海底地形、水深以及波浪等各因素，以水工模型試驗或經驗公式計算之。

### 4.2 設計波

#### 4.2.1 概要

港灣工程所用之設計波，應依實測資料或波浪推算結果，採適當之統計分析過程，並考慮波浪於淺水域之變形。

#### 4.2.2 設計波之定義

- 示性波(Significant Wave)  $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$

為一假想之波高及週期，其為一觀測波列中，按波高大小排列取其最大三分之一個波浪之波高與對應週期之平均值。

- 最大波(Highest Wave)  $H_{max}$ 、 $T_{max}$

為一觀測波列中之最大波浪之波高與對應週期。

- 深海波(Deepwater Wave)  $H_0$ 、 $T_0$

水深大於或等於二分之一波長處之波浪，稱之為深水波，其以示性波表示之。

- 等值深海波高(Equivalent Deepwater Wave Height)  $H_0'$

為一假想之深海波高，結構物前之等值深海波高係考慮折射及繞射之效應，而不包含淺化及破碎之影響。其值可依下式計算。

$$H_0' = K_d \cdot K_r \cdot H_0 \quad (4-2.1)$$

式中  $K_d$ ：繞射係數

$K_r$ ：折射係數

### 4.2.3 設計波擬定

#### 1. 設計波擬定流程

設計波擬定之流程如圖 4-2.1 所示：

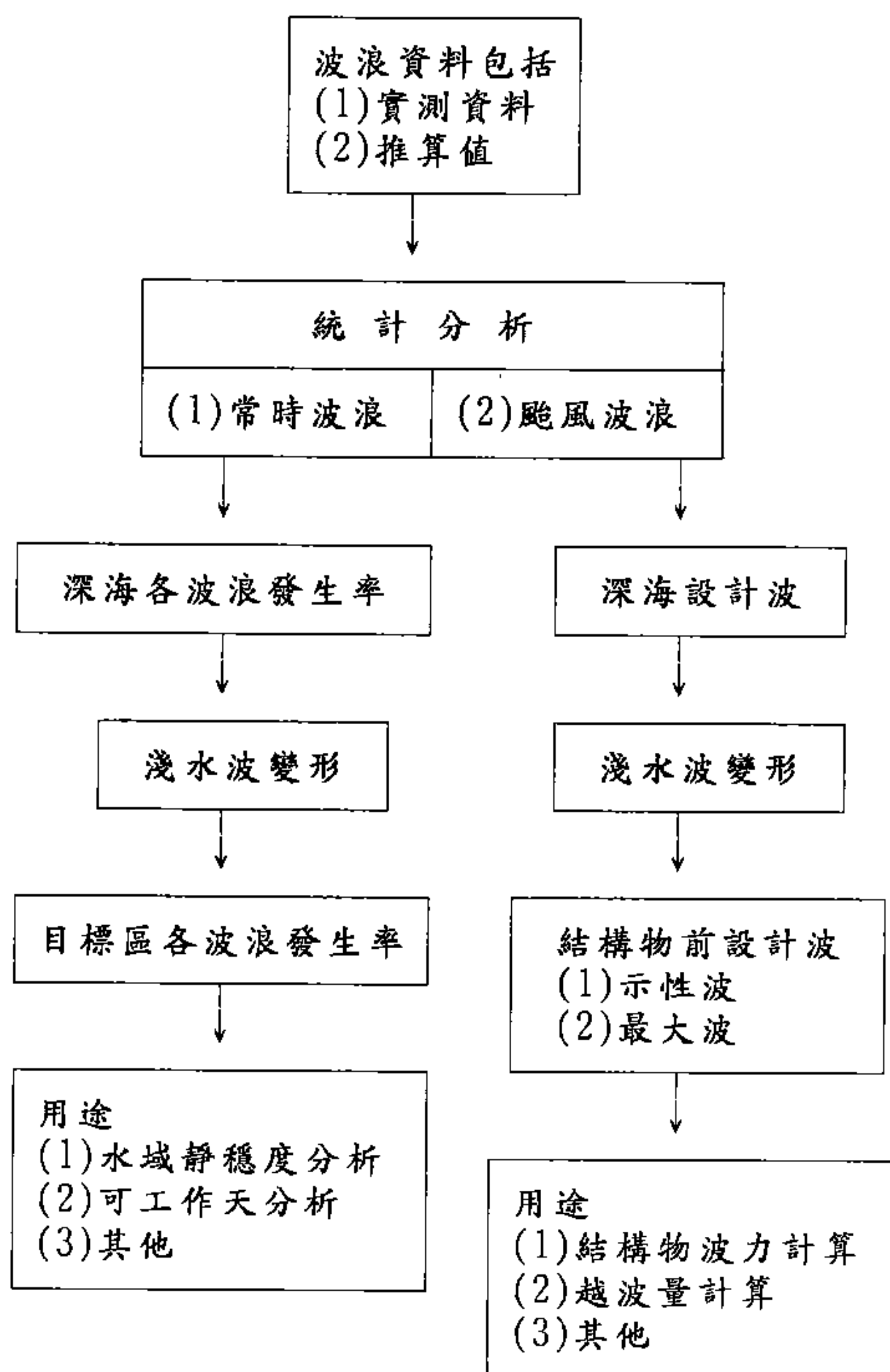


圖 4-2.1 設計波擬定流程圖

## 2. 擬定深海設計波之基本方針

(1) 港灣工程設計用之深海設計波，可採用下列方法之一決定。

① 30年以上之颱風波浪實測資料，採用極端值統計分析各迴歸期設計波。

② 採用至少30年以上颱風資料推算颱風波浪，並採用極端值統計分析各迴歸期設計波。

③ 以模型颱風推算設計波。採用此法須檢討歷年颱風規模，颱風路徑等，並針對所採用之模型颱風檢討其發生率。

(2) 擬定深海設計波時，所有可能之方向均應計算，並以22.5度為一計算方向。

(3) 無論採用迴歸期或遭遇機率，於決定各結構物之深海設計波時，須考量該結構物之功能、重要性、使用年限、工程經濟等因素，由設計者研判各狀況決定之。

## 3. 擬定設計波之步驟

(1) 可由實測記錄或波浪推算，求出對結構物可能產生影響之波浪，並計算出各方向不同迴歸期深海設計波高。

(2) 計算深海波折射、繞射至結構物前水域，並計算折射及繞射係數，據此求出等值深海波高。

(3) 計算等值深海波高，經由淺化、破碎等效應於結構物前之設計波高。

(4) 上述求出之結構物前設計波高，將用以計算波力、越波及其他波浪作用於結構物之計算。

(5) 波浪之作用強度，例如波力，隨著潮位變化而變，因此針對不同之設計項目，應考量不同之設計潮位組合。

(6) 所有可能之入射波向，均應依上述過程計算，以求得對結構物影響最大之狀況。

## 4.3 作用於海中結構物之波力

### 4.3.1 概要

作用於海中結構物之波力，須依結構物型式，採用適合之計算式，必要時應以模型試驗加以檢討。對海中孤立之柱狀構件，一般採用Morison公式計算波力。

### 4.3.2 Morison公式

作用於海中孤立柱狀構件之波力，可採用下列 Morison公式計算。

$$\Delta F = \frac{w_0}{2g} C_d \cdot D \cdot U \cdot |U| \cdot \Delta S + C_m \cdot \frac{w_0}{g} \cdot A \cdot \dot{U} \cdot \Delta S \quad (4-3.1)$$

式中

$\Delta F$ ：結構物 $\Delta S$ (m)高度所受之波力(t)

$w_0$ ：海水單位體積重量( $t/m^3$ )

$g$ ：重力加速度( $m/s^2$ )

$U$ ：水分子流速( $m/s$ )

$\dot{U}$ ：水分子加速度( $m/s^2$ )

$D$ ：結構物斷面寬度或直徑(m)

$A$ ：結構物斷面積( $m^2$ )

$C_d$ ：拖曳力係數

$C_m$ ：慣性力係數

Morison 公式適用範圍及其與波浪之關係特性歸納如下，當  $D/L$  大於 0.2 時，由於繞射現象逐漸顯著，Morison 公式不再適用，應採其他計算法，或以模型試驗計算波力。

$D/L > 1.0$       近乎全反射

$D/L > 0.2$       繞射逐漸顯著

$D/L \leq 0.2$       Morison 公式適用



$D/W \geq 0.2$       慣性力逐漸顯著

$D/W < 0.2$       拖曳力顯著

式中  $D$ ：結構物之直徑或寬度(m)

$L$ ：波長(m)

$W$ ：波浪水分子橢圓運動之長軸(m)

## 第五章 潮汐及暴潮位

# 第五章 潮位及暴潮位

## 5.1 概要

港灣工程所用之設計潮位，應依實測資料或估算之天文潮位及颱風暴潮，採適當之統計分析過程決定之。

## 5.2 設計潮位

設計潮位應選擇對結構物最危險潮位為原則，依各種結構型式而有所不同。

設計時，應對可能範圍內發生之各種潮位，加以檢討比較，使結構物在任何潮位下均屬安全，且能發揮所要求之功能。

## 5.3 天文潮

### 5.3.1 概要

設計用天文潮位主要為下列各項，其至少應以一年實測資料分析而得。

- 平均海平面(M.W.L.)
- 基本水準面(C.D.L.)
- 朔望平均高潮位(H.W.L.)或大潮平均高潮位(H.W.O.S.T.)
- 朔望平均低潮位(L.W.L.)或大潮平均低潮位(L.W.O.S.T.)
- 最高高潮位(H.H.W.L.)
- 最低低潮位(L.L.W.L.)

### 5.3.2 天文潮位定義

#### 1. 平均海平面(Mean Water Level, M.W.L)

一年以上潮位實測資料之平均水面。

各月份之平均海平面，因受海水溫度及氣壓等影響，約以1年為週期，徐徐昇降。平均海平面月變化顯著海域，設計結構物時須考慮此種變化。

#### 2. 基本水準面(Critical Datum Level, C.D.L)

港灣工程之基本水準面，未定有基本水準面之港口，原則上可採用平均海平面下，扣除分潮 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 四個分潮振幅和之水面為基本水準面。

#### 3. 朔望平均高潮位(Mean Spring High Water Level, H.W.L)

朔望之日前2日後4日內，各月所出現最高高潮位之平均水位。

#### 4. 朔望平均低潮位(Mean Spring Low Water Level, L.W.L)

朔望之日前2日後4日內，各月所出現最低低潮位之平均水位。

#### 5. 大潮平均高潮位(High Water Level on Spring Tide, H.W.O.S.T)

平均海平面上，加上分潮 $M_2$ 及 $S_2$ 振幅和之水位。

#### 6. 大潮平均低潮位(Low Water Level on Spring Tide, L.W.O.S.T)

平均海平面下，扣除分潮 $M_2$ 及 $S_2$ 振幅和之水位。

#### 7. 最高高潮位(Highest High Water Level on Record, H.H.W.L)

19年以上實測最高水位，或依調合分析結果，預測18.6年潮位，其間最高水位。

#### 8. 最低低潮位(Lowest Low Water Level on Record, L.L.W.L)

19年以上實測最低水位，或依調合分析結果，預測18.6年潮位，其間最低水位。

## 5.4 颱風暴潮位

因颱風而造成之暴潮水位，原則上應以長期潮位觀測記錄統計而得，或以颱風資料，採電腦數值模式推算之。

為推算颱風而造成之暴潮水位，潮位觀測期間，愈久愈可靠，最低限度以30年為準。但實際上有30年以上驗潮記錄之港口非常罕有，故一般採用電腦數值模式推算，或併用其他方法加以檢討，如查閱以往異常高潮災害報告、舊報紙、古典文獻及聽取年長者口述以往災害情況等。

## 第六章 水流及水流力

## 第六章 水流及水流力

### 6.1 概要

港灣工程設計上所須之水流流速、流向資料，以實測資料或數值推算為原則。

### 6.2 作用於水中結構物之水流力

由於水流之加速度甚小，故作用於水中孤立柱狀構件之水流力，可採用下列僅考慮拖曳力之公式計算。必要時應以模型試驗加以檢討。

$$F = \frac{w_0}{2g} C_d \cdot A \cdot U^2 \quad (6-2.1)$$

式中

$F$ ：於水流方向作用於結構體之拖曳力(t)

$w_0$ ：水單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$g$ ：重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$C_d$ ：拖曳力係數

$A$ ：結構物於水流方向之投影面積(m<sup>2</sup>)

$U$ ：水流速度(m/s)

## 第七章 作用於浮體之外力及其搖動



## 第七章 作用於浮體之外力及其搖動

### 7.1 概要

浮體設計，應充分考量因風、流、波浪等外力作用所致之搖動量及繫留力。

一般所謂浮體，係指在水中擁有浮力，並容許一定範圍內運動之結構物。於進行浮體設計時，應檢討浮體所須具備之功能，及浮體安全性兩項。於進行各別之檢討時，應注意兩者之設計條件不同。

繫留設施，一般由錨鏈、錨、沉錘、安裝接頭及防舷材…等所組成，其型式種類甚多。繫留設施，對浮體之運動影響至巨，因此，安全且適宜之設計，至為重要。

### 7.2 作用於浮體之外力

作用於浮體之外力，除風、流、波浪等外，尚有起因於浮體自身搖動所致之外力，及因繫留設施拘束浮體運動所致之繫留力等。對於此些外力，應採適宜之分析法或模型實驗估算之。

### 7.3 浮體之搖動及繫留力

浮體之搖動及繫留力，應充分考量浮體形狀、作用外力，及繫留系統特性等，採適當分析法或模型實驗估算之。

## 第八章 地質

## 第八章 地質

### 8.1 土壤物理性質

#### 8.1.1 土壤單位體積重量

##### 1. 概要

土壤單位體積重量，不論粘性土或砂質土皆應從現場採取土樣，於試驗室測定之。

##### 2. 土壤總單位體積重量

土壤總單位體積重量(當地密度， $\gamma_t$ )為單位體積內土粒之重量與其孔隙中水重量兩者之和，其可由下式計算之。

$$\gamma_t = \frac{G_s + S_r \cdot e}{1+e} \gamma_w = \frac{1+\omega}{1+e} \gamma_w \cdot G_s \quad (8-1.1)$$

式中  $\gamma_t$ ：土壤總單位體積重量( $t/m^3$ )

$G_s$ ：土粒比重

$e$ ：孔隙比

$S_r$ ：飽和度

$\omega$ ：含水量

$\gamma_w$ ：單位體積水之重量( $t/m^3$ )

##### 3. 土壤乾單位體積重量

土壤乾單位體積重量(乾密度， $\gamma_d$ )，係僅考慮單位體積內土粒本身之重量，即(8-1.1)式中 $\omega=0$ 或 $S_r=0$ ，其可由下式計算之。

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e} \quad (8-1.2)$$

式中  $\gamma_d$ ：土壤乾單位體積重量( $t/m^3$ )

$G_s$ ：土粒比重

$\gamma_w$ ：單位體積水之重量( $t/m^3$ )

含水土壤單位體積重量 $\gamma_t$ 與土壤乾密度 $\gamma_d$ 之關係，如下式所示。

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+\omega} \quad (8-1.3)$$

式中  $\gamma_d$ ：乾燥土壤單位體積重量( $t/m^3$ )

$\gamma_t$ ：含水土壤單位體積重量( $t/m^3$ )

$\omega$ ：含水量

#### 4. 土壤浸水單位體積重量

土壤在水中之單位體積重量(土壤浸水單位體積重量， $\gamma'$ )，係將土粒孔隙中之水達到飽和，即(8-1.1)式中 $S_r=1$ ，並將浮力加入考慮之，其可由下式計算之。

$$\gamma' = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w \quad (8-1.4)$$

式中  $\gamma'$ ：土壤浸水單位體積重量( $t/m^3$ )

$G_s$ ：土粒比重

$\gamma_w$ ：單位體積水之重量( $t/m^3$ )

$e$ ：孔隙比

#### 5. 相對密度

砂質土之鬆緊狀況，可以下式相對密度( $D_r$ )之方法表示之。

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \cdot \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \quad (8-1.5)$$

式中  $D_r$ ：相對密度(%)

$e_{max}$ ：土壤在最鬆狀態之孔隙比

$e_{min}$ ：土壤在最緊密狀態之孔隙比

$e$ ：土樣(試體)之孔隙比

$\gamma_{dmax}$ ：土壤在最緊密狀態之乾密度( $t/m^3$ )

$\gamma_{dmin}$ ：土壤在最鬆狀態之乾密度( $t/m^3$ )

$\gamma_d$ ：土壤之乾密度( $t/m^3$ )

## 8.1.2 土壤分類

於本基準中，土壤分類法原則上採用統一土壤分類法。

統一土壤分類法，將土壤分為粗顆粒土壤、細顆粒土壤及高有機質土壤三大類，再細分為15種細類，如表 8-1.1所示。根據目視及試驗室試驗結果，土壤之不同分類分別賦予更明細之分類符號及名稱，請詳見中國國家標準CNS 12387[工程用土壤分類試驗法]。

## 8.1.3 土壤透水係數

土壤透水係數可採適合計算式，以室內透水試驗或現場透水試驗估算之。

在完全飽和土壤內流動之滲流，如係層流(Laminar Flow)時，其透水係數(Permeability Coefficient)可由下式估算之。

$$k = \frac{q}{i \cdot A} \quad (8-1.6)$$

式中  $k$ ：透水係數(cm/s)

$q$ ：單位時間內流動於土層中之水量(cm<sup>3</sup>/s)

$i$ ：水力坡降(Hydraulic Gradient)  $i=h/L$

$h$ ：損失水頭(cm)

$L$ ：滲流流路長度(cm)

$A$ ：斷面積(cm<sup>2</sup>)

## 8.2 土壤力學性質

### 8.2.1 彈性常數(Elastic Constants)

#### 1. 概要

假設土壤為彈性體進行分析時，其彈性常數一般以變形模數(Modulus of Deformation)及波森比(Poisson's Ratio)表示。

表 8-1.1 土壤統一分類表

| 試 驗 室 土 樣 分 類 條 件                        |                                 |                                       |  | 土 壤 分 類 |  |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|--|---------|--|
|  |                                 |                                       |  | 分類符類    | 分 類 符 號  |
| 粗顆粒土壤<br>(停留在75 $\mu$ m<br>篩者，超過<br>50%) | 礫石<br>(粒顆粒停留在4.75<br>mm篩者超過50%) | 純礫石<br>(細顆粒少於 5% <sup>(4)</sup> )     | $C_u \geq 4$ 且 $1 \leq C_c \leq 3$     | GW      | 級配良好礫石 <sup>(8)</sup>  |
|  |                                 |                                       | $C_u < 4$ 且/或 $1 > C_c > 3$            | GP      | 級配不良礫石 <sup>(8)</sup>  |
|  |                                 | 含細顆粒之礫石<br>(細顆粒少於12% <sup>(4)</sup> ) | 細顆粒歸類為ML或MH                            | GM      | 粉土質礫石 <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup> <sup>(8)</sup>   |
|  |                                 |                                       | 細顆粒歸類為CL或CH                            | GC      | 黏土質礫石 <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup> <sup>(8)</sup>   |
|  | 砂<br>(粗顆粒通過 4.75<br>mm篩者超過50%)  | 純砂<br>(細顆粒少於 5% <sup>(5)</sup> )      | $C_u \geq 6$ 且 $1 \leq C_c \leq 3$     | SW      | 級配良好砂 <sup>(9)</sup>   |
|  |                                 |                                       | $C_u < 6$ 且/或 $1 > C_c > 3$            | SP      | 級配不良砂 <sup>(9)</sup>   |
|  |                                 | 具有細顆粒之砂<br>細顆粒少於12% <sup>(5)</sup>    | 細顆粒歸類為ML或MH                            | SM      | 粉土質砂 <sup>(7)</sup> <sup>(8)</sup> <sup>(9)</sup>  |
|  |                                 |                                       | 細顆粒歸類為CL或CH                            | SC      | 黏土質砂 <sup>(7)</sup> <sup>(8)</sup> <sup>(9)</sup>  |
| 細顆粒土壤<br>(通過 75 $\mu$ m<br>篩者，超過<br>50%) | 粉土與黏土<br>(液性限度小於50)             | 無機質土壤                                 | PI $\geq 7$ 且在"A"線或其上方 <sup>(10)</sup> | CL      | 低塑性黏土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup>  |
|  |                                 |                                       | PI $> 4$ 或在"A"線下方 <sup>(10)</sup>      | ML      | 粉土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup>   |
|  |                                 | 有機質土壤                                 | 液性限度(烘乾)<br>液性限度(未經烘乾)<br>$< 0.75$     | OL      | 有機質黏土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup> <sup>(14)</sup><br>有機質黏土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup> <sup>(15)</sup> |
|  |                                 |                                       |  |         |  |
|  | 粉土與黏土<br>(液性限度50以上)             | 無機質土壤                                 | PI值位於"A"線或其上方                          | CH      | 高塑性黏土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup>  |
|  |                                 |                                       | PI值位於"A"線下方                            | MH      | 彈性粉土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup>   |
|  |                                 | 有機質土壤                                 | 液性限度(烘乾)<br>液性限度(未經烘乾)<br>$< 0.75$     | OH      | 有機質黏土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup> <sup>(16)</sup><br>有機質粉土 <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup> <sup>(17)</sup> |
|  |                                 |                                       |  |         |  |
| 高有機質土壤                                   | 含有大量有機物質， 暗色，有機質味道              |                                       |  | PT      | 泥炭土  |

註(1)：本土壤分類取至中國國家標準CNS 12387[工程用土壤分類試驗法]

(2)：本試驗以通過75 $\mu$ m篩之土樣為準。

(3)：若土樣含有卵石，必須在分類名稱前面加註「含卵石」。

(4)：含5~12%細顆粒之礫石，必須使用雙重符號：

GW-GM代表含粉土之級配良好礫石

GW-GC代表含黏土之級配良好礫石

GP-GM代表含粉土之級配不良礫石

GP-GC代表含黏土之級配不良礫石

GW-GM代表含粉土之級配良好礫石

(5)：含有5~12%細顆粒之砂，必須使用雙重符號：

SW-SM代表含粉土之級配良好砂

SW-SC代表含黏土之級配良好砂

SP-SM代表含粉土之級配不良砂

SP-SC代表含黏土之級配不良砂

GW-GM代表含粉土之級配良好礫石

(6)：若土樣之砂含量 $\geq 15\%$ ，在分類名稱前加註「含砂」

(7)：若細顆粒歸類為CL-ML，必須使用雙重符號GC-GM或SC-SM

(8)：若細顆粒含有有機質，在分類名稱前加註「含有機質細顆粒」

(9)：若土樣中之礫石含量 $\geq 15\%$ ，在分類名稱前加註「含礫石」

(10)：若阿太堡限度在斜線範圍內，土壤屬於粉土質黏土，CL-ML

(11)：若土樣中 $> 75\mu$ m篩之含量在15~30之間，視其砂或礫石含量加註「含砂」或「含礫石」

(12)：若土樣中 $> 75\mu$ m篩之含量超過30%，且主要之含量為砂，在分類名稱前面加註「砂質」

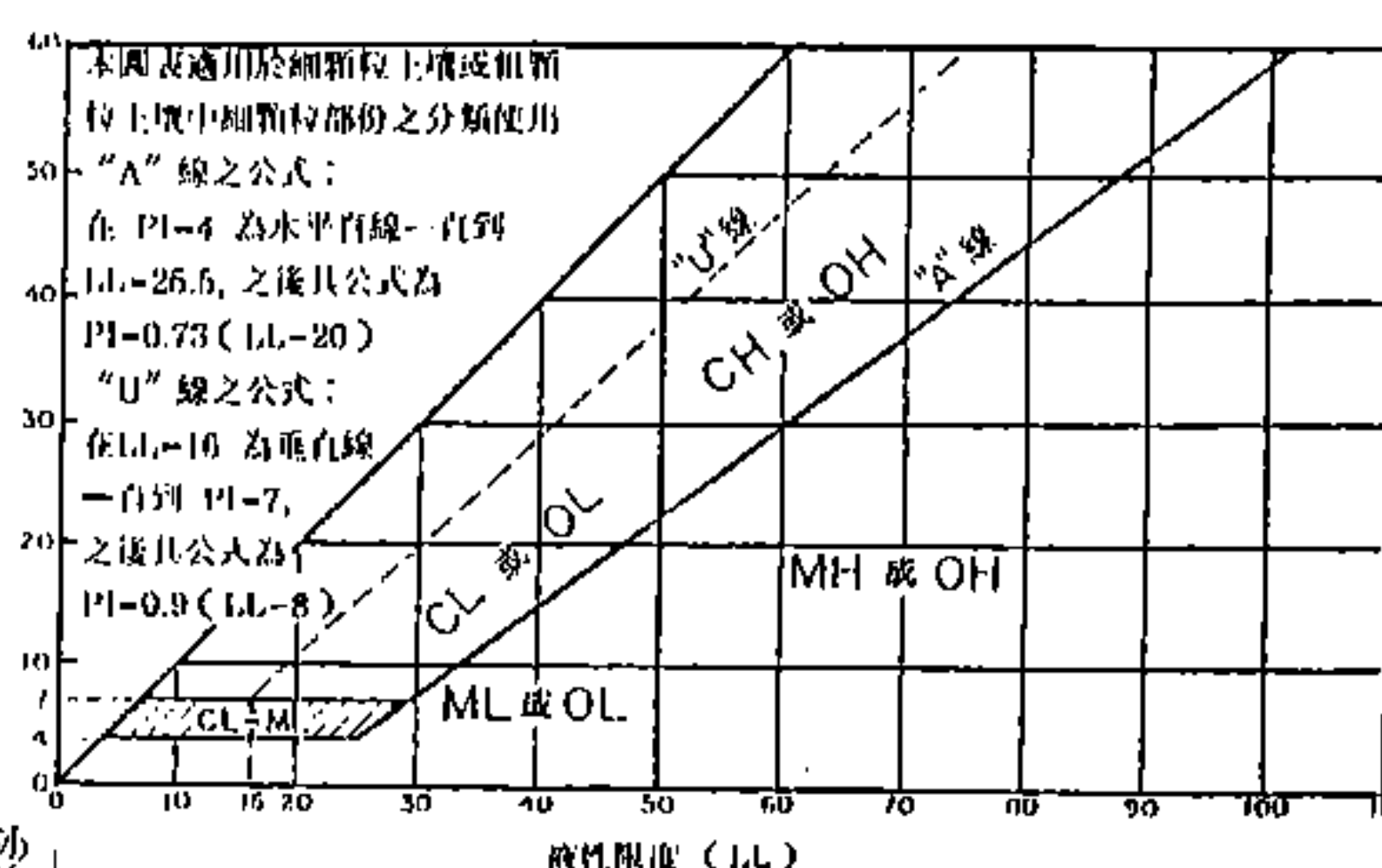
(13)：若土樣中 $> 75\mu$ m篩之含量超過30%，且主要之含量為礫石，在分類名稱前面加註「礫石質」

(14)：PI $\geq 4$ 且座標值位於「A」線或其上方

(15)：PI $< 4$ 或座標值位於"A"線下方

(16)：PI座標值位於"A"線或其上方

(17)：PI座標值位於"A"線下方



## 2. 變形模數

變形模數於現場，可採下述之試驗方法求得。

- 平板載重試驗
- CBR 試驗
- 孔內側向載重試驗

變形模數於試驗室內求取時，一般係採單軸壓縮試驗或三軸壓縮試驗，於如圖 8-2.1 所示之三種應力應變曲線 (Stress-Strain Curve) 中求取之。

初步規劃使用之初期正切係數  $E_i$ ，及正割係數  $E_{50}$  之估算值，可以下式求得。

$$\begin{aligned} E_i &= 210 \cdot C_u \\ E_s(E_{50}) &= 180 \cdot C_u \end{aligned} \quad (8-2.1)$$

式中  $E_i$ ：初期正切係數 ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$E_s(E_{50})$ ：正割係數 ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$C_u$ ：依不壓密不排水試驗剪力求得之土壤視凝聚力 (Apparent cohesion) ( $\text{Kg/cm}^2$ )

(8-2.1) 中  $E_i$  之估算式，適用於塑性非常高之海域黏土，式中常數 210，係應變  $\epsilon$  之切線斜率小於 0.2~0.5% 時之估算值。

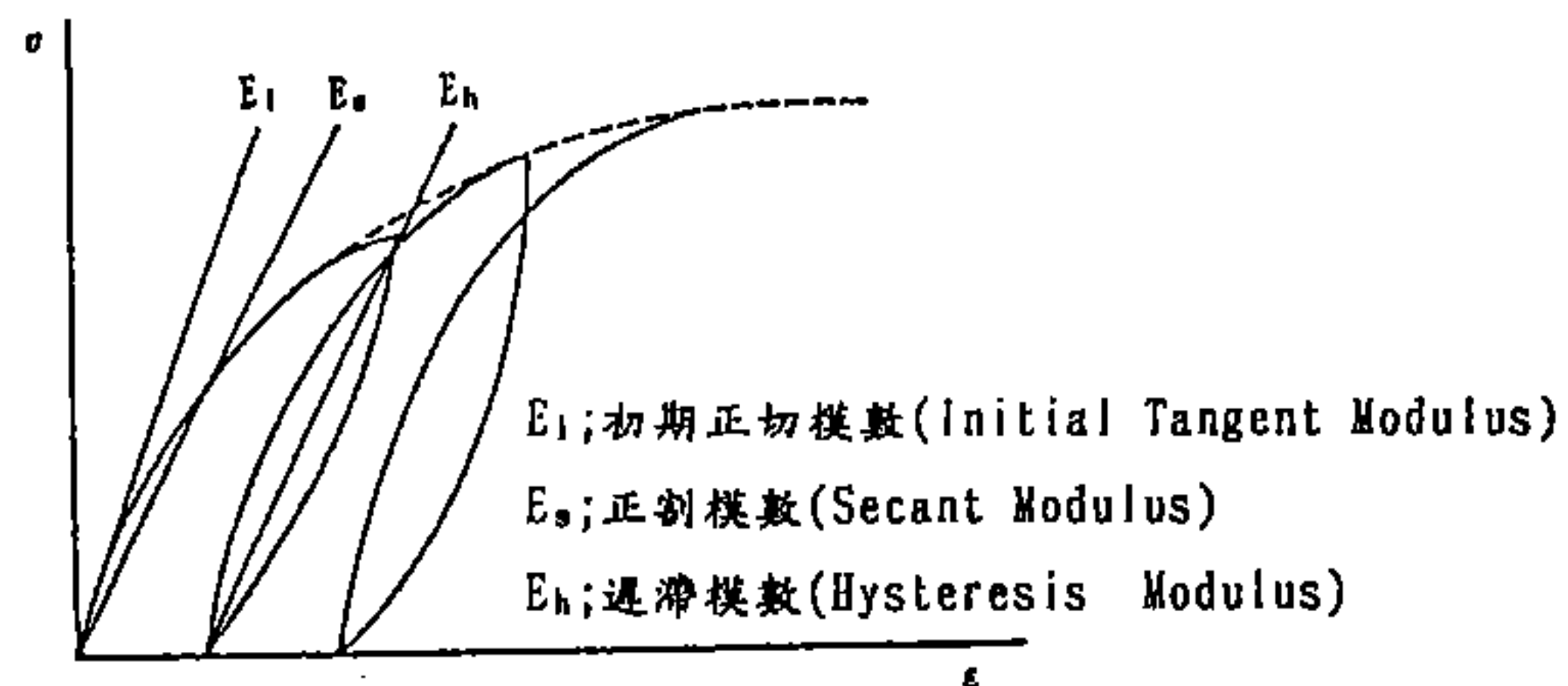


圖 8-2.1 變形模數之種類

### 3. 波森比

波森比(Poisson's Ratio,  $\nu$ )之求法，目前雖然有許多方法，但尚無明確之試驗方法。

於飽和狀態不排水條件下，建議土壤之 $\nu$ 值為 $1/2$ 。於其他條件，建議 $\nu$ 值為 $1/3 \sim 1/2$ 。

## 8.2.2 壓密特性

### 1. 概要

用於預測及估算黏土壓密現象之相關性質參數，以試驗室求取為原則。

### 2. 壓密現象

所謂壓密現象係黏性土壤經載重作用後，引致黏性土孔隙水壓增加，該超額孔隙水壓隨時間造成孔隙水徐徐排出，超額孔隙水壓逐漸下降，且使土壤體積隨之縮小之現象。

顯示土壤壓密特性之壓密係數(Coefficient of consolidation,  $C_v$ )，與壓密之進行速度有關，其值愈大壓密之進行愈快。而體積壓縮係數( $m_v$ )，則用以預測壓密沉陷量之用，即某載重所產生之土壤壓縮量與體積壓縮係數成正比。

### 3. 壓密沉陷量

對一體積壓縮係數為 $m_v$ 之土壤而言，其壓密沉陷量可依下式計算。

$$S = m_v \cdot \Delta P \cdot h \quad (8-2.2)$$

式中  $S$ ：壓密沉陷量(cm)

$m_v$ ：體積壓縮係數( $\text{cm}^2/\text{Kg}$ )

$\Delta P$ ：壓力增加量( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$h$ ：土層厚度(cm)

體積壓縮係數 $m_v$ ，隨壓密壓力之增加而減少，在正常壓密狀態下，如將 $P$ 與 $m_v$ 之關係繪入對數紙時，約略成為直線。當土壤承載壓力由 $P_0$ 增加至 $(P_0 + \Delta P)$ 時，利用(8-2.2)式求壓密



沉陷量時， $m_v$ 之值採用 $(P_o + \frac{1}{2}\Delta P)$ 點之 $m_v$ 值。

壓密沉陷量  $S$ ，亦可由壓密試驗結果之孔隙比與載重關係 ( $e-\log p$  曲線)求得，即承受 $P_o$ 壓力壓密，而孔隙比為 $e_o$ 之土壤，如增加壓力 $\Delta P$ 時，厚度為 $h$ 之土層，其壓密沉陷量 $S$ 可由下式計算之。

$$S = h \frac{C_c}{1+e_o} \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (8-2.3)$$

式中  $C_c$ ：壓縮指數(Compression Index)

上述壓密理論，一般僅適用於飽和之粘土，惟對不飽和之土壤，如可先求出如圖 8-2.2所示之 $e-\log p$ 曲線，亦可利用(8-2.3)式計算其壓密沉陷量。

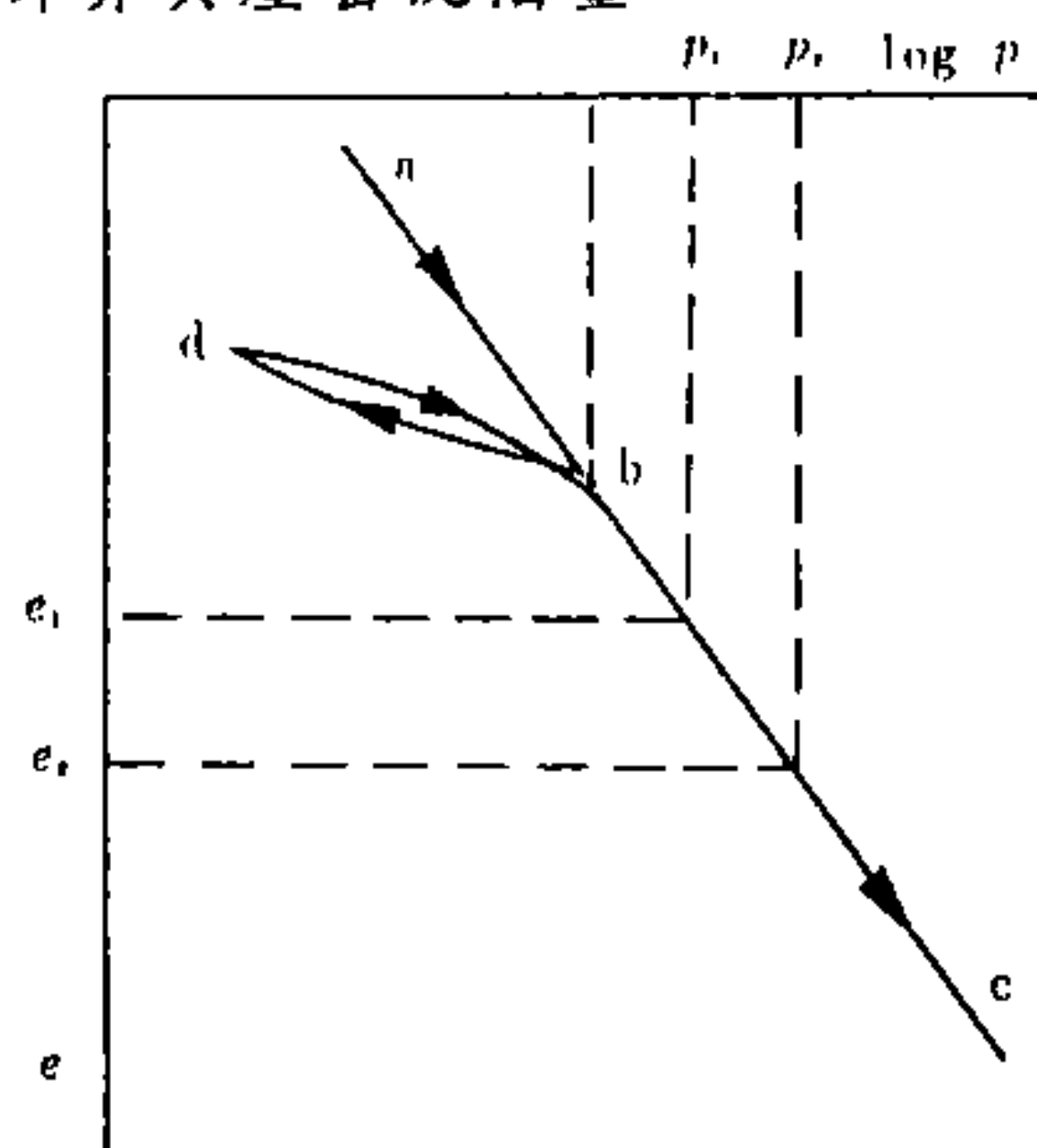


圖 8-2.2 壓力與孔隙比關係圖

#### 4. 沉陷速度

飽和粘土如在不排水狀況下，加以壓力  $P$ 時，則其內部將增加與  $P$ 相等之孔隙水壓。在壓密開始時，其孔隙水壓  $u$ 則隨著時間而減少，同時土壤顆粒間之應力(有效應力， $\sigma'$ )則增加，然所增加之孔隙水壓 $u$ 與所增加之顆粒間應力  $\sigma'$ 之和，經常保持與載重壓力 $P$ 相等。即

$$P = \sigma' + u \quad (8-2.4)$$

厚度為  $h$  之粘土層上下兩面，若有透水性較大之砂層存在時，當加以壓密壓力  $P$  時，有效應力  $\sigma'$  及孔隙水壓  $u$  之深度分佈狀況示意一般如圖 8-2.3(a) 所示。即壓密開始時 ( $t=0$ )， $u=P$ ， $\sigma'=0$ ，即圖 8-2.3(a) DC 線所示之狀態。壓密完成時 ( $t=\infty$ )， $u=0$ ， $\sigma'=P$ ，即圖 8-2.3(a) AB 線所示之狀態。然在壓密開始經過  $t$  時間後之狀態，則示意如圖 8-2.3(a) 中之 AEB 曲線。如上所述，離排水層較遠部份壓密進行之速度，亦相應較為緩慢。在各種深度土壤顆粒間之應力與載重壓力之比 ( $\sigma'/p$ )，稱為該深度之壓密度  $U_z$  (Degree of Consolidation)，而各深度之壓密度除以全土層厚度予以平均後，則稱之為平均壓密度  $U$  (Mean Degree of Consolidation)。由圖 8-2.3(a) 可知平均壓密度係面積 AEBCD 與面積 ABCD 之比。即  $t=0$  時， $U=0$ ，壓密完成時  $U=1.0$ 。在理論上而言，在  $t \rightarrow \infty$  時， $U=1.0$ 。

壓密進展之狀況，可以平均壓密度  $U$  表示之。而表示時間指標，則以時間因數  $T_v$  表示之。時間因數  $T_v$  與實際時間  $t$  之關係，可以下式表示之。

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad (8-2.5)$$

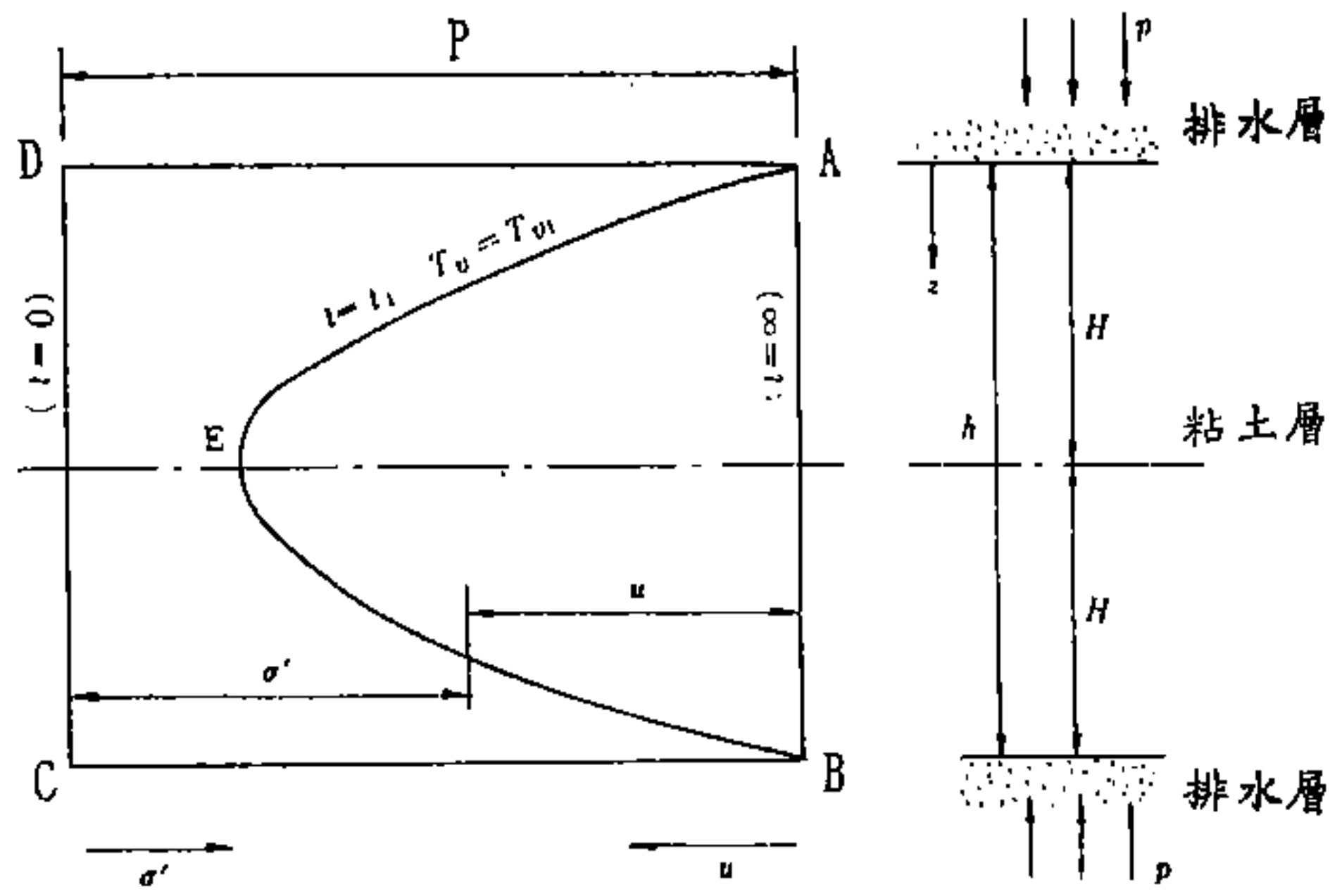
式中  $T_v$ ：時間因數

$C_v$ ：壓密係數 ( $\text{cm}^2/\text{day}$ )

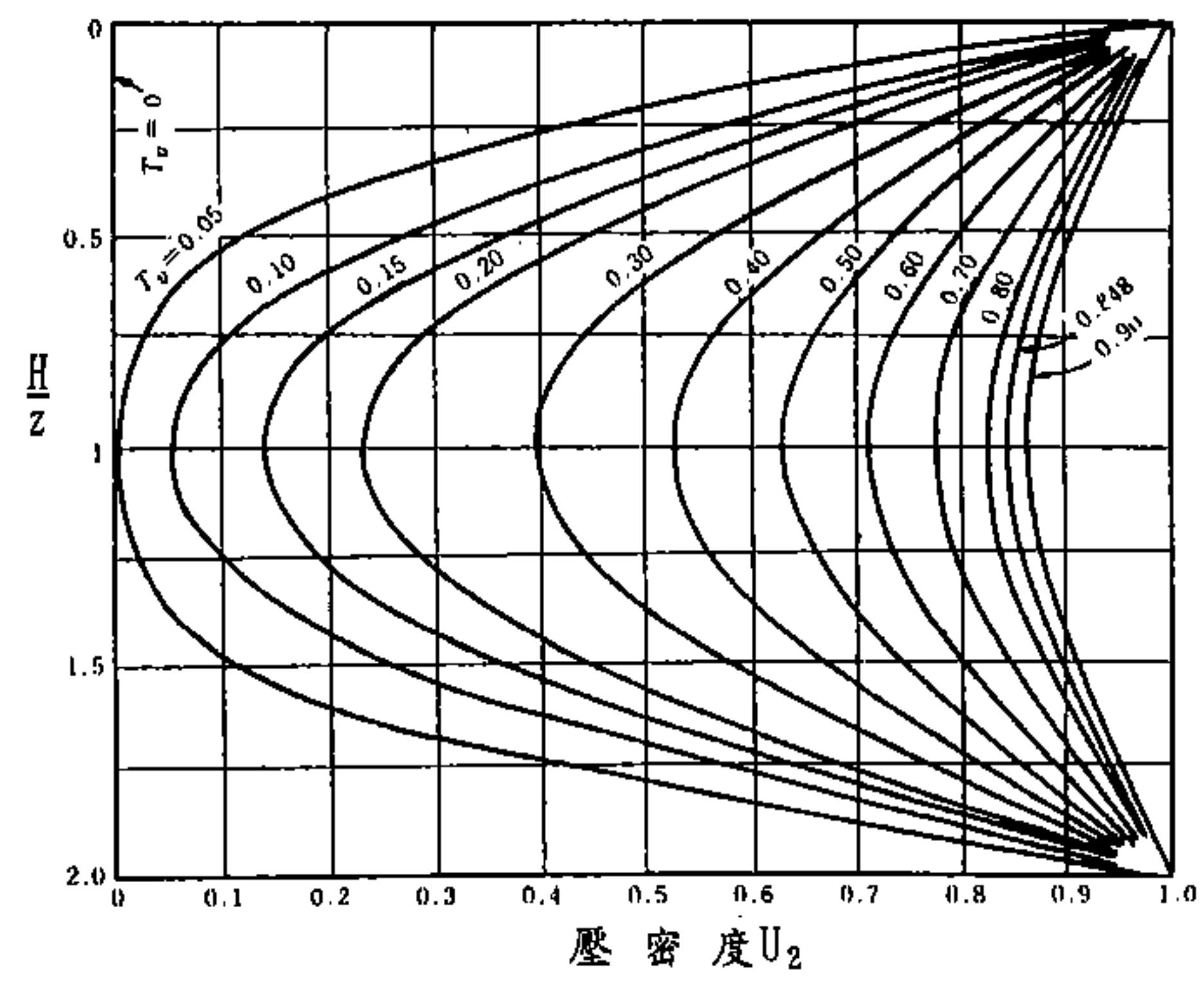
$t$ ：壓密開始後之時間 ( $\text{day}$ )

$H$ ：孔隙水流程之最大距離，即最大排水距離 ( $\text{cm}$ )

如圖 8-2.3(a) 所示，土層上下兩面均可排水時  $H=h/2$ ，若僅單面排水時  $H=h$ 。於各種條件下，平均壓密度與時間係數之關係如圖 8-2.4 所示。



(a) 孔隙水壓之深度分佈



(b) 壓密等時線

圖 8-2.3 壓密之進行狀態

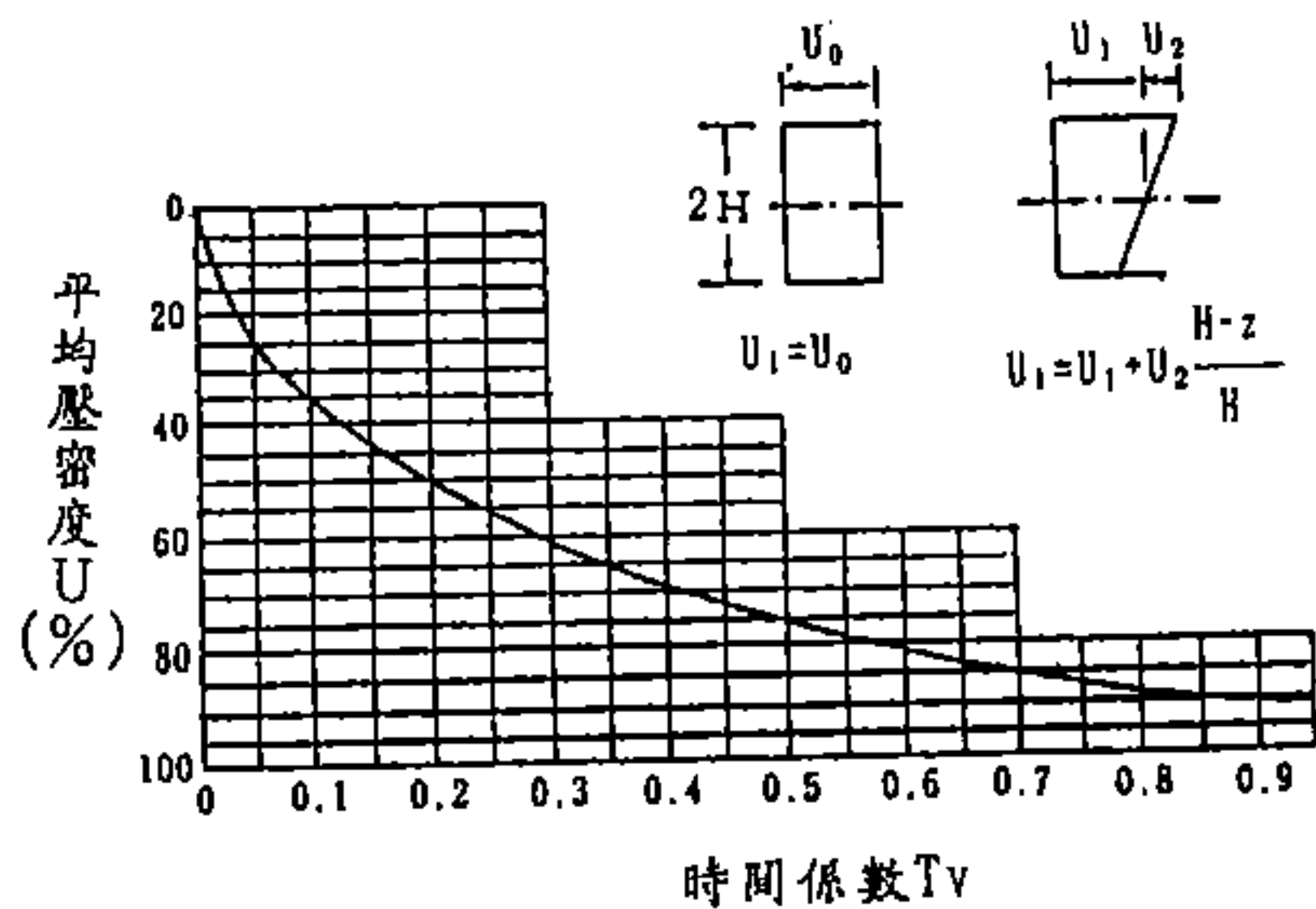


圖 8-2.4 平均壓密度與時間係數之關係

### 8.2.3 土壤之剪力特性

#### 1. 概要

砂質土壤及黏性土壤，應依其土壤剪力行爲特性及排水狀況，採用適合之計算式，分別計算其剪力強度。

#### 2. 砂質土壤剪力強度

在此所謂砂質土壤，係指依顆粒分析，砂之含量高於80%。  
 砂質土壤剪力強度可依下式計算之。

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi' \quad (8-2.6)$$

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi_d'$$

式中  $\tau_f$ ：土壤剪力強度 ( $t/m^2$ )

$\sigma$ ：剪力面上之垂直應力 ( $t/m^2$ )

$u$ ：孔隙水壓 ( $t/m^2$ )

$\phi'$ ：有效應力之內摩擦角 (度)

$\phi_d'$ ：在排水試驗時之內摩擦角 (度)

#### (2) 粘性土壤剪力強度

在此所謂粘性土壤，係指依顆粒分析，砂之含量低於80%。  
 粘性土壤剪力強度可依下式計算之。

$$\tau_f = C_u \quad (8-2.7)$$

式中  $\tau_f$ ：土壤剪力強度( $t/m^2$ )

$C_u$ ：非壓密不排水試驗所求得之土壤凝聚力( $t/m^2$ )

當土壤中粘土(Clay)與沉泥(Silt)含量高於40%時，其具有凝聚性質；當土壤中砂之含量介於60~80%時，其土壤特性尚有許多不明瞭之處，但在此亦將其視為粘土(Clay)。粘土之剪力強度可依下式計算之。

$$\tau_f = C_u = \frac{q_u}{2} \quad (8-2.8)$$

式中  $\tau_f$ ：土壤剪力強度( $t/m^2$ )

$C_u$ ：非壓密不排水試驗所求得之土壤凝聚力( $t/m^2$ )

$q_u$ ：單軸壓縮強度( $t/m^2$ )

由非壓密不排水試驗所求得之凝聚力 $C_u(t/m^2)$ ，在粘土有關之土壤力學方面常被應用，故又稱為不排水剪力強度( $\phi_u$ )。

## 8.3 土壤動態性質

### 8.3.1 動態變形參數

進行地震反應分析時，應適宜地設定土壤之動態變形參數。

耐震設計法大致可區分為擬靜態設計法及動態設計法。震度法為擬靜態設計法之代表，震度法詳本篇第九章 9.2節[震度法]，其係將地震力以靜態慣性力，作用於基礎及結構物，從力之平衡觀點檢討結構物安定之方法。而動態設計法，則是計算地震作用時，基礎外地盤及結構物基礎之加速度、速度、位移等，以檢討基礎及結構物安定之方法。

### 8.3.2 動態強度特性

土壤承受動態外力時，其動態強度特性以試驗決定為原則，試驗時須適當設定外力特性及地盤狀況。

動態外力與靜態外力明顯之不同點，一為外力作用時間短，二為外力反覆作用。如地震力，具有上述兩種特徵；爆破所產生之衝擊力，作用時間非常短，且只作用一次，僅具有一種特徵。另波力為以較慢載重速度反覆作用之外力，在廣義上亦可視為動態外力。港灣結構物所承受之代表性動態外力，主要為地震力與波力。

調查土壤動態強度，有室內試驗與現場試驗兩種。現場試驗由於設備龐大、費用高昂，及試驗條件受限等因素，因此，除重大工程外，一般以採用室內試驗為主。

## 8.4 基地調查

### 8.4.1 調查要求

#### 1. 概要

設計時所須地質條件，應以地質調查及試驗決定為原則。

#### 2. 一般原則

設計時所用地質條件包括承載層之深度、軟弱層之厚度、地層之成層狀態、硬度、密實度、剪力特性、壓縮特性、透水性及地下水位等。

有關地質調查及試驗，依工程各階段之需求，可概分如表 8-4.1 所示，其與設計間之關連性如圖 8-4.1 所示。

#### 3. 調查位置之密度及調查深度

##### (1) 概述

鑽探(Boring)或探測(Sounding)等調查點配置間隔、調查深度及深度方向之取樣間隔，除考慮結構物之大小、地層內之應力分佈及地層成層狀態之均勻性外，並應考慮調查費用及結構物之重要性等因素後決定之。一般狀況，建議採用下列之標準。

表 8-4.1 地質調查分類

| 分 類          | 調 查 方 法                             | 調 查 目 的                          | 調 查 內 容  |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| 先期調查         | 資料蒐集                                | 結構物配置規劃、<br>初步調查計畫資料             | 鑽探及地球物理探測資料、地下水位<br>等的記錄、地形圖、地質圖、結構物<br>等的沉陷、破壞記錄、結構物施工記<br>錄、空照圖等 |
|              | 現場調查                                | 同上                               | 地形、地層、結構物等的沉陷、破壞<br>記錄   |
| 初步調查         | 鑽探、採樣、<br>土壤試驗、<br>地球物理探測等          | 結構物配置規劃、<br>結構物設計資料、<br>細部調查計畫資料 | 基盤深度、成層狀態、強度、壓縮特<br>性、分類特性、地下水位、透水性等                               |
| 細部調查         | 鑽探、採樣、<br>土壤試驗、<br>地球物理探測等          | 結構物設計資料、<br>施工管理用資料              | 同上   |
| 補充調查<br>輔助調查 | 同上                                  | 同上                               | 同上   |
| 特殊試驗         | 滑動分析、<br>承载力試驗、<br>模型試驗、<br>現場透水試驗等 | 同上                               | 承载力、斜面穩定、壓縮特性、透水<br>性等   |

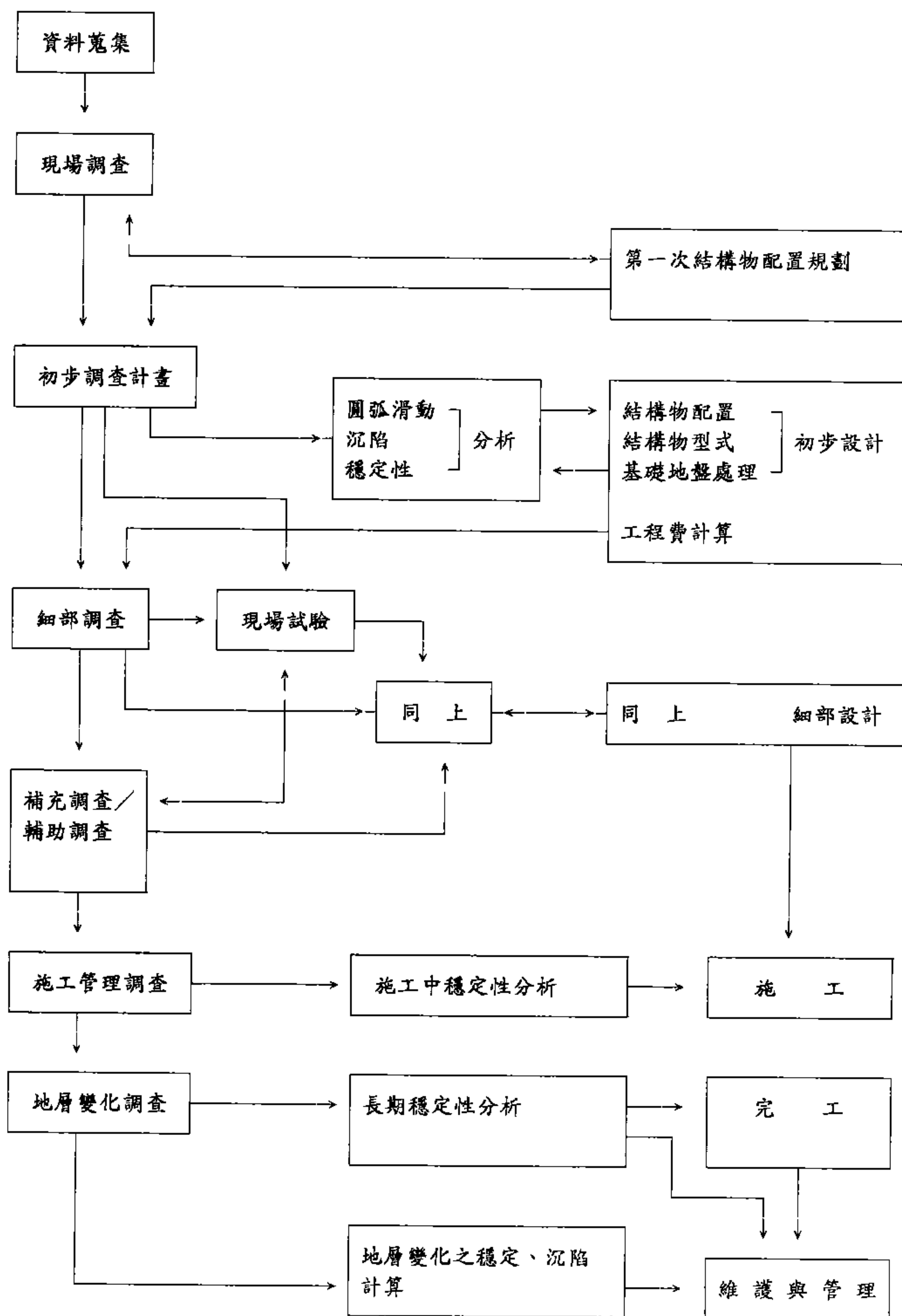


圖 8-4.1 地質調查與設計之關連示意圖



## (2) 調查點間隔

### ① 成層狀態在水平方向及垂直方向均比較均勻時

| 調查種類 |       | 法線方向     |          | 法線垂直方向 |        |
|------|-------|----------|----------|--------|--------|
|      |       | 鑽探       | 探測       | 鑽探     | 探測     |
| 初步調查 | 廣範圍地域 | 300~500m | 100~300m | 50m    | 25m    |
|      | 小範圍地域 | 50~100m  | 20~50m   |        |        |
| 細部調查 |       | 50~100m  | 20~50m   | 20~30m | 10~15m |

### ② 成層狀態較複雜時

| 調查種類 | 法線方向   |        | 法線垂直方向 |        |
|------|--------|--------|--------|--------|
|      | 鑽探     | 探測     | 鑽探     | 探測     |
| 初步調查 | 50m以下  | 15~20m | 20~30m | 10~15m |
| 細部調查 | 10~30m | 5~10m  | 10~20m | 5~10m  |

附註:1.探測有時需要鑽孔，有時不需要鑽孔。

2.表中所示探測之值為不需要鑽孔。

3.需要鑽孔之探測，可採用鑽探欄內之數值。

## (3) 調查深度

以鑽探或探測至確實具有充分承载力之承載層止為原則。而充分的承載層視結構物之型式及規模大小而異。規模比較小之結構物或是基礎結構不須採用基樁支撐時，以  $N \geq 30$  為原則，而大型結構物須採用基樁作為支撐時，則以  $N \geq 50$  為原則。

遇到岩層時，取樣至少須深入岩層 1.0公尺以上，證實確為岩質為止。

#### (4)深度方向之取樣間隔

欲知土壤之一般物理特性時，在主要調查鑽孔中以每隔 1.5 公尺深度，或土層變化處，取樣一次為原則，而在特別重要的情形則須每隔 1.0公尺深度，取樣一次。在補充性的調查鑽孔時，則以每隔 2.0公尺深度，取樣一次。欲知土壤壓縮特性及強度特性時，須將地層按種類予以分割後，取各層之不擾動土樣，加以試驗。通常在均勻的地層時，須每隔 1.5 公尺即將試料取樣一次，而在複雜的地層或壓密沉陷特別嚴重區域，應視其重要性，將取樣間隔適當予以縮減。

### 8.4.2 調查方法之選擇

地質調查方法之選擇，原則上依結構物型式、規模、重要性、附近地質狀況，及調查範圍、所須費用等，依設計目的決定最適宜之方法。

表 8-4.2所示者，係以調查目的為區分之調查方法及調查內容。

## 8.5 N 值

### 8.5.1 概要

測定N值，應以標準貫入試驗(Standard Penetration Test)方法辦理。

### 8.5.2 適用範圍

標準貫入試驗除岩層、卵石及粗礫石含量多的土質外，對其他所有的土質均能適用，惟對軟弱粘土及10mm以上砂礫，在判別土性方面的精度較差。

表 8-4.2 以調查目的爲區分之調查方法及調查內容

| 調查目的              | 調查方法                         | 調查內容  |
|-------------------|------------------------------|---|
| 確定土層<br>變化狀況      | 鑽探<br>試驗室土壤試驗<br>物理探測        | 基層深度<br>軟弱層厚度<br>層次   |
| 承载力<br>斜坡安定<br>土壓 | 不擾動土壤取樣<br>試驗室土壤試驗<br>現場土壤試驗 | 單軸壓縮強度 $Q_u$<br>剪力強度 $\tau_f$<br>內摩擦角 $\phi$<br>相對密度 $D_r$          |
| 壓縮特性              | 不擾動土壤取樣                      | 壓密係數 $C_v$<br>體積壓縮係數 $m_v$  |
| 透水性               | 不擾動土壤取樣<br>現場土壤試驗            | 透水係數 $k$  |
| 夯實特性              | 擾動土壤亦可<br>現場土壤試驗             | 最大乾密度 $\gamma_{dmax}$<br>最佳含水量 $\omega_{opt}$<br>CBR                |
| 分類特性              | 不擾動土壤取樣                      | 總單位體積重量 $\gamma_t$<br>含水量 $\omega$<br>土粒比重 $G_s$<br>塑性指數 $W_L, W_p$ |

### 8.5.3 影響砂質土N值之因素

N值隨著砂之密度增加而增大，在相同的密度時，N值則受含水量、地下水位、有效覆土及深度等條件的影響，茲將其影響情形分述如下：

- 含水量之影響

除了密實細砂及沉泥質砂外，按照飽和砂、乾砂及濕砂等順序其N值逐漸增大。

- 有效覆土載重之影響

N值隨著有效覆土載重之增減而增減。

- 地下水位之影響

由於地下水位變動而發生有效覆土載重及含水量之影響。

- 連接採樣管之鑽桿長度之影響

因調查深度加深，連接採樣管之鑽桿長度亦加長，故在鬆散砂土時，由於鑽桿重量增加N值反而減少。於密實砂，因鑽桿之撓曲及橫向振動，打擊效率減少之故，N值有變大之傾向。

- 其他因素之影響

除上述因素外尚有顆粒大小、顆粒形狀、顆粒膨脹(Dilatancy)、試驗方法及試驗儀器磨損及人為因素等影響。然因上述各種影響因素互相重複，且目前對N值作定量之修正法又未確定，故在設計上需要高精度之N值時，對現場之砂，須充分加作N值能量測定試驗。

### 8.5.4 N值在使用時應注意之事項

1. 由N值推測 $\phi$ 時，若無法求得現場土壤之密度或相對密度，則無從求取其正確值，因此N值應用於設計時，須慎重研討N值與現場土性之連帶關係。惟在目前情況下，如將測定條件加以充分考慮時，則可應用表8-5.1及8-5.2所示之關係。

表 8-5.1 砂質土之N值與Dr，φ之關係

| N 值    | 相 對 密 度<br>(Dr) | 內 摩 擦 角 ( φ ) |           |
|--------|-----------------|---------------|-----------|
|        |                 | Peck          | Meyerhof  |
| 0 ~ 4  | 0 ~ 0.2         | 28.5° 以下      | 30° 以下    |
| 4 ~ 10 | 0.2~ 0.4        | 28.5° ~ 30°   | 30° ~ 35° |
| 10 ~30 | 0.4~ 0.6        | 30° ~ 36°     | 35° ~ 40° |
| 30 ~50 | 0.6~ 0.8        | 36° ~ 41°     | 40° ~ 45° |
| 50 以上  | 0.8~ 1          | 41° 以上        | 45° 以上    |

註：有關表中Meyerhof φ 值說明如下：

- ① φ 之下限值：對均勻粒徑之砂偏於安全側，對沉泥質砂，若經剪力試驗不能判定其值時，則減5° 以上。
- ② φ 之上限值：對級配良好之砂偏於安全側，砂礫之混合土壤，若實施剪力試驗，可採用於上表增大5° 之值。

表 8-5.2 砂質土之N值與 φ 之關係

| 土 壤 種 類   | 內 摩 擦 角 ( φ )               |
|-----------|-----------------------------|
| 粒徑相同之圓顆粒  | $\varphi = \sqrt{12N} + 15$ |
| 級配良好之圓顆粒  | $\varphi = \sqrt{12N} + 20$ |
| 粒徑相同之角狀顆粒 | $\varphi = \sqrt{12N} + 20$ |
| 級配良好之角狀顆粒 | $\varphi = \sqrt{12N} + 25$ |

2. 依據Terzaghi氏認為有效粒徑在 0.1mm~0.05mm之細砂或沉泥質砂，因滲透性小之關係，如用水飽和之，在與其原相對密度對照之下，在鬆散土砂部份因發生流動現象，N值變成過小，在密實土砂部份，因膨脹受阻礙，N值則變成過大。將相當產生膨脹之界限孔隙之比之N值當作15，若上述情形之砂，在水面下之N值超過15時，則依下式加以修正。

$$N' = \frac{N-15}{2} + 15 \quad (8-5.1)$$

式中 N：實測N值(N>15)

N'：修正N值

## 第九章 地震及地震力

## 第九章 地震及地震力

### 9.1 概要

港灣結構物須具有適當之耐震性，於設計時應考慮地震之影響。港灣結構物之耐震性設計，除特別規定外，以採用本章中所述之震度法為原則。

### 9.2 震度法

對固有振動週期短、減衰大之結構物而言，作用於其上之地震力，可採震度法計算，即作用於結構物重心之水平地震力為自重與設計震度之乘積。

$$\begin{array}{l} \text{地震力} = \text{自重} \times \text{設計震度} \\ \text{或} \\ \text{地震力} = (\text{自重} + \text{上載載重}) \times \text{設計震度} \end{array} \quad (9-2.1)$$

### 9.3 設計震度

#### 9.3.1 概要

設計震度須依地區、地層及結構物之重要性，依下式計算。

$$\text{設計震度} = \text{地區震度} \times \text{地盤分類係數} \times \text{重要度係數} \quad (9-3.1)$$

#### 9.3.2 地區震度

臺灣地區之地區震度以採用表 9-3.1 所示之值為準。



表 9-3.1 台灣地區震度分區表

| 地震級別 | 地 區  | 震 度  |
|------|--|------|
| 強震地區 | ①花蓮、台東兩縣各市、鄉、鎮。<br>②雲林縣：林內鄉、斗六鎮、古坑鄉、斗南鎮。<br>③嘉義市。<br>④嘉義縣：大林鎮、梅山鄉、民雄鄉、竹崎鄉、水上鄉、中埔鄉、番路鄉、大埔鄉。<br>⑤台南縣：東山鄉、白河鎮、後壁鄉、鹽水鎮、新營鎮、下營鄉、柳營鄉、六甲鄉、官田鄉、大內鄉、楠西鄉、玉井鄉。<br>⑥苗栗縣：獅潭鄉、頭屋鄉、苗栗鎮、公館鄉、銅鑼鄉、大湖鄉、三義鎮、卓蘭鎮。<br>⑦台中縣：后里鄉、東勢鎮、石岡鄉、豐原鎮、神岡鎮、清水鎮、沙鹿鎮、梧棲鎮。<br>⑧屏東縣：恆春鎮、滿州鄉。 | 0.15 |
| 弱震地區 | ①澎湖縣各鄉鎮。<br>②台北縣：八里鄉、林口鄉。<br>③桃園縣：蘆竹鄉、龜山鄉、桃園市、大園鄉、觀音鄉、中壢市、八德鄉、新屋鄉、楊梅鎮、平鎮鄉、龍潭鄉、大溪鎮。<br>④新竹縣：新豐鄉、湖口鄉、新埔鎮、關西鎮。<br>⑤高雄市。<br>⑥高雄縣：茄萣鄉、湖內鄉、路竹鄉、阿蓮鄉、永安鄉、彌陀鄉、岡山鎮、梓官鄉、橋頭鄉、燕巢鄉、大社鄉、仁武鄉、鳥松鄉、大樹鄉、鳳山市、大寮鄉、大園鄉。<br>⑦屏東縣：九如鄉、屏東市、萬丹鄉、新園鄉、東港鎮、崁頂鄉、南州鄉、林邊鄉、琉球鄉。         | 0.05 |
| 中震地區 | 強震及弱震以外之地區。  | 0.10 |

註：本資料摘自「建築技術規則」

### 9.3.3 地盤分類係數

地盤分類係數以表 9-3.2所示之值為準，地盤分類則示如表 9-3.3。

兩種地層之混合地盤，以較厚之地盤為其地盤種類，若由兩種以上厚度相同之地盤混合而成者，取其低地盤種類為準（例如砂土地盤與軟弱地盤混合時，取軟弱地盤之種類）。

表9-3.3所列地層種類中，N值小於4之砂質地層，及地盤承载力 $q_u$ 小於 $0.2\text{Kg}/\text{cm}^2$ 之粘土地層，均視為軟弱地盤處理。

表 9-3.2 地盤分類係數

| 地 盤 別 | 第1種地盤 | 第2種地盤 | 第3種地盤 |
|-------|-------|-------|-------|
| 係 數   | 0.8   | 1.0   | 1.2   |

表 9-3.3 地盤分類表

| 第4紀層厚度  | 砂礫層  | 一般之砂、黏土地盤 | 軟弱地盤  |
|---------|------|-----------|-------|
| 5m 以下   | 第 1種 | 第 1 種     | 第 2 種 |
| 5 ~ 25m | 第 1種 | 第 2 種     | 第 3 種 |
| 25m 以上  | 第 2種 | 第 3 種     | 第 3 種 |

### 9.3.4 重要度係數

重要度係數，除臨時結構物外，依結構物之重要程度而定，其範圍為1.0~1.5。

結構物之重要程度劃分，可參考下列事項決定之。

- 結構物破壞後，對四周生命、財產之影響。
- 結構物破壞後，其修護之難易程度。
- 興建地點之地質條件。
- 其他相關事項。

## 9.4 換算震度(Apparent Seismic Coefficient)

對水中土壤之震度，應使用下式所求之換算震度

$$K' = \frac{\gamma}{\gamma - 1} K \quad (9-4.1)$$

式中  $K'$ ：在水中之換算震度

$K$ ：在空氣中之震度

$\gamma$ ：飽和土壤在空氣中單位體積重量( $t/m^3$ )

## 第十章 砂質土壤之液化

## 第十章 砂質土壤之液化

### 10.1 概要

飽和鬆散之砂質土壤，於地震力作用時，可能呈現液化狀態，致使構築其上之結構物遭受破壞，因之於結構物設計及施工時，須考量基礎地盤發生液化現象之潛能。

液化潛能分析，建議依圖10-1.1所示之流程進行。

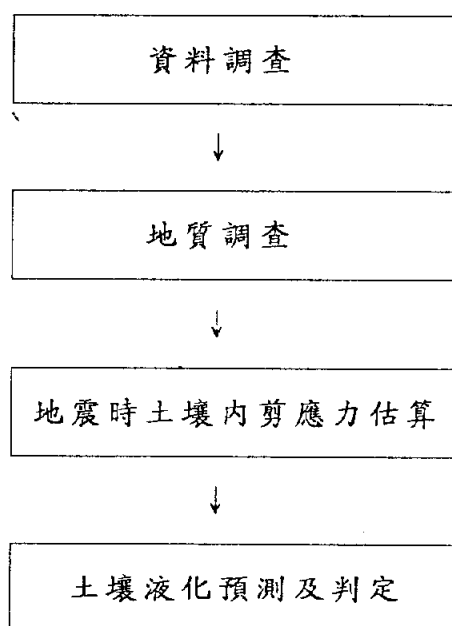


圖 10-1.1 液化潛能分析流程

### 10.2 土壤液化預測及判定

#### 10.2.1 概要

結構物基礎地盤之液化潛能，應基於地質調查結果，採經驗法則或試驗預測及判定之。

土壤液化之預測及判定建議依下法進行。先依土壤粒徑、N值、最大地表加速度及地震規模，研判土壤是否會產生液化。僅依據土壤粒徑及N值資料，無法判定土壤是否會產生液化時，依現場取得之不擾動土樣進行動態三軸試驗所得結果，以供土壤液化潛能預測及判定之依據。

## 10.2.2 依土壤粒徑及N值進行液化預測及判定

依據土壤粒徑及N值進行液化預測及判定，其步驟如下：

### 1. 土壤粒徑分類

如圖10-2.1所示，依據土壤粒徑分佈進行土壤分類。圖中均勻係數之大小，是採均勻係數 $U_c = D_{60}/D_{10} = 3.5$ 為基準作為分野之依憑。

### 2. 當量N值計算

所謂當量N值，係指各土層之N值，換算成為有效覆土壓力為 $0.66\text{kg/cm}^2$ ，且相對密度相同土層之N值。

於圖10-2.1中，土壤粒徑跨越A及B<sub>c</sub>範圍之土層，依下式計算其當量N值， $(N)_{0.66}$ 。

$$(N)_{0.66} = \frac{N - 1.828(\sigma_v' - 0.66)}{0.399(\sigma_v' - 0.66) + 1} \quad (10-2.1)$$

式中  $(N)_{0.66}$ ：當量N值

N：土層之實測N值

$\sigma_v'$ ：土層之有效覆土壓力( $\text{kg/cm}^2$ )，依據進行標準貫入試驗時之土層所在深度求得

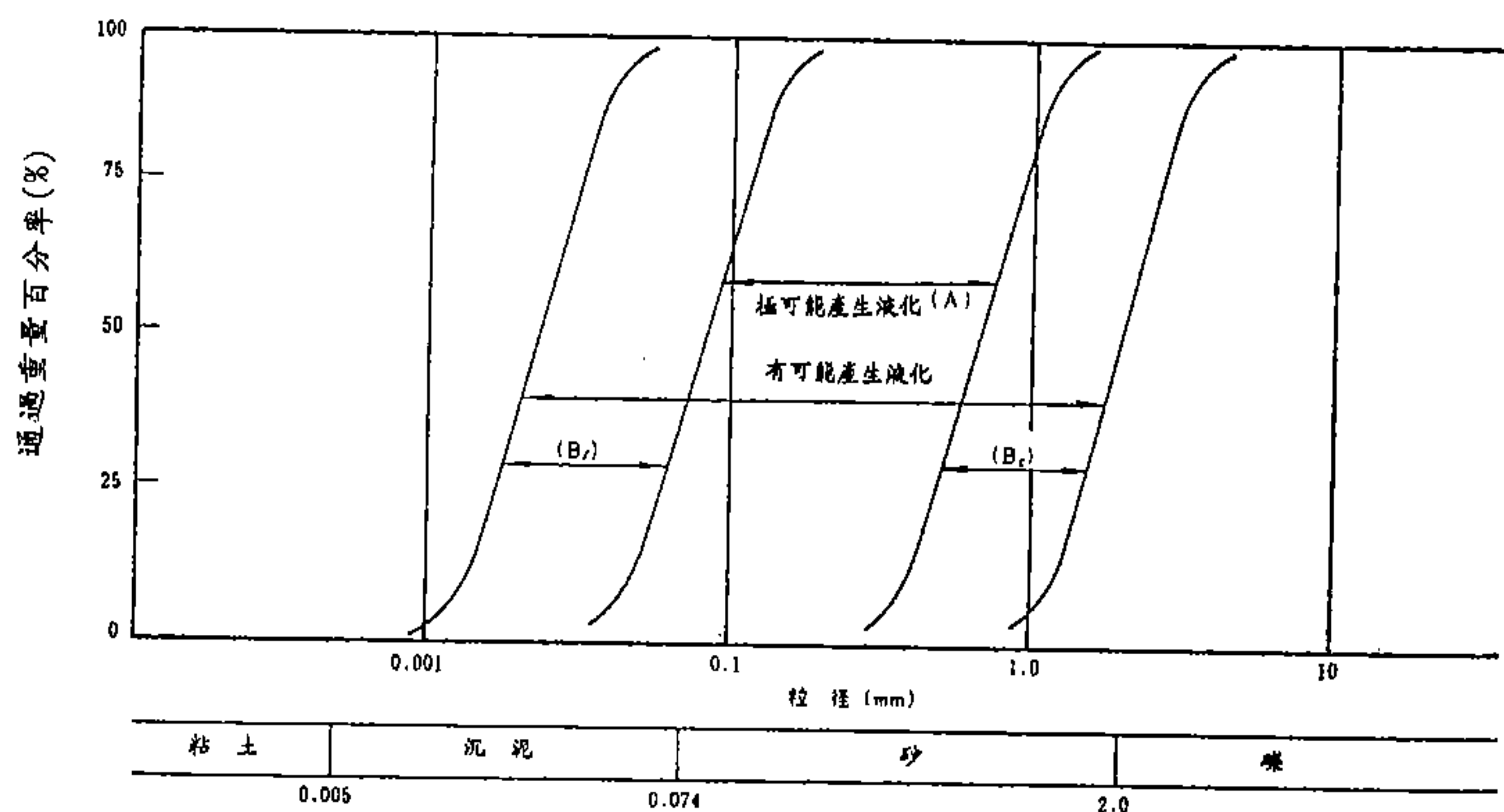
公式(10-2.1)之適用範圍為

$$2 \leq (N)_{0.66} \leq 40$$

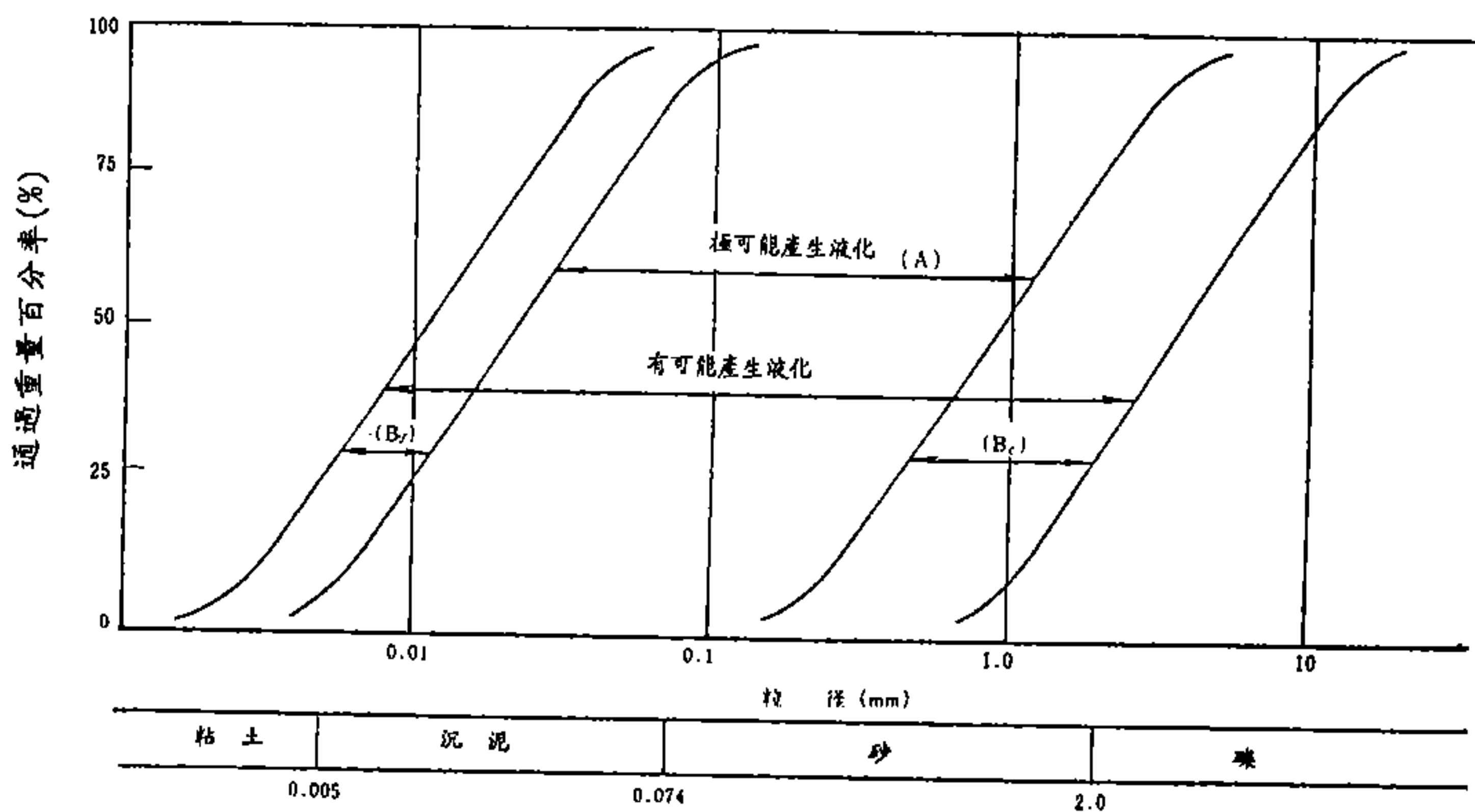
$$0 \leq \sigma_v' \leq 3\text{kg/cm}^2$$

當量N值亦可由圖10-2.2查得，其係公式(10-2.1)之圖形化。

於圖10-2.1中，土壤粒徑落在B<sub>f</sub>範圍內之土層，該土層之當量N值等於該土層之N值。



(A) 均勻係數小之土壤 ( $U_c < 3.5$ )



(B) 均勻係數大之土壤 ( $U_c \geq 3.5$ )

圖 10-2.1 土壤粒徑與土壤液化分析圖

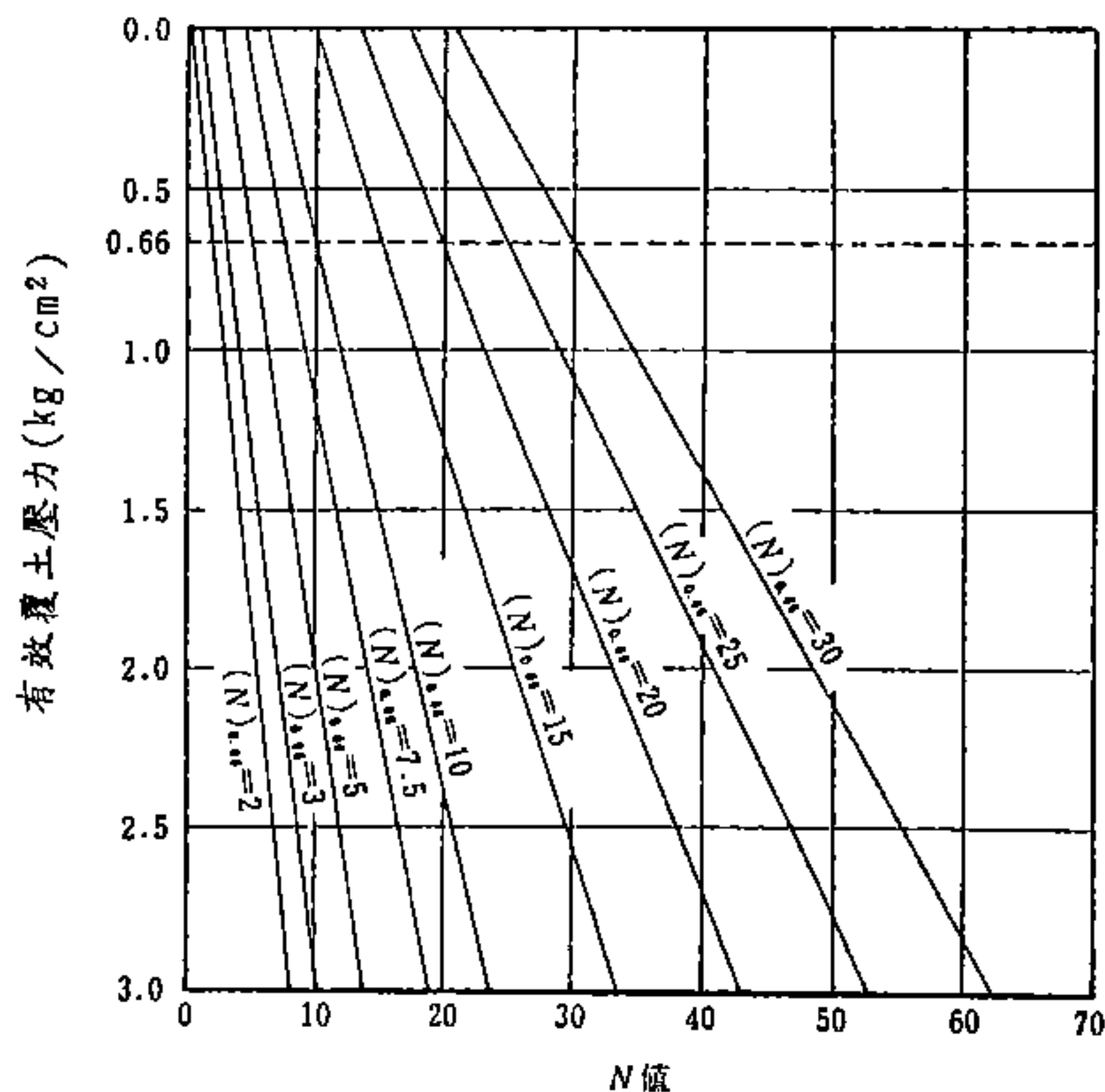


圖 10-2.2 當量  $N$  值,  $(N)_{0.66}$  計算圖

### 3. 等值加速度計算

圖 10-2.1 中，土壤粒徑分佈於 A、B<sub>f</sub>、B<sub>c</sub> 範圍內之土層，依下式計算其等值加速度， $\alpha_{eq}$ 。

$$\alpha_{eq} = 0.7 \frac{\tau_{max}}{\sigma_v'} g \quad (10-2.2)$$

式中  $\alpha_{eq}$ ：等值加速度 (cm/sec<sup>2</sup>)

$\tau_{max}$ ：最大剪應力 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_v'$ ：有效覆土壓力 (kg/cm<sup>2</sup>)，依據地震時之土層所在深度求得

$g$ ：重力加速度 (=980 cm/sec<sup>2</sup>)

### 4. 土層分類

由上述 2. 及 3. 求出之當量  $N$  值及等值加速度，依圖 10-2.3 研判土層是屬於圖中 I ~ IV 之那一類型。於圖 10-2.1 中，範圍 A 粒徑之土層，依圖 10-2.3(a) 進行分類；範圍 B<sub>f</sub> 及 B<sub>c</sub> 粒徑之土層，依圖 10-2.3(b) 進行分類。



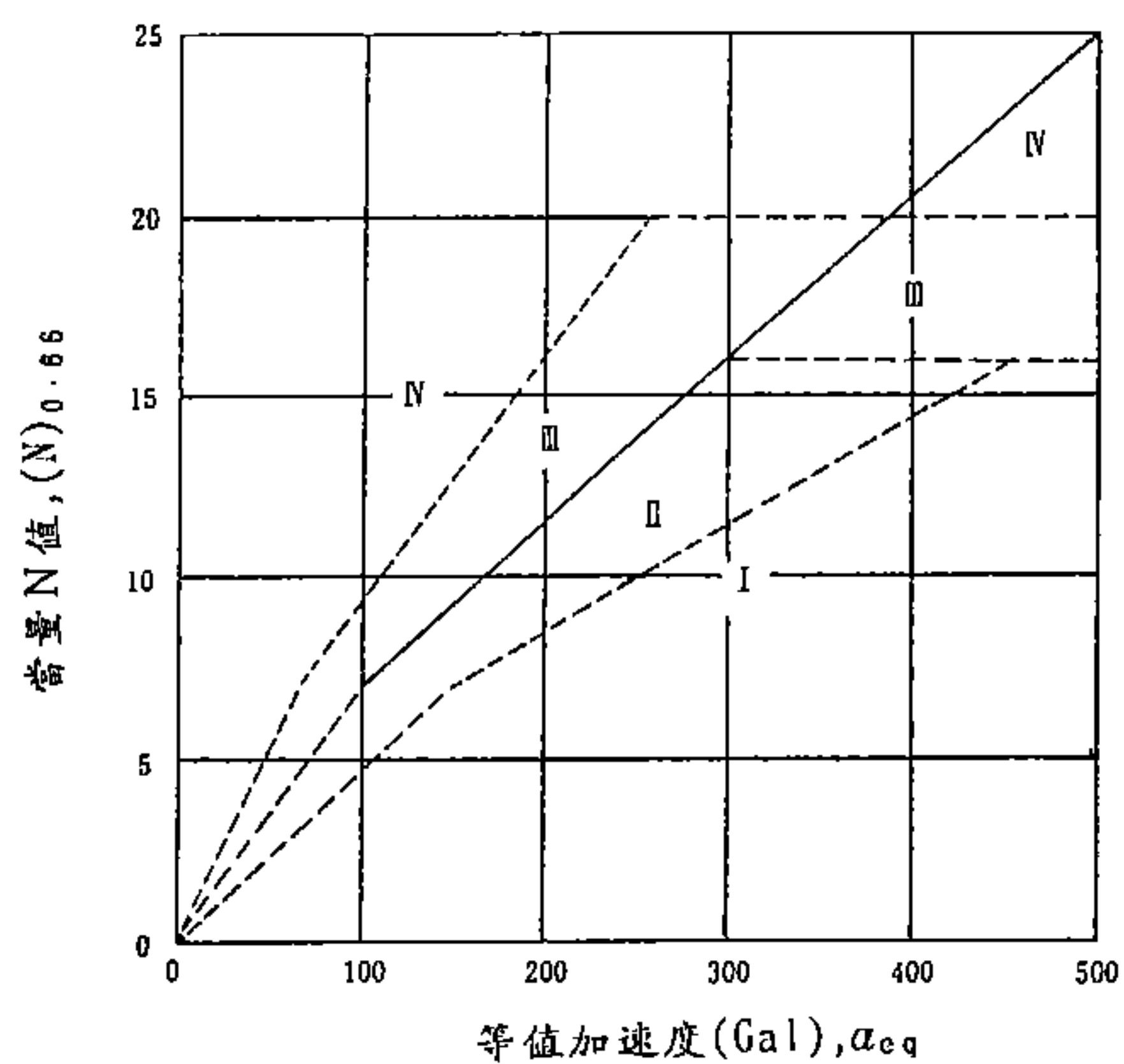


圖 10-2.3(a) 根據等值加速度與當量 N 值為液化預測所做之土層分類  
(提供粒徑範圍 A 的土層使用)

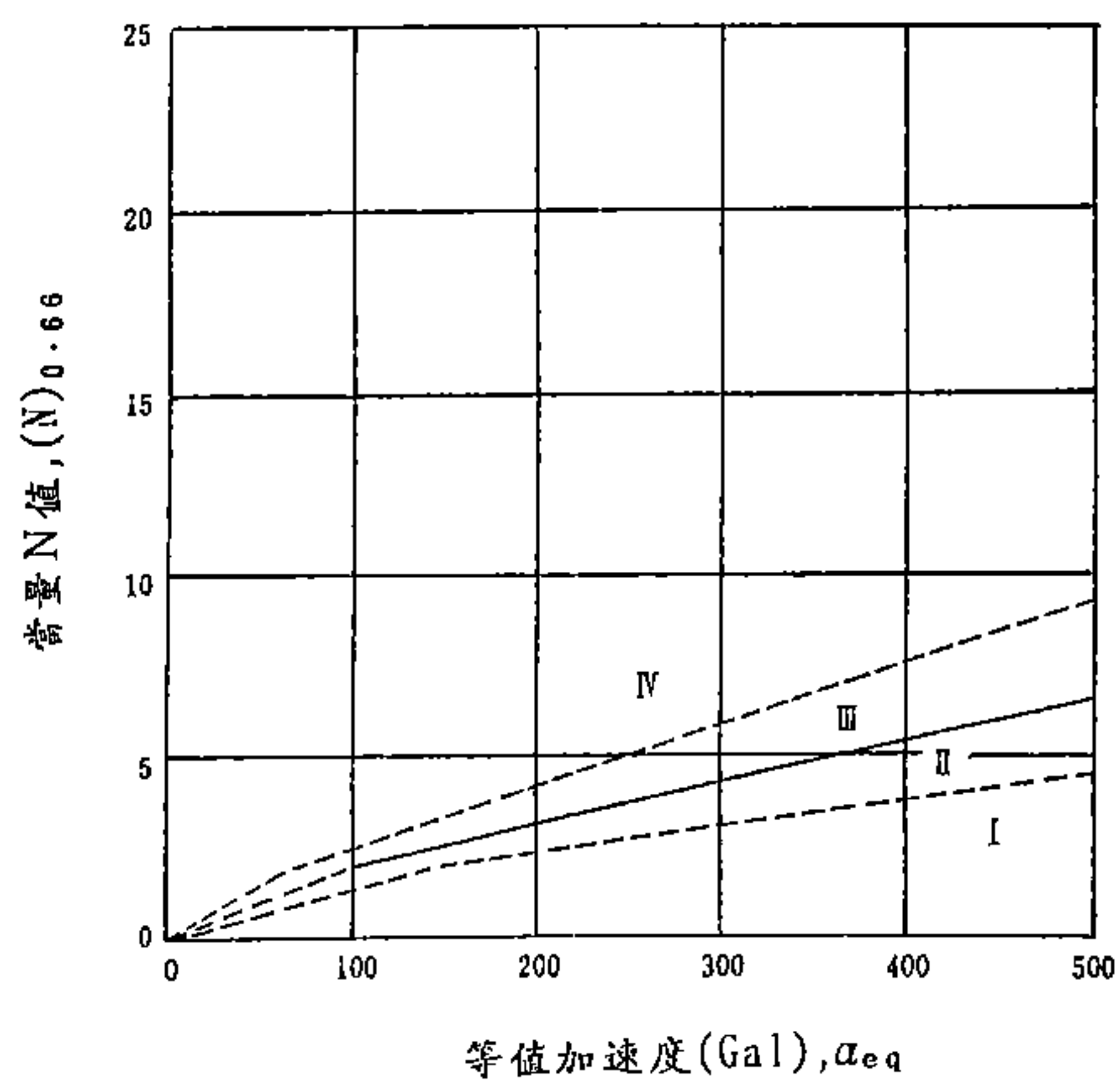


圖 10-2.3(b) 根據等值加速度與當量 N 值為液化預測所做之土層分類  
(提供粒徑範圍 B<sub>f</sub> 及 B<sub>c</sub> 的土層使用)

範圍A粒徑之土層中，細粒料(粒徑小於 $74\mu$ 之成分)成份大於5%時，於圖10-2.3(a)中分隔各範圍之界限N值，須依圖10-2.4所示之遞減係數修正，但為求使用簡便，亦可將各土層之換算N值，除以圖10-2.4中之係數，以求得之換算值來替代使用，再依圖10-2.3(a)進行土層分類，其結果完全相同。

範圍B<sub>c</sub>粒徑之土層中，其上層若存有黏土或沉泥等透水性低之土層時，則須以同範圍A粒徑土層之方法進行土層分類。

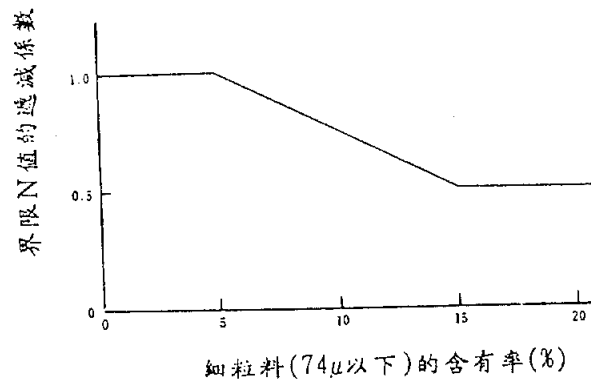


圖 10-2.4 界限 N 值的遞減係數(僅適用在粒徑範圍A的土層)

## 5. 液化預測及判定

由4.之土層分類結果，可參考表10-2.1進行土層之液化預測及判定。

## 6. 綜合研判

地盤之液化潛能，應依5.對各地層液化之預測及判定，依該土層之厚度、存在之深度等綜合研判之。

### 10.2.3 依動態三軸試驗結果進行液化預測及判定

依據土壤粒徑與N值檢討地盤是否會液化時，其結果無法確實判定時，或較重大工程，應進行地盤之地震反應解析，求得地震時土壤內之剪應力；及以不擾動土樣之動態三軸試驗，求得地盤之動態抗剪強度，比較二者之大小，進行地盤液化之預測及判定。

地盤之液化潛能，須依各土層液化之預測及判定結果，綜合研判之。

表 10-2.1 依據粒徑與 N 值進行土層液化之預測及判定

| 土層分類 | 液化之預測     | 液化之判定                 |
|------|-----------|-----------------------|
| I    | 會液化       | 判定會液化                 |
| II   | 會液化的可能性大  | 判定會液化，或決定由動態三軸試驗來作研判  |
| III  | 不會液化的可能性大 | 判定不會液化，或決定由動態三軸試驗來作研判 |
| IV   | 不會液化      | 判定不會液化                |

## 第十一章 土壓及水壓

# 第十一章 土壓及水壓

## 11.1 土壓

### 11.1.1 概要

作用於結構物之主動、被動土壓，應依砂質土、粘性土等土質、結構物型式，結構物於常時、地震時之行爲，分別計算之。

### 11.1.2 常時土壓

#### 1. 砂質土之土壓

##### (1) 主動土壓 (Active earth pressure)

依圖 11-1.1 所示，作用於壁面之主動土壓以下式計算

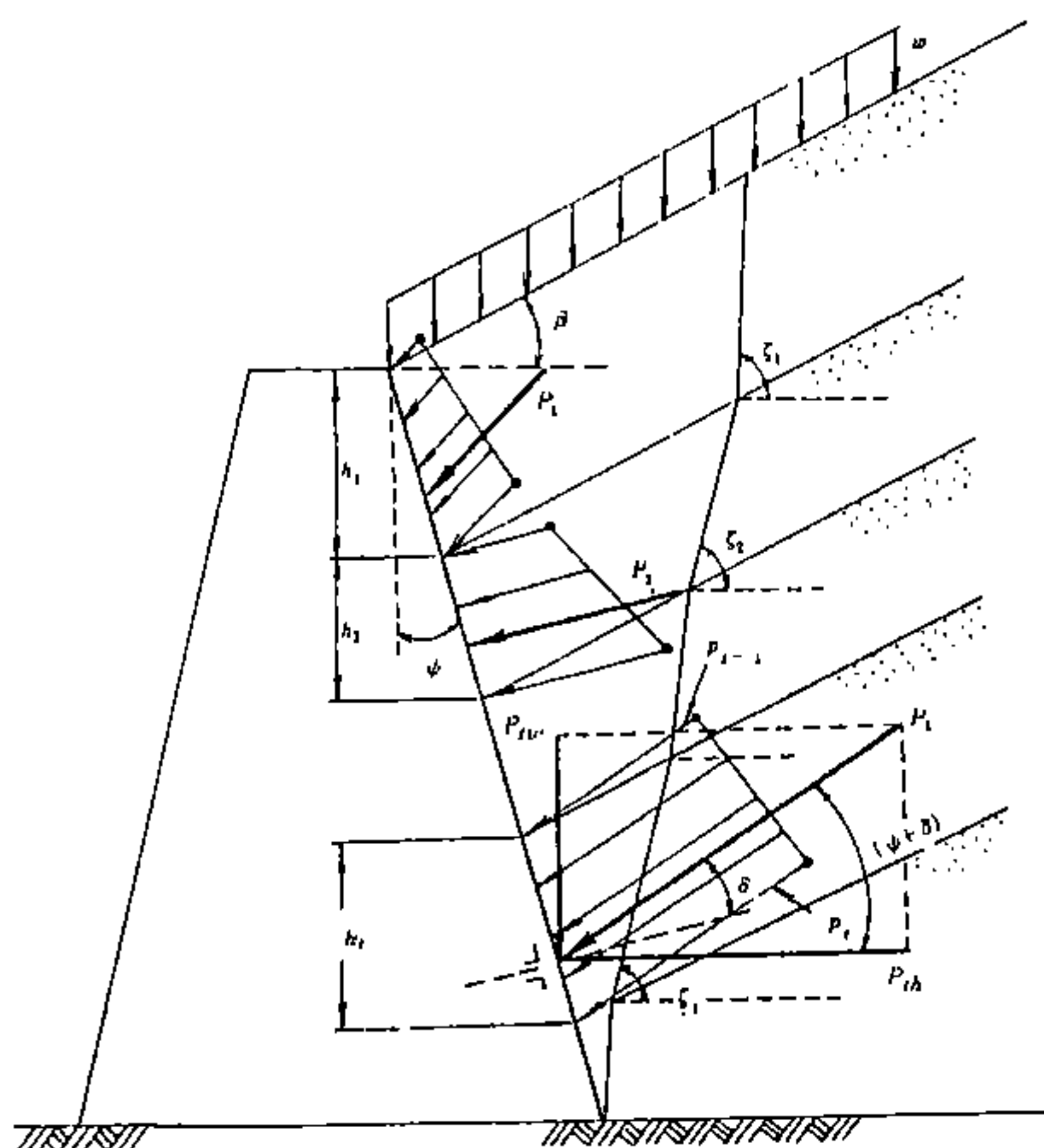


圖 11-1.1 土壓力計算示意圖

$$P_{ai} = K_{ai} \left[ \sum \gamma_i h_i + \frac{w \cos \phi}{\cos(\phi - \beta)} \right] \cos \phi \quad (11-1.1)$$

$$K_{ai} = \frac{\cos^2(\varphi_i - \phi)}{\cos^2 \phi \cos(\delta + \phi) \left[ 1 + \frac{\sin(\varphi_i + \delta) \sin(\varphi_i - \beta)}{\cos(\delta + \phi) \cos(\phi - \beta)} \right]^2} \quad (11-1.2)$$

$$\cos(\zeta_i - \beta) = -\tan(\varphi_i + \delta + \phi - \beta) \quad (11-1.3)$$

$$+ \sec(\varphi_i + \delta + \phi - \beta) \cdot \sqrt{\frac{\cos(\phi + \delta) \sin(\varphi_i + \delta)}{\cos(\phi - \beta) \cos(\varphi_i - \beta)}}$$

式中  $P_{ai}$ ：作用於編號*i*土層下方之主動土壓( $t/m^2$ )

$\varphi_i$ ：編號*i*土層土壤內摩擦角(度)

$\gamma_i$ ：編號*i*土層土壤單位體積重量( $t/m^3$ )

$h_i$ ：編號*i*土層厚度(m)

$K_{ai}$ ：編號*i*土層主動土壓係數

$\phi$ ：壁面與垂直面所成之角度(度)

$\beta$ ：地表面與水平面所成之角度(度)

$\delta$ ：壁面摩擦角(度)

$\zeta_i$ ：編號*i*土層破壞面與水平面所成之角度(度)

$w$ ：上載載重( $t/m^2$ )

## (2)被動土壓(Passive earth pressure)

依圖11-1.1所示，作用於壁面之被動土壓以下式計算

$$P_{pi} = K_{pi} \left[ \sum \gamma_i h_i + \frac{w \cos \phi}{\cos(\phi - \beta)} \right] \cos \phi \quad (11-1.4)$$

$$K_{pi} = \frac{\cos^2(\varphi_i + \phi)}{\cos^2 \phi \cos(\delta + \phi) \left[ 1 - \frac{\sin(\varphi_i - \delta) \sin(\varphi_i + \beta)}{\cos(\delta + \phi) \cos(\phi - \beta)} \right]^2} \quad (11-1.5)$$

$$\cos(\zeta_i - \beta) = \tan(\varphi_i - \delta - \phi + \beta) \quad (11-1.6)$$

$$+ \sec(\varphi_i - \delta - \phi + \beta) \cdot \sqrt{\frac{\cos(\phi + \delta) \sin(\varphi_i - \delta)}{\cos(\phi - \beta) \sin(\varphi_i + \beta)}}$$

式中  $P_{pi}$ ：作用於編號*i*土層下方之被動土壓( $t/m^2$ )

$K_{pi}$ ：編號*i*土層被動土壓係數

### (3) 靜止土壓

壁面位移微小時，可以下式計算靜止土壓。

$$P = K_0 \cdot \Sigma \gamma h$$

式中  $P$ ：靜止土壓( $t/m^2$ )

$K_0$ ：靜止土壓係數

$\gamma$ ：土壤單位體積重量( $t/m^3$ )

$h$ ：土層厚度(m)

### (4) 土壓合力

土壓合力須分層計算，在編號  $i$  土層可依下式計算之

$$P_i = \frac{P_{i-1} + P_i}{2} \cdot \frac{h_i}{\cos \phi} \quad (11-1.7)$$

土壓合力之水平及垂直分力以下式計算

$$\text{水平分力：} P_{ih} = P_i \cos(\phi + \delta) \quad (11-1.8)$$

$$\text{垂直分力：} P_{iv} = P_i \sin(\phi + \delta) \quad (11-1.9)$$

## 2. 粘性土之土壓

### (1) 主動土壓

作用於壁面之主動土壓，先依 (11-1.10) 及 (11-1.11) 兩式計算，擇其對結構物較危險者，作為設計之依據，但由 (11-1.10) 式計算所得土壓為負時，則不予考慮。

$$P_a = \Sigma \gamma h + w - 2c \quad (11-1.10)$$

式中  $P_a$ ：各土層下方壁面主動土壓( $t/m^2$ )

$c$ ：凝聚力( $t/m^2$ )

$$P_a = K_c (\Sigma \gamma h + w) \quad (11-1.11)$$

式中  $K_c$ ：壓密平衡係數， $K_c = 0.5$

### (2) 被動土壓

被動土壓依下式計算

$$P_p = \Sigma \gamma h + w + 2c \quad (11-1.12)$$

式中  $P_p$ ：各土層下方壁面被動土壓( $t/m^2$ )

### (3) 靜止土壓

$$P = K_0 \cdot \Sigma \gamma h$$

式中  $P$  : 靜止土壓 ( $t/m^2$ )

$K_0$  : 靜止土壓係數

$\gamma$  : 土壤單位體積重量 ( $t/m^3$ )

$h$  : 土層厚度 (m)

## 11.1.3 地震時之土壓

### 1. 砂質土之土壓

#### (1) 主動土壓

作用於壁面之土壓，依下式計算

$$P_{ai} = K_{pi} \left[ \Sigma \gamma_i h_i + \frac{w \cos \phi}{\cos(\phi - \beta)} \right] \cos \phi \quad (11-1.13)$$

$$K_{ai} = \frac{\cos^2(\varphi_i - \phi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \phi \cos(\delta + \phi + \theta) \left[ 1 + \frac{\sin(\varphi_i + \delta) \sin(\varphi_i - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \phi + \theta) \cos(\phi - \beta)} \right]^2} \quad (11-1.14)$$

$$\cos(\zeta_i - \beta) = -\tan(\varphi_i + \delta + \phi - \beta) + \sec(\varphi_i + \delta + \phi - \beta) \cdot \sqrt{\frac{\cos(\phi + \delta + \theta) \sin(\varphi_i + \delta)}{\cos(\phi - \beta) \sin(\varphi_i - \beta - \theta)}} \quad (11-1.15)$$

式中  $\theta$  : 地震合成角，殘留水位上， $\theta = \tan^{-1}K$ ；殘留水位下， $\theta = \tan^{-1}K'$

$K$  : 震度

$K'$  : 換算震度，詳第九章9.4節[換算震度]

其他：其他符號與公式(11-1.1)砂質土之土壓相同。

#### (2) 被動土壓

作用於壁面之被動土壓，依下式計算

$$P_{pi} = K_{pi} \left[ \Sigma \gamma_i h_i + \frac{w \cos \phi}{\cos(\phi - \beta)} \right] \cos \phi \quad (11-1.16)$$



$$K_{pi} = \frac{\cos^2(\varphi_i + \phi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \phi \cos(\delta + \beta - \theta) \left[ 1 - \frac{\sin(\varphi_i - \delta) \sin(\varphi_i + \beta - \theta)}{\cos(\delta + \phi - \theta) \cos(\phi - \beta)} \right]^2} \quad (11-1.17)$$

$$\cos(\xi_i - \beta) = \tan(\varphi_i - \delta - \phi + \beta) + \sec(\varphi_i - \delta - \phi + \beta) \cdot \frac{\cos(\phi + \delta - \theta) \sin(\varphi_i - \delta)}{\cos(\phi - \beta) \sin(\varphi_i + \beta - \theta)} \quad (11-1.18)$$

式中  $\theta$ ：地震合成角，殘留水位上， $\theta = \tan^{-1}K$ ；殘留水位下， $\theta = \tan^{-1}K'$ 。

$K$ ：震度

$K'$ ：換算震度，詳第九章9.4節[換算震度]

其他：其他符號與公式(11-1.1)砂質土之土壓相同。

## 2. 粘性土之土壓

### (1) 主動土壓

主動土壓依下式計算

$$P_a = \frac{(\Sigma \gamma h + w) \sin(\xi_a + \theta)}{\cos \theta \sin \xi_a} - \frac{c}{\cos \xi_a \sin \xi_a} \quad (11-1.19)$$

$$\xi_a = \tan^{-1} \sqrt{1 - \left( \frac{\Sigma \gamma h + 2w}{2c} \right) \tan \theta} \quad (11-1.20)$$

式中  $P_a$ ：主動土壓( $t/m^2$ )

$\gamma$ ：土壤之單位體積重量( $t/m^2$ )

$h$ ：土層厚度(m)

$w$ ：上載載重( $t/m^2$ )

$c$ ：凝聚力( $t/m^2$ )

$\theta$ ：地震合成角(度)，殘留水位上， $\theta = \tan^{-1}K$ ；

殘留水位下， $\theta = \tan^{-1}K'$

$K$ ：震度

$K'$ ：換算震度，詳第九章9.4節[換算震度]

$\xi_a$ ：破壞面與水平面所成之角度(度)

## (2)被動土壓

地震時，作用於粘性土之被動土壓，不詳之處尚多，至今仍以權宜方法，採用粘性土之土壓公式 (11-1.12)，以常時土壓力計算公式求之。

### 11.1.4 土壓係數參考值

表11-1.1示  $\psi = 0$ 、 $\beta = 0$  時，各土壓係數計算值，供設計者參考。

## 11.2 水壓

### 11.2.1 概要

作用於結構物之水壓，須考慮殘留水壓及地震時之動水壓。

### 11.2.2 殘留水壓

岸壁背填料內之水位與岸壁前之水位，如圖11-2.1所示，如有高低差時，可依下式計算作用於岸壁之殘留水壓。

$$\begin{aligned} p_w &= \gamma_w \cdot y & 0 \leq y < h_w \text{ 時} \\ p_w &= \gamma_w \cdot h_w & h_w \leq y \text{ 時} \end{aligned} \quad (11-2.1)$$

式中  $p_w$ ：殘留水壓 ( $t/m^2$ )

$h_w$ ：殘留水位 (m)，如圖11-2.1所示

$y$ ：自背填料內之水面至欲求殘留水壓點止之深度 (m)

$\gamma_w$ ：水之單位體積重量 ( $t/m^3$ )

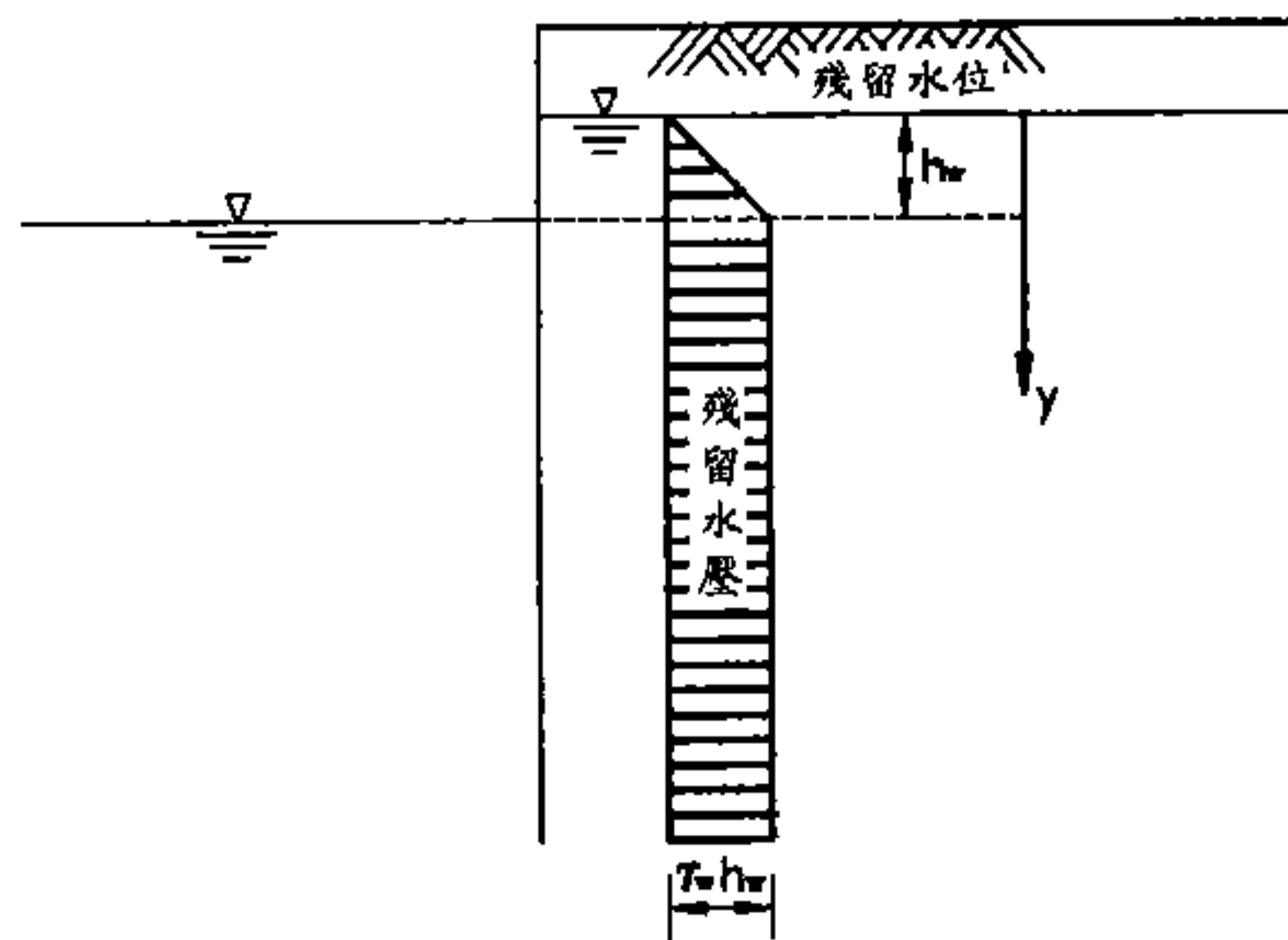


圖 11-2.1 殘留水壓計算示意圖

表 11-1.1 土壓係數參考值

$\phi=22.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.4550                  | 2.1980                  | 56.0      | 34.0      |
| 0.05 | 0.4905                  | 2.1221                  | 53.2      | 32.7      |
| 0.10 | 0.5301                  | 2.0421                  | 50.0      | 31.3      |
| 0.15 | 0.5748                  | 1.9569                  | 46.3      | 29.5      |
| 0.20 | 0.6264                  | 1.8650                  | 41.9      | 27.5      |
| 0.25 | 0.6874                  | 1.7636                  | 36.7      | 24.9      |
| 0.30 | 0.7630                  | 1.6475                  | 30.2      | 21.6      |
| 0.35 | 0.8664                  | 1.5038                  | 21.4      | 16.6      |
| 0.40 | 1.0779                  | 1.2519                  | 5.5       | 5.1       |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3908 | 1.4036 | 51.1 | 55.5 |
| 0.05 | 0.4282 | 1.3870 | 48.0 | 53.9 |
| 0.10 | 0.4710 | 1.3681 | 44.4 | 52.0 |
| 0.15 | 0.5207 | 1.3463 | 40.4 | 49.7 |
| 0.20 | 0.5797 | 1.3208 | 35.9 | 46.8 |
| 0.25 | 0.6520 | 1.2902 | 30.7 | 43.1 |
| 0.30 | 0.7454 | 1.2519 | 24.5 | 38.0 |
| 0.35 | 0.8793 | 1.1994 | 16.8 | 29.9 |
| 0.40 | 1.1761 | 1.0923 | 4.1  | 9.3  |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5800 | 3.2176 | 66.2 | 23.4 |
| 0.05 | 0.6109 | 3.0566 | 64.1 | 22.5 |
| 0.10 | 0.6442 | 2.8901 | 61.8 | 21.6 |
| 0.15 | 0.6803 | 2.7167 | 58.9 | 20.5 |
| 0.20 | 0.7201 | 2.5340 | 55.3 | 19.1 |
| 0.25 | 0.7650 | 2.3379 | 50.6 | 17.4 |
| 0.30 | 0.8175 | 2.1209 | 44.0 | 15.1 |
| 0.35 | 0.8844 | 1.8633 | 33.8 | 11.7 |
| 0.40 | 1.0058 | 1.4428 | 9.7  | 3.7  |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4056 | 1.6125 | 52.2 | 47.6 |
| 0.05 | 0.4426 | 1.5812 | 49.1 | 45.9 |
| 0.10 | 0.4846 | 1.5469 | 45.7 | 44.1 |
| 0.15 | 0.5331 | 1.5091 | 41.7 | 41.9 |
| 0.20 | 0.5903 | 1.4665 | 37.2 | 39.2 |
| 0.25 | 0.6597 | 1.4176 | 32.0 | 35.8 |
| 0.30 | 0.7483 | 1.3588 | 25.7 | 31.1 |
| 0.35 | 0.8739 | 1.2817 | 17.8 | 24.2 |
| 0.40 | 1.1465 | 1.1344 | 4.4  | 7.4  |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5331 | 2.9038 | 62.3 | 25.7 |
| 0.05 | 0.5659 | 2.7697 | 59.9 | 24.8 |
| 0.10 | 0.6015 | 2.6306 | 57.2 | 23.7 |
| 0.15 | 0.6408 | 2.4850 | 54.0 | 22.5 |
| 0.20 | 0.6847 | 2.3307 | 50.0 | 20.9 |
| 0.25 | 0.7351 | 2.1642 | 45.0 | 19.0 |
| 0.30 | 0.7953 | 1.9785 | 38.3 | 16.5 |
| 0.35 | 0.8738 | 1.7558 | 28.5 | 12.8 |
| 0.40 | 1.0225 | 1.3860 | 7.8  | 4.0  |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3920 | 1.4214 | 51.2 | 54.7 |
| 0.05 | 0.4294 | 1.4036 | 48.1 | 53.1 |
| 0.10 | 0.4721 | 1.3834 | 44.5 | 51.2 |
| 0.15 | 0.5217 | 1.3603 | 40.5 | 48.9 |
| 0.20 | 0.5806 | 1.3333 | 36.0 | 46.0 |
| 0.25 | 0.6526 | 1.3012 | 30.8 | 42.4 |
| 0.30 | 0.7456 | 1.2611 | 24.6 | 37.3 |
| 0.35 | 0.8788 | 1.2065 | 16.9 | 29.3 |
| 0.40 | 1.1735 | 1.0958 | 4.1  | 9.1  |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5754 | 3.1899 | 65.8 | 23.6 |
| 0.05 | 0.6065 | 3.0312 | 63.7 | 22.7 |
| 0.10 | 0.6399 | 2.8672 | 61.3 | 21.8 |
| 0.15 | 0.6764 | 2.6962 | 58.4 | 20.6 |
| 0.20 | 0.7166 | 2.5161 | 54.7 | 19.2 |
| 0.25 | 0.7620 | 2.3227 | 50.0 | 17.5 |
| 0.30 | 0.8153 | 2.1084 | 43.4 | 15.2 |
| 0.35 | 0.8832 | 1.8539 | 33.3 | 11.8 |
| 0.40 | 1.0071 | 1.4378 | 9.5  | 3.7  |

$\phi=23.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.4381                  | 2.2826                  | 56.5      | 33.5      |
| 0.05 | 0.4729                  | 2.2054                  | 53.8      | 32.3      |
| 0.10 | 0.5116                  | 2.1243                  | 50.7      | 31.0      |
| 0.15 | 0.5551                  | 2.0383                  | 47.2      | 29.4      |
| 0.20 | 0.6048                  | 1.9461                  | 43.1      | 27.5      |
| 0.25 | 0.6630                  | 1.8455                  | 38.2      | 25.3      |
| 0.30 | 0.7336                  | 1.7324                  | 32.3      | 22.4      |
| 0.35 | 0.8255                  | 1.5981                  | 24.8      | 18.3      |
| 0.40 | 0.9691                  | 1.4120                  | 13.7      | 11.4      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3771 | 1.4565 | 51.9 | 53.8 |
| 0.05 | 0.4134 | 1.4383 | 48.8 | 52.2 |
| 0.10 | 0.4548 | 1.4179 | 45.4 | 50.4 |
| 0.15 | 0.5027 | 1.3946 | 41.6 | 48.3 |
| 0.20 | 0.5590 | 1.3678 | 37.3 | 45.7 |
| 0.25 | 0.6270 | 1.3362 | 32.4 | 42.4 |
| 0.30 | 0.7127 | 1.2978 | 26.7 | 38.1 |
| 0.35 | 0.8293 | 1.2479 | 19.8 | 31.7 |
| 0.40 | 1.0228 | 1.1706 | 10.5 | 20.1 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5535 | 3.3764 | 65.7 | 23.1 |
| 0.05 | 0.5845 | 3.2116 | 63.7 | 22.3 |
| 0.10 | 0.6179 | 3.0418 | 61.4 | 21.4 |
| 0.15 | 0.6540 | 2.8655 | 58.6 | 20.4 |
| 0.20 | 0.6937 | 2.6808 | 55.2 | 19.2 |
| 0.25 | 0.7382 | 2.4844 | 50.9 | 17.7 |
| 0.30 | 0.7895 | 2.2703 | 45.1 | 15.7 |
| 0.35 | 0.8523 | 2.0253 | 36.8 | 13.0 |
| 0.40 | 0.9424 | 1.7033 | 22.2 | 8.2  |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3893 | 1.6434 | 52.8 | 47.2 |
| 0.05 | 0.4254 | 1.6126 | 49.8 | 45.7 |
| 0.10 | 0.4663 | 1.5791 | 46.5 | 44.0 |
| 0.15 | 0.5132 | 1.5422 | 42.7 | 41.9 |
| 0.20 | 0.5680 | 1.5011 | 38.4 | 39.4 |
| 0.25 | 0.6338 | 1.4541 | 33.5 | 36.4 |
| 0.30 | 0.7160 | 1.3989 | 27.8 | 32.4 |
| 0.35 | 0.8267 | 1.3296 | 20.7 | 26.7 |
| 0.40 | 1.0079 | 1.2268 | 11.1 | 16.7 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5156 | 3.0769 | 62.6 | 25.1 |
| 0.05 | 0.5480 | 2.9369 | 60.4 | 24.3 |
| 0.10 | 0.5831 | 2.7920 | 57.8 | 23.3 |
| 0.15 | 0.6216 | 2.6411 | 54.7 | 22.1 |
| 0.20 | 0.6644 | 2.4823 | 51.0 | 20.8 |
| 0.25 | 0.7129 | 2.3125 | 46.5 | 19.1 |
| 0.30 | 0.7698 | 2.1263 | 40.5 | 17.0 |
| 0.35 | 0.8407 | 1.9116 | 32.3 | 14.0 |
| 0.40 | 0.9452 | 1.6265 | 18.9 | 8.8  |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3759 | 1.4384 | 51.8 | 54.5 |
| 0.05 | 0.4123 | 1.4214 | 48.7 | 52.9 |
| 0.10 | 0.4538 | 1.4022 | 45.3 | 51.1 |
| 0.15 | 0.5017 | 1.3802 | 41.5 | 49.0 |
| 0.20 | 0.5581 | 1.3548 | 37.2 | 46.4 |
| 0.25 | 0.6264 | 1.3247 | 32.3 | 43.1 |
| 0.30 | 0.7124 | 1.2879 | 26.6 | 38.7 |
| 0.35 | 0.8296 | 1.2399 | 19.7 | 32.3 |
| 0.40 | 1.0243 | 1.1651 | 10.5 | 20.5 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5578 | 3.4069 | 66.0 | 22.9 |
| 0.05 | 0.5887 | 3.2395 | 64.1 | 22.1 |
| 0.10 | 0.6218 | 3.0672 | 61.8 | 21.3 |
| 0.15 | 0.6577 | 2.8883 | 59.0 | 20.2 |
| 0.20 | 0.6971 | 2.7009 | 55.7 | 19.0 |
| 0.25 | 0.7411 | 2.5018 | 51.4 | 17.5 |
| 0.30 | 0.7918 | 2.2848 | 45.6 | 15.6 |
| 0.35 | 0.8537 | 2.0367 | 37.3 | 12.9 |
| 0.40 | 0.9424 | 1.7110 | 22.6 | 8.1  |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=24.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.4217                  | 2.3712                  | 57.0      | 33.0      |
| 0.05 | 0.4558                  | 2.2926                  | 54.4      | 31.9      |
| 0.10 | 0.4936                  | 2.2102                  | 51.4      | 30.6      |
| 0.15 | 0.5359                  | 2.1234                  | 48.0      | 29.2      |
| 0.20 | 0.5840                  | 2.0308                  | 44.2      | 27.5      |
| 0.25 | 0.6397                  | 1.9306                  | 39.6      | 25.5      |
| 0.30 | 0.7062                  | 1.8196                  | 34.2      | 22.9      |
| 0.35 | 0.7898                  | 1.6914                  | 27.5      | 19.6      |
| 0.40 | 0.9077                  | 1.5290                  | 18.5      | 14.5      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3637 | 1.5104 | 52.6 | 52.2 |
| 0.05 | 0.3991 | 1.4908 | 49.7 | 50.7 |
| 0.10 | 0.4392 | 1.4690 | 46.4 | 49.0 |
| 0.15 | 0.4853 | 1.4444 | 42.7 | 47.0 |
| 0.20 | 0.5392 | 1.4164 | 38.6 | 44.7 |
| 0.25 | 0.6035 | 1.3839 | 34.0 | 41.7 |
| 0.30 | 0.6831 | 1.3453 | 28.6 | 38.0 |
| 0.35 | 0.7873 | 1.2970 | 22.4 | 32.8 |
| 0.40 | 0.9419 | 1.2300 | 14.5 | 24.5 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5285 | 3.5447 | 65.4 | 22.8 |
| 0.05 | 0.5595 | 3.3760 | 63.4 | 22.1 |
| 0.10 | 0.5928 | 3.2025 | 61.1 | 21.2 |
| 0.15 | 0.6289 | 3.0231 | 58.4 | 20.3 |
| 0.20 | 0.6684 | 2.8359 | 55.2 | 19.2 |
| 0.25 | 0.7123 | 2.6382 | 51.2 | 17.9 |
| 0.30 | 0.7624 | 2.4253 | 46.0 | 16.2 |
| 0.35 | 0.8221 | 2.1877 | 38.9 | 13.9 |
| 0.40 | 0.9007 | 1.8998 | 28.0 | 10.4 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3737 | 1.6745 | 53.4 | 46.9 |
| 0.05 | 0.4089 | 1.6444 | 50.5 | 45.5 |
| 0.10 | 0.4486 | 1.6116 | 47.2 | 43.8 |
| 0.15 | 0.4940 | 1.5756 | 43.6 | 41.9 |
| 0.20 | 0.5468 | 1.5357 | 39.5 | 39.6 |
| 0.25 | 0.6095 | 1.4907 | 34.9 | 36.9 |
| 0.30 | 0.6864 | 1.4384 | 29.6 | 33.4 |
| 0.35 | 0.7864 | 1.3748 | 23.2 | 28.6 |
| 0.40 | 0.9332 | 1.2890 | 15.2 | 21.2 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4984 | 3.2645 | 63.0 | 24.5 |
| 0.05 | 0.5304 | 3.1180 | 60.8 | 23.7 |
| 0.10 | 0.5650 | 2.9670 | 58.3 | 22.8 |
| 0.15 | 0.6028 | 2.8102 | 55.4 | 21.8 |
| 0.20 | 0.6445 | 2.6461 | 52.0 | 20.6 |
| 0.25 | 0.6914 | 2.4722 | 47.8 | 19.1 |
| 0.30 | 0.7456 | 2.2839 | 42.5 | 17.3 |
| 0.35 | 0.8110 | 2.0726 | 35.4 | 14.8 |
| 0.40 | 0.8986 | 1.8145 | 24.9 | 11.0 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3605 | 1.4551 | 52.4 | 54.3 |
| 0.05 | 0.3959 | 1.4390 | 49.4 | 52.8 |
| 0.10 | 0.4362 | 1.4208 | 46.1 | 51.1 |
| 0.15 | 0.4825 | 1.3999 | 42.4 | 49.1 |
| 0.20 | 0.5368 | 1.3759 | 38.3 | 46.7 |
| 0.25 | 0.6017 | 1.3477 | 33.7 | 43.7 |
| 0.30 | 0.6821 | 1.3136 | 28.3 | 39.9 |
| 0.35 | 0.7877 | 1.2706 | 22.1 | 34.5 |
| 0.40 | 0.9450 | 1.2099 | 14.3 | 25.9 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5404 | 3.6453 | 66.3 | 22.2 |
| 0.05 | 0.5711 | 3.4685 | 64.4 | 21.5 |
| 0.10 | 0.6039 | 3.2869 | 62.2 | 20.7 |
| 0.15 | 0.6393 | 3.0992 | 59.6 | 19.8 |
| 0.20 | 0.6779 | 2.9036 | 56.5 | 18.8 |
| 0.25 | 0.7207 | 2.6974 | 52.6 | 17.5 |
| 0.30 | 0.7692 | 2.4756 | 47.5 | 15.8 |
| 0.35 | 0.8268 | 2.2286 | 40.4 | 13.6 |
| 0.40 | 0.9021 | 1.9301 | 29.4 | 10.1 |

$\phi=25.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.4059                  | 2.4639                  | 57.5      | 32.5      |
| 0.05 | 0.4393                  | 2.3839                  | 55.0      | 31.5      |
| 0.10 | 0.4762                  | 2.3003                  | 52.1      | 30.3      |
| 0.15 | 0.5174                  | 2.2125                  | 48.9      | 29.0      |
| 0.20 | 0.5640                  | 2.1193                  | 45.2      | 27.4      |
| 0.25 | 0.6175                  | 2.0192                  | 40.9      | 25.6      |
| 0.30 | 0.6805                  | 1.9095                  | 35.9      | 23.4      |
| 0.35 | 0.7578                  | 1.7856                  | 29.8      | 20.5      |
| 0.40 | 0.8603                  | 1.6364                  | 22.1      | 16.4      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3507 | 1.5654 | 53.4 | 50.8 |
| 0.05 | 0.3852 | 1.5446 | 50.5 | 49.4 |
| 0.10 | 0.4241 | 1.5215 | 47.3 | 47.8 |
| 0.15 | 0.4687 | 1.4957 | 43.8 | 45.9 |
| 0.20 | 0.5203 | 1.4667 | 39.9 | 43.7 |
| 0.25 | 0.5814 | 1.4335 | 35.4 | 41.1 |
| 0.30 | 0.6558 | 1.3946 | 30.4 | 37.8 |
| 0.35 | 0.7506 | 1.3475 | 24.7 | 33.4 |
| 0.40 | 0.8823 | 1.2860 | 17.7 | 27.0 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5048 | 3.7234 | 65.1 | 22.4 |
| 0.05 | 0.5357 | 3.5505 | 63.2 | 21.8 |
| 0.10 | 0.5689 | 3.3731 | 61.0 | 21.0 |
| 0.15 | 0.6048 | 3.1900 | 58.4 | 20.2 |
| 0.20 | 0.6439 | 2.9999 | 55.3 | 19.2 |
| 0.25 | 0.6873 | 2.8003 | 51.6 | 18.0 |
| 0.30 | 0.7362 | 2.5874 | 46.9 | 16.5 |
| 0.35 | 0.7935 | 2.3541 | 40.7 | 14.5 |
| 0.40 | 0.8651 | 2.0840 | 31.9 | 11.8 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3587 | 1.7059 | 54.0 | 46.6 |
| 0.05 | 0.3930 | 1.6764 | 51.1 | 45.2 |
| 0.10 | 0.4316 | 1.6443 | 48.0 | 43.7 |
| 0.15 | 0.4757 | 1.6093 | 44.5 | 41.9 |
| 0.20 | 0.5265 | 1.5706 | 40.6 | 39.8 |
| 0.25 | 0.5864 | 1.5272 | 36.2 | 37.3 |
| 0.30 | 0.6589 | 1.4775 | 31.2 | 34.2 |
| 0.35 | 0.7506 | 1.4183 | 25.4 | 30.1 |
| 0.40 | 0.8771 | 1.3429 | 18.3 | 24.2 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4815 | 3.4682 | 63.3 | 23.8 |
| 0.05 | 0.5131 | 3.3147 | 61.2 | 23.1 |
| 0.10 | 0.5472 | 3.1569 | 58.8 | 22.3 |
| 0.15 | 0.5843 | 2.9937 | 56.1 | 21.4 |
| 0.20 | 0.6251 | 2.8237 | 52.8 | 20.3 |
| 0.25 | 0.6705 | 2.6447 | 49.0 | 19.0 |
| 0.30 | 0.7224 | 2.4531 | 44.1 | 17.4 |
| 0.35 | 0.7836 | 2.2421 | 37.9 | 15.4 |
| 0.40 | 0.8611 | 1.9965 | 29.3 | 12.4 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3457 | 1.4714 | 53.0 | 54.0 |
| 0.05 | 0.3802 | 1.4563 | 50.1 | 52.6 |
| 0.10 | 0.4193 | 1.4390 | 46.9 | 51.0 |
| 0.15 | 0.4642 | 1.4193 | 43.3 | 49.1 |
| 0.20 | 0.5164 | 1.3966 | 39.4 | 46.9 |
| 0.25 | 0.5783 | 1.3701 | 35.0 | 44.2 |
| 0.30 | 0.6540 | 1.3386 | 30.0 | 40.8 |
| 0.35 | 0.7509 | 1.2995 | 24.2 | 36.2 |
| 0.40 | 0.8860 | 1.2474 | 17.4 | 29.4 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5233 | 3.9081 | 66.6 | 21.5 |
| 0.05 | 0.5537 | 3.7209 | 64.8 | 20.9 |
| 0.10 | 0.5862 | 3.5291 | 62.7 | 20.2 |
| 0.15 | 0.6211 | 3.3316 | 60.2 | 19.4 |
| 0.20 | 0.6590 | 3.1267 | 57.3 | 18.4 |
| 0.25 | 0.7007 | 2.9121 | 53.7 | 17.3 |
| 0.30 | 0.7474 | 2.6837 | 49.1 | 15.9 |
| 0.35 | 0.8018 | 2.4342 | 43.0 | 14.0 |
| 0.40 | 0.8690 | 2.1464 | 34.1 | 11.4 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=26.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3905                  | 2.5611                  | 58.0      | 32.0      |
| 0.05 | 0.4232                  | 2.4796                  | 55.5      | 31.0      |
| 0.10 | 0.4593                  | 2.3947                  | 52.8      | 29.9      |
| 0.15 | 0.4995                  | 2.3057                  | 49.7      | 28.7      |
| 0.20 | 0.5446                  | 2.2118                  | 46.1      | 27.3      |
| 0.25 | 0.5961                  | 2.1115                  | 42.1      | 25.7      |
| 0.30 | 0.6561                  | 2.0028                  | 37.4      | 23.7      |
| 0.35 | 0.7283                  | 1.8818                  | 31.9      | 21.2      |
| 0.40 | 0.8204                  | 1.7410                  | 25.1      | 17.8      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3381 | 1.6220 | 54.1 | 49.5 |
| 0.05 | 0.3717 | 1.6000 | 51.3 | 48.1 |
| 0.10 | 0.4095 | 1.5757 | 48.2 | 46.6 |
| 0.15 | 0.4526 | 1.5489 | 44.8 | 44.9 |
| 0.20 | 0.5023 | 1.5189 | 41.0 | 42.9 |
| 0.25 | 0.5605 | 1.4850 | 36.8 | 40.5 |
| 0.30 | 0.6305 | 1.4459 | 32.1 | 37.5 |
| 0.35 | 0.7178 | 1.3995 | 26.7 | 33.8 |
| 0.40 | 0.8338 | 1.3414 | 20.5 | 28.6 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4822 | 3.9134 | 65.0 | 22.1 |
| 0.05 | 0.5130 | 3.7360 | 63.1 | 21.5 |
| 0.10 | 0.5460 | 3.5543 | 60.9 | 20.8 |
| 0.15 | 0.5816 | 3.3673 | 58.4 | 20.0 |
| 0.20 | 0.6203 | 3.1737 | 55.5 | 19.1 |
| 0.25 | 0.6630 | 2.9716 | 51.9 | 18.0 |
| 0.30 | 0.7109 | 2.7577 | 47.6 | 16.7 |
| 0.35 | 0.7660 | 2.5265 | 42.1 | 15.0 |
| 0.40 | 0.8328 | 2.2666 | 34.7 | 12.8 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3441 | 1.7375 | 54.5 | 46.3 |
| 0.05 | 0.3776 | 1.7086 | 51.8 | 45.0 |
| 0.10 | 0.4152 | 1.6773 | 48.7 | 43.5 |
| 0.15 | 0.4580 | 1.6433 | 45.4 | 41.8 |
| 0.20 | 0.5071 | 1.6057 | 41.6 | 39.9 |
| 0.25 | 0.5644 | 1.5639 | 37.4 | 37.6 |
| 0.30 | 0.6331 | 1.5164 | 32.7 | 34.8 |
| 0.35 | 0.7183 | 1.4609 | 27.3 | 31.2 |
| 0.40 | 0.8309 | 1.3926 | 21.0 | 26.3 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4649 | 3.6899 | 63.7 | 23.2 |
| 0.05 | 0.4961 | 3.5289 | 61.6 | 22.6 |
| 0.10 | 0.5297 | 3.3637 | 59.4 | 21.8 |
| 0.15 | 0.5662 | 3.1935 | 56.7 | 21.0 |
| 0.20 | 0.6060 | 3.0168 | 53.7 | 20.0 |
| 0.25 | 0.6502 | 2.8319 | 50.0 | 18.9 |
| 0.30 | 0.7000 | 2.6357 | 45.6 | 17.5 |
| 0.35 | 0.7579 | 2.4229 | 40.1 | 15.7 |
| 0.40 | 0.8285 | 2.1828 | 32.7 | 13.3 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3314 | 1.4875 | 53.6 | 53.8 |
| 0.05 | 0.3650 | 1.4732 | 50.8 | 52.4 |
| 0.10 | 0.4030 | 1.4570 | 47.6 | 50.9 |
| 0.15 | 0.4465 | 1.4384 | 44.2 | 49.1 |
| 0.20 | 0.4969 | 1.4170 | 40.4 | 47.1 |
| 0.25 | 0.5562 | 1.3922 | 36.2 | 44.6 |
| 0.30 | 0.6278 | 1.3628 | 31.4 | 41.5 |
| 0.35 | 0.7176 | 1.3270 | 26.1 | 37.6 |
| 0.40 | 0.8377 | 1.2811 | 19.9 | 32.0 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.5064 | 4.1988 | 66.9 | 20.9 |
| 0.05 | 0.5365 | 4.0002 | 65.1 | 20.3 |
| 0.10 | 0.5686 | 3.7971 | 63.1 | 19.7 |
| 0.15 | 0.6031 | 3.5886 | 60.8 | 18.9 |
| 0.20 | 0.6403 | 3.3732 | 58.0 | 18.1 |
| 0.25 | 0.6810 | 3.1488 | 54.7 | 17.1 |
| 0.30 | 0.7263 | 2.9122 | 50.5 | 15.8 |
| 0.35 | 0.7779 | 2.6573 | 45.1 | 14.3 |
| 0.40 | 0.8398 | 2.3722 | 37.6 | 12.1 |

$\phi=27.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3755                  | 2.6629                  | 58.5      | 31.5      |
| 0.05 | 0.4076                  | 2.5799                  | 56.1      | 30.6      |
| 0.10 | 0.4429                  | 2.4936                  | 53.4      | 29.6      |
| 0.15 | 0.4821                  | 2.4035                  | 50.4      | 28.4      |
| 0.20 | 0.5259                  | 2.3087                  | 47.1      | 27.2      |
| 0.25 | 0.5756                  | 2.2081                  | 43.2      | 25.7      |
| 0.30 | 0.6330                  | 2.0998                  | 38.9      | 23.9      |
| 0.35 | 0.7009                  | 1.9808                  | 33.8      | 21.7      |
| 0.40 | 0.7852                  | 1.8457                  | 27.6      | 18.8      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3259 | 1.6801 | 54.8 | 48.3 |
| 0.05 | 0.3586 | 1.6570 | 52.1 | 47.0 |
| 0.10 | 0.3953 | 1.6317 | 49.1 | 45.5 |
| 0.15 | 0.4371 | 1.6039 | 45.8 | 43.9 |
| 0.20 | 0.4849 | 1.5731 | 42.2 | 42.1 |
| 0.25 | 0.5406 | 1.5385 | 38.2 | 39.9 |
| 0.30 | 0.6069 | 1.4991 | 33.7 | 37.3 |
| 0.35 | 0.6880 | 1.4532 | 28.6 | 34.0 |
| 0.40 | 0.7925 | 1.3976 | 22.9 | 29.7 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4608 | 4.1156 | 64.9 | 21.8 |
| 0.05 | 0.4913 | 3.9334 | 63.1 | 21.2 |
| 0.10 | 0.5240 | 3.7471 | 60.9 | 20.6 |
| 0.15 | 0.5593 | 3.5558 | 58.5 | 19.8 |
| 0.20 | 0.5976 | 3.3584 | 55.7 | 19.0 |
| 0.25 | 0.6396 | 3.1531 | 52.3 | 18.0 |
| 0.30 | 0.6864 | 2.9374 | 48.3 | 16.9 |
| 0.35 | 0.7397 | 2.7067 | 43.4 | 15.4 |
| 0.40 | 0.8027 | 2.4527 | 36.9 | 13.5 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3302 | 1.7693 | 55.1 | 46.0 |
| 0.05 | 0.3628 | 1.7411 | 52.4 | 44.7 |
| 0.10 | 0.3995 | 1.7106 | 49.5 | 43.3 |
| 0.15 | 0.4409 | 1.6775 | 46.2 | 41.7 |
| 0.20 | 0.4884 | 1.6411 | 42.6 | 39.9 |
| 0.25 | 0.5435 | 1.6007 | 38.6 | 37.8 |
| 0.30 | 0.6089 | 1.5552 | 34.1 | 35.3 |
| 0.35 | 0.6886 | 1.5028 | 29.1 | 32.1 |
| 0.40 | 0.7909 | 1.4400 | 23.3 | 28.0 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4487 | 3.9319 | 64.0 | 22.6 |
| 0.05 | 0.4795 | 3.7627 | 62.1 | 22.0 |
| 0.10 | 0.5126 | 3.5895 | 59.9 | 21.3 |
| 0.15 | 0.5484 | 3.4114 | 57.3 | 20.6 |
| 0.20 | 0.5874 | 3.2274 | 54.4 | 19.7 |
| 0.25 | 0.6304 | 3.0357 | 51.0 | 18.7 |
| 0.30 | 0.6784 | 2.8338 | 47.0 | 17.4 |
| 0.35 | 0.7335 | 2.6174 | 41.9 | 15.9 |
| 0.40 | 0.7990 | 2.3786 | 35.5 | 13.9 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3176 | 1.5032 | 54.2 | 53.6 |
| 0.05 | 0.3504 | 1.4898 | 51.4 | 52.3 |
| 0.10 | 0.3874 | 1.4746 | 48.4 | 50.8 |
| 0.15 | 0.4296 | 1.4572 | 45.0 | 49.1 |
| 0.20 | 0.4782 | 1.4371 | 41.4 | 47.2 |
| 0.25 | 0.5351 | 1.4138 | 37.3 | 44.9 |
| 0.30 | 0.6032 | 1.3865 | 32.8 | 42.1 |
| 0.35 | 0.6872 | 1.3536 | 27.8 | 38.6 |
| 0.40 | 0.7961 | 1.3123 | 22.1 | 33.9 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4897 | 4.5216 | 67.2 | 20.2 |
| 0.05 | 0.5196 | 4.3103 | 65.4 | 19.7 |
| 0.10 | 0.5513 | 4.0946 | 63.5 | 19.1 |
| 0.15 | 0.5853 | 3.8738 | 61.3 | 18.4 |
| 0.20 | 0.6219 | 3.6466 | 58.7 | 17.7 |
| 0.25 | 0.6617 | 3.4110 | 55.5 | 16.8 |
| 0.30 | 0.7056 | 3.1643 | 51.7 | 15.7 |
| 0.35 | 0.7551 | 2.9017 | 46.9 | 14.4 |
| 0.40 | 0.8128 | 2.6142 | 40.5 | 12.6 |



表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=28.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3610                  | 2.7698                  | 59.0      | 31.0      |
| 0.05 | 0.3925                  | 2.6852                  | 56.6      | 30.2      |
| 0.10 | 0.4270                  | 2.5975                  | 54.1      | 29.2      |
| 0.15 | 0.4652                  | 2.5061                  | 51.2      | 28.2      |
| 0.20 | 0.5078                  | 2.4104                  | 47.9      | 27.0      |
| 0.25 | 0.5558                  | 2.3092                  | 44.3      | 25.6      |
| 0.30 | 0.6108                  | 2.2010                  | 40.2      | 24.0      |
| 0.35 | 0.6753                  | 2.0834                  | 35.4      | 22.0      |
| 0.40 | 0.7533                  | 1.9522                  | 29.8      | 19.6      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3140 | 1.7401 | 55.5 | 47.1 |
| 0.05 | 0.3459 | 1.7160 | 52.8 | 45.9 |
| 0.10 | 0.3816 | 1.6897 | 49.9 | 44.5 |
| 0.15 | 0.4220 | 1.6610 | 46.8 | 43.0 |
| 0.20 | 0.4682 | 1.6293 | 43.3 | 41.3 |
| 0.25 | 0.5216 | 1.5941 | 39.4 | 39.3 |
| 0.30 | 0.5846 | 1.5545 | 35.1 | 36.9 |
| 0.35 | 0.6606 | 1.5090 | 30.4 | 34.0 |
| 0.40 | 0.7560 | 1.4550 | 25.0 | 30.4 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4403 | 4.3311 | 65.0 | 21.4 |
| 0.05 | 0.4705 | 4.1438 | 63.1 | 20.9 |
| 0.10 | 0.5029 | 3.9525 | 61.0 | 20.3 |
| 0.15 | 0.5378 | 3.7566 | 58.6 | 19.6 |
| 0.20 | 0.5755 | 3.5549 | 55.9 | 18.9 |
| 0.25 | 0.6169 | 3.3460 | 52.8 | 18.0 |
| 0.30 | 0.6626 | 3.1276 | 49.0 | 16.9 |
| 0.35 | 0.7143 | 2.8961 | 44.5 | 15.6 |
| 0.40 | 0.7743 | 2.6452 | 38.8 | 14.0 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3167 | 1.8013 | 55.7 | 45.6 |
| 0.05 | 0.3485 | 1.7739 | 53.1 | 44.4 |
| 0.10 | 0.3842 | 1.7442 | 50.2 | 43.1 |
| 0.15 | 0.4245 | 1.7119 | 47.0 | 41.6 |
| 0.20 | 0.4705 | 1.6767 | 43.5 | 39.9 |
| 0.25 | 0.5235 | 1.6377 | 39.7 | 38.0 |
| 0.30 | 0.5859 | 1.5941 | 35.4 | 35.7 |
| 0.35 | 0.6611 | 1.5444 | 30.7 | 32.8 |
| 0.40 | 0.7553 | 1.4859 | 25.3 | 29.3 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4328 | 4.1967 | 64.4 | 21.9 |
| 0.05 | 0.4632 | 4.0185 | 62.5 | 21.4 |
| 0.10 | 0.4958 | 3.8365 | 60.3 | 20.8 |
| 0.15 | 0.5309 | 3.6499 | 57.9 | 20.1 |
| 0.20 | 0.5691 | 3.4577 | 55.2 | 19.3 |
| 0.25 | 0.6110 | 3.2583 | 52.0 | 18.4 |
| 0.30 | 0.6575 | 3.0496 | 48.2 | 17.3 |
| 0.35 | 0.7102 | 2.8281 | 43.6 | 16.0 |
| 0.40 | 0.7716 | 2.5876 | 37.9 | 14.3 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3044 | 1.5185 | 54.8 | 53.3 |
| 0.05 | 0.3363 | 1.5061 | 52.1 | 52.1 |
| 0.10 | 0.3723 | 1.4919 | 49.1 | 50.7 |
| 0.15 | 0.4133 | 1.4756 | 45.9 | 49.1 |
| 0.20 | 0.4603 | 1.4568 | 42.3 | 47.3 |
| 0.25 | 0.5150 | 1.4351 | 38.4 | 45.2 |
| 0.30 | 0.5800 | 1.4096 | 34.1 | 42.6 |
| 0.35 | 0.6591 | 1.3792 | 29.4 | 39.5 |
| 0.40 | 0.7593 | 1.3419 | 24.1 | 35.4 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4732 | 4.8815 | 67.4 | 19.5 |
| 0.05 | 0.5028 | 4.6559 | 65.8 | 19.0 |
| 0.10 | 0.5343 | 4.4263 | 63.9 | 18.5 |
| 0.15 | 0.5678 | 4.1918 | 61.8 | 17.9 |
| 0.20 | 0.6038 | 3.9512 | 59.3 | 17.3 |
| 0.25 | 0.6427 | 3.7028 | 56.4 | 16.5 |
| 0.30 | 0.6854 | 3.4443 | 52.9 | 15.5 |
| 0.35 | 0.7330 | 3.1716 | 48.5 | 14.4 |
| 0.40 | 0.7876 | 2.8778 | 42.9 | 12.9 |

$\phi=29.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3470                  | 2.8821                  | 59.5      | 30.5      |
| 0.05 | 0.3778                  | 2.7958                  | 57.2      | 29.7      |
| 0.10 | 0.4116                  | 2.7066                  | 54.7      | 28.8      |
| 0.15 | 0.4488                  | 2.6139                  | 51.9      | 27.8      |
| 0.20 | 0.4903                  | 2.5170                  | 48.8      | 26.7      |
| 0.25 | 0.5368                  | 2.4151                  | 45.3      | 25.5      |
| 0.30 | 0.5897                  | 2.3068                  | 41.4      | 24.0      |
| 0.35 | 0.6510                  | 2.1900                  | 37.0      | 22.3      |
| 0.40 | 0.7240                  | 2.0616                  | 31.8      | 20.2      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3024 | 1.8020 | 56.2 | 46.0 |
| 0.05 | 0.3335 | 1.7769 | 53.6 | 44.9 |
| 0.10 | 0.3683 | 1.7498 | 50.8 | 43.6 |
| 0.15 | 0.4075 | 1.7202 | 47.7 | 42.2 |
| 0.20 | 0.4521 | 1.6878 | 44.3 | 40.6 |
| 0.25 | 0.5035 | 1.6521 | 40.6 | 38.7 |
| 0.30 | 0.5635 | 1.6121 | 36.5 | 36.6 |
| 0.35 | 0.6351 | 1.5668 | 32.0 | 34.0 |
| 0.40 | 0.7233 | 1.5142 | 27.0 | 30.8 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4207 | 4.5611 | 65.0 | 21.0 |
| 0.05 | 0.4506 | 4.3683 | 63.2 | 20.5 |
| 0.10 | 0.4826 | 4.1718 | 61.1 | 20.0 |
| 0.15 | 0.5170 | 3.9708 | 58.8 | 19.4 |
| 0.20 | 0.5543 | 3.7645 | 56.2 | 18.7 |
| 0.25 | 0.5949 | 3.5514 | 53.2 | 17.9 |
| 0.30 | 0.6396 | 3.3297 | 49.7 | 16.9 |
| 0.35 | 0.6898 | 3.0964 | 45.5 | 15.8 |
| 0.40 | 0.7473 | 2.8464 | 40.3 | 14.4 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3037 | 1.8336 | 56.3 | 45.3 |
| 0.05 | 0.3348 | 1.8068 | 53.7 | 44.2 |
| 0.10 | 0.3695 | 1.7780 | 50.9 | 42.9 |
| 0.15 | 0.4087 | 1.7467 | 47.8 | 41.5 |
| 0.20 | 0.4532 | 1.7125 | 44.4 | 39.9 |
| 0.25 | 0.5044 | 1.6749 | 40.7 | 38.1 |
| 0.30 | 0.5641 | 1.6330 | 36.7 | 36.0 |
| 0.35 | 0.6354 | 1.5857 | 32.2 | 33.4 |
| 0.40 | 0.7230 | 1.5309 | 27.1 | 30.3 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4172 | 4.4872 | 64.7 | 21.3 |
| 0.05 | 0.4472 | 4.2992 | 62.9 | 20.8 |
| 0.10 | 0.4793 | 4.1076 | 60.8 | 20.2 |
| 0.15 | 0.5138 | 3.9116 | 58.5 | 19.6 |
| 0.20 | 0.5512 | 3.7103 | 55.9 | 18.9 |
| 0.25 | 0.5921 | 3.5022 | 52.8 | 18.1 |
| 0.30 | 0.6372 | 3.2856 | 49.3 | 17.1 |
| 0.35 | 0.6877 | 3.0576 | 45.1 | 16.0 |
| 0.40 | 0.7459 | 2.8131 | 39.9 | 14.6 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2917 | 1.5335 | 55.4 | 53.1 |
| 0.05 | 0.3228 | 1.5221 | 52.7 | 51.9 |
| 0.10 | 0.3578 | 1.5089 | 49.8 | 50.6 |
| 0.15 | 0.3976 | 1.4937 | 46.7 | 49.1 |
| 0.20 | 0.4431 | 1.4762 | 43.2 | 47.4 |
| 0.25 | 0.4959 | 1.4559 | 39.5 | 45.4 |
| 0.30 | 0.5580 | 1.4322 | 35.4 | 43.1 |
| 0.35 | 0.6329 | 1.4041 | 30.8 | 40.2 |
| 0.40 | 0.7260 | 1.3701 | 25.9 | 36.6 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4570 | 5.2842 | 67.7 | 18.8 |
| 0.05 | 0.4864 | 5.0429 | 66.1 | 18.4 |
| 0.10 | 0.5174 | 4.7977 | 64.3 | 17.9 |
| 0.15 | 0.5505 | 4.5477 | 62.2 | 17.4 |
| 0.20 | 0.5859 | 4.2920 | 59.9 | 16.8 |
| 0.25 | 0.6241 | 4.0291 | 57.1 | 16.1 |
| 0.30 | 0.6657 | 3.7568 | 53.9 | 15.3 |
| 0.35 | 0.7116 | 3.4717 | 49.9 | 14.3 |
| 0.40 | 0.7636 | 3.1684 | 44.9 | 13.1 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=30.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3333                  | 3.0000                  | 60.0      | 30.0      |
| 0.05 | 0.3635                  | 2.9121                  | 57.8      | 29.3      |
| 0.10 | 0.3966                  | 2.8213                  | 55.3      | 28.4      |
| 0.15 | 0.4329                  | 2.7272                  | 52.6      | 27.5      |
| 0.20 | 0.4733                  | 2.6291                  | 49.6      | 26.5      |
| 0.25 | 0.5183                  | 2.5263                  | 46.3      | 25.3      |
| 0.30 | 0.5693                  | 2.4176                  | 42.6      | 24.0      |
| 0.35 | 0.6279                  | 2.3013                  | 38.4      | 22.5      |
| 0.40 | 0.6967                  | 2.1747                  | 33.6      | 20.6      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2911 | 1.8660 | 56.9 | 45.0 |
| 0.05 | 0.3215 | 1.8401 | 54.3 | 43.9 |
| 0.10 | 0.3554 | 1.8121 | 51.6 | 42.7 |
| 0.15 | 0.3935 | 1.7817 | 48.6 | 41.4 |
| 0.20 | 0.4366 | 1.7486 | 45.3 | 39.9 |
| 0.25 | 0.4861 | 1.7123 | 41.8 | 38.2 |
| 0.30 | 0.5434 | 1.6721 | 37.8 | 36.2 |
| 0.35 | 0.6112 | 1.6270 | 33.6 | 33.9 |
| 0.40 | 0.6934 | 1.5753 | 28.8 | 31.1 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4019 | 4.8069 | 65.1 | 20.7 |
| 0.05 | 0.4315 | 4.6083 | 63.3 | 20.2 |
| 0.10 | 0.4631 | 4.4061 | 61.3 | 19.7 |
| 0.15 | 0.4970 | 4.1997 | 59.0 | 19.1 |
| 0.20 | 0.5337 | 3.9882 | 56.5 | 18.5 |
| 0.25 | 0.5736 | 3.7705 | 53.6 | 17.8 |
| 0.30 | 0.6174 | 3.5449 | 50.3 | 16.9 |
| 0.35 | 0.6661 | 3.3088 | 46.4 | 15.9 |
| 0.40 | 0.7214 | 3.0583 | 41.7 | 14.7 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2911 | 1.8660 | 56.9 | 45.0 |
| 0.05 | 0.3215 | 1.8401 | 54.3 | 43.9 |
| 0.10 | 0.3554 | 1.8121 | 51.6 | 42.7 |
| 0.15 | 0.3935 | 1.7817 | 48.6 | 41.4 |
| 0.20 | 0.4366 | 1.7486 | 45.3 | 39.9 |
| 0.25 | 0.4861 | 1.7123 | 41.8 | 38.2 |
| 0.30 | 0.5434 | 1.6721 | 37.8 | 36.2 |
| 0.35 | 0.6112 | 1.6270 | 33.6 | 33.9 |
| 0.40 | 0.6934 | 1.5753 | 28.8 | 31.1 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4019 | 4.8069 | 65.1 | 20.7 |
| 0.05 | 0.4315 | 4.6083 | 63.3 | 20.2 |
| 0.10 | 0.4631 | 4.4061 | 61.3 | 19.7 |
| 0.15 | 0.4970 | 4.1997 | 59.0 | 19.1 |
| 0.20 | 0.5337 | 3.9882 | 56.5 | 18.5 |
| 0.25 | 0.5736 | 3.7705 | 53.6 | 17.8 |
| 0.30 | 0.6174 | 3.5449 | 50.3 | 16.9 |
| 0.35 | 0.6661 | 3.3088 | 46.4 | 15.9 |
| 0.40 | 0.7214 | 3.0583 | 41.7 | 14.7 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2794 | 1.5481 | 56.0 | 52.9 |
| 0.05 | 0.3097 | 1.5377 | 53.4 | 51.7 |
| 0.10 | 0.3438 | 1.5255 | 50.5 | 50.5 |
| 0.15 | 0.3825 | 1.5115 | 47.5 | 49.0 |
| 0.20 | 0.4266 | 1.4952 | 44.1 | 47.4 |
| 0.25 | 0.4775 | 1.4764 | 40.5 | 45.5 |
| 0.30 | 0.5371 | 1.4543 | 36.5 | 43.4 |
| 0.35 | 0.6083 | 1.4284 | 32.2 | 40.8 |
| 0.40 | 0.6956 | 1.3972 | 27.5 | 37.6 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4411 | 5.7372 | 68.0 | 18.1 |
| 0.05 | 0.4701 | 5.4781 | 66.4 | 17.7 |
| 0.10 | 0.5008 | 5.2154 | 64.7 | 17.3 |
| 0.15 | 0.5334 | 4.9482 | 62.7 | 16.9 |
| 0.20 | 0.5683 | 4.6753 | 60.5 | 16.3 |
| 0.25 | 0.6057 | 4.3957 | 57.9 | 15.7 |
| 0.30 | 0.6463 | 4.1074 | 54.8 | 15.0 |
| 0.35 | 0.6908 | 3.8076 | 51.2 | 14.1 |
| 0.40 | 0.7405 | 3.4916 | 46.7 | 13.1 |

$\phi=31.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3201                  | 3.1240                  | 60.5      | 29.5      |
| 0.05 | 0.3497                  | 3.0344                  | 58.3      | 28.8      |
| 0.10 | 0.3820                  | 2.9420                  | 55.9      | 28.0      |
| 0.15 | 0.4175                  | 2.8464                  | 53.3      | 27.2      |
| 0.20 | 0.4568                  | 2.7470                  | 50.4      | 26.2      |
| 0.25 | 0.5005                  | 2.6432                  | 47.2      | 25.2      |
| 0.30 | 0.5498                  | 2.5339                  | 43.7      | 24.0      |
| 0.35 | 0.6059                  | 2.4176                  | 39.7      | 22.6      |
| 0.40 | 0.6711                  | 2.2923                  | 35.2      | 20.9      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2802 | 1.9323 | 57.5 | 44.0 |
| 0.05 | 0.3098 | 1.9055 | 55.0 | 43.0 |
| 0.10 | 0.3428 | 1.8767 | 52.4 | 41.8 |
| 0.15 | 0.3798 | 1.8456 | 49.5 | 40.6 |
| 0.20 | 0.4216 | 1.8119 | 46.3 | 39.2 |
| 0.25 | 0.4693 | 1.7751 | 42.8 | 37.6 |
| 0.30 | 0.5243 | 1.7346 | 39.1 | 35.8 |
| 0.35 | 0.5887 | 1.6896 | 35.0 | 33.7 |
| 0.40 | 0.6658 | 1.6386 | 30.5 | 31.2 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3839 | 5.0700 | 65.2 | 20.3 |
| 0.05 | 0.4131 | 4.8652 | 63.5 | 19.8 |
| 0.10 | 0.4442 | 4.6569 | 61.5 | 19.4 |
| 0.15 | 0.4777 | 4.4447 | 59.3 | 18.9 |
| 0.20 | 0.5138 | 4.2276 | 56.8 | 18.3 |
| 0.25 | 0.5529 | 4.0048 | 54.1 | 17.6 |
| 0.30 | 0.5958 | 3.7745 | 50.9 | 16.9 |
| 0.35 | 0.6432 | 3.5349 | 47.3 | 16.0 |
| 0.40 | 0.6966 | 3.2826 | 42.9 | 14.9 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2790 | 1.8987 | 57.4 | 44.7 |
| 0.05 | 0.3087 | 1.8735 | 55.0 | 43.6 |
| 0.10 | 0.3417 | 1.8464 | 52.3 | 42.5 |
| 0.15 | 0.3787 | 1.8170 | 49.3 | 41.2 |
| 0.20 | 0.4206 | 1.7850 | 46.2 | 39.8 |
| 0.25 | 0.4684 | 1.7500 | 42.7 | 38.2 |
| 0.30 | 0.5236 | 1.7114 | 39.0 | 36.4 |
| 0.35 | 0.5883 | 1.6682 | 34.9 | 34.3 |
| 0.40 | 0.6659 | 1.6193 | 30.4 | 31.8 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3870 | 5.1600 | 65.5 | 20.0 |
| 0.05 | 0.4161 | 4.9496 | 63.7 | 19.6 |
| 0.10 | 0.4472 | 4.7357 | 61.7 | 19.1 |
| 0.15 | 0.4805 | 4.5179 | 59.6 | 18.6 |
| 0.20 | 0.5165 | 4.2952 | 57.2 | 18.1 |
| 0.25 | 0.5555 | 4.0666 | 54.4 | 17.4 |
| 0.30 | 0.5981 | 3.8306 | 51.3 | 16.6 |
| 0.35 | 0.6451 | 3.5851 | 47.6 | 15.8 |
| 0.40 | 0.6981 | 3.3268 | 43.3 | 14.7 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2676 | 1.5623 | 56.6 | 52.7 |
| 0.05 | 0.2971 | 1.5529 | 54.0 | 51.5 |
| 0.10 | 0.3304 | 1.5418 | 51.2 | 50.3 |
| 0.15 | 0.3679 | 1.5289 | 48.2 | 48.9 |
| 0.20 | 0.4107 | 1.5139 | 45.0 | 47.4 |
| 0.25 | 0.4599 | 1.4964 | 41.5 | 45.7 |
| 0.30 | 0.5172 | 1.4760 | 37.6 | 43.7 |
| 0.35 | 0.5851 | 1.4521 | 33.5 | 41.3 |
| 0.40 | 0.6674 | 1.4235 | 29.0 | 38.5 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4254 | 6.2491 | 68.3 | 17.4 |
| 0.05 | 0.4541 | 5.9701 | 66.8 | 17.1 |
| 0.10 | 0.4844 | 5.6875 | 65.1 | 16.7 |
| 0.15 | 0.5166 | 5.4006 | 63.2 | 16.3 |
| 0.20 | 0.5509 | 5.1084 | 61.0 | 15.8 |
| 0.25 | 0.5876 | 4.8098 | 58.5 | 15.3 |
| 0.30 | 0.6272 | 4.5031 | 55.7 | 14.6 |
| 0.35 | 0.6704 | 4.1859 | 52.3 | 13.9 |
| 0.40 | 0.7183 | 3.8542 | 48.2 | 13.0 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=32.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.3073                  | 3.2546                  | 61.0      | 29.0      |
| 0.05 | 0.3362                  | 3.1632                  | 58.9      | 29.3      |
| 0.10 | 0.3678                  | 3.0690                  | 56.5      | 27.6      |
| 0.15 | 0.4025                  | 2.9719                  | 54.0      | 26.8      |
| 0.20 | 0.4408                  | 2.8711                  | 51.2      | 25.9      |
| 0.25 | 0.4833                  | 2.7661                  | 48.1      | 25.0      |
| 0.30 | 0.5309                  | 2.6580                  | 44.7      | 23.9      |
| 0.35 | 0.5849                  | 2.5396                  | 40.9      | 22.6      |
| 0.40 | 0.6469                  | 2.4150                  | 36.7      | 21.1      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2696 | 2.0011 | 58.2 | 43.1 |
| 0.05 | 0.2984 | 1.9735 | 55.8 | 42.1 |
| 0.10 | 0.3306 | 1.9439 | 53.1 | 41.0 |
| 0.15 | 0.3666 | 1.9122 | 50.3 | 39.8 |
| 0.20 | 0.4072 | 1.8779 | 47.2 | 38.5 |
| 0.25 | 0.4532 | 1.8408 | 43.9 | 37.1 |
| 0.30 | 0.5060 | 1.7998 | 40.3 | 35.4 |
| 0.35 | 0.5674 | 1.7547 | 36.4 | 33.5 |
| 0.40 | 0.6401 | 1.7043 | 32.1 | 31.3 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3667 | 5.3521 | 63.4 | 19.9 |
| 0.05 | 0.3954 | 5.1406 | 63.6 | 19.5 |
| 0.10 | 0.4261 | 4.9259 | 61.7 | 19.1 |
| 0.15 | 0.4590 | 4.7073 | 59.6 | 18.6 |
| 0.20 | 0.4945 | 4.4842 | 57.2 | 18.0 |
| 0.25 | 0.5329 | 4.2587 | 54.5 | 17.4 |
| 0.30 | 0.5749 | 4.0293 | 51.5 | 16.7 |
| 0.35 | 0.6210 | 3.7763 | 48.1 | 15.9 |
| 0.40 | 0.6726 | 3.5211 | 44.1 | 15.0 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2674 | 1.9316 | 58.0 | 44.4 |
| 0.05 | 0.2963 | 1.9073 | 55.6 | 43.4 |
| 0.10 | 0.3285 | 1.8810 | 52.9 | 42.3 |
| 0.15 | 0.3645 | 1.8526 | 50.1 | 41.0 |
| 0.20 | 0.4052 | 1.8217 | 47.0 | 39.7 |
| 0.25 | 0.4515 | 1.7880 | 43.7 | 38.2 |
| 0.30 | 0.5047 | 1.7508 | 40.0 | 36.5 |
| 0.35 | 0.5666 | 1.7096 | 36.1 | 34.6 |
| 0.40 | 0.6401 | 1.6632 | 31.8 | 32.3 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3723 | 5.5511 | 65.8 | 19.4 |
| 0.05 | 0.4010 | 5.3278 | 64.1 | 19.0 |
| 0.10 | 0.4316 | 5.1011 | 62.2 | 18.6 |
| 0.15 | 0.4644 | 4.8705 | 60.1 | 18.1 |
| 0.20 | 0.4996 | 4.6353 | 57.8 | 17.6 |
| 0.25 | 0.5377 | 4.3946 | 55.1 | 17.0 |
| 0.30 | 0.5792 | 4.1469 | 52.2 | 16.3 |
| 0.35 | 0.6248 | 3.8905 | 48.8 | 15.6 |
| 0.40 | 0.6756 | 3.6225 | 44.8 | 14.6 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2562 | 1.5761 | 57.2 | 52.4 |
| 0.05 | 0.2850 | 1.5677 | 54.6 | 51.4 |
| 0.10 | 0.3174 | 1.5577 | 51.9 | 50.2 |
| 0.15 | 0.3539 | 1.5459 | 49.0 | 48.9 |
| 0.20 | 0.3954 | 1.5322 | 45.8 | 47.4 |
| 0.25 | 0.4430 | 1.5161 | 42.4 | 45.8 |
| 0.30 | 0.4982 | 1.4973 | 38.7 | 43.9 |
| 0.35 | 0.5632 | 1.4752 | 34.7 | 41.7 |
| 0.40 | 0.6412 | 1.4490 | 30.4 | 39.1 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.4100 | 6.8307 | 68.6 | 16.7 |
| 0.05 | 0.4383 | 6.5292 | 67.1 | 16.4 |
| 0.10 | 0.4683 | 6.2241 | 65.4 | 16.1 |
| 0.15 | 0.5000 | 5.9149 | 63.6 | 15.7 |
| 0.20 | 0.5337 | 5.6006 | 61.8 | 15.3 |
| 0.25 | 0.5699 | 5.2903 | 59.2 | 14.9 |
| 0.30 | 0.6086 | 4.9824 | 56.6 | 14.3 |
| 0.35 | 0.6506 | 4.6747 | 53.3 | 13.6 |
| 0.40 | 0.6967 | 4.3640 | 49.6 | 12.8 |

$\phi=33.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2948                  | 3.3921                  | 61.5      | 29.5      |
| 0.05 | 0.3231                  | 3.2988                  | 59.4      | 27.9      |
| 0.10 | 0.3541                  | 3.2030                  | 57.1      | 27.2      |
| 0.15 | 0.3880                  | 3.1041                  | 54.6      | 26.5      |
| 0.20 | 0.4253                  | 3.0019                  | 51.9      | 25.6      |
| 0.25 | 0.4666                  | 2.8956                  | 48.9      | 24.7      |
| 0.30 | 0.5127                  | 2.7846                  | 45.7      | 23.7      |
| 0.35 | 0.5646                  | 2.6677                  | 42.1      | 22.6      |
| 0.40 | 0.6240                  | 2.5434                  | 38.1      | 21.2      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2592 | 2.0724 | 53.8 | 42.2 |
| 0.05 | 0.2874 | 2.0441 | 51.4 | 41.2 |
| 0.10 | 0.3189 | 2.0139 | 53.9 | 40.2 |
| 0.15 | 0.3538 | 1.9814 | 51.1 | 39.1 |
| 0.20 | 0.3931 | 1.9465 | 48.1 | 37.9 |
| 0.25 | 0.4376 | 1.9088 | 44.9 | 36.5 |
| 0.30 | 0.4885 | 1.8677 | 41.4 | 35.0 |
| 0.35 | 0.5472 | 1.8226 | 37.7 | 33.3 |
| 0.40 | 0.6161 | 1.7726 | 33.6 | 31.3 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3501 | 5.6549 | 65.6 | 19.5 |
| 0.05 | 0.3784 | 5.4364 | 63.9 | 19.1 |
| 0.10 | 0.4086 | 5.2147 | 62.0 | 19.7 |
| 0.15 | 0.4410 | 4.9894 | 59.9 | 19.3 |
| 0.20 | 0.4759 | 4.7598 | 57.6 | 17.8 |
| 0.25 | 0.5136 | 4.5249 | 55.0 | 17.2 |
| 0.30 | 0.5546 | 4.2838 | 52.1 | 16.6 |
| 0.35 | 0.5996 | 4.0348 | 48.8 | 15.9 |
| 0.40 | 0.6496 | 3.7756 | 45.1 | 15.0 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2561 | 1.9646 | 58.6 | 44.1 |
| 0.05 | 0.2843 | 1.9412 | 56.2 | 43.1 |
| 0.10 | 0.3157 | 1.9159 | 53.6 | 42.0 |
| 0.15 | 0.3508 | 1.8884 | 50.8 | 40.9 |
| 0.20 | 0.3904 | 1.8587 | 47.8 | 39.6 |
| 0.25 | 0.4352 | 1.8262 | 44.6 | 38.2 |
| 0.30 | 0.4865 | 1.7905 | 41.1 | 36.6 |
| 0.35 | 0.5460 | 1.7511 | 37.3 | 34.8 |
| 0.40 | 0.6160 | 1.7069 | 33.2 | 32.7 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3580 | 5.9861 | 66.2 | 18.7 |
| 0.05 | 0.3863 | 5.7484 | 64.5 | 18.4 |
| 0.10 | 0.4164 | 5.5074 | 62.6 | 18.0 |
| 0.15 | 0.4486 | 5.2628 | 60.6 | 17.6 |
| 0.20 | 0.4831 | 5.0137 | 58.4 | 17.1 |
| 0.25 | 0.5204 | 4.7593 | 55.8 | 16.6 |
| 0.30 | 0.5608 | 4.4985 | 53.0 | 16.0 |
| 0.35 | 0.6050 | 4.2295 | 49.8 | 15.3 |
| 0.40 | 0.6539 | 3.9500 | 46.1 | 14.5 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2452 | 1.5895 | 57.8 | 52.2 |
| 0.05 | 0.2733 | 1.5821 | 55.3 | 51.2 |
| 0.10 | 0.3048 | 1.5732 | 52.6 | 50.0 |
| 0.15 | 0.3404 | 1.5626 | 49.7 | 48.8 |
| 0.20 | 0.3807 | 1.5501 | 46.6 | 47.4 |
| 0.25 | 0.4268 | 1.5353 | 43.3 | 45.8 |
| 0.30 | 0.4801 | 1.5181 | 39.7 | 44.1 |
| 0.35 | 0.5424 | 1.4978 | 35.9 | 42.1 |
| 0.40 | 0.6166 | 1.4737 | 31.8 | 39.7 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3948 | 7.4956 | 68.9 | 16.0 |
| 0.05 | 0.4228 | 7.1683 | 67.4 | 15.7 |
| 0.10 | 0.4524 | 6.8376 | 65.8 | 15.4 |
| 0.15 | 0.4836 | 6.5029 | 64.0 | 15.1 |
| 0.20 | 0.5168 | 6.1634 | 62.0 | 14.7 |
| 0.25 | 0.5522 | 5.8191 | 59.8 | 14.3 |
| 0.30 | 0.5901 | 5.4636 | 57.2 | 13.8 |
| 0.35 | 0.6311 | 5.1041 | 54.3 | 13.3 |
| 0.40 | 0.6757 | 4.7307 | 50.9 | 12.6 |



表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=34.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2827                  | 3.5371                  | 62.0      | 28.0      |
| 0.05 | 0.3105                  | 3.4419                  | 59.9      | 27.4      |
| 0.10 | 0.3407                  | 3.3442                  | 57.7      | 26.8      |
| 0.15 | 0.3738                  | 3.2437                  | 55.3      | 26.1      |
| 0.20 | 0.4102                  | 3.1398                  | 52.6      | 25.3      |
| 0.25 | 0.4504                  | 3.0322                  | 49.8      | 24.5      |
| 0.30 | 0.4951                  | 2.9201                  | 46.6      | 23.6      |
| 0.35 | 0.5452                  | 2.8025                  | 43.2      | 22.5      |
| 0.40 | 0.6020                  | 2.6782                  | 39.4      | 21.3      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2491 | 2.1465 | 59.5 | 41.3 |
| 0.05 | 0.2767 | 2.1175 | 57.1 | 40.4 |
| 0.10 | 0.3072 | 2.0866 | 54.6 | 39.5 |
| 0.15 | 0.3413 | 2.0535 | 51.9 | 38.4 |
| 0.20 | 0.3795 | 2.0181 | 49.0 | 37.3 |
| 0.25 | 0.4226 | 1.9799 | 45.9 | 36.0 |
| 0.30 | 0.4716 | 1.9386 | 42.5 | 34.6 |
| 0.35 | 0.5279 | 1.8935 | 38.9 | 33.0 |
| 0.40 | 0.5934 | 1.8438 | 35.0 | 31.2 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3342 | 5.9805 | 65.8 | 19.1 |
| 0.05 | 0.3620 | 5.7545 | 64.1 | 18.7 |
| 0.10 | 0.3917 | 5.5254 | 62.2 | 18.4 |
| 0.15 | 0.4236 | 5.2928 | 60.2 | 18.0 |
| 0.20 | 0.4578 | 5.0561 | 57.9 | 17.5 |
| 0.25 | 0.4948 | 4.8145 | 55.5 | 17.0 |
| 0.30 | 0.5349 | 4.5670 | 52.7 | 16.4 |
| 0.35 | 0.5788 | 4.3123 | 49.6 | 15.8 |
| 0.40 | 0.6273 | 4.0482 | 46.1 | 15.0 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2452 | 1.9979 | 59.2 | 43.7 |
| 0.05 | 0.2727 | 1.9753 | 56.8 | 42.8 |
| 0.10 | 0.3034 | 1.9510 | 54.3 | 41.8 |
| 0.15 | 0.3376 | 1.9246 | 51.5 | 40.7 |
| 0.20 | 0.3760 | 1.8959 | 48.6 | 39.5 |
| 0.25 | 0.4195 | 1.8647 | 45.5 | 38.2 |
| 0.30 | 0.4691 | 1.8305 | 42.1 | 36.7 |
| 0.35 | 0.5263 | 1.7928 | 38.4 | 35.0 |
| 0.40 | 0.5931 | 1.7507 | 34.5 | 33.1 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3440 | 6.4717 | 66.6 | 18.1 |
| 0.05 | 0.3718 | 6.2180 | 64.9 | 17.7 |
| 0.10 | 0.4014 | 5.9613 | 63.1 | 17.4 |
| 0.15 | 0.4330 | 5.7009 | 61.1 | 17.0 |
| 0.20 | 0.4669 | 5.4363 | 58.9 | 16.6 |
| 0.25 | 0.5034 | 5.1666 | 56.5 | 16.1 |
| 0.30 | 0.5428 | 4.8908 | 53.8 | 15.6 |
| 0.35 | 0.5858 | 4.6075 | 50.8 | 15.0 |
| 0.40 | 0.6330 | 4.3145 | 47.3 | 14.3 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2346 | 1.6025 | 58.4 | 52.0 |
| 0.05 | 0.2620 | 1.5962 | 55.9 | 51.0 |
| 0.10 | 0.2928 | 1.5883 | 53.3 | 49.9 |
| 0.15 | 0.3273 | 1.5789 | 50.5 | 48.7 |
| 0.20 | 0.3665 | 1.5676 | 47.4 | 47.3 |
| 0.25 | 0.4112 | 1.5542 | 44.2 | 45.9 |
| 0.30 | 0.4627 | 1.5384 | 40.7 | 44.2 |
| 0.35 | 0.5226 | 1.5198 | 37.0 | 42.4 |
| 0.40 | 0.5934 | 1.4979 | 33.1 | 40.2 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3799 | 8.2606 | 69.2 | 15.3 |
| 0.05 | 0.4075 | 7.9037 | 67.7 | 15.1 |
| 0.10 | 0.4367 | 7.5436 | 66.2 | 14.8 |
| 0.15 | 0.4675 | 7.1796 | 64.4 | 14.5 |
| 0.20 | 0.5002 | 6.8109 | 62.5 | 14.2 |
| 0.25 | 0.5349 | 6.4368 | 60.4 | 13.8 |
| 0.30 | 0.5720 | 6.0559 | 57.9 | 13.4 |
| 0.35 | 0.6120 | 5.6666 | 55.2 | 12.9 |
| 0.40 | 0.6553 | 5.2663 | 51.9 | 12.3 |

$\phi=35.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2710                  | 3.6902                  | 62.5      | 27.5      |
| 0.05 | 0.2981                  | 3.5930                  | 60.5      | 26.9      |
| 0.10 | 0.3277                  | 3.4934                  | 58.3      | 26.4      |
| 0.15 | 0.3601                  | 3.3910                  | 55.9      | 25.7      |
| 0.20 | 0.3956                  | 3.2855                  | 53.3      | 25.0      |
| 0.25 | 0.4347                  | 3.1764                  | 50.6      | 24.2      |
| 0.30 | 0.4780                  | 3.0630                  | 47.6      | 23.4      |
| 0.35 | 0.5265                  | 2.9446                  | 44.3      | 22.4      |
| 0.40 | 0.5811                  | 2.8199                  | 40.7      | 21.3      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2393 | 2.2236 | 60.1 | 40.5 |
| 0.05 | 0.2662 | 2.1939 | 57.8 | 39.6 |
| 0.10 | 0.2960 | 2.1623 | 55.4 | 38.7 |
| 0.15 | 0.3292 | 2.1287 | 52.7 | 37.7 |
| 0.20 | 0.3664 | 2.0928 | 49.9 | 36.6 |
| 0.25 | 0.4081 | 2.0542 | 46.9 | 35.5 |
| 0.30 | 0.4554 | 2.0126 | 43.6 | 34.1 |
| 0.35 | 0.5094 | 1.9674 | 40.1 | 32.7 |
| 0.40 | 0.5720 | 1.9180 | 36.4 | 31.0 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3189 | 6.3314 | 66.1 | 18.7 |
| 0.05 | 0.3462 | 6.0973 | 64.4 | 18.4 |
| 0.10 | 0.3754 | 5.8602 | 62.5 | 18.0 |
| 0.15 | 0.4067 | 5.6198 | 60.5 | 17.6 |
| 0.20 | 0.4403 | 5.3755 | 58.3 | 17.2 |
| 0.25 | 0.4766 | 5.1266 | 55.9 | 16.8 |
| 0.30 | 0.5158 | 4.8721 | 53.3 | 16.2 |
| 0.35 | 0.5586 | 4.6108 | 50.3 | 15.6 |
| 0.40 | 0.6057 | 4.3411 | 47.0 | 15.0 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2347 | 2.0314 | 59.7 | 43.4 |
| 0.05 | 0.2616 | 2.0097 | 57.4 | 42.5 |
| 0.10 | 0.2914 | 1.9863 | 54.9 | 41.5 |
| 0.15 | 0.3248 | 1.9610 | 52.3 | 40.5 |
| 0.20 | 0.3622 | 1.9334 | 49.4 | 39.3 |
| 0.25 | 0.4044 | 1.9035 | 46.3 | 38.1 |
| 0.30 | 0.4524 | 1.8707 | 43.0 | 36.7 |
| 0.35 | 0.5075 | 1.8346 | 39.5 | 35.2 |
| 0.40 | 0.5715 | 1.7946 | 35.7 | 33.4 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3303 | 7.0162 | 66.9 | 17.4 |
| 0.05 | 0.3577 | 6.7447 | 65.3 | 17.1 |
| 0.10 | 0.3868 | 6.4702 | 63.5 | 16.8 |
| 0.15 | 0.4178 | 6.1923 | 61.6 | 16.5 |
| 0.20 | 0.4511 | 5.9102 | 59.5 | 16.1 |
| 0.25 | 0.4867 | 5.6234 | 57.2 | 15.7 |
| 0.30 | 0.5252 | 5.3308 | 54.6 | 15.2 |
| 0.35 | 0.5670 | 5.0310 | 51.7 | 14.7 |
| 0.40 | 0.6127 | 4.7224 | 48.4 | 14.0 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2244 | 1.6150 | 58.9 | 51.8 |
| 0.05 | 0.2511 | 1.6097 | 56.5 | 50.8 |
| 0.10 | 0.2811 | 1.6030 | 53.9 | 49.7 |
| 0.15 | 0.3147 | 1.5947 | 51.2 | 48.6 |
| 0.20 | 0.3528 | 1.5847 | 48.2 | 47.3 |
| 0.25 | 0.3962 | 1.5726 | 45.1 | 45.9 |
| 0.30 | 0.4460 | 1.5583 | 41.7 | 44.3 |
| 0.35 | 0.5037 | 1.5414 | 38.1 | 42.6 |
| 0.40 | 0.5715 | 1.5214 | 34.3 | 40.6 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3652 | 9.1469 | 69.5 | 14.6 |
| 0.05 | 0.3925 | 8.7560 | 68.1 | 14.4 |
| 0.10 | 0.4213 | 8.3618 | 66.5 | 14.1 |
| 0.15 | 0.4517 | 7.9639 | 64.8 | 13.9 |
| 0.20 | 0.4838 | 7.5616 | 63.0 | 13.6 |
| 0.25 | 0.5179 | 7.1539 | 60.9 | 13.3 |
| 0.30 | 0.5543 | 6.7399 | 58.6 | 12.9 |
| 0.35 | 0.5932 | 6.3180 | 56.0 | 12.5 |
| 0.40 | 0.6353 | 5.8859 | 53.0 | 12.0 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=36.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2596                  | 3.8518                  | 63.0      | 27.0      |
| 0.05 | 0.2862                  | 3.7526                  | 61.0      | 26.5      |
| 0.10 | 0.3151                  | 3.6510                  | 58.8      | 25.9      |
| 0.15 | 0.3468                  | 3.5467                  | 56.5      | 25.3      |
| 0.20 | 0.3814                  | 3.4395                  | 54.0      | 24.7      |
| 0.25 | 0.4195                  | 3.3287                  | 51.4      | 23.9      |
| 0.30 | 0.4616                  | 3.2140                  | 48.4      | 23.1      |
| 0.35 | 0.5084                  | 3.0945                  | 45.3      | 22.3      |
| 0.40 | 0.5610                  | 2.9692                  | 41.8      | 21.3      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2298 | 2.3037 | 60.7 | 39.7 |
| 0.05 | 0.2561 | 2.2734 | 58.5 | 38.9 |
| 0.10 | 0.2851 | 2.2413 | 56.1 | 38.0 |
| 0.15 | 0.3175 | 2.2071 | 53.5 | 37.0 |
| 0.20 | 0.3536 | 2.1707 | 50.7 | 36.0 |
| 0.25 | 0.3941 | 2.1317 | 47.8 | 34.9 |
| 0.30 | 0.4398 | 2.0899 | 44.6 | 33.7 |
| 0.35 | 0.4918 | 2.0446 | 41.3 | 32.4 |
| 0.40 | 0.5516 | 1.9954 | 37.7 | 30.9 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3041 | 6.7101 | 66.3 | 18.3 |
| 0.05 | 0.3310 | 6.4673 | 64.7 | 18.0 |
| 0.10 | 0.3597 | 6.2218 | 62.8 | 17.7 |
| 0.15 | 0.3904 | 5.9730 | 60.9 | 17.3 |
| 0.20 | 0.4234 | 5.7204 | 58.7 | 16.9 |
| 0.25 | 0.4589 | 5.4635 | 56.4 | 16.5 |
| 0.30 | 0.4973 | 5.2013 | 53.8 | 16.0 |
| 0.35 | 0.5391 | 4.9328 | 51.0 | 15.5 |
| 0.40 | 0.5849 | 4.6566 | 47.8 | 14.9 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2246 | 2.0650 | 60.3 | 43.1 |
| 0.05 | 0.2508 | 2.0443 | 58.0 | 42.2 |
| 0.10 | 0.2799 | 2.0219 | 55.6 | 41.3 |
| 0.15 | 0.3124 | 1.9976 | 53.0 | 40.3 |
| 0.20 | 0.3488 | 1.9713 | 50.2 | 39.2 |
| 0.25 | 0.3898 | 1.9425 | 47.2 | 38.0 |
| 0.30 | 0.4363 | 1.9112 | 44.0 | 36.7 |
| 0.35 | 0.4894 | 1.8767 | 40.5 | 35.3 |
| 0.40 | 0.5509 | 1.8387 | 36.9 | 33.6 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3173 | 7.6295 | 67.3 | 16.7 |
| 0.05 | 0.3438 | 7.3381 | 65.7 | 16.5 |
| 0.10 | 0.3725 | 7.0437 | 64.0 | 16.2 |
| 0.15 | 0.4029 | 6.7460 | 62.1 | 15.9 |
| 0.20 | 0.4355 | 6.4444 | 60.0 | 15.6 |
| 0.25 | 0.4704 | 6.1381 | 57.8 | 15.2 |
| 0.30 | 0.5080 | 5.8264 | 55.3 | 14.8 |
| 0.35 | 0.5487 | 5.5080 | 52.6 | 14.3 |
| 0.40 | 0.5929 | 5.1814 | 49.5 | 13.8 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2146 | 1.6270 | 59.5 | 51.6 |
| 0.05 | 0.2406 | 1.6229 | 57.2 | 50.6 |
| 0.10 | 0.2698 | 1.6173 | 54.6 | 49.6 |
| 0.15 | 0.3026 | 1.6102 | 51.9 | 48.4 |
| 0.20 | 0.3396 | 1.6014 | 49.0 | 47.2 |
| 0.25 | 0.3817 | 1.5907 | 45.9 | 45.9 |
| 0.30 | 0.4299 | 1.5778 | 42.6 | 44.4 |
| 0.35 | 0.4856 | 1.5625 | 39.1 | 42.8 |
| 0.40 | 0.5507 | 1.5444 | 35.4 | 40.9 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.3509 | 10.1822 | 69.8 | 13.9 |
| 0.05 | 0.3778 | 9.7515  | 68.4 | 13.7 |
| 0.10 | 0.4062 | 9.3176  | 66.9 | 13.5 |
| 0.15 | 0.4361 | 8.8802  | 65.2 | 13.2 |
| 0.20 | 0.4677 | 8.4385  | 63.4 | 13.0 |
| 0.25 | 0.5011 | 7.9918  | 61.5 | 12.7 |
| 0.30 | 0.5368 | 7.5389  | 59.2 | 12.4 |
| 0.35 | 0.5748 | 7.0786  | 56.8 | 12.0 |
| 0.40 | 0.6158 | 6.6088  | 53.9 | 11.6 |

$\phi=37.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2486                  | 4.0228                  | 63.5      | 26.5      |
| 0.05 | 0.2746                  | 3.9214                  | 61.5      | 26.0      |
| 0.10 | 0.3029                  | 3.8178                  | 59.4      | 25.5      |
| 0.15 | 0.3338                  | 3.7115                  | 57.2      | 24.9      |
| 0.20 | 0.3676                  | 3.6024                  | 54.7      | 24.3      |
| 0.25 | 0.4047                  | 3.4899                  | 52.1      | 23.6      |
| 0.30 | 0.4456                  | 3.3737                  | 49.3      | 22.9      |
| 0.35 | 0.4910                  | 3.2529                  | 46.2      | 22.1      |
| 0.40 | 0.5417                  | 3.1269                  | 42.9      | 21.2      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2205 | 2.3873 | 61.3 | 38.9 |
| 0.05 | 0.2462 | 2.3564 | 59.1 | 38.1 |
| 0.10 | 0.2745 | 2.3237 | 56.8 | 37.3 |
| 0.15 | 0.3061 | 2.2890 | 54.3 | 36.4 |
| 0.20 | 0.3412 | 2.2521 | 51.6 | 35.4 |
| 0.25 | 0.3805 | 2.2128 | 48.7 | 34.4 |
| 0.30 | 0.4247 | 2.1706 | 45.6 | 33.3 |
| 0.35 | 0.4748 | 2.1253 | 42.4 | 32.0 |
| 0.40 | 0.5321 | 2.0763 | 38.9 | 30.6 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2900 | 7.1196 | 66.6 | 17.8 |
| 0.05 | 0.3163 | 6.8676 | 65.0 | 17.6 |
| 0.10 | 0.3445 | 6.6129 | 63.2 | 17.3 |
| 0.15 | 0.3746 | 6.3550 | 61.2 | 17.0 |
| 0.20 | 0.4070 | 6.0936 | 59.1 | 16.6 |
| 0.25 | 0.4418 | 5.8280 | 56.9 | 16.2 |
| 0.30 | 0.4794 | 5.5574 | 54.4 | 15.8 |
| 0.35 | 0.5202 | 5.2810 | 51.7 | 15.3 |
| 0.40 | 0.5647 | 4.9973 | 48.6 | 14.7 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2148 | 2.0988 | 60.9 | 42.8 |
| 0.05 | 0.2404 | 2.0791 | 58.6 | 41.9 |
| 0.10 | 0.2688 | 2.0578 | 56.2 | 41.0 |
| 0.15 | 0.3004 | 2.0346 | 53.6 | 40.1 |
| 0.20 | 0.3358 | 2.0094 | 50.9 | 39.0 |
| 0.25 | 0.3757 | 1.9819 | 48.0 | 37.9 |
| 0.30 | 0.4208 | 1.9520 | 44.9 | 36.7 |
| 0.35 | 0.4721 | 1.9191 | 41.6 | 35.3 |
| 0.40 | 0.5312 | 1.8829 | 38.0 | 33.8 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.3039 | 8.3238 | 67.7 | 16.1 |
| 0.05 | 0.3303 | 8.0099 | 66.1 | 15.9 |
| 0.10 | 0.3584 | 7.6931 | 64.4 | 15.6 |
| 0.15 | 0.3884 | 7.3731 | 62.6 | 15.3 |
| 0.20 | 0.4203 | 7.0494 | 60.6 | 15.0 |
| 0.25 | 0.4545 | 6.7212 | 58.4 | 14.7 |
| 0.30 | 0.4912 | 6.3877 | 56.0 | 14.3 |
| 0.35 | 0.5308 | 6.0480 | 53.4 | 13.9 |
| 0.40 | 0.5737 | 5.7006 | 50.5 | 13.4 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2051 | 1.6386 | 60.1 | 51.3 |
| 0.05 | 0.2305 | 1.6356 | 57.8 | 50.4 |
| 0.10 | 0.2589 | 1.6311 | 55.3 | 49.4 |
| 0.15 | 0.2909 | 1.6252 | 52.6 | 48.3 |
| 0.20 | 0.3269 | 1.6176 | 49.8 | 47.2 |
| 0.25 | 0.3678 | 1.6082 | 46.7 | 45.9 |
| 0.30 | 0.4145 | 1.5968 | 43.5 | 44.5 |
| 0.35 | 0.4683 | 1.5831 | 40.1 | 42.9 |
| 0.40 | 0.5309 | 1.5668 | 36.5 | 41.2 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.3368 | 11.4019 | 70.1 | 13.1 |
| 0.05 | 0.3633 | 10.9245 | 68.7 | 13.0 |
| 0.10 | 0.3913 | 10.4441 | 67.2 | 12.8 |
| 0.15 | 0.4207 | 9.9602  | 65.6 | 12.6 |
| 0.20 | 0.4518 | 9.4722  | 63.9 | 12.4 |
| 0.25 | 0.4847 | 8.9793  | 62.0 | 12.1 |
| 0.30 | 0.5196 | 8.4806  | 59.9 | 11.9 |
| 0.35 | 0.5568 | 7.9748  | 57.5 | 11.5 |
| 0.40 | 0.5966 | 7.4602  | 54.8 | 11.2 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=38.0$

$\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2379                  | 4.2037                  | 64.0      | 26.0      |
| 0.05 | 0.2633                  | 4.1002                  | 62.1      | 25.5      |
| 0.10 | 0.2910                  | 3.9944                  | 60.0      | 25.0      |
| 0.15 | 0.3212                  | 3.8861                  | 57.8      | 24.5      |
| 0.20 | 0.3542                  | 3.7750                  | 55.4      | 23.9      |
| 0.25 | 0.3903                  | 3.6607                  | 52.9      | 23.3      |
| 0.30 | 0.4301                  | 3.5428                  | 50.1      | 22.6      |
| 0.35 | 0.4741                  | 3.4206                  | 47.2      | 21.9      |
| 0.40 | 0.5231                  | 3.2935                  | 44.0      | 21.1      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2115 | 2.4744 | 61.9 | 38.1 |
| 0.05 | 0.2365 | 2.4429 | 59.8 | 37.4 |
| 0.10 | 0.2642 | 2.4097 | 57.5 | 36.6 |
| 0.15 | 0.2949 | 2.3745 | 55.0 | 35.7 |
| 0.20 | 0.3291 | 2.3372 | 52.4 | 34.8 |
| 0.25 | 0.3673 | 2.2975 | 49.6 | 33.9 |
| 0.30 | 0.4101 | 2.2551 | 46.6 | 32.8 |
| 0.35 | 0.4585 | 2.2097 | 43.4 | 31.7 |
| 0.40 | 0.5135 | 2.1608 | 40.1 | 30.4 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2763 | 7.5633 | 66.9 | 17.4 |
| 0.05 | 0.3022 | 7.3014 | 65.3 | 17.2 |
| 0.10 | 0.3298 | 7.0369 | 63.5 | 16.9 |
| 0.15 | 0.3594 | 6.7693 | 61.6 | 16.6 |
| 0.20 | 0.3911 | 6.4982 | 59.6 | 16.3 |
| 0.25 | 0.4252 | 6.2232 | 57.3 | 15.9 |
| 0.30 | 0.4620 | 5.9435 | 54.9 | 15.5 |
| 0.35 | 0.5018 | 5.6583 | 52.3 | 15.1 |
| 0.40 | 0.5451 | 5.3664 | 49.4 | 14.6 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2053 | 2.1328 | 61.5 | 42.5 |
| 0.05 | 0.2303 | 2.1142 | 59.2 | 41.7 |
| 0.10 | 0.2580 | 2.0939 | 56.9 | 40.8 |
| 0.15 | 0.2888 | 2.0718 | 54.3 | 39.9 |
| 0.20 | 0.3233 | 2.0478 | 51.6 | 38.9 |
| 0.25 | 0.3621 | 2.0216 | 48.8 | 37.8 |
| 0.30 | 0.4058 | 1.9930 | 45.7 | 36.6 |
| 0.35 | 0.4555 | 1.9618 | 42.5 | 35.3 |
| 0.40 | 0.5124 | 1.9273 | 39.1 | 33.9 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2911 | 9.1140 | 68.0 | 15.4 |
| 0.05 | 0.3171 | 8.7747 | 66.5 | 15.2 |
| 0.10 | 0.3447 | 8.4325 | 64.8 | 15.0 |
| 0.15 | 0.3741 | 8.0873 | 63.0 | 14.8 |
| 0.20 | 0.4054 | 7.7383 | 61.1 | 14.5 |
| 0.25 | 0.4389 | 7.3851 | 59.0 | 14.2 |
| 0.30 | 0.4747 | 7.0270 | 56.7 | 13.9 |
| 0.35 | 0.5133 | 6.6629 | 54.2 | 13.5 |
| 0.40 | 0.5550 | 6.2915 | 51.4 | 13.1 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1959 | 1.6497 | 60.7 | 51.1 |
| 0.05 | 0.2207 | 1.6478 | 58.4 | 50.2 |
| 0.10 | 0.2484 | 1.6445 | 55.9 | 49.2 |
| 0.15 | 0.2795 | 1.6398 | 53.3 | 48.2 |
| 0.20 | 0.3146 | 1.6334 | 50.5 | 47.1 |
| 0.25 | 0.3544 | 1.6254 | 47.5 | 45.9 |
| 0.30 | 0.3997 | 1.6154 | 44.4 | 44.5 |
| 0.35 | 0.4517 | 1.6032 | 41.1 | 43.1 |
| 0.40 | 0.5120 | 1.5886 | 37.6 | 41.4 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.3230 | 12.8532 | 70.4 | 12.4 |
| 0.05 | 0.3492 | 12.3204 | 69.0 | 12.3 |
| 0.10 | 0.3767 | 11.7847 | 67.6 | 12.1 |
| 0.15 | 0.4056 | 11.2456 | 66.0 | 11.9 |
| 0.20 | 0.4362 | 10.7025 | 64.3 | 11.8 |
| 0.25 | 0.4684 | 10.1548 | 62.5 | 11.5 |
| 0.30 | 0.5026 | 9.6015  | 60.4 | 11.3 |
| 0.35 | 0.5390 | 9.0414  | 58.2 | 11.0 |
| 0.40 | 0.5779 | 8.4731  | 55.7 | 10.7 |

$\phi=39.0$

$\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2275                  | 4.3955                  | 64.5      | 25.5      |
| 0.05 | 0.2524                  | 4.2896                  | 62.6      | 25.1      |
| 0.10 | 0.2794                  | 4.1816                  | 60.5      | 24.6      |
| 0.15 | 0.3089                  | 4.0711                  | 58.4      | 24.1      |
| 0.20 | 0.3411                  | 3.9580                  | 56.1      | 23.6      |
| 0.25 | 0.3764                  | 3.8417                  | 53.6      | 23.0      |
| 0.30 | 0.4151                  | 3.7221                  | 50.9      | 22.4      |
| 0.35 | 0.4578                  | 3.5984                  | 48.1      | 21.7      |
| 0.40 | 0.5051                  | 3.4701                  | 45.0      | 20.9      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2027 | 2.5652 | 62.6 | 37.4 |
| 0.05 | 0.2272 | 2.5333 | 60.4 | 36.6 |
| 0.10 | 0.2542 | 2.4995 | 58.1 | 35.9 |
| 0.15 | 0.2841 | 2.4639 | 55.7 | 35.1 |
| 0.20 | 0.3174 | 2.4262 | 53.2 | 34.3 |
| 0.25 | 0.3545 | 2.3862 | 50.4 | 33.3 |
| 0.30 | 0.3960 | 2.3436 | 47.5 | 32.4 |
| 0.35 | 0.4427 | 2.2981 | 44.5 | 31.3 |
| 0.40 | 0.4957 | 2.2493 | 41.2 | 30.1 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2632 | 8.0452 | 67.2 | 17.0 |
| 0.05 | 0.2886 | 7.7726 | 65.6 | 16.8 |
| 0.10 | 0.3157 | 7.4975 | 63.9 | 16.5 |
| 0.15 | 0.3447 | 7.2194 | 62.0 | 16.2 |
| 0.20 | 0.3757 | 6.9380 | 60.0 | 15.9 |
| 0.25 | 0.4091 | 6.6528 | 57.8 | 15.6 |
| 0.30 | 0.4451 | 6.3631 | 55.5 | 15.3 |
| 0.35 | 0.4840 | 6.0682 | 52.9 | 14.9 |
| 0.40 | 0.5262 | 5.7671 | 50.2 | 14.4 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1962 | 2.1670 | 62.0 | 42.2 |
| 0.05 | 0.2205 | 2.1494 | 59.8 | 41.4 |
| 0.10 | 0.2475 | 2.1302 | 57.5 | 40.5 |
| 0.15 | 0.2776 | 2.1093 | 55.0 | 39.6 |
| 0.20 | 0.3112 | 2.0865 | 52.4 | 38.7 |
| 0.25 | 0.3489 | 2.0616 | 49.6 | 37.7 |
| 0.30 | 0.3914 | 2.0344 | 46.6 | 36.6 |
| 0.35 | 0.4395 | 2.0047 | 43.5 | 35.4 |
| 0.40 | 0.4945 | 1.9720 | 40.2 | 34.0 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2787 | 10.0188 | 68.4 | 14.8 |
| 0.05 | 0.3042 | 9.6505  | 66.9 | 14.6 |
| 0.10 | 0.3313 | 9.2794  | 65.2 | 14.4 |
| 0.15 | 0.3601 | 8.9053  | 63.5 | 14.2 |
| 0.20 | 0.3908 | 8.5276  | 61.6 | 13.9 |
| 0.25 | 0.4236 | 8.1459  | 59.6 | 13.7 |
| 0.30 | 0.4586 | 7.7594  | 57.4 | 13.4 |
| 0.35 | 0.4962 | 7.3672  | 55.0 | 13.0 |
| 0.40 | 0.5368 | 6.9682  | 52.3 | 12.7 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1871 | 1.6603 | 61.3 | 50.9 |
| 0.05 | 0.2112 | 1.6595 | 59.0 | 50.0 |
| 0.10 | 0.2382 | 1.6574 | 56.6 | 49.1 |
| 0.15 | 0.2686 | 1.6539 | 54.0 | 48.1 |
| 0.20 | 0.3027 | 1.6488 | 51.3 | 47.0 |
| 0.25 | 0.3414 | 1.6421 | 48.3 | 45.8 |
| 0.30 | 0.3854 | 1.6335 | 45.3 | 44.5 |
| 0.35 | 0.4358 | 1.6229 | 42.0 | 43.2 |
| 0.40 | 0.4940 | 1.6099 | 38.6 | 41.6 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.3095 | 14.5992 | 70.7 | 11.7 |
| 0.05 | 0.3353 | 14.0001 | 69.3 | 11.6 |
| 0.10 | 0.3623 | 13.3980 | 67.9 | 11.4 |
| 0.15 | 0.3908 | 12.7927 | 66.4 | 11.3 |
| 0.20 | 0.4208 | 12.1835 | 64.8 | 11.1 |
| 0.25 | 0.4525 | 11.5698 | 63.0 | 10.9 |
| 0.30 | 0.4860 | 10.9507 | 61.0 | 10.7 |
| 0.35 | 0.5216 | 10.3253 | 58.8 | 10.5 |
| 0.40 | 0.5595 | 9.6920  | 56.5 | 10.2 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=40.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2174                  | 4.5989                  | 65.0      | 25.0      |
| 0.05 | 0.2418                  | 4.4907                  | 63.1      | 24.6      |
| 0.10 | 0.2682                  | 4.3803                  | 61.1      | 24.2      |
| 0.15 | 0.2970                  | 4.2676                  | 59.0      | 23.7      |
| 0.20 | 0.3284                  | 4.1523                  | 56.7      | 23.2      |
| 0.25 | 0.3628                  | 4.0340                  | 54.3      | 22.6      |
| 0.30 | 0.4005                  | 3.9124                  | 51.7      | 22.1      |
| 0.35 | 0.4419                  | 3.7871                  | 49.0      | 21.4      |
| 0.40 | 0.4878                  | 3.6573                  | 46.0      | 20.7      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1942 | 2.6601 | 63.2 | 36.6 |
| 0.05 | 0.2181 | 2.6276 | 61.1 | 35.9 |
| 0.10 | 0.2444 | 2.5935 | 58.8 | 35.2 |
| 0.15 | 0.2736 | 2.5574 | 56.5 | 34.5 |
| 0.20 | 0.3060 | 2.5193 | 53.9 | 33.7 |
| 0.25 | 0.3421 | 2.4790 | 51.3 | 32.8 |
| 0.30 | 0.3823 | 2.4362 | 48.5 | 31.9 |
| 0.35 | 0.4275 | 2.3906 | 45.5 | 30.9 |
| 0.40 | 0.4786 | 2.3418 | 42.3 | 29.8 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2506 | 8.5697 | 67.6 | 16.6 |
| 0.05 | 0.2754 | 8.2856 | 65.9 | 16.3 |
| 0.10 | 0.3020 | 7.9990 | 64.2 | 16.1 |
| 0.15 | 0.3304 | 7.7096 | 62.4 | 15.9 |
| 0.20 | 0.3608 | 7.4169 | 60.4 | 15.6 |
| 0.25 | 0.3935 | 7.1207 | 58.3 | 15.3 |
| 0.30 | 0.4287 | 6.8202 | 56.0 | 15.0 |
| 0.35 | 0.4667 | 6.5147 | 53.6 | 14.6 |
| 0.40 | 0.5078 | 6.2035 | 50.9 | 14.2 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1874 | 2.2013 | 62.6 | 41.9 |
| 0.05 | 0.2111 | 2.1848 | 60.4 | 41.1 |
| 0.10 | 0.2374 | 2.1668 | 58.1 | 40.3 |
| 0.15 | 0.2668 | 2.1470 | 55.7 | 39.4 |
| 0.20 | 0.2995 | 2.1254 | 53.1 | 38.5 |
| 0.25 | 0.3362 | 2.1019 | 50.4 | 37.5 |
| 0.30 | 0.3775 | 2.0761 | 47.5 | 36.5 |
| 0.35 | 0.4241 | 2.0480 | 44.4 | 35.3 |
| 0.40 | 0.4772 | 2.0170 | 41.2 | 34.1 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2666 | 11.0616 | 68.8 | 14.1 |
| 0.05 | 0.2916 | 10.6600 | 67.3 | 13.9 |
| 0.10 | 0.3182 | 10.2557 | 65.7 | 13.8 |
| 0.15 | 0.3465 | 9.8484  | 64.0 | 13.6 |
| 0.20 | 0.3765 | 9.4378  | 62.1 | 13.3 |
| 0.25 | 0.4086 | 9.0232  | 60.1 | 13.1 |
| 0.30 | 0.4429 | 8.6040  | 58.0 | 12.9 |
| 0.35 | 0.4796 | 8.1794  | 55.7 | 12.6 |
| 0.40 | 0.5190 | 7.7484  | 53.2 | 12.2 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1786 | 1.6704 | 61.9 | 50.7 |
| 0.05 | 0.2021 | 1.6708 | 59.6 | 49.8 |
| 0.10 | 0.2284 | 1.6698 | 57.2 | 48.9 |
| 0.15 | 0.2580 | 1.6675 | 54.7 | 47.9 |
| 0.20 | 0.2912 | 1.6637 | 52.0 | 46.9 |
| 0.25 | 0.3289 | 1.6583 | 49.1 | 45.8 |
| 0.30 | 0.3716 | 1.6511 | 46.1 | 44.6 |
| 0.35 | 0.4205 | 1.6420 | 43.0 | 43.2 |
| 0.40 | 0.4768 | 1.6307 | 39.6 | 41.8 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2963 | 16.7264 | 71.0 | 10.9 |
| 0.05 | 0.3216 | 16.0465 | 69.7 | 10.8 |
| 0.10 | 0.3482 | 15.3639 | 68.3 | 10.7 |
| 0.15 | 0.3762 | 14.6780 | 66.8 | 10.6 |
| 0.20 | 0.4057 | 13.9884 | 65.2 | 10.5 |
| 0.25 | 0.4368 | 13.2945 | 63.4 | 10.3 |
| 0.30 | 0.4697 | 12.5954 | 61.6 | 10.1 |
| 0.35 | 0.5045 | 11.8902 | 59.5 | 9.9  |
| 0.40 | 0.5415 | 11.1776 | 57.2 | 9.7  |

$\phi=41.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.2077                  | 4.8150                  | 65.5      | 24.5      |
| 0.05 | 0.2315                  | 4.7043                  | 63.6      | 24.1      |
| 0.10 | 0.2573                  | 4.5915                  | 61.7      | 23.7      |
| 0.15 | 0.2854                  | 4.4764                  | 59.6      | 23.3      |
| 0.20 | 0.3161                  | 4.3588                  | 57.3      | 22.8      |
| 0.25 | 0.3496                  | 4.2384                  | 55.0      | 22.3      |
| 0.30 | 0.3863                  | 4.1148                  | 52.5      | 21.7      |
| 0.35 | 0.4266                  | 3.9875                  | 49.8      | 21.2      |
| 0.40 | 0.4710                  | 3.8562                  | 47.0      | 20.5      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1859 | 2.7593 | 63.7 | 35.9 |
| 0.05 | 0.2092 | 2.7263 | 61.7 | 35.3 |
| 0.10 | 0.2349 | 2.6917 | 59.5 | 34.6 |
| 0.15 | 0.2634 | 2.6553 | 57.2 | 33.9 |
| 0.20 | 0.2949 | 2.6168 | 54.7 | 33.1 |
| 0.25 | 0.3300 | 2.5762 | 52.1 | 32.3 |
| 0.30 | 0.3691 | 2.5332 | 49.3 | 31.4 |
| 0.35 | 0.4129 | 2.4875 | 46.4 | 30.5 |
| 0.40 | 0.4621 | 2.4389 | 43.4 | 29.5 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2384 | 9.1418 | 67.9 | 16.1 |
| 0.05 | 0.2627 | 8.8453 | 66.3 | 15.9 |
| 0.10 | 0.2887 | 8.5464 | 64.6 | 15.7 |
| 0.15 | 0.3166 | 8.2447 | 62.8 | 15.5 |
| 0.20 | 0.3464 | 7.9399 | 60.8 | 15.2 |
| 0.25 | 0.3784 | 7.6316 | 58.8 | 15.0 |
| 0.30 | 0.4128 | 7.3193 | 56.6 | 14.7 |
| 0.35 | 0.4499 | 7.0023 | 54.2 | 14.3 |
| 0.40 | 0.4899 | 6.6798 | 51.6 | 14.0 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1789 | 2.2358 | 63.2 | 41.5 |
| 0.05 | 0.2020 | 2.2204 | 61.0 | 40.8 |
| 0.10 | 0.2277 | 2.2035 | 58.8 | 40.0 |
| 0.15 | 0.2563 | 2.1850 | 56.4 | 39.2 |
| 0.20 | 0.2882 | 2.1647 | 53.8 | 38.3 |
| 0.25 | 0.3239 | 2.1425 | 51.1 | 37.4 |
| 0.30 | 0.3640 | 2.1182 | 48.3 | 36.4 |
| 0.35 | 0.4093 | 2.0915 | 45.3 | 35.3 |
| 0.40 | 0.4606 | 2.0623 | 42.2 | 34.1 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2548 | 12.2719 | 69.1 | 13.4 |
| 0.05 | 0.2793 | 11.8319 | 67.7 | 13.3 |
| 0.10 | 0.3054 | 11.3892 | 66.1 | 13.1 |
| 0.15 | 0.3331 | 10.9437 | 64.4 | 12.9 |
| 0.20 | 0.3626 | 10.4949 | 62.6 | 12.8 |
| 0.25 | 0.3940 | 10.0422 | 60.7 | 12.6 |
| 0.30 | 0.4274 | 9.5852  | 58.6 | 12.3 |
| 0.35 | 0.4633 | 9.1230  | 56.4 | 12.1 |
| 0.40 | 0.5017 | 8.6547  | 54.0 | 11.8 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1704 | 1.6800 | 62.5 | 50.5 |
| 0.05 | 0.1933 | 1.6815 | 60.2 | 49.6 |
| 0.10 | 0.2189 | 1.6818 | 57.9 | 48.7 |
| 0.15 | 0.2477 | 1.6807 | 55.4 | 47.8 |
| 0.20 | 0.2801 | 1.6781 | 52.7 | 46.8 |
| 0.25 | 0.3167 | 1.6740 | 49.9 | 45.7 |
| 0.30 | 0.3583 | 1.6683 | 47.0 | 44.5 |
| 0.35 | 0.4057 | 1.6606 | 43.9 | 43.3 |
| 0.40 | 0.4602 | 1.6510 | 40.6 | 41.9 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2834 | 19.3552 | 71.3 | 10.2 |
| 0.05 | 0.3083 | 18.5760 | 70.0 | 10.1 |
| 0.10 | 0.3344 | 17.7940 | 68.6 | 10.0 |
| 0.15 | 0.3620 | 17.0089 | 67.2 | 9.9  |
| 0.20 | 0.3909 | 16.2202 | 65.6 | 9.8  |
| 0.25 | 0.4214 | 15.4272 | 63.9 | 9.7  |
| 0.30 | 0.4536 | 14.6293 | 62.1 | 9.5  |
| 0.35 | 0.4877 | 13.8256 | 60.1 | 9.3  |
| 0.40 | 0.5238 | 13.0148 | 57.9 | 9.2  |



表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

$\phi=42.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.1982                  | 5.0447                  | 66.0      | 24.0      |
| 0.05 | 0.2215                  | 4.9314                  | 64.2      | 23.6      |
| 0.10 | 0.2467                  | 4.8161                  | 62.2      | 23.2      |
| 0.15 | 0.2742                  | 4.6986                  | 60.2      | 22.8      |
| 0.20 | 0.3042                  | 4.5786                  | 58.0      | 22.4      |
| 0.25 | 0.3368                  | 4.4559                  | 55.7      | 21.9      |
| 0.30 | 0.3726                  | 4.3301                  | 53.2      | 21.4      |
| 0.35 | 0.4117                  | 4.2009                  | 50.6      | 20.9      |
| 0.40 | 0.4548                  | 4.0678                  | 47.9      | 20.3      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1778 | 2.8630 | 64.3 | 35.2 |
| 0.05 | 0.2006 | 2.8296 | 62.3 | 34.6 |
| 0.10 | 0.2257 | 2.7946 | 60.1 | 33.9 |
| 0.15 | 0.2534 | 2.7578 | 57.9 | 33.3 |
| 0.20 | 0.2842 | 2.7190 | 55.5 | 32.5 |
| 0.25 | 0.3183 | 2.6782 | 52.9 | 31.8 |
| 0.30 | 0.3563 | 2.6350 | 50.2 | 31.0 |
| 0.35 | 0.3987 | 2.5892 | 47.4 | 30.1 |
| 0.40 | 0.4463 | 2.5406 | 44.4 | 29.2 |

$\delta=-15$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.2267 | 9.7676 | 68.2 | 15.7 |
| 0.05 | 0.2505 | 9.4577 | 66.7 | 15.5 |
| 0.10 | 0.2760 | 9.1453 | 65.0 | 15.3 |
| 0.15 | 0.3032 | 8.8303 | 63.2 | 15.1 |
| 0.20 | 0.3324 | 8.5124 | 61.3 | 14.9 |
| 0.25 | 0.3637 | 8.1910 | 59.3 | 14.6 |
| 0.30 | 0.3974 | 7.8658 | 57.1 | 14.3 |
| 0.35 | 0.4336 | 7.5362 | 54.8 | 14.0 |
| 0.40 | 0.4726 | 7.2014 | 52.3 | 13.7 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1706 | 2.2705 | 63.7 | 41.2 |
| 0.05 | 0.1932 | 2.2563 | 61.6 | 40.5 |
| 0.10 | 0.2182 | 2.2406 | 59.4 | 39.7 |
| 0.15 | 0.2461 | 2.2233 | 57.0 | 39.0 |
| 0.20 | 0.2772 | 2.2042 | 54.5 | 38.1 |
| 0.25 | 0.3120 | 2.1834 | 51.9 | 37.2 |
| 0.30 | 0.3510 | 2.1605 | 49.1 | 36.3 |
| 0.35 | 0.3949 | 2.1354 | 46.2 | 35.2 |
| 0.40 | 0.4447 | 2.1079 | 43.1 | 34.1 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2432 | 13.6879 | 69.5 | 12.8 |
| 0.05 | 0.2673 | 13.2031 | 68.1 | 12.6 |
| 0.10 | 0.2929 | 12.7158 | 66.5 | 12.5 |
| 0.15 | 0.3200 | 12.2257 | 64.9 | 12.3 |
| 0.20 | 0.3489 | 11.7323 | 63.1 | 12.2 |
| 0.25 | 0.3796 | 11.2353 | 61.2 | 12.0 |
| 0.30 | 0.4124 | 10.7340 | 59.2 | 11.8 |
| 0.35 | 0.4473 | 10.2278 | 57.1 | 11.6 |
| 0.40 | 0.4847 | 9.7158  | 54.7 | 11.3 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1624 | 1.6890 | 63.1 | 50.3 |
| 0.05 | 0.1848 | 1.6917 | 60.8 | 49.4 |
| 0.10 | 0.2098 | 1.6932 | 58.5 | 48.6 |
| 0.15 | 0.2378 | 1.6933 | 56.0 | 47.6 |
| 0.20 | 0.2694 | 1.6920 | 53.4 | 46.7 |
| 0.25 | 0.3050 | 1.6893 | 50.7 | 45.6 |
| 0.30 | 0.3455 | 1.6849 | 47.8 | 44.5 |
| 0.35 | 0.3915 | 1.6788 | 44.7 | 43.3 |
| 0.40 | 0.4443 | 1.6707 | 41.6 | 42.0 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |     |
|------|--------|---------|------|-----|
| 0.00 | 0.2708 | 22.6585 | 71.6 | 9.5 |
| 0.05 | 0.2952 | 21.7548 | 70.3 | 9.4 |
| 0.10 | 0.3209 | 20.8483 | 69.0 | 9.3 |
| 0.15 | 0.3479 | 19.9388 | 67.5 | 9.2 |
| 0.20 | 0.3764 | 19.0258 | 66.0 | 9.1 |
| 0.25 | 0.4063 | 18.1087 | 64.4 | 9.0 |
| 0.30 | 0.4378 | 17.1868 | 62.6 | 8.9 |
| 0.35 | 0.4712 | 16.2593 | 60.7 | 8.7 |
| 0.40 | 0.5064 | 15.3253 | 58.6 | 8.6 |

$\phi=43.0$   
 $\delta=0.0$

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.1891                  | 5.2893                  | 66.5      | 23.5      |
| 0.05 | 0.2117                  | 5.1733                  | 64.7      | 23.2      |
| 0.10 | 0.2364                  | 5.0554                  | 62.8      | 22.8      |
| 0.15 | 0.2633                  | 4.9353                  | 60.7      | 22.4      |
| 0.20 | 0.2925                  | 4.8128                  | 58.6      | 22.0      |
| 0.25 | 0.3244                  | 4.6877                  | 56.3      | 21.6      |
| 0.30 | 0.3592                  | 4.5596                  | 54.0      | 21.1      |
| 0.35 | 0.3973                  | 4.4283                  | 51.4      | 20.6      |
| 0.40 | 0.4391                  | 4.2932                  | 48.8      | 20.0      |

$\delta=15.0$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1700 | 2.9716 | 64.9 | 34.5 |
| 0.05 | 0.1922 | 2.9378 | 62.9 | 33.9 |
| 0.10 | 0.2167 | 2.9024 | 60.8 | 33.3 |
| 0.15 | 0.2438 | 2.8653 | 58.6 | 32.7 |
| 0.20 | 0.2737 | 2.8262 | 56.2 | 32.0 |
| 0.25 | 0.3069 | 2.7851 | 53.7 | 31.3 |
| 0.30 | 0.3438 | 2.7418 | 51.1 | 30.5 |
| 0.35 | 0.3849 | 2.6959 | 48.3 | 29.7 |
| 0.40 | 0.4309 | 2.6474 | 45.4 | 28.8 |

$\delta=-15$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2154 | 10.4539 | 68.6 | 15.2 |
| 0.05 | 0.2387 | 10.1293 | 67.0 | 15.1 |
| 0.10 | 0.2636 | 9.8025  | 65.4 | 14.9 |
| 0.15 | 0.2903 | 9.4731  | 63.6 | 14.7 |
| 0.20 | 0.3189 | 9.1407  | 61.7 | 14.5 |
| 0.25 | 0.3495 | 8.8052  | 59.7 | 14.3 |
| 0.30 | 0.3824 | 8.4659  | 57.6 | 14.0 |
| 0.35 | 0.4177 | 8.1224  | 55.4 | 13.7 |
| 0.40 | 0.4558 | 7.7740  | 53.0 | 13.4 |

$\delta=1/2\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1627 | 2.3053 | 64.3 | 40.9 |
| 0.05 | 0.1846 | 2.2923 | 62.2 | 40.2 |
| 0.10 | 0.2091 | 2.2778 | 60.0 | 39.5 |
| 0.15 | 0.2363 | 2.2618 | 57.7 | 38.7 |
| 0.20 | 0.2666 | 2.2441 | 55.2 | 37.9 |
| 0.25 | 0.3004 | 2.2246 | 52.6 | 37.0 |
| 0.30 | 0.3384 | 2.2032 | 49.9 | 36.1 |
| 0.35 | 0.3811 | 2.1796 | 47.0 | 35.2 |
| 0.40 | 0.4293 | 2.1538 | 44.0 | 34.1 |

$\delta=-1/2\phi$

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2320 | 15.3592 | 69.9 | 12.1 |
| 0.05 | 0.2556 | 14.8218 | 68.4 | 12.0 |
| 0.10 | 0.2807 | 14.2820 | 66.9 | 11.8 |
| 0.15 | 0.3073 | 13.7395 | 65.3 | 11.7 |
| 0.20 | 0.3355 | 13.1938 | 63.6 | 11.6 |
| 0.25 | 0.3656 | 12.6446 | 61.8 | 11.4 |
| 0.30 | 0.3976 | 12.0912 | 59.8 | 11.2 |
| 0.35 | 0.4317 | 11.5332 | 57.7 | 11.0 |
| 0.40 | 0.4682 | 10.9696 | 55.5 | 10.8 |

$\delta=2/3\phi$

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1548 | 1.6975 | 63.6 | 50.0 |
| 0.05 | 0.1765 | 1.7014 | 61.5 | 49.2 |
| 0.10 | 0.2009 | 1.7041 | 59.1 | 48.4 |
| 0.15 | 0.2282 | 1.7054 | 56.7 | 47.5 |
| 0.20 | 0.2590 | 1.7055 | 54.1 | 46.5 |
| 0.25 | 0.2937 | 1.7040 | 51.4 | 45.5 |
| 0.30 | 0.3331 | 1.7010 | 48.6 | 44.5 |
| 0.35 | 0.3778 | 1.6964 | 45.6 | 43.3 |
| 0.40 | 0.4290 | 1.6899 | 42.5 | 42.1 |

$\delta=-2/3\phi$

|      |        |         |      |     |
|------|--------|---------|------|-----|
| 0.00 | 0.2584 | 26.8904 | 71.9 | 8.7 |
| 0.05 | 0.2824 | 25.8276 | 70.6 | 8.6 |
| 0.10 | 0.3077 | 24.7621 | 69.3 | 8.6 |
| 0.15 | 0.3342 | 23.6937 | 67.9 | 8.5 |
| 0.20 | 0.3621 | 22.6218 | 66.4 | 8.4 |
| 0.25 | 0.3915 | 21.5460 | 64.8 | 8.3 |
| 0.30 | 0.4224 | 20.4655 | 63.1 | 8.2 |
| 0.35 | 0.4549 | 19.3797 | 61.2 | 8.1 |
| 0.40 | 0.4894 | 18.2873 | 59.2 | 8.0 |

表 11-1.1 土壓係數參考值(續)

 $\phi=44.0$   
 $\delta=0.0$ 

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.1802                  | 5.5500                  | 67.0      | 23.0      |
| 0.05 | 0.2023                  | 5.4313                  | 65.2      | 22.7      |
| 0.10 | 0.2264                  | 5.3107                  | 63.3      | 22.3      |
| 0.15 | 0.2526                  | 5.1879                  | 61.3      | 22.0      |
| 0.20 | 0.2812                  | 5.0628                  | 59.2      | 21.6      |
| 0.25 | 0.3123                  | 4.9351                  | 57.0      | 21.2      |
| 0.30 | 0.3462                  | 4.8046                  | 54.7      | 20.7      |
| 0.35 | 0.3833                  | 4.6710                  | 52.2      | 20.3      |
| 0.40 | 0.4239                  | 4.5338                  | 49.6      | 19.8      |

 $\delta=15.0$ 

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1624 | 3.0853 | 65.5 | 33.8 |
| 0.05 | 0.1840 | 3.0512 | 63.5 | 33.3 |
| 0.10 | 0.2079 | 3.0155 | 61.4 | 32.7 |
| 0.15 | 0.2343 | 2.9781 | 59.2 | 32.1 |
| 0.20 | 0.2635 | 2.9387 | 56.9 | 31.4 |
| 0.25 | 0.2958 | 2.8974 | 54.5 | 30.8 |
| 0.30 | 0.3317 | 2.8539 | 51.9 | 30.0 |
| 0.35 | 0.3716 | 2.8080 | 49.2 | 29.3 |
| 0.40 | 0.4162 | 2.7595 | 46.4 | 28.5 |

 $\delta=-15$ 

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2046 | 11.2086 | 69.0 | 14.8 |
| 0.05 | 0.2273 | 10.8682 | 67.4 | 14.6 |
| 0.10 | 0.2517 | 10.5256 | 65.8 | 14.5 |
| 0.15 | 0.2778 | 10.1804 | 64.0 | 14.3 |
| 0.20 | 0.3057 | 9.8324  | 62.2 | 14.1 |
| 0.25 | 0.3357 | 9.4813  | 60.2 | 13.9 |
| 0.30 | 0.3678 | 9.1267  | 58.2 | 13.7 |
| 0.35 | 0.4024 | 8.7680  | 56.0 | 13.4 |
| 0.40 | 0.4395 | 8.4047  | 53.6 | 13.1 |

 $\delta=1/2\phi$ 

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1550 | 2.3402 | 64.9 | 40.6 |
| 0.05 | 0.1764 | 2.3285 | 62.8 | 39.9 |
| 0.10 | 0.2002 | 2.3153 | 60.6 | 39.2 |
| 0.15 | 0.2267 | 2.3005 | 58.3 | 38.5 |
| 0.20 | 0.2563 | 2.2842 | 55.9 | 37.7 |
| 0.25 | 0.2893 | 2.2661 | 53.3 | 36.9 |
| 0.30 | 0.3262 | 2.2462 | 50.7 | 36.0 |
| 0.35 | 0.3677 | 2.2242 | 47.9 | 35.1 |
| 0.40 | 0.4145 | 2.2000 | 44.9 | 34.1 |

 $\delta=-1/2\phi$ 

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2211 | 17.3512 | 70.3 | 11.4 |
| 0.05 | 0.2442 | 16.7515 | 68.8 | 11.3 |
| 0.10 | 0.2687 | 16.1494 | 67.3 | 11.2 |
| 0.15 | 0.2948 | 15.5447 | 65.7 | 11.1 |
| 0.20 | 0.3225 | 14.9369 | 64.1 | 10.9 |
| 0.25 | 0.3519 | 14.3256 | 62.3 | 10.8 |
| 0.30 | 0.3832 | 13.7104 | 60.4 | 10.7 |
| 0.35 | 0.4165 | 13.0907 | 58.4 | 10.5 |
| 0.40 | 0.4520 | 12.4656 | 56.2 | 10.3 |

 $\delta=2/3\phi$ 

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1474 | 1.7054 | 64.2 | 49.8 |
| 0.05 | 0.1686 | 1.7105 | 62.1 | 49.0 |
| 0.10 | 0.1923 | 1.7144 | 59.8 | 48.2 |
| 0.15 | 0.2190 | 1.7171 | 57.4 | 47.3 |
| 0.20 | 0.2490 | 1.7184 | 54.8 | 46.4 |
| 0.25 | 0.2828 | 1.7183 | 52.2 | 45.4 |
| 0.30 | 0.3211 | 1.7167 | 49.4 | 44.4 |
| 0.35 | 0.3646 | 1.7134 | 46.4 | 43.3 |
| 0.40 | 0.4144 | 1.7085 | 43.4 | 42.2 |

 $\delta=-2/3\phi$ 

|      |        |         |      |     |
|------|--------|---------|------|-----|
| 0.00 | 0.2464 | 32.4377 | 72.2 | 7.9 |
| 0.05 | 0.2700 | 31.1669 | 71.0 | 7.9 |
| 0.10 | 0.2947 | 29.8936 | 69.7 | 7.8 |
| 0.15 | 0.3208 | 28.6174 | 68.3 | 7.8 |
| 0.20 | 0.3481 | 27.3378 | 66.8 | 7.7 |
| 0.25 | 0.3769 | 26.0544 | 65.2 | 7.6 |
| 0.30 | 0.4072 | 24.7666 | 63.6 | 7.6 |
| 0.35 | 0.4390 | 23.4735 | 61.8 | 7.5 |
| 0.40 | 0.4727 | 22.1742 | 59.9 | 7.4 |

 $\phi=45.0$   
 $\delta=0.0$ 

| k    | $K_a \cdot \cos \delta$ | $K_p \cdot \cos \delta$ | $\zeta_a$ | $\zeta_p$ |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.1716                  | 5.8284                  | 67.5      | 22.5      |
| 0.05 | 0.1932                  | 5.7068                  | 65.7      | 22.2      |
| 0.10 | 0.2167                  | 5.5833                  | 63.9      | 21.9      |
| 0.15 | 0.2423                  | 5.4577                  | 61.9      | 21.5      |
| 0.20 | 0.2702                  | 5.3298                  | 59.8      | 21.2      |
| 0.25 | 0.3005                  | 5.1995                  | 57.7      | 20.8      |
| 0.30 | 0.3336                  | 5.0664                  | 55.4      | 20.4      |
| 0.35 | 0.3696                  | 4.9304                  | 53.0      | 20.0      |
| 0.40 | 0.4091                  | 4.7909                  | 50.5      | 19.5      |

 $\delta=15.0$ 

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1550 | 3.2046 | 66.1 | 33.1 |
| 0.05 | 0.1761 | 3.1702 | 64.1 | 32.6 |
| 0.10 | 0.1994 | 3.1342 | 62.1 | 32.1 |
| 0.15 | 0.2251 | 3.0965 | 59.9 | 31.5 |
| 0.20 | 0.2536 | 3.0569 | 57.6 | 30.9 |
| 0.25 | 0.2851 | 3.0154 | 55.2 | 30.2 |
| 0.30 | 0.3199 | 2.9718 | 52.7 | 29.6 |
| 0.35 | 0.3587 | 2.9259 | 50.1 | 28.8 |
| 0.40 | 0.4018 | 2.8774 | 47.3 | 28.1 |

 $\delta=-15$ 

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.1941 | 12.0412 | 69.3 | 14.4 |
| 0.05 | 0.2163 | 11.6835 | 67.8 | 14.2 |
| 0.10 | 0.2401 | 11.3235 | 66.2 | 14.1 |
| 0.15 | 0.2657 | 10.9612 | 64.4 | 13.9 |
| 0.20 | 0.2930 | 10.5962 | 62.6 | 13.7 |
| 0.25 | 0.3223 | 10.2281 | 60.7 | 13.5 |
| 0.30 | 0.3537 | 9.8566  | 58.7 | 13.3 |
| 0.35 | 0.3874 | 9.4812  | 56.6 | 13.1 |
| 0.40 | 0.4237 | 9.1015  | 54.3 | 12.8 |

 $\delta=1/2\phi$ 

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1475 | 2.3753 | 65.4 | 40.3 |
| 0.05 | 0.1684 | 2.3648 | 63.4 | 39.6 |
| 0.10 | 0.1916 | 2.3529 | 61.2 | 38.9 |
| 0.15 | 0.2175 | 2.3395 | 59.0 | 38.2 |
| 0.20 | 0.2463 | 2.3246 | 56.6 | 37.5 |
| 0.25 | 0.2784 | 2.3079 | 54.1 | 36.7 |
| 0.30 | 0.3144 | 2.2895 | 51.4 | 35.8 |
| 0.35 | 0.3548 | 2.2691 | 48.7 | 35.0 |
| 0.40 | 0.4002 | 2.2466 | 45.8 | 34.0 |

 $\delta=-1/2\phi$ 

|      |        |         |      |      |
|------|--------|---------|------|------|
| 0.00 | 0.2105 | 19.7520 | 70.7 | 10.7 |
| 0.05 | 0.2331 | 19.0775 | 69.2 | 10.6 |
| 0.10 | 0.2571 | 18.4008 | 67.8 | 10.5 |
| 0.15 | 0.2826 | 17.7214 | 66.2 | 10.4 |
| 0.20 | 0.3097 | 17.0390 | 64.5 | 10.3 |
| 0.25 | 0.3385 | 16.3533 | 62.8 | 10.2 |
| 0.30 | 0.3691 | 15.6638 | 60.9 | 10.1 |
| 0.35 | 0.4016 | 14.9698 | 59.0 | 9.9  |
| 0.40 | 0.4362 | 14.2708 | 56.9 | 9.8  |

 $\delta=2/3\phi$ 

|      |        |        |      |      |
|------|--------|--------|------|------|
| 0.00 | 0.1403 | 1.7128 | 64.8 | 49.6 |
| 0.05 | 0.1609 | 1.7191 | 62.7 | 48.8 |
| 0.10 | 0.1840 | 1.7242 | 60.4 | 48.0 |
| 0.15 | 0.2100 | 1.7281 | 58.0 | 47.2 |
| 0.20 | 0.2392 | 1.7307 | 55.5 | 46.3 |
| 0.25 | 0.2722 | 1.7320 | 52.9 | 45.3 |
| 0.30 | 0.3095 | 1.7317 | 50.1 | 44.4 |
| 0.35 | 0.3519 | 1.7300 | 47.3 | 43.3 |
| 0.40 | 0.4002 | 1.7266 | 44.3 | 42.2 |

 $\delta=-2/3\phi$ 

|      |        |         |      |     |
|------|--------|---------|------|-----|
| 0.00 | 0.2347 | 39.9123 | 72.5 | 7.2 |
| 0.05 | 0.2578 | 38.3623 | 71.3 | 7.1 |
| 0.10 | 0.2821 | 36.8097 | 70.0 | 7.1 |
| 0.15 | 0.3076 | 35.2543 | 68.6 | 7.0 |
| 0.20 | 0.3344 | 33.6956 | 67.2 | 7.0 |
| 0.25 | 0.3626 | 32.1332 | 65.7 | 6.9 |
| 0.30 | 0.3922 | 30.5665 | 64.1 | 6.9 |
| 0.35 | 0.4234 | 28.9947 | 62.3 | 6.8 |
| 0.40 | 0.4563 | 27.4170 | 60.5 | 6.7 |

### 11.2.3 地震時之動水壓

用於直立壁之動水壓 $P_w$ ，如圖11-2.2所示，可依下式計算。

$$P_w = \pm \frac{7}{8} K \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{h \cdot y} \quad (11-2.2)$$

式中  $p_w$ ：水面下 $y$ 處之動水壓( $t/m^2$ )

$K$ ：設計震度

$\gamma_w$ ：水之單位體積重量( $t/m^3$ )

$h$ ：水深(m)

$y$ ：自水面至欲求動水壓點止之深度(m)

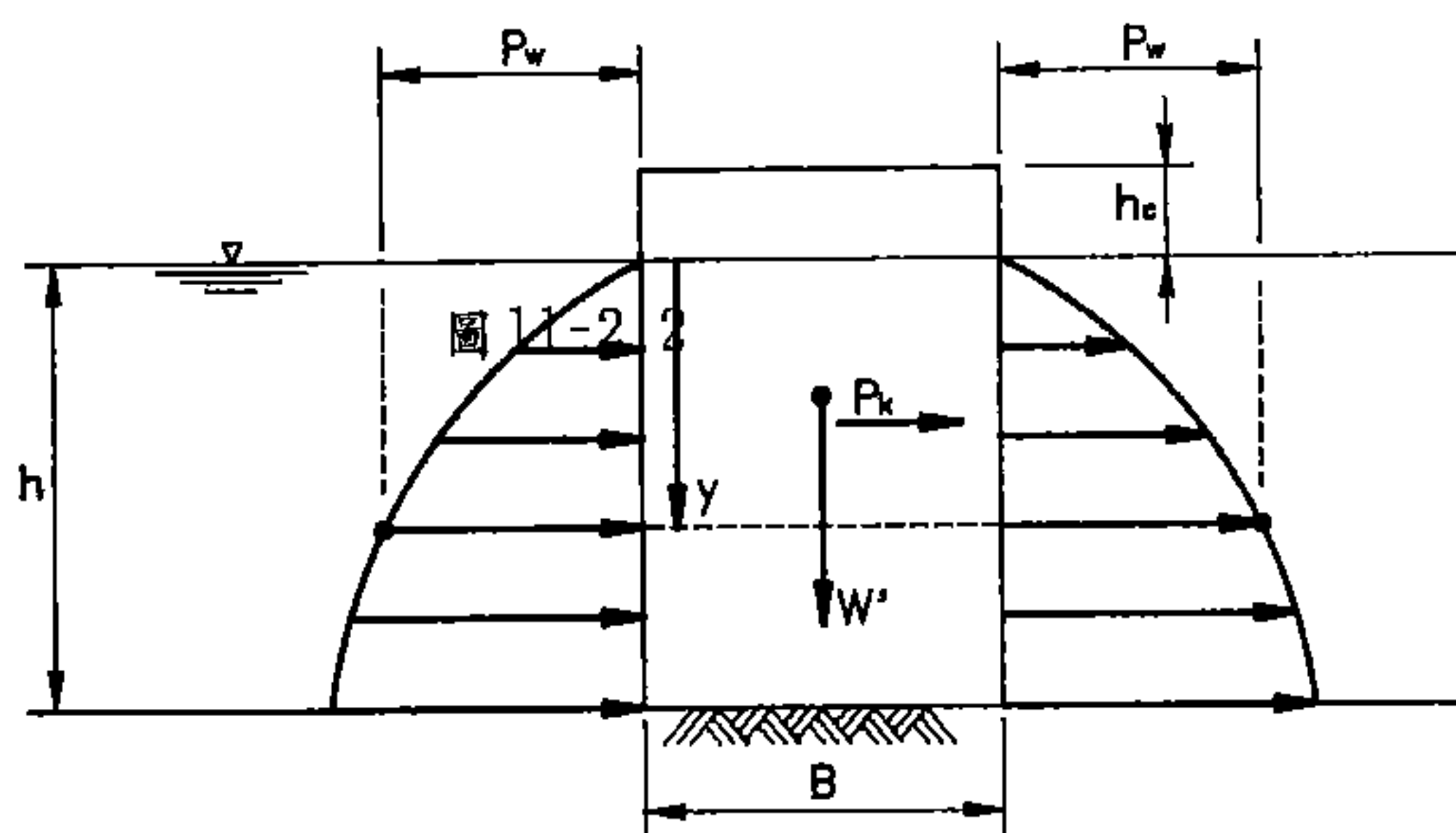


圖 11-2.2 動水壓分佈圖

## 第十二章 載重



## 第十二章 載重

### 12.1 概要

於設計港灣結構物時，應視須要考慮結構物自重、上載載重(Sur-charge)等。

自重係指結構物本身之重量。上載載重可概分為裝載載重（或靜載重）與活載重兩種。裝載載重如碼頭、通棧、倉庫等裝載之散雜貨等重量。活載重如汽車、火車、裝卸機械及群眾等動態載重。

### 12.2 自重

自重可依材料體積及單位體積重量計算之。

計算自重所用之材料單位體積重量，示如表12-2.1。已知重量之材料用其數值即可。

### 12.3 裝載載重

#### 12.3.1 概要

裝載載重包含碼頭、通棧、倉庫等裝載之散雜貨等重量。裝載載重應依須要分別檢討常時、地震時及不均佈載重等狀況。

#### 12.3.2 常時裝載載重

常時裝載載重，應考量貨物種類、包裝型式、處理數量、處理方式及放置時間等因素後決定之。

碼頭面裝載載重，影響碼頭之安定至巨，於決定裝載載重時，應慎重為之。一般散雜貨碼頭，為設計方便，碼頭面裝載載重可採 $1\sim 2\text{t/m}^2$ 。

表 12-2.1 材料之單位體積重量

(單位：t/m<sup>3</sup>)

| 材 料            | 單 位 體 積 重 量 |
|----------------|-------------|
| 鋼              | 7.85        |
| 鑄 鋼            | 7.85        |
| 鑄 鐵            | 7.25        |
| 無筋混凝土          | 2.3         |
| 鋼筋混凝土          | 2.45        |
| 木 材            | 0.8         |
| 瀝青混凝土          | 2.3         |
| 石 材            | 2.6         |
| 砂、小石子、塊石(乾)    | 1.6         |
| 砂、小石子、塊石(濕)    | 1.8         |
| 砂、小石子、塊石(飽和狀態) | 2.0         |
| 砂、小石子、塊石(水 中)  | 1.0         |

### 12.3.3 地震時裝載載重

設計時應考量地震發生時，於某地點是否有存有某種載重，以決定地震時之上載載重。

### 12.3.4 不均佈裝載載重

核算整個結構物安全時，可將結構物，如碼頭面、通棧或倉庫視為一區域，將不均佈載重換算為均佈載重後，予以計算。但如係巨大之集中載重時，不得折算為均佈載重，仍須以集中載重加以檢討。

## 12.4 活載重

### 12.4.1 概要

活載重包含汽車、火車、施工機具、裝卸機具、及群眾等動態載重。對載重所引起之衝擊載重、煞車載重、開車起動載重及離心載重等均不加以考慮。

### 12.4.2 汽車、火車及拖車等

汽車、火車及拖車等活載重，參考道路、橋樑等相關設計規範。

### 12.4.3 裝卸機械

輪式吊車、卡車起重機、履帶式起重機等…移動式裝卸機械、軌道式裝卸機械，及固定式裝卸機械之活載重如下。

1. 移動式裝卸機械活載重，採用全重量、最大輪載重、邊撐(Out Rigger)最大載重，或履帶之最大接觸壓力。
2. 軌道式裝卸機械活載重，採用全重量，或採用車輪間隔與車輪數之最大輪載重。
3. 固定式裝卸機械活載重，採用最大載重。
4. 門型起重機、礦砂專用卸料機等大型裝卸機械，須考量地震力、風力或裝卸時之衝擊載重等，以確保結構物之安全。

### 12.4.4 群眾

群眾載重以  $0.5\text{t/m}^2$  為標準。對於特殊結構物或設施，考慮其利用狀況，可降低此值。

## 第十三章 摩擦係數

## 第十三章 摩擦係數

結構物滑動安定計算，應依結構物及基礎材質，採用適宜之摩擦係數。

結構物滑動安定計算所採用之靜止摩擦係數，可參考表13-1.1中所列之值。

表 13-1.1 靜止摩擦係數

|             |               |
|-------------|---------------|
| 1. 混凝土與混凝土  | 0.5           |
| 2. 混凝土與岩層   | 0.5           |
| 3. 水中混凝土與岩層 | 0.7~0.8       |
| 4. 混凝土與拋石   | 0.6           |
| 5. 拋石與拋石    | 0.8           |
| 6. 木材與木材    | 0.5(乾)~0.2(濕) |

## 第三篇 工程材料

# 第一章 通則

# 第一章 通則

本基準中碼頭結構物及基礎所使用之材料，須考慮作用之外力、使用年限、結構型式、施工性及經濟性等，依本篇相關章節規定予以適當的選定。

但碼頭之附屬設施，如給水、排水、鋪面…等設施所使用的材料，則須依各相關規定辦理。



## 第二章 鋼鐵材料

## 第二章 鋼鐵材料

### 2.1 鋼鐵材料之規格及性質

國內生產之鋼鐵材料，已制訂有中國國家標準者，其規格及性質依中國國家標準規定為準。非屬中國國家標準之鋼材，國內已能生產製造者，須經公立檢驗機關或主管機關認可之單位，就其所定之尺度標準、化學成份、物理性質及公差等，依中國國家標準 CNS 2608[鋼料之檢驗通則]，不足時輔以國際通行之檢驗規則(如美國 ASTM)，檢驗合格始得應用。鋼鐵材料，由國外進口者，應符合原產製國之國家標準，進口時應具備原製造廠家之品質證明書，必要時須經公立檢驗機關或主管機關認可之單位，依中國國家標準 CNS 2608[鋼料之檢驗通則]，不足時輔以國際通行檢驗規則(如美國 ASTM)，檢驗合格始得應用。

國內鋼鐵材料，已制訂有中國國家標準者如表 2-1.1所示。

### 2.2 鋼鐵材料設計用常數

鋼材及鑄鐵之常數，可參考下列數值。下列數值為適用於一般鋼材及鑄鐵的數值。

- 鋼材(鋼及鑄鋼)

彈性模數  $E$  :  $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

剪力彈性模數  $G$  :  $8.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

溫度伸縮係數  $\alpha$  :  $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

- 鑄鐵

彈性模數  $E$  :  $1.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

剪力彈性模數  $G$  :  $3.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

表 2-1.1 中國國家標準鋼鐵材料

| 鋼材種類  | 規 格      |                      | 符 號  |
|-------|----------|----------------------|--|
| 結構用鋼材 | CNS 2473 | 一般結構用軋鋼料             | SS330(SS34)、SS400(SS41)、<br>SS490(SS50)、SS540(SS55)  |
|       | CNS 2947 | 焊接結構用軋鋼料             | SM400A(SM41A)、SM400B(SM41B)、SM400C(SM41C)、<br>SM490A(SM50A)、SM490B(SM50B)、SM490C(SM50C)、<br>SM490YA(SM50YA)、SM490YB(SM50YB)<br>SM520B(SM53B)、SM520C(SM53C)、SM570(SM58) |
| 鋼管    | CNS 4435 | 一般結構用碳鋼鋼管            | STK30、STK41、STK51、STK50、STK55  |
| 鉚釘鋼   | CNS 575  | 鉚釘用鋼棒                | SV34、SV41  |
| 鑄鍛鋼材  | CNS 2673 | 一般用途之碳鋼鍛鋼件           | SF 35A、SF 40A、SF 45A、SF 50A、SF 55A、SF 60A<br>SF 55B、SF 60B、SF 65B  |
|       | CNS 2936 | 黑心展性鑄鐵件              | FCMB28、FCMB32、FCMB35、FCMB37  |
|       | CNS 2937 | 白心展性鑄鐵件              | FCMW34、FCMW38、FCMWP45、FCMWP50、FCMWP55  |
|       | CNS 2906 | 碳鋼鑄件                 | SC 37、SC 42、SC 46、SC 49  |
|       | CNS 4000 | 不銹鋼鑄鋼件               | SCS1、SCS2、SCS3、SCS4、SCS5、SCS11、SCS12、<br>SCS13、SCS13A、SCS14、SCS14A、SCS15、<br>SCS16、SCS16A、SCS17、SCS18、SCS19、SCS22、<br>SCS19A、SCS20、SCS21、SCS23、SCS24                   |
|       | CNS 7143 | 熔接結構用鑄鋼件             | SCW42、SCW49、SCW56、SCW63  |
| 線材    | CNS 7145 | 結構用高強度碳鋼及<br>低合金鑄鋼鋼件 | SCC3、SCC5、SC Mn1、SC Mn2、SC Mn3、SC Mn5、<br>SC Si Mn2、SC Mn Cr2、SC Mn Cr3、SC Mn Cr4、<br>SC Mn M3、SC Cr M1、SC Cr M3、SC NCr M2   |
|       | CNS 1468 | 低碳鋼線                 | SWM-B、SWM-A、SWM-G1、SWM-G2、SWM-G3<br>SWM-G4、SWM-N   |
| 鋼棒    | CNS 3332 | 預力混凝土用鋼線及鋼<br>絞線     | SWPR1、SWPD1、SWPR2、SWPD3、SWPR7A、SWPR7B、<br>SWPR19   |
|       | CNS 560  | 鋼筋混凝土用鋼筋             | SR24、SR30、SD24、SD28、SD30、SD35、SD42、SD50  |
|       | CNS 3300 | 鋼筋混凝土用再軋鋼筋           | SRR24、SRR40、SDR24  |
| 鋼格    | CNS 9272 | 預力混凝土用鋼棒             | SBPR80/95、SBPR80/105、SBPR95/110、<br>SBPR95/120、SBPR110/125、SBPR110/130、<br>SBPD95/110、SBPD110/125、SBPD130/145  |
|       | CNS 7934 | 鋼管格                  |  |
|       | CNS 7851 | 鋼板格                  | SY24、SY30、SY40   |
| 鏈條    | CNS 5083 | H型鋼格                 |  |
|       | CNS 3291 | 鏈條用鋼棒                | SBC300(SBC31)、SBC490(SBC50)、SBC690(SBC70)  |

註：( )中所標示之符號係舊符號

## 2.3 容許應力

### 2.3.1 概要

鋼鐵材料之容許應力，除考量材料特性外，尚應考量下列各因素後決定之。

- 設計理論與實際結構之不同。
- 結構物施工期間與完工後載重條件之不同。
- 有發生疲勞與腐蝕現象之材料其歷年變化。
- 設計載重與實際載重之不同。
- 發生破壞時之狀況。
- 結構物之重要性。
- 維護、修護及補強之難易。
- 對無法預料載重之安全性。

鋼筋混凝土用鋼筋之容許應力，請參考本篇第三章 3.7.4節 [鋼筋容許應力]。

### 2.3.2 結構用鋼鐵材料

結構用鋼鐵材料之容許應力如表 2-3.1所示。

港灣結構物一般很少以結構用鋼鐵材料為主要構件，然若使用結構用鋼鐵材料為主要構件，且預期可能因座屈而破壞時，則表 2-3.1規定之容許應力應予降低。

表 2-3.1 結構用鋼鐵材料容許應力

(單位:kg/cm<sup>2</sup>)

| 應力之種類 \ 鋼鐵材料種類 | SS330 | SS400<br>SM400 | SS490 | SM490 | SM490Y<br>SM520 | SS540 | SM570 |
|----------------|-------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| 拉應力(依淨斷面積計算)   | 1,200 | 1,400          | 1,600 | 1,900 | 2,100           | 2,400 | 2,700 |
| 壓應力(依總斷面積計算)   | 1,200 | 1,400          | 1,600 | 1,900 | 2,100           | 2,400 | 2,700 |
| 彎曲拉應力(依淨斷面積計算) | 1,200 | 1,400          | 1,600 | 1,900 | 2,100           | 2,400 | 2,700 |
| 彎曲壓應力(依總斷面積計算) | 1,200 | 1,400          | 1,600 | 1,900 | 2,100           | 2,400 | 2,700 |
| 剪應力(依總斷面積計算)   | 650   | 800            | 900   | 1,100 | 1,200           | 1,300 | 1,500 |
| 支承應力(鋼板與鋼板)    | 1,700 | 2,100          | 2,400 | 2,800 | 3,100           | 3,500 | 4,000 |

### 2.3.3 鋼樁及鋼管板樁

鋼樁及鋼管樁之容許應力如表 2-3.2所示。

### 2.3.4 鋼板樁

鋼板樁之容許應力以表2-3.3所示為準，惟仍應參考表2-3.4中其他鋼鐵材料之降伏強度與容許應力而決定。

### 2.3.5 鑄鍛鋼材

凡經適當控制品質之鑄鍛鋼材，其容許應力，可參考其相當降伏強度結構用鋼材之容許應力。

### 2.3.6 焊接及接合用鋼材

焊接部位之容許應力如表 2-3.5所示。強度不同的鋼材接合時，其強度以鋼材強度較低者為準。

鉚釘之容許應力如表 2-3.6所示。

承受軸方向拉力之鉚釘，其容許應力如表 2-3.7所示。於設計應儘量避免使鉚釘承受軸方向之拉力。

鋼版樁料用鉚釘接合時，鉚釘之容許應力如表 2-3.8所示。

### 2.3.7 容許應力之提高

構件考慮承受數種載重及其他影響因素組合時，本章 2.3.2 節[結構用鋼鐵材料]～2.3.6 節[焊接及接合用鋼材]所示之容許應力值，可依表2-3.9之規定提高。

假定特別的外力時，可採用表 2-3.9以外的提高係數。例如考慮直接衝擊載重時，其提高係數可採用1.70。

表 2-3.2 鋼樁、鋼管板樁容許應力

(單位:kg/cm<sup>2</sup>)

| 應力種類 \ 鋼鐵材料種類   | SKK41, SHK41 *註<br>SHK41M, SKY41  | SKK50, SHK50M *註<br>SKY50  |
|-----------------|---|--|
| 最小降伏強度(降伏點)     | 2,400   | 3,200  |
| 軸方向拉應力(依淨斷面積計算) | 1,400   | 1,900  |
| 軸方向壓應力(依總斷面積計算) | $\frac{L}{r} \leq 20 \quad 1,400$ $20 < \frac{L}{r} < 93 \quad 1,400 - 8.4\left(\frac{L}{r} - 20\right)$ $\frac{L}{r} \geq 93 \quad \frac{12,000,000}{6,700 + (L/r)^2}$                                       | $\frac{L}{r} \leq 15 \quad 1,900$ $15 < \frac{L}{r} < 80 \quad 1,900 - 13\left(\frac{L}{r} - 15\right)$ $\frac{L}{r} \geq 80 \quad \frac{12,000,000}{5,000 + (L/r)^2}$ |
| 彎曲拉應力(依淨斷面積計算)  | 1,400   | 1,900  |
| 彎曲壓應力(依總斷面積計算)  | 1,400   | 1,900  |
| 構件承受軸向力及彎曲力矩    | (1)軸方向為拉力時<br>$\sigma_t + \sigma_{bt} \leq \sigma_{ta} \quad \text{且} \quad -\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$ (2)軸方向為壓力時<br>$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$ |  |
| 剪應力(依總斷面積計算)    | 800   | 1,100  |

註：CNS無制定此符號，表中所列鋼鐵材料種類係日本JIS標準所採用之符號，本國及其他國家產製之同等級產品可參考表列容許應力。  
上表各項符號說明如下：

- $L$ ：構件之有效彎曲長度(cm)  
 $r$ ：構件總斷面之迴轉半徑(cm)  
 $\sigma_t$ ：作用於斷面軸方向之拉應力(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_c$ ：作用於斷面軸方向之壓應力(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{bt}$ ：作用於斷面之彎曲力矩產生之最大拉應力(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{bc}$ ：作用於斷面之彎曲力矩產生之最大壓應力(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{ta}$ ：弱軸軸方向之容許拉應力(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{ca}$ ：弱軸軸方向之容許壓應力(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{ba}$ ：容許彎曲壓應力(kg/cm<sup>2</sup>)



表 2-3.3 鋼板樁容許應力

(單位:  $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

| 應力種類           | 鋼鐵材料種類 |       |       |
|----------------|--------|-------|-------|
|                | SY24   | SY30  | SY40  |
| 最小降伏強度(降伏點)    | 2,400  | 3,000 | 4,000 |
| 彎曲拉應力(依淨斷面積計算) | 1,400  | 1,800 | 2,400 |
| 彎曲壓應力(依總斷面積計算) | 1,400  | 1,800 | 2,400 |
| 剪應力(依總斷面積計算)   | 800    | 1,000 | 1,300 |

表 2-3.4 鋼板樁與結構用鋼鐵材料之容許應力之比較

| 鋼 料                             | 最小降伏強度<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 容許彎曲應力<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 容許彎曲應力/<br>最小降伏強度 | 容許剪應力<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | (容許剪應力)/<br>最小降伏強度 |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|
| SS400<br>( $16 < t \leq 40$ 時)  | 2,400                                 | 1,400                                 | 0.58              | 800                                  | 0.33               |
| SM400<br>( $16 < t \leq 40$ 時)  | 2,400                                 | 1,400                                 | 0.58              | 800                                  | 0.33               |
| SS490<br>( $16 < t \leq 40$ 時)  | 2,800                                 | 1,800                                 | 0.57              | 900                                  | 0.32               |
| SM490<br>( $16 < t \leq 40$ 時)  | 3,200                                 | 1,900                                 | 0.59              | 1,100                                | 0.34               |
| SM490Y<br>( $16 < t \leq 40$ 時) | 3,600                                 | 2,100                                 | 0.58              | 1,200                                | 0.33               |
| SM520<br>( $16 < t \leq 40$ 時)  | 3,600                                 | 2,100                                 | 0.58              | 1,200                                | 0.33               |
| SY30                            | 3,000                                 | 1,800                                 | 0.60              | 1,000                                | 0.33               |
| SY40                            | 4,000                                 | 2,400                                 | 0.60              | 1,300                                | 0.33               |

註:  $t$ :厚度(mm)

表 2-3.5 焊接部位容許應力

(單位:kg/cm<sup>2</sup>)

| 焊接之種類    |          | 應力之種類        | SS400<br>SM400 | SM490 | SM490Y<br>SM520 |
|----------|----------|--------------|----------------|-------|-----------------|
| 工廠<br>焊接 | 對焊       | 壓應力          | 1,400          | 1,900 | 2,100           |
|          |          | 拉應力          | 1,400          | 1,900 | 2,100           |
|          |          | 剪應力          | 800            | 1,100 | 1,200           |
|          | 角隅<br>焊接 | 剪應力          | 800            | 1,100 | 1,200           |
| 現場焊接*    |          | 按上述數值之80%計算之 |                |       |                 |

\*註：考慮港灣工程因工作場地欠佳，且易受浪花影響等因素，故現場焊接的容許應力以工廠焊接的80%計。但作業可靠性很高時，則可依實際情況加以認定。

表 2-3.6 鉚釘容許應力

(單位:kg/cm<sup>2</sup>)

| 接合鋼材之鋼種 |       | SS400<br>SM400 | SM490<br>SM490Y<br>SM520 |
|---------|-------|----------------|--------------------------|
| 鉚釘材料    |       |                |                          |
| 應力之種類   |       | SV34,SV41      | SV41                     |
| 鉚釘      | 剪應力   | 1,100          | 1,500                    |
|         | 支承壓應力 | 2,400          | 3,200                    |
| 工廠製鉚釘   | 剪應力   | 900            | 1,200                    |
|         | 支承壓應力 | 1,900          | 2,600                    |



表 2-3.7 鉚釘容許拉應力  
(單位:kg/cm<sup>2</sup>)

| 鉚釘材料<br>鉚釘 | SV34 | SV41 |
|------------|------|------|
| 工廠製鉚釘      | 550  | 700  |
| 現場製鉚釘      | 490  | 630  |

表 2-3.8 鋼板樁以鉚釘接合時鉚釘之容許應力  
(單位:kg/cm<sup>2</sup>)

| 鉚釘    | 鋼板樁<br>鉚釘料<br>應力之種類 | SY30  | SY40  |
|-------|---------------------|-------|-------|
|       |                     | SV41  | SV41  |
| 工廠製鉚釘 | 剪應力                 | 1,500 | 1,500 |
|       | 支承壓應力               | 3,000 | 3,200 |
| 現場製鉚釘 | 剪應力                 | 1,200 | 1,200 |
|       | 支承壓應力               | 2,400 | 2,600 |

表 2-3.9 容許應力之提高係數

| 載重及外力之組合    | 提高係數 |
|-------------|------|
| 考慮溫度變化影響    | 1.15 |
| 考慮地震影響      | 1.50 |
| 考慮溫度變化及地震影響 | 1.65 |

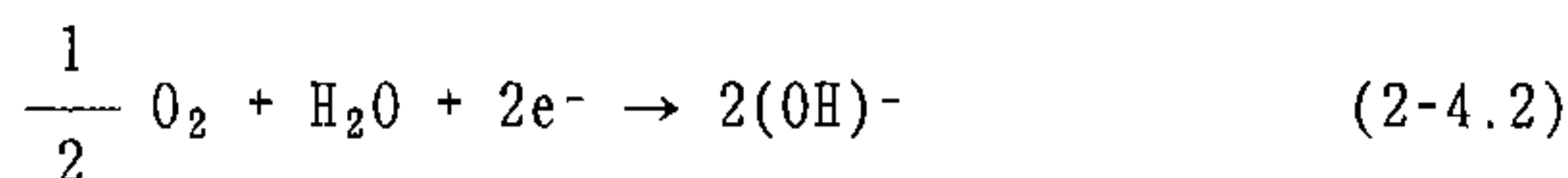
## 2.4 防蝕

### 2.4.1 概要

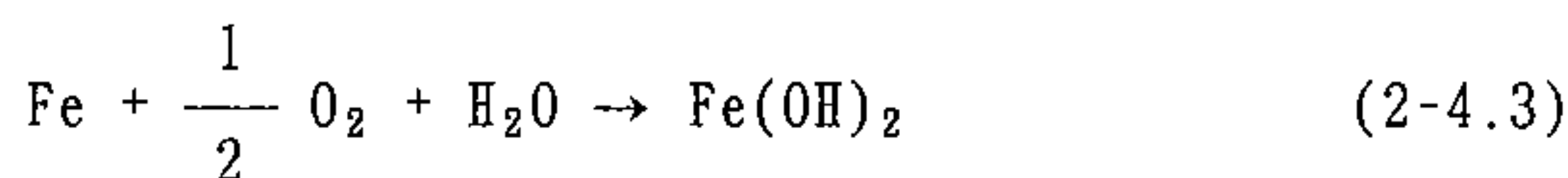
由於港灣結構物所處之環境，其對鋼材之鏽蝕條件，一般均較為嚴重，故於設計時，對鋼材之鏽蝕及防蝕應予注意，特別是平均低潮位下方之局部集中鏽蝕，更應特別注意。

### 2.4.2 鏽蝕現象

1. 鋼材因其周圍環境的作用而鏽蝕，於海岸地區PH值大致為中性的環境裡，水和氧氣為鋼材鏽蝕之重要角色。鋼材浸於中性的水溶液中，從其表面的陽極與陰極即產生無數的鏽蝕電子，而鏽蝕電子的陽極與陰極之反應作用如(2-4.1)式與(2-4.2)式所示。



(2-4.1)式係鋼材鏽蝕溶解之陽極作用，(2-4.2)式之氧化還原則稱為鏽蝕之陰極作用，而鋼材之鏽蝕作用則如(2-4.3)式所示，(2-4.3)式之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 則沉澱於鋼材表面上，即俗稱之鐵鏽。



2. 鋼材於海水中其深度方向的鏽蝕分佈示意如圖 2-4.1所示。於浪花作用而氧氣供應充足的飛沫帶鏽蝕最為嚴重，其中高潮位上方附近的鏽蝕速度最快。如圖 2-4.1所示在潮間帶正下方的鏽蝕速度亦很大，此部份的鏽蝕速度，依鋼材所處的環境條件或斷面形狀等有很大之差異，鏽蝕顯著時甚至超過飛沫帶之鏽蝕速度，故須加以注意。此種顯著的局部鏽蝕稱為集中鏽蝕。

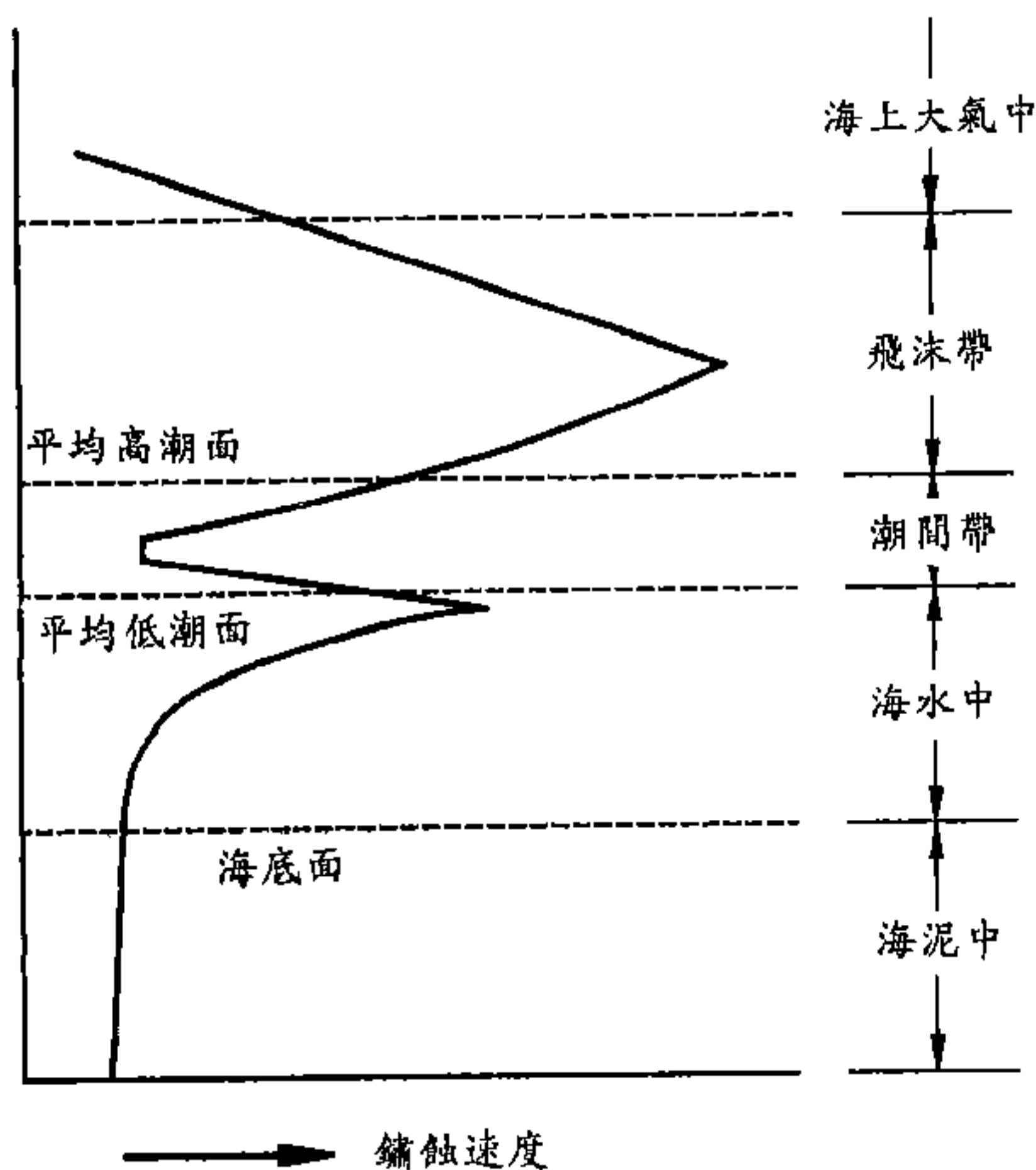


圖 2-4.1 深度方向鏽蝕分佈示意圖

### 2.4.3 鋼材鏽蝕速度

鋼材鏽蝕速度，因環境、氣海象條件而異，參考過去鋼結構物調查結果，鋼材之鏽蝕速度可參考表 2-4.1 所示之值，表中之值僅為一平均值，依鋼材之使用條件，常有超過此值者，故決定鋼材之鏽蝕速度時，應儘可能參考類似條件下鏽蝕調查結果。表 2-4.1 之值是單面之鏽蝕速度，使用時須考慮鋼材之雙面狀況，估算鏽蝕速度。鋼材依環境條件，在平均低潮位下方，可能產生集中鏽蝕。集中鏽蝕之鏽蝕速度，表 2-4.1 之值不能適用，而集中鏽蝕處以外之鋼材表面鏽蝕速度則可依表 2-4.1 之值估算之。

### 2.4.4 防蝕方法

#### 1. 概要

- (1) 海岸地區適用之防蝕工法以採用陰極防蝕工法與塗覆裝工法為主，亦可採用鏽蝕餘裕法。陰極防蝕工法依電流類型可分為犧牲陽極與外部電源法。而塗覆裝工法則有許多種工法。

表 2-4.1 鋼材單面鏽蝕速度

| 鋼材所處之位置  |                         | 鏽蝕速度(mm/年) |
|----------|-------------------------|------------|
| 海側       | 朔望平均高潮位 以上              | 0.3        |
|          | 朔望平均高潮位～<br>朔望平均低潮位下一公尺 | 0.1～0.3    |
|          | 朔望平均低潮位下一公尺～海底          | 0.1～0.2    |
|          | 海底泥層中                   | 0.03       |
| 陸側<br>土中 | 陸上大氣中                   | 0.1        |
|          | 殘留水位以上之土中               | 0.03       |
|          | 殘留水位以下之土中               | 0.02       |

- (2)防蝕工法之選擇應就結構物之狀況、環境條件、防蝕工法所需之耐用年限、施工性及經濟性等加以考慮，而選擇可靠性高之工法。
- (3)在潮間帶上以塗覆裝工法，海中部位及海底土中部位以陰極防蝕方法最為適用並最具實績，且其可靠性亦經證實。然在海中部位亦採用塗覆裝工法時，則須注意塗覆裝材料之耐久性，同時在施工時對漂流物之撞擊等更須加以注意，因此塗覆裝工法之應用於海上部位與海中部位，在設計時對塗覆裝材料之惡化或損壞等須寬加估計。而塗覆裝部位之惡化及損壞部份則可以陰極防蝕工法予以彌補之。鏽蝕餘裕法在海中部位及潮間帶，原則上均不採用，然在各該地區之實績及環境條件等證明無顯著之集中鏽蝕時，則可採用之。

- (4)在背填土中之鋼材，如鋼版樁等，因較海側之鏽蝕速度為小，一般可不加以防蝕。惟背填土有很強之鏽蝕性廢棄物時，於設計時應予注意，並尋求適當之解決對策。
- (5)鋼材鏽蝕受環境條件之影響，其影響所及無法作定量估算，而防蝕工法之效果及耐久性又受環境及外力影響，因此對鋼材及防蝕材料須作定期檢查，若發現有異常情形時，須採必要之修護措施，以保持良好之防蝕狀態。

## 2.陰極防蝕工法

### (1)適用範圍

陰極防蝕工法之適用範圍，以平均低潮位以下為原則。

### (2)防蝕電位

應用陰極防蝕工法時，其參考防蝕電位如下：

- 飽和甘汞電極 -770mV
- 人工海水氯化銀電極 -780mV
- 飽和硫酸銅電極 -850mV

### (3)防蝕電流密度

防蝕電流因環境的改變會有很大之變化，故須選擇適當之值。陰極防蝕初始時之防蝕電流密度，於一般海域中其參考值如下：

- 海水中 100mA/m<sup>2</sup>
- 拋石部份 50mA/m<sup>2</sup>
- 海底土層中 20mA/m<sup>2</sup>
- 陸上土層中 10mA/m<sup>2</sup>

### (4)防蝕率

表 2-4.2示依實驗結估算之海水浸水率與防蝕率關係，海水浸水率與防蝕率依下式計算之。

$$\text{海水浸水率} = \frac{\text{試片浸水時間}}{\text{試驗時間}} \times 100(\%) \quad (2-4.4)$$

$$\text{防蝕率} = \frac{\text{不通電試片之重量減輕量} - \text{通電試片之重量減輕量}}{\text{不通電試片之重量減輕量}} \times 100(\%) \quad (2-4.5)$$

表 2-4.2 陰極防蝕工法之防蝕率

| 海水浸水率(%) | 防蝕率(%) |
|----------|--------|
| 0~40     | 40以下   |
| 41~80    | 41~60  |
| 81~99    | 61~90  |
| 100      | 90以上   |

#### (5)犧牲陽極防蝕法設計程序

##### ①防蝕面積計算

鋼材位於海水中、拋石中或海底土層中，由於其防蝕電流密度不同，故應分別計算其防蝕面積。

##### ②防蝕電流計算

結構物鋼材所需防蝕電流依下式計算之。

$$\text{所需防蝕電流(A)} = \quad (2-4.6)$$

$$\text{防蝕面積(m}^2\text{)} \times \text{初始防蝕電流密度(A/m}^2\text{)}$$

##### ③陽極塊個數計算及配置

所需陽極塊個數依下式計算之。

$$\text{陽極塊個數(個)} = \frac{\text{所需防蝕電流(A)}}{\text{陽極初始電流(A/個)}} \quad (2-4.7)$$

陽極配置應考量水深或結構物型式，以均勻配置並使結構物鋼材有良好電位分佈為原則。

#### ④陽極塊使用年限估算

一般陽極塊均標示有其形狀尺寸、重量，有效電量、初始電流等。陽極塊使用年限可依下式估算之。

$$\text{陽極塊使用年限(年)} = \frac{W \cdot Q}{I} \quad (2-4.8)$$

式中  $W$ ：陽極塊淨重量(kg)

$Q$ ：有效電量(A-年/kg)

$I$ ：平均產生之電流(A)

### 3. 塗覆裝工法

#### (1) 適用工法

塗覆裝工法基本上是將鋼材之鏽蝕環境因素予以隔絕之防蝕方法。

塗覆裝工法有許多種工法，惟適用於海岸地區結構物之工法以本節所述為主。塗覆裝工法之應用範圍依工法之不同而異，有可應用於潮間帶、飛沫帶、海上大氣部位，及海中部位為主要對象者，而且有與陰極防蝕或與鏽蝕餘裕法併用者，更有僅可適用於新建結構物之工法，與亦可能適用於舊有結構物之工法。

適用於海岸地區結構物鋼材之塗覆裝工法，基本上可分為下列三大類：

- 無機物覆蓋面層
- 塗裝
- 有機物覆蓋面層

#### ①無機物覆蓋面層

無機物覆蓋面層以水泥漿覆蓋及金屬覆蓋為主。

水泥漿覆蓋法係以水泥砂漿覆蓋之總稱，有脫模板與不脫模板兩種方法，不脫模板之保護法是採用高氣密水密性及耐蝕性良好之材料製成模板，一般採用之材料為 FRP



。水泥漿之厚度，視鹽分之滲透、水泥漿中性化之惡化，並考慮漂流物等撞擊破裂等因素，一般以10~15cm者為多。  
。水泥漿覆蓋法，以往最具實績，其缺點為重量過重，鋼材可能伴隨著產生變形，且有發生覆蓋面層剝離之可能。

金屬覆蓋面層其強度、耐衝擊性及耐磨損性均佳，且維護簡便，更可與塗裝或陰極防蝕併用，其缺點為金屬覆蓋面層材料與結構物材料接續部位由於屬不同類金屬之接觸，易於從結構物原材料側發生鏽蝕。

## ②塗裝

塗裝適用於大型結構物或複雜形狀之結構物，其易於施工，膜厚很薄且用量少，耐用年限雖較短，但價格低廉。  
。塗裝的防蝕效果因塗料的種類、塗裝系統、膜厚、品質控制、環境條件等的不同而異。

一般常用之塗裝材料如下：

- 厚膜型鋅系油漆+環氧樹脂塗料
- 厚膜型鋅系油漆+焦油環氧樹脂塗料
- 加入玻璃薄片之塗料

## ③有機物覆蓋面層

有機物覆蓋的塗裝須較一般膜厚加厚2-10mm，其防蝕性、耐衝擊性及耐磨損性均甚佳，且可與陰極防蝕併用之。

一般常用之有機物覆蓋面層如下：

- 聚乙烯覆蓋面層(Polyethylene Lining)
- 樹脂膠覆蓋面層(Resin Mortar Lining)
- 玻璃纖維強化塑膠覆蓋面層

(Fiberglass Reinforce Plastic Lining)

- 厚膜無溶劑型樹脂覆蓋面層
- 水中硬化型樹脂覆蓋面層
- 其他有機物覆蓋法尚有橡膠覆蓋法及防蝕帶覆蓋法等。



## (2)工法之選定

塗覆裝工法之選定及規格制定，須考慮各種工法之特性，調查並檢討下列事項後決定之。

- 環境條件
- 防蝕範圍
- 耐用年限
- 維護管理
- 施工條件
- 工期
- 工程費
- 其他

若為已興建之結構物時，除上述事項外，另須作下列事項之調查。

- 鏽蝕量(鏽蝕程度)及舊塗裝之惡化狀況
- 原設計條件

## 4.鏽蝕餘裕法

鏽蝕餘裕法係於設計階段，決定鋼材厚度時，除應力計算所須之厚度外，另加上考慮鏽蝕之餘裕厚度。

由各該地區原建結構物之鏽蝕速度及環境條件等因素，可預測無集中鏽蝕之可能時，可採用鏽蝕餘裕法，其設計採用之鏽蝕速度可參考本章2.4節第2.4.3小節[鋼材鏽蝕速度]。

以鏽蝕餘裕法設計時，須估算鋼材之鏽蝕速度，而在發生集中鏽蝕處，鏽蝕速度很快，且變動幅度很大，故很難正確的估算鏽蝕速度，因此預測可能會發生集中鏽蝕之處，不能採用鏽蝕餘裕法。

以鏽蝕餘裕法設計之結構物，應每隔適當年數，進行鏽蝕調查，確認鏽蝕速度，若實際之鏽蝕速度大於原設計之估算值時，則須考慮併用其他防蝕方法。

## 2.4.5 鋼材之維護管理

由於海岸地區之自然環境，提供鋼材良好之鏽蝕環境，且防蝕材料的耐久性亦受環境之影響，因此在結構物使用期限內，對鋼材之鏽蝕狀況及防蝕狀況均須加以檢查，並確認是否滿足原設計時之假設狀況。

依檢查結果評估結構物的安全性，若無法維持所須之安全性時，須視鏽蝕狀況謀求改善方案，謀求改善方案時則須就鏽蝕或惡化、損害之情況、設施之重要性、利用狀況、耐用年限、環境條件、修護工法之可靠性、修護費等加以考慮。

由於鏽蝕而使鋼材的強度降低至不能達到所須之強度時，則須加以修護，其修護方法視鏽蝕程度，可採用局部修護構件之方法或修護結構系統之方法兩種。

鏽蝕修護之流程如圖 2-4.2所示，修護所採用之設計條件係以原設計條件為基準，但須考慮設施之利用狀況與周邊環境之變化等，被鏽蝕鋼材之殘餘強度依據鏽蝕調查結果之斷面性能與材料之容許應力估算，斷面性能可採用平均之鋼板厚度，但在鏽蝕面凹凸厲害時或有穿孔時，須因應實際情況估算鋼板厚度。

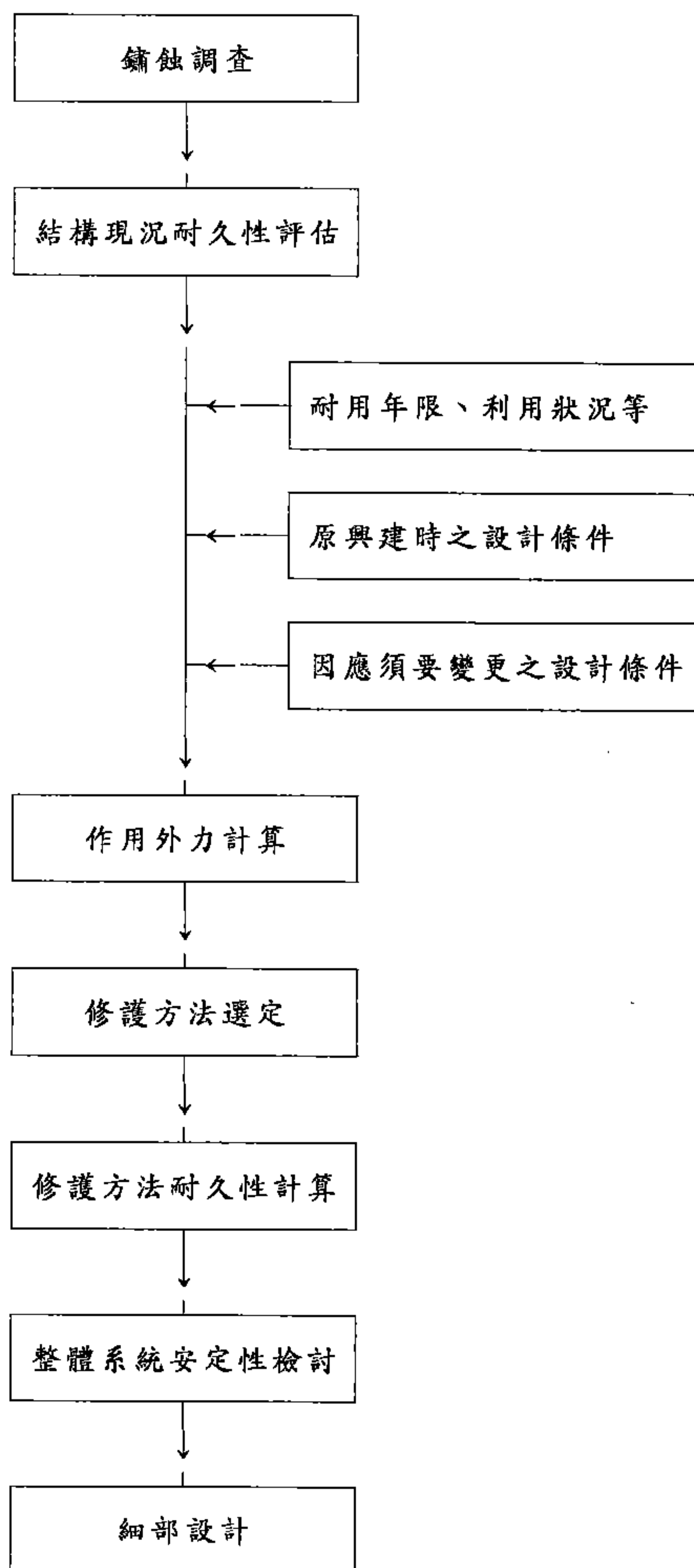


圖 2-4.2 鏽蝕修護設計流程

## 第三章 混凝土

## 第三章 混凝土

### 3.1 概要

本章為混凝土，或混凝土配以鋼筋或鋼材結構物之技術標準，作為設計與施工之參考。

### 3.2 耐久性

#### 3.2.1 概要

混凝土之耐久性係指抗氣象作用、海水化學及物理作用、波浪衝擊、漂流物衝擊磨損、鋼筋鏽蝕、骨材有害之鹼性反應及其他各種有害腐蝕作用等性質而言。

海岸地區之混凝土結構物，須承受較惡劣之氣象及海象環境作用，故於設計時須考量混凝土之耐久性。特別是易受磨損或衝擊之部份，應考量設計適當之保護面層或加大結構物斷面等。

#### 3.2.2 耐久性設計應考慮項目

為提升混凝土耐久性，於設計時應考慮之項目因結構物設置的地點、重要性、耐用年限及材料種類不同而異。有關混凝土與鋼筋混凝土，其使用之材料及品質，於細部設計時應考慮之項目如下：

##### 1. 混凝土：

- 混凝土材料須具有耐海水性者，須使用無有害反應之骨材。
- 須具有耐久性之品質(請參考本章3.4節[混凝土品質])。
- 儘可能避免施工接縫(請參考本章3.2.3節[施工接縫])。

## 2. 鋼筋混凝土：

除上述三項外，尚須考慮之項目如下：

- 避免使用有害鋼筋鏽蝕之材料。
- 須加厚鋼筋之保護層。
- 須防止結構物發生彎曲龜裂。

### 3.2.3 施工接縫

港灣結構物受損多數發生於施工接縫處，故儘可能不設施工接縫，為顧及混凝土之收縮或施工性，須設置施工接縫時，須以下述方法處理之。

- 施工接縫處混凝土表面之殘雜穢物必須清除乾淨，並考慮將接縫處作成凹凸處理。
- 舊混凝土面充分吸水後，再打設新混凝土。
- 在施工接縫處先鋪以水泥砂漿後再打設新混凝土。

### 3.2.4 保護層

鋼筋混凝土之鋼筋保護層厚度不得少於表 3-2.1 所規定之值。保護層不足時，混凝土中的鋼筋則易發生鏽蝕，此點於設計及施工時須慎加防範。

表 3-2.1 鋼筋保護層厚度

|              |      |
|--------------|------|
| 海水直接接觸部份     | 7 cm |
| 海水可能沖刷部份     |      |
| 嚴重受海風或飛沫作用部份 |      |
| 上列以外之部份      | 5 cm |

註：表中鋼筋保護層厚度係指淨間距

### 3.2.5 張力裂痕

一般港灣結構物均處於條件惡劣之環境，設計時應儘可能減小外力作用時產生之張力裂痕，以防止內部鋼筋鏽蝕，獲得足夠之耐久性。張力裂痕係受鋼筋直徑、鋼筋表面形狀、鋼筋拉應力、鋼筋保護層及鋼筋配筋方法等許多因素之支配。

鋼筋混凝土容許裂痕寬度須小於表 3-2.2所示之值，表中 C 為鋼筋保護層厚度。

表 3-2.2 鋼筋混凝土容許裂痕寬度

|              |               |
|--------------|---------------|
| 海水直接接觸部份     | 0.0035 C (cm) |
| 海水可能沖刷部份     |               |
| 嚴重受海風或飛沫作用部份 |               |
| 上列以外之部份      | 0.004 C (cm)  |

註：C為鋼筋保護層厚度

## 3.3 材料

### 3.3.1 概要

混凝土所用材料，須考量混凝土所須之強度及耐久性，以經濟容易取得為原則。

### 3.3.2 水泥

各種水泥中，卜特蘭水泥及飛灰水泥等具有良好耐海水性，這些水泥除對海水有耐久性外，尚具有長期強度會增加及水化熱量很小之優點，然另一方面具有初期強度較低之缺點，故使用這些水泥時對初期的養護須特別留意。

水泥之選定除了耐海水性良好外，尚須考慮混凝土之品質、施工時之條件、耐用年限及經濟性等。港灣結構物混凝土所用水泥，一般採用卜特蘭水泥，其以符合中國國家標準 CNS 61[卜特蘭水泥]之規定為原則，並適合規定工作之需要。

### 3.3.3 水

混凝土所用之水須清潔，無油、酸、鹼、鹽、有機物及其他對混凝土與鋼筋有害之物質，預力混凝土所用之水須不含氯離子。

拌和混凝土用水儘量避免使用海水，惟潔淨淡水取得有困難時，僅限於無鋼筋混凝土可使用海水拌和之。使用海水拌合時，水泥的凝結時間會縮短，且初期混凝土稠度有損失之趨勢，故須特別留意，必要時可摻用緩凝劑。

如用非飲用水拌合，應先製出砂漿方試體，其七天及二十八天強度不得小於以飲用水製出砂漿方試體者之百分之九十，砂漿方試體試驗法，應依中國國家標準 CNS 1010[水硬性水泥壩料抗壓強度檢驗法]試驗。

### 3.3.4 粒料

混凝土所用粒料應符合中國國家標準 CNS 1240[混凝土粒料]之規定。未能符合規定之粒料，如經特別試驗證明具足夠之強度與耐久性，得經主管機關同意後應用之。

### 3.3.5 鋼料

#### 1. 鋼筋

鋼筋混凝土結構用鋼筋，除螺筋及鋼線網外，均須為竹節鋼筋，並符合中國國家標準 CNS 560[鋼筋混凝土用鋼筋]或 CNS 3300[鋼筋混凝土用再軋鋼筋]之規格，強力鋼筋得採用信譽廠



家產品，但其品質，包括化學成份及物理性質，須經公立檢驗機關或主管機關認可之單位檢定合格。螺筋及鋼線網所用鋼線，須符合中國國家標準CNS 1468[低碳鋼線]之規格。

## 2. 預力鋼材

預力混凝土結構所用鋼線及鋼絞線，須符合中國國家標準CNS 3332[預力混凝土用鋼線及鋼絞線]之規定。

## 3. 合成鋼材

鋼筋混凝土結構之構材中，如埋築鋼材成為合成構材，其所用鋼材須符合中國國家標準CNS 2473[一般結構用軋鋼料]或CNS 2947[熔接結構用軋鋼料]之規定。

### 3.3.6 摻料

混凝土中加用摻料，須確認不致影響混凝土原設計成份及配比，含有氯離子之摻料，不得用於預力混凝土。

各種輸氣、減水、緩凝、速凝…等之摻料及其混合劑，須由原製造廠商提供其應用及效能資料，並經試驗證明確有所提供效能，且無害於原混凝土，始得應用。

### 3.3.7 氯化物含量規定

混凝土材料中含有氯化物時，有鋼筋早期腐蝕及降低混凝土品質之慮，設計者應視狀況，必要時應限制混凝土中氯化物含量。

## 3.4 混凝土品質

### 3.4.1 概要

混凝土品質視結構物種類、環境條件、各部份材料斷面、須具有耐久性及適合於作業之施工性等而定。

### 3.4.2 一般原則

混凝土水灰比，視所須強度及耐久性而定。

粗骨材以不妨礙鋼筋之配筋或各結構斷面為原則，而在可能之範圍內儘量採用最大尺寸為原則。

混凝土之稠度在適合之作業範圍內，儘量採用最小坍度為原則。

混凝土施工性係指拌合混凝土輸送及灌築等之工作難易程度。混凝土之流動性及均勻性為施工性之重要因素，因其影響混凝土品質及外表美觀至巨，施工性是否優良，不僅視各項材料之品質及配比是否適當而定，且與結構物之斷面形狀大小與鋼筋之間隔是否有利於灌築及搗實之進行息息相關。

### 3.4.3 混凝土配比

混凝土之配比設計，依中國國家標準CNS 12891[混凝土配比設計準則]辦理。

### 3.4.4 混凝土施工

#### 1. 澆置前準備

拌合及輸送設備內須清潔，無碎片與雜物粘附。模版須先塗模版油，埋設物須先濕潤。鋼筋表面須清除一切有害物質，積水須先排除乾淨，已凝固混凝土表面之鬆動不實處均須清除。

#### 2. 拌合

混凝土拌合時須能使配合材料均勻混合，拌合前須傾出前次全部拌合物。工地拌合須用拌合機，按規定容量及速度轉動，全部材料裝進至少須轉動拌合一分半鐘後，始可傾出使用。預拌混凝土應符合中國國家標準CNS 3090[預拌混凝土]之規定。

### 3. 輸送

混凝土自拌合機至最後澆置地點，須採用能避免分離、間斷與損失材料之輸送方法，以維持陸續澆置不失其可塑性，輸送時間以不超過一個半小時為原則。

### 4. 澆置

混凝土須儘量輸送至最後應用位置澆置，避免因推動及流動過長而致分離，澆置時須保持適當速度，使混凝土經常保持塑性，易於流動至鋼筋間隙。

混凝土已為外物污損者，或已初凝者，均不得使用。澆置開始後，應連續不斷以至段落全部完成。澆置面除特別規定者外，均須保持水平。澆置時須用適當器械將之搗實，並能充滿鋼筋四周及模版邊角。

### 5. 養護

混凝土須在澆置後七日內保持濕潤，早強混凝土可縮短為三日。

以蒸氣或類似加速濕養之方法，減少濕養時間，加速濕養之混凝土壓力強度須至少達到設計強度，且其耐久性亦至少與不用加速濕養者相同。

炎熱氣候處須注意配比成份、施工方法、輸送、澆置及養護，防止混凝土溫度太高及水份蒸發太快。

## 3.5 水中混凝土

- 水中混凝土品質以達到本章3.4節[混凝土品質]之要求為原則。
- 水中混凝土所採用之混凝土須具有充分之強度及耐久性。
- 水中混凝土結構物原則上不設施工接縫。
- 水中施工之鋼筋混凝土保護層厚度不得小於10cm。
- 水中混凝土施工時，須採取適當之措施，以避免水中混凝土產生粒料分離現象，必要時須添加適合之摻料，以抵抗粒料分離現象。

## 3.6 預力混凝土

預力混凝土設計依中華民國內政部營建署「建築技術規則」建築構造篇第六章第七節第伍小節[預力構材]相關規定辦理。

混凝土結構物採用預力混凝土時，對鋼材之鏽蝕須加以考慮。

預力混凝土用於海岸地區時，由於預力鋼線腐蝕尚無法有效避免，故設計與施工時均應慎重為之。

## 3.7 容許應力

### 3.7.1 概要

混凝土及鋼筋混凝土容許應力，應基於混凝土設計強度  $f_c'$ ，考量結構物特性、使用目的、結構尺寸、使用材料及混凝土品質…等因素決定之。

本節所謂之容許應力(allowable stress)，係指依工作應力設計法(working stress design method, WSD)所得之材料容許值。

### 3.7.2 混凝土設計強度

混凝土設計強度  $f_c'$ ，為依中國國家標準 CNS 1230[混凝土試體在試驗室模製及養護]之規定澆置及濕養之混凝土圓柱試體，於二十八日齡期，依中國國家標準 CNS 1232[混凝土圓柱試體檢驗法]規定試驗而得之混凝土極限抗壓強度。如結構物混凝土澆置後未達二十八日齡期已需承受全部載重或最大應力，則應以該承受載重時齡期之極限抗壓強度為設計強度。

### 3.7.3 混凝土容許應力

混凝土容許應力不得超過表3-7.1中所規定之值。

### 3.7.4 鋼筋容許應力

混凝土內鋼筋所受之單位應力不得超過表3-7.2中所規定之值。

表 3-7.1 混凝土容許應力

| 說 明                                | 容許應力(kg/cm <sup>2</sup> ) |   |            |            |            |       |
|------------------------------------|---------------------------|---|------------|------------|------------|-------|
|                                    | 公 式                       | 混凝土設計強度(kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |            |       |
|                                    |                           | $f_c'=140$                                  | $f_c'=175$ | $f_c'=210$ | $f_c'=280$ |       |
| 彈性模數比                              | $n$                       | $\frac{2.04 \times 10^6}{14900\sqrt{f_c'}}$ | 12         | 10         | 9          | 8     |
| 撓曲應力： $f_c$                        |                           |   |            |            |            |       |
| 最外纖維壓應力                            | $f_{cb}$                  | $0.45f_c'$                                  | 63.0       | 78.8       | 94.5       | 126.0 |
| 最外纖維拉應力<br>(用於純混凝土基腳與牆)            | $f_{ct}$                  | $0.42\sqrt{f_c'}$                           | 4.97       | 5.56       | 6.09       | 7.03  |
| 剪應力： $v$ (用以衡量斜拉力<br>在距離支承面 $d$ 處) |                           |   |            |            |            |       |
| 樑無腹筋者                              | $v_c$                     | $0.29\sqrt{f_c'}$                           | 3.43       | 3.84       | 4.20       | 4.85  |
| 格柵無腹筋者                             | $v_c$                     | $0.32\sqrt{f_c'}$                           | 3.79       | 4.23       | 4.64       | 5.35  |
| 構材有垂直或斜向腹筋或彎<br>起腹筋與垂直肋筋併用者        | $v$                       | $1.33\sqrt{f_c'}$                           | 15.7       | 17.6       | 19.3       | 22.3  |
| 版與基腳(周邊剪力)                         | $v_c$                     | $0.53\sqrt{f_c'}$                           | 6.27       | 7.01       | 7.68       | 8.87  |
| 承壓應力： $f_c$                        |                           |   |            |            |            |       |
| 全部面積承壓                             | $f_{cp}$                  | $0.25f_c'$                                  | 35.0       | 43.8       | 52.5       | 70.0  |
| 1/3或以下局部面積承壓*                      | $f_{cp}$                  | $0.375f_c'$                                 | 52.5       | 65.6       | 78.8       | 105.0 |

\*註：承壓面積在1/3以上而非全部時，容許承壓應力可按比例計算。

資料來源：中國國家標準CNS 3035[鋼筋混凝土建築設計規範]

表 3-7.2 鋼筋混凝土中鋼筋容許應力

(kg/cm<sup>2</sup>)

| 說 明   | 硬級鋼   | 中級鋼   | 構造級鋼  |
|---|-------|-------|-------|
| 降伏強度(最小值)   | 3,520 | 2,810 | 2,320 |
| 拉應力(縱向鋼筋及肋筋)<br>一般建築物   | 1,410 | 1,410 | 1,270 |
| 壓應力   |       |       |       |
| 螺旋箍柱之豎鋼筋(最小降<br>伏強度之40%，如用特種高<br>降伏強度鋼筋則不得超過<br>2,110公斤/平方公分) | 1,410 | 1,120 | 928   |
| 橫箍柱之豎鋼筋(為螺旋箍<br>柱值之85%)                                       | 1,200 | 950   | 792   |
| 受撓構材之受壓鋼筋—註1  | —     | —     | —     |
| 螺箍之降伏強度   |       |       |       |
| 熱軋鋼筋  | 3,520 | 2,810 | —     |
| 冷拉鋼線  | 4,220 | —     | —     |

註1：在雙面鋼筋樑或版中以有效彈性模數比 $2n$ 計算受壓鋼筋之變換面積及其應力，惟此項應力不得超過鋼筋之容許拉應力。

資料來源：中國國家標準CNS 3035[鋼筋混凝土建築設計規範]



### 3.7.5 容許應力之提高

構件考慮承受數種載重及其他影響因素組合時，本章 3.7.3 節[混凝土容許應力]及 3.7.4 節[鋼筋容許應力]所示之容許應力值，可依表 3-7.3 之規定提高。

表 3-7.3 混凝土容許應力之提高係數

| 種 類   | 載重及外力之組合         | 提高係數 |
|-------|------------------|------|
| 無筋混凝土 | 考慮地震影響           | 1.33 |
| 鋼筋混凝土 | 考慮溫度變化及乾燥收縮影響    | 1.15 |
|       | 考慮地震影響           | 1.33 |
|       | 考慮地震、溫度變化及乾燥收縮影響 | 1.65 |

## 3.8 混凝土結構維護管理

為維護混凝土結構於使用年限內之功能，應依需要進行混凝土劣化狀況檢查，以供混凝土結構維護管理之需。

混凝土結構維護管理之目的，主要在掌握混凝土結構劣化之實際狀況，即依檢查結果了解變化之原因，以作為研判是否影響結構物功能、是否須進行維修或補強，及維修或補強設計之依據。依此目的常年掌握結構物狀況，設計圖說及檢查結果等資料之整理及保管均為混凝土結構維護管理之重要事項。而於設計階段即考量未來混凝土結構之易於維護管理，亦為重要事項之一。

## 第四章 石料



## 第四章 石料

### 4.1 概述

於港灣工程相關結構物，一般均須使用大量石料，因石料之選定，影響結構物安全及工程費至巨，故須充分之考慮並審慎行事。

### 4.2 拋石料

碼頭基礎所採用之拋石料，其石質須密實、堅硬，其強度與耐久性良好，不得含有風化石質及細長或扁平之石料，石料外形應力求接近立方體。火成岩如花崗石、閃綠岩(diorites)、玄武岩及斑岩(porphry)等應優先考慮使用。

### 4.3 背填料

為減低背填之土壓力時，背填料以選用內摩擦角大而比重小之石料為原則。

一般所採用之背填料，其設計參考值如表 4-3.1所示。

表 4-3.1 背填料設計參考值

| 背填料種類                | 內摩擦角<br>(度) | 單 位 體 積 重 量                   |                               | (3)<br>邊坡坡度 |
|----------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
|                      |             | 殘留水位以上<br>(t/m <sup>3</sup> ) | 殘留水位以下<br>(t/m <sup>3</sup> ) |             |
| 塊石                   |             |                               |                               |             |
| 一般塊石                 | 40          | 1.8                           | 1.0                           | 1:1.2       |
| 脆質塊石 <sup>(1)</sup>  | 35          | 1.6                           | 0.9                           | 1:1.2       |
| 砂 石 料 <sup>(2)</sup> | 30          | 1.8                           | 1.0                           | 1:2~1:3     |
| 卵 石                  | 35          | 1.8                           | 1.0                           | 1:2~1:3     |
| 爐渣 <sup>(1)</sup>    |             |                               |                               |             |
| 高爐渣                  | 35          | 1.4                           | 0.8                           | 1:1.5       |
| 轉爐渣                  | 35          | 2.0                           | 1.5                           | 1:1.5       |
| 平爐渣                  | 35          | 2.0                           | 1.5                           | 1:1.5       |

註：(1)砂岩及爐渣因質地較鬆散，故須慎重調查後始可採用。

(2)此處所謂之砂石料是沒有經過篩選之砂石料，係砂與石料各半混合之砂石料。

(3)上述之背填料在海中施工時，邊坡坡度以上表所示之值為準。一般而言背填料在波浪影響很小之處其值可酌予減小，波浪影響很大的位置，其值則須加大。

## 第四篇 基礎

# 第一章 概要

# 第一章 概要

設計港灣工程相關設施時，應充分考量結構物之重要性，及基礎地盤之地質條件，慎重選擇基礎型式。

結構物基礎地盤軟弱時，因地盤承载力不足，或過大之沉陷，可能導致結構物破壞或影響結構物功能，於此狀況，應設法降低因結構物重量產生之土壤內應力，或改良強化基礎地盤，以提高結構物之安全性。

因結構物重量所產生之土壤內應力及剪應力，可考量採用下列方法減輕之：

- 減輕結構物自身之重量
- 擴大結構物之底面積
- 採用樁基礎
- 覆土

在本篇中，應視結構物之重要性，採用不同之承载力安全係數。在此所謂結構物之重要性，應考量結構物之規模、對生命財產之影響程度，及承载力不足或沉陷對結構物功能之影響等因素研判之。

## 第二章 淺基礎承载力

## 第二章 淺基礎承載力

### 2.1 概要

所謂淺基礎，係指基礎之設置深度，小於基礎之最小寬度。淺基礎於計算垂直承載力時，可不考慮基礎之側面摩擦抵抗。

淺基礎承載力，應依基礎地盤為砂質土或黏性土，採用適宜之公式、圖表計算承載力。

### 2.2 砂質土基礎承載力

設置於砂質地層中基礎容許承載力，以下式計算之。

$$q_a = \frac{1}{F} (\beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D \cdot N_q) + \gamma_2 \cdot D \quad (2-2.1)$$

式中  $q_a$ ：容許承載力(考慮基礎水中部份所受之浮力)( $t/m^2$ )

$B$ ：基礎最小寬度(或圓形基礎直徑)( $m$ )

$D$ ：基礎設置深度( $m$ )

$\gamma_1$ ：基礎底面以下地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$\gamma_2$ ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$N_r$ 、 $N_q$ ：承載力係數(參考圖2-2.1)

$\beta$ ：基礎形狀係數(參考表2-2.1)

$F$ ：安全係數

安全係數採用之標準如下：

重要結構物：2.5以上

其他結構物：1.5以上

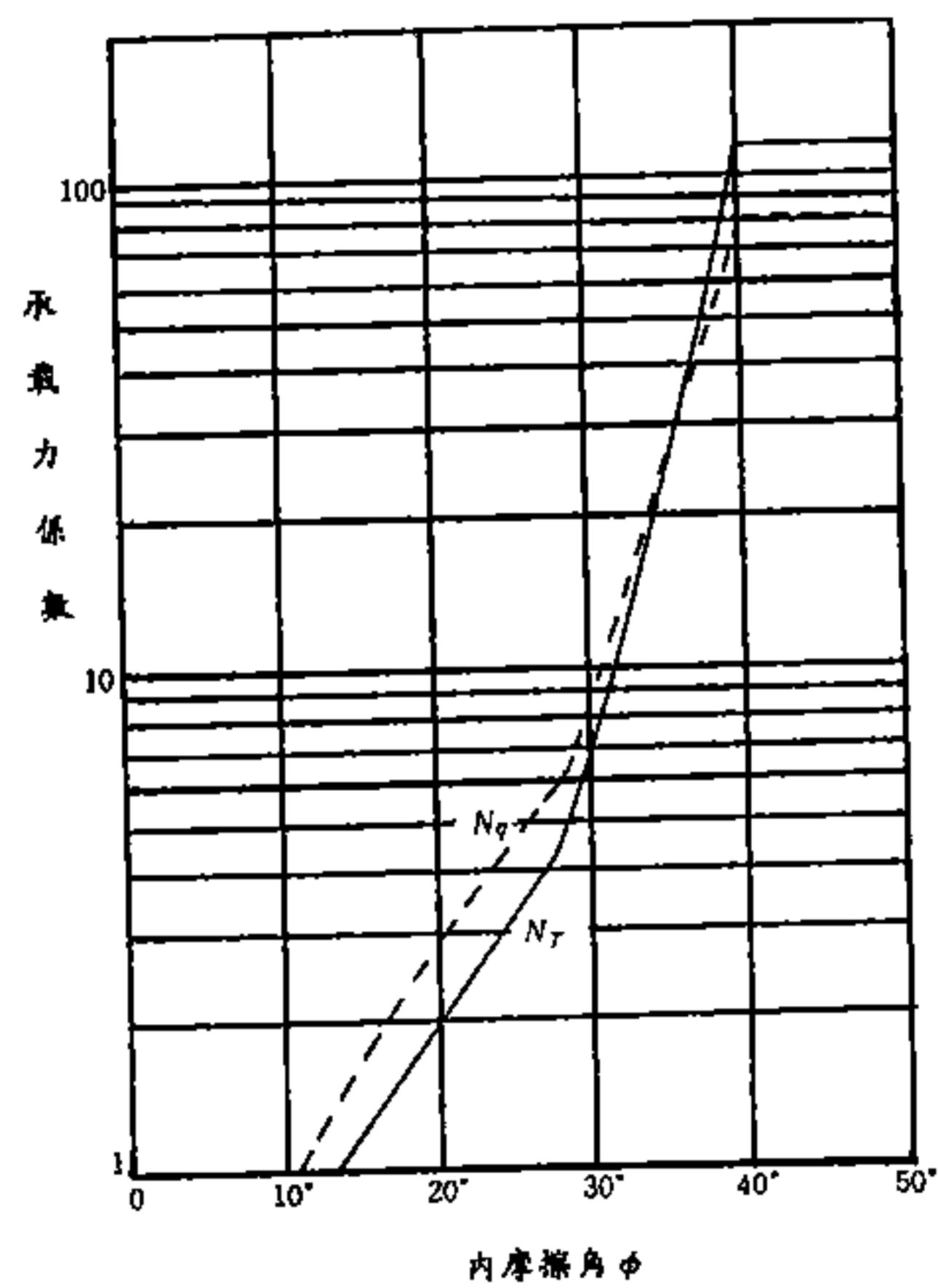


圖 2-2.1 承載力係數

表 2-2.1 基礎形狀係數

| 基礎底<br>面形狀 | 連續形 | 正方形 | 圓形  | 長 方 形 *                                |
|------------|-----|-----|-----|--|
| $\beta$ 值  | 0.5 | 0.4 | 0.3 | $0.5 - 0.1 \left( \frac{B}{L} \right)$ |

\* 註： B：長方形基礎之短邊長(m)  
L：長方形基礎之長邊長(m)



若基礎承受漸增載重，其沉陷量起初與載重幾成正比，當載重增加達某一程度時，地層土壤發生剪力破壞，沉陷量急劇增大。所謂極限承载力，即指地層土壤發生剪力破壞時，基礎底面土壤所能承受之臨界載重強度。依據 Terzaghi 氏之理論，極限承载力以下式計算之。

$$q_d = \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D \cdot N_q \quad (2-2.2)$$

式中  $q_d$ ：極限承载力( $t/m^2$ )

$B$ ：基礎最小寬度(或圓形基礎直徑)( $m$ )

$D$ ：基礎設置深度( $m$ )

$\gamma_1$ ：基礎底面以下地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$\gamma_2$ ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$N_r$ 、 $N_q$ ：承载力係數(參考圖2-2.1)

$\beta$ ：基礎形狀係數(參考表2-2.1)

Terzaghi 氏承载力理論所假設地層內之塑性平衡狀態，如圖2-2.2所示，假設滑動面僅發生於基礎底面以下部份，基礎底面以上土壤視為上載載重。

如圖 2-2.2所示，土壤地層承受載重達塑性平衡狀態時，剪力破壞擴展至地面(基礎底面)。此種剪力破壞發生在相當密實或堅硬之土壤地層，至發生塑性變形時其應變甚小，Terzaghi 氏稱之為全面性剪力破壞(General Shear Failure)。反之，若土壤疏鬆、軟弱或壓縮性大，到達圖 2-2.2所示塑性變形之前，基礎下方土壤因局部性剪力，發生大量沉陷，已有實際上之破壞現象，此種破壞稱之為局部性剪力破壞(Local Shear Failure)。圖 2-2.3係依據上述兩種剪力破壞載重試驗所得之載重強度相對沉陷量曲線示意圖。

此兩種剪力破壞之差別，須依據個別狀況研判，Terzaghi 氏建議在可能產生局部剪力破壞之狀況時，各項承载力係數計算式中之  $\tan \phi$  應

以  $\frac{2}{3} \cdot \tan \phi$  替代之。

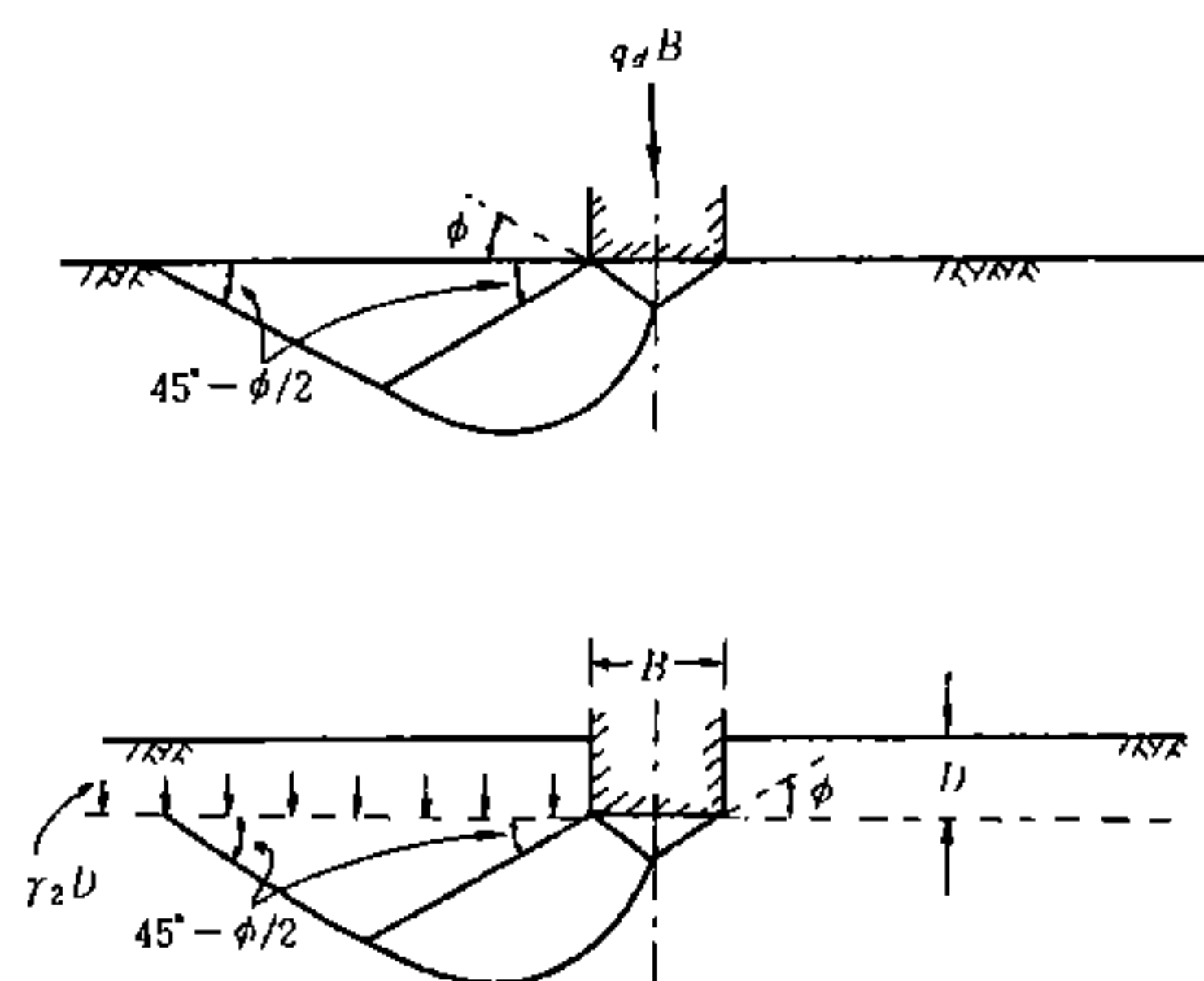


圖 2-2.2 連續基礎下面地層之塑性平衡狀態

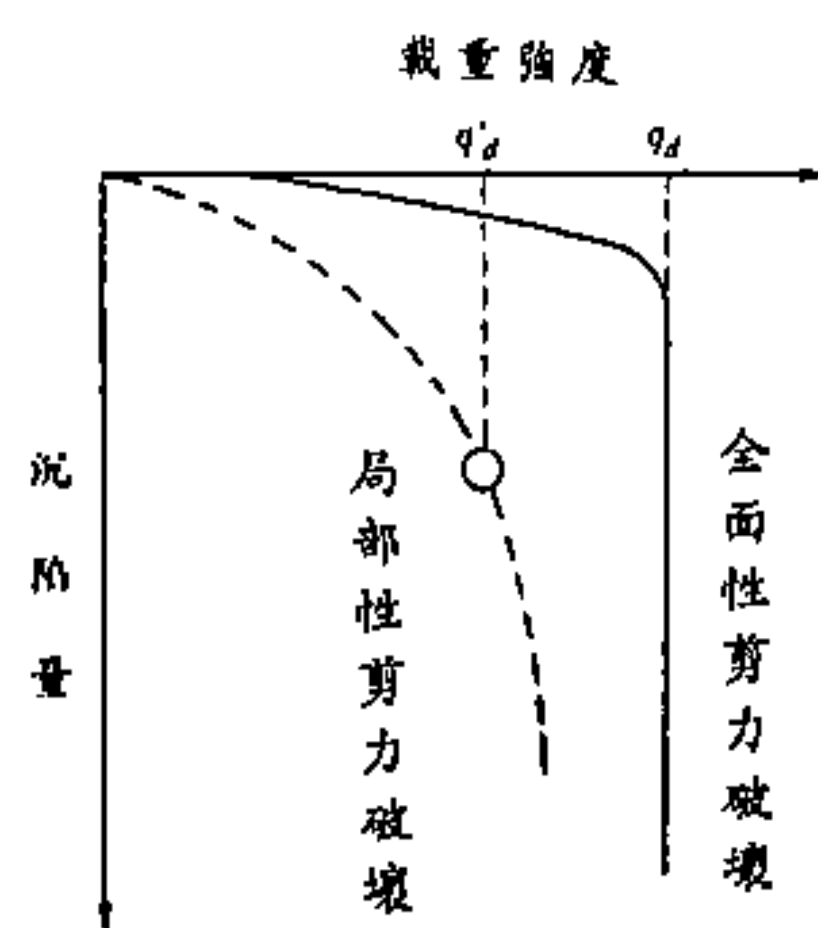


圖 2-2.3 載重強度與沉陷量關係示意圖

## 2.3 黏性土基礎承载力

設置於黏性土地層中基礎容許承载力，以下式計算之。

$$q_a = N_c \cdot \frac{C_o}{F} + \gamma_2 \cdot D \quad (2-3.1)$$

式中  $q_a$ ：容許承载力(考慮基礎水中部份所受之浮力)( $t/m^2$ )

$N_c$ ：承载力係數(參考圖2-3.1)

$C_o$ ：基礎底面土壤之凝聚力( $t/m^2$ )

$\gamma_2$ ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$D$ ：基礎設置深度(m)

$F$ ：安全係數

安全係數採用之標準如下：

重要結構物：2.5以上

其他結構物：1.5以上

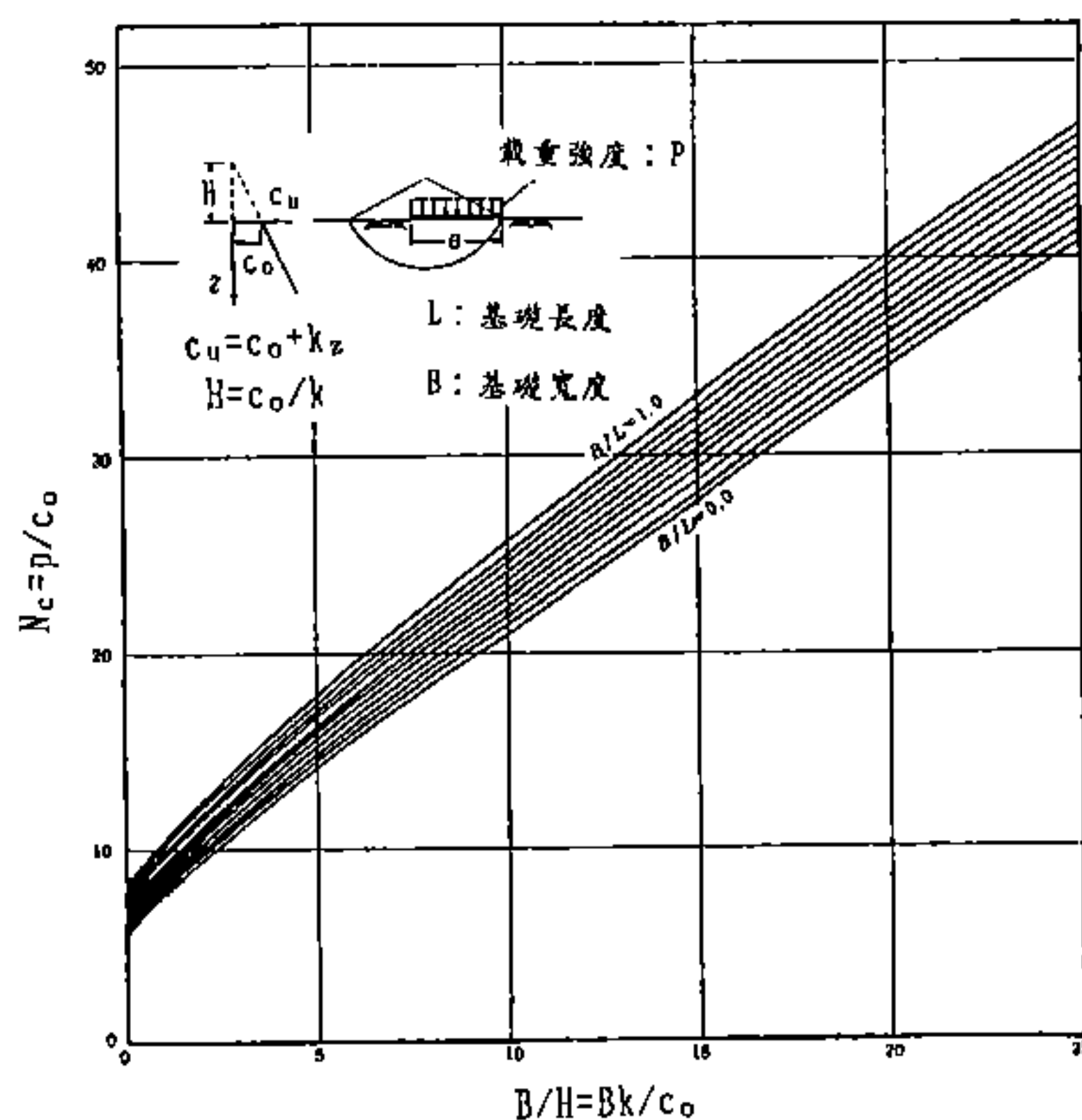


圖 2-3.1 承载力係數  $N_c$

連續基礎容許承载力，可採用下列近似式計算之。

$$\left. \begin{aligned} q_a &= \frac{1}{F}(1.84 \cdot k \cdot B + 5.52 \cdot C_o) + \gamma_2 \cdot D & H/B \geq 0.4 \\ q_a &= \frac{1}{F}(1.18 \cdot k \cdot B + 6.94 \cdot C_o) + \gamma_2 \cdot D & H/B \leq 0.4 \end{aligned} \right\} (2-3.2)$$

式中  $q_a$ ：容許承载力(考慮基礎水中部份所受之浮力)( $t/m^2$ )

$k$ ：地盤凝聚力增加係數

$C_o$ ：基礎底面土壤之凝聚力( $t/m^2$ )

$H$ ： $C_o/k$ (m)

$B$ ：基礎最小寬度(m)

$D$ ：基礎設置深度(m)

$\gamma_2$ ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$F$ ：安全係數

## 2.4 二層土壤之基礎承载力

如圖2-4.1所示，基礎最小寬度為 $B$ 之基礎底面下，厚度 $D_s$ 之砂質土層下存有黏性土層時，應依下列條件計算垂直承载力。

$D_s \geq 2B$  依上層砂質土層之承载力

$2B > D_s > 1.5B$  分別計算上層砂質土層之承载力，與考慮載重分散之下層黏性土層承载力，取其較小者為全土層承载力。

$1.5B \geq D_s$  依下層黏性土層之承载力

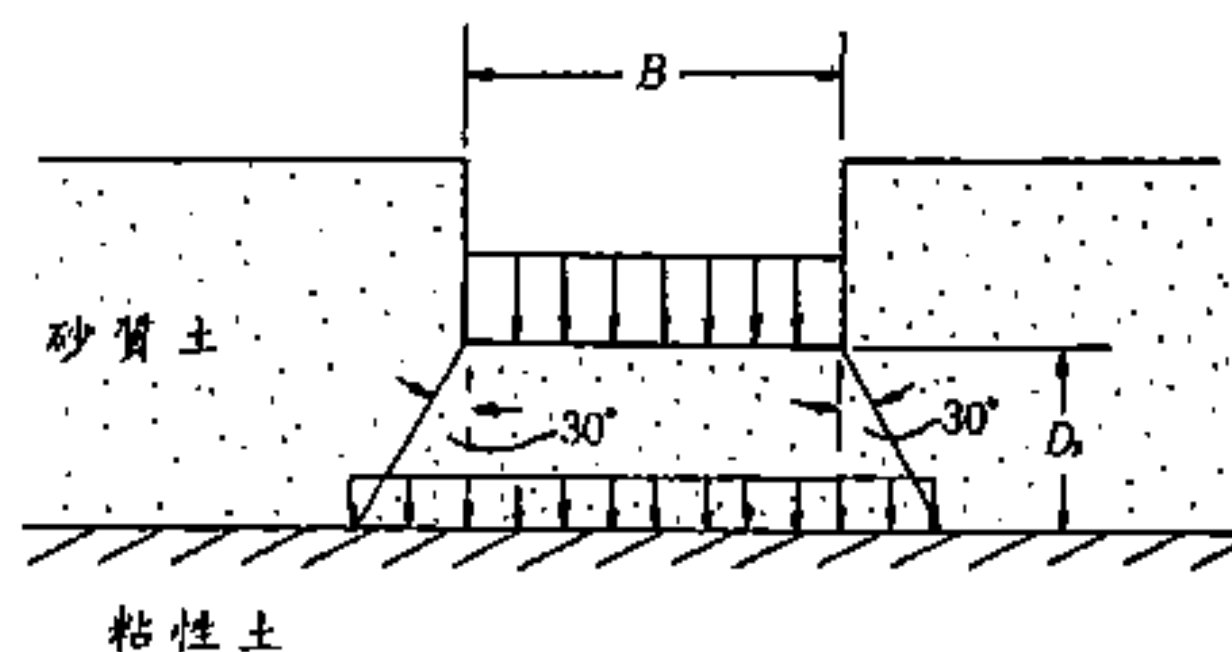


圖 2-4.1 砂質土與粘性土二層地層中之載重分佈

## 2.5 承受偏心傾斜載重之基礎承載力

### 2.5.1 概要

承受偏心傾斜載重之基礎，以採用Bishop圓弧滑動分析計算基礎承載力為原則。但對於同下述方法設計條件時，亦可採用下列具有充足設計實績之經驗法則計算基礎承載力。

- 載重分散法
- 三建法(圓弧滑動計算法)
- 片山・內田法

### 2.5.2 Bishop圓弧滑動分析法

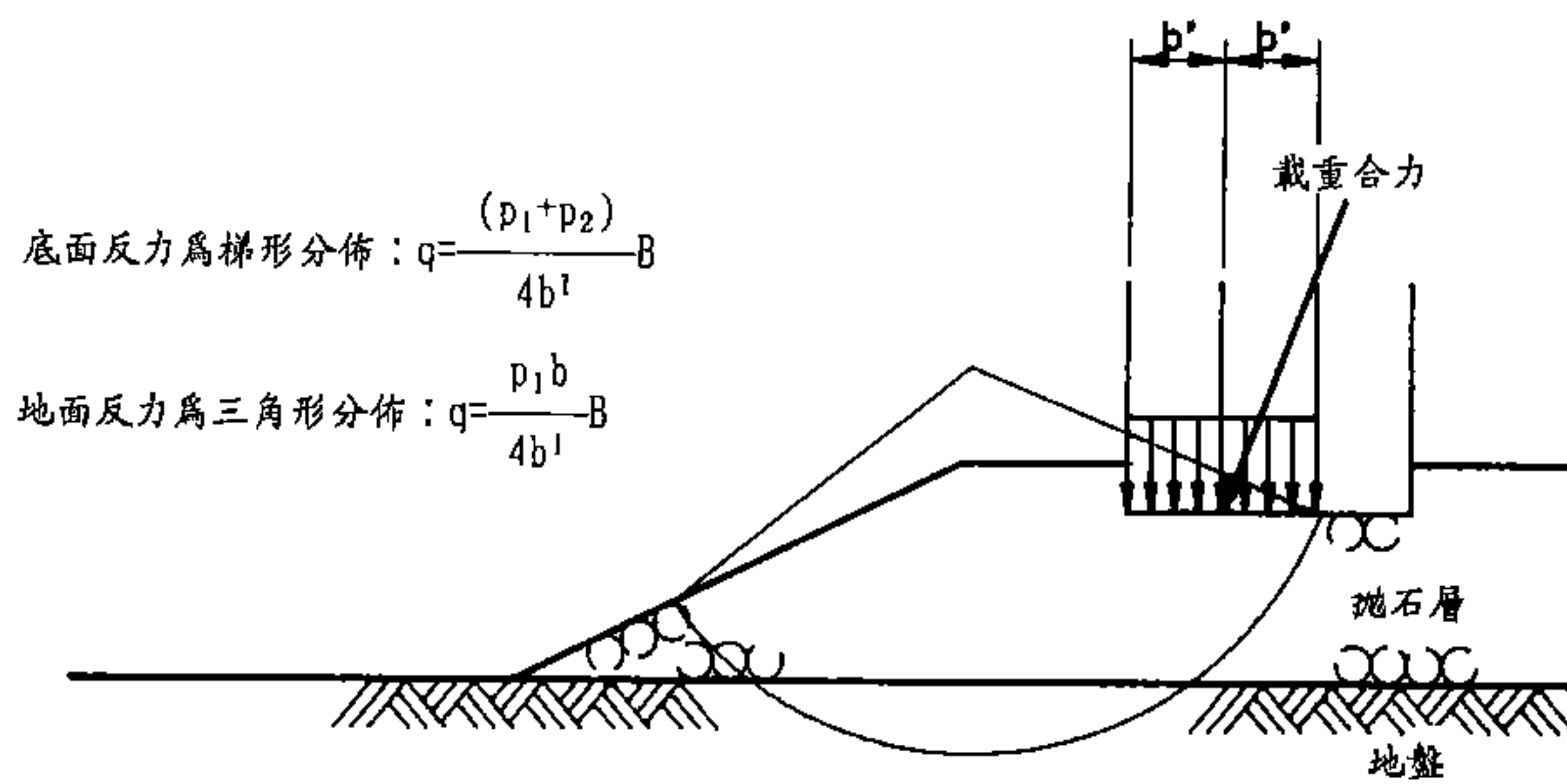
#### 1. 概要

Bishop圓弧滑動分析法，為圓弧滑動計算法中分割法之一種。一般圓弧滑動計算中所忽略之分割片間內應力，Bishop法亦加以考慮，其精度較一般圓弧滑動計算法為高。但在水平砂質地盤中，基礎僅承受垂直載重作用時，以Bishop法計算之安全係數偏大，因此Bishop法僅適用於承受偏心傾斜載重作用之基礎。在此所謂偏心傾斜載重，係指載重之傾斜率大於 0.1者。

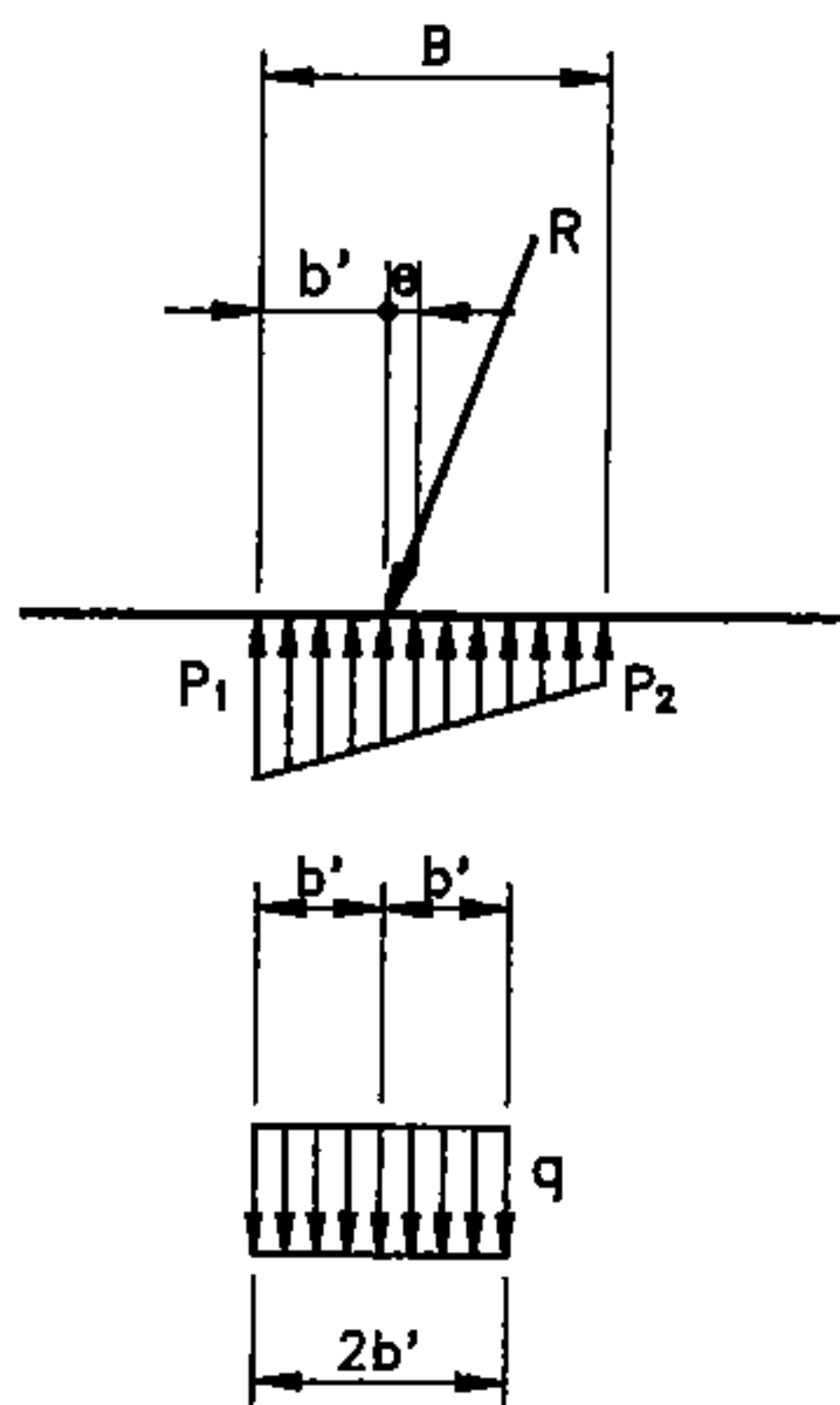
#### 2. 圓弧滑動分析

如圖 2-5.1所示，滑動面之起點為離載重著力點較近之基礎端相對稱之點，如圖2-5.1(b)(c) 所示，此時作用於基礎底面之垂直載重，可換算成基礎底面前趾與滑動面起點間之均佈載重，水平力則作用於基礎底面。

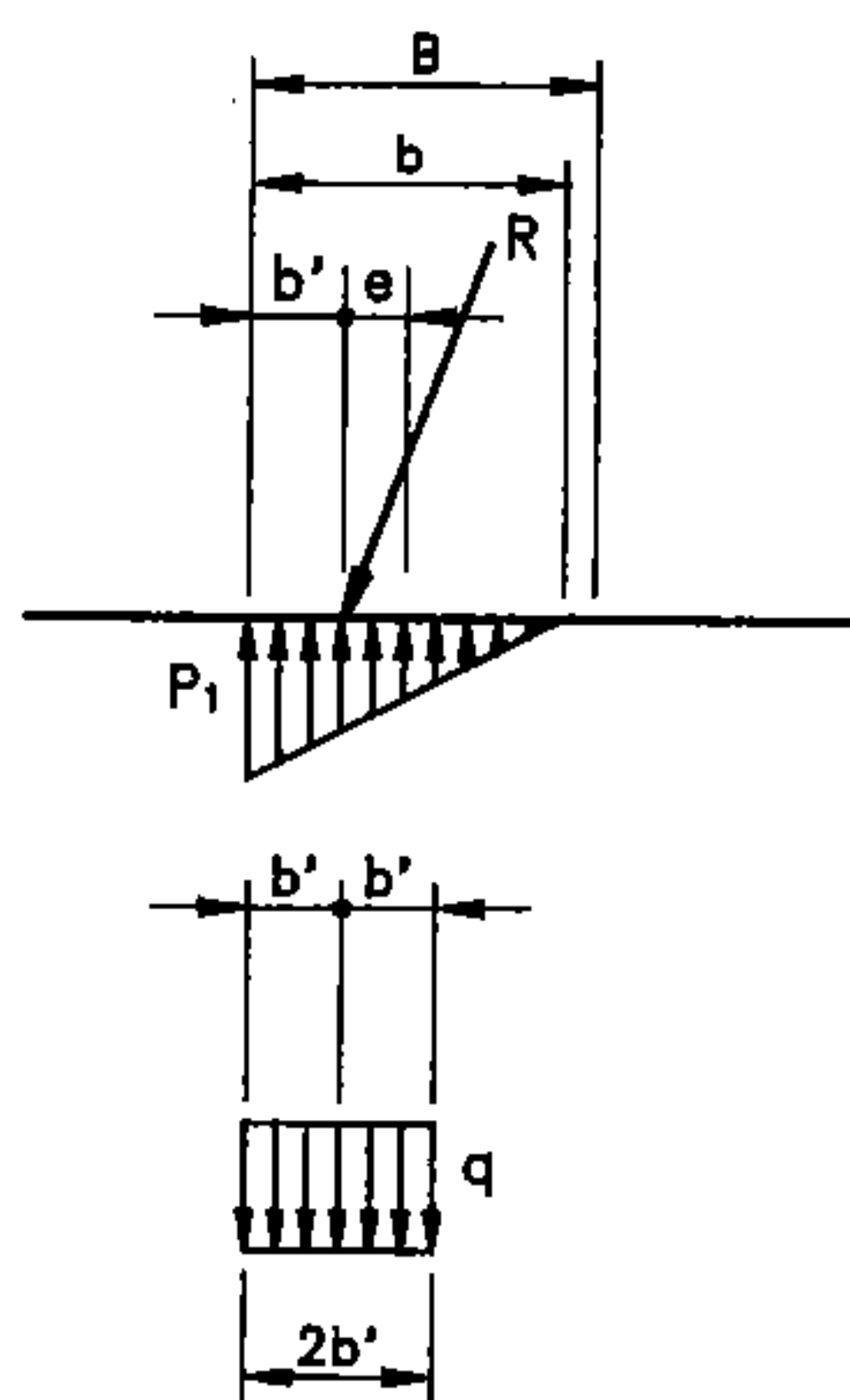
Bishop法詳細計算方法，詳本篇第六章6.2節[圓弧形滑動面]第 6.2.4小節[Bishop穩定分析法]。



(a)



(b)



(c)

圖 2-5.1 Bishop 法之載重條件示意圖

### 3. 抗剪強度

依據承受偏心傾斜載重之承载力模型試驗，及現場試驗結果，知採用由三軸壓縮試驗所求得之抗剪強度，再以Bishop法進行分析計算，可得高準確度之結果。

實際之拋石，隨石料品質及現場拋石密度，可預知其抗剪強度亦不同。因欲確實掌握現場拋石狀態非常困難，因此為正確估算拋石之抗剪強度，以進行碎石大型三軸試驗為佳，唯對一般所採用之拋石，抗剪強度可採用凝聚力  $c=2\text{t/m}^2$ ，內摩擦角  $\phi=35^\circ$  為計算標準。

決定海底地盤之抗剪強度時，以採用三軸壓縮試驗（黏性土採用單軸壓縮試驗）之結果為佳。於砂質地層中，甚少進行未擾動試樣之三軸試驗，故通常以標準貫入試驗，由N值推算內摩擦角  $\phi$ ，其估算法請參考第二篇第八章8.5.4節[N值在使用時應注意之事項]。

### 4. 安全係數

採用Bishop圓弧滑動分析法，進行承受偏心傾斜載重基礎承载力檢討時，對不同之結構物，其安全係數以表 2-5.1所示之值為準。

對一般之防波堤而言，通常不須進行地震時之承载力檢討。但對地震時，安定會有問題之防波堤，如防波堤位於深水時，建議宜以動態分析進行詳細之檢討為佳。

表 2-5.1 Bishop法之安全係數

|       | 碼 頭   | 防 波 堤 |
|-------|-------|-------|
| 常 時   | 1.2以上 | —     |
| 地震作用時 | 1.0以上 | —     |
| 波壓作用時 | —     | 1.0以上 |

## 2.5.3 經驗法則

### 1. 概要

以往港灣工程，通常將各種承载力計算法加以組合進行基礎承载力檢討。目前為止最具實績之組合，一為載重分散法與三建法之組合，二為載重分散法與片山・內田法之組合。不論何種組合均為藉調整拋石基礎及基礎地盤之強度參數，而使結構物之行爲重現。因此至目前為止無充足設計實績之結構物即不適用本節所提之經驗法則，其僅適用於相同設計條件，且具充足設計實績之結構物方能採用下述方法。

### 2. 載重分散法

#### (1) 概要

此方法為不考慮拋石基礎寬度影響之檢討方法，以往最常被採用作為二層地盤承载力之檢討方法。對具適當寬度之拋石基礎，結構物斷面寬度在 20m 上下，具充足之設計實績，但是堤體寬度小於 10m 時，其結果可能偏不安全，於設計時應予注意。

載重分散法分二階段進行檢討，第一階段檢討拋石基礎，首先求取拋石基礎上面結構物之底面反力，底面反力之最大應力  $P_1(t/m^2)$  應小於容許底面反力  $q_{ta}(t/m^2)$ ，即  $P_1 \leq q_{ta}$ ，一般容許底面反力  $q_{ta}$  採用  $40 \sim 50 t/m^2$ 。

第二階段進行基礎地盤承载力檢討，將第一階段計算之結構物底面反力，分散至海底基礎地盤上，其最大應力  $P_1'$ ，應小於本章 2.2 節 [砂質土基礎承载力] 公式 (2-2.1) 計算之地盤容許承载力  $q_a$ ，即  $P_1' \leq q_a$ ，以公式 (2-2.1) 計算  $q_a$  時，結構物寬度應採用分散後之寬度，拋石基礎寬度很大之時，基礎之設置深度，採用拋石厚度，但其他狀況則忽略設置深度之影響。基礎地盤為黏性土時，則採用本章 2.2 節 [黏性土基礎承载力] 公式 (2-3.1) 計算容許承载力  $q_a$  值，並以同上之方法檢討。



以上第一階段與第二階段之檢討，必須同時滿足。於深水中，堤體寬度很大之防波堤，沉箱底面之容許反力，亦有採用 $q_{ta}$ 為 $60t/m^2$ 之例。

## (2) 結構物底面反力

如圖2-5.2所示，結構物底面反力以下列公式計算。

• 偏心距  $e \leq 1/6 B$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \frac{V}{B} \\ P_2 &= \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \frac{V}{B} \end{aligned} \right\} \quad (2-5.1)$$

• 偏心距  $e > 1/6 B$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{2}{3} \frac{V}{\left(\frac{B}{2} - e\right)} \\ b &= 3\left(\frac{B}{2} - e\right) \end{aligned} \right\} \quad (2-5.2)$$

偏心距 $e$ ，以下式計算。

$$e = \frac{B}{2} - x \quad (2-5.3)$$

$$x = \frac{M_w - M_h}{V} \quad (2-5.4)$$

式中  $P_1$ ：結構物底面前端反力( $t/m^2$ )  
 $P_2$ ：結構物底面後端反力( $t/m^2$ )  
 $H$ ：法線方向單位長之水平合力( $t/m$ )  
 $e$ ：作用力偏心距( $m$ )  
 $V$ ：法線方向單位長之垂直合力( $t/m$ )  
 $B$ ：拋石基礎上結構物寬度( $m$ )  
 $b$ ： $e > 1/6 B$ 時，底面反力分佈寬度( $m$ )  
 $M_w$ ：垂直合力對A點之力矩( $t-m/m$ )  
 $M_h$ ：水平合力對A點之力矩( $t-m/m$ )

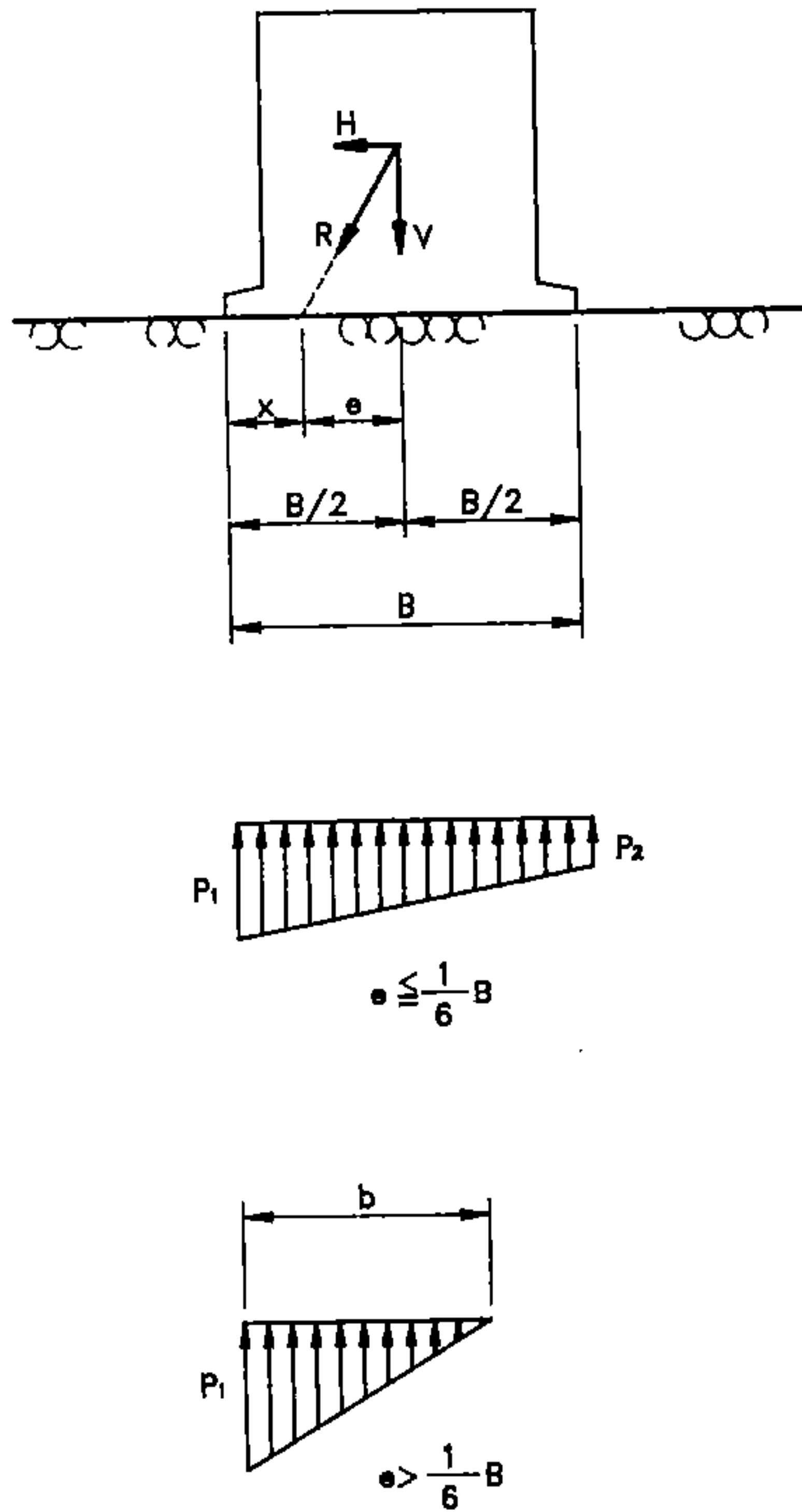


圖 2-5.2 底面反力計算示意圖

### (3) 基礎地盤載重分佈

爲求得基礎地盤上之載重分佈，如圖 2-5.3 所示，將拋石基礎上之底面反力分佈，以散播角度  $30^\circ$  分佈至基礎地盤上，此時基礎地盤上之載重分佈成梯形，其最大應力  $P_1'$  依下式計算。

$$P_1' = \frac{b}{b'} P_1 + \gamma_1' \cdot D \quad (2-5.5)$$

$$b' = b + D \{ \tan(30^\circ + \alpha) + \tan(30^\circ - \alpha) \} \quad (2-5.6)$$

式中  $R$ ：作用合力(t)

$\alpha$ ：作用合力 $R$ 之傾斜角(度)

$e$ ：作用合力 $R$ 之偏心距(m)

$\gamma_1'$ ：拋石之水中單位體積重量( $t/m^3$ )

$D$ ：拋石基礎厚度(m)

$B$ ：拋石基礎上結構物寬度(m)

$b$ ：結構物底面反力分佈寬度(m)

$b'$ ：基礎地盤上之載重分佈寬度(m)

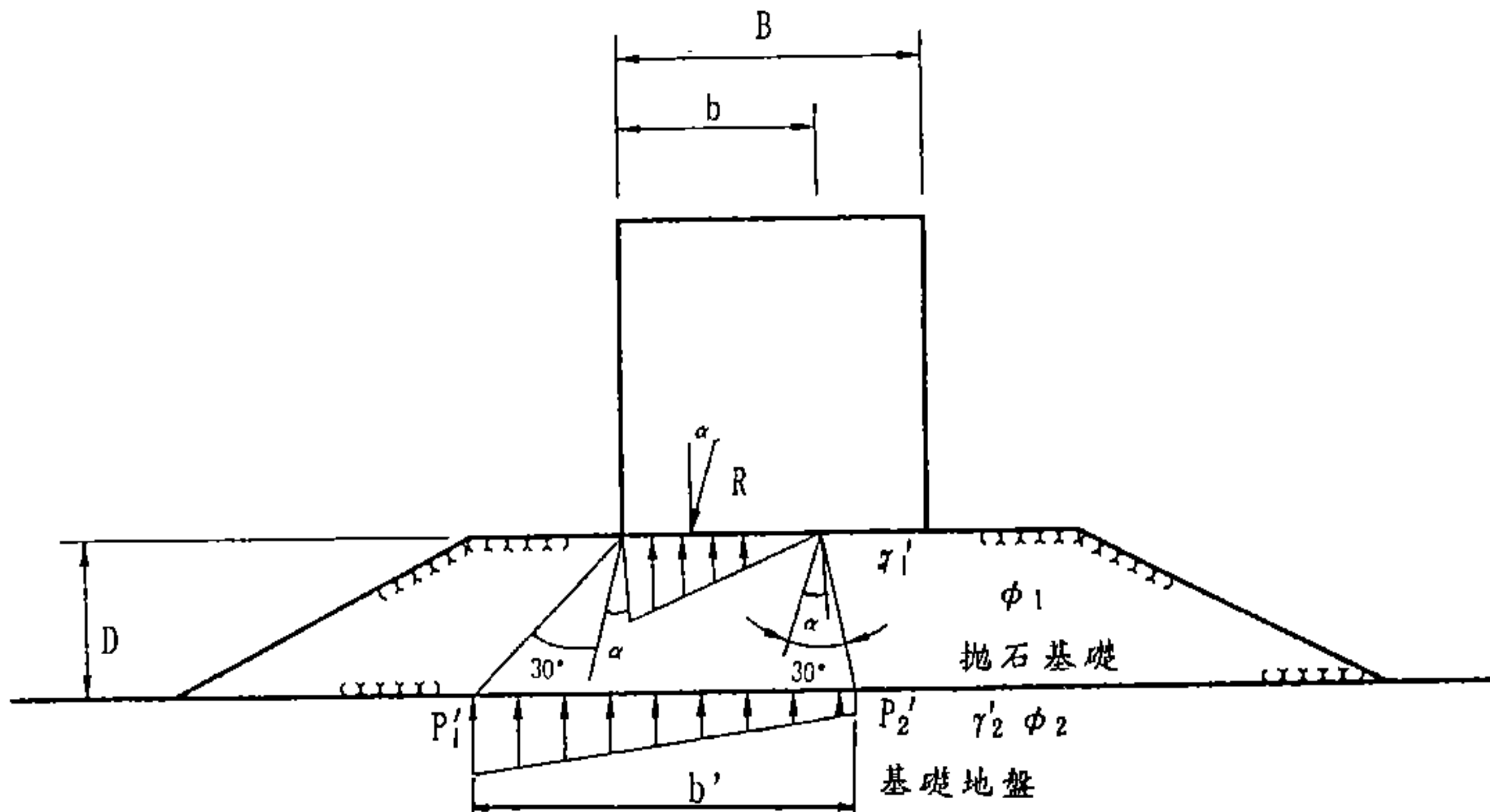
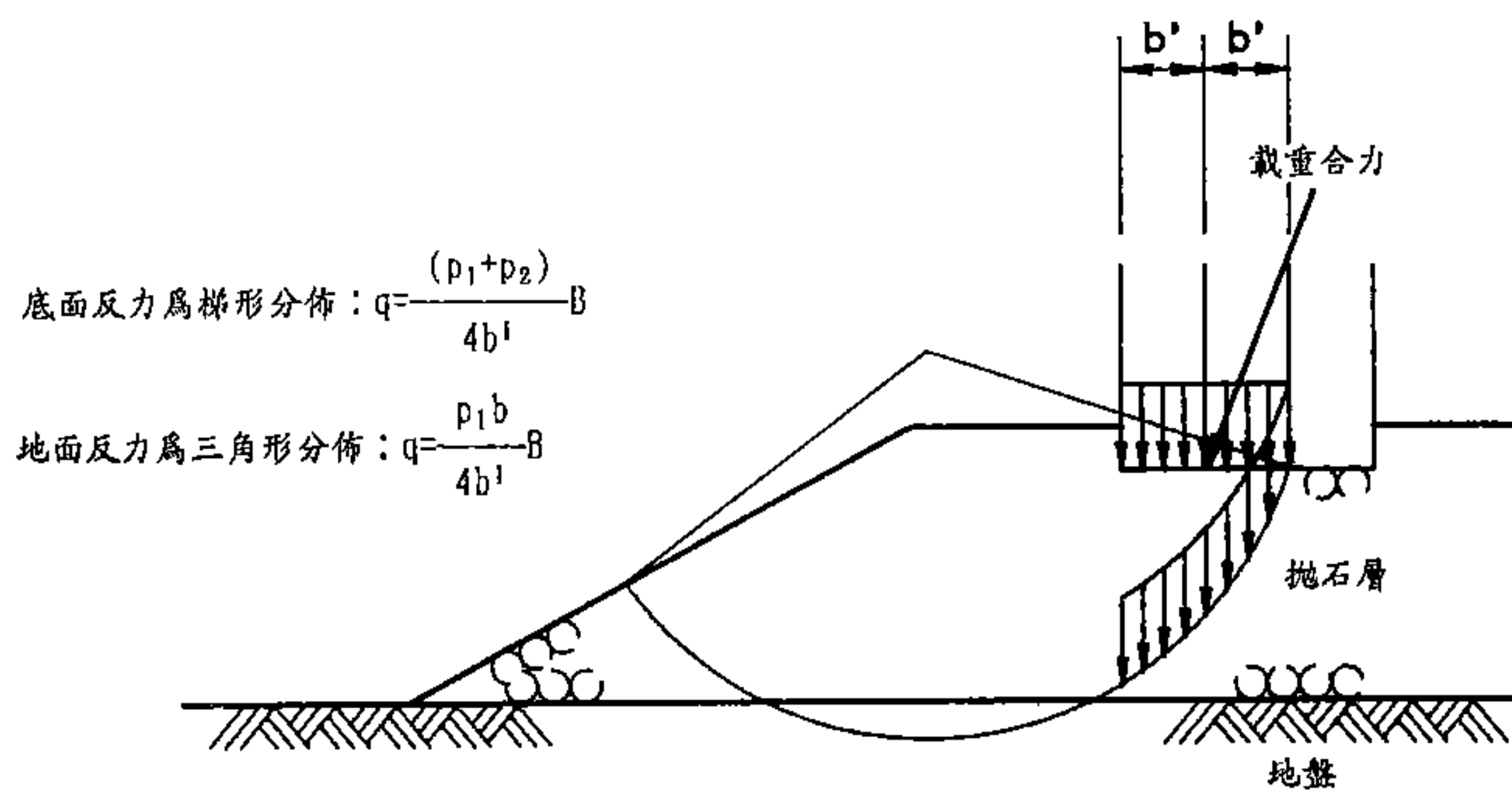


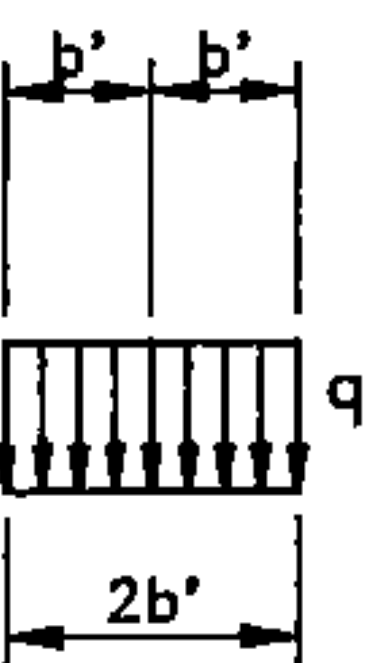
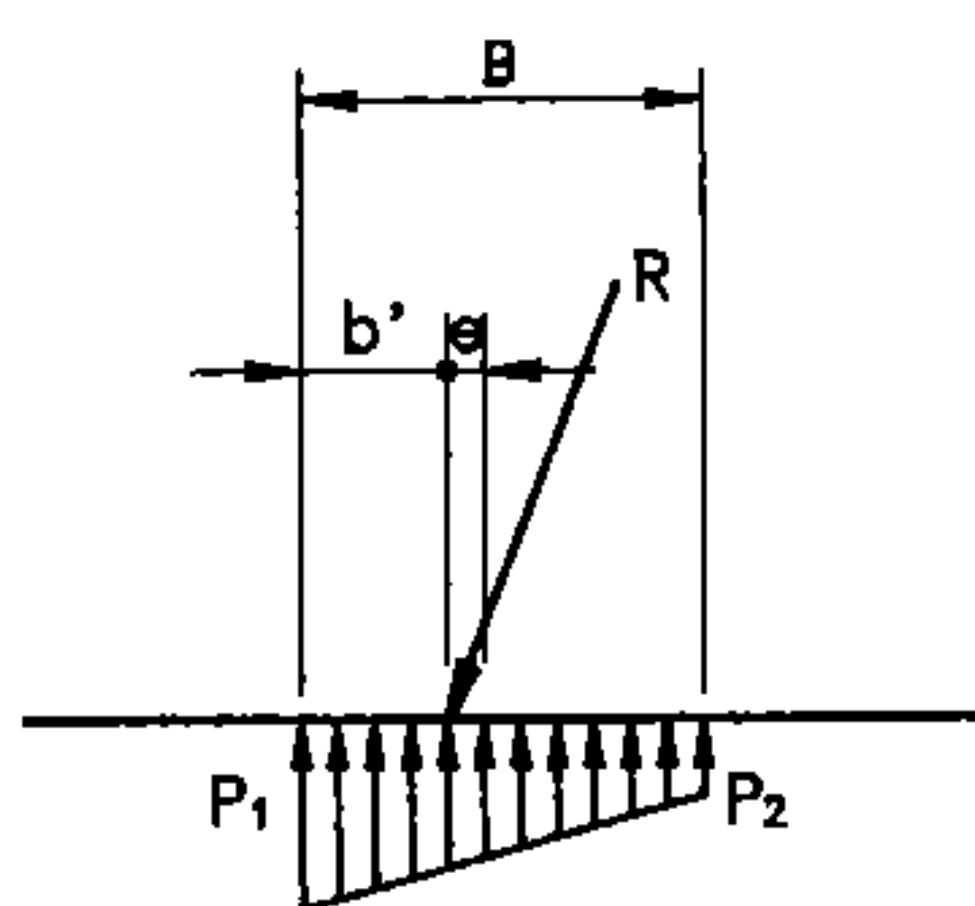
圖 2-5.3 基礎地盤載重分佈示意圖

### 3. 三建法(圓弧滑動計算法)

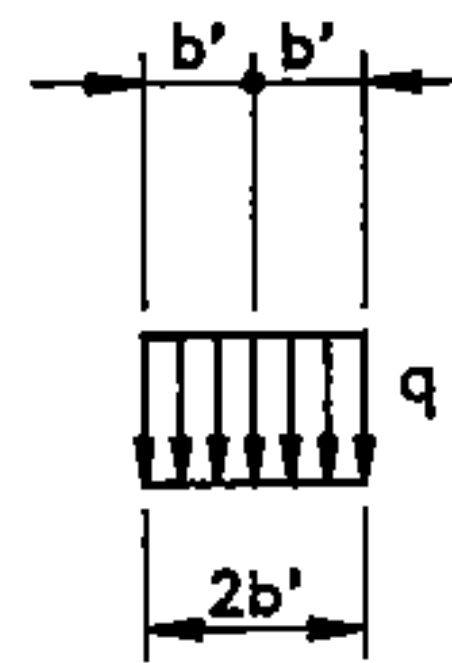
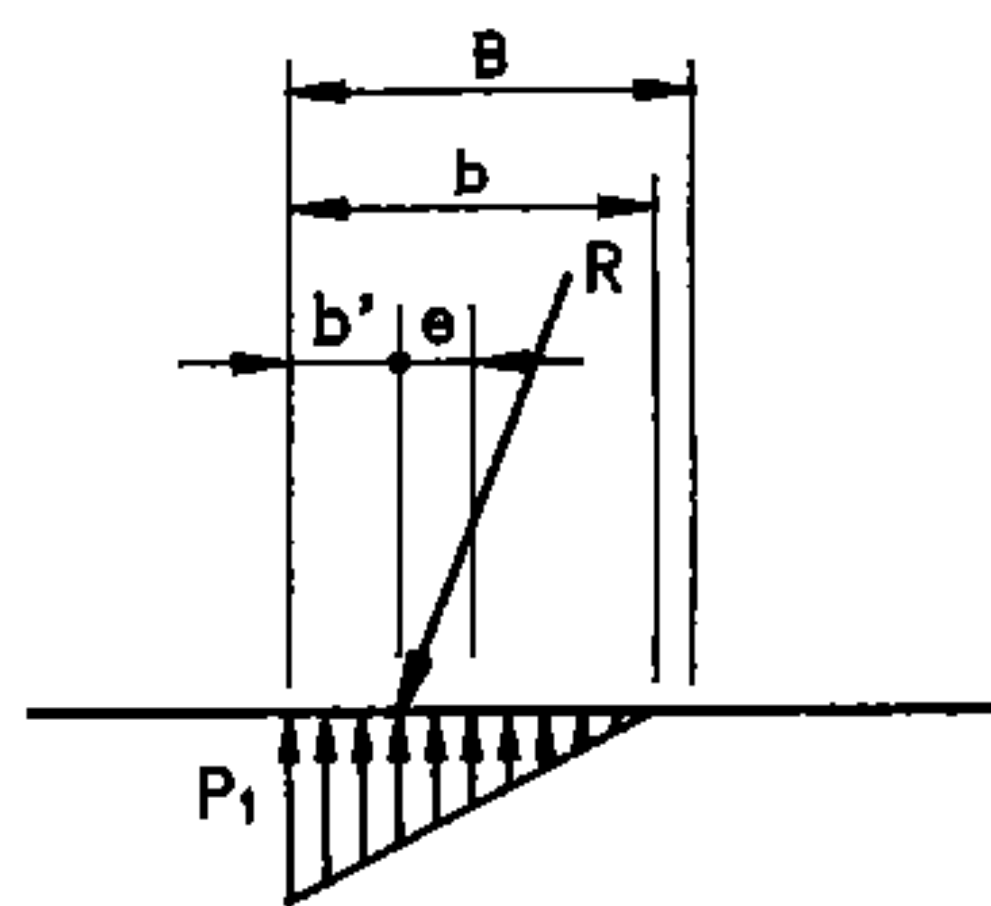
此方法為以往日本第三港灣建設局所採用之方法。三建法如圖2-5.4(a)所示，假設圓弧滑動面，並以分割法進行圓弧滑動計算，圓弧滑動計算法，詳本篇第六章6.2節[圓弧形滑動面]。



(a)



(b)



(c)

圖 2-5.4 三建法之載重條件示意圖

三建法圓弧滑動面之起點與Bishop法相同，為對稱於著力點較近端之對稱點，此時，作用於結構物底面之垂直載重如圖2-5.4(b)(c)所示，一般可將其換算為作用於底面前趾與滑動面起點間之均佈載重，此載重可考慮為垂直作用於地盤內到滑動面為止。水平力作用於結構物底面。此圓弧滑動面之起點，在上述之假設條件時，較其他以任何點為起點之圓弧有較小之安全係數，地盤之內部摩擦角 $\phi$ ，採用較一般計算土壓所使用之內部摩擦角大 $5^\circ$ 之值。安全係數在常時及波壓或地震作用時，均取1.0以上即可。

#### 4. 片山・內田法

片山・內田法，係將將摩擦圓法擴展至使用於二層地層上設置基礎之狀況，並將其作成承载力係數之計算圖表。此法適用於二層地層均為不具凝聚力之均質砂地盤，與無限長之帶狀基礎，其極限承载力以及安全係數，以下列公式計算。

$$q = \frac{1}{2} N \cdot \gamma_1 \cdot B \quad (2-5.7)$$

$$F = \frac{q}{V/B} \quad (2-5.8)$$

式中  $q$ ：極限承载力( $t/m^2$ )

$\gamma_1$ ：上層地盤之單位體積重量(水中部份為水中單位體積重量)( $t/m^3$ )

$B$ ：基礎寬度(m)

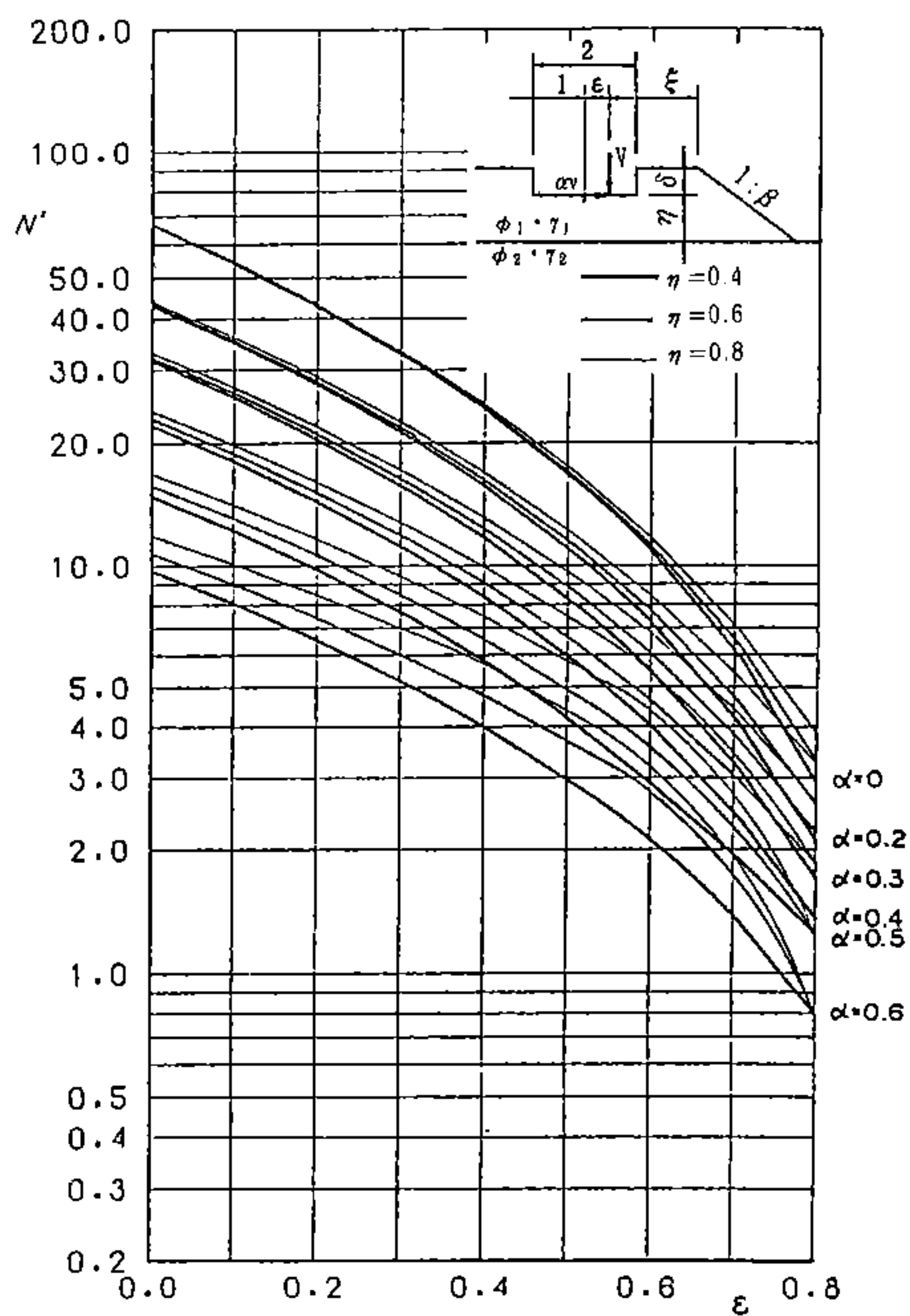
$N$ ：承载力係數(參考圖2-5.5)

$F$ ：安全係數

$V$ ：偏心傾斜載重之垂直分力( $t/m$ )

片山・內田建議採用此法時，於計算碼頭承受地震作用時，其採用之內部摩擦角應較一般土壓計算所採用之內部摩擦角大 $10^\circ$ 之值，於其他狀況採用大 $5^\circ$ 之值。安全係數在常時及地震或波壓作用時均採1.0以上即可。

承载力係數 $N$ ，可由圖2-5.5查得，採用圖表下方之近似式時，安全係數須採用1.2以上。



$\varepsilon \neq \infty, \delta \neq 0$   
 時之近似式  $N = N'(1+x)$

|                 |  |
|-----------------|--|
| $\beta = 1.5$ 時 | $x = -0.280 - 0.147\alpha - 0.0195\varepsilon - 0.324\eta + 0.0728\varepsilon + 0.669\delta$ |
| $\beta = 2.0$ 時 | $x = -0.292 - 0.120\alpha + 0.0266\varepsilon - 0.288\eta + 0.0682\varepsilon + 0.726\delta$ |

( $\phi_1 = 45^\circ, \phi_2 = 45^\circ, \xi = \infty, \delta = 0, r' = r_2/r_1 = 1$ )

圖 2-5.5 片山・内田法承载力係數計算圖

### 第三章 深基礎承載力

## 第三章 深基礎承載力

### 3.1 概要

所謂深基礎，係指基礎之設置深度，大於基礎之最小寬度。深基礎之垂直承載力，為基礎底面之垂直承載力與基礎側面之摩擦抵抗之和。

深基礎承載力，應依基礎地盤為砂質土或黏性土，採用適宜之公式、圖表計算承載力。

### 3.2 垂直承載力

#### 3.2.1 概要

深基礎之容許垂直承載力，為基礎底面之垂直承載力與基礎側面摩擦抵抗之和。

$$Q_a = Q_{a1} + \Delta Q_a \quad (3-2.1)$$

式中

$Q_a$ ：深基礎容許垂直承載力( $t/m^2$ )

$Q_{a1}$ ：基礎底面容許承載力( $t/m^2$ )，砂質土容許承載力，參考本篇第二章 2.2節[砂質土基礎承載力]；黏性土容許承載力，參考本篇第二章2.2節[黏性土基礎承載力]。

$\Delta Q_a$ ：基礎側面摩擦抵抗所致之容許承載力增量( $t/m^2$ )

#### 3.2.2 砂質土基礎側面抵抗

在砂質地層中，由基礎側面摩擦抵抗所致之容許承載力增量，可依下式計算之。



$$\Delta q_a = \frac{1}{F} \left( 1 + \frac{B}{L} \right) \frac{D^2}{B} K_a \cdot \gamma_2 \cdot \mu \quad (3-2.2)$$

式中

$\Delta q_a$ ：基礎側面摩擦抵抗所致之容許承载力增量( $t/m^2$ )

$K_a$ ：主動土壓係數( $\delta = 0^\circ$ )

$\gamma_2$ ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)( $t/m^3$ )

$D$ ：基礎設置深度(m)。

$B$ ：基礎寬度(m)。

$L$ ：基礎長度(m)。

$\mu$ ：基礎側面與砂之摩擦係數， $\mu = \tan\left(\frac{2}{3}\phi\right)$

$F$ ：安全係數

安全係數採用之標準如下：

重要結構物：2.5以上

其他結構物：1.5以上

### 3.2.3 黏性土基礎側面抵抗

於黏性土壤地層中，因基礎側面之黏著抵抗而致之容許承载力增量，可依下式計算之。

$$\Delta q_a = \frac{2}{F} \left( 1 + \frac{B}{L} \right) \frac{D_s}{D} \cdot \bar{c}_a \quad (3-2.3)$$

式中

$\Delta q_a$ ：基礎側面黏性土黏著抵抗所致之容許承载力增量( $t/m^2$ )

$D$ ：基礎設置深度(m)

$D_s$ ：基礎設置深度，僅考慮水位以下之部份(m)

$B$ ：基礎寬度(m)

$L$ ：基礎長度(m)

$\bar{c}_a$ ：平均黏著力( $t/m^2$ )(取基礎埋入部份土壤黏著力之平均值，參考表3-2.1)

$F$ ：安全係數

安全係數採用之標準如下：

重要結構物：2.5以上

其他結構物：1.5以上

表 3-2.1 黏性土平均黏著力

| 基礎側面地盤種類 | $q_u(t/m^2)$ | $\bar{c}_a(t/m^2)$ |
|----------|--------------|--------------------|
| 軟黏土      | 2.5~5.0      | 0.0(*)             |
| 中硬度黏土    | 5.0~10.0     | 0.6~1.2            |
| 硬黏土      | 10.0~20.0    | 1.2~2.5            |
| 非常硬黏土    | 20.0~40.0    | 2.5~3.0            |
| 固結性黏土    | 大於40.0       | 3.0以上              |

\* 註：軟黏土基礎不考慮側面抵抗

## 第四章 樁基礎承載力

## 第四章 樁基礎承載力

### 4.1 概要

樁基礎承載力，應依基礎地盤條件，採用適宜之公式、圖表計算承載力。

樁基礎承載力應檢討之項目如下：

- 樁之軸向容許承載力
- 樁之容許拉拔力
- 樁之橫向容許承載力

### 4.2 樁之軸向容許承載力

#### 4.2.1 概要

基樁軸向容許承載力，依單樁軸向極限承載力除以規定安全係數求得之值為標準，再綜合考量下列各項因素決定之。

- 樁材容許壓應力
- 接樁折減
- 細長比折減
- 表面負摩擦力
- 群樁效果(基樁間距大小之影響)
- 基樁沉陷量

以上所述為決定樁基礎各基樁軸向容許承載力之原則。首先求單樁之軸向極限承載力，除以安全係數得標準軸向容許承載力。其次，檢討前述各項影響基樁承載力因素，決定標準軸向容許承載力之必要折減值，由此求得樁基礎設計所應採用之樁軸向容許承載力值。

## 4.2.2 標準軸向容許承載力

單樁軸向極限承載力，以載重試驗或靜力承載公式求得時，標準軸向容許承載力，應以軸向極限承載力除以規定安全係數求得。

標準軸向容許承載力安全係數下限值，依表 4-2.1所示之值為準。

表 4-2.1所示之安全係數下限值，對大多數港灣結構物而言，應足以確保其安全，但對特別重要及影響生命安全之結構物，應取較大之安全係數。如慎重實施地質調查及載重試驗，並經土壤基礎工程學專家研判基樁與附近已完成同類結構物實際觀測結果甚符合時，可採較低安全係數。但在任何狀況下，安全係數常時不得小於2.0，地震時不得小於1.5。

表 4-2.1 標準軸向容許承載力安全係數

| 常 時 |     | 2.5以上 |
|-----|-----|-------|
| 地震時 | 支承樁 | 1.5以上 |
|     | 摩擦樁 | 2.0以上 |

## 4.2.3 單樁軸向極限承載力

單樁軸向極限承載力，以載重試驗求得為原則。但實施載重試驗有困難時，可依靜力承載公式推算之。

## 4.2.4 依載重試驗推算軸向極限承載力

由載重與沉陷曲線，若可確認極限載重時，則以此值作為軸向極限承載力；若無法確認極限載重時，則以降伏載重之 1.2倍作為軸向極限承載力。

基樁載重試驗，由於係以單樁試驗，且載重時間甚短，與實際條件有異，於設計時應加注意。

基樁打入粘性土壤地層，周圍土壤受擾動，其強度將暫時性減弱，因之，打入粘性土壤地層之基樁，應待2週至4週後再實施載重試驗。

#### 4.2.5 依靜力承載公式推算軸向極限承載力

依靜力承載公式推算軸向極限承載力，應視基樁打設於砂質地層中或粘性土壤地層中，採適宜之公式推算之。

打設於砂質地層中基樁之軸向極限承載力，可依下式計算之。

$$R_u = 30 \cdot N \cdot A_p + \frac{N \cdot A_s}{5} \quad (4-2.1)$$

式中

$R_u$ ：基樁軸向極限承載力(t)

$A_p$ ：樁端面積(m<sup>2</sup>)

$A_s$ ：基樁表面積(m<sup>2</sup>)

$N$ ：基樁入土全長之平均N值

$N$ ：樁端地層之N值

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (4-2.2)$$

$N_1$ ：樁端處之N值

$N_2$ ：樁端上端4B範圍內之平均N值

$B$ ：基樁直徑或寬度

打設於粘性土壤地層中基樁之軸向極限承載力，可依下式計算之。

$$R_u = 8 \cdot C_p \cdot A_p + C_a \cdot A_s \quad (4-2.3)$$

式中

$R_u$ ：基樁軸向極限承载力(t)

$A_p$ ：樁端面積( $m^2$ )

$A_s$ ：基樁表面積( $m^2$ )

$C_p$ ：樁端處土壤凝聚力( $t/m^2$ )

$C_a$ ：基樁入土全長之平均附著力( $t/m^2$ )

#### 4.2.6 依打樁公式推算軸向極限承载力

僅在有充分且可信賴之資料存在時，方可依打樁公式推算樁之軸向極限承载力。

僅依打樁公式估算設計之極限承载力並不適宜。採用打樁公式時，安全係數應依各樁打擊公式所採用之值。

#### 4.2.7 樁材容許壓應力之影響

基樁之軸向極限承载力，不得超過樁材容許壓應力與基樁有效斷面乘積之值。

基樁之容許壓應力，依所採用樁材參考第三篇[工程材料]相關章節規定決定。

#### 4.2.8 接樁折減

樁有接合時，應在適當管理下施工，並經檢驗確認接合完整之條件下，可不計接樁所致之折減。如無法滿足此條件時，應依樁之種類及接合之種類，折減基樁軸向容許承载力。

#### 4.2.9 細長比折減

樁長與樁徑比很大之樁，無法以載重試驗確認其安全性時，應考慮施工精度，折減基樁軸向容許承载力。

因基樁細長比之影響，其軸向容許承载力折減，可參考下列原則。

- 細長比大於60

$$\text{折減率} = (\text{細長比} - 60) / 100$$

- 鋼樁細長比大於120

$$\text{折減率} = 0.5 \cdot (\text{細長比} - 120) / 100$$

#### 4.2.10 表面負摩擦力檢討

支承樁貫穿易壓密之軟弱地層時，其軸向容許承载力應考量表面負摩擦力之影響。對於地震等之短期載重，可不考慮表面負摩擦力之影響。

基樁軸向容許承载力之決定，應如何考量表面負摩擦力之影響，現階段尚有許多不確定因素，建議依下述方法檢討之。

若常時之軸向容許承载力為 $R_a$ ，則 $R_a$ 除滿足常時載重所須之安全係數外，並應滿足下式。

$$R_a \leq \frac{1}{1.2} \cdot R_p - R_{nf \cdot \max} \quad (4-2.4)$$

$$R_a \leq \sigma_f \cdot A_e - R_{nf \cdot \max} \quad (4-2.5)$$

式中

$R_a$ ：常時之軸向容許承载力(t)

$R_p$ ：樁端承载力之極限值(t)

$R_{nf \cdot \max}$ ：表面負摩擦力之最大值，取單樁或群樁兩者之較小值(t)

$\sigma_f$ ：樁材之降伏點壓應力強度，或長期容許壓應力之1.5倍(t/m<sup>2</sup>)

$A_e$ ：基樁之有效斷面積(m<sup>2</sup>)



#### 4.2.11 基樁間距

基樁間距以不小於2.5倍樁徑為原則。

基樁間距，應考量下列事項後決定之。

- 打樁作業之限制
- 打樁時，因基樁中心位置偏差，及樁身之偏斜所可能引起鄰接各樁之相互衝突
- 打樁時，基樁所排出土壤向上隆起，同時其鄰近基樁受推壓
- 粘性土壤由於打樁而受擾亂，影響鄰近基樁之承载力
- 砂質土壤由於打樁而振實，影響鄰近基樁之打樁
- 群樁承载力及表面負摩擦力之影響

一般而言，基樁之間距愈大，各基樁愈易發揮其單樁效果之優點；但如樁距過大，對結構物整體而言愈不經濟。基樁之樁距一般採用2.5至3.5倍樁徑值。規定樁距最小值為 2.5倍樁徑，主要係由施工觀點，依經驗所決定。樁距對基樁承载力之影響因素，亦即群樁之承载力等，均須另作考慮。

以上所述係對樁基礎而言，鋼管連續壁或板樁不在此限。

#### 4.2.12 群樁承载力

以摩擦樁作為群樁時，將樁群最外側樁面連結面包圍之範圍，視為深基礎檢討其承载力

基樁一般係用於群樁，群樁之各樁所傳遞於地層之應力相互重疊，與單樁之承载力及沉陷等特性不同。但在支承樁，如保持一般樁距，對樁端支承層不致發生應力集中問題。因之，支承樁容許承载力之決定，通常不考慮群樁效果。

摩擦樁若打入砂質支承層中，由於打樁所發生之振實效果，群樁每樁之平均承载力有遠大於單樁承载力之傾向。因之僅對打設於粘土層之摩擦樁有必要檢討群樁效果。

基樁載重試驗，一般係試驗單樁之承载力，由單樁載重試驗結果推算群樁承载力，須充分考慮群樁作用。樁端下方存有軟弱粘土層時，由於軟弱粘土層之性質對群樁之承载力與沉陷之特性有重大影響，不可能由單樁載重試驗結果所推定。因之應針對結構物規模大小，進行樁端下方充分深度之鑽探調查，依據其性質檢討群樁作用。

#### 4.2.13 基樁沉陷量檢討

於決定基樁軸向容許承载力時，樁頭之沉陷量不得超過上部結構所要求之樁頭容許沉陷量。

上部結構之沉陷及變位視各別結構物之條件而異，如忽略樁基礎沉陷量對上部結構之影響，即使基礎本體無破壞，但可能損害上部結構。上部結構要求低沉陷量時，於決定基樁軸向容許承载力時，須充分考慮樁頭沉陷量。

### 4.3 樁之軸向容許拉拔力

#### 4.3.1 概要

基樁軸向容許拉拔力，依單樁最大軸向拉拔力除以規定安全係數求得之值為標準，並考量下列各項因素決定之。

- 樁材之容許抗拉強度
- 接樁之影響
- 群樁效果
- 基樁之拔出量

基樁遇有下列受力條件時，可能須用以抵抗軸向拉拔力。

- 作用於結構物底面之上揚力由基樁抵抗時。

- 直樁所支承之結構物於承受傾覆力矩時，後側基樁承受軸向拉拔力。
- 承受水平力之組樁，部份基樁將抵抗軸向拉拔力。

### 4.3.2 標準軸向容許拉拔力

標準軸向容許拉拔力，應以軸向最大拉拔力除以規定安全係數求得。

標準軸向容許拉拔力安全係數下限值，依表 4-3.1所示之值為準。

表 4-3.1 標準軸向容許拉拔力安全係數

|             |        |
|-------------|--------|
| 常        時  | 3.0 以上 |
| 地    震    時 | 2.5 以上 |

基樁發生上拔破壞時，上部結構可能遭受嚴重損害，故樁基礎設計，一般應避免，甚至規定絕對禁止長期承受拉拔力，但港灣結構物常無法符合此要求，故採用較高之安全係數，或儘可能限制僅在地震時或短期載重承受拉拔力，但須考量砂層於地震時發生液化之可能性。

樁體自重與填充其內之材料，若可有效抵抗拉拔力，可不考慮安全係數。因此可依下式，由軸向最大拉拔力，求取標準軸向容許拉拔力。但樁體重量如甚小，則可忽略不計；若樁徑太大，其內填充物於樁被拉上時可能掉落，於設計時應予注意。

- 由上拔試驗估算軸向容許拉拔力

- 由上拔試驗估算軸向容許拉拔力

$$R_{at} = W_p + \frac{R_{ut1} - W_p}{F} \quad (4-3.1)$$

- 依靜力承載公式估算軸向容許拉拔力

$$R_{at} = W_p + \frac{R_{ut2}}{F} \quad (4-3.2)$$

式中

$R_{at}$ ：基樁軸向容許拉拔力(t)

$W_p$ ：基樁自重，須扣除浮力(t)

$R_{ut1}$ ：基樁上拔試驗所得之最大拉拔力(t)

$R_{ut2}$ ：靜力承載公式所計算之最大拉拔力(t)

$F$ ：安全係數

如經土壤基礎工程學專家研判為壓實良質砂質地盤時，可採較低安全係數。但在任何狀況下，安全係數常時不得小於 2.5，地震時不得小於 2.0。

### 4.3.3 單樁軸向最大拉拔力

單樁軸向最大拉拔力，以拉拔試驗求得為原則。不得已時，得以載重試驗結果，或依靜力承載公式推算。

單樁軸向最大拉拔力之推算，原則上應依拉拔試驗決定，但因缺乏有關拉拔抵抗之比較資料，軸向拉拔力間接推定易產生誤差。但在較軟弱粘土層，可考慮受壓之表面摩擦與受上拔之表面摩擦大致相同，得以載重試驗或靜力承載公式推算最大拉拔力。

基樁上拔試驗，應進行至達最大拉拔力為止，如不可能時，以上拔載重之最大值為最大拉拔力。

軟弱粘性土壤層中之摩擦樁，樁端抵抗較小，依載重試驗所求得之極限承載力與拉拔力差異不大，故可以略小於極限承載力之值作為最大拉拔力。

採用靜力承載公式推算基樁最大拉拔力，以本章4.2.5節[依靜力承載公式推算軸向極限承載力]所述靜力承載公式之極限承載力推算方法為準，但不考慮樁端承載力項，即

• 砂質地層時

$$R_{ut} = \frac{N \cdot A_s}{5} \quad (4-3.3)$$

• 粘土地層時

$$R_{ut} = C_a \cdot A_s \quad (4-3.4)$$

式中

$R_{ut}$ ：單樁軸向最大拉拔力(t)

$N$ ：樁入土全長之平均 $N$ 值

$A_s$ ：基樁表面積( $m^2$ )

$C_a$ ：基樁入土全長之平均附著力( $t/m^2$ )

#### 4.3.4 推算基樁軸向容許拉拔力應考量事項

於決定基樁軸向容許拉拔力時，應考量樁材容許抗拉強度、接樁、群樁效果及基樁容許拔出量等因素。

基樁之軸向容許拉拔力，不得超過樁材容許抗拉強度與基樁有效斷面乘積之值。基樁之容許抗拉強度，依所採用樁材參考第三篇[工程材料]相關章節規定決定。

基樁有接續時，以不計接點以下部份基樁之上拔抵抗為原則，但鋼管樁等有良好接續時，在接點之容許抗拉範圍內，可考量下部份基樁之上拔抵抗。

群樁時，將樁群最外側樁面連結面包圍之範圍，視為一整體，檢討上拔抵抗。

基樁之軸向容許拉拔力，不得使樁頭之拔出量超過由上部結構所限制之樁頭容許拔出量。



## 4.4 樁之橫向容許承載力

### 4.4.1 概要

單樁之橫向容許承載力，應依其承受橫向力時之行爲研判推算。

單樁橫向容許承載力，不能由軸向極限承載力依土壤破壞載重推算，而應直接由基樁承受橫向力時之行爲研判推算。基樁承受橫向外力，土壤之破壞有隨同外力增大，自地面逐漸向深處進行之特性。土壤破壞載重除短樁外不能概括決定，因之，基樁之橫向容許承載力應以樁體之行爲推算爲宜。基樁承受橫向外力，因彎曲而產生彎矩及樁頭變位。彎矩如過大，樁體損壞；樁頭變位如過大，上部結構受損。因之，基樁之橫向容許承載力，須滿足下列二條件：

- 樁體之彎曲應力不得超過樁材之容許抗彎強度
- 樁頭之橫向變位量不得超過上部結構所容許之變位量。

上列說明僅適用於長樁，長樁承受橫向力由於其入土深度大於有效長度，承受橫向力時，樁端部份幾完全不發生變位，此部份之地盤反力無變化，無發揮抵抗外力之效果。剛性大、入土深度小之短樁，承受橫向力時可能發生迴轉現象，如支承土壤全面破壞，則基樁傾倒，於此狀況，基樁之橫向極限承載力可依土壤之破壞載重推算之。

綜上所述，基樁橫向極限承載力之決定，應考慮彎曲應力、樁頭變位量，及土壤破壞載重等因素。

### 4.4.2 基樁行爲推定

單樁承受橫向力時之行爲，可依下列方法推定，並以組合下列方法綜合研判爲佳。

- 以載重試驗推定
- 以分析方法推定
- 以既有資料推定

### 4.4.3 以橫向載重試驗推定單樁行爲

單樁承受橫向外力時之行爲，以載重試驗推定時，須充分考量實際結構物基樁及載重，與載重試驗所用樁及載重條件之差異。

### 4.4.4 以分析方法推定單樁行爲

#### 1. 概要

以分析方法研判單樁承受橫向力時之行爲，以採用日本港灣研究所之方法爲標準。

單樁承受橫向力時之行爲，以分析方法推算時，現有日本港灣研究所之方法(簡稱港研方法)與較簡便之張有齡方法。爲求得較嚴密之解，則應以港研方法爲準，但如有下列情形，則亦可採用張有齡方法

- 港研方法適用有困難時
- 港研方法與張有齡方法無顯著差別時

#### 2. 基本式

以分析方法研判單樁承受橫向力時之行爲，採彈性梁分析法推算，彈性梁之基本式如下。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -P = -p \cdot B \quad (4-4.1)$$

式中

$EI$ ：基樁之撓曲剛度( $\text{Kg-cm}^2$ )

$x$ ：由地面算起之深度( $\text{cm}$ )

$y$ ：深度 $x$ 點之基樁變位或撓度( $\text{cm}$ )

$P$ ：深度 $x$ 點，基樁每單位長度所受地盤反力( $\text{Kg/cm}$ )

$p$ ：深度 $x$ 點，基樁單位面積所受地盤反力( $\text{Kg/cm}^2$ )

$$p=P/B$$

$B$ ：基樁寬度( $\text{cm}$ )

### 3. 港研方法

#### (1) 概要

港研方法為日本港灣技術研究所所發展之樁橫向抵抗分析法，其將地盤分為S型地盤與C型地盤，地盤反力與樁之變位關係假設如下。

$$p = k_s \cdot x \cdot y^{0.5} \quad \text{S型地盤} \quad (4-4.2)$$

$$p = k_c \cdot y^{0.5} \quad \text{C型地盤} \quad (4-4.3)$$

式中

$p$ ：深度 $x$ 點，基樁單位面積所受地盤反力( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$k_s$ ：S型地盤之橫向抵抗常數( $\text{kg}/\text{cm}^3 \cdot 5$ )

$k_c$ ：C型地盤之橫向抵抗常數( $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot 5$ )

$x$ ：由地面算起之深度( $\text{cm}$ )

$y$ ：深度 $x$ 點之基樁變位或撓度( $\text{cm}$ )

#### (2) 符號表

$h$ ：載重高度( $\text{cm}$ )

$i$ ：樁之撓角( $\text{radian}$ )  $i = \frac{dy}{dx}$

$i_o$ ：地表面之撓角( $\text{radian}$ )

$i_{top}$ ：樁頭處之撓角( $\text{radian}$ )

$k$ ：地盤橫向抵抗係數， $k_s(\text{kg}/\text{cm}^3 \cdot 5)$ 或 $k_c(\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot 5)$

$L_{i1}$ ：樁頭自由樁之撓角第一零點深度，或樁頭固定樁之撓角第二零點深度( $\text{cm}$ )

$L_{m1}$ ：樁頭自由樁之彎矩第一零點深度，或樁頭固定樁之彎矩第二零點深度( $\text{cm}$ )

$L_{s1}$ ：剪力第一零點深度( $\text{cm}$ )

$L_{y1}$ ：變位第一零點深度( $\text{cm}$ )

$M$ ：彎矩( $\text{kg-cm}$ )



$M_{max\_t}$ ：樁頭固定樁之樁頭彎矩(kg-cm)

$M_{max\_l}$ ：樁頭固定樁之土中部份最大彎矩(kg-cm)

N：標準貫入試驗值

N：S型地盤N值每1.0公尺之增加率

R：原型樁與基準樁之對應量比值，如

$R_h = \text{原型樁之} h / \text{基準樁之} h$

S：剪力(kg)

T：作用於樁頭之橫向力(kg)

$y_o$ ：地表面變位(cm)

$y_{top}$ ：樁頭變位(cm)

### (3)地盤分類

地盤屬S型地盤或C型地盤，依地盤N值依下述原則研判。於決定S型或C型地盤時，僅須考慮影響樁橫向抵抗範圍內土層即可。雖然地盤常介於S型與C型中間，但以取較接近者為原則。

S型地盤：N隨深度直線增加，如密度均勻之砂質地盤，或正規壓密之粘土地盤。

C型地盤：N值不隨深度改變而為一定時，如表面緊密之砂地盤，或受很大預壓密之粘土地盤等。

### (4)橫向抵抗常數

橫向抵抗常數 $k_s$ 與 $k_c$ 之值，可由N值來推定。在S型地盤中，深度每1.0公尺N值之增加率 N與橫向抵抗常數間之關係，如圖4-4.1所示。C型地盤之N值與 $k_c$ 之關係，如圖4-4.2所示。

圖4-4.2所用之粘土資料為由N值直接推算而得，因此如由單軸壓縮強度 $q_u$ 推算 N值時，因換算公式其精確度不高，設計時應予注意。

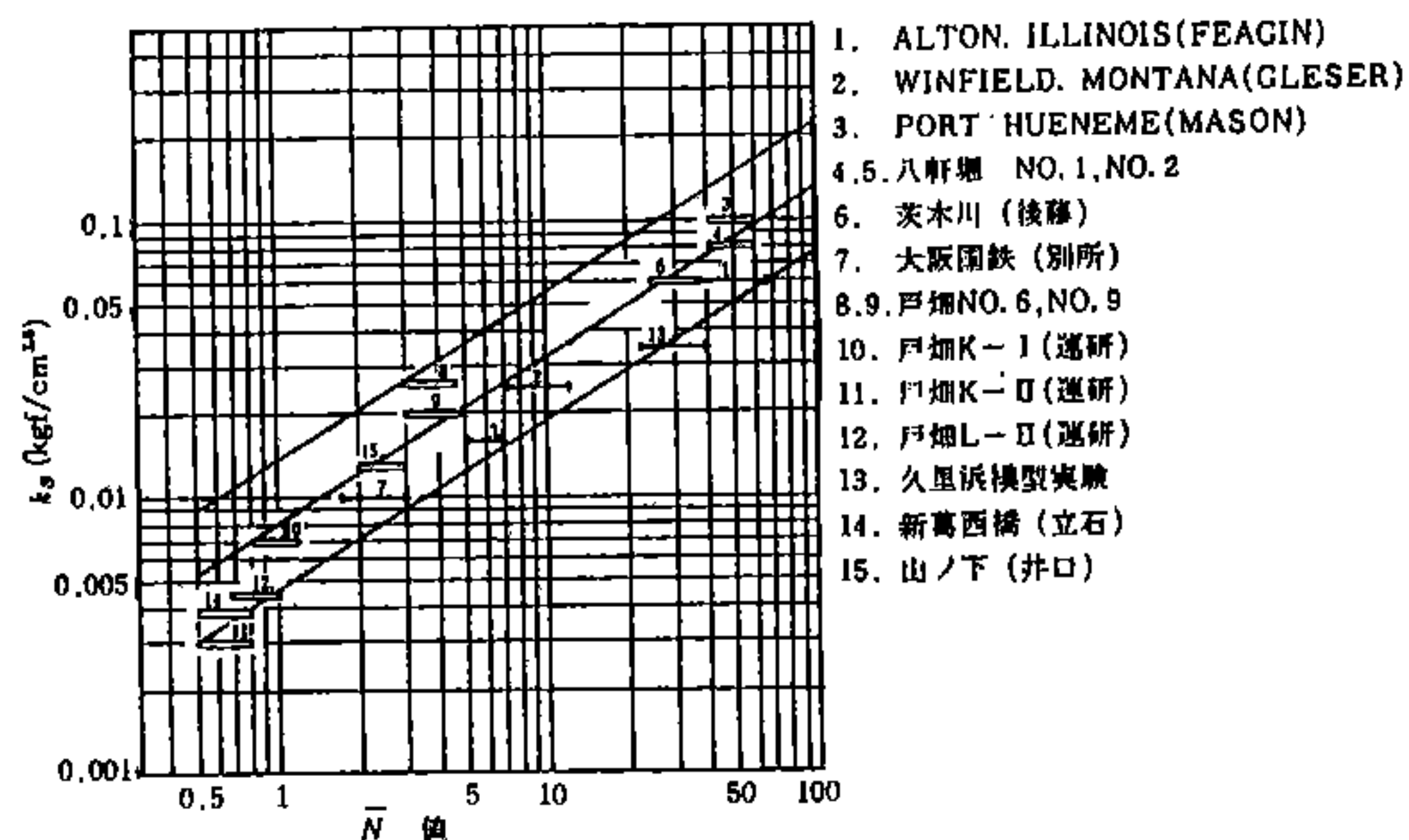


圖 4-4.1  $\bar{N}$  值與橫向抵抗常數  $k_s$  之關係

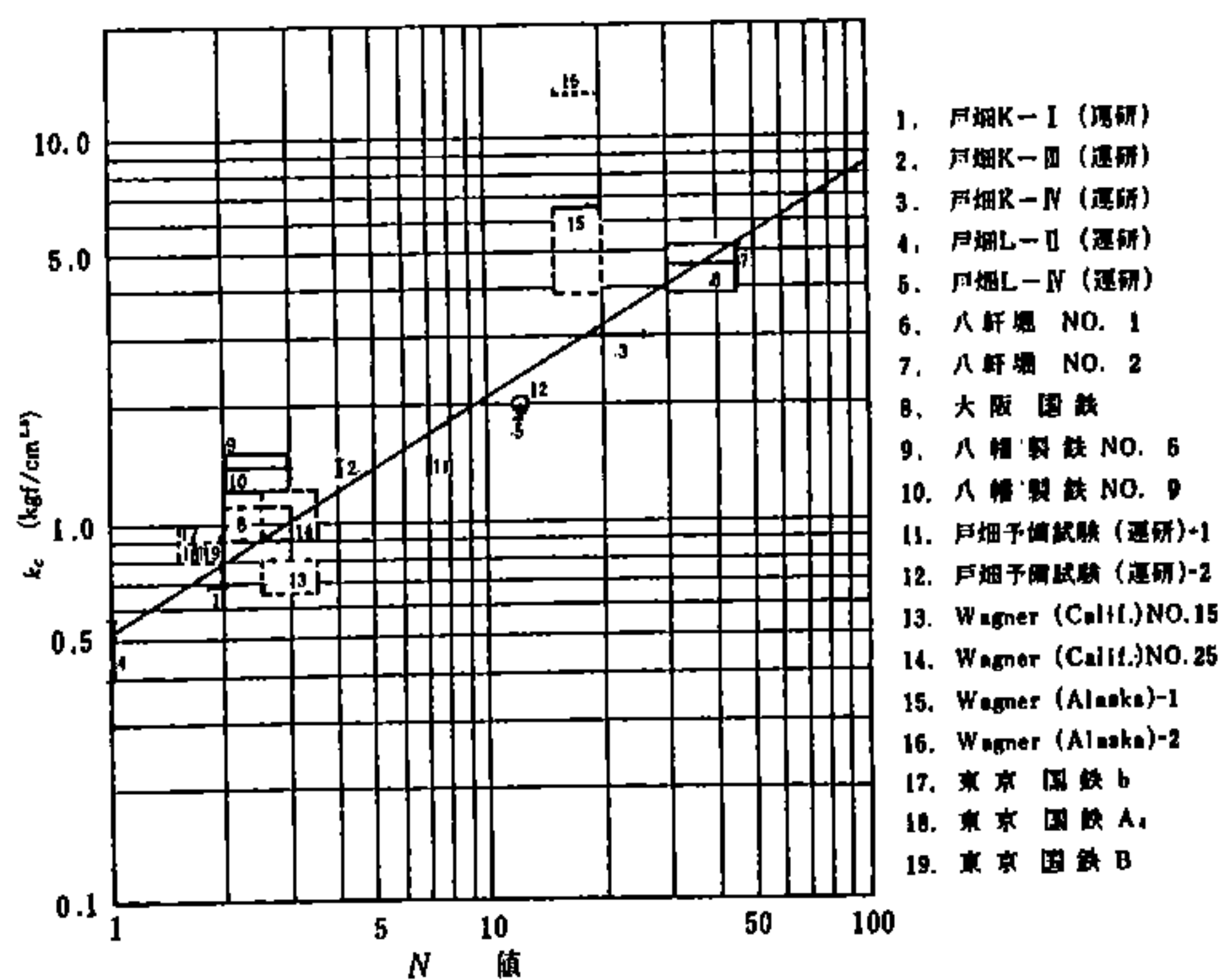


圖 4-4.2  $N$  值與橫向抵抗常數  $k_c$  之關係

#### (5) 依載重試驗推算橫向抵抗常數

以  $N$  值推算橫向抵抗常數，係一概略值，為得正確之值，以進行載重試驗為佳。

圖 4-4.3 示於對數表上描繪實測之  $T-y_{top}$  曲線。其次假設  $k_s$  或  $k_c$  值，計算  $T-y_{top}$  推算曲線，與實測曲線相重合，對數表上之  $T-y_{top}$  曲線之斜率， $S$  型與  $C$  型不同， $S$  型一般較  $C$  型為陡，所以實測曲線屬於何種很易判斷。 $k_s$  或  $k_c$  之值，由實測曲線與推定曲線相比較即可求得。

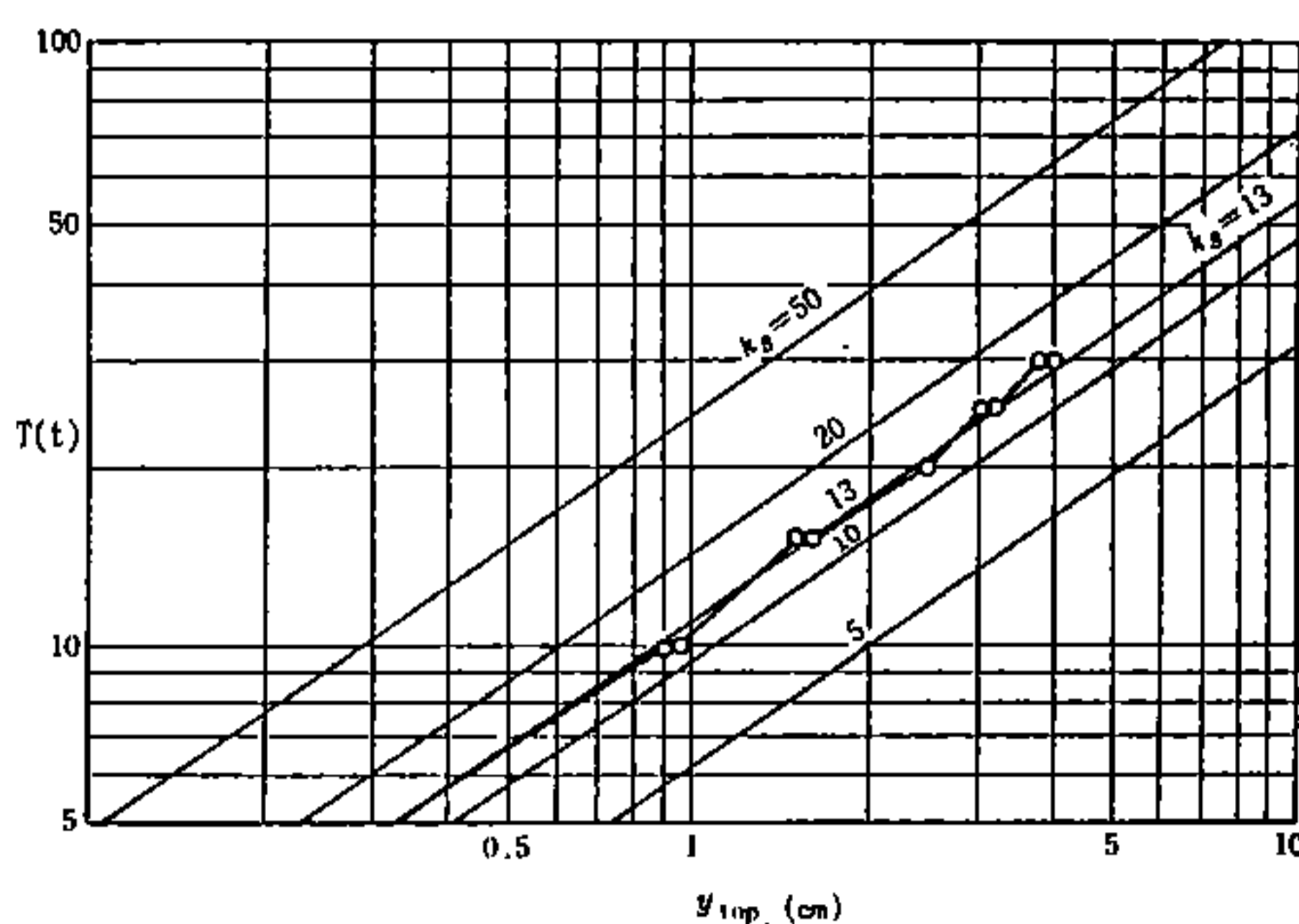


圖 4-4.3 依載重試驗推算橫向抵抗常數

#### (6) 換算係數與基準曲線

港研方法為推定某樁(原型樁= $P$ 樁)之行爲，係將一基準樁( $S$  樁)所求得之基準曲線，以換算係數加以換算之方法。換算係數係以相似律與  $p-y$  關係加以組合求取，而以下列公式表示。

$S$  型地盤

$$\left. \begin{aligned} \log R_s &= 7(\log R_x) - (\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \\ \log R_m &= 8(\log R_x) - (\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \\ \log R_i &= 9(\log R_x) - 2(\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \\ \log R_y &= 10(\log R_x) - 2(\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \end{aligned} \right\} (4-4.4)$$

### C 型地盤

$$\left. \begin{aligned} \log R_s &= 5(\log R_x) - (\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \\ \log R_m &= 6(\log R_x) - (\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \\ \log R_i &= 7(\log R_x) - 2(\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \\ \log R_y &= 8(\log R_x) - 2(\log R_{ei}) + 2(\log R_{bk}) \end{aligned} \right\} (4-4.5)$$

(4-4.4)及(4-4.5)式中，以  $R$  表示之值為 P 樁與 S 樁相對應量之比值，如  $R_s$  為 P 樁之剪力  $S_p$  與 S 樁之剪力  $S_s$  之比，亦即  $R_s = S_p / S_s$ 。

以表 4-4.1 所示基準樁，計算基準曲線如表 4-4.2。

表 4-4.1 基準樁特性

|        |  |
|--------|--|
| 地面上長   | $h = 100\text{cm}$   |
| 撓曲剛度   | $EI = 10^{10}\text{kg-cm}^2$   |
| 樁徑或樁寬度 | $B = 50\text{cm}$  |
| 橫向抵抗常數 | $Bk_s = 50\text{cm} \times 0.02\text{kg/cm}^3 \cdot 5 = 1.0\text{kg/cm}^2 \cdot 5$ |
|        | $Bk_c = 50\text{cm} \times 2.0\text{kg/cm}^2 \cdot 5 = 100\text{kg/cm}^1 \cdot 5$  |

### (7) 地表面載重樁之狀況

地表面載重樁，即  $h = 0$  時，依下列公式計算。

S 型地盤，樁頭自由樁

$$\left. \begin{aligned} \log y_o &= 0.38958 - \frac{4}{7} \log EI - \frac{6}{7} \log Bk_s + \frac{10}{7} \log T \\ \log M_{\max} &= -0.05825 + \frac{1}{7} \log EI - \frac{2}{7} \log Bk_s + \frac{8}{7} \log T \\ \log i_o &= 0.22539 - \frac{5}{7} \log EI - \frac{4}{7} \log Bk_s + \frac{9}{7} \log T \\ \log L_{n1} &= 0.53473 - \frac{1}{7} \log EI - \frac{2}{7} \log Bk_s + \frac{1}{7} \log T \end{aligned} \right\} (4-4.6)$$

表 4-4.2(a) 基準曲線(S型地盤，樁頭自由樁)

(單位：kg，cm)

| 樁頭載重<br>log T | 樁頭變位<br>log y <sub>top</sub> | 土中部份<br>最大彎矩<br>log M <sub>max</sub> | 彎矩第一<br>零點深度<br>log L <sub>01</sub> | 地表面<br>變位<br>log y <sub>0</sub> | 樁頭處之<br>撓角<br>log i <sub>top</sub> | 地表面處<br>之撓角<br>log i <sub>0</sub> |
|---------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 15.0          | 16.1219                      | 18.5236                              | 4.1062                              | 16.1139                         | 12.3820                            | 12.3819                           |
| 14.5          | 15.4108                      | 17.9540                              | 4.0348                              | 15.4014                         | 11.7416                            | 11.7415                           |
| 14.0          | 14.7003                      | 17.3847                              | 3.9634                              | 14.6892                         | 11.1016                            | 11.1014                           |
| 13.5          | 13.9905                      | 16.8158                              | 3.8919                              | 13.9774                         | 10.4621                            | 10.4619                           |
| 13.0          | 13.2814                      | 16.2474                              | 3.8205                              | 13.2660                         | 9.8232                             | 9.8229                            |
| 12.5          | 12.5733                      | 15.6795                              | 3.7491                              | 12.5551                         | 9.1849                             | 9.1845                            |
| 12.0          | 11.8662                      | 15.1122                              | 3.6777                              | 11.8448                         | 8.5475                             | 8.5469                            |
| 11.5          | 11.1604                      | 14.5455                              | 3.6063                              | 11.1352                         | 7.9110                             | 7.9101                            |
| 11.0          | 10.4560                      | 13.9797                              | 3.5349                              | 10.4263                         | 7.2755                             | 7.2743                            |
| 10.5          | 9.7533                       | 13.4148                              | 3.4635                              | 9.7184                          | 6.6413                             | 6.6397                            |
| 10.0          | 9.0525                       | 12.8510                              | 3.3922                              | 9.0115                          | 6.0085                             | 6.0064                            |
| 9.5           | 8.3540                       | 12.2884                              | 3.3208                              | 8.0357                          | 5.3774                             | 5.3745                            |
| 9.0           | 7.6581                       | 11.7272                              | 3.2495                              | 7.6013                          | 4.7481                             | 4.7442                            |
| 8.5           | 6.9653                       | 11.1676                              | 3.1782                              | 6.8984                          | 4.1210                             | 4.1158                            |
| 8.0           | 6.2758                       | 10.6098                              | 3.1069                              | 6.1973                          | 3.4963                             | 3.4894                            |
| 7.5           | 5.5902                       | 10.0540                              | 3.0357                              | 5.4981                          | 2.8744                             | 2.8652                            |
| 7.0           | 4.9090                       | 9.5005                               | 2.9654                              | 4.8010                          | 2.2556                             | 2.2434                            |
| 6.5           | 4.2327                       | 8.9494                               | 2.8935                              | 4.1063                          | 1.6403                             | 1.6242                            |
| 6.0           | 3.5619                       | 8.4009                               | 2.8225                              | 3.4142                          | 1.0286                             | 1.0078                            |
| 5.5           | 2.8972                       | 7.8553                               | 2.7516                              | 2.7248                          | 0.4212                             | 0.3944                            |
| 5.0           | 2.2391                       | 7.3128                               | 2.6809                              | 2.0385                          | -0.1817                            | -0.2161                           |
| 4.5           | 1.5881                       | 6.7735                               | 2.6104                              | 1.3553                          | -0.7799                            | -0.8234                           |
| 4.0           | 0.9448                       | 6.2374                               | 2.5410                              | 0.6755                          | -1.3730                            | -1.4275                           |
| 3.5           | 0.3096                       | 5.7047                               | 2.4700                              | -0.0010                         | -1.9607                            | -2.0285                           |
| 3.0           | -0.3173                      | 5.1252                               | 2.4002                              | -0.6740                         | -2.5430                            | -2.6263                           |
| 2.5           | -0.9355                      | 4.6490                               | 2.3307                              | -1.3434                         | -3.1197                            | -3.2211                           |
| 2.0           | -1.5450                      | 4.1259                               | 2.2616                              | -2.0094                         | -3.6970                            | -3.8129                           |
| 1.5           | -2.1458                      | 3.6058                               | 2.1928                              | -2.6719                         | -4.2560                            | -4.4018                           |
| 1.0           | -2.7381                      | 3.0884                               | 2.1245                              | -3.3311                         | -4.8160                            | -4.9881                           |
| 0.5           | -3.3221                      | 2.5735                               | 2.0565                              | -3.9871                         | -5.3705                            | -5.5720                           |
| 0             | -3.8980                      | 2.0608                               | 1.9810                              | -4.6401                         | -5.9200                            | -6.1535                           |
| -0.5          | -4.4664                      | 1.5501                               | 1.9218                              | -5.2902                         | -6.4646                            | -6.7329                           |
| -1.0          | -5.0277                      | 1.0411                               | 1.8551                              | -5.9376                         | -7.0046                            | -7.3103                           |
| -1.5          | -5.5824                      | 0.5337                               | 1.7887                              | -6.5827                         | -7.5404                            | -7.8860                           |
| -2.0          | -6.1310                      | 0.0275                               | 1.7228                              | -7.2254                         | -8.0723                            | -8.4601                           |
| -2.5          | -6.6742                      | -0.4776                              | 1.6572                              | -7.8662                         | -8.6006                            | -9.0329                           |
| -3.0          | -7.2123                      | -0.9818                              | 1.5919                              | -8.5051                         | -9.1257                            | -9.6043                           |
| -3.5          | -7.7459                      | -1.4853                              | 1.5269                              | -9.1423                         | -9.6478                            | -10.1747                          |
| -4.0          | -8.2755                      | -1.9881                              | 1.4622                              | -9.7781                         | -10.1673                           | -10.7441                          |
| -4.5          | -8.8014                      | -2.4903                              | 1.3977                              | -10.4125                        | -10.6844                           | -11.3125                          |
| -5.0          | -9.3241                      | -2.9922                              | 1.3335                              | -11.0458                        | -11.1995                           | -11.8803                          |
| -5.5          | -9.8440                      | -3.4937                              | 1.2695                              | -11.6780                        | -11.7126                           | -12.4473                          |
| -6.0          | -10.3614                     | -3.9949                              | 1.2056                              | -12.3094                        | -12.2241                           | -13.0138                          |
| -6.5          | -10.8766                     | -4.4959                              | 1.1420                              | -12.9399                        | -12.7342                           | -13.5797                          |
| -7.0          | -11.3898                     | -4.9967                              | 1.0784                              | -13.5697                        | -13.2429                           | -14.1452                          |
| -7.5          | -11.9013                     | -5.4973                              | 1.0150                              | -14.1989                        | -13.7506                           | -14.7103                          |
| -8.0          | -12.4113                     | -5.9978                              | 0.9517                              | -14.8275                        | -14.2572                           | -15.2751                          |
| -8.5          | -12.9200                     | -6.4983                              | 0.8886                              | -15.4557                        | -14.7630                           | -15.8396                          |
| -9.0          | -13.4276                     | -6.9986                              | 0.8255                              | -16.0834                        | -15.2680                           | -16.4038                          |
| -9.5          | -13.9344                     | -7.4989                              | 0.7624                              | -16.7109                        | -15.7726                           | -16.9678                          |

表 4-4.2(b) 基準曲線(S型地盤、樁頭固定樁)

(單位: kg, cm)

| 樁頭載重<br>log T | 樁頭變位<br>log y <sub>top</sub> | 樁頭處最<br>大彎矩<br>log M <sub>max-t</sub> | 彎矩第二<br>零點深度<br>log L <sub>21</sub> | 地表面<br>變位<br>log y <sub>o</sub> | 土中部份<br>最大彎矩<br>log M <sub>max-1</sub> | 地表面之<br>撓角<br>log i <sub>o</sub> |
|---------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|
| 15.0          | 15.5685                      | 18.5204                               | 4.1178                              | 15.5683                         | 18.0436                                | 10.5138                          |
| 14.5          | 14.8569                      | 17.9502                               | 4.0463                              | 14.8566                         | 17.4738                                | 9.9425                           |
| 14.0          | 14.1457                      | 17.3802                               | 3.9748                              | 14.1453                         | 16.9043                                | 9.3711                           |
| 13.5          | 13.4350                      | 16.8105                               | 3.9032                              | 13.4345                         | 16.3351                                | 8.7997                           |
| 13.0          | 12.7251                      | 16.2410                               | 3.8316                              | 12.7244                         | 15.7663                                | 8.2284                           |
| 12.5          | 12.0158                      | 15.6719                               | 3.7600                              | 12.0148                         | 15.1980                                | 7.6571                           |
| 12.0          | 11.3075                      | 15.1032                               | 3.6884                              | 11.3061                         | 14.6303                                | 7.0857                           |
| 11.5          | 10.6002                      | 14.5350                               | 3.6168                              | 10.5984                         | 14.0632                                | 6.5145                           |
| 11.0          | 9.8941                       | 13.9673                               | 3.5451                              | 9.8916                          | 13.4969                                | 5.9432                           |
| 10.5          | 9.1895                       | 13.4002                               | 3.4733                              | 9.1861                          | 12.9314                                | 5.3720                           |
| 10.0          | 8.4865                       | 12.8338                               | 3.4016                              | 8.4819                          | 12.3670                                | 4.8008                           |
| 9.5           | 7.7855                       | 12.2683                               | 3.3297                              | 7.7793                          | 11.8038                                | 4.2296                           |
| 9.0           | 7.0869                       | 11.7037                               | 3.2579                              | 7.0784                          | 11.2420                                | 3.6585                           |
| 8.5           | 6.3908                       | 11.1403                               | 3.1859                              | 6.3794                          | 10.6818                                | 3.0875                           |
| 8.0           | 5.6979                       | 10.5780                               | 3.1139                              | 5.6826                          | 10.1235                                | 2.5165                           |
| 7.5           | 5.0085                       | 10.0172                               | 3.0418                              | 4.9881                          | 9.5673                                 | 1.9456                           |
| 7.0           | 4.3232                       | 9.4579                                | 2.9697                              | 4.2962                          | 9.0136                                 | 1.3748                           |
| 6.5           | 3.6426                       | 8.9005                                | 2.8975                              | 3.6071                          | 8.4627                                 | 0.8041                           |
| 6.0           | 2.9673                       | 8.3449                                | 2.8252                              | 2.9209                          | 7.9148                                 | 0.2336                           |
| 5.5           | 2.2979                       | 7.7914                                | 2.7529                              | 2.2377                          | 7.3704                                 | -0.3368                          |
| 5.0           | 1.6351                       | 7.2403                                | 2.6806                              | 1.5579                          | 6.8297                                 | -0.9069                          |
| 4.5           | 0.9796                       | 6.6916                                | 2.6084                              | 0.8814                          | 6.2931                                 | -1.4769                          |
| 4.0           | 0.3321                       | 6.1456                                | 2.5361                              | 0.2083                          | 5.7607                                 | -2.0466                          |
| 3.5           | -0.3071                      | 5.6023                                | 2.4640                              | -0.4614                         | 5.2326                                 | -0.6161                          |
| 3.0           | -0.9374                      | 5.0617                                | 2.3921                              | -1.1277                         | 4.7088                                 | -3.1852                          |
| 2.5           | -1.5584                      | 4.5241                                | 2.3204                              | -1.7906                         | 4.1894                                 | -3.7541                          |
| 2.0           | -2.1701                      | 3.9894                                | 2.2491                              | -2.4502                         | 3.6740                                 | -4.3225                          |
| 1.5           | -2.7724                      | 3.4575                                | 2.1781                              | -3.1066                         | 3.1624                                 | -4.8906                          |
| 1.0           | -3.3654                      | 2.9284                                | 2.1076                              | -3.7601                         | 2.6541                                 | -5.4584                          |
| 0.5           | -3.9495                      | 2.4020                                | 1.0375                              | -4.4107                         | 2.1486                                 | -6.0257                          |
| 0             | -4.5251                      | 1.8782                                | 1.9680                              | -5.0587                         | 1.6456                                 | -6.5926                          |
| -0.5          | -5.0927                      | 1.3569                                | 1.8990                              | -5.7042                         | 1.1446                                 | -7.1592                          |
| -1.0          | -5.6529                      | 0.8377                                | 1.8306                              | -6.3474                         | 0.6450                                 | -7.7253                          |
| -1.5          | -6.2062                      | 0.3207                                | 1.7627                              | -6.9886                         | 0.1466                                 | -8.2912                          |
| -2.0          | -6.7534                      | -0.1944                               | 1.6953                              | -7.6279                         | -0.3510                                | -8.8566                          |
| -2.5          | -7.2949                      | -0.7078                               | 1.6284                              | -8.2655                         | -0.8481                                | -8.4218                          |
| -3.0          | -7.8314                      | -1.2196                               | 1.5620                              | -8.9016                         | -1.3449                                | -9.9867                          |
| -3.5          | -8.3634                      | -1.7300                               | 1.4960                              | -9.5364                         | -1.8415                                | -10.5513                         |
| -4.0          | -8.8914                      | -2.2391                               | 1.4304                              | -10.1699                        | -2.3381                                | -11.1156                         |
| -4.5          | -9.4159                      | -2.7471                               | 1.3652                              | -10.8024                        | -2.8347                                | -11.6798                         |
| -5.0          | -9.9373                      | -3.2541                               | 1.3003                              | -11.4340                        | -3.3315                                | -12.2437                         |
| -5.5          | -10.4559                     | -3.7602                               | 1.2357                              | -12.0647                        | -3.8285                                | -12.8075                         |
| -6.0          | -10.9721                     | -4.2656                               | 1.1714                              | -12.6947                        | -4.3257                                | -13.3711                         |
| -6.5          | -11.4862                     | -4.7702                               | 1.1072                              | -13.3240                        | -4.8230                                | -13.9345                         |
| -7.0          | -11.9985                     | -5.2743                               | 1.0433                              | -13.9528                        | -5.3206                                | -14.4979                         |
| -7.5          | -12.5092                     | -5.7778                               | 0.9796                              | -14.5811                        | -5.8185                                | -15.0611                         |
| -8.0          | -13.0185                     | -6.2809                               | 0.9160                              | -15.2089                        | -6.3165                                | -15.6243                         |
| -8.5          | -13.5266                     | -6.7835                               | 0.8526                              | -15.8364                        | -6.8147                                | -16.1873                         |
| -9.0          | -14.0336                     | -7.2859                               | 0.7893                              | -16.4636                        | -7.3131                                | -16.7503                         |
| -9.5          | -14.5396                     | -7.7879                               | 0.7261                              | -17.0905                        | -7.8117                                | -17.3132                         |



表 4-4.2(c) 基準曲線(C型地盤，樁頭自由樁)  
(單位：kg，cm)

| 樁頭載重<br>log T | 樁頭變位<br>log y <sub>top</sub> | 土中部份<br>最大彎矩<br>log M <sub>max</sub> | 彎矩第一<br>零點深度<br>log L <sub>m1</sub> | 地表面<br>變位<br>log y <sub>o</sub> | 樁頭處之<br>撓角<br>log i <sub>top</sub> | 地表面處<br>之撓角<br>log i <sub>o</sub> |
|---------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 15.0          | 17.7181                      | 18.9153                              | 4.7519                              | 17.7161                         | 13.3980                            | 13.3980                           |
| 14.5          | 16.9194                      | 18.3162                              | 4.6519                              | 16.9168                         | 12.6991                            | 12.6991                           |
| 14.0          | 16.1211                      | 17.7174                              | 4.5518                              | 16.1178                         | 12.0005                            | 12.0005                           |
| 13.5          | 15.3231                      | 17.1190                              | 4.4518                              | 15.3189                         | 11.3023                            | 11.3023                           |
| 13.0          | 14.5257                      | 16.5209                              | 4.3517                              | 14.5204                         | 10.6046                            | 10.6046                           |
| 12.5          | 13.7289                      | 15.9233                              | 4.2516                              | 13.7223                         | 9.9074                             | 9.9073                            |
| 12.0          | 12.9330                      | 15.3263                              | 4.1515                              | 12.9246                         | 9.2109                             | 9.2107                            |
| 11.5          | 12.1380                      | 14.7301                              | 4.0514                              | 12.1276                         | 8.5153                             | 8.5151                            |
| 11.0          | 11.3445                      | 14.1348                              | 3.9512                              | 11.3313                         | 7.8209                             | 7.8205                            |
| 10.5          | 10.5525                      | 13.5407                              | 3.8510                              | 10.5258                         | 7.1277                             | 7.1272                            |
| 10.0          | 9.7625                       | 12.9480                              | 3.7508                              | 9.7416                          | 6.4362                             | 6.4354                            |
| 9.5           | 8.9751                       | 12.3572                              | 3.6505                              | 8.9487                          | 5.7469                             | 5.7457                            |
| 9.0           | 8.1909                       | 11.7685                              | 3.5501                              | 8.1575                          | 5.0602                             | 5.0583                            |
| 8.5           | 7.4105                       | 11.1825                              | 3.4497                              | 7.3685                          | 4.3766                             | 4.3737                            |
| 8.0           | 6.6394                       | 10.5997                              | 3.3493                              | 6.5819                          | 3.6968                             | 3.6924                            |
| 7.5           | 5.8652                       | 10.0207                              | 3.2488                              | 5.7984                          | 3.0215                             | 3.0149                            |
| 7.0           | 5.1026                       | 9.4462                               | 3.1483                              | 5.0185                          | 2.3516                             | 2.3418                            |
| 6.5           | 4.3485                       | 8.8768                               | 3.0479                              | 4.2427                          | 1.6880                             | 1.6737                            |
| 6.0           | 3.6046                       | 8.3132                               | 2.9476                              | 3.4719                          | 1.0317                             | 1.0110                            |
| 5.5           | 2.8724                       | 7.7560                               | 2.8475                              | 2.7065                          | 0.3836                             | 0.3542                            |
| 5.0           | 2.1536                       | 7.2055                               | 2.7477                              | 1.9471                          | -0.2554                            | -0.2964                           |
| 4.5           | 1.4497                       | 6.6621                               | 2.6484                              | 1.1944                          | -0.8845                            | -0.9406                           |
| 4.0           | 0.7624                       | 6.1256                               | 2.5498                              | 0.4488                          | -1.5030                            | -1.5783                           |
| 3.5           | 0.0917                       | 5.5955                               | 2.4520                              | -0.2989                         | -2.1108                            | -2.2100                           |
| 3.0           | -0.5612                      | 5.0715                               | 2.3552                              | -1.0210                         | -2.7076                            | -2.8355                           |
| 2.5           | -1.1968                      | 4.5527                               | 2.2595                              | -1.7451                         | -3.2937                            | -3.4555                           |
| 2.0           | -1.8155                      | 4.0384                               | 2.1650                              | -2.4622                         | -3.8694                            | -4.0703                           |
| 1.5           | -2.4188                      | 3.5276                               | 2.0717                              | -3.1730                         | -4.4356                            | -4.6806                           |
| 1.0           | -3.0076                      | 3.0197                               | 1.9796                              | -3.8778                         | -4.9927                            | -5.2867                           |
| 0.5           | -3.5834                      | 2.5139                               | 1.8886                              | -4.5772                         | -5.5419                            | -5.8893                           |
| 0             | -4.1479                      | 2.0097                               | 1.7987                              | -5.2718                         | -6.0838                            | -6.4888                           |
| -0.5          | -4.7021                      | 1.5068                               | 1.7097                              | -5.9621                         | -6.6192                            | -7.0856                           |
| -1.0          | -5.2482                      | 1.0047                               | 1.6216                              | -6.6489                         | -7.1494                            | -7.6803                           |
| -1.5          | -5.7867                      | 0.5033                               | 1.5342                              | -7.3324                         | -7.6748                            | -8.2730                           |
| -2.0          | -6.3189                      | 0.0023                               | 1.4474                              | -8.0133                         | -8.1960                            | -8.8641                           |
| -2.5          | -6.8459                      | -0.4984                              | 1.3612                              | -8.6918                         | -8.7318                            | -9.4540                           |
| -3.0          | -7.3683                      | -0.9989                              | 1.2755                              | -9.3684                         | -9.2287                            | -10.0427                          |
| -3.5          | -7.8869                      | -1.4993                              | 1.1901                              | -10.0433                        | -9.7410                            | -10.6305                          |
| -4.0          | -8.4025                      | -1.9995                              | 1.1051                              | -10.7168                        | -10.2513                           | -11.2175                          |
| -4.5          | -8.9135                      | -2.4497                              | 1.0204                              | -11.3892                        | -10.7599                           | -11.8039                          |
| -5.0          | -9.4260                      | -2.9998                              | 0.9359                              | -12.0606                        | -11.2670                           | -12.3898                          |
| -5.5          | -9.9348                      | -3.4998                              | 0.8516                              | -12.7312                        | -11.7729                           | -12.9752                          |
| -6.0          | -10.4422                     | -3.9999                              | 0.7675                              | -13.4011                        | -12.2777                           | -13.5603                          |
| -6.5          | -10.9482                     | -4.4999                              | 0.6735                              | -14.0705                        | -12.7818                           | -14.1450                          |
| -7.0          | -11.4533                     | -4.9999                              | 0.5996                              | -14.7394                        | -13.2851                           | -14.7295                          |
| -7.5          | -11.9574                     | -5.5000                              | 0.5158                              | -15.4079                        | -13.7879                           | -15.3138                          |
| -8.0          | -12.4608                     | -6.0000                              | 0.4321                              | -16.0761                        | -14.2902                           | -15.8980                          |
| -8.5          | -12.9637                     | -6.5000                              | 0.3485                              | -16.7440                        | -14.7921                           | -16.4820                          |
| -9.0          | -13.4660                     | -7.0000                              | 0.2649                              | -17.4117                        | -15.2936                           | -17.0659                          |
| -9.5          | -13.9682                     | -7.5000                              | 0.1813                              | -18.0793                        | -15.7951                           | -17.6497                          |

表 4-4.2(d) 基準曲線(C型地盤、樁頭固定樁)

(單位: kg, cm)

| 樁頭載重<br>log T | 樁頭變位<br>log Y <sub>top</sub> | 樁頭處最大彎矩<br>log M <sub>max-t</sub> | 彎矩第二零點深度<br>log L <sub>n1</sub> | 地表面變位<br>log Y <sub>o</sub> | 土中部份最大彎矩<br>log M <sub>max-l</sub> | 地表面之撓角<br>log i <sub>o</sub> |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 15.0          | 17.2757                      | 19.0193                           | 4.7926                          | 17.2757                     | 18.4285                            | 11.0171                      |
| 14.5          | 16.4766                      | 18.4199                           | 4.6925                          | 16.4765                     | 17.8292                            | 10.4172                      |
| 14.0          | 15.6775                      | 17.8205                           | 4.5924                          | 15.6774                     | 17.2298                            | 9.8172                       |
| 13.5          | 14.8787                      | 17.2215                           | 4.4923                          | 14.8786                     | 16.6308                            | 9.2173                       |
| 13.0          | 14.0803                      | 16.6226                           | 4.3921                          | 14.0802                     | 16.0319                            | 8.6174                       |
| 12.5          | 13.2822                      | 16.0240                           | 4.2919                          | 13.2821                     | 15.4334                            | 8.0175                       |
| 12.0          | 12.4847                      | 15.4259                           | 4.1917                          | 12.4845                     | 14.8353                            | 7.4176                       |
| 11.5          | 11.6878                      | 14.8281                           | 4.0913                          | 11.6875                     | 14.2376                            | 6.8178                       |
| 11.0          | 10.8918                      | 14.2310                           | 3.9909                          | 10.8913                     | 13.6406                            | 6.2180                       |
| 10.5          | 10.0968                      | 13.6345                           | 3.8904                          | 10.0961                     | 13.0443                            | 5.6183                       |
| 10.0          | 9.3031                       | 13.0389                           | 3.7898                          | 9.3020                      | 12.4491                            | 5.0186                       |
| 9.5           | 8.5111                       | 12.4445                           | 3.6890                          | 8.5093                      | 11.8551                            | 4.4190                       |
| 9.0           | 7.7213                       | 11.8513                           | 3.5880                          | 7.7185                      | 11.2627                            | 3.8196                       |
| 8.5           | 6.9340                       | 11.2597                           | 3.4867                          | 6.9297                      | 10.6723                            | 3.2202                       |
| 8.0           | 6.1502                       | 10.6701                           | 3.3852                          | 6.1425                      | 10.0844                            | 2.6210                       |
| 7.5           | 5.3708                       | 10.0828                           | 3.2833                          | 5.3605                      | 9.4998                             | 2.0220                       |
| 7.0           | 4.5969                       | 9.4983                            | 3.1810                          | 4.5811                      | 8.9194                             | 1.4233                       |
| 6.5           | 3.8299                       | 8.9171                            | 3.0783                          | 3.8061                      | 8.3440                             | 0.8248                       |
| 6.0           | 3.0717                       | 8.3395                            | 2.9750                          | 3.0361                      | 7.7751                             | 0.2266                       |
| 5.5           | 2.3240                       | 7.7662                            | 2.8713                          | 2.2716                      | 7.2139                             | -0.3711                      |
| 5.0           | 1.5891                       | 7.1975                            | 2.7671                          | 1.5133                      | 6.6617                             | -0.9684                      |
| 4.5           | 0.8696                       | 6.6339                            | 2.6626                          | 0.7619                      | 6.1200                             | -1.5650                      |
| 4.0           | 0.1673                       | 6.0756                            | 2.5580                          | 0.0175                      | 5.5893                             | -2.1610                      |
| 3.5           | -0.5157                      | 5.5230                            | 2.4538                          | -0.7193                     | 5.0699                             | -2.7562                      |
| 3.0           | -1.1789                      | 4.9760                            | 2.3504                          | -1.4487                     | 4.5606                             | -3.3506                      |
| 2.5           | -1.8217                      | 4.4344                            | 2.2481                          | -2.1707                     | 4.0598                             | -3.9439                      |
| 2.0           | -2.4450                      | 3.8981                            | 2.1475                          | -2.8858                     | 3.5655                             | -4.5362                      |
| 1.5           | -3.0501                      | 3.3668                            | 2.0487                          | -3.5943                     | 3.0754                             | -5.1275                      |
| 1.0           | -3.6390                      | 2.8398                            | 1.9517                          | -4.2968                     | 2.5876                             | -5.7177                      |
| 0.5           | -4.2135                      | 2.3169                            | 1.8567                          | -4.9941                     | 2.1006                             | -6.3069                      |
| 0             | -4.7758                      | 1.7975                            | 1.7633                          | -5.6866                     | 1.6134                             | -6.8952                      |
| -0.5          | -5.3277                      | 1.2811                            | 1.6715                          | -6.3752                     | 1.1254                             | -7.4827                      |
| -1.0          | -5.8708                      | 0.7673                            | 1.5811                          | -7.0602                     | 0.6363                             | -8.0696                      |
| -1.5          | -6.4066                      | 0.2558                            | 1.4919                          | -7.7423                     | 0.1459                             | -8.6558                      |
| -2.0          | -6.9363                      | -0.2539                           | 1.4037                          | -8.4218                     | -0.3457                            | -9.2416                      |
| -2.5          | -7.4609                      | -0.7619                           | 1.3162                          | -9.0992                     | -0.8385                            | -9.8269                      |
| -3.0          | -7.9813                      | -1.2686                           | 1.2295                          | -9.7748                     | -1.3323                            | -10.4119                     |
| -3.5          | -8.4983                      | -1.7742                           | 1.1434                          | -10.4489                    | -1.8271                            | -10.9966                     |
| -4.0          | -9.0123                      | -2.2788                           | 1.0578                          | -11.1217                    | -2.3227                            | -11.5810                     |
| -4.5          | -9.5239                      | -2.7826                           | 0.9725                          | -11.7935                    | -2.8191                            | -12.1653                     |
| -5.0          | -10.0335                     | -3.2858                           | 0.8876                          | -12.4644                    | -3.3160                            | -12.7494                     |
| -5.5          | -10.5414                     | -3.7885                           | 0.8030                          | -13.1346                    | -3.8134                            | -13.3334                     |
| -6.0          | -11.0480                     | -4.2906                           | 0.7186                          | -13.8042                    | -4.3113                            | -13.9172                     |
| -6.5          | -11.5534                     | -4.7924                           | 0.6344                          | -14.4732                    | -4.8095                            | -14.5010                     |
| -7.0          | -12.0579                     | -5.2939                           | 0.5503                          | -15.1419                    | -5.3081                            | -15.0847                     |
| -7.5          | -12.5616                     | -5.7952                           | 0.4664                          | -15.8102                    | -5.8069                            | -15.6683                     |
| -8.0          | -13.0647                     | -6.2962                           | 0.3825                          | -16.4782                    | -6.3058                            | -16.2519                     |
| -8.5          | -13.5672                     | -6.7970                           | 0.2988                          | -17.1460                    | -6.8050                            | -16.8354                     |
| -9.0          | -14.0693                     | -7.2977                           | 0.2151                          | -17.8136                    | -7.3043                            | -17.4189                     |
| -9.5          | -14.5711                     | -7.7983                           | 0.1315                          | -18.4811                    | -7.8037                            | -18.0024                     |



S型地盤，樁頭固定樁

$$\begin{aligned}
 \log y_0 &= -0.16047 - \frac{4}{7} \log EI - \frac{6}{7} \log Bk_s + \frac{10}{7} \log T \\
 \log M_{\max_t} &= -0.05787 + \frac{1}{7} \log EI - \frac{2}{7} \log Bk_s + \frac{8}{7} \log T \\
 \log M_{\max_1} &= -0.53703 + \frac{1}{7} \log EI - \frac{2}{7} \log Bk_s + \frac{8}{7} \log T \\
 \log l_{n1} &= 0.54689 + \frac{1}{7} \log EI - \frac{2}{7} \log Bk_s + \frac{1}{7} \log T
 \end{aligned}
 \quad (4-4.7)$$

C型地盤，樁頭自由樁

$$\begin{aligned}
 \log y_0 &= 0.11328 - \frac{2}{5} \log EI - \frac{6}{5} \log Bk_c + \frac{8}{5} \log T \\
 \log M_{\max} &= -0.28846 + \frac{1}{5} \log EI - \frac{2}{5} \log Bk_c + \frac{6}{5} \log T \\
 \log i_0 &= -0.00634 - \frac{3}{5} \log EI - \frac{4}{5} \log Bk_c + \frac{7}{5} \log T \\
 \log L_{n1} &= 0.55205 + \frac{1}{5} \log EI - \frac{2}{5} \log Bk_c + \frac{1}{5} \log T
 \end{aligned}
 \quad (4-4.8)$$

C型地盤，樁頭固定樁

$$\begin{aligned}
 \log y_0 &= -0.32731 - \frac{2}{5} \log EI - \frac{6}{5} \log Bk_c + \frac{8}{5} \log T \\
 \log M_{\max_t} &= -0.18301 + \frac{1}{5} \log EI - \frac{2}{5} \log Bk_c + \frac{6}{5} \log T \\
 \log M_{\max_1} &= -0.77377 + \frac{1}{5} \log EI - \frac{2}{5} \log Bk_c + \frac{6}{5} \log T \\
 \log L_{n1} &= 0.59269 + \frac{1}{5} \log EI - \frac{2}{5} \log Bk_c + \frac{1}{5} \log T
 \end{aligned}
 \quad (4-4.9)$$

#### (8)有效長度

爲使樁能視爲長樁，基樁入土長度應較有效長度爲長。  
依模型試驗結果，如入土長度超過1.5倍 $L_{n1}$ 時，可將樁之下部視爲完全固定於地盤中，因此將1.5倍 $L_{n1}$ 作爲有效長度。

#### (9)樁寬之影響

港研方法可不考慮樁寬之影響。

### 4.張有麟方法

#### (1)符號表

- $y_1$ ：地面上部份樁之變位(cm)  
 $y_2$ ：地面下部份樁之變位(cm)  
 $h$ ：載重高度(cm)  
 $i_1$ ：地面上部份之撓角(radian)  
 $i_2$ ：地面下部份之撓角(radian)  
 $k_h$ ：橫向地盤反力係數(kg/cm<sup>3</sup>)  
 $K_{h1}$ ：30cm正方形板之橫向地盤反力係數(kg/cm<sup>3</sup>)  
 $L_{i1}$ ：樁頭自由樁之撓角第一零點深度，或樁頭固定樁之撓角第二零點深度(cm)  
 $L_{n1}$ ：樁頭自由樁之彎矩第一零點深度，或樁頭固定樁之彎矩第二零點深度(cm)  
 $L_{y1}$ ：變位第一零點深度(cm)  
 $L_{n \cdot \max}$ ：產生最大彎矩之深度(cm)  
 $M_1$ ：地面上部份之彎矩(kg-cm)  
 $M_2$ ：地面下部份之彎矩(kg-cm)  
 $M_{n \max}$ ：樁頭自由樁之最大彎矩(kg-cm)  
 $M_{n \max\_t}$ ：樁頭固定樁之樁頭彎矩(kg-cm)  
 $M_{n \max\_l}$ ：樁頭固定樁之土中部份最大彎矩(kg-cm)  
 $N$ ：標準貫入試驗值

$S_1$  : 地面上部份之剪力(kg)

$S_2$  : 地面下部份之剪力(kg)

$n_h$  : 橫向地盤反力常數(kg/cm<sup>3</sup>)

$T$  : 作用於樁頭之橫向力(kg)

$y_o$  : 樁之地表面變位(cm)

$y_{top}$  : 樁頭變位(cm)

$E_s$  : 地層之彈性模數(kg/cm)

$B$  : 樁寬(或直徑)(cm)

$EI$  : 基樁之撓曲剛度(Kg-cm<sup>2</sup>)

$$\beta : \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_h \cdot B}{4 \cdot EI}} \quad (\text{cm}^{-1})$$

## (2) 計算式

如使用地盤之彈性模數 $E_s$ ，則樁之彈性方程式如下所示

。

$$\left. \begin{array}{l} EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} = 0 \quad \text{地面上部份}(0 \geq x \geq -h) \\ EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + E_s \cdot y_2 = 0 \quad \text{地面下部份}(x \geq 0) \end{array} \right\} \quad (4-4.10)$$

將 $E_s$ 視為常數，求解上式之一般解，代入邊界條件，可得到下列4種基本型式之解(參考圖 4-4.4~4-4.7)，其關係式如下列公式所示。

• 載重高度為0時( $h=0$ )

樁頭自由樁

樁頭固定樁

• 載重高度不為0時( $h>0$ )

樁頭自由樁

樁頭固定樁

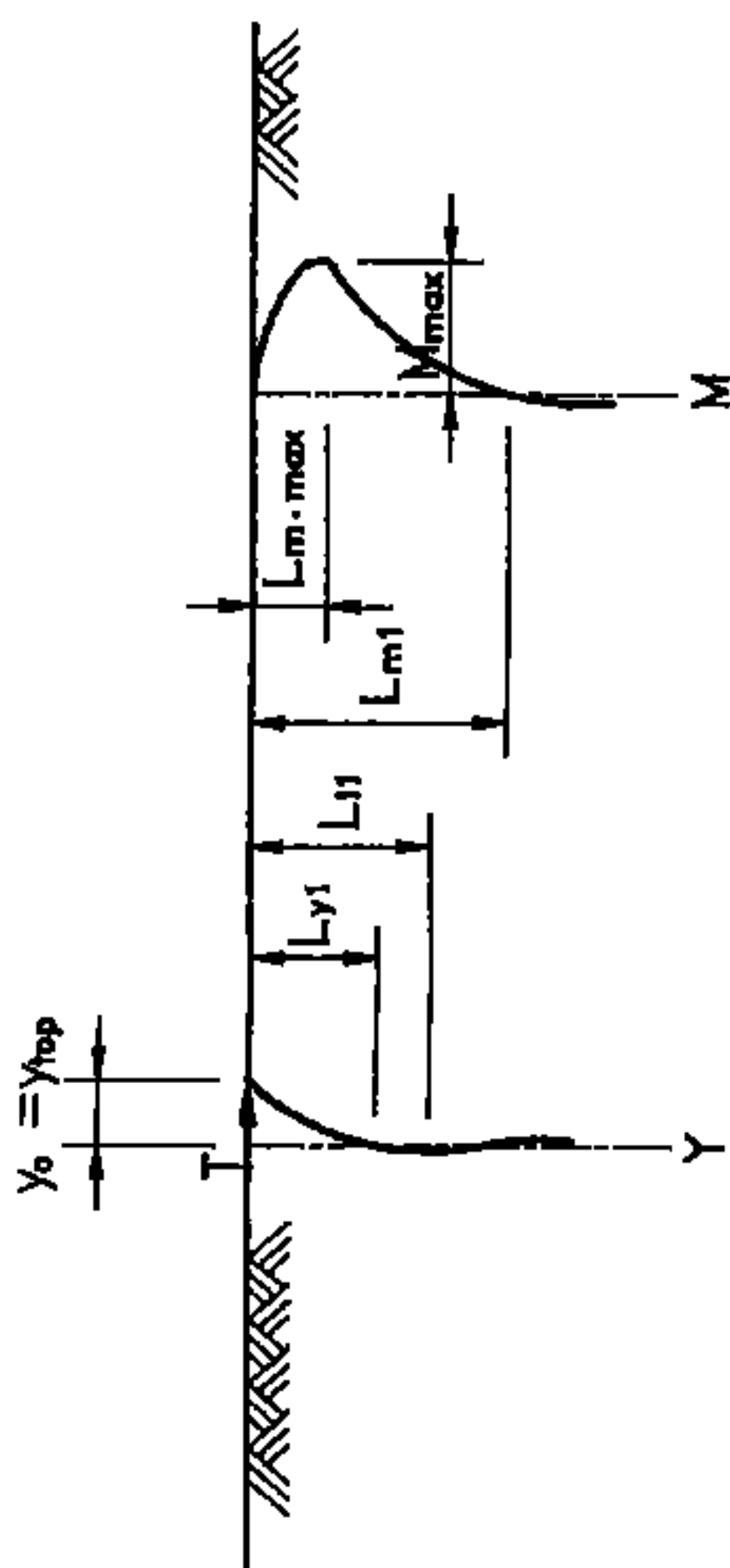


圖 4-4.4 基樁行爲(樁頭自由樁， $h=0$ )

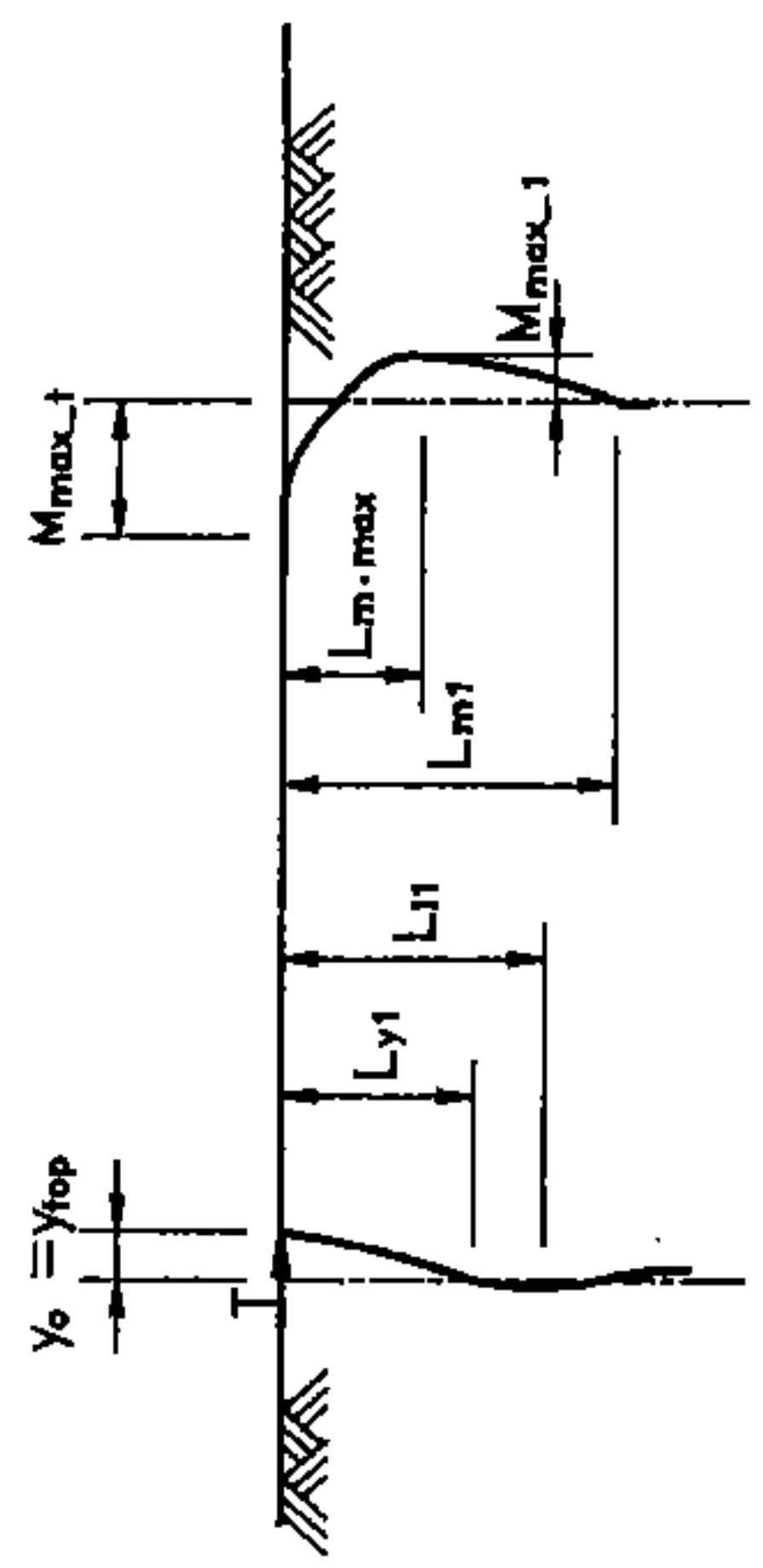


圖 4-4.5 基樁行爲(樁頭固定樁， $h=0$ )

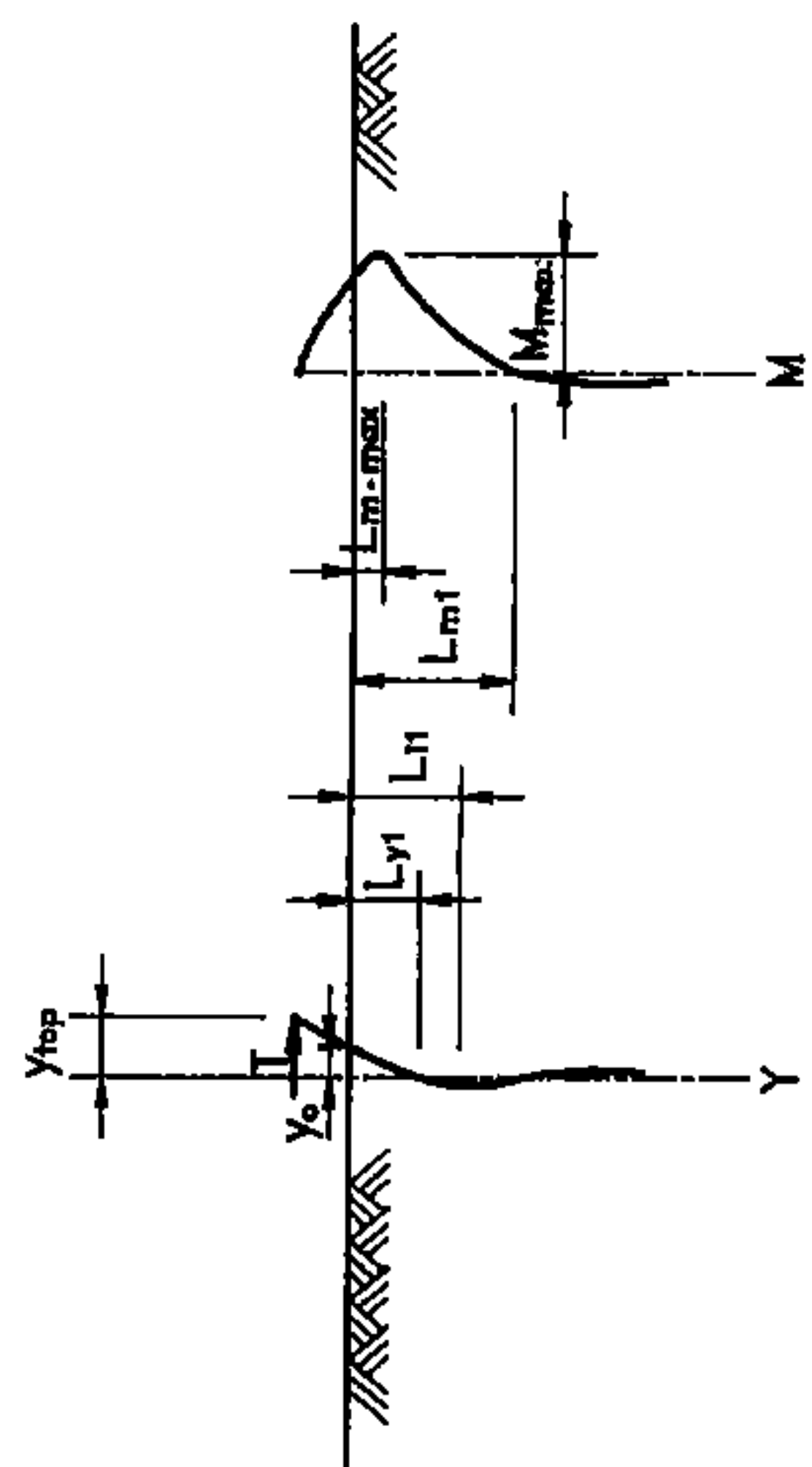


圖 4-4.6 基樁行爲(樁頭自由樁， $h>0$ )

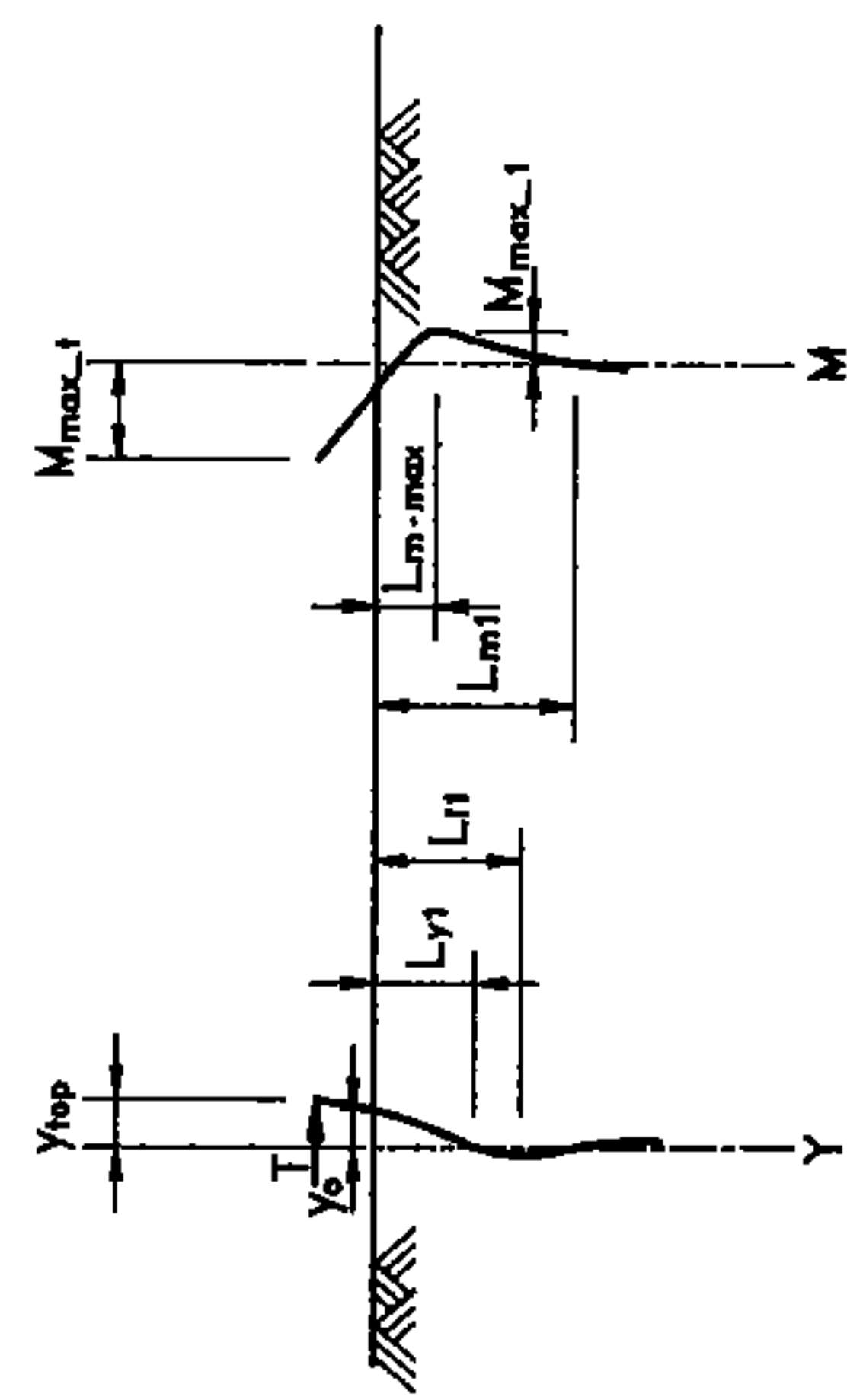


圖 4-4.7 基樁行爲(樁頭固定樁， $h>0$ )

① 樁頭自由樁， $h=0$ (參考圖4-4.4)

一般式

$$\left. \begin{aligned} y_2 &= \frac{T}{2 \cdot EI \cdot \beta^3} e^{-\beta x} \cdot \cos \beta x \\ i_2 &= \frac{-T}{2 \cdot EI \cdot \beta^2} e^{-\beta x} \cdot (\cos \beta x + \sin \beta x) \\ M &= \frac{-T}{\beta} e^{-\beta x} \cdot \sin \beta x \\ S &= T \cdot e^{-\beta x} \cdot (\sin \beta x - \cos \beta x) \end{aligned} \right\} \quad (4-4.11)$$

特定值

$$y_{top} = y_0 = \frac{T}{2 \cdot EI \cdot \beta^3} \quad (4-4.12)$$

$$M_{max} = \frac{-T}{\beta} e^{-\pi/4} \cdot \sin \frac{\pi}{4} = -0.322 \frac{T}{\beta} \quad (4-4.13)$$

$$\left. \begin{aligned} L_{y1} &= \frac{\pi}{2\beta} \\ L_{i1} &= \frac{3\pi}{4\beta} \\ L_m &= \frac{\pi}{\beta} \\ L_{m \cdot max} &= \frac{\pi}{4\beta} \end{aligned} \right\} \quad (4-4.14)$$

② 樁頭固定樁， $h=0$ (參考圖4-4.5)

一般式

$$y_2 = \frac{T}{4 \cdot EI \cdot \beta^3} e^{-\beta x} \cdot (\cos \beta x + \sin \beta x) \quad \left. \right\}$$

$$\begin{aligned}
 i_2 &= \frac{-T}{2 \cdot EI \cdot \beta^2} e^{-\beta x} \cdot \sin \beta x \\
 M &= \frac{-T}{\beta} e^{-\beta x} \cdot (\sin \beta x - \cos \beta x) \\
 S &= -T \cdot e^{-\beta x} \cdot \cos \beta x
 \end{aligned}
 \tag{4-4.15}$$

特定値

$$y_{top} = y_0 = \frac{T}{4 \cdot EI \cdot \beta^3} \tag{4-4.16}$$

$$M_{max-t} = \frac{-T}{2\beta} \tag{4-4.17}$$

$$M_{max-l} = \frac{-T}{2\beta} e^{-\pi/2} = -0.1042 \frac{T}{\beta} \tag{4-4.18}$$

$$\begin{aligned}
 L_{y1} &= \frac{3\pi}{4\beta} \\
 L_{i1} &= \frac{\pi}{\beta} \\
 L_{m1} &= \frac{5\pi}{4\beta} \\
 L_{m \cdot max} &= \frac{\pi}{2\beta}
 \end{aligned}
 \tag{4-4.19}$$

③ 橋頭自由樁， $h > 0$  (参考圖4-4.6)

一般式

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{T}{6 \cdot EI \cdot \beta^3} \{^3x^3 + 3\beta^3 h x^2 - 3\beta(1+2\beta h)x + 3(1+\beta h)\} \\
 y_2 &= \frac{T}{2 \cdot EI \cdot \beta^3} e^{-\beta x} \cdot \{(1+\beta h)\cos \beta x - \beta h \sin \beta x\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
i_1 &= \frac{-T}{2 \cdot EI \cdot \beta^2} \cdot \{\beta^2 x^2 + 2\beta^2 hx - (1+2\beta h)\} \\
i_2 &= \frac{-T}{2 \cdot EI \cdot \beta^2} e^{-\beta x} \cdot \{(1+2\beta h)\cos\beta x + \sin\beta x\} \\
M_1 &= -T(x+h) \\
M_2 &= \frac{-T}{\beta} e^{-\beta x} \cdot \{\beta h \cos\beta x + (1+\beta h)\sin\beta x\} \\
S_1 &= -T \\
S_2 &= T \cdot e^{-\beta x} \cdot \{\cos\beta x - (1+2\beta h)\sin\beta x\}
\end{aligned} \tag{4-4.20}$$

特定値

$$y_{top} = \frac{2(1+\beta h)^3 + 1}{6 \cdot EI \cdot \beta^3} \cdot T \tag{4-4.21}$$

$$= \frac{T \cdot h^3}{3 \cdot EI} \psi_{\Delta}(\beta h)$$

$$y_o = \frac{1+\beta h}{2 \cdot EI \cdot \beta^3} \cdot T \tag{4-4.22}$$

$$= \frac{T \cdot h^3}{2 \cdot EI} \psi_f(\beta h)$$

$$\begin{aligned}
M_{max} &= h \left\{ \frac{(1+2\beta h)^2 + 1}{2\beta h} \exp\left[-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}\right] \right\} \cdot T \\
&= -T \cdot h \cdot \psi_n(\beta h)
\end{aligned} \tag{4-4.23}$$

$$L_{y1} = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1+\beta h}{\beta h}$$

$$L_{i1} = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \{-(1+2\beta h)\}$$

$$\begin{aligned} L_{m1} &= \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{-\beta h}{1+\beta h} \\ L_{m \cdot \max} &= \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h} \end{aligned} \quad (4-4.23)$$

④ 樁頭固定樁， $h > 0$  (參考圖 4-4.7)

一般式

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{T}{12 \cdot EI \cdot \beta^3} \{2\beta^3 x^3 - 3(1-\beta h)\beta^2 x^2 - 6\beta^2 h x + 3(1+\beta h)\} \\ y_2 &= \frac{T}{4 \cdot EI \cdot \beta^3} e^{-\beta x} \cdot \{(1+\beta h)\cos\beta x + (1-\beta h)\sin\beta x\} \\ i_1 &= \frac{T}{2 \cdot EI \cdot \beta^2} \cdot \{\beta^2 x^2 - (1-\beta h)\beta x - \beta h\} \\ i_2 &= \frac{-T}{2 \cdot EI \cdot \beta^2} e^{-\beta x} \cdot \{\beta h \cos\beta x + \sin\beta x\} \\ M_1 &= \frac{T}{2\beta} \{(1-\beta h) - 2\beta x\} \\ M_2 &= \frac{T}{2\beta} e^{-\beta x} \cdot \{(1-\beta h)\cos\beta x - (1+\beta h)\sin\beta x\} \\ S_1 &= -T \\ S_2 &= -T \cdot e^{-\beta x} \cdot (\cos\beta x - \beta h \sin\beta x) \end{aligned} \quad (4-4.24)$$

特定值

$$\begin{aligned} y_{top} &= \frac{(1+\beta h)^3 + 2}{12 \cdot EI \cdot \beta^3} \cdot T \\ &= \frac{T \cdot h^3}{12 \cdot EI} \overline{\psi \Delta}(\beta h) \end{aligned} \quad (4-4.25)$$



$$y_o = \frac{1+\beta h}{4 \cdot EI \cdot \beta^3} \cdot T \quad (4-4.26)$$

$$= \frac{T \cdot h^3}{4 \cdot EI} \overline{\psi}_f(\beta h)$$

$$M_{max-t} = \frac{(1+\beta h)}{2\beta} \cdot T = T \cdot h \cdot \overline{\psi}_o(\beta h) \quad (4-4.27)$$

$$M_{max-l} = h \left\{ \sqrt{\frac{(1+2\beta h)^2}{2\beta h}} \exp \left[ -\tan^{-1} \frac{1}{\beta h} \right] \right\} \cdot T$$

$$= -T \cdot h \cdot \overline{\psi}_n(\beta h) \quad (4-4.28)$$

$$L_{y1} = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{\beta h + 1}{\beta h - 1}$$

$$L_{i1} = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} (-\beta h)$$

$$L_{n1} = \frac{1}{\beta} \left( \tan^{-1} \frac{1-\beta h}{1+\beta h} + \pi \right)$$

$$L_{m \cdot max} = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{\beta h}$$

$$\left. \begin{array}{l} L_{y1} \\ L_{i1} \\ L_{n1} \\ L_{m \cdot max} \end{array} \right\} \quad (4-4.29)$$

#### 4.4.5 以既有資料推定單樁行為

唯有小型結構物，或橫向承載力不重要結構物，可不採載重試驗或分析方法推定，而依既有資料推定單樁承受橫向力時之行為。

#### 4.4.6 斜組樁橫向承載力

作用於斜組樁與直樁混合樁基礎之橫向力，可假設完全由斜組樁所承載。此時作用於斜組樁之橫向力，可假設僅由各斜樁之軸向承載力或拉拔力抵抗。

如圖 4-4.8所示，作用於一斜組樁樁頭之垂直外力與水平外力，可依下列公式計算分配至各樁之軸向力。

$$P_1 = \frac{V_i \cdot \sin\theta_2 + H_i \cdot \cos\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (4-4.30)$$

$$P_2 = \frac{V_i \cdot \sin\theta_1 - H_i \cdot \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (4-4.31)$$

式中

$P_1$ 、 $P_2$ ：作用於各樁之軸向壓應力(負時為拉力)(t)

$\theta_1$ 、 $\theta_2$ ：各樁之傾斜角(度)

$V_i$ ：斜組樁之垂直反力(t)

$H_i$ ：斜組樁之水平反力(t)

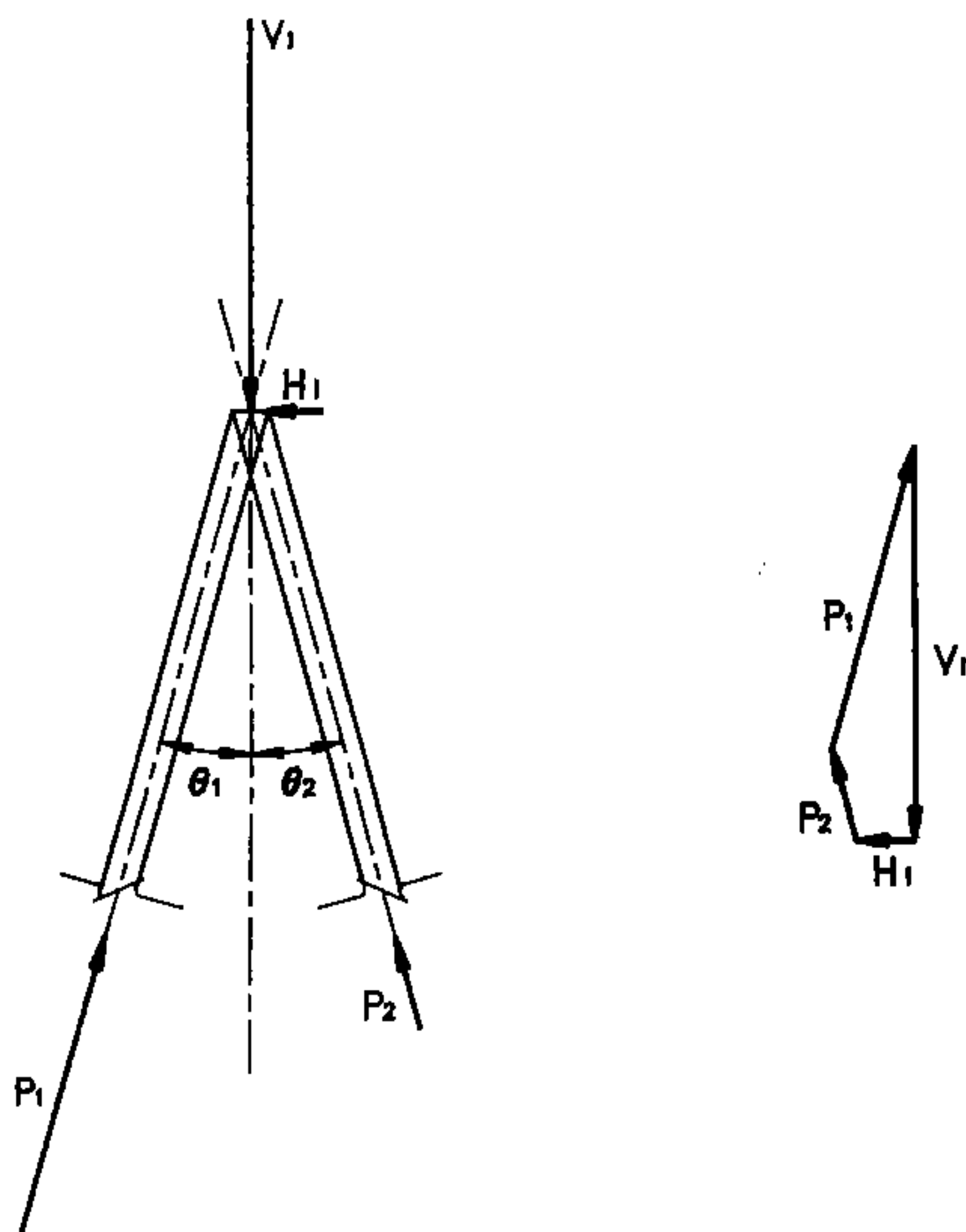


圖 4-4.8 斜組樁之軸向力

### 4.4.7 群樁效果之考量

基樁使用於群樁，須考量群樁效果對基樁行為之影響。

承受橫向力之群樁如為斜組樁，則僅考慮軸向承載力，群樁效果可依本篇第二章 4.2節[樁之軸向容許承載力]相關規定檢討。

由直樁所組成之群樁，須考量群樁效果對橫向承載力之影響，如基樁之間距大於表 4-4.3所列之值，可不考量群樁效果之影響。表中橫向係指外力之垂直方向，縱向指外力之作用方向。直樁打設於粘土層所組成之群樁，為考慮其安全性，建議採用較大樁距。

表 4-4.3 群樁基樁之間距

|      |    |        |
|------|----|--------|
| 砂質土壤 | 橫向 | 1.5倍樁徑 |
|      | 縱向 | 2.5倍樁徑 |
| 粘性土壤 | 橫向 | 3.0倍樁徑 |
|      | 縱向 | 4.0倍樁徑 |

## 4.5 設計概要

### 4.5.1 設計原則

垂直載重原則上僅由樁承受，而不能期待與樁頭基座底面相接之地層承載。水平載重原則上亦僅由樁承受，但樁頭基座側面土壓如能可靠抵抗時，亦可考量此土壓抵抗。

樁基礎設計流程，參考圖4-5.1所示之流程。

### 4.5.2 載重分配

於同一樁基礎上，作用於各樁之垂直載重及水平載重，應儘可能使其具有相同之值，而決定基樁之配置。

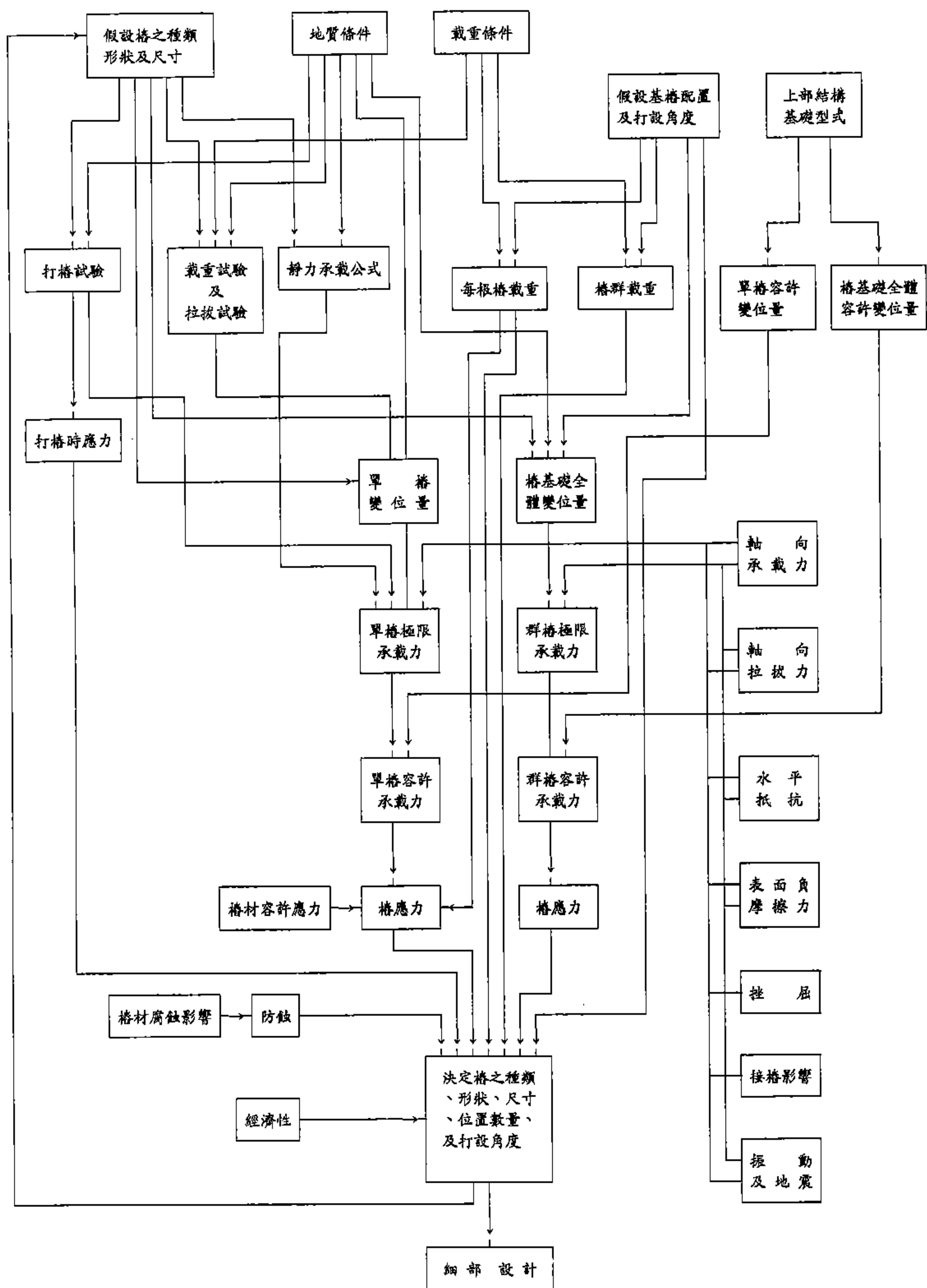


圖 4-5.1 樁基礎設計流程

於同一樁基礎上，欲使樁之載重相同，意即樁之種類、形狀及尺寸儘可能相同之意。此由施工性、經濟性等來考慮係當然之事。再者如作用於樁之載重不同時，很難使沉陷及變位相同，將產生不均勻沉陷或局部應力集中，對基座之影響亦大。

### 4.5.3 樁材容許應力

樁材容許應力，依其所使用材料及製造方法等決定之。

樁材容許應力，如表4-5.1所示。

## 4.6 細部設計

### 4.6.1 施工時載重檢討

樁之設計不僅考慮完工後之載重，運送、豎立、錘擊時之載重均應加以檢討。

### 4.6.2 樁頭與上部結構連結設計

樁頭與上部結構連結部份，須考慮各種條件所致之應力設計之。

樁頭與上部結構連結為剛接或鉸接，各有其優劣點，於設計時可依下述原則研判決定。

- 對垂直載重而言剛接或鉸接無差異，但須考慮挫屈時，剛接之挫屈長度(Buckling Length)較鉸接為短。
- 承受相同水平載重時，剛接之水平位移量遠小於鉸接。
- 剛接之樁承受水平力時，樁頭產生固定端力矩。
- 剛接時，由於基礎之迴轉，樁頭力矩亦產生變化。
- 力學分析上，鉸接較為正確。但樁頭與上部結構為完全鉸接結構，在施工上頗為困難。

樁頭為剛接時，於設計時應注意下列事項。

- 須為具有抵抗彎矩、剪應力、軸向力等之設計。
- 剛接樁頭，樁頭部為斷面急變部份，應考慮應力集中現象，加強結構以避免基樁發生破壞。

表 4-5.1 樁材容許應力

| 樁 之 種 類                     |                        | 容 許 應 力                |  |   |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|--|---|
|                             |                        | 種 類                    | 大 小  |   |
| 混<br>凝<br>土<br>樁            | 利用離心力法製造之預鑄鋼筋混凝土樁      | 鋼筋混凝土樁                 | 決定軸向承載力之容許壓應力                                      | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之30%，但須小於 $120\text{kg}/\text{cm}^2$ |
|                             |                        |                        | 其他應力   | 依第三篇第三章3.7節[容許應力]規定                                 |
|                             |                        | 預力混凝土樁                 | 決定軸向承載力之容許壓應力                                      | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之30%，但須小於 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ |
|                             |                        |                        | 容許彎曲壓應力  | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之30%，但須小於 $170\text{kg}/\text{cm}^2$ |
|                             |                        |                        | 容許拉應力及容許彎曲拉應力                                      | $0\text{kg}/\text{cm}^2$                            |
|                             |                        | 經強度養護PC製或RC之樁高         | 決定軸向承載力之容許壓應力                                      | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之30%，但須小於 $240\text{kg}/\text{cm}^2$ |
|                             | 利用震動機震實之普通鋼筋混凝土預鑄樁     | 決定軸向承載力之容許壓應力          |  | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之25%，但須小於 $70\text{kg}/\text{cm}^2$  |
|                             |                        | 其他應力                   |  | 依第三篇第三章3.7節[容許應力]規定容許應力之80%                         |
|                             | 有保護現場澆置之混凝土樁           | 容許彎曲壓應力(包括有軸向力同時作用之情形) |  | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之25%，但須小於 $60\text{kg}/\text{cm}^2$  |
|                             |                        | 其他應力                   |  | 依第三篇第三章3.7節[容許應力]規定容許應力之70%                         |
| 無保護現場澆置之土樁                  | 容許彎曲壓應力(包括有軸向力同時作用之情形) |                        | 混凝土設計強度 $f_c'$ 之20%，但須小於 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ |   |
|                             | 其他應力                   |                        | 依第三篇第三章3.7節[容許應力]規定容許應力之50%                        |   |
| 承受短期載重，或考慮地震時，上列各值可酌提高1.5倍。 |                        |                        |  |   |
| 鋼 樁                         | 全 部                    |                        |  | 依第三篇第二章2.3節[容許應力]規定                                 |

- 樁頭須有充分長度埋入上部結構，且須注意其與上部結構下方鋼筋之關係。若基礎下側鋼筋有被樁切斷之慮時，須充分加強。一般樁埋入上部結構深度以大於樁徑或樁寬度為宜。埋入混凝土之樁頭，其側面支承壓力分佈尚不明確，目前尚無適當方法計算正確埋入深度，如假設支承壓力為直線分佈，可依下式估算樁頭埋入上部結構深度，以供參考。

$$L = \sqrt{\frac{6 \cdot M_0}{B \cdot f_{cp}}} \quad (4-6.1)$$

式中

$L$ ：樁頭埋入上部結構深度(m)

$M_0$ ：樁頭拘束力矩(kg/cm)

$B$ ：樁之寬度或直徑(cm)

$f_{cp}$ ：上部結構混凝土容許承壓應力(kg/cm<sup>2</sup>)(參考第三篇第三章3.7節[容許應力]規定)

樁頭為鉸接時，於設計時應注意下列事項。

- 樁頭部應可自由轉動，因之樁頭埋入上部結構深度約為10~15公分。埋入深度若過長時接近剛接，過短時無法固定橫向移動，無法達到鉸接效果。
- 樁頭為柱端時，有破損之慮，必須加強。
- 結合部如非完全鉸接，發生樁頭固定端彎矩，於設計須加予考慮。

### 4.6.3 接樁

基樁續接位置以設置於斷面有餘裕處，且受腐蝕影響較少之處為佳。接頭強度須大於接頭位置處之設計應力，且不小於樁體強度之75%。

### 4.6.4 樁端

基樁樁端結構，應視地質條件及施工方法而定。

## 第五章 基礎沉陷



## 第五章 基礎沉陷

### 5.1 土壤垂直內應力

#### 5.1.1 概要

土壤一般不能視為彈性體，但其容許承载力採用十分保守之安全係數（大於 2.0）時，可假設土壤承受載重時之變形行為為近似彈性體，求得合理之近似解。估算土壤因載重所致之垂直內應力之彈性解析法，以Boussinesq氏之方法為主，假設土壤為等向均質半無限彈性體，表面承受垂直集中載重為基本條件，由其積分，求得線載重(Line Load)及面載重(Plane Load)之土壤垂直內應力。

估算帶狀載重或長方形載重所引起之土壤垂直內應力，除彈性解析法外，尚有假定應力為直線分佈之Kogler氏方法。

本節所述估算土壤垂直內應力之方法，不考慮土壤自重，只估算由載重所引起之土壤垂直內應力之增量，此須特別注意。

#### 5.1.2 集中載重所引起之土壤垂直內應力

假設地層為無重量之半無限彈性體，其表面承受垂直集中載重 $P$ 時，地表面下深度 $z$ 點所產生之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} I\sigma \quad (5-1.1)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：集中載重( $t$ )

$z$ ：由地表面起算之深度( $m$ )

$I\sigma$ ：土壤垂直內應力之影響係數值(參考圖5-1.1)

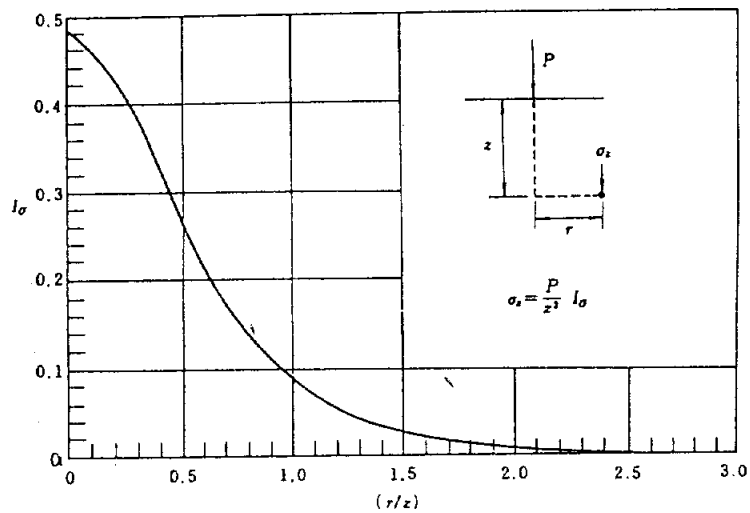


圖 5-1.1 集中載重引起之土壤垂直內應力影響係數值

### 5.1.3 線形載重所引起之土壤垂直內應力

地面承受每單位長度載重  $P$  之無限長垂直線形載重時，地表下深度  $z$  點之土壤垂直內應力增量  $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = \frac{P}{z} I_\sigma \quad (5-1.2)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量 ( $t/m^2$ )

$P$ ：單位長度之線載重 ( $t/m$ )

$z$ ：由地面起算之深度 ( $m$ )

$I_\sigma$ ：土壤垂直內應力之影響係數值 (參考圖 5-1.2)

### 5.1.4 帶狀載重所引起之土壤垂直內應力

#### 1. 均佈帶狀載重

載重強度  $P$ ，載重寬度  $B$  之均佈帶狀載重所引起之土壤垂直內應力增量  $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = P \cdot I_\sigma \quad (5-1.3)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量 ( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度 ( $t/m^2$ )

$I_\sigma$ ：土壤垂直內應力之影響係數值 (參考圖 5-1.3)

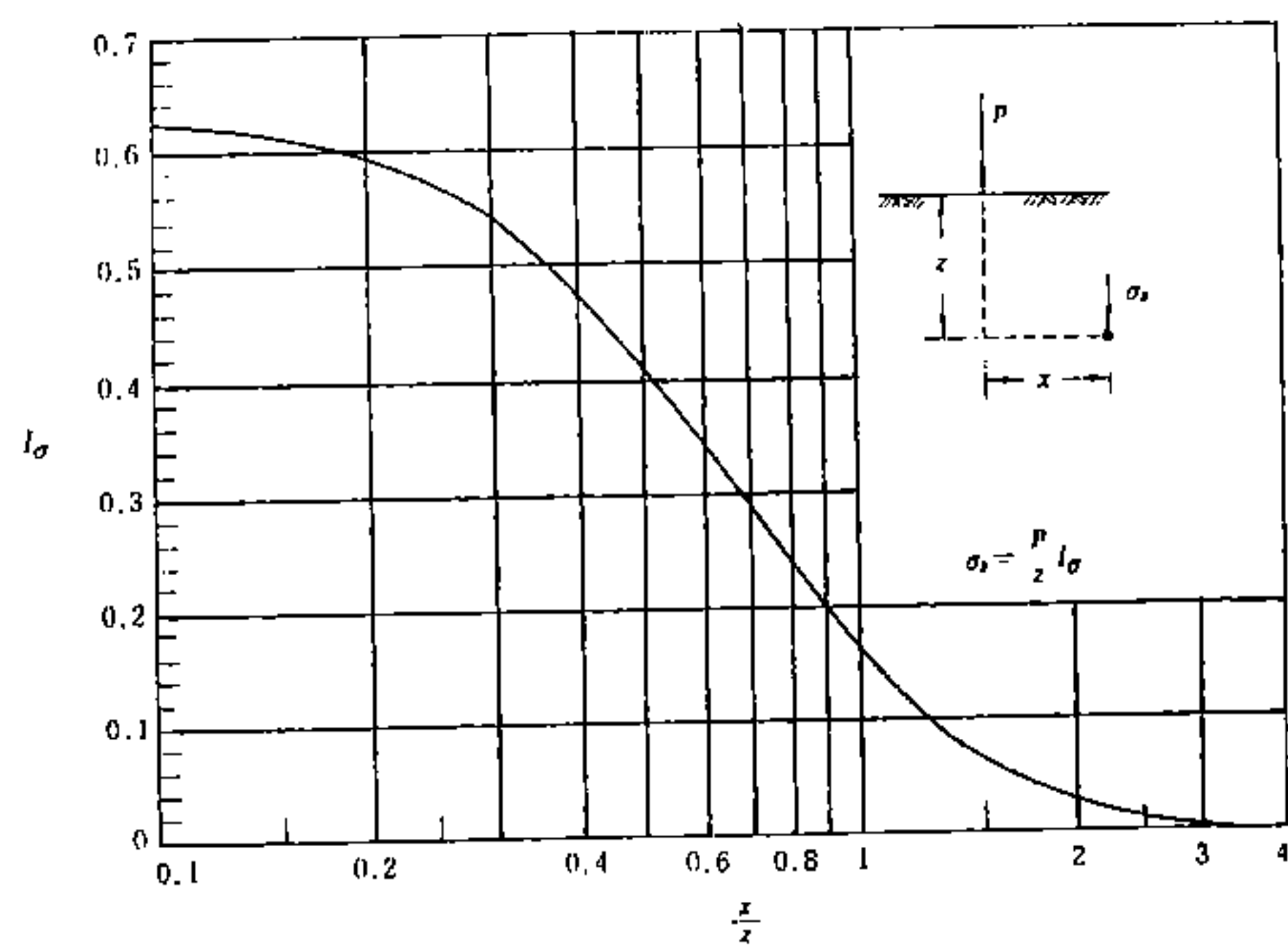


圖 5-1.2 線形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值

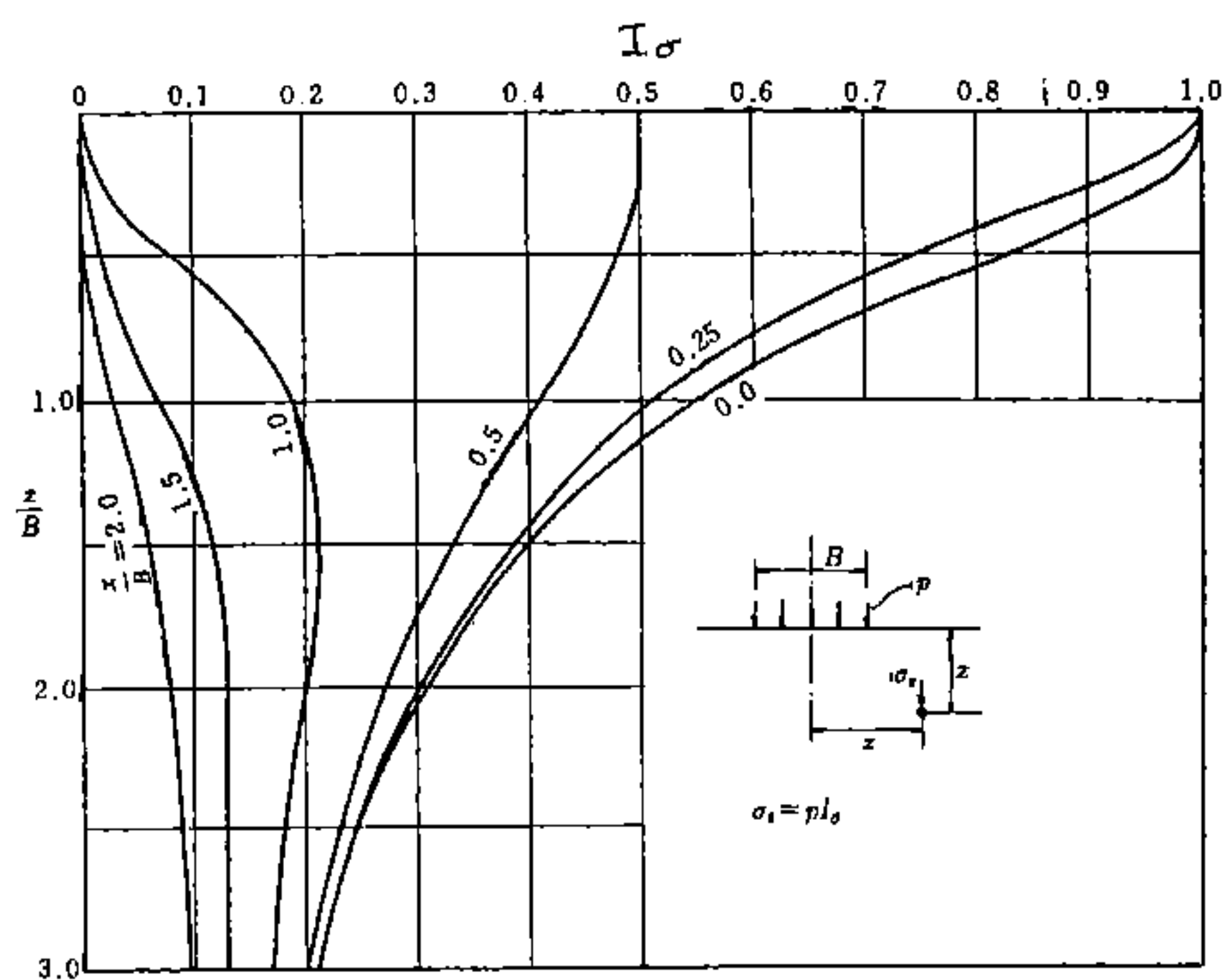


圖 5-1.3 均佈帶狀載重引起之土壤垂直內應力影響係數值

公式 (5-1.3)係依彈性理論演譯而得，均佈帶狀載重所引起之土壤垂直內應力增量，於同一深度，不同位置應非定值，若欲簡化得一近似值，可依據應力為直線分佈之假設計算，則有波士頓規則法(Boston Code Method)及修正Kogler法等二種可採用。

#### (1)波士頓規則法

波士頓規則法，係假設地表面所承受之垂直載重，以角度 $\alpha(\alpha \geq 30^\circ)$ 向下散佈，而均佈於預定之計算面，如圖 5-1.4 (a)所示，載重強度 $P$ ，載重寬度 $B$ 之均佈帶狀載重，於深度 $z$ 之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = \frac{P}{1 + 2\left(\frac{z}{B}\right)\tan\alpha} \quad (5-1.4)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$B$ ：均佈載重寬度(m)

$z$ ：由地表面起向下之深度(m)

$\alpha$ ：載重散佈角度(度)，一般採用 $30^\circ$

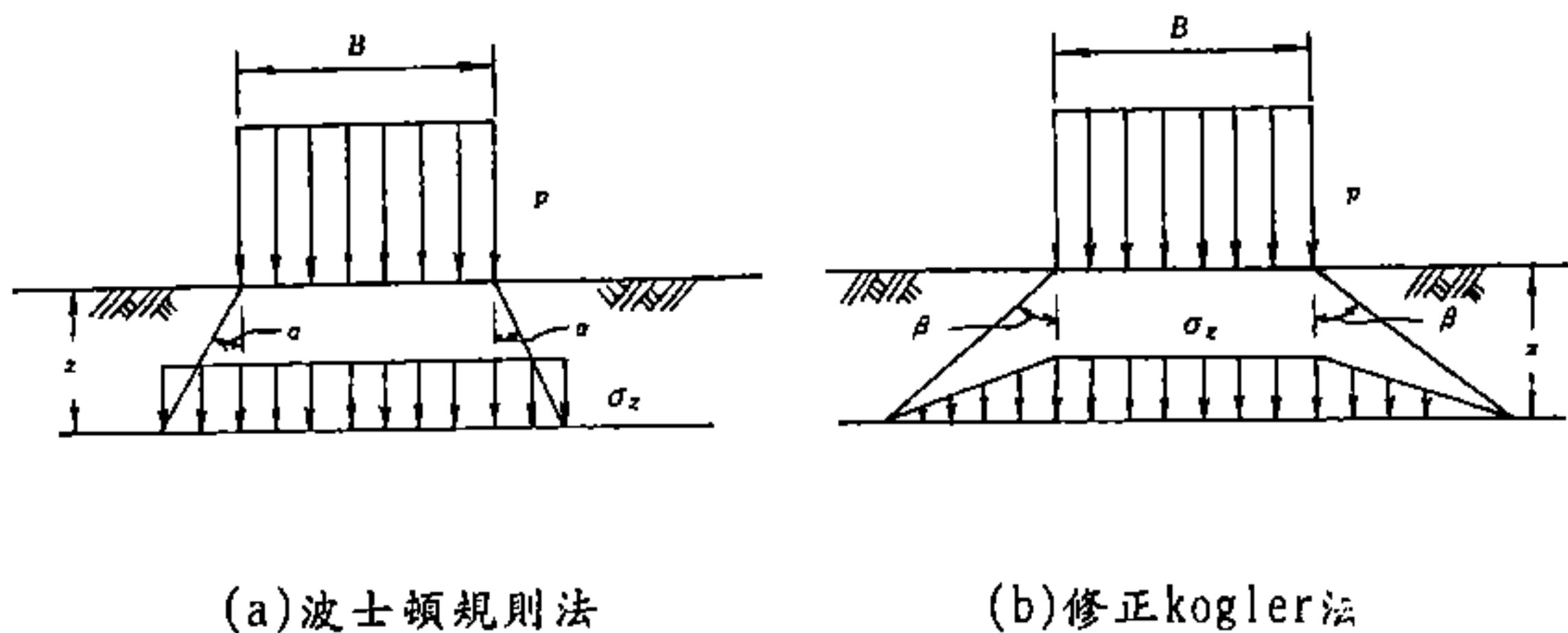


圖 5-1.4 直線狀應力分佈

## (2) 修正Kogler法

修正Kogler法，係針對波士頓規則法，考慮土壤垂直內應力增量於重合時有不等之矛盾狀況，如圖5-1.4(b)所示，假設載重之散佈角度 $\beta$ 較大(一般採用 $55^\circ$ )，且土壤垂直內應力增量為梯形分佈，則載重作用線下深度 $z$ 之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = \frac{P}{1 + \left(\frac{z}{B}\right) \tan \beta} \quad (5-1.5)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )  
 $P$ ：載重強度( $t/m^2$ )  
 $B$ ：均佈載重寬度(m)  
 $z$ ：由地面起算向下之深度(m)  
 $\beta$ ：載重散佈角度(度)，一般採用 $55^\circ$

以波士頓規則法及修正Kogler法所求得之 $\sigma_z/P$ 比值，如圖5-1.5所示。

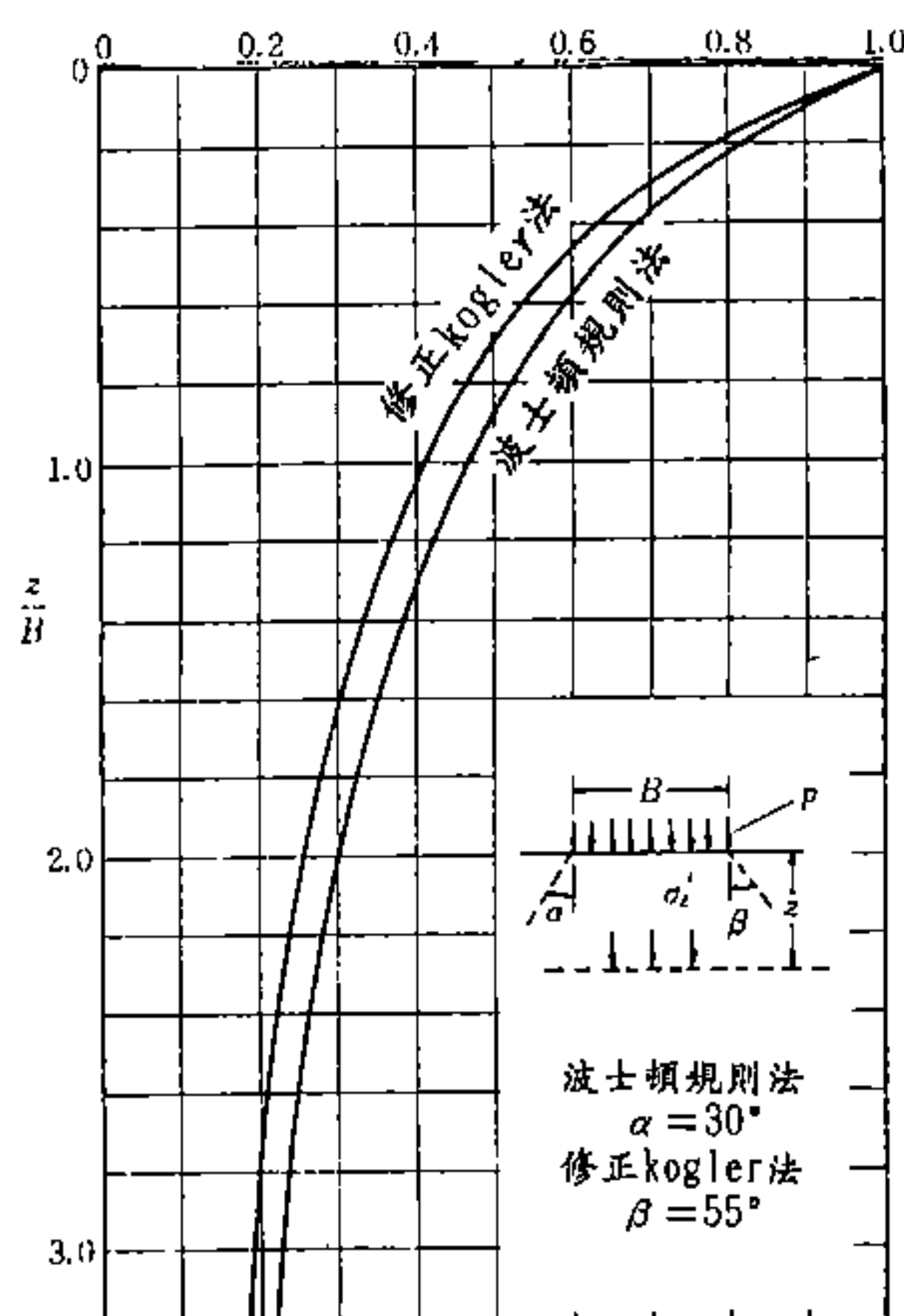


圖 5-1.5 由均佈帶狀載重所產生之土壤垂直內應力增量

## 2. 梯形載重

梯型載重引起之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = P \cdot I\sigma \quad (5-1.6)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$I\sigma$ ：土壤垂直內應力之影響係數值(參考圖5-1.6)

Osterberg氏應用如圖 5-1.7(a)所示三角形載重，以代數合成方式，求得如圖5-1.7(b)所示梯形載重所引起之土壤垂直內應力影響係數值 $I\sigma$ ，如圖5-1.6所示。

## 5.1.5 面載重所引起之土壤垂直內應力

### 1. 均佈圓形載重

半徑 $R$ 之圓形面上承受均佈載重 $P$ ，土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = P \cdot I\sigma \quad (5-1.7)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$I\sigma$ ：土壤垂直內應力之影響係數值(參考圖5-1.8)

$R$ ：載重面之半徑(m)

### 2. 均佈長方形載重

#### (1) 長方形分割法

邊長  $B(m)$ 及 $L(m)$ 之長方形面承受均佈載重 $P$ ，長方形之隅角下，任意深度點之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，以下式計算之。

$$\sigma_z = P \cdot I\sigma \quad (5-1.8)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$I\sigma$ ：土壤垂直內應力之影響係數值(參考圖5-1.9)

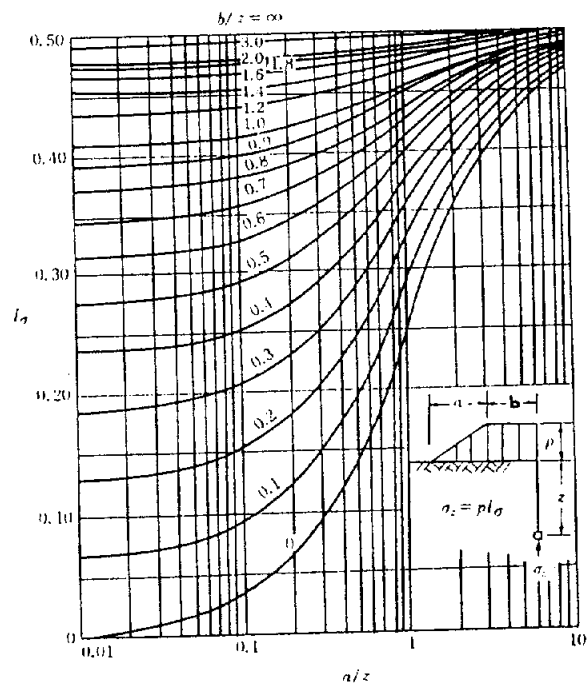


圖 5-1.6 梯形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值

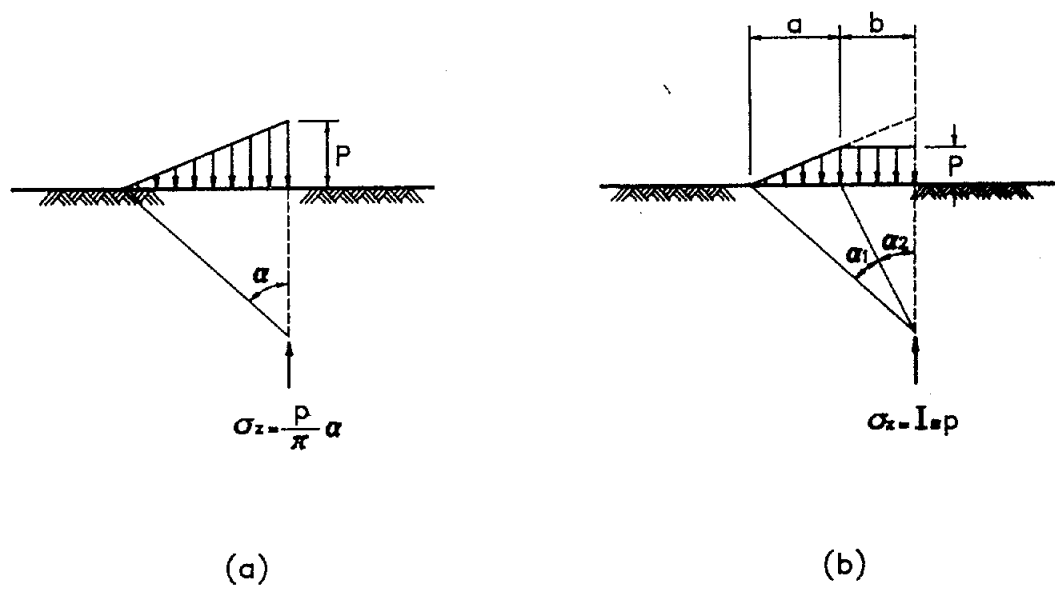


圖 5-1.7 三角形載重合成之梯形載重

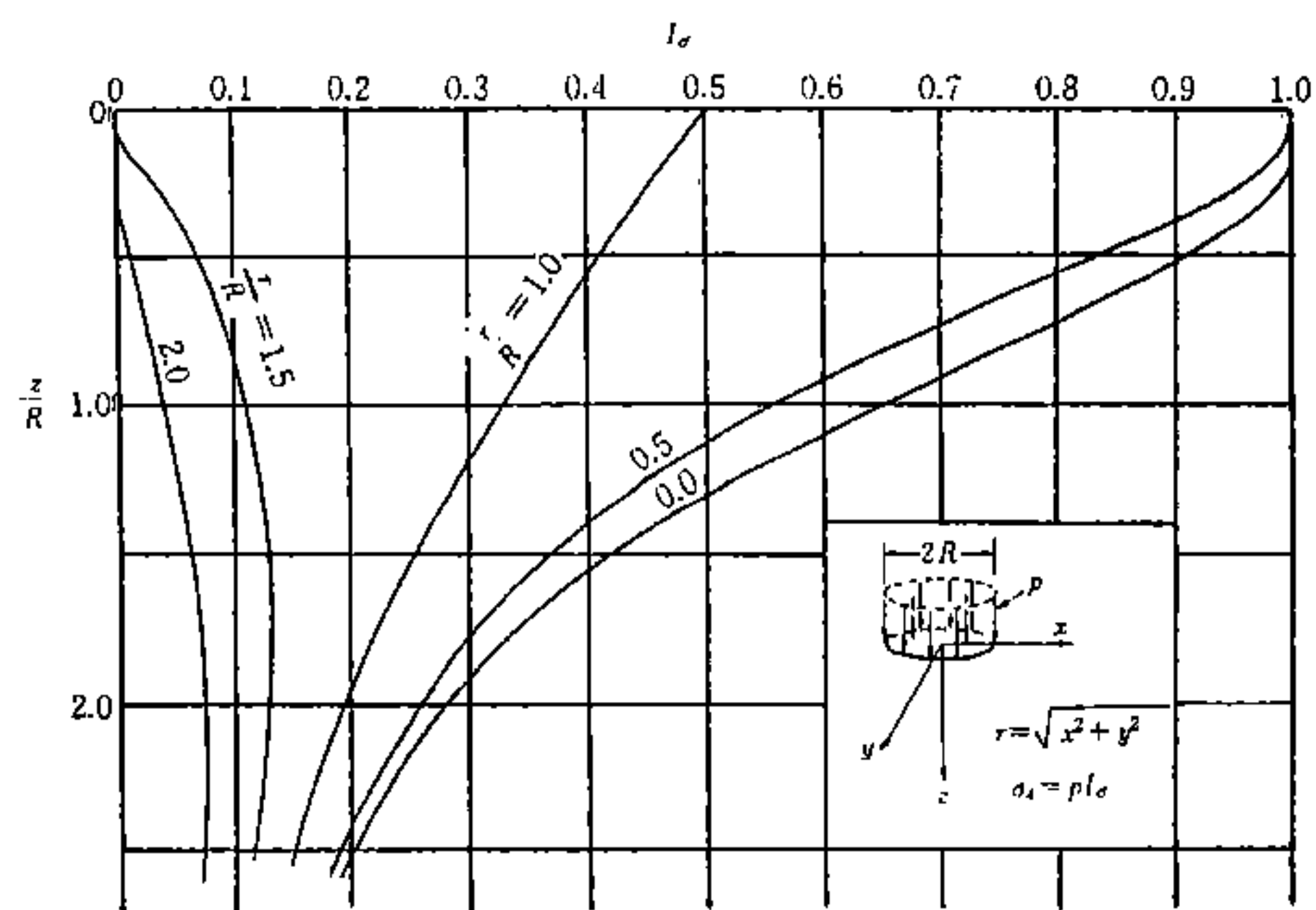


圖 5-1.8 均佈圓形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值

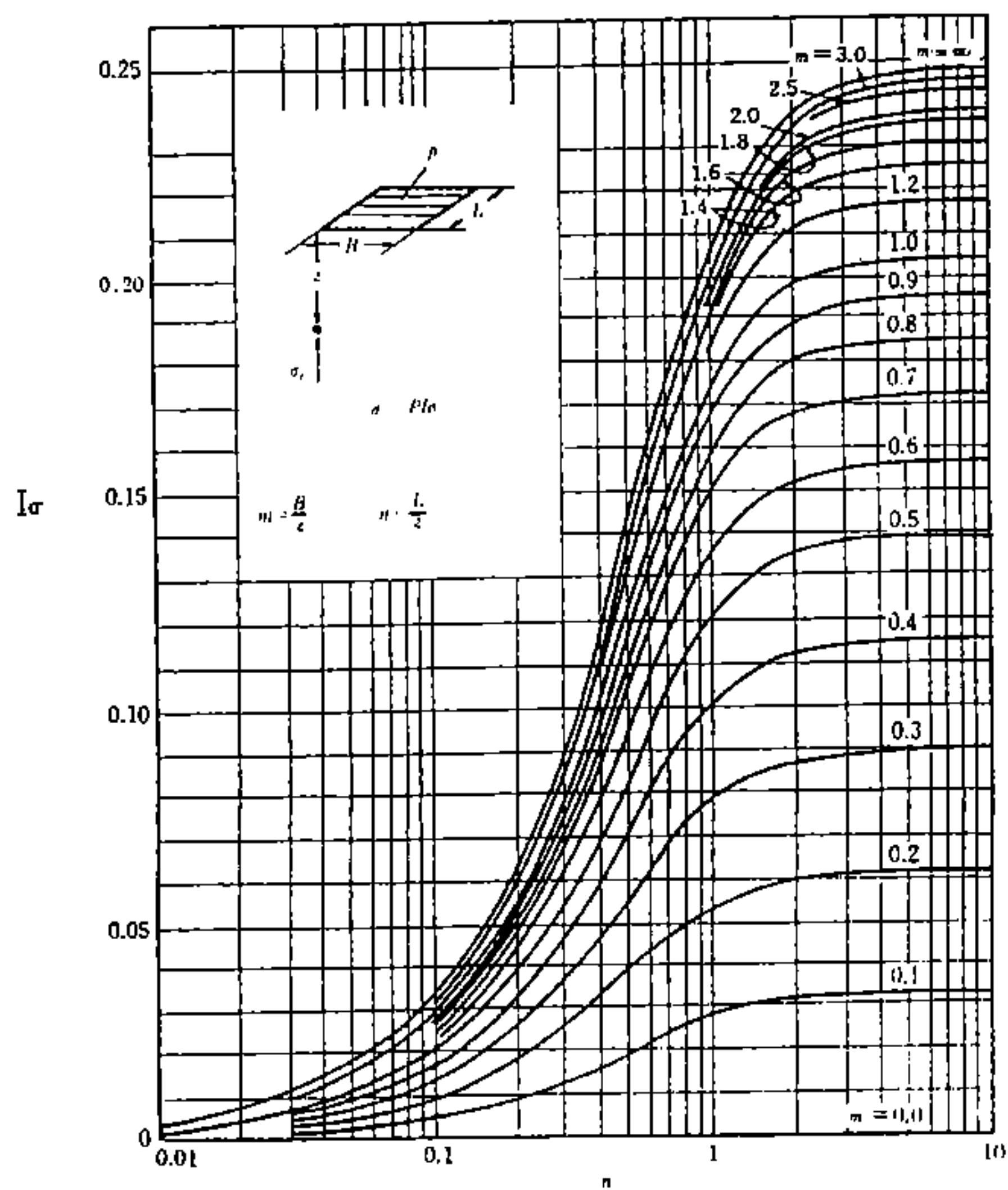


圖 5-1.9 均佈長方形載重引起之土壤垂直內應力影響係數值



長方形隅角外之N點下方土壤垂直內應力，如圖 5-1.10 所示，可以長方形方割法，以各長方形影響係數值之代數和求之。

## (2)應力直線分佈法

假設應力為直線分佈，如本章5.1.4節[由帶狀載重所引起之土壤垂直內應力]所述，可概略算出矩形載重面下土壤垂直內應力。於一長方形載重面( $B(m) \times L(m)$ )，承受強度  $P$  之均佈載重時，載重面下方深度  $z$  點之土壤垂直內應力增量  $\sigma_z$ ，以下列方法估算之。

### ①波士頓規則法

$$\sigma_z = P \frac{B \cdot L}{B \cdot L + 2 \cdot z(B+L)\tan\alpha + 4 \cdot z^2 \cdot \tan^2\alpha} \quad (5-1.9)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$z$ ：由地面起算之深度(m)

$\alpha$ ：載重散佈角度(度)，一般採用 $30^\circ$

$B$ ：載重面寬度(m)

$L$ ：載重面長度(m)

### ②修正Kogler法

$$\sigma_z = P \frac{B \cdot L}{B \cdot L + z(B+L)\tan\beta + \frac{4}{3} \cdot z^2 \cdot \tan^2\beta} \quad (5-1.10)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

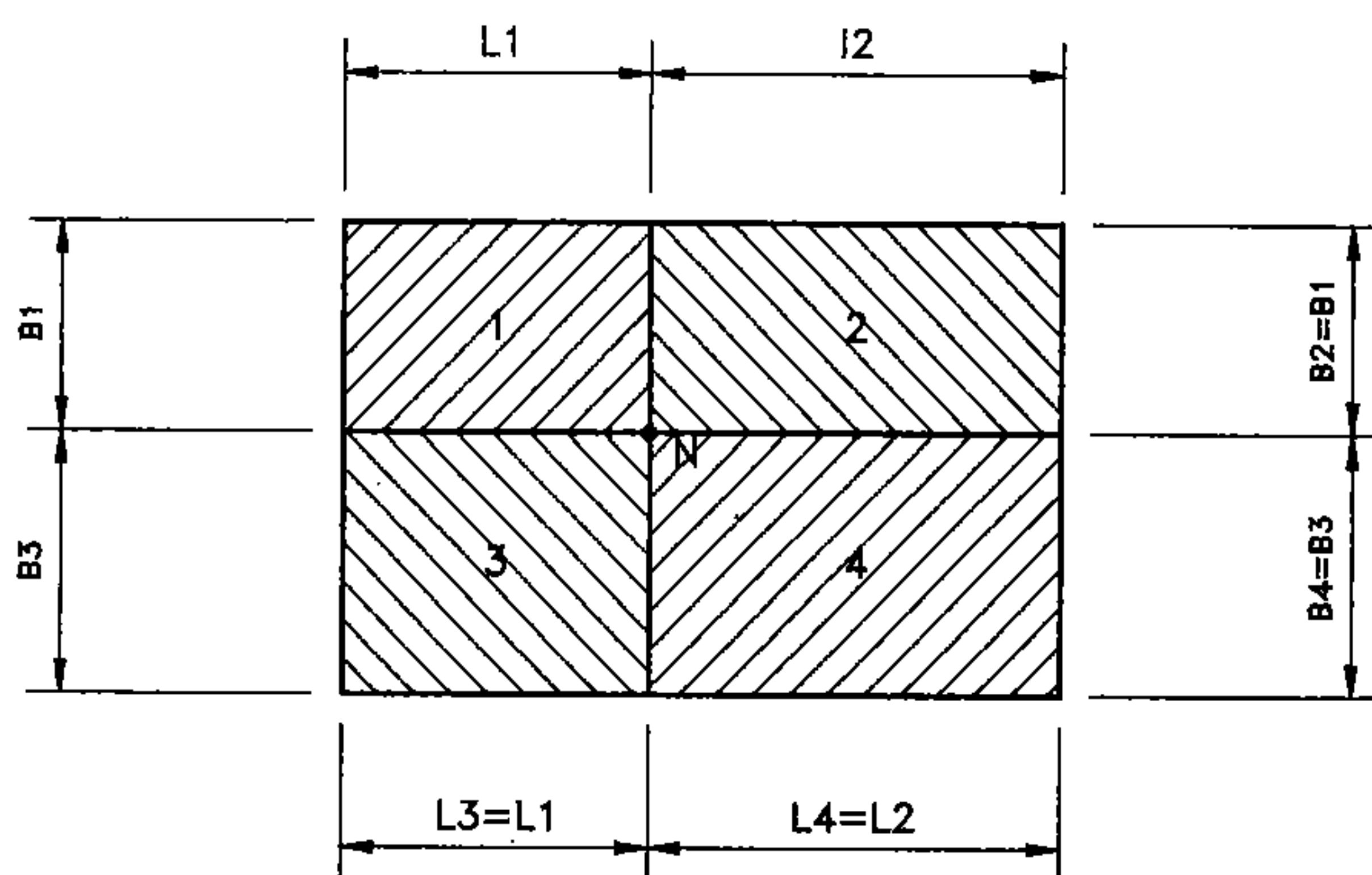
$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$z$ ：由地面起算之深度(m)

$\beta$ ：載重散佈角度(度)，一般採用 $55^\circ$

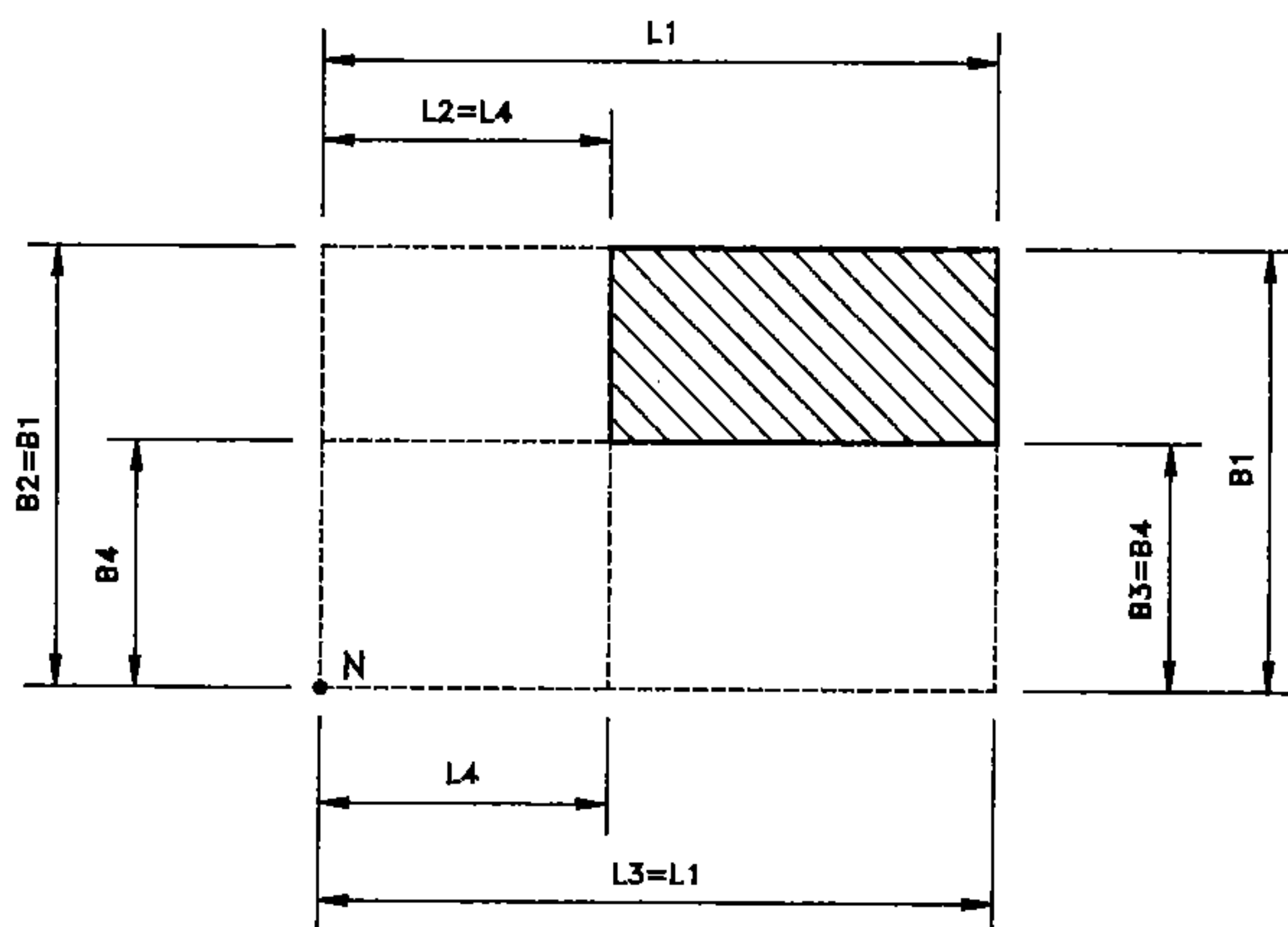
$B$ ：載重面寬度(m)

$L$ ：載重面長度(m)



$$\sigma_z = p(I_{\sigma_1} + I_{\sigma_2} + I_{\sigma_3} + I_{\sigma_4})$$

(a)



$$\sigma_z = p(I_{\sigma_1} - I_{\sigma_2} - I_{\sigma_3} + I_{\sigma_4})$$

(b)

圖 5-1.10 長方形分割法範例

### 3. 影響圖法

任意形狀之均佈載重面，地表面下任意點深度之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ ，可依圖5-1.11及下式計算之。

$$\sigma_z = n \times 0.005 \cdot P \quad (5-1.11)$$

式中  $\sigma_z$ ：土壤垂直內應力增量( $t/m^2$ )

$P$ ：載重強度( $t/m^2$ )

$n$ ：影響面之個數(個)

圖5-1.11所示之 Newmark影響圖，全平面由同心圓輻射線群分割成兩百個小面積，稱為影響面， $1/200=0.005$ 稱為影響值，地面上承受均佈載重  $P$ ，載重面積範圍內每一影響面，其代表之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ 等於 $0.005P$ 。

地面上任意形狀載重面承受均佈載重  $P$ ，利用影響圖計算載重面內或外任意點(N點)下方深度 $z$ 之土壤垂直內應力增量 $\sigma_z$ 之步驟如下：

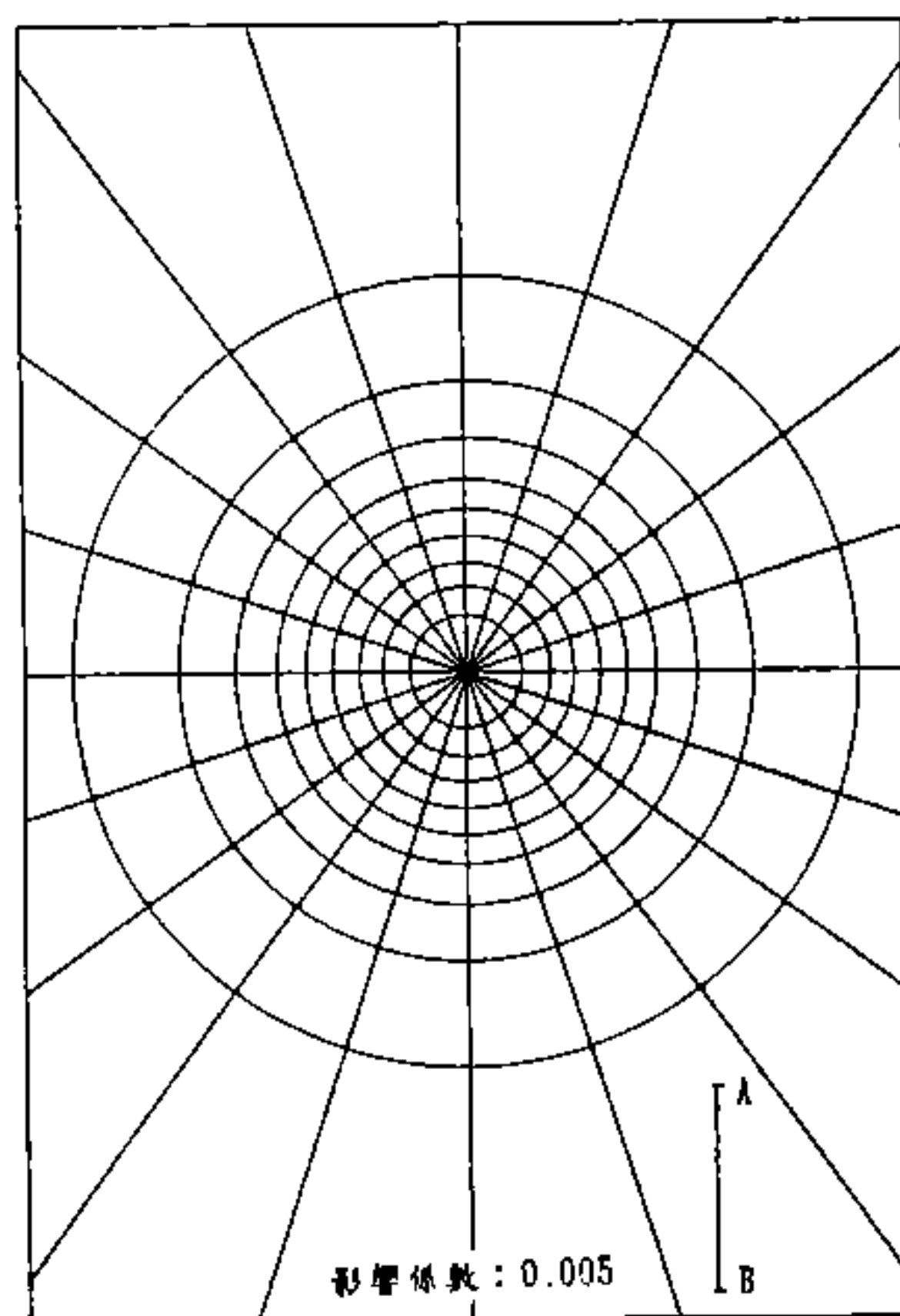


圖 5-1.11 Newmark 影響圖

- (1)以深度 $z$ 等於圖 5-1.11所示基準線AB長度之比例尺，繪載重面於描圖紙上。
- (2)將描圖紙重疊於圖 5-1.11之上，以N點與影響面中心相合。
- (3)計算描圖紙上載重面範圍內所包含之影響面個數 $n$ 。
- (4)土壤垂直內應力增量 $\sigma_z = n \cdot 0.005 \cdot P$ 。

應用影響圓求土壤垂直內應力增量，因載重面之比例尺隨深度之不同而變，求不同深度各點之土壤垂直內應力，載重面須重繪，此為其缺點，但求距載重面甚遠點之地層內應力影響，或載重面不易分割成長方形面時，採用影響圓法較採用長方形分割法為便利。

## 5.2 即時沉陷

### 5.2.1 概要

即時沉陷係由於地層承受載重產生剪力變形所引起之沉陷，於載重施加之同時發生。因之，即時沉陷主要發生於砂性地層或具有適當強度之黏性土壤地層。

即時沉陷係將土壤視為彈性體估計而得。至於壓密沉陷則係由於黏性土壤地層承受載重導致黏性土層產生超額孔隙水壓，該孔隙水壓隨時間而逐漸消散，所引起之沉陷。一般黏性土壤地層之即時沉陷量遠較壓密沉陷量為小。

即時沉陷與壓密沉陷兩者之行為具有相當大之差異，砂質地層不似黏性土壤地層，故並無長期間之壓密沉陷，可視其即時沉陷即為總沉陷。

黏性土壤地層之即時沉陷可視為土壤之彈性沉陷及土壤之側向塑性流動所致，迄今尚無法作定量求解。尤其於軟弱海底施加單側載重之情況，表層數十公分厚黏性土壤常有被擠走之現象，此現象有如拋石陷入海底，可視為施工上之問題，除加以適當估計外，別無他法。

### 5.2.2 垂直集中載重所引起之沉陷

參考圖5-1.1，承受垂直集中載重P，地表面之即時沉陷量 $\rho_z$ ，以下式計算之。

$$\rho_z = \frac{P(1-\nu^2)}{\pi \cdot r \cdot E} \quad (5-2.1)$$

式中  $\rho_z$ ：沉陷量(m)

P：集中載重(t)

$\nu$ ：波森比(Poisson's ratio)

E：土壤彈性模數(t/m<sup>2</sup>)

r：與載重作用點之水平距離(m)

### 5.2.3 垂直線形載重所引起之沉陷

參考圖5-1.2，承受垂直線形載重P，地表面之即時沉陷量 $\rho_z$ ，以下式計算之。

$$\rho_z = \frac{2P(1-\nu^2)}{\pi \cdot E} \ln\left(\frac{d}{r}\right) \quad (5-2.2)$$

式中  $\rho_z$ ：沉陷量(m)

P：垂直線載重(t/m)

$\nu$ ：波森比(Poisson's ratio)

E：土壤之彈性模數(t/m<sup>2</sup>)

r：與載重作用點之水平距離(m)

d：地表面上沉陷量為零之點與線形載重位置之水平距離(m)，d值需適當假設。

### 5.2.4 均佈帶狀載重所引起之沉陷

參考圖5-1.3，承受均佈帶狀載重P，地表面之即時沉陷量 $\rho_z$ ，以下式計算之。

$$\rho_z = \frac{2P(1-\nu^2)}{\pi \cdot E} \left[ B + \ln \left( \frac{|x-B/2|^{x-B/2}}{|x+B/2|^{x+B/2}} \right) \right] \quad (5-2.3)$$

式中  $\rho_z$  : 沉陷量(m)

$P$  : 載重強度(t/m<sup>2</sup>)。

$\nu$  : 波森比(Poisson's ratio)

$E$  : 土壤之彈性模數(t/m<sup>2</sup>)

$B$  : 載重寬度(m)。

$x$  : 距帶狀載重中心之距離(m)。

### 5.2.5 均佈圓形載重所引起之沉陷

參考圖5-1.8，承受均佈圓形載重 $P$ ，圓心之地表面沉陷量 $\rho_z$ ，以下式計算之。

$$\rho_z = \frac{2P(1-\nu^2)}{E} R \quad (5-2.4)$$

式中  $\rho_z$  : 沉陷量(m)

$P$  : 載重強度(t/m<sup>2</sup>)。

$\nu$  : 波森比(Poisson's ratio)

$E$  : 土壤之彈性模數(t/m<sup>2</sup>)

$R$  : 圓形載重半徑(m)

### 5.2.6 均佈長方形載重所引起之沉陷

參考圖 5-1.9，承受均佈長方形載重 $P$ ，長方形之隅角點 $N$ 之地表面沉陷量 $\rho_z$ ，以下式計算之。

$$\rho_z = P \cdot B \frac{(1-\nu^2)}{E} I_\rho \quad (5-2.5)$$

式中  $\rho_z$  : 沉陷量(m)

$P$  : 載重強度(t/m<sup>2</sup>)。

B：載重寬度(m)。

$\nu$ ：波森比(Poisson's ratio)

E：土壤之彈性模數( $t/m^2$ )

$I_p$ ：沉陷量之影響係數值，為長方形長寬比( $L/B$ )之函數，如圖 5-2.1 所示。與計算土壤垂直內應力相同，可由長方形分割法求得各種狀況下之沉陷量。

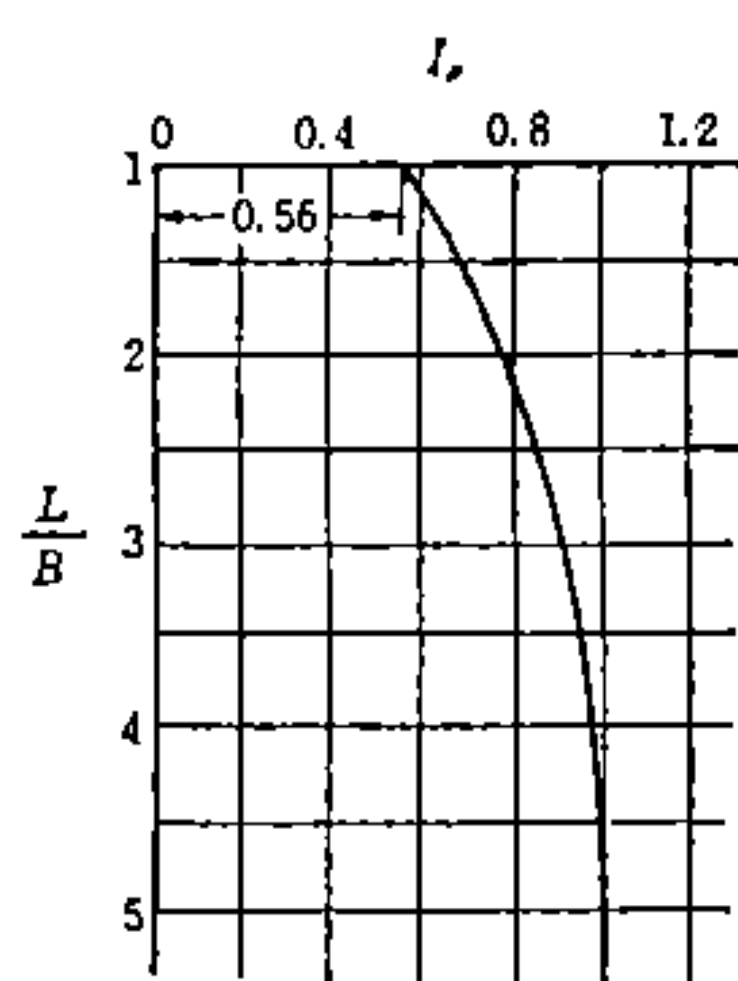


圖 5-2.1 均佈長方形載重隅角點沉陷量影響值

## 5.3 壓密沉陷

### 5.3.1 概要

壓密沉陷為黏性土壤地層於承受載重後，土壤產生超額孔隙水壓，經長期間該超額孔隙水壓逐漸消散所產生之沉陷。於砂性地層則不致產生超額孔隙水壓，故並無後續之長期間壓密沉陷量發生。壓密沉陷之持續時間依黏土之性質、排水路徑長短及黏土地層之厚度等因素而定，常有持續十年以上者。

### 5.3.2 最終壓密沉陷量

#### 1. 概要

最終壓密沉陷量 $S_0$ ，以下式計算之。

$$S_0 = \sum m_v \cdot \Delta h \cdot \Delta \sigma_z \quad (5-3.1)$$

式中  $S_0$ ：最終壓密沉陷量(cm)  
 $m_v$ ：土壤體積壓縮係數( $\text{cm}^2/\text{kg}$ )  
 $\Delta h$ ：各壓密層之厚度(cm)  
 $\Delta\sigma_z$ ：各壓密層中央之壓密應力( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

## 2. 壓密層之分割

如圖5-3.1所示，最終壓密沉陷量之計算，可將黏性土壤地層分成數層計算，壓密應力 $\Delta\sigma_z$ 及體積壓縮係數 $m_v$ 依深度而變化。一般言之， $m_v$ 及 $\Delta\sigma_z$ 隨深度之增加而減小，因此各層之壓縮量，於深度愈大時愈小。各分層之厚度 $\Delta h$ 通常取3m~5m，於初步估算時， $\Delta h$ 雖可取較大值，但於軟弱黏土層，其表層之 $m_v$ 非常大，為控制總沉陷量之最大因素， $\Delta h$ 如取過大，所求得之壓密沉陷量會過小。

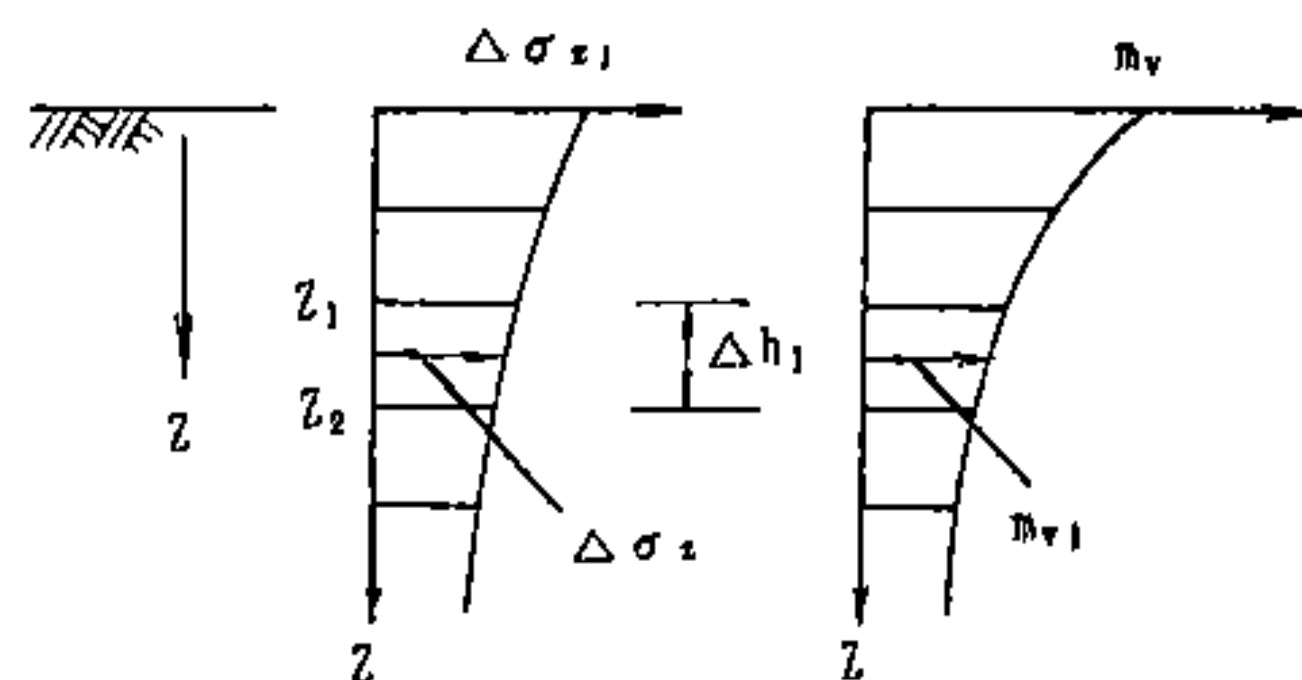


圖 5-3.1 壓密沉陷量計算示意圖

## 3. 體積壓縮係數 $m_v$

體積壓縮係數 $m_v$ ，依壓密試驗結果估算，試驗時應以計算點有效覆土壓力加 $\Delta\sigma_z/2$ 壓力值為準，讀取相對應之 $m_v$ 值。基礎埋入某深度時，壓密應力 $\Delta\sigma_z$ 為超過載重前有效覆土壓力之壓力，亦即為實際上增加之壓力。

體積壓縮係數 $m_v$ ，依壓密壓力而變化，一般黏性土壤地層是經歷極長時間堆積而成，並考慮其有效覆土壓力下壓密終了



時之狀態。體積壓縮係數 $m_v$ 隨深度而減小，整理壓密試驗結果時，於  $P_n = P_{n-1} + \Delta P_n$  之壓力下，計算壓密過程 $m_v$ 值之對數時

，應對應以  $P_n = \frac{1}{2}(P_n + P_{n-1}) = P_{n-1} + \frac{1}{2}\Delta p_n$  之對數標出之，土

壤之 $\log P_n$ 與 $\log m_v$ 為直線關係。

#### 4. 壓密壓力 $\Delta\sigma_z$

各分層土壤所承受之壓密壓力 $\Delta\sigma_z$ ，依本章5.1節[土壤垂直內應力]所述土壤垂直內應力之深度分佈，取各分層中點之土壤垂直內應力值。但 $\Delta\sigma_z$ 只考慮載重之增量，若地表未經特殊之填築作業，通常皆視由覆土壓力所產生之壓密已完成，一般不予考慮。

### 5.3.3 壓密沉陷之時間變化

#### 1. 概要

經過時間 $t$ 後之壓密沉陷量 $S_t$ ，以下式計算之。

$$S_t = S_0 \cdot U_v \quad (5-3.2)$$

式中  $S_t$ ：經過時間 $t$ 後之壓密沉陷量(cm)

$U_v$ ：經過時間 $t$ 後之平均壓密度。

$S_0$ ：最終壓密沉陷量(cm)，參考公式(5-3.1)

載重經過 $t$ 時間後之總沉陷量 $S$ ，依下式計算，其為即時沉陷量及壓密沉陷量之和。

$$S = \rho_z + S_t \quad (5-3.3)$$

式中  $S$ ：總沉陷量(cm)

$\rho_z$ ：即時沉陷量(cm)

$S_t$ ：經過時間 $t$ 後之壓密沉陷量(cm)

#### 2. 平均壓密度及時間係數

垂直方向排水之單向壓密，平均壓密度 $U_v$ 與時間係數 $T_v$ 之關係如圖5-3.2所示。時間係數 $T_v$ 與壓密時間 $t$ 之關係，依下式計算之。

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (5-3.4)$$

式中  $C_v$ ：壓密係數( $m^2/day$ )。

$t$ ：壓密開始後時間(day)。

$H$ ：最大排水距離(m)。

最大排水距離  $H$ ，若壓密土層之上下面均可排水時，取土壤層厚之二分之一，若僅上面或下面有透水層時，取全土壤層厚。

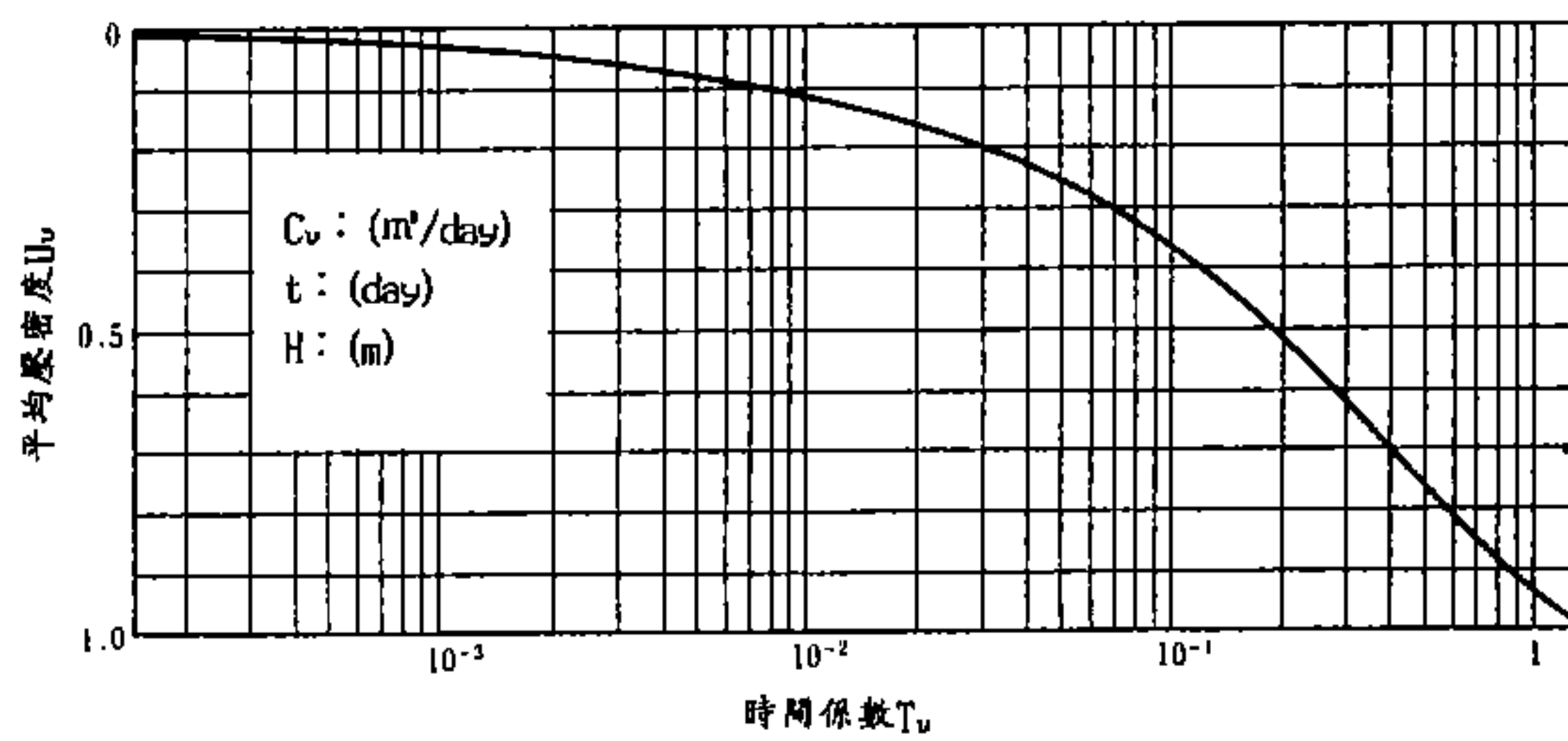


圖 5-3.2 平均壓密度與時間係數之關係

## 第六章 斜面之安定

## 第六章 斜面之安定

### 6.1 概要

因自重或上載載重所致斜面滑動破壞之安定性分析，建議假設滑動面為圓弧形或直線，以二次元問題分析為原則。此項斜面安定分析，應於斜面安定性最低狀況下進行。

斜面之安定分析，係依構成斜面之土壤，受自重或上載載重作用而可能降低其安定性，或去失其安定性時，計算其在極限平衡狀態時之最小安全係數。研判斜面之安定性，其安全係數係指土壤之抗剪強度與假定滑動面上土壤之剪應力比值，但因假設滑動面之不同，安全係數之值亦隨之而異，依據已知條件，假定數個可能滑動面，分別核算其安全係數，其中之最小值即為此斜面抵抗滑動破壞之安全係數。

於承受剪力時發生體積變化，即膨脹性(dilatancy)顯著土壤斜面之滑動面為直線或對數螺線形面；而無膨脹性土壤斜面之滑動面為直線、對數螺線或圓弧形面。於實用上，均假設滑動面為圓弧形或直線形面。如滑動面通過特別軟弱土層時，可假設滑動面為複合形面，或其他適當形狀之滑動面。一般而言，滑動面形狀之假定，以土壤可沿滑動面順利滑落為原則，不可假定滑動面為有阻礙土壤可能運動之不自然曲線，或急彎折線形面。乾砂或飽和砂斜面之滑動破壞，通常以取直線形滑動面較圓弧形滑動面為宜。即使考慮為圓弧形滑動面，亦須為近似直線形面。粘性土壤實際之滑動面近似於圓弧形面，砂斜面之發生滑動，多接近於斜面表層，而粘性土壤斜面之滑動，則以發生於深處之底層滑動較多。

斜面之安定分析，一般以二次元問題處理，無限長斜面之滑動面，實際上雖為三次元曲面，但以二次元問題處理更為安全。

斜面發生滑動之主因為土壤自重、上載載重及水壓等，此外尚須考慮地震時之地震力及波壓等反覆載重。抵抗斜面滑動主要為土壤之抗剪力與壓實載重等，依土壤抗剪力之時間變化，土壤之安定問題可分成二大類，即於正常壓密狀態下，土壤承受載重之短期安定問題，及開挖或地盤土壤改良完成，移除載重之長期安定問題。

## 6.2 斜面安定分析法

### 6.2.1 概要

斜面安定分析，應依土壤性質及所假設之滑動面型式，採適宜之方法分析之。

### 6.2.2 圓弧形滑動面

#### 1. 概要

圓弧形滑動面分析斜面安定性之計算法中，最基本者為分割法，如圖 6-2.1 所示，滑動圓弧內之土壤以垂直方向分割成數個長條形分割片，並依下式計算斜面圓弧滑動破壞之安全係數。

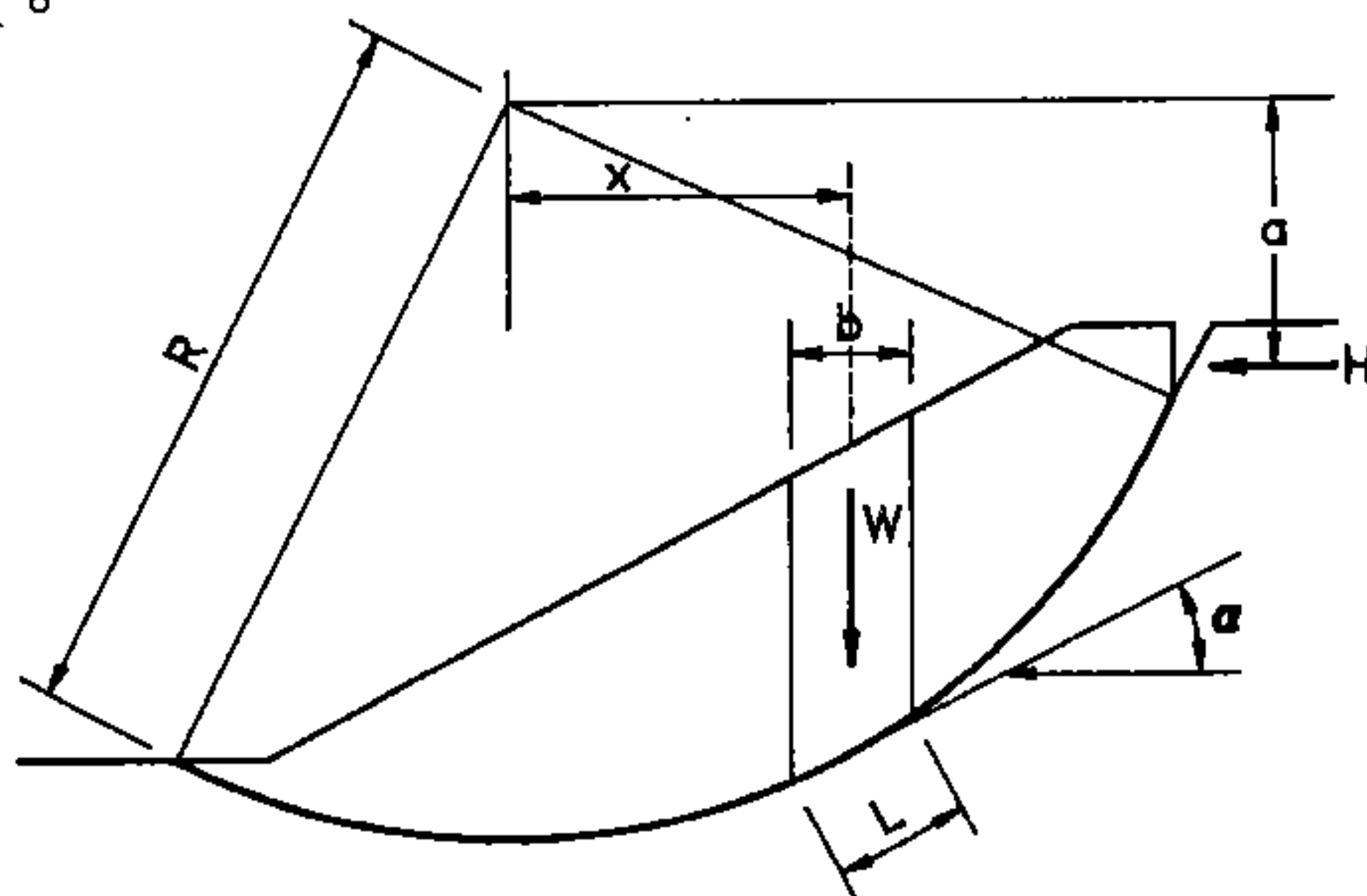


圖 6-2.1 圓弧形滑動面斜面穩定計算

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{R \cdot \Sigma (c \cdot L + W' \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi)}{\Sigma W \cdot x + \Sigma H \cdot a} \\
 &= \frac{\Sigma (c \cdot b + W' \cdot \cos^2 \alpha \cdot \tan \phi) \sec \alpha}{\Sigma W \cdot \sin \alpha + \frac{1}{R} \Sigma H \cdot a} \quad (6-2.1)
 \end{aligned}$$

式中 F：滑動安全係數

R：滑動圓之半徑(m)

c：土壤凝聚力(t/m<sup>2</sup>)

$\phi$ ：土壤內摩擦角(度)

L：分割片之底邊長(m)

b：分割片之寬度(m)

W'：分割片之有效重量(土壤自重與上載載重之和，水中部份之土壤應採水中單位體積重量)(t/m)

W：分割片之全重量(土壤自重、水重量，與上載載重之和)(t/m)

$\alpha$ ：分割片底邊之斜角(度)

x：分割片重心與滑動圓圓心之水平距離(m)

H：作用於滑動圓內土壤之水平外力(水壓力、地震力、波力等)(t/m)

a：外力H對滑動圓圓心之力矩長(m)

斜面之安定計算，可先選定任一滑動圓之圓心，求出此圓心各同心滑動圓之安全係數，以其中之最小值為此滑動圓圓心之安全係數。以同樣方法求出其他各假定滑動圓圓心之安全係數，最後由安全係數等值線求得最小安全係數，作為此斜面對圓弧滑動破壞之安全係數。斜面對圓弧滑動破壞之安全係數，在常時以大於1.3為標準。

## 2. 影響斜面安定之因素

### (1) 土壤自重及滲透壓

安定分析所用之土壤重量，與斜面之水壓條件有密切之關係，定常滲流通過土壤時，土壤所受重力與滲流壓力兩力合成作用於土壤。在定常滲流作用下，土壤所受之自重與滲流壓力，其組合方法有二：一為土壤之浸水重量與滲流壓力之組合，另一為土壤及水之全重量與作用於該土壤界面水壓力之組合。對圓弧滑動安定分析而言，以採用後者之組合方式較為方便，因作用於滑動面水壓之作用線完全經過滑動圓圓心，邊界面上水壓之力矩等於零。因之發生滑動作用力矩之計算，僅考慮滑動面內土壤與水(包括上載載重)之總重量即可。依此，如圖6-2.2(a)所示，滑動圓弧通過水中，水重量所致之力矩可以如圖6-2.2(b)(c)所示之靜水壓代替。如圖6-2.2(d)之情況，CDD'FC部份水之重量左右互相平衡，故土壤CDEFC可取土壤之浸水重量，土壤BCFB部份取飽和土壤重量，ABFGA部份取不飽和土壤重量。

如圖6-2.2所示，安定計算中，土壤之單位體積重量，以公式(6-2.2)~(6-2.4)計算之。

• 滲流水面以上之不飽和土壤

$$\gamma_1 = \frac{G_s + S_r \cdot e}{1 + e} \gamma_w = \frac{1 + \omega}{1 + e} G_s \cdot \gamma_w \quad (6-2.2)$$

• 滲流水面以下之飽和土壤

$$\gamma_2 = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w = \frac{1 + \omega}{1 + e} G_s \cdot \gamma_w \quad (6-2.3)$$

• 考慮浮力之滲流水面以下之飽和土壤

$$\gamma' = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w = \gamma_2 - \gamma_w \quad (6-2.4)$$

式中  $\gamma_1$ ：不飽和土壤單位體積重量( $t/m^3$ )  
 $\gamma_2$ ：飽和土壤單位體積重量( $t/m^3$ )  
 $\gamma'$ ：考慮浮力之飽和土壤單位體積重量( $t/m^3$ )  
 $G_s$ ：土壤比重  
 $S_r$ ：飽和度  
 $e$ ：孔隙比  
 $\omega$ ：含水量  
 $\gamma_w$ ：單位體積水之重量( $t/m^3$ )

斜面滑動之最主要原因為土壤重，因之土壤單位體積重量之值極為重要，必須精密測定，並注意一般不飽和土壤之  $\gamma' > \gamma_1 - \gamma_w$ 。

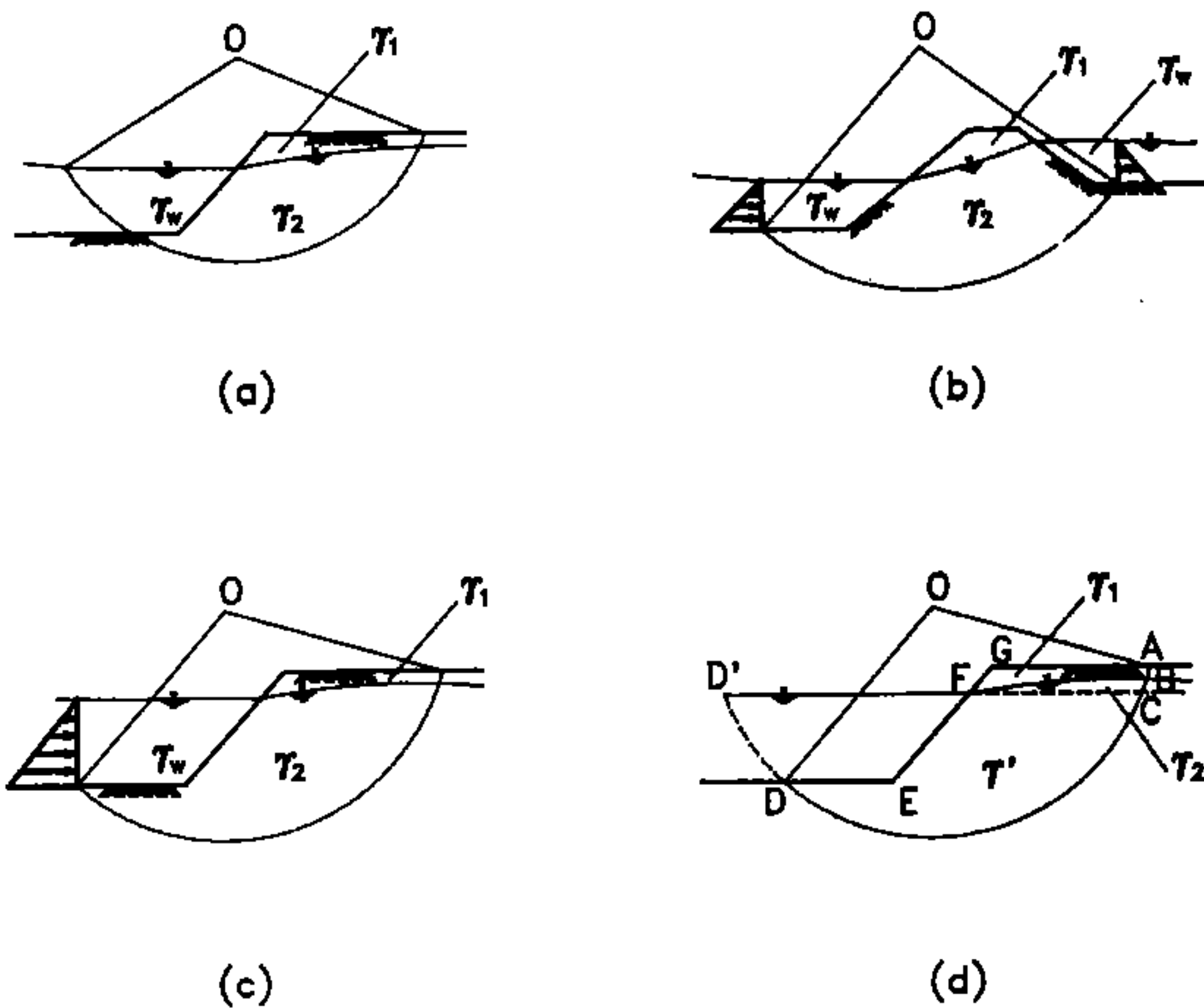


圖 6-2.2 定常滲透流狀況下滑動之計算



## (2) 地震力

地震時由於地震加速度之慣性作用，土壤之安定性減低，如圖6-2.3所示，砂斜面受水平震度為 $K$ 之地震作用時，如砂之內摩擦角為 $\phi$ ，安全係數為 $F$ 時，則斜面之安定角度 $\beta$ ，可依下式計算。

$$\tan\beta = \frac{\frac{\tan\phi}{F} - K}{1 + \frac{K \cdot \tan\phi}{F}} \quad (6-2.5)$$

或

$$F = \frac{\tan\phi(1 - K \cdot \tan\beta)}{K + \tan\beta} \quad (6-2.6)$$

當  $F=1$  時，

$$\tan\beta = \frac{\tan\phi - K}{1 + K \cdot \tan\phi} \quad (6-2.7)$$

因此， $F=1$ 時，斜面之安定角度 $\beta$ 較常時為小，假設 $\tan^{-1}K=\theta$ ，(6-2.7)式可寫為

$$\tan\beta = \tan(\phi - \theta) \quad (6-2.8)$$

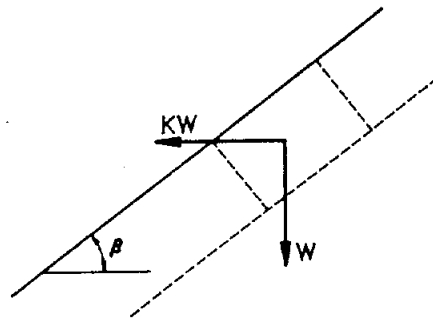


圖 6-2.3 地震力

如上所述，砂斜面安定角度因受地震之影響將減小，地震時砂斜面安定角度之減小，實際上應可視為砂顆粒之崩落現象，若考慮飽和砂在地震時發生液化現象，則安定計算無法成立。因之，須假設斜面具有不發生液化現象之先決條件，方能採用設計震度，進行安定分析。

不發生液化現象地層上之砂或砂礫堤狀結構物，可採用設計震度計算地震力作用時之安定狀況。地震時，砂或砂礫斜面之滑動面近於直線，因之，其安定分析須依下節所述之直線形滑動面分析法計算。

土壤之性質如由砂質土壤漸變為粘性土壤，在地震時，愈不易發生液化現象，其破壞滑動面亦由直線形面漸趨於曲線形面。在粘性土壤地層中，由於滑動面多發生於較深處，故地震時之安定分析通常為主要支配因素。因粘性土壤地層中之地震加速度隨深度增加而減小，若不加修正直接採用震度法分析此種土壤斜面之安定則太過安全。

對於粘性土壤地層斜面在地震時之安定問題，疑點仍多，尚缺乏明確分析方法，但由於地震時安全係數減低之事實，於設計震度較大之區域，常時之安全係數有採用較大值之必要。

### 3. 土壤抗剪強度

為計算斜面安定安全係數，於公式 (6-2.1) 所使用之土壤抗剪強度，依據土壤種類，常僅考慮凝聚力或內摩擦角。

在砂質土壤僅考慮內摩擦角，內摩擦角之值採用由排水三軸壓縮試驗決定為宜，但亦可由標準貫入試驗  $N$  值推算，其估算法請參考第二篇第八章 8.5.4 節 [ $N$  值在使用時應注意之事項]。

粘性土壤之短期安定問題，僅考慮凝聚力，其值為單軸壓縮強度  $q_u$  之二分之一。

#### 4. Bishop安定分析法

Bishop安定分析法係考慮作用於各分割片垂直面間之作用力，如圖 6-2.4所示之條件下，滑動之安全係數  $F$ 可依下式計算。

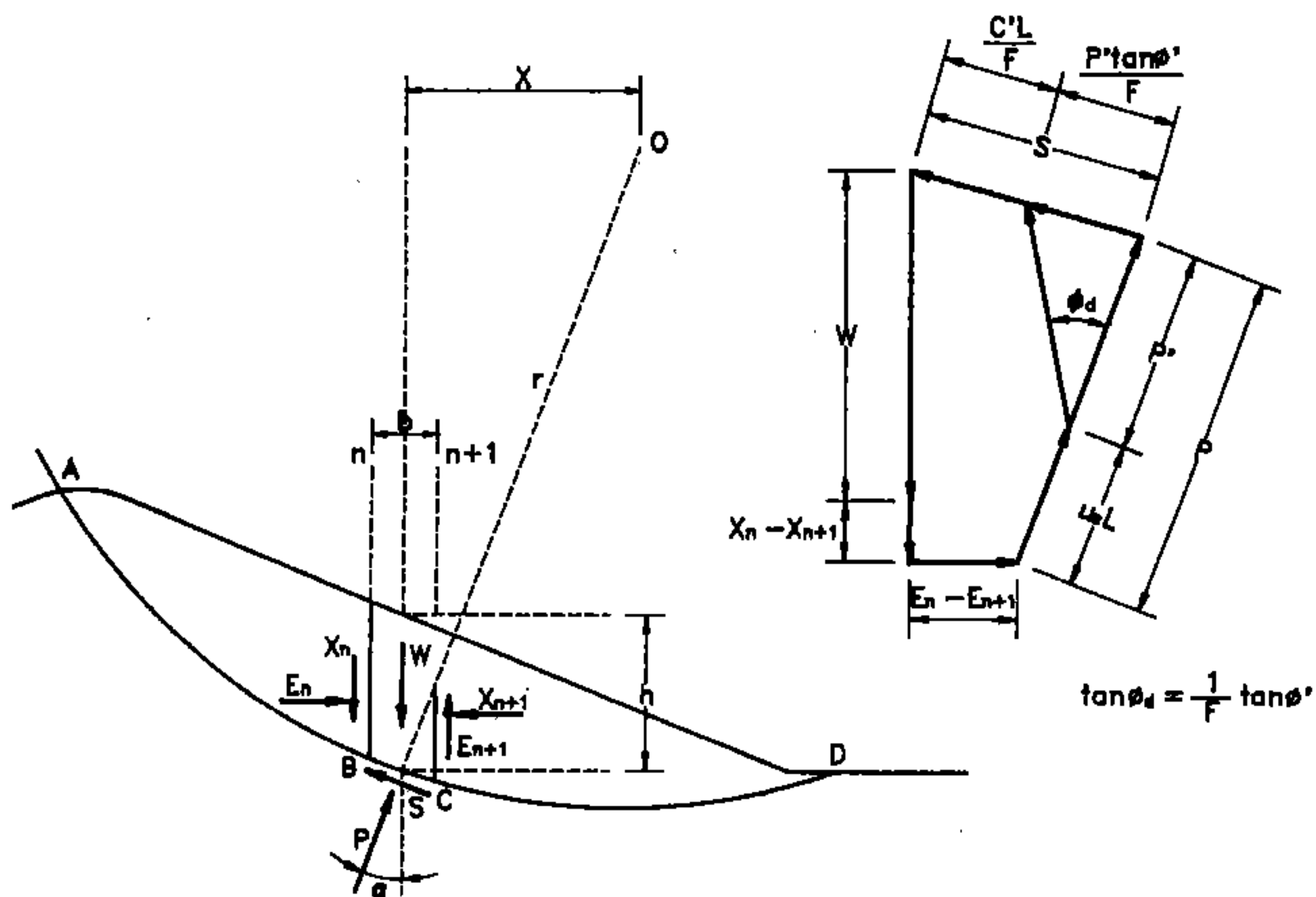


圖 6-2.4 Bishop法斜面穩定計算

$$F = \frac{1}{\sum (W_1 + W_2) \sin \alpha} \cdot \sum \left\{ [C' b + \tan \theta' (W_1 + W_2 - bu_s + X_n - X_{n+1})] \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + (\tan \alpha \tan \theta') / F} \right\} \quad (6-2.9)$$

式中  $W_1$ ：水位以上之土壤重量(t/m)  
 $W_2$ ：水位以下之土壤水中重量(t/m)  
 $X_n$ 、 $X_{n+1}$ ：作用於分割片n、n+1垂直面之剪力(t/m)  
 $b$ ：分割片之寬度(m)  
 $L$ ：分割片之底邊BC長度(m)  
 $\alpha$ ：分割片底邊之斜角(度)  
 $C'$ ：根據有效應力之土壤換算凝聚力  
 $\theta'$ ：根據有效應力之土壤換算內摩擦角(度)  
 $u_s$ ：超過相當於斜面外側水位靜水壓部份之孔隙水壓(t/m<sup>2</sup>)

公式 (6-2.9) 為 Bishop 之嚴密解法，於實際之計算上，若忽略各分割片垂直面間之剪力，亦即假設  $X_n - X_{n+1} = 0$ ，稱為 Bishop 簡易法，其提供與嚴密解法相當近似之結果。

### 6.2.3 直線形滑動面

如圖 6-2.5 所示，斜面直線形滑動破壞之安全係數，可依下式計算之。滑動破壞之安全係數，常時以大於 1.2，異常時以大於 1.0 為標準。

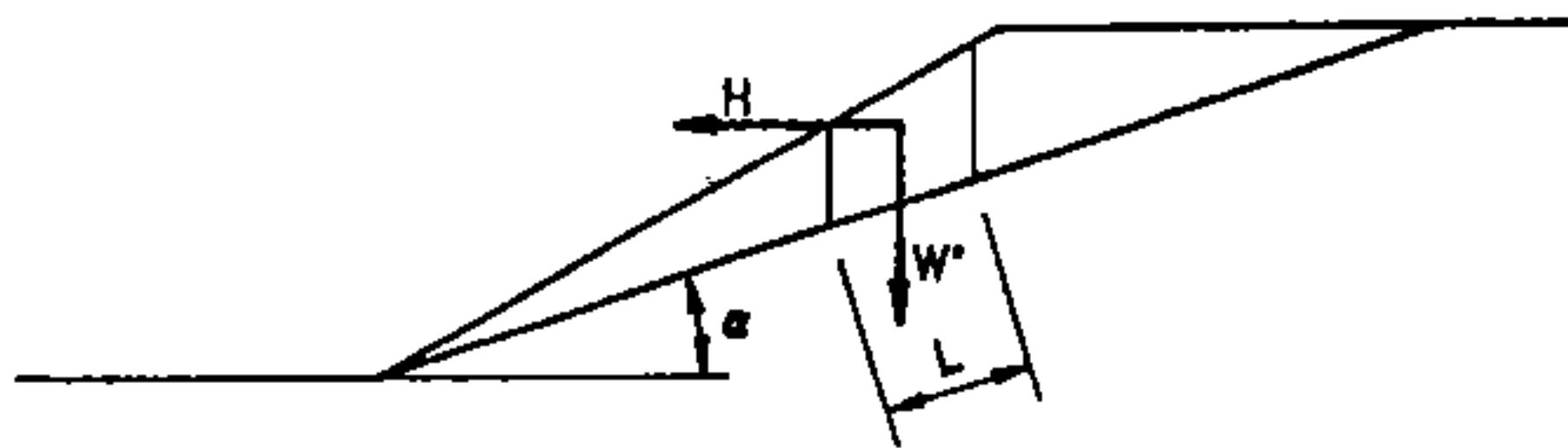


圖 6-2.5 直線形滑動面斜面穩定計算

$$F = \frac{\Sigma [CL + (W' \cos \alpha - H \sin \alpha) \tan \phi]}{\sin \alpha \Sigma W' + \cos \alpha \Sigma H} \quad (6-2.10)$$

式中 F：滑動安全係數

C：土壤凝聚力(t/m<sup>2</sup>)

$\phi$ ：土壤內摩擦角(度)

L：分割片底邊長度(m)

W'：分割片之有效重量(土壤自重與上載載重之和，水中部份之土壤應採水中單位體積重量)(t/m)

$\alpha$ ：分割片底邊之斜角(度)

H：斜面所承受之水平外力(水壓力、地震力、波力等)  
(t/m)

## 第五篇 預鑄混凝土

# 第一章 沉箱

# 第一章 沉箱

## 1.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般沉箱。

沉箱設計流程，如圖1-1.1所示。

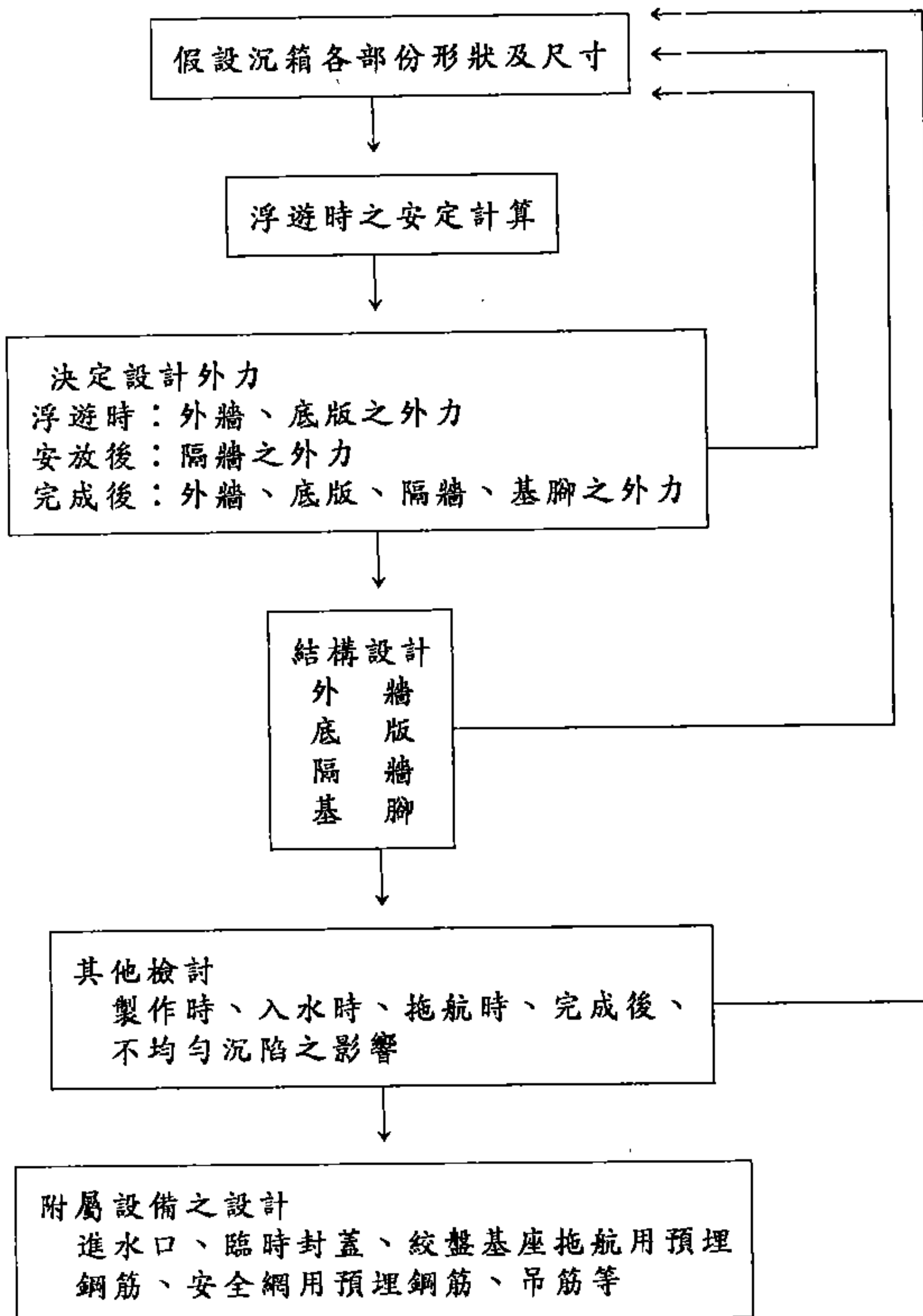


圖 1-1.1 沉箱設計流程



## 1.2 尺寸之決定

在決定沉箱各部份形狀及尺寸時，應考量下列各項因素：

1. 沉箱製作設備之能力
  - (1) 沉箱製作臺之寬度及強度：沉箱重量之限制。
  - (2) 起重機之能量：沉箱高度之限制。
  - (3) 混凝土澆置能量。
  - (4) 進水能力，諸如吃水深度、塢門寬度、水深、浮船塢能量、下水臺車強度等。
2. 沉箱製作時，作業上所須要之結構最小尺寸。
3. 沉箱吃水與安放位置水深及拋石基礎頂高度之關係。
4. 自立浮遊沉箱之浮遊安定。
5. 拖航及安放作業條件，如：流、波浪、風等。
6. 沉箱安放後之作業條件，如：填充及上部結構施工等。
7. 不均勻沉陷問題。
8. 碼頭沉箱應考量其上部結構、後線設施及車輛、起重機、貨物等相關事項。

## 1.3 浮遊安定

為使沉箱自立浮遊時不致有傾覆或傾斜，應依壓艙之有無及壓艙物種類，進行安定計算。

為保持沉箱之安定，依壓艙之有無及壓艙物種類，其應分別滿足公式(1-3.1)、(1-3.2)或(1-3.3)之安定條件。

1. 一般之狀況，依公式(1-3.1)計算之。如圖1-3.1所示，為安全起見GM之值應大於吃水之5%。

$$\frac{I}{V} - CG = GM > 0 \quad (1-3.1)$$

式中  $V$ ：排水量( $m^3$ )  
 $I$ ：吃水面對長軸之斷面慣性矩( $m^4$ )  
 $C$ ：浮心(Center of Buoyancy)  
 $G$ ：重心(Center of Gravity)  
 $M$ ：傾心(Metacenter)

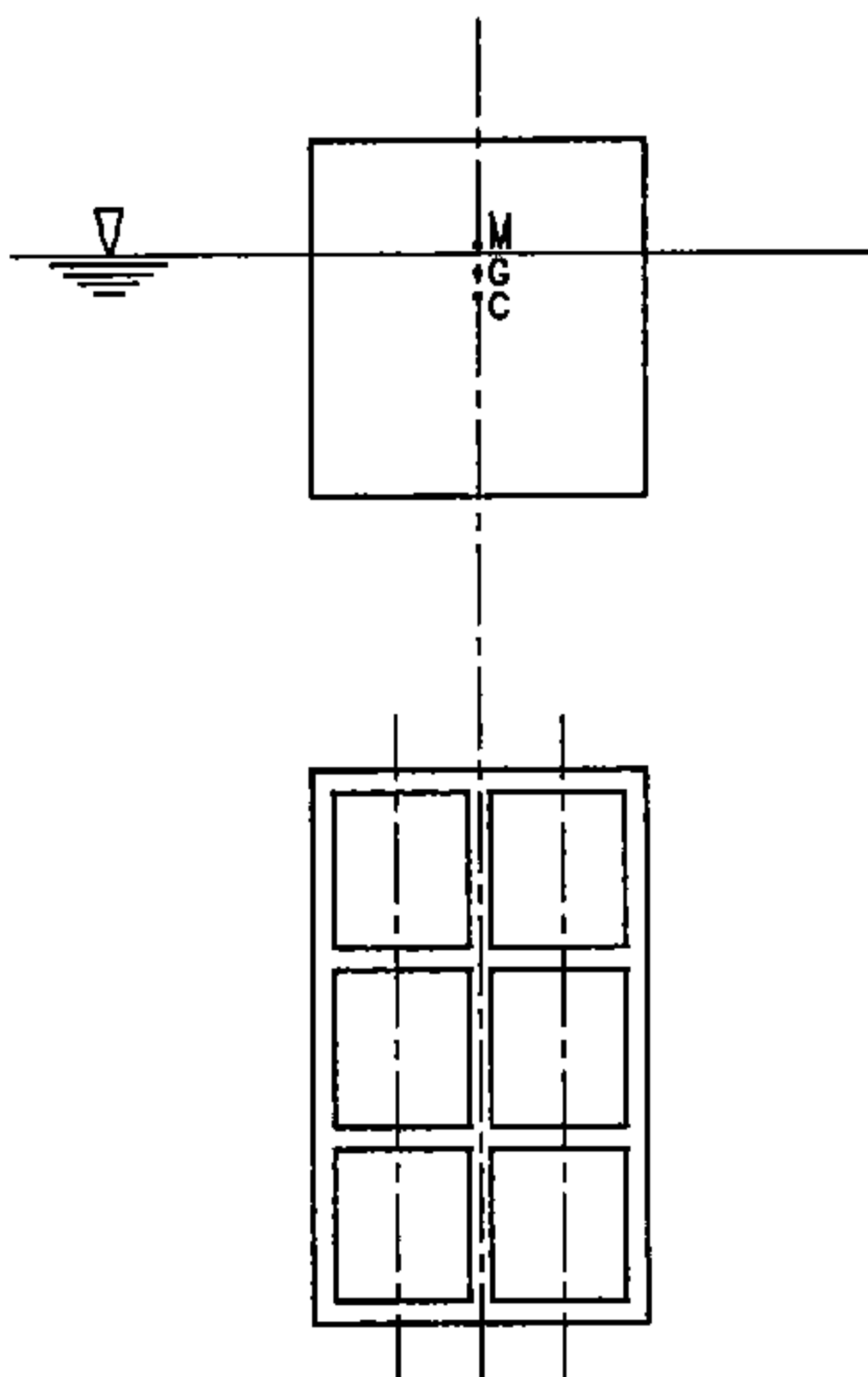


圖 1-3.1 沉箱之浮遊安定

2. 在壓艙物為水之狀態下拖航時，以公式(1-3.2)計算之。

$$\frac{I'}{V'}(I' - \sum i) - \overline{C'G'} > 0 \quad (1-3.2)$$

式中  $i$ ：各隔間水面平行於沉箱迴轉軸中線之斷面慣性矩( $m^4$ )

$V'$ 、 $I'$ 、 $C'$ 、 $G'$ ：加壓艙物時之各值或位置

3. 壓艙物為砂、石或混凝土等時，以公式(1-3.3)計算之。

$$\frac{I'}{V'} - \overline{C'G'} > 0 \quad (1-3.3)$$

式中  $i$ ：各隔間水面平行於沉箱迴轉軸中線之斷面慣性矩( $m^4$ )

$V'$ 、 $I'$ 、 $C'$ 、 $G'$ ：加壓艙物時之各值或位置

## 1.4 設計外力

### 1.4.1 概要

設計沉箱應考量之外力如下。

- 短期載重
- 製作時外力
- 下水及浮遊時外力
- 拖航時外力
- 安放時外力
- 完成後外力

### 1.4.2 短期載重

下列條件時之設計外力，得視為短期載重，其容許應力可依規定提高。

- 安放時
- 地震時
- 填充物為混凝土，拖航時間短，不作暫時漂浮儲泊時

### 1.4.3 製作時外力

在乾塢或浮塢製作沉箱時，不須檢討其外力。在滑道或製作臺上製作沉箱時，須以千斤頂移動沉箱，或將沉箱移置在下水臺車上，受其自重之作用。

### 1.4.4 下水及浮遊時外力

在乾塢、浮塢或一般滑道製作沉箱時，其所受靜水壓，依吃水深度加計1.0m超高計算，但在下水時，如有短暫的超過此壓力作用之可能性時，應另行檢討。

## 1. 外牆

作用於外牆之水壓，如圖 1-4.1 所示，為自底版中心線受上述靜水壓而至沉箱頂壓力等於零之三角形分佈載重。

$$\begin{aligned} P_1 &= 1.03 H \\ &= 1.03(H_0 - t/2) \end{aligned} \quad (1-4.1)$$

式中  $P_1$ ：作用於外牆之設計載重( $t/m^2$ )

$H_0$ ：沉箱吃水深度加上 1.0m 之餘裕(m)

$t$ ：底版厚度(m)

餘裕 1.0m

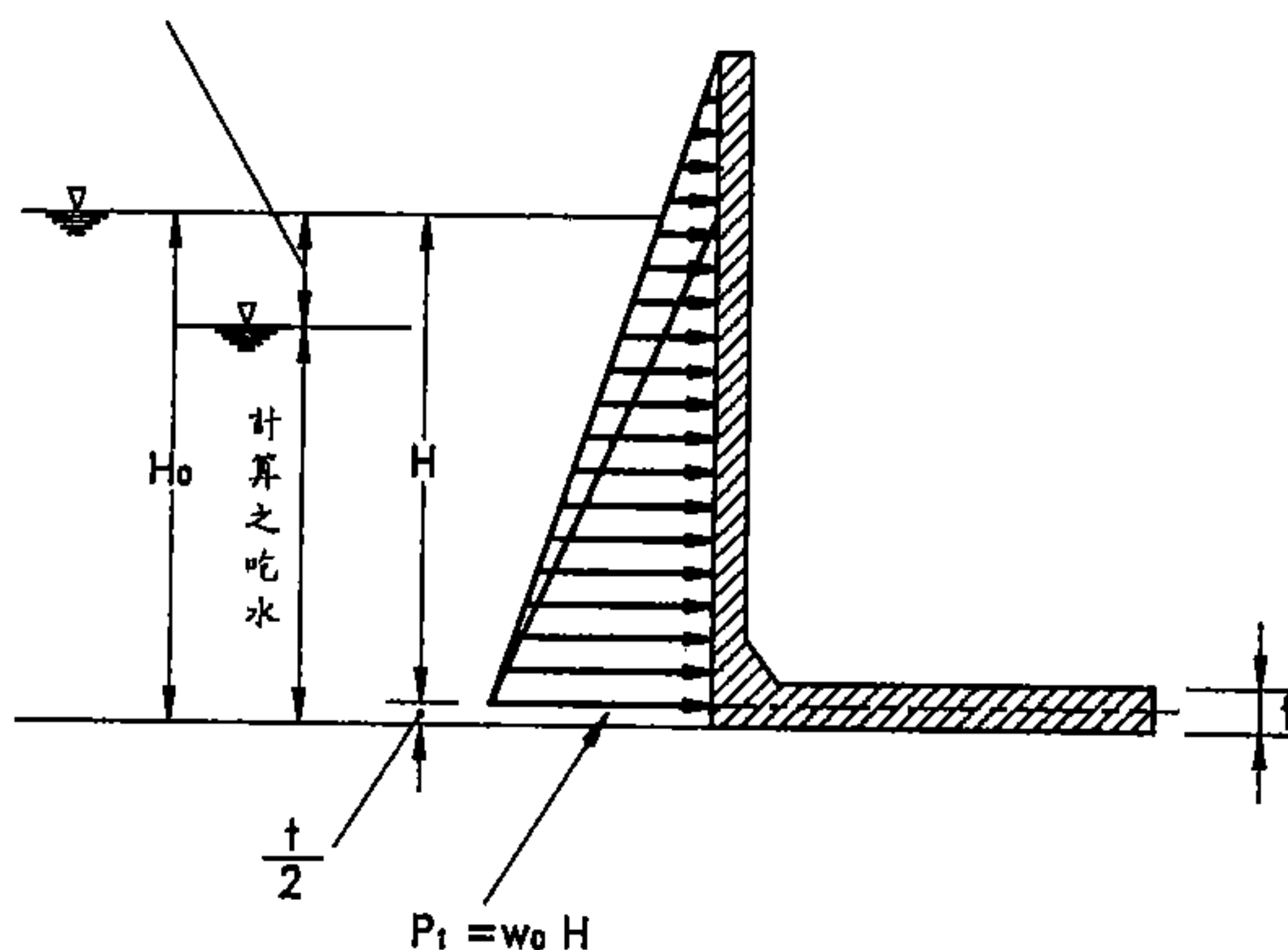


圖 1-4.1 作用於外牆之水壓

## 2. 底版

如圖 1-4.2 所示，作用於底版之水壓  $P_2$ ，等於底版下端靜水壓  $P_w$  減去底版單位自重  $w$  之均佈載重。

$$\begin{aligned} P_2 &= P_w - w \\ &= 1.03 H_0 - w \end{aligned} \quad (1-4.2)$$

式中  $P_2$ ：作用於底版之設計載重( $t/m^2$ )

$P_w$ ：吃水深度加約 1.0m 超高時，作用於底版下面之靜水壓( $t/m^2$ )

$H_0$ ：沉箱吃水深度加上 1.0m 之餘裕(m)

$w$ ：底版單位自重( $t/m^2$ )，應包括壓艙物重量，但不扣減浮力。

### 3. 隔牆

沉箱在下水或浮遊中，不考慮隔牆所受外力。

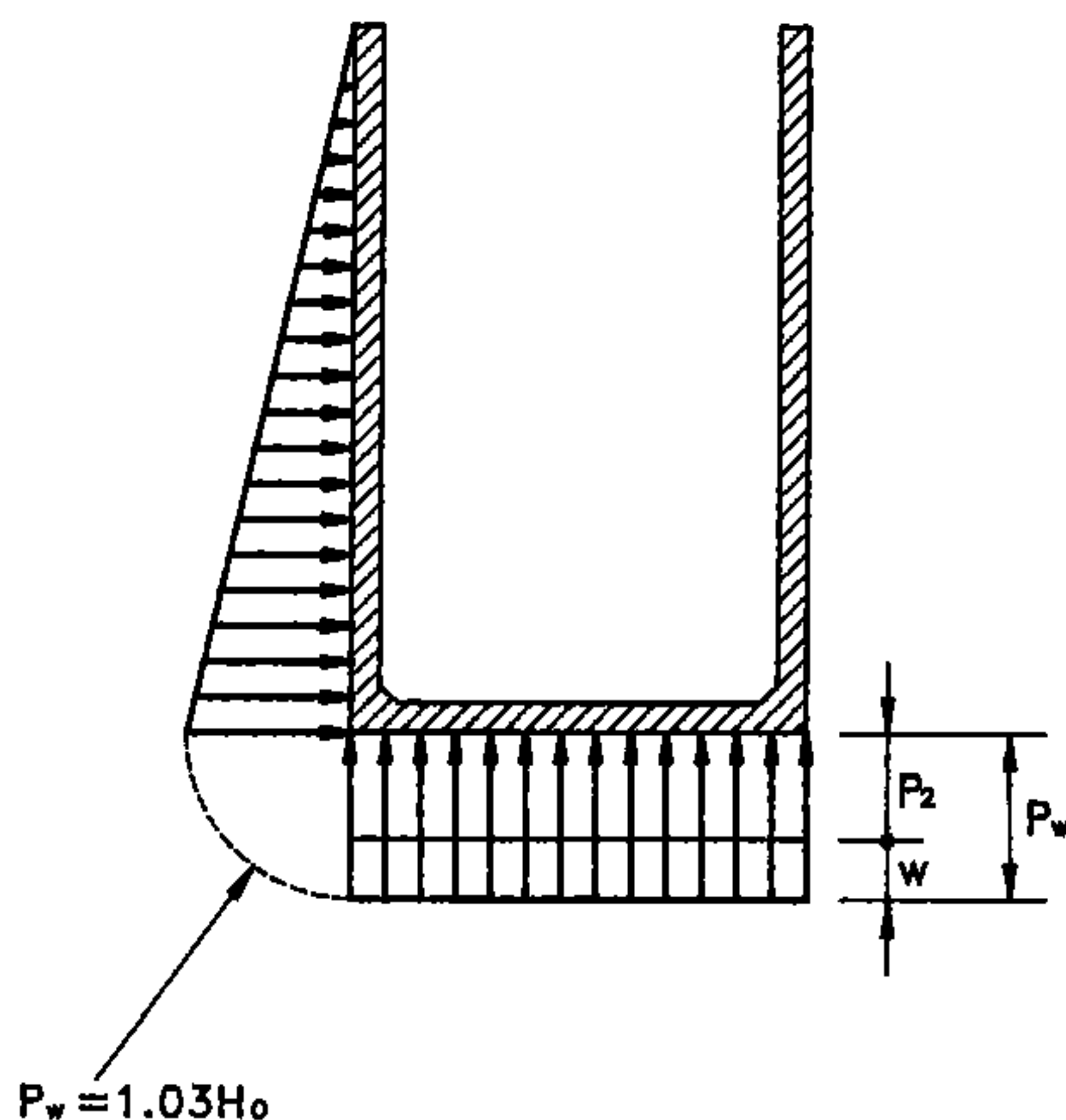


圖 1-4.2 作用於底版之外力

#### 1.4.5 拖航時外力

沉箱在拖航中，所受靜水壓、動水壓及波壓之影響，可不檢討。

沉箱拖航時之拖曳力，依下式計算之。

$$T = \frac{\omega_0}{2g} C_d \cdot V^2 \cdot A \quad (1-4.3)$$

式中

$T$ ：拖曳力(t)

$g$ ：重力加速度， $g=9.8\text{m/sec}^2$

$C_d$ ：拖曳力係數(Drag Coefficient)

$V$ ：拖航速度(m/sec)

$\omega_0$ ：海水單位體積重量( $\text{t/m}^3$ )

$A$ ：沉箱前進方向之浸水面積( $\text{m}^2$ )

$A=a(D+\delta)$

$D$ ：吃水深度(m)

$\delta$ ：前方水位(m)

$a$ ：沉箱寬度(m)

### 1.4.6 安放時外力

沉箱安放時，不須檢討外牆及底版所受之外力。

隔牆考慮施工條件，其載重為隔間水位差。以閘門進水，水位差考慮為 1 公尺內；如以幫浦進水，應適當控制幫浦水管移動，使水位差在 1 公尺以內。

### 1.4.7 完成後外力

#### 1. 外牆

##### (1) 概要

作用於沉箱外牆之外力，除應考慮內部土壓力及內部水壓力外，防波堤海側外牆應考慮波力，陸側外牆有背填時，應考慮土壓力及殘留水壓力。

##### (2) 內部土壓

土壓係數  $K$ ，以 0.60 計算，但如以型塊、混凝土內填時，則不考慮土壓。

如圖 1-4.3 所示，土壓之作用，由上往下至與隔牆間隔  $b$  相同之距離為止，係直線增加，再往下則為一定值。

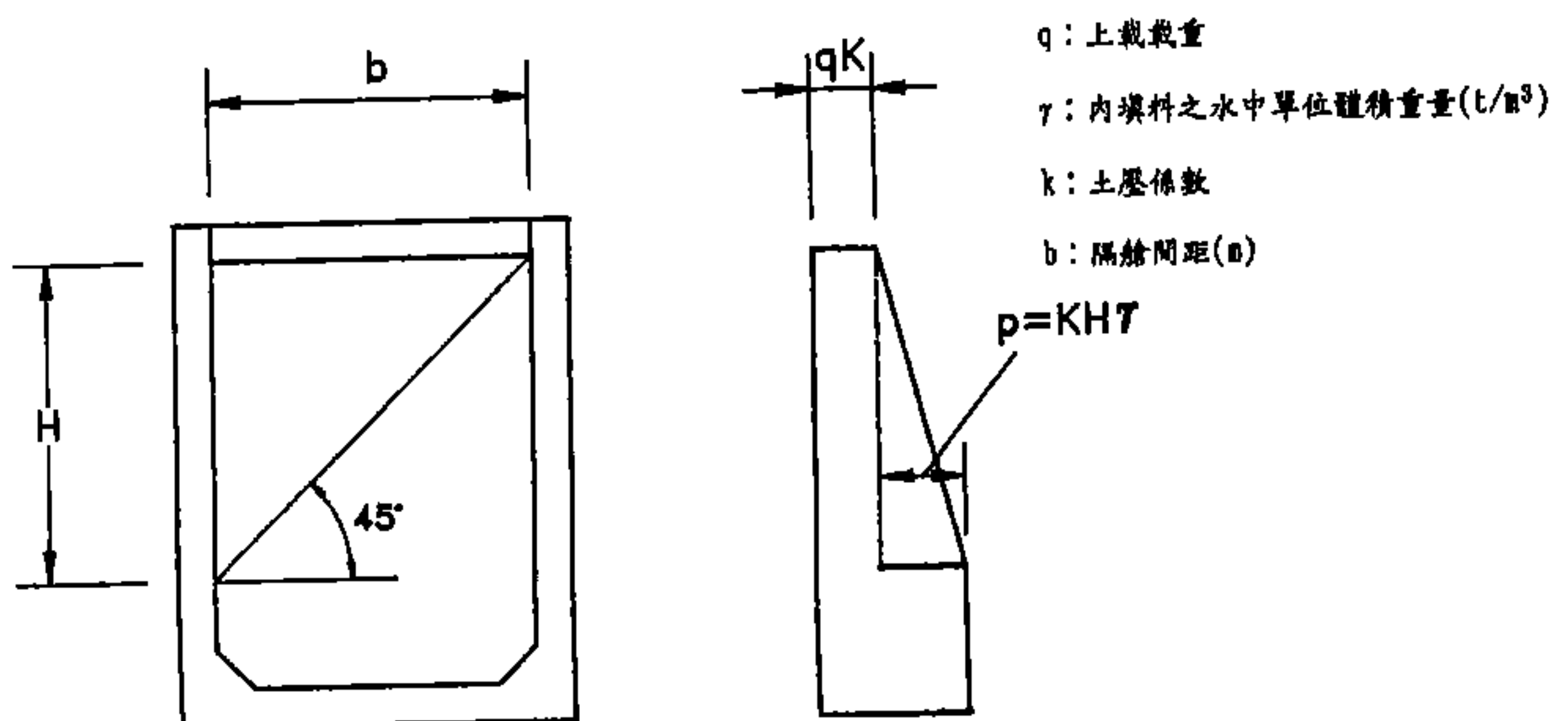


圖 1-4.3 作用外牆內部之土壓

### (3) 內部水壓

波谷作用時，內部水壓較大，因此須依狀況考量。通常係以L.L.W.下 $H_d/2$ 處為準。(H<sub>d</sub>係指堤前設計波高)

### (4) 內部載重之換算

內部載重可合成換算為均佈載重，如圖1-4.4所示。

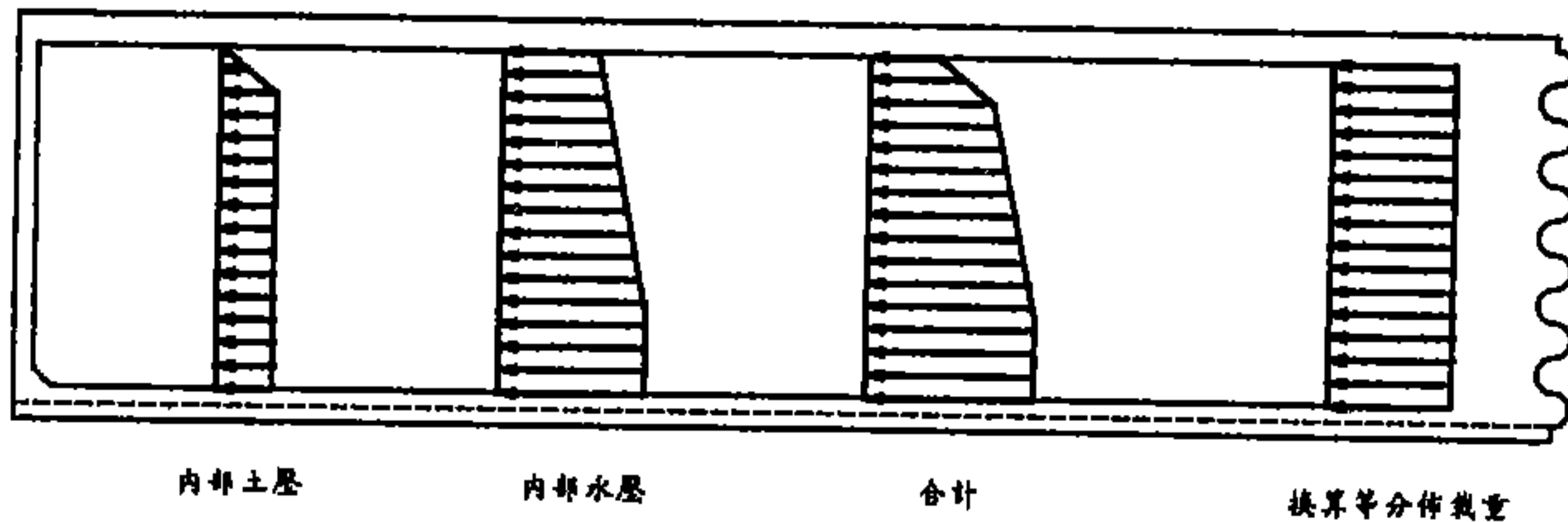


圖 1-4.4 內部載重之換算

## 2. 底版

### (1) 底版之設計載重

作用於底版之設計載重為不規則形，為方便計，以適當均佈或三角形載重代替，如圖1-4.5所示。

### (2) 基腳之設計載重

作用於基腳之載重如圖1-4.6所示。

(3) 底面反力計算，依第四篇第二章 2.5.3節第2小節[載重分散法]相關規定計算。

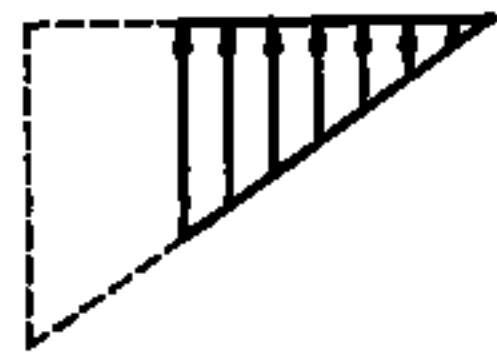
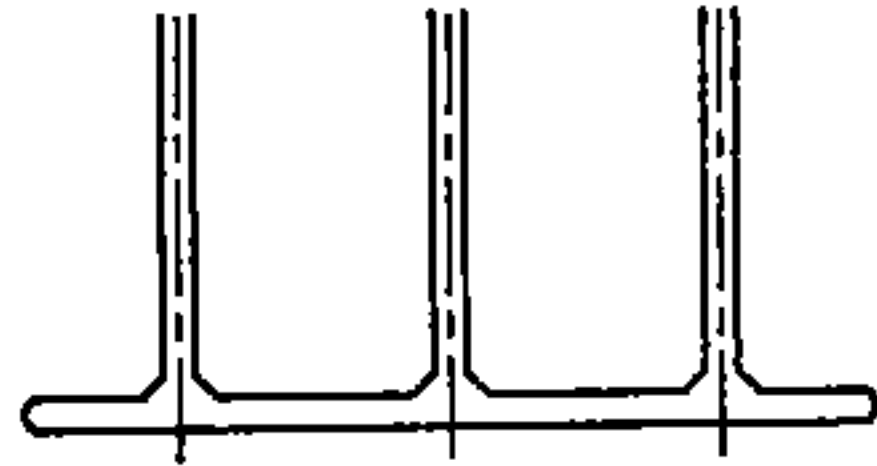
## 3. 隔牆

### (1) 隔牆與外牆之脫離

為防止隔牆與外牆之脫離，應考慮作用於外牆之內部土壓力及內部水壓力，作用於隔牆與外牆接合部之載重可換算為如圖1-4.7所示之載重分佈。

### (2) 隔牆及底版之脫離

為防止隔牆與底版之脫離，應考慮作用於底版之外力，作用於隔牆與底版接合部之載重可換算為如圖 1-4.8所示之



$P$  : 底面反力( $t/m^2$ )



$P_v$  : 靜水壓( $t/m^2$ )



$W_1$  : 填充物重量( $t/m^2$ )



$W_2$  : 上部混凝土重量( $t/m^2$ )



$W_3$  : 底版重量( $t/m^2$ )



$P_u$  : 揚壓力( $t/m^2$ )



$W_t$  : 設計載重( $t/m^2$ )

圖 1-4.5 底版之設計載重



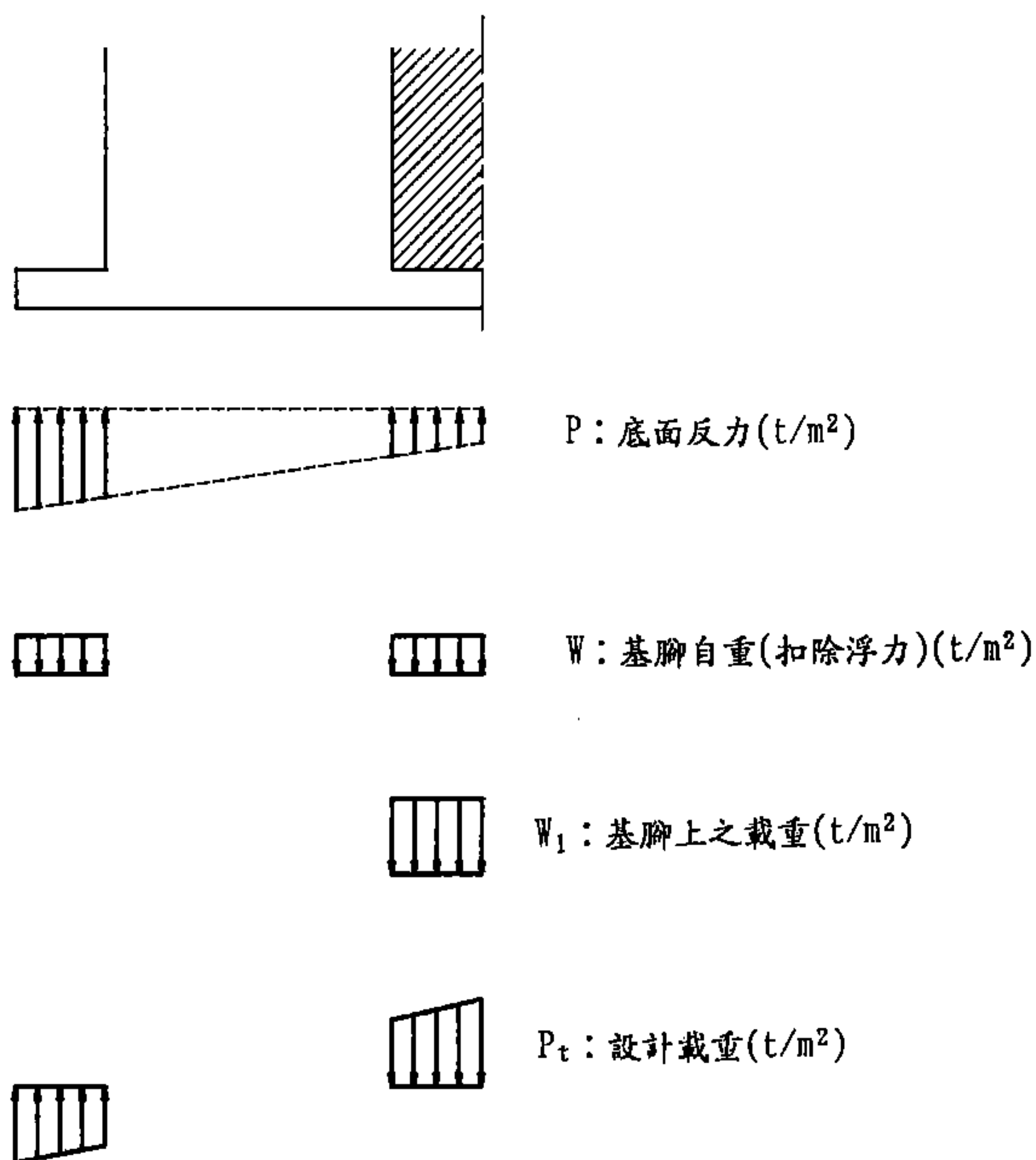


圖 1-4.6 基腳之設計載重

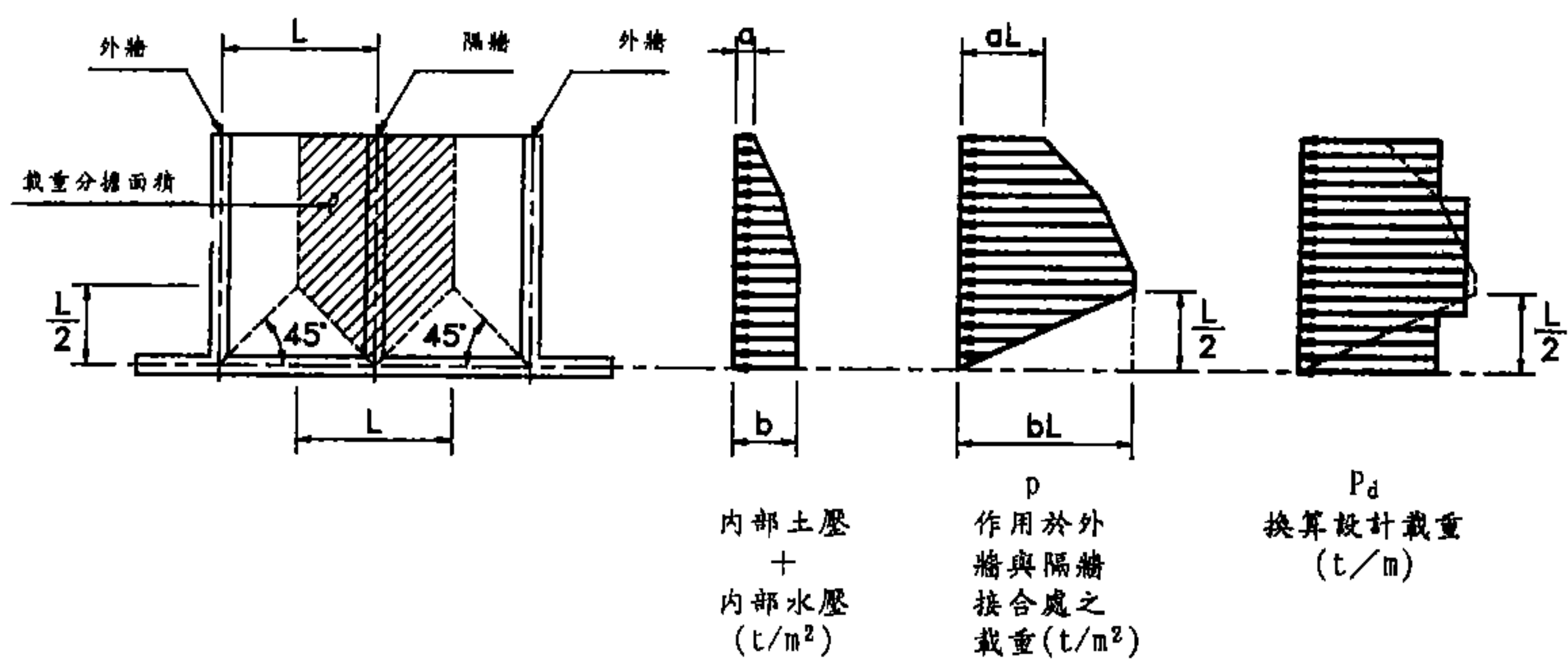


圖 1-4.7 外牆與隔牆脫離檢討所採用之載重

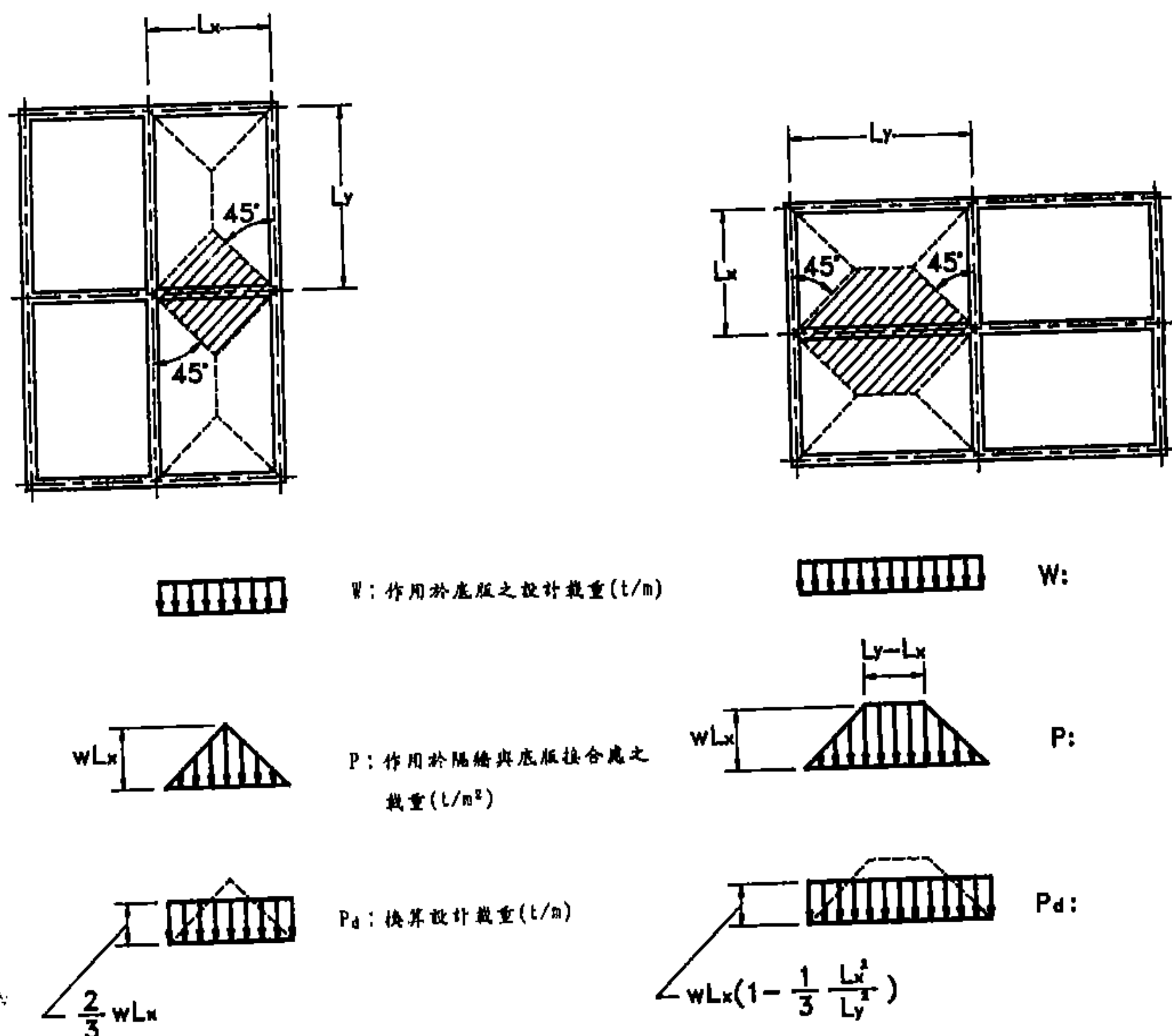


圖 1-4.8 底版與隔牆脫離檢討所採用之載重

#### 4. 不均勻地盤承载力或不均勻內填重量之檢討

沉箱因不均勻地盤承载力，或不均勻內填重量作用時，可視沉箱為一跨度等於其長度  $1/3$  之懸臂樑考慮之。

### 1.5 結構設計

沉箱外牆、隔牆、底版等，可視為平版，以 1.4 節[設計外力]所述外力為載重設計之。

### 1. 外牆

- 原則上，外牆以三邊固定一邊自由之平版設計。
- 邊長比1:5以上之沉箱，可依1:5版之值來設計。

### 2. 隔牆

- 安放時，依三邊固定一邊自由之平版設計。
- 安放後，應檢討隔牆與外牆及底版之脫離現象。

### 3. 底版

- 底版以四邊固定平版設計。
- 基腳以懸臂版設計。

### 4. 其他

為考慮沉箱在拖航中之中垂及上拱現象，及安放後因不均勻沉陷所引起之不均勻支承狀態現象，可視沉箱整體為樑，以下列任一方法檢討之：

- 根據有效換算斷面，核算鋼筋及混凝土之應力。
- 拉力載重亦由混凝土抵抗，依據混凝土拉應力強度，不得超過 $0.06 f_c'$  ( $f_c'$  為混凝土設計強度)。

## 第二章 L型塊

## 第二章 L型塊

### 2.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般L型塊。

L型塊設計流程，如圖2-1.1所示。

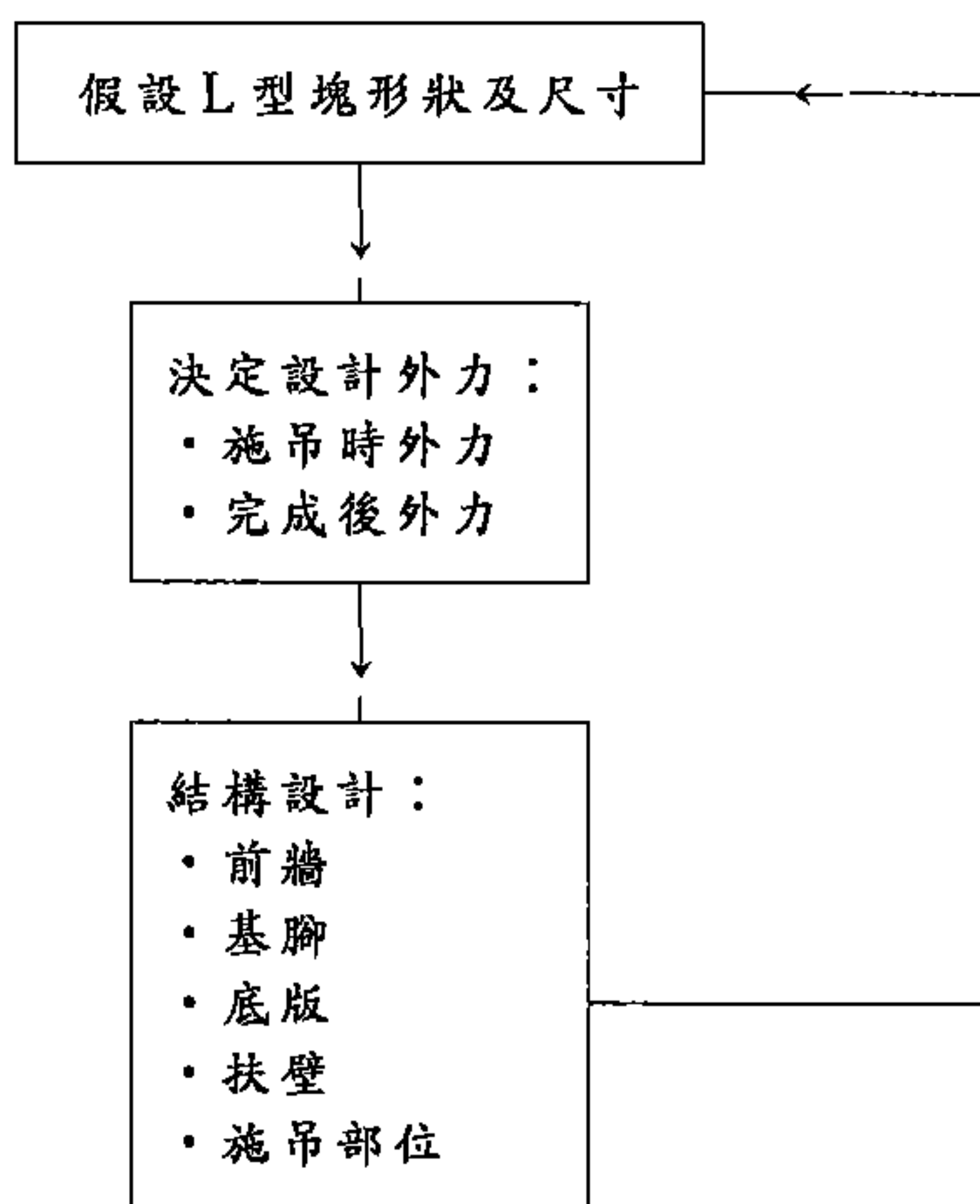


圖 2-1.1 L型塊設計流程

### 2.2 尺寸之決定

於決定L型塊各構件形狀及尺寸時，應考慮下列各項因素：

- L型塊製作設備能力
- 起重機施吊能力
- 壁體設計水深
- 潮差
- 上部結構施工高程

## 2.3 作用於結構體載重

### 2.3.1 概要

作用於L型塊各構件之載重，不論是常時或地震時，均應考慮下列各項。

#### 1. 前牆

- 上載載重及背填石料或砂土之土壓
- 殘留水壓

#### 2. 基腳

- 底面反力
- 基腳自重

#### 3. 底版

- 上載載重
- 背填料重量
- 底版自重
- 底面反力

#### 4. 扶壁

- 前牆之支承反力
- 底版之支承反力
- 作用於扶壁背面之土壓及殘留水壓

施工時應另考慮下列載重

- 起吊載重
- 扶起載重

L型塊之混凝土，有時以橫置形態澆置，於此狀況，應考量L型塊扶起時所受之外力。

底面反力計算，依第四篇第二章 2.5.3節第2小節[載重分散法]相關規定計算。

### 2.3.2 作用於構件之土壓

壁體安定計算時所採用之土壓，可作為設計L型塊構件之土壓。

### 2.3.3 載重分割法

作用於L型塊壁體之載重，為計算方便，得予以適當分割。唯載重之分割，不得使作用於構件之設計載重降低，以確保安全。

## 2.4 結構設計

### 2.4.1 概要

L型塊之前牆、基腳、底版、扶壁、施吊部位，依其結構型式，以2.3節[作用於結構體載重]所述外力為載重設計之。

### 2.4.2 前牆

前牆設計原則如下。

- 前牆可視為以扶壁支承之版設計。扶壁僅有一處時，前牆視為懸臂版，扶壁設計有二處以上時，前牆以連續版設計之。
- 前牆之構件長度為扶壁之中心距。
- 前牆背後之載重，原則上作用於構件全長。
- 前牆主鋼筋之保護層厚度，原則上不得小於下列數值：

海側：7公分

陸側：5公分

### 2.4.3 基腳

基腳設計原則如下。

- 基腳可視為以前牆支承之懸臂版設計。
- 基腳構件長度為前趾至前牆面之距離。
- 基腳主鋼筋之保護層厚度，以不小於7公分為原則。

#### 2.4.4 底版

底版設計原則如下。

- 底版可視為以扶壁支承之版設計，扶壁僅有一處時，底版視為懸臂版，扶壁設計有二處以上時，底版以連續版設計之。
- 底版之構件長度為扶壁之中心距。
- 作用於底版之載重，原則上作用於構件全長。
- 底版主鋼筋之保護層厚度，原則上不得小於下列數值：

底面：7公分

頂面：5公分

#### 2.4.5 扶壁

扶壁設計原則如下。

- 扶壁應設計為可抵抗底版及前牆之反力。
- 扶壁可視為與前牆構成一體之T型樑設計。
- 扶壁可視為承受前牆反力，固定於底版之懸臂樑設計。
- 扶壁設計，應與底版平行之斷面設計之。
- 扶壁與前牆及底版應互相確實連結，配筋設計時，應特別計算抵抗剪力所須之副筋量。
- 扶壁主鋼筋保護層厚度不得小於5公分。

#### 2.4.6 施吊部位

施吊部位設計原則如下。

1. 作用於施吊部位之載重，包括下列三項。其中製作臺附著力與衝擊力均係短期載重，且非同時作用。
  - L型塊自重
  - 製作臺附著力，估計約為L型塊自重之20%
  - 衝擊力，估計約為L型塊自重之20%
2. 使用吊筋時，原則上應考量軸向拉應力及起吊部位之剪應力。
3. 吊筋之容許應力如依長期載重決定，則吊筋斷面可由L型塊自重計算。



### 第三章 空心方塊

## 第三章 空心方塊

### 3.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般空心方塊。

空心方塊設計流程，如圖3-1.1所示。

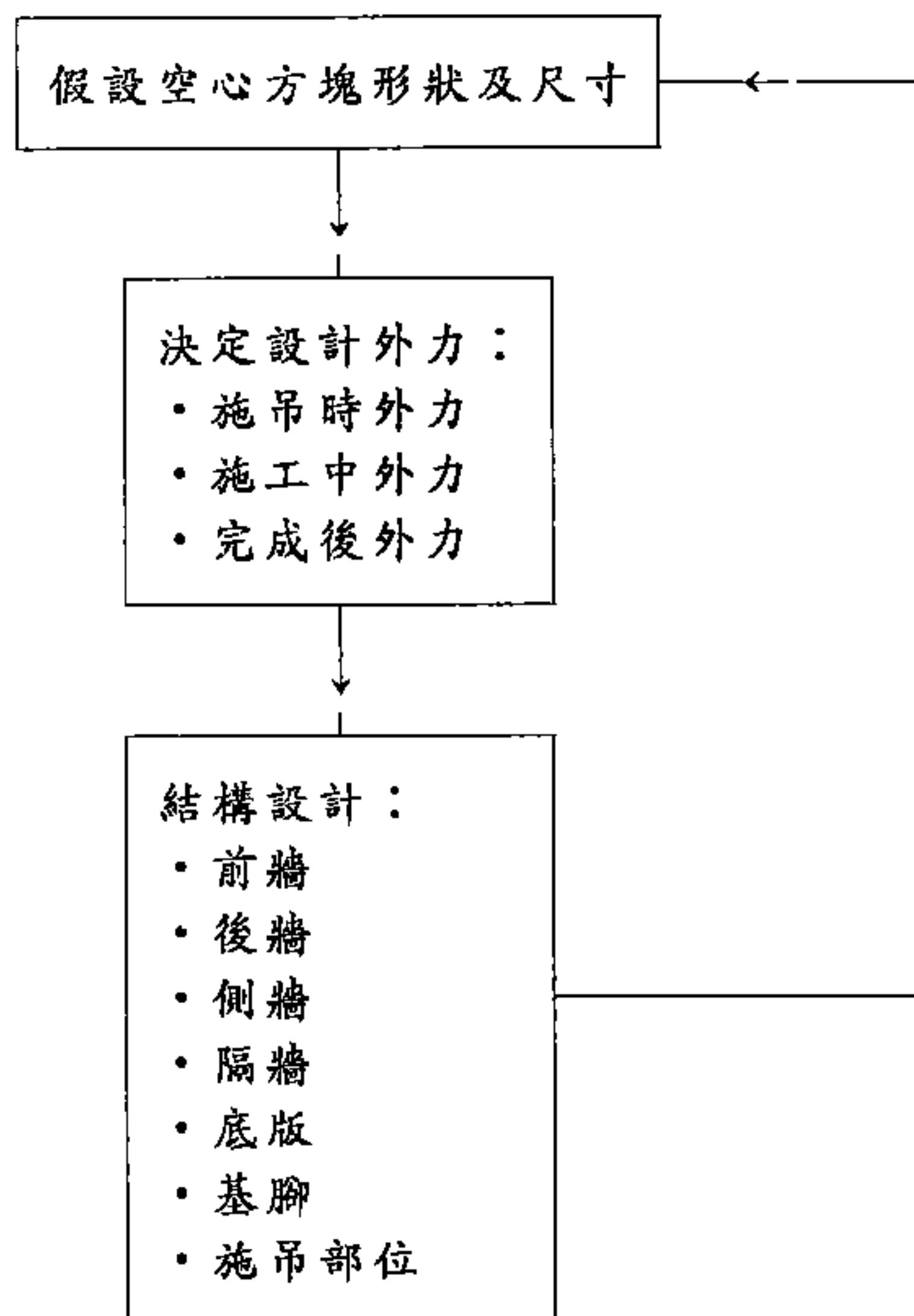


圖 3-1.1 空心方塊設計流程

### 3.2 尺寸之決定

於決定空心方塊各構件形狀及尺寸時，應考慮下列各項因素：

- 空心方塊製作設備能力
- 起重機施吊能力

- 壁體設計水深
- 潮差
- 上部結構施工高程
- 分層方塊堆積之整體性

## 3.3 作用於結構體載重

### 3.3.1 概要

作用於空心方塊各構件之載重，不論是常時或地震時，均應考慮下列各項。

- 內填料土壓
- 殘留水壓
- 自重
- 上部結構重量
- 上載載重
- 底面反力
- 施工時載重
- 波力

其中內填料土壓、施工時載重及波力等，均不考慮地震之影響。

### 3.3.2 內填料土壓

空心方塊內填料土壓，依本篇第一章 1.4.7節[完成後外力]相關規定計算。

### 3.3.3 載重分割法

作用於空心方塊壁體之載重，為計算方便，得予以適當分割。唯載重之分割，不得使作用於構件之設計載重降低，以確保安全。

## 3.4 結構設計

### 3.4.1 概要

空心方塊之前牆、後牆、側牆、隔牆、基腳、底版、施吊部位等，依其結構型式，以 3.3節[作用於結構體載重]所述外力為載重設計之。

### 3.4.2 前牆

前牆設計原則如下。

- 前牆可視為以側牆所支承之版設計之。
- 前牆之構件長度為側牆之中心距。
- 前牆背後之載重原則上作用於構件全長。
- 前牆主鋼筋之保護層厚度，原則上不得小於下列數值：

海側：7公分。

內側：5公分。

### 3.4.3 後牆

後牆設計原則如下。

- 後牆原則上依照前牆之設計原則設計。
- 作用於後牆之外力為內填料土壓，背後之主動土壓原則上不考量。
- 後牆主鋼筋之保護層厚度以不小於5公分為原則。

### 3.4.4 側牆

側牆設計原則如下。

- 側牆原則上依前牆及後牆之反力與傳達彎矩設計。
- 側牆之構件長度為前牆與後牆之中心距。

- 側牆主鋼筋之保護層厚度，原則上不得小於下列數值：

外側：7公分

內側：5公分

- 於施工中，應檢討內填料所產生之土壓對側牆強度之影響。

### 3.4.5 隔牆

隔牆設計原則如下。

- 隔牆原則上依外牆之反力與傳達彎矩設計。
- 於施工中，應檢討內填料高差所產生土壓對隔牆之影響。
- 隔牆主鋼筋之保護層厚度以不小於5公分為原則。

### 3.4.6 底版

空心方塊設計有底版時，應考量作用於底版之載重(內填料重量及上載載重)、底版自重及底面反力等外力設計之。

### 3.4.7 施吊部位

施吊部位設計原則，請參考第二章2.4.8節[施吊部位設計]

。

## 第四章 方塊

## 第四章 方塊

### 4.1 概要

本章所述設計規定，適用於一般使用於重力式壁體或護基等之方塊。

### 4.2 方塊接合部之形狀及尺寸

重力式壁體所使用之方塊，方塊頂面與底面建議作成凹凸形楔樁，以增加方塊互相接合的整體性並防止方塊滑動。

方塊接合部楔樁，設計例如圖 4-2.1 所示，突出寬度以 50 公分，突出高度以 20 公分為原則，凹部尺寸以較凸部尺寸大 5 公分為原則。為防止方塊滑動，亦可預將方塊預留孔洞，俟方塊疊成後，填充混凝土，或插入鋼筋或舊鋼軌後灌入混凝土，如開孔太小效果不大，孔太大則破壞方塊之結構。另為防止方塊之滑動亦可採用異型方塊。

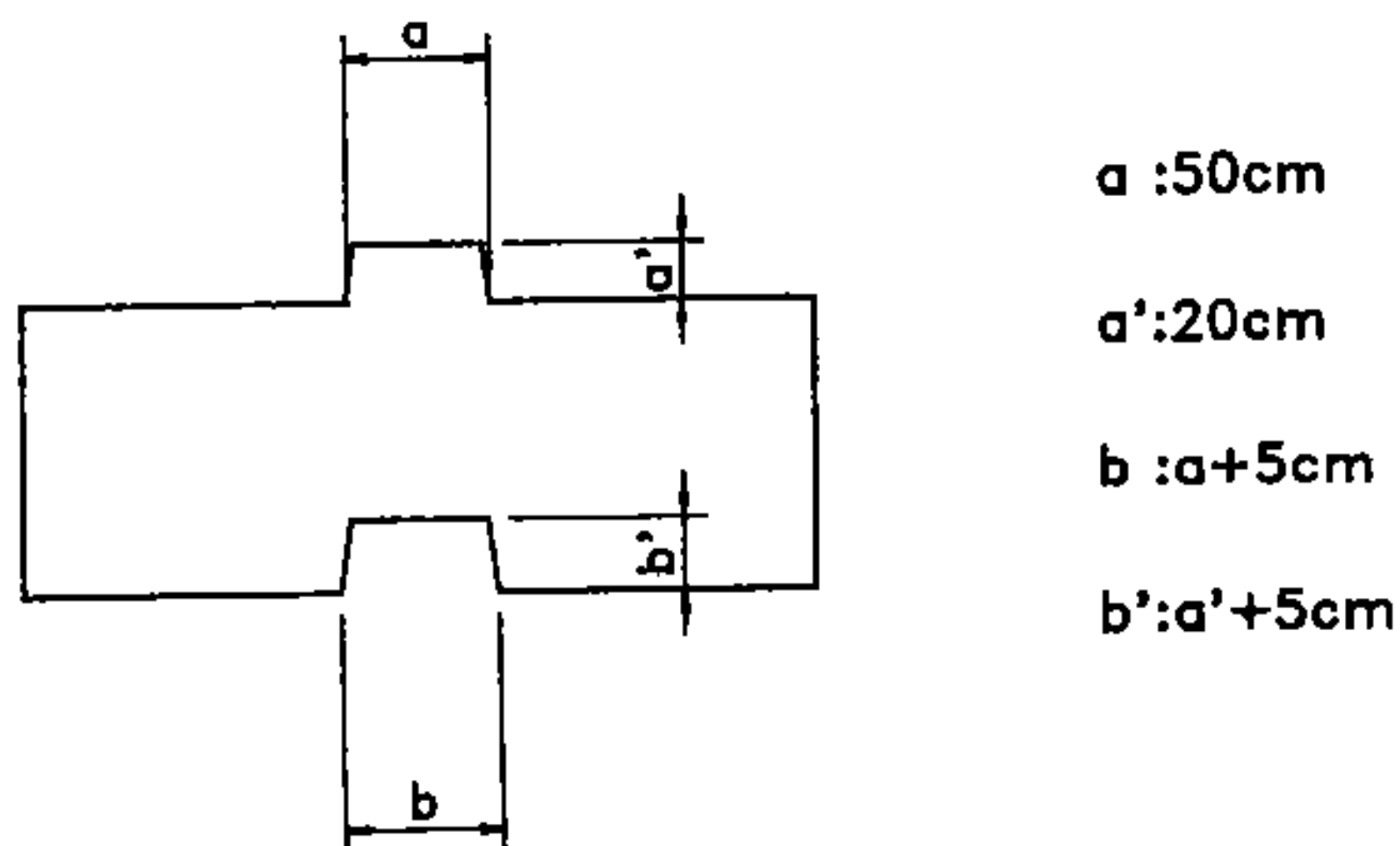


圖 4-2.1 方塊凹凸形楔樁示意圖

## 4.3 施吊部份設計

以能安全施工為原則，設計方塊吊點配置及吊筋。

作用於施吊部位之載重，應考量方塊自重、製作處附著力及施吊時之衝擊力等。



## 第六篇 碼頭工程

# 第一章 概説

# 第一章 概說

## 1.1 概要

碼頭係為提供船舶安全靠離岸、順利裝卸貨物及旅客上下船之設施，其規模、配置、種類、結構等均依此原則而決定。

碼頭設計流程如圖1-1.1所示

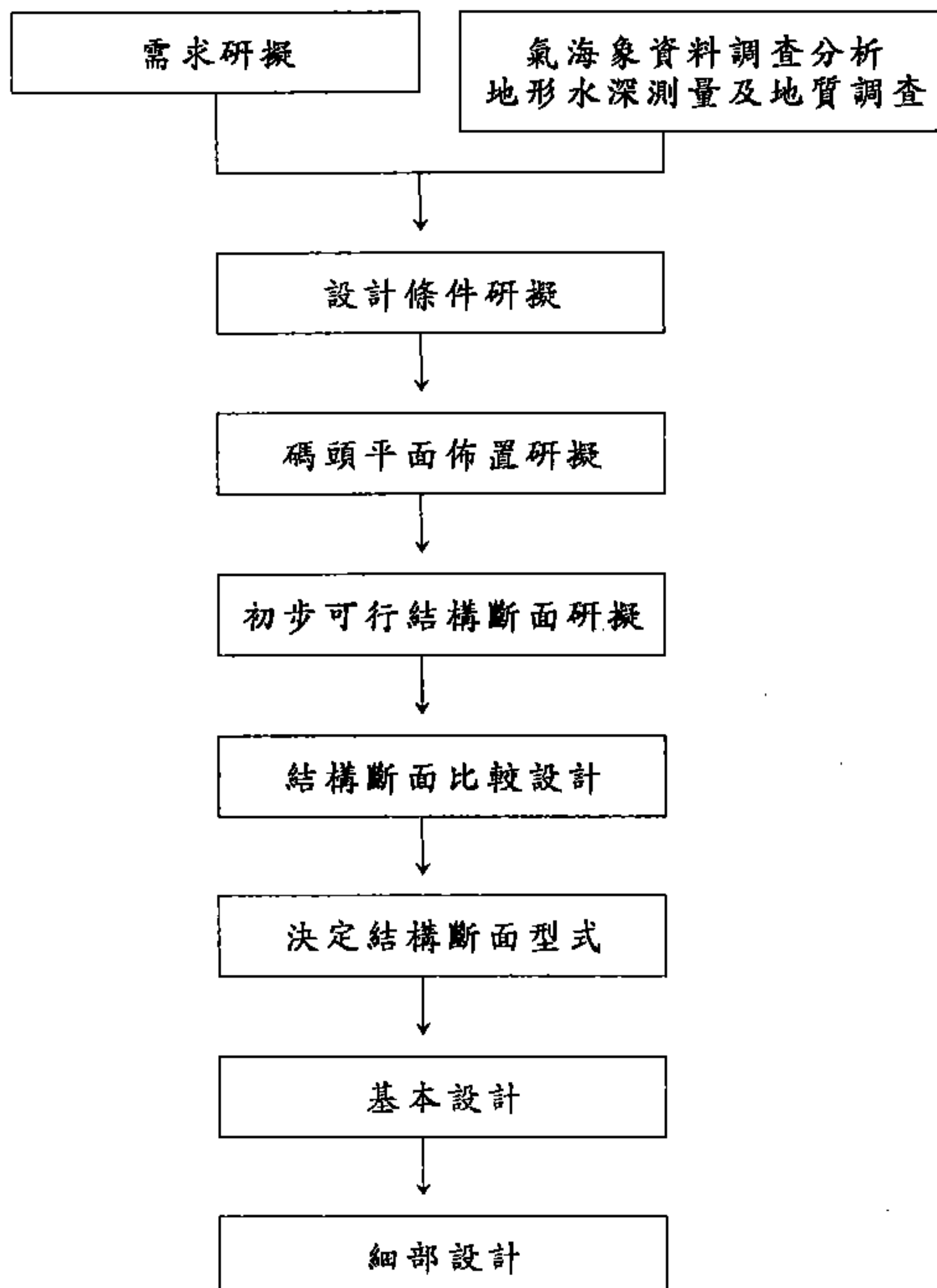


圖 1-1.1 碼頭設計流程

## 1.2 碼頭規模

碼頭之規模須掌握使用該港之客貨數量、種類、載貨狀況及水陸運輸狀況，並充分考慮將來運量之增加、船舶之大型化等因素而決定。

## 1.3 碼頭佈置

碼頭之佈置須考慮氣象、海象、地形、地質等，使船舶易於靠離碼頭，並考量陸上運輸、背後土地利用等之相互關係而決定之。

有關碼頭位置之選擇，特別是下列碼頭，須考量各種條件後，加以選定。

- 外海停泊設施，應不妨礙船舶之航行及停泊。
- 供車輛渡船、水翼船、氣墊船、客輪等使用之碼頭，應與危險品區隔離，為方便旅客之使用，須設有足夠之候船室、停車場等設施。
- 為保護生活環境品質，如氣墊船及其他會產生嚴重噪音之船舶，與裝卸時會產生嚴重噪音之碼頭，均應與住宅、學校、醫院等區隔離。
- 為保全生活環境的需要，危險品碼頭，應與住宅、學校、醫院等隔離，而且對危險品之溢出等意外事件須易於處理。危險品碼頭與其他碼頭及航行船舶等均須保持足夠之安全距離。
- 為保全生活環境品質，裝卸時可能會產生飛塵及臭味之碼頭，應與學校、住宅、醫院等區隔離。

## 1.4 碼頭結構

碼頭結構型式選擇，須考量自然條件、使用條件、施工條件、工期及工程費等因素，就各種結構型式特性，選擇適宜之碼頭結構型式。

本篇第三章將說明主要碼頭結構型式斷面，第四章以後，將針對各種碼頭設計逐章說明。

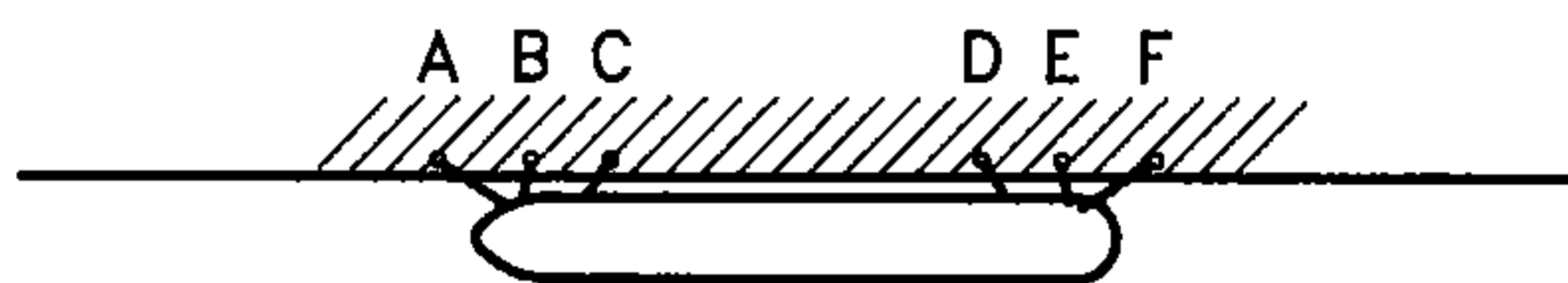
## 第二章 碼頭相關事項

## 第二章 碼頭相關事項

### 2.1 船席長度與水深

碼頭船席計畫長度及水深，應考慮計畫靠泊船型之長度及吃水，以船舶能安全且順利靠泊及裝卸為原則。

船席長度係考慮船舶橫向停泊時所須之長度而決定。船舶橫靠碼頭時，其一般之船纜配置如圖 2-1.1所示。其中，頭纜及艏纜具有防止船之前後移動及維持船之橫向繫靠雙重目的，因此，頭纜及艏纜之繫纜角度，以與碼頭法線維持約 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 為宜，基此船席所須之餘裕長度約為船寬。



- A：頭纜(Head Line)
- B：前橫纜(Forward Breast Line)
- C：前倒纜(Forward Spring Line)
- D：後倒纜(Aft Spring Line)
- E：後橫纜(Aft Breast Line)
- F：艏纜(Stern Line)

圖 2-1.1 船纜配置示意圖

在遮蔽良好之水域，船席水深係考慮船舶滿載吃水，再加上滿載吃水10%之值為標準，在此船席水深之基準面以第二篇第五章5.1節[天文潮]中所規定者為準。

大型及小型船舶碼頭，無計畫靠泊船型時，船席長度設計者可分別參考表2-1.1及2-1.2所列之值。唯應注意小型船舶之船型尺寸偏差很大。

表 2-1.1 大型船舶碼頭尺寸參考表

| 種類          | 碼頭長度 | 碼頭水深 | 船舶等級    | 種類                    | 碼頭長度 | 碼頭水深 | 船舶等級    |
|-------------|------|------|---------|-----------------------|------|------|---------|
| 客<br>輪      | m    | m    | G.T     | 油<br>輪                | m    | m    | D.W     |
|             | 100  | 4.5  | 2,000   |                       | 80   | 4.5  | 1,000   |
|             | 120  | 5.0  | 3,000   |                       | 100  | 5.5  | 2,000   |
|             | 150  | 6.0  | 5,000   |                       | 110  | 6.5  | 3,000   |
|             | 170  | 6.5  | 8,000   |                       | 130  | 7.5  | 5,000   |
|             | 190  | 7.0  | 10,000  |                       | 170  | 9.0  | 10,000  |
|             | 220  | 7.5  | 15,000  |                       | 190  | 10.0 | 15,000  |
|             | 240  | 9.0  | 20,000  |                       | 210  | 11.0 | 20,000  |
| 貨<br>輪      | 280  | 10.0 | 30,000  |                       | 240  | 12.0 | 30,000  |
|             | m    | m    | D.W     |                       | 260  | 13.0 | 40,000  |
|             | 70   | 4.5  | 700     |                       | 280  | 14.0 | 50,000  |
|             | 80   | 5.0  | 1,000   |                       | 300  | 14.5 | 60,000  |
|             | 100  | 5.5  | 2,000   |                       | 310  | 15.0 | 70,000  |
|             | 110  | 6.5  | 3,000   |                       | 320  | 16.0 | 80,000  |
|             | 130  | 7.5  | 5,000   |                       | 330  | 17.0 | 100,000 |
|             | 160  | 9.0  | 8,000   |                       | 350  | 19.5 | 150,000 |
|             | 170  | 10.0 | 10,000  | 汽<br>車<br>專<br>用<br>船 | m    | m    | G.T     |
|             | 190  | 11.0 | 15,000  |                       | 100  | 5.0  | 700     |
|             | 240  | 12.0 | 30,000  |                       | 110  | 5.5  | 1,000   |
|             | 260  | 13.0 | 40,000  |                       | 130  | 6.5  | 2,000   |
|             | 280  | 14.0 | 50,000  |                       | 150  | 7.0  | 3,000   |
|             | 300  | 15.0 | 70,000  |                       | 170  | 7.5  | 5,000   |
|             | 320  | 16.0 | 90,000  |                       | 180  | 8.0  | 6,000   |
|             | 330  | 18.0 | 100,000 |                       | 210  | 9.0  | 10,000  |
| 貨<br>櫃<br>輪 | 350  | 19.0 | 125,000 | 液<br>化<br>瓦<br>斯<br>船 | 240  | 10.0 | 15,000  |
|             | 370  | 20.0 | 150,000 |                       | 260  | 11.0 | 20,000  |
|             | m    | m    | D.W     |                       | m    | m    | G.T     |
|             | 250  | 12.0 | 20,000  |                       | 90   | 5.5  | 1,000   |
|             | 300  | 13.0 | 30,000  |                       | 110  | 6.5  | 2,000   |
|             | 330  | 14.0 | 40,000  |                       | 130  | 7.5  | 3,000   |
| 貨<br>櫃<br>輪 | 350  | 15.0 | 50,000  |                       | 150  | 8.5  | 5,000   |
|             | 350  | 15.0 | 60,000  |                       | 190  | 10.0 | 10,000  |
|             |      |      |         |                       | 210  | 12.0 | 15,000  |
|             |      |      |         |                       | 230  | 13.0 | 20,000  |
|             |      |      |         |                       | 260  | 14.0 | 30,000  |
|             |      |      |         |                       | 310  | 15.0 | 50,000  |

表 2-1.2 小型船舶碼頭尺寸參考表

| 種類     | 碼頭長度                | 碼頭水深                   | 船舶等級                     | 種類          | 碼頭長度                      | 碼頭水深                          | 船舶等級                            |
|--------|---------------------|------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 貨<br>船 | m<br>55<br>65       | m<br>3.5<br>4.0        | D.W<br>300<br>600        | 運<br>砂<br>船 | m<br>45<br>50<br>60       | m<br>3.0<br>3.5<br>4.0        | D.W<br>200<br>300<br>500        |
|        | m<br>40<br>50<br>60 | m<br>3.0<br>3.5<br>4.0 | D.W<br>200<br>400<br>600 |             | m<br>35<br>40<br>45<br>50 | m<br>3.0<br>4.5<br>5.0<br>6.5 | G.T<br>100<br>200<br>300<br>500 |
| 客<br>輪 | m<br>40<br>50<br>60 | m<br>2.0<br>2.5<br>3.0 | G.T<br>100<br>300<br>500 | 拖<br>船      |                           |                               |                                 |

碼頭於裝卸易燃性危險品時，碼頭上之裝卸作業地點，至少須距離裝卸船舶之油槽、鍋爐等使用火苗處所30公尺以上。在危險品滲漏時無起火之慮的地形或結構物時，上述之距離可減至15公尺左右。

碼頭於裝卸易燃性危險品時，裝卸船舶至其他停泊船舶至少須保持30公尺以上之距離。而附近航行之船舶亦須在遠離30公尺以上之距離航行，以策安全。上述距離可依裝卸船舶之大小，與附近停泊及航行船舶之種類、大小、擁擠狀況等狀況適度的增減。

於決定碼頭船席長度時，須考慮上述易燃性危險品之作業限制，適度調整船席長度。

## 2.2 碼頭面高程

碼頭面高程，應綜合考量計畫靠泊船型、該地之潮差、暴潮位、波浪、工程費及地盤下陷等因素，以貨物能順利裝卸，同時可避免碼頭設施受災為原則，而慎重決定之。



碼頭面高程雖依當地潮差而有所不同，但一般以 H.W.L.(朔望平均高潮位)為基準，設計者可參考表 2-2.1及2-2.2所列之值。但在有暴潮、波浪及地盤下陷之處，須充分考量該等因素之影響。

表 2-2.1 碼頭面高程參考值

| 碼頭水深               | 潮差大於3.0m             | 潮差小於3.0m             |
|--------------------|----------------------|----------------------|
| 大型碼頭<br>(水深大於4.5m) | H.W.L.上<br>0.5~1.5 m | H.W.L.上<br>1.0~2.0 m |
| 小型碼頭<br>(水深小於4.5m) | H.W.L.上<br>0.3~1.0 m | H.W.L.上<br>0.5~1.5 m |

表 2-2.2 臺灣主要港口碼頭面高程參考值

| 港口名稱 | 碼頭面高程      | H.W.L.  | M.W.L.  | L.W.L.  |
|------|------------|---------|---------|---------|
| 基隆港  | EL. +3.0 m | +1.15 m | +0.90 m | +0.67 m |
| 台中港  | EL. +6.2 m | +4.64 m | +2.77 m | +0.90 m |
| 高雄港  | EL. +2.6 m | +1.13 m | +0.74 m | +0.42 m |
| 花蓮港  | EL. +4.0 m | +1.31 m | +0.83 m | +0.34 m |
| 蘇澳港  | EL. +3.0 m | +1.40 m | +0.93 m | +0.48 m |
| 安平港  | EL. +2.3 m | +0.93 m | +0.65 m | +0.37 m |
| 馬公港* | EL. +4.0 m | +3.09 m | +1.79 m | +0.43 m |

註：表中數字為H.W.O.S.T.或L.W.O.S.T.

## 2.3 碼頭前趾界限

碼頭海側之壁面及前趾之形狀，以船舶靠岸及停泊時不碰撞為原則。

碼頭之前趾界限可參考圖 2-3.1 所示之界限，圖中所示之界限，對船舶靠岸時之橫向搖動、停泊時之縱搖、上下擺動等均無特別的考慮，於設計時須加以留意。

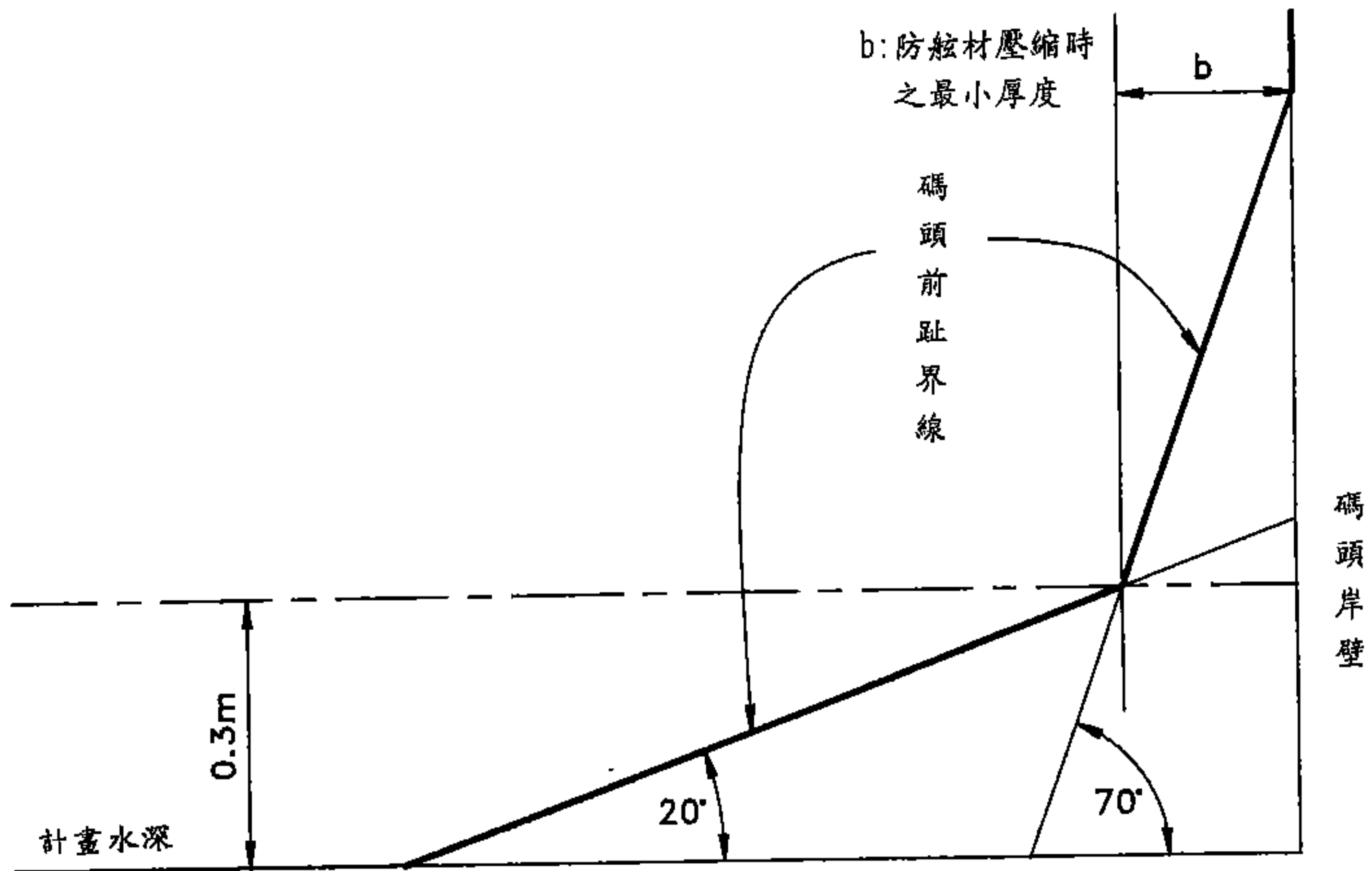


圖 2-3.1 碼頭前趾界限示意圖

## 2.4 設計水深

設計水深應依碼頭之計畫水深(詳本章 2.1.3 節[船席水深]所述)，考慮碼頭的結構型式、現地之水深、施工方法、施工精度，及碼頭前方之沖刷淤積狀況等因素後決定之。

為了確保結構物之穩定，通常設計水深並不與計畫水深同值。一般而言，設計水深為計畫水深與餘裕水深之和。在此餘裕水深則視碼頭結構型式、現地水深、施工方法、施工精度、及沖刷淤積狀況等之不同而異，故設計水深須考慮上述各項因素後決定之。

碼頭前水域因海流或特定船舶之推進器作用等因素，可能產生大量沖刷時，此時沖刷深度不視為餘裕水深，而應以覆蓋石塊或混凝土塊等於海底面予以保護。

### 第三章 碼頭之結構型式

# 第三章 碼頭之結構型式

## 3.1 結構斷面基本型式

碼頭結構斷面依其結構型式分類如表 3-1.1所示。

各型式碼頭斷面例示意如圖 3-1.1~3-1.16所示，圖中所示斷面僅係參考斷面，設計者可依使用目的、設計條件等，依本篇各章所述設計基準適度調整斷面，以切合實際之需要。

表 3-1.1 碼頭結構斷面基本型式分類

|    |                              |                      |
|----|------------------------------|----------------------|
| 碼頭 | 重力式碼頭<br>(圖3.1.1)            | 沉箱式碼頭                |
|    |                              | L型塊式碼頭               |
|    |                              | 方塊式碼頭                |
|    |                              | 空心方塊式碼頭              |
|    |                              | 場鑄混凝土碼頭              |
|    | 板樁式碼頭<br>(圖3.1.2)            | 錨碇版式碼頭               |
|    |                              | 錨碇樁式碼頭               |
|    | 圓筒式碼頭<br>(圖3.1.3)            | 鋼板樁圓筒式碼頭             |
|    |                              | 鋼板圓筒式碼頭              |
|    | 棧橋式碼頭<br>(圖3.1.4)            | 直樁棧橋式碼頭              |
|    |                              | 斜樁棧橋式碼頭              |
|    | 平版樁基式碼頭(減壓平版式碼頭)<br>(圖3.1.5) |                      |
|    | 其他形式碼頭                       | 直立消波式碼頭(圖3.1.6)      |
|    |                              | 自立式板樁碼頭(圖3.1.7)      |
|    |                              | 斜樁錨碇式板樁碼頭(圖3.1.8)    |
|    |                              | 前斜樁式板樁碼頭(圖3.1.9)     |
|    |                              | 雙重板樁式碼頭(圖3.1.10)     |
|    |                              | 圓柱式或腳柱式棧橋碼頭(圖3.1.11) |
|    |                              | 橋墩式棧橋碼頭(圖3.1.12)     |
|    |                              | 離岸式碼頭(圖3.1.13)       |
|    |                              | 繫、靠船台(圖3.1.14)       |
|    |                              | 浮碼頭(圖3.1.15)         |
|    |                              | 繫船浮筒(圖3.1.16)        |

### 1. 重力式碼頭

靠自重穩定之結構物，如沉箱式、方塊式、L型塊式、空心方塊式、場鑄混凝土式等，斷面例示意如圖3-1.1。

### 2. 板樁式碼頭

靠板樁埋入海底之被動土壓與後拉之錨碇設施形成之結構物，斷面例示意如圖3-1.2。

### 3. 圓筒式碼頭

靠圓筒內填料自重及剪力強度抵抗外力之結構物，如鋼板樁圓筒式、置放式鋼板圓筒、埋入式鋼板圓筒等，斷面例示意如圖3-1.3。

### 4. 棧橋式碼頭

靠基樁之強度抵抗外力之結構物，如直樁棧橋式、斜樁棧橋式等，斷面例示意如圖3-1.4。

### 5. 平版樁基式碼頭

利用平版減少版樁所承受之水平力，並配合基樁強度抵抗外力之結構物，斷面例示意如圖3-1.5。

### 6. 直立消波式碼頭

為重力式之一種，利用碼頭上部之消波室減少波能，斷面例示意如圖3-1.6。

### 7. 自立式板樁碼頭

屬無錨碇之懸臂式板樁碼頭，斷面例示意如圖3-1.7。

### 8. 斜樁錨碇式板樁碼頭

板樁背側打設斜樁，以支承背填砂土之結構物，斷面例示意如圖3-1.8。

### 9. 前斜樁式板樁碼頭

板樁利用基樁斜撐之結構物，斷面例示意如圖3-1.9。

### 10. 雙重板樁式碼頭

靠雙排鋼板樁間內填料之剪力強度抵抗外力之擋土結構物，斷面例示意如圖3-1.10。

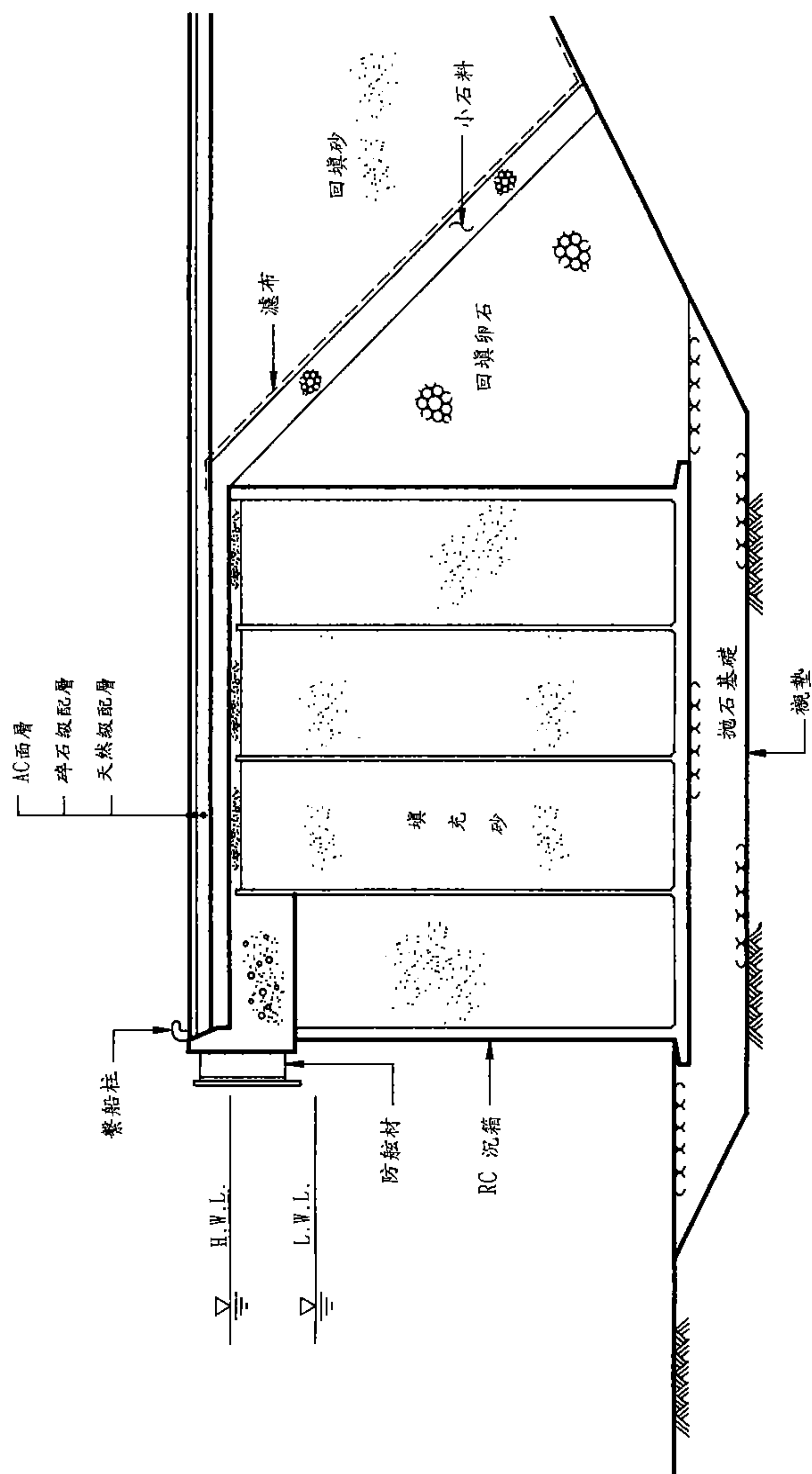


圖 3-1.1(a) 沉箱重力式碼頭斷面示意圖

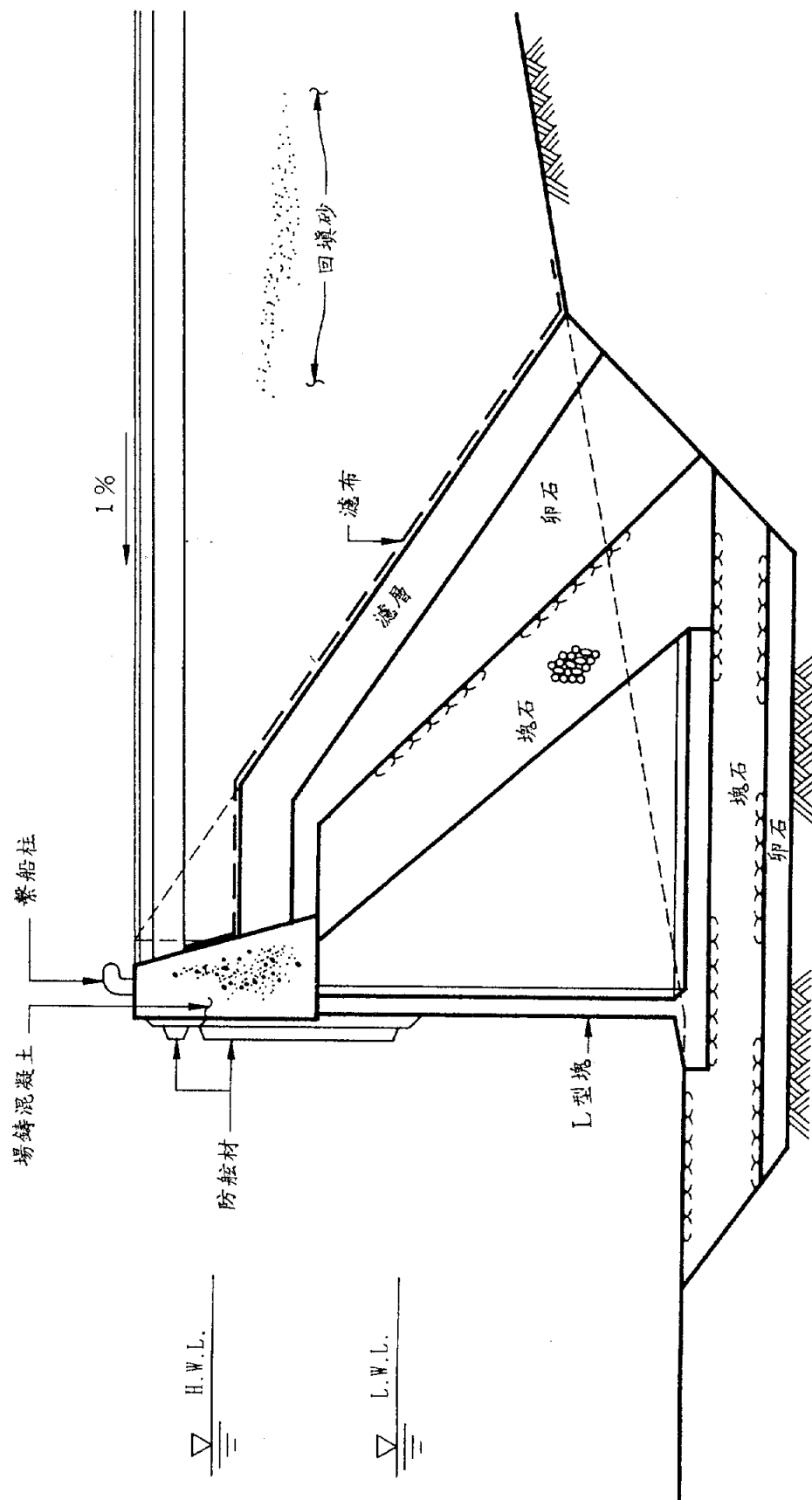


圖 3-1.1(b) L型塊重力式碼頭斷面示意圖

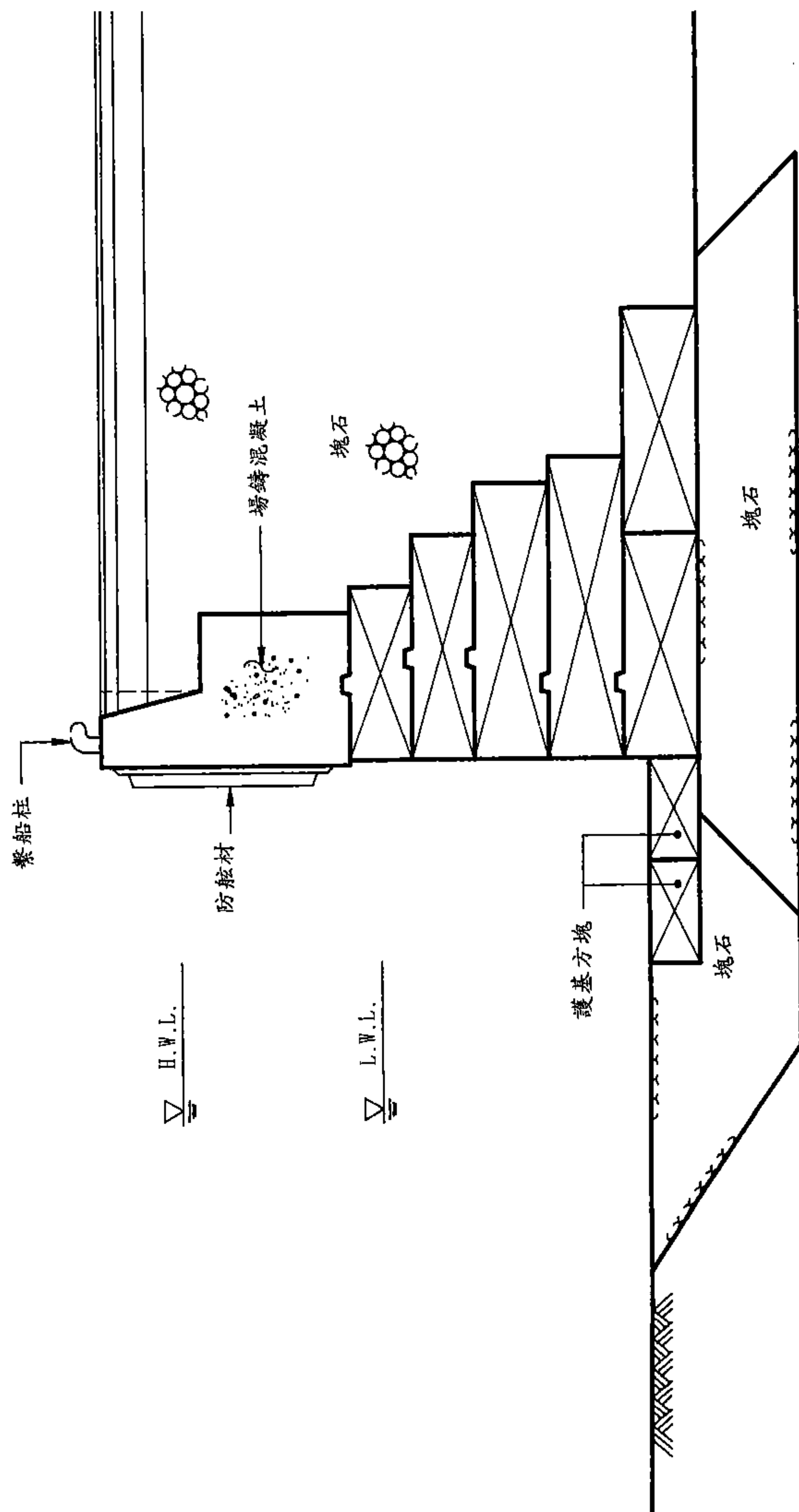


圖 3-1.1(c) 方塊重力式碼頭斷面示意圖



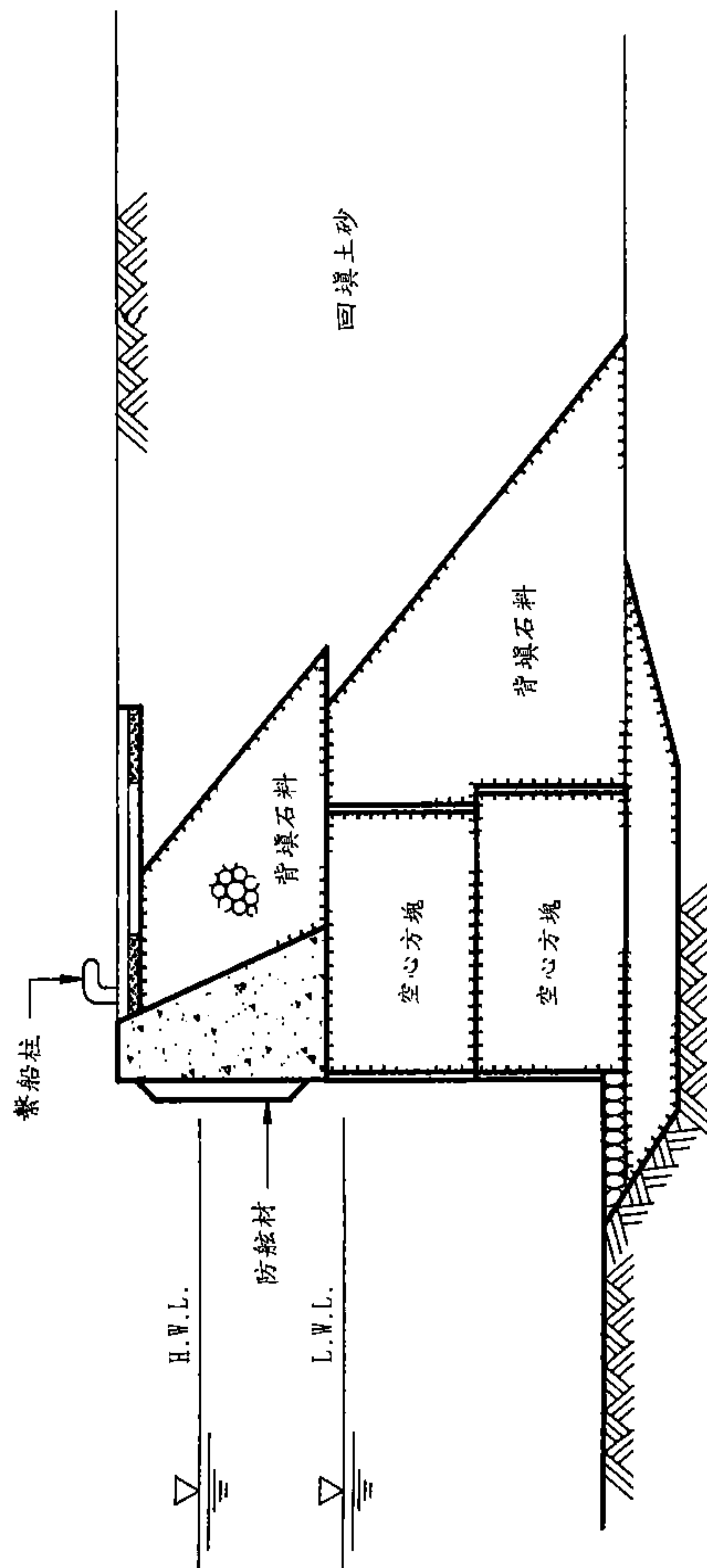


圖 3-1.1(d) 空心方塊重力式碼頭斷面示意圖

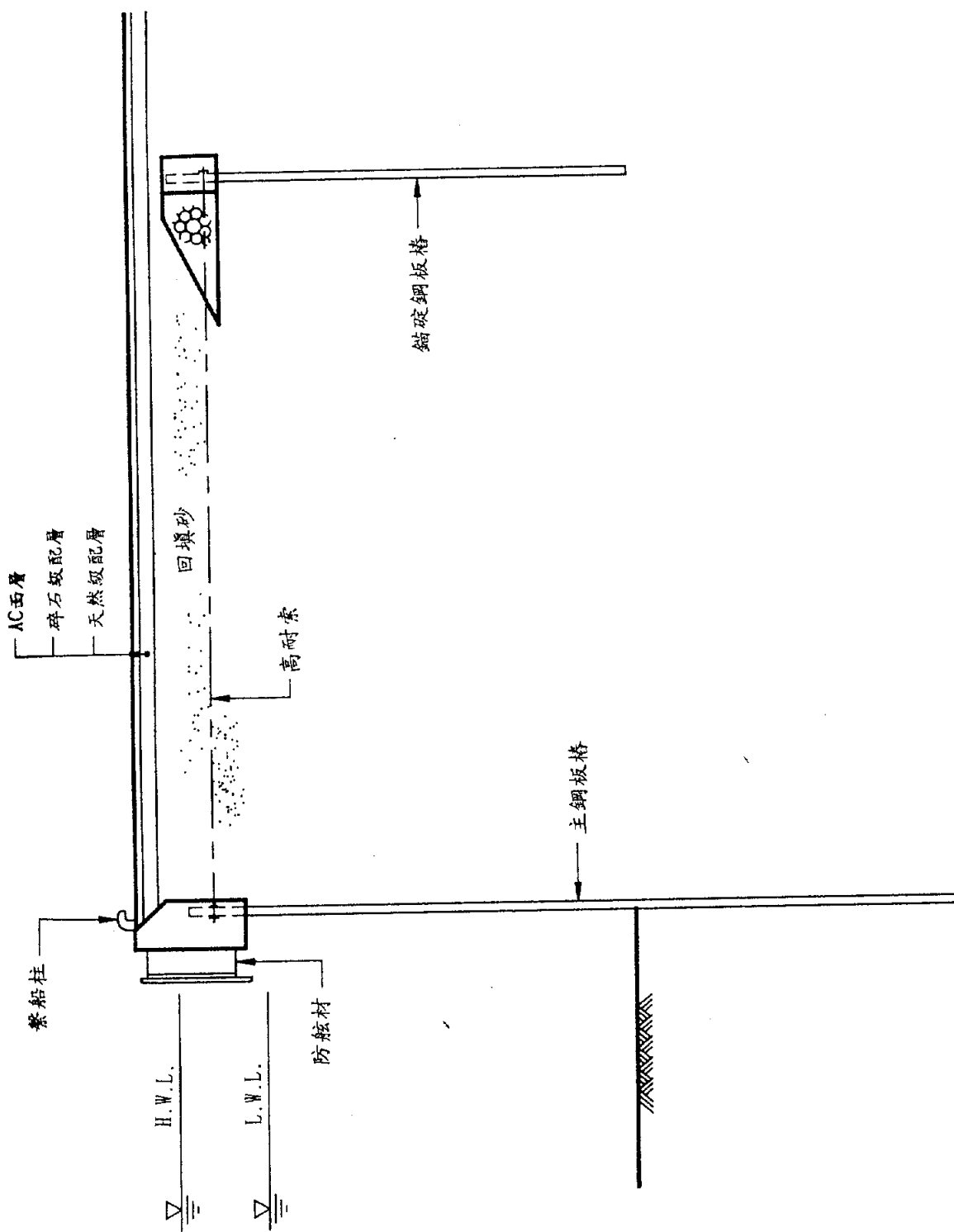


圖 3-1.2 板樁式碼頭斷面示意圖

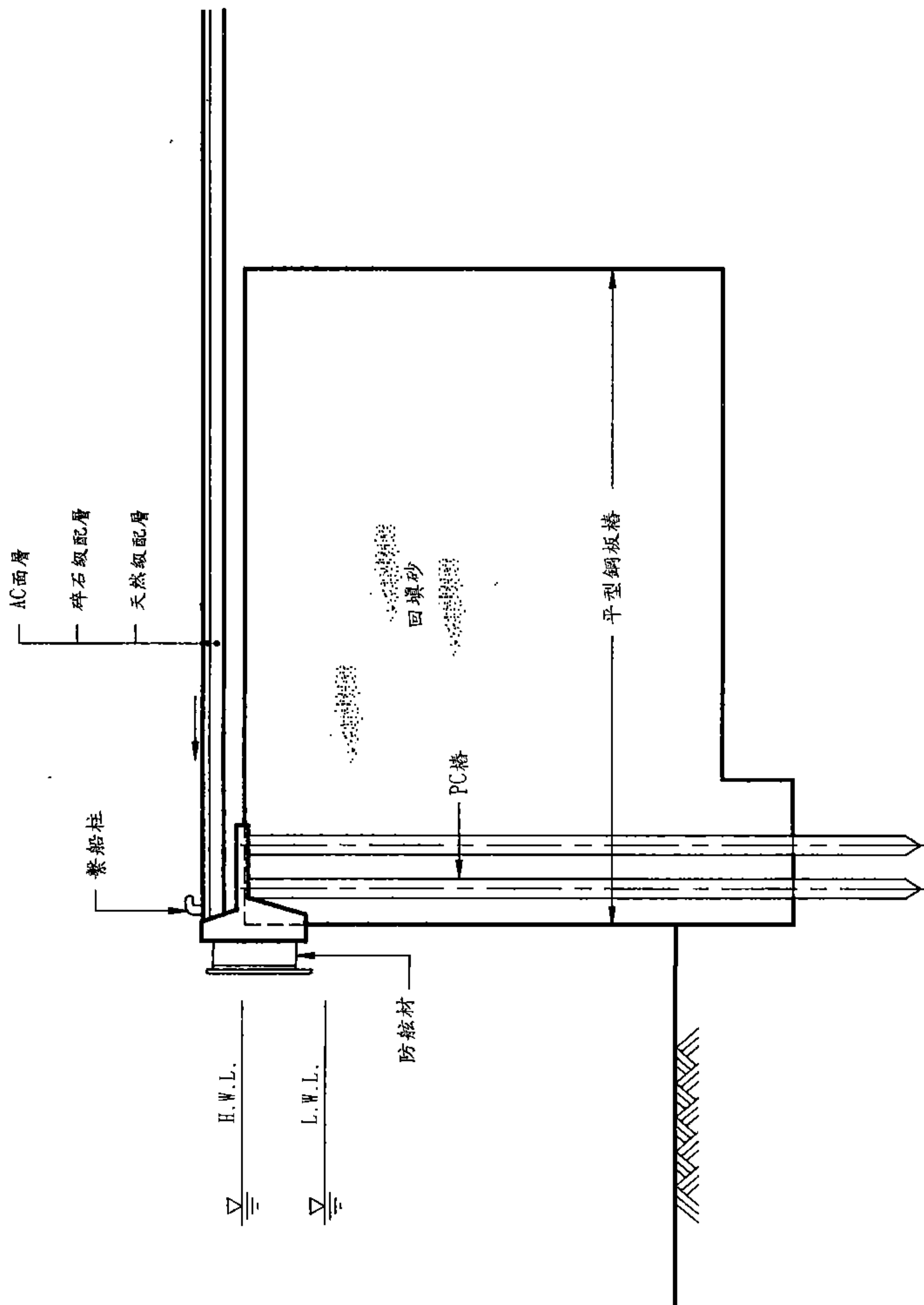


圖 3-1.3(a) 鋼板樁圓筒式碼頭斷面示意圖

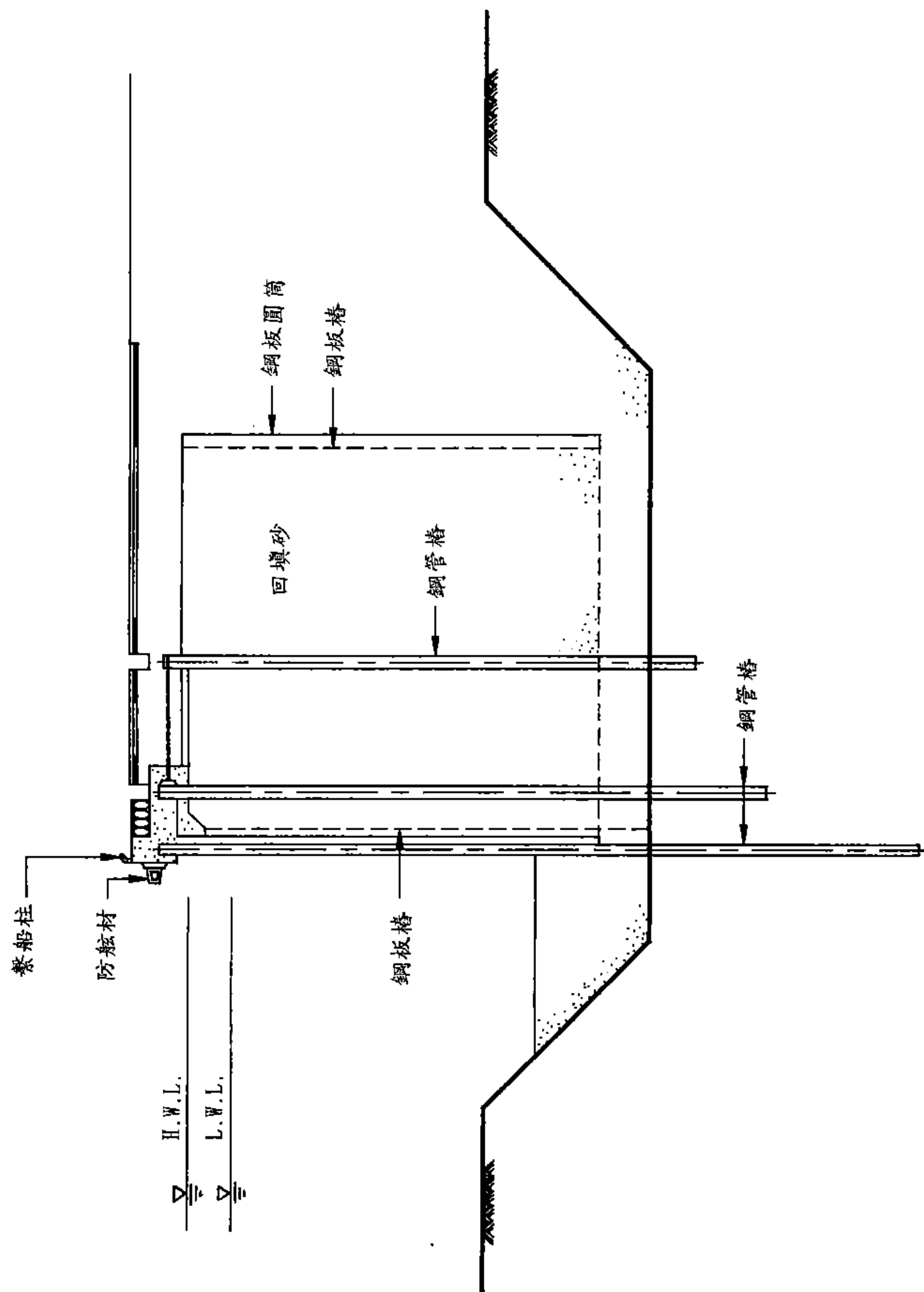


圖 3-1.3(b) 置放式鋼板圓筒碼頭斷面示意圖

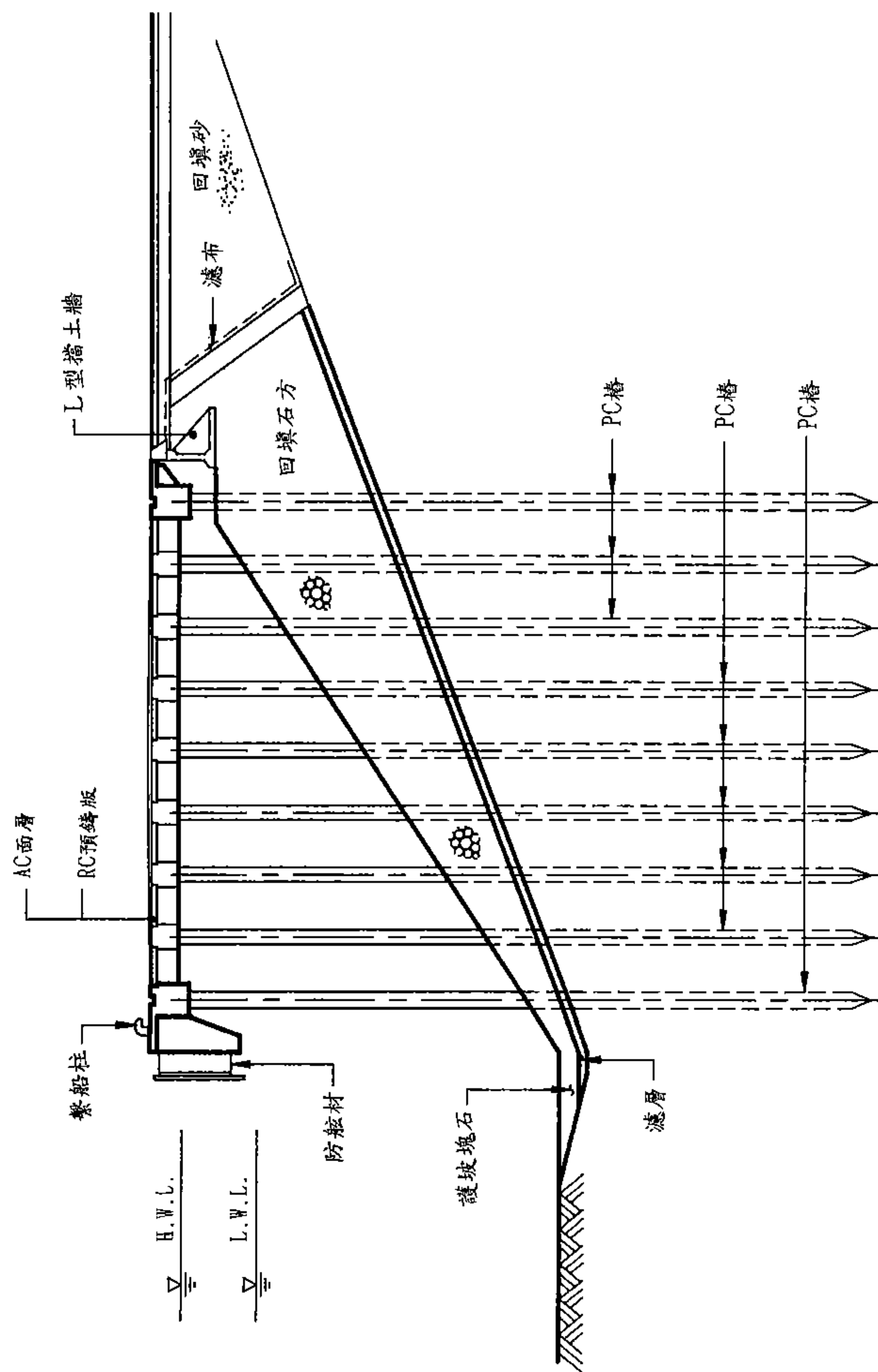


圖 3-1.4(a) 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖

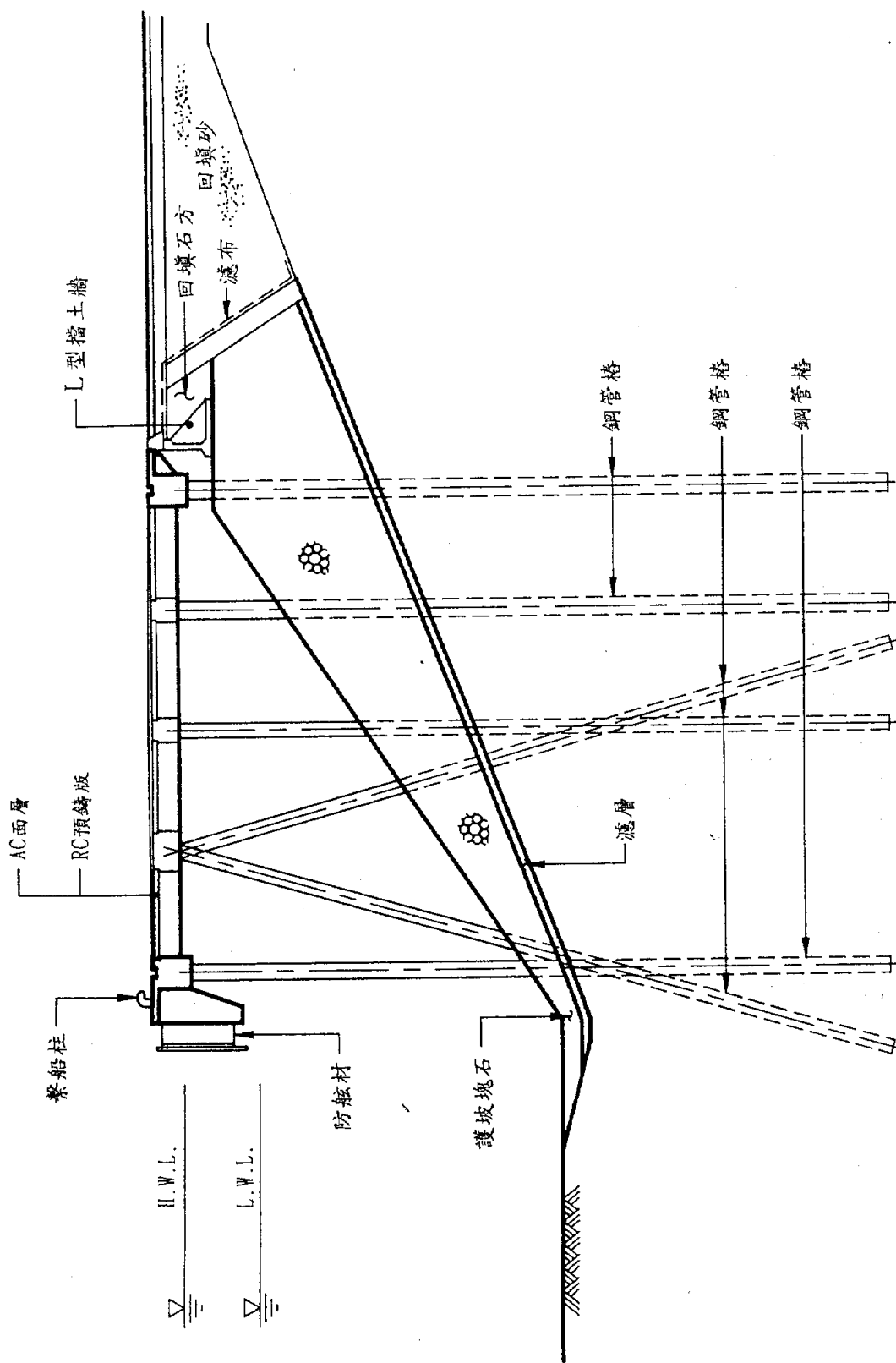


圖 3-1.4(b) 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖

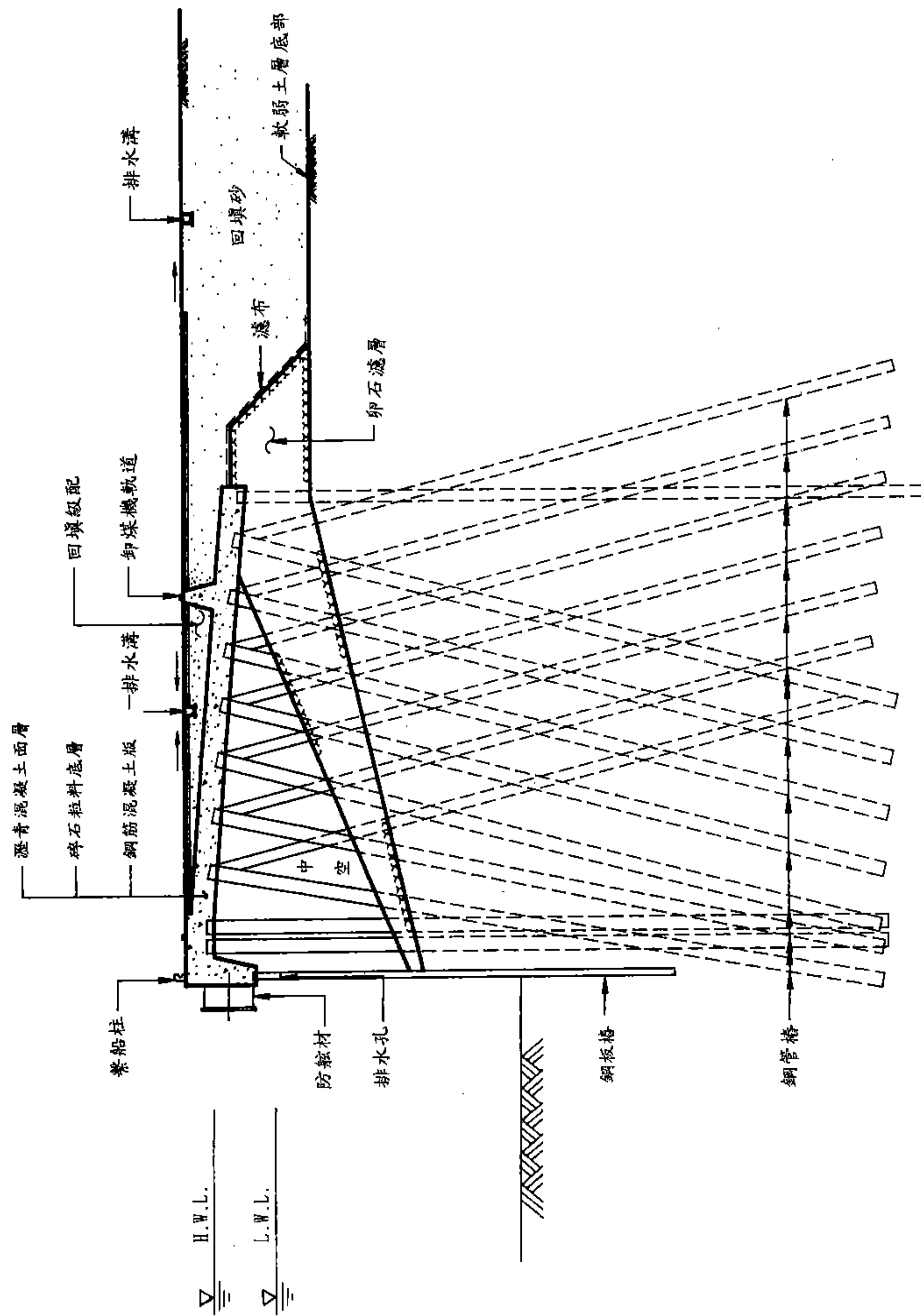


圖 3-1.5 平版樁基式碼頭斷面示意圖

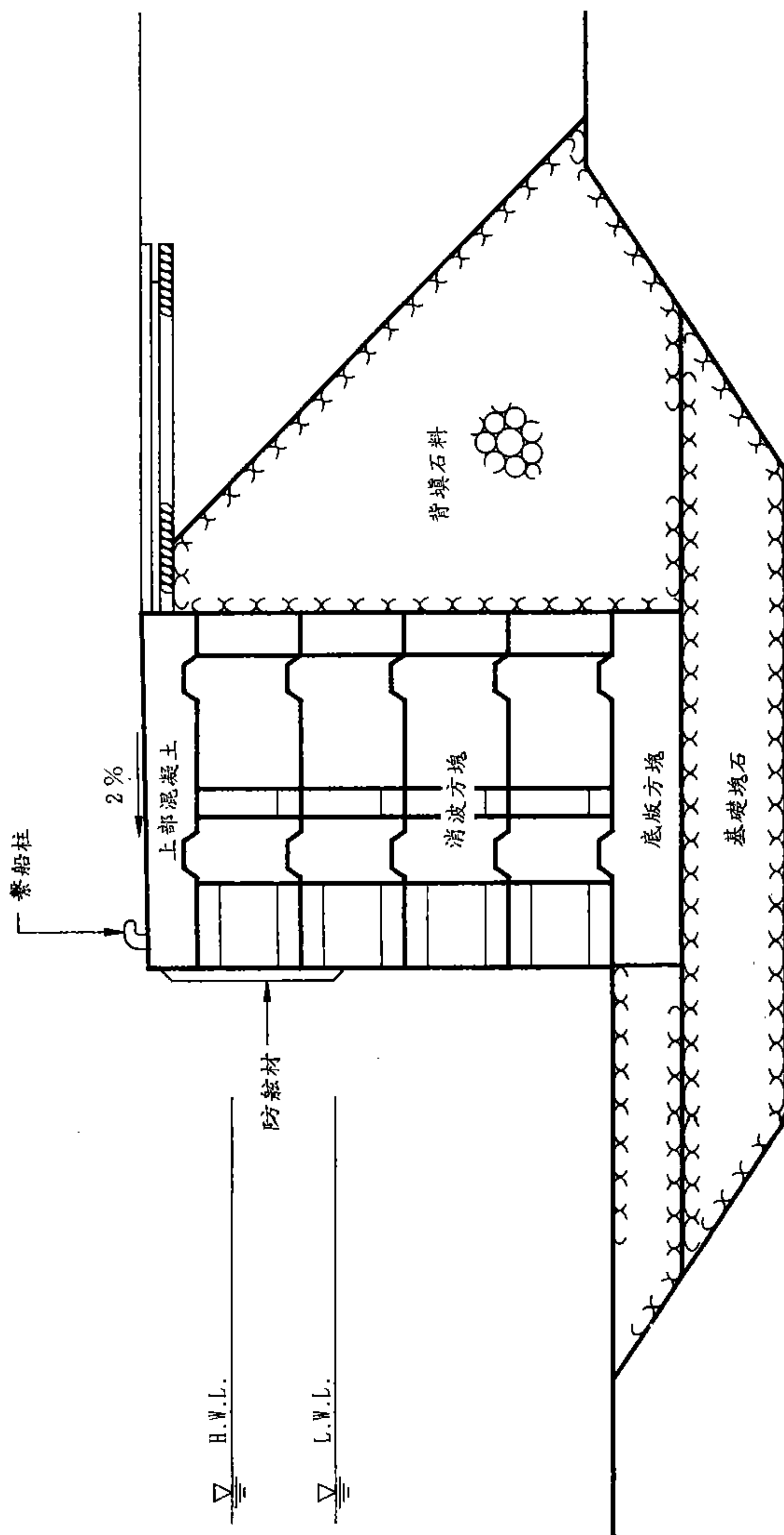


圖 3-1.6 直立消波式碼頭斷面示意圖



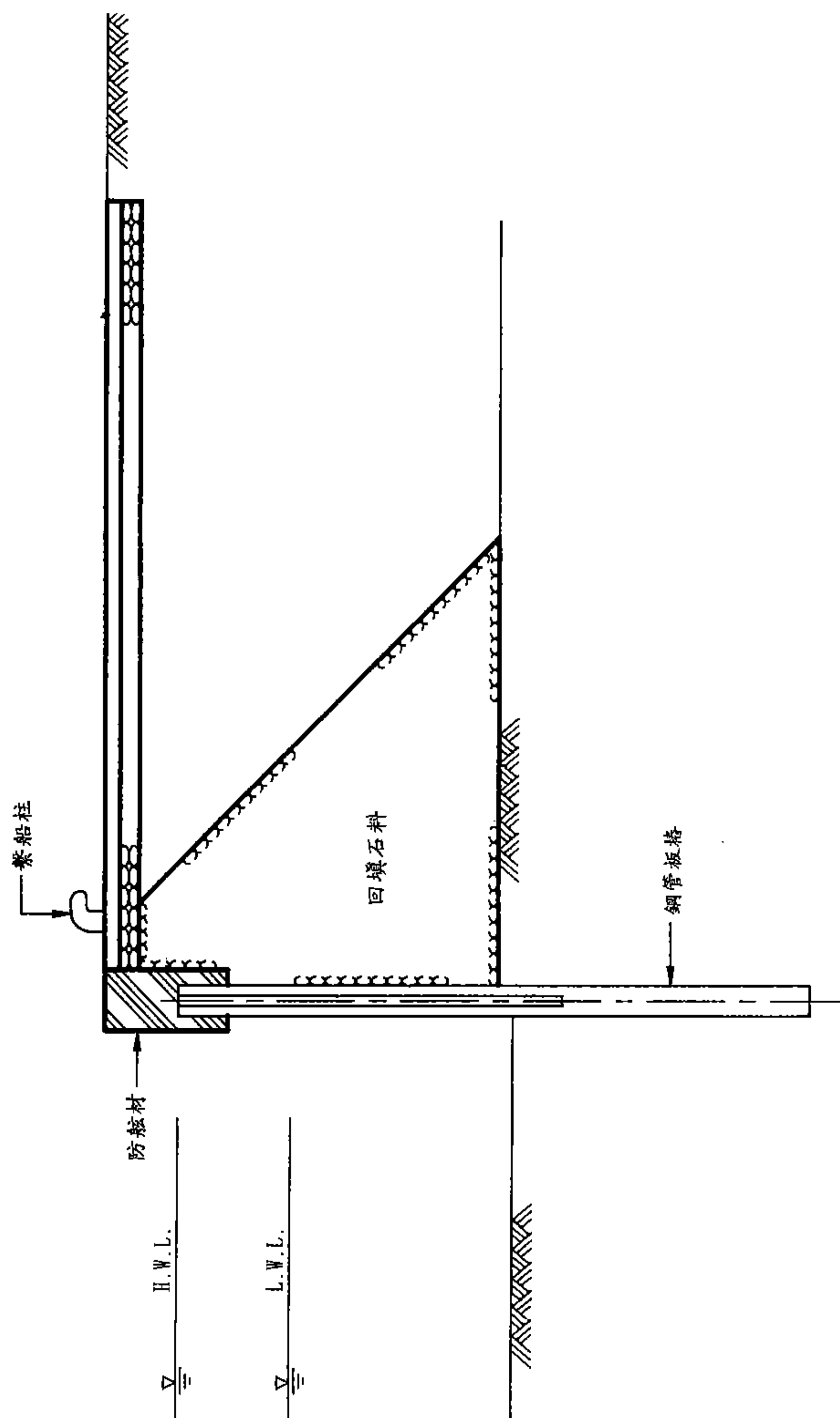


圖 3-1.7 自立式板樁碼頭斷面示意圖

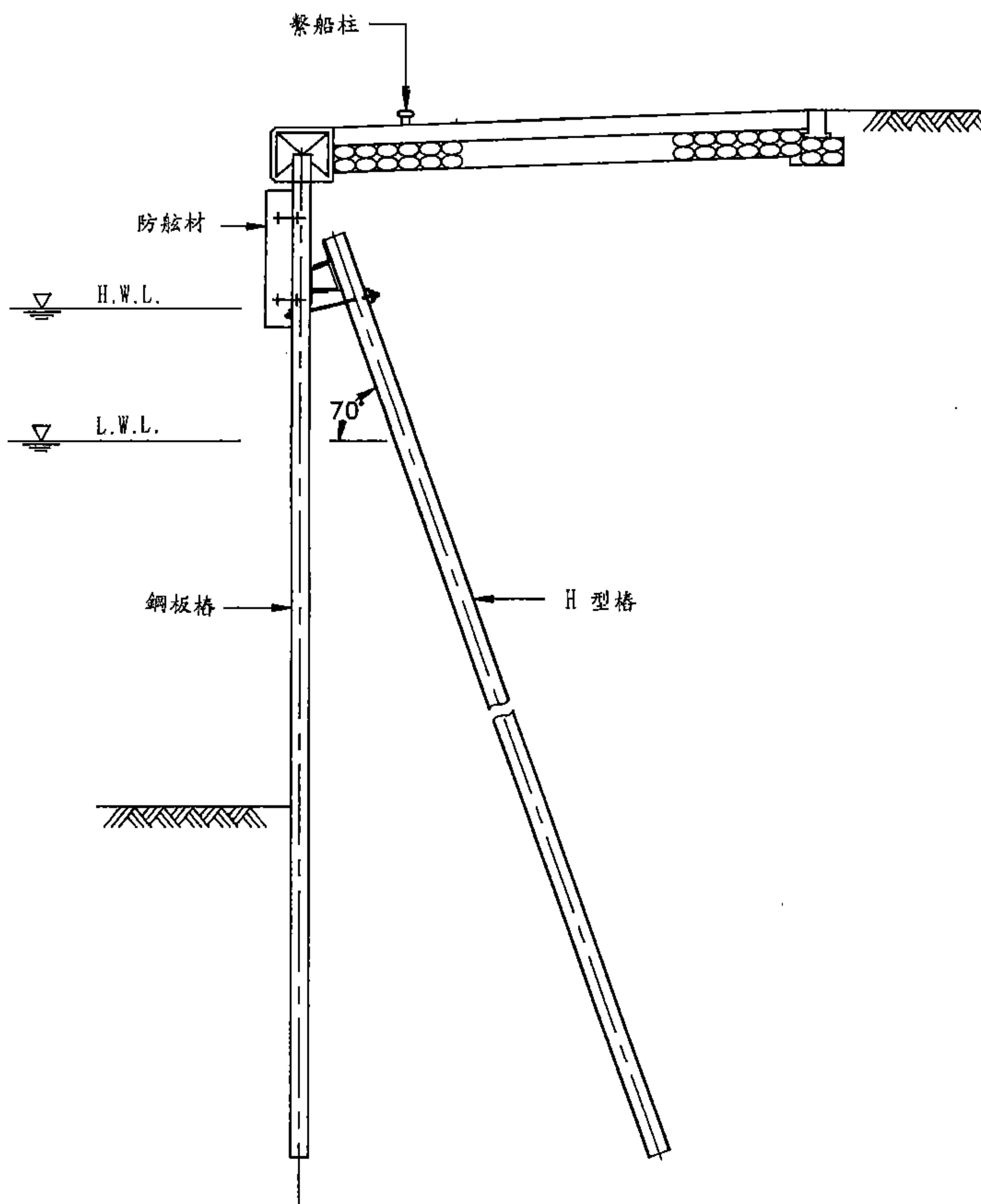


圖 3-1.8 斜樁錨碇式板樁碼頭斷面示意圖

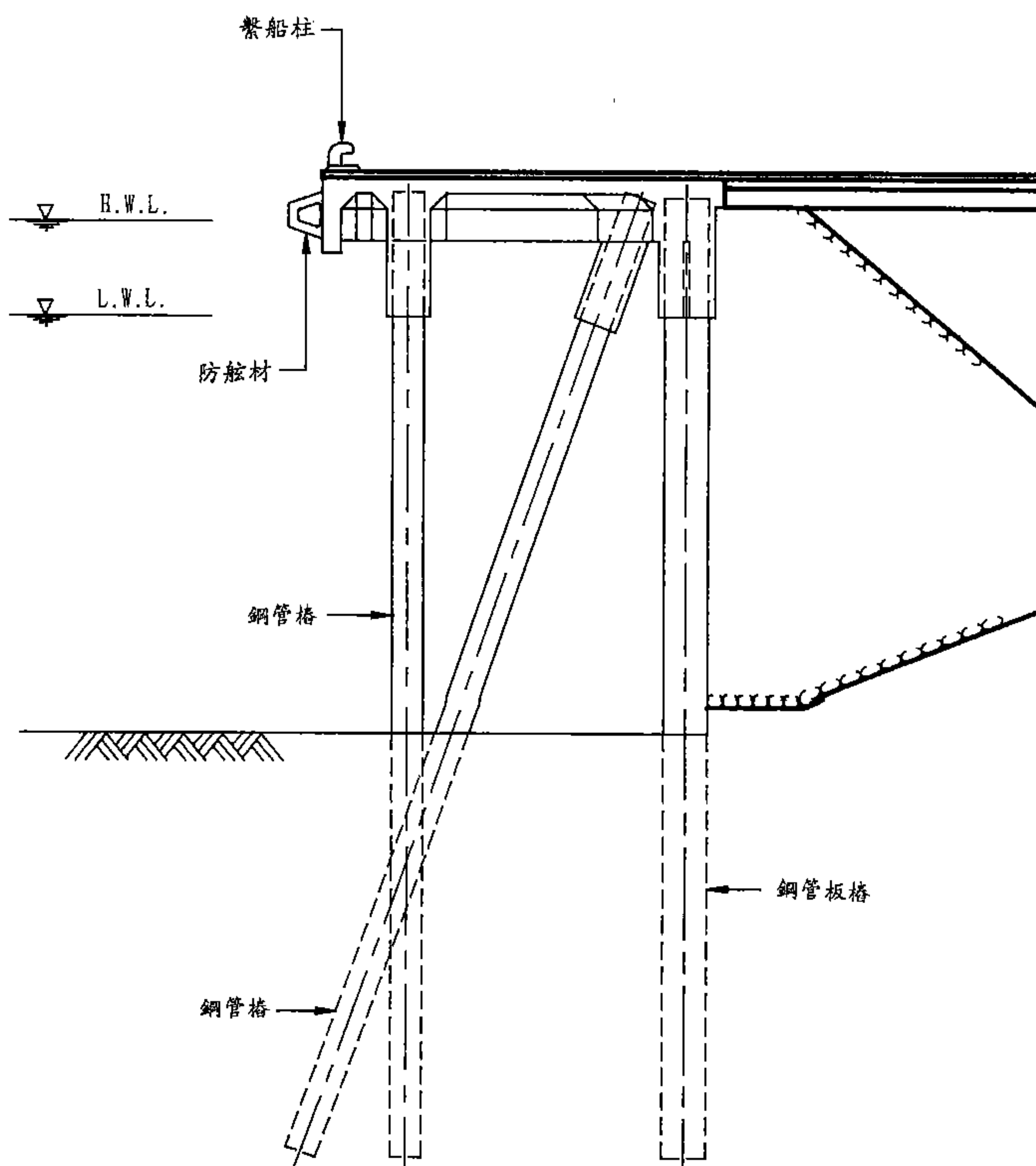


圖 3-1.9 前斜樁式板樁碼頭斷面示意圖

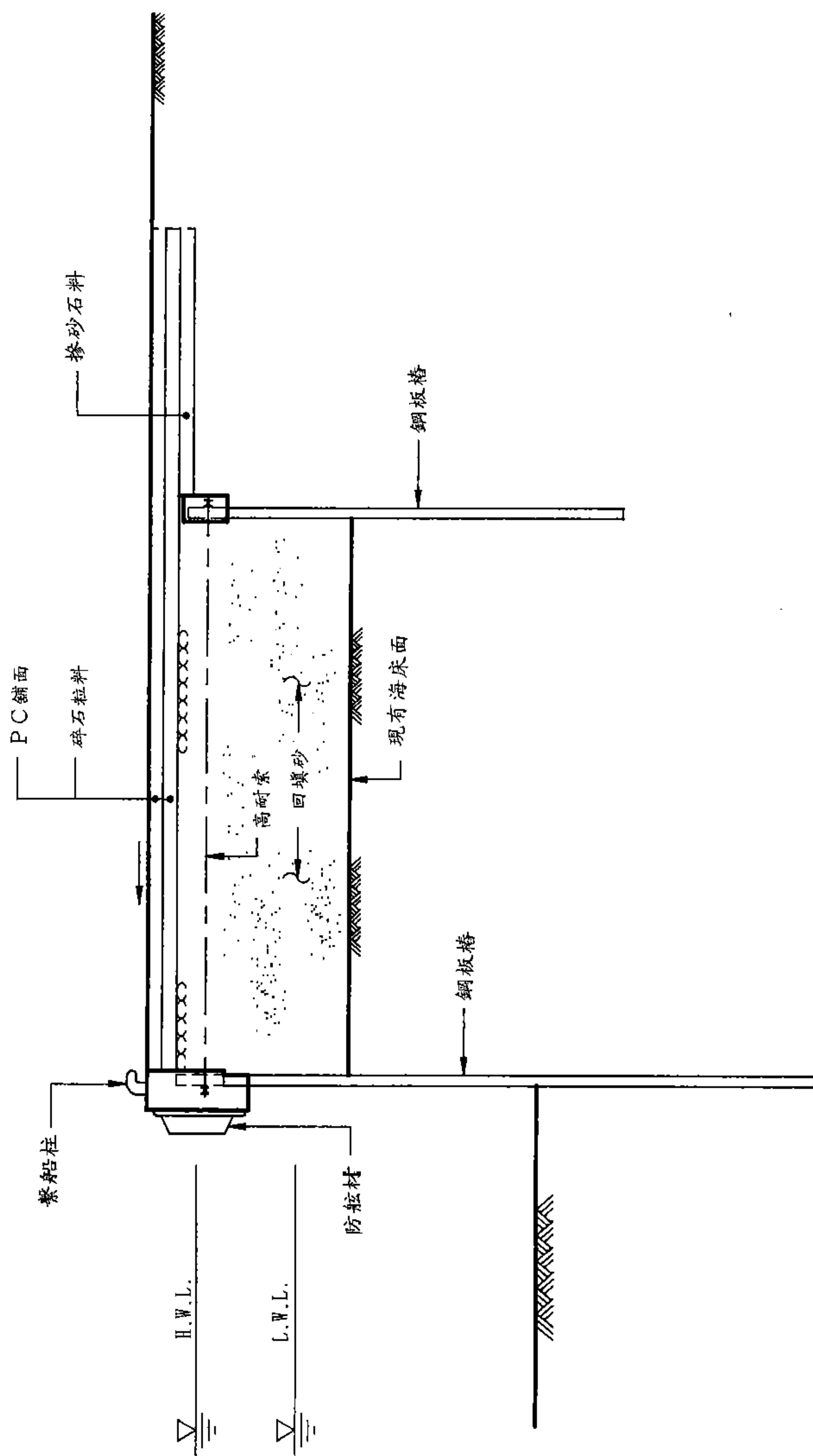


圖 3-1.10 雙重板樁式碼頭斷面示意圖

### 11. 圓柱式或腳柱式棧橋碼頭

利用剛性較大之結構物作為上部結構之棧橋式碼頭，斷面例示意如圖3-1.11。

### 12. 橋墩式棧橋碼頭

水中部份採用墩座式，上部結構採用鋼構或預力樑方式之結構型式，斷面例示意如圖3-1.12。

### 13. 離岸式碼頭

為節省擋土結構或其他目的，將碼頭興建於離岸邊相當距離之一種碼頭形式，斷面例示意如圖3-1.13。

### 14. 繫、靠船台

為數個離岸設置之獨立結構物，各獨立之結構物則以連絡橋或以小船相通，斷面例示意如圖3-1.14。

### 15. 浮碼頭

利用浮箱作為碼頭之一種形式，斷面例示意如圖3-1.15。

### 16. 繫船浮筒

以浮筒於泊地繫碇之一種形式，斷面例示意如圖3-1.16。

## 3.2 結構斷面型式選定應考慮事項

選定碼頭斷面型式時，應考慮各種結構型式之特性，且必須就下列各項條件作比較研究後決定之。

- 自然條件
- 使用條件
- 施工條件
- 工期
- 工程費
- 其他

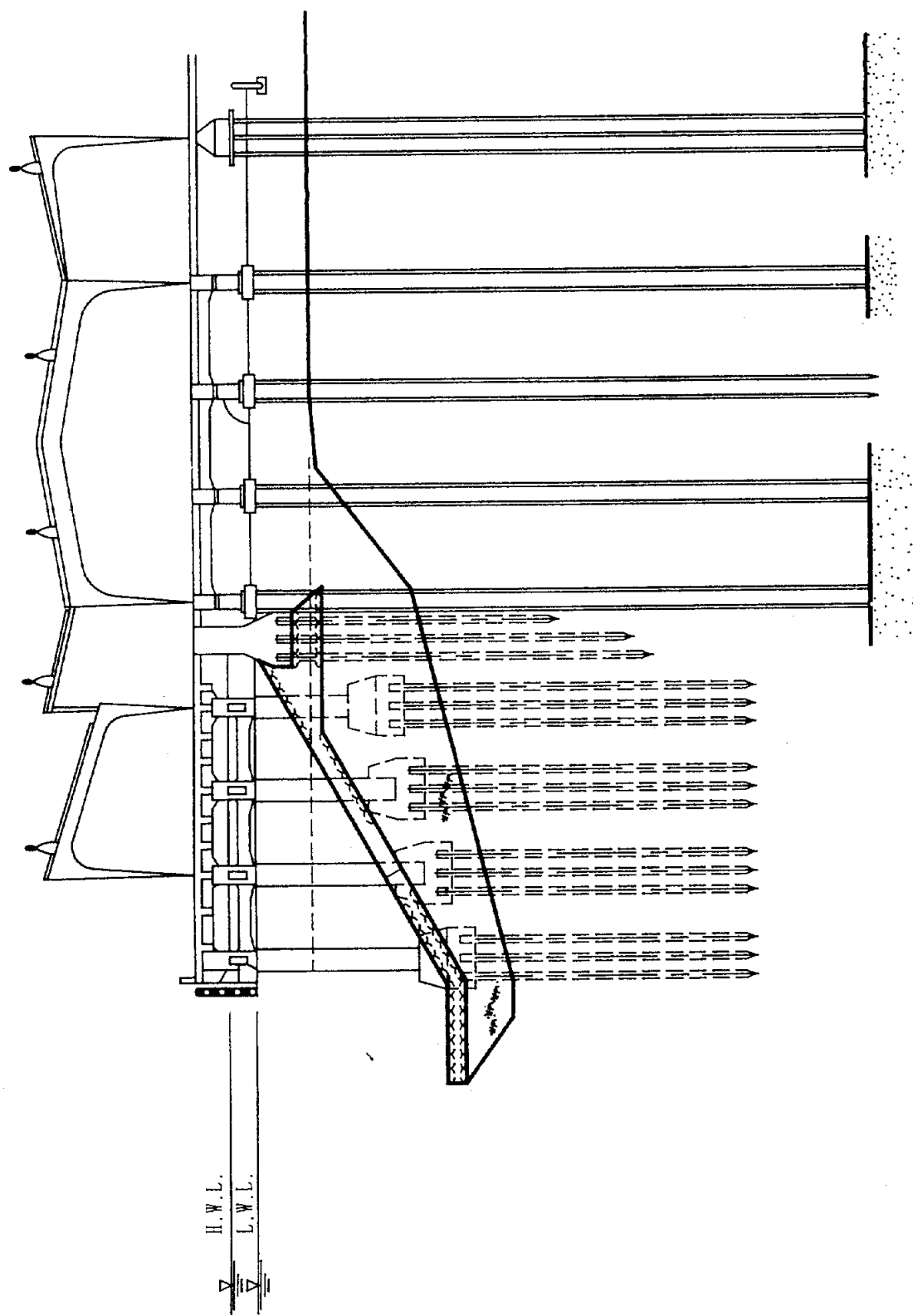
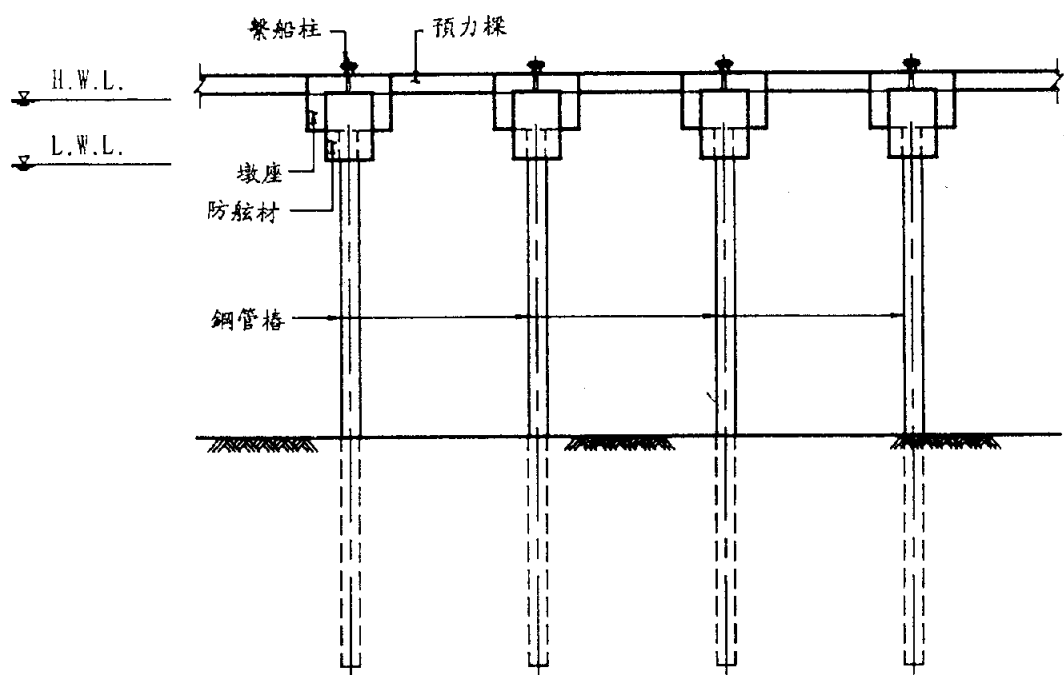
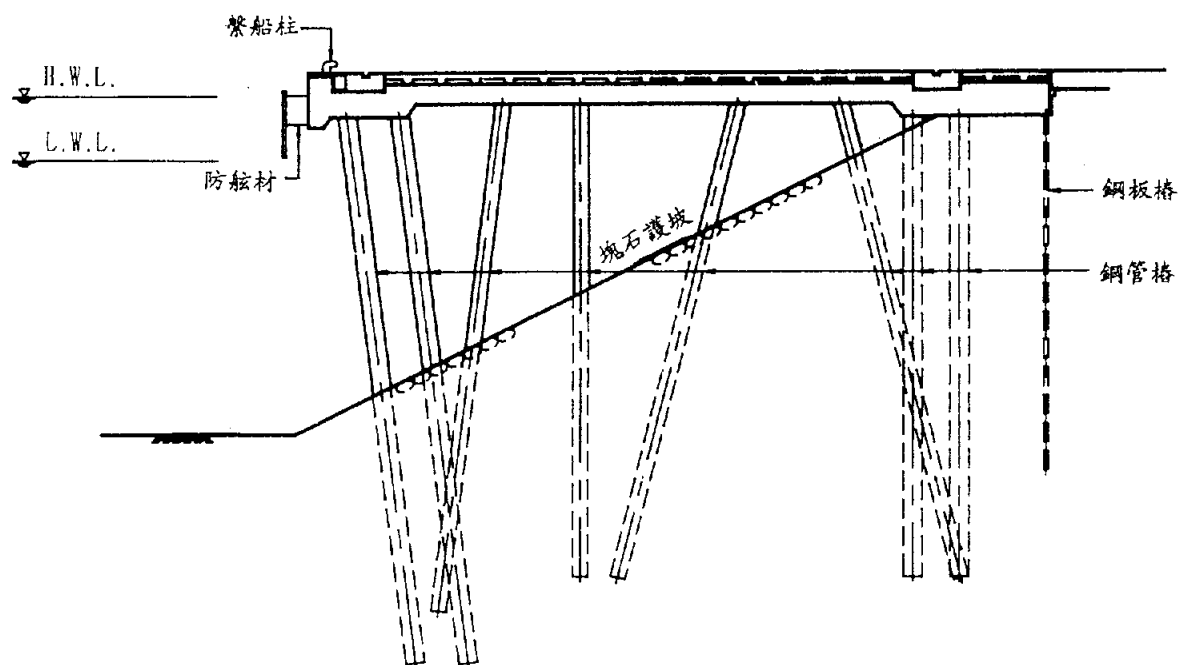


圖 3-1.11 圓柱式棧橋斷面示意圖



正視圖



斷面圖

圖 3-1.12 橋墩式棧橋斷面示意圖

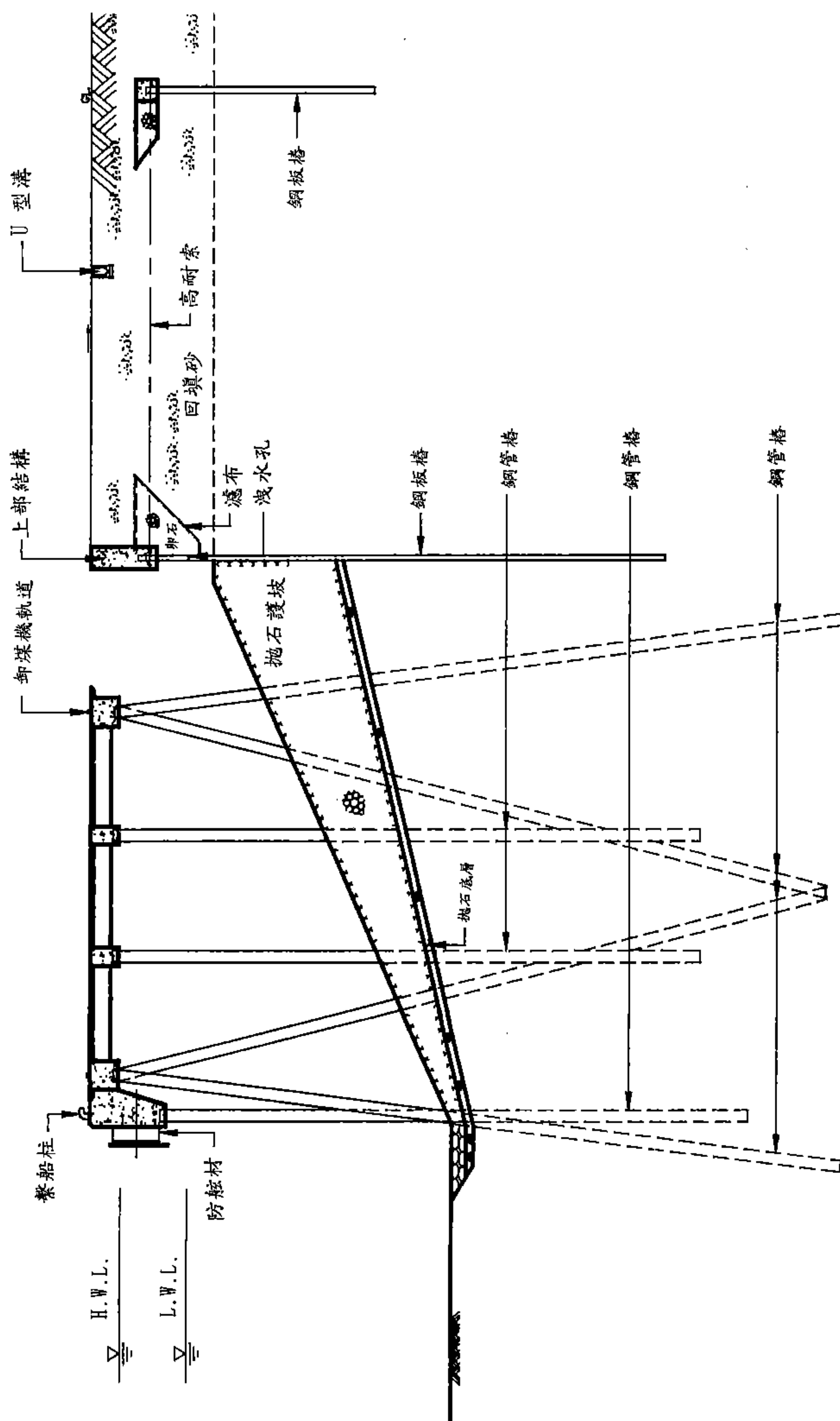
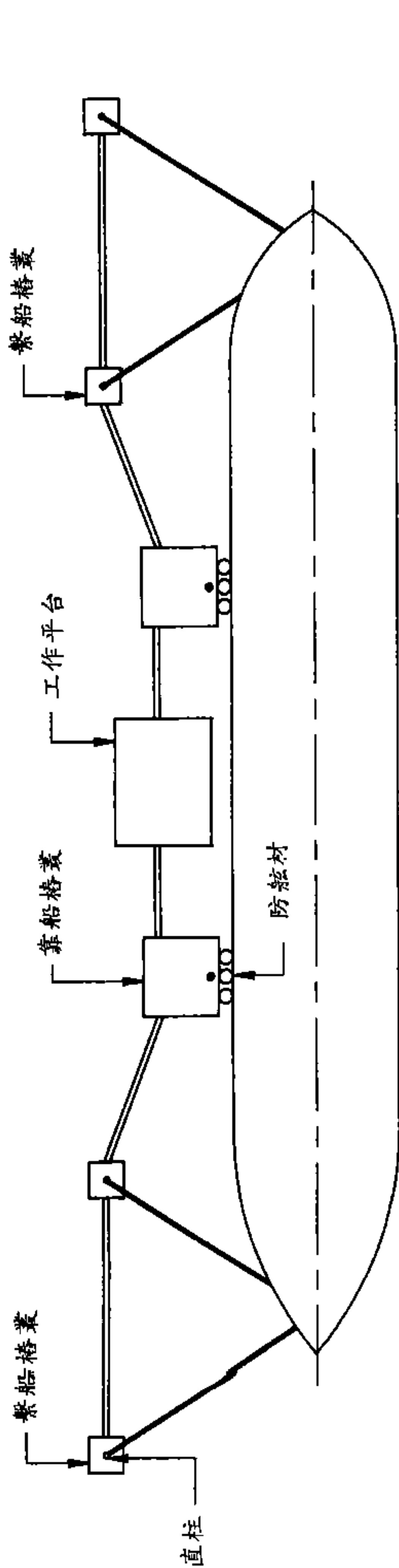
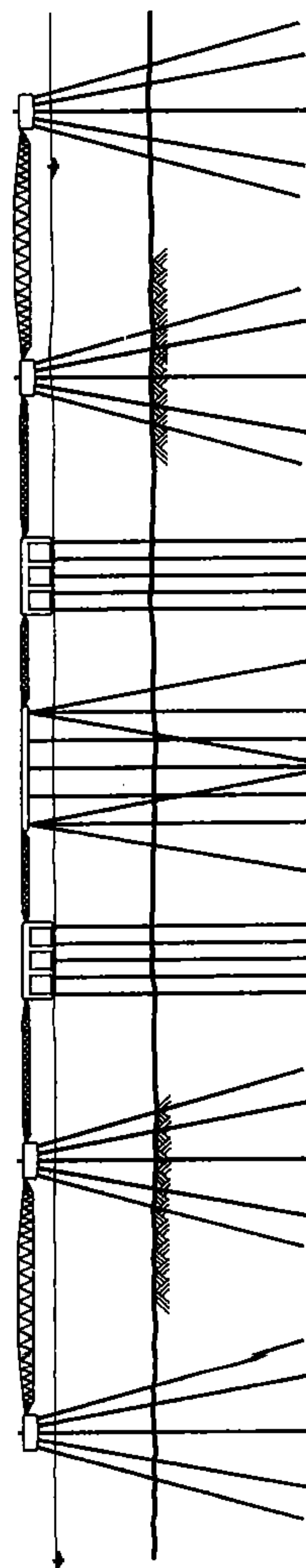


圖 3-1.13 離岸式碼頭斷面示意圖





平面圖



立面圖

圖 3-1.14 繫、靠船台斷面示意圖

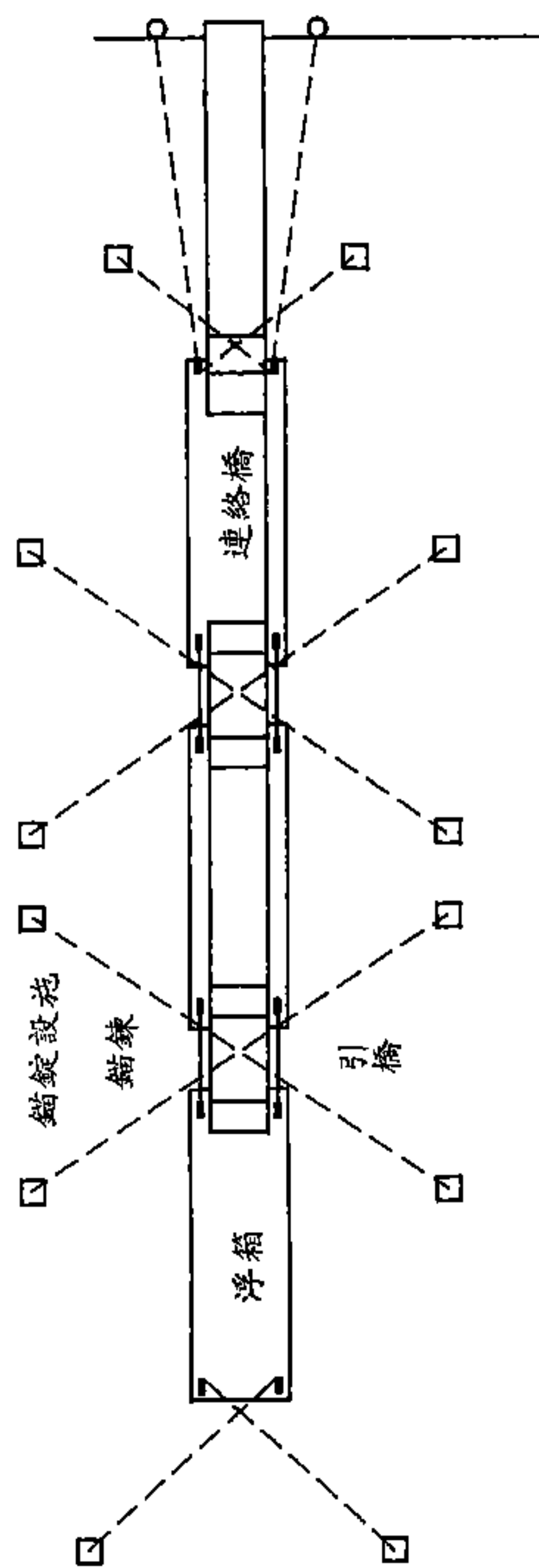
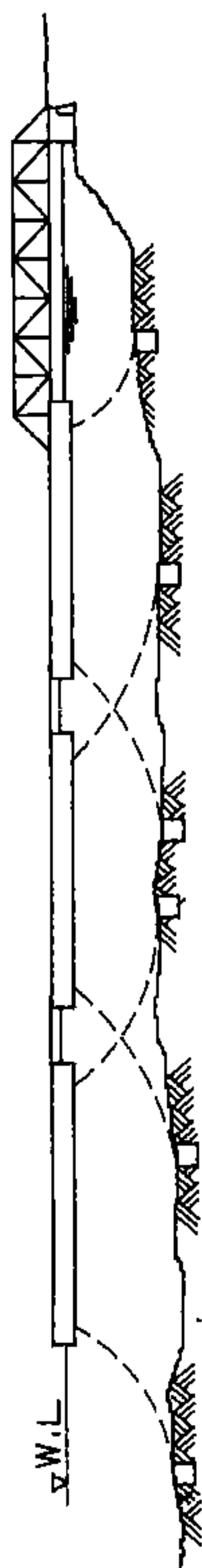


圖 3-1.15 浮碼頭斷面示意圖

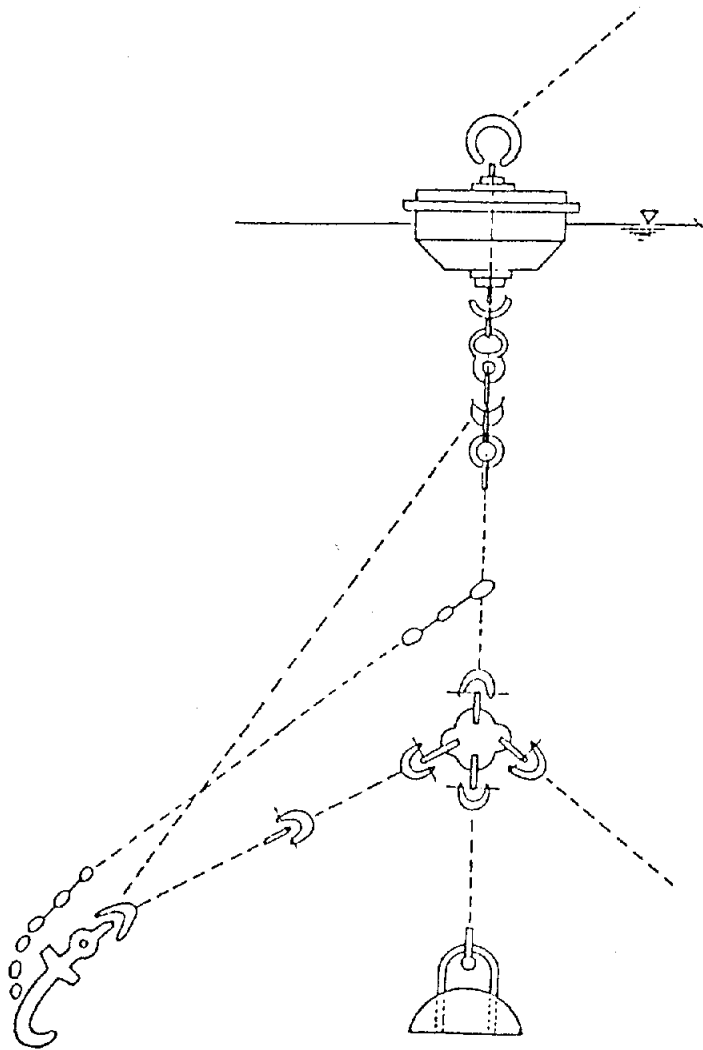


圖 3-1.16 繫船浮筒斷面示意圖

自然條件主要為土壤之力學性質、地震、波浪、港內盪漾、潮位、水流等。特別是土壤之力學性質，為選擇碼頭型式之主要決定因素。特別是於軟弱地盤上興建碼頭時，一般宜採用較輕之結構型式，必要時應依需要進行地盤改良。

使用條件係指碼頭使用上之限制，其受靠岸船舶種類、處理貨物種類及數量、裝卸形態、設計之防舷材反力、載重、碼頭之容許變位等所控制。

例如處理大量散貨時，若碼頭備有專用裝卸機械時，則可考量無須設置岸肩，而採用以吸收船舶衝擊力為主之繫靠船台式碼頭。碼頭設有起重設備軌道時，則宜採用變位較小之結構型式。

碼頭工程一般多為海上工程，施工將受到各種因素之限制，亦即除風雨、氣溫等影響外，波浪、潮汐、水流之影響亦甚巨，作業時間因而受限。施工時引致之海水污濁，往往亦形成環保問題，故於設計時亦須考量周圍的環境狀況。同時由於海中施工精度較差，及其確認亦較為困難，因此，施工方法宜充分檢討，同時施工設備亦影響結構型式之選擇，亦有檢討之必要。

綜合考慮以上各種條件，並檢討工期及工程費後，選定最適宜之斷面結構型式。

## 第四章 重力式碼頭

## 第四章 重力式碼頭

### 4.1 設計原則

重力式碼頭依其壁體型式，可概分為沉箱式碼頭，L型塊式碼頭、混凝土方塊式碼頭、空心方塊式碼頭及場鑄混凝土式碼頭等。本章所述設計法，適用上述各種重力式碼頭。

重力式碼頭設計流程，如圖 4-1.1所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.1。

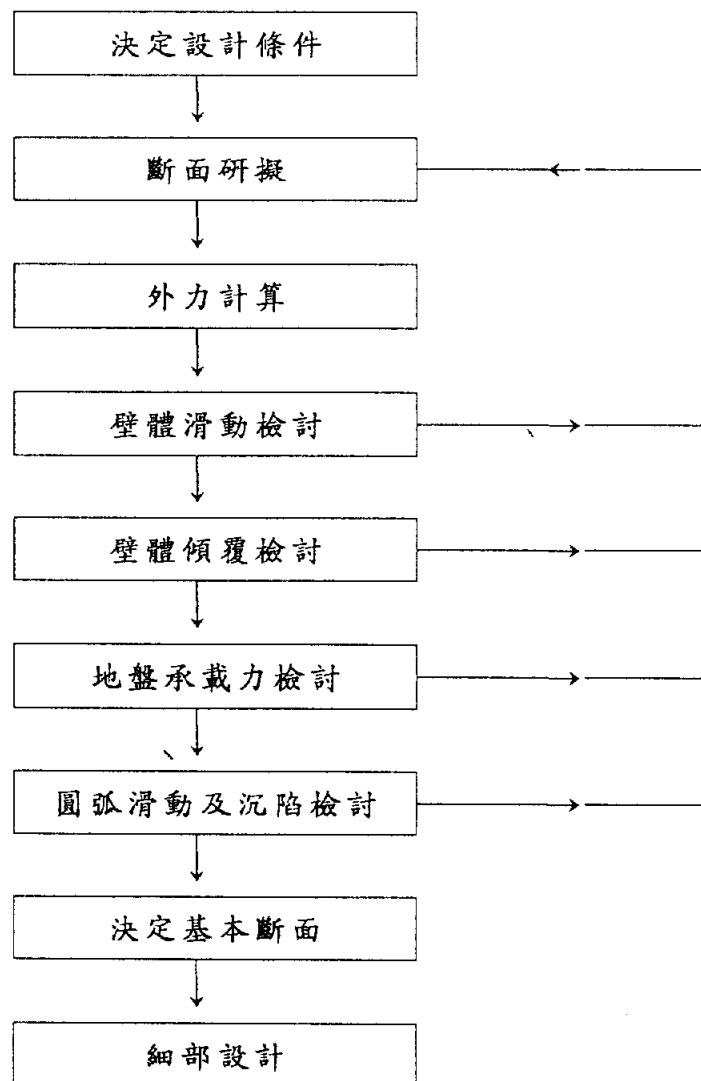


圖 4-1.1 重力式碼頭設計流程

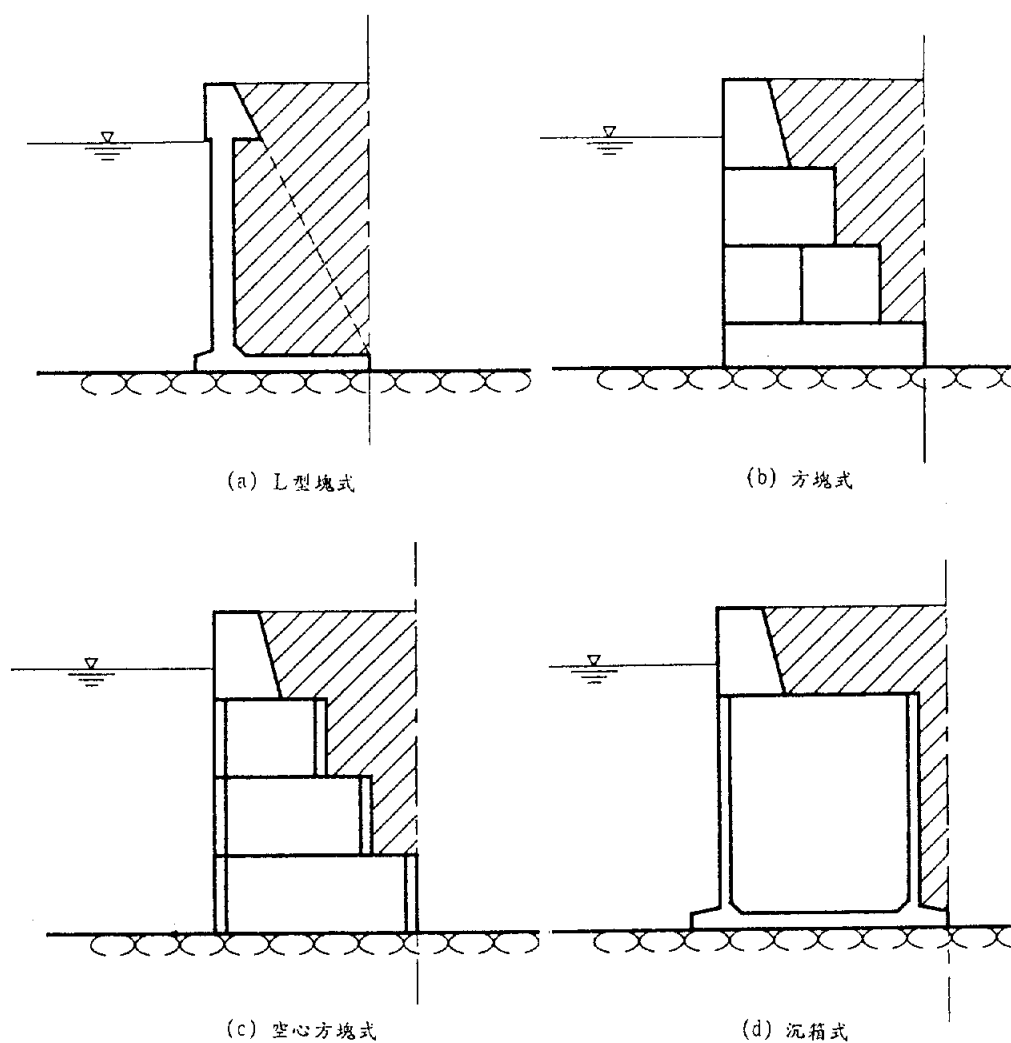


圖 4-2.1 重力式碼頭之壁體範圍示意圖

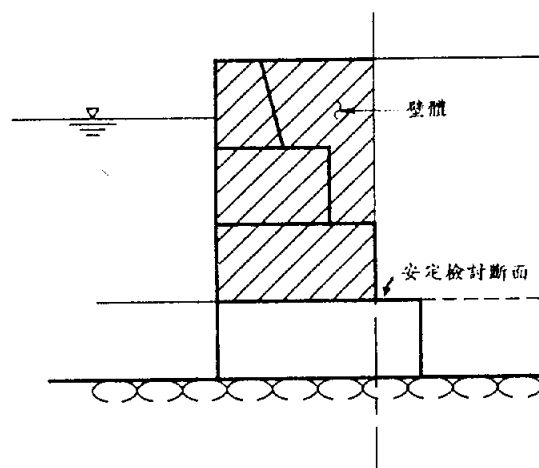


圖 4-2.2 方塊式碼頭滑動檢討時壁體範圍示意圖

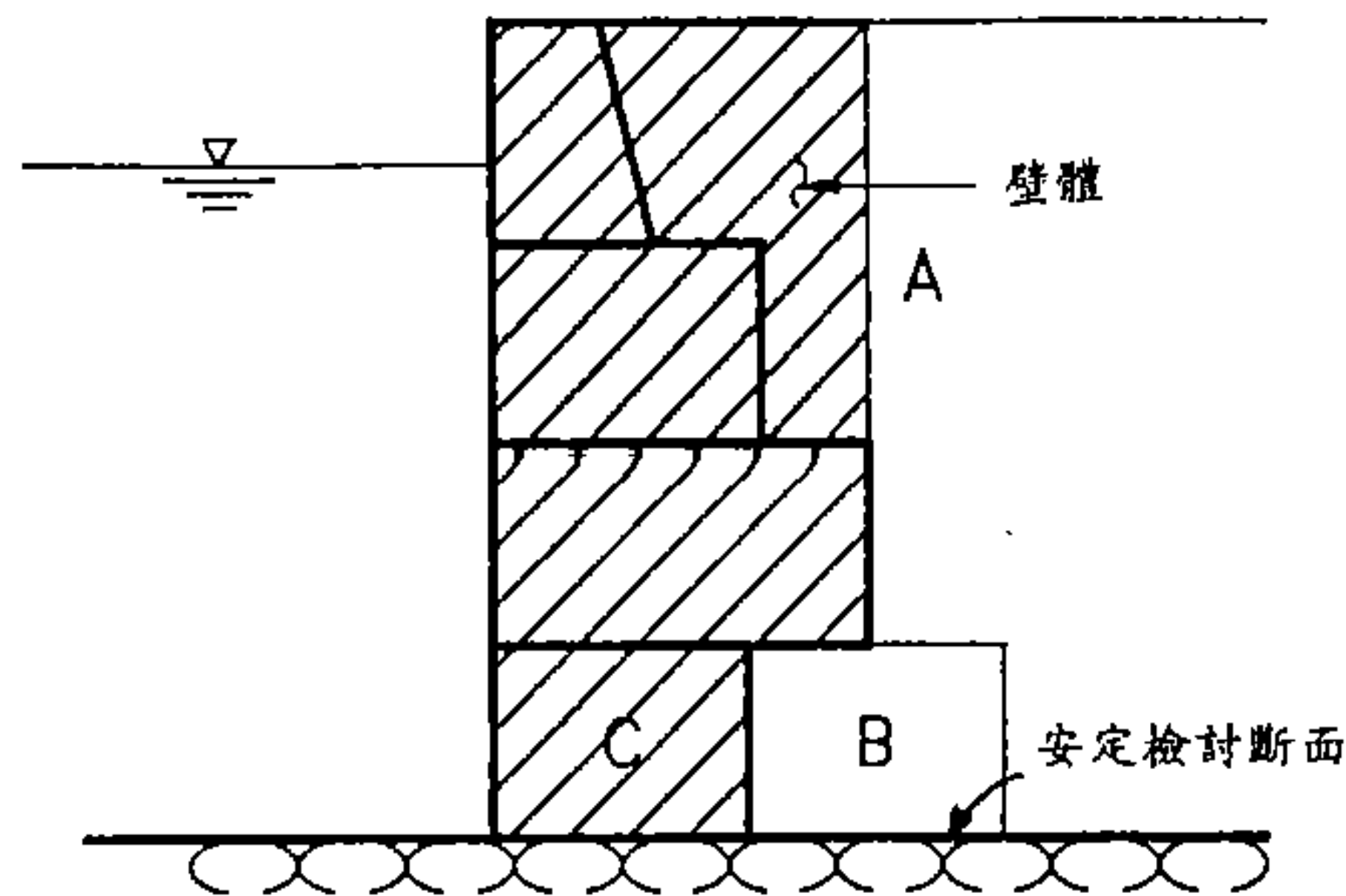


圖 4-2.3 方塊式碼頭傾覆檢討時壁體範圍示意圖

#### 4.2.3 上載載重

作用於碼頭面之上載載重，依第二篇第十二章[載重]規定計算。

#### 4.2.4 壁體自重

壁體自重，依第二篇第十二章12.2節[自重]規定計算。

#### 4.2.5 土壓力及殘留水壓力

作用於壁體之土壓力及殘留水壓力，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算。

於計算殘留水壓時，殘留水位以朔望平均低潮位(L.W.L.)以上至朔望平均高潮位(H.W.L.)潮差之  $1/3$  為標準。上述殘留水位標準值(潮差之  $1/3$ )係碼頭背填料透水性良好時之參考值，若背填料透水性不良或預測其透水性會降低時，則須採用較大之殘留水位。殘留水位於波浪波谷作用於碼頭壁面時增大，但於設計碼頭岸壁時，可不考量因波浪波谷作用而增加之殘留水位。

#### 4.2.6 浮力

浮力計算範圍如圖 4-2.4所示，以壁體在殘留水位下之部份計算。



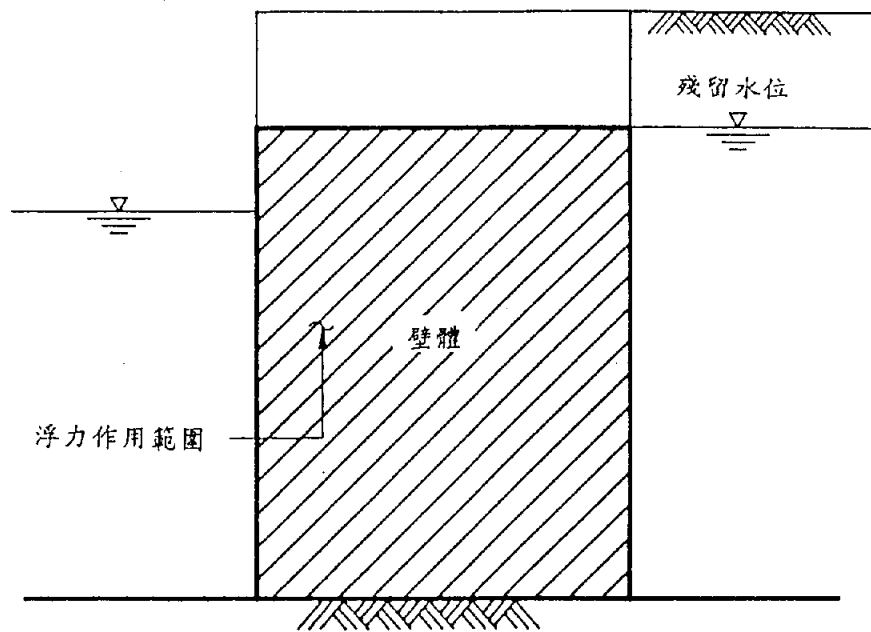


圖 4-2.4 重力式碼頭浮力作用範圍示意圖

#### 4.2.7 地震力

地震力依第二篇第九章[地震及地震力]規定計算。在機率上而言，與地震力同時發生可能性很小之外力與載重，如下列外力與載重，於進行地震安定計算時，可不予考量。

- 船舶之拉力
- 颱風時或裝卸狀態下裝卸機械之反力
- 群眾載重

#### 4.2.8 船舶拉力

船舶作用於繫船柱之拉力依第二篇第二章2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

#### 4.2.9 船舶衝擊力

船舶衝擊力一般均由上部結構之自重及背填土壓予以抵抗，故設計壁體結構時可不予考量，但在設計上部結構時，船舶之衝擊力則須加以考量。

船舶衝擊力依第二篇第二章 2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

## 4.3 安定計算

### 4.3.1 概要

重力式碼頭之安定計算，應檢討下列各項：

- 壁體滑動
- 壁體傾覆
- 基礎承载力
- 圓弧滑動及沉陷

### 4.3.2 壁體滑動檢討

#### 1. 概要

重力式碼頭之壁體滑動安定，須檢討常時及地震時之安定狀況，其須滿足下式：

$$S.F. \leq \frac{\mu \cdot W}{P} \quad (4-3.1)$$

式中

S.F.：安全係數

$\mu$ ：壁體底面與基礎之摩擦係數

W：作用於壁體之垂直合力(t/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

#### 2. 安全係數

重力式碼頭滑動安定之安全係數，常時以大於 1.2，地震時以大於 1.0 為標準。

#### 3. 摩擦係數

壁體底面與基礎之摩擦係數，請參考第二篇第十三章 [摩擦係數]。

空心方塊其壁體與基礎之摩擦係數，應分別考量空心方塊與內填料對基礎之摩擦係數。如內填料為石料時，為方便使用，摩擦係數可採用 0.7。

#### 4. 垂直合力

作用於壁體之垂直合力包括壁體自重(必須扣減浮力)、土壓力之垂直方向分力等，但不包括上載載重。

為防止碼頭前基礎被沖刷，在碼頭前方為保護所拋放之護基方塊等，不計算其對壁體滑動之抵抗。

#### 5. 水平合力

作用於壁體之水平合力包括下列三項：

- 承受上載載重時，作用於壁體後側土壓力之水平分力。
- 殘留水壓力。
- 地震時之安定計算除上述外力，須再加上作用於不扣除浮力壁體重量之地震力。此時土壓力為地震時土壓力之水平分力；此外碼頭上若有裝卸機具時，必須考慮裝卸機具所產生之水平力。

### 4.3.3 壁體傾覆檢討

#### 1. 概要

重力式碼頭之壁體傾覆安定，須檢討常時及地震時之安定狀況，其須滿足下式

$$S.F. \leq \frac{W \cdot \bar{x}}{P \cdot \bar{y}} \quad (4-3.2)$$

式中

S.F.：安全係數

W：作用於壁體之垂直合力(t/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

$\bar{x}$ ：垂直合力作用力臂(m)

$\bar{y}$ ：水平合力作用力臂(m)

#### 2. 安全係數

重力式碼頭傾覆安定之安全係數，常時以大於 1.2，地震時以大於 1.1 為標準。

#### 4.3.4 基礎承載力檢討

##### 1. 概要

重力式碼頭之壁體，依其結構型式為淺基礎或樁基礎，檢討其基礎承載力。

重力式碼頭因壁體為易於發生沉陷或傾斜之結構，故其基礎設計須滿足碼頭不致因壁體之沉陷或傾斜，而影響其功能。

##### 2. 淺基礎承載力

以淺基礎檢討時，作用於壁體底面之力係為垂直載重與水平載重之合力，依第四篇第二章2.5節[承受偏心載重及傾斜載重承載力]規定檢討。

計算壁體底面反力時，須假設壁體不承受與承受上載載重兩種狀況，分別檢討基礎承載力。

壁體拋石基礎厚度，依基礎承載力、壁體安放所須之整平精度等因素而定。其最小厚度以下列之值為準。

船席水深小於4.5m之碼頭，拋石基礎厚度為0.5m以上，且須為拋石直徑的3倍以上。

船席水深大於4.5m之碼頭，拋石基礎厚度為1.0m以上，且須為拋石直徑的3倍以上。

##### 3. 樁基礎承載力

採用樁基礎之結構型式時，依第四篇第四章[樁基礎承載力]規定檢討基礎承載力。

在易於沉陷的地層採用樁作為基礎支撐時，若壁體底部直接與樁接觸時，壁體底部與樁頂易產生間隙而不穩定，且背填料易於流出，故樁頂宜以拋石覆蓋，再安置碼頭壁體，但於計算樁的承載力時，則可視為壁體底版直接安置於樁頂。

#### 4.3.5 軟弱基礎之檢討

##### 1. 概要

設計重力式碼頭時，若基礎地盤軟弱時，須檢討下列事項：

：

- 圓弧滑動檢討
- 基礎地盤沉陷量

## 2. 圓弧滑動檢討

拋石基礎厚度不厚，且拋石基礎地盤軟弱時，應依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行圓弧滑動檢討。

## 3. 沉陷量計算

基礎沉陷乃因增加載重而發生，故應進行地質調查，並依第四篇第五章[基礎沉陷]規定估算基礎地盤沉陷量，並據此提高碼頭拋石基礎高度，或調整碼頭面之高程，以達預定設計高程。另因不均勻沉陷，易導致接縫、上部結構、碼頭鋪面等之破壞，於設計時應予注意。

### 4.3.6 空心方塊安定計算

#### 1. 概要

重力式碼頭壁體採用無底之空心方塊式結構時，須考慮方塊內填料之漏出，並檢討壁體之傾覆安定，其須滿足下式：

$$S.F. \leq \frac{W \cdot \bar{x} + M_f}{P \cdot \bar{y}} \quad (4-3.3)$$

式中

S.F.：安全係數

W：不計內填料重量，作用於壁體之垂直合力(t/m)

$\bar{x}$ ：不計內填料重量之垂直合力作用力臂(m)

$M_f$ ：內填料與方塊壁面摩擦所生之抵抗力矩(t-m/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

$\bar{y}$ ：水平合力作用力臂(m)

#### 2. 安全係數

空心方塊式碼頭傾覆安定之安全係數，常時以大於 1.2，地震時以大於 1.1 為標準。

安全係數小於 1.0 時，因外力所致之力矩較內填料與壁面摩擦所生之抵抗力矩為大，故內填料仍留原處而空心方塊將被推起，在此情況，可增加空心方塊之自重或增設隔牆以增加摩擦抵抗。

### 3. 壁面摩擦抵抗力矩

如圖 4-3.1 所示，內填料和壁面摩擦對 A 點所生之抵抗力矩 ( $M_f$ )，依下式計算，如空心方塊內設計有隔牆時，隔牆之摩擦抵抗亦應考慮。

$$M_f = L_1 F_1 + L_2 F_2 \quad (4-3.4)$$

$$F_1 = P_1 \times \mu \quad (4-3.5)$$

$$F_2 = P_2 \times \mu \quad (4-3.6)$$

式中  $P_1$ 、 $P_2$ ：內填料土壓合力，依第二篇第十一章 [土壓及水壓] 規定計算。

$\mu$ ：壁面與內填料之摩擦係數，請參考第二篇第十三章 [摩擦係數]。

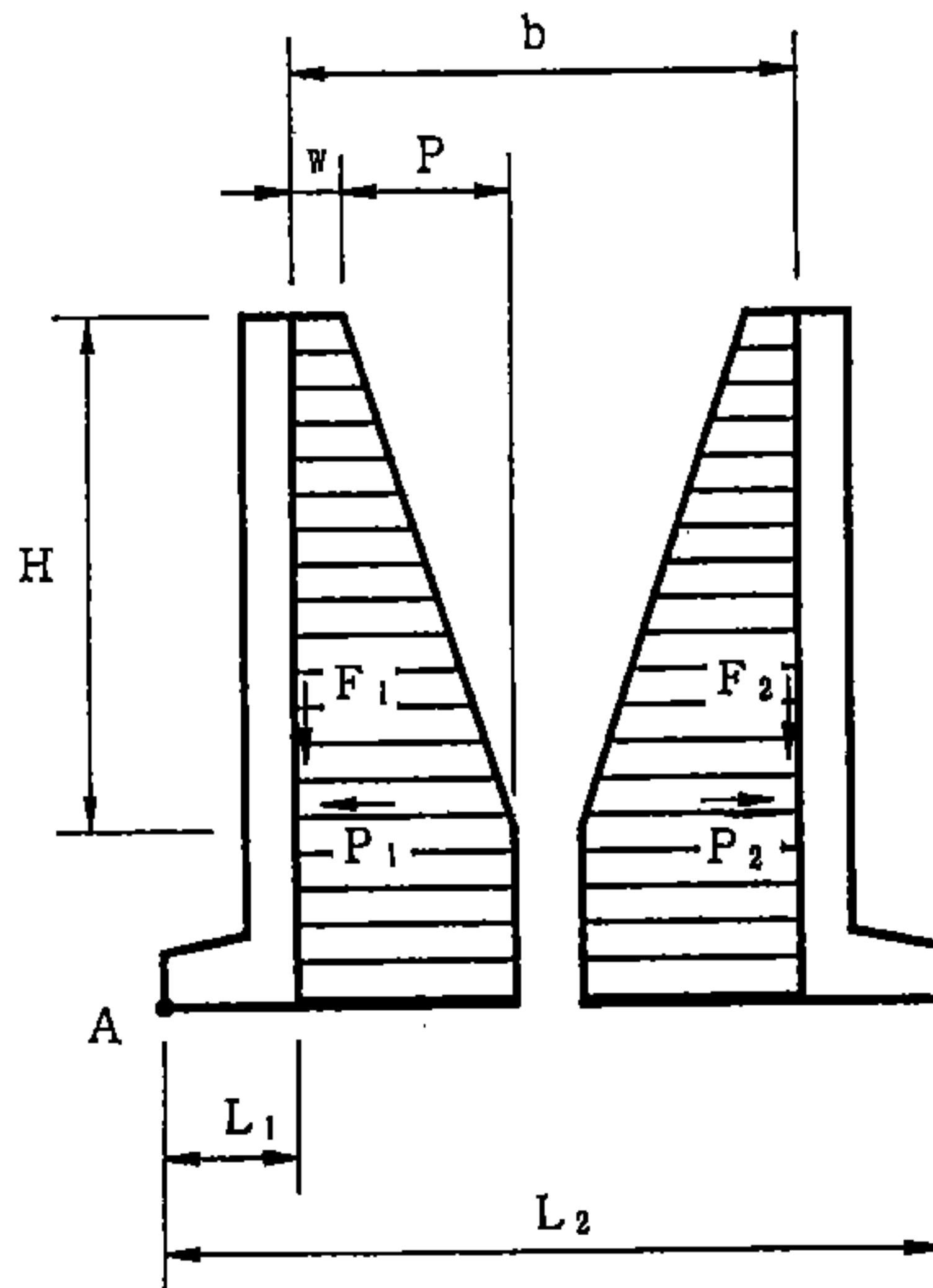


圖 4-3.1 空心方塊壁面摩擦抵抗計算示意圖

圖中  $w$ ：上載載重產生之土壓強度 ( $t/m^2$ )

$H$ ： $H=b$

$P$ ：土壓強度 ( $t/m^2$ )

$$P = K \cdot H \cdot \gamma$$

$K$ ：土壓係數

$\gamma$ ：內填料之單位體積重量 ( $t/m^3$ )

## 4.4 背填石料之土壓減輕效果

### 4.4.1 概要

重力式碼頭若採用良質的石塊、碎石或礫石作為背填料時，可減小作用於碼頭壁體之土壓強度。

### 4.4.2 背填石料設置目的

重力式碼頭壁體後側設計背填石料，其目的如下：

- 因內摩擦角之增加，減小作用於壁體之土壓力。
- 因透水性之增大，減小作用於壁體之殘留水壓。
- 防止碼頭後側背填土砂之流失。

### 4.4.3 背填石料之形狀及其土壓減輕效果

#### 1. 背填石料形狀為三角形時

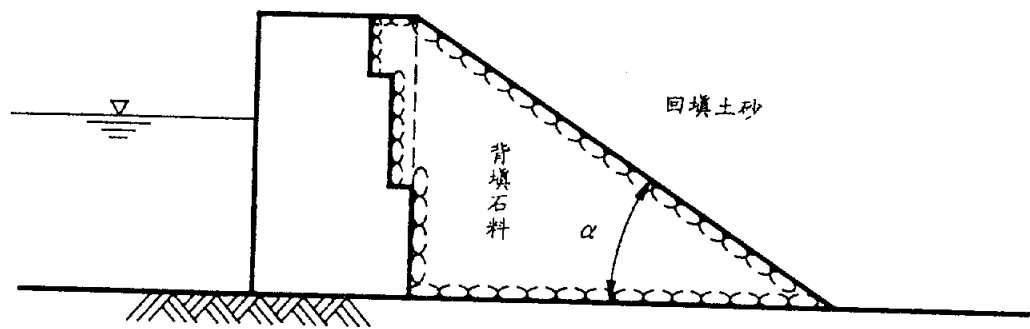
如圖4-4.1(a)所示，由通過壁體底面後趾之垂直線與地面之交點，其後側背填形狀設計為與背填料之安息角 $\alpha$ 相等角度之三角形時，可視為壁體後側全部為背填石料計算土壓。

#### 2. 背填石料形狀為長方形時

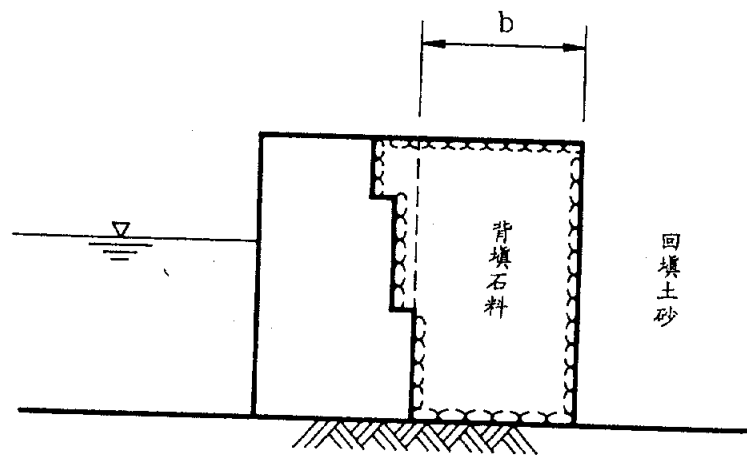
三角形之背填角度較背填料之安息角為陡時，或採用其他異形之背填形狀時，應換算為等面積長方形，依下法計算背填料土壓減輕效果。

如圖4-4.1(b)所示，長方形背填石料之效果，可視為如下：

- (1)長方形之寬 $b$ 大於壁體高度時，可視為與圖 4-4.1(a)三角形效果相同。
- (2)長方形之寬 $b$ 等於壁體高度 $1/2$ 時，則受背填石料與回填土砂之平均土壓。
- (3)長方形之寬 $b$ 小於壁體高度 $1/5$ 時，則無減少土壓之效果。



(a) 三角形



(b) 長方形

圖 4-4.1 重力式碼頭背填石料形狀示意圖

## 4.5 細部設計

### 4.5.1 概要

重力式碼頭之細部設計，主要為下列各項：

- 壁體
- 背填
- 防止漏沙設施
- 方塊接合部之形狀及尺寸
- 上部結構
- 附屬設施
- 其他



## 4.5.2 壁體

壁體為構成重力式碼頭之主要部份，故須有充分之強度，以抵抗外力作用，壁體除採用場鑄混凝土外，一般設計均採用預鑄混凝土，如方塊、沉箱、L型方塊…等，預鑄混凝土設計，請詳第五篇[預鑄混凝土]。

壁體採沉箱或空心方塊時，其封頂混凝土之厚度以20cm為標準。但若於施工期須承受波浪作用時，封頂混凝土厚度，以大於30cm為原則，碼頭前示性波高大於2m時，以大於50cm為原則。

## 4.5.3 背填及防止漏沙設施

重力式碼頭若採用良質的石塊、碎石或礫石作為背填石料時，可減小作用於碼頭壁體之土壓強度。背填石料宜採用形狀相互配合之級配石料以增加其效果，易於風化之石料則不可作為背填石料。

因殘留水位之高低變化，背填土砂會逐漸流入背填石料空隙中，致使碼頭面之基礎下陷，且降低背填石料減小土壓之效果，故在背填石料與背填土砂之間須加填濾料或鋪設地工織布，以阻止回填土砂進入背填石料中。

重力式碼頭在接縫處及基礎拋石之上，必要時須加鋪地工織布，或採其他適當措施，以防止背填土砂由方塊之接縫或基礎拋石的孔隙間漏出。

## 4.5.4 方塊接合部之形狀及尺寸

為增加方塊互相接合的整體性及防止方塊滑動，方塊頂面與底面通常作成凹凸形楔樑，其設計請參考第五篇第四章[方塊]。為防止方塊滑動，亦可預將方塊預留孔洞，俟方塊疊成後，填充混凝土，或插入鋼筋或舊鋼軌後灌入混凝土，如開孔太小效果不大，孔太大則破壞方塊之結構。另為防止方塊之滑動亦可採用異型方塊。

#### 4.5.5 上部結構

於設計上部結構時，應考量各種附屬設施之安裝，必要時應預埋安裝附屬設施之基座。

於進行上部結構設計時，須考慮作用於繫船柱、防舷材等的作用力。於進行結構安定檢討時，船舶之拉力及衝擊力可視為異常狀況處理。

於進行繫船柱安裝處上部結構之安定檢討時，僅考慮可視為一整體之上部範圍之重量。於考慮範圍之上部重量不能維持安定時，須以補強鋼筋加強，該部份鋼筋須與主體結構的鋼筋相互連接，使作用於上部結構之力可傳遞至本體結構。

於進行防舷材安裝處上部結構之安定檢討時，僅考慮可視為一整體之上部範圍之重量。

於上部結構與本體結構以鋼筋連結處安裝防舷材時，由於不可預期有足夠之位移以產生被動土壓抵抗船舶衝擊力，故於設計時應考慮船舶衝擊力全部由連結鋼筋予以抵抗。

於進行上部結構斷面設計時，如圖4-5.1(a)所示，可假設作用於上部結構之船舶衝擊力，於作用寬度  $b$  之範圍內為線性分佈，其作用則如圖4-5.1(b)所示。於垂直方向，可視上部結構為懸臂梁予以檢討；於水平方向，可視上部結構為連續梁或簡支梁予以檢討。

#### 4.5.6 附屬設施

重力式碼頭附屬設施主要為下列各項，附屬設施依本篇第十一章[附屬設施]規定設計。

- 防舷材
- 繫船柱
- 輪檔
- 給、排水設施
- 階梯、爬梯等
- 其他

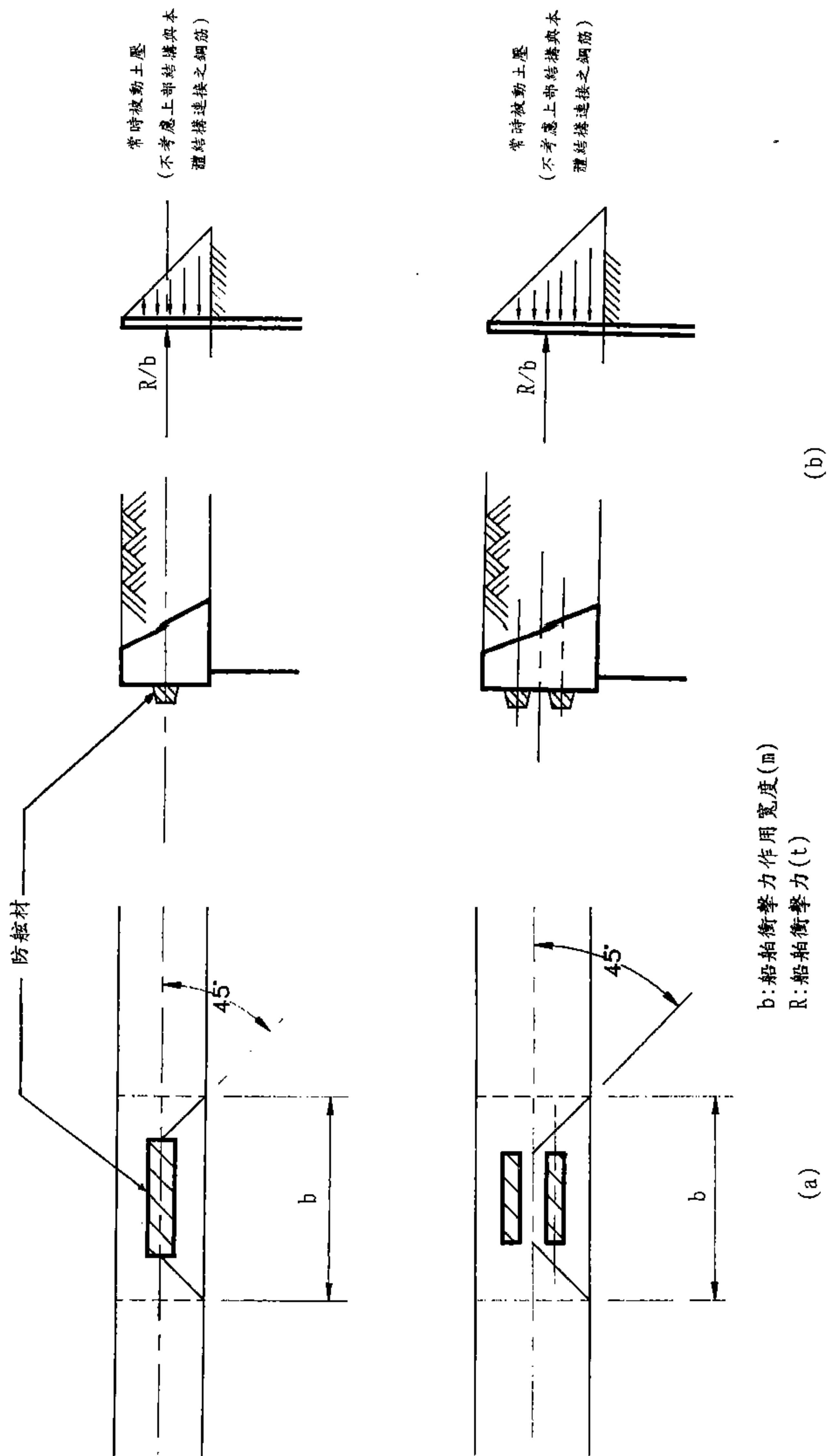


圖 4-5.1 作用於上部結構之船舶衝擊力

## 第五章 板樁式碼頭

# 第五章 板樁式碼頭

## 5.1 設計原則

本章所述設計法，適用打設於砂質地層或硬粘土地層，具錨錠設施之鋼板樁碼頭。

鋼筋混凝土板樁碼頭，除板樁設計一般採固定端點法(Fixed Earth Support)外，其他可參考本章所述鋼板樁碼頭設計法。

於軟弱地盤設計具錨錠設施之板樁碼頭，須依本章第5.8節[軟弱地盤上板樁式碼頭之設計]，及本章第 5.9[圓弧滑動檢討]規定設計。

板樁式碼頭設計流程，如圖 5-1.1所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.2。

## 5.2 作用於板樁之外力

### 5.2.1 概要

作用於板樁碼頭之外力，須考慮下列各項：

- 土壓力：板樁岸側之主動土壓力

板樁入土部份海側之被動土壓力

- 殘留水壓力
- 船舶拉力
- 船舶衝擊力

### 5.2.2 土壓力及殘留水壓力

作用於板樁之土壓力及殘留水壓力，如圖 5-2.1所示，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算。

於計算殘留水壓時，殘留水位依地盤土質及板樁接縫情形等而異，於鋼板樁碼頭殘留水位，以朔望平均低潮位(L.W.L.)以上

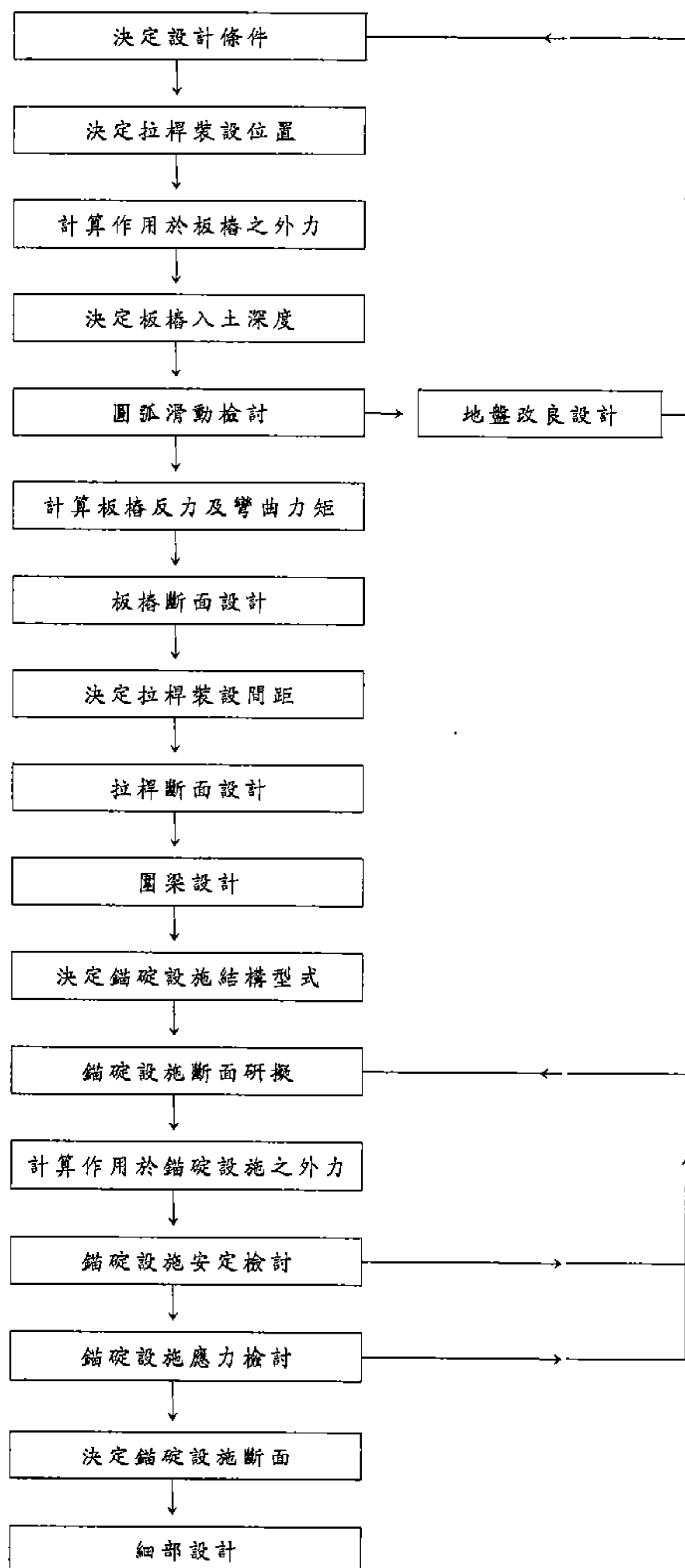
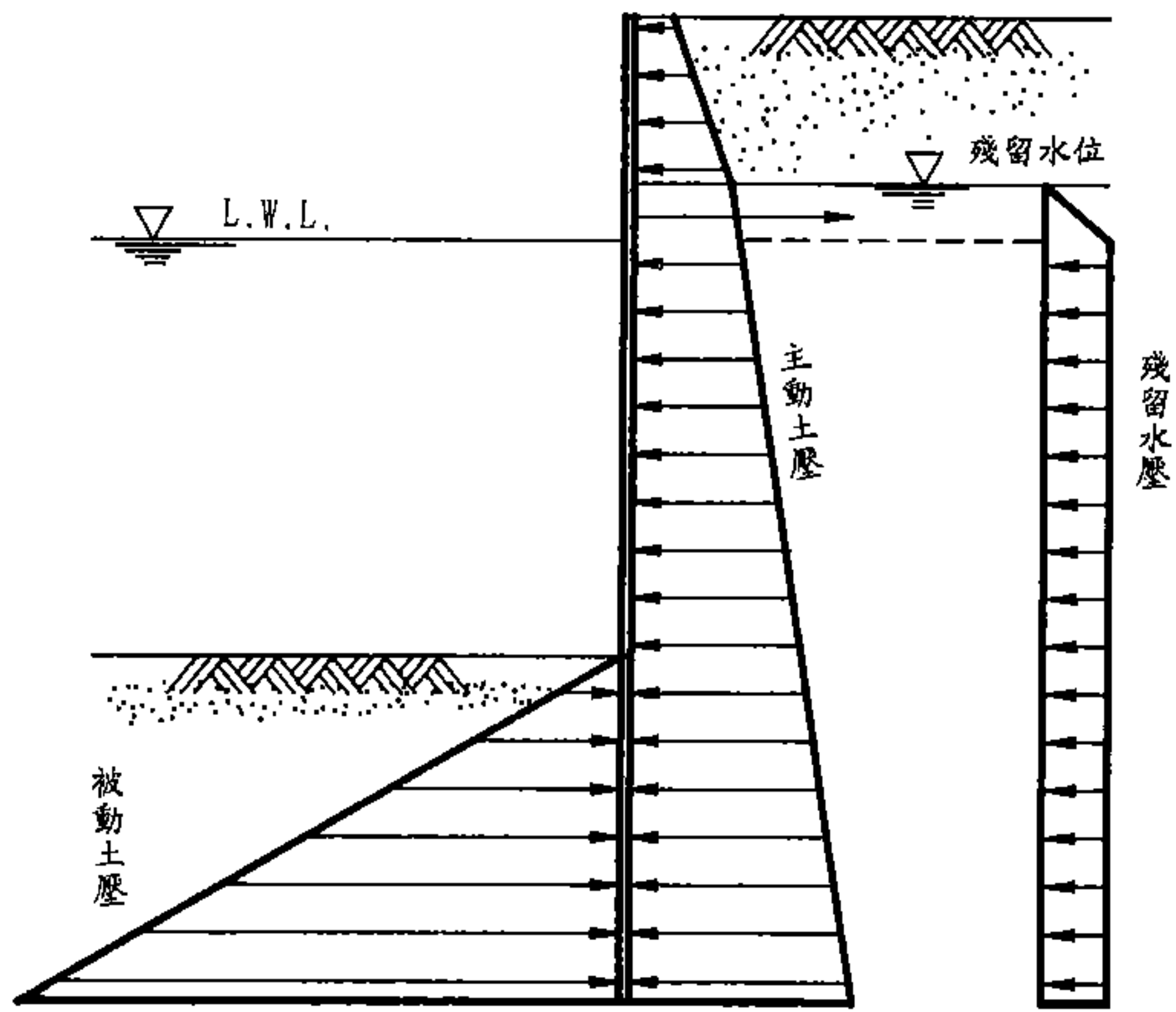
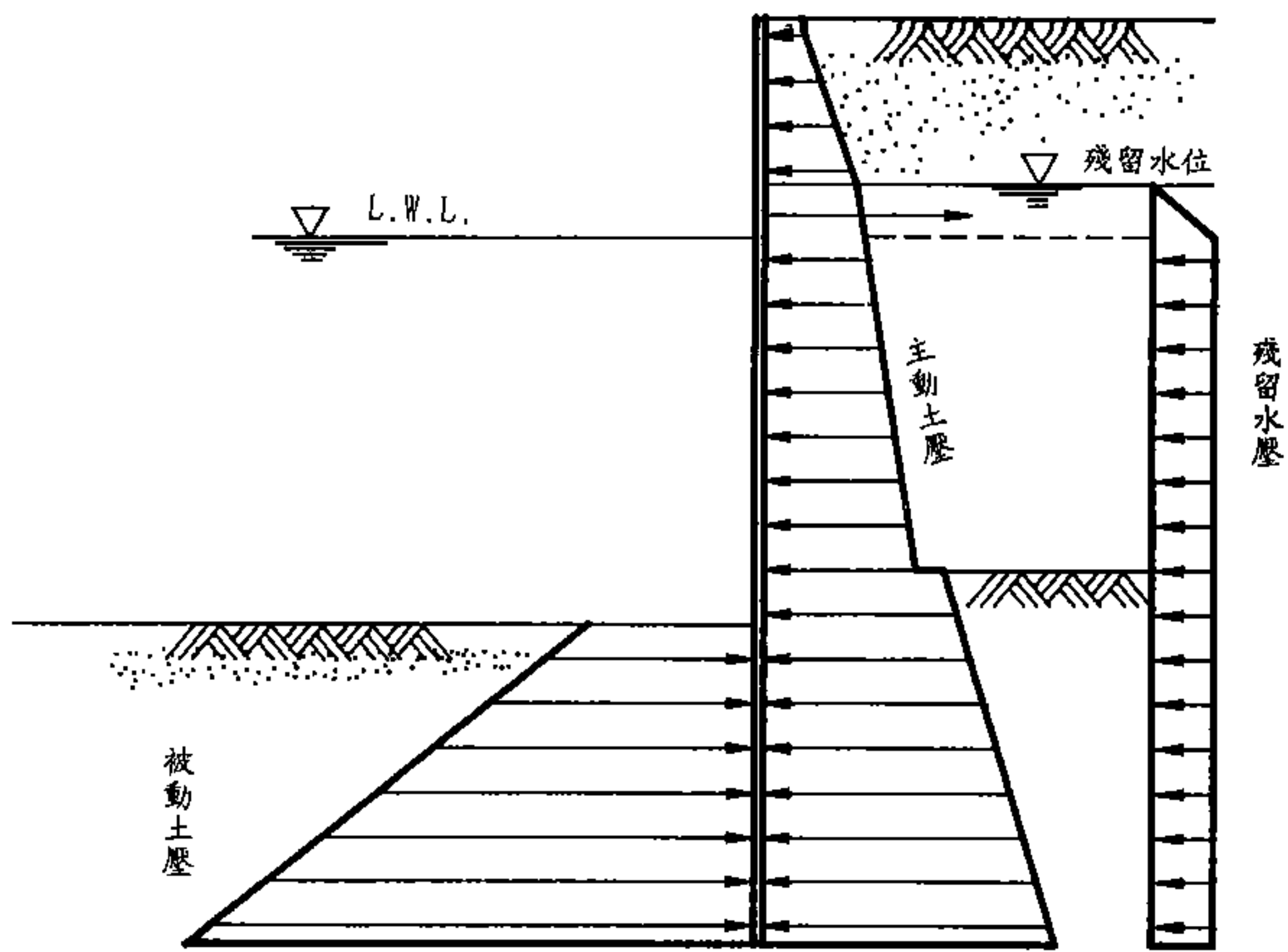


圖 5-1.1 板樁式碼頭設計流程



(a) 砂質地盤



(b) 硬粘土地盤

圖 5-2.1 作用於板樁之土壓力及殘留水壓力

至朔望平均高潮位(H.W.L.)潮差之  $2/3$  為標準，或參考同一港區類似結構物之殘留水位。然打設於粘土層之鋼板樁，其殘留水位可能高達與H.W.L.相同，須特別加以留意。

碼頭上設置裝卸機械時，須考慮裝卸機械本身重量及裝載載重所產生之土壓力。

於砂質地盤，計算作用於板樁土壓力所用之壁面摩擦角，一般於主動土壓採用  $15^{\circ}$ ，被動土壓則採用  $-15^{\circ}$ 。

於計算被動土壓時，所採用之海底面，即船席設計水深，須考量因超挖或船舶推進器之作用等因素，形成船席設計水深較計畫水深為深之狀況。船席設計水深詳本篇第二章2.4節[設計水深]所述。

### 5.2.3 船舶拉力

繫船柱基礎如單獨設置時，則板樁不必考慮船舶拉力。如將繫船柱設置於板樁碼頭之上部結構時，須於設計上部結構、拉桿及圍梁中加以考慮。

船舶作用於繫船柱之拉力依第二篇第二章2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

### 5.2.4 船舶衝擊力

船舶衝擊力，一般於設計上部結構時考量。

船舶之衝擊力依第二篇第二章 2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

## 5.3 板樁設計

### 5.3.1 概要

板樁斷面，依計算之最大彎矩，求得板樁應力應小於材料之容許應力。

拉桿裝設位置，應考量工程費及施工難易等而定。



### 5.3.2 拉桿裝設位置

作用於板樁之彎矩，有隨拉桿裝設位置降低而減小之趨勢，因之板樁斷面可減小，入土長度亦可縮短。相對地作用於拉桿之拉力將會增大，因此須加大拉桿斷面與錨錠設施。於決定拉桿裝設位置時應考量此等因素。

如施工前之地面甚高，若將拉桿裝設位置降低時，將增加挖土及回填之費用及工期，於決定拉桿裝設位置時，亦應考量此因素。

拉桿及圍樑裝設方法，於水中作業較為困難，故拉桿裝設位置，建議在 L.W.L. (朔望平均低潮位) 以上至 H.W.L. (朔望平均高潮位) 潮差之 2/3 內裝設為宜。

### 5.3.3 板樁入土長度

#### 1. 概要

板樁入土長度，須滿足下式

$$S.F. \leq \frac{M_p}{M_a} \quad (5-3.1)$$

式中

S.F. : 安全係數

$M_p$  : 被動土壓力對拉桿裝設點之力矩 (t-m/m)

$M_a$  : 主動土壓力與殘留水壓力對拉桿裝設點之力矩  
(t-m/m)

#### 2. 板樁入土長度計算方法

板樁入土長度，可依下述試算法決定之，即拉桿位置決定後，先假設一板樁入土長度，依本章 5.2.2 節 [土壓力及殘留水壓力] 規定計算主動土壓力、被動土壓力及殘留水壓力，再計算被動土壓力對拉桿裝設點之力矩  $M_p$ ，及主動土壓力與殘留水壓力對拉桿裝設點之力矩  $M_a$ ，並依 (5-3.1) 式計算安全係數，如計算之安全係數過高或不足，重新假設一板樁入土長度，依上述步驟再次檢討其安全係數，直至滿足為止。

### 3. 安全係數

板樁入土長度之安全係數如下：

- 砂質土常時以大於1.5，地震時以大於1.2為準。
- 粘性土常時及地震時均以大於1.2為準。

### 4. 軟弱地盤檢討

板樁打設於粘性土壤時，板樁入土長度除滿足 (5-3.1) 式外，尚須滿足下式。如因海底地盤軟弱，不能滿足下式時，須採適當方法改良地盤，或改用其他結構型式。

$$4c > W + \sum (\gamma_i \cdot h_i) + \gamma_w \cdot h_w \quad (5-3.2)$$

式中

$c$ ：板樁入土部份土壤凝聚力 ( $t/m^2$ )

$W$ ：上載載重 ( $t/m^2$ )

$\gamma_i$ ：自地表至海底面第  $i$  層土壤之單位體積重量，殘留水位以下採水中單位體積重量 ( $t/m^3$ )

$h_i$ ：第  $i$  層土壤厚度 (m)

$\gamma_w$ ：海水單位體積重量 ( $t/m^3$ )

$h_w$ ：殘留水位高差 (m)

### 5.3.4 作用於板樁之彎矩

如圖 5-3.1 所示，作用於板樁之最大彎矩，係假設板樁為以拉桿裝設位置及海底面為支承之簡支梁，而以海底面以上之土壓力及殘留水壓力為載重計算之。

板樁之鋼性較大或海底地盤較軟弱時，板樁彎矩之零點可能降至海底面以下，故實際上板樁承受之最大彎矩較圖 5-3.1 之假想簡支梁所求得之值為大。此時，應改良海底地質，或另以固定端點法 (Fixed Earth Support) 設計法、自由支撐式 (Free Earth Support) 設計法或其他設計法檢討。

於計算作用於板樁之彎矩時，所採用之海底面，即船席設計水深，須考量因超挖或船舶推進器之作用等因素，形成船席設計水深較計畫水深為深之狀況。船席設計水深詳本篇第二章 2.4 節 [設計水深] 所述。

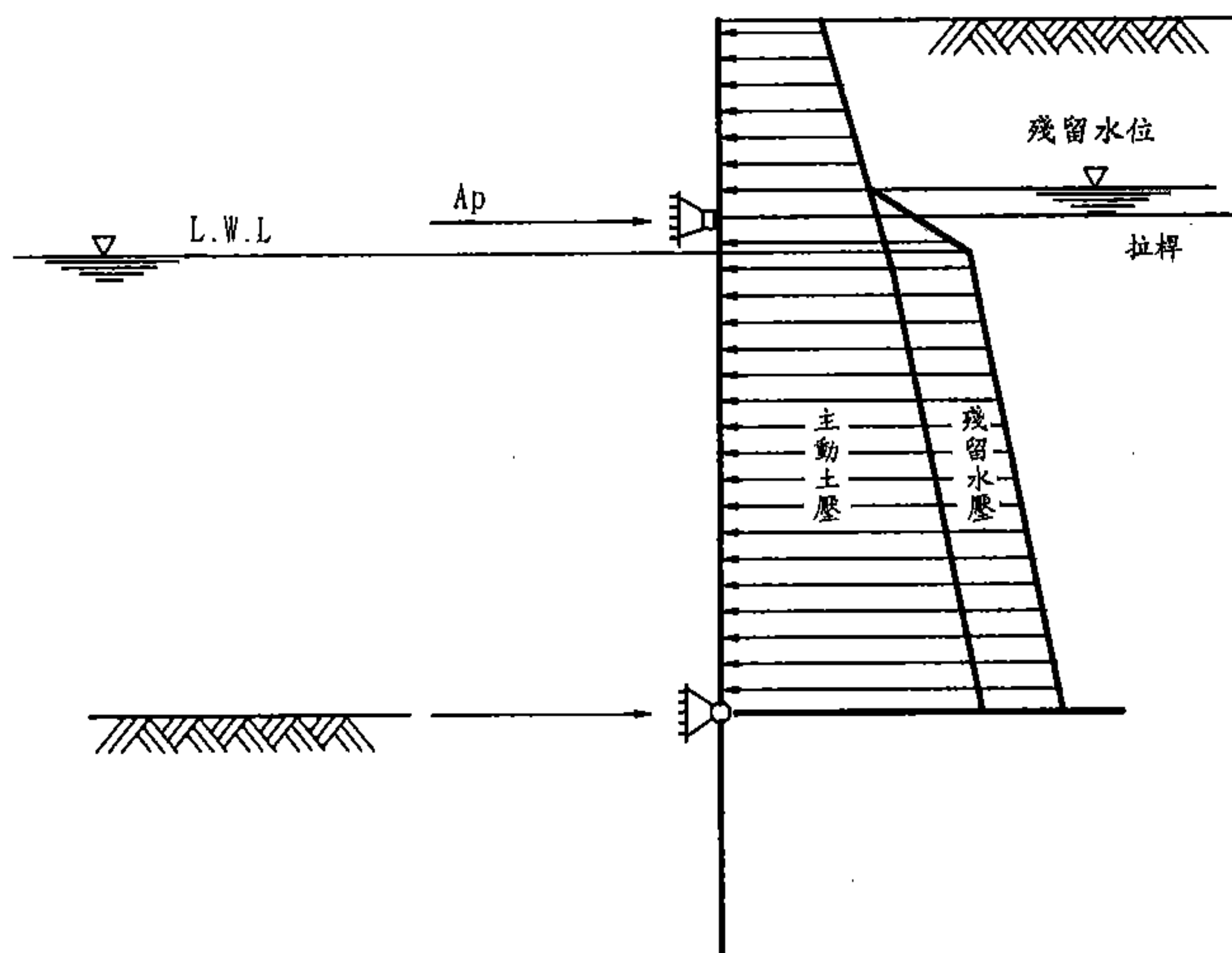


圖 5-3.1 作用於板樁之外力

### 5.3.5 板樁容許應力

板樁之容許應力，請詳第三篇 [工程材料] 中相關規定。有關鋼材之防蝕，請詳三篇第二章 2.4 節 [防蝕]。

## 5.4 拉桿設計

拉桿斷面，依計算之拉力，求得拉桿應力應小於材料之容許應力。

5.3.3. 作用於拉桿之拉力，依下式計算。

$$T = A_p \cdot L \cdot \sec\theta \quad (5-4.1)$$

式中

$T$ ：拉桿之拉力(t)

$A_p$ ：依本章5.3.4節[作用於板樁之彎矩]計算彎矩時，拉桿位置之支承反力(t/m)

$L$ ：拉桿之安裝間距(m)

$\theta$ ：拉桿與水平面所成之夾角(度)

板樁上部結構設置有繫船柱，且作用於繫船柱之船舶拉力可傳達至拉桿時，作用於繫船柱附近拉桿之拉力將增大，其增加值可將上部結構，視為以拉桿當作彈性支承之梁計算。但為求計算簡單，可假設船舶拉力由繫船柱附近之四支拉桿平均分擔，則作用於拉桿之拉力可由下式計算之。考慮船舶拉力時之拉桿容許應力強度，可視為與地震時相同。

$$T = (A_p \cdot L + \frac{P}{4}) \sec\theta \quad (5-4.2)$$

式中

$T$ ：拉桿之拉力(t)

$A_p$ ：依本章 5.3.4節[作用於板樁之彎矩]計算彎矩時，拉桿位置之支承反力(t/m)

$L$ ：拉桿之安裝間距(m)

$P$ ：作用於一座繫船柱船舶拉力之水平分力。船舶作用於繫船柱之拉力依第二篇第二章 2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

$\theta$ ：拉桿與水平面所成之夾角(度)

拉桿之容許拉應力強度，常時為降伏點(Yielding point)應力強度之40%以下，地震時為降伏點應力強度之60%以下為標準。於計算拉桿拉應力時，應扣除拉桿預估鏽蝕量後之斷面計算，鏽蝕量估算詳第三篇第二章2.4節[防蝕]所述。

鋼索(如高耐索)之容許拉應力強度，常時其破壞強度除以容許拉應力強度之安全係數以大於3.8，地震時以大於2.5為標準。

## 5.5 圍梁設計

圍梁(Wale)斷面，依計算之最大彎矩，求得圍梁應力應小於材料之容許應力。

作用於圍梁之最大彎矩，依下式計算。

$$M = \frac{T \cdot L}{10} \quad (5-5.1)$$

式中

M：作用於圍梁之最大彎矩(t-m)

T：作用於拉桿之拉力(t)

L：拉桿之安裝間距(m)

作用於拉桿之拉力，依本章5.4節[拉桿設計]公式(5-4.1)計算。板樁上部結構設置有繫船柱，且作用於繫船柱之船舶拉力可傳達至拉桿時，作用於拉桿之拉力，依本章5.4節[拉桿設計]公式(5-4.2)計算。

為減輕作用於圍梁之應力及防止鏽蝕，應儘量將圍梁埋設於上部混凝土結構內，否則須以扣除預估鏽蝕量後之斷面計算應力，鏽蝕量估算詳第三篇第二章2.4節[防蝕]所述。

圍梁之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。

## 5.6 錨碇設施設計

### 5.6.1 概要

選擇錨碇設施型式時，應考慮各種錨碇型式特性，並比較相關條件後決定之。

錨碇設施設置位置及設計，依所採用之錨碇設施型式，採適宜分析方法決定並設計之。

## 5.6.2 選擇錨碇設施型式

### 1. 概要

選擇錨碇設施型式時，應考慮各種錨碇型式特性，並比較下列各項條件後決定之。

- 工程費
- 工期
- 施工方法
- 容許變位量
- 施工前之地面高程
- 材料取得難易
- 其他

### 2. 錨碇設施基本型式

錨碇設施基本型式可分類如下：

- 錨碇版
- 錨碇板樁
- 錨碇直樁
- 錨碇斜組樁

### 3. 錨碇設施型式選擇應考慮事項

採用錨碇版時，須考慮混凝土模板是否容易組立。一般而言，較大型的錨碇板，常須構築圍堰抽降水位，再予施工。小型的錨碇板則可採預鑄，並以吊車搬運至現場埋設。

碼頭後側錨碇設施施工處之地面較高，有利於鋼板樁在陸上打設時，採用錨碇板樁，不但施工容易且可縮短工期。

錨碇設施埋設處之土壤如係飽和砂質土，因地震時表層易產生液化現象，故錨碇設施安定性易受影響。此時宜採用入土較深之錨碇直樁或錨碇斜組樁。有關地震時砂質土之液化現象，請參考第二篇第十章[砂質土壤之液化]。

作用於拉桿之拉力，與錨碇設施受力時之變位量有關，通常錨碇斜組樁之變位量較小，錨碇板樁及錨碇直樁之變位量較大。於設計時，須考量地震時錨碇板樁及錨碇直樁之變位量。

錨碇設施埋設處之海底較深時，宜採用錨碇斜組樁或用錨碇直樁。

若錨碇設施設置位置因碼頭後側設施受到限制時，宜採用錨碇斜組樁。

於碼頭後側背填土砂可能發生沉陷之地區，採用錨碇斜組樁時，樁除承受軸力外，尚承受彎矩之作用，於設計時應加以注意。

### 5.6.3 錨碇設施設置位置

#### 1. 錨碇版

如圖5-6.1所示，決定錨碇版設置位置之步驟如下：

- (1)自海底面繪製版樁之主動土壤破壞面。
- (2)自錨碇版下端繪製錨碇版之被動土壤破壞面。
- (3)以上述二土壤破壞面不得在地表下相交為原則，決定錨碇版設置位置。

#### 2. 錨碇直樁

如圖5-6.2所示，決定錨碇直樁設置位置之步驟如下：

- (1)自海底面繪製版樁之主動土壤破壞面。
- (2)將拉桿與錨碇直樁之連接點當作地面，並將錨碇直樁視為樁頭自由之直樁，求得彎矩第一零點深度 $L_{n1}$ 。
- (3)自錨碇直樁與拉桿之連接點下  $L_{n1}/3$ 處，繪製錨碇直樁之被動土壤破壞面。
- (4)以上述二土壤破壞面不得在錨碇直樁與拉桿連接點之水平面下相交為原則，決定錨碇直樁設置位置。
- (5)為安全計，錨碇直樁設置位置，宜設置於較上述步驟決定之位置稍向後移。

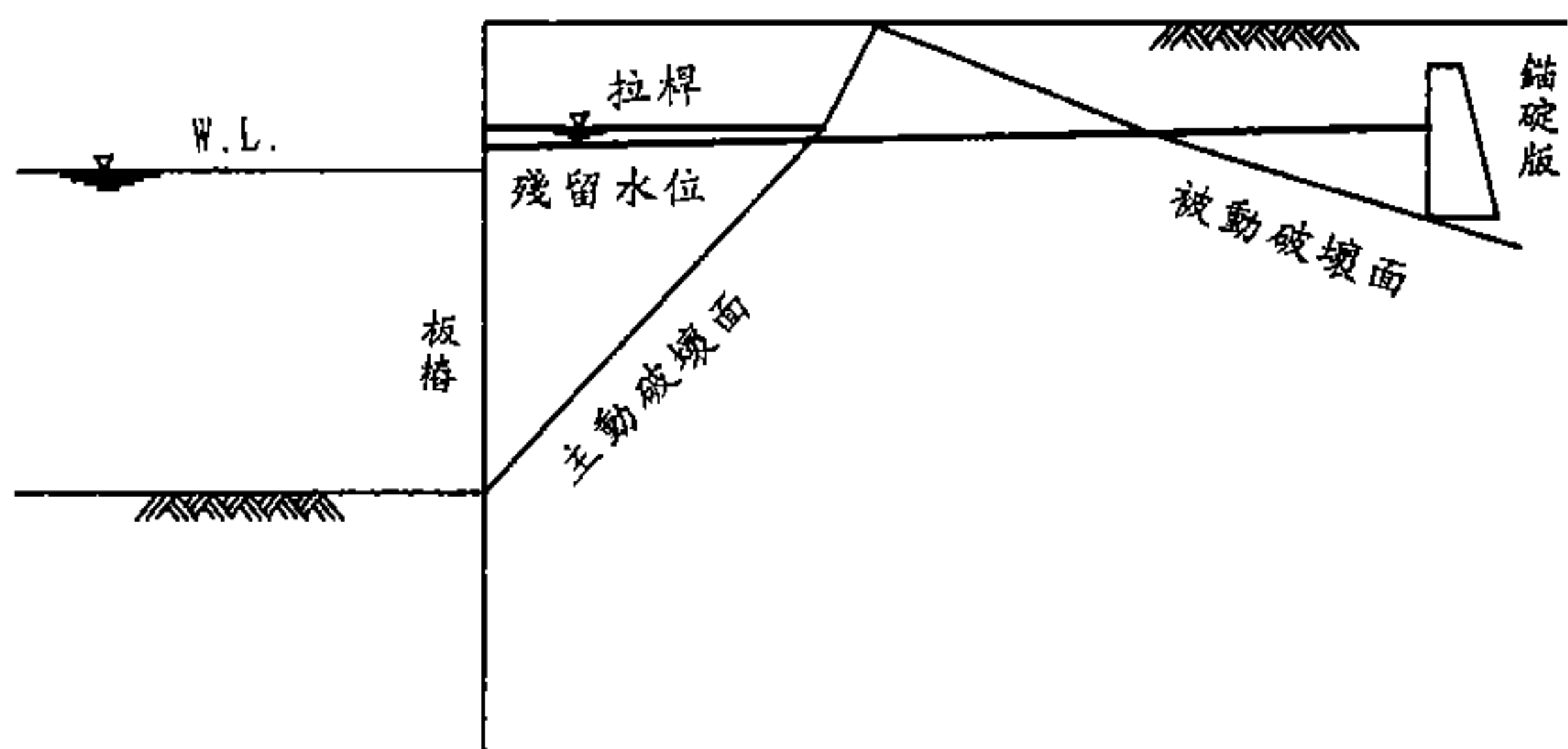


圖 5-6.1 錨碇版設置位置

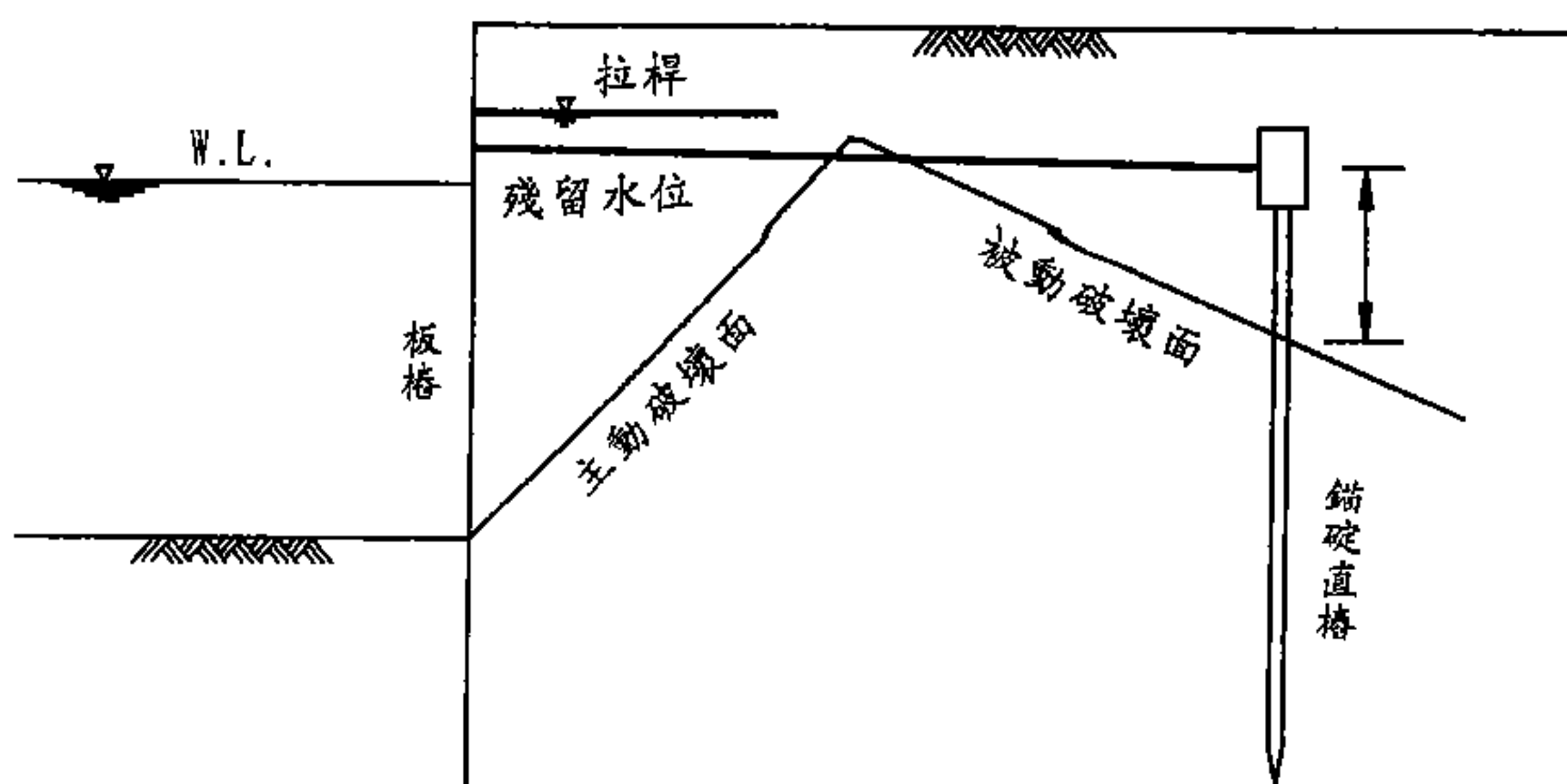


圖 5-6.2 錨碇直樁設置位置



### 3. 錨碇板樁

決定錨碇板樁設置位置之原則如下：

- (1) 如錨碇板樁可視為長樁時，其決定方法同錨碇直樁。
- (2) 如錨碇板樁不可視為長樁時，將拉桿與錨碇板樁之連接點當作地面，並將錨碇板樁視為樁頭自由之直樁，求得彎矩第一零點深度  $L_{m1}$ ，假設錨碇板樁長度為至拉桿與錨碇板樁連接點下  $L_{m1}/2$  處，即假設拉桿與錨碇板樁連接點下  $L_{m1}/2$  處下方之板樁不計其作用，依錨碇版設置位置決定方法決定錨碇板樁設置位置。

### 4. 錨碇斜組樁

如圖5-6.3所示，決定錨碇斜組樁設置位置之步驟如下：

- (1) 自海底面繪製版樁之主動土壤破壞面。
- (2) 錨碇斜組樁以設置於上述土壤破壞面後側為原則。

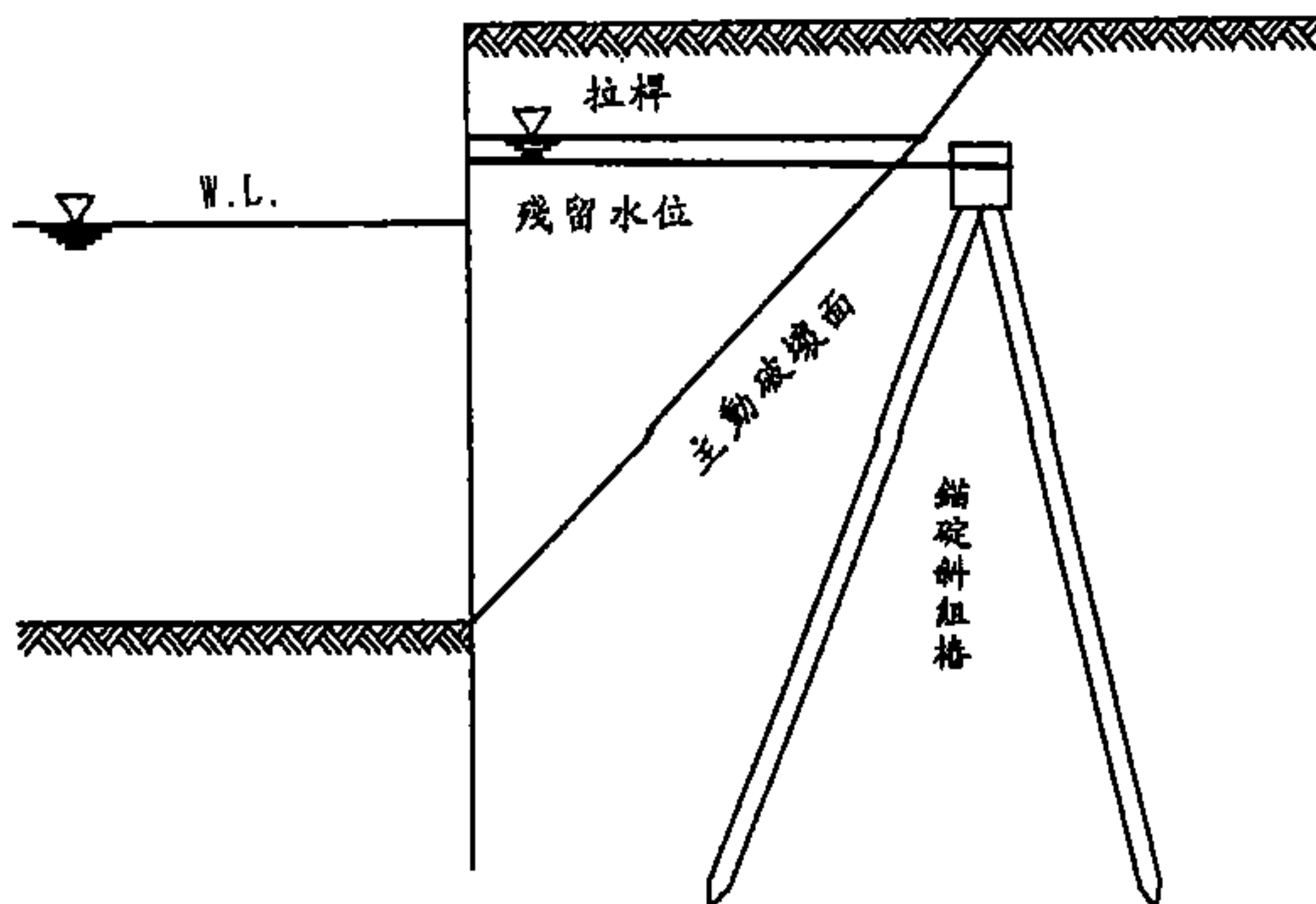


圖 5-6.3 錨碇斜組樁設置位置

### 5. 相關計算式

- (1) 土壤破壞面，依第二篇第十一章[土壓與水壓]相關公式計算。  
繪製被動土壤破壞面之壁面摩擦角採用  $-15^\circ$ 。

- (2) 錨碇直樁與錨碇板樁之彎矩第一零點，依第四篇第四章 4.4 節[樁之橫向容許承载力]相關公式計算。
- (3) 錨碇板樁可否視為長樁，依第四篇第四章 4.4 節[樁之橫向容許承载力]相關規定研判。

#### 5.6.4 錨碇版設計

##### 1. 錨碇版安定檢討

###### (1) 概要

如圖 5-6.4 所示，作用於錨碇版之外力，係由作用於錨碇版前面之被動土壓力，平衡拉桿之拉力及作用於錨碇板背後之主動土壓力。

錨碇版之高度及埋設深度，須滿足下式，於實用上，可先假設錨碇版之高度及埋設深度，經試算求出安全經濟之高度及埋設深度。

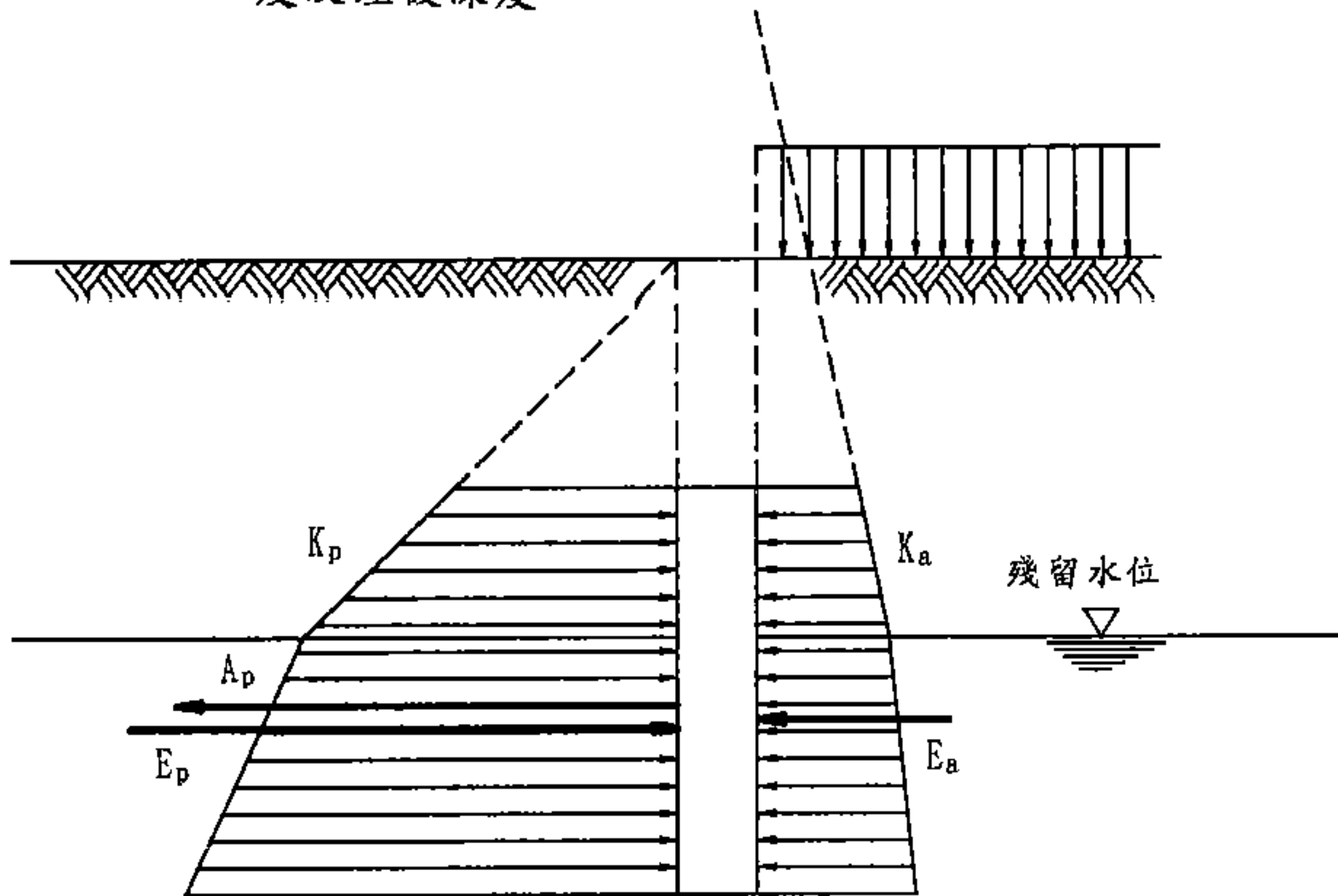


圖 5-6.4 作用於錨碇版之外力

$$S.F. \leq \frac{E_p}{A_p + E_a} \quad (5-6.1)$$

式中

S.F.：安全係數

$E_p$ ：作用於錨碇版之被動土壓力(t/m)

$A_p$ ：依本章 5.3.4節[作用於板樁之彎矩]計算彎矩時，拉桿位置之支承反力(t/m)

$E_a$ ：作用於錨碇版之主動土壓力(t/m)

## (2)安全係數

錨碇版安定之安全係數，常時以大於 2.5，地震時以大於 2.0為準。

## (3)土壓力

計算作用於錨碇版之主動土壓力時，應考慮其上載載重，如圖5-6.4 所示。於計算作用於錨碇版之被動土壓力時，上載載重則不予考慮。

作用於錨碇版之土壓，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算。

計算土壓力所用之壁面摩擦角，對主動土壓採用 $+15^\circ$ ，對被動土壓則採用 $0^\circ$ 。但如錨碇版受拉桿向上拉力之分力，壁面摩擦與平常之被動土壓相反而向上作用，致被動土壓減小，此時壁面摩擦角應採用 $+15^\circ$ 。

如圖 5-6.5所示，依本章 5.6.3節[錨碇設施設置位置]所述，自海底面所繪製版樁之主動土壤破壞面，與自錨碇版下端所繪製錨碇板之被動土壤破壞面，如在地表面下相交時，應視作用於破壞面交點以上垂直面之被動土壓力不發生抵抗作用，故其應由公式 (5-6.1)中扣除。如二破壞面在殘留水位以上相交時，其應扣除之被動土壓力，依下式計算之。

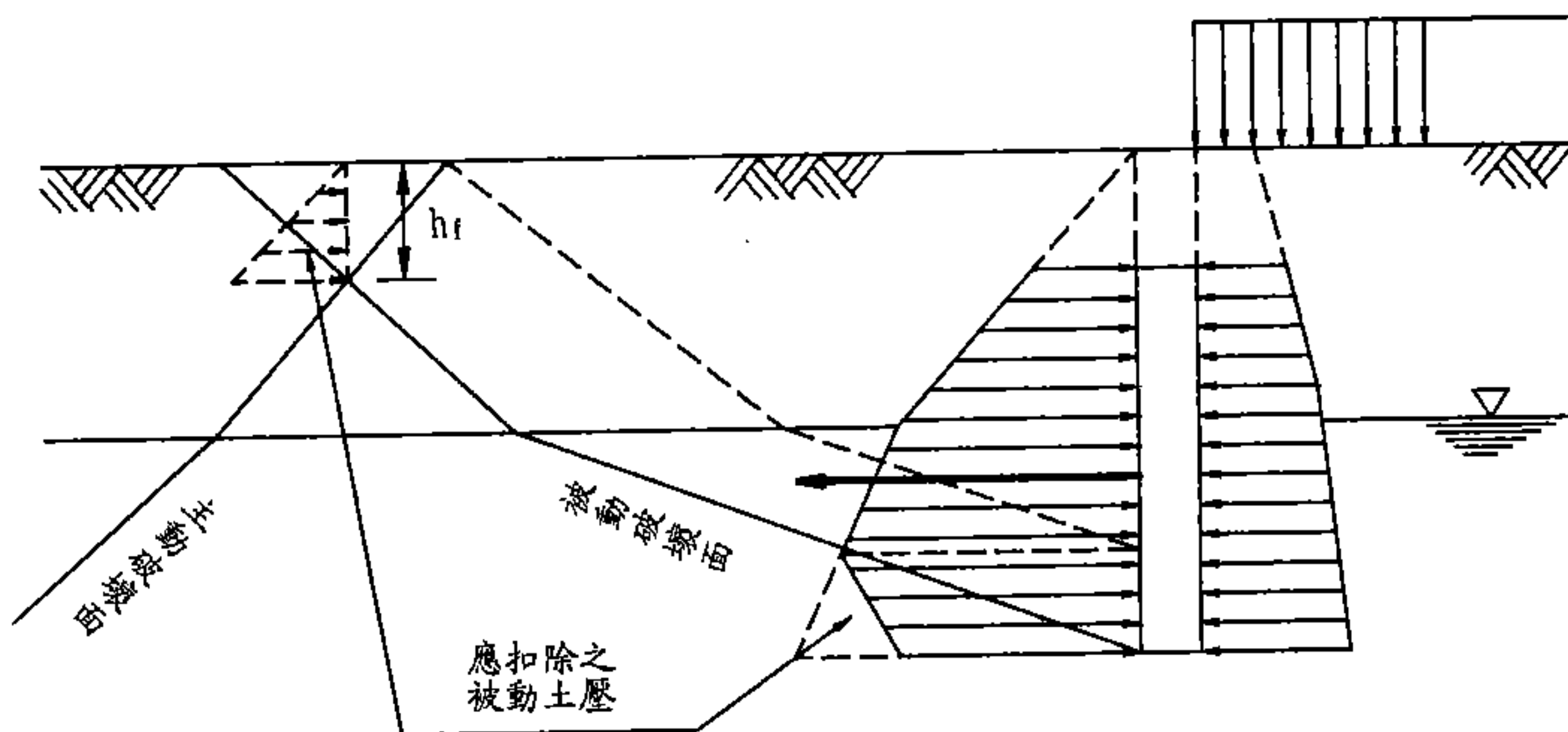


圖 5-6.5 版樁之主動土壤破壞面與錨碇版之被動土壤破壞面在地表面下相交時之土壓分佈圖

$$\Delta E_p = \frac{K_p \cdot \gamma \cdot h_f^2}{2} \quad (5-6.2)$$

式中

$\Delta E_p$ ：應扣除之被動土壓力 ( $t/m^2$ )

$K_p$ ：被動土壓係數

$\gamma$ ：土壤單位體積重量 ( $t/m^3$ )

$h_f$ ：地表面至破壞面交點之深度 (m)

## 2. 錨碇版斷面設計

### (1) 概要

錨碇版斷面，依下述公式(5-6.3)(5-6.4)計算之最大彎矩，求得錨碇版應力應小於材料之容許應力。

### (2) 作用於錨碇版之彎矩

已知錨碇版高度、拉桿之安裝間距，及作用於拉桿之拉力，於計算錨碇版最大彎矩時，可將土壓力視作均佈載重，水平方向假設錨碇版為連續梁，垂直方向假設錨碇版為懸臂版，以下列近似式，計算錨碇版最大彎矩。

錨碇版承受水平方向最大彎矩之範圍，以拉桿安裝位置為中心，於錨碇版 $2b$ 高度內，此處  $b$ 係指拉桿安裝位置錨碇版厚度。

$$M_h = \frac{T \cdot L}{12} \quad (5-6.3)$$

$$M_v = \frac{T \cdot h}{8 \cdot L} \quad (5-6.4)$$

式中

$M_h$ ：水平方向之最大彎矩(t-m)

$M_v$ ：單位長度上垂直方向之最大彎矩(t-m/m)

$T$ ：依本章 5.4節[拉桿設計]公式(5-4.1)或(5-4.2)

計算所得之拉桿拉力(t)

$L$ ：拉桿之安裝間距(m)

$h$ ：錨碇版高度(m)

### (3)容許應力

錨碇版之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。

### (4)錨碇版與拉桿連接位置

錨碇版與拉桿連接位置，可以土壓合力之作用點或錨碇版高度之中點為準。

## 5.6.5 錨碇直樁設計

錨碇直樁，可視為承受拉桿拉力作用之直樁，依第四篇第四章[樁基礎承載力]相關規定設計。

如自海底面所繪製之版樁主動土壤破壞面，與自錨碇直樁與拉桿之連接點下  $L_{m1}/3$ 處所繪製之錨碇直樁被動土壤破壞面，於錨碇直樁與拉桿連接點之水平面下相交時，可將錨碇直樁與拉桿連接點之水平面視為假想地表面，於假想地表面上無土壤存在設計錨碇直樁。

### 5.6.6 錨碇斜組樁設計

錨碇斜組樁，可將作用於拉桿之拉力視為外力，依第四篇第四章[樁基礎承载力]相關規定設計。

如斜組樁之一部份，突出自海底所繪製版樁之主動土壤破壞面時，在計算斜組樁之承载力時，則不計土壤破壞面以上樁之承载力。

### 5.6.6 錨碇板樁設計

錨碇板樁之設計原則如下：

- (1)如錨碇板樁可視為長樁時，其設計方法同本章5.6.4節[錨碇直樁設計]所述設計法。
- (2)如錨碇板樁不可視為長樁時，將拉桿與錨碇板樁之連接點當作地面，並將錨碇板樁視為樁頭自由之直樁，求得彎矩第一零點深度 $L_{m1}$ ，如圖5-6.6所示，假設土壓力作用範圍由拉桿與錨碇板樁連接點起至其下 $L_{m1}/2$ 處，依本章5.6.3節[錨碇板設計]所述設計法設計之。

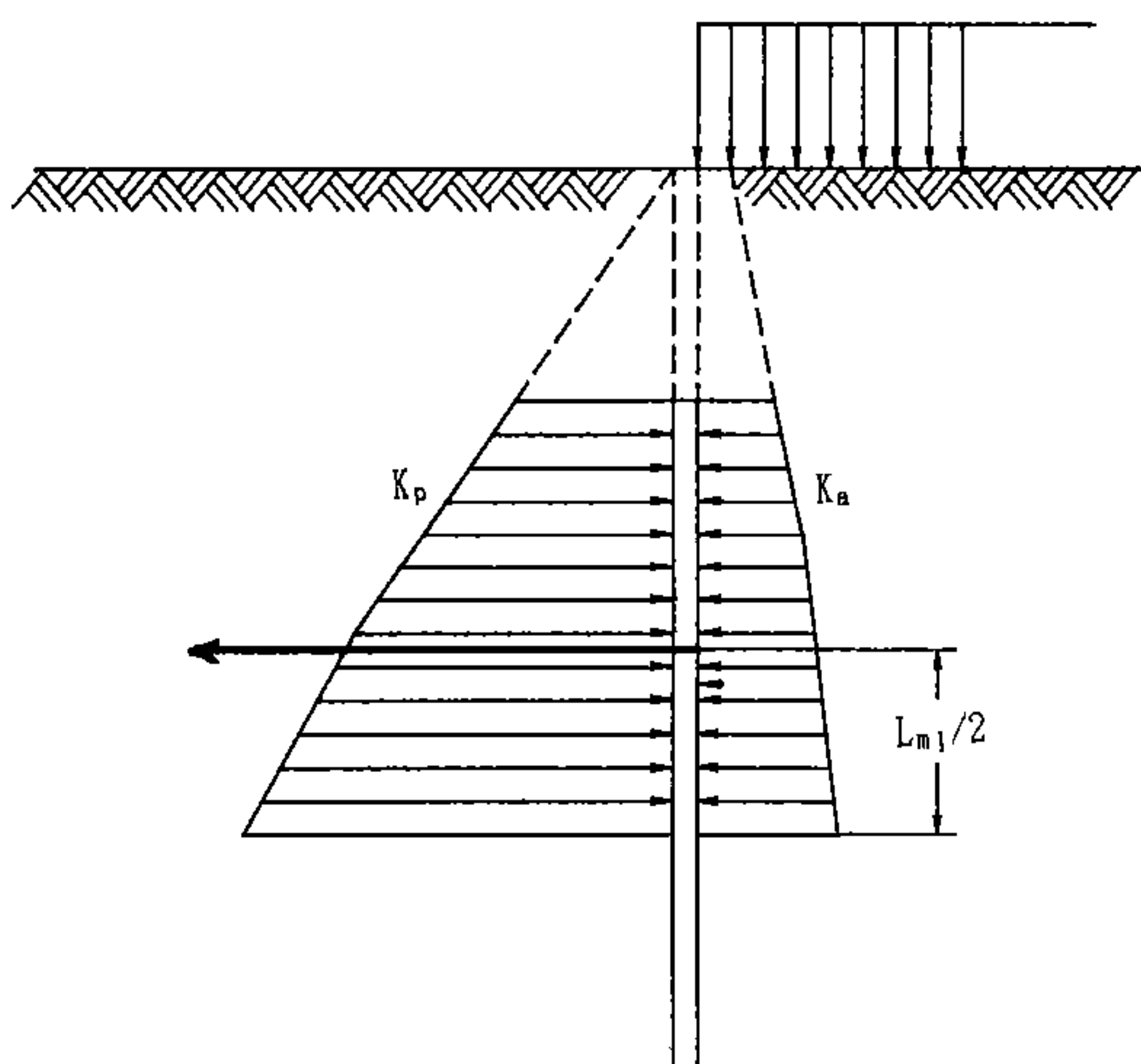


圖 5-6.6 短錨碇板樁假想土壓分佈圖

錨碇直樁與錨碇板樁之彎矩第一零點，依第四篇第四章 4.4 節[樁之橫向容許承载力]相關公式計算。

錨碇板樁可否視為長樁，依第四篇第四章4.4節[樁之橫向容許承载力]相關規定研判。

錨碇板樁須裝設圍梁，使拉桿之拉力能均勻傳達至錨碇板樁，圍梁之設計，依本章5.5節[圍梁設計]規定設計之。

## 5.7 細部設計

### 5.7.1 概要

板樁式碼頭之細部設計，主要為下列各項：

- 上部結構
- 板樁與拉桿及圍梁之連接
- 拉桿
- 錨碇設施與拉桿之連接
- 角隅部份
- 防止沖刷設施

### 5.7.2 上部結構

#### 1. 設計概要

- (1)板樁上部結構一般採鋼筋混凝土結構，於垂直方向可視為以板樁頂端為固定支點，並以土壓力為載重之懸臂梁設計之；於水平方向，可視上部結構為彈性支承梁設計之。
- (2)上部結構於設置有繫船柱處之作用外力，除背填主動土壓力外，尚須考慮船舶拉力。
- (3)上部結構於設置有防舷材處之作用外力，須考慮船舶衝擊力及被動土壓力。
- (4)地震時之外力，僅考慮地震時之主動土壓力即可。



## 2. 船舶作用力

如圖5-7.1(a)及5-7.2(a)所示，假設船舶拉力及船舶衝擊力係作用於寬度  $b$  之上部結構時，則其作用方式如圖5-7.1(b)及 5-7.2(b) 所示。船舶作用於繫船柱之拉力及船舶作用於防舷材之衝擊力，依第二篇第二章 2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

於計算主動土壓時，應考慮上載載重之影響；於計算被動土壓時，則不考慮上載載重之影響。計算主動土壓時，壁面摩擦角採用 $15^{\circ}$ ；計算被動土壓時，壁面摩擦角採用 $0^{\circ}$ 。

考慮船舶拉力及船舶衝擊力時，碼頭上部結構所用材料之容許應力，可採用地震時材料容許應力。

## 3. 其他

板樁頂端須埋入上部結構內相當深度，且板樁須與上部結構鋼筋焊接，務使作用於上部結構之彎矩能傳達至板樁。

# 5.7.3 板樁與拉桿及圍梁之連接

## 1. 概要

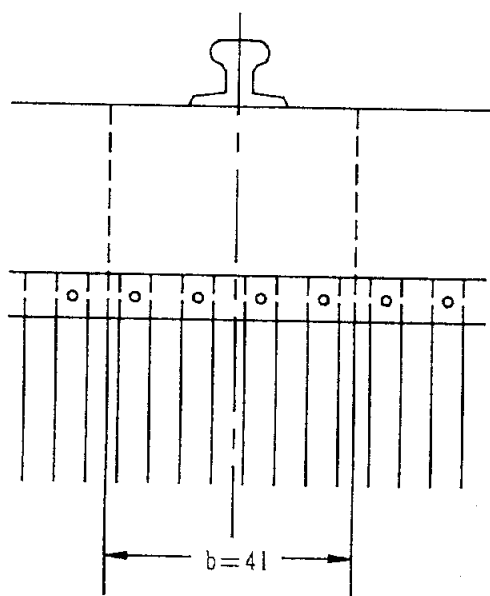
板樁與拉桿及圍梁之連接，在設計時務使作用於板樁岸壁之水平作用力經過圍梁並安全均勻傳至各拉桿上。

## 2. 連接方式

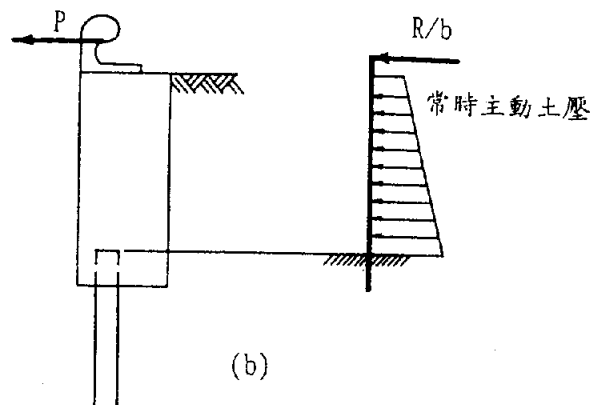
板樁與拉桿及圍梁之連接方式，如圖 5-7.3所示，板樁頂部水平方向之圍梁，可利用板樁及拉桿連接之，圍梁一般採用槽形鐵，亦可採用角鐵或 I 形鐵。圍梁裝設之位置如圖 5-7.3 側面圖所示，可安裝於板樁之前或之後均可。

板樁與拉桿之連接方法，如圖 5-7.3所示，板樁鑽孔後，將拉桿穿過，在二者之間夾以適當角度之支承版，再用螺栓鎖緊。





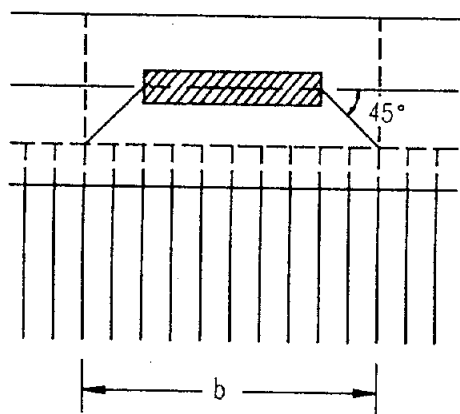
(a)



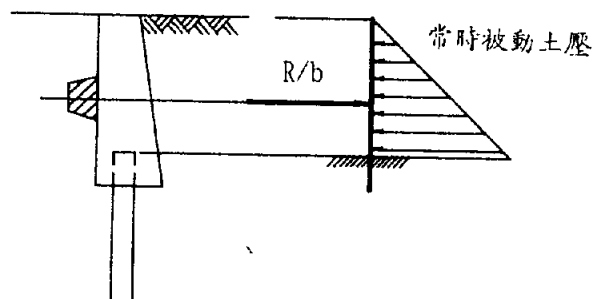
(b)

$b$ : 拉力作用寬度(m)  
 $l$ : 拉桿安裝間距  
 $P$ : 船舶拉力(t)

圖 5-7.1 作用於上部結構之船舶拉力



(a)



(b)

$b$ : 船舶衝擊力作用寬度(m)  
 $R$ : 船舶衝擊力(t)

圖 5-7.2 作用於上部結構之船舶衝擊力

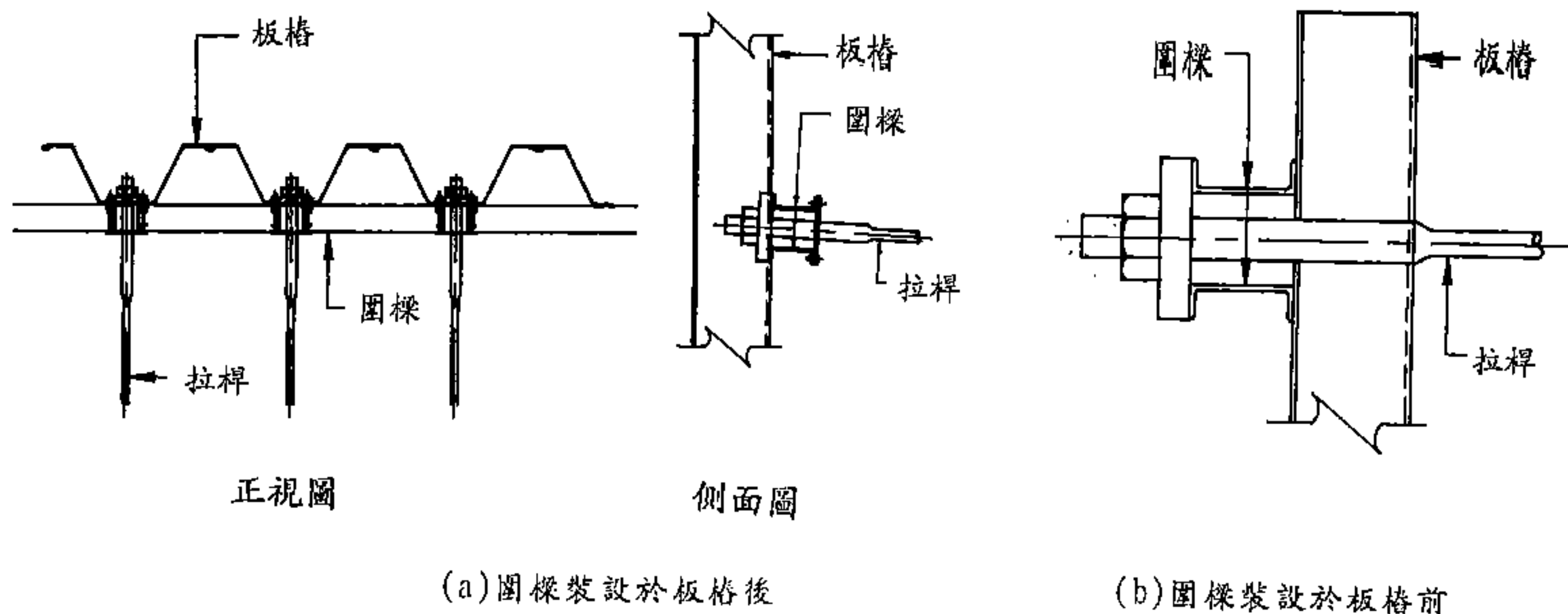


圖 5-7.3 板樁與拉桿及圍樑之連接示意圖

### 3. 螺栓斷面設計

圍樑如安裝於板樁背側，且不埋入上部結構中時，板樁與圍樑連接用螺栓斷面依下式計算之。惟實際斷面應再加上預估鏽蝕厚度。

$$A = \frac{A_p \cdot L_w}{n \cdot \sigma_a} \quad (5-7.1)$$

式中

$A$ ：螺栓斷面積( $\text{cm}^2$ )。

$A_p$ ：依本章5.3.4節[作用於板樁之彎矩]計算彎矩時，拉桿位置之支承反力( $\text{kg/m}$ )。

$L_w$ ：圍樑與板樁之連接間距( $\text{m}$ )，如在拉桿中間處連接圍樑時，其連接間距為拉桿間距之 $1/2$ 。

$n$ ：每連接處之螺栓支數(支)。

$\sigma_a$ ：螺栓之容許拉應力 ( $\text{kg/cm}^2$ )，常時為降伏點應力之40%，地震時為降伏點應力之60%。

## 5.7.4 拉桿

### 1. 概要

設計拉桿時，務使作用於拉桿之拉力能安全傳至錨碇設施上。若因背填土砂沉陷，使拉桿有承受彎矩之慮時，於設計時亦須加以處理。

## 2. 拉桿(tie rod)

- (1) 拉桿斷面示意如圖 5-7.4，拉桿於接頭處裝有絞緊器，以調節拉桿之長度。
- (2) 若因背填土砂沉陷，使拉桿有承受彎矩之慮時，須於靠近拉桿與板樁及錨碇設施連接處附近，加裝連接環，連接環應儘可能靠近拉桿與板樁及錨碇設施連接處。
- (3) 拉桿經製螺紋後，其斷面積減小，故拉桿於螺紋部份須加粗，使螺紋谷部之直徑不小於拉桿直徑。如未加粗拉桿時，拉桿斷面積應以螺紋谷部之直徑計算之。
- (4) 設計時，為確保絞緊器、連接環及螺帽…等附屬品，在拉桿破壞前不致損壞，於設計絞緊器、連接環與拉桿連接處、連接環插銷及螺帽等之最小斷面時，應考慮應力集中現象，故應將計算所得之應力值，加計10%~20%。
- (5) 拉桿及絞緊器、連接環及螺帽…等附屬品容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。

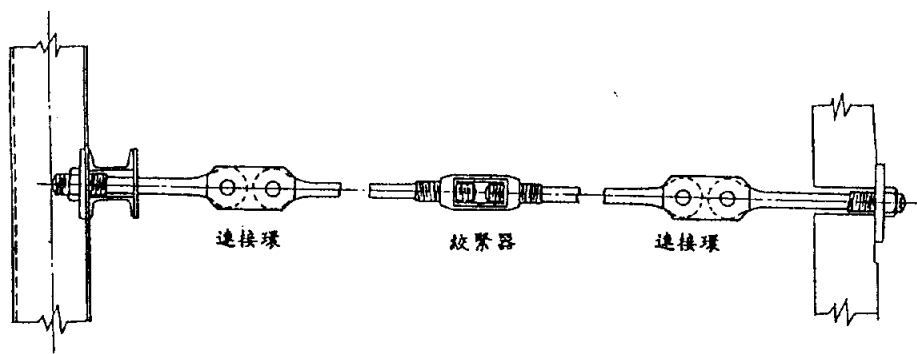


圖 5-7.4 拉桿(tie rod)斷面示意圖

## 3. 鋼索(Tible 或 Tie Wire)

- (1) 鋼索斷面示意如圖 5-7.5，於鋼索兩端欲鎖緊之部位直接製成螺紋，使其具有同拉桿絞緊器之功能，因此於設計時須考慮其固定長度。同時此部份須與拉桿絞緊器相同，在設計時，應確保其最小斷面在鋼索破壞前不致損壞。

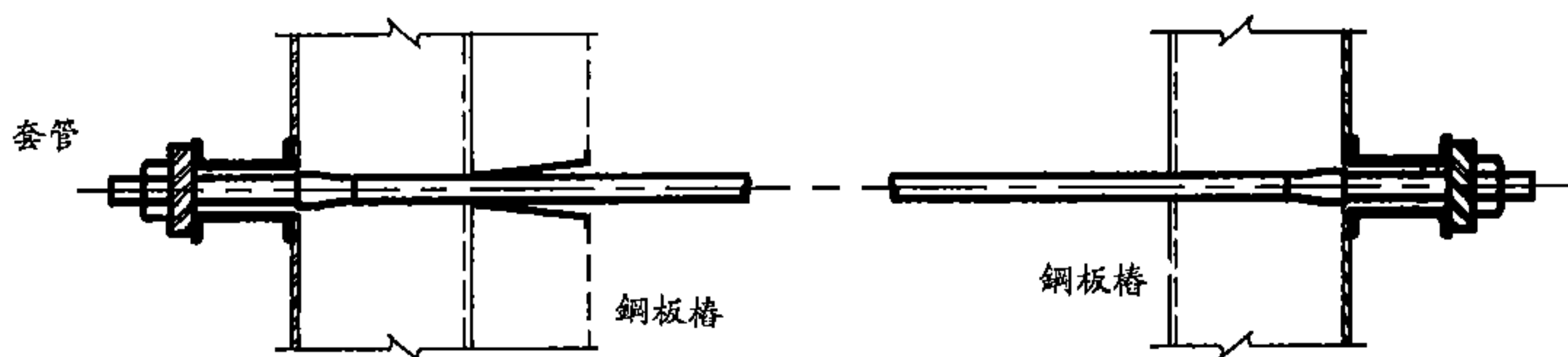


圖 5-7.5 鋼索(tie wire)斷面示意圖

- (2)鋼索尾端所用之套管，如無特殊防蝕考量時，須於安裝好後完全埋設於上部結構混凝土中，並且不得將套管切斷。
- (3)鋼索於碼頭角隅部份交叉時，必須計算鋼索之下垂量，避免鋼索相互接觸。

### 5.7.5 錨碇設施與拉桿之連接

錨碇設施與拉桿之連接，在設計時務使作用於拉桿之拉力能安全均勻傳至各錨碇設施上。

錨碇直樁或錨碇斜組樁與拉桿之連接方式，可在錨碇樁頂端法線方向設置連續梁，再將拉桿連接於連續梁即可。連續梁可視為承受拉桿拉力及樁之反力等載重設計之。

裝設拉桿時，將拉桿穿過錨碇版或錨碇樁頂端連續梁預留之洞孔，依裝置角度墊以適當之支承版後，以螺帽固定之。

拉桿與錨碇設施連接處，承受拉力及剪力作用，於設計時須予考慮，以決定錨碇版或錨碇樁頂端連續梁厚度及支承版之大小，錨碇版或錨碇樁頂端連續梁與拉桿連接處，應加設分配應力之鋼筋，以便將拉桿之拉力，平均傳達至錨碇版或連續梁。

錨碇板樁與拉桿之連接，依本章5.7.2節[板樁與拉桿及圍梁之連接]規定設計。

### 5.7.6 角隅部份

板樁式碼頭之角隅部份，於地震時特別容易受損，故須特別加強。角隅部份依本篇第十章[連接結構物]規定設計。

### 5.7.7 防止沖刷設施

板樁式碼頭前水域，因海流或特定船舶之推進器作用等因素，可能產生大量沖刷時，應以覆蓋石塊或混凝土塊等於海底面予以保護。

## 5.8 軟弱地盤上板樁碼頭設計

於軟弱地盤上設計板樁式碼頭，應以本章第5.3節[板樁設計]、5.4節[拉桿設計]、5.6節[錨碇設施設計]所述設計法及其他設計法，予以綜合比較檢討。

此處所謂軟弱地盤，係指海底地盤軟弱以及板樁之鋼性較海底地盤之地盤反力係數為大時。

軟弱地盤上板樁入土長度之設計法，除本章 5.3[板樁設計]所述之方法外，尚有固定端點法(Fixed Earth Support)、自由支撐式(Free Earth Support)等設計法。

但淺水碼頭採用鋼筋混凝土板樁時，可將本章 5.3[板樁設計]所述方法下端支承點，移至主動土壓力與殘留水壓力和，等於被動土壓力之深度。在普通砂質土或硬粘土地層上有軟弱之薄土層時，上述下端支承點則放於軟弱土層下方。

## 5.9 圓弧滑動檢討

興建於軟弱地盤上之板樁式碼頭，應檢討板樁下端之圓弧滑動。圓弧滑動檢討依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行檢討。

研判可能發生圓弧滑動之不穩定地層，應採適當方法改良地盤，或改採不受圓弧滑動影響之其他結構型式，增加板樁入土長度並非完善之方法。

## 第六章 圓筒式碼頭

## 第六章 圓筒式碼頭

### 6.1 鋼板樁圓筒式碼頭

#### 6.1.1 設計原則

本章 6.1 節[鋼板樁圓筒式碼頭]所述設計法，適用於以鋼板樁打設之圓筒式碼頭。

鋼板樁圓筒式碼頭設計流程，如圖 6-1.1 所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.3(a)。

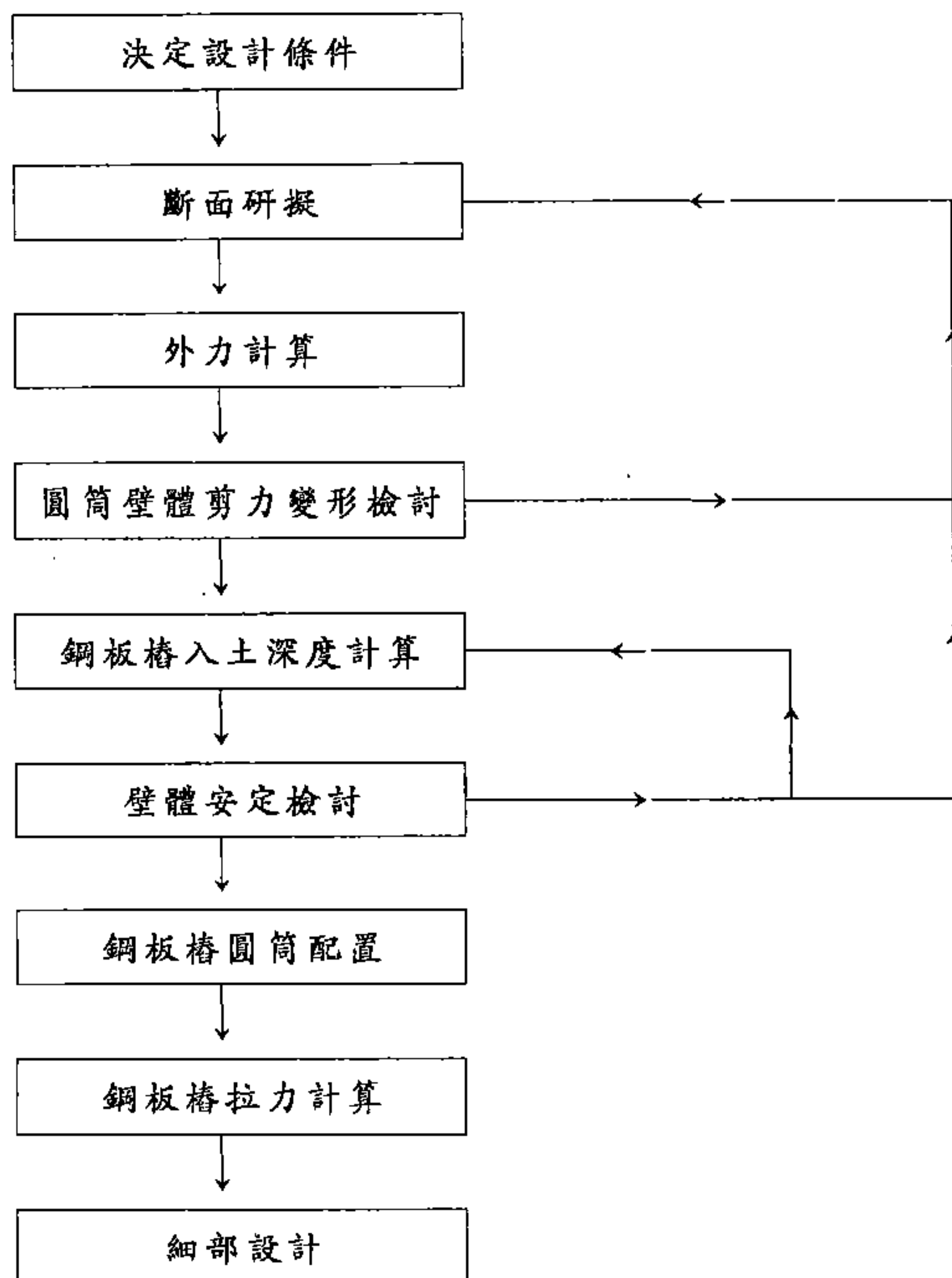


圖 6-1.1 鋼板樁圓筒式碼頭設計流程

## 6.1.2 作用於鋼板樁圓筒之外力

### 1. 概要

作用於鋼板樁圓筒之外力與載重，須考慮下列各項：

#### (1) 作用於圓筒之外力

- 土壓力：圓筒背後之主動土壓力  
圓筒前面之被動土壓力  
圓筒內填料之土壓力
- 殘留水壓力
- 作用於圓筒內填料之地震力
- 圓筒內填料重量
- 上載載重

#### (2) 作用於上部結構之外力

##### ① 水平力

- 土壓力之水平分力
- 殘留水壓力
- 作用於上部結構、上部結構上土砂及上載載重之地震力
- 船舶之衝擊力及拉力

##### ② 垂直力

- 上部結構自重、上部結構上土砂重量及上載載重
- 土壓力之垂直分力

### 2. 土壓力及殘留水壓力

作用於圓筒及上部結構之土壓及殘留水壓，依第二篇第十一章「土壓及水壓」規定計算。

作用於上部結構背面之土壓分佈，如圖 6-1.2 所示，係假設作用於上部結構後趾垂直面上，於上部結構底面以上，作用土壓為主動土壓；於上部結構底面以下，其作用範圍至主動土壓強度  $P_a$  等於被動土壓強度  $P_p$  為止，其作用土壓大小為主動土壓與被動土壓之差。計算土壓時，須考慮作用於上部結構之上載載重。於計算主動土壓時，壁面摩擦角用採  $15^\circ$ ，計算被動土壓時，壁面摩擦角則採用  $-15^\circ$ 。



於計算殘留水壓時，殘留水位以朔望平均低潮位(L.W.L.)以上至朔望平均高潮位(H.W.L.)潮差之  $2/3$  為標準，或參考同一港區類似結構物之殘留水位。

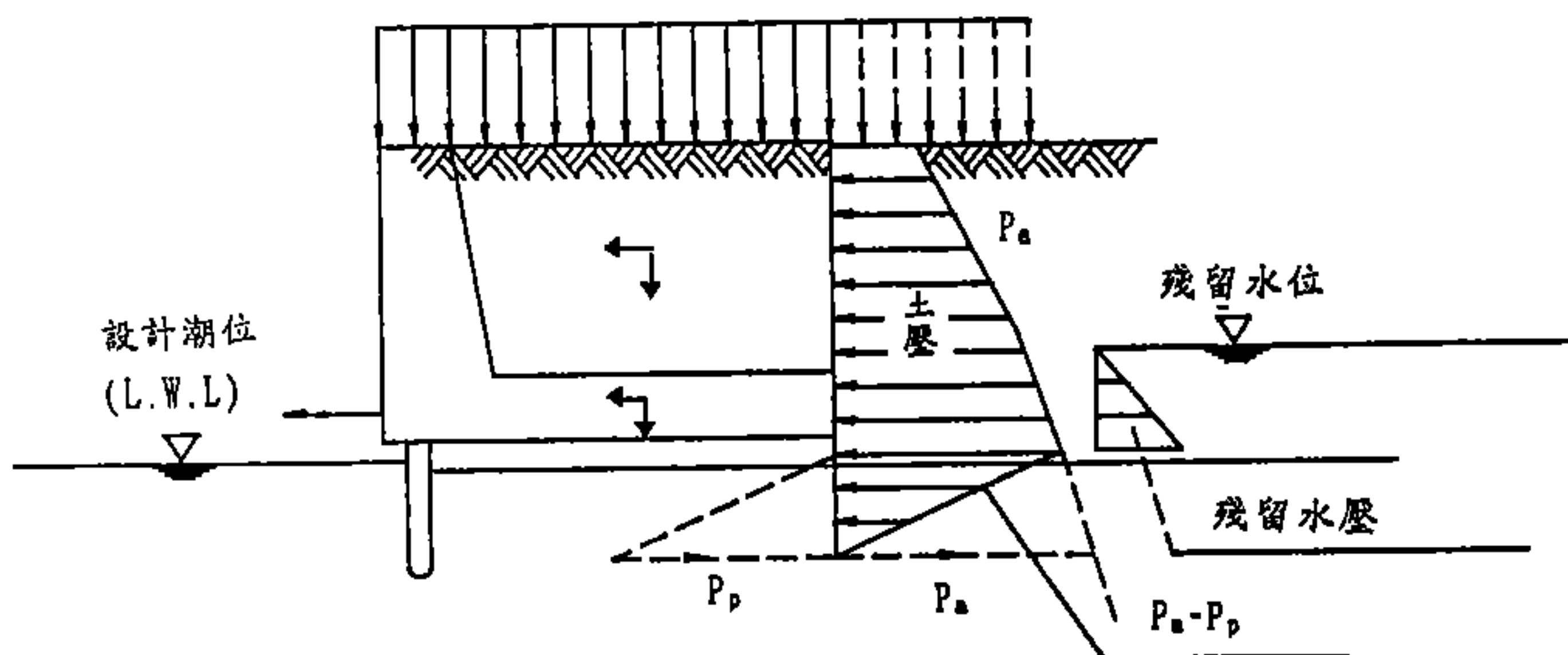


圖 6-1.2 作用於上部結構之外力

### 3. 地震力

作用於上部結構、上部結構上回填土砂及上載載重之地震力，依第二篇第九章[地震及地震力]規定計算。

圖 6-1.3所示，計算作用於圓筒內填料地震力，其所用震度在海底面以上部份採用設計震度，在海底面以下部份，則以海底面下 10m處之震度為零，自海底面以下，設計震度隨深度比例遞減，海底面下 10m以下則不考慮地震力。於此可不考慮作用於上載載重之地震力。

### 4. 自重及上載載重

上部結構、上部結構上土砂自重及作用於碼頭面之上載載重，依第二篇第十二章[載重]規定計算。

### 5. 船舶衝擊力及拉力

作用於上部結構之船舶衝擊力及拉力，除特殊狀況外，一般可不予考慮。

船舶作用於防舷材、繫船柱之衝擊力及拉力，依第二篇第二章 2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

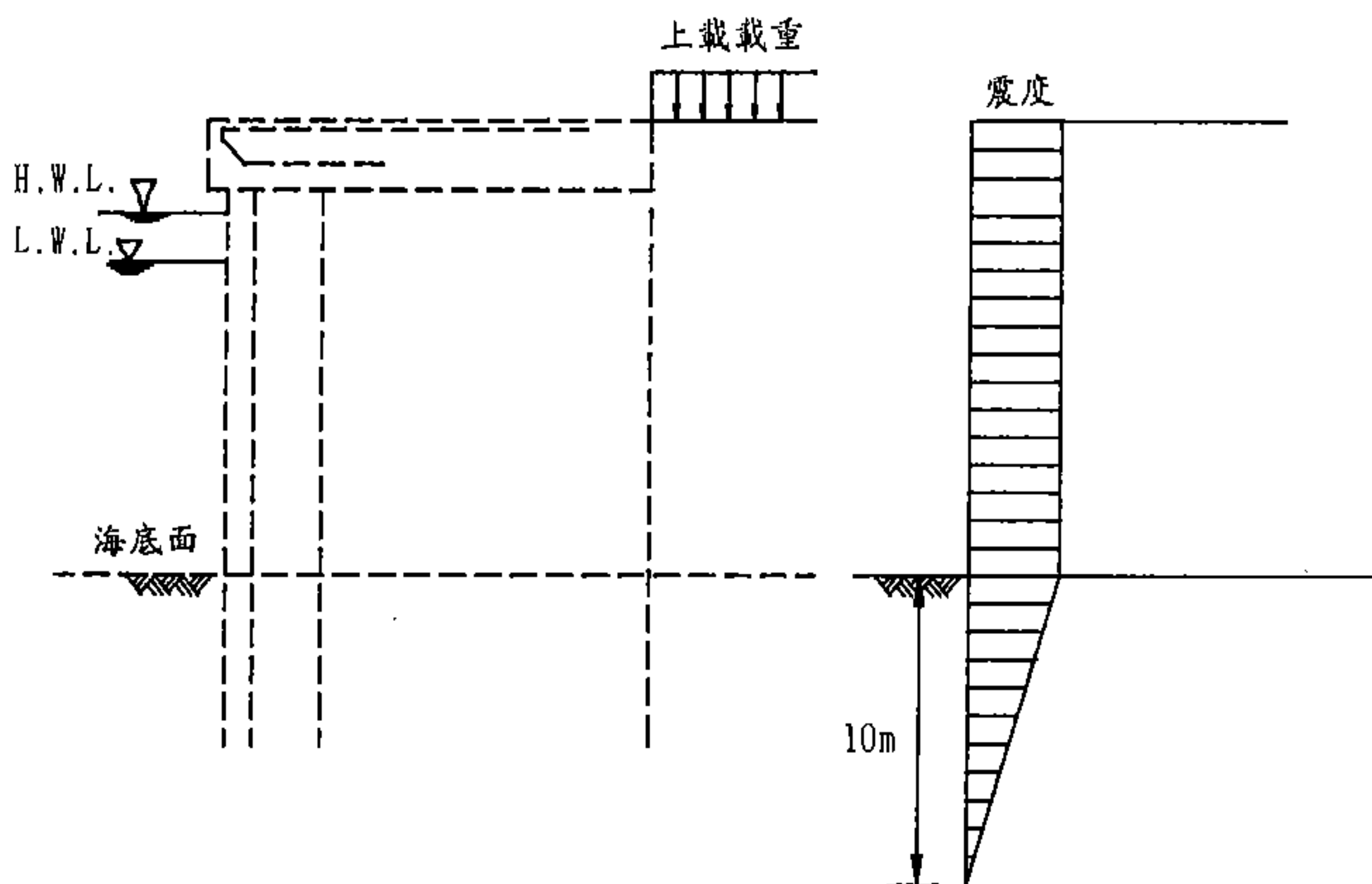


圖 6-1.3 作用於圓筒內填料地震力之震度分佈

### 6.1.3 圓筒壁體剪力變形檢討

#### 1. 概要

圓筒壁體應檢討於海底面之剪力變形，即圓筒壁體於海底面之抵抗力矩，應足以抵抗於海底面之變形力矩。

圓筒壁體須滿足下式：

$$S.F. \leq \frac{M_r}{M_d} \quad (6-1.1)$$

式中

S.F.：安全係數

$M_d$ ：於海底面之變形力矩(t-m/m)

$M_r$ ：於海底面之抵抗力矩(t-m/m)

#### 2. 換算壁體寬度定義

換算壁體寬度係將圓筒之曲線形前壁、隔壁及後壁均改為直線之假想壁面，其水平斷面積須保持與原來之曲線形斷面積相同而求得之壁體寬度。圖 6-1.4 示三種型式圓筒之換算壁體寬度。

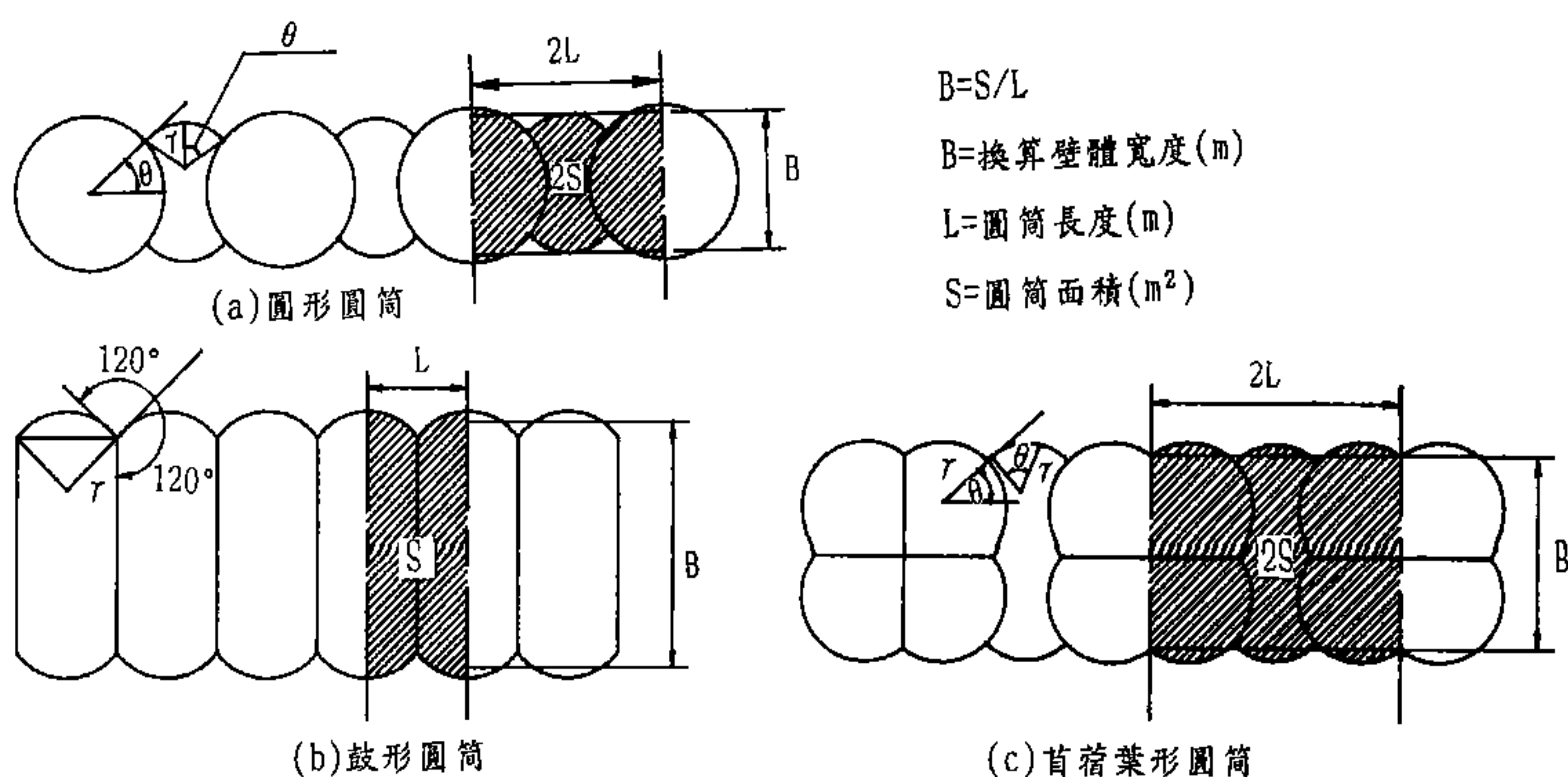


圖 6-1.4 圓筒平面形狀及換算壁體寬度

### 3. 安全係數

採用砂為圓筒內填料時，圓筒壁體抵抗剪力變形之安全係數，常時以大於1.2，地震時以大於1.2為準。

### 4. 設計水深

於砂質地盤，所採用之海底面，即船席設計水深，須考量因超挖或船舶推進器之作用等因素，形成船席設計水深較計畫水深為深之狀況。船席設計水深詳本篇第二章2.4節[設計水深]所述。

### 5. 變形力矩計算

如圖 6-1.5所示，作用於圓筒壁體之變形力矩 $M_d$ ，為下列外力於海底面之傾覆力矩。

- 作用於圓筒壁體背後之主動土壓力
- 殘留水壓力
- 作用於圓筒內填料之地震力

上述外力之計算，依本章6.1.2節[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

計算圓筒壁體背後之主動土壓力所致之變形力矩，僅計算由碼頭面至海底面止土壓力之水平分力所致之變形力矩，土壓力之垂直分力則不予考慮，惟上載載重之影響應予以計入。

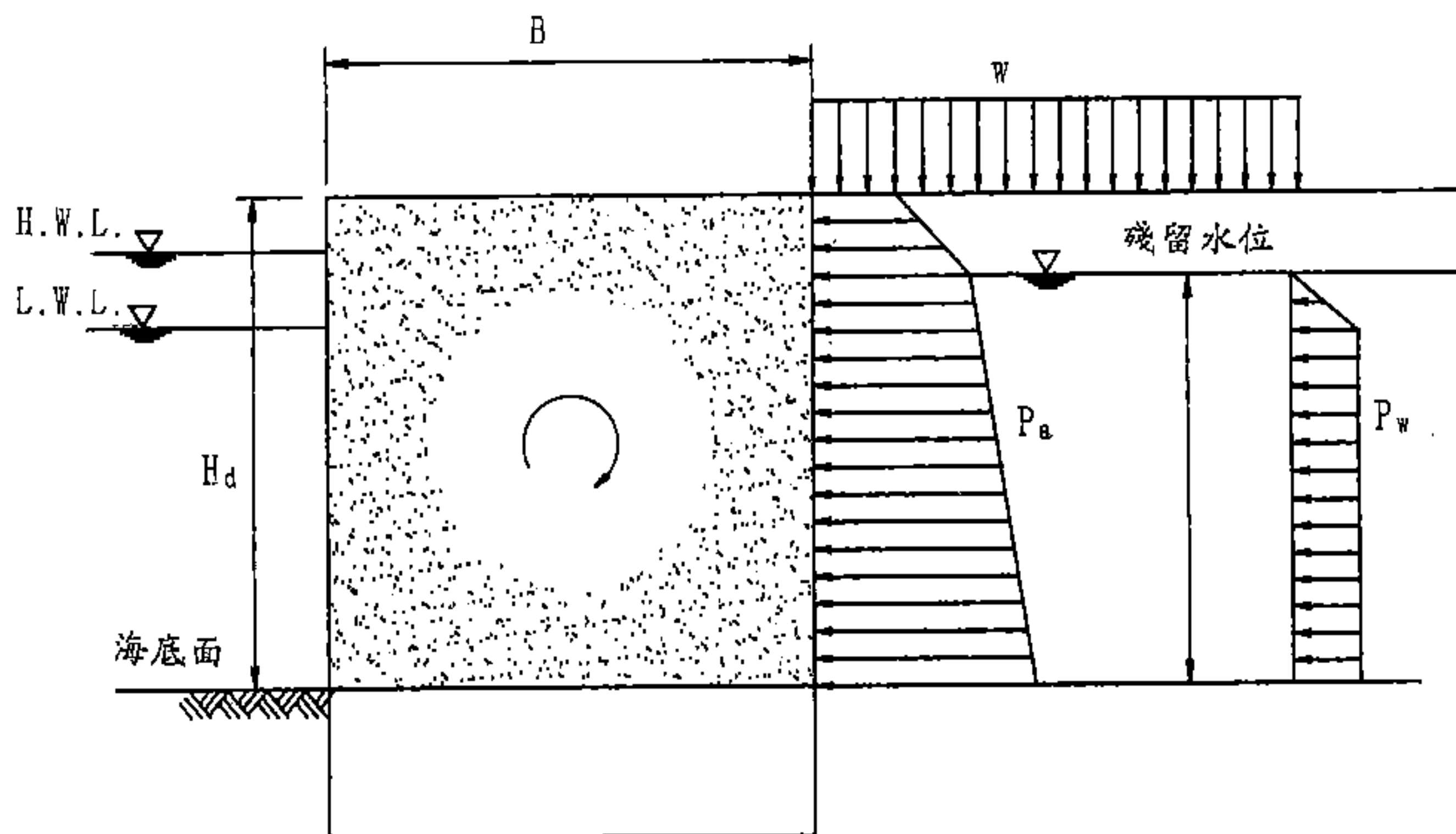


圖 6-1.5 圓筒壁體剪力變形檢討應考慮外力及抵抗力

## 6. 抵抗力矩計算

### (1) 概要

採用砂為圓筒內填料時，其抵抗力矩依下式計算之。

#### ① 常時

$$M_r = \frac{1}{6} \gamma (R_o \cdot H_o^3 + R_s \cdot H_s^3) \quad (6-1.2)$$

式中

$M_r$ ：抵抗力矩(t-m/m)

$\gamma$ ：圓筒內填料之換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$H_o$ ：換算壁高(以圓筒內填料重量計算抵抗力矩之假想壁高)(m)

$H_s$ ：換算壁高(以板樁接頭間摩擦力計算抵抗力矩之假想壁高)(m)

$$R_o = \frac{2}{3} r_o^2 (3 - r_o \cdot \cos \phi) \tan \phi \cdot \sin \phi$$

$$R_s = \frac{3}{2} r_s \cdot \mu \cdot \tan \phi$$

$r_o$  :  $B/H_o$

$r_s$  :  $B/H_s$

$B$  : 圓筒換算壁體寬度(m)，依本章6.1.3節第2小節[換算壁體寬度定義]計算

$\phi$  : 圓筒內填料內摩擦角(度)

$\mu$  : 板樁接頭間摩擦係數( $\mu=0.3$ )

## ②地震時

將上式(6-1.2)中 $R_o$ 之值改為下式計算之即可。

$$R_o = r_o^2 (3 - r_o \cdot \cos \phi) \sin \phi$$

## (2)內填料換算單位體積重量及換算壁高 $H_o$

圓筒內填料單位體積重量，位於圓筒內水位以下時，應採用水中單位體積重量，設計時為簡化計算，可將圓筒內填料單位體積重量採用一固定值(例 $\gamma=1.0\text{t/m}^3$ )，並以下式計算換算壁高 $H_o$ 。

$$H_o = \frac{1}{\gamma} \sum \gamma_i \cdot h_i \quad (6-1.3)$$

式中

$H_o$  : 換算壁高(m)

$\gamma$  : 圓筒內填料之換算單位體積重量( $\text{t/m}^3$ )

$\gamma_i$  : 圓筒內第 $i$ 層填料之實際單位體積重量( $\text{t/m}^3$ )

$h_i$  : 第 $i$ 層填料之厚度(m)

## (3)換算壁高 $H_s$

為簡化板樁接頭摩擦力所致抵抗力矩之計算，圓筒內填料土壓分佈，可簡化如圖 6-1.6，圖6-1.6(a)及6-1.6(b)分

示實際之土壓分佈及換算土壓分佈，依圖6-1.6(b)所示之換算壁高 $H_s$ 及內填料換算單位體積重量 $\gamma$ 計算所得之土壓合力，應等於依圖6-1.6(a)所示之土壓合力。依此原則，換算壁高 $H_s$ 可依下式計算。

$$H_s = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum P_i}{\gamma \cdot \tan \phi}} \quad (6-1.4)$$

式中

$H_s$ ：換算壁高(m)

$P_i$ ：圓筒內第 $i$ 層填料之土壓力合力(t/m)，計算內填料土壓時，土壓係數採用  $0.5 \cdot \tan \phi$

$\gamma$ ：圓筒內填料換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$\phi$ ：圓筒內填料之內摩擦角(度)

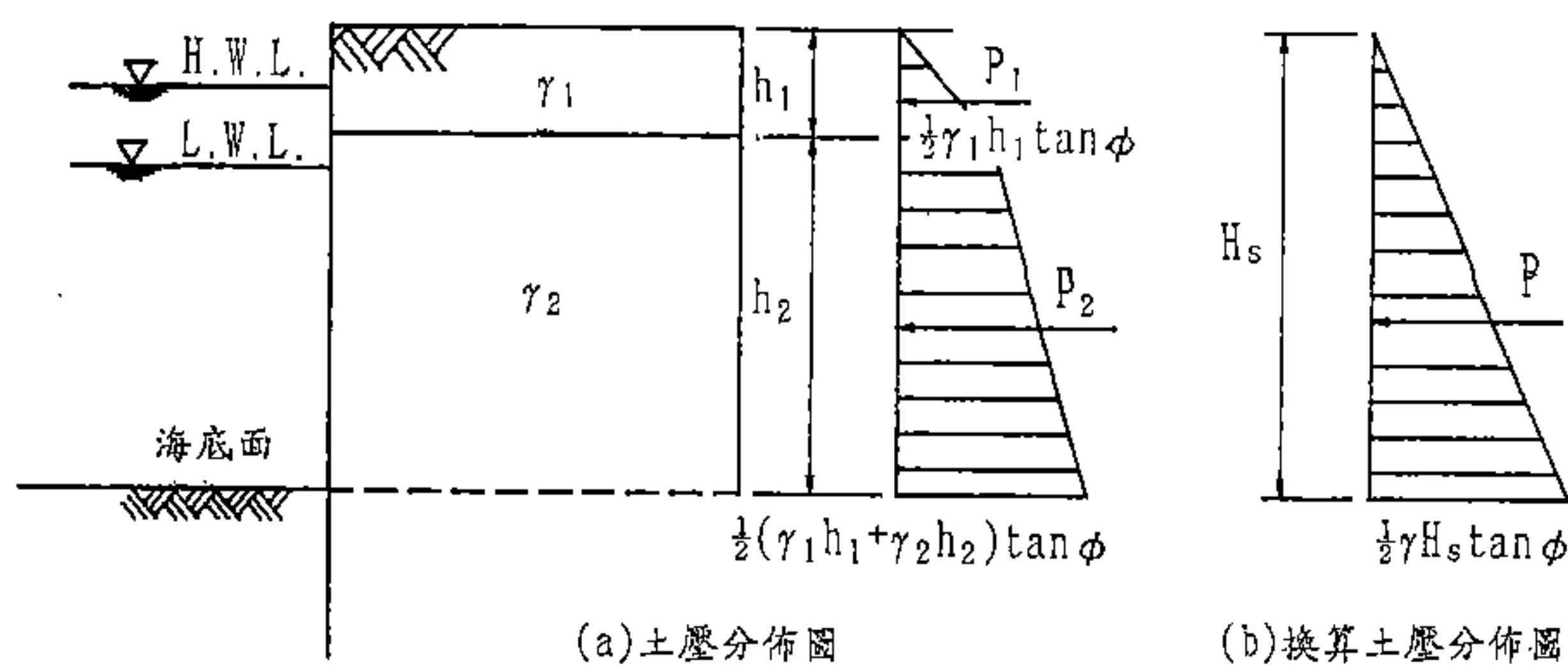


圖 6-1.6 圓筒壁體換算壁高

## 6.1.4 板樁入土長度

### 1. 概要

圓筒海側之板樁，須打設至能達到足夠承载力之深度為止。圓筒後面之板樁如海底地盤良好時，打設至海底面下1m~2m即可，如係軟弱地盤，其入土深度則採與海側板樁相同。

圓筒海側板樁入土長度，須滿足下式

$$S.F. \leq \frac{R_p}{P_3} \quad (6-1.5)$$

式中

S.F.：安全係數

$R_p$ ：板樁承载力(t/m)

$P_3$ ：作用於圓筒海側板樁背後，海底面上主動土壓合力之垂直分力(t/m)

## 2. 板樁入土長度計算方法

圓筒海側板樁之入土長度計算法，可先假設一板樁入土長度，計算板樁承载力 $R$ ，及主動土壓合力之垂直分力 $P_3$ ，並依(6-1.5)式計算安全係數，如計算之安全係數過高或不足，重新假設一板樁入土長度，依上述步驟再次檢討其安全係數，直至滿足為止。

## 3. 安全係數

板樁入土長度之安全係數，常時以大於 2.0，地震時以大於 1.5 為準。

## 4. 土壓力( $P_3$ )

如圖 6-1.7 所示，作用於圓筒海側板樁背後，海底面上主動土壓合力之垂直分力 $P_3$ ，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算，於計算土壓力時，應將上載載重之影響計入。

## 5. 板樁承载力( $R_p$ )

板樁承载力，為海底面下板樁與土壤間之摩擦，及板樁下端之承载力之和，依下式計算之。

$$R_p = (P_1 + P_2)\mu + q \cdot A \quad (6-1.6)$$

式中

$R_p$ ：板樁承载力(t)

$P_1$ ：海底面下至板樁下端之主動土壓合力（須考量上載載重及圓筒海底面上內填料之重量）(t)



$P_2$ ：海底面下至板樁下端之靜止土壓合力(t)

$\mu$ ：土壤與板樁間之摩擦係數，砂質土時採用  $\tan^{-\frac{2}{3}}\phi$

$q$ ：板樁下端土壤之極限承载力( $t/m^2$ )

$A$ ：板樁斷面積( $m^2$ )

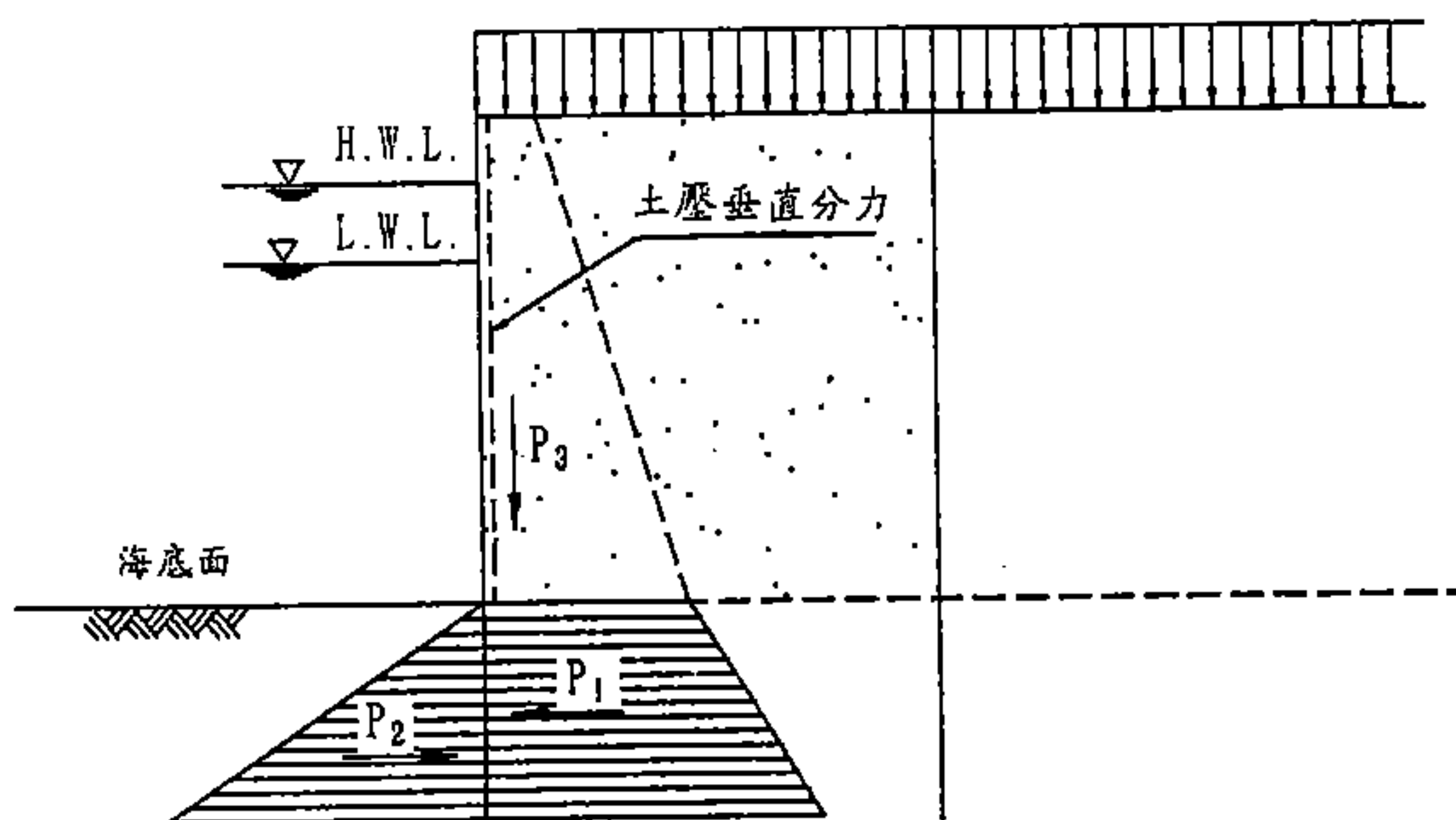


圖 6-1.7 作用於板樁入土部份之土壓力

## 6. 板樁長度配置

圓筒海側與背面之板樁入土長度相差較大時，板樁入土長度應採階段式變化。

### 6.1.5 圓筒壁體安定檢討

圓筒壁體之安定檢討，依本篇第四章[重力式碼頭]4.3節[安定計算]所述方法為準。圓筒壁體安定檢討一般僅檢討滑動安定，傾覆安定及承载力則可不予檢討。

圓筒壁體安定檢討所採用之壁體寬度，依本章6.1.3節第2小節[換算壁體寬度定義]規定計算。

壁體底面，依本章 6.1.4節[板樁入土長度]計算所得之板樁長度，將板樁下端視為壁體之底面，但是如圓筒前面與後面之板樁入土深度不同時，以入土深度較淺之背面板樁下端視為壁體底面。



### 6.1.8 T型板樁設計

T型板樁為使用於連接圓筒本身與圓弧之異型板樁，其應能承受作用於圓筒本身及圓弧板樁之拉力。

T型板樁其斷面示意如圖6-1.8所示。

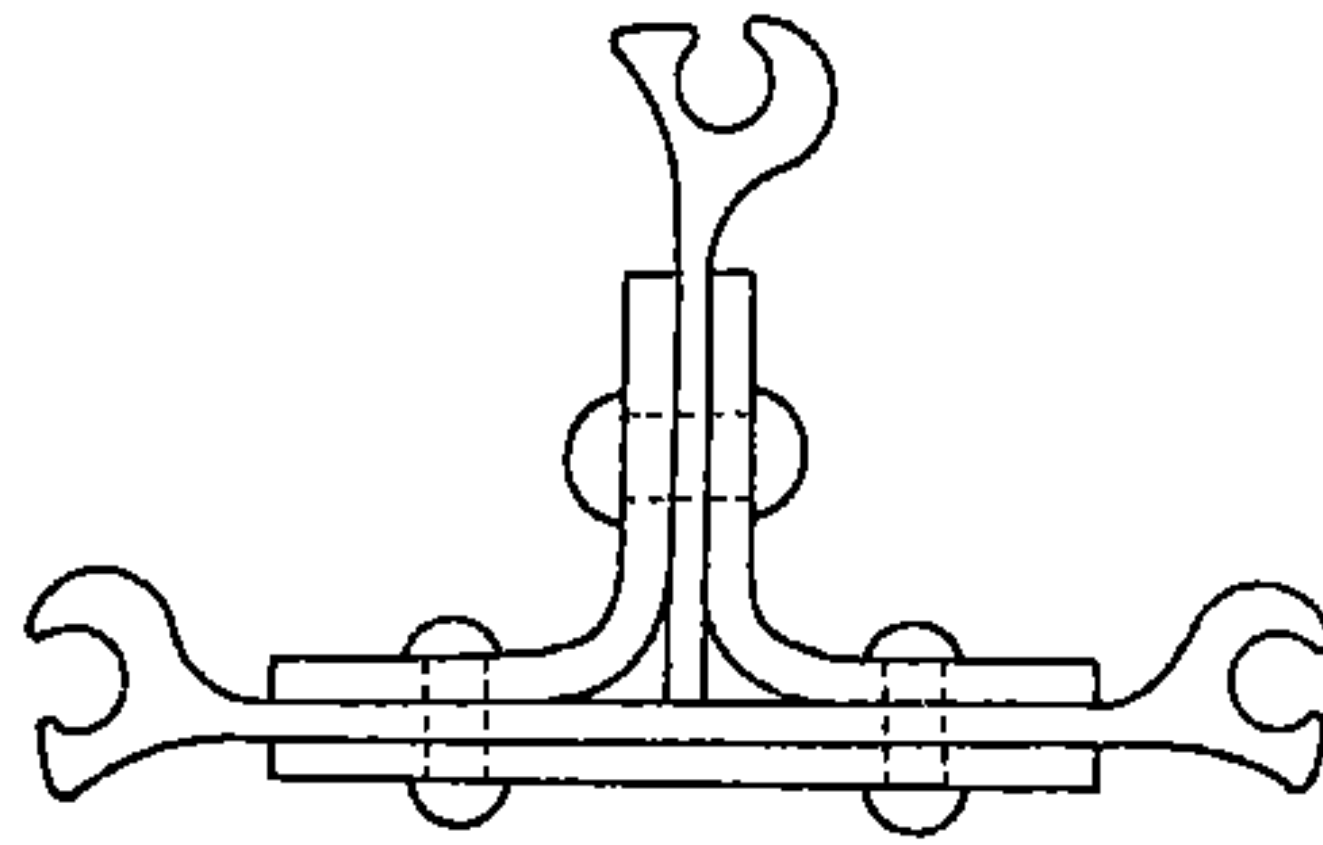


圖 6-1.8 T型板樁斷面示意圖

### 6.1.9 細部設計

#### 1. 上部結構設計

##### (1) 直立部份設計

上部結構直立部份可視為與底版之連接點為固定支點，並以土壓力及殘留水壓力為載重之懸臂梁設計之。

若須考慮船舶衝擊力及船舶拉力時，依本篇第五章〔板樁式碼頭〕5.7節第5.7.1小節〔上部結構〕有關船舶作用力所述設計之。

##### (2) 底版設計

如圖 6-1.9所示，底版可視為以基樁樁頭為支承點，並以下列外力為載重，將底版分為碼頭法線方向及法線垂直角方向之連續樑設計之。底版鋼筋以雙向配筋為原則。

- 上部結構自重(包含直立部份及底版)
- 上部結構上回填之土砂重量
- 上載載重
- 作用於上述載重之地震力
- 直立部份所傳達之彎矩

## 2. 上部結構承載基樁設計

上部結構承載基樁，以承受上小節所述作用於上部結構之外力，依第四篇第四章[樁基礎承載力]規定設計之，圓筒鋼板樁之承載力不予考慮。

上部結構視為僅由基樁承載，圓筒鋼板樁之承載力不予考慮。

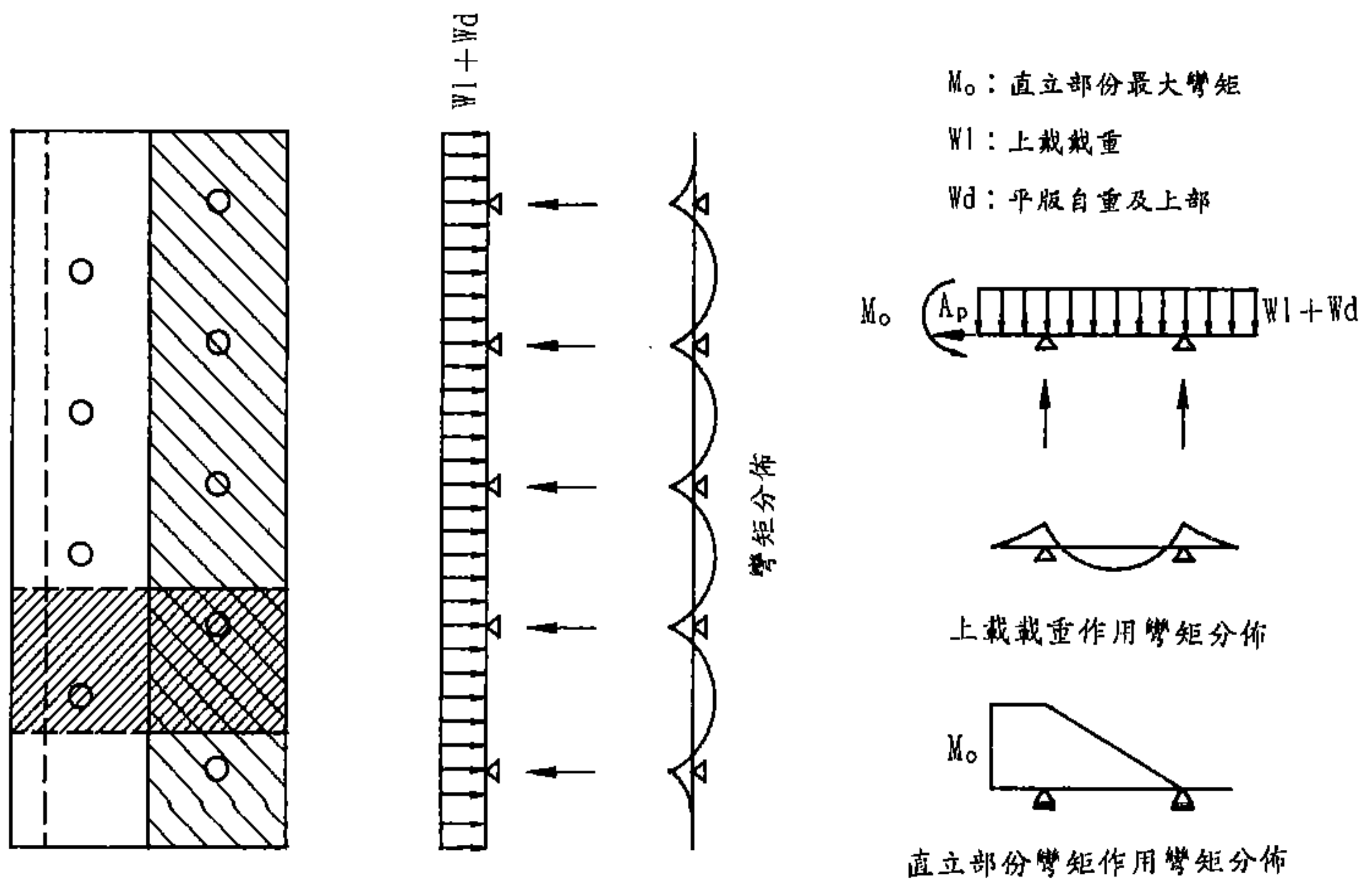


圖 6-1.9 平版結構設計示意圖

## 6.2 置放式鋼板圓筒碼頭

### 6.2.1 設計原則

本章 6.2 節[置放式鋼板圓筒碼頭]所述設計法，適用於鋼板圓筒壁體不埋入土中之圓筒式碼頭。

置放式鋼板圓筒碼頭設計流程，如圖 6-2.1 所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.3(b)。

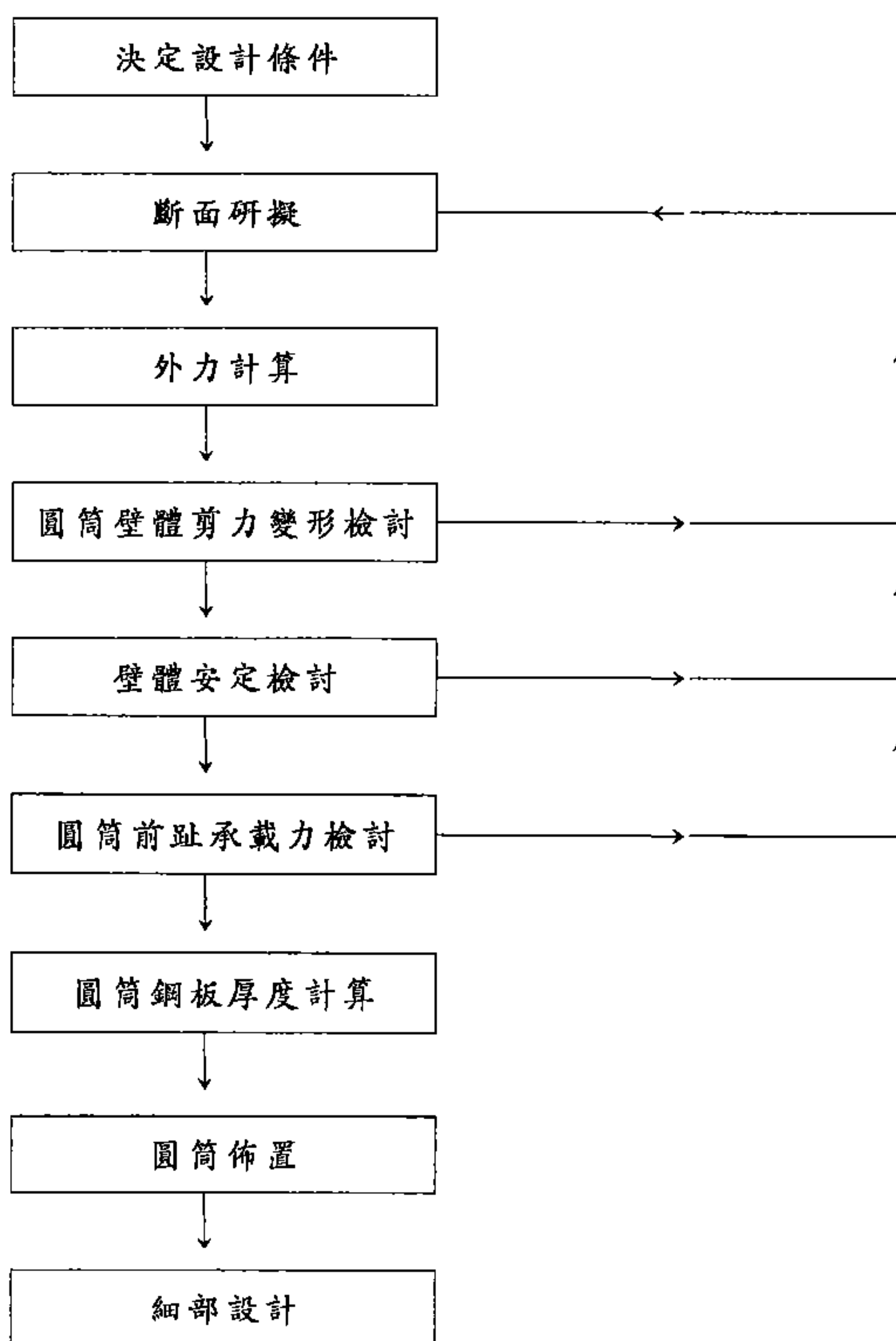


圖 6-2.1 置放式鋼板圓筒碼頭設計流程

## 6.2.2 作用於鋼板圓筒之外力

作用於鋼板圓筒之外力，依本章6.1.2[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

## 6.2.3 圓筒壁體剪力變形檢討

### 1. 概要

圓筒壁體應檢討於海底面之剪力變形，即圓筒壁體於海底面之抵抗力矩，應足以抵抗於海底面之變形力矩。

圓筒壁體須滿足下式：

$$S.F. \leq \frac{M_{rd}}{M_{dd}} \quad (6-2.1)$$

式中

S.F.：安全係數

$M_{rd}$ ：於海底面之抵抗力矩(t-m/m)

$M_{dd}$ ：於海底面之變形力矩(t-m/m)

### 2. 換算壁體寬度定義

圓筒換算壁體寬度，依本章 6.1.3第2小節[換算壁體寬度定義]規定計算。

### 3. 安全係數

圓筒壁體抵抗剪力變形之安全係數，常時以大於 1.0為準。

### 4. 設計水深

於砂質地盤，所採用之海底面，即船席設計水深，須考量因超挖或船舶推進器之作用等因素，形成船席設計水深較計畫水深為深之狀況。船席設計水深詳本篇第二章2.4節[設計水深]所述。

### 5. 變形力矩計算

作用於圓筒壁體之變形力矩 $M_{dd}$ ，依本章6.1.3第5小節[變形力矩計算]規定計算。

## 6. 抵抗力矩計算

### (1) 概要

假設鋼板圓筒不容許變形時（鋼板圓筒頂端之水平變位量小於壁體高度之 0.5%），圓筒抵抗力矩可依下式計算之。

$$M_{rd} = \frac{1}{6} \gamma \cdot R_o \cdot H_o^3 \quad (6-2.2)$$

式中

$M_{rd}$ ：抵抗力矩(t-m/m)

$\gamma$ ：圓筒內填料之換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$H_o$ ：換算壁高(以圓筒內填料重量計算抵抗力矩之假想壁高)(m)

$$R_o = r_o^2 (3 - r_o \cdot \cos \phi) \sin \phi$$

$$r_o = B/H_o$$

$B$ ：圓筒換算壁體寬度(m)

$\phi$ ：圓筒內填料之內摩擦角(度)

### (2) 內填料換算單位體積重量( $\gamma$ )及換算壁高( $H_o$ )

圓筒內填料單位體積重量，位於圓筒內水位以下時，應採用水中單位體積重量，設計時為簡化計算，可將圓筒內填料單位體積重量採用一固定值(例 $\gamma = 1.0 \text{ t/m}^3$ )，並以下式計算換算壁高 $H_o$ 。

$$H_o = \frac{\gamma_o'}{\gamma} H_w + \frac{\gamma_o}{\gamma} (H_d - H_w) \quad (6-2.3)$$

式中

$H_d$ ：海底面至碼頭面之高度(m)

$H_w$ ：海底面至圓筒內水位之高度(m)

$\gamma_o'$ ：內填料水中單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_o$ ：圓筒內水位以上內填料之單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$\gamma$ ：內填料之換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

## 6.2.4 圓筒壁體安定檢討

### 1. 概要

圓筒壁體之安定計算，應檢討下列各項：

- 滑動檢討
- 傾覆檢討

### 2. 滑動檢討

圓筒壁體滑動檢討，依本章 6.1.5節[圓筒壁體安定檢討]規定檢討。

### 3. 傾覆檢討

#### (1) 概要

圓筒壁體傾覆安定，須檢討地震時之安定狀況，其須滿足下式：

$$S.F. \leq \frac{M_{ro}}{M_{do}} \quad (6-2.4)$$

式中

S.F.：安全係數

$M_{do}$ ：作用於圓筒壁體之傾覆力矩(t-m/m)

$M_{ro}$ ：圓筒壁體傾覆抵抗力矩(t-m/m)

#### (2) 安全係數

圓筒壁體傾覆安定之安全係數，於常時以大於1.2，於地震時以大於 1.1為準。

#### (3) 傾覆力矩

作用於圓筒壁體之傾覆力矩 $M_{do}$ ，為下列外力於圓筒下端前趾之傾覆力矩。

- 作用於圓筒壁體背後之主動土壓力
- 殘留水壓力
- 作用於圓筒內填料之地震力

#### (4)抵抗力矩

##### ①概要

圓筒壁體傾覆抵抗力矩依下式計算之。

$$M_{ro} = \frac{1}{6} \gamma \cdot H'^3 \cdot R_t \quad (6-2.5)$$

式中

$M_{ro}$ ：圓筒壁體傾覆抵抗力矩(t-m/m)

$\gamma$ ：圓筒內填料之換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$H'$ ：換算壁高(以圓筒內填料重量計算抵抗力矩之假想壁高)(m)

$R_t$ ：傾覆抵抗係數

##### ②內填料換算單位體積重量( $\gamma$ )及換算壁高( $H'$ )

圓筒內填料單位體積重量，位於圓筒內水位以下時，應採用水中單位體積重量，設計時為簡化計算，可將圓筒內填料單位體積重量採用一固定值(例 $\gamma=1.0\text{t/m}^3$ )，並以下式計算換算壁高 $H'$ 。

$$H' = \frac{\gamma_o'}{\gamma} H_w' + \frac{\gamma_o}{\gamma} (H_d' - H_w') \quad (6-2.6)$$

式中

$H_d'$ ：圓筒下端至碼頭面之高度(m)

$H_w'$ ：圓筒下端至圓筒內水位之高度(m)

$\gamma_o'$ ：內填料水中單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_o$ ：圓筒內水位以上內填料之單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$\gamma$ ：內填料之換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

##### ③傾覆抵抗係數 $R_t$

傾覆抵抗係數 $R_t$ ，可依下式計算，或由圖 6-2.2查得。

$$R_t = r_o'^2(3-r_o' \cdot \cos \phi) \sin \phi + 3(\alpha^2 - \beta^2) + 6r_o \cdot \beta$$

式中

(6-2.7)

$$r_o = B/H'$$

$$r_o' = r_o - (\alpha + \beta)$$

$$\alpha = K_a \cdot \tan \delta$$

$$\beta = K_a \cdot \tan \delta + \frac{r_o'}{2} (4 - r_o' \cos \phi) \tan \phi \tan \delta$$

B：圓筒換算壁體寬度(m)，依本章6.2.3節第2小節

[換算壁體寬度定義]計算

H'：圓筒換算壁高(m)

$\delta$ ：內填料之壁面摩擦角(度)，一般採用 $15^\circ$

$K_a$ ：內填料之主動土壓係數

$\gamma$ ：內填料之換算單位體積重量( $t/m^3$ )

$\phi$ ：內填料之內摩擦角(度)

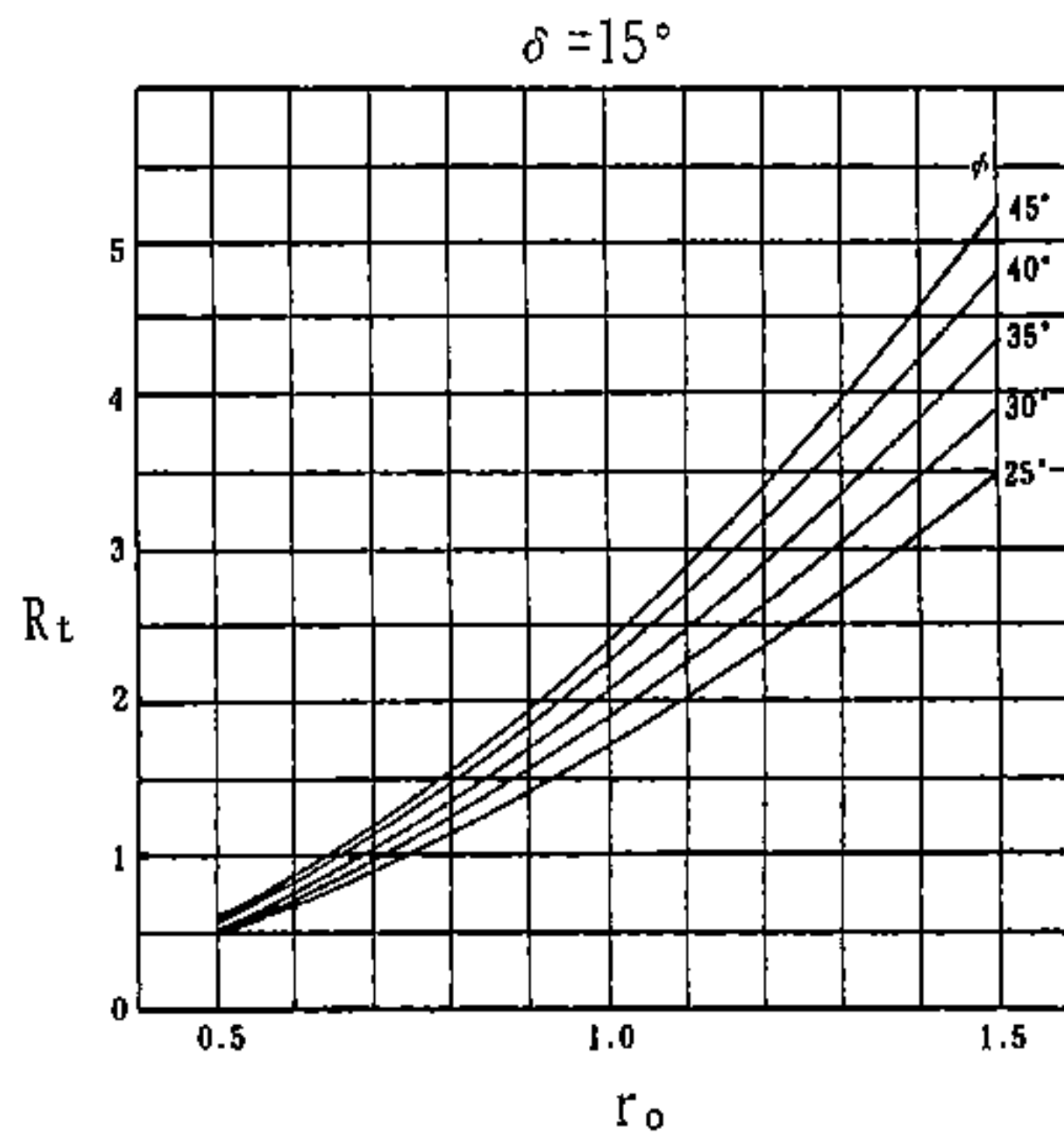


圖 6-2.2 傾覆抵抗係數計算圖

## 6.2.5 鋼板圓筒前趾承載力檢討

### 1. 概要

圓筒前趾反力，應小於海底地盤容許承載力。



## 2. 圓筒前趾最大反力

發生於鋼板圓筒前趾之最大反力，依下式計算之。

$$V_t = \frac{1}{2} \gamma_o \cdot H^2 \cdot \tan^2 \phi \quad (6-2.8)$$

式中

$V_t$ ：鋼板圓筒前趾最大反力(t/m)

$\gamma_o$ ：圓筒內填料之單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$H$ ：鋼板圓筒壁體高度(m)

$\phi$ ：圓筒內填料之內摩擦角(度)

公式 (6-2.8)係將圓筒內填料之土壓係數與壁面摩擦係數之積視為 $\tan^2 \phi$ ，計算作用於圓筒前壁之土壓垂直分力。故內填料不同時，可採用計算土壓相同方式計算之。

鋼板圓筒壁體高度，一般採用自圓筒頂端至下端之高度為準。但如有相當重量之上部結構由基樁支承時，其壁體高度則可由上部結構之下端起算至圓筒下端止。

## 3. 圓筒前趾反力

作用於圓筒之傾覆力矩約等於圓筒壁體傾覆抵抗力矩時，即圓筒壁體傾覆安全係數等於 1.0時，圓筒前趾最大反力約等於公式 (6-2.8)計算所得之值，由於作用於圓筒之傾覆力矩小於圓筒壁體傾覆抵抗力矩，故圓筒前趾反力應較公式 (6-2.8)計算所得之值為小。依據實驗結果，圓筒前趾反力可依下式計算之。

$$V = V_t \frac{M_{do}}{M_{ro}} \quad (6-2.9)$$

式中

$V$ ：傾覆力矩為 $M_{do}$ 時之鋼板圓筒前趾反力(t/m)

$V_t$ ：鋼板圓筒前趾最大反力(t/m)

$M_{do}$ ：作用於圓筒壁體之傾覆力矩(t-m/m)

$M_{ro}$ ：圓筒壁體傾覆抵抗力矩(t-m/m)

#### 4. 地盤容許承载力

地盤容許承载力，依第四篇第二章[淺基礎承载力]規定計算。

### 6.2.6 圓筒鋼板厚度計算

圓筒鋼板厚度，依計算之水平方向拉力，求得鋼板應力應小於材料之容許應力。

作用於圓筒鋼板之水平方向拉力，依下式計算。

$$T = [(\gamma \cdot H_o + W)\tan\phi + \gamma_w \cdot h_w]R \quad (6-2.10)$$

式中

$T$ ：水平方向拉力(t/m)

$\gamma$ ：圓筒內填料之換算單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$H_o$ ：換算壁高(m)，詳公式(6-2.3)

$h_w$ ：圓筒內水位與碼頭前之水位差(m)

$W$ ：上載載重(t/m<sup>2</sup>)

$\phi$ ：內填料之內摩擦角(度)

$\gamma_w$ ：海水單位體積重量(t/m<sup>3</sup>)

$R$ ：圓筒之半徑(m)

鋼板之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。有關鋼材之防蝕，請詳第三篇第二章2.4節[防蝕]。

### 6.2.7 圓筒佈置

置放式鋼板圓筒碼頭之圓筒佈置原則，請參考本章 6.1.6節[圓筒佈置]所述之鋼板樁圓筒式碼頭圓筒佈置原則。

### 6.2.8 細部設計

置放式鋼板圓筒碼頭細部設計，依本章 6.1.9節[細部設計]所述鋼板樁圓筒式碼頭細部設計為準。

## 6.3 埋入式鋼板圓筒碼頭

### 6.3.1 設計原則

本章 6.3節[埋入式鋼板圓筒碼頭]所述設計法，適用於鋼板圓筒壁體埋入砂質地盤中之圓筒式碼頭。

依模型試驗結果，下列埋入式鋼板圓筒，尚存有許多疑點，須另以本節所述之其他設計法檢討。

- 圓筒壁體入土深度小於壁體高度 $1/8$
- 圓筒換算壁體寬度與壁體高度之比值，小於 $0.5$ 或大於 $2.0$
- 粘性土地盤以砂樁改良之地盤

埋入式鋼板圓筒碼頭設計流程，如圖6-3.1所示。

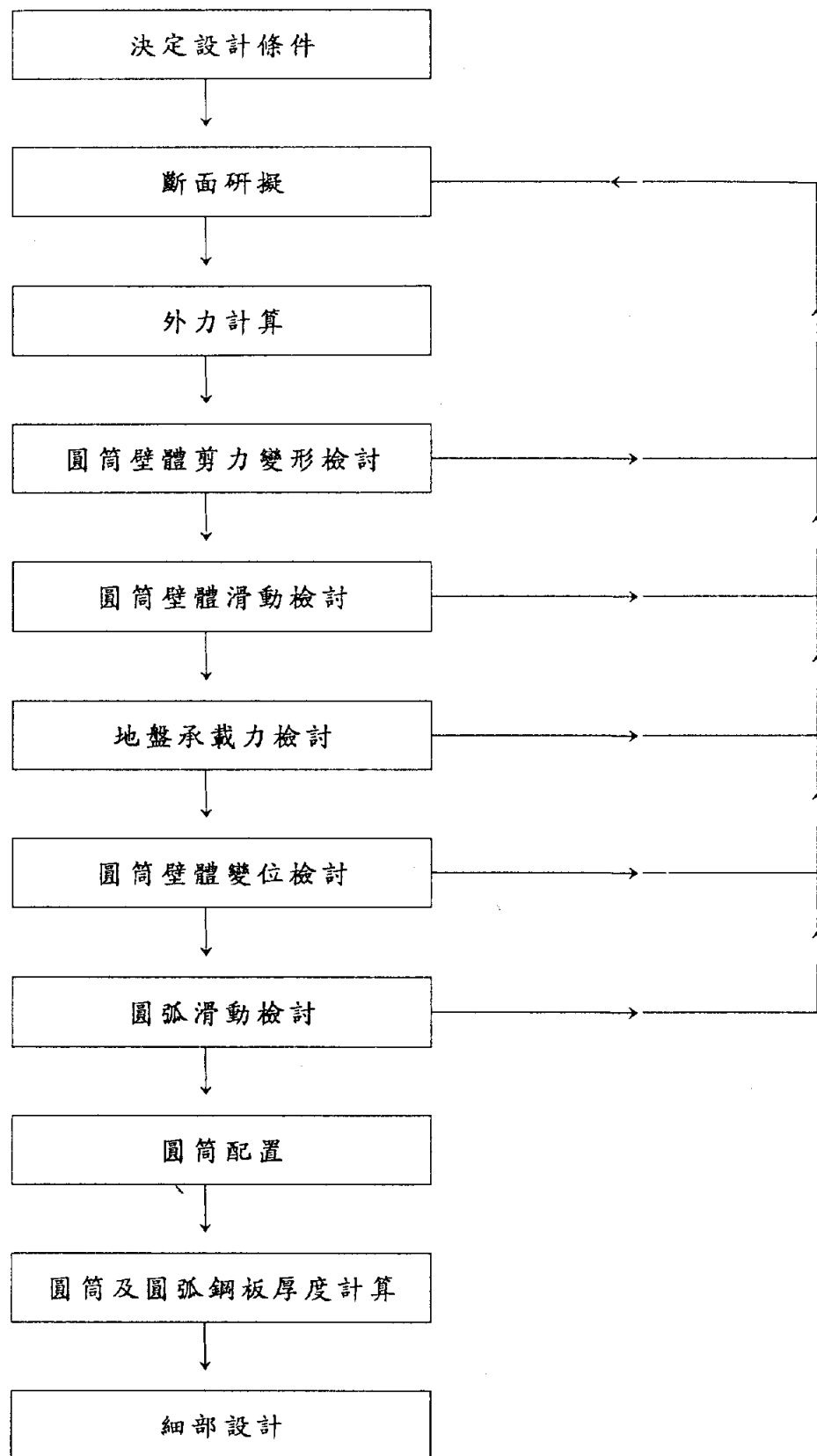


圖 6-3.1 埋入式鋼板圓筒碼頭設計流程

### 6.3.2 作用於鋼板圓筒之外力

作用於鋼板圓筒之外力，原則依本章6.1.2[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

作用於埋入型鋼板圓筒背後海底面下之常時與地震時之土壓力，尚有許多不明之處，依模型試驗之結果，如圖 6-3.2所示，圓筒背後海底面下之土壓可依下式計算。

$$P_{ac} = 0.5[\Sigma(\gamma_i \cdot h_i) + W] \quad (6-3.1)$$

式中

$P_{ac}$ ：作用於圓筒背後海底面下之土壓( $t/m^2$ )

$\gamma_i$ ：第*i*層背填土之單位體積重量( $t/m^3$ )

$h_i$ ：第*i*層背填土之厚度(m)

$W$ ：上載載重( $t/m^2$ )

鋼板圓筒之殘留水位以朔望平均低潮位(L.W.L.)以上至朔望平均高潮位(H.W.L.)潮差之  $2/3$  為標準，由於鋼板圓筒之止水性相當好，於暴雨時，致使鋼板圓筒後之地下水位上昇，形成圓筒前後水位差增大，於設計時須特別注意。

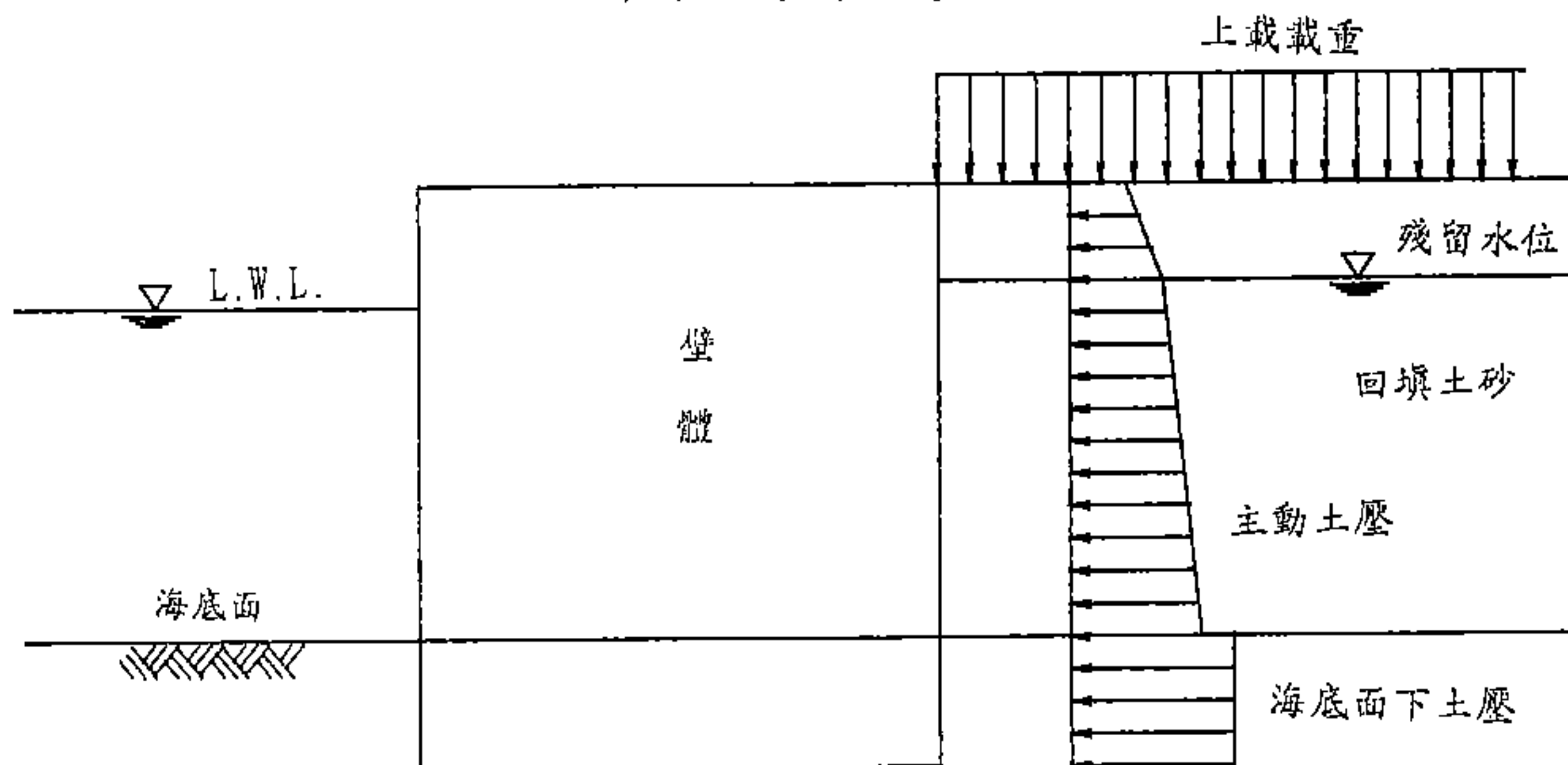


圖 6-3.2 作用於埋入式鋼板圓筒之土壓

### 6.3.3 圓筒壁體剪力變形檢討

圓筒壁體常時之剪力變形檢討，依本章6.2.3節[圓筒壁體剪力變形檢討]規定檢討。

### 6.3.4 圓筒壁體安定檢討

#### 1. 概要

埋入型鋼板圓筒，可視為由彈性地盤支撐之重力式壁體，以求取地盤反力及圓筒變位。為確保圓筒重力式壁體之安定，地盤反力及圓筒變位應小於其容許值。

#### 2. 地盤反力及圓筒變位量計算

##### (1) 概要

埋入型鋼板圓筒入土部份之地盤反力與圓筒壁體變位量，可將作用於圓筒壁體外力，視為由地盤反力及圓筒壁面垂直摩擦抵抗支撐予以計算。

##### (2) 地盤反力

地盤反力於不超出地盤彈性範圍內，其值可視為等於地盤反力係數與變位量之乘積。

##### (3) 地盤反力係數

地盤反力係數包括地盤水平反力係數、垂直於圓筒底面之垂直地盤反力係數及水平剪力強度常數。此些地盤反力係數可依地質調查結果，依下述方法計算之。

##### ① 水平地盤反力係數 $K_h$

水平地盤反力係數，可參考第四篇第四章4.4節[樁之橫向容許承载力]中橫山所提方法，依下式估算之。

$$K_h = 0.2 \cdot N \quad (6-3.2)$$

式中

$K_h$ ：水平地盤反力係數( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$N$ ： $N$ 值

## ②垂直地盤反力係數 $K_v$

圓筒壁體底面之垂直地盤反力係數，可假設其與圓筒底面水平地盤反力係數相同。若地盤係由不同性質之地層組成時，垂直地盤反力係數原則採用圓筒底面地盤之值，但圓筒底面下有極軟弱之地盤時，則應慎重考量其影響。

## ③水平剪力強度常數 $\tau_f$

圓筒底面之水平剪力強度常數，可依下式計算之。

$$\tau_f = \lambda \cdot k_v \quad (6-3.3)$$

式中

$\tau_f$ ：水平剪力強度常數( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$\lambda$ ：水平剪力強度常數與垂直地盤反力係數之比值

$k_v$ ：垂直地盤反力係數( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

依以往之研究， $\lambda$ 值約為  $1/2 \sim 1/5$ ，對埋入型鋼板圓筒而言， $\lambda$ 值可採用  $1/3$ 。

## (4)外力分佈

埋入型鋼板圓筒，其作用外力、地盤反力及壁面摩擦抵抗等分佈如圖6-3.3所示。

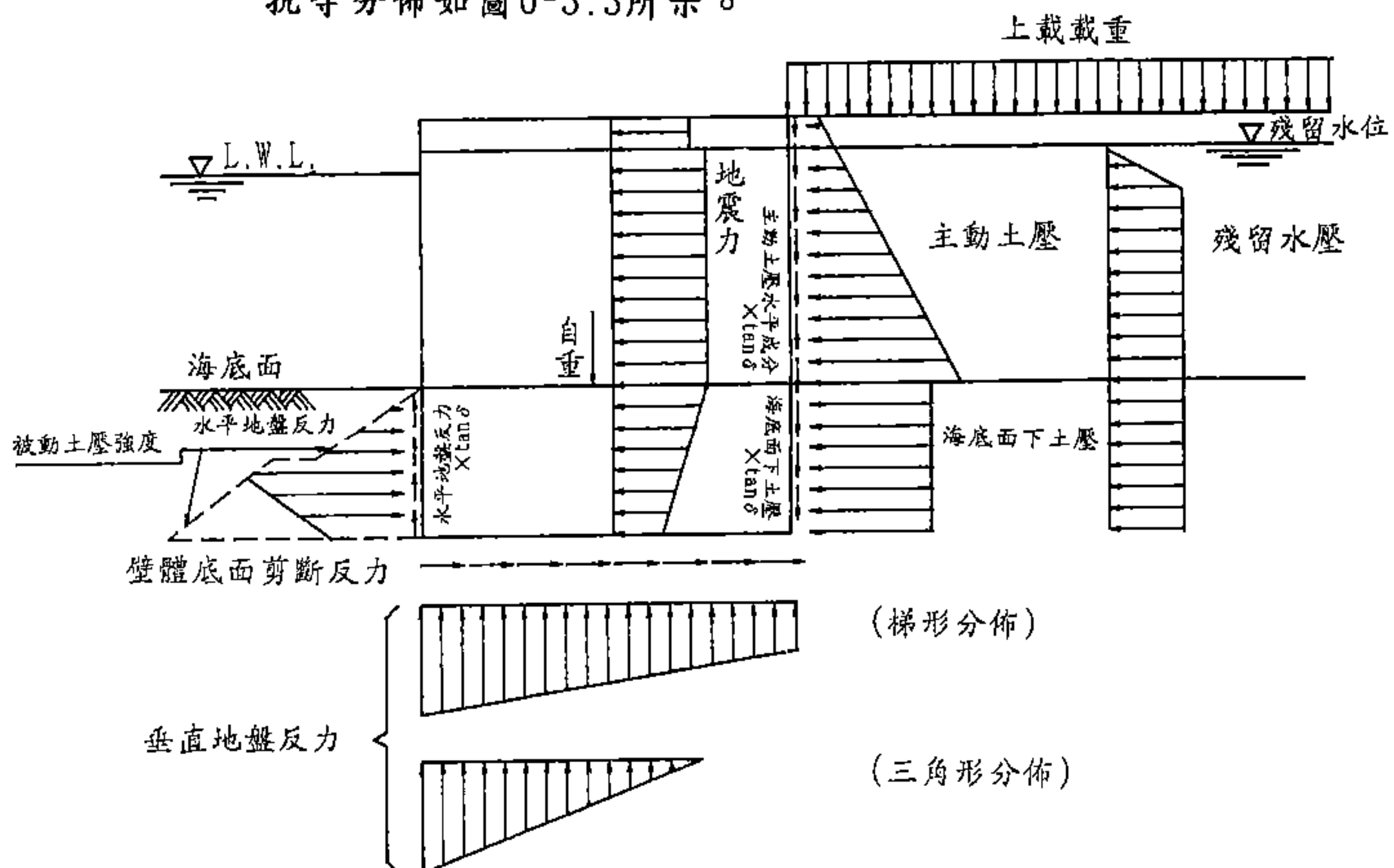


圖 6-3.3 作用於埋入式鋼板圓筒之外力分佈

### ① 水平地盤反力

水平地盤反力 = 水平地盤反力係數 · 壁體變位量

水平地盤反力須考慮地盤之塑性，其值不大於被動土壓，計算被動土壓時，壁面摩擦角採用  $-15^\circ$ 。圖 6-3.4 示水平地盤反力已達被動土壓強度時之地盤反力分佈。

### ② 垂直地盤反力

垂直地盤反力 = 垂直地盤反力係數 · 壁體變位量

圓筒底面垂直地盤反力為梯形或三角形分佈。

### ③ 壁面垂直摩擦抵抗力

壁面垂直摩擦抵抗力

= 水平土壓力或水平地盤反力 ·  $\tan \delta$

圓筒壁面垂直摩擦抵抗力，如圖 6-3.3 所示，於海底面上為水平土壓力與  $\tan \delta$  之乘積，於海底面下為水平地盤反力與  $\tan \delta$  之乘積。 $\delta$  為壁面摩擦角。

### ④ 壁體底面剪斷反力

壁體底面剪斷反力 = 水平剪力強度常數 · 壁體變位量

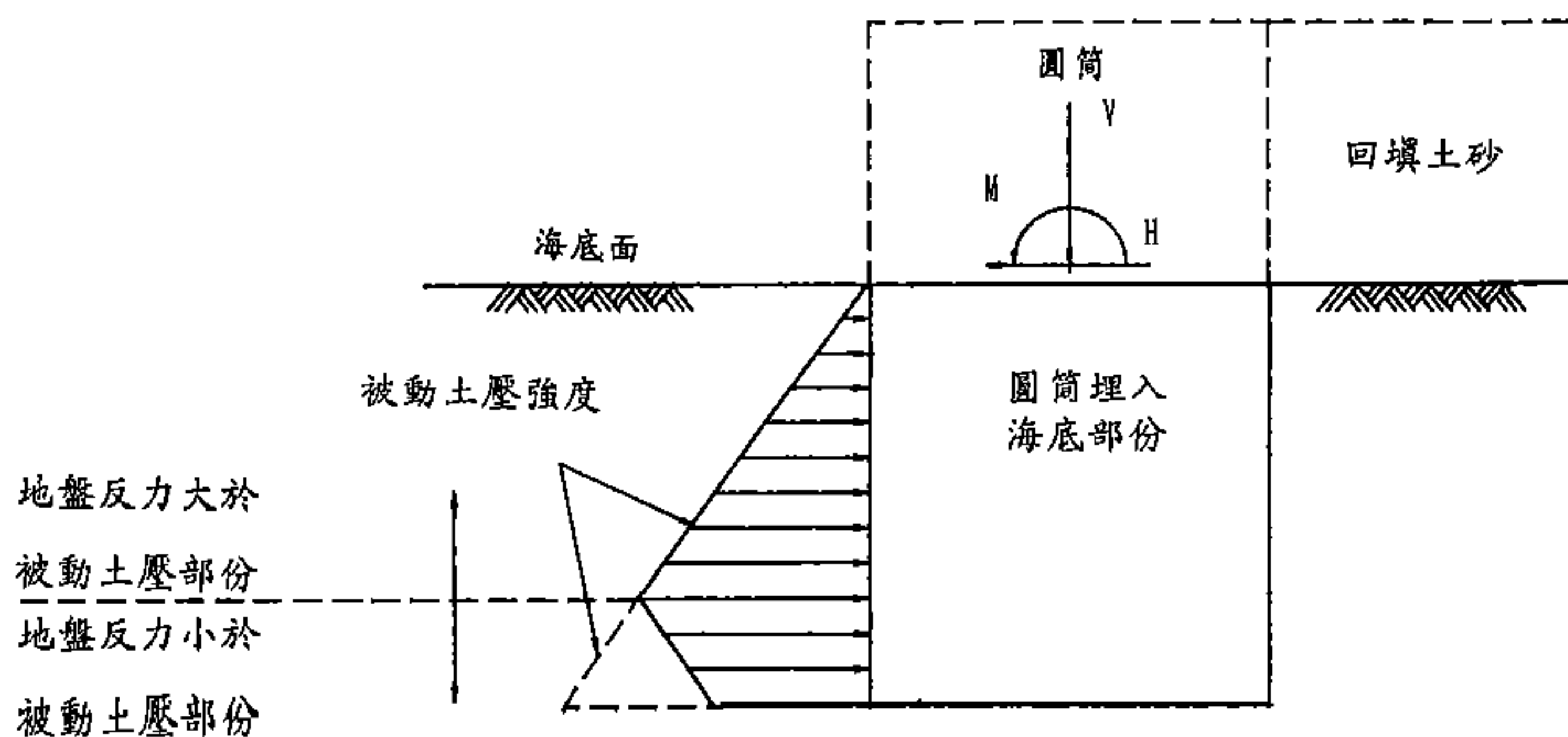


圖 6-3.4 水平地盤反力分佈例



### (5)圓筒變位量

如圖6-3.5所示，圓筒受外力作用時，以O點為旋轉中心旋轉。若旋轉中心O點位於圓筒內時，通過旋轉中心O點水平面下之圓筒後側壁面將產生水平地盤反力。

如圖 6-3.3所示，埋入型鋼板圓筒變位量，可將作用於圓筒壁體外力 ( $H$ 、 $V$ 、 $M$ )，視為由水平地盤反力、圓筒壁體底面垂直地盤反力、圓筒壁體壁面垂直摩擦抵抗力，及壁體底面剪斷反力支撐予以計算之。

作用於圓筒壁體外力，應考慮下列各項：

$H$ ：水平力，包含土壓力及殘留水壓力

$V$ ：垂直力，為圓筒壁體壁自重

$M$ ：水平力與垂直力合力，對圓筒壁體於海底面中心點之力矩。

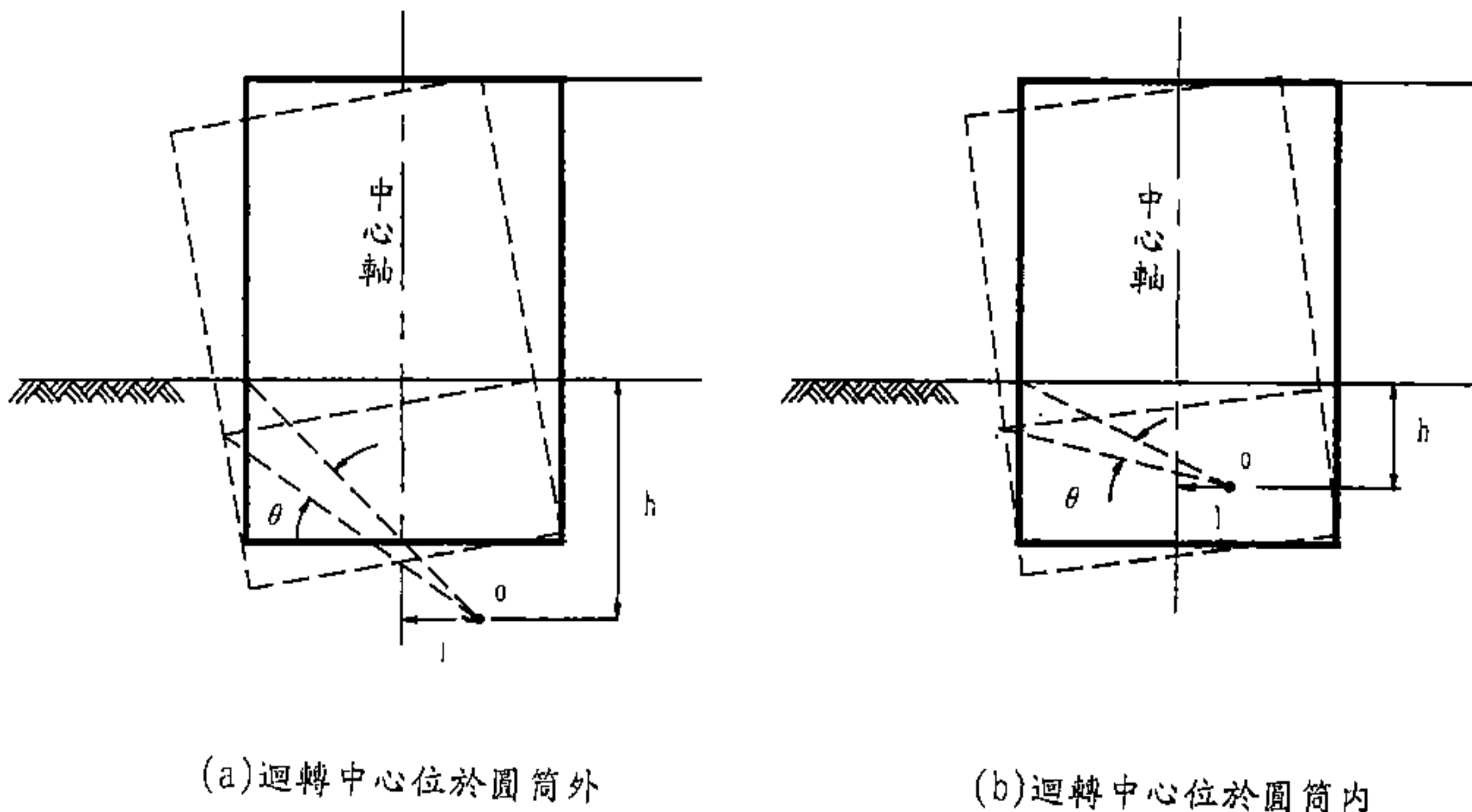


圖 6-3.5 埋入式鋼板圓筒變位示意圖

### 3.圓筒壁體滑動檢討

為確保埋入式鋼板圓筒滑動安定，圓筒壁體底面剪斷反力應小於地盤之容許剪斷抵抗力。

地盤容許剪斷抵抗力，依下式計算。

$$Q_a = \frac{1}{F} (W + P_v) \tan \phi \quad (6-3.4)$$

式中

$Q_a$ ：容許剪斷抵抗力(t/m)

$W$ ：圓筒壁體重量(t/m)

$P_v$ ：作用於圓筒前壁與後壁土壓力之垂直分力(t/m)

$\phi$ ：壁體底面土壤內摩擦角(度)

$F$ ：安全係數，常時以大於1.2，地震時以大於1.0為準。

#### 4. 地盤承载力檢討

圓筒底面之垂直地盤反力，應小於海底地盤容許承载力。

海底地盤容許承载力，依第四篇第二章[淺基礎承载力]相關規定計算。

#### 5. 圓筒頂端變位檢討

鋼板圓筒頂端之水平變位量，以不超過容許變位量為原則。

○圓筒頂端容許變位量，以不影響碼頭使用為原則。

### 6.3.5 圓弧滑動檢討

海底地盤與圓筒背後土壤之內摩擦角大於 $30^\circ$ 時，可不檢討圓弧滑動。圓弧滑動面以不通過圓筒為原則。

### 6.3.6 圓筒佈置

埋入式鋼板圓筒碼頭之圓筒佈置原則，請參考本章 6.1.6節[圓筒佈置]所述之鋼板樁圓筒式碼頭圓筒佈置原則。

### 6.3.7 圓筒及圓弧鋼板厚度計算

圓筒及圓弧鋼板厚度，依本章 6.2.6節[圓筒鋼板厚度計算]計算之水平方向拉力，求得鋼板應力應小於材料之容許應力。

於計算圓筒最大水平方向拉力時，圓筒內填料土壓係數採用  $\tan \phi$ ，由於內填料壓密時會使內摩擦角增大，故作用於圓筒之最大水平方向拉力亦增大，因此內填料若採用碎石等內摩擦角大之材料時，內填料土壓係數採用同本章 6.1.7 節 [板樁拉力計算] 之 0.6 即可。

依模型試驗及現場實測結果，若圓筒中心間距與圓筒直徑比值小於 1.5 時，圓弧部份之內填料土壓係數小於 1/2 圓筒內填料土壓係數，故圓弧部份之內填料土壓係數可採用  $0.5 \tan \phi$ 。

鋼板之容許應力，請詳第三篇 [工程材料] 中相關規定。有關鋼材之防蝕，請詳第三篇第二章 2.4 節 [防蝕]。

圓筒及圓弧鋼板最小厚度，尚須檢討製作、施工、維護管理等。鋼板圓筒打設所須之最小鋼板厚度，可依下式計算。

$$t \geq 0.322 \sqrt{\frac{R \cdot N \cdot D'}{E}} \quad (6-3.5)$$

式中

$t$ ：圓筒鋼板之最小厚度 (cm)

$E$ ：鋼料之楊氏係數 ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$R$ ：圓筒半徑 (cm)

$N$ ：圓筒打設地盤之平均  $N$  值

$D'$ ：鋼板圓筒打設深度 (cm)

### 6.3.8 接頭部份與補強構件

圓筒與圓弧接頭，應能承受作用於圓筒本身及圓弧之最大拉力，並應考慮圓弧之施工及防止圓弧背填土之流失。圓筒與圓弧接頭結構斷面示意如圖 6-3.6。

為確保圓筒與圓弧接頭，能承受製作及施工時之應力，一般須於圓筒與圓弧之接頭加裝垂直、水平及上、下兩端之補強構件等。

### 6.3.9 細部設計

埋入式鋼板圓筒碼頭細部設計，依本章 6.2.9 節[細部設計]  
所述鋼板樁圓筒式碼頭細部設計為準。

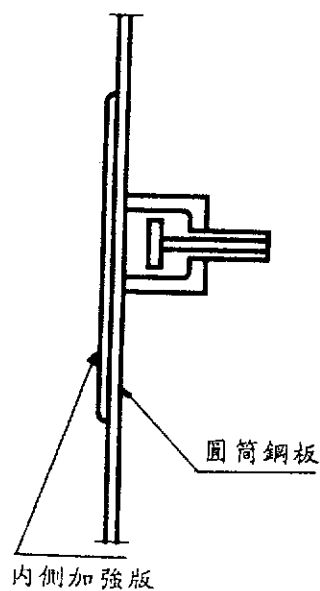


圖 6-3.6 圓筒與圓弧接頭結構斷面示意

## 第七章 棧橋式碼頭

## 第七章 棧橋式碼頭

### 7.1 概要

棧橋式碼頭結構須能承受自重及使用年限內之各種外力，使其不致遭受結構系統破壞(Structural Collapse)，於設計上，一般可經由結構靜態分析(地震力可採用震度法設計)得到各桿件之應力，但對特別重要結構物(例如位於強震地區，且／或結構物損壞後會造成重大危害)，則應進行地震動態分析。

#### 7.1.1 靜態分析

棧橋式碼頭結構靜態分析，可依下述過程採電腦分析，或依本章7.2節[直樁棧橋式碼頭]及7.3節[斜樁棧橋式碼頭]所述方法進行分析。

1. 依據本章7.2節[直樁棧橋式碼頭]及7.3節[斜樁棧橋式碼頭]所述方法(結構分析方法除外)，決定碼頭基本斷面。
2. 依據經驗先行假設碼頭結構各桿件之斷面。
3. 利用各種資料(如材料之楊氏係數、波森比、單位重、地質資料、施工程序…等)，建立碼頭結構適當之有限元素分析模式。
4. 利用各種外力之特性決定最重要之數種外力組合。
5. 依據過程2、3、4之假設，利用電腦程式進行三度空間構架分析，並檢核過程2之斷面假設是否適當。必要時應重新假設斷面，依上述過程再次進行分析及檢核。
6. 根據過程5之三度空間構架分析結果，設計各桿件斷面。

### 7.1.2 動態分析

對碼頭結構而言，地震力主要作用於水平方向，故常以斜樁來承受水平力及增加結構水平方向之剛度，如此可減小樁之斷面，然而斜樁之存在將使水平地震力增加，並且使結構整體之展性(Ductility)減小，故碼頭結構是否使用斜樁，須依據碼頭基地土壤之特性，以及該地區地震危害度分析(Risk Analysis)結果決定。

目前結構承受地震力之設計理念(Design Philosophy)為結構承受當地 50年迴歸期地震強度(Intensity)時，整個結構系統必須在彈性範圍內。若承受最少 200年迴歸期之地震強度時，結構系統之完整性必須得以維持，但容許部份桿件之應變進入塑性範圍。

棧橋式碼頭結構動態分析，可依下述過程採電腦分析。

1. 依據地震危害度分析，決定 200年及50年迴歸期之地震強度。
2. 依據碼頭基地之土壤特性，及參考API、ATC等規範，決定適合之設計用反應譜(Design Response Spectrum)。
3. 利用反應譜一致性之方法(Spectrum Compatible Technique)，選擇或製作設計用地震記錄(Design Earthquakes)。
4. 將上述設計用地震記錄之強度調整至50年迴歸期之強度，並以此為結構模式(靜態分析過程3.所建立之有限元素分析模式)之輸入地震(Input Earthquakes)，進行動力分析，並將動力分析結果與靜態分析結果結合，作為設計之依據。
5. 將過程3.設計用地震記錄之強度調整至 200年迴歸期之強度，並以簡化之結構模式，進行非線性動力分析，以檢核此碼頭結構在此強震作用下，是否仍能維持其整體性。

## 7.2 直樁棧橋式碼頭

### 7.2.1 設計原則

本章 7.2 節[直樁棧橋式碼頭]所述設計法，適用於僅具直樁之棧橋式碼頭。

直樁棧橋式碼頭耐震設計，可採震度法設計，但對特別重要結構物，宜進行地震動態分析。

直樁棧橋式碼頭設計流程，如圖 7-2.1 所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.4(a)。

### 7.2.2 棧橋單元大小及基樁配置

#### 1. 概要

棧橋單元大小、基樁間距及各樁排間隔，應考量下列各項條件後決定之。

- 碼頭岸肩寬度
- 通棧位置
- 海底之安定性，特別是斜坡之安定
- 既有護岸
- 混凝土澆鑄等施工能力
- 裝載載重及活載重大小，及裝卸設備尺寸

#### 2. 棧橋單元大小

棧橋各單元愈長，愈能承受船舶衝擊力、船舶拉力等外力之作用，但相對的將使不均勻沉陷之影響增大。

棧橋單元大小，亦應考量混凝土澆鑄等施工能力，以一般大型碼頭為例，可採用每單元長度為 30m 左右。

如既有護岸位於水深較淺處或因海底地盤軟弱，須採較緩斜坡而使岸肩寬度較寬時，亦可在碼頭法線垂直方向分單元，以避免陸側之基樁於地震力作用時，產生水平力集中現象，以降低工程費。



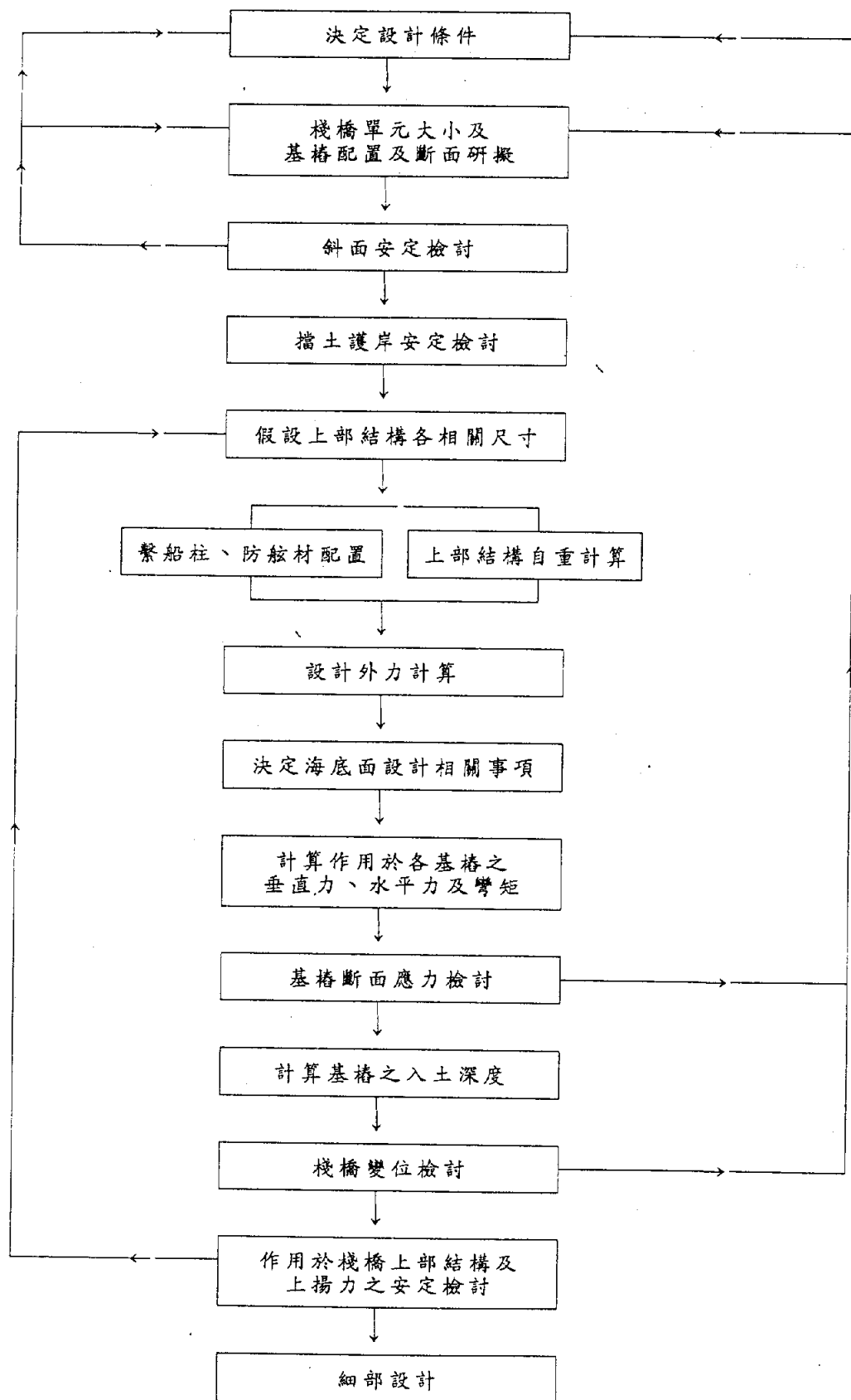


圖 7-2.1 直樁棧橋式碼頭設計流程

### 3. 基樁配置

基樁間距及各樁排間隔，按載重之分佈情況及基樁與上部結構之斷面分析工程費用，並檢討施工可行性後決定之。規劃有軌道式起重機或卸載機之碼頭，基樁配置應考量起重機軌道間距及載重條件。

碼頭上部結構如為場鑄鋼筋混凝土時，考量模板支撐料之經濟性，樁之間距以採用4~6m左右為宜。

以一般大型碼頭為例，如碼頭規劃有起重機時，採用基樁間距約為5m，碼頭垂直方向之樁排為3~4排，配合碼頭寬度及軌距配置。

### 7.2.3 上部結構相關尺寸

棧橋式碼頭上部結構相關尺寸，應考慮下列各事項後決定之。

- 基樁間距、樁排間隔及樁之形狀、尺寸
- 裝載載重及活載重
- 潮位
- 模板及支撐等施工條件
- 地質條件
- 繫船柱配置
- 防舷材配置、尺寸及型式

### 7.2.4 繫船柱及防舷材配置

繫船柱及防舷材之配置，應儘可能減小經由繫船柱及防舷材傳達之外力，以偏心外力作用於棧橋之單元。

### 7.2.5 作用於棧橋之外力

#### 1. 概要

作用於棧橋主體之外力與載重，應考慮下列各項。其中地震力、風力及船舶拉力，可視為異常載重。

### (1)垂直力

- 上部結構自重(包含各基樁自重)
- 裝載載重
- 活載重：列車載重、汽車載重、裝卸機械載重、群眾載重等
- 船舶拉力
- 上揚力

### (2)水平力

- 作用於上部結構之地震力(包含作用於基樁自重之地震力)
- 作用於裝載載重之地震力
- 作用於活載重之地震力
- 作用於活載重之風力
- 船舶衝擊力及拉力
- 後線擋土設施所傳達之水平力

## 2.上部結構自重

上部結構自重，依本章 7.2.3節[上部結構相關尺寸]所決定之上部結構尺寸，計算各材料體積，並依第二篇第十二章第 12.2節[自重]規定計算上部結構自重。

上部結構自重包含各基樁之自重；作用於上部結構之地震力，包含作用於各基樁自重之地震力。

設計直樁棧橋式碼頭，鋼筋混凝土上部結構自重，初步設計時可採用 $1.7\sim 2.0\text{t/m}^2$ 。對特殊棧橋而言，如基樁間距較一般值為大時、碼頭上設置有大型裝卸機具時、棧橋之海側或陸側基樁以連續鋼管兼作為擋土用時…等，不宜採用上述近似值。細部設計時應以實際斷面計算自重。

## 3.裝載載重

作用於碼頭面之裝載載重，依第二篇第十二章[載重]規定計算。

#### 4. 活載重

作用於碼頭面之活載重，依第二篇第十二章[載重]規定計算。

裝載載重與活載重混存於同一碼頭面時，應考量此碼頭之利用型態，決定裝載載重與活載重之分佈。如碼頭法線垂直方向寬度較寬時，如圖 7-2.2 所示，可視為有一或二輛卡車之活載重，在其外側則視為裝載載重作用。

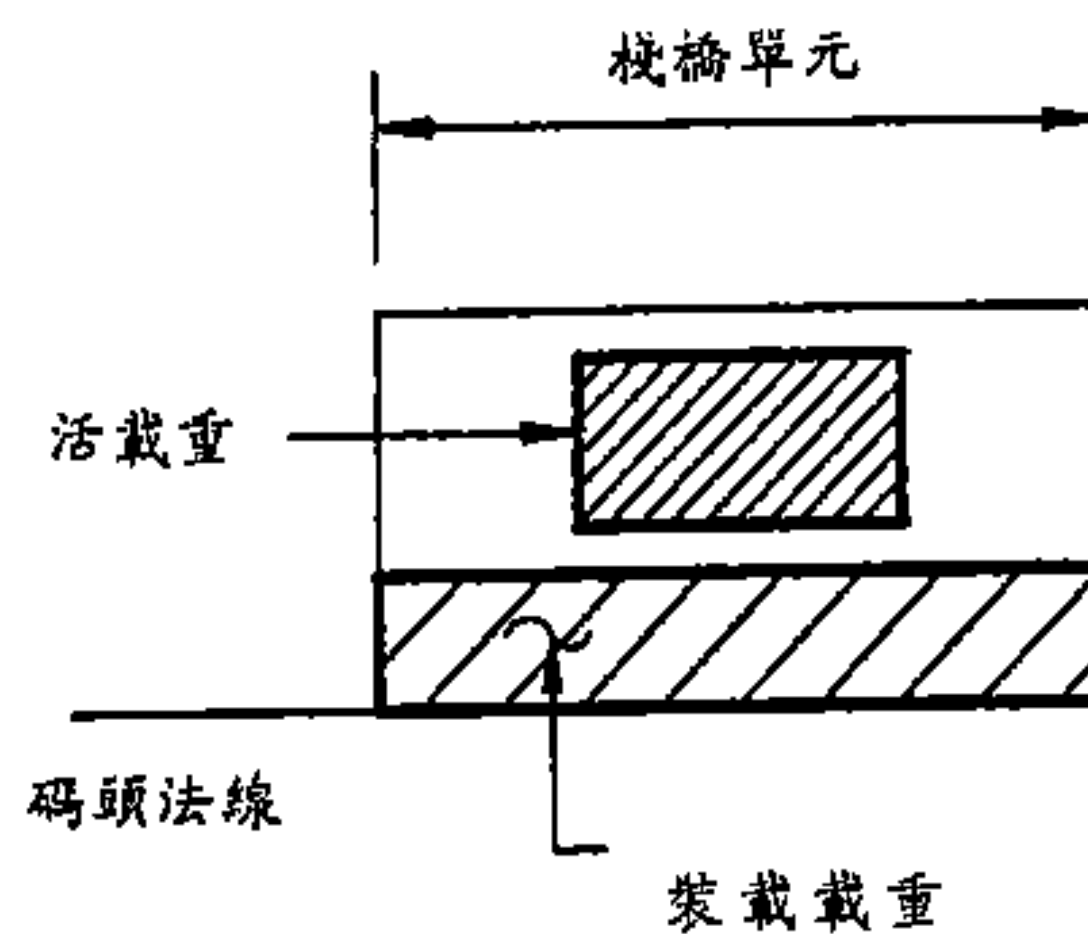


圖 7-2.2 裝載載重與活載重分佈示意圖

#### 5. 船舶拉力

船舶作用於繫船柱之拉力依第二篇第二章2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

#### 6. 船舶衝擊力

船舶衝擊力依第二篇第二章 2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

以一每單元長度 20~30m之棧橋為例，其一般配置二座防舷材，其間隔約為8~13m，檢討各種船型之靠岸狀況，原則上以一個防舷材將靠岸能量加以吸收，但若防舷材在法線上為連續配置時，則不在此限。

由於棧橋本身吸收之能量有限，故一般不予考慮。

#### 7. 風力

作用於起重機等之風力，依第二篇第二章[風及風力]規定計算。

## 8. 地震力

地震力依第二篇第九章[地震及地震力]規定計算。

作用於上部結構之地震力，包含作用於各基樁自重之地震力。

作用於裝載載重之地震力，其水平力作用點可視為作用於碼頭面，但重心特別高之貨物，其水平力作用點應為貨物之重心高度。

作用於碼頭法線方向之地震力，須予考慮。除自重及固定之活載重外，可不必要計算地震力。

## 9. 上揚力

作用於棧橋上部結構及連接版之上揚力，無法以公式或圖表計算，於設計時可參考相關實驗資料，或同一港口類似結構之現況，或以結構方法減小上揚力等考量作用於棧橋上部結構及連接版之上揚力。

## 7.2.6 海底面設計相關事項

### 1. 概要

棧橋式碼頭重力式擋土結構物，應興建於結構物前斜坡安定面之後。

基樁之假想地表面，原則上可簡單假設為各基樁位置水深與碼頭設計水深之平均值。

### 2. 斜面坡度

棧橋式碼頭擋土結構物前之斜坡，如以沙或塊石構築時，斜面於地震時之安定角度可依下式計算，如圖 7-2.3 所示，重力式擋土結構物應興建於該安定面之後。

$$\alpha = \phi - \varepsilon \quad (7-2.1)$$

式中  $\alpha$ ：斜坡與水平面所形成之角度(度)

$\phi$ ：構成斜坡主要材料之內摩擦角(度)

$\varepsilon$ ： $\varepsilon = \tan^{-1} K'$

$K'$ ：換算震度，詳第二篇第九章9.4節[換算震度]

棧橋式碼頭擋土結構物前斜坡，若為軟弱之粘土所構成時，須進行圓弧滑動檢討，以決定斜面之安定坡度。

實際設計之斜面坡度，通常較公式 (7-2.1) 所計算之斜面安定角  $\alpha$  為陡。為防止因沖刷及局部崩塌而影響重力式擋土結構物之安定，故擋土結構物應設置於公式 (7-2.1) 所計算之安定斜面之後。

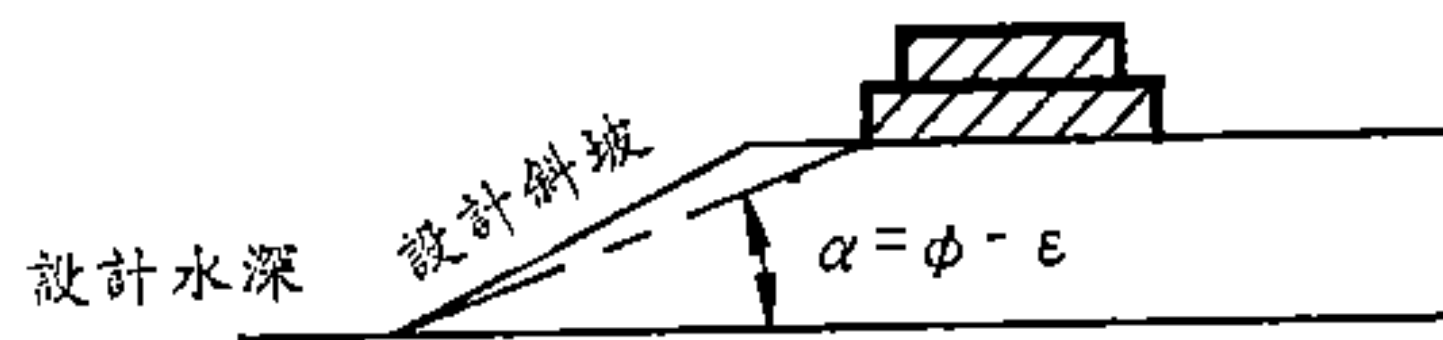


圖 7-2.3 碼頭後線重力式擋土結構物位置示意圖

### 3. 假想地表面

若斜坡相當陡，於計算基樁之橫向抵抗及承载力時，各基樁之假想地表面，如圖 7-2.4 所示，可簡單假設為各基樁位置水深與碼頭設計水深之平均值。

若棧橋法線垂直方向寬度超過 20m 以上，且海底斜坡非常長時，上述方法則不適用，此時應以彈性支承分析。

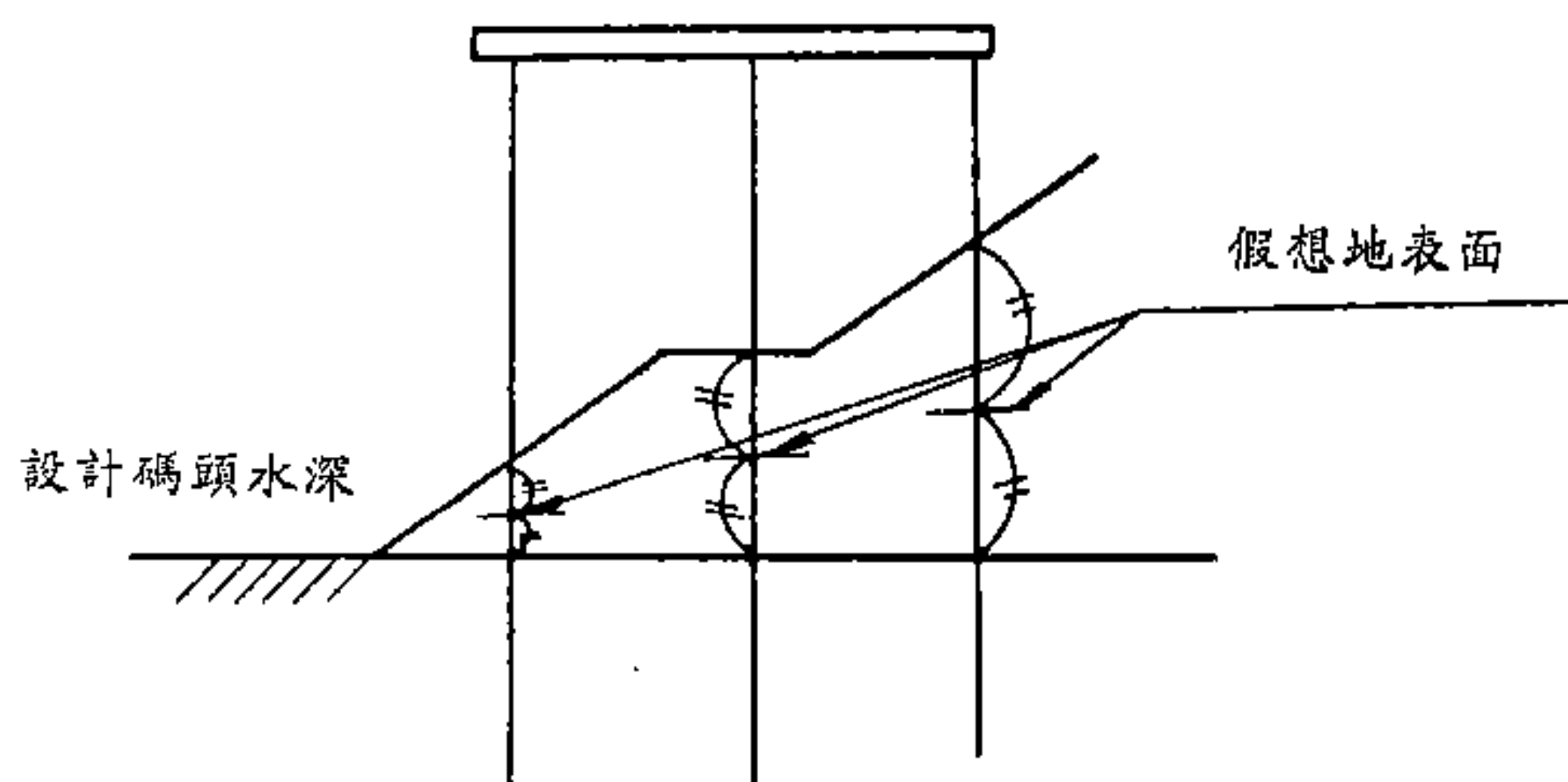


圖 7-2.4 假想地表面示意圖

## 7.2.7 基樁設計

### 1. 概要

棧橋由樁與上部結構所構成，樁與上部結構之連接可視為剛性，可假設各樁於海底某處為固定點，依剛性構架設計之。

### 2. 水平地盤反力係數

計算棧橋基樁之橫向抵抗時，土壤水平地盤反力係數 $K_h$ ，應以橫向載重試驗求得為原則。於設計階段，如無試驗值，可依下式估算。

$$K_h = 0.15N \quad (7-2.2)$$

式中

$K_h$ ：水平地盤反力係數( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$N$ ：基樁假想固定點附近土壤之 $N$ 值，基樁假想固定點詳下小節所述。

### 3. 假想固定點

棧橋視為剛性構架進行分析時，直樁於海底面下之假想固定點，可假設位於假想地表面下 $1/\beta$ 處。 $\beta$ 值依下式計算之。

$$\beta(\text{cm}^{-1}) = \left( \frac{K_h \cdot D}{4EI} \right)^{1/4} \quad (7-2.3)$$

式中

$K_h$ ：水平地盤反力係數( $\text{Kg}/\text{cm}^3$ )

$D$ ：基樁之直徑或寬度( $\text{cm}$ )

$EI$ ：基樁之撓曲剛度( $\text{Kg}\cdot\text{cm}^2$ )

### 4. 各基樁之作用力

#### (1) 概要

因受船舶衝擊力所引起之水平偏心載重，或因作用於法線方向之地震力，棧橋之單元可能產生迴轉，當棧橋單元之迴轉受鄰接單元之限制時，其迴轉量將較不受鄰接單元限制時為小，鄰接單元之影響程度隨單元連接之結構而有所不同

，於設計時應否考量鄰接單元之影響，應視水平偏心載重之大小、棧橋單元之結構等因素而定。下述各基樁之作用力，係不考量鄰接單元影響之近似解。細部設計時，宜以有限元素法予以分析。

## (2) 水平力

①無須考慮棧橋單元之迴轉時，分配作用於各基樁之水平力，可依下式計算。

$$H_i = \frac{K_{si}}{\sum_i K_{si}} H \quad (7-2.4)$$

式中

$H_i$ ：分配至編號*i*基樁之水平力(t)

$H$ ：作用於棧橋單元之水平力(t)

$K_{si}$ ：編號*i*基樁之橫向剛性係數(t/m)

$$K_{si} = \frac{12EI_i}{L_i^3}$$

$EI_i$ ：編號*i*基樁之撓曲剛度(t-m<sup>2</sup>)

$L_i$ ：編號*i*基樁樁頭至假想固定點之長度(m)

②須考慮棧橋單元之迴轉時

如圖 7-2.5所示，如水平力之作用方向與棧橋單元對稱軸成平行，則分配作用於各基樁之水平力，可依下式計算。

$$H_i = \frac{K_{si}}{\sum_i K_{si}} H + \frac{K_{si} \cdot X_i}{\sum_i (K_{si} \cdot X_i^2)} e \cdot H \quad (7-2.5)$$

式中

$H_i$ ：分配至編號*i*基樁之水平力(t)

$H$ ：作用於棧橋單元之水平力(t)

$X_i$ ：棧橋單元對稱軸至編號*i*基樁之距離(m)



$e$ ：棧橋單元對稱軸與水平力作用線之距離(m)

$K_{si}$ ：編號*i*基樁之橫向剛性係數(t/m)

$$K_{si} = \frac{12EI_i}{L_i^3}$$

$EI_i$ ：編號*i*基樁之撓曲剛度(t-m<sup>2</sup>)

$L_i$ ：編號*i*基樁樁頭至假想固定點之長度(m)

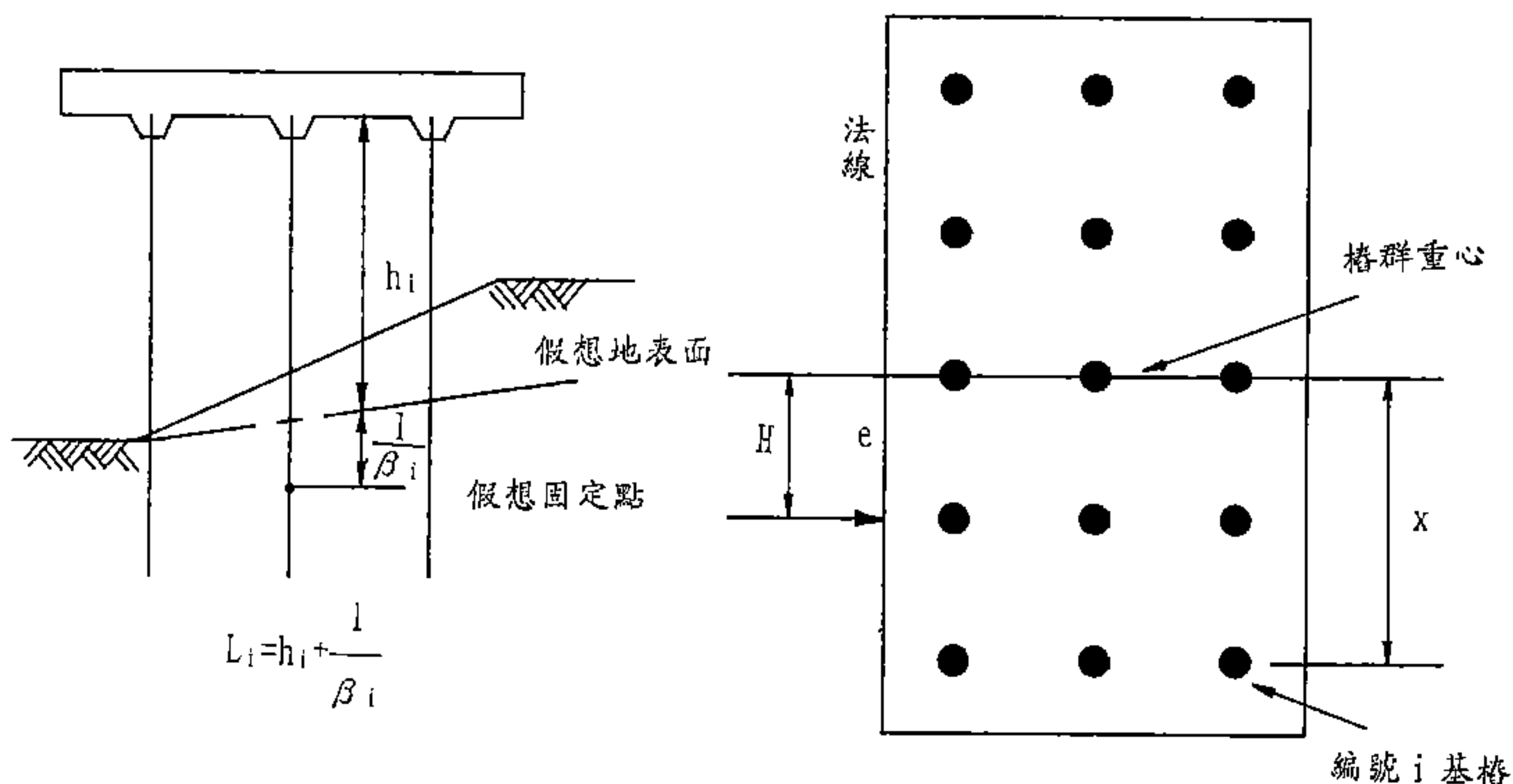


圖 7-2.5 棧橋基樁配置及水平力作用點示意圖

### (3) 變位量

棧橋及基樁變位量，可依下列公式計算。

#### ① 棧橋整體之水平變位量 $\Delta$

$$\Delta = \frac{H}{\sum_i K_{si}} \quad (7-2.6)$$

#### ② 棧橋之迴轉量 $\alpha$

$$\alpha = \frac{e \cdot H}{\sum_i (K_{si} \cdot X_i^2)} \quad (7-2.7)$$

③ 編號*i*基樁樁頭變位量 $\Delta_i$

$$\Delta_i = \frac{H}{\sum_i K_{si}} + \frac{X_i}{\sum_i (K_{si} \cdot X_i^2)} e \cdot H \quad (7-2.8)$$

$$= \Delta + \alpha \cdot X_i$$

(4) 基樁彎矩

基樁樁頭彎矩，可依下列公式計算。

$$M_i = 0.5 \cdot L_i \cdot H_i \quad (7-2.9)$$

式中

$M_i$ ：編號*i*基樁樁頭彎矩(t-m)

$L_i$ ：編號*i*基樁樁頭至假想固定點之長度(m)

$H_i$ ：分配至編號*i*基樁之水平力(t)

(5) 基樁軸力

基樁軸力，可依下列公式計算。

$$P_i = hP_i + vP_i \quad (7-2.10)$$

式中

$P_i$ ：編號*i*基樁之基樁軸力(t)

$hP_i$ ：編號*i*基樁由水平力所致之基樁軸力(t)

$vP_i$ ：編號*i*基樁由垂直載重所致之基樁軸力(t)

編號*i*基樁由水平力所致之基樁軸力( $hP_i$ )，可依下式計算之。

$$hP_i = S_{i \cdot i-1} + S_{i \cdot i+1} \quad (7-2.11)$$

$$= \frac{M_{i-1 \cdot i} + M_{i \cdot i-1} - M_{i \cdot i+1} - M_{i+1 \cdot i}}{b}$$

式中

$S_{i \cdot i-1}$ ：編號*i*基樁樁頭於編號*i-1*基樁側之梁，  
由水平力所致之剪力(t)

$S_{i \cdot i+1}$ ：編號*i*基樁樁頭於編號*i+1*基樁側之梁，  
由水平力所致之剪力(t)

$M_{i-1 \cdot i}$ ：編號*i-1*基樁樁頭於編號*i*基樁側之梁，  
由水平力所致之彎矩(t-m)

$M_{i \cdot i-1}$ ：編號*i*基樁樁頭於編號*i-1*基樁側之梁，  
由水平力所致之彎矩(t-m)

$M_{i \cdot i+1}$ ：編號*i*基樁樁頭於編號*i+1*基樁側之梁，  
由水平力所致之彎矩(t-m)

$M_{i+1 \cdot i}$ ：編號*i+1*基樁樁頭於編號*i*基樁側之梁，  
由水平力所致之彎矩(t-m)

*b*：梁之跨度，樁之間距

基樁樁頭之彎矩分佈，如圖7-2.6所示，假設編號*i*基樁樁頭之彎矩為 $M_i$ ，則 $M_{i \cdot i-1}$ 及 $M_{i \cdot i+1}$ 依下列原則計算：

①編號*i*基樁位於中間支承點，依下列公式計算之。

$$M_{i \cdot i-1} = a \cdot M_i \quad (7-2.12)$$

$$M_{i \cdot i+1} = b \cdot M_i$$

式中

二跨徑時， $a=0.6$ ， $b=0.6$

三跨徑時，在第二支基樁樁頭  $a=0.5$ ， $b=0.7$

在第三支基樁樁頭  $a=0.7$ ， $b=0.5$

②如編號*i*基樁位於兩端支承點，則採用該樁樁頭彎矩 $M_i$ 。

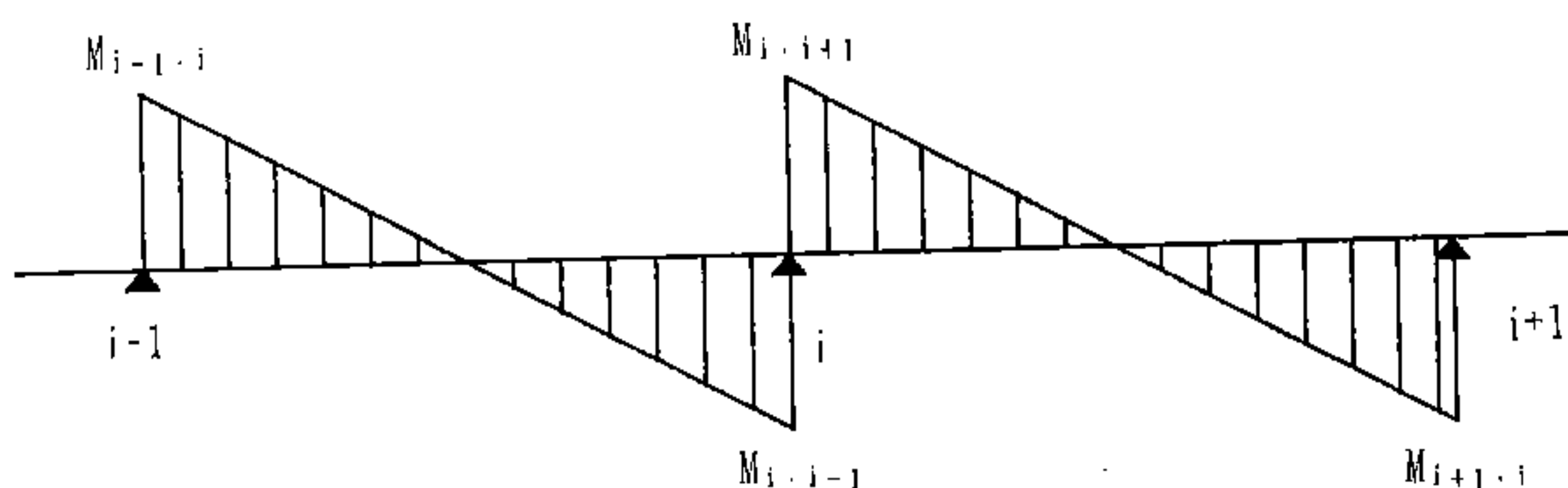


圖 7-2.6 基樁樁頭彎矩分佈示意圖

## 5. 基樁應力

### (1) 概要

棧橋基樁之斷面應力，可視為僅承受軸向力及彎矩，依下列公式計算之。

$$\sigma = \sigma_c \pm \sigma_{bc} \quad (7-2.13)$$

$$\sigma_c = \frac{P}{A}, \quad \sigma_{bc} = \frac{M}{Z} \quad (7-2.14)$$

式中

$\sigma$ ：基樁應力(kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_c$ ：軸力所致之應力(kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bc}$ ：彎矩所致之應力(kg/cm<sup>2</sup>)

$A$ ：基樁之斷面積(cm<sup>2</sup>)

$P$ ：基樁之軸力(kg)

$Z$ ：基樁之斷面係數(cm<sup>3</sup>)

$M$ ：基樁之彎矩(kg-cm)

### (2) 容許應力

基樁之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。

### (3) 其他

- ①通常作用於棧橋基樁之剪力較小，故除非有特別載重外，可不必要檢討。
- ②基樁之斷面應力，應考量打樁條件，如打樁時之打擊應力及打樁時之座屈等。
- ③於可能產生壓密沉陷之地盤，須檢討負摩擦力之影響。

## 6. 對承載力之入土深度檢討

基樁承載力之入土深度檢討，依第四篇第四章[樁基礎承載力]規定辦理。打設於斜面之基樁，其有效支承層，應以本章7.2.6節第2小節[假想地表面]所規定之假想地表面下為準。

棧橋可能承受波浪侵襲時，應檢討基樁承受波浪上揚力之拔出抵抗。

## 7. 對橫向抵抗之入土深度檢討

依樁之橫向抵抗分析結果，直樁之入土深度，應大於假設地表面下 $3/\beta$ 。 $\beta$ 值依本章 7.2.7 節第 3 小節[假想固定點]公式(7-2.3)計算

## 8. 接樁檢討

當樁有接續時，依第四篇第四章[樁基礎承载力]中相關規定檢討。

接樁檢討，除本章 7.2.5 節[作用於棧橋之外力]所述外力，尚須檢討基樁打設時之應力。

## 9. 變位量檢討

棧橋頂端容許變位量，以不影響碼頭使用為原則。

## 7.2.8 擋土護岸設計

擋土護岸設計，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。

## 7.2.9 圓弧滑動檢討

棧橋碼頭擋土護岸，依第四篇第六章[斜面之安定]規定檢討圓弧滑動安定。

## 7.2.10 細部設計

### 1. 上部結構設計應檢討之載重組合

#### (1) 概要

設計上部結構，應考量下述載重組合。

#### ① 平版及連接版

- 自重＋裝載載重
- 自重＋活載重
- 自重＋上揚力

## ②樁

- 自重＋裝載載重
- 自重＋活載重
- 自重＋水平力所致樁頭彎矩之影響＋考慮水平力時之上載載重
- 樁彈性沉陷之影響

## 2. 樁頭設計

基樁樁頭與上部結構連接設計，依第四篇第四章 4.6.2節 [樁頭與上部結構連接設計]規定辦理。

# 7.3斜樁棧橋式碼頭

## 7.3.1 設計原則

本章 7.3節[斜樁棧橋式碼頭]所述設計法，適用於具有斜組樁以承擔水平力之棧橋式碼頭。

斜樁棧橋式碼頭設計流程，如圖7-3.1所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.4(b)。

## 7.3.2 棧橋單元大小及基樁配置

斜樁式棧橋單元大小及基樁配置原則，同本章7.2.2節[棧橋單元大小及基樁配置]所述直樁式棧橋單元大小及基樁配置原則。

## 7.3.3 上部結構相關尺寸

決定斜樁式棧橋上部結構相關尺寸時，其應考慮事項同本章7.2.3節[上部結構相關尺寸]所述決定直樁式棧橋上部結構相關尺寸應考慮事項。

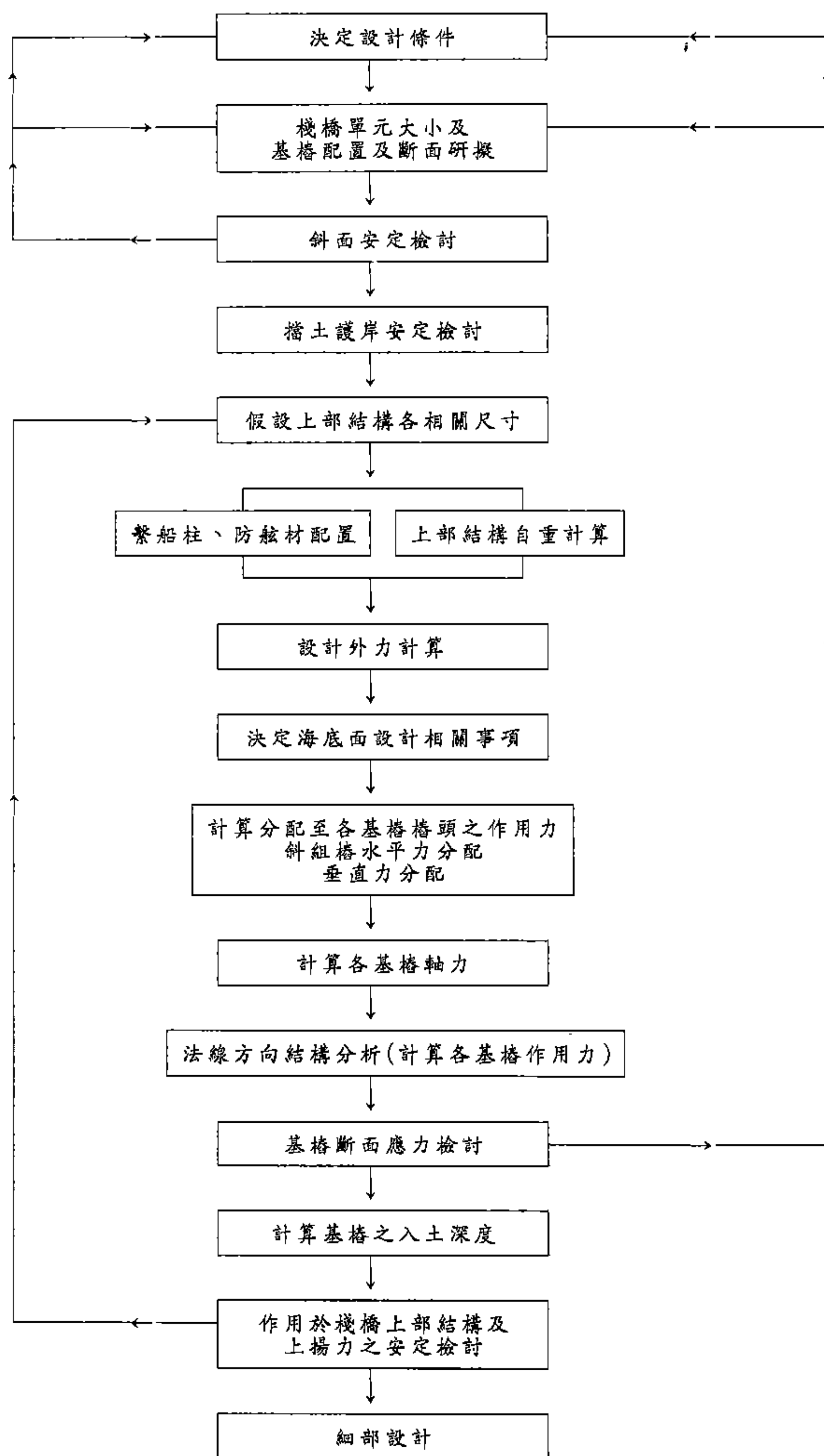


圖 7-3.1 斜樁棧橋式碼頭設計流程

### 7.3.4 繫船柱及防舷材配置

斜樁式棧橋繫船柱及防舷材配置原則，同本章7.2.4節[繫船柱及防舷材配置]所述直樁式棧橋繫船柱及防舷材配置原則。

### 7.3.5 作用於棧橋之外力

作用於斜樁式棧橋之外力，依本章7.2.5節[作用於棧橋之外力]規定計算。

初步設計時，鋼筋混凝土上部結構自重，可採用 $2.1\text{t/m}^2$ 。

### 7.3.6 海底面設計相關事項

斜樁棧橋式碼頭擋土結構物前之斜坡，其於地震時之安定角度，依本章7.2.6節第1小節[斜面坡度]所述規定辦理。

斜樁棧橋式碼頭假想地表面，依本章7.2.6節第2小節[假想地表面]所述規定辦理。

### 7.3.7 基樁作用力及斷面之決定

#### 1. 分配至各斜組樁樁頭之水平力

斜樁棧橋式碼頭，假設水平力由斜組樁承受，計算分配至各斜組樁樁頭之水平力。

斜樁棧橋式碼頭各斜組樁斷面及斜度不同時，如圖 7-3.2 所示，分配至各斜組樁樁頭之水平力，可由下列公式計算之。

(1) 當基樁視為點承樁時

① 無須考慮棧橋單元之迴轉時

$$H_i = \frac{C_i}{\sum_i C_i} H \quad (7-3.1)$$

$$C_i = \frac{\sin^2(\theta_{i1} - \theta_{i2})}{\frac{L_{i1}}{A_{i1} \cdot E_{i1}} \cos^2 \theta_{i2} + \frac{L_{i2}}{A_{i2} \cdot E_{i2}} \cos^2 \theta_{i1}}$$



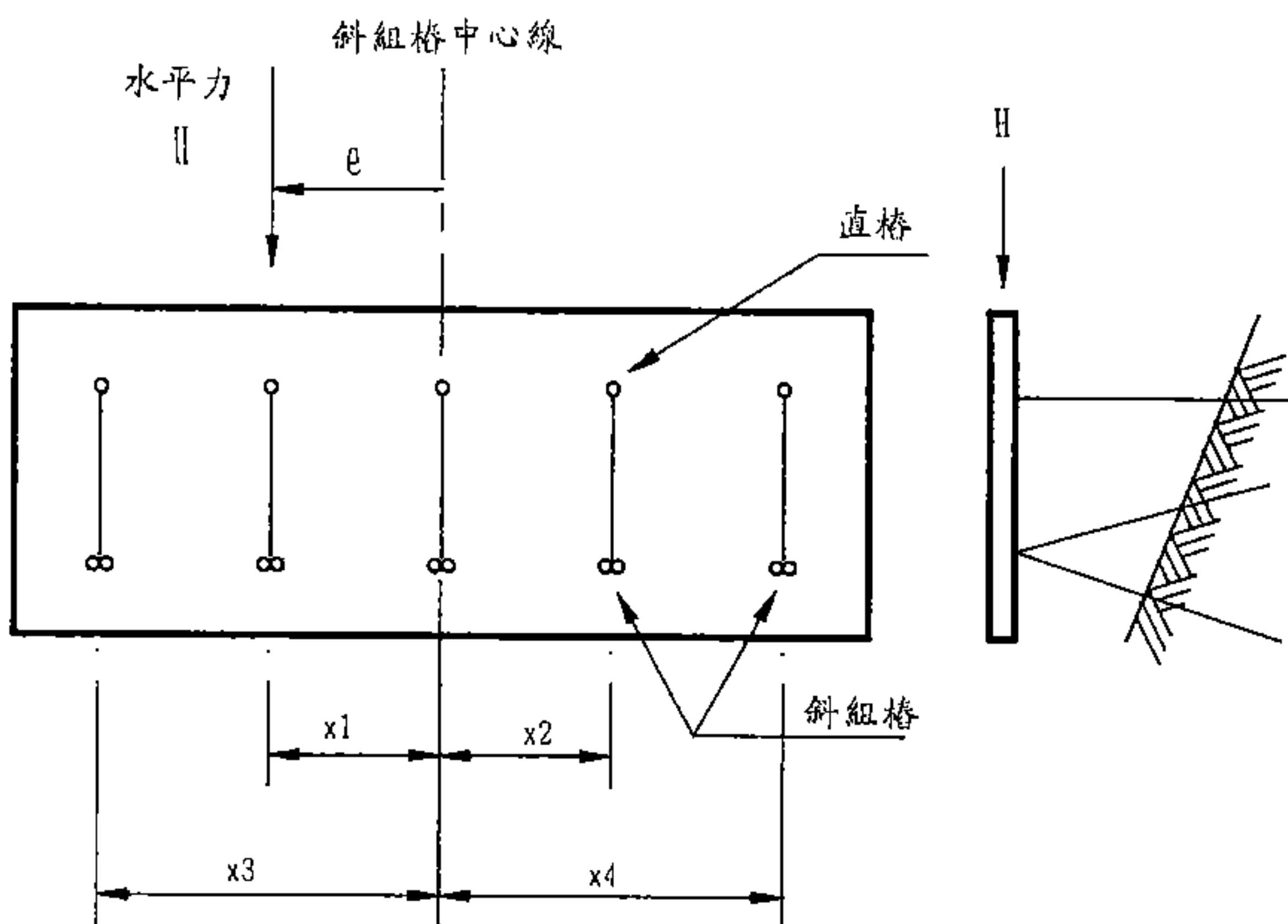


圖 7-3.2 斜組樁中心線與各斜組樁距離示意圖

式中

$H_i$ ：分配至編號*i*斜組樁樁頭之水平力(t)

$H$ ：作用於棧橋單元之水平力(t)

$L_{i1}$ 、 $L_{i2}$ ：基樁長(m)，拉力作用時應採用摩擦樁之長度。

$A_{i1}$ 、 $A_{i2}$ ：基樁斷面積( $m^2$ )

$E_{i1}$ 、 $E_{i2}$ ：基樁彈性係數( $t/m^2$ )

$\theta_{i1}$ 、 $\theta_{i2}$ ：基樁與垂線所成之交角(度)

註：下標*i*係表示編號*i*之斜組樁

下標1,2分別表示斜組樁之各樁編號

②須考慮棧橋單元之迴轉時

$$H_i = \frac{C_i}{\sum_i C_i} H + \frac{C_i \cdot X_i}{\sum_i (C_i \cdot X_i^2)} e \cdot H \quad (7-3.2)$$

式中

$H_i$ ：分配至編號 $i$ 斜組樁樁頭之水平力(t)

$H$ ：作用於棧橋單元之水平力(t)

$C_i$ ：詳公式(7-3.1)

$X_i$ ：斜組樁中心線至編號 $i$ 斜組樁之距離(m)

$e$ ：斜組樁中心線與水平力作用線之距離(m)

斜組樁中心線位置可依  $\sum_i (C_i \cdot \zeta_i) / \sum_i C_i$  計算而得，式中  $\zeta_i$  為編號  $i$  斜組樁至一給定座標原點沿碼頭法線方向之距離。一般棧橋碼頭基樁配置均採對稱配置，此時棧橋單元對稱軸即為斜組樁中心線。

(2)當基樁視為摩擦樁時

砂質土壤：公式(7-3.1)、(7-3.2)中之 $L_i$ ，以  $(2L_i + \lambda_i)/3$  取代之。

黏性土壤：公式(7-3.1)、(7-3.2)中之 $L_i$ ，以  $(L_i + \lambda_i)/2$  取代之。

式中 $L_i$ ：編號 $i$ 基樁長(m)

$\lambda_i$ ：編號 $i$ 基樁表面摩擦無效部份長度(m)

(3)棧橋單元所有斜組樁之斷面、斜度及長度均相同時，分配至各斜組樁樁頭之水平力，可由下列公式計算之。

①無須考慮棧橋單元之迴轉時

$$H_i = \frac{1}{n} H \quad (7-3.3)$$

式中

$H_i$ ：分配至編號 $i$ 斜組樁樁頭之水平力(t)

$H$ ：作用於棧橋單元之水平力(t)

$n$ ：斜組樁組數

②須考慮棧橋單元之迴轉時

$$H_i = \frac{1}{n} H + \frac{X_i}{\sum_i X_i^2} e \cdot H \quad (7-3.4)$$

式中

$H_i$ ：分配至編號 $i$ 斜組樁樁頭之水平力(t)

$H$ ：作用於棧橋單元之水平力(t)

$n$ ：斜組樁組數

$X_i$ ：斜組樁中心線至編號 $i$ 斜組樁之距離(m)

$e$ ：斜組樁中心線與水平力作用線之距離(m)

## 2. 分配至各基樁樁頭之垂直力

因垂直載重而分配至各基樁之垂直力，可假設基樁位置為支承之簡支樑，計算各支點之反力而得。

## 3. 基樁軸力

作用於斜組樁各基樁之軸力，由上二小節計算所得之各斜組樁樁頭之水平力及垂直力，依第四篇第四章4.3.6節[斜組樁水平承载力]規定計算之。

斜樁棧橋式碼頭含有直樁時，作用於直樁之軸力，可依上小節[分配至各基樁樁頭之垂直力]原則計算。

## 4. 基樁應力

斜樁棧橋式碼頭基樁，可視為承受軸力之基樁或視為承受軸力及彎矩之基樁，依本章7.2.7節第5小節[基樁應力]規定計算各基樁應力。

# 7.3.8 法線方向結構分析

斜樁棧橋式碼頭有沿法線方向之斜組樁時，依本章 7.3.7節[基樁作用力及斷面之決定]規定檢討各基樁應力。

斜樁棧橋式碼頭無沿法線方向之斜組樁時，可視為直樁棧橋式碼頭，依本章7.2.7節[基樁設計]規定檢討各基樁應力。

# 7.3.9 基樁入土深度

對斜樁承载力及橫向抵抗之入土深度檢討，依本章 7.2.7節第6小節[對承载力之入土深度檢討]及第 7小節[對橫向抵抗之入土深度檢討]規定檢討。

### 7.3.10 擋土護岸設計

擋土護岸設計，視其所採用結構型式，依相關規定設計。

### 7.3.11 圓弧滑動檢討

棧橋碼頭擋土護岸，依第四篇第六章[斜面之安定]規定檢討圓弧滑動安定。

### 7.3.12 細部設計

斜樁棧橋式碼頭細部設計原則，請參考本章 7.2.10節[細部設計]。

## 第八章 平版樁基式碼頭

## 第八章 平版樁基式碼頭

### 8.1 設計原則

平版樁基式碼頭，亦稱為減壓平版式碼頭或稱樁基擁壁式碼頭。本章所述設計法，適用於板樁擋土護岸設於平版前面，無其他錨碇設施，且平版結構為L型之平版樁基式碼頭。

板樁擋土護岸設於平版後面之平版樁基式碼頭，板樁擋土護岸部份，依本篇第五章[板樁式碼頭]所述方法設計。平版部份則依本篇第七章[棧橋式碼頭]所述方法設計，於設計平版時，應考慮作用於平版背後之土壓力及板樁頂端之反力。

平版樁基式碼頭設計流程，如圖 8-1.1所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.5。

### 8.2 決定平版高度及寬度

平版高度及寬度，須檢討設計條件、工程費及施工難易等各項條件後決定之。

平版底面設於較低位置時，可減少作用於板樁背後之土壓力，因而可減小板樁斷面及縮短板樁入土深度；但相對地平版厚度及作用於平版之地震力將增大，因而須增加基樁支數或長度。

平版底面如過低，將造成水中施工之缺點。

平版施工完成後，如因其下方之砂土發生沉陷，致使平台下方形成空隙，將使基樁易受鏽蝕，故平版底面以設在殘留水位以下為佳。

綜上各點，平版底面宜設在高潮位與低潮位之間，亦可採用中空箱型等輕型結構，將平版底面設於水中。

平版寬度之決定，以自海底面繪製板樁土壤主動破壞面與平版相交之處為原則。土壤主動破壞面，依第二篇第十一章[土壓與水壓]規定計算，計算時壁面摩擦角採用 $15^{\circ}$ 。

平版寬度亦須考慮以能打設可承受外力所需基樁支數之寬度為準。

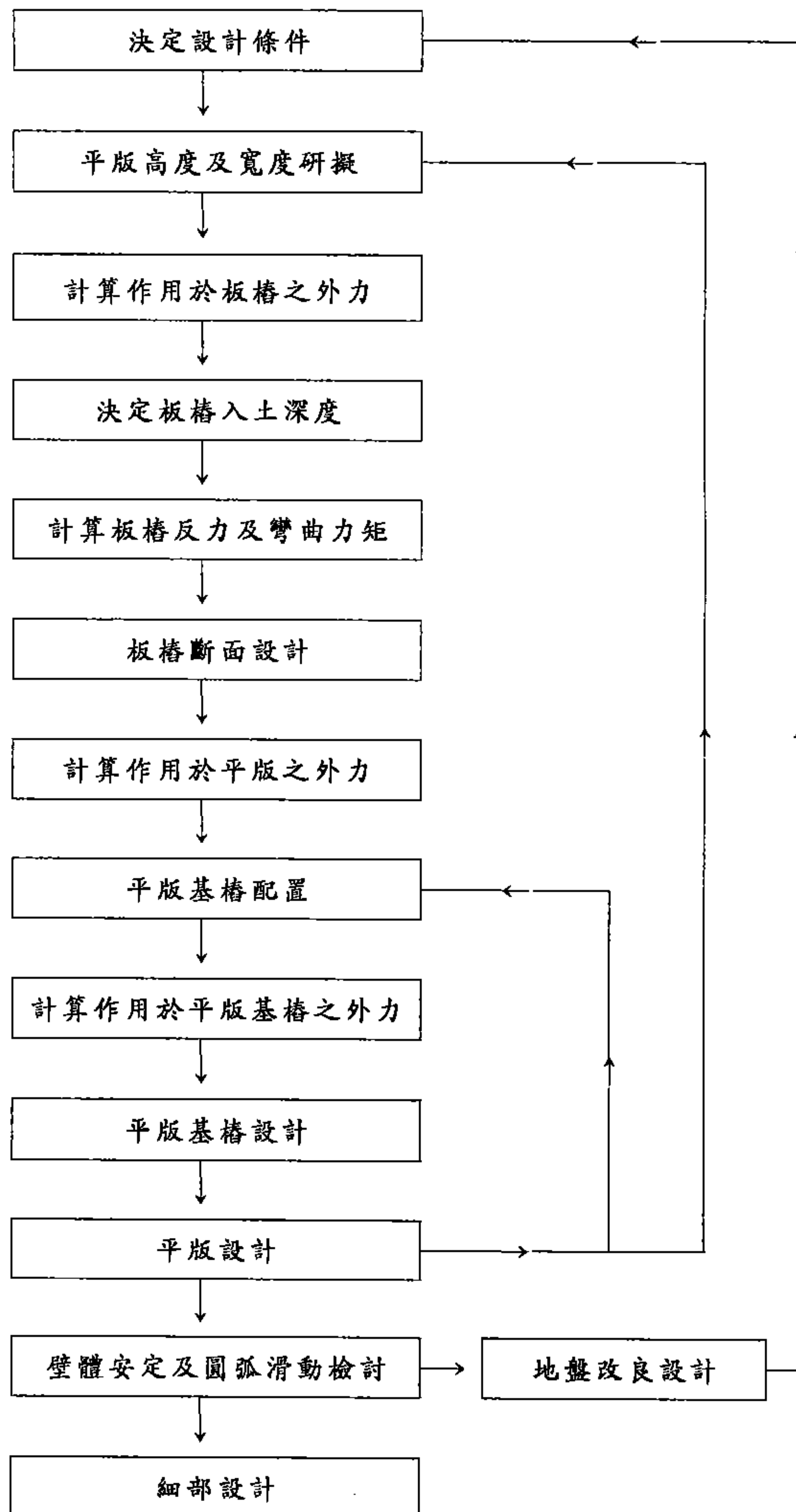


圖 8-1.1 平版樁基式碼頭設計流程

## 8.3 作用於板樁之土壓力及殘留水壓力

### 8.3.1 概要

作用於板樁之外力，須考慮下列各項：

- 土壓力：板樁岸側之主動土壓力  
板樁入土部份海側之被動土壓力
- 殘留水壓力

### 8.3.2 土壓力

如自海底面所繪製板樁土壤主動破壞面與平版相交時，如圖 8-3.1 所示，作用於板樁之主動土壓力，假設以平版底面為地面，且無上載載重計算之。

作用於板樁海側之被動土壓力，如圖 8-3.1 所示。於計算被動土壓時，所採用之海底面，即船席設計水深，須考量因超挖或船舶推進器之作用等因素，形成船席設計水深較計畫水深為深之狀況。船席設計水深詳本篇第二章 2.4 節 [設計水深] 所述。

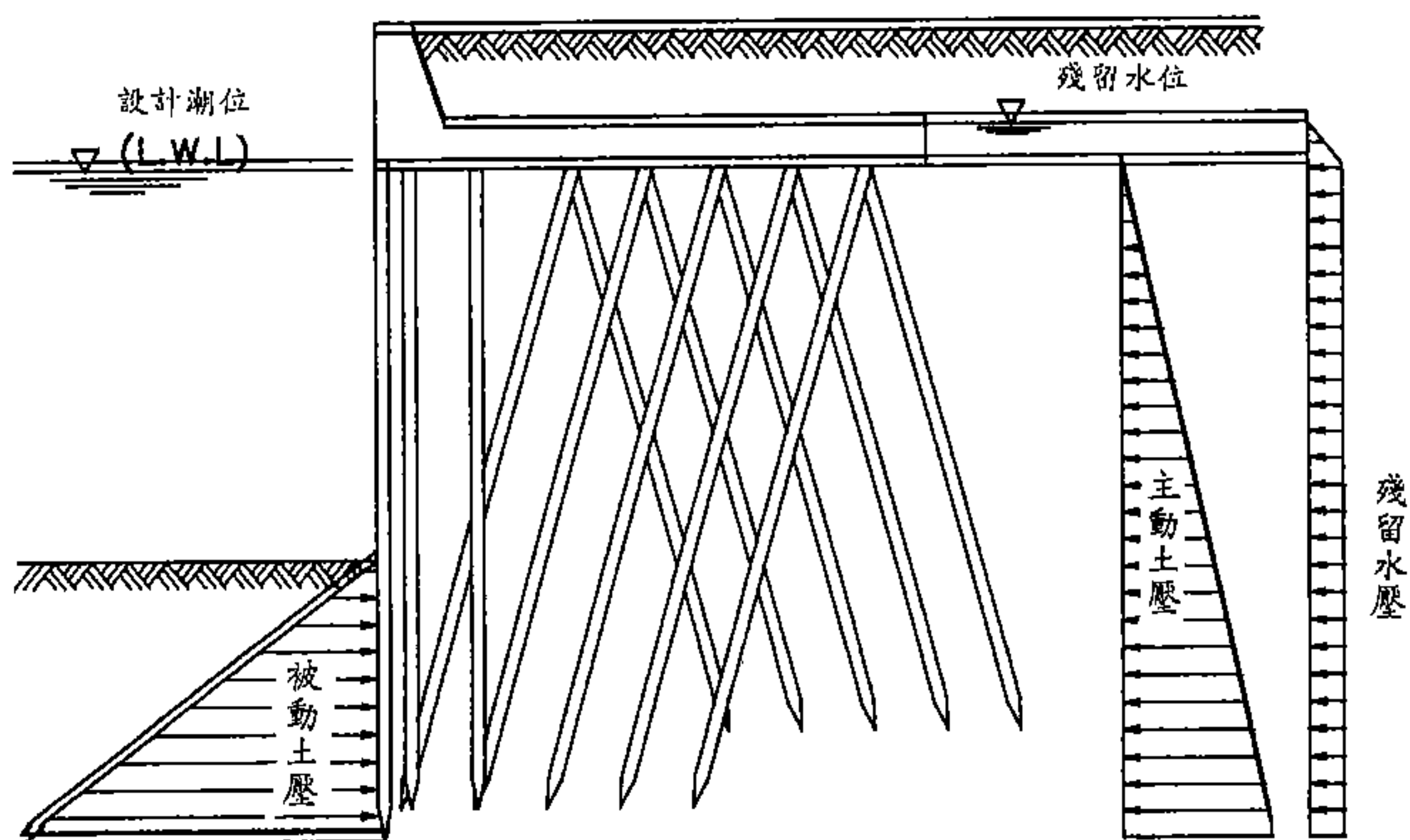


圖 8-3.1 作用於平版樁基式碼頭板樁之土壓及殘留水壓



作用於板樁之土壓力，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算。

計算作用於板樁土壓力所用之壁面摩擦角，於主動土壓採用 $15^{\circ}$ ，被動土壓則採用 $-15^{\circ}$ 。

### 8.3.3 殘留水壓力

如圖 8-3.1所示，作用於板樁之殘留水壓力，為殘留水壓於平版底面以下之部份。

作用於板樁之殘留水壓力，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算。

於計算殘留水壓時，殘留水位詳本篇第五章[板樁式碼頭]第 5.2.2節[土壓力及殘留水壓力]規定。

## 8.4 板樁設計

### 8.4.1 板樁入土深度

平版樁基式碼頭板樁入土深度，可將平版底面視為拉桿位置，依 8.3節[作用於板樁之土壓力及殘留水壓力]計算之土壓力及殘留水壓力為作用外力，依本篇第五章[板樁式碼頭]第 5.3.2節[板樁入土長度]及第 5.8節[軟弱地盤上板樁式碼頭之設計]所述方法計算之。

### 8.4.2 板樁斷面

平版樁基式碼頭板樁設計，可將平版底面視為拉桿位置，依 8.3 節[作用於板樁之土壓力及殘留水壓力]計算之土壓力及殘留水壓力為作用外力，依本篇第五章[板樁式碼頭]第5.3節[板樁設計]及第5.8節[軟弱地盤上板樁式碼頭之設計]所述方法設計之。

## 8.5 平版設計

### 8.5.1 作用於平版之外力

#### 1. 概要

作用於平版之外力，須考慮下列各項：

- 板樁所傳達之水平力
- 作用於平版背面之土壓力及殘留水壓力
- 平版自重、平版上回填土砂重量及上載載重
- 作用平版自重、平版上回填土砂及上載載重之地震力

船舶之衝擊力及拉力，除特殊狀況外，一般可不予考慮。

#### 2. 板樁所傳達之水平力

將平版底面視為拉桿之連接點，依本篇第五章5.3.3節[作用於板樁之彎矩]計算彎矩時，拉桿位置之支承反力即可視為由板樁傳達至平版之水平力。

#### 3. 土壓力及殘留水壓力

作用於平版背面之土壓分佈，如圖 8-5.1所示，係假設作用於平版後趾垂直面上，於平版底面以上，作用土壓為主動土壓，於平版底面以下，其作用範圍至主動土壓強度 $P_a$ 等於被動土壓強度 $P_p$ 為止，其作用土壓大小為主動土壓與被動土壓之差。計算土壓時，須考慮上載載重。

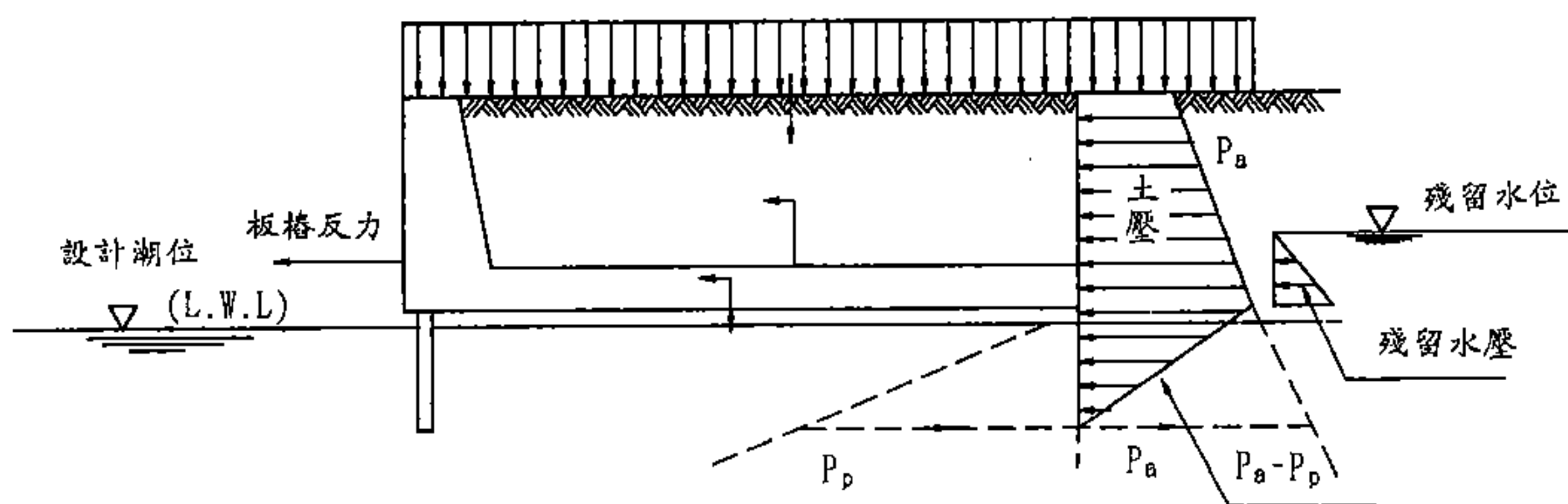


圖 8-5.1 作用於平版之外力

作用於平版之土壓力及殘留水壓力，依第二篇第十一章〔土壓及水壓〕規定計算。

於計算主動土壓時，壁面摩擦角採用  $15^{\circ}$ ，計算被動土壓時，壁面摩擦角則採用  $-15^{\circ}$ 。

於計算殘留水壓時，殘留水位詳本篇第五章〔板樁式碼頭〕第5.2.2節〔土壓力及殘留水壓力〕規定。

#### 4. 自重及上載載重

平版、平版上回填土砂重量及作用於碼頭面之上載載重，依第二篇第十二章〔載重〕規定計算。

#### 5. 地震力

作用於平版、平版上回填土砂及上載載重之地震力，依第二篇第九章〔地震及地震力〕規定計算。

### 8.5.2 平版結構設計

#### 1. 直立部份

平版直立部份可視為與底版之連接點為固定支點，並以土壓力及殘留水壓力為載重之懸臂梁設計之。

若須考慮船舶衝擊力及船舶拉力時，依本篇第五章〔板樁式碼頭〕5.7節第5.7.1小節〔上部結構〕有關船舶作用力所述設計之。

#### 2. 底版

如圖 8-5.2所示，底版可視為以基樁樁頭為支承點，並以下列外力為載重，將底版分為碼頭法線方向及法線垂直方向之連續樑設計之。底版鋼筋以雙向配筋為原則。

- 平版自重(包含直立部份及底版)
- 平版上回填土砂重量
- 上載載重
- 作用於上述載重之地震力
- 直立部份所傳達之彎矩
- 板樁所傳達之水平力

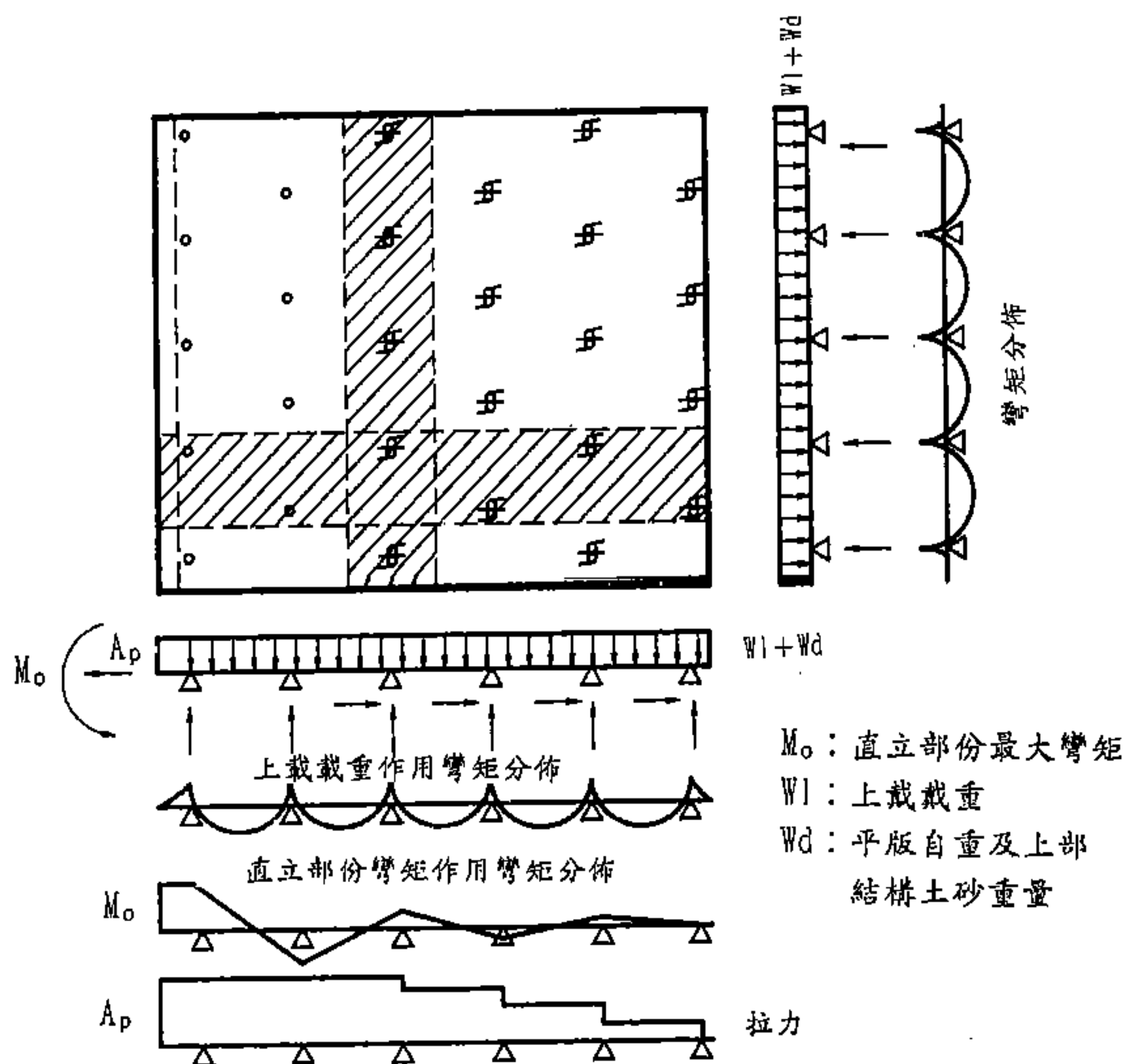


圖 8-5.2 平版結構設計示意圖

### 8.5.3 平版承載基樁設計

#### 1. 概要

平版承載基樁，以承受本章 8.5.1 節[作用於平版之外力]所述之外力，依第四篇第四章[樁基礎承载力]規定設計之。

#### 2. 設計原則

- (1) 平版樁基式碼頭之基樁，以斜組樁與直樁兩者併用為優，宜避免僅採用直樁之設計。
- (2) 佈置基樁時，應儘量不使板樁承受軸力，而將基樁儘量靠近板樁為原則。
- (3) 基樁長度，宜以各基樁均打設至相同深度為原則。
- (4) 外力之水平分力，視為僅由斜組樁平均分擔。

### 3. 設計程序

平版承載基樁設計依第四篇第四章[樁基礎承載力]相關規定設計。其設計程序如下：

- (1)依外力條件，先行研擬基樁配置及基樁斷面，依第四篇第四章4.4節[設計概要]規定，計算分配至各基樁之作用力。
- (2)依第四篇第四章 4.2節[樁之軸向容許承載力]及4.3節[樁之軸向容許拉拔力]，分別計算基樁之軸向容許承載力及拉拔力。
- (3)比較檢討程序(1)計算所得之基樁作用力與程序(2)計算所得之基樁軸向容許承載力及拉拔力，如基樁軸向容許承載力或拉拔力遠大於或小於基樁作用力，重新研擬基樁配置及基樁斷面，依上述程序再次檢討，直至滿足為止。

### 4. 其他

如僅採用直樁構成樁基時，於計算基樁橫向抵抗時，應將板樁自海底面所繪製土壤主動破壞面以上之土壤，視為不存在。

計算基樁軸向承載力時，應將板樁自海底面所繪製土壤主動破壞面以上之土壤，視為不具摩擦抵抗。

採用鋼管樁作為基樁時，其斷面應不含鏽蝕量在內，即所須斷面，須另加鏽蝕量，有關鋼料之防蝕，請詳第三篇第二章2.4節[防蝕]。

## 8.6 壁體安定檢討

平版樁基式碼頭壁體安定檢討，依本篇第四章 4.3節[安定計算]所述重力式碼頭安定檢討方法為準。

如圖 8-6.1所示，平版樁基式碼頭壁體，可視為通過平版後趾之垂面及通過基樁下端之水平面所包圍部份，假定為重力式壁體，檢討其安

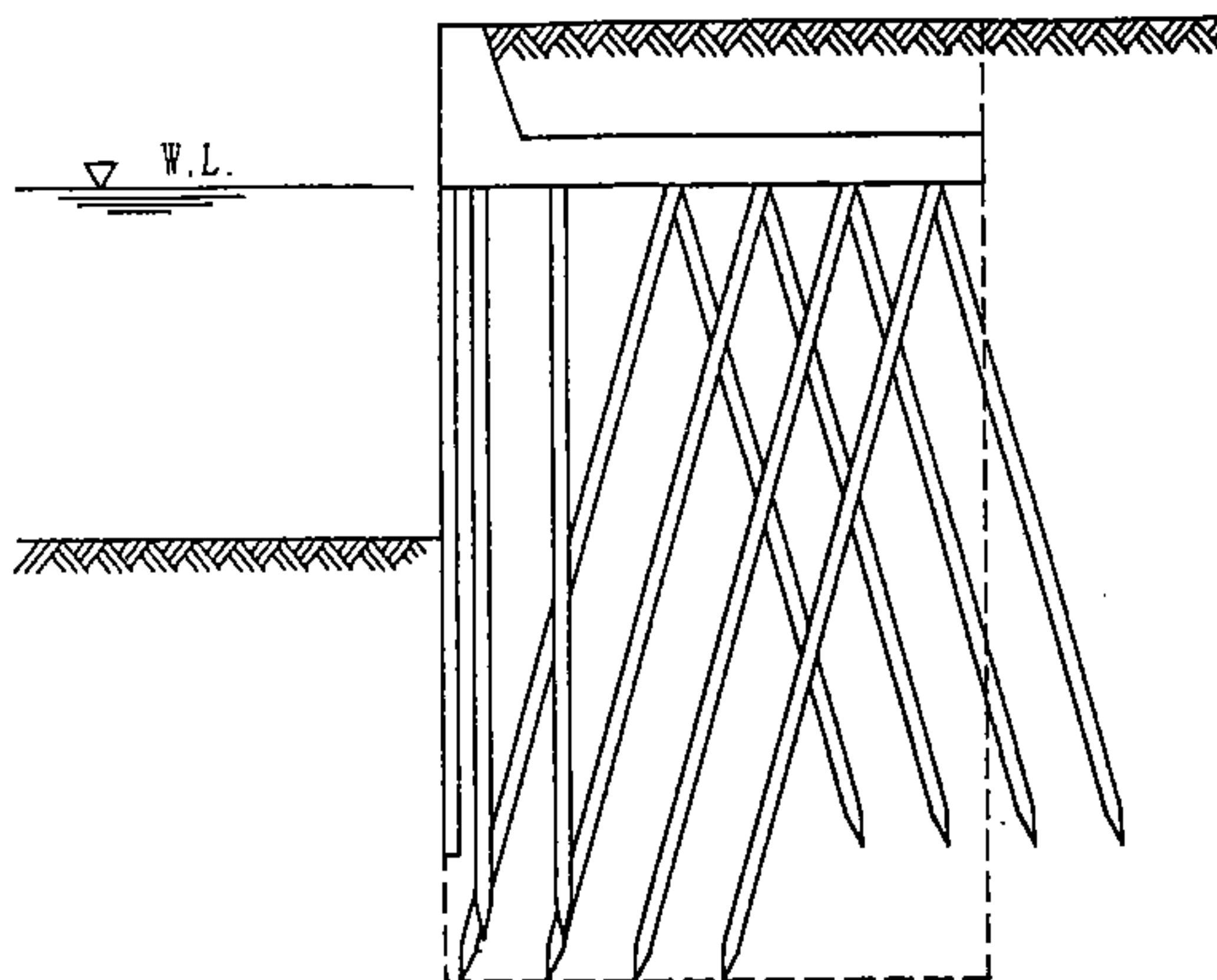


圖 8-6.1 平版樁基式碼頭壁體示意圖

安定檢討時，可考量作用於板樁海側之被動土壓力。

作用於壁體底面之摩擦抵抗力，砂質土時可視為壁體重量與  $\tan \phi$  之積；粘土時可視為土壤凝聚力與壁體底面積之積。上述  $\phi$  為土壤內摩擦角。

計算主動土壓時，壁面摩擦角採用  $15^\circ$ ；計算被動土壓時，壁面摩擦角則採用  $-15^\circ$ 。

## 8.7 圓弧滑動檢討

興建於軟弱地盤上之平版樁基式碼頭，應檢討板樁下端之圓弧滑動。圓弧滑動檢討依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行檢討。

研判可能發生圓弧滑動之不穩定地層，應採適當方法改良地盤，或改採不受圓弧滑動影響之其他結構型式，增加板樁入土長度並非完善之方法。

## 第九章 其他型式碼頭



## 第九章 其他型式碼頭

### 9.1 直立消波式碼頭

#### 9.1.1 設計原則

直立消波式碼頭屬重力式碼頭之一種，其設計方法除本節所述原則外，依本篇第四章[重力式碼頭]所述設計法為準。

直立消波式碼頭配置原則，應依港內穩靜度狀況，規設於有必要減小反射波或增加碼頭前水域靜穩度之位置，並依所需之消波特性設計之。

直立消波式碼頭設計流程，如圖 9-1.1所示。，斷面示意如本篇第三章圖3-1.6。

#### 9.1.2 消波式碼頭配置原則

從港口航道進入港內之入射波及越過防波堤之越波，傳達至港內設施或陸地岸邊，其反射波將影響港內水域之靜穩度，為提升港內水域之靜穩度，除檢討防波堤、碼頭等設施之法線規劃外，港內設施採用消波結構亦可有效減小其反射波，提升港內水域之靜穩度。

直接承受港口入射波或多方向波浪作用之碼頭，宜採用消波結構，其對改善港內水域之靜穩度效果較為顯著。

小型船舶碼頭等須較高靜穩度之碼頭，亦可考量採用消波式碼頭。

消波式碼頭之消波效果，宜以水工模型試驗加以檢討。

#### 9.1.3 選定結構型式

於選擇直立消波式碼頭型式時，應針對入射波條件及所須之反射率，選定適宜之結構型式。



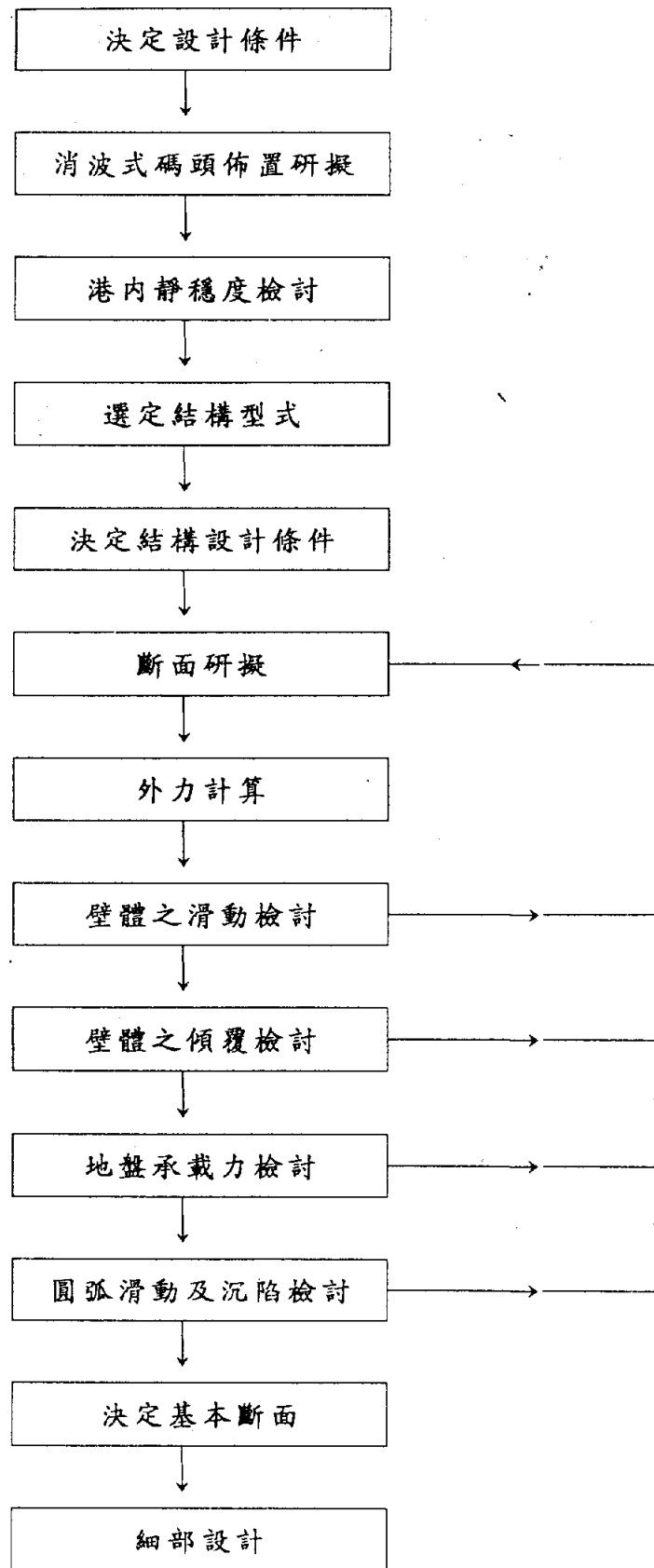


圖 9-1.1 直立消波式碼頭設計流程

直立消波式碼頭結構，一般均由前牆(透水牆)、消波室、後牆(不透水牆)組合而成。通過前牆開口之波浪，於消波室內因結構物內部摩擦抵抗及波浪相位差消減波浪能量，達到降低反射率之目地。於結構設計時，應採用颱風時入侵之設計波予以檢討。檢討消波式碼頭之消波效果時，則常時及颱風時之入侵波浪條件均應檢討。

直立消波式碼頭依其結構型式，可概分下列二大類：

- 混凝土塊消波式碼頭，由具孔洞之長方形方塊堆疊而成，其結構類似方塊重力式碼頭。
- 沉箱消波式碼頭，其以一前方開孔透水，內為波浪消波室之沉箱為主體，其結構類似沉箱重力式碼頭。

## 9.2 自立式板樁碼頭

### 9.2.1 設計原則

本章9.2節[自立式板樁碼頭]所述設計法，適用於打設於砂質地盤，無錨錠設施之懸臂式板樁碼頭。

自立式板樁碼頭設計流程，如圖9-2.1所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.7。

### 9.2.2 作用於板樁之外力

作用於板樁之外力，依本篇第五章5.2節[作用於板樁之外力]規定計算。

打設於砂質地盤之自立式板樁碼頭，如圖 9-2.2所示，於海底面下，作用於板樁後側之主動土壓力及殘留水壓力之和與作用於板樁海側之被動土壓力相等之處，為假想海底面。

打設於砂質地盤之自立式板樁碼頭，如圖 9-2.2所示，作用於板樁之土壓力及殘留水壓力如下所示：

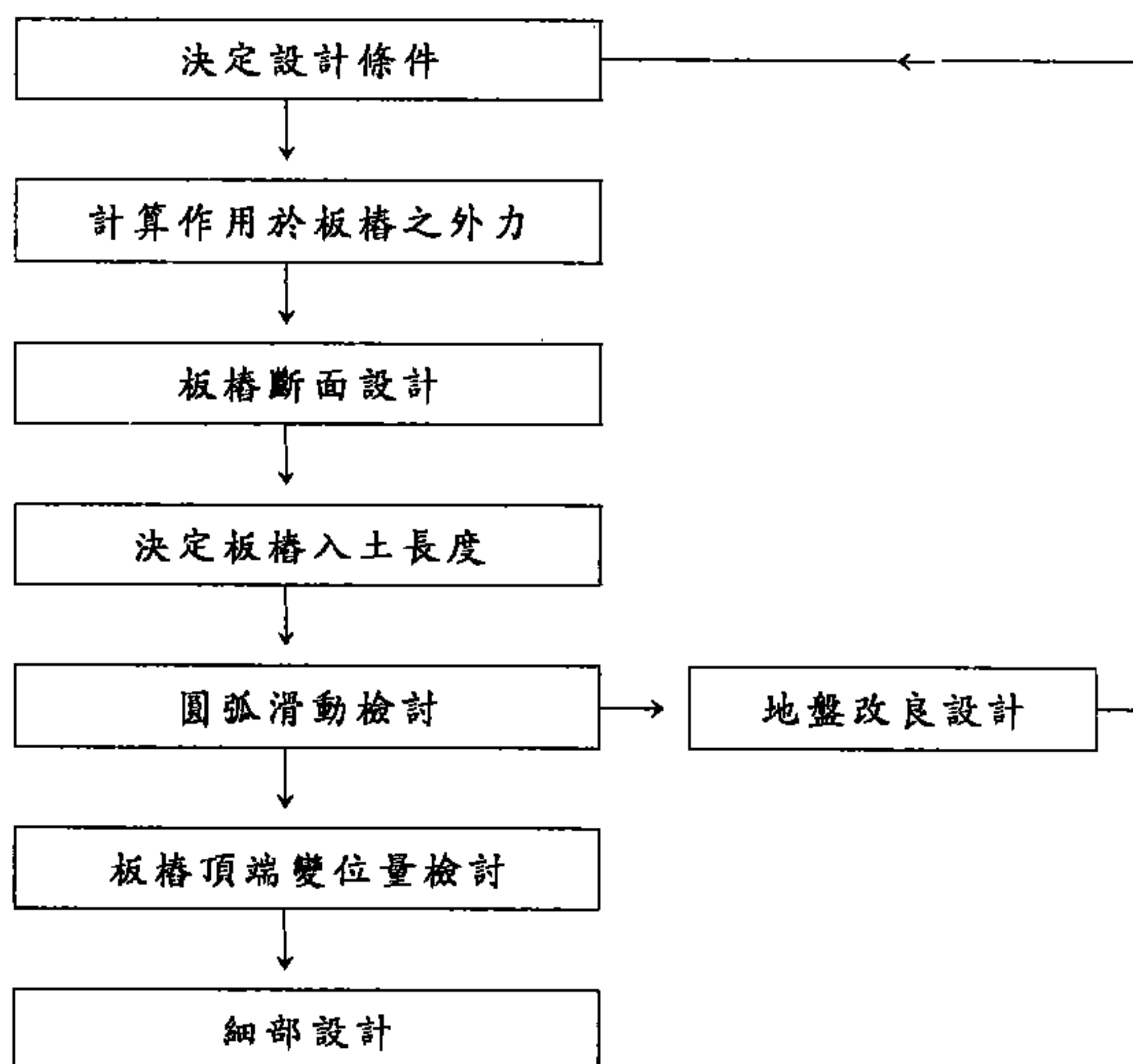


圖 9-2.1 自立式板樁碼頭設計流程

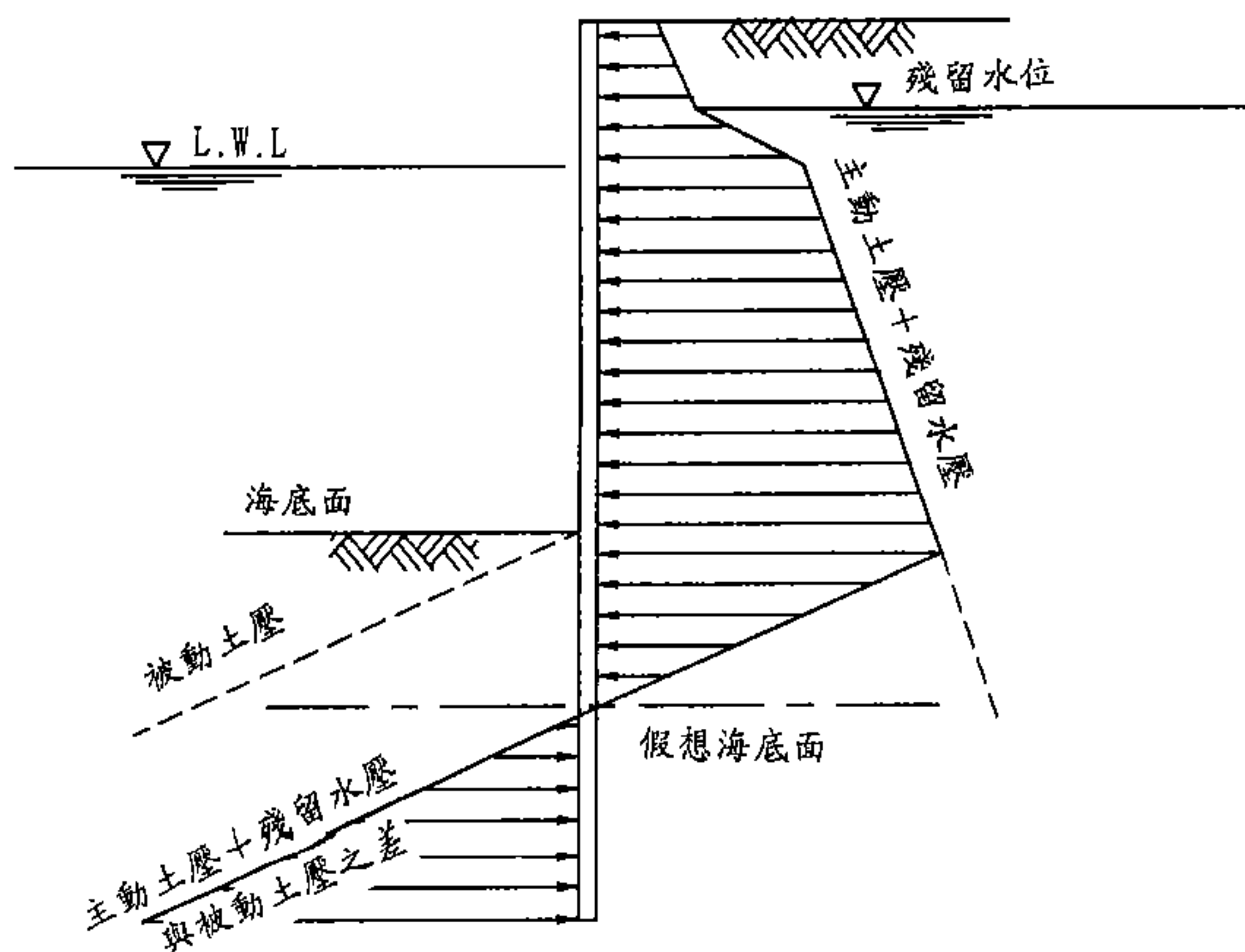


圖 9-2.2 作用於自立式板樁碼頭板樁之外力

- 於假想海底面上：主動土壓力＋殘留水壓力－被動土壓力
  - 於假想海底面下：被動土壓力－(主動土壓力＋殘留水壓力)
- 土壓及殘留水壓，依第二篇第十一章[土壓及水壓]規定計算。

### 9.2.3 板樁斷面

板樁斷面，依第四篇第四章 4.4[樁之橫向容許承载力]計算之最大彎矩，求得板樁應力應小於材料之容許應力。

板樁之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。有關鋼材之防蝕，請詳三篇第二章2.4節[防蝕]。

作用於板樁碼頭之外力屬分佈載重，與作用於基樁之集中力不同，故最大彎矩無法以簡單之公式求取。於計算板樁最大彎矩時，一般係將分佈載重換算為集中力後加以計算。

採用鋼管板樁時，因鋼管受土壓力及殘留水壓力作用，引起斷面變形(由圓形變成橢圓形)時，將產生二次應力。因自立式板樁碼頭屬位移較大之結構型式，於發生最大彎矩位置附近，有可能產生較大之二次應力，故採用大口徑之鋼管板樁時，對二次應力應另行加以檢討。

### 9.2.4 板樁入土長度

板樁入土長度，以大於依第四篇第四章 4.4[樁之橫向容許承载力]規定計算所須之基樁有效長度為原則。

自立式板樁碼頭，採基樁橫向容許承载力方法計算板樁入土長度時，所須入土長度為1.5倍 $L_{m1}$ 。

上述板樁入土長度應自假想海底面起算，假想海底面定義詳本章第 9.2.2節第2小節[假想海底面]； $L_{m1}$ 為假想海底面至板樁彎矩第一零點之長度，依第四篇第四章4.4節[樁之橫向容許承载力]相關公式計算。

### 9.2.5 板樁頂端變位量檢討

自立式板樁碼頭，其板樁容許頂端變位量以不影響碼頭使用為原則。

如圖9-2.3所示，板樁頂端之變位量( $\delta$ )為下列三種變位量之和：

- 於假想海底面處板樁之撓曲量( $\delta_1$ )
- 假想海底面以上板樁之撓曲量( $\delta_2$ )
- 於假想海底面上，因板樁迴轉(Rotation)所產生之板樁頂端撓曲量( $\delta_3$ )

$\delta_1$ 及 $\delta_3$ 依第四篇第四章 4.4節[樁之橫向容許承载力]相關公式計算。 $\delta_2$ 則可以碼頭背後之土壓力為作用外力，將板樁視為懸臂樑予以計算。

上述板樁頂端撓曲量，係假設碼頭面為無載重狀況下，計算所得之變位量。於計算碼頭完成後，上載載重及地震時土壓力引起之碼頭頂端變位量時，其總載重應含增加之各種載重。

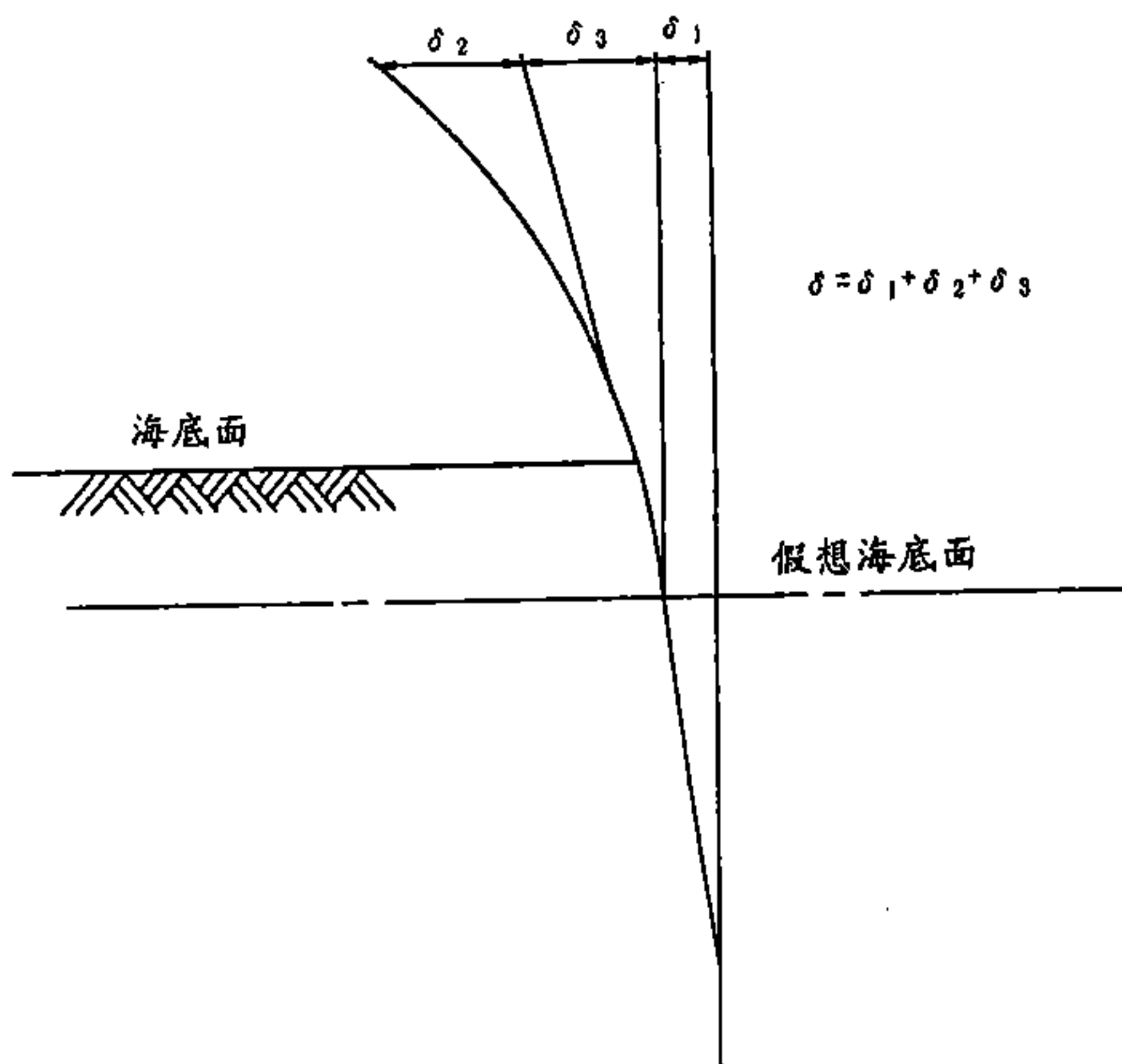


圖 9-2.3 自立式板樁碼頭板樁頂端變位量

### 9.2.6 施工中外力檢討

於設計自立式板樁碼頭時，應考慮施工中之外力，其結構須能承受該等外力之作用。

例如，於海中興建之自立式板樁碼頭，其背後尚未回填土砂時，其對外力之抵抗較為軟弱，此時應檢討其結構於承受波浪等外力作用時之安定性。

### 9.2.7 圓弧滑動檢討

興建於軟弱地盤上之板樁式碼頭，應檢討板樁下端之圓弧滑動。圓弧滑動檢討依第四篇第六章[斜面之安定]規定進行檢討。

### 9.2.8 細部設計

自立式板樁碼頭細部設計，依本篇第五章[板樁式碼頭] 5.7節[細部設計]相關規定辦理。

## 9.3 斜樁錨碇式板樁碼頭

### 9.3.1 設計原則

本章 9.3節[斜樁錨碇式板樁碼頭]所述設計法，適用於板樁背側打設斜樁，並將斜樁樁頭與板樁連結，以支承背填砂土之板樁式碼頭。

斜樁錨碇式板樁碼頭設計流程，如圖 9-3.1所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.8。

### 9.3.2 作用於板樁之外力

作用於板樁之外力，依本篇第五章5.2節[作用於板樁之外力]規定計算。

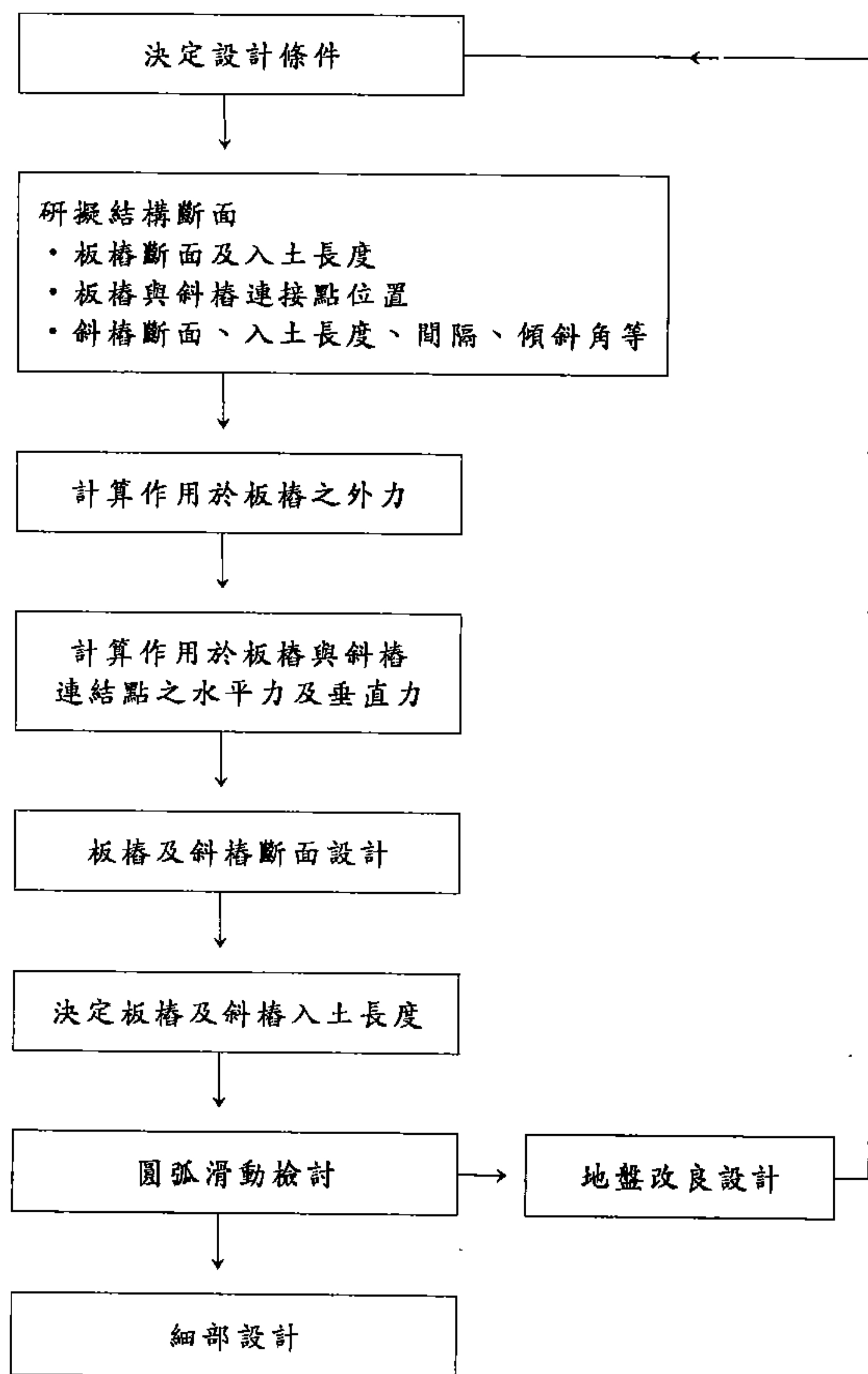


圖 9-3.1 斜樁錨碇式板樁碼頭設計流程

### 9.3.3 作用於板樁與斜樁連結點之水平力及垂直力

板樁與斜樁連結點之結構，可假設為插梢結構(Pin Struct)，計算作用於連結點之水平力及垂直力。



### 9.3.4 板樁及斜樁斷面

板樁及斜樁斷面，依計算之板樁及斜樁最大彎矩，求得板樁及斜樁應力應小於材料之容許應力。

板樁及斜樁最大彎矩，以作用於各連結點水平力及垂直力之集中載重，並承受土壓力及殘留水壓等載重，假設板樁及斜樁為一梁結構計算之。

板樁之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。有關鋼材之防蝕，請詳三篇第二章2.4節[防蝕]。

### 9.3.5 板樁及斜樁入土長度

板樁及斜樁對承载力、橫向抵抗之入土長度檢討，依第四篇第四章[樁基礎承载力]規定辦理。板樁及斜樁軸向承载力，應進行載重試驗及拉力試驗檢討。

### 9.3.6 細部設計

斜樁錨碇式板樁碼頭細部設計，依本篇第五章[板樁式碼頭]5.7節[細部設計]及第四篇第四章4.6.2節[樁頭與上部結構連接設計]規定辦理。

## 9.4 前斜樁式板樁碼頭

### 9.4.1 設計原則

本章9.4節[前斜樁式板樁碼頭]所述設計法，適用於板樁岸壁海側打設斜樁，並將斜樁樁頭與板樁連結，以支承板樁背填砂土之板樁式碼頭。

前斜樁式板樁碼頭，係由板樁岸壁與海側之棧橋組成，棧橋與板樁岸壁連接型式，有成一整體及分離之兩種型式，本節所述設計法，適用於棧橋與板樁連成一整體之型式。棧橋與板樁分離之前斜樁式板樁碼頭，其設計法可參考本篇第五章[板樁式碼頭]及第七章[棧橋式碼頭]各章節所述辦理。



本節所述設計法，適用打設於砂質地盤之板樁碼頭。

於計算設計外力時，若研判其將形成棧橋單元迴轉，設計時應加以考量。

前斜樁式板樁碼頭設計流程，如圖 9-4.1 所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.9。

#### 9.4.2 棧橋單元大小及基樁配置

前斜樁式板樁碼頭棧橋單元大小及基樁配置，依本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.2節[棧橋單元大小及基樁配置]所述原則辦理。

斜樁之配置及斜度，須考慮和其他基樁之相關位置及打樁等施工上之限制。

#### 9.4.3 上部結構相關尺寸

於決定棧橋上部結構相關尺寸時，其應考慮之事項詳本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.3節[上部結構相關尺寸]。

#### 9.4.4 板樁岸壁設計

前斜樁式板樁碼頭之板樁岸壁設計，假想斜樁與板樁之連接點為拉桿位置，依本篇第五章[板樁式碼頭]相關章節所述辦理。

#### 9.4.5 棧橋設計

前斜樁式板樁碼頭之棧橋設計，以下述外力為載重，依本篇第七章[棧橋式碼頭]相關章節所述辦理。

作用於前斜樁式板樁碼頭棧橋之外力與載重，應考慮下列各項。除下述規定外，依第七章[棧橋式碼頭]7.2.5節[作用於棧橋之外力]規定計算。

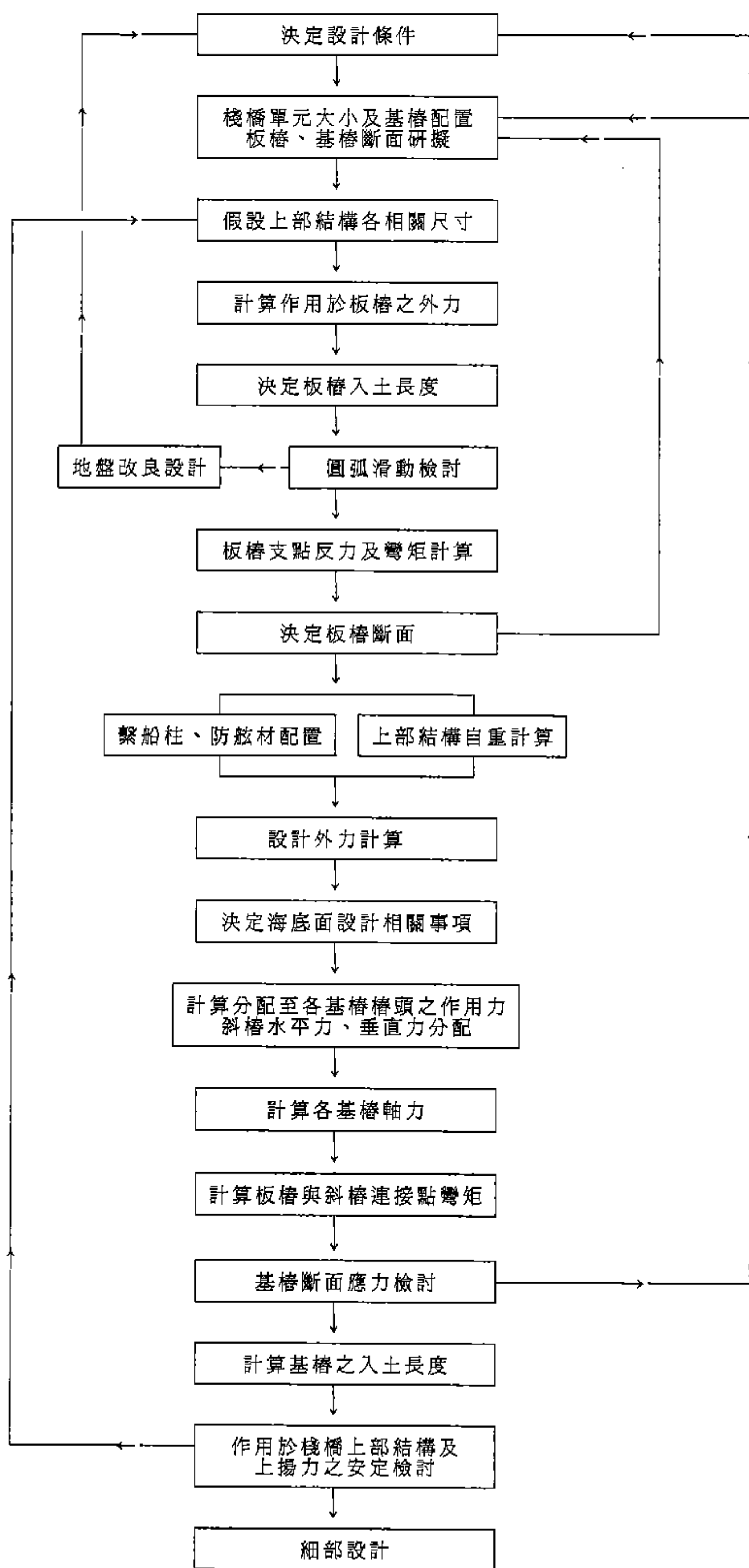


圖 9-4.1 前斜樁式板樁碼頭設計流程

#### — 垂直力

- 土壓力垂直分力
- 自重
- 上載載重
- 活載重：列車載重、汽車載重、裝卸機械載重、群眾載重等
- 船舶拉力
- 上揚力

#### — 水平力

- 作用於板樁土壓力之水平分力、殘留水壓力
- 地震力
- 風力
- 船舶衝擊力及拉力

上部結構鋼筋混凝土自重，初步設計時可採用斜樁式棧橋碼頭之  $2.1\text{t/m}^2$ ，細部設計時應依實際斷面計算。

採用本篇第七章 7.2[直樁棧橋式碼頭]、7.3[斜樁棧橋式碼頭] 所述方法設計棧橋時，作用於板樁之土壓力及殘留水壓力，可以板樁與斜樁連接點所產生之反力替代之。板樁與斜樁連接點所產生之反力計算，可假設板樁為以板樁與斜樁連接點及海底面為支承之簡支梁，而以海底面以上之土壓力及殘留水壓力為載重計算之。

### 9.4.6 基樁入土深度

板樁及基樁之入土深度，依本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.7 節[基樁設計]第6小節[對承载力之入土深度檢討]及第7小節[對橫向抵抗之入土深度檢討]規定檢討。

### 9.4.7 細部設計

前斜樁式板樁碼頭細部設計，除下述原則外，依本篇第五章[板樁式碼頭]5.7節[細部設計]，及第七章[棧橋式碼頭] 7.2.10 節[細部設計]規定辦理。

- 板樁岸壁與斜樁之連結部份，須能充分傳遞載重，若連結部份破壞，將導致碼頭整體結構破壞，於設計連結部份時，應予注意並充分加強。
- 於設計棧橋上部結構時，應考慮由板樁所傳遞之彎矩。

## 9.5 雙重板樁式碼頭

### 9.5.1 設計原則

本章 9.5 節[雙重板樁式碼頭]所述設計法，適用於打設雙排板樁並以拉桿連結，內填砂土或級配之板樁式碼頭。

雙重板樁式碼頭，一般採用鋼板樁圓筒式碼頭與具錨錠設施之板樁式碼頭之設計原則設計。

以往設計慣例，並不檢討變位量，然因雙重板樁式結構漸應用於大型永久結構物，故變位量檢討有其須要。

雙重板樁式結構如同圓筒式結構，須於內填料填妥後，方能確保結構物之安定。雙重板樁式結構，於板樁打設完成未回填前，僅須微小之波浪即可能造成板樁傾倒，故應儘速回填內填料。為方便後續板樁之打設，雙重板樁式結構應依波浪、回填速度、施工法等條件，於適當距離設置隔牆，將碼頭分為若干單元，以方便每一單元之施工，並確保施工期間之安全。

雙重板樁式碼頭採用鋼板樁圓筒式碼頭與具錨錠設施之板樁式碼頭之設計原則設計時，其設計流程如圖 9-5.1 所示，斷面示意如本篇第三章圖 3-1.10。

### 9.5.2 作用於壁體之外力

作用於雙重板樁式碼頭壁體之外力，依本篇第六章 [圓筒式碼頭] 第 6.1.2 節[作用於鋼板樁圓筒之外力]規定計算。

### 9.5.3 雙重板樁壁體設計

#### 1. 概要

雙重板樁壁體設計，須考慮其重要性，採適當方法設計之。

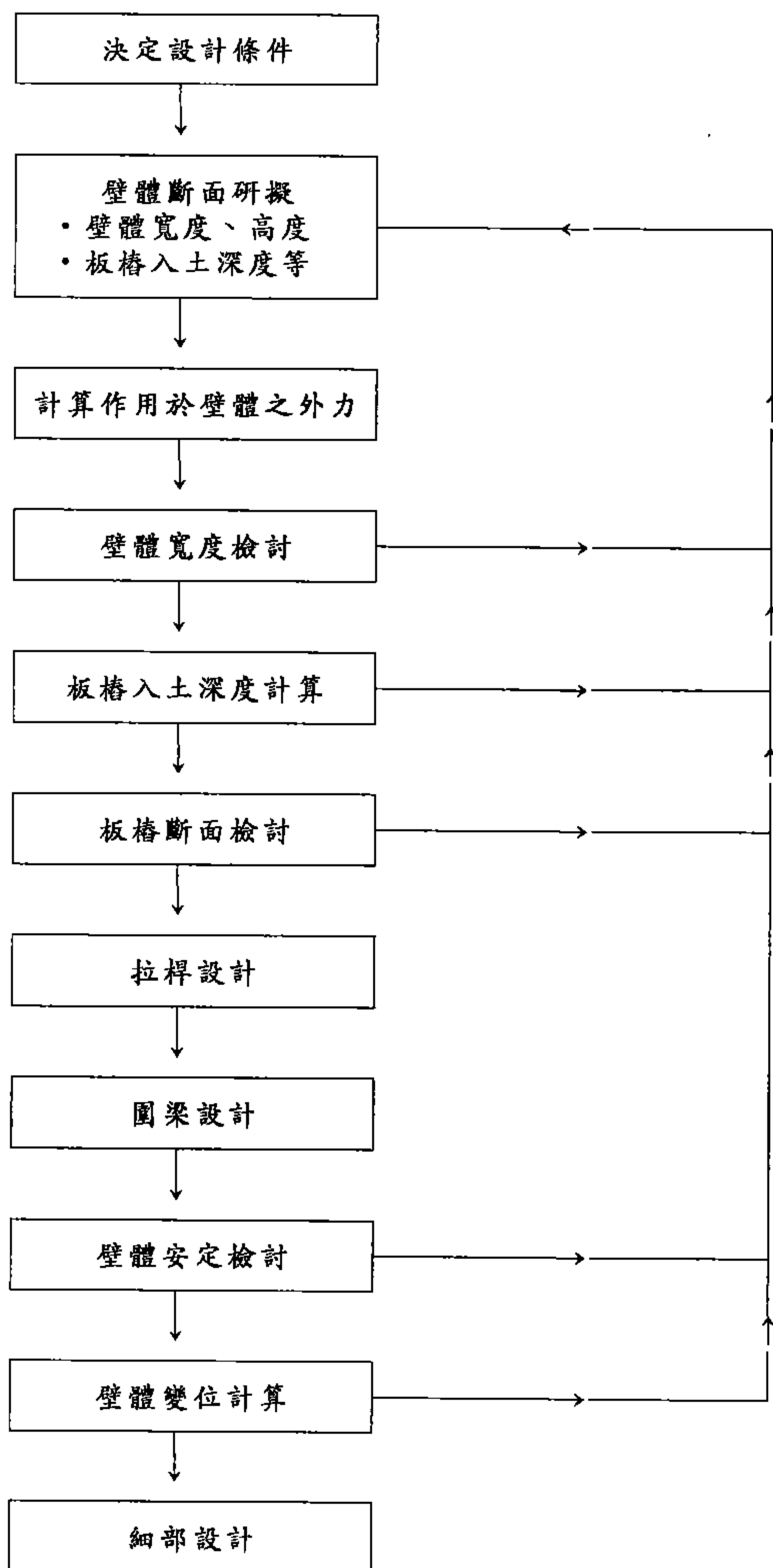


圖 9-5.1 雙重板樁式碼頭設計流程

## 2. 壁體寬度

雙重板樁式碼頭壁體寬度，即二排板樁之距離，依本篇第六章[圓筒式碼頭] 6.1.3節[圓筒壁體剪力變形檢討]規定檢討，但區隔碼頭單元之隔牆板樁接頭間摩擦力之抵抗力矩則不計。

## 3. 板樁入土深度

板樁入土深度，可依本篇第五章[板樁式碼頭]5.3.2節[板樁入土深度]及第六章[圓筒式碼頭]6.1.4節[板樁入土深度]規定分別計算板樁入土深度，取其大者為雙重板樁式碼頭板樁之入土深度。

對須考慮壁體變形之重要結構物，應慎重分析檢討。

## 4. 板樁斷面

板樁斷面，依計算之最大彎矩，求得板樁應力應小於材料之容許應力。

作用於雙重板樁式碼頭板樁之彎矩，須檢討下列二狀況：

- 於板樁打設完成未回填內填料前，承受波浪等外力作用時，可假設板樁為一自立式板樁，依本章9.2節[自立式板樁碼頭]第9.2.3節[板樁斷面]相關規定計算作用於板樁之彎矩。
- 板樁打設完成並完成回填後，可假設板樁壁體為具錨錠設施之板樁碼頭，依本篇第五章[板樁式碼頭]5.3.3節[作用於板樁之彎矩]相關規定計算作用於板樁之彎矩。

板樁之容許應力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。有關鋼材之防蝕，請詳三篇第二章2.4節[防蝕]。

## 5. 拉桿設計

雙重板樁式碼頭拉桿，依本篇第五章[板樁式碼頭] 5.4節[拉桿設計]相關規定設計。

## 6. 圍梁設計

雙重板樁式碼頭圍梁，依本篇第五章[板樁式碼頭] 5.5節[圍梁設計]相關規定設計。

## 7. 壁體安定檢討

雙重板樁式碼頭壁體，可視為重力式壁體，其安定檢討同圓筒式碼頭壁體，依本篇第四章[重力式碼頭]4.3節[安定計算]所述方法為準。

滑動檢討之假想壁體底面，須比較檢討海底面及較短板樁下端後決定之，假想壁體底面下之板樁，則不計其抵抗。

雙重板樁壁體斜面安定檢討時，如板樁入土深度，較以具錨錠設施之板樁碼頭所求得之板樁所須入土深度為長時，後者所須入土深度以下之板樁不計其抵抗圓弧滑動。

### 9.5.4 細部設計

上部結構底版及直立部份，依本篇第八章[平台樁基式碼頭]8.5.2節[平版結構設計]相關規定設計。

為支撐上部結構須打設基樁時，基樁須能承受由上部結構傳遞而來之垂直力與水平力。於計算基樁承载力時，不計基樁於內填料部份之摩擦抵抗。

由上部結構傳遞之垂直力，應完全由基樁承受。水平力則一部分由基樁承受，一部份由雙重板樁壁體承受。

## 9.6 圓柱或腳柱式棧橋碼頭

### 9.6.1 設計原則

本章 9.6節[圓柱或腳柱式棧橋碼頭]所述設計法，適用於採用剛性較大之混凝土圓柱或腳柱作為上部結構之棧橋式碼頭。

圓柱式棧橋碼頭斷面示意如本篇第三章圖3-1.11。

### 9.6.2 圓柱或腳柱設計

如棧橋僅由圓柱或腳柱與上部結構所構成，可將圓柱或腳柱基礎處視為一鉸接之剛架結構予以設計。

爲增加結構剛性以抵抗水平力，圓柱或腳柱上端於垂直碼頭法線應以剛結處理。

如棧橋由圓柱或腳柱與上部結構以桁架所構成，可視爲桁架結構設計之。

### 9.6.3 擋土護岸設計

圓柱或腳柱式棧橋碼頭擋土護岸，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。

### 9.6.4 細部設計

圓柱或腳柱式棧橋碼頭上部結構及連接版細部設計原則，請參考本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.10節[細部設計]。

## 9.7 橋墩式棧橋碼頭

### 9.7.1 設計原則

本章 9.7節[橋墩式棧橋碼頭]所述設計法，適用於採用墩座爲基礎之棧橋式碼頭。

橋墩式棧橋碼頭斷面示意如本篇第三章圖3-1.12。

### 9.7.2 橋墩設計

橋墩式棧橋碼頭之橋墩，視其所採用結構型式，依相關規定設計。

### 9.7.3 擋土護岸設計

橋墩式棧橋碼頭擋土護岸，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。



### 9.7.4 細部設計

橋墩式棧橋碼頭上部結構及連接版細部設計原則，請參考本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.10節[細部設計]。

## 9.8 離岸式碼頭

### 9.8.1 設計原則

離岸式碼頭一般亦提供作為裝卸機械之基礎，故其設計應充分考量裝卸機械型式、尺寸、移動特性及安裝後之沉陷等因素。

離岸式碼頭供作為裝卸機械基礎時，裝卸機械之兩條軌道，有均設於離岸，亦有一條軌道設於離岸，另一條軌道設於擋土護岸後側兩種。

碼頭上設有裝卸機械軌道時，碼頭型式應採用變位較小之結構型式。

離岸式碼頭結構分類及其特徵，請參考本篇第三章[碼頭結構型式]，並依其結構型式，依相關章節規定設計之。

離岸式碼頭設計流程，可參考本篇第七章[棧橋式碼頭]設計流程，但採用橋墩式結構時，其設計流程可參考本篇第四章[重力式碼頭]及第七章[圓筒式碼頭]設計流程。

離岸式碼頭斷面示意如本篇第三章圖3-1.13。

### 9.8.2 配置及相關事項

離岸式碼頭離岸距離、軌道間距及法線方向之跨距等配置，應考量裝卸機械尺寸及海底地質等因素，依工程費及施工難易度等決定之。

### 9.8.3 設計外力及載重

#### 1. 概要

於設計離岸式碼頭時，應考慮下列外力及載重：

##### (1) 垂直力

- 裝卸機械載重
- 船舶拉力
- 上部結構自重
- 柱腳自重

##### (2) 水平力

- 船舶拉力及衝擊力
- 作用於裝卸機械之風力
- 作用於上部結構之風力
- 作用於裝卸機械之地震力
- 作用於上部結構之地震力
- 作用於柱腳之地震力

由於碼頭設置地點之關係，必要時應考量波力或上揚力。

水平力除上列外，必要時應考量裝卸機械之剎車力。

#### 2. 自重

上部結構及柱腳自重，依結構尺寸，計算各材料體積，並依第二篇第十二章第12.2節[自重]規定計算上部結構自重。

#### 3. 裝卸機械載重

裝卸機械載重，可參考第二篇十二章12.4[活載重]規定計算。

#### 4. 船舶拉力及衝擊力

船舶拉力及衝擊力，依第二篇第二章2.2節[船舶所產生之外力]規定計算。

#### 5. 地震力

作用於裝卸機械、上部結構及柱腳之地震力，依第二篇第九章[地震及地震力]規定計算。

## 6. 風力

作用於裝卸機械、上部結構之風力，依第二篇第二章 [風及風力] 規定計算。

### 9.8.4 柱腳設計

離岸式碼頭柱腳設計，依其所採用結構型式，依本篇第七章 [棧橋式碼頭] 相關章節所述設計法設計，但採用橋墩式結構時，其設計依本篇第四章 [重力式碼頭] 及第七章 [圓筒式碼頭] 相關章節所述設計法設計。

### 9.8.5 大樑設計

#### 1. 概要

離岸式碼頭連接柱腳之大樑，應考量下列垂直與水平兩方向之載重加以設計之。

為考量柱腳之不均勻沉陷，一般假設大樑為一簡支樑設計之。

#### 2. 設計載重

##### (1) 垂直方向載重

- 裝卸機械載重
- 船舶拉力
- 自重

##### (2) 水平方向載重

- 船舶拉力及衝擊力
- 裝卸機械剎車力
- 作用於大樑及裝卸機械之風力
- 作用於大樑及裝卸機械之地震力

#### 3. 設計應注意事項

離岸式碼頭之大樑由於鋼軌直接架設其上，故應採用能承受上述垂直力與水平力之材料製作。

如裝卸機械之兩腳均為固結腳時，水平力則依裝卸機械之載重比例分配。如裝卸機械之兩腳，一為鉸接腳，而另一為固結腳時，為安全計，假設固結腳之車輪承受全部水平力；而對鉸接腳而言，則假設承受 $1/2$ 水平力。

### 9.8.6 擋土護岸設計

離岸式碼頭擋土護岸，視其所採用結構型式，依相關章節規定設計。如擋土護岸後側設有裝卸機械之另一條軌道時，依本篇第十四章[裝卸機械之基礎]相關規定設計之。

### 9.8.7 圓弧滑動檢討

離岸式碼頭擋土護岸，依第四篇第六章[斜面之安定]規定檢討圓弧滑動安定。

### 9.8.8 附屬設備

離岸式碼頭須設置防舷材、繫船柱、連絡橋等附屬設備。

防舷材及繫船柱設計，依本篇第十一章11.2節[繫船設施]及11.3節[防衝設施]相關規定辦理。

離岸式碼頭，原則上每一船席應設置連絡橋一處或二處。船舶靠離岸時，如無寬廣之繫解纜場所時，為確保作業人員之安全，應另加設面版，以方便作業。連絡橋及面版之活載重均以 $0.5\text{ t/m}^2$ 計算。

### 9.8.9 細部設計

離岸式碼頭上部結構，依本篇第七章[棧橋式碼頭]7.2.10節[細部設計]相關規定設計之。

連絡橋設計，依一般橋樑設計相關規定辦理。

## 9.9 繫、靠船台

### 9.9.1 設計原則

本章 9.9節[繫、靠船台]所述設計法，適用於採用基樁、鋼板圓筒或沉箱為基礎之繫、靠船台。

作用於靠船台之外力方向並非一定，故靠船台不宜採用有極端方向性之結構型式。

作用於基樁式結構之扭轉力(Torsion)或沉箱式結構之迴轉力(Rotation)，亦可能對結構造成損壞，於設計時應予注意。

靠船台之高度，應考量波浪之影響外，在不妨礙防舷材裝設範圍內，應儘可能降低，並配合靠泊船舶之甲板高度及裝卸貨吊桿之作業。

連絡橋之底面高程，應高於波浪作用範圍為原則。

繫、靠船台設計流程，如圖 9-9.1所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.14。

### 9.9.2 繫、靠船台配置

於進行繫、靠船台配置時，應考量靠泊船舶尺寸、水深、風向、波向及水流狀況等因素，並須留意不得妨礙其他船舶之停泊及航行。

一般靠泊靠船台之船舶，均為較大型者，通常其船首及船尾長度約各佔船長 $1/8$ 部份之船舷為曲線，中央佔船長 $3/4$ 部份之船舷為直線。於配置靠船台時，應留意須使船舶能在直線船舷之範圍內靠泊靠船台。

一般而言，每座船席配置二座靠船台，左右各一座。然供大型船舶及小型船舶混用之碼頭，則每船席宜左右各建二座靠船台較為適當。

靠船台計畫靠泊須特殊裝卸機械之船舶時，可於靠船台中間興建一工作平台，供設置裝卸機械之用。工作平台法線應較靠船台法線內凹，以避免直接承受船舶碰撞。

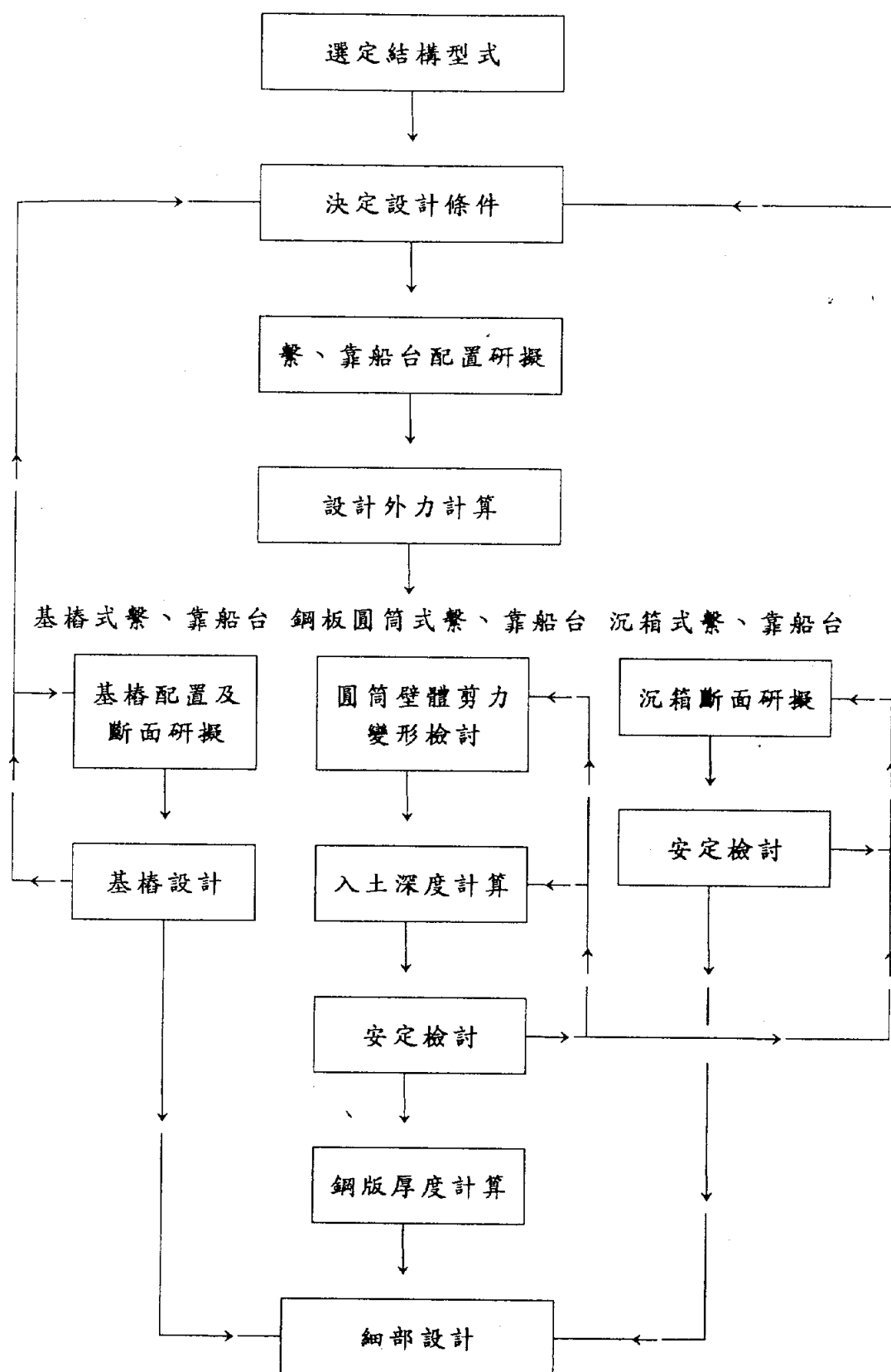


圖 9-9.1 繫、靠船台設計流程

爲使船舶容易停靠或離開靠船台，且減少靠泊船舶作用於靠船台之外力，靠船台之法線方向，應儘可能平行風向、波向及流向。但在風向與岸線方向不同之海岸興建繫、靠船台時，從水域利用之觀點而言，繫、靠船台之法線方向宜與海岸線平行爲佳。

繫、靠船台宜興建於原海底水深與設計水深相近位置。

繫、靠船台興建位置不得妨礙泊地中其他船舶之停泊，同時亦不得妨礙航道中其他船舶之航行。

船舶靠泊繫纜用之繫船柱，如鄰近陸地，則設置於陸地，否則另建繫船台設置繫船柱。設置繫船柱用之繫船台，應在靠泊船舶船頭船尾約  $45^{\circ}$  之方向，離靠泊用靠船台後側適當距離處設置。其數量可由船舶之拉力決定之。在靠泊用靠船台上亦可設置繫船柱，供靠泊船舶繫纜或供小型船舶繫纜之用。

### 9.9.3 作用於繫、靠船台之外力

#### 1. 概要

作用於繫、靠船台之外力及載重，一般應考慮下列各項。於設計時，設計者應針對現況，刪除不須考量之外力，或增加須特別考量之外力。

- 船舶衝擊力
- 船舶拉力
- 繫、靠船台自重與活載重等所致之垂直力
- 作用於結構物及裝卸機械之地震力
- 作用於裝卸機械之風力

#### 2. 船舶衝擊力及拉力

船舶船舶衝擊力及作用於繫船柱之拉力，依第二篇第二章 2.2 節[船舶所產生之外力]規定計算。

#### 3. 自重與活載重

繫、靠船台自重與活載重，依第二篇第十二章[載重]規定計算。

#### 4.地震力

作用於結構物及裝卸機械之地震力，依第二篇第九章〔地震及地震力〕規定計算。

#### 5.風力

作用於裝卸機械之風力，依第二篇第二章〔風及風力〕規定計算。

### 9.9.4 基樁式繫、靠船台

基樁式繫、靠船台設計，依本篇第七章〔棧橋式碼頭〕所述相關設計法辦理。

基樁式繫、靠船台設計，應檢討下列事項：

- 基樁應力(水平力、垂直力、扭轉力)
- 基樁入土深度
- 繫、靠船台撓曲量

### 9.9.5 鋼板圓筒式繫、靠船台

鋼板圓筒式繫、靠船台設計，依本篇第六章〔圓筒式碼頭〕所述相關設計法辦理。

鋼板圓筒式繫、靠船台設計，應檢討下列事項：

- 壁體剪斷變形檢討
- 板樁入土深度
- 壁體安定檢討(滑動、承载力、傾覆)
- 板樁拉力

### 9.9.6 沉箱式繫、靠船台

沉箱式繫、靠船台設計，依本篇第四章〔重力式碼頭〕所述相關設計法辦理。

沉箱式繫、靠船台設計，應檢討下列事項：



- 滑動安定
- 傾覆安定
- 地盤承载力
- 沉箱之迴轉(Rotation)

沉箱迴轉係發生於外力偏心作用於繫、靠船台時，其抵抗力為沉箱底面與拋石基礎之摩擦力，其安全係數同滑動安定。

## 9.10 浮碼頭

### 9.10.1 設計原則

本章9.10節[浮碼頭]所述設計法，適用於浮箱以鏈條錨錠，且設置在波浪及海流影響較小處之浮碼頭。

浮碼頭因係浮於水面，故不宜設置於波浪及海流較大之處，其以設置於海流小於0.5m/sec，且波高小於1.0m之處為原則。

浮碼頭設計流程，如圖9-10.1所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.15。

### 9.10.2 浮碼頭興建位置及配置

浮碼頭之配置形式有突堤式及平行式兩種，於研擬浮碼頭興建位置及配置時，應考量擬靠泊船舶之型式、大小及水深、水流、波浪、海底地質等自然條件。

浮碼頭係由浮箱、連接陸上與浮箱之連絡橋、連接浮箱與浮箱之引橋、繫泊浮箱之錨鏈及錨錠設施等組成。浮碼頭各部份名稱及浮箱(pontoon)各部份名稱，示意如圖 9-10.2及9-10.3。

### 9.10.3 浮箱設計

#### 1. 浮箱材質

##### (1) 概要

目前浮碼頭浮箱最重要之材料為保麗龍發泡體（聚苯乙烯 polystyrene）。本材料具有水密之特性，但表面硬度較軟

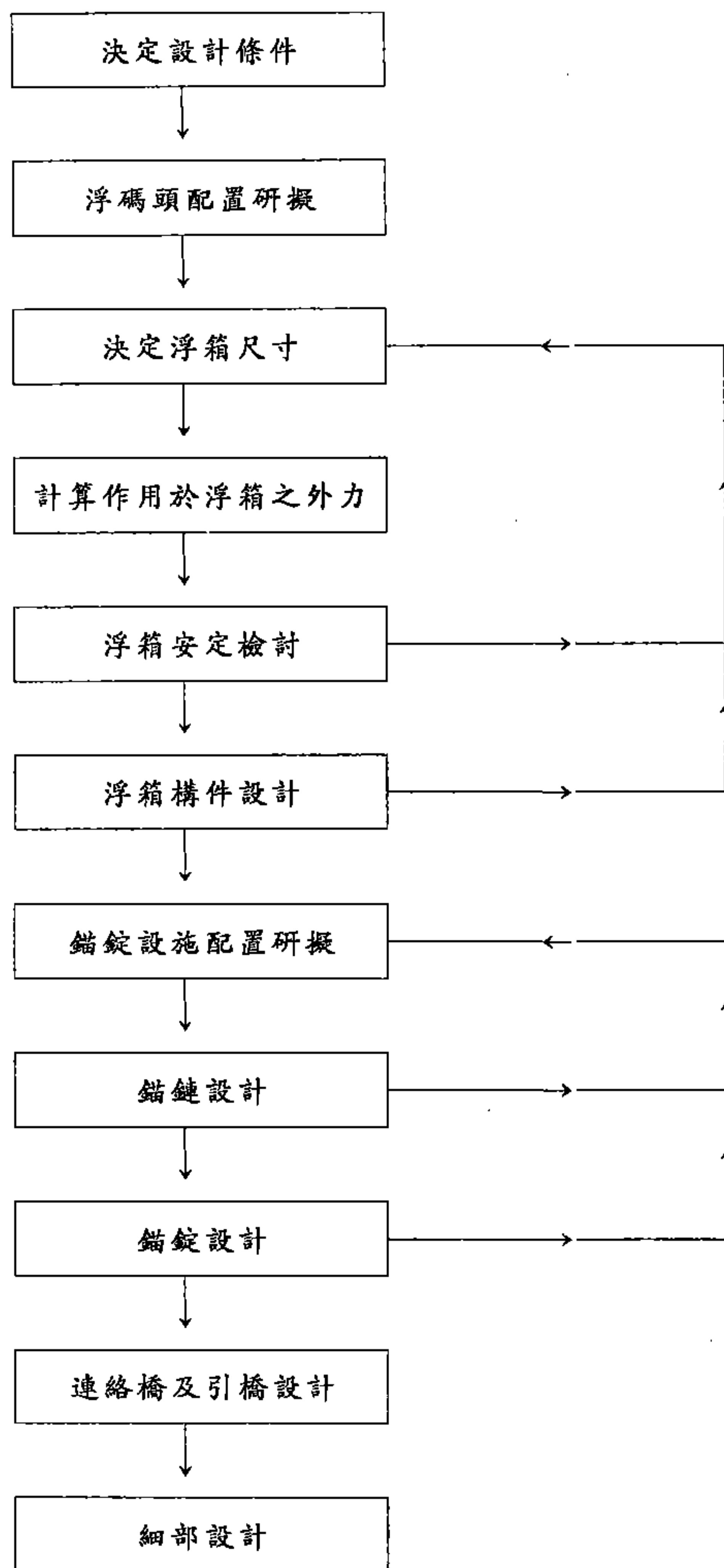


圖 9-10.1 浮碼頭設計流程

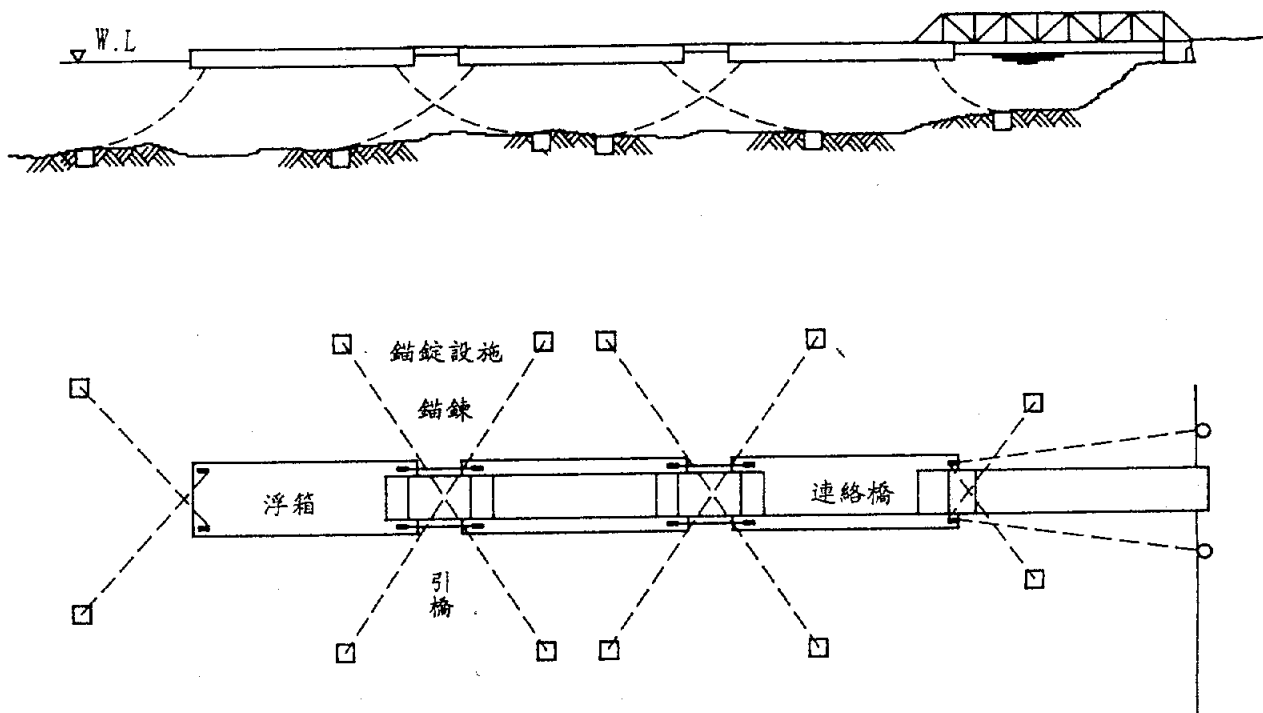


圖 9-10.2 浮碼頭各部份名稱

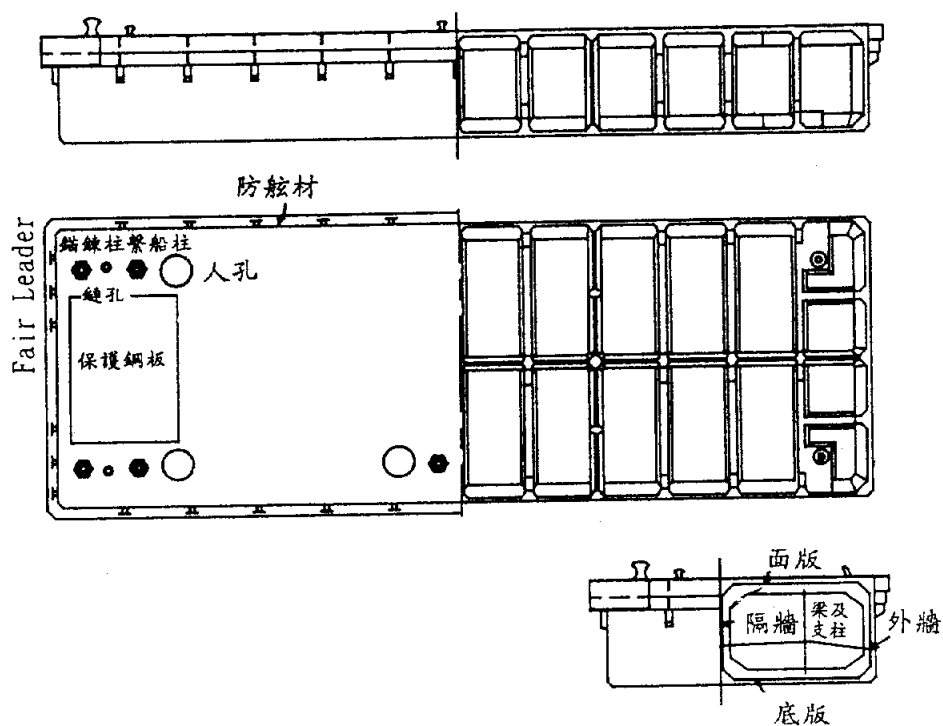


圖 9-10.3 浮箱各部份名稱

，不耐碰撞磨損，以致衍生許多不同材質之保護層外殼，依其使用材料之不同，可分為鋼筋混凝土製、鋼製、塑膠製、FRP製、鋼絲混凝土製、木製等。

#### (2)鋼筋混凝土製浮箱

鋼筋混凝土製浮箱具耐久性，由於吃水深度較深，故甚為穩定，且製作費及維護費均較鋼製浮箱為低。然對承受碰撞能力較差，水密性亦隨時間而降低。為使鋼筋混凝土製浮箱保持有較佳之水密性，應特別注意混凝土配比及施作。

#### (3)鋼製浮箱

鋼製浮箱製作容易，對承受碰撞能力亦強，且修補容易。於吃水方面，較鋼筋混凝土製浮箱為淺，故受水流之影響較小。但因鋼材容易鏽蝕，常須上架除鏽油漆，其耐久性較鋼筋混凝土製為浮箱差。

#### (4)塑膠製浮箱

塑膠製浮箱，較鋼筋混凝土製浮箱無龜裂之慮，且具有良好之水密性，厚度亦較薄等優點。此外為減少斷面應力，亦有以塑膠管組裝成浮箱。

#### (5)FRP製浮箱

FRP 製浮箱，因質輕且吃水較淺，故較不穩定，然耐久性甚佳，且安裝便捷。目前小規模之浮碼頭，甚多採用 FRP 製浮箱作為遊艇泊靠之用。

#### (6)鋼絲混凝土製浮箱

鋼絲混凝土製浮箱，較鋼筋混凝土製浮箱及塑膠製浮箱，其厚度可更薄。然水密性則較鋼筋混凝土製浮箱為佳，比塑膠製浮箱為差。

#### (7)木製浮箱

木製浮箱製作費用較低廉，惟水密性較差，且容易腐朽，易受蟲害影響，耐久性低。為保持浮箱水密性及防止腐爛與蟲害，木製浮箱須時常上架修理，為其缺點。

## 2. 浮箱尺寸

為方便裝卸貨物及旅客上下船，浮箱甲板須有充足之面積及適宜之乾舷高度，且浮箱各部份尺寸，須能使整個浮碼頭保持穩定狀態。

對大型浮箱而言，其尺寸以20m~30m長，10m~15m寬，2m~4m高者為多。

浮箱面版、外牆、底版及隔牆等，每邊長度以1m~3m為準。

鋼筋混凝土製浮箱厚度，外牆及底版為15cm~20cm，面版及隔牆為10cm~20cm；鋼製浮箱厚度以6mm~10mm為多。版之長寬比宜趨近於1。

浮箱乾舷高度，無論滿載或輕載時，均須能適合貨物裝卸及旅客上下船。浮箱乾舷高度可依下式計算。

$$h' = d - \frac{W_1}{\gamma_w \cdot A} \quad (9-10.1)$$

式中

$h'$ ：浮箱乾舷高度(m)

$d$ ：浮箱高度(m)

$W_1$ ：浮箱重量(t)

$\gamma_w$ ：水之單位體積重量( $t/m^3$ )

$A$ ：浮箱水平斷面積( $m^2$ )

## 3. 作用於浮箱之外力及載重

### (1) 概要

作用於浮箱之外力及載重，應考慮下列各項：

- 裝載載重及活載重
- 連絡橋及引橋之支點反力
- 水壓力
- 浮箱自重
- 壓艙重量

船舶衝擊力、波力、水流力、動水壓力等，除特殊狀況外，可不必考慮。

## (2) 裝載載重及活載重

裝載載重大小，依所裝卸貨物及上下旅客而定。一般供旅客上下船為主之浮碼頭，其載重以 $0.5\text{t/m}^2$ 計算。

供汽車經浮碼頭轉載於渡輪時，活載重應以允許通過汽車之輪載重為設計標準。

## (3) 連絡橋及引橋支點反力

連絡橋及引橋支點反力計算，詳本小節第4小節[浮箱構件設計]。

## (4) 水壓力

作用於浮箱外牆之水壓力，依浮箱吃水深度計算之。

## (5) 浮箱自重

浮箱自重依浮箱所採用材質計算之。

## (6) 壓艙重量(counterweight)

浮箱因受連絡橋支點反力作用，會發生傾斜現象，為求平衡，必要時須放置壓艙物。壓艙重量應與連絡橋支點反力相互平衡，以保持浮箱穩定。

# 4. 浮箱穩定性檢討

## (1) 概要

為確保浮箱穩定性，應針對下二事項進行檢討：

— 當下列外力或載重同時作用於浮箱時，浮箱仍能保持穩定及維持必要之乾舷高度。

- 連絡橋支點反力
- 甲板上滿載載重
- 浮箱內有若干浸水

— 浮箱長向對稱軸連絡橋邊滿載載重，加上連絡橋支點反力後，浮箱仍能保持穩定狀態，甲板傾斜須小於 $1:10$ ，且甲板面仍保持於水面上，即乾舷高度大於 $0.0$ 。

## (2) 浮箱浸水時穩定檢討

檢討浮箱穩定時，應考慮艙內浸水深度，一般可視為浮箱高度之 $10\%$ ，此時浮箱乾舷至少仍應維持 $0.5\text{m}$ 左右。

### (3) 浮箱承受均佈載重時之穩定計算

浮箱承受均佈載重時，為確保浮箱穩定，其須滿足下式：

$$\frac{I \cdot \gamma_w}{W_2} - CG > 0 \quad (9-10.2)$$

式中

$I$ ：浮箱吃水面對長軸之斷面慣性力矩( $m^4$ )

$W_2$ ：浮箱重量與均佈載重總重( $t$ )

$\gamma_w$ ：海水單位體積重量( $t/m^3$ )

$C$ ：浮心

$G$ ：重心

當浮箱艙內浸水時，且承受均佈載重時，為確保浮箱穩定，其須滿足下式：

$$\frac{\gamma_w}{W_2'} (I' - \sum i) - C'G' > 0 \quad (9-10.3)$$

式中

$I'$ ：浮箱艙內浸水時，吃水面對長軸之斷面慣性力矩( $m^4$ )

$i$ ：浮箱艙內浸水時，各隔艙內水面對中心軸之斷面慣性力矩( $m^4$ )。該中心軸應與浮箱之迴轉軸成平行。

$W_2'$ ：浮箱艙內浸水時重量與均佈載重總重( $t$ )

$\gamma_w$ ：海水單位體積重量( $t/m^3$ )

$C'$ ：浮箱艙內浸水時之浮心

$G'$ ：浮箱艙內浸水時之重心

### (4) 浮箱承受偏心載重時之穩定計算

如圖9-10.4所示，浮箱承受偏心載重時，為確保浮箱穩定，依(9-10.4)式計算之浮箱傾斜 $\tan\alpha$ ，應滿足(9-10.5)之條件，即浮箱甲板傾斜須小於1:10；且甲板面仍保持於水面上，即乾舷高度大於0.0。

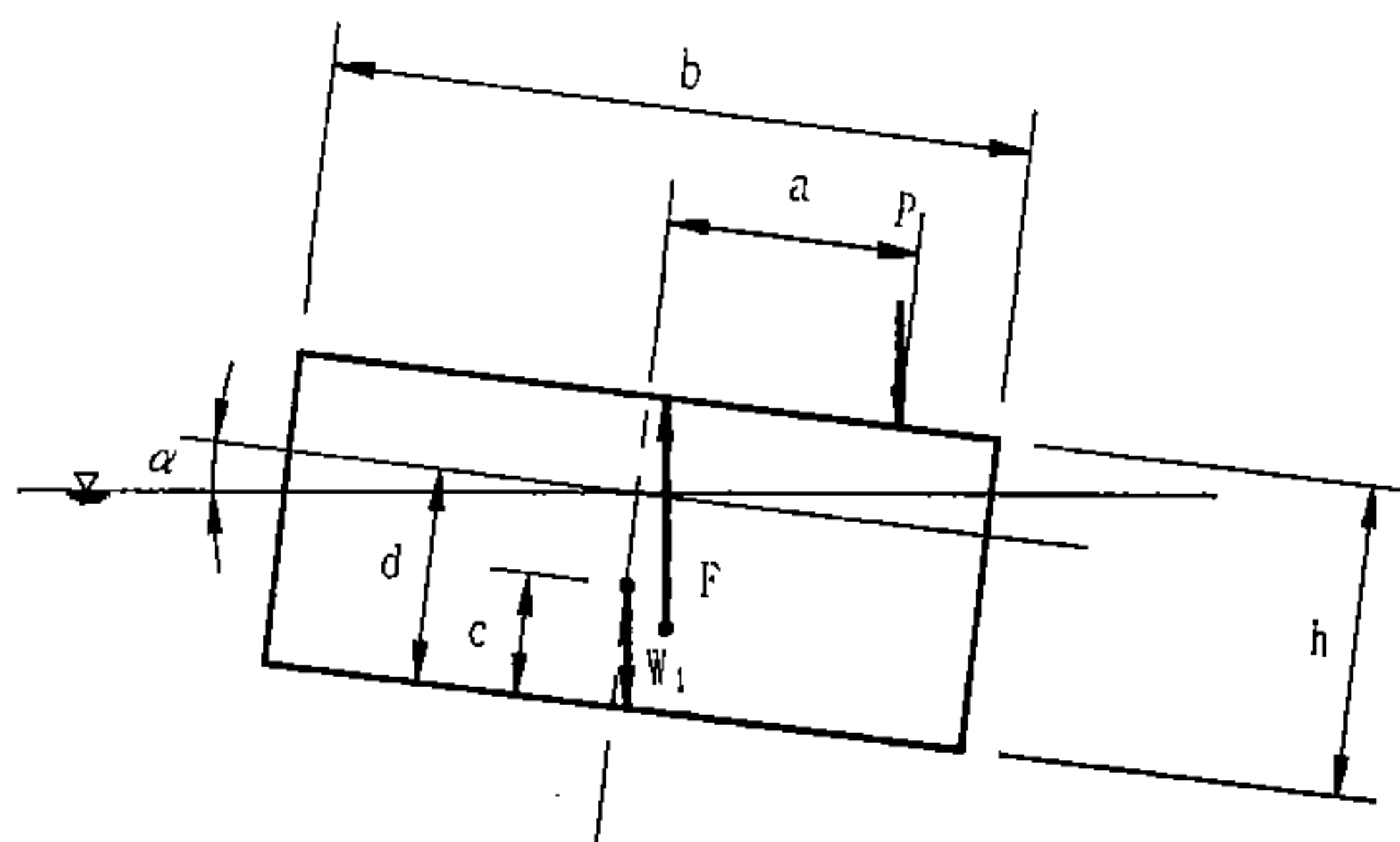


圖 9-10.4 浮箱承受偏心載重時之穩定計算

$$(W_1 + P) \left[ \frac{b^2 \cdot \tan \alpha}{12 \cdot d \cdot \cos^2 \alpha} - \left( \frac{b^2}{24 \cdot d} \tan^2 \alpha + C - \frac{d}{2} \right) \tan \alpha \right] - P[a + (h - c) \tan \alpha] = 0 \quad (9-10.4)$$

由於 $\alpha$ 相當小，上式中 $\cos^2 \alpha$ 可以 $1 - \tan^2 \alpha$ 近似值替代之。

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha &< \frac{2(h-d)}{b} \\ \tan \alpha &< \frac{1}{10} \end{aligned} \right\} \quad (9-10.5)$$

式中及圖9-10.4中

$W_1$ ：浮箱重量(t)

$P$ ：偏心載重之合力(t)

$F$ ：浮力(t)  $F = W_1 + P$

$b$ ：浮箱寬度(m)

$h$ ：浮箱高度(m)

$d$ ： $P$ 作用於浮箱中心時，浮箱之吃水深度(m)

$c$ ：浮箱重心至浮箱底面高度(m)

$a$ ：浮箱中心軸至 $P$ 載重之偏心距離(m)

$\alpha$ ：浮箱傾斜角(度)



## 5. 浮箱構件設計

### (1) 概要

浮箱面版、外牆、底版、隔牆、梁及支柱，依其結構假設適宜型式設計之。

### (2) 面版

面版可視為由梁及外牆四邊固定之雙向版，於承受下列載重時，依可能發生之最大應力設計之。

- 裝載載重作用時：裝載載重＋自重
- 活載重作用時：活載重＋自重
- 連絡橋支點放置浮箱上時(即無調節塔時)：連絡橋支點反力＋自重

活載重可將汽車輪載重視為集中載重計算。

連絡橋支點反力，可視為作用於面版之集中載重計算。

### (3) 外牆

外牆可視為由底版及外牆或梁四邊固定之雙向版，假設浮箱全部浸入水中0.5m時所承受之靜水壓力設計之。

### (4) 底版

底版可視為由外牆或梁四邊固定之雙向版，假設浮箱全部浸入水中0.5m時所承受之靜水壓力設計之。

### (5) 隔牆

隔牆可視為四邊固定之版，假設承受一隔艙滿水時之靜水壓力設計之。

### (6) 梁及支柱

支撐面版、底版、側牆之梁及中央支柱，可視為箱型剛性構架(Box Rigid Frame)，假設面版承受最大載重，及承受浮箱吃水與浮箱高度相等時之水壓力設計之。

### (7) 鋼筋混凝土製浮箱保護層厚度

鋼筋混凝土製浮箱保護層厚度，直接接觸海水者以大於3cm，其他不接觸海水者以大於2cm為原則。此兩數值較一般海中結構物鋼筋保護層為薄，故對混凝土之水密性，於設計時須特別留意。

## 6. 浮箱連結

浮箱於波浪作用發生搖動時，為避免各浮箱互相碰撞發生破損，各浮箱互相間之連結須非常堅固，且須在各浮箱間加裝防舷材以策安全。

## 9.10.4 錨鏈設計

### 1. 設計外力

#### (1) 概要

設計浮箱之錨鏈時，須考慮下列各項外力：

- 船舶衝擊力
- 船舶拉力
- 波力
- 水流力

#### (2) 外力組合

就下列三種外力組合中，擇其最大者，作為設計外力。

- 船舶衝擊力 + 水流力
- 船舶拉力 + 水流力
- 波力 + 水流力

#### (3) 船舶衝擊力及船舶拉力

作用於浮箱之船舶衝擊力及拉力，依第二篇第二章 2.2 節[船舶所產生之外力]規定計算。

#### (4) 波力

作用於浮箱之波力，依第二篇第四章 4.2 節[作用於海中結構物之波力]規定計算。

於計算波力時，可將浮箱視為立方體，以決定拖曳力係數。拖曳力作用面積，可採靜水面以下部份之面積計算。

上述波力係作用於靜止之浮箱，如浮箱之固定振動週期接近於波浪之週期時，會引起浮箱共振現象，而產生非常大之力量作用於錨鏈，於設計浮箱及錨鏈時應予注意。

### (5) 水流力

作用於浮箱之水流力，依第二篇第六章[水流及水流力]相關規定計算。

於計算水流力時，可將浮箱視為立方體，以決定拖曳力係數。拖曳力作用面積，可採靜水面以下部份之面積計算。

## 2. 錨鏈長度及設置方式

固定浮箱之錨鏈，應具有適當長度，並以錨錠(Anchor)固定於海底。

如圖9-10.3所示，錨鏈係先穿過鏈孔(Chain Hole)後，繫於浮箱四隅之錨鏈柱(Chain Post)上，並以錨錠(Anchor)固定於海底。

錨鏈為不妨礙船隻停靠，一般均在浮箱下作十字交叉，但此將使錨鏈摩損，於設計時應予注意。

錨鏈長度一般為水深之 5 倍，但應加上調節潮位變化所須之長。於決定錨鏈長度時，應考量下列各點。

- 錨鏈於高潮拉緊時，不可再加以額外拉力，以免拉斷。
- 錨鏈在高潮時，應不妨礙船隻之靠泊。
- 高潮時，錨錠設施須保持充分之錨著力(Holding Power)
  - 與錨錠設施連接部份之錨鏈，其與水平面之夾角大於 $30^\circ$ 時，錨錠設施之錨著力將大為減低。
- 低潮時，應注意浮箱之水平移動距離。

## 3. 錨鏈拉力計算

各錨鏈所承受之拉力，可依浮箱與錨鏈之關係，採用動力學解法計算。然此種解法非常複雜困難，故一般將錨鏈視為懸垂曲線(catenary curve)，採用靜力學方法計算。

如圖9-10.5所示，如錨鏈可視為懸垂曲線時，則作用於錨鏈之拉力可依下式計算。

$$T = P \cdot \sec\theta_2 \quad (9-10.6)$$

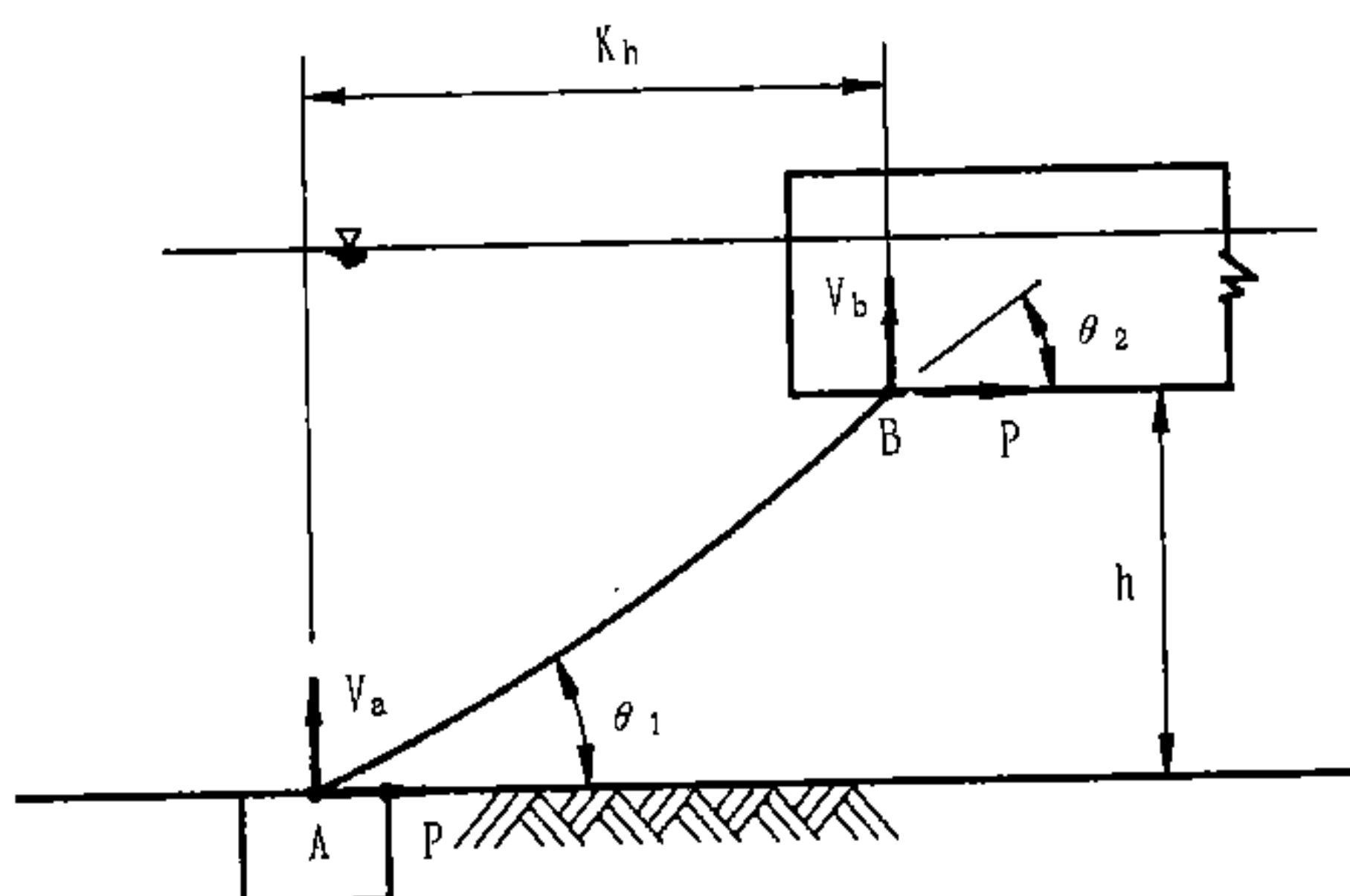


圖 9-10.5 浮碼頭錨鏈設計示意圖

式中

$T$ ：作用於錨鏈之拉力(t)

$P$ ：作用於浮箱之水平外力(t)

$\theta_2$ ：在浮箱與錨鏈連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

作用於錨錠設施之水平力，與作用於浮箱之水平力相同。

作用於錨鏈之垂直力可由下列公式計算。

$$V_a = P \cdot \tan\theta_1 \quad (9-10.7)$$

$$V_b = P \cdot \tan\theta_2 \quad (9-10.8)$$

式中

$V_a$ ：作用於錨鏈與錨錠設施連接處之垂直力(t)

$V_b$ ：作用於錨鏈與浮箱連接處之垂直力(t)

$P$ ：作用於浮箱之水平外力(t)

$\theta_1$ ：在錨鏈與錨錠設施連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

$\theta_2$ ：在浮箱與錨鏈連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

如錨鏈之長度為 $L$ ，錨鏈單位長度重量為 $w$ ，則 $\theta_1$ 及 $\theta_2$ 可依下列公式求解之。

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{P}{w}(\tan\theta_2 - \tan\theta_1) \\ h &= \frac{P}{w}(\sec\theta_2 - \sec\theta_1) \end{aligned} \right\} \quad (9-10.9)$$

式中

$L$ ：錨鏈長度(m)

$h$ ：浮箱底面至海底面之垂直距離(m)

$w$ ：錨鏈單位長度重量(t/m)

$P$ ：作用於浮箱之水平外力(t)

$\theta_1$ ：在錨鏈與錨錠設施連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

$\theta_2$ ：在浮箱與錨鏈連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

浮箱承受水平力作用時，錨鏈與錨錠設施連接點至錨鏈與浮箱連接點之水平距離，可依下式計算。

$$K_h = \frac{P}{w}[\sinh^{-1}(\tan\theta_2) - \sinh^{-1}(\tan\theta_1)] \quad (9-10.10)$$

式中

$K_h$ ：錨鏈與錨錠設施連接點至錨鏈與浮箱連接點之水平距離(m)

$P$ ：作用於浮箱之水平外力(t)

$w$ ：錨鏈單位長度重量(t/m)

$\theta_1$ ：在浮箱與錨錠設施連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

$\theta_2$ ：在浮箱與錨鏈連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

採用一般直徑之錨鏈時，錨鏈所形成之懸垂曲線，約與直線近似，故公式(9-10.6)~(9-10.10)中， $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 及 $K_h$ 可採用下式近似值。

$$\theta_1 = \theta_2 = \sin^{-1} \frac{h}{L} \quad (9-10.11)$$

$$K_h = \sqrt{L^2 - h^2} \quad (9-10.12)$$

式中

$\theta_1$ ：在錨鏈與錨錠設施連接處，錨鏈與水平面所夾角度  
(度)

$\theta_2$ ：在浮箱與錨鏈連接處，錨鏈與水平面所夾角度(度)

$K_h$ ：錨鏈與錨錠設施連接點至錨鏈與浮箱連接點之水平  
距離(m)

$h$ ：浮箱底至海底面深度(m)

$L$ ：錨鏈長度(m)

#### 4. 錨鏈直徑

錨鏈直徑，於高潮承受本章 9.10.4節[錨鏈設計]第1小節[設計外力]所述外力時，作用於錨鏈之拉力應小於錨鏈之容許拉力。

錨鏈之容許拉力，請詳第三篇[工程材料]中相關規定。決定錨鏈直徑時，應考慮錨鏈之磨損、銹蝕及生物附著等影響。錨鏈須定期檢查，並要時須加以更新。

### 9.10.5 錨錠設施設計

#### 1. 設計外力

設計錨錠設施時，作用於錨錠設施之外力，可採用本章第 9.10.4節[錨鏈設計]第 3小節[錨鏈拉力計算]中，計算所得之下列值。

• 垂直力： $V_a = P \cdot \tan\theta_1$

• 水平力： $P$

#### 2. 錨錠設施安定計算

##### (1) 概要

錨錠設施重量及裝設方法，應考量當錨鏈承受最大拉力時，錨錠設施仍應保持安定。

為確保錨錠設施安定，須檢討錨錠設施水平及垂直方向之抗拉力，其須滿足下式：

$$\frac{\text{錨錠設施抗拉力}}{\text{作用於錨錠設施外力}} > \text{安全係數} \quad (9-10.13)$$

(2) 安全係數

錨錠設施承受錨鏈最大拉力作用時，其安定之安全係數以大於1.2為準。

(3) 錨錠設施抗拉力

A. 混凝土方塊錨錠設施

a. 海底地盤為粘性土

水平抗拉力 = 混凝土方塊底面及側面與粘性土之凝聚力  
+ 被動土壓力 - 主動土壓力

垂直抗拉力 = 混凝土方塊水中重量  
+ 混凝土方塊覆蓋土水中重量

b. 海底地盤為砂質土

水平抗拉力 = 混凝土方塊底面摩擦力  
+ 被動土壓力 - 主動土壓力

垂直抗拉力 = 混凝土方塊水中重量  
+ 混凝土方塊覆蓋土水中重量

計算混凝土方塊底面摩擦力時，混凝土方塊水中重量應扣除作用於錨錠設施之垂直分力。

以混凝土方塊作為錨錠時，混凝土方塊應埋入海底土層中。

以混凝土方塊作為錨錠時，如圖9-10.6所示，應裝設吊環。混凝土方塊及吊環設計，依第五篇第四章[方塊]規定辦理。

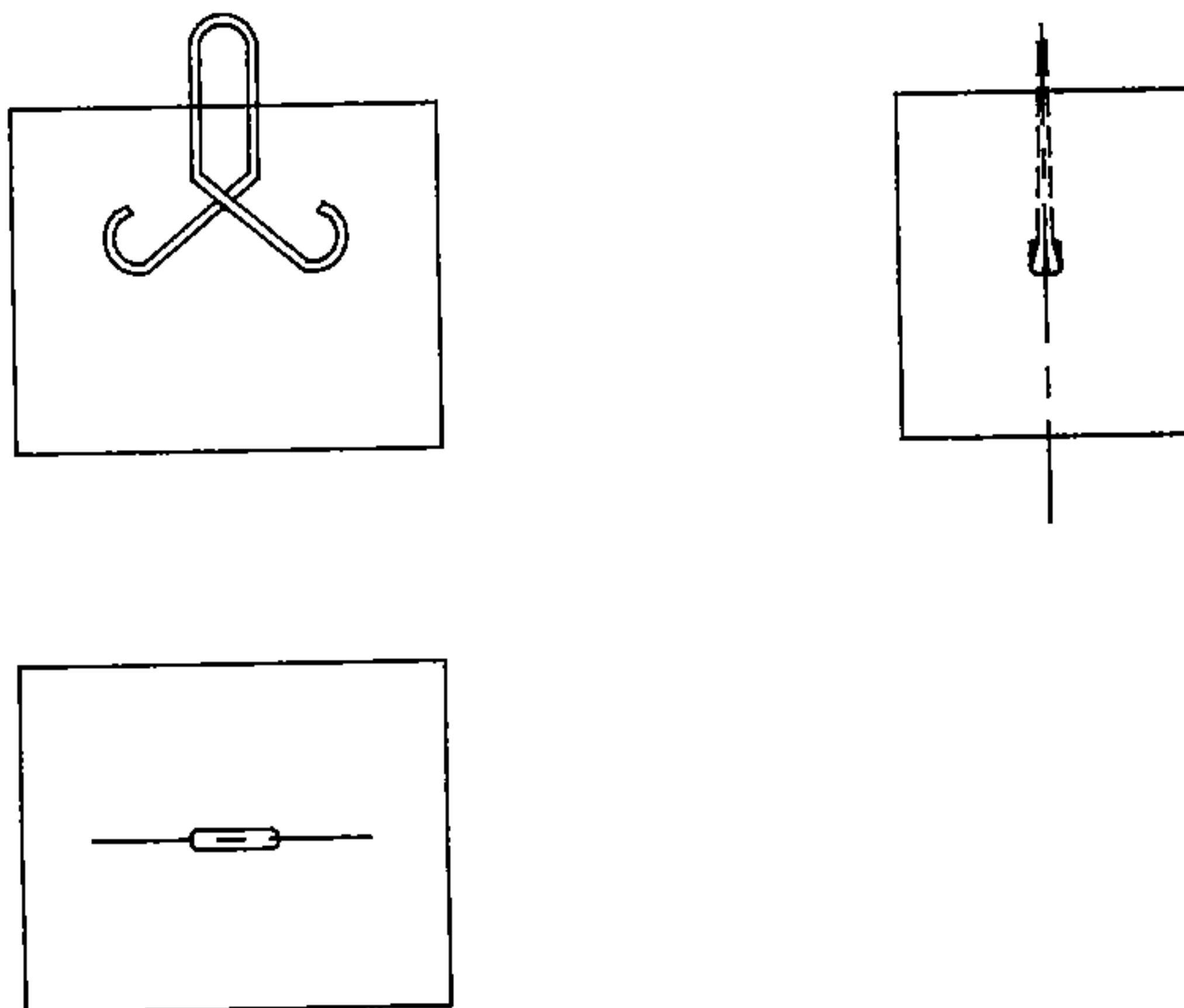


圖 9-10.6 浮碼頭錨錠混凝土方塊設計例

#### B. 鐵製錨錠

水平抵抗力：錨之錨著力(Holding Power)

垂直抵抗力：錨之水中重量

鐵錨之錨著力，依下式計算。

|         |                           |             |
|---------|---------------------------|-------------|
| • 軟泥時   | $T_a = 8 \cdot W_a^{2/3}$ | ] (9-10.14) |
| • 硬泥時   | $T_a = 5 \cdot W_a^{2/3}$ |             |
| • 砂土時   | $T_a = 3 \cdot W_a$       |             |
| • 平整岩盤時 | $T_a = 0.4 \cdot W_a$     |             |

式中  $T_a$ ：錨之錨著力(t)

$W_a$ ：錨之水中重量(t)

### 9.10.6 連絡橋及引橋設計

#### 1. 連絡橋及引橋尺寸與傾斜度

連絡橋及引橋之尺寸及傾斜度，應不妨礙貨物裝卸、旅客上下船及客貨通行。



連絡橋之傾斜度，應符合第七篇第二章[渡輪碼頭] 2.3節[車輛上下岸設施設計]，及 2.4節[旅客上下岸設施設計]相關規定。

一般連絡橋及引橋之寬度為 2m~6m，連絡橋之跨距為10m~20m，引橋之跨距為2m~6m為多，連絡橋之傾斜度在L.W.L時宜緩於1:5。

## 2. 連絡橋及引橋細部設計

### (1) 概要

連絡橋及引橋設計，依一般橋樑設計相關規定辦理。但僅供旅客通行使用之連絡橋及引橋，設計時僅須考慮行人載重。

### (2) 結構型式

連絡橋之種類有兩種，一種係將橋之前端吊在調節塔上，另一種將橋之前端直接放置於浮箱上。

連絡橋一般為鋼構，其結構以小型桁架(Pony Truss)及版梁(Plate Girder)為多。

架設於浮箱間之引橋一般為鋼構，其結構以版梁、工字梁、小型桁架或面版等結構為多。

### (3) 連接形式

#### A. 連絡橋與浮箱之連接

連絡橋之支承，如浮箱較少搖動時，於陸側可採用鉸接(hinge)支承，於浮箱上可用滾輪(roller) 支承或吊在調節塔上。在搖動較多之浮箱，其連絡橋僅靠於浮箱及岸上，為防止連絡橋滑動脫落，應使用鏈條將連絡橋固定於岸上及浮箱上。

為方便連絡橋至浮碼頭之通行，連絡橋於浮箱側之前端，應設置銜接板，以使連絡橋與浮箱能平順連接。與連絡橋滾輪支承相接觸之浮箱面版上，應設置鐵板，以保護浮箱之面版。

由於浮箱搖動，會致使鉸接損壞，於設計時須予注意。

## B. 引橋與浮箱之連接

連接浮箱間之引橋，一端採用鉸接支承，另一端則採用滾輪。其連接設計原則可參考上述連絡橋與浮箱連接設計原則。

### (4) 安全設施

連絡橋及引橋，應設置欄杆外。供車輛使用之連絡橋及引橋應設置車擋。

## 3. 調節塔設計

調節塔結構，須能承受連絡橋支點反力及地震力之作用。

為減輕連絡橋作用於浮箱之支點反力，及天候不良時可將連絡橋吊起，連絡橋於浮箱側可使用調節塔以因應之。

調節塔上下調節連絡橋之方法計有兩種，一由人工依潮位高低調節；二為將連絡橋之大部份重量，利用調節塔之壓重物(counter weight)平衡，小部份靠在浮箱上，依潮位之漲落，自動上下調節。

調節塔結構，以鋼筋混凝土結構及鋼結構為多。調節塔結構示意如圖9-10.7。調節塔上裝設有滑車、壓重物及吊具等。

## 9.11 繫船浮筒

繫船浮筒(Mooring buoy)係防止船舶因風、水流、波浪等之作用，從停泊位置流失，並使船舶可在泊地內安全錨碇停泊之設備。

如圖9-11.1所示，繫船浮筒依其錨錠型式，可概分為沉錘式、錨鍊式及沉錘錨鍊式等三種。其中沉錘式及錨鍊式均為沉錘錨鍊式之簡化型式，其設計法可參考沉錘錨鍊式之設計法。

沉錘錨鍊式繫船浮筒設計流程，如圖9-11.2所示，斷面示意如本篇第三章圖3-1.16。

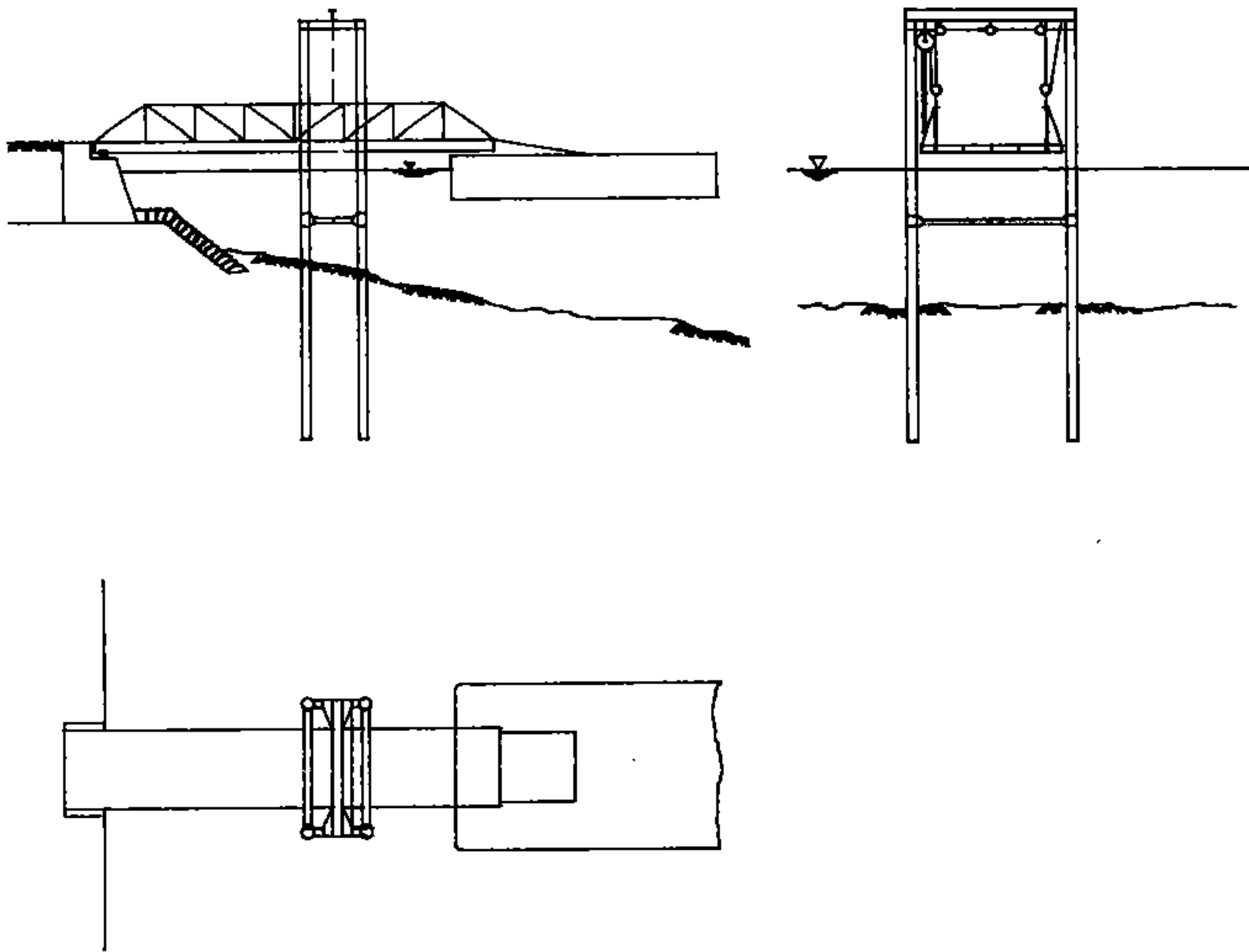


圖 9-10.7 連絡橋調節塔結構示意圖

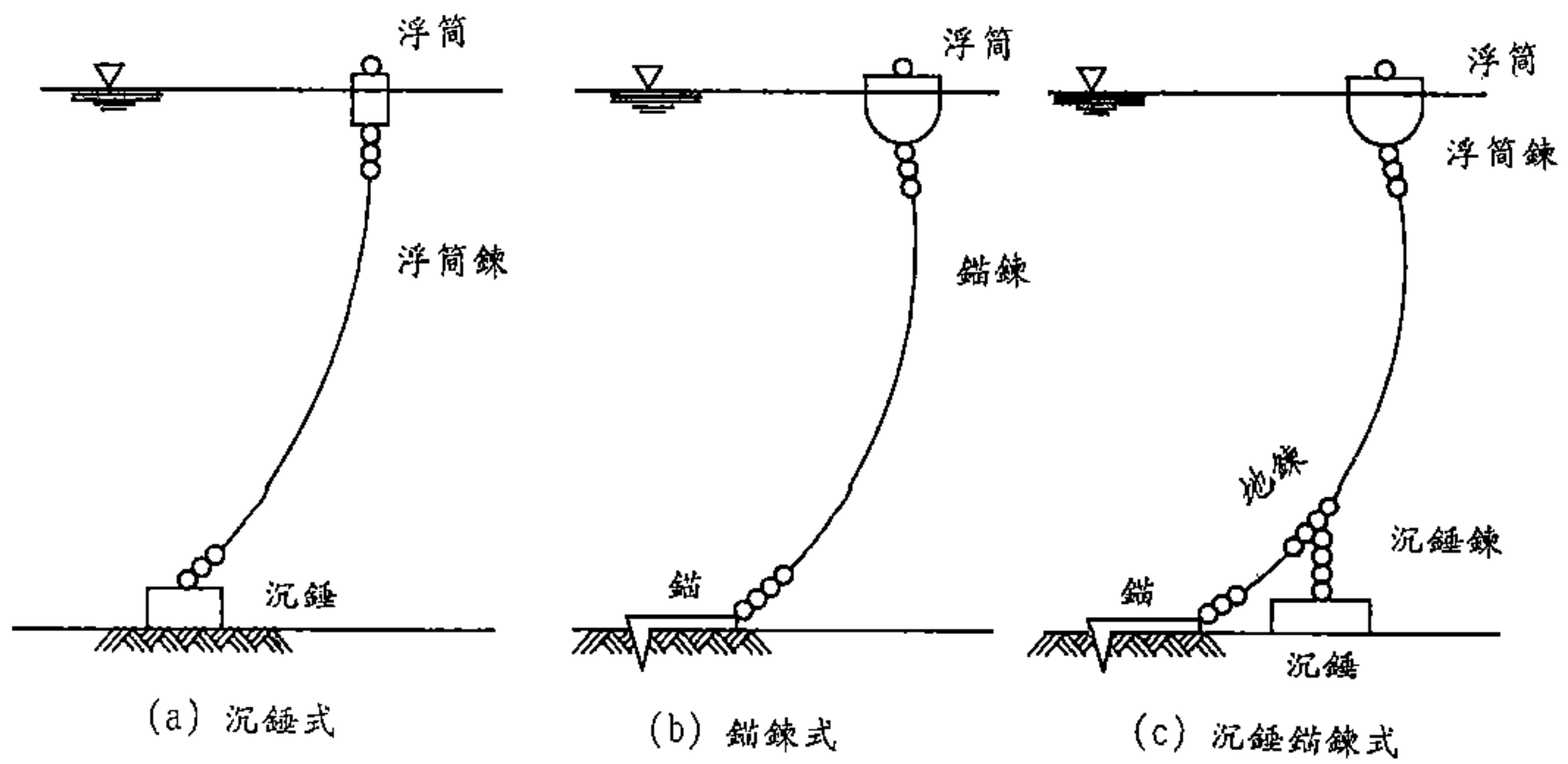


圖 9-11.1 繫船浮筒型式示意圖

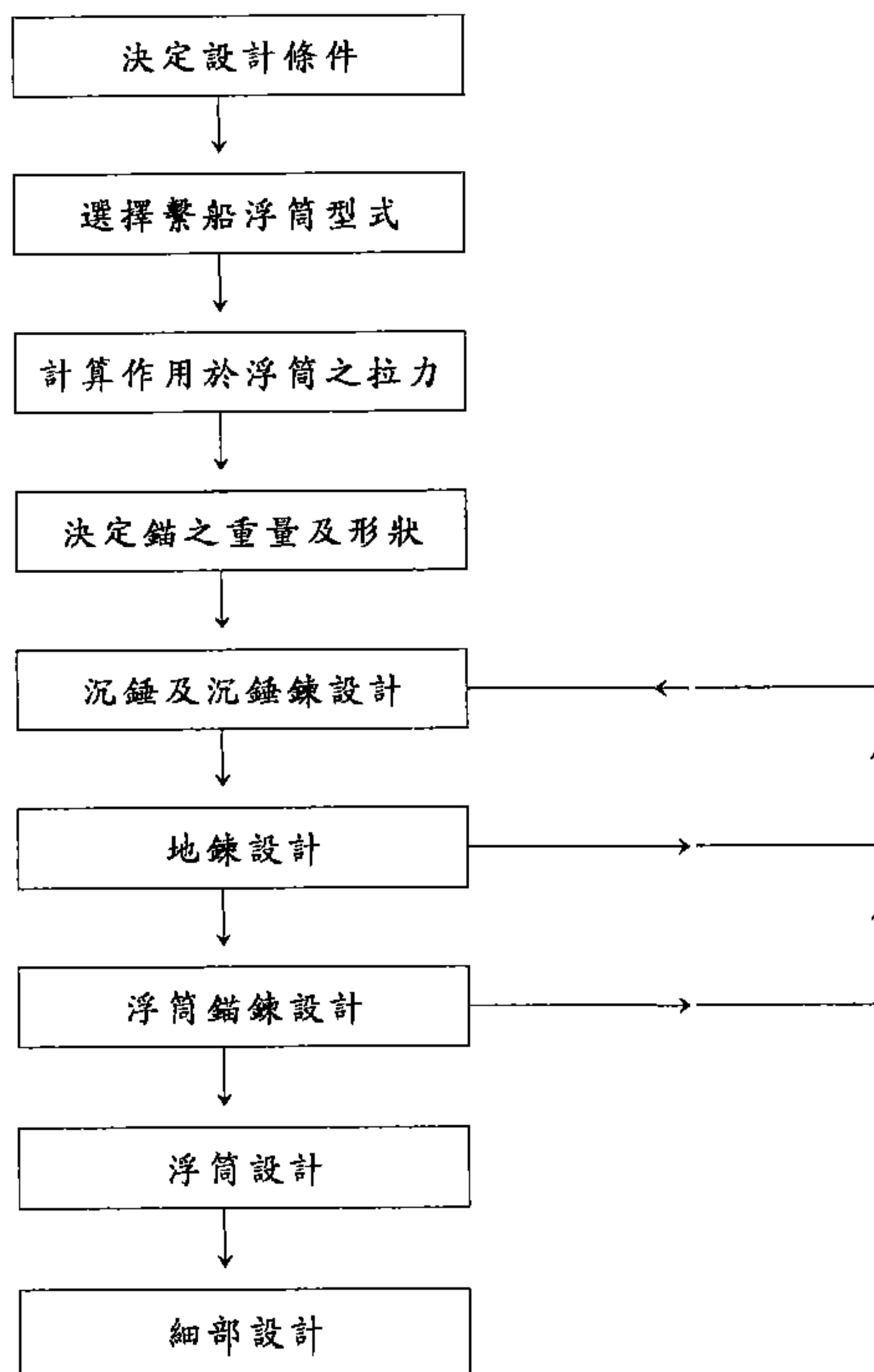


圖 9-11.2 沉錘錨鍊式繫船浮筒設計流程

## 第十章 連接結構物

## 第十章 連接結構物

### 10.1 設計原則

碼頭連接結構物設計，並無一定之準則，故須充分瞭解連接結構物附近狀況，因地制宜。設計連接結構物時，應考量下列各項條件。

- 連接結構物附近之自然環境
- 連接結構物附近結構物之狀況
- 施工順序及施工機械

連接結構物可概略分類如下：

- 碼頭前水深有變化
- 兩種不同結構相連接
- 碼頭角隅

設計連接結構物時，對下列事項應特別注意：

#### — 自然條件

連接結構物附近之地質變化複雜時，對地質狀況應特別加以瞭解。碼頭角隅部份為波浪集中之處，於設計時應特別考量。

#### — 不均勻沉陷

連接段其結構型式有變化者居多，尤其位於軟弱地層處，碼頭連接段其破壞原因往往是因不均勻沉陷所致。

#### — 背填土砂流失

連接段結構型式變化時，往往會引起背填土砂之流失，於設計時應加以注意。

#### — 剛度之差異

連接段結構型式變化時，因剛度之不同，其變形亦不同，往往會造成破壞之原因。

#### — 與既有結構物之關係

與既有結構物連接時，應詳加了解既有結構物之設計，以免影響既有結構物。對未來有延長可能之碼頭，於設計時應考慮未來延長之便利性。

#### — 施工方法

碼頭連接段工程所採用施工機械，應與原工程所用者相同，避免使用完全不同種類之機械施工。

## 10.2 水深變化段

連接段銜接不同水深結構時，連接段結構設計條件應採水深較大碼頭之設計條件，其設計方法及安全係數則應適合各結構型式。

連接段沿結構物法線之海底坡度，從使用及工程費觀點而言，以採用較陡坡度較為適宜，然實際上，海底坡度應考量與海底土質有密切關係之斜坡安定、波浪影響、邊坡維護及浚挖等因素後決定。

連接段沿結構物法線之設計水深，綜合考量結構物剛度、地震時變形及工程費等各因素，原則以採用漸變方式為佳。

混凝土方塊結構，以底層方塊高度為標準，作臺階式變化為宜。板樁結構，設計深度建議每隔 2.0 公尺作臺階式變化為宜。

## 10.3 不同結構之連接

不同結構之連接，有將不同結構直接予以連接，及在不同結構間，另加連接結構兩種方式。於兩結構間另加連接結構時，其設計條件，應取兩側結構之設計條件中，對連接結構在安定上較不利者進行設計為原則。

## 10.4 角隅結構

### 10.4.1 概要

設計向海側凸出之角隅結構，應取相鄰兩側結構設計條件中，對角隅結構在安定上較不利者進行設計為原則。角隅結構之角度，應避免採用銳角。

本節所稱之角隅，係指向海側凸出者，其連接較為困難，若係凹進者，則連接較為容易。角隅結構如採用銳角，不論設計或施工均有困難，故應儘量避免。

角隅結構於地震作用時，震動方向之自由度較大，於設計時應予注意。故於設計重力式碼頭角隅結構時，建議震度增加20%計算。

### 10.4.2 板樁結構與板樁結構之角隅結構

板樁結構與板樁結構連接之角隅結構，其設計困難點在於如何錨碇。採用錨碇版錨碇時，因錨碇版位於板樁土壤主動破壞區內，以致如何計算抵抗土壓等相關問題不易解決，故應儘量避免採用錨碇版錨碇。茲將在結構上認為可行之錨碇方式，舉例說明如下：

#### 一直樁錨碇式

直樁錨碇式係將拉力由錨碇直樁承擔，拉桿與板樁碼頭所成角度宜儘量成直角。設計方法請參考本篇第五章5.6.4節[錨碇直樁設計]規定辦理。

#### 一角隅部份設置平版結構連接

平版結構無須複雜之錨碇結構物，故此種連接方式，常被採用。然設計時，對下列事項應予注意。

1. 檢討彎矩及軸力時，對於X方向、Y方向及合力作用方向，均須加以檢討。



2. 基樁入土深度，應全部以最危險之基樁入土深度為準。

3. 平版設計方法，可參考本篇第八章[平版樁基式碼頭]規定辦理。

— 設置雙重板樁式結構予以連接。

此種連接方式一般使用於淺水區。

### 10.4.3 鋼板樁結構與自立式板樁結構連接之角隅結構

自立式板樁結構用於角隅結構時，可不用錨碇結構物，故在地質良好地區，經常被採用作為水深較淺碼頭之連接。

鋼板樁式結構與自立式板樁結構於角隅連接時，通常自立式板樁結構之位移較鋼板樁結構之位移為大，故有較大之力量作用於連接段之拉桿，因此須考量於連接段附近打設剛度較大之自立式板樁或採用斷面較大之拉桿，其連接段設計方法，可參考本篇第九章9.2節[自立式板樁碼頭]規定辦理。

### 10.4.4 其他角隅結構

在角隅安放沉箱連接，對X方向、Y方向之安定及合力作用方向之安定，均須加以計算檢討。

在角隅安放圓筒連接，此法工程費較為昂貴。

## 第十一章 附屬設施

# 第十一章 附屬設施

## 11.1 概要

爲防止危險發生及有效利用港灣設施等原因，港灣設施應依需要配置附屬設施。

附屬設施主要包含下列設施：

- 繫船設施
- 防撞設施
- 安全設施：包含防止船侵入設施(Skirt Guard)、柵欄(Fence or Rope)、標誌及標示(Marking Signs and Signs)、及車擋(Curbing)等。
- 服務設施：包含照明、旅客上下船設施、車輛上下船設施、公廁及電話、給水設施、加油及供電設施、標誌及標示等。
- 其他設施：包含排水設施、救生設備、消防設備、警報裝置等。

## 11.2 繫船設施

### 11.2.1 概要

碼頭繫船設施，應依下列原則設計：

- 繫船設施須具有充足之強度，以確保繫泊船隻之安全。
- 繫船設施應配置於碼頭適當位置，以供繫泊船隻使用。

碼頭繫船設施配置，應考量氣象、海象等自然條件及計畫靠泊船隻船型及種類等條件，以確保靠泊船隻，可便利使用。繫船設施於考量上述條件下，應具有足夠強度以承受作用於繫船設施之拉力。

### 11.2.2 繫船柱及繫船環配置

直柱主要供船舶於颱風時繫泊使用，配置於碼頭二端碼頭岸肩後側處。曲柱主要供船舶於常時繫泊使用，其沿碼頭法線方向，間隔適當距離配置。

曲柱配置間距及每席碼頭最小配置數量，可參考表11-2.1中所列之值。

表 11-2.1 曲柱配置參考表

| 計畫靠泊船隻<br>總噸位  | 最大配置間距<br>(m) | 最小配置數量<br>(座) |
|----------------|---------------|---------------|
| 小於 2,000       | 10~15         | 4             |
| 2,001~ 5,000   | 20            | 6             |
| 5,001~ 20,000  | 25            | 6             |
| 20,001~ 50,000 | 35            | 8             |
| 50,001~100,000 | 45            | 8             |

於二座碼頭連接處，2支曲柱應間隔數公尺，連續配置。

供小型船舶使用之小型碼頭，繫泊纜繩與碼頭平面夾角甚小時，可不設置曲柱，而以每間隔10至20公尺設置一直柱替代之。小型碼頭亦可以同曲柱強度之係船環，每間隔5至10公尺配置一個，以取代曲柱。

### 11.2.3 船舶拉力

繫靠碼頭船隻作用於繫船柱之拉力，依第二篇第二章 2.2.4 節[作用於繫船柱之拉力]規定計算。

## 11.3 防撞設施

### 11.3.1 概要

碼頭設施除繫船浮筒外，均應配置防撞設施，以吸收船舶靠岸及繫泊時所產生之衝擊力。

船舶靠岸時，或繫泊中船舶因風浪流作用而搖動時，船舶與碼頭間產生衝擊力及摩擦，為防止船舶及碼頭損壞，於碼頭岸壁應設置防撞設施(防舷材，Fender)。小型船隻，因船隻本身備有如輪胎等防撞設施，且其衝擊力較小，故供小型船隻靠泊之小型碼頭，可不必要設置防舷材。

橡膠、空氣式及樁式等防舷材設計流程，如圖11-3.1所示。

### 11.3.2 防舷材配置

碼頭防舷材配置，應使防舷材吸收船舶靠岸能量前，船舶不可直接接觸碼頭岸壁為原則。

### 11.3.3 船舶靠岸及繫泊所產生之作用力

船舶靠岸及繫泊所產生之作用力，依第二篇第二章 [船舶所產生之外力]規定計算。

### 11.3.4 防舷材選擇

選擇橡膠、空氣式等防舷材時，應考量下列事項。

- 船舶靠岸衝擊力應小於碼頭容許載重。
- 受波浪影響之碼頭，應考量繫泊船舶搖動所產生之作用力。
- 考量船舶靠岸角度、靠岸速度等靠岸狀況，選擇適宜之防舷材。
- 不可僅考量防舷材特性，而應整體考量碼頭結構特性，選擇適宜之防舷材。

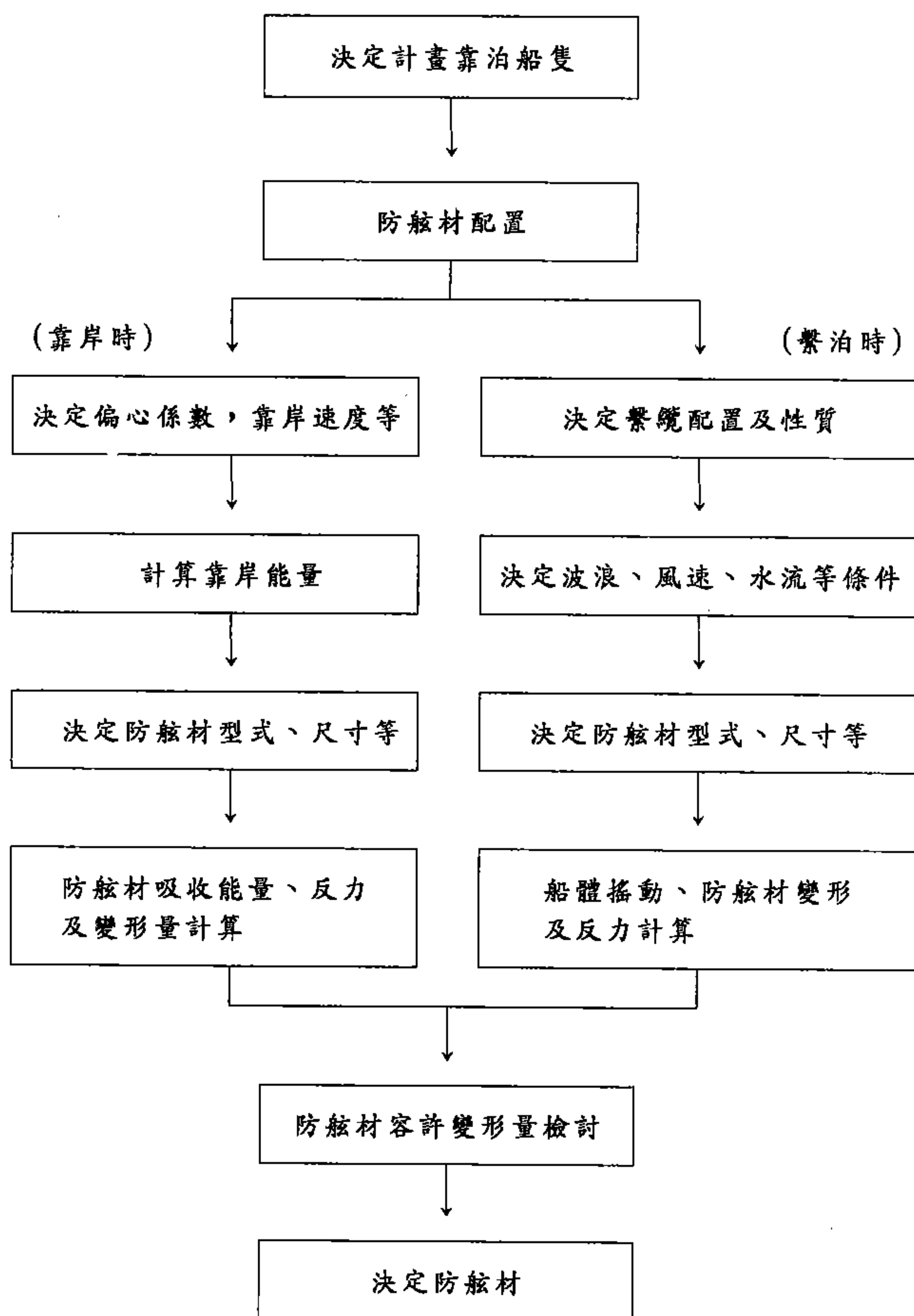


圖 11-3.1 防舷材設計流程

## 11.4 安全設施

### 11.4.1 概要

爲防止小船侵入棧橋，及確保碼頭區人車安全，碼頭應依須要配置防止船侵入設施(Skirt Guard)、柵欄(Fence or Rope)、標誌及標示(Marking Signs and Signs)、及車擋(Curbing)等安全設施。

### 11.4.2 防止船侵入設施

棧橋、繫靠船臺等碼頭結構，應配置防止船侵入設施(Skirt Guard)或其他安全設施，以防止小船進入樁群中。

### 11.4.3 柵欄

供渡輪、水翼船、交通船、遊樂船，及其他供旅客使用船舶停靠之碼頭，爲確保旅客安全，應配置必要之柵欄等安全設施，以防止旅客落海，及隔離車輛進入。

### 11.4.4 標誌及標示

爲確保碼頭區人車安全，應視碼頭狀況設置必要之警告及禁止標誌及標示。

### 11.4.5 車擋

可供車輛通行之碼頭，爲防止車輛落海，應視碼頭狀況，於碼頭岸邊緣設置車擋。

車擋設置間隔以30公分爲標準，但中間夾有繫船柱之車擋間隔以1.5~2.5公尺爲標準。

## 11.5 服務設施

### 11.5.1 概要

碼頭應依作業需求，設置照明、旅客上下船、車輛上下船、給水、供電、加油、公廁、電話等服務設施，並依配置之服務設施設立標誌及標示等。

### 11.5.2 照明設施

供應夜間使用之碼頭，應設置適宜之照明設施，以方便碼頭裝卸作業、船舶靠離岸、旅客上下船等。

### 11.5.3 旅客上下船設施

供載客船舶使用之碼頭，應設置適宜之旅客上下船設施、以使旅客能順利安全上下船。

旅客上下船設施設計，依第七篇第二章2.4節[旅客上下船設施設計]規定辦理。

### 11.5.4 車輛上下船設施

依碼頭使用狀況，必要時應設置車輛上下船設施，以供車輛上下船。

車輛上下船設施設計，依第七篇第二章2.3節[車輛上下船設施設計]規定辦理。

### 11.5.5 給水設施

大型碼頭，如給水船無法有效供水時，碼頭應設置給水設施，以方便船舶給水。

給水設施設計，應考量碼頭計畫靠泊船型，決定給水栓供水能量、數量，並以方便船舶使用為原則配置於碼頭上。

給水設施應配置必需設施，防止所供水質遭受污染。



### 11.5.6 加油及供電設施

依碼頭使用狀況，必要時應設置加油及供電設施，以服務靠泊船舶。

加油及供電設施設計，應考量碼頭計畫靠泊船型，並以不防礙碼頭作業為原則，決定加油及供電設施配置及規模。

碼頭設置加油設施時，應依須要配置必要之防止污染設施，以處理漏油等意外事故。

### 11.5.7 公廁及電話

碼頭應依需要，於碼頭附近設置公廁及電話，以方便作業人員使用。

### 11.5.8 標誌及標示

視碼頭提供之服務設施配置狀況，設置必要之指示標誌及標示。

## 11.6 其他設施

### 11.6.1 概要

碼頭除上述設施外，依作業需求，應另設置排水設施、救生設備、消防設備及警報裝置等。

### 11.6.2 排水設施

碼頭應視使用狀況，必要時應設計排水設施。

排水口位置，宜儘量避開船舶靠岸之處。排水管接頭應注意不可因結構物沉陷或振動而破壞。

因裝卸可能於碼頭面造成塵屑污染之碼頭，如煤輪碼頭等，排水設施不可直接排入海中，以避免污染水域。

### 11.6.3 階梯及爬梯

碼頭岸壁應設置適當之階梯及爬梯或類似設施，以方便人員及小貨物之上下船。

階梯以設置於不防礙碼頭裝卸作業之位置為原則，一般設置於碼頭岸壁兩端。

爬梯以設置於不防礙船舶繫靠之位置為原則，一般設置於船席兩端繫船柱處。

階梯及爬梯上碼頭岸肩應設車擋，並設置供小船繫泊之繫船柱或係船環。

### 11.6.4 救生設備

位於海象及氣象不佳水域，且救難者很難投入救援工作之碼頭，或供客輪使用之碼頭，應配置必要之救生設備。

### 11.6.5 消防設備及警報裝置

為處理火災等狀況，碼頭應於適當位置設置泡沫滅火劑、滅火器及消防栓等消防設備，並設置必要之警報系統，以處理火災等緊急事件。

## 第十二章 曳船道

## 第十二章 曳船道

### 12.1 設計原則

曳船道設計，以方便船舶能安全且順利上下岸為原則設計之。

曳船道為岸上與水上間，供船舶上下岸之設施。就船舶上下岸利用型態而言，有修理、避風浪及過冬等。

供30噸以上船舶上下岸之曳船道，一般採軌道台車為多。而曳船道之滑道斜面則係供30噸以下小型船隻直接上下岸之用。

曳船道斷面及各部份名稱，示意如圖12-1.1。

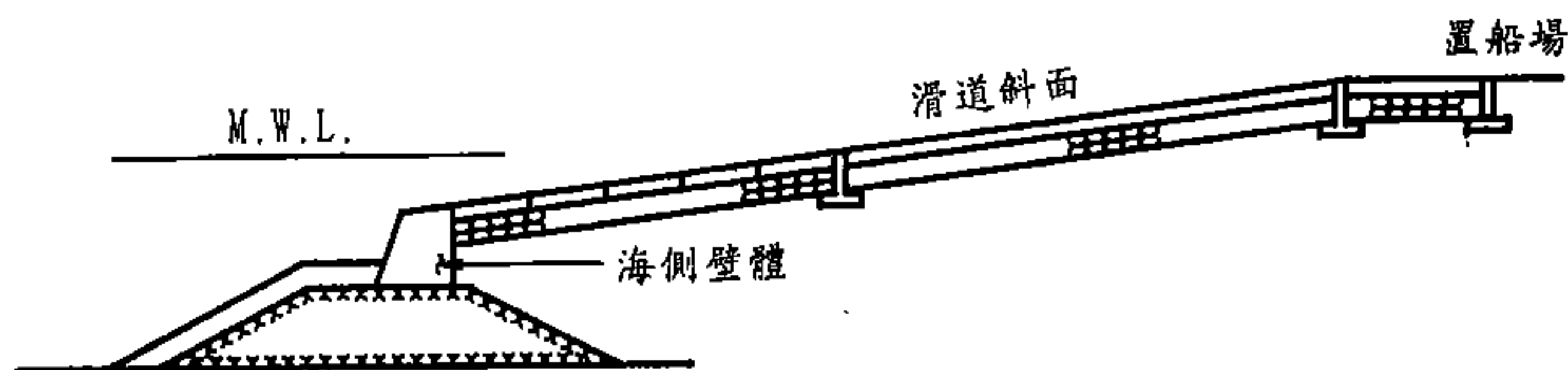


圖 12-1.1 曳船道斷面示意圖

### 12.2 選擇設置位置

選擇曳船道設置位置時，應注意下列各點。

- 曳船道海側水域須穩靜，以避免波浪沿滑道斜面上湧
- 曳船道海側水域須不發生淤積或沖刷
- 不妨礙其他船隻航行及停泊
- 曳船道陸側須有適當空地，以供船舶上岸之用

## 12.3 曳船道相關事項

### 12.3.1 各部份高程

海側壁體頂高程，以朔望平均低潮位(L.W.L.)為基準，且低於最大船隻吃水深度為標準。

曳船道之頂端高程，參考本篇第二章 2.2節[碼頭面高程]所述決定。曳船道與碼頭等鄰接時，則可考量使用上之方便性，而與碼頭面等之高程相同。曳船道海側水域波高較大時，則須考量波浪之溯上高度。

海側壁體頂高程，以朔望平均低潮位時亦能起船上岸為原則。最大船隻吃水，則視其為修理、或過冬、或避難等使用形態，採用空船時之吃水深度為原則。而小型漁船在裝載漁獲物等狀況下，仍須起船上岸時，則以滿載吃水深度為準。於潮差較小之處，或低潮時，或波浪較大時亦須起船上岸者，則應將海側壁體頂高程再予以降低。

船舶上岸時，在坡度變化點處，須用較大力量始可將船繼續拉上，因此滑道斜面原則以採單一坡度為佳。

水深很深，且用地狹窄時，滑道斜面須採複合斜面時，坡度變化點之高程，可參考下列之值。

一滑道斜面由雙斜面組成時：斜面坡度變化點，設在平均海平面附近至朔望平均高潮位之間。

一滑道斜面由三斜面組成時：斜面第一個坡度變化點，設在朔望平均低潮位附近。斜面第二個坡度變化點，設在朔望平均高潮位附近。

曳船道海側水域波高較大時，應視波浪溯上高度決定曳船道之頂端高程，並視興建場所之狀況，必要時應考量異常高潮及地盤沉陷。

滑道斜面浸水部份之結構，一般鋪設混凝土方塊。而場鑄混凝土與鋪設混凝土方塊之界線，可訂在平均海水面(M.S.L.)附近。

### 12.3.2 長度及岸上面積

曳船道長度及陸側岸上面積，以能順利使用為原則，儘可能規劃較廣闊之面積。

### 12.3.3 海側水深

滑道海側水深，應考量船隻下水方法及海側壁體頂高程等因素決定之。原則以最大船隻滿載吃水深度，再加 0.5公尺之值為標準。

### 12.3.4 滑道坡度

滑道原則以採單一坡度為佳。其坡度以 1：6～1：12為標準。

### 12.3.5 滑道海側泊地面積

滑道海側水域泊地面積，以確保待修船隻上下岸作業時，不損害修理船隻，及不妨礙其他船舶航行等因素決定之。

## 12.4 海側壁體及滑道鋪面

### 12.4.1 海側壁體

海側壁體設計時，須考慮下列事項。

- 海側壁體可採用各種結構型式設計之。
- 海側壁體基礎須具有充分之承载力，並避波浪沖刷。

### 12.4.2 滑道鋪面

滑道鋪設設計時，應注意下列事項。

- 應防止被船舶等載重破壞鋪面。
- 應防止鋪面被波浪破壞。
- 應防止因滑道基礎不均勻沉陷而破壞鋪面。

## 12.5 側壁

側壁可採用各種結構型式設計之。

## 第十三章 岸肩



## 第十三章 岸肩

### 13.1 設計原則

碼頭岸肩 (Apron) 係指碼頭法線至碼頭後線倉庫或置貨場間之區域，其主要係提供暫置貨物、貨物處理、裝卸機械作業、車輛通行等功能。

岸肩應規劃有適宜之面積，以確保碼頭裝卸作業能順利進行。岸肩應採適當鋪面，以確保貨物處理、裝卸機具作業、車輛行走能安全且順利進行。

### 13.2 岸肩形狀

#### 13.2.1 寬度

岸肩寬度應考量下列事項，並確保碼頭裝卸作業能安全且順利進行為原則決定之。

- 碼頭使用型態
- 倉庫型式
- 有無設置裝卸機械，若有其型式為何
- 有無交通設施，若有其規模為何

碼頭岸肩寬度，可參考表 13-2.1 所示之值。

表 13-2.1 岸肩寬度參考值

| 碼頭水深(m) | 岸肩寬度(m) |
|---------|---------|
| 小於 4.5  | 10      |
| 4.5~7.5 | 15      |
| 大於 7.5  | 20      |

### 13.2.2 坡度

岸肩坡度應考量降雨強度，碼頭後側使用狀況等因素，以不妨礙裝卸作業為原則決定之。

## 13.3 鋪面設計

### 13.3.1 鋪面型式

岸肩鋪面型式，應綜合考量下列事項後決定之。

- 土壤條件
- 施工性
- 鄰接地區鋪面型式
- 貨物裝卸型式
- 經濟性
- 維護管理

鋪面型式主要有混凝土鋪面、瀝青鋪面、混凝土塊鋪面、鋼筋混凝土鋪面、連續式鋼筋混凝土鋪面等。岸肩一般以採用前三種鋪面型式為主。

### 13.3.2 載重條件

載重條件應依裝卸貨物種類及裝卸型式等決定之。

岸肩作業機械載重條件，如表13-3.1所示。

表 13-3.1 岸肩作業機械載重條件

| 載 重 型 式                  |          | 每個車輪或外伸<br>基座最大載重<br>(t) | 每個車輪或外伸<br>基座接地面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | 接地壓<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|----------|--------------------------|---|------------------------------|
| 車式起重機<br>Truck Crane     | 20 型     | 20                       | 1,250                                   | 16.0                         |
|                          | 25 型     | 25                       | 1,500                                   | 16.7                         |
|                          | 30 型     | 30                       | 1,750                                   | 17.2                         |
|                          | 40 型     | 40                       | 2,000                                   | 20.0                         |
|                          | 50 型     | 50                       | 2,300                                   | 21.7                         |
|                          | 80 型     | 75                       | 2,850                                   | 26.3                         |
|                          | 100 型    | 92                       | 3,400                                   | 27.1                         |
|                          | 120 型    | 108                      | 3,850                                   | 28.1                         |
|                          | 150 型    | 134                      | 4,500                                   | 29.8                         |
| 卡 車                      | T-14     | 5.6                      | 1,000                                   | 5.6                          |
|                          | T-20     | 8                        | 1,000                                   | 8.0                          |
| 拖 車<br>Tractor Trailer   | 20ft用    | 5                        | 1,000                                   | 5.0                          |
|                          | 40ft用    | 5                        | 1,000                                   | 5.0                          |
|                          | 40ft櫃場專用 | 7                        | 1,000                                   | 7.0                          |
| 堆 高 機<br>Fork life truck | 2 t      | 2.5                      | 300                                     | 8.3                          |
|                          | 3.5t     | 4.5                      | 500                                     | 9.0                          |
|                          | 6 t      | 7.0                      | 800                                     | 8.8                          |
|                          | 10 t     | 11.0                     | 1,400                                   | 7.9                          |
|                          | 15 t     | 17.5                     | 2,300                                   | 7.6                          |
|                          | 20 t     | 24.5                     | 3,150                                   | 7.8                          |
|                          | 25 t     | 31.0                     | 3,800                                   | 8.2                          |
|                          | 35 t     | 45.0                     | 5,000                                   | 9.0                          |
| 門式起重機<br>Transtainer     | 20 t     | 20                       | 2,400                                   | 8.3                          |
|                          | 25 t     | 25                       | 2,850                                   | 8.8                          |
|                          | 30 t     | 30                       | 3,250                                   | 9.2                          |
| 跨載機<br>Straddle Carrier  |          | 11                       | 1,200                                   | 9.2                          |

## 第十四章 裝卸機械基礎

# 第十四章 裝卸機械基礎

## 14.1 設計原則

### 14.1.1 概要

裝卸機械基礎，應考量下列事項後決定之。

- 作用於基礎之外力
- 基礎容許沉陷量
- 基礎維護難易度
- 基礎與碼頭本體關連性及其相互間之影響
- 經濟性

本章所謂之裝卸機械基礎，係指軌道移動式裝卸機械之基礎而言。

### 14.1.2 裝卸機械基礎型式

裝卸機械基礎型式，主要可概分為下列四種型式。

#### 1. 樁基礎上以鋼筋混凝土樑連結之型式

此型式使用於軟弱地基，或有不均勻沉陷之處。

#### 2. 利用碼頭結構或其他結構物之型式

此型式係利用如棧橋上部鋼筋混凝土樑，或鋼版樁碼頭錨碇設施等結構物作為裝卸機械之基礎。

#### 3. 塊石基礎上鑄混凝土樑之型式

此型式一般使用於較好之地基且沉陷量小之處。

#### 4. 枕木下鋪碎石道碴之型式

此型式與鐵路軌道相同，地基易沉陷之處，及輪載重小之小型起重機多採用此型式，其較混凝土基礎為經濟，但須經常保養維護，且防礙碼頭面之交通，故一般僅用於臨時性工程之裝卸機械基礎。

### 14.1.3 容許沉陷量

裝卸基礎容許沉陷量，應考量裝卸基礎容許變位量與裝械機械之價格關係、基礎施工精度、裝卸機械運轉安定性等因素決定之。

### 14.1.4 設計流程

裝卸機械基礎設計流程如圖14-1.1所示。

## 14.2 作用於基礎之外力

作用於裝卸機械基礎之外力，應考量裝卸機械型式及使用狀況等決定之。

作用於裝卸機械基礎之外力及載重如下：

#### 1. 垂直載重

- 作業時輪載重：起吊時最大載重
- 地震時輪載重：無載重
- 颱風時輪荷重：無載重

作業時輪載重，應考慮裝卸機械最大輪壓加20%之載重作為移動載重；但移動速度小於60公分/分時，可考慮加10%。

#### 2. 水平載重

- 作業時：起吊時最大載重
- 地震時：無載重
- 颱風時：無載重

作業時移動方向承受直角方向之起重機輪壓10%之水平力。起重機固結腳承受全部水平力作用，鉸結腳承受50%之水平力作用。

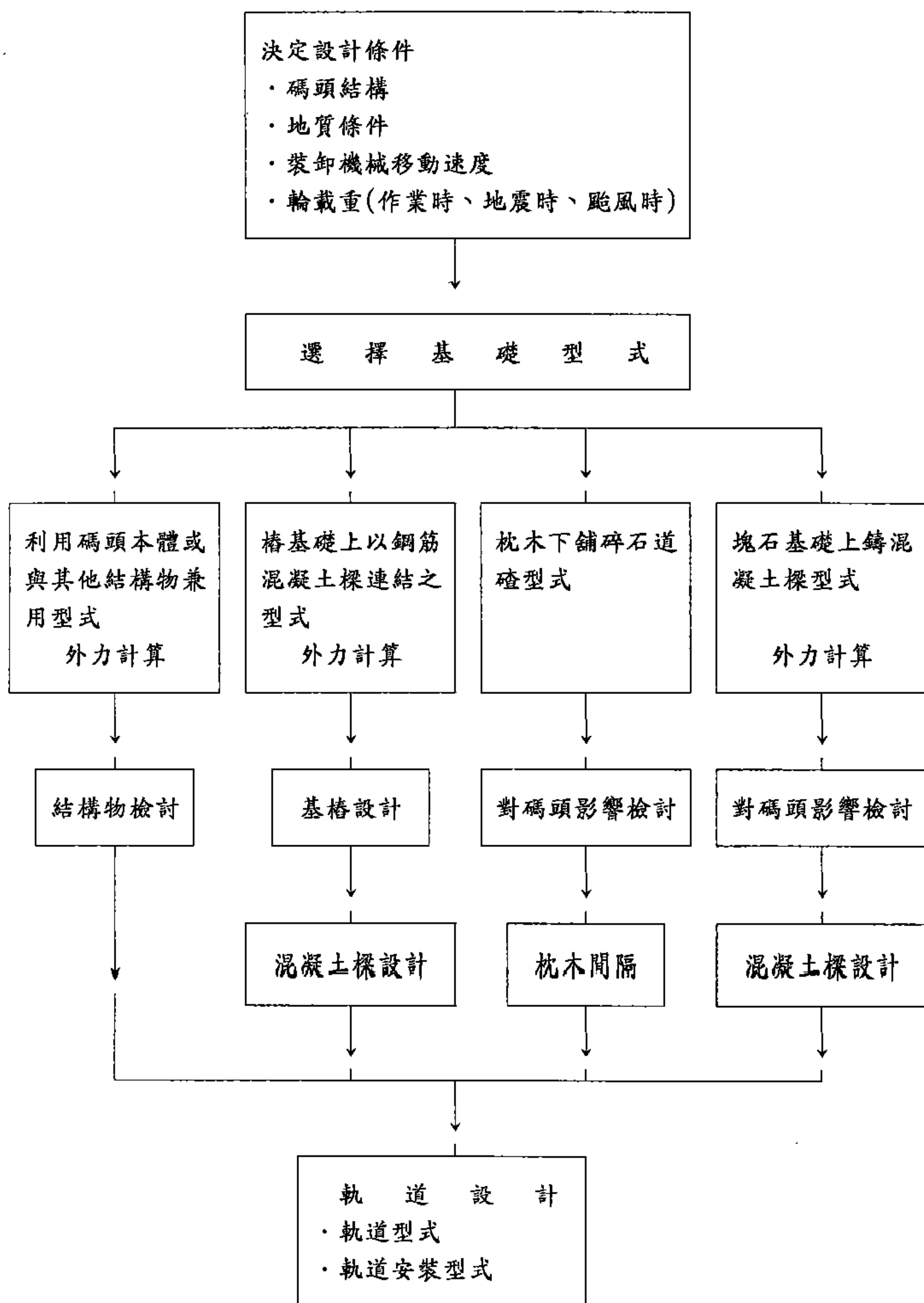


圖 14-1.1 裝卸機械基礎設計流程

## 14.3 使用基樁之基礎設計

### 14.3.1 混凝土樑

樁基礎上之混凝土樑，可視為以樁頭為支點之連續樑設計之，並檢討鋼軌與混凝土間之接觸面壓力、鋼軌之應力等。樑與地盤接觸之影響可忽略不計。

### 14.3.2 基樁承載力

基樁承載力依第四篇第四章[樁基礎承載力]相關規定檢討。

作用於樁之外力，依本章14.3.1節[混凝土樑]計算所得之支點反力為作用力。

基樁位於主動土壓破壞面內時，應依第八章8.5.3[平版承載基樁設計]相關規定設計。

## 14.4 不使用基樁之基礎設計

### 14.4.1 對碼頭影響檢討

裝卸機械基礎不使用樁基礎時。應檢討裝卸機械及基礎載重對碼頭結構之影響。

### 14.4.2 混凝土樑

原地面鋪設塊石為基礎，於其上設置鋼筋混凝土樑，應檢討混凝土樑之彎曲力矩、剪力及撓曲等。且其沉陷量應小於容許沉陷量。



# 第十五章 碼頭維護與管理

## 15.1 概要

為確保碼頭之安全，及維持較佳之功能狀態，應採取適宜之維護與管理措施。

## 15.2 沉箱式碼頭之維護與管理

### 15.2.1 變化狀況

重力式碼頭，其經年累月緩慢之代表性變化如下所示。

- 因基礎地盤之壓密沉陷，導致碼頭壁體及背填土砂下陷，或因不均勻沉陷，導致碼頭整體傾斜。
- 防止漏沙設施破損，引致背填土砂流失，導致岸肩沉陷或基礎淘空等。

重力式碼頭，遭受地震或颱風波浪侵襲時，其可能造成之代表性災損如下所示。

- 壁體及上部結構，因地震力作用，導致傾斜、滑動、等現象。
- 地震作用時，因背填土砂沉陷，或防止漏沙設施破損，導致背填土砂流失，進而使岸肩破壞。
- 波浪作用導致岸肩鋪面破壞或路基流失等。

### 15.2.2 檢測

#### 1. 定期檢測

一般以概分二階段檢測為原則。第一階段檢測以目視及測量儀器檢測外觀及位置之變化。第二階段檢測，針對第一階段檢測無法查出之變化程度或原因，採用特殊之儀器進行檢測。

## 第十五章 碼頭維護與管理

重力式碼頭定期檢測項目，參考表15-2.1所示。

表 15-2.1 重力式碼頭定期檢測項目參考表

| 位 置  | 檢 測 項 目               |
|------|-----------------------|
| 上部結構 | 沉陷、傾斜                 |
| 岸肩   | 沉陷<br>坡度<br>裂縫、伸縮縫之破損 |
| 背填土砂 | 沉陷、漏沙、淘空              |
| 附屬設施 | 損壞狀況                  |

## 2. 颱風或地震後檢測

地震後應檢測之項目如下：

- 上部結構沿碼頭法線之凹凸狀況
- 上部結構之沉陷、傾斜狀況
- 岸肩之沉陷、坡度變化、裂縫、伸縮縫破損等狀況
- 回填土之沉陷、流失狀況

颱風後應檢測之項目如下：

- 岸肩之沉陷、傾斜、裂縫、伸縮縫破損等狀況
- 回填土之沉陷、漏失、淘空等狀況
- 防舷材破壞狀況

## 3. 檢測應注意事項

就重力式碼頭而言，其變化狀況受基礎地盤影響至巨，因此須充分了解原設計條件，訂定所須之檢查項目及檢查頻度。

岸肩及附屬設施損壞等於平時即可觀察出，於確認其發生損壞時，應立即進行進一步之檢測，以採取必要之措施。

## 15.2.3 維修

經檢查後，研判碼頭變化狀況，超過容許界限或影響碼頭使用須進行修護時，應考量碼頭之利用狀況，使用年限、地質條件……等，研擬最有效率之修護設計。

## 15.3 板樁式碼頭之維護與管理

### 15.3.1 變化狀況

板樁式碼頭，其經年累月緩慢之代表性變化如下所示。

- 回填土之壓密沉陷，導致岸肩損壞。
- 板樁等構件鏽蝕，導致破壞。

板樁式碼頭，遭受地震或颱風波浪侵襲時，其可能造成之代表性災損如下所示。

- 因地震力作用，拉桿反作用力增大，致使錨碇設施位移或撓曲，因而使碼頭法線產生凹凸狀況。
- 地震作用時，因背填土砂沉陷，或防止漏沙設施破損，導致背填土砂流失，進而使岸肩破壞。
- 波浪作用導致岸肩鋪面破壞或路基流失等。

### 15.3.2 檢測

#### 1. 定期檢測

板樁式碼頭定期檢測原則同重力式碼頭，參考本章15.2.2節第1小節[定期檢測]。

板樁式碼頭定期檢測項目，參考表15-3.1所示。

表 15-3.1 板樁碼頭定期檢測項目參考表

| 位 置  | 檢 測 項 目               |
|------|-----------------------|
| 板樁本體 | 板樁法線方向凹凸狀況<br>板樁之鏽蝕狀況 |
| 岸肩   | 沉陷<br>坡度<br>裂縫、伸縮縫之破損 |
| 附屬設施 | 損壞狀況                  |

## 2. 颱風或地震後檢測

板樁式碼頭颱風或地震後檢測項目同重力式碼頭，請參考本章15.2.2節第 2小節[颱風或地震後檢測]。

## 3. 檢測應注意事項

就板樁式碼頭而言，其變化狀況受基礎地盤影響至巨，因此須充分了解原設計條件，訂定所須之檢查項目及檢查頻度。

因地震力作用，於錨碇設施上方之岸肩常產生裂縫，須予注意。

就鏽蝕而言，其因海域及名種條件而異，因此須就板樁鏽蝕及應力狀況等加以檢討。

### 15.3.3 維修

經檢查後，研判碼頭變化狀況，超過容許界限或影響碼頭使用須進行修護時，應考量碼頭之利用狀況，使用年限、地質條件…等，研擬最有效率之修護設計。

鋼材之維修設計，請參考第三篇第二章2.4.5節[鋼材之維護管理]。

## 15.4 棧橋式碼頭之維護與管理

### 15.4.1 變化狀況

棧橋式碼頭，其經年累月緩慢之代表性變化主要為因樁之鏽蝕，導致之安定性降低。

棧橋式碼頭，遭受地震或颱風波浪侵襲時，其可能造成之代表性災損主要為波浪上揚力造成上部結構連接版之破壞。

棧橋式碼頭擋土設岸為重力式時，其變化狀況同重力式碼頭；如為板樁式時，其變化狀況同板樁式碼頭。

## 15.4.2 檢測

### 1. 定期檢測

棧橋式碼頭定期檢測原則同重力式碼頭，參考本章15.2.2節第 1小節[定期檢測]。

棧橋式碼頭定期檢測項目，參考表15-4.1所示。

表 15-4.1 棧橋式碼頭定期檢測項目參考表

| 位 置  | 檢 測 項 目   |
|------|-----------|
| 樁    | 鏽蝕狀況      |
| 上部結構 | 裂縫、鋼筋鏽蝕狀況 |
| 附屬設施 | 損壞狀況      |

### 2. 颱風或地震後檢測

棧橋式碼頭颱風或地震後檢測項目，可參考本章15.2.2節第 2小節[颱風或地震後檢測]。

棧橋式碼頭於地震後之變化，主要發生於擋土護岸，依其結構型式進行檢測。

### 3. 檢測應注意事項

就鏽蝕而言，其因海域及名種條件而異，因此須就基樁鏽蝕及應力狀況等加以檢討。

## 15.4.3 維修

經檢查後，研判碼頭變化狀況，超過容許界限或影響碼頭使用須進行修護時，應考量碼頭之利用狀況，使用年限、地質條件…等，研擬最有效率之修護設計。

鋼材之維修設計，請參考第三篇第二章2.4.5節[鋼材之維護管理]。

## 第七篇 專門碼頭

# 第一章 貨櫃碼頭



# 第一章 貨櫃碼頭

## 1.1 設計原則

### 1.1.1 概要

貨櫃碼頭，為海上貨櫃運輸之中樞，因此於選擇設置位置時，應考量腹地、聯外交通系統，及可供用地面積等。貨櫃碼頭應設置各種設施，以順利裝卸貨櫃，為使各設施能充份發揮其功能，應仔細考量設施配置及確保充足之使用面積。

### 1.1.2 貨櫃碼頭位置選擇應考慮事項

貨櫃碼頭為海上運輸與陸上運輸之銜接點，因此於選擇位置時，應考慮到下列事項。

- 貨櫃轉運之需要性
- 與腹地間之關聯
- 與道路、沿岸運輸及鐵路間之關聯
- 與港灣勞務之關聯
- 可使用面積

其中，應特別考量貨櫃碼頭與腹地間之關聯，也就是說腹地現在或未來有無足夠維持貨櫃碼頭營運之經濟產業活動。

### 1.1.3 決定貨櫃碼頭規模與設施配置應考慮事項

於決定貨櫃碼頭規模與設施配置時，應考慮之基本事項大致如下。

- 須具備能有效率處理進出貨櫃之充足面積與功能
- 能經濟且有效率連結海上運輸與陸上運輸系統
- 應保留未來擴建，及運輸、裝卸革新之彈性

於進行具體檢討時，應考量之事項如下。

- 計畫處理貨物量(進出口及轉口貨物量宜分別估列)
- 船席調度與靠泊輪型
- 裝卸方式及櫃場作業系統
- 可取得土地面積與形狀
- 周邊地域環境，土地利用狀況，船舶航行狀況、道路狀況、其他貨櫃碼頭狀況等。

此外，應另行檢討之因素如下。

—貨櫃碼頭系統特性

- 貨櫃輪到達特性(到達分佈)
- 貨櫃輪進出裝載率與裝載數分佈
- 貨物種類
- 貨櫃集散特性(搬出、搬入分佈)
- 貨櫃場內的貨櫃積壓狀況
- 冷凍貨櫃之堆放需求
- 空櫃流動狀況

—作業計畫與作業效率(依各種裝卸方式裝卸機器之作業效率與作業特性來分析)

—碼頭及貨櫃碼頭內之各種設施、設備尺寸或規格。

—貨櫃碼頭及各種設施、裝卸設施之投資額，及營運維護費。

—電力系統之配置

考量上述所有因素，以貨櫃碼頭營運效率化、營運經濟化為目標，採用電腦模擬等方法，決定貨櫃碼頭整體規模、設施配置、各種設施規模，及適當裝卸設施數等。

## 1.2 碼頭設施設計

### 1.2.1 碼頭長度及碼頭水深

泊靠貨櫃輪之碼頭長度及碼頭水深，以滿足計畫靠泊最大及最小貨櫃輪能安全且順利使用為原則。

貨櫃輪碼頭長度及水深，設計者可參考表 1.2-1所列之值。

表 1.2-1 貨櫃輪碼頭長度及水深參考表

| 船舶等級<br>(重量噸)              |                   | 碼頭長度<br>(m) | 碼頭水深<br>(m) |
|----------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 主航線<br>用 輪<br>MAIN<br>LINE | 20,000 (約1000TEU) | 250         | 12.0        |
|                            | 30,000 (約1500TEU) | 300         | 13.0        |
|                            | 40,000 (約2500TEU) | 330         | 14.0        |
|                            | 50,000 (約3000TEU) | 350         | 15.0        |
|                            | 60,000 (約4000TEU) | 350         | 15.0        |
| 集散船<br>FEEDER              | 2,500 (約 100TEU)  | 110         | 6.5         |
|                            | 5,000 (約 200TEU)  | 140         | 7.5         |
|                            | 7,000 (約 300TEU)  | 160         | 9.0         |

註：集散船尺寸變化極大。

### 1.2.2 繫船設施

貨櫃碼頭繫船設施，應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊貨櫃輪型式、尺寸等予以設置，並決定其配置及型式。

貨櫃輪相對於靠泊相同碼頭長度或水深等之同等級貨輪而言，其受風面積較大，於設計繫船設施時應予注意。

繫船設施型式及配置等，依計畫靠泊貨櫃輪型式、尺寸，依第六篇第十一章11.2節[繫船設施]規定設計。

### 1.2.3 防撞設施

貨櫃碼頭防撞設施，應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊貨櫃輪型式、尺寸等予以設置，並決定其配置及型式。

貨櫃輪相對於靠泊相同碼頭長度或水深等之同等級貨輪而言，其排水噸位較大，於設計防撞設施時，應考慮此狀況。

由於貨櫃輪以大量快速運輸為目的，故有較特殊之船型，其與防撞設施之接觸型態可能與一般輪船有所不同，於設計防撞設施時應予注意。

防撞設施型式及配置等，依計畫靠泊貨櫃輪型式、尺寸，依第六篇第十一章11.3節[防撞設施]規定設計。

## 1.3 陸上設施設計

### 1.3.1 岸肩

岸肩(Apron)設計，應使貨櫃暫置、貨櫃車通行，及裝卸機械運作等能安全且利進行為原則。

貨櫃碼頭之岸肩，為貨櫃暫時置放、貨櫃運輸車輛及裝卸機械運作所須之空間。岸肩寬度須考量貨櫃裝卸方式及貨櫃裝卸機械型式等而定，一般貨櫃碼頭，岸肩寬度視貨櫃裝卸機軌距而定，通常約為30～40公尺，但須設置特殊巨型貨櫃起重機時，則可達70m程度。

岸肩設計，依第六篇第十三章[岸肩]規定設計。

### 1.3.2 貨櫃起重機

貨櫃起重機型式及作業能力，應考量計畫靠泊貨櫃輪型式、貨櫃裝載量、貨櫃種類、碼頭結構，及後線貨物裝卸機械種類等因素決定之。

貨櫃起重機為裝卸貨櫃於貨櫃輪之專用起重機，行駛於鋪設在岸肩之軌道上，從事貨櫃之裝卸。貨櫃起重機主要應考量或決定之事項如下。

- 1.計畫靠泊最大及最小貨櫃輪
- 2.作業能量(起重機上拉及橫行速度)
- 3.貨櫃可能最大重量
- 4.性能
  - (1)作業範圍
    - 外伸距離(Outreach)
    - 後退距離(Backreach)
  - (2)升程
  - (3)軌距(Span)
  - (4)腳內有效間距
  - (5)總寬度
  - (6)貨櫃起重機的梁下淨高
  - (7)貨櫃起重機海側界限
- 5.監視管理系統
- 6.其他附屬裝置

### 1.3.3 貨櫃場

貨櫃場設計，應使貨櫃及貨櫃車架之保管、進出、堆取能順利進行為原則。

貨櫃場有與岸肩連為一體，或配置於遠離碼頭之陸側地區兩種。

貨櫃場面積計算，原則上應考量下列因素。

- 貨櫃輪到達時間間隔
- 貨櫃輪裝卸貨櫃數
- 貨櫃種類
- 貨櫃集散型態
- 貨櫃場內貨櫃滯留狀況(實櫃及空櫃)
- 貨櫃場內貨物堆取方式
- 車輛、裝卸機械車道
- 其他相關因素

#### 1.3.4 貨櫃集散倉棧

貨櫃集散倉棧(CFS )設計，應使貨物保管置放、貨物裝進及卸出貨櫃能順利進行為原則。

貨櫃集散倉棧為貨物裝進貨櫃、卸出貨櫃分類，及貨物暫時置放之場所，其柱之配置應考量貨櫃車或卡車寬度等，以方便且不妨礙貨物裝卸為原則。

貨櫃集散倉棧設於貨櫃碼頭內，有搬運距離較短之優點，但其亦可設置於遠離碼頭之陸側地區。

貨櫃集散倉棧前面空間，為方便車輛出入，於貨櫃側原則保留35公尺寬，於卡車側原則保留25公尺寬度。

貨櫃集散倉棧面積計算，原則上應考量下列因素。

- 貨櫃輪到達時間間隔
- 貨櫃輪裝卸貨櫃數
- 貨櫃種類
- 實櫃比例(進倉棧拆裝櫃之比例)
- 進出貨物數量及種類
- 一艘貨櫃輪在貨櫃集散倉棧之處理時間
- 一個貨櫃拆裝作業時間
- 每天作業時間
- 放置於倉棧內貨物滯留狀況
- 倉棧內貨物堆放方式
- 貨櫃場內貨物裝卸方式
- 車輛、裝卸機械車道
- 其他相關因素

#### 1.3.5 維修站

維修站設計，應使貨櫃之檢查、修理，及車輛、裝卸機器維修能順利進行為原則。

維修站為進行貨櫃檢查、使用前後清理、損傷修理，維修在貨櫃碼頭使用車輛、貨物裝卸機械之場所。其面積依貨櫃之損傷率、貨櫃碼頭使用車輛、貨物裝卸機械之種類與規模等而異，然以一般貨櫃碼頭而言，每一船席約須 1,000m<sup>2</sup>大小之維修站。

### 1.3.6 管理中心

管理中心設計，應使貨櫃碼頭管理、營運能順利進行為原則。

管理中心掌管貨櫃碼頭內貨櫃配置及裝卸計畫、貨櫃輪裝卸計畫、貨櫃集散倉棧作業計畫、貨物交割業務、裝卸機械管理等工作，其為貨櫃碼頭中樞功能之管理部門場所，其樓板面積以滿足上述作業所須為原則。

### 1.3.7 出入口(GATE)

出入口設計，應使出入貨櫃碼頭之貨櫃檢查、重量量測、文件收受能順利進行為原則。

出入口為檢查出入貨櫃碼頭之貨櫃有無異常、量測其重量、收受相關文件，並指定貨櫃放置場等業務之場所。貨櫃碼頭出入口數，應考量貨櫃碼頭之貨櫃處理量予以決定。出入口設置位置，則應兼顧貨櫃碼頭內外之交通，以方便進出為原則。

### 1.3.8 其他附屬設施

在貨櫃碼頭內，依須要設置洗淨場、污水處理場、加油站、受變電設備、停車場、作業人員休息室等。其他附屬設施，請參考第六篇第十一章[附屬設施]。



## 第二章 渡輪碼頭

### 2.1 設計原則

渡輪碼頭規劃設計，應使船舶航行、汽車上下船、旅客上下船、汽車暫置等，能安全且須利進行為原則。

渡輪碼頭可能同時供旅客及車輛上下岸使用，且夜間亦可能使用，故於設計渡輪碼頭時，不僅在結構上應特別考量安全問題，使用上之安全亦應特別注意。

選擇渡輪碼頭位置時，應考量與其他港灣設施間之關聯性，同時亦須考量渡輪航行特性、碼頭規模及其利用型態、後線道路交通系統等因素。

渡輪碼頭除碼頭設施外，尚須具有下列設施。

- 車輛上下船設施
- 旅客上下船設施
- 道路
- 停車場
- 旅客服務中心
- 安全設施
- 其他相關設施

### 2.2 碼頭設施設計

#### 2.2.1 碼頭長度及碼頭水深

泊靠渡輪之碼頭長度及碼頭水深，以滿足計畫靠泊渡輪能安全且順利使用為原則。

渡輪碼頭長度及水深，設計者可參考表 2-2.1所列之值。



表 2-2.1 渡輪碼頭長度及水深參考表

| 船舶等級<br>(總噸) | 船首或船尾靠岸時         |             | 渡輪橫靠時<br>碼頭長度<br>(m) | 碼頭水深<br>(m) |
|--------------|------------------|-------------|----------------------|-------------|
|              | 船首或船尾<br>碼頭長度(m) | 船席長度<br>(m) |                      |             |
| 1,000        | 25               | 95          | 100                  | 4.5         |
| 2,000        | 25               | 115         | 120                  | 5.5         |
| 3,000        | 25               | 135         | 140                  | 6.0         |
| 4,000        | 25               | 145         | 150                  | 5.6         |
| 6,000        | 30               | 170         | 180                  | 7.5         |
| 10,000       | 35               | 205         | 220                  | 8.0         |
| 13,000       | 40               | 230         | 240                  | 8.0         |
| 15,000       | 40               | 240         | 250                  | 9.0         |

供總噸小於 1,000 小型渡輪使用之渡輪碼頭，如不清楚計畫靠泊渡輪船長及滿載吃水時，可參考表 2-2.2 所列之值決定碼頭長度及水深。唯應注意小型船舶之船型尺寸偏差很大。

表 2-2.2 小型渡輪碼頭長度及水深參考表

| 碼頭長度<br>(m) | 碼頭水深<br>(m) | 船舶等級<br>(總噸) |
|-------------|-------------|--------------|
| 60          | 3.0         | 300          |
| 70          | 3.5         | 500          |
| 90          | 4.0         | 900          |

## 第二章 渡輪碼頭

## 2.2.2 繫船設施

渡輪碼頭繫船設施，除應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊渡輪型式、尺寸等外，應特別考量風壓予以設置，並決定其配置及型式。

渡輪相對於靠泊相同碼頭長度或水深等之同等級貨輪而言，其受風面積較大，於設計繫船設施時應予注意。

繫船設施型式及配置等，依計畫靠泊渡輪輪型式、尺寸，依第六篇第十一章11.2節[繫船設施]規定設計。

## 2.2.3 防撞設施

渡輪碼頭防撞設施，應考量碼頭佈置、型式，及計畫靠泊渡輪型式、尺寸等予以設置，並決定其配置及型式。

防撞設施型式及配置等，依計畫靠泊渡輪型式、尺寸，依第六篇第十一章11.3節[防撞設施]規定設計。

## 2.2.4 防止沖刷設施

渡輪碼頭前水域，因渡輪推進器作用等因素，可能產生大量沖刷，應以覆蓋石塊或混凝土塊等於海底面予以保護。

為提高操船性能，備有側推進器之渡輪相當普遍，故渡輪碼頭前沖刷狀況遠較一般碼頭嚴重，於設計時應予注意。

# 2.3 車輛上下船設施設計

## 2.3.1 概要

車輛上下船設施(Vehicles Ramp)設計，應考量潮差、計畫靠泊渡輪吃水差及車輛上下船設施架設位置、船舶搖動所致之移動量等因素，使車輛能安全且順利上下渡輪為原則。

## 2.3.2 寬度、長度、坡度及曲率半徑

有關車輛上下船設施之寬度、長度、坡度及曲率半徑等，建議依下列標準設計。

### 1. 車道寬度

車輛上下船設備車道寬度，建議不小於表 2-3.1 中所列之值。供大型渡輪使用之車輛上下船設施，車輛通行頻繁時，單車道寬度建議不小於4m，雙車道寬度建議不小於7m為原則。

表 2-3.1 車輛上下船設施車道寬度參考表

| 車輛上下船設施種類                  | 車道數 | 寬度(m) |
|----------------------------|-----|-------|
| 供寬度1.7m以下車輛上下船使用<br>(小型設施) | 1   | 3.0   |
|                            | 2   | 5.0   |
| 供寬度2.5m以下車輛上下船使用<br>(一般設施) | 1   | 3.75  |
|                            | 2   | 6.5   |

### 2. 車道坡度

車輛上下船設施，固定部份車道坡度建議依下列標準。

- 供寬度1.7m以下車輛上下船使用 固定部份緩於12%  
活動部份緩於17%
- 供寬度2.5m以下車輛上下船使用 固定部份緩於10%  
活動部份緩於12%

車輛上下船設施之縱斷面坡度變化急劇時，於車輛上下時，車輪底盤有接觸地面之可能，因此於設計車道縱斷面坡度時，須避免車道坡度急劇變化。

### 3. 車道水平長度

車輛上下船設施之水平部延長以 7公尺為標準，但供寬度1.7m以下車輛使用之小型設施以4公尺為標準。

#### 4. 車道曲率半徑

車輛上下船設施車道中心線曲率半徑，建議不小於15公尺為原則。

### 2.3.3 附屬設施及標識等

為使車輛能安全且順利上下渡輪，車輛上下船設施應設置下列必要之附屬設施及標識等。

- 車輛上下船設施車道路面，應設防滑或採用不易滑移之材料。
- 車輛上下船設施，應設載重限制、高度限制及寬度限制之標識。其出入口應設柵欄、鏈條或繩子等。
- 車輛上下船設施，應設置塗佈反射性塗料之柵欄，其高度以90公分為標準。

### 2.3.4 車輛上下船設施活動部份設計

車輛上下船設施活動部份設計，應檢討其強度、變形、穩定等，在結構上及操作中能確保其安全及穩定為原則。

車輛上下船設施活動部份前端之垂直方向移動幅度，以朔望平均高低潮位差加上1.0公尺為標準。

操作車輛上下船設施活動部份之操作室，應設於視界良好，可全部監控設施操作及使用之位置。

支撐車輛上下船設施活動部份之基礎結構型式，原則上應採同一型式，並避免不均勻沈陷。

## 2.4 旅客上下船設施設計

### 2.4.1 概要

旅客上下船設施設計，應考量潮差、計畫靠泊渡輪吃水差及旅客上下船設施架設位置、船舶搖動所致之移動量等因素，使旅客能安全且容易上下渡輪為原則。

旅客上下船設施與車輛上下船設施，原則上應分別設置。旅客上下船設施與車輛上下船設施共用時，應設柵欄或繩子等將人員與車輛分隔；或配置管理人員，將旅客與車輛使用時間予以區分，並採取必要之安全措施。

## 2.4.2 寬度、長度、坡度及附屬設施

### 1. 概要

固定或移動之旅客上下船設施，均須滿足使旅客能舒適安全上下渡輪，該等設施建議之設計標準如下。

- 上下船走道寬度，以不小於75公分為原則。
- 須設置必要設施，以防止旅客不慎滑倒或跌落海中。
- 須提供適度之照明。

### 2. 結構型式

旅客上下船設施可概分為階梯式及平面斜坡式兩大類，建議其依下列標準設計。

- 車輛上下船設施活動部份前端之垂直方向移動幅度，以朔望平均高低潮位差加上1.0公尺為標準。
- 活動橋前端之垂直方向移動幅度，應考量潮差、船舶吃水變化及船隻搖晃狀況決定。
- 上下船走道兩側須設置側壁或扶手欄杆，走道表面須鋪設止滑設施。平面斜坡式上下船設施其坡度建議應緩於12%。
- 階梯式上下船設施每一台階高度建議為15公分，深度30公分。高差大於3公尺之階梯式上下船設施，應每隔(或小於)3公尺設置一深度大於1.2公尺之停置區。

### 3. 附屬設施

旅客上下船設施須設置必要之附屬設施，以確保乘客安全，該附屬設施建議設計標準如下。

- 旅客上下船設施設置位置，其附近碼頭應設置護欄，其高度以不低於1.0公尺為原則，以防止乘客落水。
- 旅客上下船設施走道兩側，須設置側壁或扶手欄杆，以導引乘客安全上下船，側壁或欄杆之高度應不低於70公分為原則。
- 旅客上下船設施設置有頂棚時，其高度以不低於 2.1公尺為原則。
- 旅客上下船設施走道長度大於60公尺時，每間隔60公尺至少應設置一緊急出口。
- 為便利殘障者進出及利用，應依「建築技術規則」第十章「公共建築物殘障者使用設施」中之規定設置各項供殘障者使用之設施。

### 2.4.3 旅客上下船設施活動部份設計

旅客上下船設施活動部份設計，依本章2.3.4節[車輛上下船設施活動部份設計]規定辦理。

## 2.5 其他設施設計

### 2.5.1 概要

渡輪碼頭除碼頭設施、車輛及旅客上下船設施外，尚有道路、停車場、旅客服務中心、安全設施等其他相關設施，其設計可參考相關設計規範。

### 2.5.2 道路

道路設計，依一般道路設計相關規定辦理。

### 2.5.3 人行道

人行道設計，依一般人行道設計相關規定辦理。

候船室至旅客上下船設施間，應設置旅客專用之人行道，其寬度建議不小於 1.5公尺，人行道應避免與車道交叉，人行道與車道交叉時，應設置相關標識，交通擁擠場所，必要時則應設置立體交叉。

### 2.5.4 停車場

停車場設計，依一般停車場設計相關規定辦理。

停車場面積，依應考量渡輪車輛裝載數、利用率及集中率等因素，以避免影響附近交通為原則決定之。停車場應避免設置於鄰接危險物處理區。

### 2.5.5 旅客候船室

旅客候船室，應使旅客能安全且順利利用為原則設計，其設計依一般建築設計相關規定辦理。

### 2.5.6 安全設施

渡輪碼頭依需要應設防護柵欄，消防設備、安全標識、安全標識燈、救生設備…等安全設施。

其他相關安全設施設計，請參考第六篇第十一章 11.4[安全設施]規定辦理。