

深水港港址地盤改良技術研究 —高雄港址



交通部運輸研究所

中華民國八十二年九月

出版品名稱 中文：深水港港址地盤改良技術研究 —— 高雄港址 外文：The Study of Ground Improvement Technique for Deep-sea Harbor —— Kaohsiung Harbor Area			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 957-00-2840-8（平裝）		政府出版品統一編號 009104820353	
		運輸研究所出版品編號 82 - 41 - 221	
本所主辦單位：運工組 主 管：侯和雄 計畫主持人：侯和雄 研究人員：歐陽餘慶 翁國和 王吳全		合作研究單位：成功大學土木工程研究所 計畫主持人：金永斌 研究人員：李德河、倪勝火、黃景川、 常正之、許光毅、蕭達鴻 地 址：臺南市大學路一號 聯絡電話：(06)2757575 轉 63131	
研究 期 間 自 81 年 10 月 至 82 年 6 月			
關鍵詞：高雄港、土壤調查、承载力分析、沈陷及液化評估、回填工法處理及選擇。			
摘要：本研究為「深水港港址地盤改良技術研究」，其目的在興建高雄深水港，將利用抽砂回填產生新生地時，不論是原有海底基礎或新生地土壤均將對結構物之承载力及地震產生之土壤液化現象等產生重大影響，故擬對港址之軟弱地盤改良技術詳加研究，做為未來規劃設計之參攷。本研究計劃內容為：(1)深水港港址地質調查研析；(2)抽砂回填方式概述及地盤承载力分析；(3)軟弱地盤之液化試驗及評估；(4)軟弱地盤之處理技術及工法選擇和(5)新生地地表層處理工法之選擇。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
82年 9月	495	225	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。
管制等級： <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) <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密) <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

目錄

	頁數
前言	
第一章 高雄深水港建設計劃	1 - 1
第一節 高雄港簡介	1 - 1
第二節 高雄港營運狀況	1 - 4
第三節 高雄深水港建設計劃	1 - 7
第二章 高雄深水港港址地質和自然環境概況	2 - 1
第一節 台灣地區地盤特性和狀況	2 - 1
第二節 高雄地區地質概況和構造	2 - 7
第三節 台灣地區地震調查概況	2-10
第四節 高雄深水港自然環境概況	2-35
第三章 高雄深水港港址現場土壤調查	3 - 1
第一節 土壤調查規劃	3 - 1
第二節 土壤調查方法	3 - 1
第三節 土壤調查作業	3 - 9
第四節 高雄深水港港址附近土層資料分析	3-26
第四章 軟弱地盤液化潛能評估	4 - 1
第一節 飽和砂土的液化理論	4 - 1
第二節 影響液化之因素	4 - 5
第三節 土壤液化潛能分析法	4 - 6
第四節 實驗室動力三軸試驗	4-15
第五節 液化潛能分析	4-19
第五章 回填地盤承載力分析	5 - 1
第一節 承載力經驗公式的分析方法	5 - 1
第二節 工地試驗結果的分析方法	5-20
第三節 樁基礎承載力之分析	5-27
第四節 沈箱基礎	5-44

	頁數
第六章 抽砂回填方式概述	6-1
第一節 抽砂回填方法概述	6-1
第二節 回填量之預估	6-2
第三節 土壤的楊氏係數、柏松比和滲透係數之推求	6-7
第四節 沈陷量和回填量之預估	6-9
第七章 關西國際機場之人工島建設	7-1
第一節 關西國際機場之概要	7-1
第二節 關西國際機場離岸人工島建設工程設計簡介	7-9
第八章 日本軟弱地盤改良工法	8-1
第一節 概論	8-1
第二節 深層地盤改良工法	8-2
第三節 淺層地盤改良工法	8-25
第四節 地盤改良工法之評估	8-29
第九章 新加坡大型回填工程設計與施工方法	9-1
第一節 裕廊深水港多功能碼頭設計與施工	9-1
第二節 新加坡東區大型回填工程	9-15
第十章 軟弱地盤之處理技術及工法選擇	10-1
第一節 軟弱地盤改良工法	10-1
第二節 建港工程	10-11
第三節 回填砂土層技術改良	10-19
第四節 回填地盤表土層土壤改良	10-29
第五節 深水港港址軟弱地盤技術改良建議	10-32
附錄一 現場鑽孔(BH.1至BH.6)鑽探及試驗結果表及地質鑽探記錄表	
附錄二 現場鑽孔(BH.1至BH.6)土壤顆粒分析曲線、土壤之組成及級配 液化潛能分析	
附錄三 高雄深水港港址附近土層資料地質鑽探及土壤試驗結果報告表	
附錄四 高雄深水港港址附近土層資料土壤顆粒分析曲線、土壤之組成及 級配液化潛能分析	

附錄五 Sondex settlement System使用說明書

附錄六 土層液化潛能評估之程式分析

圖 目 錄

	頁數
圖 1-1 高雄港港址圖	1-3
圖 1-2 高雄港進出船舶統計圖	1-4
圖 1-3 高雄港貨櫃吞吐量(折合20呎)統計圖	1-6
圖 2-1 臺灣板塊構造模式圖	2-2
圖 2-2 臺灣地區地體構造分區圖	2-3
圖 2-3 臺灣地區地質分區圖	2-5
圖 2-4 高雄地區地質分佈概況	2-8
圖 2-5 臺灣地區地震帶分佈圖	2-12
圖 2-6 臺灣地區地震帶分區圖	2-13
圖 2-7 1900年至1935年臺灣地區地震規模大於4.8以上之地震示意圖	2-15
圖 2-8 1936年至1974年臺灣地區地震規模大於5.0以上之地震示意圖	2-16
圖 2-9 1974年至1979年臺灣地區地震規模大於5.0以上之地震示意圖	2-17
圖 2-10 西元1898年至1988年間臺灣地區規模大於等於6.0的地震次數分佈圖	2-21
圖 2-11 西元1936年至1988年間臺灣地區規模大於等於5.5的地震次數分佈圖	2-24
圖 2-12 西元1973年至1988年間臺灣地區規模大於等於4.4的地震次數分佈圖	2-25
圖 2-13 臺灣地區1990年至1935年間地震震央分佈情形	2-29
圖 2-14 臺灣地區1936年至1973年間地震震央分佈情形	2-30
圖 2-15a 1979年12月高雄地區地震震央分佈圖	2-31
圖 2-15b 1980年1月高雄地區地震震央分佈圖	2-32
圖 2-15c 1980年2月高雄地區地震震央分佈圖	2-33
圖 2-15d 1980年3月高雄地區地震震央分佈圖	2-34
圖 2-16 高雄地區各月日照時數分佈圖	2-38
圖 2-17 高雄地區各月蒸發量分佈圖	2-39
圖 2-18 高雄地區各月相對濕度分佈圖	2-40
圖 2-19 侵臺颱風路徑分類及次數統計(1897~1990)	2-44

	頁數
圖 3-1 水沖鑽探作業示意圖	3-2
圖 3-2 液壓式旋轉鑽機	3-3
圖 3-3 標準貫入試驗用劈管	3-5
圖 3-4 薄管取樣器	3-5
圖 3-5 標準貫入N值對砂土之相對密度及抗剪角 ϕ 的關係	3-8
圖 3-6 相對密度相同的粗砂層，覆蓋壓力與貫入N值之關係	3-8
圖 3-7 三套式不擾動土樣取樣器示意圖	3-14
圖 3-8 鑽孔位置圖(B-1至B-6)	3-15
圖 3-9 現場鑽探作業(一)	3-16
圖 3-9 現場鑽探作業(二)	3-17
圖 3-9 現場鑽探作業(三)	3-18
圖 3-10 鑽孔簡易土層剖面圖(鑽孔BH-1至BH-4，陸地)	3-19
圖 3-11 鑽孔簡易土層剖面圖(鑽孔BH-5至BH-6，水中)	3-20
圖 3-12 沈陷計埋設詳圖	3-21
圖 3-13 高雄港第三港口預定位置鑽孔(B-15至B-25)配置圖	3-28
圖 3-14 高雄港第三港口預定位置，鑽孔B-15至B-25簡易土層剖面圖	3-29
圖 4-1 地震作用前後現地土壤之應力狀況	4-3
圖 4-2 理想動力三軸試驗操作過程之應力狀況	4-3
圖 4-3 一般動力三軸試驗操作過程之應力狀況	4-4
圖 4-4 理想動力三軸試驗與一般動力三軸試驗之比較	4-4
圖 4-5 現地之初始液化區	4-7
圖 4-6 臺灣地區50年內可能來襲地震之地表最大加速預期值分析圖	4-9
圖 4-7 現址發生液化之剪應力比 τ/σ_0 與修正標準貫入 N_1 值之關係	4-11
圖 4-8 標準貫入N值修正係數 C_N 與有效覆土壓力之關係	4-12
圖 4-9 應力折減係數 γ_d 與深度之關係	4-13
圖 4-10 安全係數評估流程圖	4-14
圖 4-11 CKC自動三軸壓縮儀載重系統示意圖	4-17
圖 4-12 土壤之組成及級配液化潛能範圍	4-22

	頁數
圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-1)(一)	4-23
圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-2)(二)	4-24
圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-3)(三)	4-25
圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-4)(四)	4-26
圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-5)(五)	4-27
圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-6)(六)	4-28
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-15)(一)	4-29
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-16)(二)	4-30
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-17)(三)	4-31
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-18)(四)	4-32
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-19)(五)	4-33
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-20)(六)	4-34
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-21)(七)	4-35
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-22)(八)	4-36
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-23)(九)	4-37
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-24)(十)	4-38
圖 4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-25)(十一)	4-39
圖 5-1 普通基礎的型式	5-2
圖 5-2 淺基礎的土壤極限承載量：(a) 模擬基腳 (b) 荷重-沈陷量的關係	5-4
圖 5-3 土壤承載量破壞的模式	5-4
圖 5-4 淺帶狀基腳	5-5
圖 5-5 Terzaghi學者(1942年)承載量因數	5-6
圖 5-6 長方形之基腳承受偏心荷重情形	5-10
圖 5-7 基礎承載總重	5-10
圖 5-8 在二層黏土上($\phi = 0$)對長條基礎假設的土壤破壞機構	5-14
圖 5-9 在二層黏土($\phi = 0$)上基腳的 N_c 值(取自Reddy與Srinivasan, 1967)	5-14
圖 5-10 在層狀砂的承載量-上層為堅硬砂，下層為軟砂	5-16
圖 5-11 K_s 與 $\gamma_2 N_{\gamma(2)} / \gamma_1 N_{\gamma(1)}$ 的關係	5-17

	頁數
圖 5-12 極限承載量與H/B的關係-層狀的砂(緊密砂在頂部與疏鬆砂在底部)	5-17
圖 5-13 在層狀砂的承載量-上層為軟砂，下層為堅硬砂	5-19
圖 5-14 極限承載量與H/B的關係-層狀的砂(疏鬆砂在頂部與緊密砂在底部)	5-19
圖 5-15 工地平鈹載重試驗	5-21
圖 5-16 由平鈹載重試驗所得的典型荷重-沈陷量曲線	5-21
圖 5-17 荷蘭式圓錐貫入試驗 q_c 值，基腳大小及深度與容許承載率間之關係	5-25
圖 5-18 荷蘭式圓錐貫入試驗 q_c 值，基腳大小及深度與容許承載率間之關係	5-26
圖 5-19 基樁之型式	5-28
圖 5-20 基樁之承載力	5-32
圖 5-21 錘擊樁的黏著因數與黏土的不排水剪力強度間之關係	5-32
圖 5-22 試樁方法：(a) 呆重法，(b) 錨錠反力法	5-36
圖 5-23 持續性樁載重試驗的結果	5-38
圖 6-1 有限元素法所用之元素形式圖	6-11
圖 6-2 預定施工區域之等水深圖	6-11
圖 6-3 有限元素法分析示意圖	6-12
圖 6-4(a) 第一種回填方式地表沈陷量變化圖	6-12
圖 6-4(b) 第二種回填方式地表沈陷量變化圖	6-13
圖 7-1 日本關西國際機場圖	7-2
圖 7-2 日本關西國際機場地質構造剖面圖	7-3
圖 7-3 日本關西國際機場護岸構造形式圖	7-5
圖 7-4 日本關西國際機場埋設工程概念圖	7-7
圖 7-5 日本關西國際機場施工區域土層剖面圖	7-10
圖 7-6 日本關西國際機場施工根形圖	7-13
圖 7-7 日本關西國際機場回填工程計劃	7-14
圖 7-8 日本關西國際機場回填工程取土區規劃	7-16
圖 7-9 日本關西國際機場運土船雷達波定位系統	7-18
圖 7-10 日本關西國際機場回填土方數量計測系統	7-19
圖 7-11 日本關西國際機場設計時估測回填過程的海床沈陷量	7-21

	頁數
圖 7-12 日本關西國際機場施工過程沈陷釐量測法	7-22
圖 7-13 日本關西國際機場施工過程雙管沈陷儀量測法	7-23
圖 7-14 日本關西國際機場施工過程錨錠式沈陷計量測法	7-24
圖 7-15 日本關西國際機場施工過程沖積黏土層沈陷預測量與量測值比較	7-25
圖 7-16 日本關西國際機場航站大廈設計	7-28
圖 7-17 日本關西國際機場航運大廈設計	7-29
圖 7-18 日本關西國際機場航站大廈沈陷預估	7-30
圖 7-19 日本關西國際機場航站大廈沈陷處理	7-31
圖 8-1 強制置換模式圖	8-3
圖 8-2 港灣工程中置換斷面之實績	8-4
圖 8-3 鉛直掛水之施工地點與對象	8-6
圖 8-4 排水砂樁之打設方式及打設順序	8-8
圖 8-5 合成排水帶工法之打設順序及材料	8-12
圖 8-6 先端錨錠錐之效果	8-13
圖 8-7 震實砂樁工法之適用型式	8-15
圖 8-8 SCP砂樁材料之粒徑分佈實績範圍	8-16
圖 8-9 浮震法之夯實	8-17
圖 8-10 浮震法之施工機具佈置	8-18
圖 8-11 重槌落方式(日本國內施工例)	8-19
圖 8-12 $D - \sqrt{WH}$ 之關係	8-21
圖 8-13(a) 安定液之混合處理	8-22
圖 8-13(b) 安定粉劑之混合處理	8-22
圖 8-13(c) 三種高壓噴漿式地盤改良工法	8-22
圖 8-14 深層攪拌工法之適用形態	8-23
圖 8-15 真空壓密概念圖	8-24
圖 8-16 鋪網工法之承載力機構示意圖	8-26
圖 8-17 軟弱地盤之表層混合處理工法示意圖	8-27
圖 8-18 表層混合處理工事配置例	8-28

	頁數
圖 8-19 EPS工法之施工量	8-30
圖 8-20 EPS工法之適用範圍	8-31
圖 8-21 保麗龍板之壓縮應力～應變之關係	8-32
圖 8-22 兩種保麗龍板之壓縮潛變特性	8-33
圖 8-23 軟弱地盤上EPS工法施工例之橫斷面圖	8-34
圖 9- 1 裕廊港地理位址	9 - 2
圖 9- 2 裕廊港擴港計劃三期工程示意圖	9 - 3
圖 9- 3 裕廊港開放型碼頭示意圖	9 - 5
圖 9- 4 裕廊港基樁細節示意圖	9 - 6
圖 9- 5 裕廊港基樁配置圖	9 - 7
圖 9- 6 裕廊港護舷材示意圖	9 - 9
圖 9- 7 裕廊港CPT試驗結果	9-12
圖 9- 8 裕廊港預力式混凝土厚塊示意圖	9-13
圖 9- 9 裕廊港最上層場鑄混凝土示意圖	9-14
圖 9-10 新加坡沿岸新生地分佈位置圖	9-17
圖 9-11 砂貫入黏土泥漿實驗配置圖	9-18
圖 9-12 黏土泥漿剪應力與剪應變速率之關係	9-19
圖 9-13 黏土泥漿剪應力與含水量之關係	9-20
圖 9-14 Takong現場實驗砂土與黏土分佈圖	9-22
圖 9-15 樟宜南灣現場實驗回填基址配置圖	9-23
圖 9-16 回填15天後黏土泥漿單位重與深度之關係	9-25
圖 9-17 樟宜南灣現場實驗C ₂ 區單位重與深度之關係	9-26
圖10- 1 載重作用狀態下基礎地盤之行為	10 - 2
圖10- 2 軟弱地盤之改良計劃擬定程序	10 - 7
圖10- 3 高屏溪卵砂石料借土區	10-10
圖10- 4 海底邊坡破壞之型態	10-13
圖10- 5 地震作用下之邊坡擬靜態分析法	10-15
圖10- 6 波浪作用力於邊坡分析之考慮	10-16

	頁數
圖10- 7 波浪作用力下之靜態邊坡穩定分析	10-17
圖10- 8 浸水之無限邊坡穩定分析法	10-20
圖10- 9 礫石排水溝：(a) 平面圖，(b) S-S剖面圖。排水溝半徑 R_d ； 有效排水半徑 R_e	10-21
圖10-10 最大孔水壓力與排水系統參數間之關係： $N_g/N_1 = (a) 1$ ， (b) 2，(c) 3，(d) 4	10-24
圖10-11 砂樁排水法之原理	10-25

表 目 錄

	頁數
表 1-1 高雄港進出船舶總噸位統計表	1 - 4
表 1-2 高雄港進出港貨櫃統計表	1 - 5
表 1-3 高雄港貨物吞吐量概況	1 - 6
表 2-1 臺灣歷年(1904年至1964年)地震發生之液化震災現象	2-11
表 2-2 儀器觀測前之臺灣地震目錄(西元1604年至西元1897年)	2-18
表 2-3 儀器觀測前之臺灣地震目錄(西元1898年至西元1988年)	2-22
表 2-4 高雄月平均氣溫、降雨量、蒸發量	2-37
表 2-5 高雄第二港口附近風速風向統計表	2-41
表 2-6 高雄第二港口附近由民國36年至66年各月份颱風發生頻率表	2-41
表 2-7 西元1897至1988年間西太平洋上颱風發生次數及頻率	2-42
表 2-8 西元1897至1988年間侵臺颱風之次數及頻率統計表	2-43
表 2-9 高雄港附近波高統計表(民國61年1月至66年12月)	2-46
表 2-10 高雄港附近大鵬灣波高統計表(民國67年9月至71年10月)	2-47
表 2-11 高雄海域各潮位站主要分潮振幅(取分潮振幅>2 cm者)	2-49
表 2-12 高雄海域各站潮汐之各種參考基準面水位高程	2-49
表 3-1 標準貫入N值對黏土之稠度及強度的關係	3 - 6
表 3-2 地下水位觀測記錄	3-22
表 4-1 高雄深水港港址地盤改良技術研究動力三軸試驗結果之液化評估	4-40
表 5-1 Terzaghi學者(1942年)承載量因數	5 - 6
表 5-2 形狀、深度與傾斜因數值	5 - 8
表 5-3 一般極限承載量因數	5 - 9
表 5-4 荷蘭式圓錐貫入試驗 q_c (kg/cm^2)值與標準貫入試驗N值之關係	5-24
表 5-5 樁面與砂土間的摩擦係數	5-35
表 5-6 錘擊樁在砂土層的K值	5-35
表 5-7 黏土中之鑽掘式基樁的表面摩阻力	5-43
表 5-8 土壤的表面摩擦阻力	5-46
表 6-1 各種土壤的楊氏係數(kg/cm^2)	6 - 7

	頁數
表 6-2 各種土壤的柏松比	6 - 8
表 7-1 日本關西國際機場施工新技術規劃	7-17
表 7-2 量測沈陷後沈陷參數修正	7-26
表 8-1 鉛直排水工法在日本使用實績	8 - 7
表 8-2 表層處理工法之種類與特徵	8-25
表 8-3 地盤改良工法之評估	8-35
表10-1 軟弱地盤之概略判斷基準	10 - 3
表10-2 軟弱地盤施工時之問題點	10 - 5

前 言

一、計劃目的

承交通部運輸研究所委託辦理深水港港址地盤改良技術研究，提出服務建議書，其運研所所指定計劃目的為：

闢建深水港將利用抽砂回填產生新生地，以及建造龐大結構物如碼頭及防波堤等，不論在原有海底基礎或新生地上對結構物之承載力或因地震產生之土壤液化現象等足以產生巨大災害。擬對港址之軟弱地盤改良之技術詳加研究，作為未來規劃設計之參考。

二、研究範圍

本研究係以高雄深水港港址軟弱地盤改良技術進行研究。

三、研究內容

- (1).高雄深水港港址地質調查研析。
- (2).抽砂回填方式概述及地盤承載力分析。
- (3).軟弱地盤之液化試驗。
- (4).軟弱地盤之處理技術及工法選擇。
- (5).新生地地表層處理工法之選擇。

第一章 高雄深水港建設計劃

第一節 高雄港簡介

高雄港是中華民國台灣省最大的國際港埠，位於台灣省西南海岸，貨物吞吐量七千餘萬公噸約佔全省三分之二運量，貨物裝卸量年近二億餘萬公噸，高雄港在不斷大規模擴建中，貨物運輸及港埠設施，均具現代化規模，且已列入世界最大國際海港之林，現在高雄港正積極擴充港埠設備，不久將成為遠東最大貨櫃轉運樞紐與主要散裝貨物轉運中心。

高雄港的港域遼闊，腹地廣大，氣候溫和，臨海有狹長沙洲，為港灣的天然防波堤，地理條件優良，港灣形勢天然形成。清咸豐10年(1860)，安平港闢為商埠，同治二年(1863)高雄港以安平港輔助地位正式開港，光緒九年(1883)設海關、建燈塔，光緒32年(1906)擬定築港計畫，光緒34年(1908)開始築港。工程分兩期進行，至民國十八年(1929)完成，可容八千噸船隻進港。迨太平洋戰爭爆發，築港工程即告停頓，本港設備遭盟機轟炸，幾被全毀，航道亦為沉船阻塞。

民國三十四年(1945)台灣光復，經高雄港務局整頓經營，至民國三十八年(1949)始復舊觀。民國三十五年(1946)至民國四十四年(1955)，為港灣復舊時期，計改建十、十一、十二、十九及新濱一、二號碼頭，重建十號碼頭，增置浮筒及新建通棧倉庫，增加倉儲量六萬五千噸。自民國四十五年(1956)至民國五十四年(1965)，為港灣整建時期，新建登陸艇碼頭、淺水碼頭、二十及三十一號碼頭各一座，倉庫二十二棟，堆貨場一處、香蕉冷凍庫一棟，再增倉儲量八萬噸。

自民國五十五年(1966)起為高雄港港灣發展時期，實施高雄港十二年擴建計畫，將高雄港水域面積由三·三平方公里擴大為一二·七平方公里，填築新生地五四四公頃，始相繼有中島商港區、高雄加工出口區、前鎮漁港、臨海工業區、大鋼廠、造船廠、第一、二、三貨櫃中心，以及第二港口的開闢等開發建設。

第二港口開闢完成後，旗津區成一個孤島，高雄港已於橫跨主航道修築一條四線道海底隧道，於民國七十年(1981)五月開工，至民國七十三年(1984)完成。過港隧道興建完成，續開闢旗津區中興商港區為第四貨櫃中心。高雄港並於民國七十二年(1983)成立貨物儲運中心，發展貨櫃及大宗貨物儲轉業務。

依高雄港之遠程發展計畫，自民國七十九年(1990)起在小港闢建大仁商港區為第五貨櫃中心，完成後繼續在紅毛港地區興建大林商港區，全部計畫完成後，高雄港的年吞吐量將達一億五千萬公噸。高雄港港址見圖1-1所示，整個高雄港港區面積為26,663,422m²，陸地面積為13,899,941m²，水域面積為12,763,481m²。(參考資料：高雄港簡介，民國八十一年)

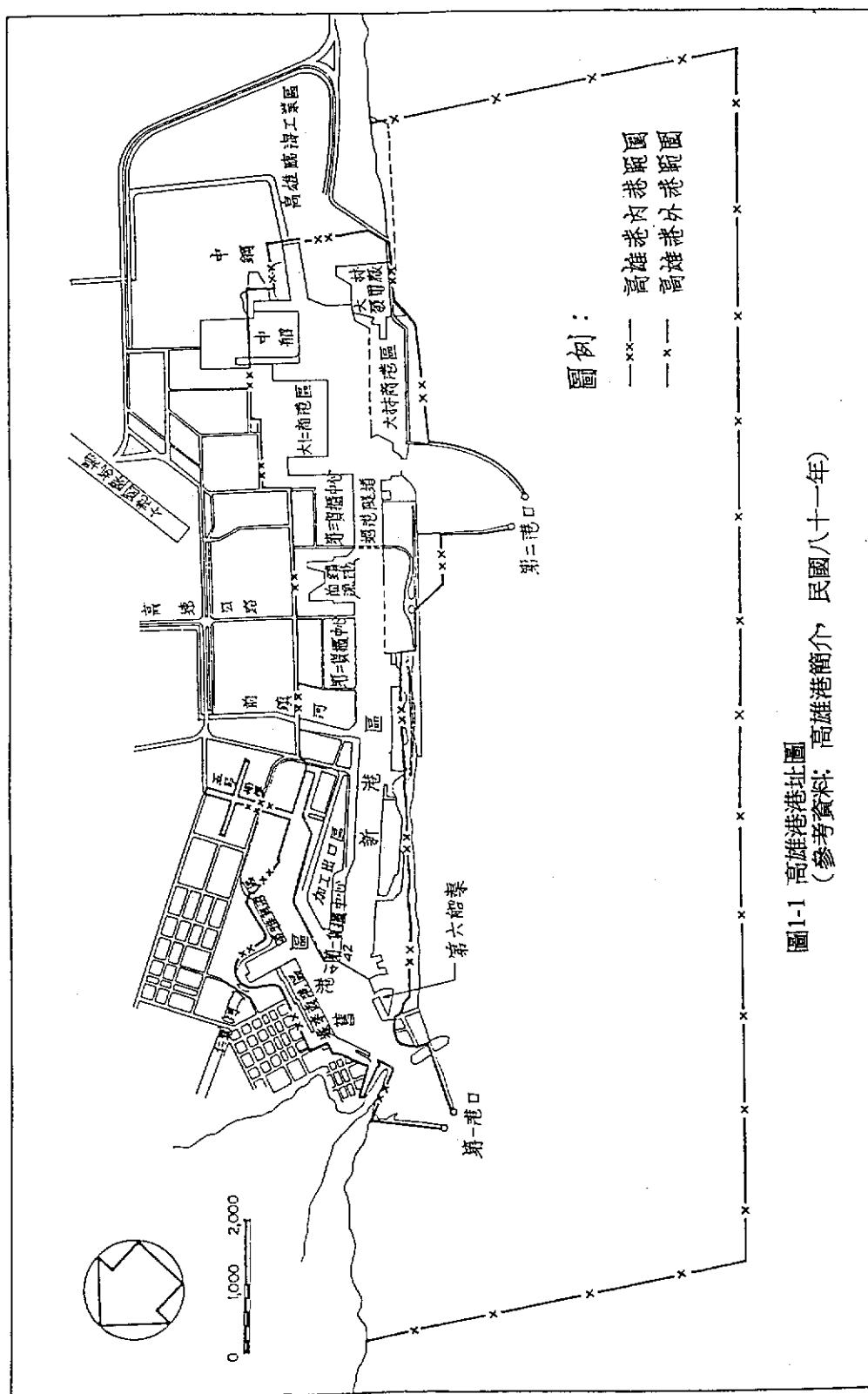


圖1-1 高雄港港址圖 (參考資料: 高雄港簡介, 民國八十一年)

高雄港簡介 (參考資料: 高雄港簡介, 民國八十一年)

第二節 高雄港營運狀況

一、高雄港進出港船舶概況

高雄港進出港船舶由民國六十年(1971)的該年總艘數10,378艘增加至民國八十年(1991)的該年總艘數22,933艘，其成長率為201.7%，(見圖1-2)。其進出港船舶總噸位由民國七十五年(1986)該年總噸位為242,649,968噸增加至民國八十年(1991)的該年總噸位為341,080,340噸，其成長率為140.6%(見表1-1)。

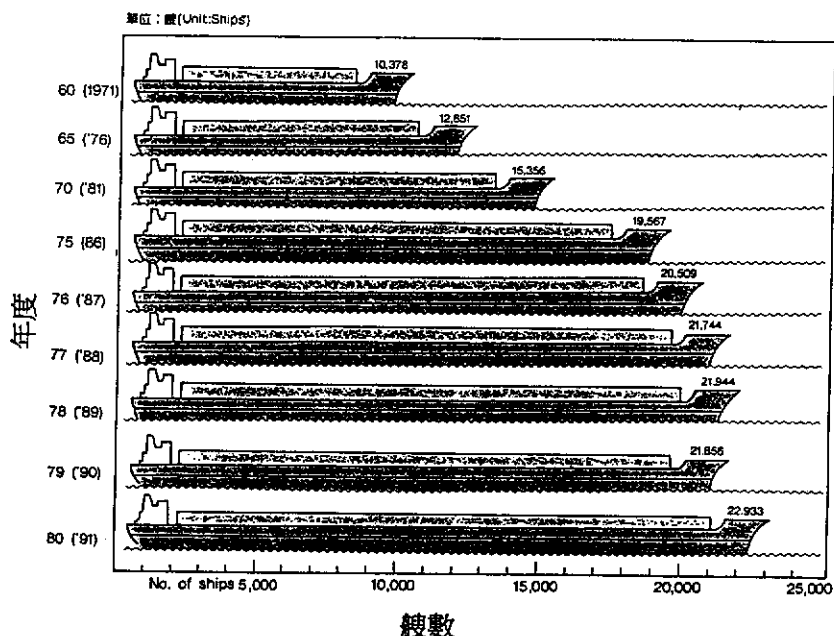


圖1-2 高雄港進出船舶統計圖
(參考資料：高雄港簡介，民國八十一年)

表1-1 高雄港進出港船舶總噸位統計表
(參考資料：高雄港簡介，民國八十一年)

年 別 Year	合 計 Total		進 港 Inbound		出 港 Outbound	
	艘 數 Number of Vessels	總 噸 位 Total Tonnage	艘 數 Number of Vessels	總 噸 位 Total Tonnage	艘 數 Number of Vessels	總 噸 位 Total Tonnage
75(1986)	19,567	242,649,968	9,795	121,363,147	9,772	121,286,821
76(1987)	20,509	267,071,283	10,258	133,268,514	10,251	133,802,169
77(1988)	21,744	305,873,243	10,855	153,221,434	10,889	152,651,809
78(1989)	21,944	315,925,512	10,974	157,785,480	10,970	158,140,032
79(1990)	21,856	321,358,124	10,939	160,809,753	10,917	160,548,371
80(1991)	22,933	341,080,340	11,465	170,336,216	11,468	170,744,124

二、高雄港進出口貨櫃(折合20呎)概況

高雄港進出口貨櫃數由民國七十五年(1986)的該年2,482,467個增加至民國八十年(1991)的該年3,913,107個，其成長率為157.6%(見表1-2)。

表1-2 高雄港進出港貨櫃統計表(折合20呎)
(參考資料: 高雄港簡介, 民國八十一年)

年 別 Year	合 計 Total	進港貨櫃 Import	出港貨櫃 Export	轉口貨櫃 Transhipment
75(1986)	2,482,467.75	949,390.00	890,908.00	642,169.75
76(1987)	2,778,785.75	910,869.75	905,634.25	962,281.75
77(1988)	3,082,837.50	997,251.50	983,534.75	1,102,051.25
78(1989)	3,382,511.50	1,077,958.00	1,053,320.00	1,251,233.50
79(1990)	3,494,630.50	1,084,875.00	1,068,186.75	1,341,568.75
80(1991)	3,913,107.75	1,198,801.25	1,172,805.25	1,541,501.25

三、高雄港貨物吞吐量概況

高雄港貨物吞吐量由民國七十五年(1986)的該年60,726,101公噸至民國八十年(1991)的該年77,126,007公噸，其成長率為127%(見表1-3和圖1-3)

表1-3 高雄港貨物吞吐量概況
(參考資料：高雄港簡介，民國八十一年)

高雄港貨物吞吐量 COMMODITY VOLUME OF IMPORTS & EXPORTS 單位：公噸Unit:M.T.			
年 別 Year	合 計 Total	進 港 Import	出 港 Export
75(1986)	60,726,101	48,756,429	11,969,672
76(1987)	67,937,519	55,394,319	12,543,200
77(1988)	78,787,482	64,884,887	13,902,595
78(1989)	78,146,902	63,877,171	14,269,731
79(1990)	77,986,731	63,819,431	14,167,300
80(1991)	77,126,007	61,454,088	15,671,919

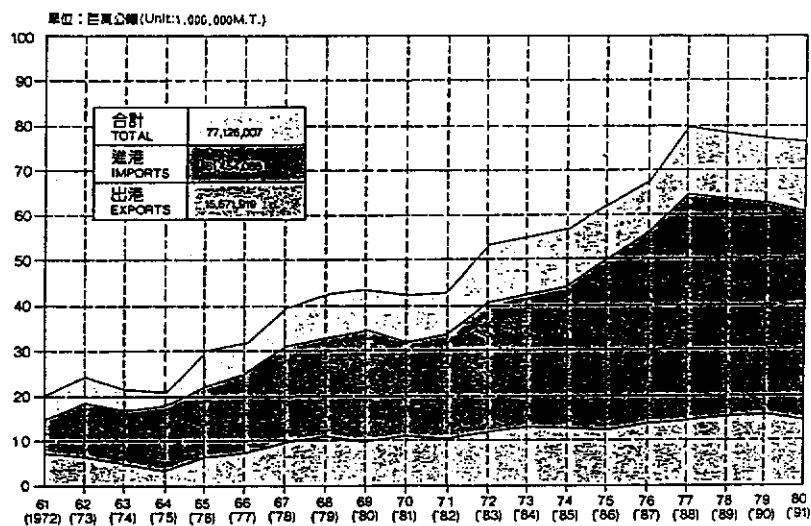


圖1-3 高雄貨櫃吞吐量(折合20呎)統計圖
(參考資料：高雄港簡介，民國八十一年)

第三節 高雄深水港建設計劃

一、高雄港建設計劃

近二十年來，全球經貿的發展，在生產上經濟分工的趨勢愈來愈明顯，因此貿易量持續增加，而在區域發展上，全球逐漸形成三大區域—北美、歐洲及亞太地區。所謂亞太地區，指的是東北亞、東南亞及太平洋三地區的三十一個國家。臺灣位處亞洲太平洋地區之中心，為東北亞與東南亞往來必經之地，也是遠東至北美，遠東至歐洲兩大主要航線輻射之地區；交通部為充分應用我國有利之地理位置及適應未來經貿快速發展之需要，已將重要航港建設納入國家建設六年計劃，以期建立我國成為亞太地區轉運中心。

高雄港預測至民國九十五年(2006)，貨櫃運輸將達五百五十萬個TEU，除將第四貨櫃儲運中心工程期限自十四年縮短為八年半於民國七十八年(1989)完成外，並計劃提前於民國七十九年(1990)起，投資一百零六億元以十年的時間開發大仁商港區第五貨櫃儲運中心，計劃興建十四至十五公尺水深貨櫃碼頭七座，預定至民國八十七年(1998)完成。

二、增建深水港計劃

為因應世界船舶大型化與港埠深水擴展趨勢，並配合我國未來大宗物資之運輸長期考量國內工業與經濟發展，極需進行深水港研究。就深水港的規劃構想而言。港埠要有廣大腹地，海象、水文、波浪、潮汐變化不大，碼頭水深至少二十米以上，目前選定五處港址，分別為基隆與野柳之間的外木山地區、臺中港大肚溪以北商港區以南地區、淡水港三芝附近地區、布袋外傘頂洲以及高雄港二港口以南至高屏溪地區，針對該五個港址進行可行性研究，初步分析之結果建議港址方案為高雄港深水港增建計劃。(參考資料：工程，中國工程師學會會刊，第六十四卷，第十一期，民國八十年十一月，第4—13頁)

三、高雄港增建計劃時程初擬如下：

一紅毛港遷村計劃，民國七十九年～民國八十七年。

一港埠深水化(第二港口改建計劃)，民國八十二年～民國八十八年。

一第五貨櫃中心新建計劃，民國七十八年～民國八十七年。

(參考資料：如上)

四、高雄港擴建計劃建設之經費初擬如下：

—紅毛港遷村計劃，四十二億元。

—港埠深水化(第二商港改建計劃)，五十億元。

—第五貨櫃中心新建計劃，一百零六億元。

—第六貨櫃中心新建計劃，九十億元。

民國八十年～九十年總建設經費計一百九十八億元。

(參考資料：如上)

第二章 高雄深水港港址地質和自然環境概況

第一節 台灣地區地盤特性和狀況

一、臺灣之地盤特性

(一) 地體構造

臺灣係以先第三紀變質雜岩系為基磐的第三紀地槽沈積，地槽的主軸約呈南北走向，新生代時期東側的菲律賓海板塊以西北的方向向歐亞大陸板塊衝撞，兩板塊在臺灣附近接觸，其板塊運動如圖2-1所示，有下列三種情形：

1.在臺灣北部，菲律賓海板塊俯衝潛入歐亞板塊下方。

2.在臺灣東部，菲律賓海板塊與歐亞板塊對撞擠壓，同時向北滑動。臺東縱谷為二板塊之縫合邊界。

3.在臺灣南部，歐亞板塊俯衝潛入菲律賓海板塊下面。

(二) 地質構造

因板塊運動使先第三紀變質岩於本島東側隆起形成山脈，岩層向西傾斜沒入海中，受造山運動及侵蝕作用雙重影響，第四紀沈積物於本島西部形成平原。同時因地殼變動激烈，地震頻繁，於臺灣北部、東部、南部及澎湖地區時有火山噴發形成山陵。由上述之變遷可知，臺灣之地質構造基本上為先第三紀變質岩、第三紀變質岩、第四紀沈積物及少數火山噴發物所構成。依上述板塊運動結果，可將臺灣地區分為四個不同之地體構造區(見圖2-2)，即：

1.西部平原及山麓區(A區)。

2.中央山脈區(B區)。

3.東部地區(C區)。

4.板塊隱沒區或深層地震區(D區)。

四個分區中A、B兩區位於歐亞大陸板塊上，C區屬菲律賓板塊，D區則位於菲律賓板塊隱沒至歐亞大陸板塊下地區；因之臺灣在構造上屬造山作用最活躍的活動帶，為一具地槽和島弧雙重地質背景的島嶼。

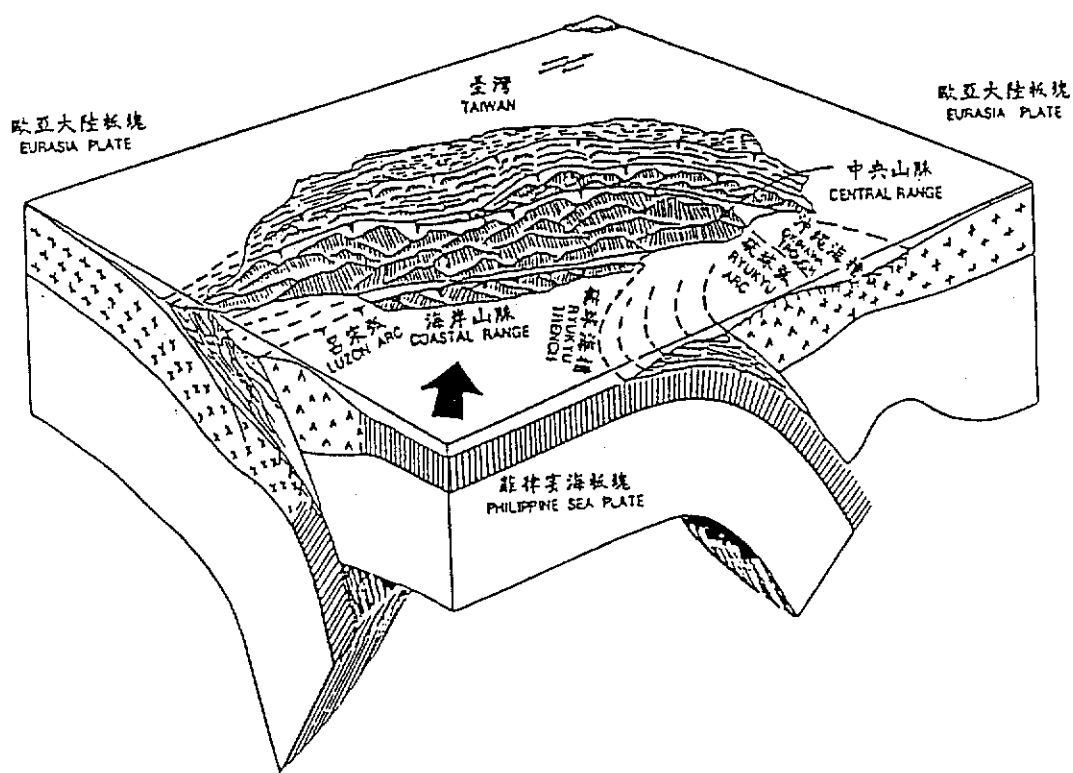


圖2-1 臺灣板塊構造模式圖(何春蓀，民國七十五年)

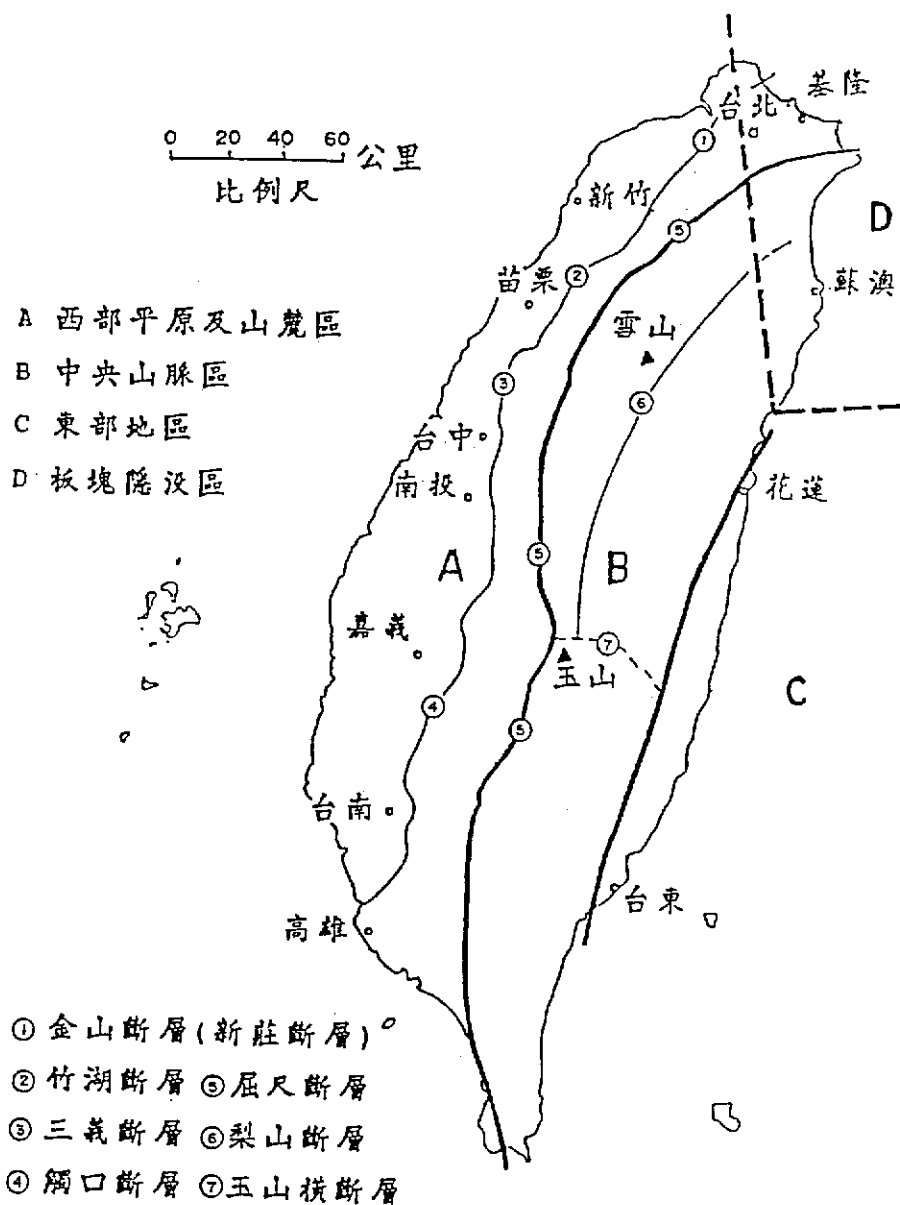


圖2-2 臺灣地區地體構造分區圖

(資料來源：何春蓀，臺灣地質概論，民國六十四年)

(三) 地形與地質分區

臺灣本島主要的地層（見圖2-3）都呈狹長之帶狀分佈，走向大致與島的長軸平行，東高西低。地形上，臺灣東部多縱谷、高山、丘陵，西部多平原、臺地、盆地。依地質、地形及地體構造特徵，大致可分為下列幾個地形與地質分區：

1. 盆地：a.臺北盆地，b.臺中盆地，c.埔里盆地。
2. 沿海平原：a.桃園沿海平原，b.新竹沿海平原，c.竹南平原，d.苗栗河谷平原，e.臺中沿海平原，f.嘉南大平原，g.高屏溪沖積平原，h.恆春平原，i.蘭陽平原，j.臺東縱谷平原。
3. 紅棕土臺地：a.桃新臺地，b.后里臺地，c.大肚山臺地，d.八卦山臺地，e.埔里臺地。
4. 火成岩地區：a.大屯山火系，b.澎湖玄武地區，c.東部火山區。
5. 沈積岩地區：a.西部覆瓦狀斷層山塊及丘陵地，b.東部海岸山脈山塊。
6. 變質岩山地地區：a.板岩、石英岩地區：1.中央山脈板岩山塊，2.雪山山脈板岩山塊，b.中央山脈東斜面片岩，片麻岩山塊。
7. 隆起珊瑚礁及珊瑚石灰岩：a.大、小岡山石灰岩區，b.半屏山石灰岩區，c.壽山石灰岩區，d.鳳山石灰岩區，e.鵝鑾鼻石灰岩地區。

二、不同地盤之大地工程特性

從事工址調查時，若能事先對地質有初步之瞭解，對於調查計劃之擬定及工程問題之研究將有很大的幫助。以下將臺灣不同地區之地盤狀況及可能遇到之大地工程問題描述如后：

(一) 沿海地區沖積平原

黏土、沈泥、砂和礫石組成臺灣西部廣大的海岸平原、東北部的宜蘭平原以及東部縱谷的一部份。其厚度視地區不同而異。沿海沖積平原分佈範圍甚廣，沖積平原之土層相當複雜，依其形成原因大致可分為：

1. 洪積平原（或三角洲）型
2. 河谷階地型
3. 海埔新生地型

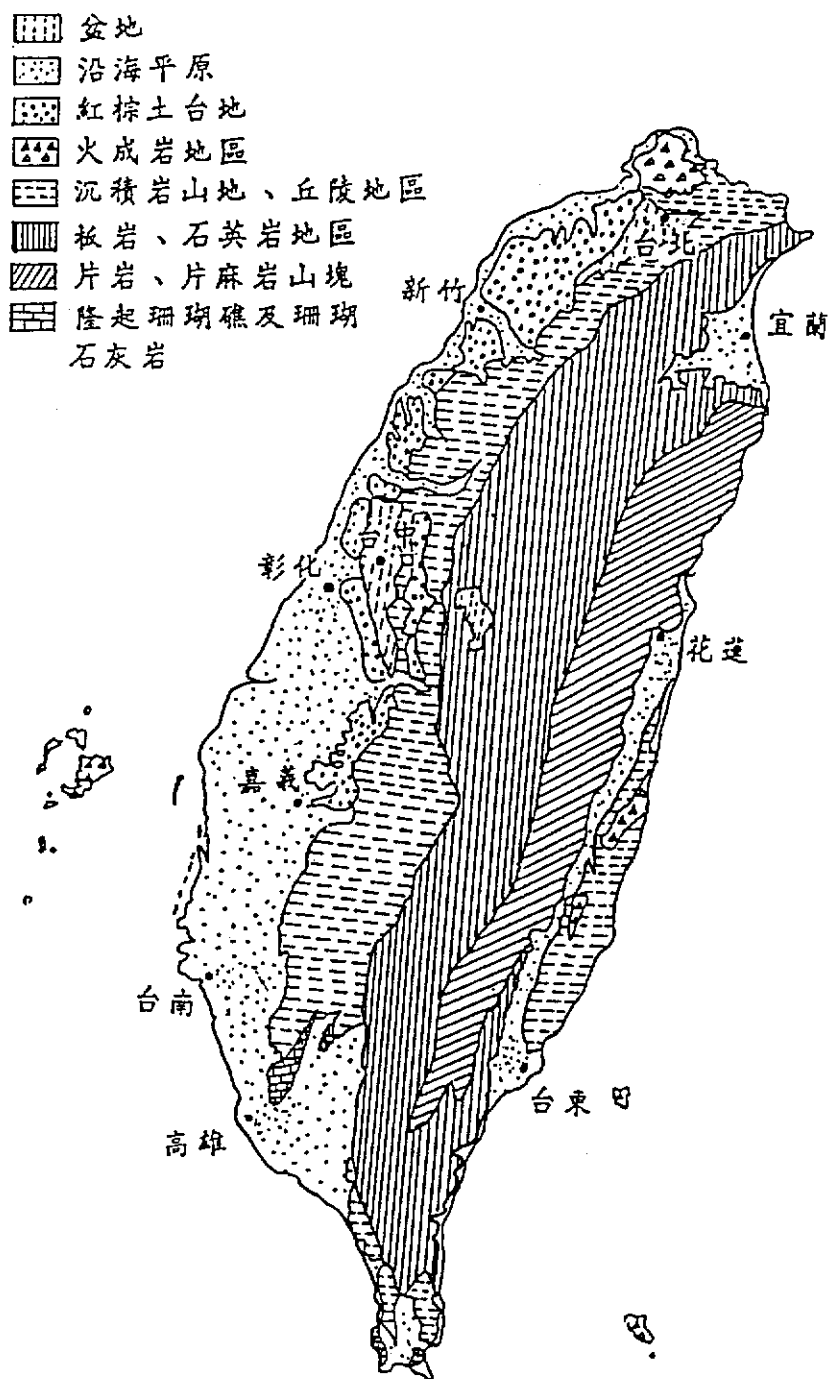


圖2-3 臺灣地區地質分區圖

(資料來源：何春蓀，臺灣地質概論，民國六十四年)

沖積層因地層軟弱，地震時易引起地震加速度放大效應，導致地裂、地陷及地盤液化等災害。此外，因地盤壓縮性大，於屏東平原、嘉南平原、彰化平原、宜蘭平原等地區常因地下水超抽引起地層下陷，致造成結構物破壞、排水系統受損、橋墩下陷等問題。以下茲就嘉南平原、高雄海埔地及東部縱谷為例，加以說明。

(二) 嘉南平原

臺南層出露在臺南臺地及其東側至關廟、新化之間。其土質大致是低塑性黏土(CL)、沈泥(ML)及沈泥質砂土(SM)，分佈不規則，厚度在16公尺至36公尺之間。下為砂層。土壤之標準貫入試驗N值約在6~25，愈深愈大。

(三) 高雄海埔地

大致由細砂及沈泥所組成，黏土含量通常在20%以內，甚至10%以內。深度20 m以內之標準貫入試驗N值通常不超過20。深20 m以下之N值逐漸增高至30~50；間有低塑性沈泥者，則其平均標準貫入試驗N值有低至10~15。細砂及沈泥之標準貫入試驗N值較低者，可能因地震而產生土壤液化(Liquefaction)現象，應加以注意。

(四) 東部縱谷

東部縱谷泛指屏東平原東側、臺東平原，花東縱谷平原、宜蘭平原等地區、由於河流自陡峻的山谷進入平原、因坡度減緩、河水所挾帶的砂礫或泥流遂於谷外堆積成沖積扇地形，其組成多為卵石、礫石及砂，平均標準貫入試驗N值常超過30。又臺東縱谷為菲律賓板塊與大陸板塊之接縫，本身受有垂直方向及切線方向之作用力，為活動斷層及地震作用最劇烈之地區，曾有嚴重震災，應加以注意。

第二節 高雄地區地質概況和構造

一、高雄地區地質概況

高雄市都會區位於臺灣西部麓山地質區之西側，屬於濱海平原區，地層上大部份為現代之沖積層，地層單位由老至新包括上新世古亭坑層、高雄石灰岩、崎腳層，更新世恆春石灰岩，紅土臺地堆積、臺地堆積、全新世臺南層及現代沖積層，本區域之地層狀況及地質狀況及地層分佈如圖2-4所示。

(一) 地質分佈及其特性

高雄都會區各地層的地質性質由年代較老至年輕地質依序說明如下：

1. 古亭坑層：上新世地層，為區域地質中最老之地層，由巨厚的泥岩所組成，易受風化侵蝕泥岩中偶含砂岩薄層，砂岩帶泥質，常移變為泥岩，總厚度可達數千公尺，出露於壽山至半屏山之西側部份。

2. 高雄石灰岩：在上新世紀地層中常見散佈的石灰岩礁，分佈於壽山至半屏山之東側部份，石灰岩呈白至灰白色，堅硬塊狀或凸鏡體，多孔隙及許多溶穴，厚度自數公尺至數十公尺以上，水平延展數百公尺至數公里遠。

3. 崎腳層：本層為上新晚期之岩層，與古亭坑層類似，以泥岩為主，夾有黃棕色細至中粒鬆散砂岩，出露於壽山東南側邊緣地區。

4. 恆春石灰岩：為更新世之石灰岩，地層組成以生物岩為主，包括珊瑚、有孔蟲、貝類等，性質與高雄石灰岩相當，厚度數公尺至一百公尺以上，主要分佈於恆春一帶向北延伸至鳳山南側臺地及壽山南側之一部份。

5. 紅土臺地堆積層及臺地堆積層：更新世之臺地堆積層，可分為含紅土與不含紅土兩類，其岩性特徵相同，差異在於是否含有紅土之表土覆蓋層。臺地堆積層由未膠結的礫石及夾於其中的砂質或粉土質凸鏡體組成，本層分佈於澄清湖附近及鳳山以南之臺地中。

6. 臺南層：本層屬更新世中期地層，為沖積層之一部份，由粉土、黏土、砂土組成，厚度在十六至三十六公尺間；臺南層之沈積作用代表目前臺南平原東部邊緣的一個海侵與海退的循環，為混合潟湖河口灣、淺海及至風成各相的沈積環境。主要分佈於臺南一帶延伸至岡山、橋頭及半屏山、壽山以北之地區。

7. 現代沖積層：沖積層為河流沖刷、氾濫平原、海岸砂丘、現代湖泊和沼澤等之沈積物，由黏土、粉土、砂和礫石組成，其厚度因地而異。本層為計劃區域內分佈最廣之地層。

二、地質構造

由於本計劃區域為一平原區，許多構造現象為沖積層覆蓋而隱暗不明，主要構造情形乃依據水系型態、地形起伏及實際存在之斷層崖予以確認，茲將本區域之地質構造現象，褶皺與斷層分述於下：

1. 岡山向斜：大致上以北北東方向由岡山附近延伸至臺南關廟附近，全長達35公里，此向斜大部份為潟湖及沼澤之沈積，在地形常造成許多低地。在本地區域內向斜之東翼部份為右昌斷層所切割。

2. 半屏山背斜：此背斜軸大致為東北—西南向，延伸約4公里，為壽山斷層、右昌斷層及鳳山斷層所切斷。

3. 鳳山斷層：本斷層呈北北西走向，由鳳山向南延伸至林園附近，全長約11公里，向北延伸經澄清湖、楠梓附近後，走向轉至東北向。此斷層為一逆斷層，切穿全新世堆積物，屬於活動斷層。

4. 旗山斷層：本斷層位於區域內之東北側山坡地，呈北東走向，向北經旗山延伸達55公里，為可能活動斷層，向南可能延伸至仁武附近之斷層，仁武斷層為平原上之一小斷層，全長約2公里，位於萬巒附近，呈北北西走向，為一活動斷層。

5. 右昌斷層：本斷層位於右昌與左營間，呈北東走向，延長約4公里，位移情形不明，切穿全新世或現代堆積層，為一活動層。

6. 壽山斷層：本斷層呈東北向，切過壽山至半屏山附近，全長約9公里，此斷層為逆斷層，斷層面傾向東南約70°，斷層移距應不超過200公尺。

第三節 台灣地區地震調查概況

一、前言

台灣位於地震活動最為活躍的環太平洋地震帶西側的中部，介於日本與菲律賓之間，地震頻繁，每年平均產生有感地震數百次，震央距離、強度、規模出現次數，隨地區有極大不同。

地震原因係由於地球內部物質急劇變動，地殼彈性物質部份裂開或陷落，尤其在台灣西部地震的發生屬於斷層作用因素較多，即大部為淺源地震，即震源在地表下50公里內發生，極易釀成嚴重災害。

地震對工程之危害，一般係由山崩、斷層、地層下陷、土壤液化等現象所引起。而台灣地區地質年代較輕，且其土層大部份由低中塑性壤土或粘土，與沉泥質砂或砂、礫組合而成。而於人口密集之西海岸臨海之平原地區，大多屬沖積土層，大致為細砂與沉泥組成，對地震可能所造成之災害，不能不加以預防。因此在重大工程設施的設計上應考慮地震因素，以免造成嚴重的損害。

二、台灣地區之地震分區

台灣地區現有的地震資料相當豐富，但也相當零亂，有許多學者與研究單位已整理出一部份的地震資料。根據徐明同(1979)與蔡義本(1978)綜合整理有關台灣歷年地震現象，所引起之地震災害與地變現象，從1904年至1964年地震發生之液化震災現象如表2-1所列：

根據徐明同(1970)分析歷年來地震規模大於或等於4.0之地震分布，將台灣地區地震分為三個副地震帶(見圖2-5)，即西部地震帶、東部地震帶與台琉地震帶。又蔡義本等(1977)亦根據統計，將台灣地區劃分為三個副地震帶，東北地震帶(NESZ)，東部地震帶(ESZ)與西部地震帶(WSZ)(見圖2-6)。大體而言，台灣之三個地震帶中，以東北地震帶與東部地震帶交合處最為活躍，其次為位於東部地震帶之綠島附近，此外尚有苗栗與嘉義兩地震帶，但與東部比較，其活動已不太活躍。

表2-1 臺灣歷年(1904年至1964年)地震發生之液化震災現象
(取自徐明同(1979)與蔡義本(1978))

地震時間	地震名稱	震源位置	地震規模(M)	震災地點	震災位置與震央之距離(km)	災害現象
1904年11月	嘉義地震	北港溪下流 (120.3°E, 23.5°N)	6.5	新港附近	~20	噴砂
1906年3月	嘉義地震	民雄附近 (120.5°E, 23.6°N)	7.1	民雄附近	~10	噴泥 噴砂水
1906年4月	白河地震	店仔口附近 (120.4°E, 23.4°N)	5.8	白河店仔口一帶	~5	噴砂
1927年8月	新營地震	新營附近 (120.3°E, 23.3°N)	6.5	八掌溪、曾文溪下游	~20	噴砂
1930年12月	新營地震	新營附近 (120.4°E, 23.3°N)	6.5	臺南市	~30	噴砂
1935年4月	苗栗、臺中地震	關刀山附近 (120.8°E, 24.3°N)	7.1	峨眉溪兩岸	~30	噴泥水
1935年7月	苗栗地震	後龍溪北方 (120.7°E, 24.6°N)	6.2	南勢溪鐵橋新	~20 ~25	地陷 山崩砂石
1941年12月	嘉義地震	嘉義東南約 (120.5°E, 23.4°N)	7.1	清水潭	~23	草嶺山崩
1951年10月	花蓮地震	新化附近 (121.7°E, 23.8°N)	7.3	花蓮	~15	地陷
		花蓮附近 (121.8°E, 24.1°N)	7.1	花蓮	~30	地陷
1951年11月	臺東地震	臺東附近 (120.9°E, 23.0°N)	7.3	臺東	~30	路基下陷
1959年9月	恒春地震	恒春東南方 (121.2°E, 22.1°N)	6.8	屏東車城鄉	~67	噴泥水
1964年1月	臺南地震	臺南東北方 (120.6°E, 23.2°N)	6.5	臺南白河鎮	~60	噴砂

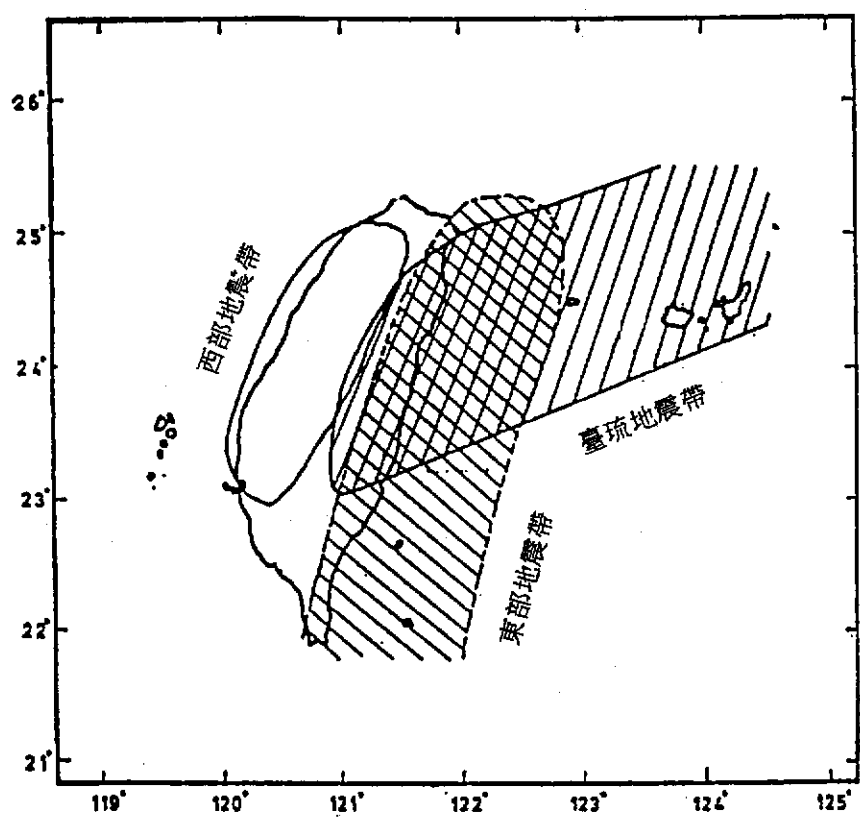


圖2-5 臺灣地區地震帶分佈圖(中央氣象局)
(取自徐明同, 1970)

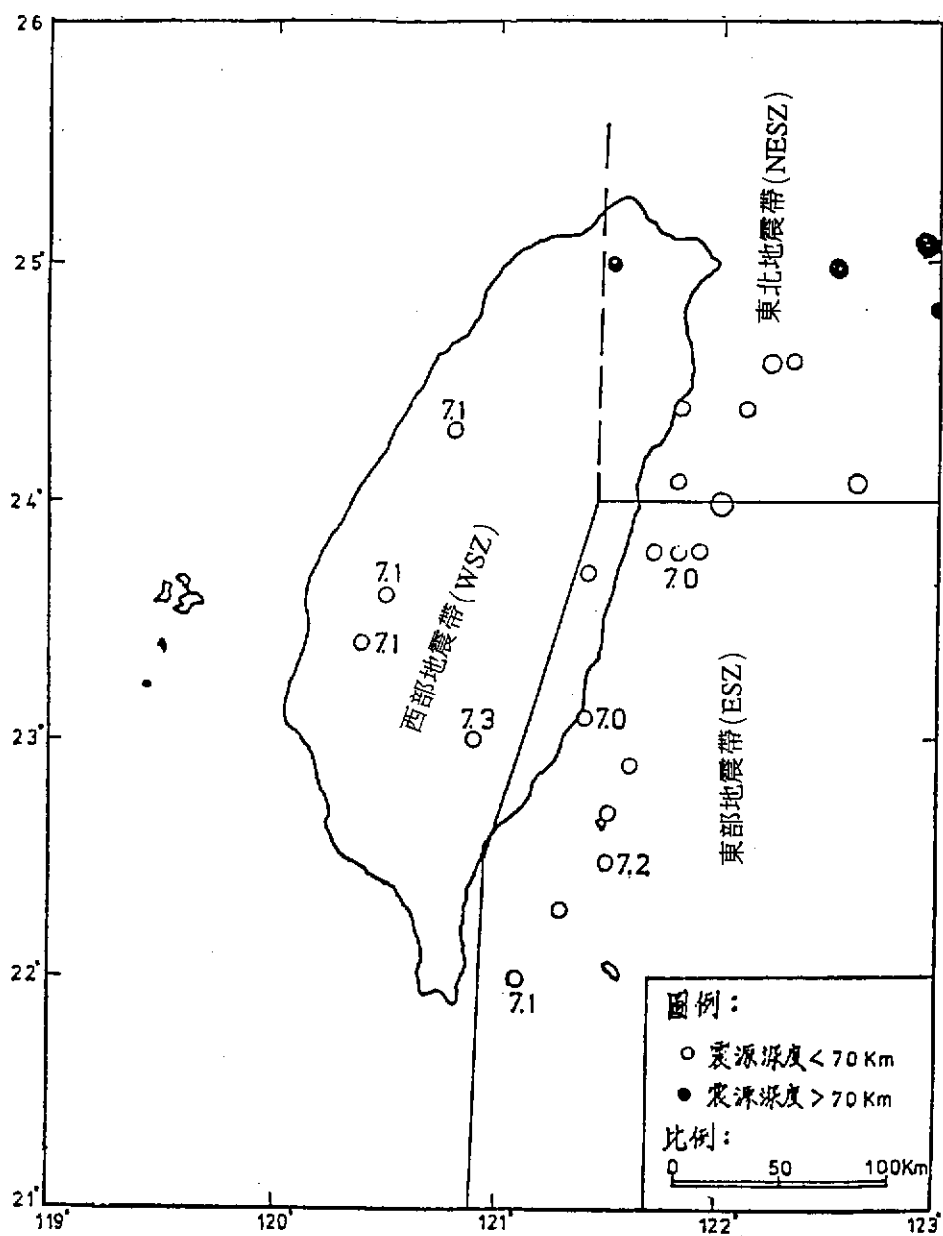


圖2-6 臺灣地區地震分區圖(中央研究院)
(取自蔡義本, 1977)

三、台灣地區現有的地震資料

(一) 1900年至1979年發生於台灣地區之地震

根據徐明同(1975)文獻中分析，將1900年至1935年地震規模大於4.8以上之地震列示於圖2-7中。1936年至1974年規模大於5.0以上的地震示於圖2-8中。另於1974年至1979年地震規模大於5.0以上之地震示於圖2-9(中央研究院，1979)。

(二) 儀器觀察前(1604至1897)發生於台灣地區之地震

中央研究院地球科學研究所鄭世楠與葉永田二位學者於民國七十八年九月完成著作「西元1604年至1988年台灣地區地震目錄」，其著作對於該階段時期(1604-1897)由於無儀器可觀察記錄，其資料只能在文獻中找尋及整理，雖然缺乏統一的客觀標準，但仍為寶貴的參考資料。

由鄭世楠與葉永田學者(民國七十八年)的資料顯示在此階段的290多年中共有124個地震記載，其中只有33個地震設定出震央位置與規模大小(見表2-2)。

(三) 儀器觀測後(1898至1988)發生於台灣地區之地震

儀器設置以後的地震記錄較為客觀，同時也較為豐富。儀器觀測以後的地震資料計有：西村傳三(1936)、台灣總督府氣象(1942)、Lee et. al.(1978)、徐明同(1980)、李白(1983)、葉永田和徐碧(1985)等人編輯的目錄，經由鄭世楠與葉永田(民國七十八年)文中提出，西元1898年至1988年間地震規模大或等於6.0的地震發生次數在圖2-10中。該時段台灣地區的有災害地震之記錄列於表2-3中。

由圖2-10中可以瞭解在西元1898年至1988年間規模大於或等於6.0的地震，在花蓮附近東方近海發生的頻率最高，達17次，地震次數較多的區域大致沿北緯24度向東延深至東經122度30分附近。台灣西部地區出現兩個地震次數多的區域：新竹至台中附近與嘉南地區，其中尤以嘉南地區較為顯著。由圖2-11中可以看出1936年至1988年間規模大於或等於5.5的地震，其中仍以花蓮東方近海最多，台灣西部地區仍以嘉南地區較為顯著，而新竹台中地區則不明顯。圖2-12為西元1973年至1988年間規模大於或等於4.0的地震之分佈，宜蘭東方海域為最多的區域，其次為花蓮東方近海地區，另外再蘭嶼綠島間亦出現一個高區，台灣西部仍是以嘉南地區最為顯著。由圖2-10、圖2-11和圖2-12顯示，地震發生次數最多的地方與菲律賓海板塊隱沒至歐亞大陸板塊的區域相當吻合。台灣西部以嘉南地區

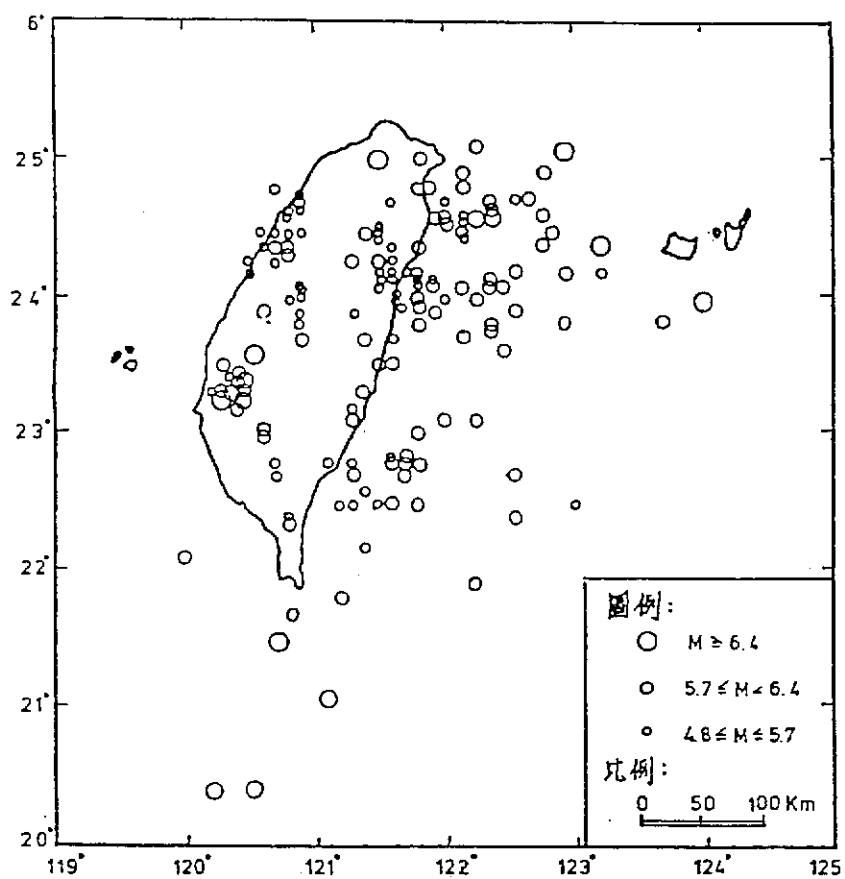


圖2-7 1900年至1935年臺灣地區地震規模大於4.8以上之地震示意圖
(取自徐明同，1975)

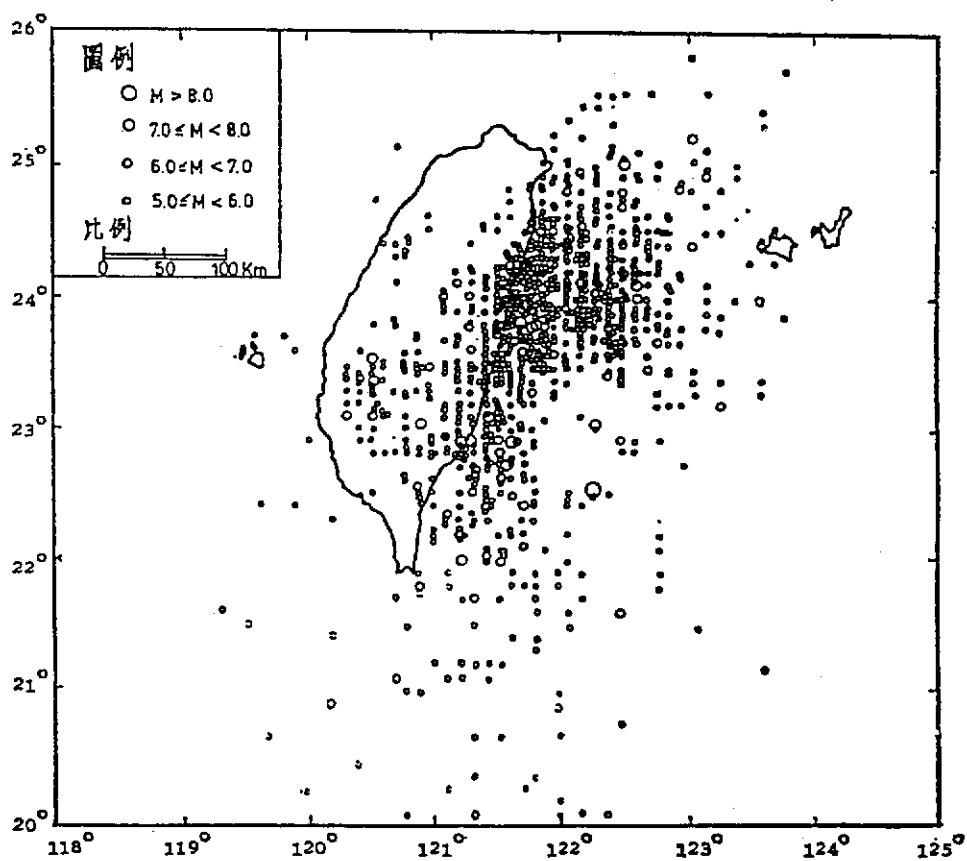


圖2-8 1936年至1974年臺灣地區地震規模大於5.0以上之地震示意圖
(取自徐明同, 1975)

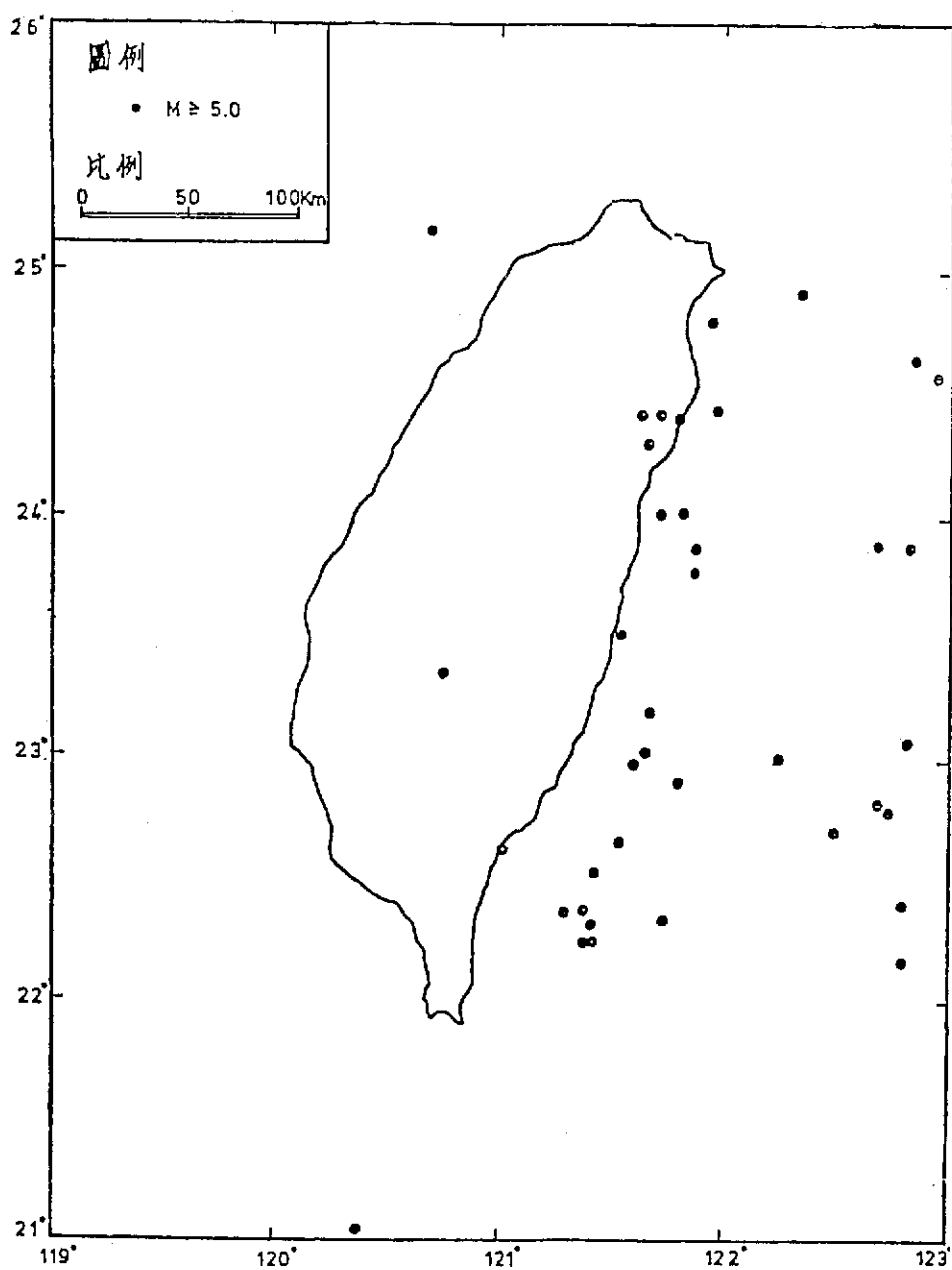


圖2-9 1974年至1979年臺灣地區地震規模大於5.0以上之地震示意圖
(取自中央研究院，1979)

表2-2 儀器觀測前之臺灣地震目錄(西元1604年至西元1897年)
(參考資料: 摘自鄭世楠與葉永田, 民國七十八年)

發 震 時 間	西 元	震 災 地 區	震 央 位 置	地 震 規 模		備 註
				徐	李	
明萬曆32年11月9日	1604年12月29日	福建,江西,浙江	25.0N 119.5E±	8.0		地震, 噴沙, 城牆傾倒
明天啓4年	1624年	台南地區				
明崇禎17年8月27日	1644年7月30日	台灣南部	22.8N 120.4E±	5.0		城牆龜裂, 傾倒。
明永曆8年11月6日	1654年12月14日	台灣南部	安平附近			餘震達七週。
明永曆8年12月14日	1655年1月21日	台南地區	22.9N 120.3E± 23.0N 120.2E±	5.5 5.5		城壁破裂, 餘震達三週。
明永曆13年	1659年	台灣				餘震達二週。
明永曆14年10月	1659年10至11月	台北地區	台北附近			餘震百餘日。
明永曆14年12月	1661年1月	台南地區	台南附近			地震, 餘震達六週, 房倒23
明永曆15年1月17日	1661年2月15日	台南地區	23.0N 120.2E±	6.0 ≥7.0		餘震六日, 房倒27間。
明永曆15年12月	1662年1至2月	嘉義地區	嘉義附近			地震, 噴沙
清康熙15年4月20日	1676年6月1日	台南地區	台南地區			
清康熙21年7月初	1682年8月初	台南地區	台南附近			地震。
清康熙21年8月	1682年9月	岡山地區	岡山附近			地震。
清康熙22年8月18日	1682年10月8日	台南地區	台南地區			
清康熙25年4月20日	1686年5月12日	嘉義, 台南, 高雄	23.5N 120.4E±	5.5		民房倒塌甚多。
清康熙33年4月	1694年4至5月	台北地區	25.0N 121.5E± 25.0N 121.5E±	7.0 5.5		地震, 形成震區台北湖。
清康熙44年	1705年	台南地區	台南地區			
清康熙50年9月11日	1711年10月22日	台南, 嘉義	23.4N 120.6E± 23.5N 120.0E±	5.5 6.5 ≥7.0		民房倒塌甚多。
清康熙54年9月15日	1715年10月11日	嘉義地區	23.5N 120.5E±	6.5		民房倒塌甚多。
清康熙55年9月19日	1716年11月2日	嘉義, 台南, 高雄	23.5N 120.5E±	6.0		
清康熙55年9月21日	1716年11月4日	嘉義, 台南, 高雄	嘉義地區			
清康熙56年1月21日	1717年3月3日	台灣南部	23.4N 120.4E±	6.0		赤崁城傾塌。
清康熙59年10月1日	1720年10月31日	台南, 嘉義, 高雄	23.4N 120.5E±	6.0		地震, 噴沙, 死者多數。
清康熙59年11月	1720年	嘉南地區				
清康熙59年12月8日	1721年1月5日	嘉義, 台南, 彰化	23.2N 120.4E± 23.0N 120.3E±	6.5 6.0		房屋傾倒, 居民多壓死。
清康熙60年8月	1721年9至10月	台南地區	台南附近			廟宇、房屋傾, 死者多數。
清康熙61年7月11日	1722年8月22日	鳳山地區	鳳山附近			地震, 鯉魚山死火山爆發
清雍正元年6月26日	1723年7月27日	鳳山地區	鳳山附近			死火山再度噴發。
清雍正8年7月10日	1730年8月23日	台灣				全台有感。
清雍正13年12月18日	1736年1月30日	嘉義, 台南, 彰化	23.4N 120.4E± 23.1N 120.3E± 23.1N 120.3E±	7.0 6.0 6.5		人死372, 傷129, 房倒698。
清乾隆17年6月21日	1752年7月31日	台南, 彰化				全台有感
清乾隆19年	1754年	新竹地區	新竹地區			地震。
清乾隆33年	1768年	台南地區	麻豆附近			麻豆縣衙廟傾塌。
清乾隆39年3月6日	1774年4月26日	台南, 彰化				
清乾隆41年10月	1776年12月	嘉義地方	嘉義地方			壓死者不知其數。
清乾隆42年11月	1777年11至12月	台灣南部	23.5N 120.5E±	5.5		民房傾倒, 死者多數。
清乾隆46年4至5月	1781年4至6月	高雄地區	高雄地區			高雄海嘯, 水深數十丈。
清乾隆51年6月	1786年6至7月	高雄地區	高雄地區			餘震月餘。
清乾隆57年8月22日	1792年8月9日	嘉義, 彰化, 雲林	23.7N 120.4E± 23.6N 120.5E± 23.6N 120.5E±	7.1 6.75 7.1		人死617傷781, 房倒24521
清乾隆60年10月11日	1795年1月21日	彰化, 台南				
清乾隆60年10月12日	1795年1月22日	彰化, 台南				
清嘉慶2年	1797年	台南地區	23.0N 120.2E±	5.0		廟宇受損。
清嘉慶11年2月	1806年3至4月	彰化地區	彰化地區			
清嘉慶11年10月	1806年11至12月	彰化地區	彰化地區			
清嘉慶14年3月	1809年4至5月	彰化地區	彰化地區			
清嘉慶15年11月	1810年11至12月	台灣北部				

表2-2 儀器觀測前之臺灣地震目錄(續一)(西元1604年至西元1897年)

發 震 時 間 陰 曆 西 元	震 災 地 區	震 央 位 置	地 震 規 模			備 註
			標	李	賦	
清康熙16年 2月24日 1811年 3月17日	嘉義以北地區	23.6N 120.7E 25.2N 121.3E 23.8N 121.8E	6.5	6.5	7.5	人死21條,房倒41
清康熙20年 6月 5日 1815年 7月11日	台北,宜蘭	25.0N 121.6E 24.7N 121.8E	6.5	5.5		觀山寺傾倒。
清康熙20年 9月11日 1815年10月13日 12日	嘉義以北地區	24.3N 120.9E 25.2N 121.2E 24.0N 121.7E	7.1	6.5	7.7	人死113,傷2,房倒243。
清康熙21年春 1816年 1至 4月	宜蘭地區	24.8N 121.8E		5.5		宜蘭 5座傾倒。
清康熙21年 8月 1816年 9至10月	宜蘭地區	24.4N 122.2E	7.2			地震,官署民房具損。
清康熙24年 1819年 1月至1820年 2月	苗栗地區	苗栗地區				上帝廟傾倒。
清道光 3年 1月 3日 1823年 2月13日	台南地區	台南地區				
清道光 7年 8月15日 1827年10月 5日	南投地區	埔里附近				日月潭隆起小山四座。
清道光12年10月 1832年11至12月	彰化地區					
清道光13年11月 1833年12月 8日	宜蘭地區	24.7N 121.8E 24.6N 122.2E	7.0	5.0		餘震達半月。
清道光19年 5月17日 1839年 6月27日 18日	嘉義,台南	23.5N 120.5E 23.4N 120.4E 23.5N 120.5E	6.5	6.5	6.5	人死117,傷534,房倒7515
清道光20年10月 1840年10至11月	雲林地區	23.7N 120.5E 23.8N 120.5E	6.0	5.0		山崩,房屋倒塌。
清道光22年 1842年	彰化地區	鹿港附近				民房倒塌。
清道光25年 1月26日 1845年 3月 4日	嘉義,彰化	23.9N 120.5E 24.1N 120.7E 24.1N 120.7E	6.5	6.0	6.0	人死381,房倒4220。
清道光25年 6月13日 1845年 8月 4日	彰化地區	彰化附近				餘震達一週。
清道光28年11月 8日 1848年12月 3日	台南,彰化,嘉義	23.9N 120.5E 24.1N 120.5E 24.1N 120.5E	7.0	6.75	7.1	人死1030,房倒13993。
清道光28年11月23日 1848年12月18日	台南,彰化,嘉義					1848年12月3日餘震。
清道光29年 3月 8日 1849年 3月31日	新竹,嘉義,彰化	嘉義彰化一帶				城廂傾圮,人畜喪斃。
清道光29年 4月13日 1849年 5月 5日	台南地區	台南地區				地震震。
清道光29年 7月14日 1849年 8月31日	台南地區	台南地區				地震震。
清道光29年 7月24日 1849年 9月10日	台南地區	台南地區				地震震。
清道光29年 7月25日 1849年 9月11日	台南地區	台南地區				地震震。
清道光30年 3月 1850年 4至 5月	嘉義地區	23.5N 120.4E	5.5			毀屋傷人。
清咸豐 1年 3月 8日 1851年 4月 9日	彰化					地震。
清咸豐 1年 3月11日 1851年 4月12日	台南地區	台南地區				地震震。
清咸豐 1年 3月13日 1851年 4月14日	台南地區	台南地區				地震震。
清咸豐 1年 3月14日 1851年 4月15日	台南地區	台南地區				地震震。
清咸豐 3年夏 1853年 5至 8月	大屯山地區	大屯山附近				大屯山鳴三日。
清咸豐10年10月 1860年11至12月	台北,新竹,苗栗					霧山岩崩。
清同治元年春 1862年 1至 4月	台北,新竹,苗栗					
清同治元年 5月11日 1862年 6月 7日	台南,嘉義,彰化	23.4N 120.4E 23.3N 120.3E 23.2N 120.2E	6.5	6.5	7.0	人死逾500,房倒逾500。
清同治元年10月 1862年11至12月	台北,新竹,苗栗					
清同治 4年 9月18日 1865年11月 6日	台北,基隆	24.9N 121.8E	6.0			霧山崩潰,死亡頗多。
清同治 5年春 1866年 2至 3月	台北,新竹,苗栗					河水陡漲三尺復又上升。
清同治 5年11月10日 1866年12月16日	高雄地區					
清同治 6年11月23日 1867年12月18日	台北,基隆,新竹	25.2N 121.8E 25.5N 121.7E 25.3N 121.7E	7.0	6.0	7.0	海嘯、地震,人死數百。
清同治 9年 1870年	屏東地區	22.4N 120.6E		5.5		房屋多倒塌。
清同治12年 1873年	台南地區	台南地區				著字半毀。
清光緒 6年 1月20日 1880年 2月29日	苗栗地區	苗栗地區				民房多倒塌,餘震達七週。
清光緒 6年 5月 1880年 6至 7月	台南地區	台南地區				民房多倒塌,餘震達七週。
清光緒 6年 6月14日 1880年 7月20日	台北地區	台北地區				
清光緒 7年 1月20日 1881年 2月18日	台北,新竹,苗栗	24.4N 121.0E 24.5N 120.7E 24.6N 120.7E	6.0	5.5	6.2	210民房倒塌,死傷11人。

表2-2 儀器觀測前之臺灣地震目錄(續二)(西元1604年至西元1897年)

發 震 時 間	災 災 地 區	震 央 位 置	地 震 規 模			備 註
			徐 季 斌			
清光緒 7年 5月20日 1881年 6月18日	台南、嘉義					
清光緒 7年 5月21日 1881年 6月17日	花蓮地區					普房倒塌，全台有感。
清光緒 7年 6月11日 1881年 7月 8日	基隆地區					不為災。
清光緒 7年10月17日 1881年12月 8日	台北地區	台北附近				慈生宮傾倒。
清光緒 8年 4月11日 1882年 5月27日	台南南郊					
清光緒 8年 7月 1882年 8至 9月	新竹地區	新竹附近				
清光緒 8年10月29日 1882年12月 9日	全台	23.9N 122.0E 23.6N 120.5E 23.0N 121.4E	7.5 6.25 7.5			人死10，房倒逾40。
清光緒 9年12月 1884年 1月	雲林、嘉義	嘉義附近				民居多毀。
清光緒10年 5月 1885年 5月 6日	雲林、嘉義	嘉義附近				山崩。
清光緒13年冬 1887年冬	苗栗地區	苗栗附近				
清光緒15年10月29日 1889年11月21日	台灣地區					震毀草寮數座。
清光緒16年 2月16日 1890年 5月 4日	台灣地區					論時數分鐘。
清光緒18年 1至 2月 1892年 2月	台灣地區					安平海關記錄。
清光緒18年 3月 6日 1892年 4月 2日	台南地區	台南附近				
清光緒18年 3月26日 1892年 4月22日	全台	台南地區				地鳴，家屋傾倒多數。
清光緒18年 5月17日 1892年 6月11日	台灣地區					屋塌不少。
清光緒18年 5月27日 1892年 7月20日	台灣地區					民屋倒塌多數。
清光緒18年西 6月27日 1892年 8月21日	台灣地區					屋塌不少。
清光緒18年 7至 8月 1892年 9月	台南地區					安平海關 9月有 4次記錄。
清光緒18年10至11月 1892年12月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒18年11至12月 1893年 1月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒19年 2至 3月 1893年 4月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒19年 3至 4月 1893年 5月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒19年 4至 5月 1893年 6月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒19年 6月 3日 1893年 7月15日	台灣地區					微震。
清光緒19年 7月13日 1893年 8月24日	台東地區					
清光緒19年 9月 8日 1893年10月17日	台北地區	台北附近				震毀若干房屋。
清光緒19年 8至 9月 1893年10月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒19年10月 7日 1893年11月14日	台北地區	台北地區				沒有災害。
清光緒20年 1月 7日 1894年 2月12日	台東地區					
清光緒20年 2月 3日 1894年 3月 9日	台東地區					
清光緒20年 8至 9月 1894年 9月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒20年10至12月 1894年11月	台南地區					安平海關記錄。
清光緒20至21年 1月 1895年 1月	台南地區	台南附近				安平海關記錄。
清光緒21年 3至 4月 1895年 4月	台南地區	台南附近				安平海關 4月有 3次記錄。
清光緒21年 5至西 5月 1895年 6月	台南地區	台南附近				安平海關記錄。
清光緒21年12月29日 1896年 2月12日	宜蘭地區					
清光緒23年 2月13日 1897年 3月15日	宜蘭台北地區	宜蘭附近				人死56，傷數百，房倒50間。

註：震央位置中，符號“◎”取自徐明同 (1983) 符號“*”取自Lee et al., (1976)，符號“#”取自嚴義本 (1985)
地震規模分別為徐明同 (1983)、Lee et al., (1976) 及嚴義本 (1978, 1985) 三人所定的。

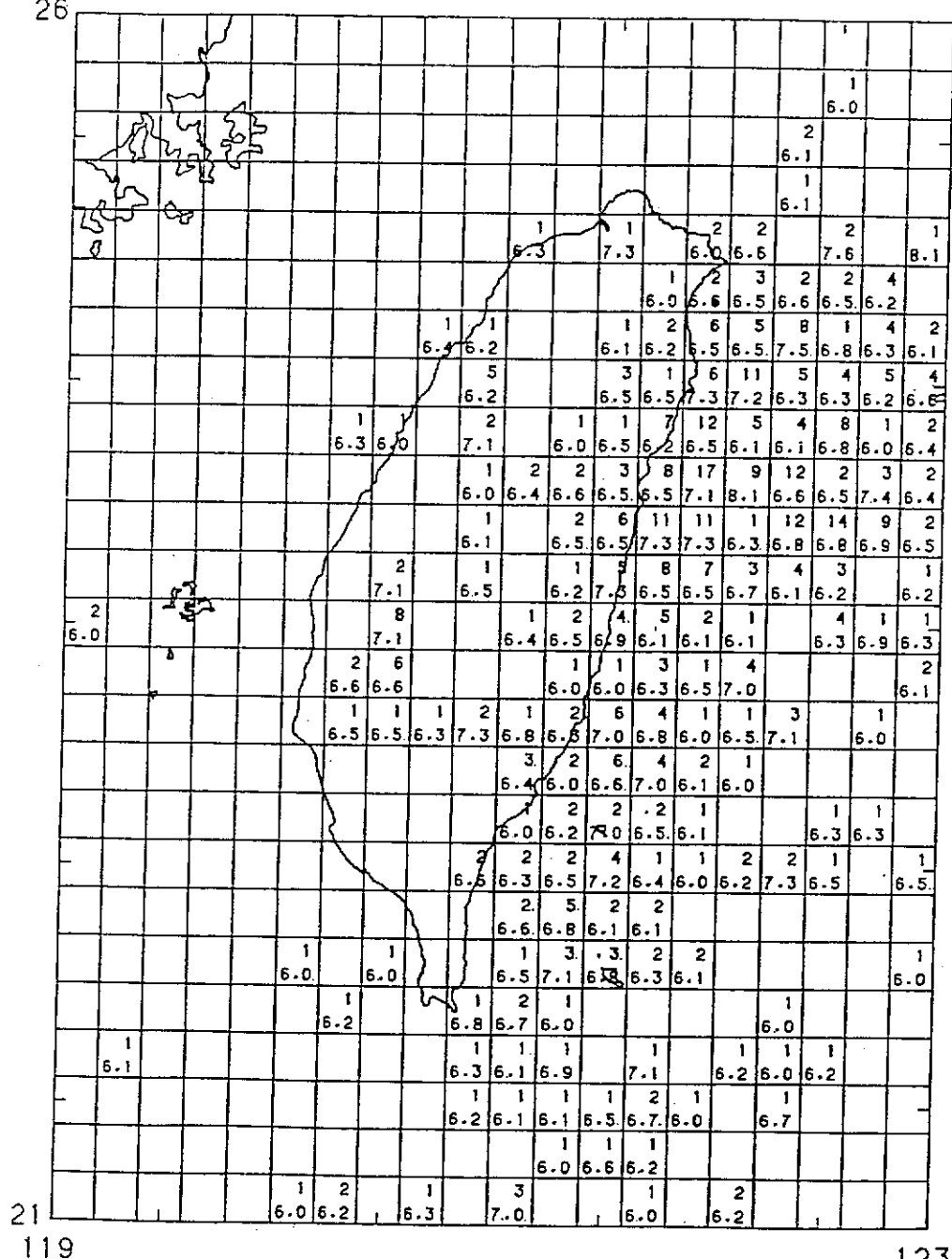


圖2-10 西元1898年至1988年間臺灣地區規模大於等於6.0的地震次數分佈圖，方格上方阿拉伯數字為此時期的地震次數，下方數字為此時期的最大地震規模(高雄港務局，民國69年7月)

表2-3 儀器觀測前之臺灣地震目錄(西元1898年至西元1988年)
(參考資料：摘自鄭世楠與葉永田，民國七十八年)

發 震 時 間	震 央		深 度 (公里)	地 震 震 級 (M)	災 害				地 震 要 點
	地 名	北 緯 東 經			死	傷	房屋全倒	房屋損害	
1901 6 7 8 5	臺東北方	24-42.00 121-48.00		6.2			1	57	
1904 4 24 14 39	嘉義西方	23-30.00 120-30.00		6.3	3	10	56	840	
1904 11 6 4 25	北港南方	23-30.00 120-18.00		6.5	145	158	661	3179	地裂,噴砂
1905 8 28 0 22	清水東南方(海)	24-12.00 121-42.00		5.9				9	
1906 3 17 6 42	梅山附近	23-36.00 120-30.00	懷疑	7.1	1258	2385	5769	14218	斷層,地裂,噴砂
1906 3 26 11 29	雲林附近	23-42.00 120-30.00		5.4	1	5	29	529	
1906 4 7 12 53	白河附近	23-24.00 120-24.00		5.8				283	山崩
1906 4 8 6 40		23-24.00 120-24.00		5.8	1	6	63		
1906 4 14 3 18	白河附近	23-24.00 120-24.00	20	6.7	15	84	1794	10037	地裂,噴砂,山崩
1906 4 14 7 52		23-24.00 120-24.00	20	6.1				5	地裂,山崩
1908 1 11 11 35	花蓮萬里附近	23-42.00 121-24.00	淺層	7.3	2			1050	
1909 4 15 3 54	台北市南方	25- 0.00 121-30.00	80	7.3	9	51	122	32	
1909 5 23 6 44	埔里西方	24- 0.00 120-54.00		5.9		6	10	39	
1909 11 21 15 36	南澳南方(海)	24-24.00 121-48.00	淺層	7.3		4	14	1	
1910 3 26 2 38	花蓮南方	23-54.00 121-36.00		5.8				58	
1910 4 12 8 22	基隆東方(海)	25- 6.00 122-54.00	200	6.1			13	2	
1910 6 17 13 28	巴士海峽(海)	21- 0.00 121- 0.00		7.0				小損害	地裂
1913 1 8 6 50	花蓮附近	24- 0.00 121-36.00		6.5			2	1	
1915 1 6 7 27	與那國島東(海)	24-24.00 123-12.00	160	7.3				4885	
1916 8 28 15 27	日月潭南方	23-43.00 120-55.00		6.5	16	159	814	972	
1916 11 15 6 31	台中東南方	24- 2.00 120-48.00		6.0	1	20	97	625	
1917 1 5 0 55	埔里西南方	23-55.00 120-53.00		6.1	54	85	130	498	
1917 1 7 2 8	埔里東方	23-57.00 120-56.00		5.9		21	187	6	
1918 3 27 11 52	蘇澳東方(海)	24-36.00 121-54.00		6.4		3		1257	
1920 6 5 12 22	花蓮東方(海)	24- 0.00 122- 0.00	淺層	8.1	5	20	273	161	
1922 9 2 3 16	蘇澳東方(海)	24-36.00 122-12.00	淺層	7.5	5	7	14	389	
1922 9 15 3 32	蘇澳東方(海)	24-36.00 122-18.00	淺層	7.2		5	24	197	
1922 9 17 6 44	花蓮東方(海)	23-54.00 122-30.00		6.2		1	6	14	
1922 10 15 7 47	蘇澳東方(海)	24-36.00 122-18.00		6.1	6	2		33	
1922 12 2 11 48	蘇澳東方(海)	24-36.00 122- 0.00		6.2	1	2	1	13	
1922 12 13 19 26	蘇澳東方(海)	24-36.00 122- 6.00		5.8		1		小損害	
1923 5 4 18 41	新營附近	23-18.00 120-18.00		6.0			1	80	
1923 9 29 14 51	台東東方(海)	22-48.00 121- 6.00		5.8		1	1	小損害	
1925 4 17 3 53	巴士海峽(海)	20-24.00 120-12.00	淺層	7.1				339	
1925 6 14 13 38	花蓮東方(海)	24- 8.00 121-48.00		5.9		1		1209	地裂,噴砂
1927 8 25 2 9	新營附近	23-18.00 120-18.00		6.6	11	63	214	1	
1930 8 8 7 49	玉里南方	23-12.00 121-18.00		5.9				614	地裂,噴砂
1930 12 8 14 20	新營附近	23-18.00 120-24.00		6.3	4	25	49	2719	山崩,噴砂
1930 12 8 16 1		23-18.00 120-24.00		6.6				898	
1930 12 22 7 52	新營附近	23-18.00 120-24.00		6.6		14	121	11	
1930 12 22 8 8		23-18.00 120-24.00		6.6				小損害	
1930 12 22 12 19	嘉義西方	23-24.00 120-24.00		5.9					
1931 1 24 23 2		24-50.00 121-50.00	淺層	6.6		3	7		
1934 8 11 6 18	宜蘭東方(海)	24-54.00 122- 8.00	80	6.5					
1935 2 10 3 20	卓蘭附近	24-18.00 120-48.00	5	7.1	3276	12053	17907	36781	斷層,山崩,地裂
1935 4 21 6 26	苗栗附近	24-42.00 120-54.00	淺層	6.2		38	28	571	
1935 5 5 7 2	苗栗南方	24-30.00 120-48.00	淺層	6.2			2	24	
1935 5 30 3 43	台中東方	24- 6.00 120-48.00	淺層	5.9			5	190	
1935 6 7 10 51	大肚溪河口	24-12.00 120-30.00	淺層	6.0				5887	
1935 7 17 0 19	後寮溪河口	24-36.00 120-42.00	30	6.4	44	391	1734		

表2-3 儀器觀測前之臺灣地震目錄(續一)(西元1898年至西元1988年)

發 震 時 間	震 央		深 度 (公里)	地震 規模 (M)	災 害				地 震 要 點
	地 名	北 緯 東 經			死	傷	房屋全倒	房屋損害	
1935 9 4 9 38	慈惠南方(海)	22-30.00 121-30.00	淺層	7.2				114	
1936 8 22 14 51	恆春東方(海)	22- 0.00 121-12.00	30	7.1		3		小損害	山崩
1937 12 8 16 32	新港東方(海)	23- 6.00 121-24.00		7.0				小損害	
1938 9 7 12 3	花蓮東南方(海)	23-48.00 121-48.00		7.0				小損害	
1938 11 21 14 40	合歡山南方	24- 6.00 121-12.00		6.3				小損害	
1939 11 7 11 53	三義附近	24-24.00 120-48.00	淺層	6.1			4	20	
1941 12 17 4 19	嘉義中埔附近	23-24.00 120-30.00	10	7.1	358	733	4520	11086	山崩
1943 10 23 0 1	花蓮縣林附近	23-48.00 121-30.00	5	6.4					
1943 10 23 0 15	花蓮南方	23-54.00 121-36.00		5.9	1	1	1	148	
1943 11 3 0 51	花蓮東方(海)	24- 0.00 121-48.00		5.4				87	
1943 11 24 5 51	花蓮東方(海)	24- 0.00 121-42.00	0	6.0				479	
1943 12 2 13 9	綠島南方(海)	22-30.00 121-30.00	40	6.3	3	11	139	284	山崩
1944 2 6 1 20	花蓮縣林附近	23-48.00 121-24.00	5	6.5			2	388	地裂
1946 12 5 6 47	彰化東南方	23- 6.00 120-18.00	0	6.5	74	482	1954	2084	山崩
1951 10 22 5 34	花蓮東南方(海)	23-48.00 121-42.00	0	7.3	68	856		2382	山崩,地裂
1951 10 22 11 29	花蓮東北方(海)	24- 6.00 121-48.00	20	7.1	68	856		2382	山崩,地裂
1951 11 25 2 47	台東西方	23- 0.00 120-54.00	5	7.3	17	326	1016	582	山崩,地裂
1955 4 4 19 12	恆春東南方(海)	21-48.00 120-54.00	5	6.8		7	22	171	
1957 2 24 4 26	花蓮東南方(海)	23-48.00 121-48.00	30	7.3	11	12	44	64	山崩
1957 10 20 2 29	萬材東南方	23-42.00 121-30.00	10	6.7	4				
1959 4 27 4 41	宜蘭東方(海)	25- 0.00 122-30.00	150	7.6	1		9	4	
1959 8 15 16 57	恆春東南方(海)	21-42.00 121-18.00	20	6.9	17	68	1214	1375	山崩,地裂,噴泥
1959 8 17 16 25	大武東南方(海)	22-18.00 121-12.00	40	5.9			3	小損害	
1959 8 18 8 34	蘭嶼東北方(海)	22- 6.00 121-42.00	15	6.3			32	5	
1959 9 25 10 37	恆春東方(海)	22- 6.00 121-12.00	10	6.6		3	3	65	
1963 2 13 16 50	蘇澳東方(海)	24-24.00 122- 6.00	10	7.2	15	3	6	6	
1963 3 4 21 38	望東南方	24-36.00 121-48.00	5	6.3	1				
1963 3 10 10 53	南澳北方	24-30.00 121-48.00	5	6.2				3	
1964 1 18 20 4	台南縣西附近	23-12.00 120-36.00	20	6.5	106	650	10502	25818	山崩,地裂,噴砂
1964 2 17 13 50	高雄甲仙附近	23- 6.00 120-36.00	33	5.7		3	422	4223	
1965 5 18 1 19	綠島西南方(海)	22-30.00 121-18.00	21	6.5		1	21	70	
1966 3 13 0 31	花蓮東方(海)	24- 6.00 122-36.00	63	7.4	7			小損害	
1967 10 25 8 59	宜蘭東南方(海)	24-30.00 122-12.00	65	6.3	2	2	23	27	山崩
1972 1 25 10 7	綠島東方(海)	22-30.00 122-18.00	70	7.3	1	1	2	4	山崩
1972 4 24 17 57	瑞穗附近	23-30.00 121-30.00	3	6.9	5	17	50	98	山崩,地裂
1978 7 23 22 42	蘭嶼西方(海)	22-21.11 121-19.72	6	6.7				小損害	山崩,小海嘯
1978 9 2 9 57	宜蘭東方(海)	24-46.59 121-58.98	87	6.2		10		小損害	
1978 12 23 19 23	五里東方(海)	23-17.82 122- 0.28	4	7.0	2	3		2	
1981 1 29 12 51	南澳東方(海)	24-25.75 121-53.78	11	6.3				小損害	
1983 5 10 8 15	太平山附近	24-27.49 121-30.44	1	6.4				小損害	
1986 1 16 21 4	龜山島附近(海)	24-45.77 121-57.67	13	6.5				小損害	
1986 5 20 13 25	花蓮附近	24- 4.90 121-35.49	16	6.5	1	5		小損害	
1986 7 30 19 31	花蓮附近	24-37.73 121-47.65	2	6.2				小損害	
1986 11 15 5 20	花蓮東方(海)	23-59.51 121-49.99	14	6.7	15	62	35	32	山崩
1988 7 3 13 20	蘇澳附近	25- 9.46 121-34.08	5	5.3		16		小損害	山崩
1988 7 21 7 16	花蓮東南方(海)	23-54.65 121-43.55	32	5.9	1	1			
總 計	海上 46 個地震 死亡 150 人,受傷 1093 人,房屋全倒 1906 間,損害 7781 間 陸上 51 個地震 死亡 5407 人,受傷 17809 人,房屋全倒 49080 間,損害 130355 間 總共 97 個地震 死亡 5557 人,受傷 18902 人,房屋全倒 50986 間,損害 138136 間								

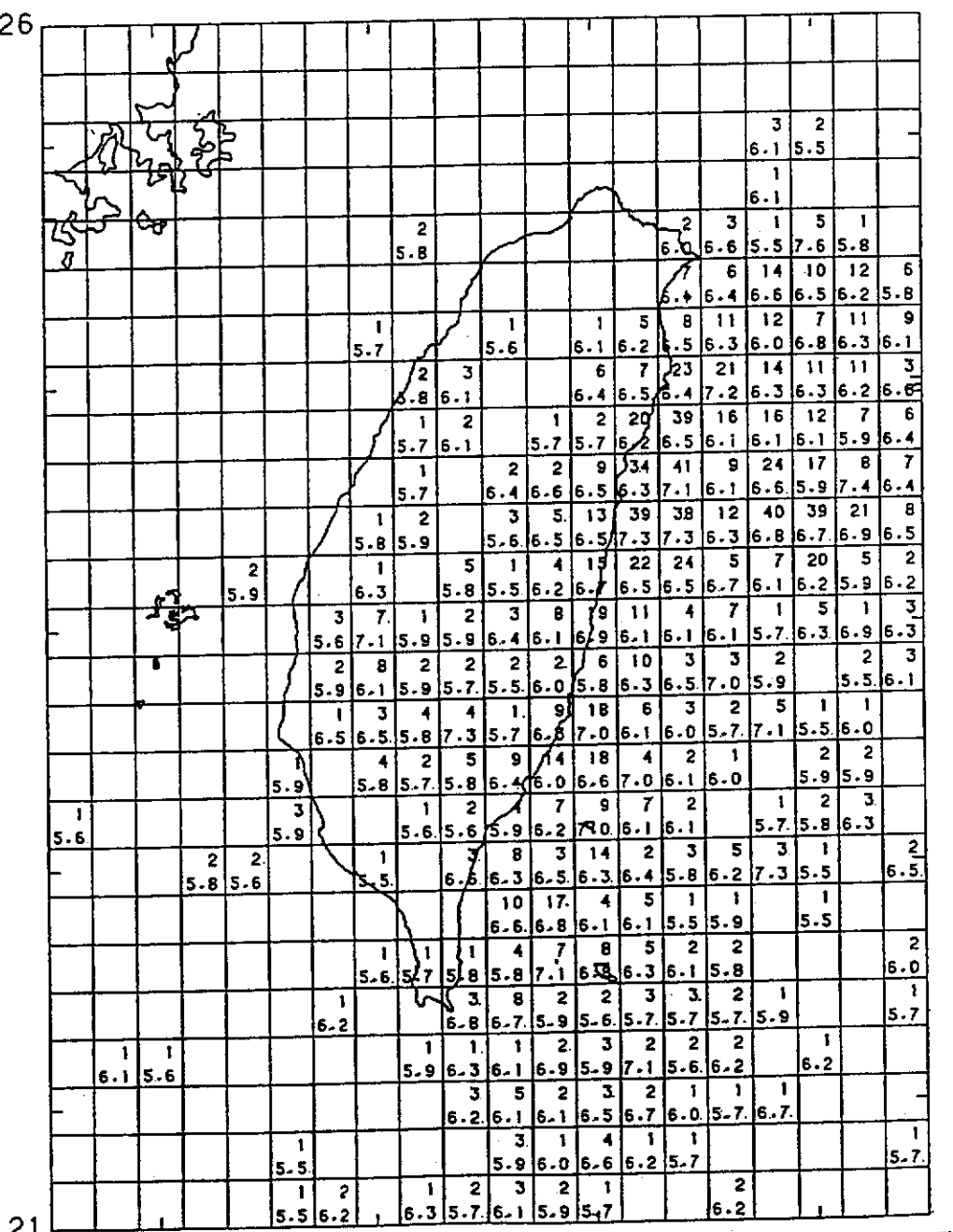


圖2-11 西元1936年至1988年間臺灣地區規模大於等於5.5的地震次數分佈圖，方格上方阿拉伯數字為此時期的地震次數，下方數字為此時期的最大地震規模(高雄港務局，民國69年7月)

2 - 25

地震發生最為頻繁。西元1898年至1988年間澎湖群島、台灣北部海岸、西北部海岸等地區規模大於或等於4.0以上的地震很少。

四、高雄港港址地區地震調查

高雄港務局編印(民國六十九年七月)高雄港土壤特性研究總報告書中曾提供高雄港港址附近地震調查結果加以分析，並於現場進行微地動及強震試驗以研判高雄港附近之振動物性，藉以與過去地震資料相印證，俾供高雄港務局工程設施設計之參考。

高雄港係位於西部地震帶之南端，依據中央研究院地震研究資料顯示，高雄港在一百年中可能受到二個地震帶的影響，其中西部地震帶之地震規模可能達到7.1(Richter Scale)其距離約在50到60公里之間，東部地震帶之地震規模可達7.3，其距離約在80公里以上。

(一)、廿世紀以前高屏地區之地震活動記載：

1. 1600~1899年根據方豪教授所著“廿世紀以前臺灣地震記錄彙考”，在高屏地區所發生過的地震中有四次，記載比較詳細，這四次地震分別發生於1720、1786、1792及1882年，其規模推測如下：

(1) 1720年大地震：震央可能在傀儡山(位於屏東縣三地門附近)不遠，即位於高雄港東方約50公里至60公里附近，規模在M7.0以上，推測為震度9級。

(2) 1786年大地震：震央在屏東林邊一帶，即位於高雄港東南方20公里附近，規模在M6以上，推測為震度9級。

(3) 1792年大地震：震央在嘉義、彰化一帶，即位於高雄港北方約120公里，規模超過M7.5，推測為震度9級。

(4) 1882年大地震：震央在臺灣東部之花蓮、臺東一帶或以東之太平洋海底，即位於高雄港東北方約120公里，規模可能超過M8，推測為震度9級。

(二)、1900~1935年間高屏一帶之地震資料：

圖2-13表示1900~1935年間臺灣地區地震震央分佈情形。這些地震係根據美國國家地震資料中心所蒐集之資料劃出來的。圖中以高雄港過港隧道為中心分別劃出20公里、60公里及120公里為半徑之圓圈，從圖中可見在20公里半徑範圍內並無地震發生。在20公里半徑圓周上有兩次規模4.5~5.5之地震，其位置在東港、林邊一帶，和前述1786年之地震群位置相同，亦與下節所述之地震資料相

符。另外從20公里至60公里之間，地震主要發生於北方及東北方，其最大規模有超過7.0者。其他更遠之地震則發生於臺灣東部臺東外海地區。

(三)、1936～1973年間高屏一帶之地震資料：

圖2-14表示從1936年至1973年利用中央研究院設在全省22處遙記式測震網資料所測定臺灣南部地震分佈情形。圖中亦分別劃有高雄港過港隧道為中心，半徑各為20公里與60公里之兩個圓圈。圖中可見僅有5次地震發生於20公里範圍內。相反的，有很多發生於20至60公里範圍內，尤其在東北方之美濃至三地門一帶及西北方之臺南市一帶。更遠則在嘉南一帶及臺東海域一帶亦相當活躍。從本圖可知在距高雄港20至60公里間之範圍內為較活躍之地震發源帶。

(四)、1973～1980年間高屏一帶之地震資料：

由設置在本港第二港口北信號臺及全省其他地點所設遙記測震網所提供資料，自1973年1月至1980年3月高雄地區地震震央的總分佈情形如圖2-15，該圖中數字2和3代表地震規模，20和60代表20至60公里範圍。這一群發生地震系列是由1978年8月15日一次規模3.4之地震領先，隨後四個月無地震發生。接著在1978年12月21日發生一次規模4.2，高雄震度1級之有感地震。在1979年1月間發生二次規模2至4之間地震後又沈寂數月。至1979年6月開始恢復活動，而於1979年9至11月達到每月約25至30次之巔峰值。1979年12月迄今仍有活動，每月約5至10次，此一地震群大多數規模在2至4之間，僅有7次高雄有感，其中6次震度I級，最大一次震度II級，規模5.3級發生於1979年9月13日。此一地震地群是否為一次更大規模地震之前兆，目前尚難斷定，惟由該地區以往約80年間從未發生規模6以上之地震歷史觀之，上述可能性似乎不大。由圖2-15可發現自1978年以來高雄地區地震活動和以前有一極顯著不同處，亦即在高雄西北西方約40公里處出現了一個東西長約40公里，南北寬約20公里，深度不超過35公里之地震群外，該地區地震活動分佈情形和1977年以前極為相似。

五、結論

(一) 距高雄港20公里範圍內地震稀少。

(二) 距高雄港20至60公里範圍內，地震活動主要集中於東方及東北方約50公里處以及西北西方約40公里處附近。此兩處地震在高雄港地表可能引起之最大地動加速度極有限值經估計為0.15g。而100年回復週期之預期值為0.09g。

(三) 距高雄港60公里以外之地震活動主要集中於北方之嘉南地區及東方蘭嶼海域一帶，此二處地震在高雄港可能引起之最大地震加速度值較前面結論(二)所述之值為低，建議0.08g至0.13g作為設計最大加速度值應仍夠用。

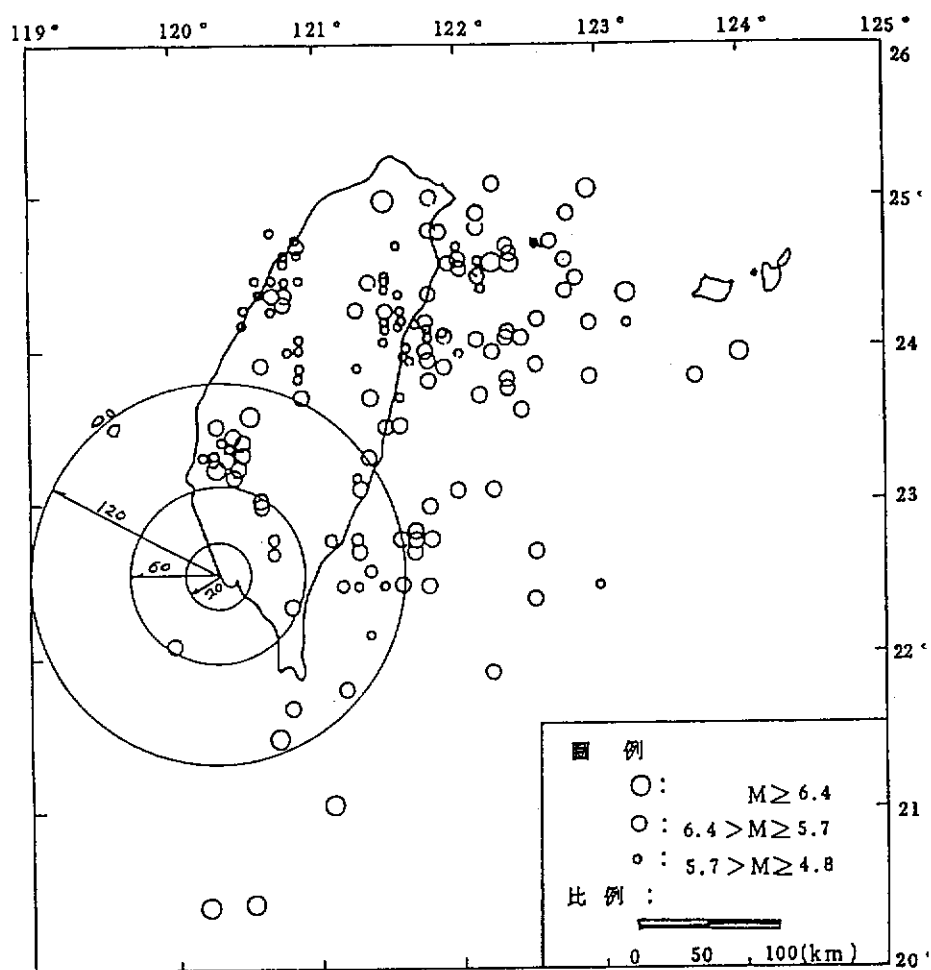


圖2-13 臺灣地區1990年至1935年間地震震央分佈情形
(高雄港務局，民國69年7月)

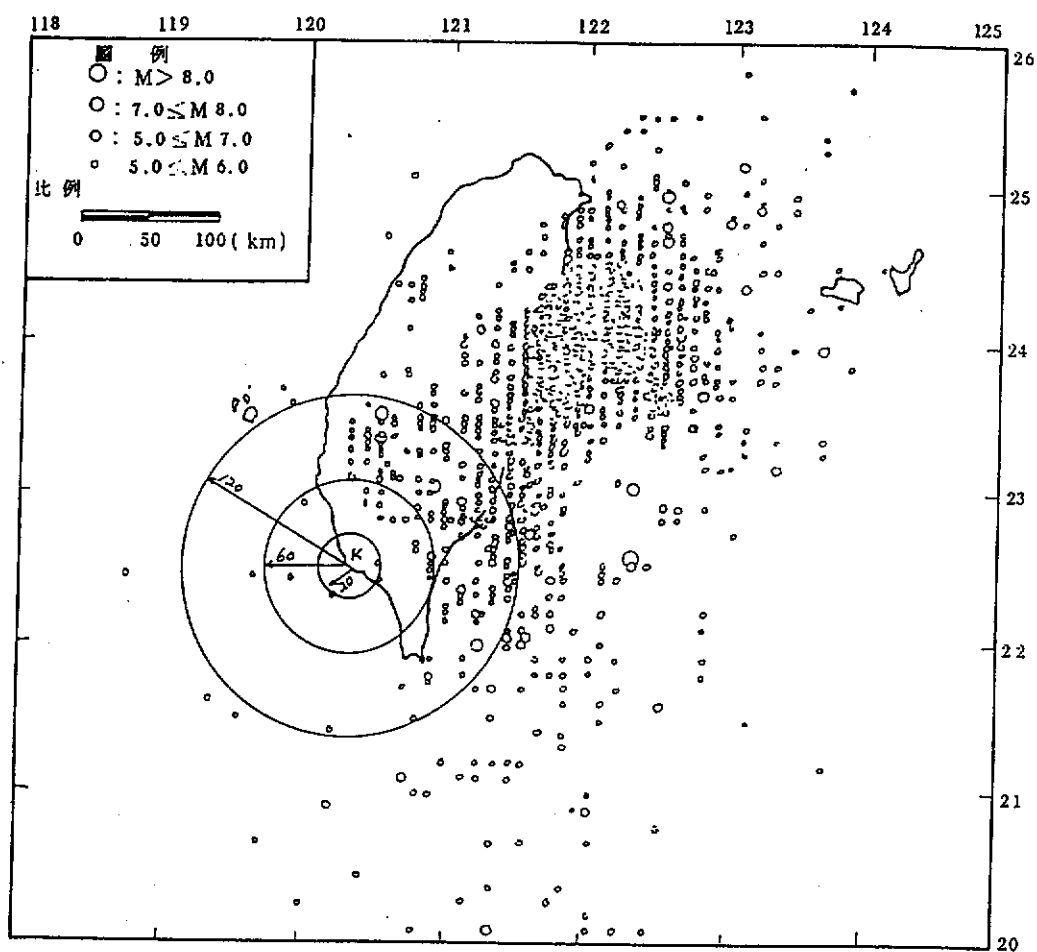


圖2-14 臺灣地區1936年至1973年間地震震央分佈情形
(高雄港務局，民國69年7月)

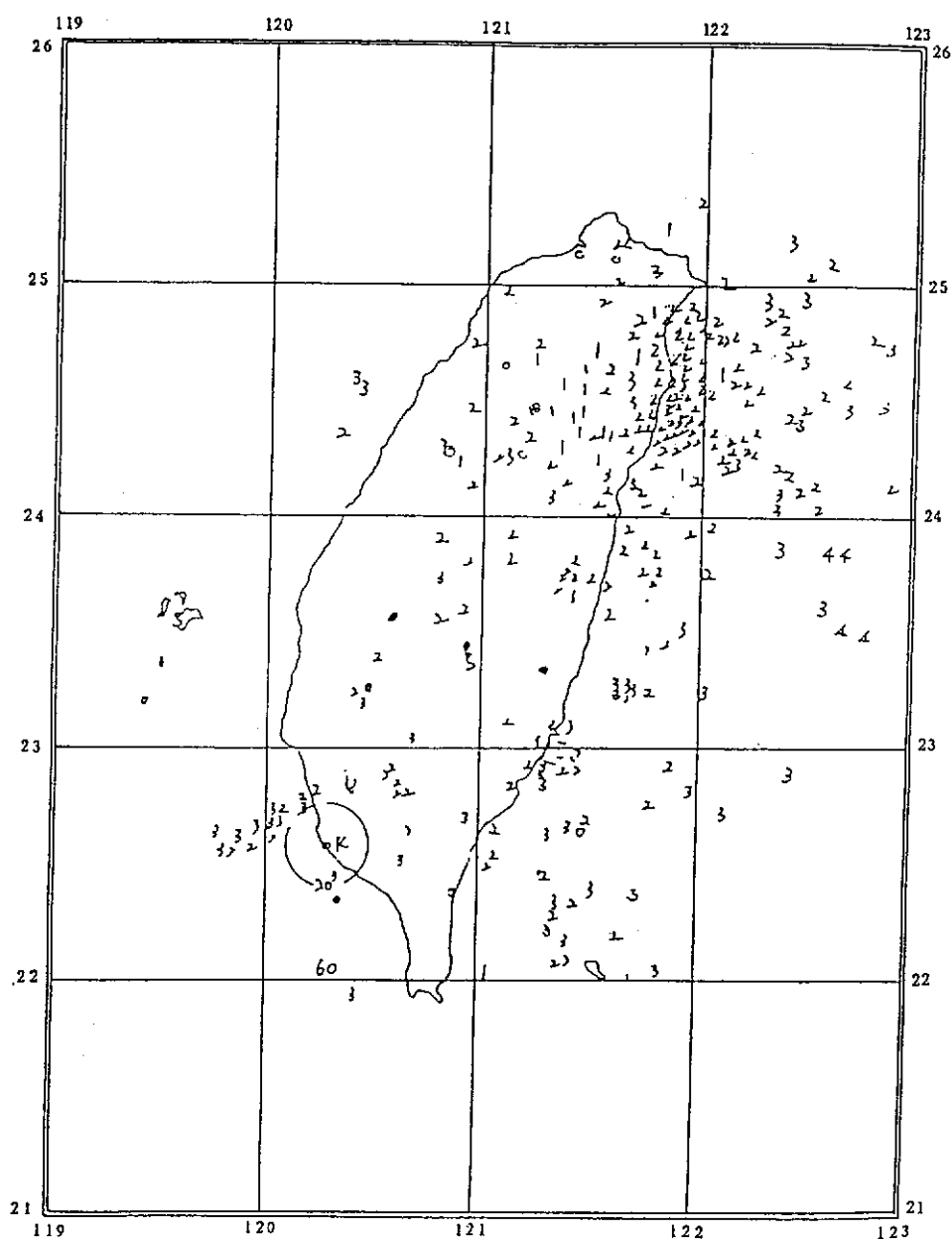


圖2-15a 1979年12月高雄地區地震震央分佈圖
(高雄港務局, 民國69年7月)

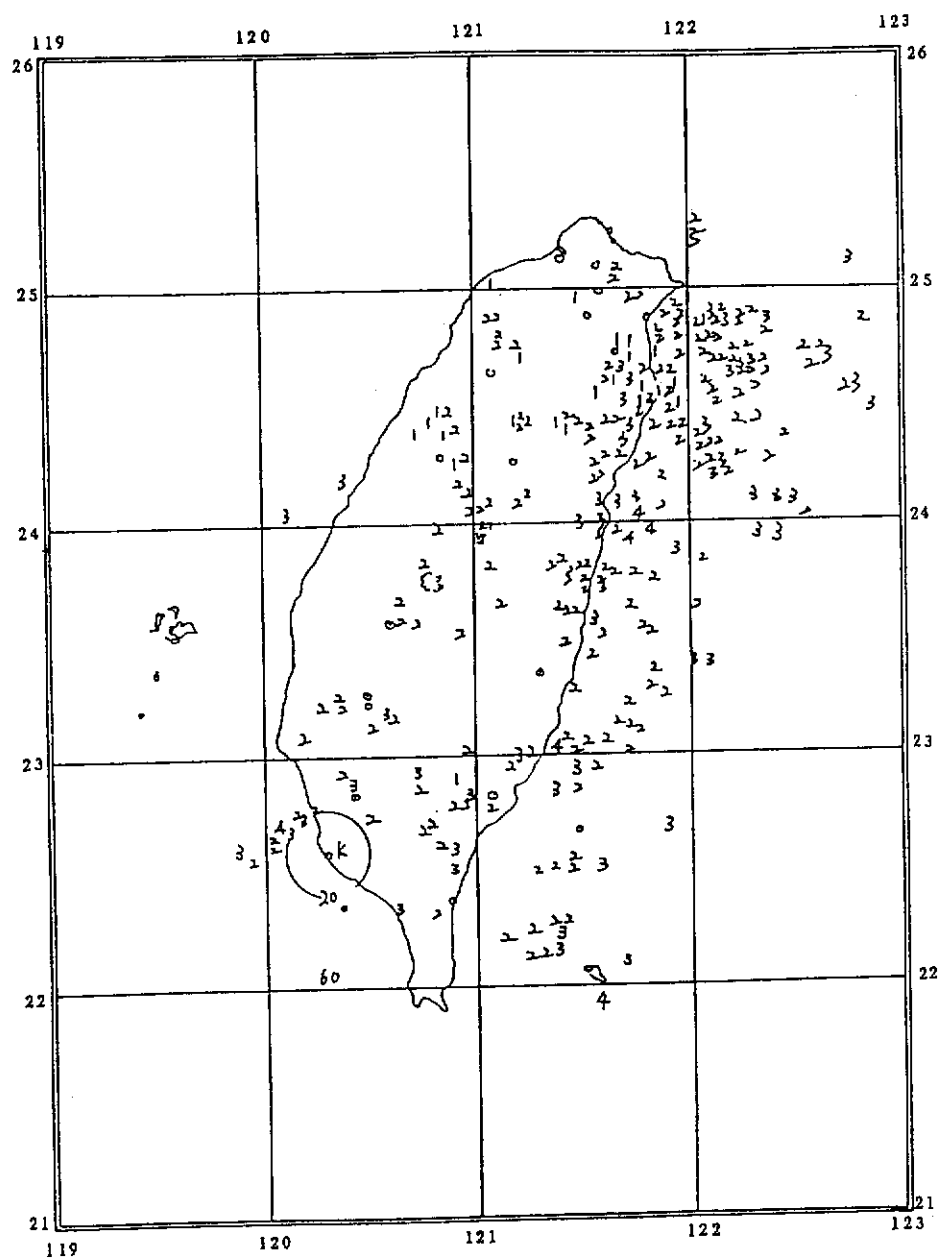


圖2-15b 1980年1月高雄地區地震震央分佈圖
(高雄港務局，民國69年7月)

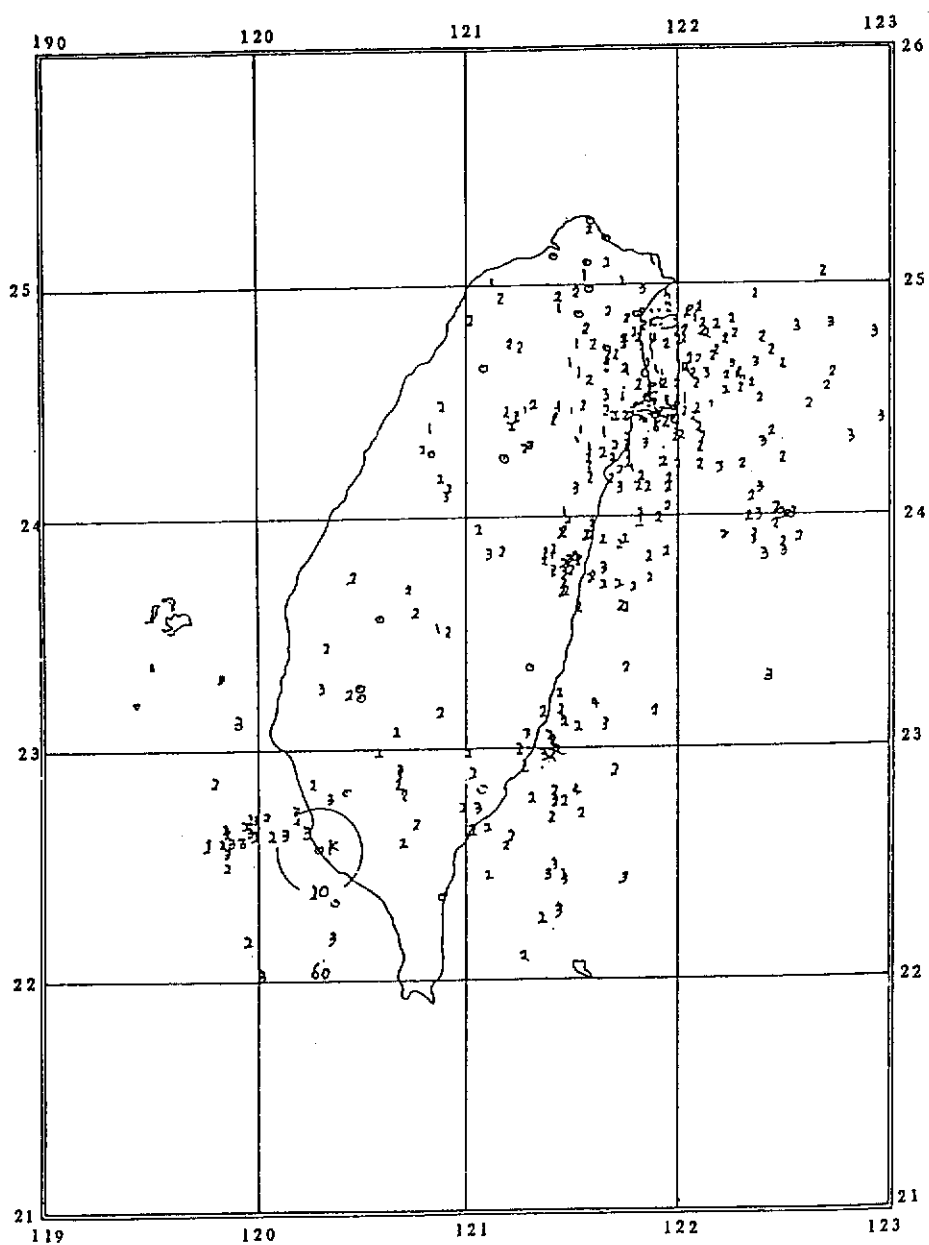


圖2-15c 1980年2月高雄地區地震震央分佈圖
(高雄港務局·民國69年7月)

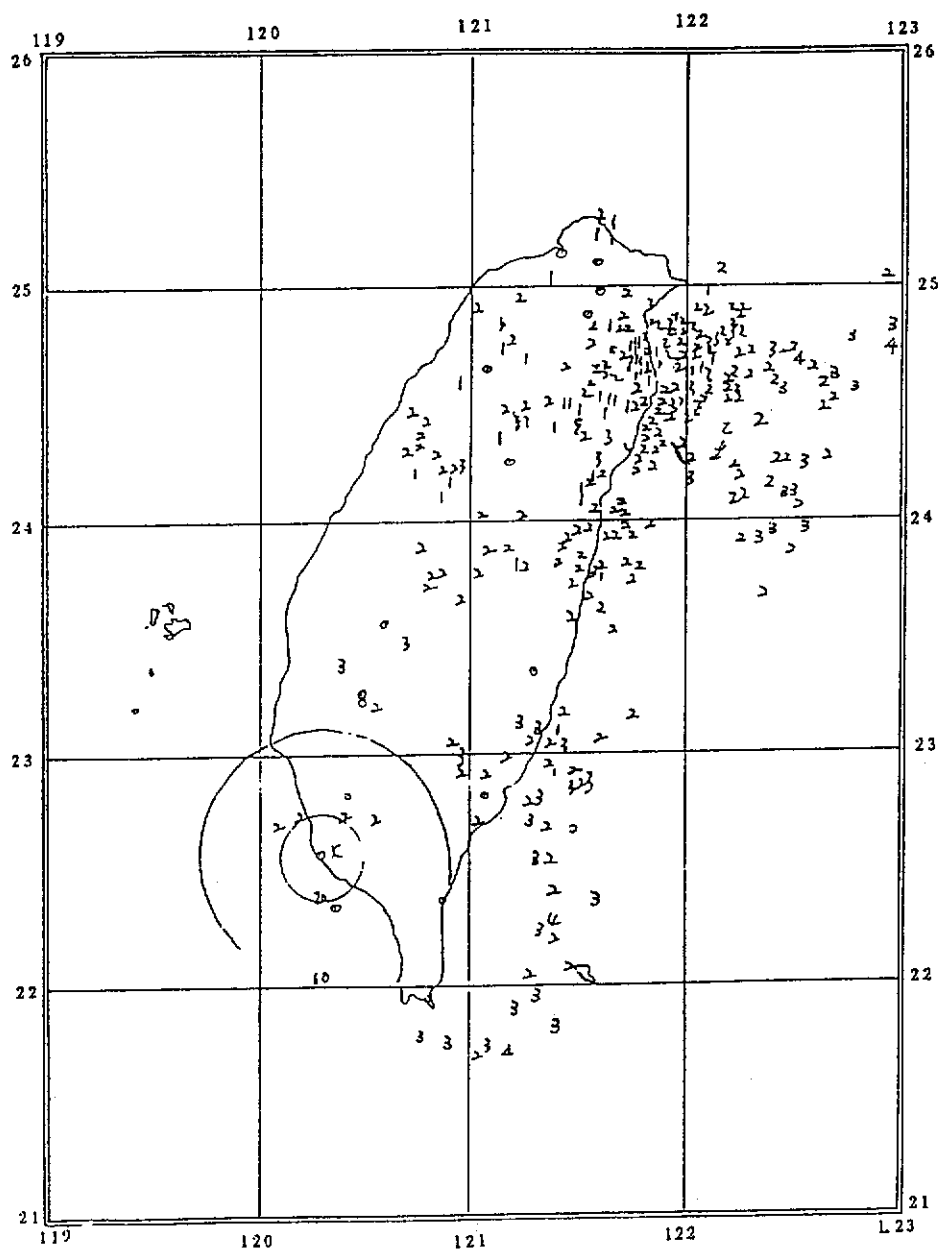


圖2-15d 1980年3月高雄地區地震震央分佈圖
(高雄港務局, 民國69年7月)

第四節、高雄深水港自然環境概況

依中央氣象局高雄觀測站自西元1932年(民國21年)至西元1989年(民國78年)間之資料統計分析結果，高雄地區一般氣象、水文現況如下：

一、氣溫

由西元1932年至1989年間資料中得知，全年平均氣溫仍為24.4℃，以七月份最高為28.0℃，一月份18.6℃為最低(參閱表2-4)。由此資料顯示，於高雄地區其氣溫無多大變化。

二、降雨量

高雄地區降雨量因受季風支配，乾濕季分明，冬季東北季風盛行，寒風凜烈，當吹至臺灣南部時，水氣多已消失。故本區冬季係屬乾季。夏季西南季風盛行，風力溫和，因高溫及對流作用旺盛，易生雷雨，加以值颱風季節，常為本區帶來大量豪雨，故五月至九月為雨季，雨量集中佔全年降水量之85%以上。由西元1932年至1989年間資料(參閱表2-4)中得知，平均年降雨量為1746公厘，也以六月份最多達412公厘，十二月份最少僅為13公厘，其降雨量無多大變化。

三、日照

由民國21年至民國76年資料中得知，日照時數以五月份最高，全月平均日照時數達214.1小數，二月份日照時數為最少，月平均日照數為170.5小時，平均全年日照時數為2295.4小時(參閱圖2-16)。雖然於表2-4中並無日照統計資料，由於氣溫與降雨量無多大變化，其日照統計仍無多大變化。

四、蒸發量

由於高雄地區氣溫高，日照時間較長，故蒸發量較高，由中央氣象局民國21年至民國76年資料中得知高雄地區平均全年蒸發量達1,964.8公厘，以五月份最多達204.3公厘，十二月份最少為128.3公厘(參閱圖2-17)。雖然表2-4中並無蒸發量統計資料，由於氣溫、降雨量與日照無多大變化，其蒸發量應無多大變化。

五、相對濕度

由中央氣象局民國21年至民國76年統計資料中顯示，高雄地區的年平均相對濕度為79.7%，以八月份84.6%為最高，一月份75.6%為最低(參閱圖2-18)。雖然表2-4中並無相對濕度量測記錄，由於氣溫、降雨量與日照無多大變化，相對濕度也可能無多大變化。

六、風向、風速及颱風

由參考資料，高雄港開闢第三港口之研究總報告書(高雄港務局，民國七十一年七月)資料中顯示，就與工程比較有關係之風速及風向概述於下：

(一) 恆風之情形：高雄港附近之恆風，經常以北北西風(NNW)為最多，春季多為西北風(NW)，夏季為西南風(SW)，冬季則以北北西風居多，風速大約自每秒0.3公尺至每秒5.4公尺。

(二) 季風情形：春季多為西北風(NW)，夏季為西南風(SW)，秋冬兩季多為北風(N)。夏季季風一般風速約為每秒13.8公尺，其中包括颱風影響者。冬季季風多受蒙古及華北高氣壓作用而發生強風狀況，一般風速自每秒5.5公尺至11.3公尺。每年十月至翌年三月之間發生之東北季風(NE)，其風速有達每秒20公尺者。

(三) 颱風發生之頻率，以九月份最多，其餘為七、八兩月份，風向依颱風行程而定，記錄中之風速除六十六年賽洛瑪颱風西(W)向風速高達每秒五十三公尺外，其餘均在每秒16~30公尺之間。有關近十年來高雄第二港口附近風速風向統計表及近三十年各月份颱風發生頻率表如表2-5和表2-6所示。

表2-4 高雄市月平均氣溫、降雨量、蒸發量
(資料來源：中央氣象局，1989，1990)

月 份	統計期間	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均值 或 總 計
溫 度 ℃	1932~ 1989	18.6	19.3	21.8	24.7	27.2	27.9	28.4	28.0	27.6	25.9	23.1	20.0	平均值 24.4
降 雨 量 (mm)	1932~ 1989	15	18	38	55	171	412	407	390	166	41	20	13	總 計 1746
蒸 發 量 (mm)	1956~ 1985	140	142	171	185	202	195	220	185	180	173	144	128	總 計 2065

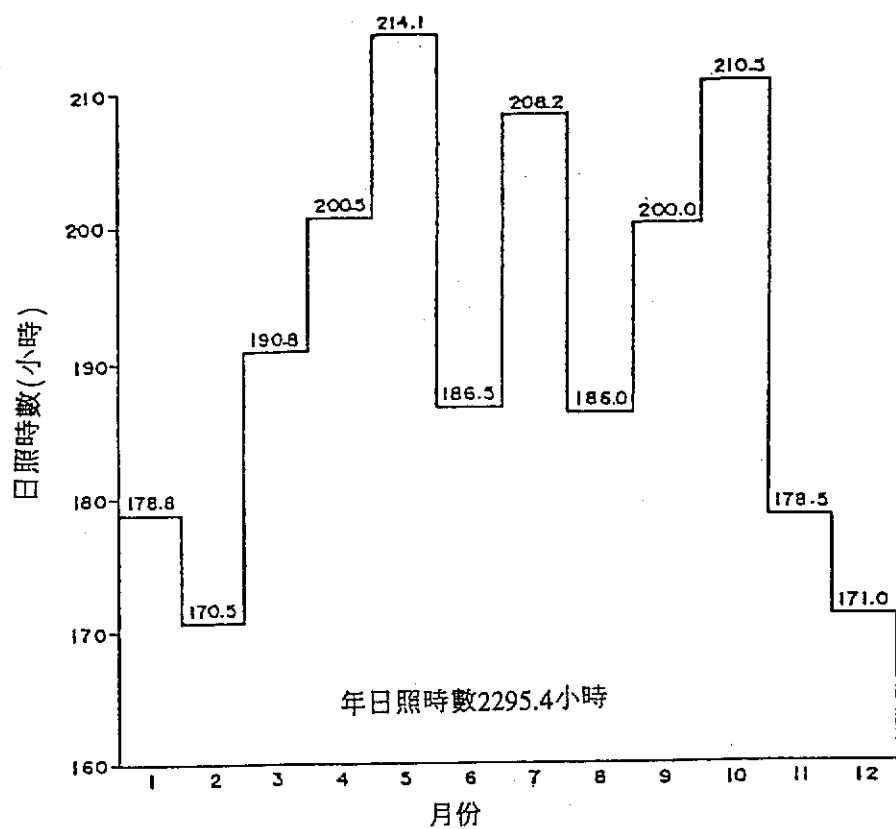


圖2-16 高雄地區各月日照時數分佈圖
(資料來源：民國21年至76年，中央氣象局)

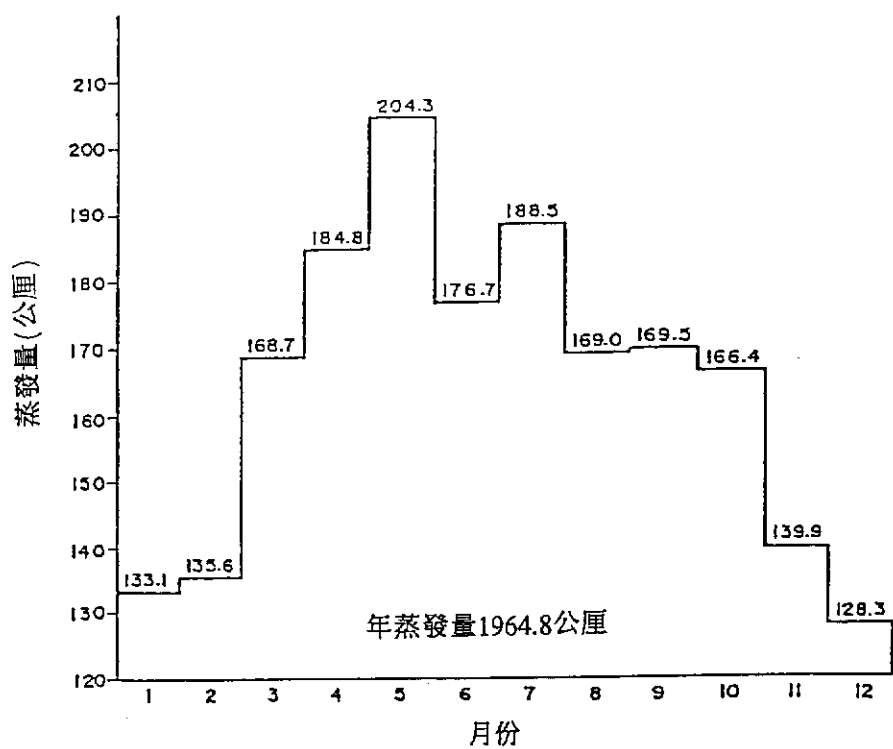


圖2-17 高雄地區各月蒸發量分佈圖
(資料來源：民國21年至76年，中央氣象局)

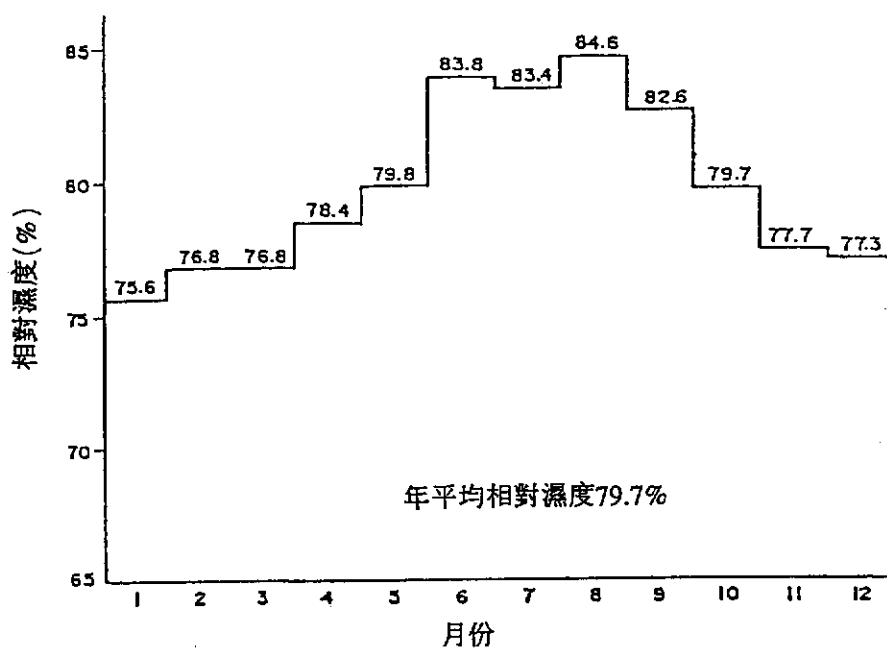


圖2-18 高雄地區各月相對濕度分佈圖
(資料來源：民國21年至76年，中央氣象局)

表2-5 高雄港第二港口附近風速風向統計表
(資料來源：高雄港務局，民國七十一年七月)

月 份 (年)	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	平均 (極值)
平均 風速 (m/s)	2.3	2.1	2.1	2.3	2.5	2.0	2.4	3.9	3.9	3.2	3.3	3.1	2.9
最多 方向 (16位)	NNW	NNW	NNE	NNE	NNE	NNW	NNW	N	N	NNW	NNW	NNW	NNW
最大平 均風速 (m/s)	13.2	9.7	12.1	13.7	11.9	11.4	9.8	14.6	11.8	10.8	10.9	12.4	12.1
年最大 風 速 (m/s)	32.5	16.1	22.3	27.3	16.7	23.3	17.7	26.7	20.5	20.0	14.5	29.0	32.5

表2-6 高雄港第二港口附近由民國36年至66年各月份發生頻率表
(資料來源：高雄港務局，民國七十一年七月)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
侵襲次數	0	0	2	4	2	19	34	32	37	16	7	3	154
頻率 (%)	0	0	1.3	2.5	1.3	12.2	21.8	20.5	23.7	10.3	4.5	1.9	100 (%)

由財團法人中華民國港埠服務社所提供交通部運輸研究所執行闢建深水港工程技術研究的抽砂回填工法之研究期末報告(民國八十一年十二月)中資料中得知：由西元1897年至1988年間，總共92年間西太平洋上颱風發生次數及頻率如表2-7所示：

表2-7 西元1897至1988年間西太平洋上颱風發生次數及頻率
(資料來源：摘自中華民國港埠服務社，民國八十一年十二月)

月 份	總 數	平均次數	頻 率 %
1	35	0.38	1.7
2	18	0.20	0.9
3	24	0.26	1.1
4	51	0.55	2.4
5	83	0.90	3.9
6	130	1.41	6.2
7	339	3.68	16.0
8	421	4.58	19.9
9	391	4.25	18.5
10	308	3.35	14.6
11	206	2.24	9.8
12	105	1.14	5.0
合 計	2111	22.94	100

各月侵臺颱風次數及頻率見表2-8。由表中可知1897~1990年之94年間，侵臺颱風總數為340次，其中以8月份佔103次為最高，9月份起颱風多轉向日本之故，每年12月至翌年3月尚無侵臺之記錄。

表2-8 西元1897至1988年間侵臺颱風之次數及頻率統計表
(資料來源：摘自中華民國港埠服務社，民國八十一年十二月)

月 份	侵台次數	佔總數百分比	每平均次數
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	2	0.59	0.02
5	13	3.82	0.13
6	26	7.65	0.27
7	85	25.00	0.86
8	103	30.29	1.09
9	77	22.65	0.81
10	27	7.94	0.28
11	7	2.06	0.07
12	0	0	0
合 計	340	100	3.56

侵臺颱風路徑大致可劃分為7類，據以統計過去94年(1897~1990)間之侵臺颱風，詳見圖2-19所示，高雄位臺灣西海岸之南端，除第5與第6路徑之颱風將直接侵襲本區外，第3路徑亦有影響；依圖2-19之統計結果，侵臺颱風約有45.0%將直接影響本區海域，即平均每年約1,60個颱風將影響高雄附近海域。以每年2個颱風，每個颱風影響5日計，則因颱風造成之不可工作天為10天。

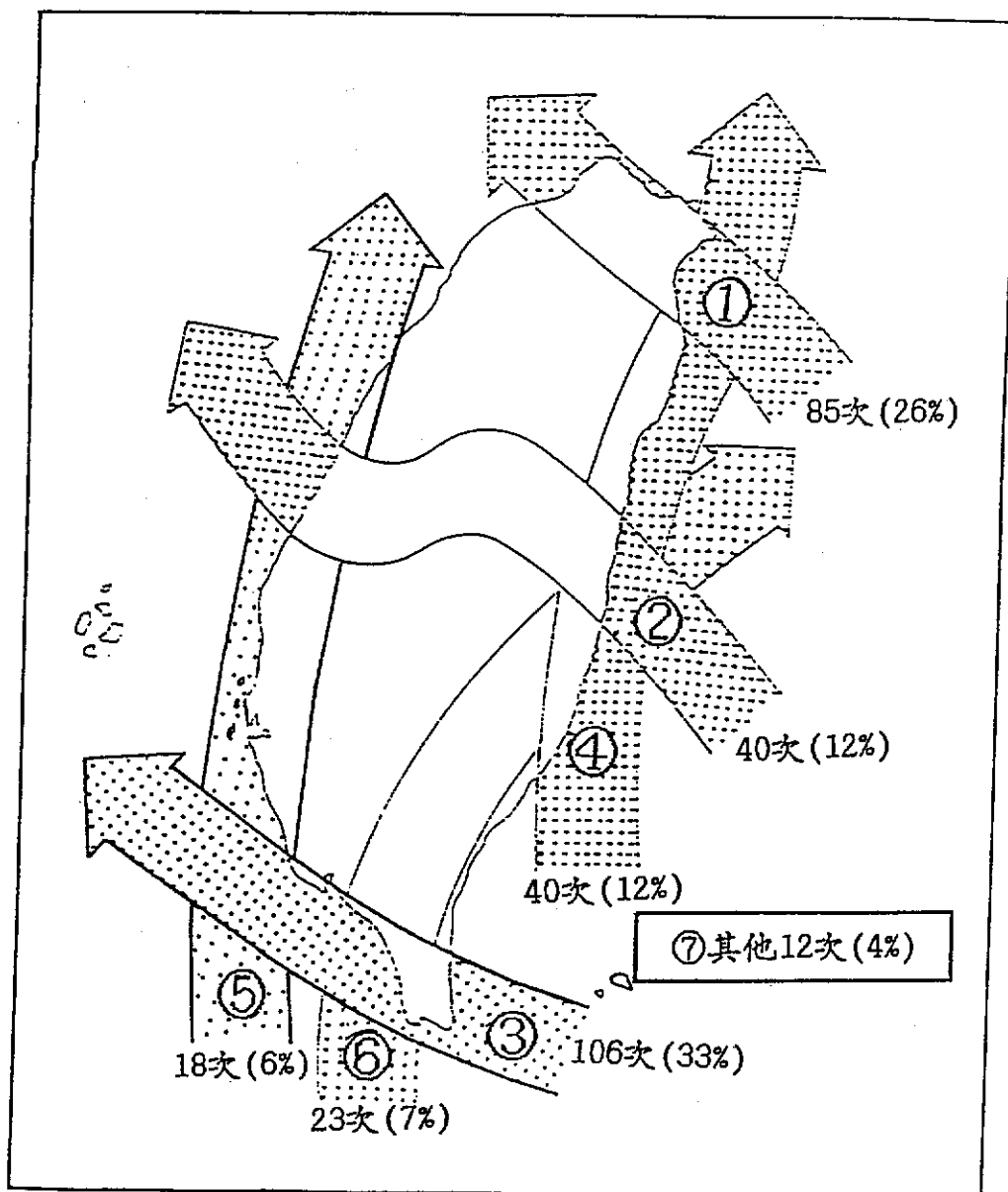


圖2-19 侵臺颱風路徑分類及次數統計(1897~1990)

(資料來源：摘自中華民國港埠服務社，民國八十一年十二月)

七、波浪與潮汐

由參考資料高雄港開闢第三港口之研究總報告書(高雄港務局，民國七十一年七月)資料中顯示，茲概述如下：

(一) 波浪

高雄港附近，海岸風速因受地形影響，風力分散而減低，故冬季季風時，侵襲高雄港一、二港口之波浪呈湧浪性質，其波高不超過二公尺，普通均在波高一公尺，週期八秒以下。夏季季風時波浪為風浪或有時由遠處傳來之湧浪，波高均不大，但在五、六月間滯留鋒上之溫帶低氣壓接近高雄時，風力不大，但有一～二公尺波浪按推算有義波高 $H/3$ 最大可能達到六公尺，週期十二秒左右。六十六年賽洛瑪颱風侵襲時之最波高達6.8公尺。

二港口附近之波高、波向與週期，依據高雄二港口工程處觀測所觀測之記錄，自六十一年至六十六年共觀測2,074天，有效波高在0.5 m以下之波浪計1,906天，佔91.9%強。至於最大波高，49%波高在0.5 m以下，0.6 m至1.0 m佔30.6%，1.1 m至2.0 m之發生率佔13.4%，2.1 m至5.0 m者佔6.25%，5.0 m以上者0.8%。根據記錄，有效波高大於1.0 m之波浪，發生於每年之11月至次年之4月者僅佔0.6%，其餘99.4%均發生在5月至10月之颱風節。

61年至66年二港口觀測所測得之波浪記錄與統計如表2-9所示。又參考中華民國港埠服務社於民國81年12月所提出交通部運輸研究所委託辦理“闢建深水港工程技術研究期末報告”中得知，於高雄港港址附近的大鵬灣民國67年9月至71年10月實測波高記錄，所統計各月波高分佈如表2-10所示。

表2-9 高雄港附近波高統計表(民國61年1月至66年12月)
(資料來源：高雄港務局，民國七十一年七月)

單位：天

年	觀測日數	有效波高			最高波高			最大波高			波高			備註			
		0.5m 以下	0.6m 1.0m	1.1m 2.0m	2.1m 3.0m	3.1m 4.0m	4.1m 5.0m	5.0m 以上	0.5m 以下	0.6m 1.0m	1.1m 2.0m	2.1m 3.0m	3.1m 4.0m		4.1m 5.0m	5.1m 6.0m	6.1m 7.0m
61.	340	327		7	6				283	1	21	26	7	2			
62.	323	258	14	31	11	4	3	2	151	70	70	12	7	6	2	3	2
63.	315	306		3	3	2	1		62	129	88	24	10	3	3	1	
64.	365	332		27	2	1	1	2	72	200	73	14	2	1	1		2
65.	366	338	13	14		1			165	171	17	11	1			1	
66.	365	345	16	2	1			1	284	69	8	2	1			1	
合計	2074	1906	43	84	23	8	5	5	1017	635	277	89	28	12	6	6	4
%	100	91.9	2.07	4.05	1.1	0.4	0.3	0.3	49.0	30.6	13.4	4.3	1.35	0.60	0.30	0.30	0.20

備註：(1) 62年10月9日娜拉颱風有效波高 6.29m 週期 10.6 sec，時間 24 hr。

最大波高 9.09m 週期 10. sec，時間 24 hr。

62年10月10日娜拉颱風有效波高 4.82m 週期 9.4 sec，時間 4 hr。

最大波高 9.29m 週期 9.0 sec，時間 4 hr。

(2) 64年9月23日貝蒂颱風於22日22時30分登陸台東，經山區由高雄出海測得。

有效波高 6.4m，週期 9.5 sec，最大波高 8.50m，週期 11 sec，波向 S 75 W。

64年10月13日艾爾西颱風過境

有效波高 5.10m，週期 9.0 sec，最大波高 6.80m，週期 10 sec，波向 S 38 W。

表2-10 高雄港附近大鵬灣波高統計表(民國67年9月至71年10月)
(資料來源：摘自中華民國港埠服務社，民國八十一年十二月)

波高		0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	2.0	3.0	4.0
月份	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	2.0	3.0	4.0	以上
1	13	8	4	3	3					
2	8	7	4	2	5	1	1			
3	11	9	5	3	2		1			
4	16	5	4	2	3					
5	15	4	4	2	2	1	2	1		1
6	12	4	2	2	3	2	3	1		
7	6	2	3	2	6	2	6	2	1	1
8	6	3	3	2	3	4	7	2		
9	14	4	2	2	3	1	2		1	1
10	17	6	2	2	2		1	1		
11	16	6	3	1	2	1		1		
12	17	8	3	1	1	1				
合計	151	66	39	24	35	13	23	8	2	3

註：資料來源：大鵬灣實測波浪資料
統計年份：67.9~71.10

(二) 潮汐

由交通部運輸研究所委託國立成功大學水工所辦理“高雄海域海象調查研究期末報告”民國82年1月中得知，根據高雄港第二港口外海測波儀記錄之資料，高雄海域各潮位站主要分潮振幅，而僅取分潮振幅 >2 cm者列於表2-11中。表中之A代表分潮振幅，其單位為公分。高雄港務局係指在高雄港內之觀測資料。以上計算所使用之資料長度分別為：小琉球，由民國81年2月15日15時起至82年2月11日7時；高雄二港口，81年1月17日14時至同年10月3日12時；高雄港務局，自80年12月3日10時起至81年11月31日21時；東港，自81年4月2日13時起至82年2月10日13時。

根據高雄港務局於高雄海域各站潮汐之各種參考基準面水位高程(相對於日平均海平面，單位均為公尺)列於表2-12中。

對海洋工程應用而言，或許潮汐之各種參考基準面的水位高程才是設計時最要重視的參考數據；有鑑於此，一些主要的潮汐高程均列舉於表2-12中。其中，HHHW為各站全期觀測資料中之最大的高高潮潮位，LLLW則為最低的低低潮潮位；HHHW10為將全期觀測資料中所有高高潮數值按大小排列後，取前面最大的10%個高高潮的平均數值，即相當於大潮前後共1.5天內之平均高高潮位(假定半月不等之週期近似為15天，如取10%則為1.5天)，至於LLLW10則為由類似法則求出前10%個低低潮平均潮位，亦相當於大潮前後共1.5天內之平均低低潮位，二者之差即相當為平均之大潮潮差；同理，LHHW10以及HLLW10則分別為按大小排列後，取較小的10%個高高潮以及低低潮潮位，二者之差即相當於小潮潮差；此外，表中之MHHW以及MLLW則分別為觀測期間所有高高潮以及低低潮潮位的平均值，二者之差則為平均潮差。由此算出觀測期間之最大潮差分別為：小琉球1.36公尺，高雄二港口1.28公尺及東港1.32公尺。

表2-11 高雄海域各潮位站主要分潮振幅(取分潮振幅 >2 cm者)
(資料來源：高雄海域海象調查期末報告，民國82年1月)

站 名	小琉球	高雄二港口	高雄港務局	東 港
分潮名	A (cm)	A (cm)	A (cm)	A (cm)
Q1	3.1	3.1	3.4	3.1
O1	15.7	15.1	15.7	15.6
P1	6.2	4.8	5.9	6.6
K1	19.3	17.1	16.9	18.7
N2	4.5	4.1	4.1	4.0
M2	19.4	17.8	17.7	19.7
S2	7.3	7.7	6.9	7.0

表2-12 高雄海域各站潮汐之各種參考基準面水位高程
(相對於日平均海平面，單位均為公尺)
(資料來源：高雄海域海象調查期末報告，民國82年1月)

站名	小琉球	高雄二港口	東港	
潮汐參考基準面水位高程	HHHW	0.775	0.726	0.770
	LLLW	-0.585	-0.557	-0.553
	HHHW10	0.680	0.634	0.669
	LLLW10	-0.501	-0.488	-0.502
	LHHW10	0.213	0.195	0.212
	HLLW10	-0.186	-0.184	-0.192
	MHHW	0.441	0.408	0.441
	MLLW	-0.348	-0.333	-0.354

第三章 高雄深水港港址現場土壤調查

第一節 土壤調查規劃

高雄深水港預定港址，由高雄港二港口以南沿伸至高屏溪出口處，該沿海平原係屬於年輕之海岸平地。經搜集高屏溪林園取水站集水管地質鑽探工程鑽探報告，由地表下至深度約6公尺處為灰色中細砂，其平均標準貫入N值約為8，由深度6公尺延伸至深度14公尺(約8公尺厚)左右。其土層為粗砂或沈泥細砂夾卵礫石，於地下深度14公尺至鑽孔停止深度20公尺處為沈泥質細砂，其平均標準貫入N值約為12左右，由該鑽孔資料鑽孔深度僅為20公尺，由於所搜集土壤鑽探資料，由深度20公尺以下，並無可參考資料，而現有資料僅為管線工程而已。

第二節 土壤調查方法

一、土壤鑽探方法

“水沖鑽探法”是國內常用的鑽探方法：首先將N型套管(N-size casing)貫入或旋轉進入土層內，利用壓力將水流導入鑽桿中(A-rod)，當鑽桿端頭的衝擊頭(chopping bit)上下反覆衝擊或旋轉入土壤時，加壓水流也同時經由衝擊頭內小孔中噴出，衝擊頭前端的土壤遇水即變軟，而與壓力水混合在一起往上面套管頂端冒出，這些混合土漿水被流集於沖洗盆中，由沖洗盆中可約略地判別土壤的種類；但這種被沖洗土樣受到高度的擾動，並且無法據以判斷土層的確層次及厚度；按國內目前傳統慣性作業，每隔1.5公尺間隔，將鑽桿連同衝擊頭抽出，並將取樣設備擊入或壓入鑽孔底部的土層中，採取不擾動土樣(俗稱薄管取樣)，或將標準貫入試驗設備，由鑽孔中按置於鑽孔底部，再以錘擊法施行標準貫入試驗，由劈管(split spoon)中堆積的土壤，來判斷土壤的種類；即使如此的控制，仍無法正確瞭解土層的厚度；雖然，水沖鑽探法較易操作、簡便而且費用低，由於土層遭到作業手不小心的沖洗，引起土層受到高度擾亂，在精密土壤調查，皆不樂於採用(見圖3-1)。

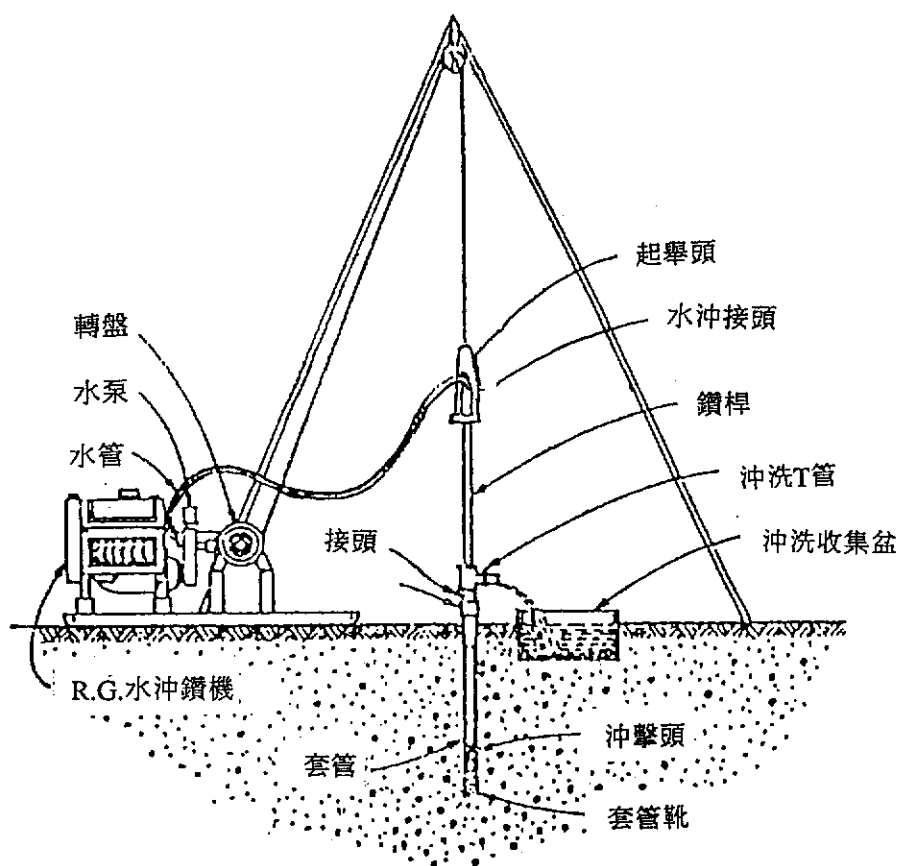


圖3-1 水沖鑽操作業示意圖

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年7月)

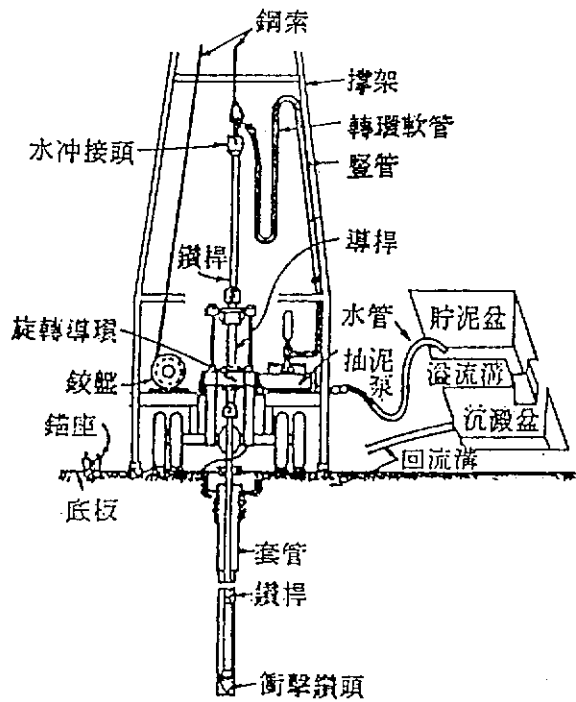


圖3-2 液壓式旋轉鑽機

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年7月)

旋轉鑽探法似同水沖鑽探法，唯使用較昂貴的液壓式旋轉探機(見圖3-2)。鑽探作業時，需將較大口徑套管(H-size)，由液壓式旋轉鑽探機的旋轉導環，利用液壓旋轉進入土層中，該套管底端連接尖銳套管鑽頭的鑽桿置入套管內，壓力水經由水管連結於鑽桿上端，由旋轉導環高速旋轉清洗套管內的土壤，水由鑽頭內的小孔噴出，於是水與土壤混合成泥漿，經由套管與鑽桿間的空間，在套管頂端的T型管而溢流至貯泥盆內，由貯泥盆內的土樣來判斷土壤的種類；如此循環作業直至鑽探作業停止為止。

當鑽孔工作遭遇堅硬層或標準貫入試驗所得錘擊次數N值超出60時，若鑽探結果需要堅硬層的分類及厚度，須改用岩心鑽探法進行之。

二、土壤採樣方法

(一) 擾動土樣

擾動土樣主要是用來鑑別土壤的種類及試驗的用途，因此所選取擾動土樣必須具有代表性，每一土壤應選取超過500公克重量，將土樣密封於不透氣的玻璃或塑膠容器內，並且標明取樣鑽孔號及深度。若採用水沖鑽探法鑽探時，通常利用標準貫入試驗的劈管中套裝直徑35 mm及70 mm長的銅環(見圖3-3)。施行標準貫入試驗後，位於試驗深度處的土層被錘擊後貫入於劈管的銅環中，將劈管剝開後，選取具有代表性土壤的銅環至少三或四個，先用白蠟密封銅環二端，覆以橡膠蓋，環身貼上標示紙，註明鑽孔、深度、日期、土壤工地判別分類，並用透明膠紙封住；此類土樣可用來進行天然含水量、土粒比量、顆粒分析和阿太堡試驗等。由於所選取擾動土樣的數量並不多所進行物性試驗的結果，必須由設計者仔細研判其土層變化及設計的剪力參數的選取。

(二) 不擾動土樣

不擾動土樣可作為剪力強度試驗、壓密試驗及透水性試驗等。此類土樣才能正確測定該種土壤的工程特性；不擾動土樣通常採用薄壁無縫鋼管(見圖3-4)，於鑽孔底部將整段薄管壓入或錘入土層中而取得；土樣取出後，薄管兩端加以密封，然後運送至實驗室；在運送過程中，應避免震動及日晒，應將薄管放置在木箱中，並且墊塞紙張或樹脂泡沫，實驗儘量以擾動最少的方式擠出土樣。

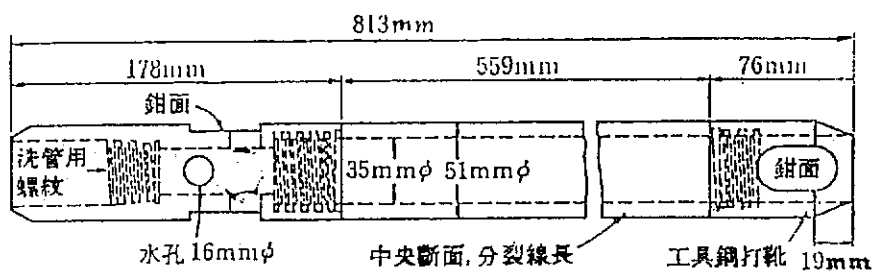


圖3-3 標準貫入試驗用劈管
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年7月)

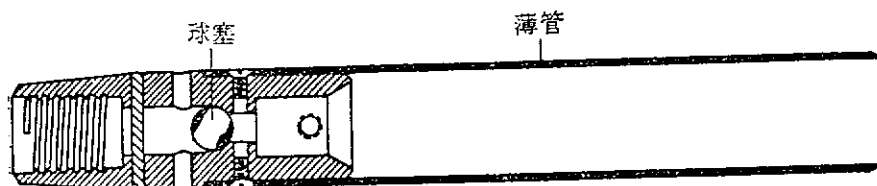


圖3-4 薄管取樣器
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年7月)

三、標準貫入試驗

標準貫入試驗是一種已被廣泛使用的動力貫入試驗(Dynamic Penetration Test)，用以估計砂質土壤的相對密度與抗剪角。該試驗使用標準劈管取樣器(standard split spoon sampler)，其外徑為50.8 mm，內徑為35 mm，長度約為813 mm(見圖3-4)，並裝於A鑽桿上。使用63.6 kg(140lbs)的擊錘，以762 mm(30吋)的自由落距，將取樣器由鑽孔取樣深度處，錘擊入土層150 mm(6吋)；然後再錘擊貫入未受擾動土壤305 mm(12吋)深度，記錄所擊的打擊數稱為標準貫入N值；並自取樣管中取得土樣，作為工地土壤鑑定，或作為試驗室用途。

標準貫入試驗由於操作時不一致，可能影響所得錘擊數，故對試驗結果的採取，必須十分謹慎；在非常緊密的土壤中，若要錘擊貫入305 mm深度時，其標準貫入N值必定過多，則損害到取樣器，經常在施行該試驗時，在達到錘擊數為50時即可停止，並記錄其貫入深度(例如50/16 cm)。此項試驗通常每隔1.5 m的深度間隔進行；在礫石層中，必須使底端為60度的尖錐頭，以避免劈管的損害。

利用標準貫入試驗的貫入N值對砂的相對密度及抗剪角 ϕ (Angle of Shearing Resistance)的關係(見圖3-5)，表3-1所列為標準貫入N值對黏質土壤之稠度及強度的關係。

表3-1 標準貫入N值對黏土之稠度及強度的關係
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年7月)

標準貫入N值	稠 度	無旁束壓縮強度 $q(T/M^2)$
0-2	極 軟 弱	0~2.5
2-5	軟 弱	2.5~5.0
5-10	中度堅實	5.0~10.0
10-20	堅 實	10.0~20.0
20-30	極 堅 實	20.0~40.0
>30	堅 硬	>40.0

若在水位以下含有細砂層或有沈泥質砂層，由於在快速錘擊過程中，在無法及時排水情形下，所得貫入N值會受到影響，若N值大於15，其N值利用下式修正：

$$N' = 15 + \frac{1}{2}(N - 15) \quad (3-1)$$

其中N'為修正貫入N值，N為錘擊貫入N值。

砂土層的深度之增加，其覆蓋壓力亦隨之增加，相同的相對密度的砂層，其所需的錘擊數也隨之增加。圖3-6所示，為相對密度相同的粗砂層，覆蓋壓力與貫入N值之關係。

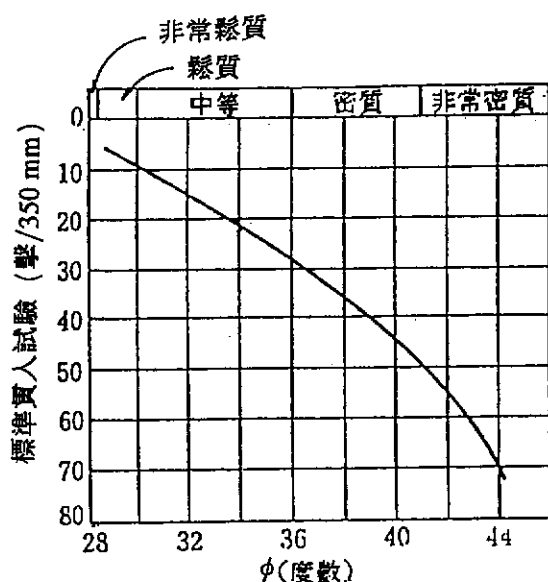


圖3-5 標準貫入N值對砂土之相對密度及抗剪角 ϕ 的關係
(取自Peck, Homson及Thornburn, 1953)

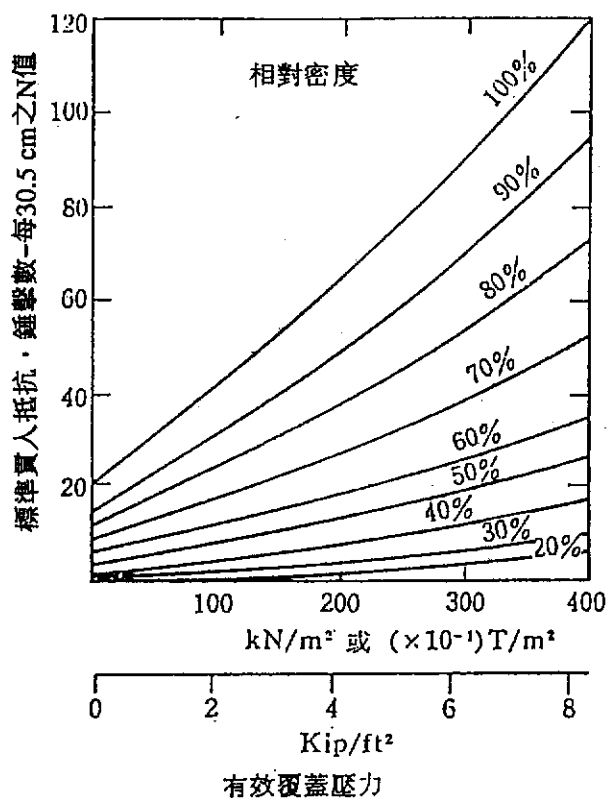


圖3-6 相對密度相同的粗砂層，覆蓋壓力與貫入N值之關係
(取自Peck, Homson及Thornburn, 1953)

第三節 土壤調查作業

一、前言

今進行高雄深水港址地盤改良技術專題研究，由於海岸線縱長約為15公里左右。其土層分佈頗為均勻，自地表層至深度15公尺處，由鄰近土層資料判斷，仍屬細砂層，而該細砂層必對液化抵抗力加以評估，必須選取未受擾動樣品，對砂土樣品而言，若採用錘擊法獲得2吋(50 mm ϕ)或3吋(75 mm ϕ)薄管樣品，在錘擊過程中，該土樣已因錘擊振動，激發樣品中孔隙水壓力因振動而增加，無法保持原狀土樣狀況，尤其是砂土樣品，於錘擊取樣過程中，該砂土樣品經振動已完成緊密化處理，鬆疏砂土樣品已形成緊密樣品並且必需再經試驗室割取薄管砂樣的所需長度，於處理過程中又一次的擾動並且砂樣的緊密必須藉由油壓式取樣硬將砂樣擠出，如此處理過程中，該砂土未受擾動的土樣，無法作為未受擾動土樣用途。尤其該砂土樣品作為動力三軸壓縮試驗用途。由經驗案例中瞭解，原有砂土層中所進行的標準貫入試驗N值。藉經驗方法評估為可能液化砂土層，但動力三軸試驗結果，其振動次數幾達三、五百次仍無法達到液化破壞。

大地工程學者，曾為如何選取具代表性未受擾動砂土的樣品，並由處理樣品過程中減少其可能的擾動，經主持人的累積經驗。於砂土層中，設計三套管式取樣品(見圖3-7)，於第二分裂式襯管中安置內徑50 mm長度110 mm銅管共六個，然後組成三套式旋轉取樣品。於鑽孔中遇到砂土層除於鑽孔中進行標準貫入試驗，取得標準貫入N值後再行三套管或連續鑽取2英吋(50 mm ϕ)未受擾動砂土樣，採用油壓式旋轉貫入法(係同岩心取樣)，直至深度15公尺左右。該深度內必遇到砂礫石層，無法由岩心取樣法取得未受擾動土樣，必須使用重擊鋼柱桿貫穿擊碎，僅可取得擾動土樣。深度15公尺至50公尺間，每隔1.5公尺，除施行鑽孔中的標準貫入試驗，取得標準貫入N值及擾動土樣後，再連續使用油壓式旋轉貫入法取得未受擾動砂土樣。於鑽孔中所取得未受擾動砂土樣經現場貼樣品標籤及封臘後，立即放置於乾冰置樣箱內，每日一或二次必須將乾冰置樣箱運回臺南國立成功大學土木工程學系土壤試驗室冰櫃內，該冰櫃控制冷卻溫度0℃，由本試驗室經驗瞭解，若未受擾動砂土樣控制在0℃左右，砂樣中孔隙的水分冷凝不致影

響粒的膨脹，仍可保持原土層狀以及日後進行三向壓密試驗解砂土層承受應力增加後的體積變化，作為沈陷的評估及地盤改良技術的研討。

二、鑽孔作業

土壤調查鑽孔工作，委託高雄市吉泰工程顧問有限公司負責鑽孔鑽探及取樣工作。經現場沿第二港口至高屏溪海岸線，經選取四個鑽孔點(BH-1至BH-4)位置，該鑽孔點距離海水邊約3~5公尺，而又必須避開海堤拋石情形，鑽孔點位置的選取依原則依接近水邊。另二個鑽孔(BH-5和BH-6)則選取於淺海中，其中BH-5鑽孔的水深為3.15公尺和BH-6鑽孔的水深3.5公尺。鑽孔點位置見圖3-8所示。現場鑽孔作業圖片見圖3-9。

該現場六個鑽孔(BH-1至BH-6)鑽探記錄表和鑽探及試驗表見附錄一。

由該上述六個鑽孔土層分佈整理後，繪製簡易土層剖面圖，如圖3-10和圖3-11所示：

三、鑽孔土層資料分析

由各鑽孔土層資料及鑽孔簡易土層剖面圖中得知預定深水港港址，各鑽孔間土層之分佈不盡相同，今加以概述如下：

(一) 鑽孔BH-1

該鑽孔深度為50公尺，由鑽孔地面至深度27.0公尺處，其土層為細砂含中砂夾有貝屑，該砂土夾貝層由地表面處至深度7.40 m處，其標準貫入N值約為12，其細料(沈泥及黏土)含量佔20%左右。而該砂土承受覆蓋土層較厚約五公尺左右的回填土時，其平均超載重則可能引起較大的及時沈陷量，而其容許承載率較低。但其間由深度7.4 m至11.30 m處(厚3.9公尺)為沈泥質黏土夾層，該沈泥質黏土夾層頗為軟弱，其標準貫入N值約為7左右，其液性限度為39.2，塑性指數18.0，屬於中等塑性黏土。而於深度23.9 m至24.7 m處(厚0.8 m)，仍存有沈泥質黏土夾層，但標準貫入N值達24左右，應屬於低塑性黏土，由於僅達0.8 m厚度，無任何土樣可作為液性試驗用途。由深度27.0 m至鑽孔完成深度50 m處，皆為沈泥質細砂層，其標準貫入N值約為30左右，屬於中等緊密至緊密砂層。唯細料含量(沈泥及黏土)介於30至50%左右。

(二) 鑽孔BH-2

此鑽孔深度為30公尺，其表土層至深度4.60 m處，為卵礫石層夾中粗砂，含少量貝屑，鑽孔點位於防波堤外側，該層可能為築堤工程的堤前回填礫石土方所形成，其標準貫入試驗N值高達60左右。由深度4.6 m至12.7 m，其厚度為8.1 m，該土層為細砂至中砂，夾有貝屑，其標準貫入N值皆約為20左右，而細料含量約為9%。由深度12.7 m至14.2 m，厚度約為1.4公尺，該土層為無塑性細砂質沈泥，其標準貫入N值為18。日後覆蓋回填土厚度若達10公尺左右，該土層承受荷重後所引起沈陷量應不至太大，也可加以忽略其主要壓密沈陷量，但即時沈陷量仍須加以估算。由深度14.2 m至鑽孔終止30 m處，該土層為中細砂層，其標準貫入N值平均約為28左右，其細料(沈泥及黏土)含量約為12%左右，該砂土層仍須考慮承受回填覆蓋土後所可能引起即時沈陷量。

(三) 鑽孔BH-3

該鑽孔深度為30公尺，其土層分佈狀況與鑽孔BH-2較為接近，其表土覆蓋層為卵礫石層夾中砂至深度3.7公尺左右，其標準貫入N值達60以上。由深度3.7 m至10.7 m處，厚度約為7公尺，其標準貫入N值平均約為20左右，其細料(沈泥及黏土)含量平均約為10%左右。由深度10.7 m至15.2 m，其厚度約為4.5 m，該土層無塑性沈泥質細砂或細砂質沈泥，其標準貫入N值約為19，其細料(沈泥及黏土)含量約超過35%以上，雖為無塑性土壤，但由於細料含量頗多，其承受荷重後所導致的即時沈陷量仍必須謹慎地加以估算。由深度15.2 m至鑽孔終止30 m處，該土層為沈泥質細砂，其標準貫入N值平均約為30左右，其細料含量佔有25%左右，其液化破壞可不予考慮，但地表回填覆蓋土若超過10 m以上，仍須考慮該土層由於承受過大的超載重後所引起即時沈陷量之估算。

(四) 鑽孔BH-4

該鑽孔接近原有海堤附近，鑽孔深度為50公尺，其表土層為回填礫石層夾中細砂，至深度2.7公尺處。其深度2.7 m至11.7 m，厚度約為9 m，為中細砂層，平均標準貫入N值為25左右，其細料含量佔有10%左右。於鑽孔中深度11.7 m至14.2 m，其厚度約為2.5公尺，該土層為中塑性沈泥質黏土或沈泥質細砂，其細料含量達到96%以上，雖其標準貫入N值約為16左右，應屬於中等稠度黏土層。因此必須考慮地表上覆蓋回填土層的超載重所引起即時沈陷量外，必須估算主要固結壓

密沈陷量及潛變量。由深度14.2 m至鑽孔終止深度50 m為止，該土層為細砂層，其平均標準貫入N值為25以上，細料含量約為15%左右，唯由深度19.9 m至22.3 m，厚度為2.4 m，該土層為中塑性沈泥質黏土，其標準貫入N值為16左右，其細料含量佔90%以上，以及深度由31.5 m至38.8 m，其厚度約為7.3 m，該土層為中等緊密沈泥質細砂，其標準貫入N值為22左右，其細料含量佔有30%左右，該二土層必須考慮即時沈陷量及主要固結壓密沈陷量的估算。

(五) 鑽孔BH-5

該鑽孔選取於水中，其水深為3.15公尺，鑽孔深度為30公尺，由海底表面至其鑽孔深度30公尺鑽孔作業停止為止。其土層皆屬中細砂土層，除表土層厚度3公尺左右，其標準貫入N值僅為10左右。由該深度至鑽孔深度30公尺為止，其標準貫入N值由20隨著深度30公尺增加至39左右。而細料含量約20%左右。該砂土層為中等緊密中細砂層，其顆粒較粗，無法取得三套管式未受擾動土樣。不過仍應考慮地表上覆蓋回填土層的超載重所引起的即時沈陷量。

(六) 鑽孔BH-6

該鑽孔選取於水中，其水深約為3.5公尺，鑽孔深度為30公尺，其表面層厚約5.85公尺為鬆疏中細砂，偶夾碎石及少許貝屑接著為厚僅為0.45公尺沈泥質黏土，該軟弱黏土層的標準貫入N值為3，該黏土層雖須估算其主要固結壓密沈陷量，但不致太大。由深度6.20公尺至深度10.35公尺處，仍為鬆疏中細砂層，其標準貫入N值約為15，而由深度10.35公尺至鑽孔深度30公尺為止，仍為細砂土層，其標準貫入N值僅約為20左右，該二土層必須考慮即時沈陷量。

四、層次沉陷埋設

為了解預定港區地盤承受荷重，或因潮汐漲落引起水位變化所導致鬆疏砂層的沉陷量。因此於鑽孔BH-1至BH-4中，每一鑽孔取樣作業完成後，於鑽孔中埋置沉陷計(見圖3-12)。該浪管沉陷計長50 cm，因此於鑽孔中連接浪管安裝該沉陷計直至鑽孔頂端為止。於鑽孔中深度0~20公尺部份，每隔一公尺處理置一個沉陷計。而於深度公尺20~50公尺部份，每隔二公尺處理置一個沈陷計，俾作為日後長期量測之用途。該土層層次沈陷計採用Sondex Settlement System其使用說明參見附錄五。

五、地下水位量測

於上述鑽孔中埋置浪管式套管(見圖3-12)，並於套管中埋裝沈陷計。由此裝置於BH-1至BH-4的四個鑽孔也可作為地下水位量測用途。鑽探作業期間，所量測的地下水位見表3-2。

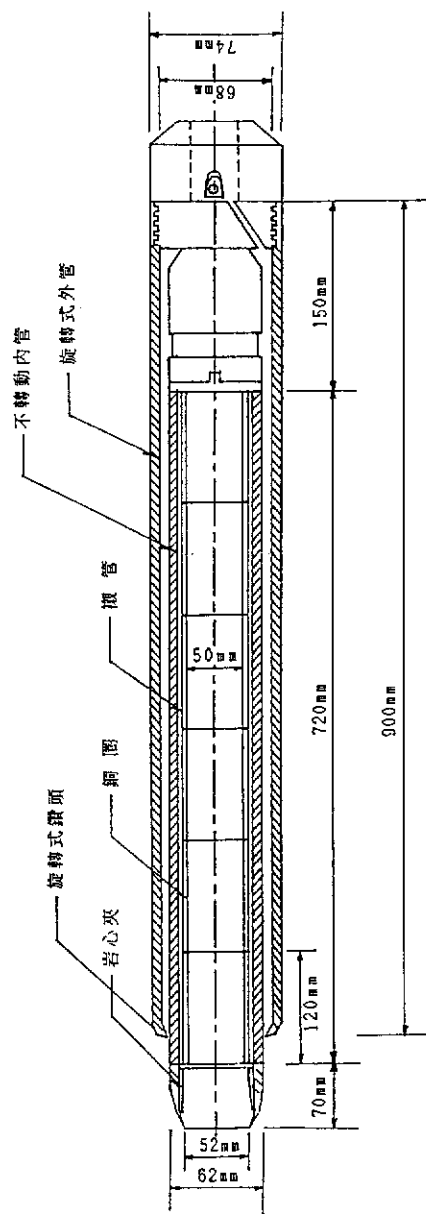


圖3-7 三套式不擾動土樣取樣器示意圖
(金永斌設計，民國81年10月)



圖3-9 現場鑽探作業(一)

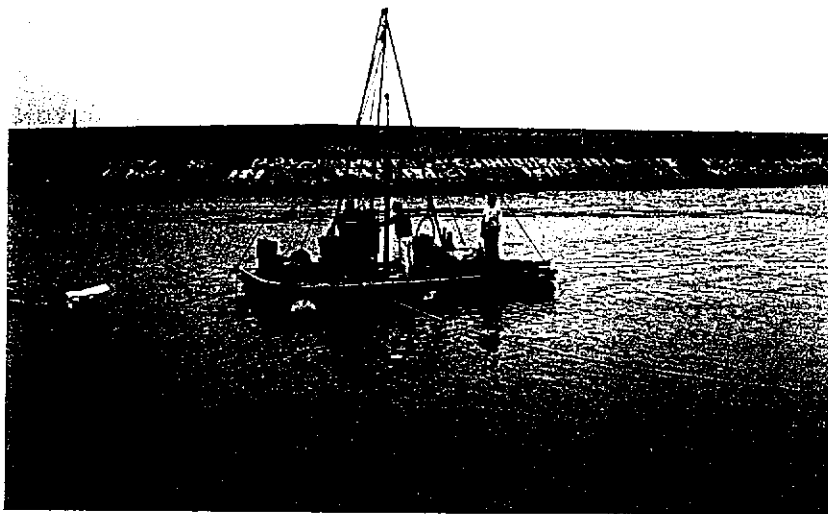


圖3-9 現場鑽探作業(二)

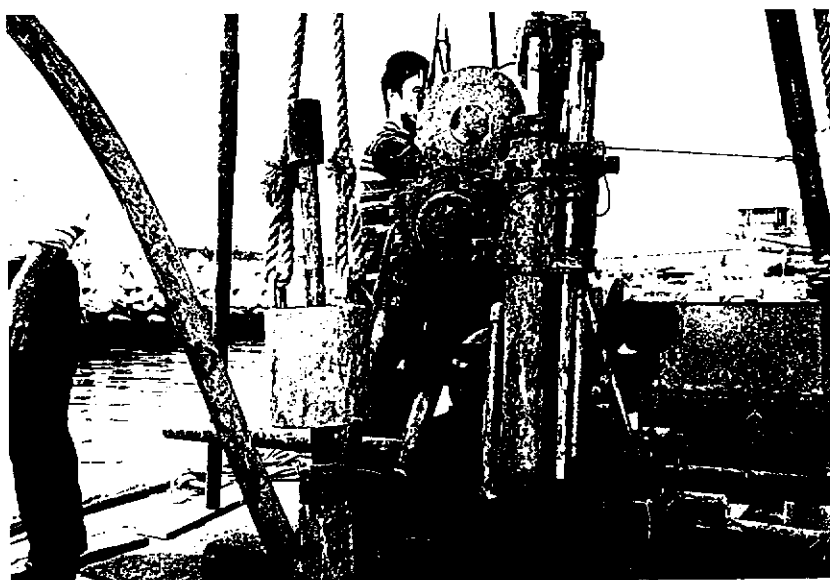


圖3-9 現場鑽探作業(三)

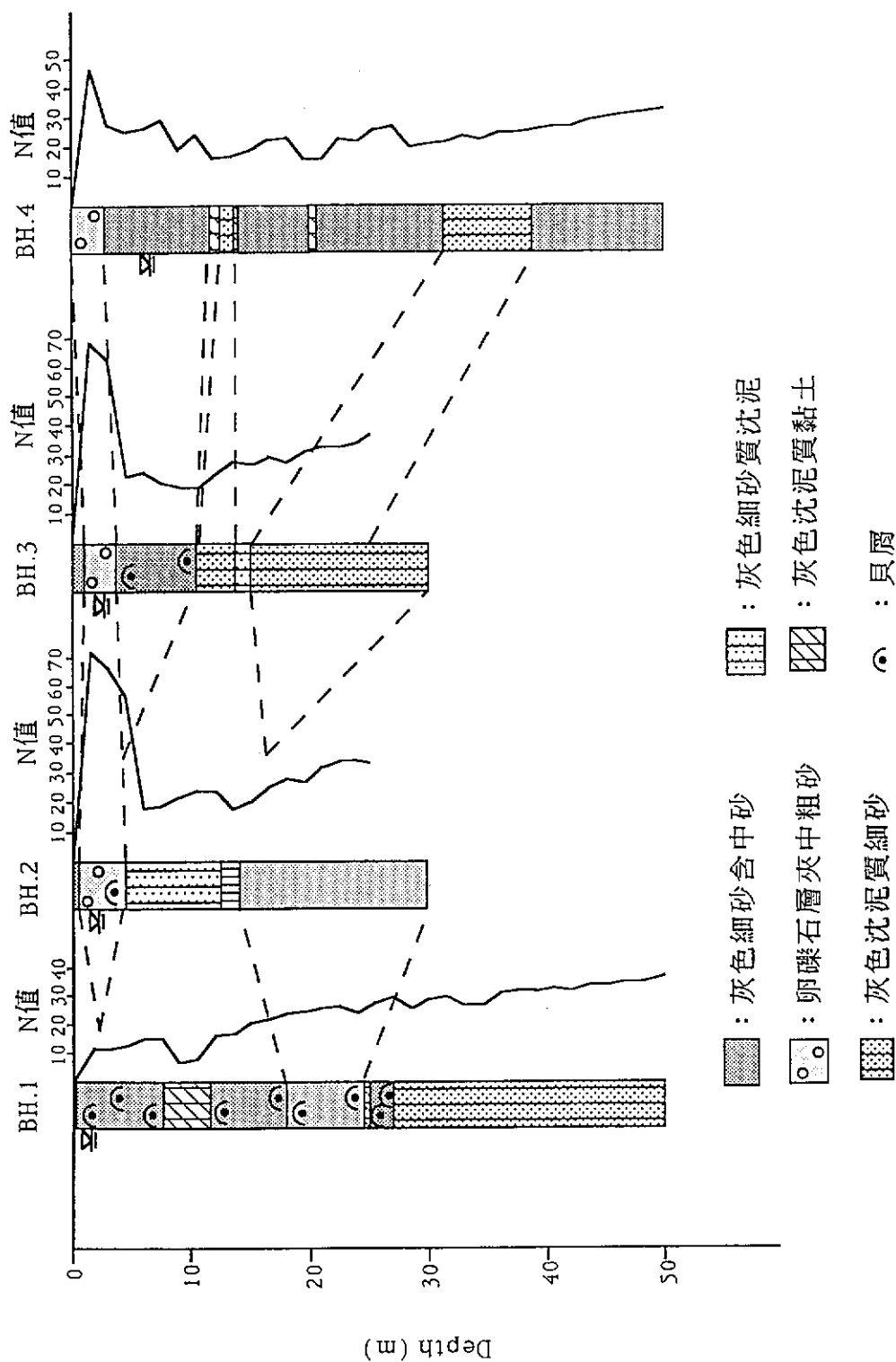


圖3-10 鑽孔簡易土層剖面圖
(鑽孔BH-1至BH-4，陸地)

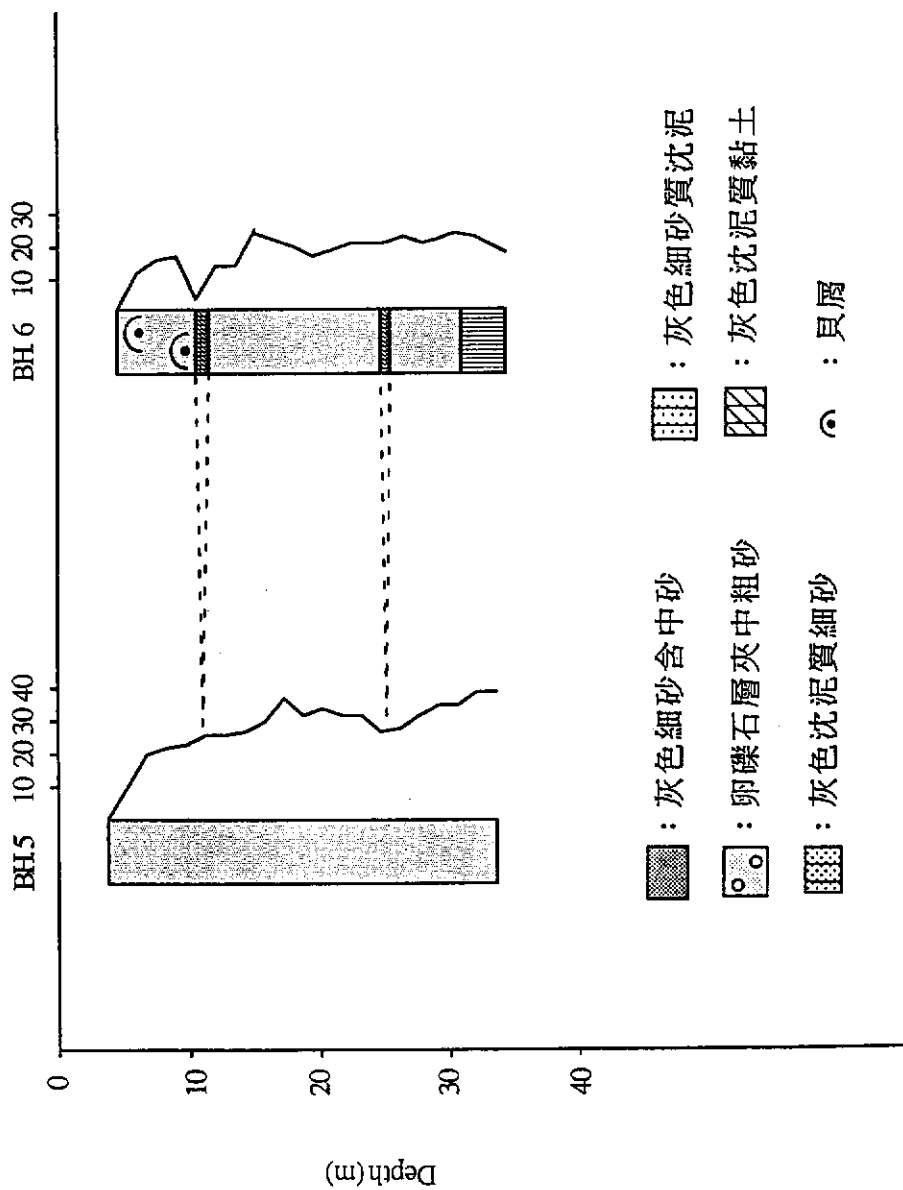


圖3-11 鑽孔簡易土層剖面圖
(鑽孔BH-5和BH-6，水中)

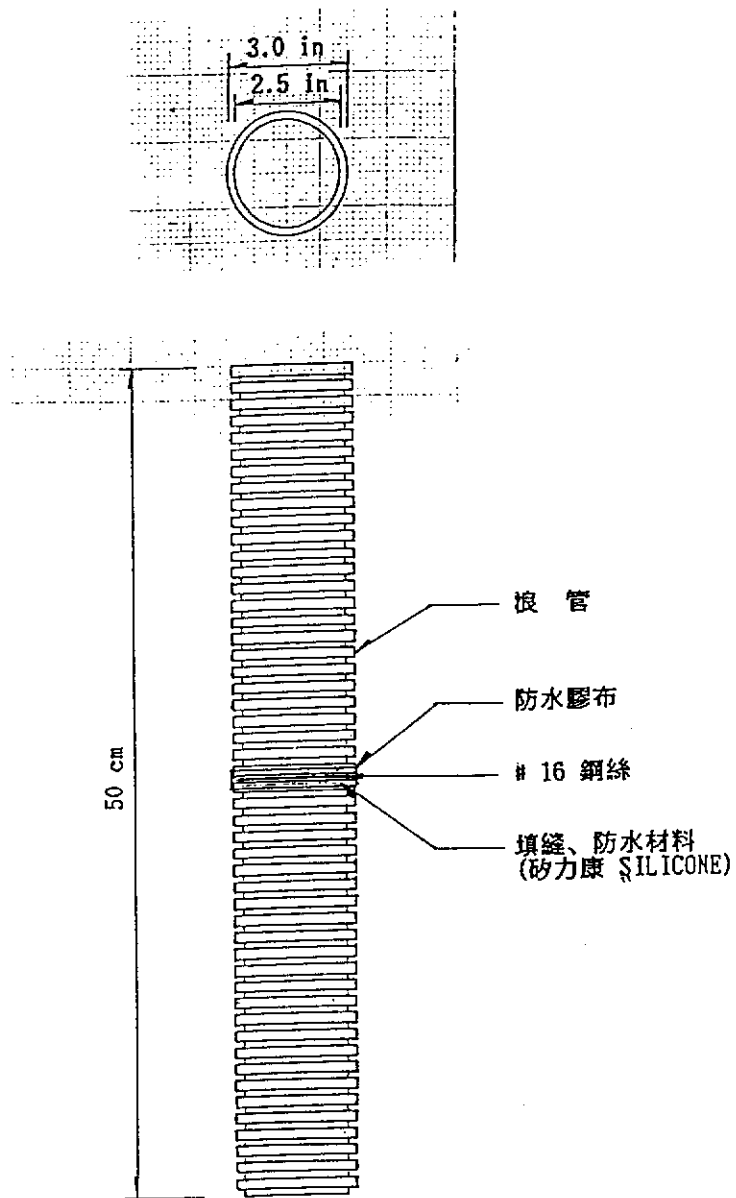


圖3-12 沈陷計埋設詳圖

表3-2 地下水位觀測記錄(一)

孔 號： B-1

埋設日期： 81.11.07

埋設深度： 50.00 M

量測日期	水位深度	量測日期	水位深度
81.11.08	1.51	82.01.15	1.50
81.11.09	1.82	82.01.30	1.65
81.11.10	1.68	82.02.13	1.40
81.11.11	1.31	82.02.27	1.75
81.11.12	1.65	82.03.15	1.70
81.12.01	1.70	82.03.31	1.38
81.12.11	1.75	82.04.15	1.60
81.12.22	1.55	82.04.30	1.77
82.01.04	1.65	82.05.15	1.85

表3-2 地下水位觀測記錄(二)

孔 號： B-2

埋設日期： 81.11.14

埋設深度： 30.00 M

量測日期	水位深度	量測日期	水位深度
81.11.15	1.76	82.01.15	1.85
81.11.16	1.52	82.01.30	1.77
81.11.17	2.05	82.02.13	2.15
81.11.18	1.98	82.02.27	2.00
81.11.19	1.68	82.03.15	1.90
81.12.01	2.10	82.03.31	1.73
81.12.11	2.20	82.04.15	1.85
81.12.22	1.95	82.04.30	2.10
82.01.04	2.00	82.05.15	2.03

表3-2 地下水位觀測記錄(三)

孔 號： B-3

埋設日期： 81.11.16

埋設深度： 30.00 M

量測日期	水位深度	量測日期	水位深度
81.11.17	2.03	82.01.15	1.90
81.11.18	1.77	82.01.30	2.00
81.11.19	2.20	82.02.13	2.20
81.11.20	1.95	82.02.27	1.85
81.11.21	2.10	82.03.15	1.95
81.12.01	2.05	82.03.31	1.87
81.12.11	2.10	82.04.15	1.70
81.12.22	1.90	82.04.30	2.05
82.01.04	1.95	82.05.15	1.98

表3-2 地下水位觀測記錄(四)

孔 號： B-4

埋設日期： 81.11.20

埋設深度： 50.00 M

量測日期	水位深度	量測日期	水位深度
81.11.21	6.50	82.01.15	6.30
81.11.22	6.31	82.01.30	6.25
81.11.23	6.62	82.02.13	6.40
81.11.24	6.45	82.02.27	6.51
81.11.25	6.35	82.03.15	6.28
81.12.01	6.42	82.03.31	6.30
81.12.11	6.20	82.04.15	6.15
81.12.22	6.35	82.04.30	6.33
82.01.04	6.45	82.05.15	6.50

第四節 高雄深水港港址附近土層資料分析

一、前言

民國七十一年七月高雄港務局完成高雄港開闢第三港口之研究總報告書提出，對開闢第三港口之可行性，於民國六十九年七月至七十一年六月完成整個研究。並完成第三港口預定位置鑽探工程。

二、高雄港開建第三港口工程概要

(一) 位置：高雄港第三港口位置擬定於第一港口間之旗津外側海面，約近第一港口西南方海面於水深十五～二十公尺處，面臨臺灣海峽。

(二) 航道：第三港口外海航道及內港之航道之規劃，根據高雄港鄰近風向、風速、潮流等資料及對船隻行駛及作業影響，略似第一、二港口及現有港內主航道方向。

(三) 防波堤功能：為使將來第三港口完成後，保持港內水域平穩，以利船隻停靠，裝卸作業，不論將來防波堤內側闢為港區與否，除颱風及強大季風外，在一般情形下均需建立成一種不越波防波堤。防波堤形式可採用沈箱、合成堤、直立消波堤或混合使用。

(四) 規劃方案：第三港口計劃暫規劃成四個方案，簡述如后：

甲、共2案：本案規劃為平行式碼頭，防波堤內側擬闢為貨櫃碼頭(可供三十萬噸以下船舶通行)。

乙、海堤及防波堤共計長度約十一．七公里，大部份水深約十二公尺左右最深為二十公尺。

丙、碼頭船席：碼頭長度水深十二公尺以下者約四公里，水深十四公尺以上者約十二公里，共可闢建各類碼頭船席五十座左右。

三、第三港口預定位置鑽探工程

由高雄港開闢第三港口之研究總報告(民國七十一年七月)中資料得知，於民國69年3月1日至69年5月25日完成第三港口預定位置鑽探工程，總共完成14個鑽孔(B1至B14)，每個鑽孔深度50公尺。鑽孔配置由旗后山第一港口右側沿海岸線至第二港口出口左側，其土層層次大致由砂土及粉土構成。

於民國69年10月28日至70年1月26日完成第三港口預定位置鑽探工程，總計完成11個鑽孔(B15至B25)。鑽孔配置沿第二港口出口右側沿海岸線至鳳鼻頭山左側附近。每個鑽孔深度為50公尺，該區域鑽孔並混合本研究計劃六個鑽孔(BH-1至BH-6)配置圖詳見圖3-13所示。

四、鑽孔資料分析：

該區域鑽孔(B15至B25)鑽孔記錄表詳見附錄三，並由該總報告中摘取該區域鑽孔簡易土層剖面圖，該剖面圖中存有鑽孔26號至鑽孔29號，無法獲得其詳細鑽孔記錄，圖3-14為該區域鑽孔簡易土層剖面圖。

由圖3-14中得知，其中鑽孔B15至B16和鑽孔B19至B29位置皆座落於水中，該區域於海底表面覆蓋細砂其厚度由淺水區7公尺至深水區1公尺左右，標準貫入N值竟由0-4左右非常鬆疏。接著泥質壤土或黏土層其厚度由2公尺至4公尺左右，非常軟弱其標準貫入N值由0變化至7左右，該黏土承受回填覆蓋荷重後，必產生極大而又不均勻主要壓密沈陷量。而若深水港港址外圍水深20公尺深度時，必須用心控制其回填工程的規劃。約於表面下深度13公尺至鑽孔深度終止時約深度25公尺左右，該土層為砂土層其標準貫入N值由2增加至25左右，仍應考慮回填土所引起該砂土層的即時沈陷量。由第三港口預定位置鑽孔資料研判該預定位置也為本研究範圍，尤其是上述的不均勻軟弱黏土層，因此細部規劃時必須在水深20公尺範圍進行大數量的鑽孔，深度必須至少150公尺左右。

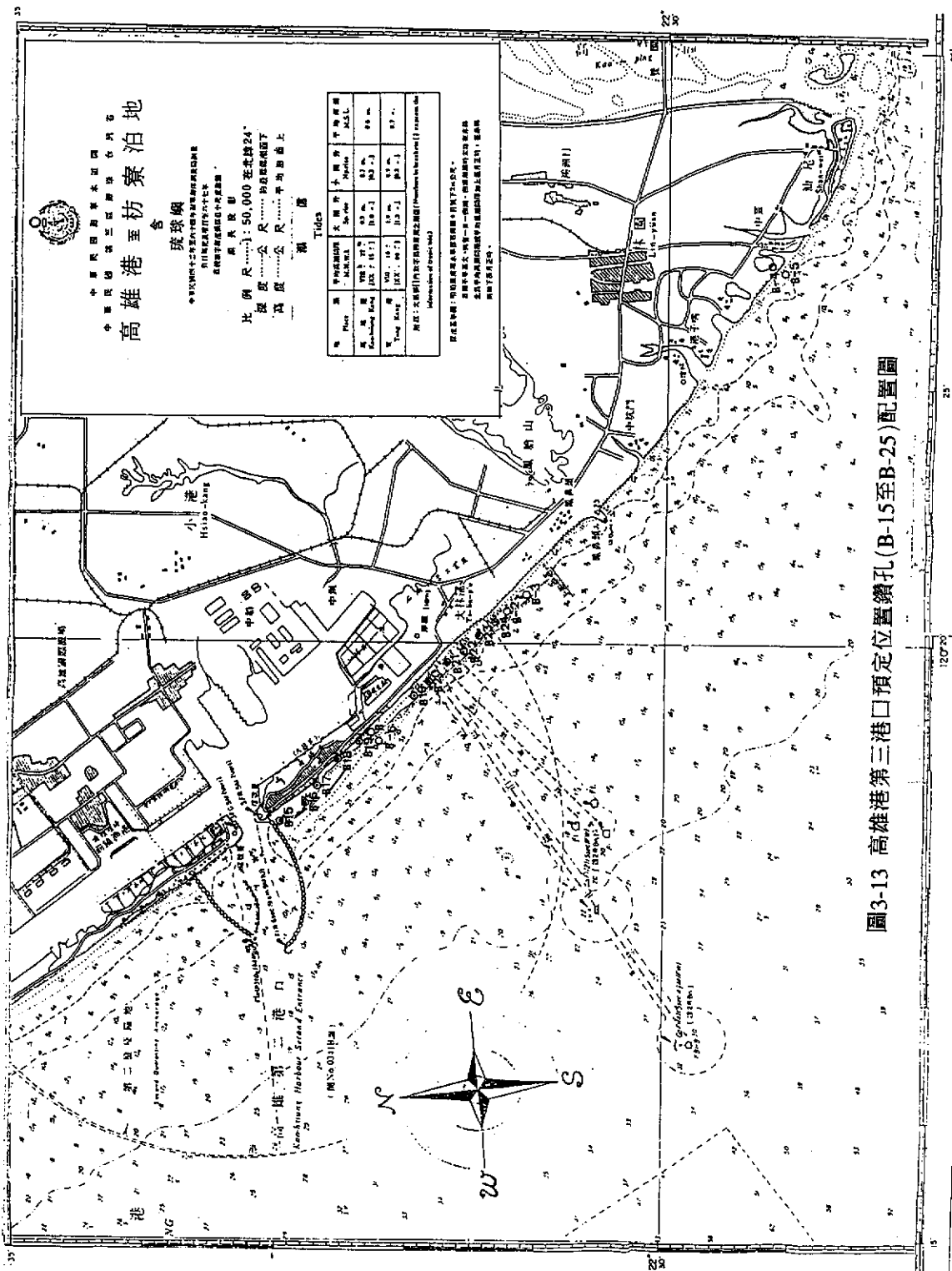


圖 4.1 B(1) $L_{II}-L_{II}$ 剖面圖 (K-站)

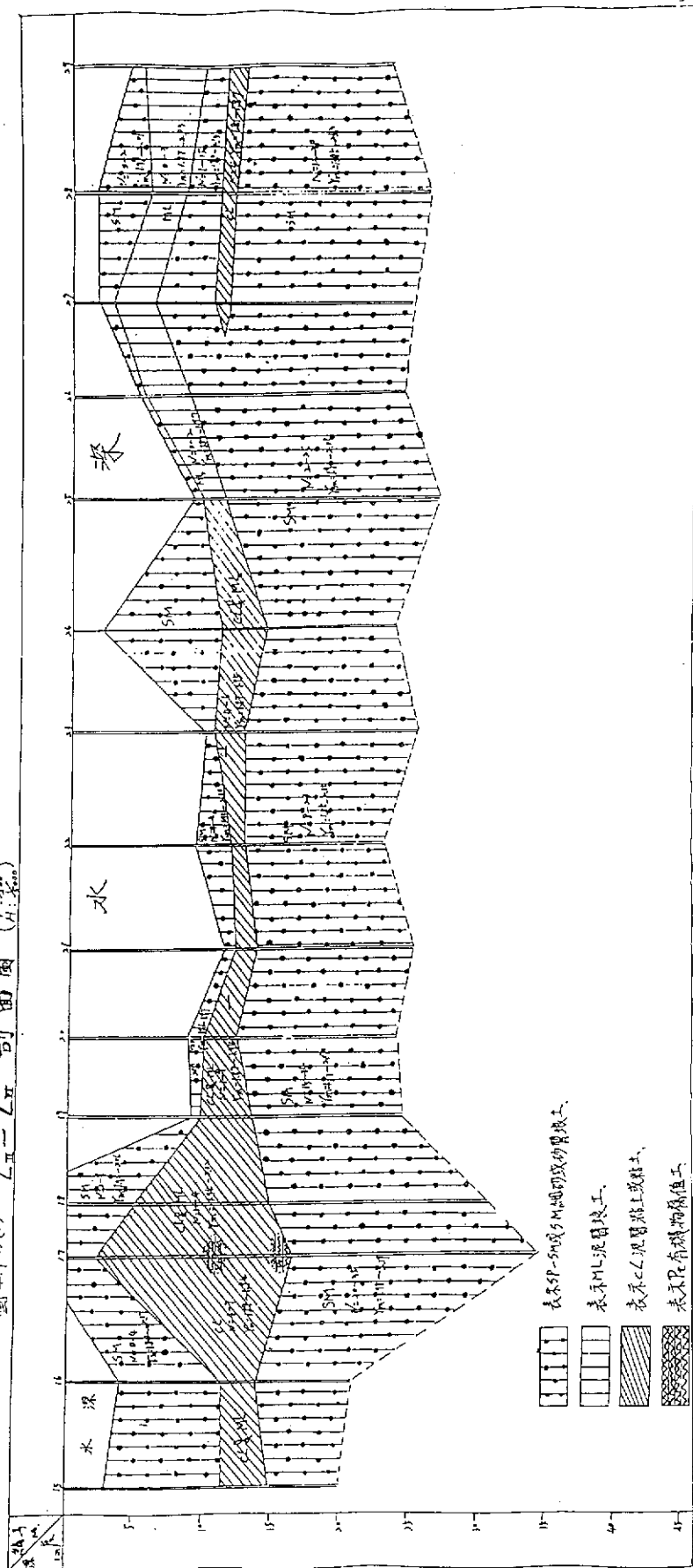


圖3-14 高雄港第三港口預定位置，鑽孔B-15至B-25簡易土層剖面圖

(摘自，高雄港務局，民國七十一年七月)

第四章 軟弱地盤液化潛能評估

第一節 飽和砂土的液化理論

一、飽和砂土的液化

寬鬆飽和砂層遭受振動，則趨向壓實而減小其體積。若水分無法排除，則孔隙水壓力將變大。若砂層孔隙水壓力得以因連續振動而累積，經過一段時間後，會達到覆土壓力(overburden pressure)等於孔隙水壓力的地步。根據有效壓力之原理：

$$\sigma' = \sigma - u \quad (4-1)$$

其中 σ' 為有效壓力， σ 為總覆土壓力， u 為孔隙水壓力。若 σ 等於 u 則 σ' 為0。這種情況下，砂不具任何剪力強度而呈液化現象。地震造成砂的液化，常造成建築物、路堤及擋土牆等的損壞；如1964年6月16日日本新潟及1964年阿拉斯加的地震。這種現象主要發生在中顆粒及細顆粒砂。

Casagrande學者根據臨界孔隙比的觀念。緊密砂承受剪力時易於膨脹；而疏鬆砂在同樣情況下，則傾向於體積的縮小。砂承受剪力而體積不會改變時的孔隙比稱為臨界孔隙比。依照Casagrande解釋：沈積砂層的孔隙比大於臨界孔隙，遭受由地震效應所致之振動時，其體積減小。若無法排除水份，則孔隙水壓將增大。因此，這種情形很容易演變成土壤液化。但下列事實說明：臨界孔隙比觀念尚不足以對砂之液化潛在可能性做定量的評估。

1. 臨界孔隙比並非常數，但隨圍壓變化。
2. 動態載重所引起的體積變化不同於實驗室利用直接剪力試驗及三軸壓縮試驗設備所求得的單方向靜載重者。

二、模擬地震力之動力三軸試驗

(一) 地震力

一般均認為作用在土壤元素的地震力，是由岩盤向上傳遞之剪力波所引起；若地表面為水平，且在土層中，水平方向無初始剪應力之存在，則土壤元素未受震作用前之應力狀況如圖4-1(a)所示。當地震力作用時，水平垂直方向之正向應力假設不變，土壤元素受到反覆剪應力之作用，應力狀況如圖4-1(b)所示。

(二) 理想動力三軸試驗理論

圖4-2為理想動力三軸試驗之應力狀況。試體首先受均向壓密應力，即圍壓 σ_3 之作用，然後將軸向應力增加 $\sigma_d/2$ ，側向應力減少 $\sigma_d/2$ ，最後階段將軸向應力減少 $\sigma_d/2$ ，側向應力增加 $\sigma_d/2$ 。由圖中之莫耳圓可發現45度傾斜面上有正向應力 σ_3 和剪應力正負 $\sigma_d/2$ ，此應力狀況與地震時水平和垂直面受剪應力作用之情形類似。

理想的動力三軸試驗，必須側向與軸向應力均能改變；但由於試驗設備之限制與操作技術困難，一般均採用固定側向應力不變，軸向應力改變之形式，如圖4-3所示。試體首先圍壓 σ_3 之作用，然後在側向應力保持不變下，將軸向應力增加 σ_d 之後側向應力仍保持不變，將軸向應力減少 σ_d 。

比較圖4-2與圖4-3發現除了第一階段外，其餘皆不相同。若把理想之動力三軸試驗分成如圖4-4之情況，可發現其與一般動力三軸試驗之差別僅在圖(d)及(g)兩項步驟；這兩項步驟雖然會導致在45度傾斜面上之正向應力有 $\sigma_d/2$ 變化量，但試體為模擬現場狀況，屬於飽和不排水情形，這變化量由孔隙水壓來承受，不致使有效應力產生變化，因此土壤之動力行為未受影響。

(三) 動力三軸試驗之破壞準則

在一般動力試驗中，對飽和砂質土壤處於飽和不排水情形下採用之液化破壞定義，因應力控制與應變控制方式之不同，通常可分為下列兩種形式：

(1) 初始液化

初始液化的定義係由Seed於1976年所提出。他認為：在反覆剪應力的作用下，當土體的殘餘水壓力等於其圍壓時稱之。就土壤對剪力之抵抗力而言，初始液化可作為判斷的依據；但此定義並不考慮土壤隨後將承受的變形量大小。在反

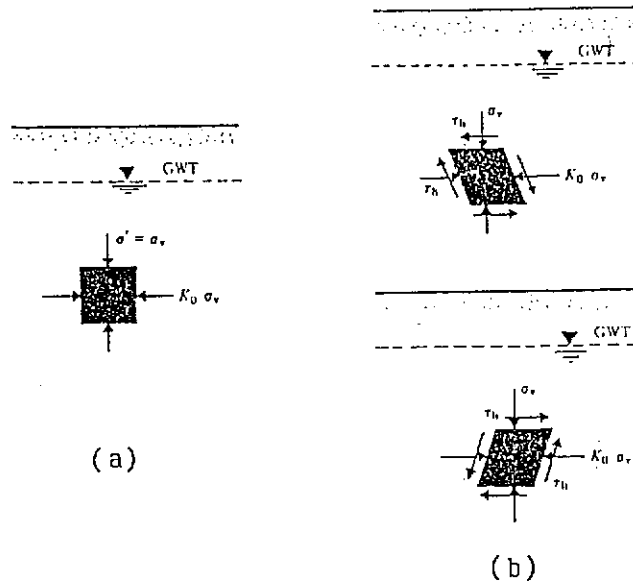


圖4-1 地震作用前後現地土壤之應力狀況
(取自 Soil Dynamics, Prakash, 1981)

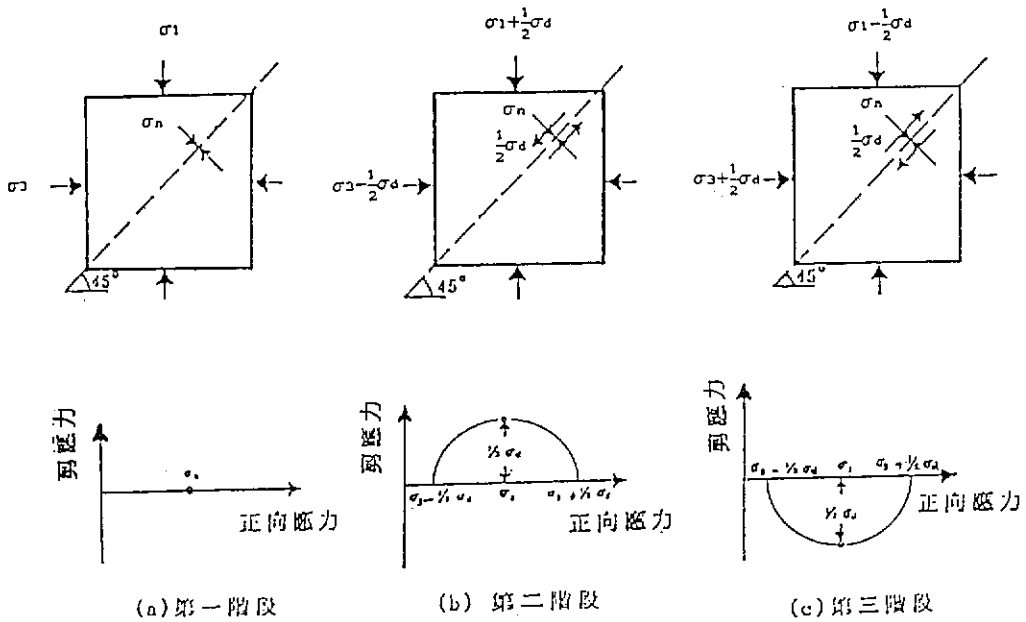


圖4-2 理想動力三軸試驗操作過程之應力狀況
(取自 Soil Dynamics, Prakash, 1981)

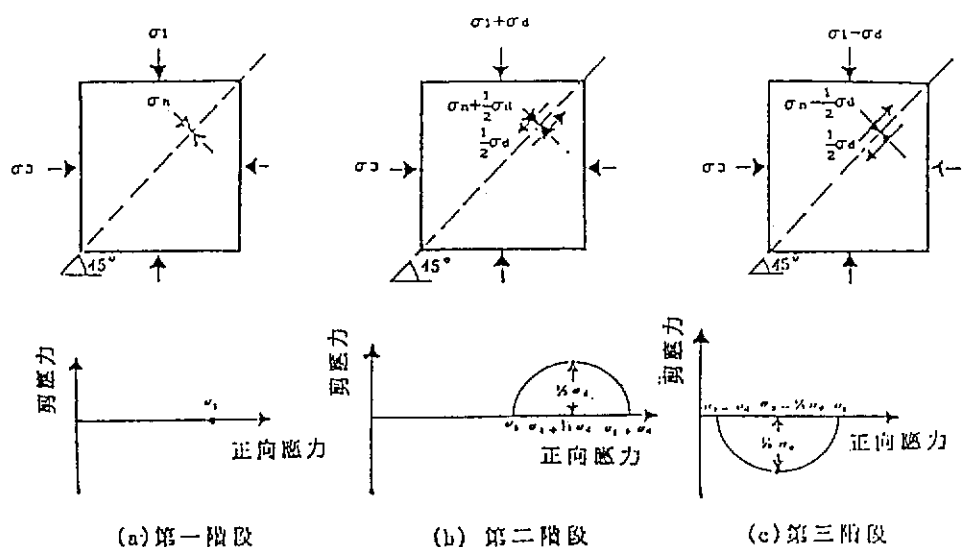


圖4-3 一般動力三軸試驗操作過程之應力狀況
(取自 Soil Dynamics, Prakash, 1981)

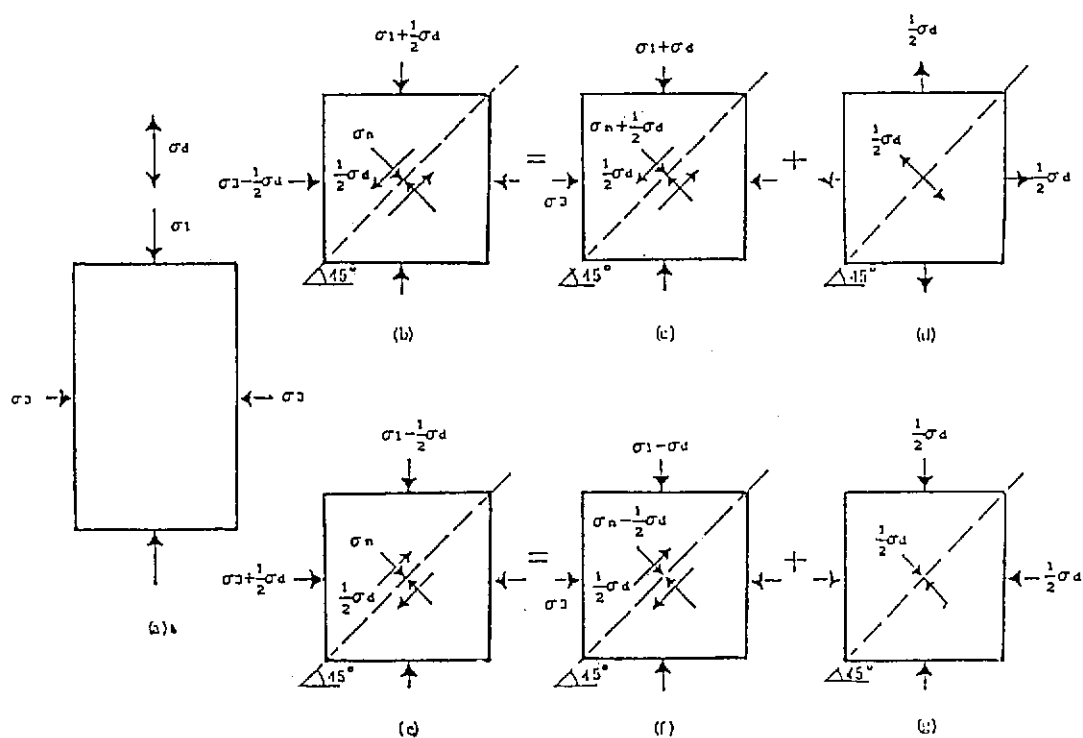


圖4-4 理想動力三軸試驗與一般動力三軸試驗之比較
(取自 Soil Dynamics, Prakash, 1981)

覆剪應力的作用下，當完成某一作用次數後超額孔隙水壓上升至等於初始有效圍壓之情形。

(2) 軸差應變達某固定百分比

Seed & Lee (1966)以不同相對密度之Sacramento砂作一系列動力三軸試驗，發現液化現象發生時，軸差應變量亦達到固定百分比，而土壤發生破壞。由試驗結果可歸納出，大部份試體在雙向軸差應變達20%時，可認為已破壞。

Ishihara & Towhata (1985)採用相對密度40%至50%之Toyoura砂進行動力三軸試驗時，定義兩種液化現象：(1) 超額孔隙水壓達初始有效圍壓之99%時，(2) 單向之軸差應變振幅達到2.5%。根據試驗結果發現，兩種液化定義之液化強度曲線相當接近。

第二節 影響液化之因素

影響液化特性之因素甚多，但基本上大致可分為兩類：第一類為外力因素，如地震規模、地震延時、地表加速度等。第二類則屬現地土壤特性，如土壤種類、地下水位、土壤之顆粒特性、土壤相對密度等自身因素。對可能影響液化特性之參數因素，數十年來先後已有許多學者加以研究，茲將學者之研究結果與本文有關之控制條件者，綜合歸納如下：

一、土壤顆粒特性

土壤的顆粒特性包括顆粒形狀、大小與組成等部份。其中顆粒大小與組成，一般可由粒徑分佈曲線表示之；通常，在其他顆粒特性條件相同的情況下，愈近圓形的顆粒具有較高的液化潛能，而級配均勻之土壤較級配優良之土壤易於液化；至於顆粒大小，根據現場調查與試驗結果顯示，中細粒土壤或細粒沈泥質砂土較具液化特性。

二、相對密度

相對密度為影響砂質土壤液化潛能最主要的因素之一。一般而言，相對密度愈大者，愈不易發生液化，主要乃鬆散的土壤因顆粒重組較易，故其液化潛能亦較緊密土壤為高。根據1964年日本新潟地震之現場液化資料顯示(Seed & Idriss, 1971)，土壤 $Dr < 50\%$ 之土層發生相當嚴重的液化現象；而 $Dr > 70\%$ 之地區土壤，則

幾乎未發生液化。因此， $D_r > 70\%$ 以上之砂質土壤，可視為具有抵抗液化之臨界值；但此一以相對密度為指標的“發生液化臨界值”，仍需配合外力作用因素方能得具體結論。

三、現地土壤液化範圍

決定地震造成現地土壤液化範圍的步驟如下：

- (一) 設定設計地震。
- (二) 求地震對各深度砂層造成的剪應力-時間變化過程。
- (三) 將剪應力-時間過程轉化成應力循環當數 N ，其與深度的關係如圖4-5。
- (四) 應用實驗室結果，求現地不同深度處，在 N 次循環內初始液化的循環應力大小。由於垂直總應力的改變，循環性剪應力亦隨深度變化，如圖4-5。
- (五) 初始液化所需的循環剪應力等於或大於地震引起的相當循環剪應力時，該區域即為可能液化區，如圖4-5。

第三節 土壤液化潛能分析法

依據中央研究院地震研究資料顯示，高雄在一百年中可能受到兩個地震帶的影響，其中西部地震帶之地震規模可能達到芮氏地震規模7.1，其距離至少在50至60公里之間，東部地震帶之地震規模可達7.3，其距離至少在80公里以上。

根據以往之地震資料及蔡義本(見圖4-6)之研究結果等加以分析。高雄地區在50年內之最大地震水平加速度為 0.10 g ，更長時間可能發生之最高值假定為 0.15 g 。

一般而言，影響飽和砂性土壤之液化特性因素有如下所述幾種：

(i). 主要因素：包括最初相對密度、作用之動態剪應力、最初之靜態剪應力、最初之有效圍壓、土壤排水情況、震動持續時間與強度、堆積土層之地質年代時間、以往曾受微小地震作用之程度、側向土壓力係數與過壓密特性、以及試驗室土壤取樣與操作過程之擾動程度大小等等。

(ii). 次要因素：包括土壤顆粒特性(尺寸、形狀、級配等)、土壤結構體、地下水位置、土壤之飽和度、滲透性與壓縮度等。

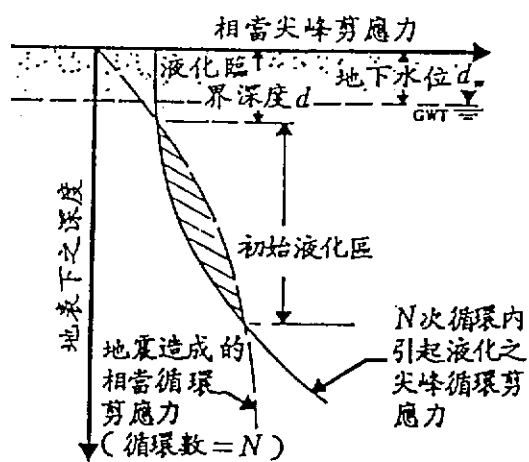


圖4-5 現地之初始液化區
(取自 Soil Dynamics, Prakash, 1981)

分析飽和砂性土壤因地震震動引致之液化現象，可由下列三種方法加以分析：

(一) 簡易方法一

本方法主要依據過去地震之觀測資料，以標準貫入 N 值為依據，劃分出發生液化現象與未發生液化現象之範圍界限；但並未將震動持續時間、排水範圍或地下水位等重要因素考慮入內。例如Seed & Idriss (1976)提供1964年日本新潟地區粗估液化潛能之方法；此方法僅適合與該地區同樣性質之土壤、地下水位與地震強度、距離，故不具一般性，Seed在1976年遂提出標準貫入修正 N_1 值，地震規模 M ，發生液化之剪應力比 τ/σ_0 三者之相互關係，劃分出液化區與非液化區。如圖4-7所示；圖中 N_1 值係修正至有效覆土壓力 10 t/m^2 之標準貫入 N 值，以下式表示：

$$N_1 = C_n N \quad (4-2)$$

式中 $C_n = 1 - 1.25 \log(\tau/\sigma_0)$ 或查圖4-8求得， N_1 為修正貫入值， N 為現場土層該深度之標準貫入 N 值， σ_0 現場土層該深度之有效覆土壓力， σ_1 為 10 t/m^2 。

圖4-7中由地震引致之剪應力比 (τ_{ave}/σ_0) 可以下式計算之

$$\frac{\tau_{ave}}{\sigma_0} = 0.65 \left(\frac{A_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1} \right) \gamma_d \quad (4-3)$$

式中 A_{max} 為地表之最大加速度(g)， σ_0 為現場土層該深度之總覆土壓力，現場土層該深度之有效覆土壓力， γ_d 為應力折減係數，地表面為1.0，深度10 m時大約為0.93，示於圖4-9中。因此可利用上式作為液化潛能簡易分析方法的一種，液化安全係數(F.S.)以下式估計：

$$F.S. = \frac{\tau/\sigma_0}{\tau_{ave}/\sigma_0} = \frac{\tau}{\tau_{ave}} \quad (4-4)$$

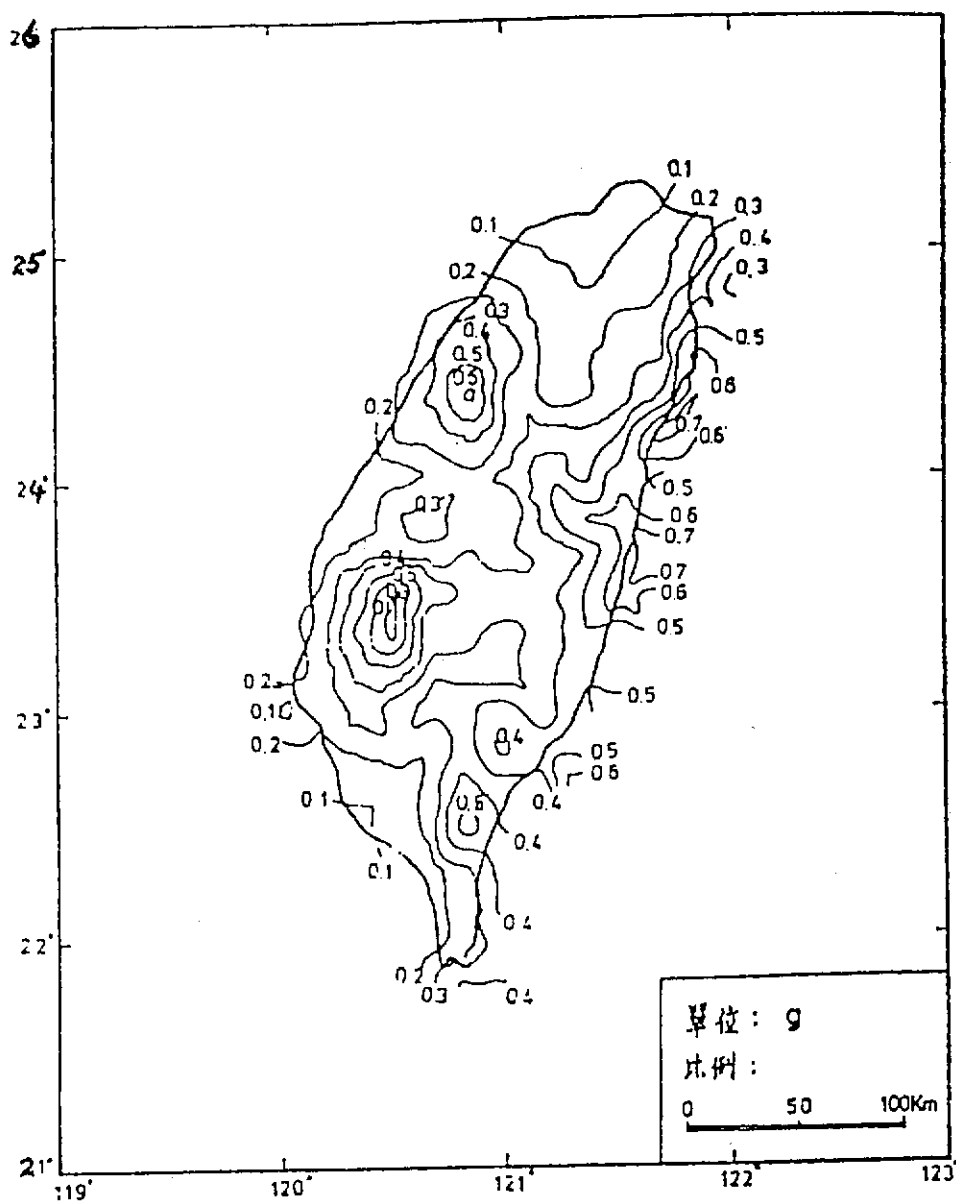


圖4-6 台灣地區50年內可能來襲地震之地表最大加速預期值分析圖(單位為gal)
(蔡義本等, 1977)

二、簡易方法二

Seed(1976)根據中國大陸研究液化之經驗公式，以臨界標準貫入值 N_{crit} ，將液化與非液化兩種情況分開，將結果畫入圖4-7中，顯示有其非常良好之符合關係；茲將臨界標準貫入值 N_{crit} 示列如下：

$$N_{crit} = \bar{N}[1 + 0.125(d_s - 3) - 0.05(d_w - 2)] \quad (4-5)$$

式中 d_s 為砂土層之深度(m)， d_w 地表面下地下水位深度， \bar{N} 為震動強度函數，如下列所示：

規模 M	\bar{N}
≈ 7	6
≈ 8	10
≈ 9	16

上述之經驗或半經驗式，皆使用標準貫入 N 值，做為判斷液化潛能之土壤指數，此因為其他有關影響土壤液化特性因素，諸如相對密度，土壤顆粒結構之穩定度，地質年代之持續壓力，側向土壓係數，以往微小地震作用等，即其影響因素增加時，亦增加抵抗液化之強度，亦即增加土壤之標準貫入 N 值，故使用 N 值以判斷土壤之液化特性，仍不失為一良好之參數指數。

無論如何，經驗或半經驗式僅屬分析液化潛能最粗略之方法，故一般須配合較詳細之分析步驟，以比較之。

三、Seed & Idriss(1971)的簡易分析法

根據Seed & Idriss(1971)提出預估液化簡算法，假定地震時導致土層剪應力係由岩盤垂直向上傳播剪力波所產生，則當地地震來時，地表面有一最大加速度 A_{max} ，假設土壤為一剛性體(Rigid Body)此時深度 h 處所產生最大剪應力為

$$\tau_{max} = \frac{\gamma h}{g} A_{max} \gamma_d \quad (4-6)$$

- 液化區, $\tau/\bar{\sigma}_0$ 係基於計算所得之地表加速度
- 液化區, $\tau/\bar{\sigma}_0$ 係基於現址之地表加速度資料
- 非液化區, $\tau/\bar{\sigma}_0$ 係基於計算所得之地表加速度
- 非液化區, $\tau/\bar{\sigma}_0$ 係基於現址之地表加速度資料

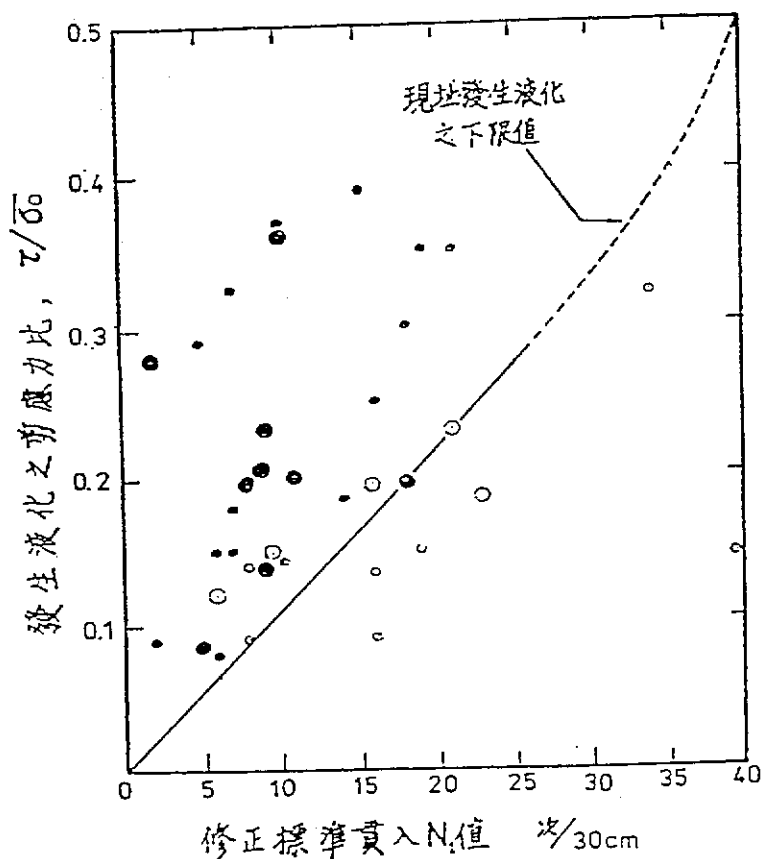


圖4-7 現址發生液化之剪應力比 $\tau/\bar{\sigma}_0$ 與修正標準貫入 N_1 值之關係
(取自Seed, 1976)

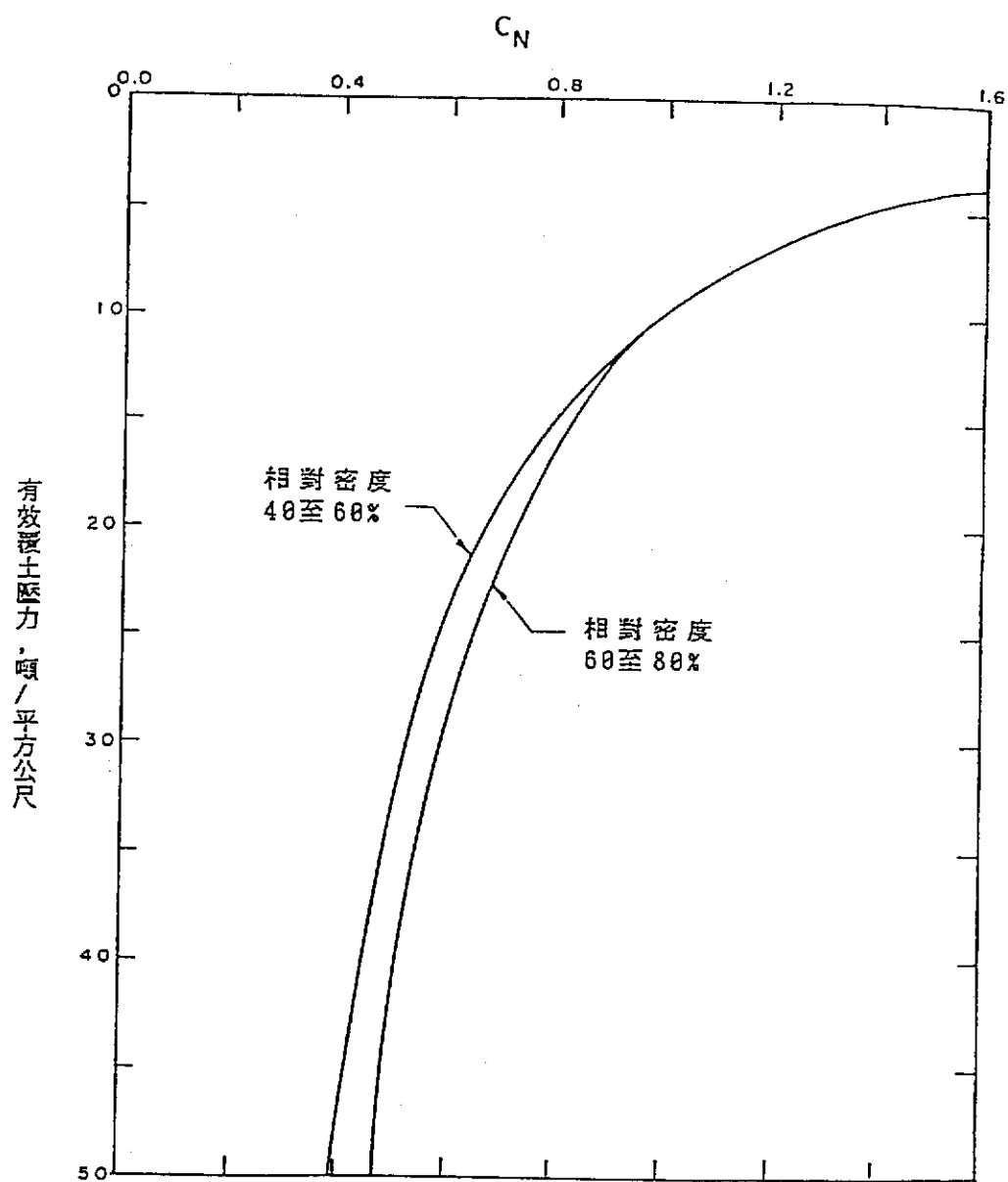
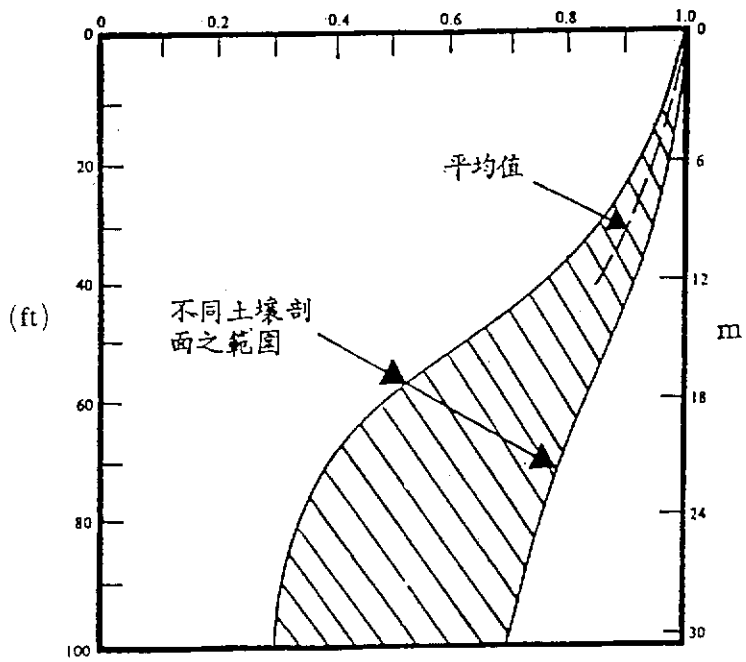


圖4-8·標準貫入N值修正係數 C_N 與有效覆土壓力之關係
(取自Seed, 1976)

$$\gamma_d = \frac{(\tau_{\max})_d}{(\tau_{\max})_f}$$



γ_d 應力折減係數

圖4-9 應力折減係數 γ_d 與深度之關係
(取自Seed & Idriss, 1971)

式中 γ 為土壤單位重，但土壤實際為一柔性可變形物體，因此上式應以 γ_d 值加以修正。 γ_d 與深度 h 有關係，龍岡曾就日本各地盤調查歸納其近似值為 $\gamma_d = 1 - 0.015z$ (z 為深度，單位為公尺)。

因為臺灣係海島地形與日本地形非常相似，因此可引用上述修正值的 γ_d 公式，又地震所產生的剪應力時間歷程(Time History)為一不規則形態，因此必須決定其等量均勻剪應力 τ_{ave} ，依據Seed & Idriss採用 τ_{max} 的65%較為精確。其等量均勻剪應力 τ_{ave} 可以下式計算

$$\tau_{ave} = 0.65 \frac{\gamma h}{g} A_{max} \gamma_d \quad (4-7)$$

由過去高雄地區內最大地震規模級數，可以估算出工程地區平均剪應力，再與實驗室反覆三軸試驗結果相比較，評估安全係數如圖4-10所示。

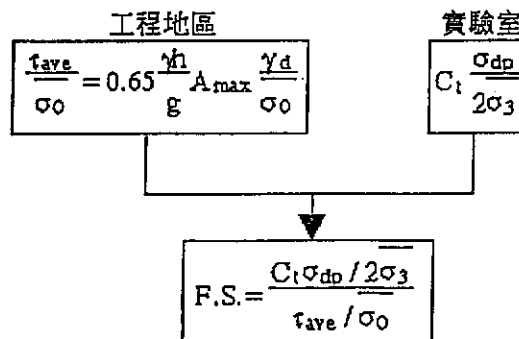


圖4-10 安全係數評估流程圖

其中實驗室的 σ_{dp} 表示軸差力， $\sigma_{dp}/2$ 表示最大剪應力， σ_3 為有效圍壓，此處 $\sigma_{dp}/2\sigma_3$ 表示反覆次數20次(Seed 1976提出圖形中，地震7.5級查得 $0.65\tau_{max}$ 之反覆次數上限為20次)時產生初始液化(Initial Liquefaction)時的軸差應力與兩倍圍壓比值。因為受到上述原因，因此實驗室結果，需考慮 C_t 值加以修正。

根據參考資料吳偉特(1979)，考慮 C_t 修正值加以修正

$$C_t = C_1 C_2 C_3 \quad (4-8)$$

C_1 ：因為考慮動力三軸試驗與現場實際應力條件有所差異，一般動力三軸試驗只能以均向性壓密來模擬以避免非對稱反覆荷重，本實驗取 $OCR = 1$ ， $K_O = 0.4$ 而 C_1 值為0.57加以修正。

C_2 ：考慮以往微小地震的影響，修正係數一般為1.25~1.5，取其平均值為1.375。

C_3 ：Castro(1975)提出不擾動試體試驗結果顯示，若為低至中等緊密砂土不擾動試體，但有部份地質年代持續荷重作用所增加強度仍可維持，但有部份喪失，因此修正 C_3 值由擾動試體1.8減至未受擾動試體的1.2加以修正。

綜合上述因素則採用 $C_t = 0.94$ 。

第四節 實驗室動力三軸試驗

一、試驗設備

動力三軸試驗採用CKC自動三軸壓縮系統，其載重系統示意圖如圖4-11所示。儀器主要構件可為分列下列六部份：

(一) 控制系統：包括兩組感應比較修正系統分別控制軸向壓力和圍壓的大小，而每組感應比較修正系統有四個主要部份：(1)電腦、(2)轉換介面、(3)氣壓式載重系統和(4)三軸室及量測感應器。試驗時配合使用者之需要，由電腦控制四組迴路參數，其四組參數如下：

- (1) 此迴路作用開關ON或OFF，
- (2) 試驗型式，應力控制或應變控制，
- (3) 試驗型式的各種參考數值，
- (4) AD轉換器之量測範圍。

(二) 載重系統：包括一組e/p轉換器將電腦傳來的訊號轉換成實際所需之各種氣壓值，以推動活塞、載重桿等設備進行試驗。

(三) 三軸室及體積變化儀：三軸室可放置一直徑約75 mm，高約150 mm之試體。體積變化儀包括一組有三個量管之相連管路，藉由閥門之控制以量測不同體積變化時之體積應變，並以此管路控制試體的背水壓及有效應力的大小。

(四) 感應器及訊號調整器：系統中包含有五組感應器：(1)室壓感應器、(2)背水壓感應器、(3)有效應力感應器、(4)載重衡盒和(5)線性變位感應器。分別量測試驗時各時壓力、體積及位移之感應。訊號調整器則將五組感應器收集得之類比訊號集中，並加以放大傳送至界面轉換系統。

(五) 界面轉換系統：界面轉換系統為連接電腦數位訊號及感應器類比訊號之儀器。它括有16組12位元之高速A/D轉換器、8組12位元之D/A轉換器及24線之輸出/輸入埠。對電腦反覆載重系統而言，共使用了7組A/D轉換器，其中5組和5個感應器相連，另一組用來量測閥門的開關與否，最後一組接地以求得系統之相對零點。

(六) 電腦及印表機：整個系統的主要控制中心為個人電腦，藉由鍵盤及彩色顯示螢幕作為整個系統與使用者之界面，印表機為Epson型式之印表機，用來記錄所有試驗資料之輸出，包括各種試驗之即時記錄及圖形分析記錄。

二、試驗樣品之準備和試驗程序

(一) 試樣樣品之準備：試驗土樣由鑽孔中選取未受擾動薄管土樣50mm內徑，120mm長，於現場鑽孔中選取，深度由0.5m至15m，薄管由鑽孔中取出後，立即直立於PVC管中放置乾冰，PVC管的上下端密封，並立即將薄管土樣，送來本試驗室，並垂直按置於溫度為零度的冰櫃中使之冷凍(0℃)。

試驗時，由冰櫃中取出薄管土樣，置於切割器中，以利刃切割刀將薄管土樣切割所需長度100mm，經切割後該薄管試樣靜置於室溫約一小時左右。

同時，先將分裂式成形器(Forming mold)裝上薄膜套，使其旁側吸孔器形成真空，如此薄膜緊貼於成形器管內壁面，將成形器按置於動力三軸式底座上，並將薄膜以橡皮O環固定於底座上。再將薄管試樣管周圍以熱毛巾燙熱，使薄管表面原已冰凍部份些微融化，便於裝入於分裂式形成器的薄膜中，然後將成形器折除，則試樣以妥當地按置於動力三軸室內，並準備進行試驗工作。

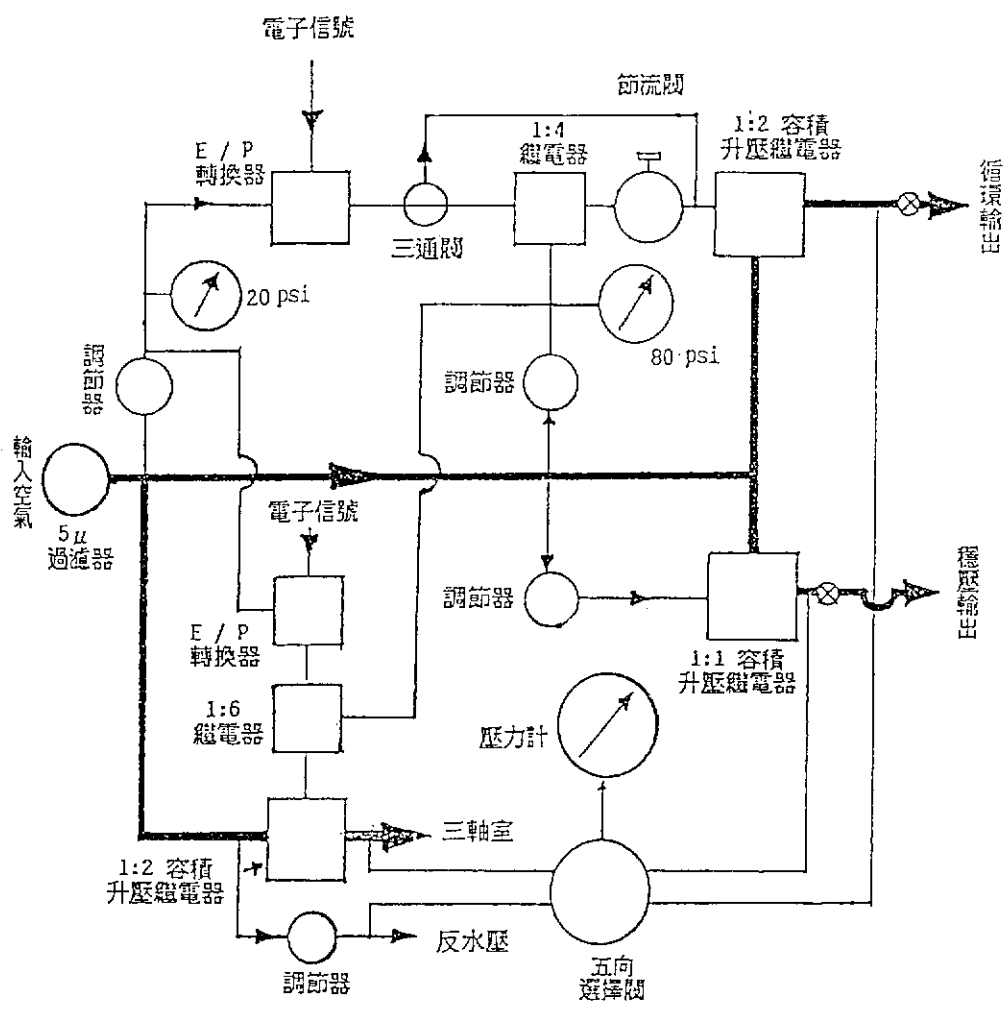


圖4-11 CKC自動三軸壓縮儀載重系統示意圖

(二) 試驗程序：

將已製好的試體裝妥於三軸室(Cell)內，先量取其體積，將三軸室內管道接上，套上壓克力透明外罩，小心地安裝位移變化電子感應計，將三軸室按置於試驗儀上，再將孔隙水壓管道連接量側孔隙水壓力的感應計(Pore Pressure Transducer)。

施加三軸室的圍壓水，並且將電子應變計量載重衡器(Load Cell)對準於三軸室的載重桿以防止偏心。背水壓管道接妥後，漸漸地提升圍壓及背水壓逐漸至 2 kg/cm^2 ，但始終維持圍壓大於背水壓約 0.05 kg/cm^2 。飽和約6小時後，由測得孔隙水壓力參數B值大於0.95，則認定其已完全飽和，可進行反覆三軸試驗。

進行反覆三軸試驗時，因必須考慮現場有效覆土壓力如此抵抗液化潛能的動力強度，以試驗時軸差壓力與二倍有效圍壓的比值為依據。因此由鑽孔資料估算該試樣現場有效覆土壓力($\overline{\sigma_0}$)，使用該有效覆土應力約為($\overline{\sigma_0}$)，故試驗時先將試體施壓固結約40分鐘，直至試體受壓密後體積變化量不再增加，以正弦波形模擬地震之作用，施以相當於現場土壤所受反覆土壓力的圍壓值進行不同軸差應力振幅之動力不排水試驗，以求得不同軸差應力振幅下液化的震動次數，藉以求出在振動次數等於20時之破壞平均剪應力 $\tau_{cy(eq)}$ ，然後以試驗值修正後所得之破壞平均應力 $\tau_{cy(field)}$ 與地震時($M = 7.5$)之現象破壞平均剪應力 τ_{ave} 比較可得到液化可得到液化潛能的評估。

第五節 液化潛能分析

一、前言

當飽和疏鬆砂土受到地震或其他型式之振動時，砂土會因孔隙水壓力升高而暫時喪失其強度而如液體一般，此種現象，稱為土壤液化。若土壤發生液化，則可能造成結構物之沉陷或傾斜，甚至破壞。由於地震引致土層液化之個案報告，不勝枚舉，較有名的如1964年發生之日本新潟大地震及美國之阿拉斯加大地震，皆造成相當之財物及人員傷亡。

本研究計劃是對新生地之土層改良技術，港灣附近之新生地，大部均可由從近海浚渫而來之水力填砂，此種新生地由於其土層之構成，大部均為砂土，而水力填砂之密度甚難控制，是故必須進行液化試驗及液化潛能評估，以作為此種新生地地質改良之參考。

進行砂性土壤液化試驗之方法有土壤動力三軸試驗，週期單剪試驗、扭轉剪力試驗、振動台試驗等。本研究計劃係採用之試驗為動力三軸試驗。而試驗之土樣包括不擾動土樣及重模土樣，現就此兩種不同土樣之試驗敘述如下：

(1). 不擾動土樣之動力三軸液化試驗

此種土樣之取得，將配合現場使用三套管式取樣品器，在鑽取土樣後，立即於現場以乾冰冰凍。再送至成大土壤動力試驗室進形動力三軸液化試驗。原則上每一鑽孔以進行二組試驗和取樣深度以5-20 m之土樣為原則，但仍配合現場土層而定。

(2). 重模土樣之動力三軸液化試驗

重模土樣之取得以欲作為水力填砂之土樣為原則，將取得之土樣為上述土樣破壞後的重製土樣，以不改變密度及週期應力為準，評估重模土樣抗液化強度與密度和週期應力之相互關係，以作為將來新生地液化地質改良之參考。

除了實驗室之液化試驗外，本研究亦將在鑽孔時，進形標準貫入試驗，以研究現場土層標準貫入N值與抗液化強度之關係，以作為將來在大塊新生地作土層液化評估之準則及地質改良判斷之參考。

二、土壤組成與顆粒粒徑分佈的分析

土壤之組成及級配亦將影響液化發生之潛能，如圖4-12所示為日本學者Tsuchida(1970)所得之研究結果。其液化分析中為考慮土壤組成與顆粒粒徑分佈的影響，而以土壤中所包含之細料(即沉泥料為5%，15%和35%的準則線)。本研究規劃中的六個鑽孔(BH-1至BH-6)，每個鑽孔中每間隔1.5公尺所選於已受攪動土樣，經試驗室進行各土樣顆粒分析，其顆粒分佈曲線及分析結果見附錄二。並由高雄港第三港口預定位置的鑽孔(B-15及B-25)資料中，收集的顆粒分佈曲線，並加以分析，其顆粒分佈及分析結果見附錄四。

其分析結果中得知：各土樣之粒徑分佈曲線，皆座落於其不可能液化界限，無液化可能。此另一原因係其細料含量較多，僅部份土樣細料含量較低(低於12%)。若由顆粒分佈曲線判斷其可能不致液化，但日後進形細部設計，仍須對回填區域內(幾達20公尺)，其海底表面砂土層10公尺左右，必須進形深水震動壓實砂樁(SCP樁)，加以處理，使得該表土砂土層得以緊密硬化砂土層。

三、現場標準貫入試驗N值液化潛能分析

由本研究規劃所進形六個鑽孔(BH-1至BH-6)，和由高雄港第三港口預定位置的鑽孔(B-15至B-25)的資料，於各鑽孔中每間隔1.5公尺所施行標準貫入(SPT)試驗結果，由現場土層SPT-N值與阻抗液化強度，由學者Seed, H.B.(1970, 1983, 1984)所建議液化簡易評估方法以及美國國家研究評議會地震工程委員會(Committee on Earthquake Engineering, 1985)對土層液化評估報告之建議。其分析過程由協同主持人倪勝火副教授撰寫PC用電腦程式加以分析，其程式撰寫程序列於附錄六中。由本研究的六個鑽孔分析的結果列於圖4-13,高雄港務局第三港口預定位置的鑽孔分析結果列於圖4-14中。於圖中左方的三條曲線為細砂含量 $F.C(\%)=5、15、35$ 。每一深度的土樣及SPT-N值。其右方為各深度所分析的安全係數。由該SPT-N值土層潛能分析，各深度皆座落安全係數1.0以上，故不致引起液化破壞。

三、實驗室動力三軸試驗結果液化潛能分析

由現場四個鑽孔(BH-1至BH-4)中，所取得三套管式未受擾動砂土樣品，及重模土樣，其動力三軸試驗結果列於表4-1中。分析結果顯示，若考慮高雄港港址，由於地震震動，採用地表面最大加速度為0.15g時，其未受擾動砂土樣品及重模砂土樣品的安全係數皆大1.0以上，沒產生液化破壞現象。重模砂土樣品的安全係數

均較未受擾動砂土樣品稍低些，皆因未受擾動砂土樣品經動力三軸試驗破壞後，顆粒組構已無法保持原有未受擾動狀態，雖然重模砂土試樣仍控制原有單位重及含水量，由於顆粒組構重新安排，其抗剪強度較原有未受擾動砂土樣品為低。但其中鑽孔BH-2試驗編號BA2T1和鑽孔BH-3試驗編號B3T1，其重模砂土樣品均較未受擾動砂土樣品稍高些，其原因在於該未受擾動砂土樣品內含有細小石塊，於原狀土樣狀況，佔有空隙較大緣故。

四、結言

由上述三種不同液化潛能分析方法中瞭解。原有港址砂土層的阻抗液化的安全係數皆大於1.0，由SPT-N值所評估的安全係數均較動力三軸試驗來得高些。由於鑽探作業時所取得標準貫入N值皆存有重大誤差存在，必須經大地工程師予以修正，修正後的標準貫入N值更應仔細研判如何使用該砂土層相關剪力參數。半經驗公式的分析僅提供其粗略分析用途。

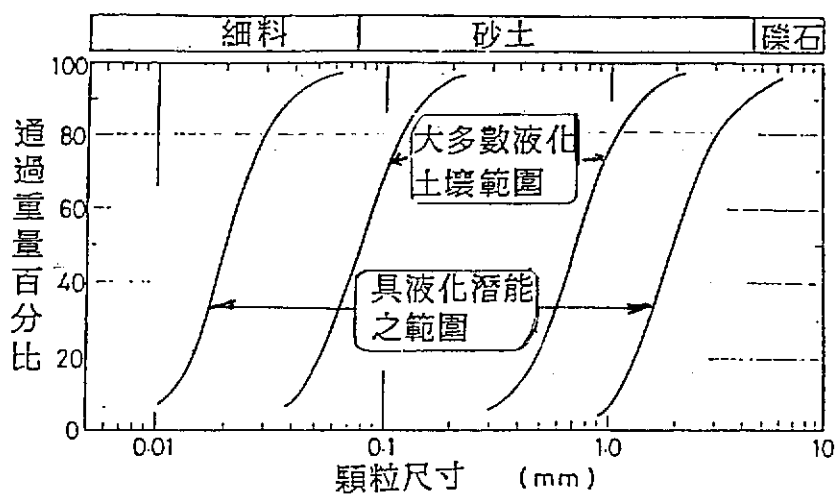


圖4-12 土壤之組成及級配液化潛能範圍(Tsuchida, 1970)

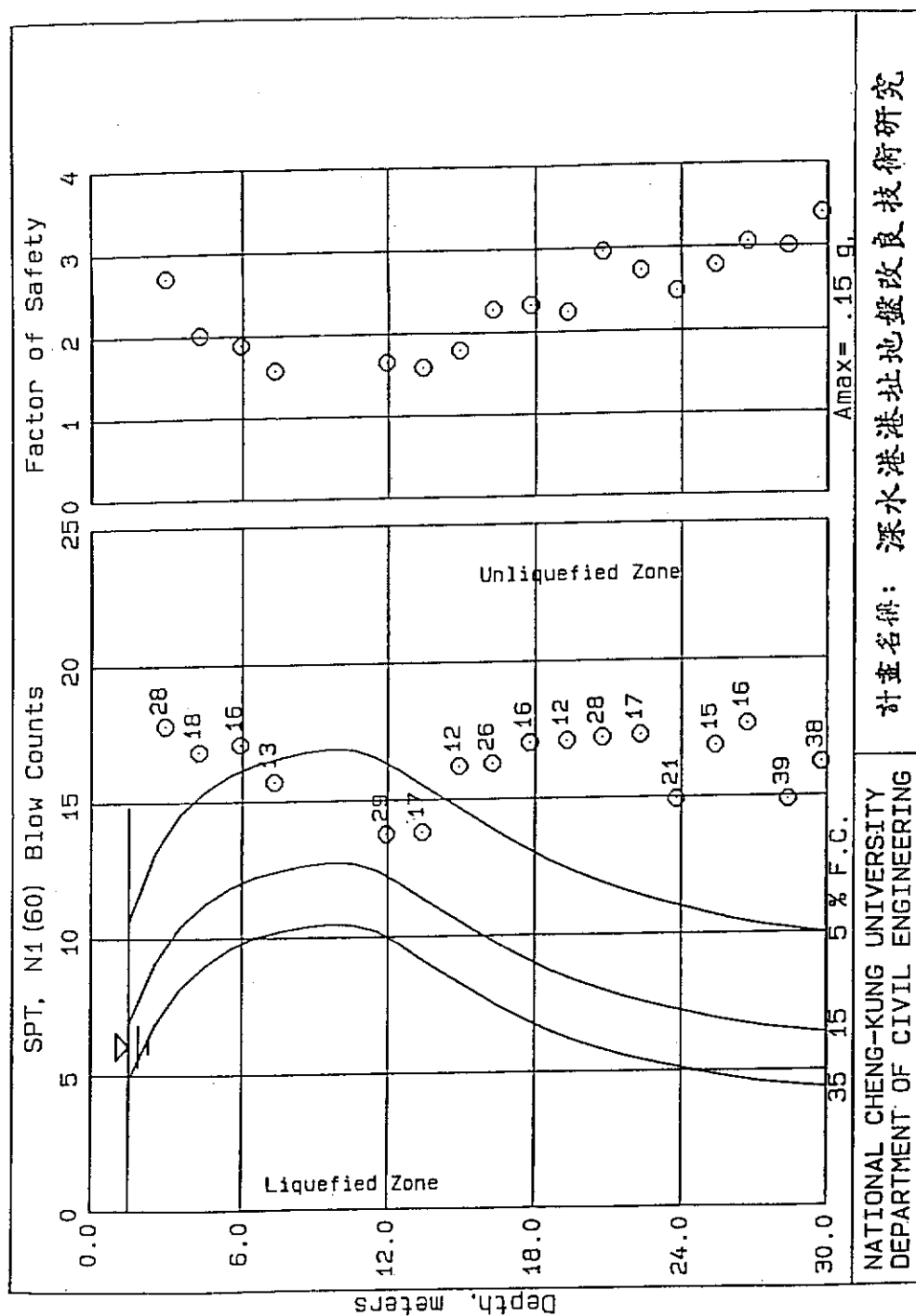


圖4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-1)(一)

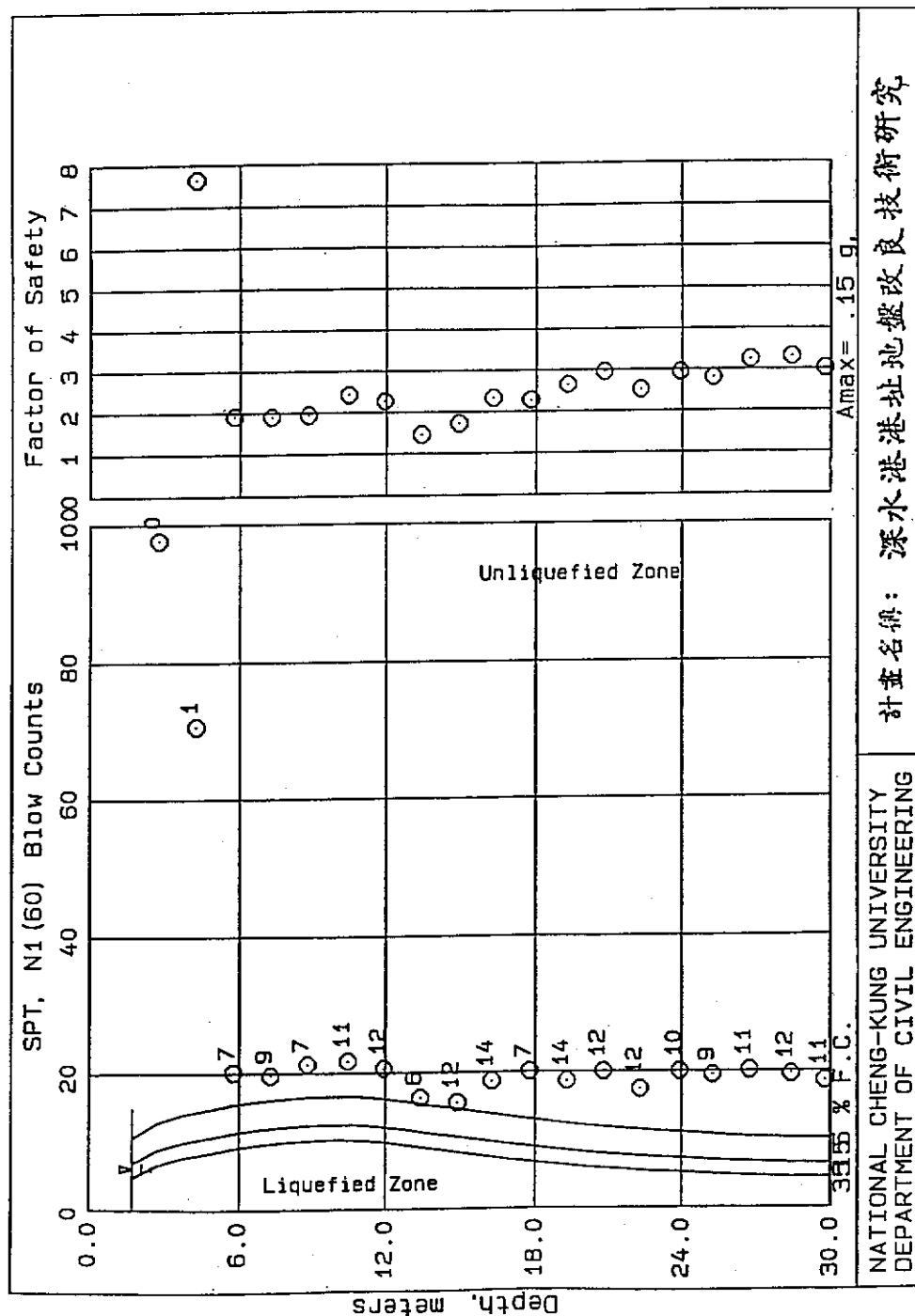


圖4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-2)(二)

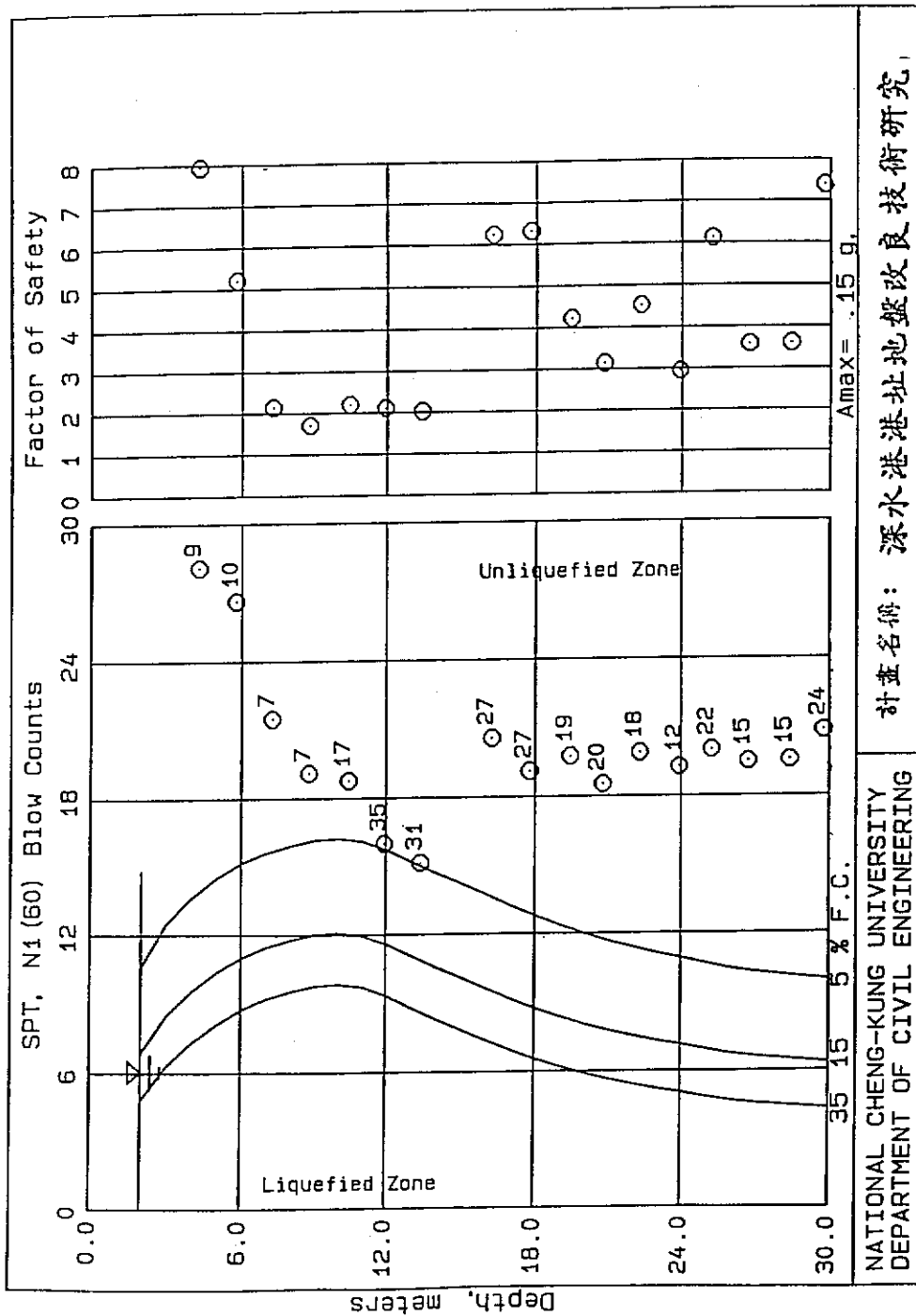


圖 4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-3)(三)

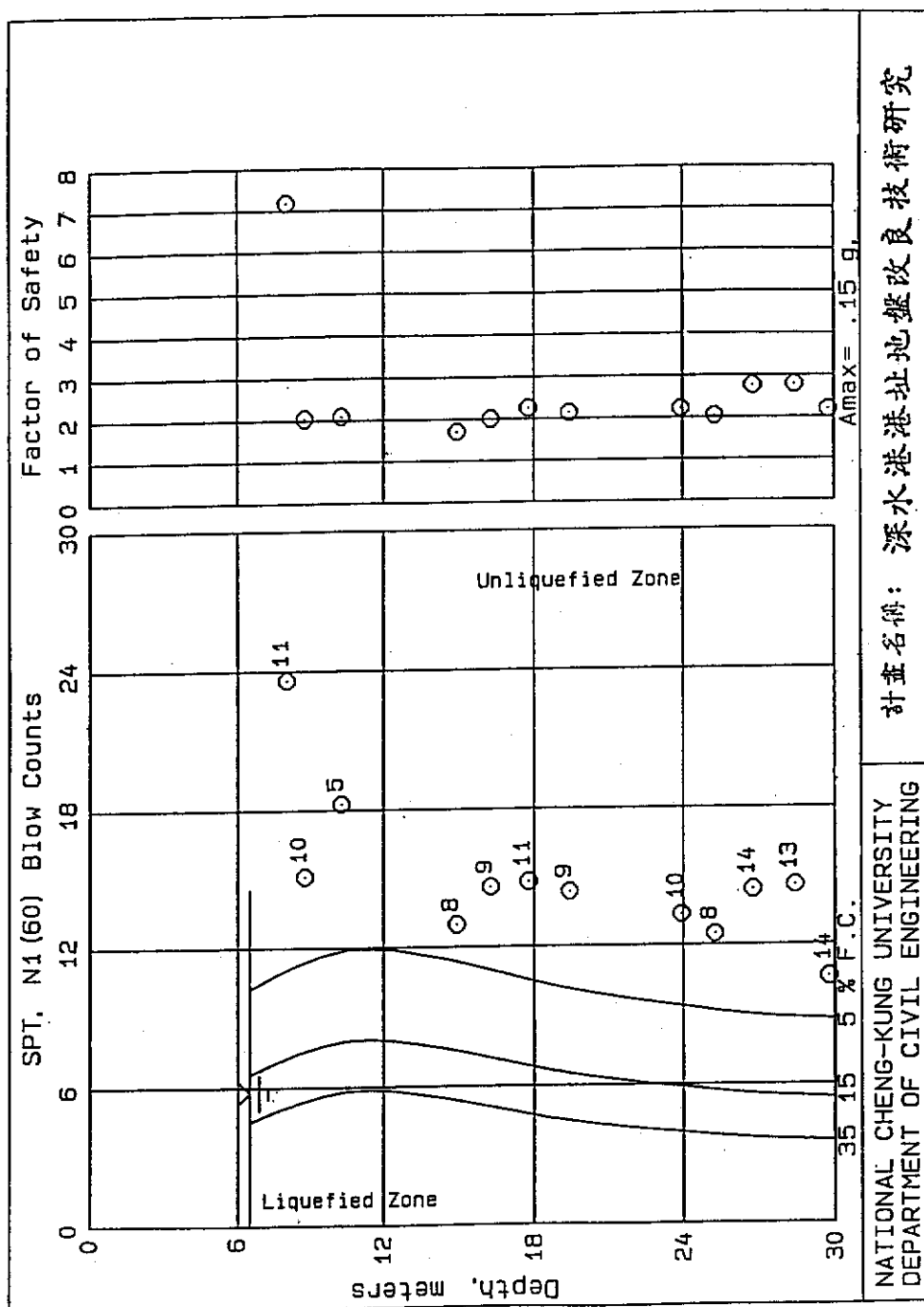


圖4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-4)(四)

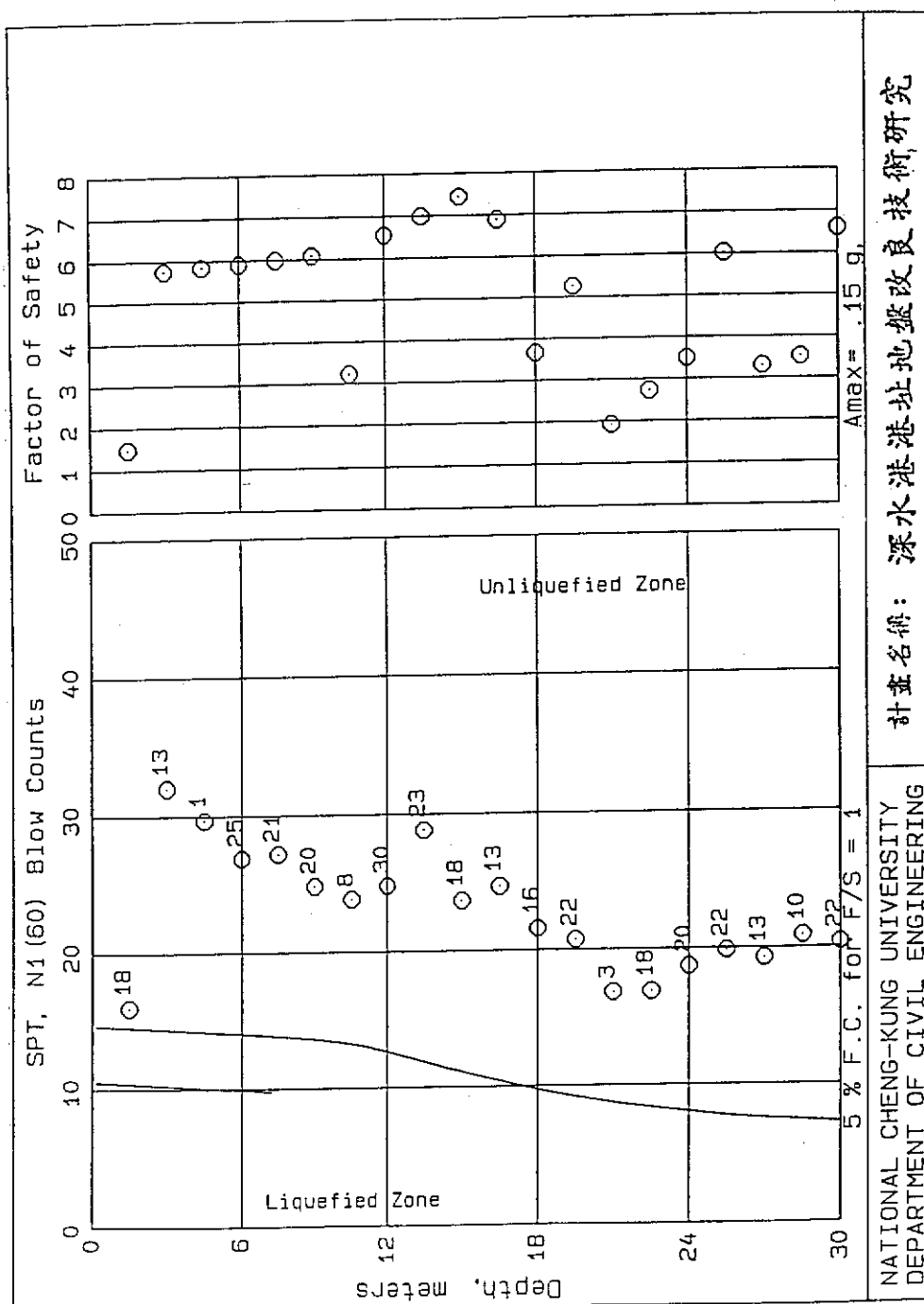


圖4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-5)(五)

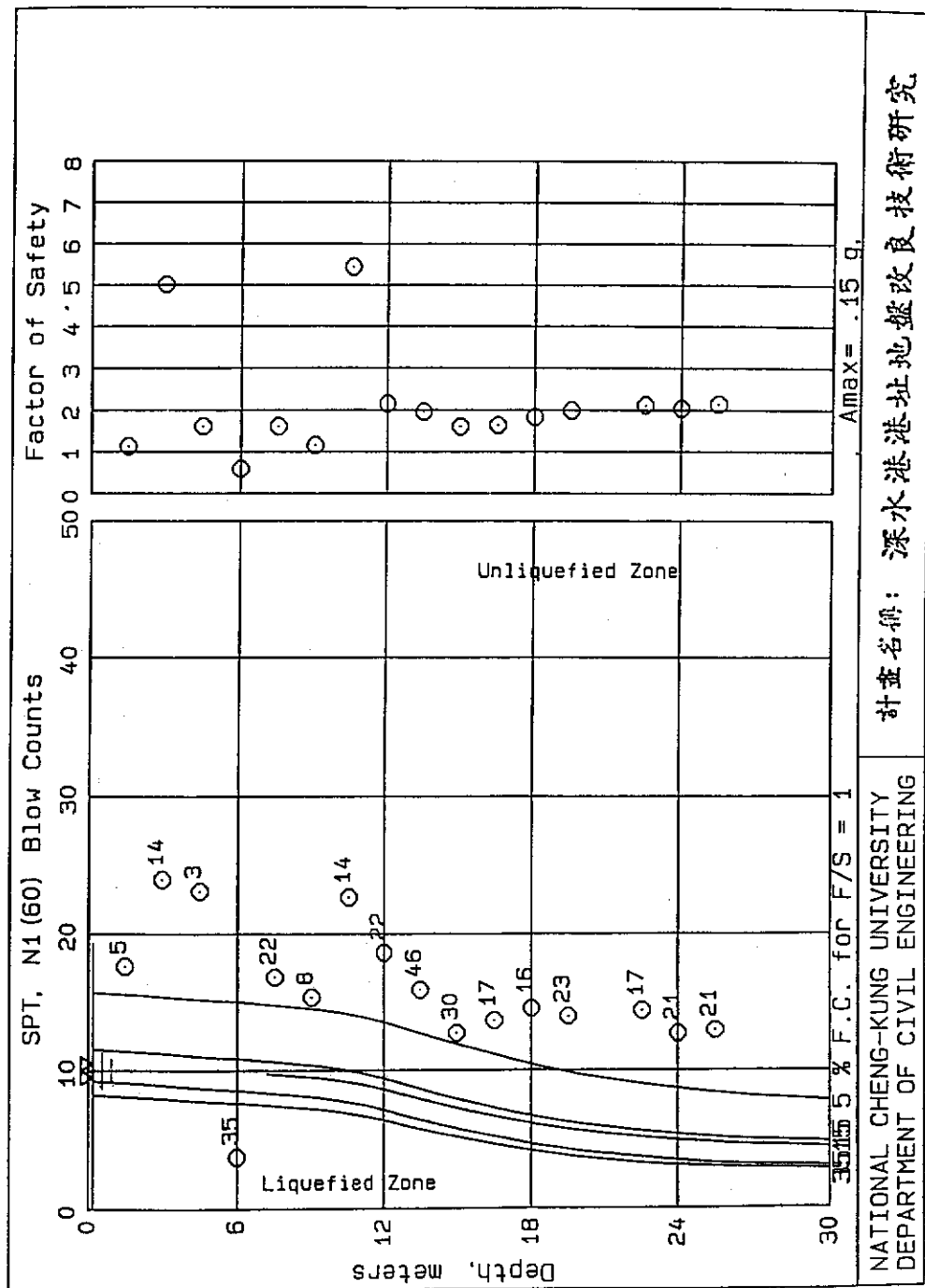
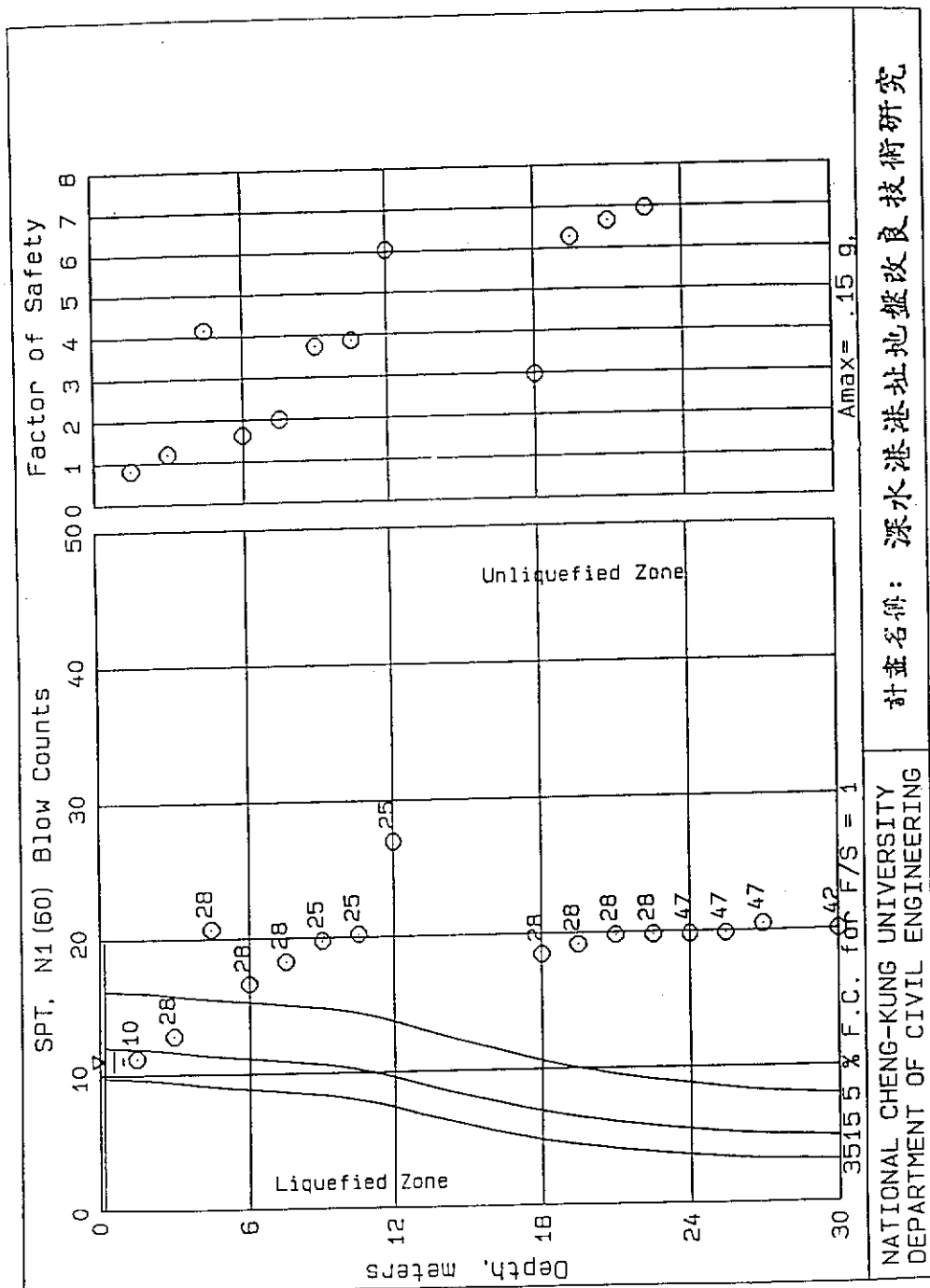


圖4-13 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-6)(六)



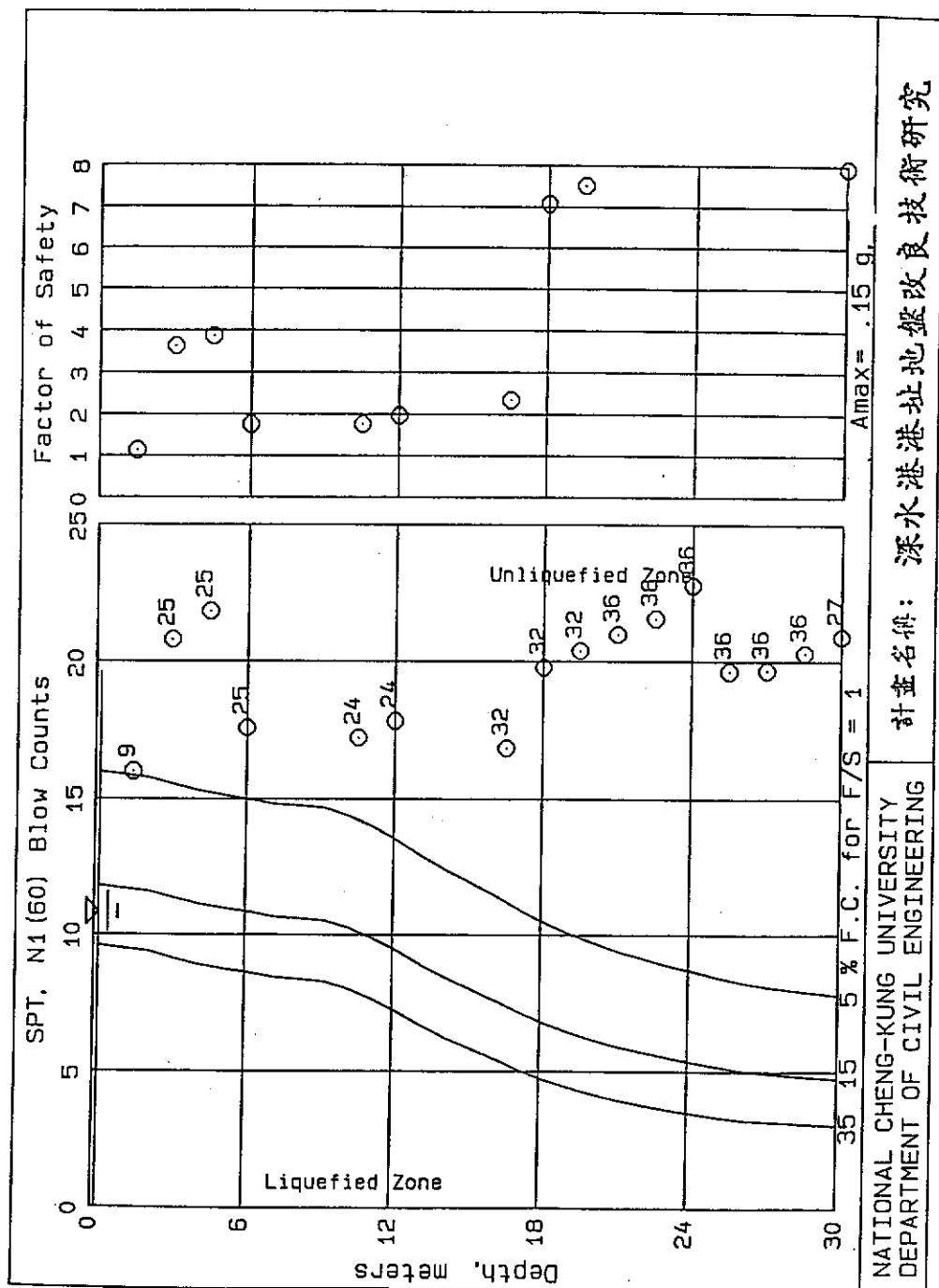


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-16)(二)

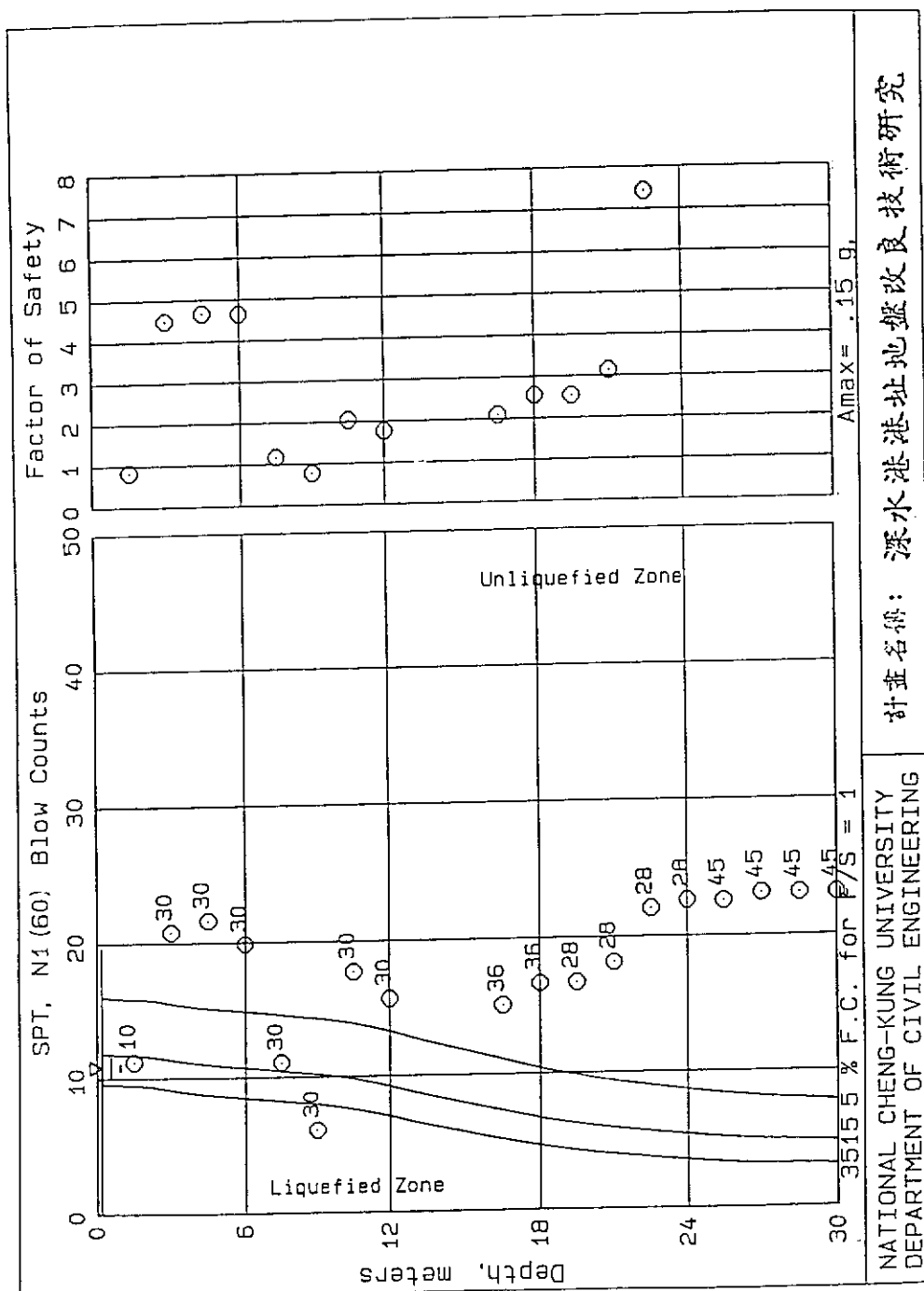


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-17)(三)

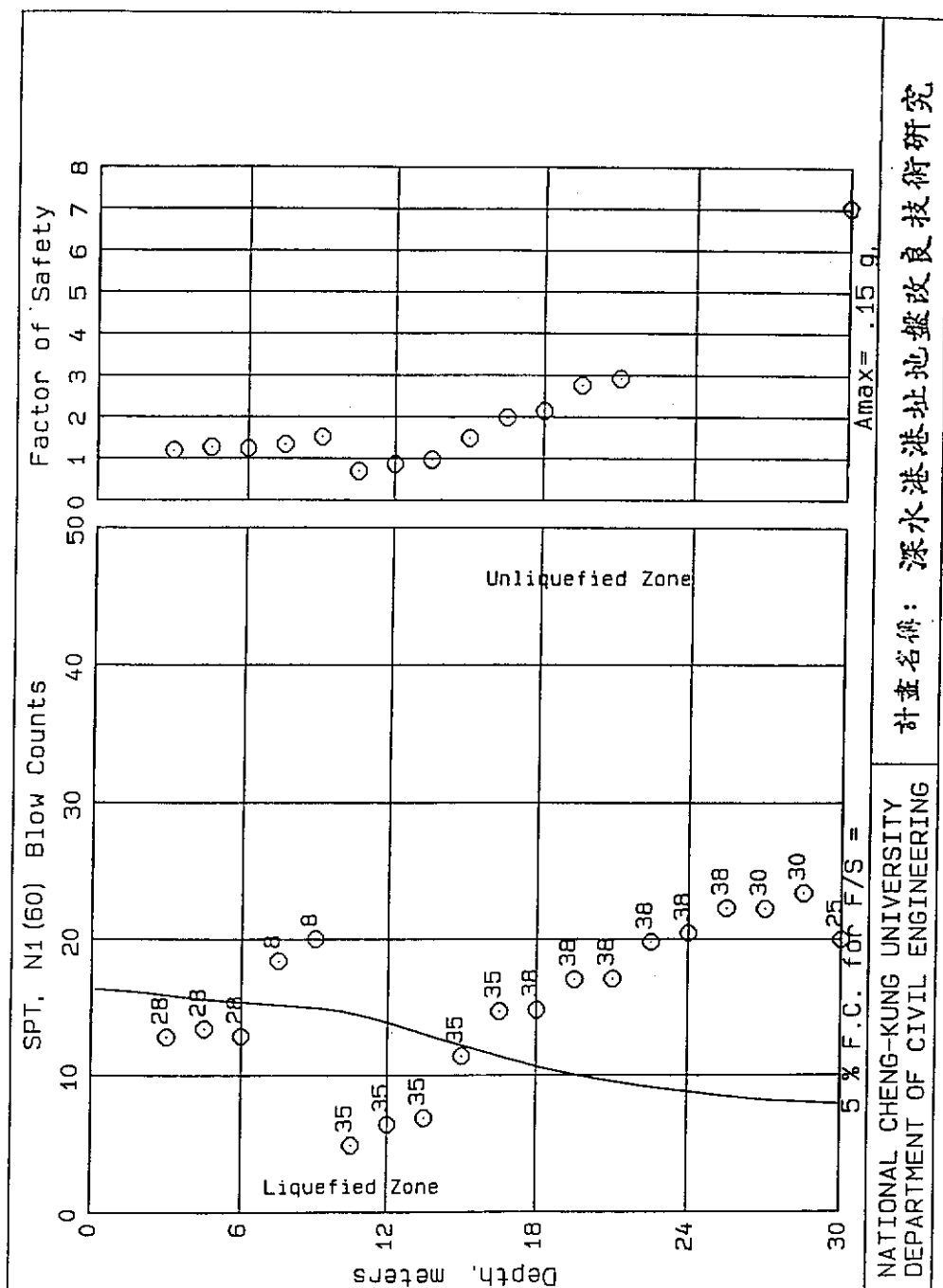


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-18)(四)

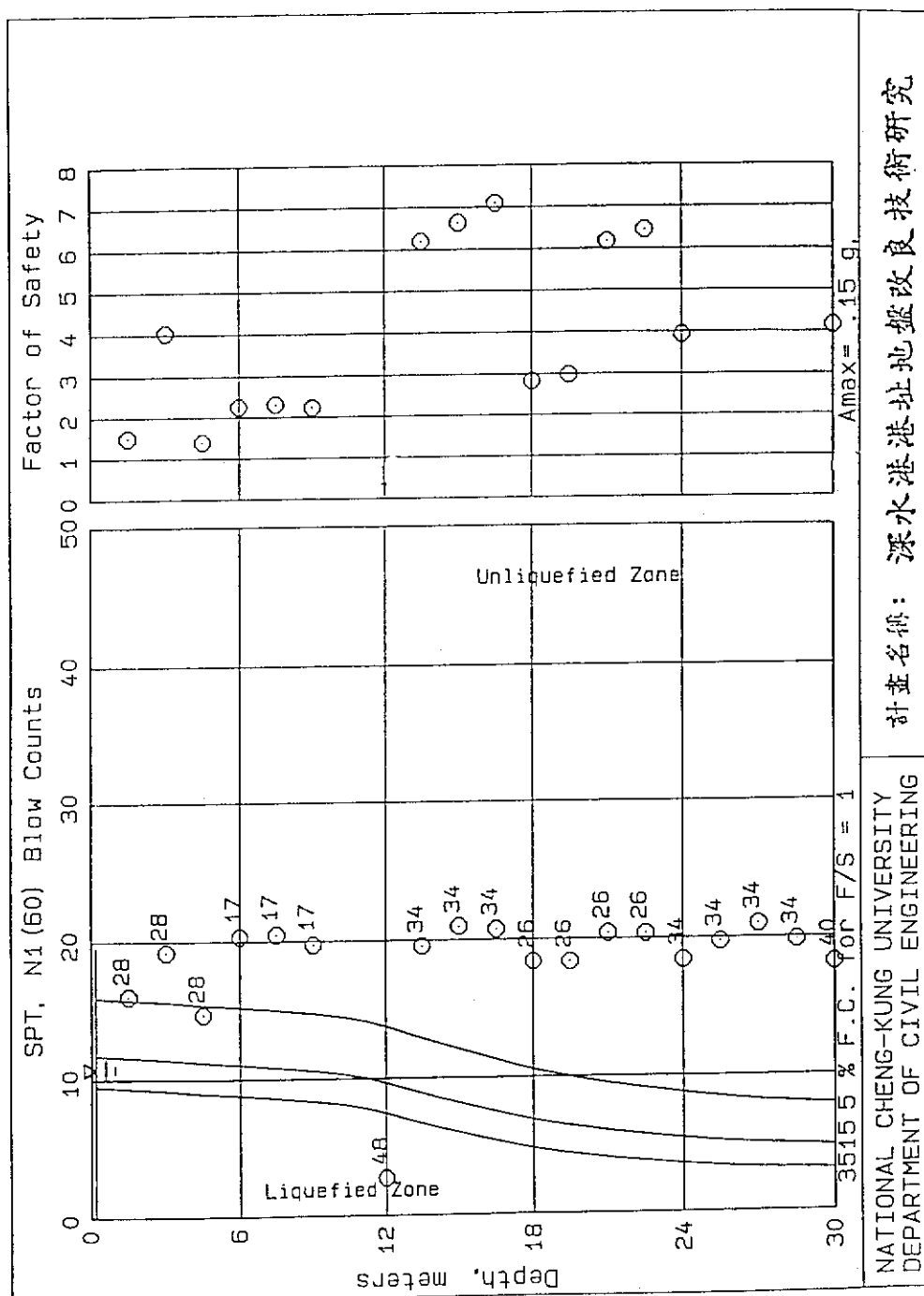


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-19)(五)

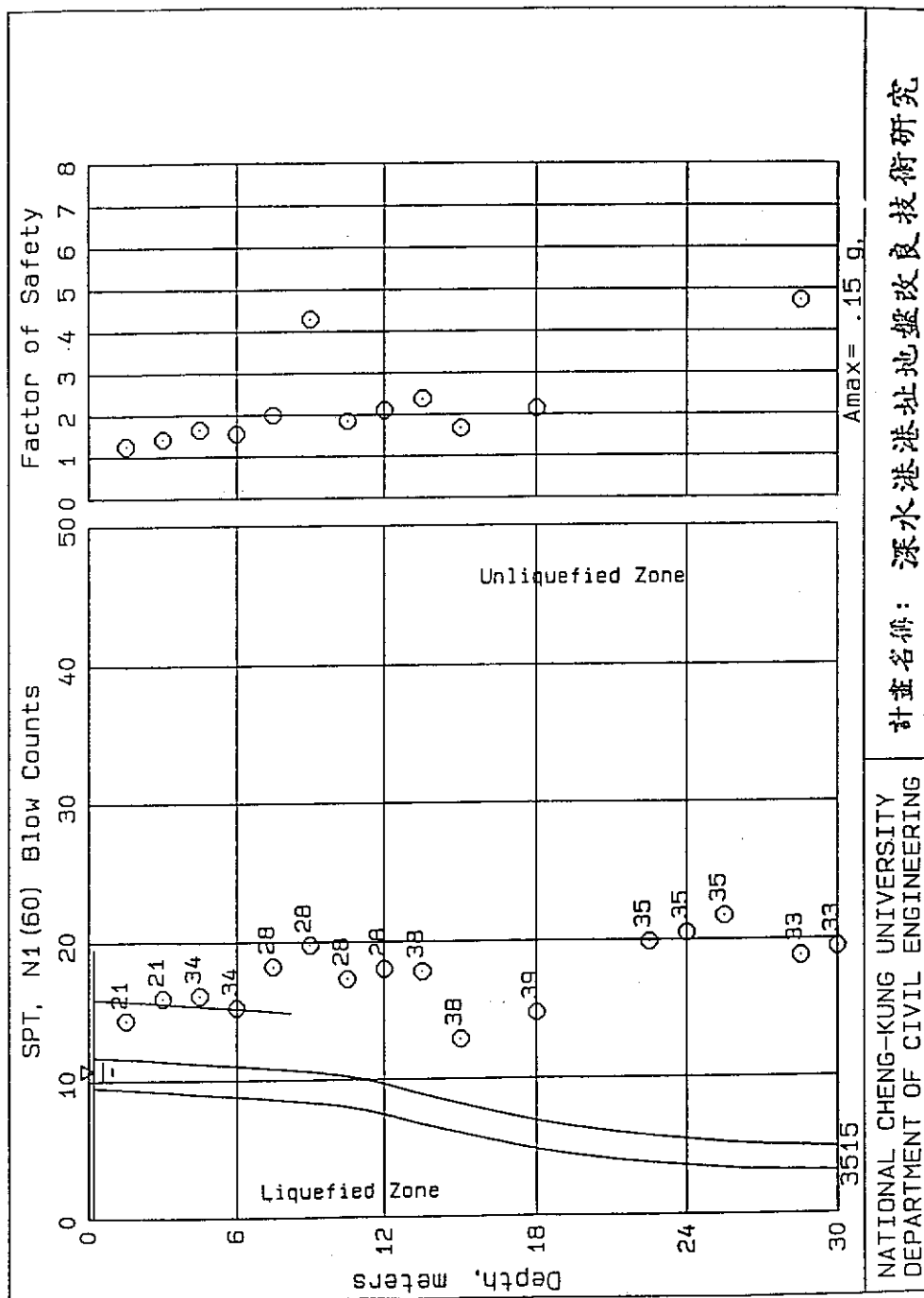


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-20)(六)

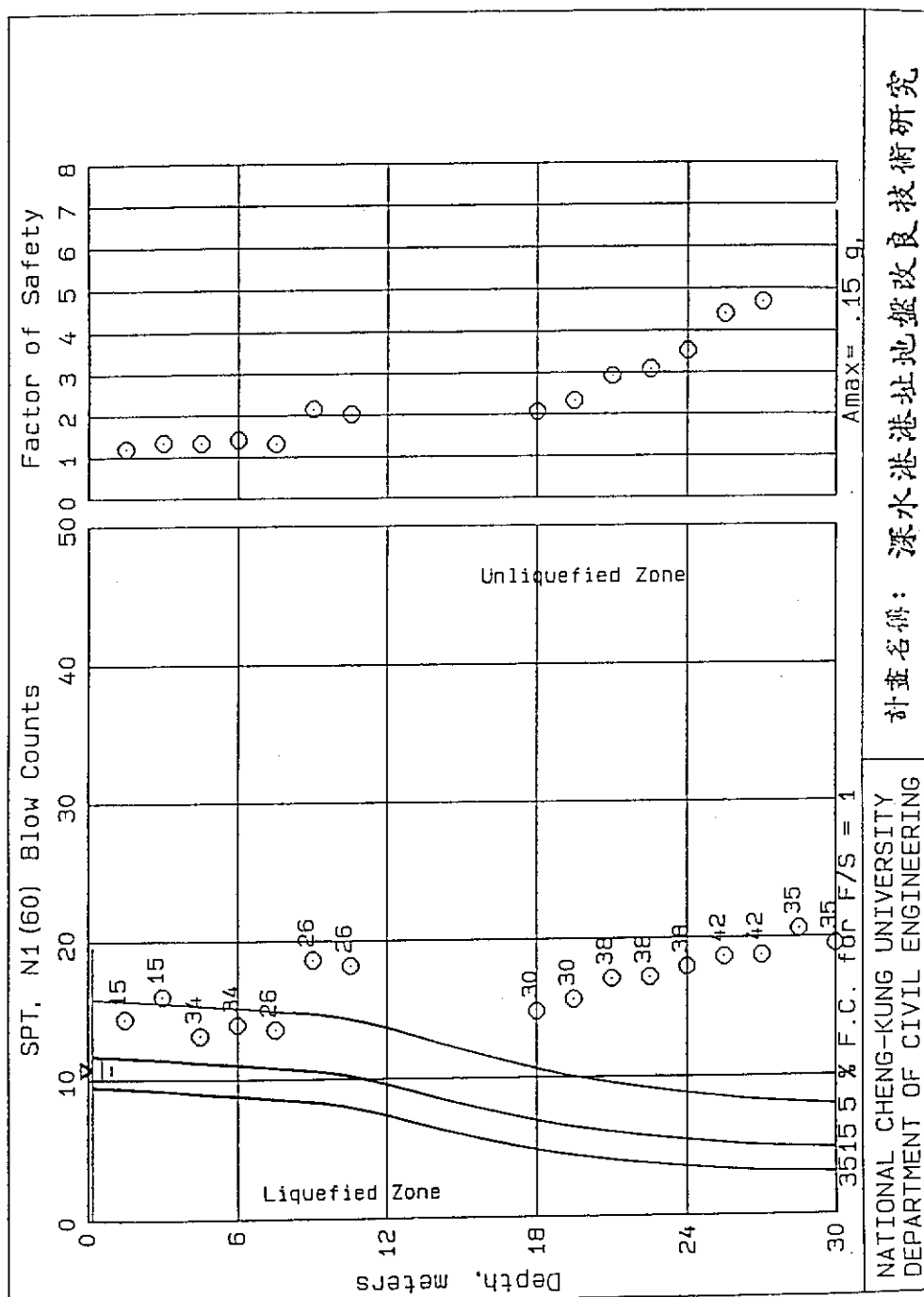


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-21)(七)

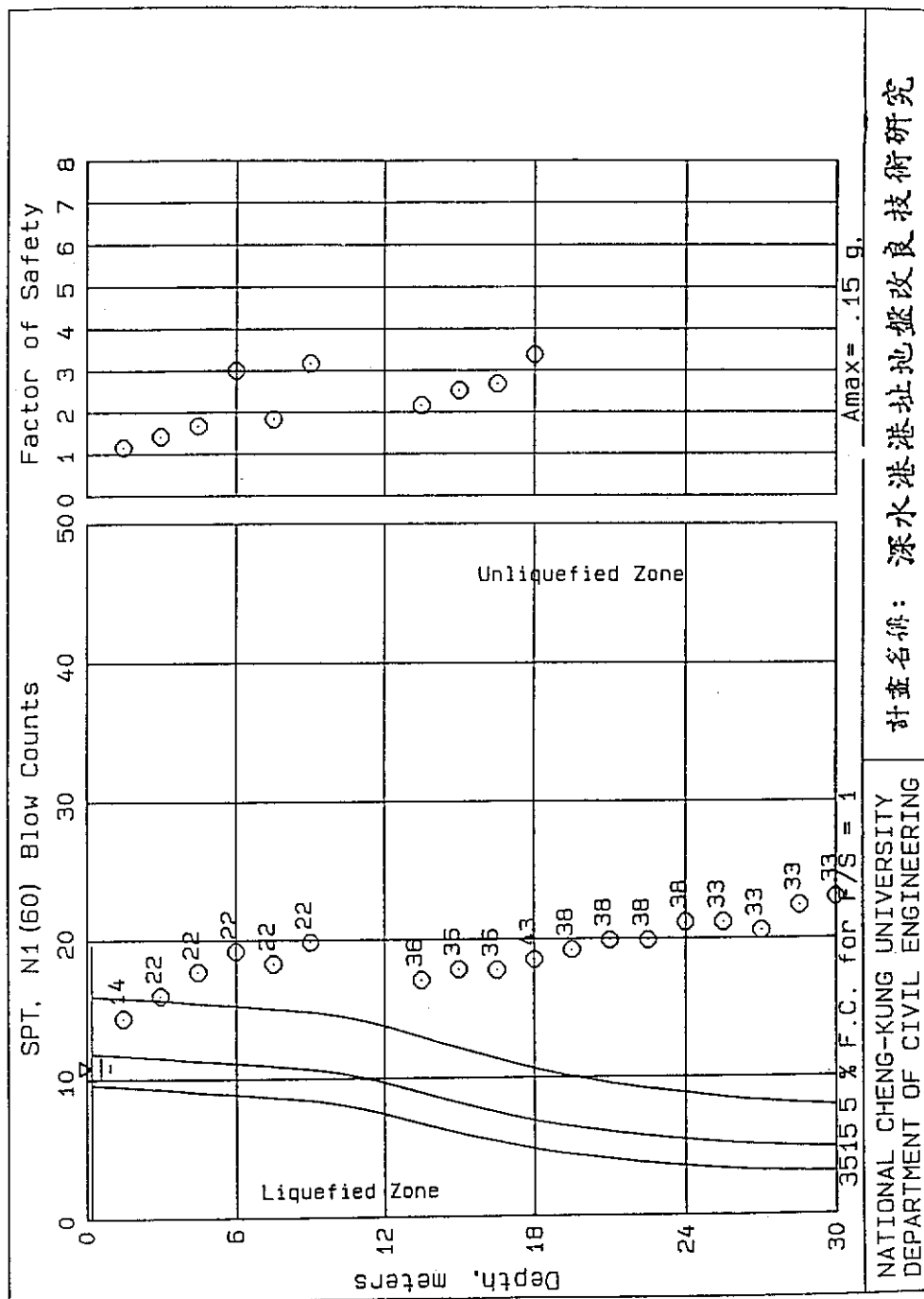


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-22)(八)

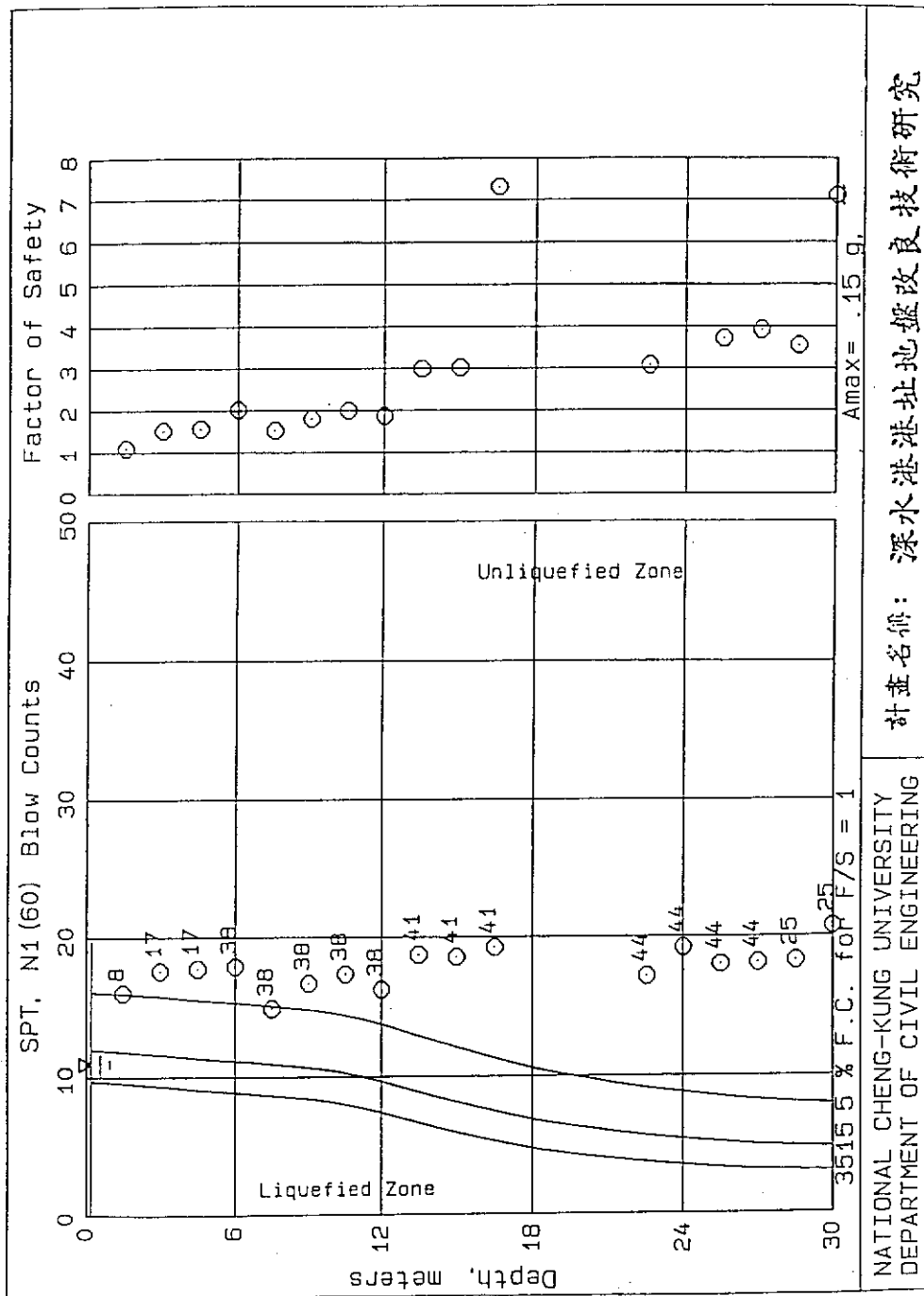


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-23)(九)

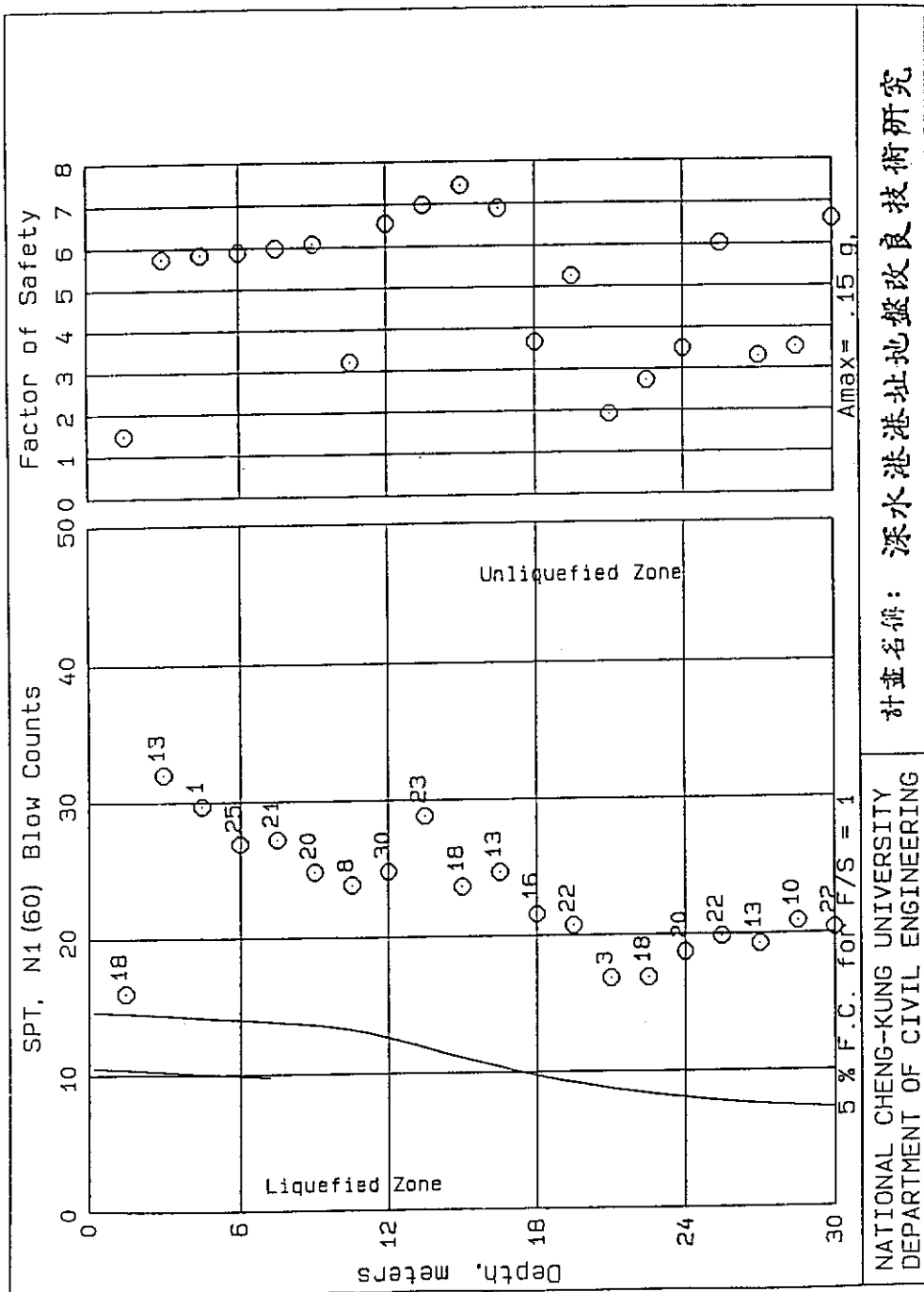


圖4-14 利用SPT-N值土層液化潛能分析(鑽孔BH-24)(十)

表4-1 高雄深水港港址地盤改良技術研究動力三軸試驗結果之液化評估 (一)

鑽孔：BH-1

試樣	Depth m	σ_o kPa	u kPa	$\bar{\sigma}_o$ kPa	γ_d	A _{max} g	τ_{ave} kPa	$\tau_{cy(eq)}$ kPa	C _t	$\tau_{cy(field)}$ kPa	F.S.	備註
B1T3	5.00 - 5.70	105.3	37.67	67.61	0.920	0.15	9.44	24.4 24.2	0.94	22.94 22.75	2.43 2.41	未擾動 重模
B1T6	11.00 - 11.70	222.3	96.53	125.77	0.830	0.15	17.98	39.5 32.2	0.94	37.13 30.27	2.06 1.68	未擾動 重模
B1T7	12.50 - 13.20	254.5	111.25	143.25	0.807	0.15	20.03	48.8 27.4	0.94	45.87 25.76	2.29 1.29	未擾動 重模

表4-1 高雄深水港港址地盤改良技術研究動力三軸試驗結果之液化評估 (二)

鑽孔：BH-2

試樣	Depth m	σ_o kPa	u kPa	$\bar{\sigma}_o$ kPa	γ_d	A _{max} g	τ_{ave} kPa	$\tau_{cy}(eq)$ kPa	C _t	$\tau_{cy}(field)$ kPa	F.S.	備註
B2T1	9.50 - 10.00	185.9	79.36	106.54	0.852	0.15	15.44	30.6 27.5	0.94	28.76 25.85	1.86 1.67	未擾動 重模
BA2T1	10.00 - 10.70	194.7	84.27	110.43	0.845	0.15	16.04	33.1 43.1	0.94	31.11 40.51	1.94 2.53	未擾動 重模
BA2T2	11.00 - 11.75	213.2	94.08	119.12	0.829	0.15	17.24	30.7 29.0	0.94	28.86 27.26	1.67 1.58	未擾動 重模

表4-1 高雄深水港港址地盤改良技術研究動力三軸試驗結果之液化評估 (三)

鑽孔：BH-3

試樣	Depth m	σ_o kPa	u kPa	$\bar{\sigma}_o$ kPa	γ_d	A_{max} g	τ_{ave} kPa	$\tau_{cy}(eq)$ kPa	C_t	$\tau_{cy}(field)$ kPa	F.S.	備註
B3T1	9.50 - 10.20	187.3	76.71	110.59	0.852	0.15	15.56	24.0 37.0	0.94	22.56 34.78	1.45 2.23	未擾動 重模
B3T2	11.00 - 11.70	217.0	91.43	125.57	0.830	0.15	17.55	34.5 26.3	0.94	32.43 24.72	1.84 1.41	未擾動 重模
B3T4	14.00 - 14.70	277.0	120.86	156.14	0.785	0.15	21.19	35.7 32.8	0.94	33.56 30.83	1.58 1.45	未擾動 重模

表4-1 高雄深水港港址地盤改良技術研究動力三軸試驗結果之液化評估 (四)

鑽孔：BH-4

試樣	Depth m	σ_o kPa	u kPa	$\bar{\sigma}_o$ kPa	γ_d	A _{max} g	τ_{ave} kPa	$\tau_{cy}(eq)$ kPa	C _t	$\tau_{cy}(field)$ kPa	F.S.	備註
B4T2	10.80 -	222.4	45.57	176.83	0.833	0.15	18.05	56.0	0.94	52.64	2.92	未擾動 重模
	11.50							43.3		40.70	2.25	
B4T4	14.0 -	280.3	76.93	203.37	0.785	0.15	21.45	52.2	0.94	49.07	2.29	未擾動 重模
	14.70							40.5		38.07	1.77	
B4T5	18.50 -	364.7	121.03	243.67	0.717	0.15	25.50	57.2	0.94	53.77	2.11	未擾動 重模
	19.20							49.5		46.53	1.82	

第五章 回填地盤承載力分析

第一節 承載力經驗公式的分析方法

一、基礎的型式介紹

一般將結構物的最下部份稱為基礎。它的功用是將結構物的荷重傳遞到賴以支承的土壤上。設計適當的基礎，可將荷重傳遞到全部土壤中而不致使土壤產生過量應力。若土壤中有過量應力發生，其結果不是土壤會起過多的沈陷，就是土壤產生剪力破壞。兩者均會危害到結構物。

基礎的型式很多，採用何者，將依所面臨的結構物與土壤而定。圖5-1所示為最普通的基礎型式。最簡單的擴展基腳，只將支承荷重的牆或柱予以擴大而成，這使結構物的荷重可散佈到較大面積土壤中。若土壤的承載量很低，則擴展基腳的尺寸需要很大，將不符實際需求。對於此種情況，一個較經濟的辦法是將整個結構物建在混凝土墊上，稱為筏式基礎。

對較重的結構物必需使用較深的基礎，樁(pile)與沈箱基礎以支承其荷重。基樁，由木材、混凝土或鋼所構成的結構構材，可傳遞上部結構的荷重到較低的土層。根據樁傳遞荷重的方式，可分為兩大類：摩擦樁與點承樁。就摩擦樁的情況，利用沿樁表面所產生的摩擦力以抵抗上部結構物的荷重，點承樁的情況，則用樁端傳遞荷重到堅硬土層。

在沈箱基礎的情況，是在下層土中挖掘一座豎井，隨後用混凝土回填。當挖掘豎井時，可用一個金屬套殼，它可留置在現場或在澆置混凝土時予以拔出。

一般將擴展基腳與筏式基礎，稱為淺基礎，而樁與沈箱則歸類為深基礎。

二、淺基礎的土壤極限承載量公式

(一) 極限承載重

為要了解土壤極限承載量的觀念與土壤剪力破壞的模式，先考慮圖5-2(a)所示，位在緊密砂層(或硬土壤層)表面寬度為 B 的長距形模擬基腳的情況。當每一單位面積的均一分佈荷重 q 作用在此模擬基礎時，土壤將會發生沈陷。若均一分佈荷重(q)逐漸增加，則基腳的沈陷量也將會逐漸增加，當達到 $q = q_u$ 時(見圖5-2(b))將發生承載量破壞-此基腳將在不需任何再增加 q 的情況下，經歷很大的沈

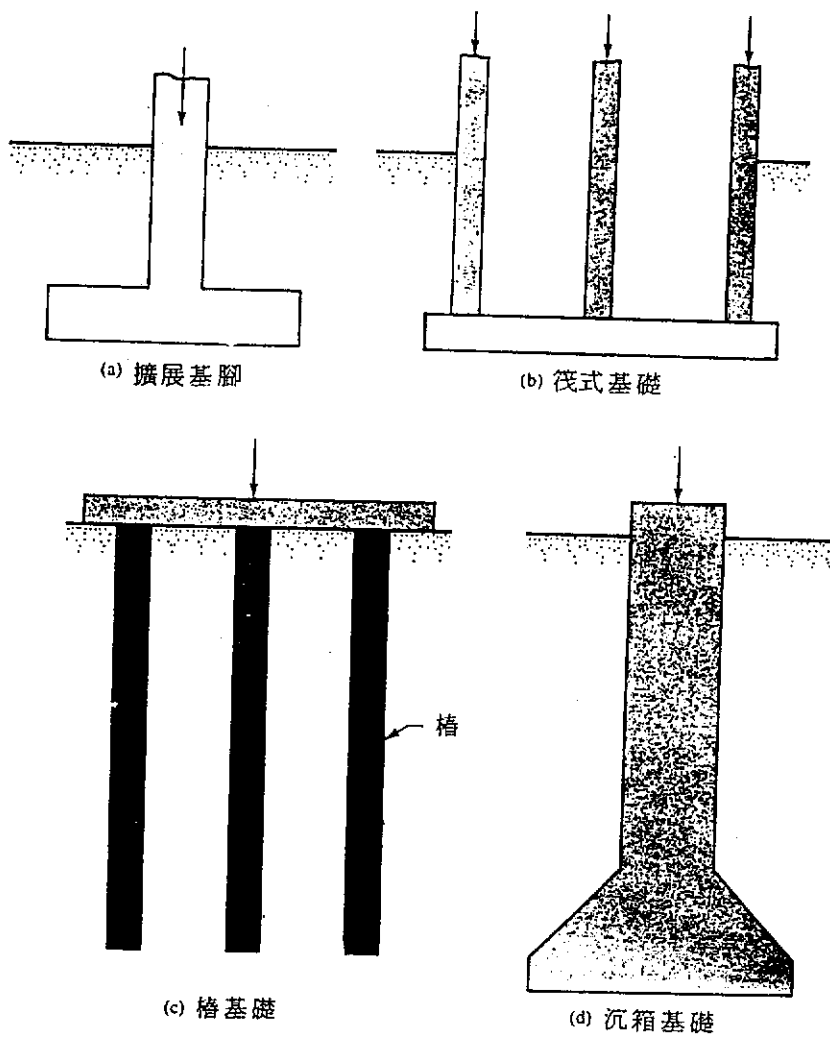


圖5-1 普通基礎的型式
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

陷，此時，在基礎兩邊的土壤將會隆起，而且滑動面將延伸到地表面。其荷重-沈陷量的關係如圖5-2(b)中曲線I所示。在此情況的 q_u ，被定義為土壤的極限承載量(ultimate bearing capacity)。

以上所描述的承載量破壞，稱為全面剪力破壞，其解釋可參考圖5-3(a)。當基礎在荷重作用下發生沈陷時，土壤的三角楔形區(標示I)被往下推，換句話說，它壓迫標示II與III區的土壤起側移與上推。在極限荷重 q_u 時，土壤進入塑性平衡狀態，並以滑動的形式發生破壞。

若上述模擬基腳試驗是在中等緊密砂層中進行，則荷重-沈陷量的關係，將如曲線II所示。當超過某值 $q = q'_u$ 時荷重-沈陷量的關係變得陡峭，並為直線。在此情況的 q'_u ，被定義為土壤的極限承載量。此種土壤破壞的型式，被稱為局部剪力破壞，如圖5-3(b)所示。其在基腳以下的三角楔形區(標示I)會向下移動，與全面剪力破壞不同的是滑動面會在土壤內某處終止。但仍可看到某些土壤隆起的跡象。

(二) Terzaghi的極限承載量公式

基腳土壤極限承載率，可利用承載理論來決定。因此提出破壞機構，並引起土壤破壞的壓力，用破壞時所發展的剪力強度與問題中的幾何因素來表示。有許多承載率的理論會被學者們提出，但對淺基腳而言，依Terzaghi學者1942年所提出的理論，最被廣泛地採用。

1921年Prandtl發表有關堅硬物體的研究結果，例如用金屬衝孔器貫入較軟的材料。Terzaghi(1942)擴展Prandtl的塑性破壞理論以計算淺帶狀基腳的土壤承載量。就實際上的考慮，一個長牆基腳(長與寬的比值大於5)，可稱為長條基腳(strip footing)。根據Terzaghi對淺帶狀基腳(見圖5-4)，他又假設在計算土壤的極限承載量時，基腳底部以上的土重可用一均一加載 $q = \gamma D_f$ 來取代。

Terzaghi學者極限承載率公式如(5-1)式所示：

條形基礎

$$q_{ult} = cN_c + \gamma zN_q + 0.5\gamma BN_r \quad (5-1a)$$

圓形基腳(Circular Footing)($B = \text{直徑}$)

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma zN_q + 0.3\gamma BN_r \quad (5-1b)$$

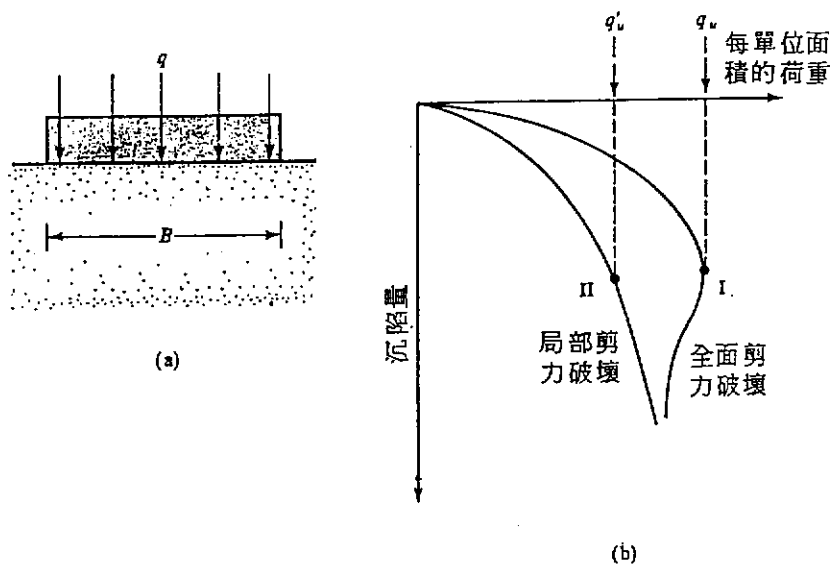


圖5-2 淺基礎的土壤極限承載量：(a) 模擬基腳 (b) 荷重-沈陷量的關係
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

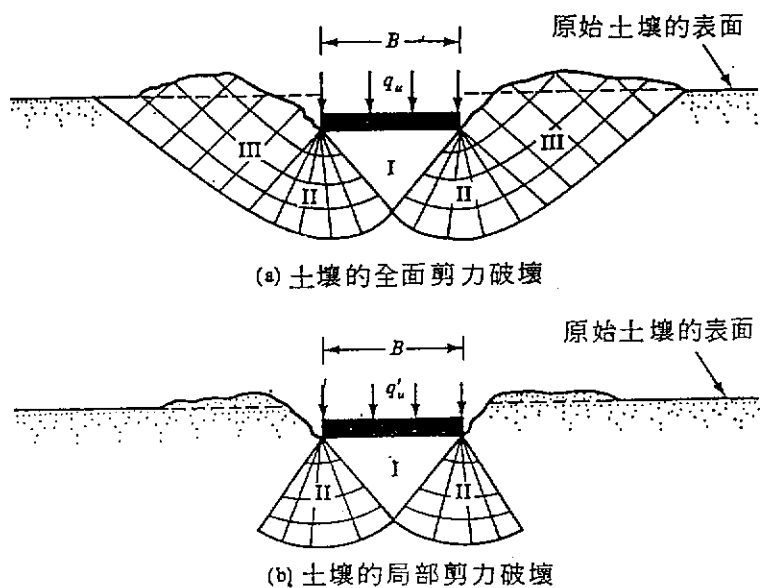


圖5-3 土壤承載量破壞的模式
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

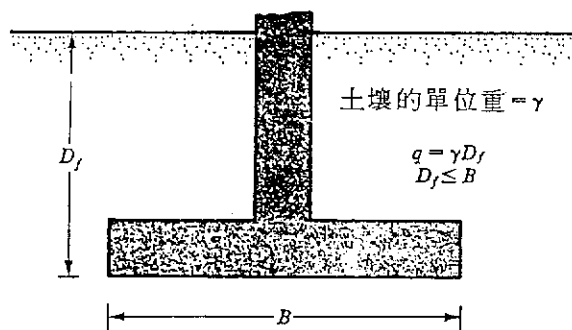


圖5-4 淺帶狀基腳

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

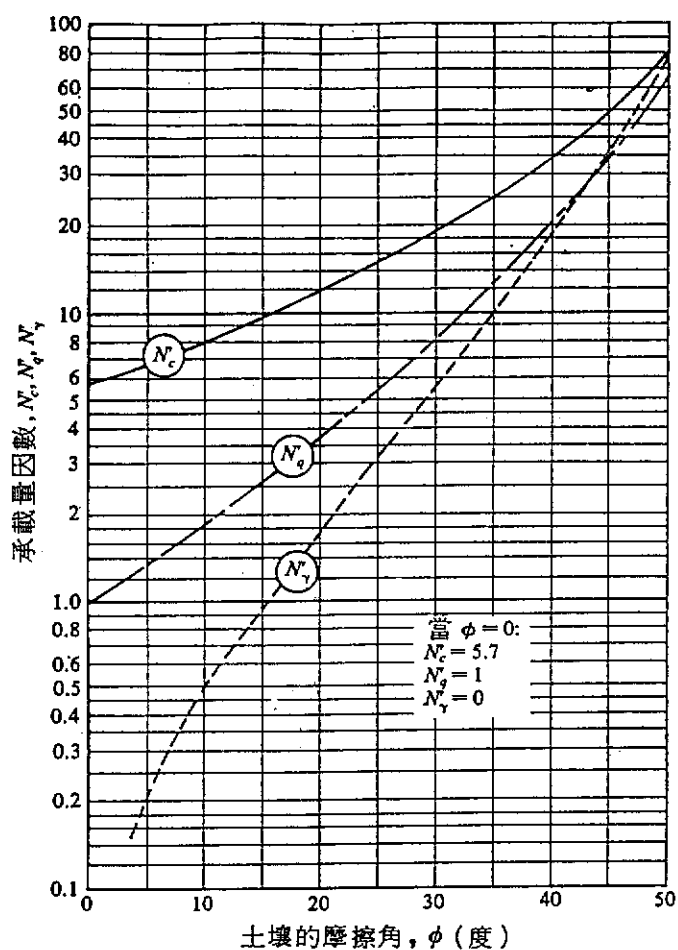


圖5-5 Terzaghi學者(1942年)承載量因數
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

表5-1 Terzaghi學者(1942年)承載量因數
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

ϕ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
N_c	5.7	7.3	9.6	12.9	17.7	25.1	37.2	57.8	95.7	172	348
N_q	1.0	1.6	2.7	4.4	7.4	12.7	22.5	41.4	81.3	173	415
N_γ	0.0	0.5	1.2	2.5	5.0	9.7	19.7	42.4	100	298	1153

方形基腳 (Square Footing)

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma zN_q + 0.4\gamma BN_r \quad (5-1c)$$

長方形基腳 (Rectangular Footing)

$$q_{ult} = cN_c \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) + \gamma zN_q + 0.5\gamma BN_r \left(1 - 0.2 \frac{B}{L}\right) \quad (5-1d)$$

上式中 c 為土壤的凝聚值(t/m^2)， γ 為土壤的單位重， z 為基礎底面離地表面深度(m)， N_c 、 N_q 和 N_r 為土壤的承載量因數，由土壤抗剪角決定，其值可從圖5-5和表5-1中求得。

(三) 一般的極限承載量公式

由Terzaghi發展的承載量式後，有數位在此領域的研究者，又發展出更精確的解(如Meyerhof, 1951；Lundgren與Mortensen, 1953；Balla, 1962等)。由不同的解分別示出承載量因數 N_c 與 N_q 的變化不大，但對已知的 ϕ 值而言，由不同的研究者所得的 N_r 值則變化範圍很大。因此，修正的一般極限承載量式可寫成

$$q_u = c\lambda_{cs}\lambda_{cd}\lambda_{ci}N_c + q\lambda_{qs}\lambda_{qd}\lambda_{qi}N_q + \frac{1}{2}\lambda_{rs}\lambda_{rd}\lambda_{ri}\gamma BN_r \quad (5-2)$$

上式中形狀、深度與傾斜因數值列於表5-2中，其承載量因數列於表5-3中。

(四) 偏心荷重之極限承載率公式

Meyerhof學者(1953年)曾提出，作用於基腳之荷重合力偏心時，而荷重面為長方形其寬為 B 和長為 L 之情況，如圖5-6所示偏心荷重作用， e_1 和 e_2 為 B 邊及 L 邊的偏心距離，因此假定

$$\left. \begin{aligned} B' &= B - 2e_1 \\ B' &= B - 2e_2 \end{aligned} \right\} \quad (5-3a)$$

其有效面積

$$A' = B' \times L' \quad (5-3b)$$

表5-2 形狀、深度與傾斜因數值

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

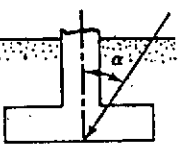
矩形基腳的形狀因數 (B = 基腳寬度 ; L = 基腳長度)	
$\lambda_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_c}{N_q}\right)$	
$\lambda_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)(\tan \phi)$	
$\lambda_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$	
方形與圓形基腳的形狀因數	
$\lambda_{cs} = 1 + \frac{N_c}{N_q}$	
$\lambda_{qs} = 1 + \tan \phi$	
$\lambda_{\gamma s} = 0.6$	
對 $\frac{D_f}{B} \leq 1$ 的深度因數	
$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{D_f}{B}\right)$	
$\lambda_{cd} = \lambda_{qd} - \frac{1 - \lambda_{qd}}{N_q \cdot \tan \phi}$	
$\lambda_{\gamma d} = 1$	
對 $\phi = 0$ 的深度因數	
$\lambda_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right)$	
對 $\frac{D_f}{B} > 1$ 的深度因數	
$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$	
$\lambda_{cd} = \lambda_{qd} - \frac{1 - \lambda_{qd}}{N_q \cdot \tan \phi}$	
$\lambda_{\gamma d} = 1$	
對 $\phi = 0$ 的深度因數	
$\lambda_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$	
傾斜因數	
$\lambda_{cs} = \left(1 - \frac{\alpha^2}{90^\circ}\right)^2$ $\lambda_{qs} = \left(1 - \frac{\alpha^2}{90^\circ}\right)^2$ $\lambda_{\gamma s} = \left(1 - \frac{\alpha^2}{\phi^2}\right)^2$	

表5-3 一般極限承載量因數*

(取自基礎工程學·金永斌·民國75年6月)

ϕ (1)	N_c (2)	N_q (3)	N_γ (4)	N_q/N_c (5)	$\tan \phi$ (6)
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19

* 取自 Vesic, 1973

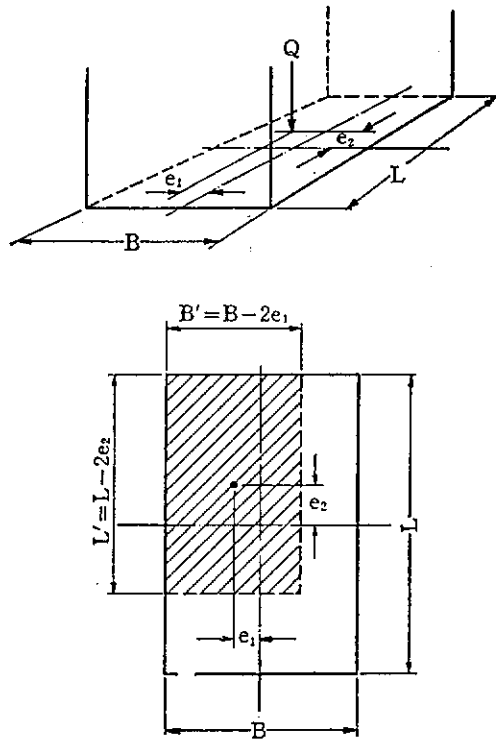


圖5-6 長方形之基腳承受偏心荷重情形
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

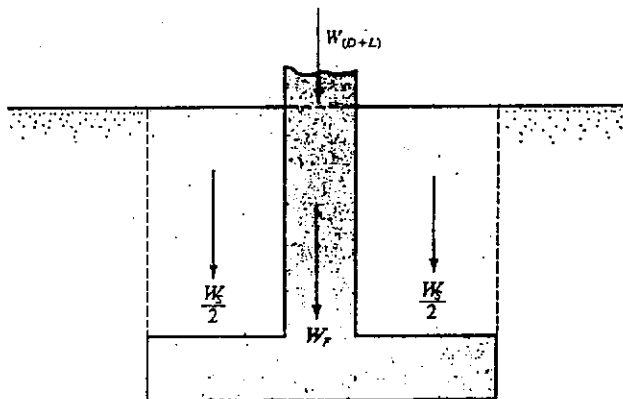


圖5-7 基礎承載總重
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

(五) 安全係數

就一般而言，取土壤極限承載量的安全係數 F_s 約為3作為容許的承載量。此做法並不認為太保守。因在自然界的土壤，既不是均質的，也不是等向的，且在估計土壤的基本剪力強度參數時，就包含大量的不確定性。

淺基礎的容許承載量，計有三種不同的定義。分別為總容許承載量、淨容許承載量與關於剪力破壞安全係數的總容許承載量。

總容許承載量 q_{all} ，可被計算成

$$q_{all} = \frac{q_u}{F_s} \quad (5-4)$$

由式(5-4)所定義的為每單位面積的容許荷重。基礎下的土壤在此容許荷重作用下，應可避免任何承載量破壞的機會，它包括的基本總重計有(見圖5-7)(a)地表面以上的呆重與活重 $W_{(D+L)}$ ；(b)基礎的自重 W_F ；與(c)緊臨基礎上方的土重 W_s 。因此得

$$q_{all} = \frac{q_u}{F_s} = \left[\frac{W_{(D+L)} + W_F + W_s}{A} \right] \frac{1}{F_s} \quad (5-5)$$

其中 A 為基礎的面積。

淨容許承載量，為基礎每單位面積的容許荷重，需將在基礎面處已存在垂直有效應力 $q = \gamma D_f$ 扣除。故淨極限荷重為

$$q_{u(net)} = q_u - q \quad (5-6)$$

因此

$$q_{all(net)} = \frac{q_{u(net)}}{F_s} = \frac{q_u - q}{F_s} \quad (5-7)$$

若假設在基礎底面上構成基礎的混凝土與土壤的單位重近似的相等，即

$$q = \gamma D_f \equiv \frac{W_s + W_F}{A}$$

因此得

$$q_{all(net)} = \frac{W_{(D+L)}}{A} = \frac{q_u - q}{F_s} \quad (5-8)$$

總容許承載重，可用在土壤剪力強度的安全係數求得，其程序如下：

(1) 計算

$$c_d = \frac{c}{F_s} \quad (5-9)$$

其中 c_d 為發展的凝聚力(developed cohesion)。

(2) 計算

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi}{F_s} \quad (5-10)$$

其中 ϕ_d 為發展的土壤抗剪角。

(3) 利用式(5-1)或式(5-2)，並用 c_d 與 ϕ_d 為土壤剪力強度參數計算基礎的總容許承載量。例如根據Terzaghi式求連續基礎的總容許承載量，可寫成

$$q_{all} = c_d N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_r \quad (5-11)$$

N_c 、 N_q 和 N_r 為對抗剪角 ϕ_d 的承載量因數。

在許多情況，對總與淨極限承載量的安全係數為3到4，對剪力破壞的安全係數，則用2到3即可。

此外，有關基礎容忍沈陷量的因素，必需牢記。在砂質土壤中，極限荷重 q_u (或 q'_u)時所得基腳的沈陷量，可能為 B (基腳的寬度)的5%到25%。在黏土時，可能為 B 的3%到15%。因此，對大尺寸的基腳，在極限荷重時沈陷可能太大，以致危及結構物的安全性。

三、在層狀土壤上的淺基礎承載量公式

到目前為止，僅考慮在淺基礎下均質土壤的荷重承載量。但若基腳座落在層狀土層上，且基礎底面所在的頂層厚相對為小。因此，在極限荷重時，土壤中的破壞線將通過較下層的土壤。在此情況，上層與下層土壤的性質必需分別列入考慮。有關層狀土壤上基礎的極限承載量研究非常有限，若干部份情況將在下列三小節中作簡要討論。

(一) 在層狀黏土上基礎的承載量

Button (1953) 與 Reddy 及 Srinivasan (1967) 曾研究層狀黏土 ($\phi = 0$ 觀念) 上淺基礎的土壤極限承載量。圖5-8所示為研究在長條基腳下的基本的土壤破壞機構。其中 $c_{u(1)}$ 與 $c_{u(2)}$ 分別為土層I與II的不排水凝聚力。I層與II層間的交界面位在基腳底面下距離 d 處。假設破壞面為圓柱形，對等向土壤的極限承載量 q_u ，可為

$$q_u = c_{u(1)} N_c \quad (5-12)$$

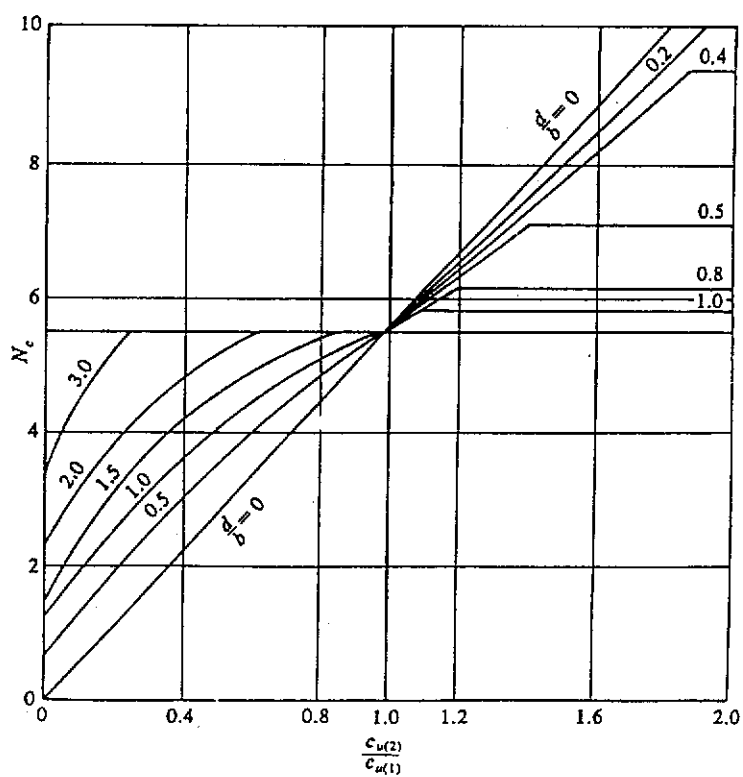
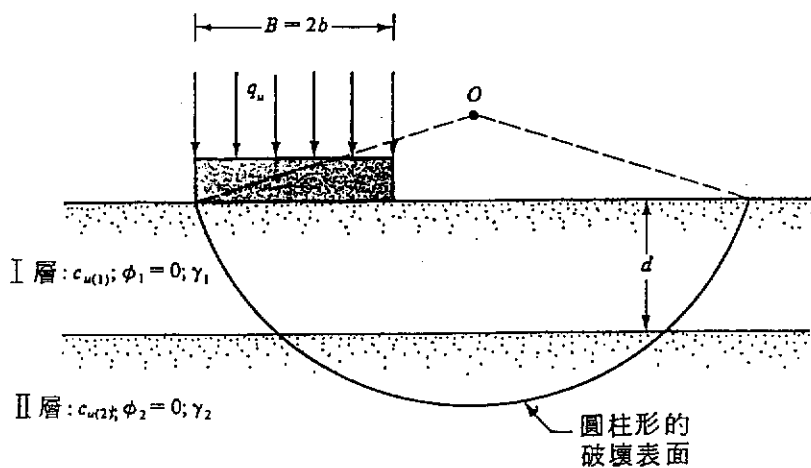
其中 N_c 為承載量因數，並為 $(c_{u(1)})/(c_{u(2)})$ 與 d/b 的函數(注意： $d = B/2$)。

圖5-9分別列出其 N_c 值。

(二) 在層狀砂土的基礎-緊密層覆蓋疏鬆層

Meyerhof 與 Hanna (1978)，曾建議一簡單理論以決定座落在上層緊密砂下層疏鬆砂基礎來說明。當上層緊密砂的深度相當厚時，如圖5-10的右邊所示，則在基礎下土內的破壞表面將全部在緊密砂內。對此種情況

$$q_u = q_{u(t)} = \gamma_1 D_f N_{q(t)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{r(t)} \quad (\text{對於長條基礎}) \quad (5-13a)$$



$$q_u = q_{u(t)} = \gamma_1 D_f N_{q(1)} + 0.3 \gamma_1 B N_{r(1)} \quad (\text{對於圓形或方形基礎}) \quad (5-13b)$$

$$q_u = q_{u(t)} = \gamma_1 D_f N_{q(1)} + \frac{1}{2} [1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)] \gamma_1 B N_{r(1)} \quad (\text{對於矩形基礎}) \quad (5-13c)$$

其中 γ_1 為上層土(在此情況為緊密砂層)的單位重， $N_{q(1)}$ 與 $N_{r(1)}$ 為有關土壤摩擦角 ϕ_1 的承載量因數(見表5-1)。

若基礎下緊密砂層的厚度 H 相當小，則在緊密砂層中會發生衝孔(punching)破壞，而在下面(或較軟弱)的砂層中發生全面剪力破壞，如圖5-10的左邊所示，對此種情況，基礎的極限承載量可為

(對於長條基礎)

$$q_u = q_{u(b)} + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) K_s \frac{\tan \phi_1}{B} - \gamma_1 H \leq q_{u(t)} \quad (5-14a)$$

(對於方形或圓形基礎)

$$q_u = q_{u(b)} + 2\gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \left(\frac{K_s \tan \phi_1}{B}\right) \lambda'_s - \gamma_1 H \leq q_{u(t)} \quad (5-14b)$$

(對於矩形基礎)

$$q_u = q_{u(b)} + \left(1 + \frac{B}{L}\right) \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \left(\frac{K_s \tan \phi_1}{B}\right) \lambda'_s - \gamma_1 H \leq q_{u(t)} \quad (5-14c)$$

其中 K_s 為衝孔剪力係數， λ'_s 為形狀因數， $q_{u(b)}$ 為底層土壤的極限承載量。形狀因數 λ'_s 值，可取近似值1。衝孔剪力係數為

$$K_s = f(\gamma_1, \gamma_2, N_{r(1)}, N_{r(2)}) \quad (5-15)$$

其中 γ_2 為較低砂層的單位重， $N_{r(2)}$ 為對土壤摩擦角 ϕ_2 的承載量因數。

圖5-11所示 K_s 的變化，在式(5-14)中的 $q_{u(b)}$ ，可得下列關係式

(對於長條基礎)

$$q_{u(b)} = \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{r(2)} \quad (5-16a)$$

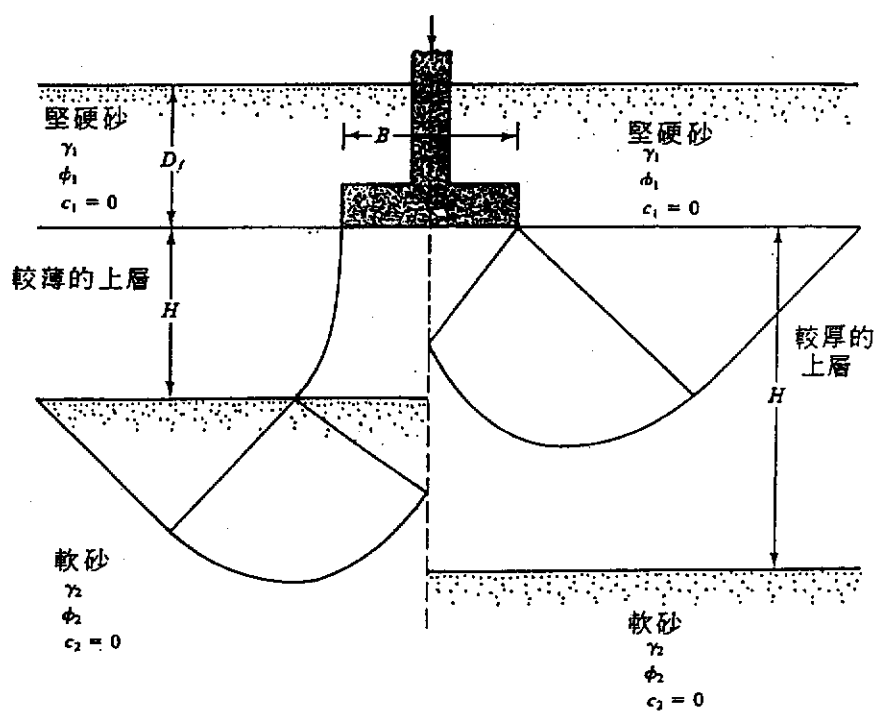


圖5-10 在層狀砂的承載量-上層為堅硬砂，下層為軟砂
 (取自Das, 1990)

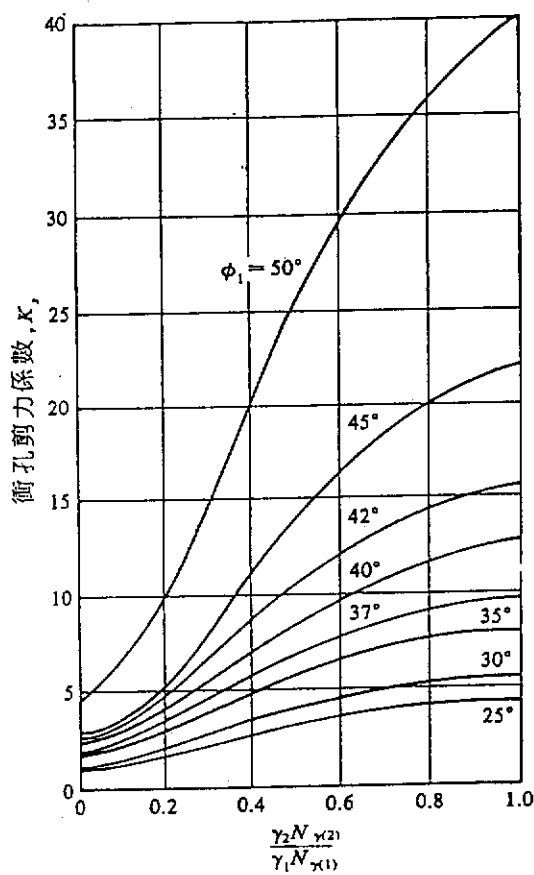


圖5-11 K_s 與 $\gamma_2 N_{\gamma(2)} / \gamma_1 N_{\gamma(1)}$ 的關係
(取自Das, 1990)

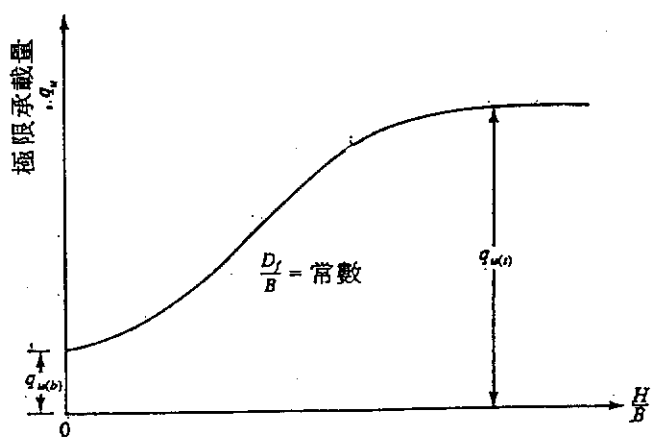


圖5-12 極限承載量與 H/B 的關係-層狀的砂(緊密砂在頂部與疏鬆砂在底部)
(取自Das, 1990)

(對於方形或圓形基礎)

$$q_{u(b)} = \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} + 0.3 \gamma_2 B N_{r(2)} \quad (5-16b)$$

(對於矩形基礎)

$$q_{u(b)} = \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} + \frac{1}{2} [1 - 0.4 (\frac{B}{L})] \gamma_2 B N_{r(2)} \quad (5-16c)$$

對一個已知層狀土壤，在圖5-12中所示 q_u 與 H/B 的關係

(三) 在層狀砂上的基礎-疏鬆層覆蓋緊密層

圖5-13所示，為上層疏鬆砂下層為緊密砂所支承的長條基礎。在支承基礎的土壤中可發現兩種型式的破壞表面，依 H/B 的大小而定。以下將敘述此兩種情況。

(1) 若基礎底面下疏鬆砂層的厚度 H 較基礎的寬度(B)為大時，則土壤破壞面將全部在較軟土層中(見圖5-13的右半部)。

對於這種情況

(對於長條基礎)

$$q_u = q_{u(r)} = \gamma_1 D_f N_{q(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{r(1)} \quad (5-17a)$$

(對於方形或圓形基礎)

$$q_u = q_{u(r)} = \gamma_1 D_f N_{q(1)} + 0.3 \gamma_1 B N_{r(1)} \quad (5-17b)$$

(對於矩形基礎)

$$q_u = q_{u(r)} = \gamma_1 D_f N_{q(1)} + \frac{1}{2} [1 - 0.4 (\frac{B}{L})] \gamma_1 B N_{r(1)} \quad (5-17c)$$

其中 γ_1 為上層土的單位重， $N_{q(1)}$ 與 $N_{r(1)}$ 為有關土壤摩擦角 ϕ_1 的承載量因數。

(2) 當厚度 H 較基礎寬度 B 為小時，則土壤中的破壞表面將通過頂部與底部土層，如圖5-13的左半部所示，依此種條件可得(Meyerhof與Hanna, 1978)

$$q_u = q_{u(r)} + (q_{u(b)} - q_{u(r)}) (1 - \frac{H}{H_f})^2 \quad (5-18a)$$

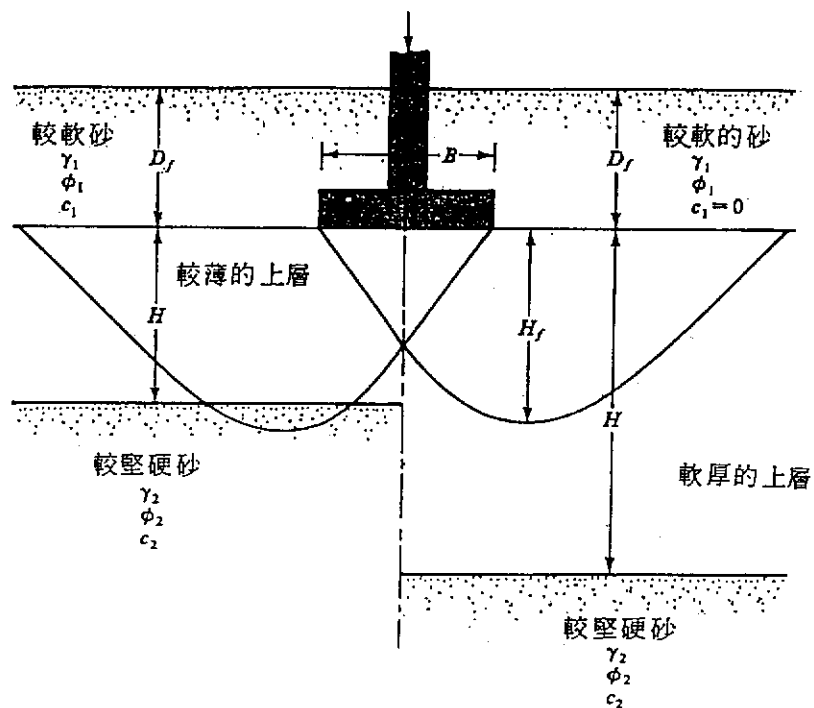


圖5-13 在層狀砂的承載量-上層為軟砂，下層為堅硬砂
(取自Das, 1990)

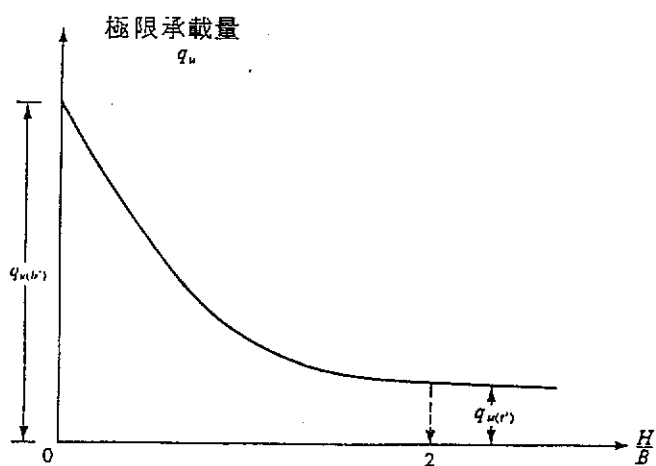


圖5-14 極限承載量與H/B的關係-層狀的砂(疏鬆砂在頂部與緊密砂在底部)
(取自Das, 1990)

其中

(對於長條基礎)

$$q_{u(b)} = \gamma_2 D_f N_{q(2)} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{r(2)} \quad (5-18b)$$

(對於方形或圓形基礎)

$$q_{u(b)} = \gamma_2 D_f N_{q(2)} + 0.3 \gamma_2 B N_{r(2)} \quad (5-18c)$$

(對於矩形基礎)

$$q_{u(b)} = \gamma_2 D_f N_{q(2)} + \frac{1}{2} \left[1 - 0.4 \left(\frac{B}{L} \right) \right] \gamma_2 B N_{r(2)} \quad (5-18d)$$

其中 γ_2 為底層土壤的單位重， $N_{q(2)}$ 與 $N_{r(2)}$ 為有關土壤摩擦角 ϕ_2 的承載量因數， H_f 為當基礎位在厚的疏鬆砂層時，破壞表面在基礎底面以下的深度。

就所有實際目的， H_f 可取為 $2B$ 。注意：(5-18a) 有一極限範圍為

$$q_{u(r)} \leq q_u \leq q_{u(b)} \quad (5-18e)$$

圖5-14所示為 q_u 與 H/B 間的關係。

第二節 工地試驗結果的分析方法

一、工地平板載重試驗

在某種情況，可由工地平板載重試驗以決定基礎的土壤承載量。如圖5-15所示，本試驗可使用152.4 mm到762 mm的圓形鋼承板與304.8 mm見方的方形板。

為要執行此一試驗需挖掘一深度 D_f 的小坑，試驗坑的寬度必需至少為此試驗所用承載板寬度的四倍。試驗時，承載板置在坑底的土壤上，一個增加的荷重作用在承板上。在施行增加荷重後，必需有足夠時間容許沈陷發生。當承載板的沈陷量變到可以忽略時，再加另一增加荷重。用此方式進行，可得一荷重-沈陷量圖，如圖5-16所示。

利用工地荷重試驗的結果，可近似的計算實際基腳的土壤極限承載量如下：

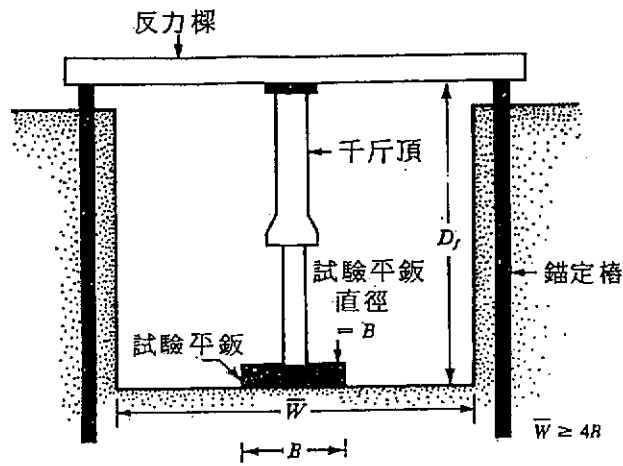


圖5-15 工地平板載重試驗

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

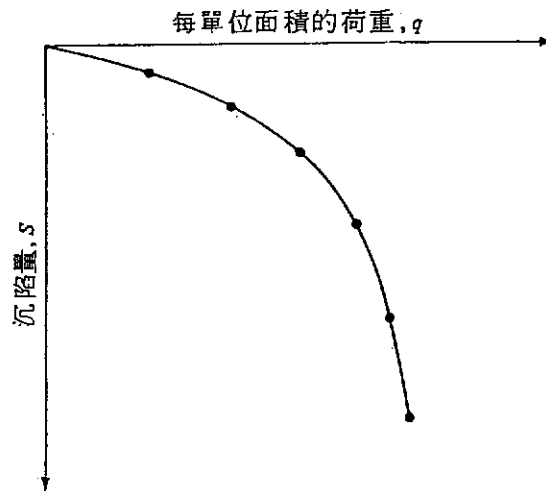


圖5-16 由平板載重試驗所得的典型荷重-沉陷量曲線

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

對黏土：

$$q_{uf} = q_{ub} \quad (5-19a)$$

對砂質土壤：

$$q_{uf} = q_{ub} \frac{B_f}{B_b} \quad (5-19b)$$

其中下標f和b分別代表基腳和平板。

對一已知荷重強度q而言，由下式亦可近似計算實際基腳的沈陷量為

對黏土：

$$S_f = S_b \frac{B_f}{B_b} \quad (5-19c)$$

對砂質土壤：

$$S_f = S_b \left[\frac{2B_b}{B_b + B_f} \right]^2 \quad (5-19d)$$

Housel(1929)亦建議對已知沈陷量S，可求得座落在凝聚性土壤上基腳的土壤承載量。根據此程序，由面積A與周長P的基腳所支承的總荷重為

$$Q = Aq + Ps \quad (5-20)$$

其中q為基腳以下的壓縮應力，s為在周邊的單位剪應力。q和s為兩個未知數，必需由兩個不同尺寸的平板進行試驗的結果求得。

二、由標準貫入試驗N值求承載率公式

Terzaghi學者(1942年)曾討論各種基腳寬度與N值，其容許沈陷量25 mm時，對容許土壤容許承載率的曲線，並由Teng學者(1962年)提出接近曲線的方程式

$$q_a = 3.45(N-3)\left(\frac{0.305B+1}{0.7B}\right)^2 (T/M^2) \quad (5-21)$$

Meyerhof(1974年)提出與上式相似方程式

$$q_a = 1.2N (T/M^2), \quad B \leq 1.22 \text{ m} \quad (5-22a)$$

$$q_a = 0.8N\left(\frac{0.305B+1}{0.305B}\right)^2 (T/M^2), \quad B > 1.22 \text{ m} \quad (5-22b)$$

Meyerhof(1974年)所提出的以上二式，其關係曲線如圖5-16表示。該圖中曲線為其容許沈陷量為25 mm時，而基腳埋置深度的修正，可使用下列方程式

$$q_a (\text{modified}) = q_a (\text{curve})\left(1 + 33\frac{D}{B}\right) \quad (5-23a)$$

由標準貫入試驗N值，也可概略估計黏性土壤的無旁束壓縮強度 q_u 值

$$\begin{aligned} & \text{(黏土)} \\ q_u &= \frac{N}{8} \end{aligned} \quad (5-23b)$$

$$\begin{aligned} & \text{(沈泥質黏土)} \\ q_u &= \frac{N}{10} \end{aligned} \quad (5-23c)$$

而凝聚力 $C = q_u/2$ ，此值可代入承載率公式，以估計黏土的極限承載率。

三、荷蘭圓錐貫入試驗 C_r 值作砂土承載率估計

使用圓錐貫入試驗儀推求土壤的性質，是以60度的圓錐頭(底面積 10 cm^2)，以靜壓力系統貫入未受擾動土層，求取每20 cm深度處的端點阻力 q_c 值的大小，而予以瞭解土層的分類及特性。依歐洲學者的使用經驗所指出，淺基腳的地基土層的容許承載率 q_a ，約為荷蘭式貫入儀求得端點阻力 q_c 值的十分之一，即

$$q_a = \frac{q_c}{10} \quad (5-24)$$

若考慮基腳寬度與深度的影響，則圓錐貫入試驗的端點阻力 q_c 值與基腳地基土層的容許承載率 q_a 的關係如圖5-17所示。 q_c 值與標準貫入試驗 N 值之關係如表5-4所示。

表5-4 荷蘭式圓錐貫入試驗 $q_c(\text{kg/cm}^2)$ 值與標準貫入試驗 N 值之關係
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

土 壤 種 類	q_c/N
沈泥、砂質沈泥及具有少量黏土之沈泥與砂之混合土壤	2.0
潔淨之細砂至中砂，沈泥質細砂	3.5
粗砂及含礫石之砂土	5.0
含砂質之礫石或礫石	6.0

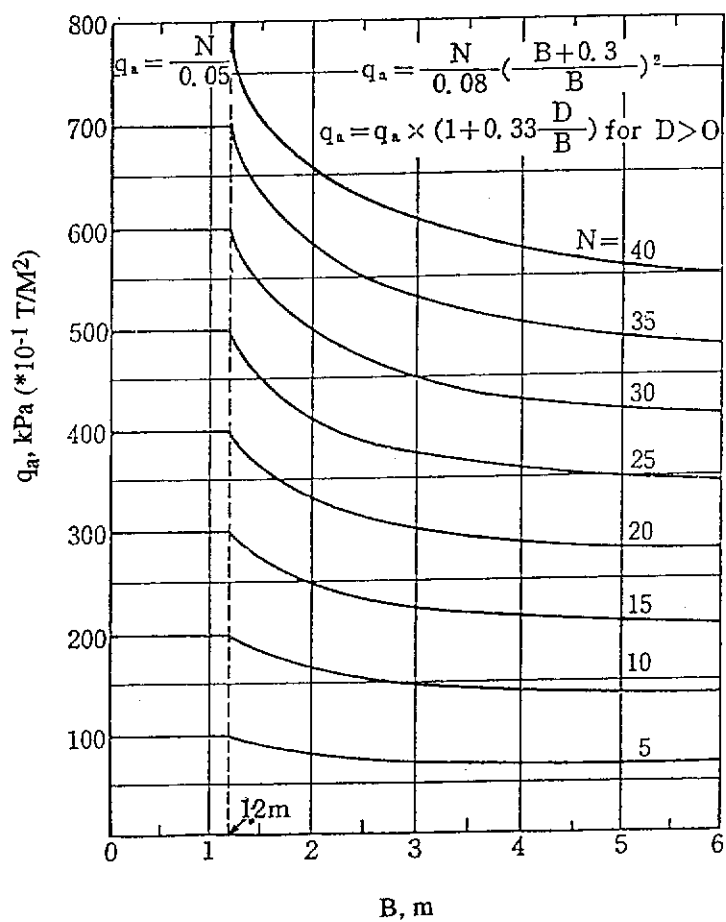


圖5-17 荷蘭式圓錐貫入試驗 q_c 值，基腳大小及深度與容許承載率間之關係
(取自Das, 1990)

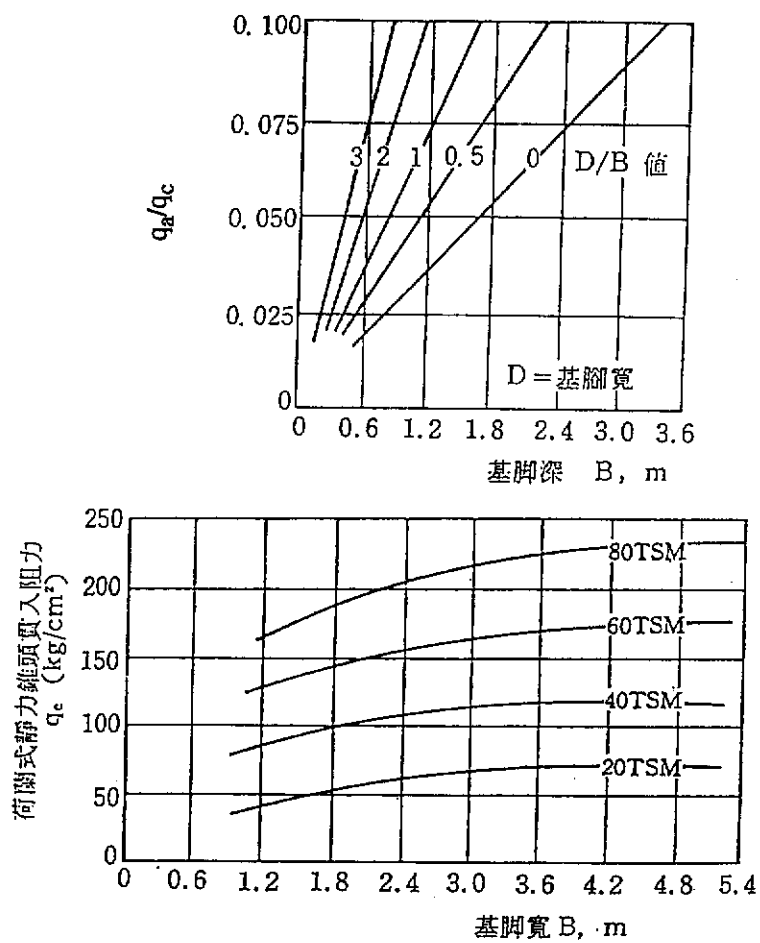


圖5-18 荷蘭式圓錐貫入試驗 q_c 值，基腳大小及深度與容許承載率間之關係
(取自Das, 1990)

第三節 樁基礎承载力之分析

一、基樁之功用

依基樁之用途，基樁具有下列的功用：

(i) 利用基樁之端點承载力，將結構物載重，自軟弱土層或深水中，傳遞至適當的支承層中。

(ii) 利用基樁樁身周緣摩擦阻力，將結構物載重，傳遞於某一厚度的黏土層上。

(iii) 夯實鬆疏粒砂土層，增加其承载力。

(iv) 於土層有被沖失之虞處，由基樁將結構物載重傳遞至沖刷深度以下，以策安全。

(v) 將結構物由基樁錨定，使能承受因水壓力或傾覆力矩所導致的上揚力。

(vi) 利用錨定樁來抵抗水力推力，如由深開挖時，圍以板樁或橋臺側向的水平土壓力所產生的水平推力。

(vii) 保護水中結構物，如棧橋等，抵抗船隻或海中飄浮物的碰擊。

(viii) 抵抗水平力或傾斜力。

基樁之型式分別介紹如圖5-19所示。

二、基樁之種類

基樁可依使用材料而分為(1)木樁，(2)混凝土樁，(3)鋼樁，和(4)合成樁四種。

(一) 木樁

木樁為用於水中或水面基腳之最古老材料，如樁上湖居房屋、樁式建築物、穿過泥沼之臺架、橋樑等。

木樁為取自森林地區的樹幹，良好的木樁必須筆直而無明顯彎曲，大的節疤、開裂及腐朽，其木材材料强度高而極耐久。使用木樁必須適用於高地下水位的飽和黏土層，但水位的上方會使木樁遭到腐蝕及蟻蟲而損壞。因此，必須加以防腐處理，期使延長木樁的壽命。

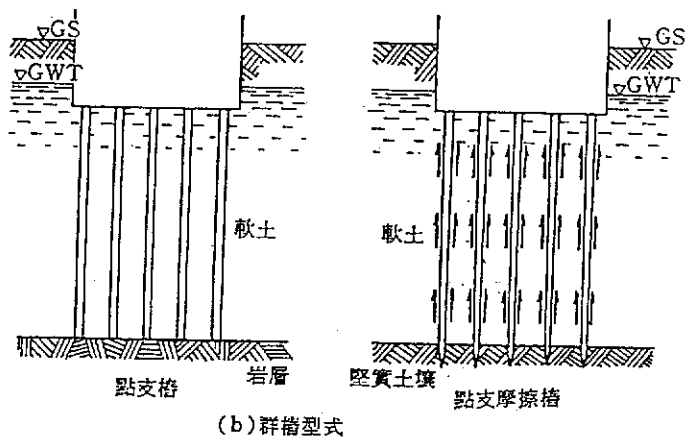
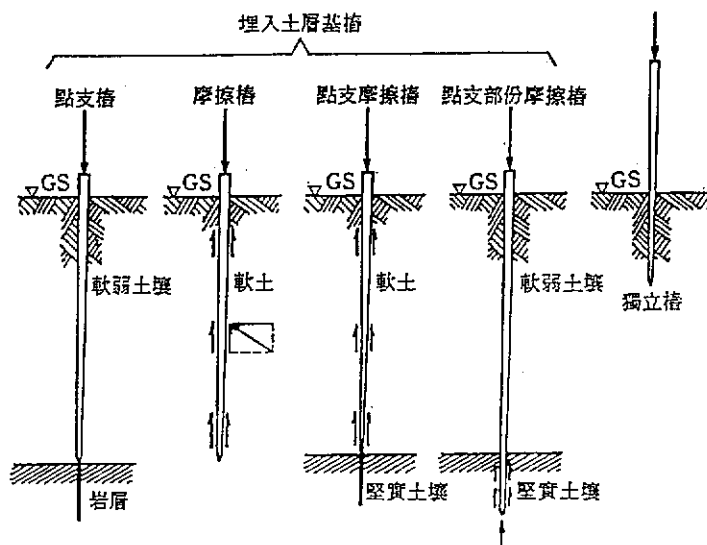


圖5-19 基樁之型式
(取自Das, 1990)

(二) 混凝土樁

混凝土樁可分為(a)預鑄混凝土樁、(b)預力混凝土樁和(c)場鑄混凝土樁。但場鑄混凝土樁又可分為有套管樁及無套管樁。

(a) 預鑄混凝土樁，通常使用錘擊貫入土層中。因此，土壤的顆粒承受應力的作用，則向下及側向位移，又稱為大位移樁。

(b) 預力混凝土樁，設計允許強度為混凝土28天強度的25%，但預力不得超過 55 kg/cm^2 。預鑄混凝土樁不易改變長度，又不易接樁，特別是預力混凝土樁的情形。其通常採用較大的空心圓柱形，其旨在減小樁之斷面，而其承受軸向荷重可達200 Tons左右。

(c) 場鑄混凝土樁，其可分為有套管樁及無套管樁二種。有套管樁的場鑄混凝土，係將混凝土鑄於套管內。通常，使用金屬套管，管端加一金屬樁靴。錘擊套管貫入預定土層處，將樁靴留在土層，然後將鋼管(金屬套管)逐漸拔出，在拔出套管時，灌注混凝土。若需要加裝鋼筋籠，安裝後，再灌注混凝土。有時使用金屬薄殼或薄管作為套管，混凝土直接灌注於薄殼，則此型場鑄混凝土樁，須增加薄殼費用。但在灌鑄混凝土時，可防止其因套管逐漸拔出時，因其周圍土層的土壓力而崩壞。

另一無套管型式，通常使用螺旋鑽形成鑽孔，清洗鑽孔內土壤後，安裝鋼筋籠或不安裝，再灌注混凝土於鑽孔。

另一使用鋼管，其端點不加樁靴，使用樁錘將鋼管貫入於預定深度。由於鋼管內土壤擠壓於其中，因此鋼管貫入一段長度後，以螺旋鑽(較套管較小的口徑)取出套管內土壤，或使用水沖法清洗管內土壤。如此逐段貫入於土層內於預定深度後，再灌注混凝土於其中。鋼管否逐漸地拔出，視土層或工程的需要，如海中結構物，則鋼管必須留置於土層中。

(三) 鋼樁

鋼樁依其型式而分，最通常使用的有鋼管樁和H型樁二種。鋼樁由於鋼的強度大，因此承載荷重比任何型式的基樁大。

(a) 鋼管樁

鋼管樁的使用已於場鑄混凝土樁中述及，通常可視鋼管與混凝土共同承受結構荷重。錘擊貫入土層中鋼管樁，可由管孔中檢視鋼管是否受到錘擊而彎曲。若

管端焊接端板，則如同預鑄混凝土樁，形成土壤向下及側向位移而形成大位移樁。鋼管樁的連接由二鋼管樁焊接而成。

(b) H型樁

H型樁由於要維持實地錘擊的大撞擊應力，其斷面上翼部與腰部常輾壓至相同厚度，以防止薄處的損壞。H型樁有鑄鋼與高張力鋼二種，高拉力鋼所製成的H型樁，其承受荷重強度較鑄鋼所製成為大。

H型鋼樁，較其他型式更易貫入土層。其原因為其排移較少土壤，故亦稱小位移樁。若覆蓋土含有磚塊或卵礫層時，則翼部可能因錘擊困難而受到損傷，可在樁底安裝補強樁靴。則常用來達到很深的堅強支承層。H型鋼樁連接方法與鋼管樁相同，可用焊接、鉚接、螺旋接合。

H型鋼樁，其優點為容易搬運，由鋼鐵工廠製造，其品質可保證其均勻性。可承受重錘擊，錘擊H型鋼樁可貫入很長的長度，易於連接，可貫穿一些阻礙物，而貫入至堅硬土層上，因此承載荷重大(可達100 Tons左右)。其缺點為成本高，易受腐蝕。於使用於海水中，則於使用前必須加以防腐處理。

(四) 混合樁

混合樁常用木樁與鋼筋混凝土組成的。木樁突出地下水面，則必須使用此混合樁。混合樁的下端為木樁，上端混凝土樁部份可採用場鑄混凝土方式連接，則整支樁可視為一整根型式。

鋼管樁內灌注混凝土，或鑽孔內安置H型鋼樁再灌注混凝土，或預力混凝土樁中空部份安置鋼筋籠再灌注混凝土，或鋼管樁內安裝H型鋼樁再灌注混凝土等新工法，皆為混合樁。尤其由土層資料複雜情況下，從事樁基礎公司皆有獨創的新工法。俾將補償各基礎樁的缺點，而獲得理想的效果。

三、錘擊式基樁承載力之估計方法

(一) 靜力分析

基樁材料的結構材料足夠，其所能支承的最大載重，將隨土壤的情況而定。基樁的極限承載力(Q_{ult})為基樁與土壤間的摩擦阻力或凝聚力(Q_f)和基樁端點承載力(Q_p)之和，如圖5-20所示，即

$$Q_{ult} = Q_p + Q_f \quad \text{or} \quad Q_{ult} = qA_p + fA_s \quad (5-25)$$

其中 q 為樁端底下土層的承載力， A_p 為樁端底面積， f 為樁身與土壤的接觸的平均單位摩擦阻力或凝聚力， A_s 樁身與土壤的接觸面積($=\rho L$)， ρ 為樁的周長。

Q_p 與 Q_f 的估計方法與土壤的種類有關。基樁在黏土層中與在砂土層中的分析方法就不一樣。若基樁貫入的土層的土壤性質不均勻，或樁的斷面積與表面積隨深度而變化，則基樁的表面摩擦阻力必須依據土壤的相同性質或樁身的面積逐段分別計算而相加取得。

(1) 靜力分析：黏土層中的基樁

黏土層中基樁，其極限承載力可利用(5-26)式計算

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (5-26a)$$

在飽和黏土層中，錘擊樁貫入於凝聚性土壤中，樁身周圍的土壤會受到擾亂而成重模土壤(remold soil)。黏土的重塑強度(remold strength)，通常比未受擾動原狀土壤的強度小。然後，土壤強度則隨著依錘擊基樁所引起的超額孔隙水壓消散的速度而漸增加，此與黏土的壓密性質有關。因此，土壤與樁身間的摩擦阻力(或凝聚力) f_c ，與未受擾動黏土的不排水剪力強度 S_u 有關(當 $\phi = 0$ 時， $S_u = C_u$)，即

$$f_c = \alpha C_u \quad (5-26b)$$

其中 f_c 為黏土與樁身的單位附著力(Adhesion)， C_u 為未受擾動黏土的不排水凝聚力， α 為黏著因數。

依據學者們的研究，黏土的 α 值可由圖5-21所示，顯示黏土不排水剪力強度與黏著因數間的變化。隨著黏土強度的增加，黏著因數則隨著下降。

式(5-26b)的樁身摩擦阻力 Q_s 為

$$Q_s = f_c A_s = \sum \alpha S_u A_s \quad (5-26c)$$

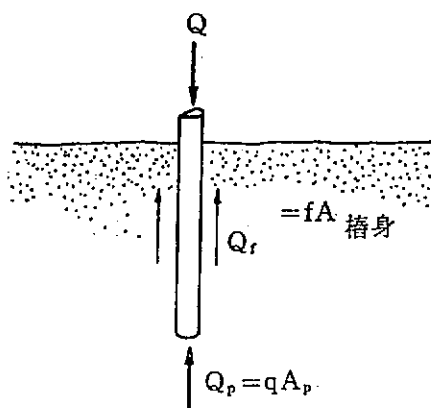


圖5-20 基樁之承载力

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

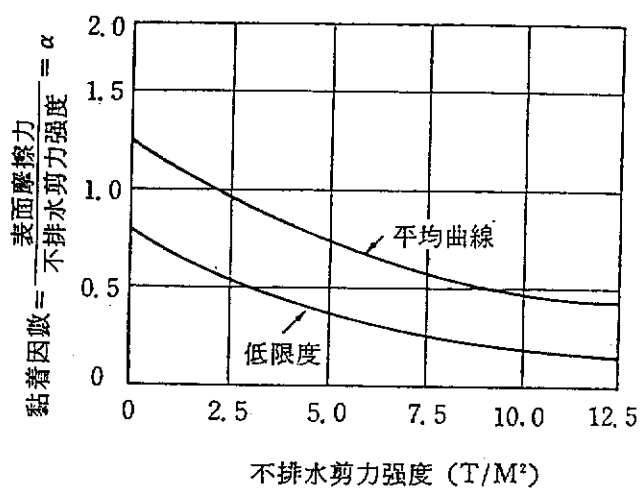


圖5-21 錘擊樁的黏著因數與黏土的不排水剪力強度間的關係

(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

在凝聚性土壤中的基樁，除了底部擴大的大直徑短樁外，大部份的承載荷重一般由樁身摩擦阻力承受。由於錘擊樁無法使用大口徑(限於錘擊設備)，因此，樁底承受荷重較小，其樁底面承受的荷重

$$Q_p = N_c A_b S_u + \gamma D A_b \quad (5-26d)$$

其中 N_c 為承載率係數， A_b 為樁底面積， S_u 為在樁底面土壤的不排水剪力強度， γ 為黏土的統體單位重量， D 為樁的長度。

略去樁的重量，(5-26d)可改寫成

$$Q_p = N_c A_b S_u \quad (5-26e)$$

上式中 N_c 可取等於9。

綜合(5-26c)和(5-26e)式，可求得錘擊基樁的極限承載力，即

$$Q_{ult} = N_c A_b S_u + \sum \alpha S_u A_s \quad (5-26f)$$

其容許承載力 Q_a 為

$$Q_a = \frac{N_c A_b S_u}{F_1} + \frac{\sum \alpha S_u A_s}{F_2} \quad (5-26g)$$

上式中 F_1 與 F_2 為樁底承載荷重與樁身與土壤摩擦阻力的安全係數，依靜力學分析公式決定者，則 F_1 與 F_2 皆取3為基準。

樁身摩擦阻力的產生，必須沿著樁身周圍土壤先發生適當的剪應變。若樁的端點在很硬的土層，則其端點承載力很大，而向下的移動很小。因此，樁身周圍土壤的變形很小，樁身周圍摩擦阻力就無法達到最大值。若樁穿過堅硬土層而支承在軟弱土層上，則樁的承載力主要來自堅硬土層與樁身間的摩阻力，而樁的端點承載力就無法達到最大值。其原因為堅硬土壤與樁身的摩阻力，阻止了基樁的

下移。若使基樁兼具摩阻力與端點承载力，則必須錘擊基樁支承於較深的堅硬土層處。

(2) 靜力分析：砂土層中的基樁

在砂土層中單樁極限承载力為端支力和樁身摩阻力之和

$$Q_{ult} = qA_p + fA_s \quad (5-27a)$$

筆直的基樁，其單位表面摩阻力依垂直樁面的土壓力與土壤樁身間的摩擦係數而定(圖5-21)。因此，在砂土層，單樁樁身的總摩擦阻力 Q_s 為

$$Q_s = f_c A_s = \sum (A_s K p'_{ave} \tan \delta') \quad (5-27b)$$

其中 p'_{ave} 為整個樁身的平均有效覆土壓力。

在砂土層中Broms學者(1965)曾建議砂土與各種樁身材料的摩擦係數如表5-5中所表示和建議K值如表5-6所表示。

於砂土層中，砂土的單位重量隨深度而增，則垂直覆土壓力也隨著增大。實際上，基樁附近的砂土，只在某深度以上，其有效覆土壓力才會增加。若超過此深度，其有效垂直覆土壓力就不會增加，反而會降低，此深度稱為“臨界深度”：臨界深度的大小與打樁前砂土的鬆疏或緊密狀況有關。有關學者對現場試驗之研究指出，在鬆疏砂土中的錘擊樁，其臨界深度約為樁直徑的10倍，而在緊密砂土中，樁的臨界深度約為樁直徑的20倍。

表5-5 樁面與砂土的摩擦係數
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

材 料	$\tan\delta'$
混 凝 土	0.45
木 材	0.40
光滑鋼面	0.20
粗糙鋼面	0.40
波紋鋼面	採用砂的 $\tan\phi$ 值

表5-6 錘擊樁在砂土層的K值
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

樁 型	鬆 砂	緊密砂
鋼 型	0.5	1.0
混凝土	1.0	2.0
木 材	1.5	3.0

(二) 現場載重試驗

現場載重試驗，用來檢核基樁的估計承載率與相對的沈陷量，因而幫助建立基樁施工規範，確立合約中規定的基準。

黏性與非黏土壤都因打樁而改變原有的性質，在黏土層中，則因擾亂而使土壤重塑而減低強度。但其部份的強度會隨著時間而逐漸恢復。因此，載重試驗必須在試樁貫入黏土層數週後方可施行，而在砂土層則數日後即可進行。

載重試驗進行的方式有兩種。即持續性荷重試驗，其荷重是逐漸增加的，與定速率貫入試驗。通常使用持續性荷重試驗，而所施加的載重由液壓式千斤頂加壓，其反力由靜壓承受如圖5-22(a)；或由錨錠樁承受，如圖5-22(b)所示。千斤頂通常加裝壓力計，則施加在試樁的壓力，即可由壓力計直接測讀。觀測試樁的

沈陷量，必須有參考點三處，參考點上按置位移計。該參考點必須置設在不受試樁移動影響的區域。

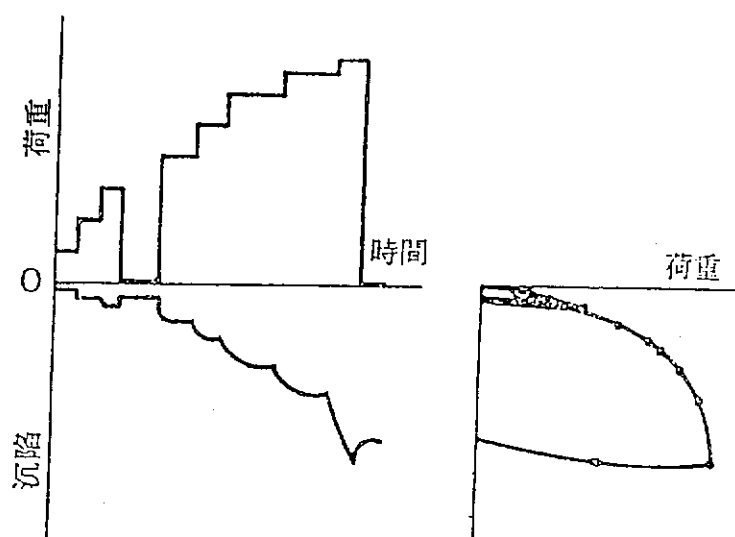
持續性荷重試驗，應預先決定最大外施荷重，通常使用基樁容許荷重的二倍。一般慣用約25%的容許荷重的增量。每次施加荷重增量時，應同時記錄時間與樁的沈陷量。每次加載必須維持至沈陷率小於每小時2.5 mm。對每一荷重增量，荷重必須維持一定，且在時間區段(interval of time)量取其沈陷讀數。加載至容許荷重(亦稱工作荷重)時，必須維持24小時。然後作反順序逐步減壓至載重等於零，再減壓階段仍須記錄量測沈陷量的位移計讀數。再逐步加壓至極限荷重(工作荷重的二倍)，再減壓至載重為零。

另一種試驗方法為定速率貫入試驗。在這種方法中，每次載重的增加量必須使樁貫入(沈陷)速率一定。通常為每秒5 mm。當貫入速率達到規定時，記錄所加的載重，用此方法所需的試驗時間比較短，其缺點為無法得到工作荷重下的彈性變形，此彈性變形對決定土壤在工作荷重下，是否有塑性屈伏，是很重要的。

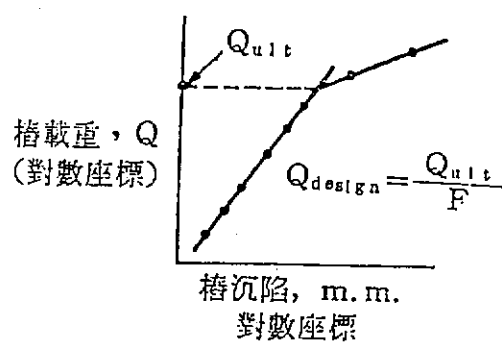
持續性荷重試驗頗消耗時間，通常用來決定樁的極限承載荷重。圖5-23為持續荷重試驗的結果，計有荷重與沈陷對時間的曲線，與荷重對每一階段所達到的最大沈陷曲綫。並以雙對數座標繪製樁載重與沈陷的關係線，用以決定樁之設計承載荷重。

依據載重試驗求得的載重-沈陷資料，用以決定樁的設計載重。通常樁的設計載重為由載重試驗求得“破壞載重”除以安全係數。由載重試驗結果決定的破壞載重並無一定準則。有時採用某一特定沈陷量(如樁直徑的1/10或數mm等)所對應的載重作為破壞載重。或使用載重-沈陷曲線上曲率半徑最小點所代表的載重作為破壞載重。現在常用的方法是，將持續性載重試驗求得載重-沈陷資料繪在雙對數座標，所得的圖形，通常為相交的兩直線段，如圖5-23(b)所示。與此兩直線交點對應的載重，作為樁的破壞載重。用此方法求得的破壞載重，是作為設計的依據，而非樁的真正極限載重。

有關使用的安全係數，若土層情況與土壤性質很均勻，且在不同處的樁載重試驗結果良好，則可採用較低的安全係數(如1.5至2.0)。若土層情況與載重試驗結果變化很大，通常需採用安全係數2.0至3.0，用以預防無法預料的不良土層情況及變化。



(a)



(b)

圖5-23 持續性樁載重試驗的結果
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

(三) 樁錘擊公式

樁的軸向承載力，可由基樁在錘擊時的動阻力(dynamic resistance)與樁的荷重的靜荷重承載量的關係。這些關係式稱為樁錘擊公式，係從經驗或理論上建立而導出。

樁錘擊公式，對粒狀砂土層的錘擊樁的極限承載量的預測值較為可靠及合理。

有很多樁錘擊公式頗為繁冗複雜，在此不加引述。丹麥公式(Danish formula)與傑普公式(Janbu formula)為簡單而可靠的樁錘擊公式。

(1) 丹麥公式(Danish formula)

$$Q_{ult} = \frac{W_h H (E_{rr})}{S + \frac{1}{2} S_0} \quad (5-28a)$$

其中 Q_{ult} 為基樁的極限軸向承載力， S 為最後數次錘擊使基樁貫入土層的深度平均值， S_0 為樁的彈性壓縮量，其可表成

$$S_0 = \sqrt{\frac{2E_{rr} W_h H L}{AE}}$$

L 為樁長， A 為樁的斷面積， W_h 擊錘重， H 為擊錘的落鉅， E_{rr} 為樁錘的效率， E 為基樁材料的彈性模數。

基樁的設計軸向承載力，可使用上述方程式求得的極限承載力除以安全因數，通常採用安全因數等於3，即

$$Q_{design} = \frac{Q_{ult}}{3} \quad (5-28b)$$

錘擊基樁時，若能知道基樁是否已達到預期的承載力，即可決定是否停止打樁工作。為達到此項控制，基樁錘擊公式可重新安排成如下式：

$$S = \frac{W_b H E_{\pi}}{3Q_{\text{design}}} - \frac{S_0}{2} \quad (5-28c)$$

(2) 傑普公式(Janbu formula)

$$Q_{\text{ult}} = \frac{1}{K_u} \frac{nWH}{S} \quad (5-29a)$$

其中 Q_{ult} 為基樁的極限軸向承載力， W 為擊錘重， H 為擊錘的落距， n 為樁錘的效率因數(efficiency factor)， S 為最後穿土量(每擊貫入量)。而

$$K_u = C_d \left[1 + \left(1 + \frac{\lambda_e}{C_d} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5-29b)$$

$$C_d = 0.75 + 0.15 \frac{W_p}{W} \quad (5-29c)$$

$$\lambda_e = \frac{\eta W H L}{A E S^2} \quad (5-29d)$$

其中 L 為樁長， A 為基樁斷面積， W 為擊錘重， E 為基樁材料的彈性模數， W_p 為整支基樁重量+樁頂的樁盔及墊盤重， H 為擊錘的落距， S 為最後穿土量， η 為樁錘的效率因數。

基樁的效率因數，依基樁的錘擊設備、錘擊程序、樁的型式與地表條件等而定。

η 值的選擇規定如下： $\eta = 0.70$ ，對良好的錘擊條件用； $\eta = 0.55$ ，對一般的錘擊條件用； $\eta = 0.40$ ，對有困擾或不良的錘擊條件用。

使用傑普公式預測的基樁極限承載力，必須使用安全係數 $F = 3$ ，而求得其容許承載力(工作荷重)

$$Q_a = \frac{Q_{\text{ult}}}{3} \quad (5-29e)$$

四、鑽掘式基樁承載力之估計方法

(一) 鑽掘式基樁施工方法

所謂鑽掘式基樁或稱墩基(bored piles or bored piers)，是指在地基土層使用鑽掘機，先行鑽掘至預定深度處，然後在鑽孔中，按裝鋼筋籠後，灌注混凝土而形成基樁。其施工步驟及方法，如同場鑄混凝土基樁。若在黏土層中，其樁底部可擴大底部，則稱為擴座式基樁(drilled and belled pile)。

鑽掘式基樁，必須使用鑽孔機械鑽掘土壤。若地下土層為強度頗大的黏土，且無地下水，則鑽孔可保持乾燥。鑽孔後，混凝土的灌注須能與鑽孔四周壁面直接接觸。若鑽孔遇到砂土層或地下水位，就需使用皂土泥漿填注鑽孔，用以避免孔壁土壤坍塌，並可幫助土壤碎屑的污泥向上排除。若地下水情況很嚴重，可在填注皂土泥漿的同時使用套管。在灌注混凝土時，皂土泥漿會往上洩流，收集後的皂土泥漿，可再重覆使用。皂土泥漿常會殘留在鑽孔壁而形成薄膜，致影響土壤與硬化混凝土間的摩阻力。若使用套管，在灌注混凝土時，須將套管拔除，但需避免孔壁土壤坍塌而與混凝土混雜。避免之法，可灌注高坍度混凝土，並在拔除套管時，必須使混凝土高度永遠在套管底部之上。

在黏土層中的鑽掘式基樁的設計準則，通常要使用超音波觀察孔壁的均一性，有否坍塌。而對鑽孔底部必須觀察有否沈泥堆積，並埋置土壤監測儀器。

(二) 黏土層中鑽掘式基樁承載力

埋置在黏土層中的鑽掘式基樁承載力的估算，似同錘擊基樁靜力分析方法相同，主要是端點承載力與樁身表面摩擦阻力。在施工時，基樁周圍的土壤會受到擾亂而使強度減小，因此基樁上端1.5 m長的摩阻力，需予以忽略。對底部擴座基樁，由於擴大底座，其底座土壤必屬硬堅黏土層，因此，土壤定受到擾亂，則在擴大底端頂端上面，兩倍基面直徑距離的摩阻力，亦必須予以忽略。

(a) Skempton學者(1966年)建議，鑽掘式基樁軸身摩阻荷重的計算為

$$Q_s = 0.45 A_s \overline{S_u} \quad (5-30a)$$

其中 $A_s = \rho L$ 為樁身與土壤的接觸面積， ρ 為樁的周長， L 為樁的長度， $\overline{S_u}$ 樁身所接觸土壤的平均不排水剪力強度。

必須強調的，0.45的黏著因數是平均值，若加水幫助鑽孔作業，將導致較低的黏著因數。表5-7為鑽掘式基礎的表面摩阻力，作為設計者的參考。

(b) 在樁底基面的端點承載力

$$Q_b = 9A_b w S_u \quad (5-30b)$$

其中 $w = 0.8$ (樁徑 $B < 1 \text{ m}$) ; $w = 0.75$ (樁徑 $B > 1 \text{ m}$) , A_b 為樁底面積 , S_u 為在樁底黏土的不排水剪力強度。

(c) 容許承載力(工作荷重)

對光面樁軸

$$Q_a = \frac{Q_b + Q_s}{2} \quad (5-30c)$$

對底面擴座(當 $B < 2 \text{ m}$ 時)

$$Q_a = \frac{Q_b + Q_s}{2.5} \quad (5-30d)$$

或當 $B > 2 \text{ m}$, 對容許承載率計算應考慮沈陷量。

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1.5} \quad (5-30e)$$

表5-7 黏土中之鑽掘式基樁的表面摩阻力
(取自基礎工程學，金永斌，民國75年6月)

基樁型式與鑽孔方法	黏著因數 α	表面摩阻力的上限值 T/M^2
樁身筆直、鑽孔乾燥	0.5	8.8
樁身筆直、鑽孔注泥漿	0.3	4.0
擴座式基樁、鑽孔乾燥	0.3	4.0
擴座式基樁、鑽孔注泥漿	0.15	2.5

(三) 砂土層中鑽掘基樁承载力

砂土層中的鑽掘式基樁的分析方法與砂土層中的錘擊樁用的步驟相似，其極限承载力為

$$Q_{ult} = p'_0 (N_q - 1) A_p + \sum (A_s K p'_{ave} \tan \delta') \quad (5-31)$$

其中 p'_0 為臨界深度 D'_c 處的有效垂直覆土壓力(使用 $D'_c = 20B$)， p'_{ave} 為沿樁身與砂土間的平均有效覆土壓力(仍需考慮臨界深度 D_c)， $\tan \delta'$ 為砂土與混凝土樁體間的摩擦係數， K 為砂土中的鑽掘式基樁的側向土壓力係數。

鑽掘式基樁的 K 值在0.3(鬆疏砂土)與0.75(緊密砂)之間。若使用乾鑽挖掘，混凝土與砂土間的摩擦係數可使用 $\tan \delta' = \tan \phi'$ ， ϕ' 為砂土的抗剪角。若鑽孔加注皂土泥漿作業時，須將摩擦係數予以折減。在砂土中的鑽掘基樁，無法形成底面擴座的鐘形，設計時所使用的安全因數至少與錘擊基樁相同。一般在設計基樁時，在砂土層中都使用錘擊基樁。因為，若使用鑽掘式基樁，僅由樁底的端點承载力來承受荷重。而施工時，又必須嚴格地控制。

第四節 沉箱基礎

一、沉箱基礎之用途

沉箱於土木工程中為巨大的特殊基礎，通常在陸地上建造，然後搓拖至預定地點，沉放於深水中。或於原建築地面(例如乾季時的河床面)，築造一段高度後，將沉箱壓入土層中，作為橋墩、橋臺等大型結構的基礎。通常使用於水中的工程中，因為亦可被稱為水中結構物。其主要用途如下：

- (1) 作為河海中之橋墩或橋臺等之基礎
- (2) 作為碼頭、棧頭、船渠等之基礎
- (3) 作為防波堤計及其他護岸結構之基礎
- (4) 作為承受重大的垂直與水平荷重的海中構造物之基礎。

沉箱基礎，耗費大而施工困難，除非淺基礎或樁基礎遇及下列難以克服困難，才予以使用沉箱基礎：

- (1) 土壤內含又偶有大量塊石或礫石，阻礙基樁的錘擊或傳鑽掘基樁鑽孔的作業。
- (2) 巨大的下部結構物，須沿延伸至水中，以抵抗漂浮物或淤砂的沖刷。
- (3) 基礎必須承受大的側向力作用。

二、沉箱基礎之設計

基礎工程或建築物下部結構物，通常在設計時，應有充足的建築地區土壤鑽探資料，而且明確地規劃施工程序。在施工期間，每因遇及土壤不均情況，或土層變化與原有鑽探資料不相符合。因此，施工監督單位必須配合原設計單位，往往必須修正設計，以配合工地實際遭遇的情況。在所有類型的基礎施工中，尤以沉箱的施工與設計間的關係最為密切。如果在原設計時，並不瞭解採用何類型沉箱，來配合整體的施工計劃，以及可能所遭遇到的施工困難的解決方法。則對整體施工規劃完全失敗，故對沉箱基礎的設計，無法訂出一標準設計步驟，而能包含所有可能偶發狀況的處理。一般設計原則，分述如下：

(一) 設計載重

沉箱必須承受不同時間性的兩種載重：

(1) 永久性載重：永久性載重為沉箱築造完成後，埋置於預定深處後，該承載土層所承受的其最大垂直方向與側向承載力。

(a) 垂直承載必須包括結構物所施加的載重，其包括結構體自重及活載重，以及扣除沉箱於低水位時所產生的上浮力的總淨載重。

(b) 側向力的載重包括在水中的水流壓力、結構力的承受力，或橋樑上車輛行駛的水平推力等。於地震地帶中，應以地震力替代風力。

(c) 側向力並不包括主動土壓力和水壓力的總側向壓力，作用於沉箱體的合力作用點，以及所產生的力矩。

(2) 暫時性載重：沉箱於施工其間，必因下列所可能發生的情況，而使沉箱必須承受其所受到的額外應力的施加。此暫時性載重的考慮，對施工規劃有極大的幫助。

(a) 沉箱頂部附近可能受到負表面摩擦力而向上移動，而形成沉箱底部則受到張。故在設計沉箱結構計算時，應使沉箱有足夠之強度，能承受其下部的重量。

(b) 沉箱承受不平衡土壓力作用時，必須利用垂直樑或懸臂樑方式，進行結構分析。

(c) 沉箱在水中拖航時，會產生巨大的拉力。而於預定位置，將沉箱沉於水中時，沉箱突然的下沉所產生的反力沖擊，必須加以考慮。

(二) 表面摩阻力

表面摩阻力係在沉箱周圍的表面積與土壤所產生，亦即沉箱下沉時的抵抗的剪應力。因此，沉箱每段所設計的高度所形成該段沉箱體的自重，必須有足夠克服其表面摩擦力，則使藉沉箱自重而下沉。否則，在下沉時必須在沉箱頂端施加自重，耗時及耗費，並因自重不均勻，形成沉箱下沉時而傾斜。

沉箱下沉時，為著減少其表面摩擦阻力，於底端刃腳處，使用水沖法予以潤滑及沖刷，則可使沉箱容易克服其表面摩阻力而易於下沉。

設計鋼筋混凝土每段高度的自重，必須相等於該段所承受表面摩擦阻力。其計算公式如下所示：

$$\frac{1}{4}\pi(D^2 - d^2)Hr_c = f\pi DH \quad (5-32a)$$

或

$$f = \frac{r_c}{4D}(D^2 - d^2) \quad (5-32b)$$

其中 f 為表面摩擦阻力，見表5-8， r_c 為混凝土單位重 2.4 T/M^2 ，在水中使用， $r_c' = 1.4 \text{ T/M}^2$ ， D 為沉箱外徑， d 為沉箱內徑， H 為沉放深度。

表5-8 土壤的表面摩擦阻力
(摘自Terzaghi & Peck, 1948)

土 壤 分 類	表面摩擦阻力 T/M^2
粉土及軟黏土	0.73-2.93
堅硬黏土	4.88-19.5
鬆砂	1.22-3.42
緊密砂	3.42-6.83
緊密礫石	4.88-9.77

(三) 承載力估算

沉箱承載力的估算，可利用鑽掘式基樁方式進行，但必須考慮上部結構物載重應包含暫時性載重在內。對沉箱與土壤間的表面摩阻力應採用低值。總體安全係數採用2或3，即可求得容許承載力。

沉箱底座按放在岩層上時，其容許承載力並不是利用岩層的抗壓強度予以估算。因為沉陷底部的混凝土封層，必須在水中灌注而築造，而封層的混凝土容許應力，則必須承受沉箱的載重。若灌注混凝土強度為 210 kg/cm^2 ，其容許應力為 35 kg/cm^2 左右，則岩層上沉箱的容許承載力則不得超過 35 kg/cm^2 。

(四) 混凝土封層的厚度

壓氣沉箱沉放至預定深度的承載土層後，在沉箱底部工作室中必須灌注混凝土封底。此混凝土封層為該沉箱基礎的永久性底座。於開口沉箱中，底座的封層必須灌注混凝土至刃緣的傾角上1.2公尺。

混凝土的封層必須密緻，以防止地下水的侵入。混凝土封層的厚度可利用下列公式求得：

$$t^2 = \frac{3w}{8pf_c}(3+u) = 1.18R^2 \frac{q}{f_c} \quad (\text{圓形沉箱}) \quad (5-33a)$$

$$t^2 = \frac{3qB^2}{4f_c(1+1.61\frac{B}{L})} \quad (\text{矩形沉箱}) \quad (5-33b)$$

其中 t 為封層厚度， w 為封層混凝土抗彎強度，約在14~21 kg/cm²，但不得超過35 kg/cm²。 R 為沉箱底部的半徑， q 為沉箱底部所承受的單位壓力， B 為沉箱的寬度， L 為沉箱的長度。

(五) 混凝土沉箱之一般設計要求

混凝土沉箱，其設計使用容許應力值，必須小於一般結構物的設計值。其沉箱外牆之設計，必能支承由垂直載重所產生垂直之壓縮應力，及偏向最大壓力所產生的彎曲應力，並考慮暫時性載重的施加。有關外牆及內牆的設計，應使垂直荷重由外牆傳遞至內牆，及自內牆傳遞至外牆。每段沉箱必須有足夠的高度，使沉箱的自重足以克服其表面摩擦力，因此，在下沉時不必考慮沉陷頂端施加呆重使其下沉。

第六章 抽砂回填方式概述

第一節 抽砂回填方法概述

西南部沿海地區由於養殖漁業大量抽用地下水導致全國各地約一千一百餘平方公里土地地層下陷佔平原面積約11%。各地下陷量從零點五公尺到二點五公尺不等，本研究計劃接近屏東東港、林邊、佳冬、枋寮下陷面積約為一百平方公里，最大下陷量幾達二點五公尺左右。一場季節性颱風侵襲本島，必使屏東、嘉義、雲林沿海成為災區。沿海海堤功能減低，由於地盤下陷使部分地面被海水淹沒，無形中導致國土之流失。

今擬闢建深水港，於臨海平原低地必須加以回填，通常使用抽砂回填方式。國內經規劃回填形成臨時工業區頗多，但皆草率規劃利用海岸附近淺層細砂加以回填，導致海岸線向內陸移動，而原有海堤由於抽砂而不穩定，終於破壞。如永安鄉LNG液化工廠區回填規劃，原應於深海處抽取海砂，再加壓力輸送管灌注於回填區內。但工程單位輕易就近抽取海灘附近海砂。形成原有海堤前的淺砂灘被淘空，導致部份建築物因而龜裂等危害。

回顧民國50年間，臺南安平工業區回填。經20年後，該回填地區地盤仍不穩定，僅可建造二、三層廠房而已，而所建造國民住宅則必須使用樁基礎，由於不均勻沈陷而使所建造國宅的牆、樑產生龜裂。再如臺南第五期新生回填地都市規劃，其所回填的土壤則抽取鄰近中正路底運河的污泥。

綜合國內回填方式，皆無週詳規劃，皆採用傳統回填，並沒有規劃如何進行地盤改良，形成所投資的成本難於短期內回收其投資效益。

計劃主持人曾參予新加坡樟宜機場規劃工程。其所回填用海砂皆購自印尼所屬臨島未開發海域中，而回填用砂必須篩選合格才可由輸送管(竟達十餘海哩以上)輸送。回填達到預定高度後再分區採用排水砂樁，再加以回填土層作為超載重，而回填區內埋設孔隙水壓計、相對沈陷計及沈陷板等，藉以控制沈陷量與時間相對地達到地盤改良要求，總共經二年八個月後，所回填區地盤已達穩定狀態，原幾達30餘公尺厚軟弱黏土及回填覆蓋土層約8公尺達到緊密狀態。雖然機場大廈的基礎處理，仍須使用樁基礎，但其承載荷重增大，也節省工程費用。民

國77年九月計劃主持人曾訪視新加坡大學舊識教授，其等正進行海埔新生地回填研究。由於新加坡國土小，連砂石土皆購自鄰國印尼或馬來西亞，其採用三明治回填法一層砂土一層黏土，其所利用黏土皆屬非常軟弱廢土。計劃主持人對該研究極有興趣，因此本專案研究計劃擬進行相似模型試驗。由於本期研究期間僅九個月，但後續的試驗規劃應必須連續進行。

第二節 回填量之預估

抽砂回填時，砂土層會因本身的自重而產生彈性沈陷，另外回填之砂土層將對原始存在之砂土或黏土層產生一超載重，因此使該土層產生彈性或固結沈陷，本章將利用有限元素法製成之程式CRISP (Britto and Gunn, 1987)，預測回填時可能發生之沈陷量，進而預估回填量。

一、理論基礎

在解析土層沈陷行為的各項數值方法中，有限元素法一直是最普遍的一種方法，雖然使用有限元素法必須要使用大量的電腦記憶體和耗費較多的準備輸入資料的時間，不過卻有易於使用，可以結合不同的應力應變關係以及不需要過份艱深的數學工具等優點。

在本節的方法中，將做以下的基本假設：

1. 土壤為均質飽和。
2. 有效應力的原則有效。
3. Darcy定律可使用。
4. 孔隙內所含的水及土粒為不可壓縮。
5. 土壤的變形及水流的方向為二維度並且假設為x及z軸。
6. 滲透係數、楊氏係數和剪力模數在整個沈陷的過程保持一定。

考慮以下的二個方程式：

1. 平衡方程式：

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} = 0 \quad (6-1)$$

$$\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = 0 \quad (6-2)$$

其中 σ_{xx} 和 σ_{zz} 為正向應力， σ_{xz} 為剪應力。

2. 連續方程式：

$$\frac{k_x}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{k_z}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (6-3)$$

其中 k_x 和 k_z 為滲透係數， γ_w 為土壤孔隙內水的單位重， v 為滲透速度， u 為超額孔隙水壓。

利用Galerkin方法，假設 \bar{u} 為虛擬超額孔隙水壓，將之乘以(6-3)式並對整個體積積分可得：

$$\int_V \bar{u} \left[\frac{k_x}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{k_z}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial v}{\partial t} \right] dV = 0 \quad (6-4)$$

運用Zienkiewicz-Green定理加以整理可得：

$$-\int_V \left[\frac{k_x}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{k_z}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right] dV - \int_S \bar{u} v_n dA + \int_V u \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} dV = 0 \quad (6-5)$$

其中 v_n 為垂直於邊界的滲透速度，積分的下標 S 表示對整個邊界而言。

將欲分析的區域分成若干個元素，定義每一個元素的變形和超額孔隙水壓如下所示：

$$d = Na \quad (6-6)$$

$$u = \bar{N}b \quad (6-7)$$

其中 d 和 a 為含元素內任一點和節點變形的矩陣， u 和 b 為含元素內任一點和節點超額孔隙水壓的矩陣， N 和 \bar{N} 是形狀函數所組成的矩陣。

而元素內虛擬超額孔隙水壓和應變則定義成：

$$\bar{u} = \bar{N}b \quad (6-8)$$

$$\varepsilon = Ba \quad (6-9)$$

其中

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix}$$

\bar{b} 為含元素節點虛擬超額孔隙水壓的矩陣

將(6-6)、(6-7)、(6-8)和(6-9)式代入(6-5)式可得：

$$L = \int_V B^T m \bar{N} dV \quad (6-10)$$

$$\Phi = \int_V \frac{E^T k E}{\gamma_w} dV \quad (6-11)$$

$$L^T \frac{d(a)}{dt} - \Phi b = \int_S \bar{N}^T v_n dA \quad (6-12)$$

其中 $m = (1, 1, 0)^T$

E 矩陣可由 N 對 x 或 z 微分而得。

(6-12)式是一個一次方的常微分方程式，將之對時間積分，範圍為由 t 至 $t+\Delta t$ ：

$$\int_t^{t+\Delta t} L^T \frac{d(a)}{dt} dt - \Phi \int_t^{t+\Delta t} b dt = \int_t^{t+\Delta t} \int_S \bar{N}^T v_n dA dt \quad (6-13)$$

利用梯形法則計算上式對時間的積分可得：

$$L^T \Delta a - \Phi \Delta t \Delta b = \Phi \Delta t b_1 + \int_S \bar{N}^T v_{n2} \Delta t dA \quad (6-14)$$

其中 $\Delta a = a(t+\Delta t) - a(t)$ ， $\Delta b = b(t+\Delta t) - b(t)$ 和 $v_{n2} = v(t+\Delta t)$ 。

(6-14)式即為連續方程式在經過有限元素法處理後的結果，同樣的方法可以運用在平衡方程式，但此處先利用虛功法(the principle of virtual work)加以處理：

將(6-1)式乘以 x 方向上的變形 d_x ，(6-2)式乘以 z 方向上的變形 d_z ，兩者相加並且對整個元素的面積加以積分可得：

$$\int_A [d_x \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) + d_z \left(\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \right)] dA = 0 \quad (6-15)$$

同樣的利用Zienkiewicz-Green定理加以整理可得：

$$\int \bar{\epsilon}^T \Delta \sigma dV = \int \bar{d}^T \Delta \tau dA + \int \bar{d}^T \Delta w dA \quad (6-16)$$

(6-16)式為虛功法的增量形式(the incremental form of virtual work)，利用(6-10)和(6-11)並且引用有效應力的觀念以及下列的變換

$$\Delta \epsilon = B \Delta a$$

$$\bar{d} = N \bar{a}$$

$$\Delta \bar{u} = \bar{N} \Delta b$$

其中各物理量前的三角形表示此一物理量為一增量形式。

因此(6-16)式可被整理成

$$K\Delta a + L\Delta b = \int_S N^T \Delta \tau dA \quad (6-17)$$

其中

$$K = \int [B^T D B] dV$$

其中D內含應力與應變的關係，不同的應力應變關係有不同形式的D矩陣。

合併(6-16)和(6-17)寫成以下的矩陣形式：

$$\begin{bmatrix} K & L \\ L^T & -\Phi \Delta t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \end{bmatrix} \quad (6-18)$$

通常稱(6-18)式左方的方形矩陣為勁度矩陣(stiffness matrix)，而右方的 Δr_1 包含作用於邊界的載重， Δr_2 則包含作用於邊界的滲流，如下式所示：

$$\int_S \bar{N} v_{n2} dA$$

至於 $(\Phi \Delta t)$ 則是當求解時會被計算到。

CRISP即利用以上所述的方法所建立而成，本次分析所使用有限元素法之元素類型如圖6-1所示。

第三節 土壤的楊氏係數、柏松比和滲透係數之推求

土壤的楊氏係數、柏松比和滲透係數為在估算土壤的彈性或固結沈陷時三個最重要的參數，一般應由現場試驗中量取這些參數，亦可由查表或經驗公式中求得，表6-1列出各種土壤其楊氏係數的範圍：

表6-1 各種土壤的楊氏係數(kg/cm²)
(Bowles, 1988)

土 壤 種 類	楊 氏 係 數
黏土	
極軟弱	3 ~ 30
軟弱	20 ~ 40
中等堅實	45 ~ 90
硬實	70 ~ 120
砂質	300 ~ 425
冰川積土	100 ~ 1,600
黃土	150 ~ 600
砂	
泥質	50 ~ 200
鬆疏	100 ~ 250
緊密	500 ~ 1,000
砂和礫石	
緊密	800 ~ 2,000
鬆疏	500 ~ 1,400
頁岩	1,400 ~ 1,4000
沈泥	20 ~ 2,000

表6-2列出了各種土壤的柏松比的範圍：

表6-2 各種土壤的柏松比
(Bowles, 1988)

土 壤 種 類	柏 松 比
飽和黏土	0.4 ~ 0.5
未飽和黏土	0.1 ~ 0.3
砂質黏土	0.2 ~ 0.3
粉土	0.3 ~ 0.35
緊密砂	0.2 ~ 0.4
細砂	0.25
粗礫	0.1
岩石	0.1 ~ 0.4

至於土壤的滲透係數可由下列步驟求得：

(一).若土壤為黏土，其滲透係數通常可由一維固結試驗的結果求得：

$$k = C_v M_v \gamma_w \quad (6-19)$$

其中

$$M_v = \frac{a_v}{1+e_0}$$

其中 a_v 為壓縮性係數， e_0 為初始孔隙比。 C_v 則可由平方根調整法

$$C_v = \frac{0.848 \left(\frac{H}{n} \right)^2}{t_{90}}$$

其中H為試驗時之試體高度， $n = 2$ ， t_{90} 為固結沈陷百分比為90%之時間。

(二).如果為砂土，則可由以下的經驗公式：

$$k = cD_{10}^2 \quad (6-20)$$

其中 D_{10} 為顆粒分析曲線通過10%之粒徑， $c = 100 \sim 150$ 。

第四節 沈陷量和回填量之預估

經查閱相關地圖，欲回填的區域由沿海邊假定其長度為2.0公里，水深由0.3 m至20 m不等，經以孔號B15之地點為(0,0)點繪得該區域的等水深圖如圖6-2所示，由圖中可知在模擬該區域時可以一二維狀況加以分析如圖6-3所示(註：不按比例)，圖中以粗黑線所圍出的區域為原始土層所在位置，其中深度八至十六公尺的區域假設為黏土CL，其餘為砂土SM，各種土壤計算所需的參數則參考現場貫入試驗N值及按上節的步驟或假設適當的值，其中並假設回填砂土的楊氏係數隨深度而線性增加，圖6-3並列出了使用有限元素法分析之元素圖，而所考慮的回填方式有兩種，第一種為由外海向內陸回填，在執行程式CRISP時其回填方式係按深度分成六份，即深度二十至十六公尺、十六至十二公尺、十二至八公尺、八至四公尺、四至零公尺和深度零公尺至地表面數公尺，此處“數公尺”即視土層可能發生之沈陷而定，每次回填所需耗費的土量估計約為二百萬立方公尺，各次回填時其設定速度為半年完成，另外考慮回填前先在橫方向築堤，即如此將使其邊界條件為橫方向的變形為零；第二種回填方式為由內陸填向外海，回填方式亦按深度分成六份，但程序與第一種方式相反，每次回填所需耗費的土量也大概為二百萬立方公尺，每次回填之速度亦為半年完成，假定回填工程期間為三年。

因黏土層可能發生固結沈陷，因此在黏土層之上必須多填土以適應較多量的沈陷，考慮十年後該區域的高程將約為海平面以上3.4公尺，圖6-4(a)和圖6-4(b)為第一和二種回填方式在填土完成時(construction completed)與施工完成十年後之地表沈陷圖，經分析此一結果，由圖6-4(a)中得知，離岸邊2公里處於填土完成期

(約為三年)其沈陷量約為55 cm，填土完成七年後，其沈陷量為94 cm左右。由此可知，填土完成後至七年期間仍存有沈陷約40 cm左右。因此回填土預估高程約控制為+4.55公尺左右，而預期由回填工程開始至十年後，則其間因沈陷漸漸地產生，則十年後回填區域的地表面高程可達預期高程為+3.4公尺左右。

由圖6-4(b)中得知，於填土開始至三年後填土完成，其沈陷量約為102 cm，填土完成七年後，其沈陷量為180 cm，其仍存有沈陷量約為80 cm左右，其回填預估高程約控制為5.25公尺左右。

此處必須注意的是：

(1) 由第一節理論基礎的最後一項假設中可知，土壤的楊氏係數、柏松比和滲透係數在沈陷中是假設保持一定的，這與本計劃的實際狀況並不相符，根據日本關西機場工程中的經驗，事前利用電腦所預測的沈陷量多為高估，因此在上述所預測的回填量或沈陷量實為一上限值，若要做更精確沈陷量管制，應在工程進行時設置一模型試驗(model test)，隨時觀測土壤的楊氏係數、柏松比和滲透係數的變化情形，因而得以更新沈陷量的預測值；或者發展一新理論，輸入土壤的楊氏係數、柏松比和滲透係數隨土壤的孔隙比的變化情形以正確預測沈陷量。

(2) 某些數值上的結果顯示，較低的沈陷量常伴隨較高的側向位移，因此若沈陷量被高估，則側向位移可能會低估，所以用以圍出回填區域的擋土牆，其在抵抗土壓力的安全係數應考慮採用較高值。

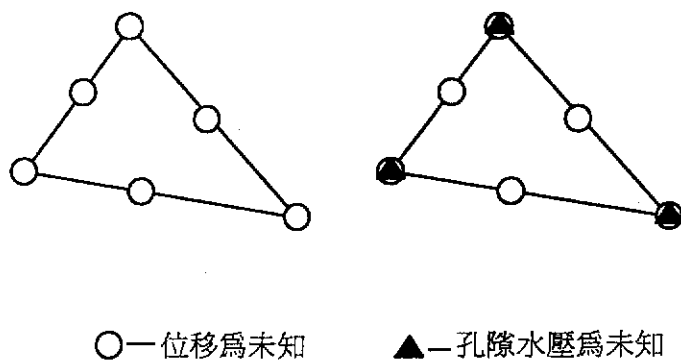


圖6-1 有限元素法所用之元素法形式圖

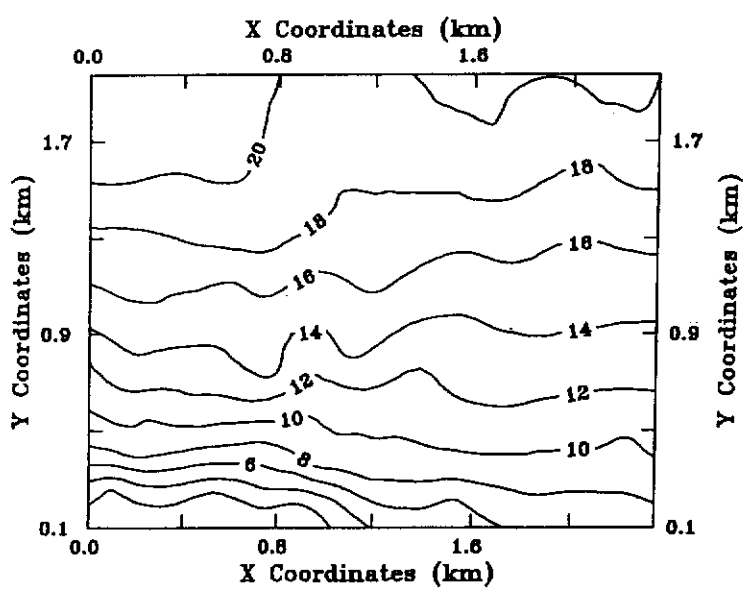


圖6-2 預定施工區域之等水深圖

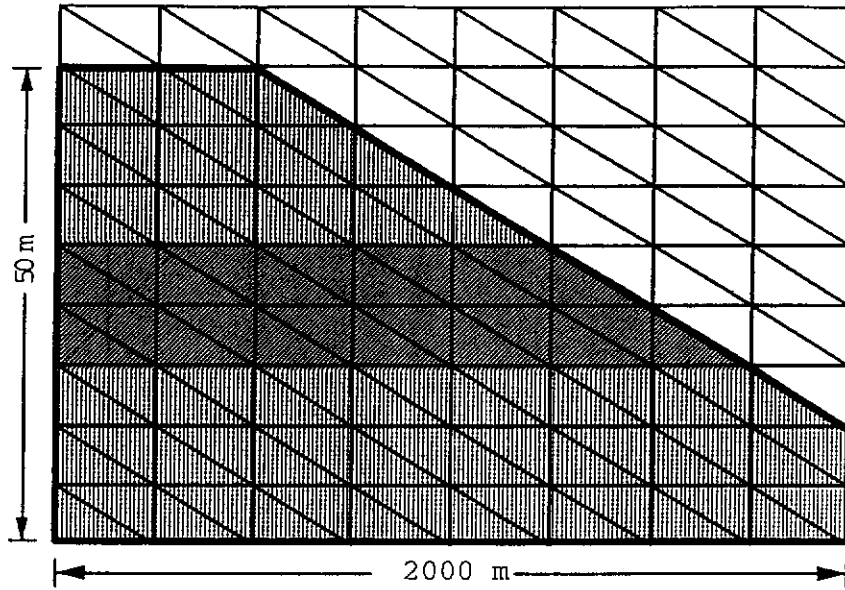


圖6-3 有限元素法分析示意圖

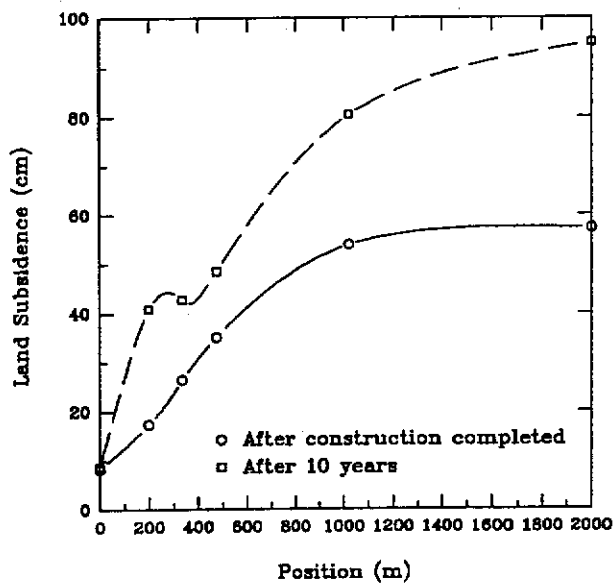


圖6-4(a) 第一種回填方式地表沈陷量變化圖

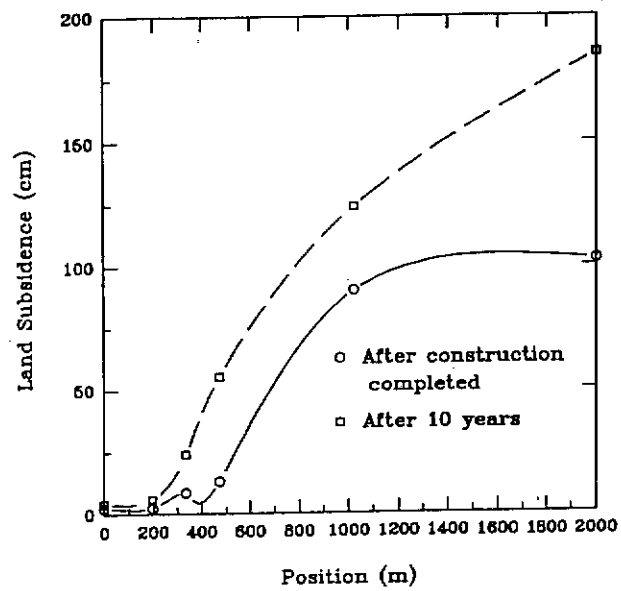


圖6-4(b) 第二種回填方式地表沈陷量變化圖

第七章 關西國際機場之人工島建設

目前正在建設中的關西國際機場計畫，位於大阪灣內離泉州沖約5 km的海面上，可24小時運作而不會使得飛機的噪音影響到都市地區的海上機場。機場島之建設預計需時5年，機場設施之建設預計需時3年，全部之建設預計需時7年，但由使用上之迫切需要，致使工期極為受限，不得不採用大規模急速施工法。但由於工址現場水深及軟弱地盤等自然條件之惡劣。因此必需採用各式各樣有創意的的方法，配合最新技術的引進，方能克服上述困難使建設順利進行。

第一節 關西國際機場之概要

關西國際機場位於大阪灣東南部離泉州沖約5公里的海面上，第一期計畫包括，具有一條3,500公尺跑道，長4.37公里，寬1.25公里，面積五百一十一公頃之機場，及配合新機場營運所需之大阪海岸高速公路、高速鐵路以及鐵公路混合大橋等，如圖7-1所示，機場預定之開航目標為平成6年(民國83年)夏季。總工程經費約為美金二百四十億元(折合新臺幣約為五千七百二十億元)。

一、自然條件調查

日本在進行正式的海上機場島之建設前，首先以10年的歲月進行軟體及硬體之各種調查與檢討。

在海底地盤方面，鑽探的深度由100 m起至400 m大深度的鑽探實際施工時共鑽了65孔。依據通過機場人工島北端垂直於海岸線之方向上鑽探孔結果所得的地質構造剖面圖示於圖7-2。表面是沖積粘土層，其下是洪積粘土層與砂礫層的互層，洪積粘土層乃為大阪灣內對應於海象與湖象之變換的海成粘土層(Ma)與非海成粘土層(Dtc, Doc)交互出現所形成。機場人工島建設預定地的潮位乃依海上觀測設施5年的觀測結果而決定設計潮位，最高潮位CDL+3.2 m。機場人工島的地盤高之設定乃考慮即使在開航50年後，最高潮位只位在地盤高左右。

在波浪方面，一整年間多為SW~WNW的波向，有義波高1 m以下的波浪頻率約95%，為比較平靜的海域。在設計波高方面，同時以颱風時的推算波及海上

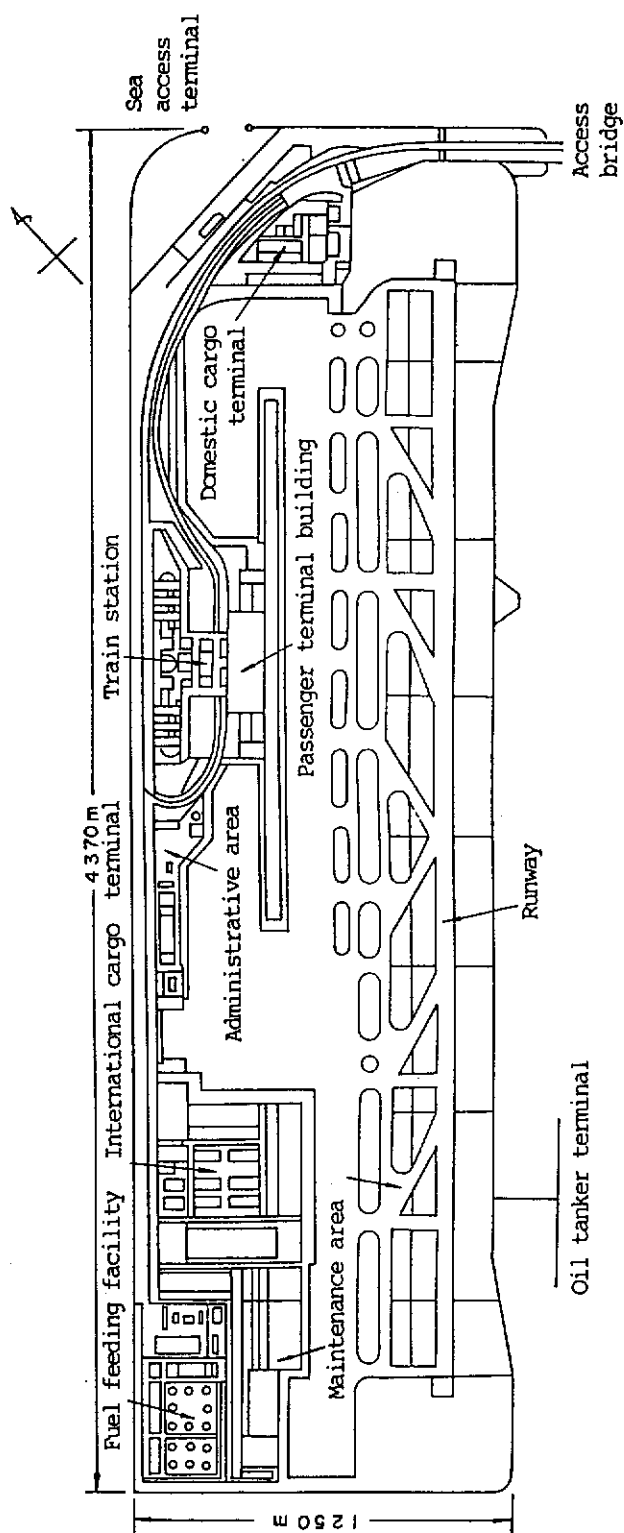


圖7-1 日本關西國際機場圖
(摘自資料：Y.Arai · 1991)

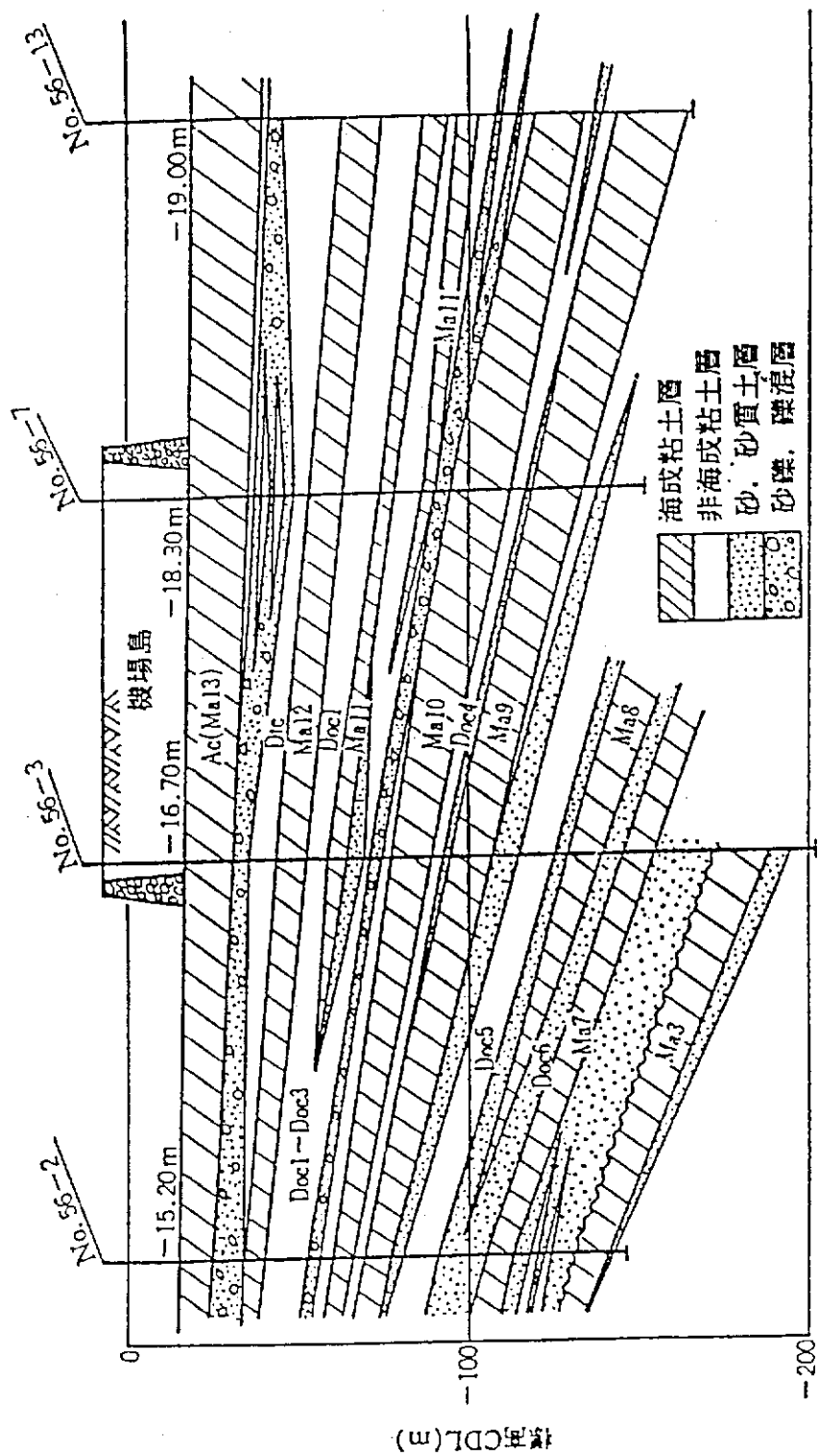


圖7-2 日本關西國際機場地質構造剖面圖
(摘自資料：Y.Arai, 1991)

觀測設施的觀測記錄作統計處理而設定50年機率波為WSW之 $H/3$ 為3.5 m。設計最後地面標高為四公尺。

二、地盤改良工程

機場人工島之建設工程由軟弱地盤的改良工程開始。厚度18 m的沖積粘土層之自然含水量為50~120%的軟弱。若不改良則外周護岸的安全將發生問題，因此於護岸的基礎部分的沖積粘土層中依護岸構造形式之不同而採用排水砂樁(SD工法、壓密砂樁(SCP)工法或深層混合處理(DM)工法加以改良。

此外機場島全域之海底沖積粘土層中厚度達到5 m以上之沖積粘土層，為促使其沈陷早日完成及減少將來的不同沈陷採用排水砂樁工法進行地盤改良。

改良工法主體的排水砂樁打設的根數達到100萬支，裝配了自動控制裝置，此外因使用一次可打12根砂樁的最新式SD船，使得工程於僅僅1年半的施工期間就完成。

三、護岸工程

總長達11 Km的護岸乃將海象條件、是否當作岸壁使用、工期及經濟性等作綜合的考量下才選定其構造形式(圖7-3)。

A護岸為北西側(沖刷側)及南西岸的護岸，波浪強而且由該海域的狀況來看必須減低傳到前面海域的反射波。所以造前面設置能增加消波機能及耐波性的消波塊的緩傾斜堆石護岸。

B護岸為東南側(陸側)的護岸，因波浪弱所以造無消波塊的緩傾斜堆石護岸。

C護岸為南東側的一部分及東北側的護岸，因考慮填埋工程的急速性及作為機場設施建設的設施保留的方便性所以建造鋼板箱格式護岸。

D護岸北側的護岸，因考慮機場使用時作為海上連絡基地，所以該護岸兼具消波機能及保留機能的直立消波沈箱護岸。

因在填埋土砂開始投入時，須藉護岸將填埋區域與外海分離，而到11 km的護岸大致完成為止所有的期間僅2年，因此採用空前的大量急速施工。將工程管理付予施工管理的中心地位，取消其下資材調度的限制條件。工程管理方面，因採用個人電腦的工程管理系統，且將工程基本計畫與實際成果作定期的比較，工程計畫的修正，或問題的發覺及對策檢討而使得工程管理成為可能。

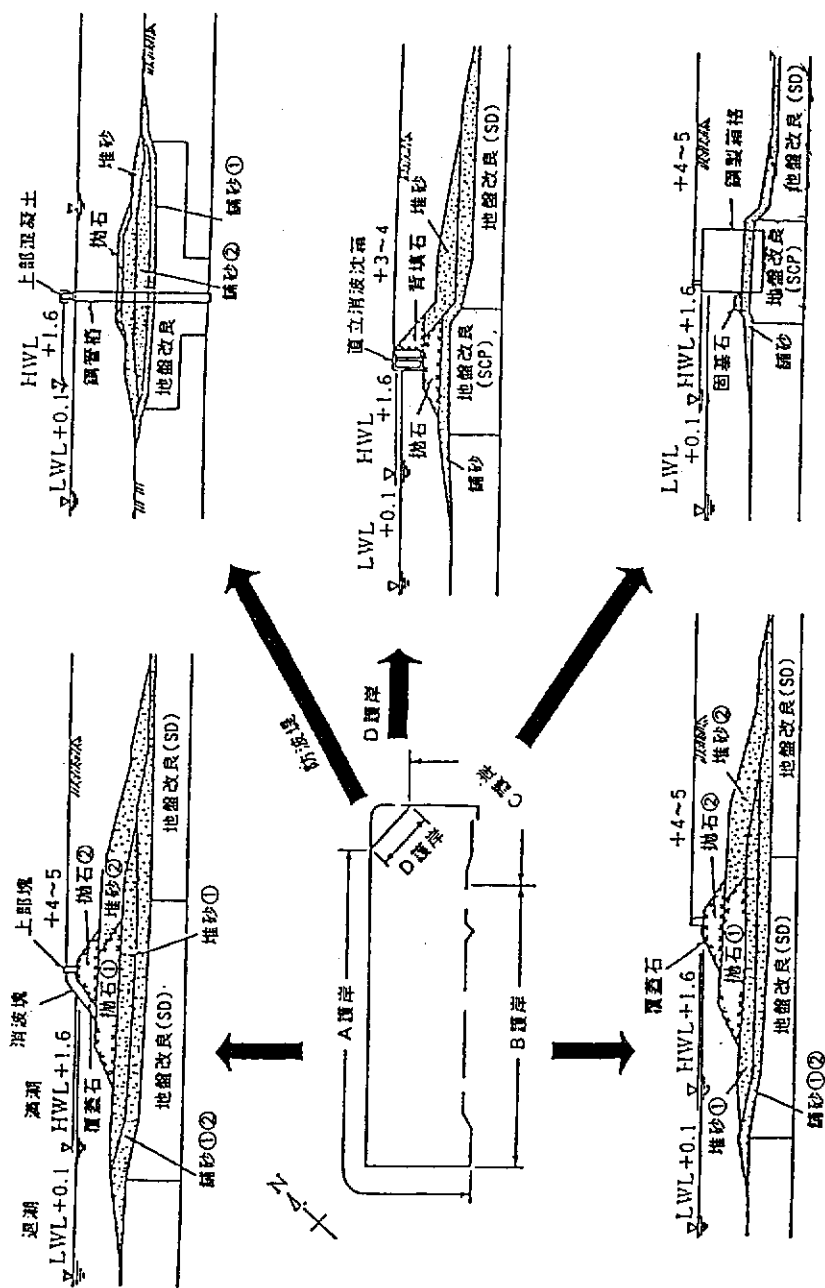


圖7-3 日本關西國際機場護岸構造形式圖
(摘自資料：Y.Arai，1991)

四、填埋土砂之採取

機場人工島建設的填埋用的山砂採取場位於大阪府開發的阪南和歌山縣開發的加太及民間開發的淡路島等3個地區，機場人工島建設地點與阪南、加太、淡路島間的距離分別為5，11，20海里。由阪南及加太的採取地所運出的機場島建造所需之填埋土砂於尖峰時刻分別為每日11萬立方公尺及12萬立方公尺，由於如此大量土砂的採取、搬運、運入所以須採用80噸級的推土機、80噸級的傾卸工程車等大型機械及引進連接採取場與運出棧橋又長又大的輸送帶等各式各樣的機器。此外為使土砂供給安定而與土砂採取、搬運、運入有關的資料、重機械設備的操作資料、為使運航安全的環境資料等都自動地輸入，導入個人電腦處理的新系統，實行有效率的施工管理。

五、填埋土砂之裝載

機場人工島填埋工程的最盛期間，其土砂運搬量達到約600萬立方公尺/月左右，在此搬運時所服務的運土船一天超過80艘。每天須作約120次的檢驗作業。當初在現場當運土船接近機場島時以人工依體積計量做檢驗作業，但是由於運土船數量增加所導致之(檢驗等待)或夜間工程實施所產生之人工檢驗作業之安全性確保等重大問題，因此開發出光波式計量方法作為代替人工的計量方法，此法運用於加太和阪南的運輸的棧橋。土砂輸入運土船的山砂形狀以光波連續正確地測定，土砂輸入終了後2分後運土船可離開棧橋。土砂量之最終計測結果約15分後輸出，隔天將前日的搬入土量輸入到建設事務所的資料庫內作為工程管理的基礎資料(見圖7-4)。

六、填埋工程

填埋工程是於全區域將SD打入沖積粘土層中，在計畫安定地盤的同時施行段階的載重，最終築造厚約達33 m的填埋土層。其施工順序如圖7-4所示，首先如同護岸一樣散布一層鋪砂1，後以SD(砂樁直徑40 cm，打設間距2.5 m×2.5 m)進行地盤改良後，使用底開式運土船為主以山砂投入造成鋪砂2。放置6個月的壓密期後，以底開式運土船施行埋置3(至-10 m左右)，再埋置2(至高程-6 m左右)，再放置6個月之後，確認原地盤的強度增加到預定值後，一舉以底開式運土船進行埋置(至高程-3m左右)，以揚土船進行揚土1(至+9.5m)之施工。再由揚土船揚土至1的高度，然後再以傾卸工程車進行揚土2之施工。填埋工程由昭和63年12月起

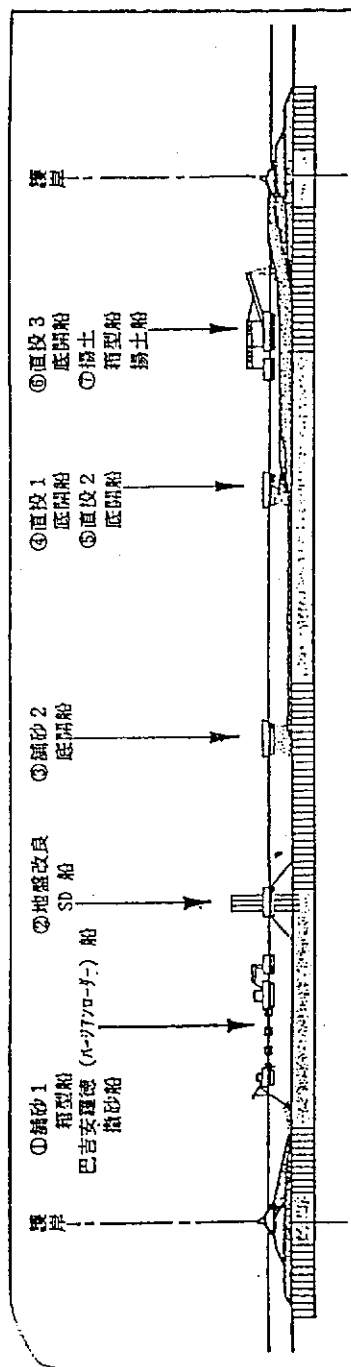


圖7-4 日本關西國際機場埋設工程概念圖
(摘自資料：Y.Arai, 1991)

歷時3年至平成3年(民國80年)底完成，最終填埋土量達到17,800萬立方公尺。填埋工程當初預定以4年來實施，但因工程開工時期嚴重落後而縮短為3年。

如此大規模急速施工之工程管理上必須檢討的事項舉例如下：

- (1).接合於上部構造物工程部分的完工
- (2).填埋展開及島內水域下的填埋展開
- (3).上部設施的不同沈陷下的填埋展開
- (4).其他工程的輻輳之調整
- (5).發生殘土處理之調整
- (6).填埋必要土量的管理
- (7).航行安全對策(海上基地航行安全中心之設置，護岸開口部的運用等)

七、填埋土地盤改良工程

因填埋以急速揚土方法以揚土船一舉填埋，其所填埋土層幾乎是未固結的年輕地盤。因此該所填埋土層，若作為機場諸設施的基礎地盤，則必須防止不同沈陷量產生，因此該設施區域必須進行地盤改良工程。機場人工島內認為必須作地盤改良的面積高達320公頃，而且施工期間只有從填埋完成後至上部構造物工程開工前，僅有極短的期間，因此必須採用固結工法進行機場島的地盤改良。在考慮破碎岩石地盤的實際施工成果下，選定了壓密砂樁(SCP)工法、動壓密(DC)工法和大型振動消能(MVT)工法等三種工法。各工法的區分，基本上乃依比較其工程費用而加以訂定，DC用於一般的建物等的基礎，SCP用於改良後必須再挖掘的建物等的基礎，MVT用於鋪裝等輕量設施的基礎。

工程由平成2年(民國79年)7月起從機場大廈地區的地盤改良開始以來，配合機場島建設工程的進展加以實施，既已建造的地區大致已改良完成，現在只剩跑道、引道地區。

八、沈陷管理

機場人工島的填埋層平均厚約33 m，其荷重高達約45 tf/m²。機場島面積廣達511公頃，除了護岸附近外，在機場人工島的範圍內，該海底最深部份的洪積土層，大體上為一軸壓縮狀態。在此載重下，沖積粘土層及洪積粘土層共同產生的最終沈陷量預測為5 m。於沖積粘土層中在機場島全區域以排水砂樁工法作地盤改良，其沈陷在填埋後9個月就完成，但洪積層需經長期間徐徐地沈陷。若由

沖積層及洪積層合成的總終沈陷量的等級來看，到揚土為止為4 m，到揚土1年後為止為4 m，到開航為止2 m，到開航後50年為止為1.5 m，全部為11.5 m。

為了要在如此大量的沈陷進行中建設機場島及機場諸設施，而製作及運用沈陷管理系統。沈陷管理的管理目標為開航時，機場機能、排水機能等能適切地確保，而且其後的沈陷大致完成，既使在開航50年後依然不會對機場的機能造成障礙，設計開航時的機場設施計畫高程，以此計畫高程作為管理目標。

九、結語

關西國際機場的建設終於在5年極為有限的工期內於平成3年(民國80年)底完成了機場人工島，此海上人工島的建造工法頗受全世界土木工程師重視，並深入探討。

第二節 關西國際機場離岸人工島建設工程設計簡介

一、前言

關西國際機場為世界第一座建於人工島上方之案例，目前正於日本大阪灣進行，預計於西元1994年夏天正式啟用。由於基礎需在深海軟弱地盤上方回填完成，並且如此龐大工程施工期又極其短促，料將遭遇許多問題，這些工程問題包括回填高度和防止不均勻沈陷，此皆為了確保人工島功能順利運轉。

二、天然條件

(一) 海床土壤(Seabed Soil)

(1) 土壤剖面圖：

施工基礎所在位置的海水深度約在16.5 m至19 m之間，海床坡度約1/750。機場所在海床土壤調查工作，係用65個鑽孔，其深度由100 m至400 m。為了確保鑽探品質和效率，採用日本運輸部港灣研究機構所開發吊索式鑽探系統(Wire Line Boring System)。

使用地質調查結果，可以約略得知土層沈積環境和年代，圖7-5乃施工基礎土層剖面圖，其中最上層屬於軟弱沖積黏土層(Alluvial Clay Stratum, Ac)，厚度約為16 m至20 m之間，其次土層則為洪積黏土層(Diluvial Clay Stratum, Dc)和薄礫石層。

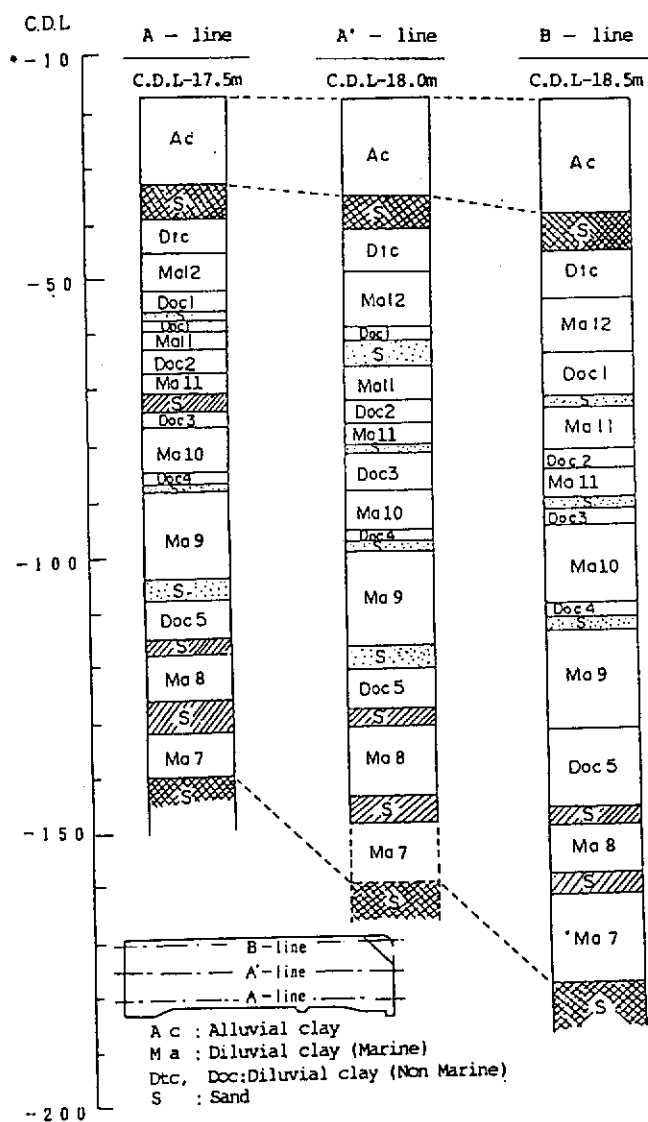


圖7-5 日本關西國際機場施工區域土層剖面圖
(摘自資料: Y.Arai, 1991)

(2) 設計用土壤參數：

為了設計人工島海堤和回填工程，所需最上層沖積黏土基本資料如下：體積壓縮係數 $m_v = 0.18p^{-1.08}$ (cm^2/kg)， p 表示壓密壓力(kg/cm^2)；壓密係數 $c_v = 90$ (cm^2/day)；不排水剪力強度 $c_v = 0.2z$ (T/m^2)， z 表示深度(m)。

考慮數據散亂分佈，真正沈陷量與預估值將有當程度的差異。

(二). 其他條件

機場基礎所屬人工島座落於海中，因此除地震力外，尚需瞭解周遭海浪造成沖擊力大小。因為島區位處大阪灣內部，每年約有80 %日子浪高僅為50公分或更低，但設計海堤工程時，依50年發生機率推估最大浪高可達3.5 m，方向為WSW向，週期為6.7秒。

此海域潮汐水位調查結果為：至目前觀測最高水位(HHWL)：C.D.L. +3.2 m；高水位(HWL)：C.D.L. +1.6 m；平均水位(MWL)：C.D.L.+0.9 m；低水位(LWL)：C.D.L. +0.1 m。

依上述資料推測島上陸地高程在機場開始啟用時，不可低於C.D.L.+4 m。

港灣內部所有設施結構地震力演算，乃依日本地震係數法 (Seismic Coefficient Method)，且本基礎所在位置、地下土層條件和結構物重要性等因素，選擇設設計地震力係數為0.15。

三、人工島施工技术概要說明

關西機場人工島陸地面積為511公頃，所需土方數量約為180百萬立方公尺。比較日本過去人工島施工實例，此計劃具有下列三項特色：

(1) 人工島興築在高水深海域中，水深達18公尺。

(2) 工址海床包括20公尺厚沖積土壤和夾砂土及礫石薄層之洪積土層，厚度更高達400公尺，預測土方施工中和竣工後產生沈陷量10公尺之鉅。

(3) 陸地面積和所需土方數量在日本皆為前所未見，並且施工期非常短，約僅六年時間就需完成。

除此之外，施工期間人工島興建和島上各項設施工期各為三年，總共僅為六年。

圖7-6為此機場施工樹狀流程圖(Tree-Form Diagram)，以下各單元皆係基於土壤力學理論，探求圖7-6根部(Roots)工作項目，主要有人工島短時間完工作業，土壤沈陷測定方法和處理對策。

四、人工島施工

(一) 沖積黏土層地盤改良

過鉅沈陷量可能危及海堤和土方工程穩定性，海床上方厚且軟弱沖積黏土層務必進行地盤改良，經擇定此基址擬用排水砂樁(Sand Drain)和壓實砂樁(Sand Compaction Pile)改良工法，至於海堤中二角隅則選用深址混合(Deep Mixing)工法施工。

為了在很短工期處理此大型地盤改良計劃，使用十艘以上地盤改良高性能工作船。每艘船備有電腦控制各自電子儀器，除此人工島外尚有22處測量基準點，相距各為500公尺之遙，當工作船定位時，利用光波反射訊號，由接收器和自身分析儀迅速定得位置之座標。

(二) 海堤(Seawall)

此海堤以一擋土牆圍繞此511公頃人工島達11公里之長，見圖7-3。包括四類型不同功能的海堤結構物。A類型和B類型海堤佔所有百分之八十，係採用拋卵石堆積而成，花費便宜，並且外側消波塊可以提供抵抗最嚴重波浪衝擊力，C類型海堤則採鋼板式圍堰(Sheet Pile Cellur Bulkhead)，每只直徑23公尺，高度亦有23公尺，C類型海堤則以混凝土沈箱(Concrete Caissons)為主，沈箱前端有細縫(Slit)是為了消波。

(三) 回填工程

在所有砂樁打入沖積黏土層之後，回填工作乃開始進行，為了防止非均勻沈陷發生，回填工作需整個基地全面進行。回填計劃步驟如下(見圖7-7)：

(1) 第一階段鋪設砂層，約有1.5公尺厚。

(2) 打砂樁，將間隔2.5 m且直徑40 cm砂樁打入沖積黏土層。

(3) 第二階段鋪設砂層，利用底拋工作船(Bottom Dump Hopper Barges)小心地將砂土層鋪撒至C.D.L. -15 m，用來保護第一階段已鋪設砂層。

(4) 直接拋放第一階段和第二階段作業，係在上述砂層壓密六個月後，利用底拋工作船，將土層高度提高至海平面下六公尺處。

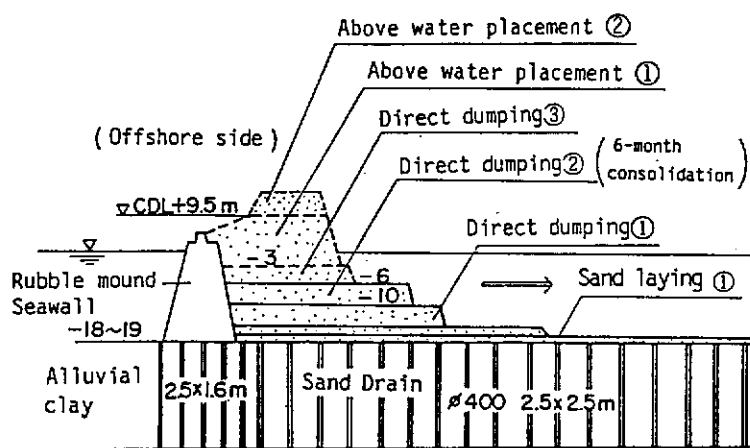


圖7-7 日本關西國際機場回填工程計劃
(摘自資料：Y.Arai，1991)

(5) 直接拋放第三階段，在第(4)步驟完工六個月後，將較小粒徑土壤用來回填，使土層高度提昇至海平面下二公尺處。

(6) 水上作業第一階段，先用箱型工作船(Box Barges)，再繼續用大型土方工作船(Reclaimer Barges)上輸送帶，使土層高度達C.D.L. 7 m至C.D.L. 9.5 m。

(7) 水上作業第二階段，除用輸送帶外，另配合陸地卡車和鏟土機填至預定高度。

整個回填作業始於西元1988年12月，此時海堤已施工完成，取土位置見圖7-8有大阪府Osaka之阪南Hannan-Cho地區和歌山縣Wakayama之如太Kada地區和Hyago之淡路Awaji島，挖土位置距人工島約為10 km至30 km之間。整個土方數量為180百萬立方公尺，尖峰時間可達5.5百萬立方公尺，上述作業分別用80艘工作船，每艘容量為3000立方公尺及10艘大型輸送土方工作船，每艘工作量為1200至1300 t.p.h.(噸/小時)。

(四) 施工新技術研發

由於深海中施工興建人工島，且地盤又極為軟弱，為使六年工期完成此項龐大工程，乃研發許多施工新技術。表7-1乃本基礎所採用施工新技術種類。

(1) 沈陷量和地盤穩定控制系統(Control System of Settlement and Stability)：沈陷錨沿海堤安裝，相距在300 m至600 m之遠定時監測，每回填加載重之前，應先鑽孔瞭解土壤已強化過性質，倘若結果不理想，則所工作包括結構設計皆需反覆檢核。

(2) 運土船定位(Mechanical Position of Barges)：基於沈陷量將因砂樁而快速產生，故防止不均勻沈陷將是一重要課題，為了達此目標，運土船拋送位置正確性極為重要，本基址係利用雷達波，可正確快速指出船隻位置，並指引船隻進入預定位置，見圖7-9。

(3) 回填土方數量計測系統(Reclamation Soil Volume Measuring System)：由於取土坑來自前述三個地方，數量供雖不虞缺乏，但每日有80艘運土船且土方數量頗多，土方計算正確估算甚為重要，實有必要發展一套計劃系統。此基礎共使用二套方法，包括光波式(Optical Beam System)(圖7-10)和照相(Photograph System)檢驗法，前者除較為經濟，並且不會像後者需夜間照明，易使周圍釣魚者產生干擾。

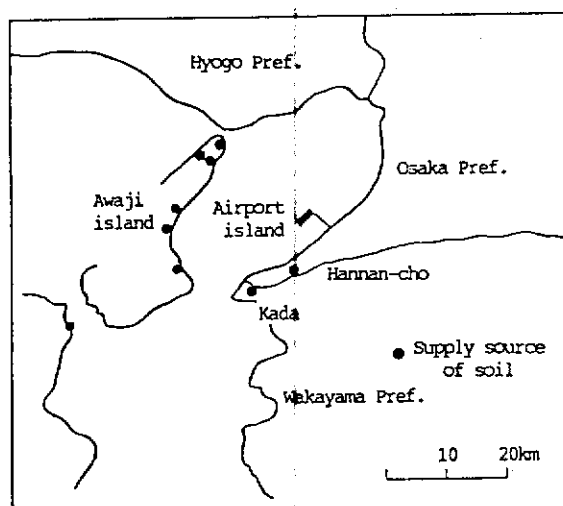


圖7-8 日本關西國際機場回填工程取土區規劃
(摘自資料：Y.Arai · 1991)

表7-1 日本關西國際機場施工新技術規劃
(摘自資料：Y.Arai・1991)

CHARACTERISTIC	ITEM	PRINCIPAL ADVANCED TECHNIQUE
Deep water	Execution control	<ul style="list-style-type: none"> Positioning of barges by radio-wave indicator Reclamation soil volume measuring system Reclamation control system
Soft clay	Control of settlement and stability	<ul style="list-style-type: none"> Control system of settlement and stability Handy-type hydraulic settlement gauge Diluvial clay settlement measuring system
Short period for construction	Improvement of efficiency	<ul style="list-style-type: none"> Wet-type reclaimer barge Automatic work-vessel control system
	Environmental Protection	<ul style="list-style-type: none"> Environment supervision system
	Safety	<ul style="list-style-type: none"> Meteorological forecasting system Navigation surveillance radar system Natural condition transmitting system

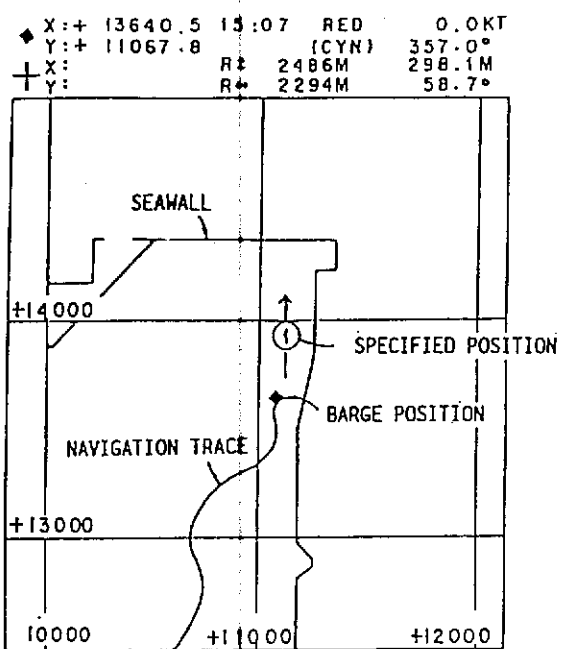


圖7-9 日本關西國際機場運土船雷達波定位系統
(摘自資料：Y.Arai · 1991)

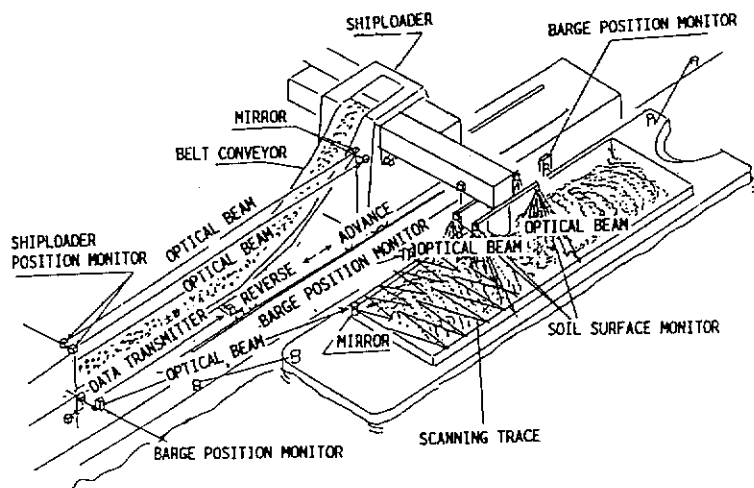


圖7-10 日本關西國際機場回填土方數量計測系統
(摘自資料：Y.Arai，1991)

(五) 回填載重使海床沈陷之計算

(1) 設計沈陷量：

關西機場由於所需土方數量龐大，些微沈陷量計算誤差將使回填土方數量錯估，沈陷量公式採用下列公式：

$$S_f = \sum_{j=1}^n m_{vj} \Delta P_j (H_0 - \sum_{j=1}^{n-1} \delta_j) \quad (7-1)$$

其中 S_f 表最終沈陷量， m_{vj} 表載重 j 階段時體積壓縮係數($1/\text{kPa}$)， ΔP_j 表載重階段應力增加量(kPa)， H_0 表沖積土層受載重前原始厚度(m)， δ_j 表載重 j 階段最終沈陷量(m)。

沈陷量和沈陷時間關係曲線利用Barron理論。沈陷量計算結果見圖7-11。圖中指出總沈陷量中有6.5 m發生在Ac土層上，然此值在回填工作完成半年之後就全面停止，回填土產生負荷載重約為392 kPa，且影響壓密範圍可達至海床150 m之深。由於Dc土層含有砂礫石薄層和黏土層，將使壓密現象變得複雜，分析時亦格外困難。本基礎乃用有限元素法和Biot理論，土壤單位重設為 17.14 kN/m^3 ，計算出Dc土層最終沈陷量為2 m，其中0.5 m是在機場開始啟用時發生，另1.5 m則在往後50年內陸續產生。

(2) 觀測結果和壓密修正和分析：

為了慎重執行此大型計劃，乃在附近設一工作區(Pilot Work Section)研究各個施工階段下土壤行為。除了測定沈陷量，並包括水平位移量、孔隙水壓力和強度增加值等項目之觀測。用來測定沈陷量方法有三，沈陷板(Settlement Plate)見圖7-12、雙管沈陷測定儀(Double-Pipes Type Settlement Apparatus)見圖7-13和錨錠式沈陷計(Anchor-Rod Type Settlement Gauge)見圖7-14。

圖7-15為沖積土層沈陷量觀測結果，發現沈陷量和沈陷速度皆少於預測值，雖然土壤參數應重新評估，若使預測值和觀測值結果相同，反推求得參數於表7-2。

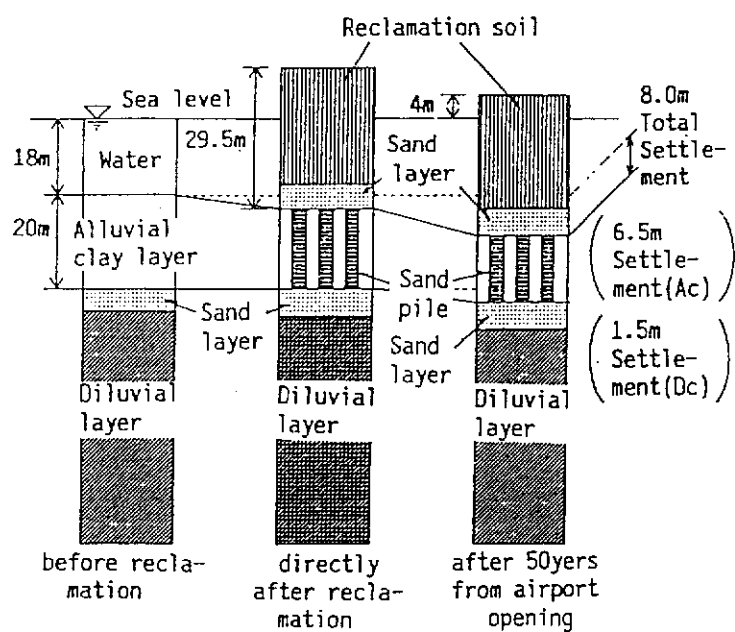


圖7-11 日本關西國際機場設計時估測回填過程的海床沈陷量
(摘自資料：Y.Arai，1991)

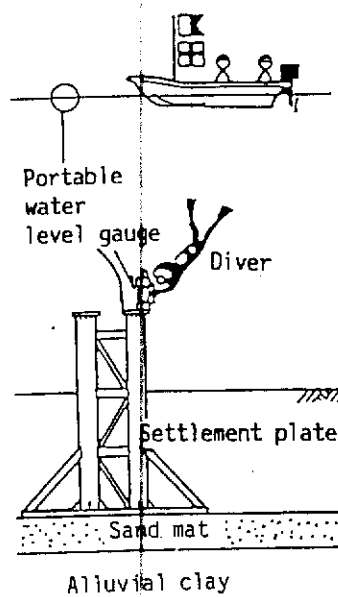
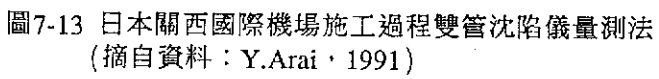


圖7-12 日本關西國際機場施工過程沈陷量測法
(摘自資料：Y.Arai，1991)



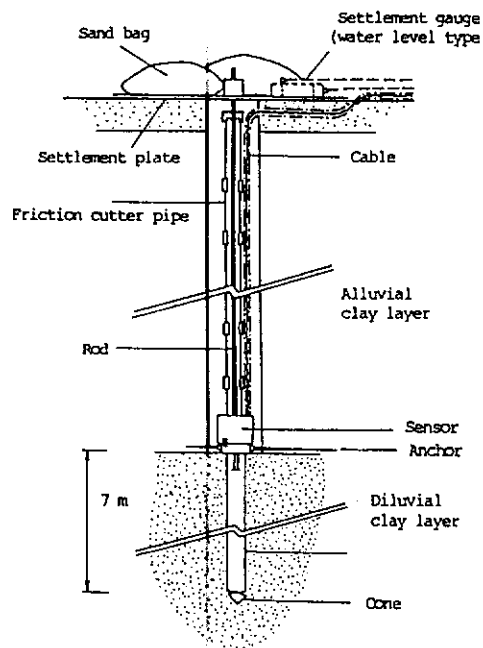


圖7-14 日本關西國際機場施工過程錨錠式沈陷計量測法
(摘自資料：Y.Arai, 1991)

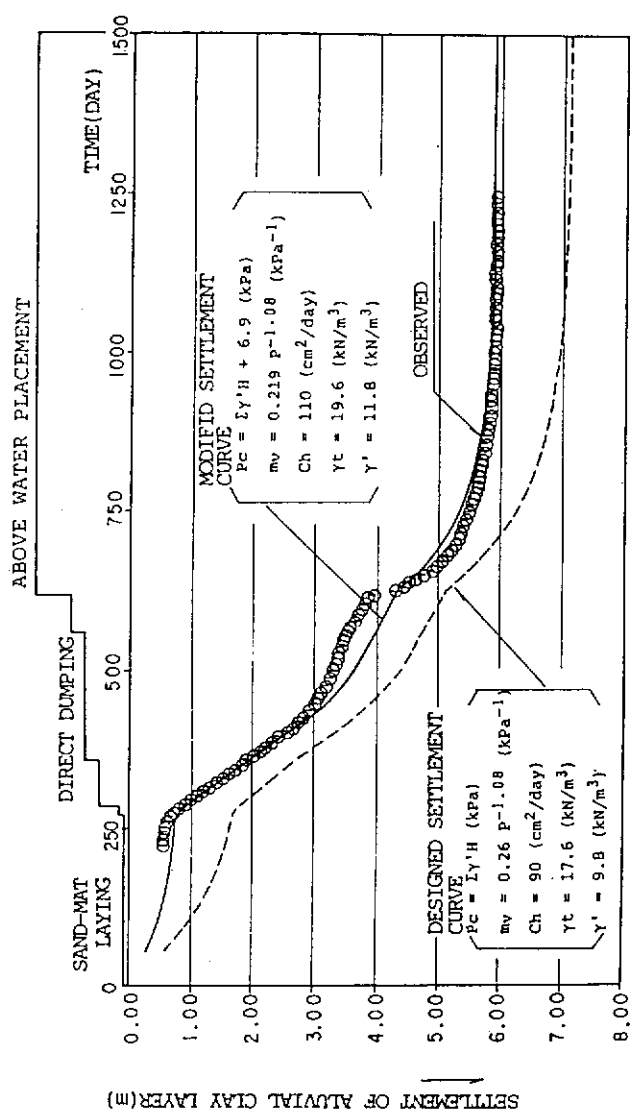


圖7-15 日本關西國際機場施工過程沖積黏土層沉降預測量與量測值比較
(摘自資料：Y.Arai, 1991)

表7-2 量測沈陷後沈陷參數修正(摘自資料：Y. Arai, 1991)

Consolidation Condition		In Design Stage	After Modification
Consolidation yield stress	P_c	$\Sigma \gamma' H$ kPa	$\Sigma \gamma' H + 6.9$ kPa
Coefficient of volume compressibility	m_v	$0.260 p^{-1.08}$ kPa ⁻¹	$0.219 p^{-1.08}$ kPa ⁻¹
Coefficient of consolidation	C_h	90 cm ² /day	110 cm ² /day
Unit weight of fill material	γ	Above water 17.6 kN/m ³ Under water 9.8 kN/m ³	Above water 19.6 kN/m ³ Under water 11.8 kN/m ³

五、沈陷因應對策(Measures to Control Settlement)

當構築機場相關設施如航站大樓，塔臺和聯外橋樑，需有不同因應措施以回填推得預定高程和防止不均勻沈陷。

(一) 航站大樓設計想法：航站大樓係由義大利Renzo Piano聯合建築事務設計，該大樓包括國際和國內航線使用，形狀如一鳥翼往南北向延伸，乘客藉由自助輸送系統(Automatic Guideway Transportation)經由航站大樓進入艙內(Wing Gates)，此種設計乃世界創舉。該大樓另一創舉乃鳥翼南北各延伸680 m，若包括主要航站大樓，長度達700公尺，而總面積大約為300,000 m²(見圖7-16)。該大樓另一特色為廣泛使用玻璃材料，目的使整棟大樓更為光亮耀目，依Piano相法，整棟大樓不用牆柱支撐，使其更像空中閣翼(Wings of a Glider on the Air)(見圖7-17)。

(二) 不均勻沈陷因應對策：該大樓採用筏式基礎而非樁基礎，整棟大樓將隨基礎下沈而沈陷，使大樓重量差異達78.4 kPa，將造成大樓中央下降量較二側為小，預估50年後不均勻沈陷量可達40 cm，見圖7-18，分別利用下述二法處置，一為塞入Iron Ore Layer，其2.5 m厚可抵消約50 %將近23 cm沈陷量，另一方法為利用千斤頂頂高再塞入填充鈹，見圖7-19。

六、結論

1. 關西國際機場將於1994年夏天正式啟用，目前正加緊趕工。
2. 施工期間人員物質輸送將利用船隻輸送，除了4000人宿舍，另飲水、油料、化學藥品、照明、郵局等福利措施，皆一概俱全，儼然是座自給自足小城市。
3. 為材料供應不致中斷，島上混凝土工廠和AC工廠亦正興建中。
4. 施工中許多問題不斷浮出，但也不斷獲得解決，如此，先進施工技術將可被用來完成我們的目標。

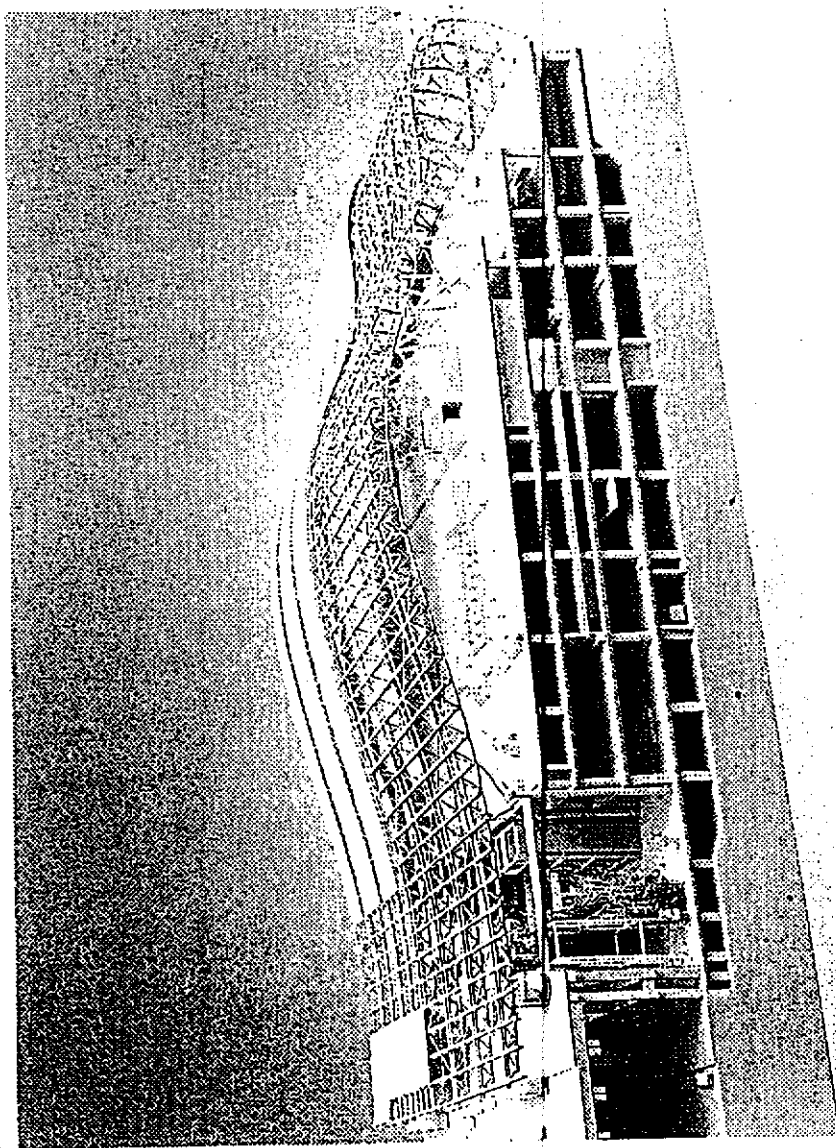


圖7-16 日本關西國際機場航站大廈設計
(摘自資料：Y.Arai，1991)

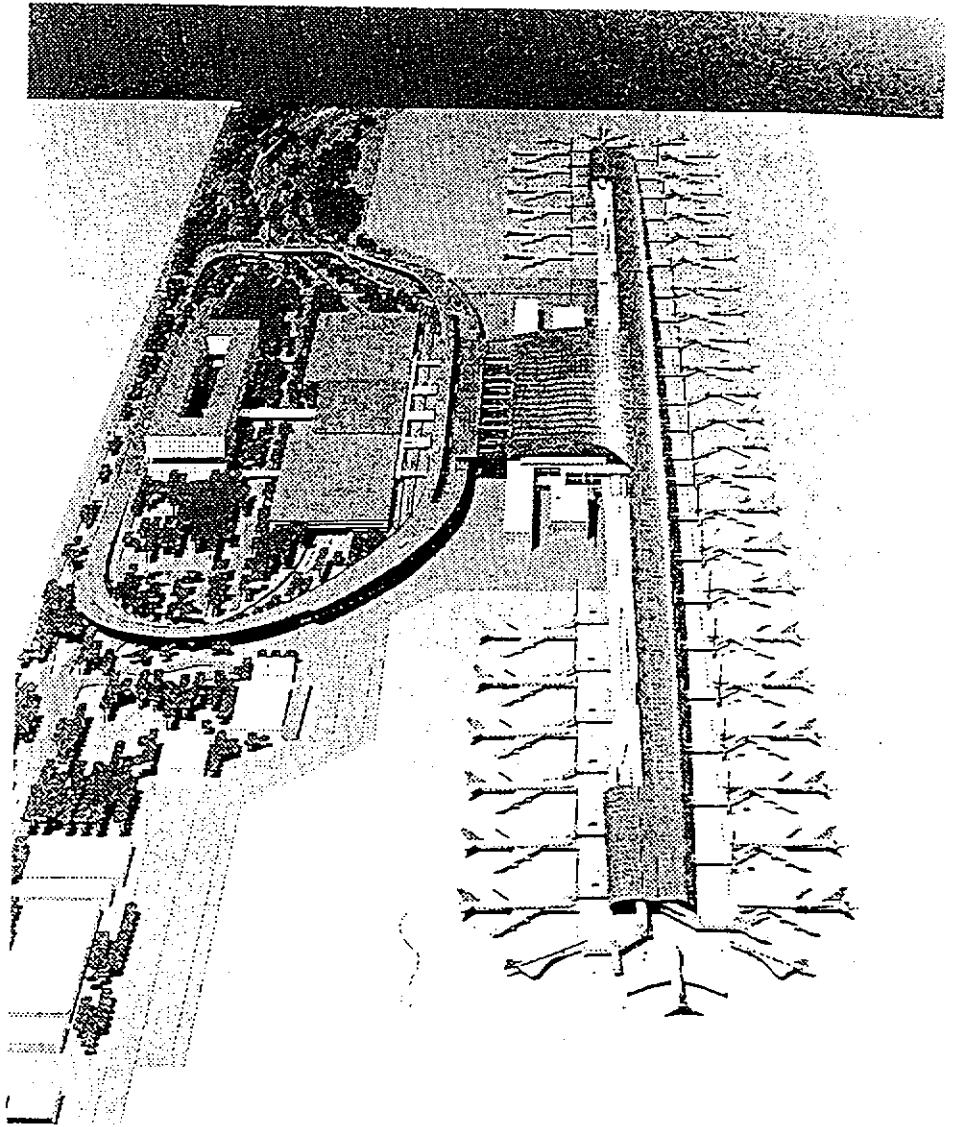
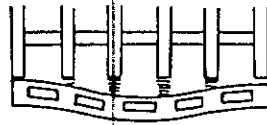


圖7-17 日本關西國際機場航運大廈設計
(摘自資料：Y.Arai，1991)



Completion of construction



Results of an ideal settlement



Results of an excess settlement
at the edge of foundation

圖7-18 日本關西國際機場航站大廈沈陷預估
(摘自資料：Y.Arai, 1991)

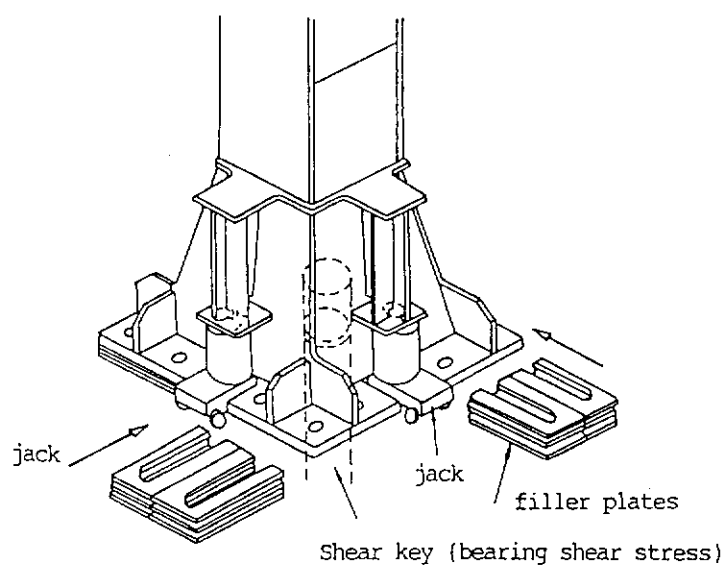


圖7-19 日本關西國際機場航站大廈沈陷處理
(摘自資料：Y.Arai，1991)

第八章 日本軟弱地盤改良工法

第一節 概論

地盤改良工法依改良物對象之深度可分為深層地盤改良和淺層地盤改良，其中又依其原理可細分如下：

一、深層地盤改良

原 理	工法分類	工法細分
機械性置換	置換工法	爆破置換 強制置換 挖掘置換
壓密	預壓密工法 鉛直排水工法	自然壓密工法 超填土工法 排水砂樁 網袋排水工法 塑膠排水片工法 紙板排水片工法
夯實	震實砂樁工法 浮震工法 重錘落下法(動壓密工法) 爆破夯實法	
化學改良	生石灰樁工法 深層攪拌工法 注入工法	
凍結	凍結工法	
降低地下水位	地下水位降低工法 真空壓密法	點井法 深井法

二、淺層地盤改良

原理	工法分類	工法細分
物理性工法	鋪網工法	塑膠格網 繡繩網工法 繡竹網工法
	荷重減輕工法	保麗龍板工法(EPS工法)
化學性工法	混合攪拌工法	石灰系列工法 水泥系列工法 工業副產品系列工法

本章針對使用實績較豐富、可靠性較高、或工法雖新，發展潛力大之工法做一原理及實用性之探討，以供地盤改良工法選擇時之參考。

第二節 深層地盤改良工法

一、置換工法

此工法不適用於大面積海埔新生地之全面性改良。以良質土局部取代軟弱土層，又分為自重置換、爆破置換及挖掘置換。圖8-1為前兩種方式之示意圖。軟弱層淺且薄時，一般以全部置換為原則。軟弱層較深厚時改良範圍一般需大於其上構造物基礎之 30° 荷重分佈範圍；改良深度必需使構造物基礎之 30° 荷重分佈後改良層底面之平均荷重小於軟弱土層之容許承载力，其置換範圍之實績如圖8-2所示。

本工法之優點為原理簡單，施工容易。其缺點為使用自重置換及爆破置換時，取代之範圍均質性無法確保且被取代軟弱土壤之處理不易。日本於1965年後之十年間港灣地盤改良工程中有76%使用本工法，近年來由於他種工法之有效性漸被肯定又加上對於海域生態環境保護之要求漸嚴格，本工法已趨沒落。

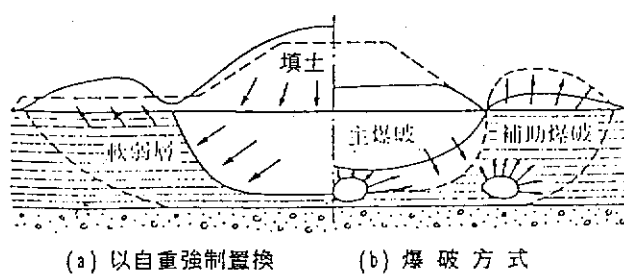


圖8-1 強制置換模式圖

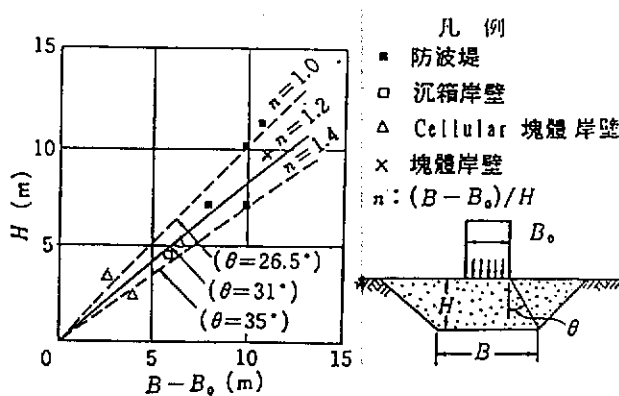


圖8-2 港灣工程中置換斷面之實績

二、以促進壓密為主之工法

本類工法適用於排水速度緩慢之粘土層，其目的為促進土壤壓密排水之進行，使於預期時間內達到預期密度增加之地盤改良效果。依其原理之方法不同可再分為三類：

(一) 預壓密工法

以超載重加於軟弱粘土地盤上，使短期內之沉陷量，等於設計載重下之主要壓密沉陷量。使設計載重下之長、短期沉陷量均達最小。其優點為施工容易，大量材料較易取得，且價廉。其缺點為填土之速率需配合軟弱粘土地盤中孔隙水壓之消散，以防止軟弱粘土基礎之滑動破壞，因此必須進行分段施工，並與現場孔隙水壓及沉陷之觀測併用。一般以圓弧滑動進行超載填土之穩定分析，其安全係數對於普通構造物而言，一般應維持在1.2以上。由於本工法有施工簡單，材料廉價之優點，故為一有效而常用之地盤改良工法。在本計劃中可考慮分期分區施加超載，其所需之土料可考慮使用其他工程之棄土或混合飛灰或混合爐石處理。先期之超載去除後可再使用於下一加載區。

(二) 鉛直排水工法

以透水性大之土壤或其他材料，以鉛直方向連續打設於軟弱地盤中，使成一類似樁體構造，並以適當水平間距打設之，使原來軟弱土層中鉛直方向為主之排水路徑改變為水平方向，並縮短排水路徑。理論上來說，達到某一壓密度所需時間與排水路徑之平方成正比，故佈設鉛直排水構造於軟弱地盤中，可於短期內達到完成主要壓密之效果。本工法在1948年Barron提出理論分析法後確立其於地盤改良工法中之地位。本工法依使用排水材料之不同可細分為厚紙板排水工法，砂樁排水工法，及塑膠合成排水帶法本工法。本工法在日本使用相當頻繁，至1986年為止之實績見表8-1。施工件數之比率見圖8-3，由該圖可知，本工法使用於臨海港灣設施之基礎地盤改良及海埔新生地改良之施工件數約佔全體之1/3。

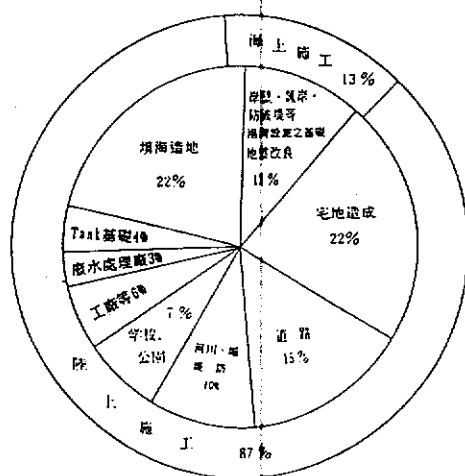


圖8-3 鉛直排水之施工地點與對象

表8-1 鉛直排水工法在日本使用實績 單位：10⁴ m

年度 工法別	1982	1983	1984	1985	1986	小計
砂樁	175 (164)	151 (129)	152 (116)	322 (274)	277 (255)	1077 (938)
網袋砂樁	161	335	302	370	438	1606
合成排水片(含 七種廠牌)	972	938 (3)	569	791 (38)	1451 (34)	4721 (75)
小計	1308 (164)	1424 (132)	1023 (116)	1483 (312)	2166 (289)	7404 (1013)

()內之數字表示海上施工部份之施工量

(1) 砂樁排水及網袋砂樁排水工法

本工法主要用於粘質土之改良，在日本使用於海上施工之例佔全部施工例之90%(表8-1)。依施工方式不同可歸納為強制貫入式及鑽孔式兩大類。其再分類及施工概略程序示於圖8-4。樁徑一般為10至60 cm，打設間距一般取1.5 m至4.5 m，其中以2.0 m至2.5 m最多，佔70%。一般使用砂之限制為均勻係數 $U_c > 3$ ，小於3 μm 之顆粒含有率小於3%。打設後軟弱地盤之相當大沉陷變形導致砂樁本身之連續性難以確保為其最大缺點。針對此缺點所發展之改良形式為網袋砂樁工法。此工法為在一般排水砂樁之填砂前於套管內套入一塑膠編網，使填入之砂受拘束於此網袋內，確保排水砂樁在地中之斷面積及連續性。照片8-1、8-2為網袋排水砂樁使用於日本羽田機場拓建工程時實地之拍攝。

本工法之優點為砂價廉、既有設備多可進行大規模施工。在海岸相關之工程中之有效行性亦受到肯定。其缺點為強制貫入式對於靈敏度較高之黏土可能產生顯著之擾動，又其打擊噪音大。鑽孔式則為排出粘土之處理問題。

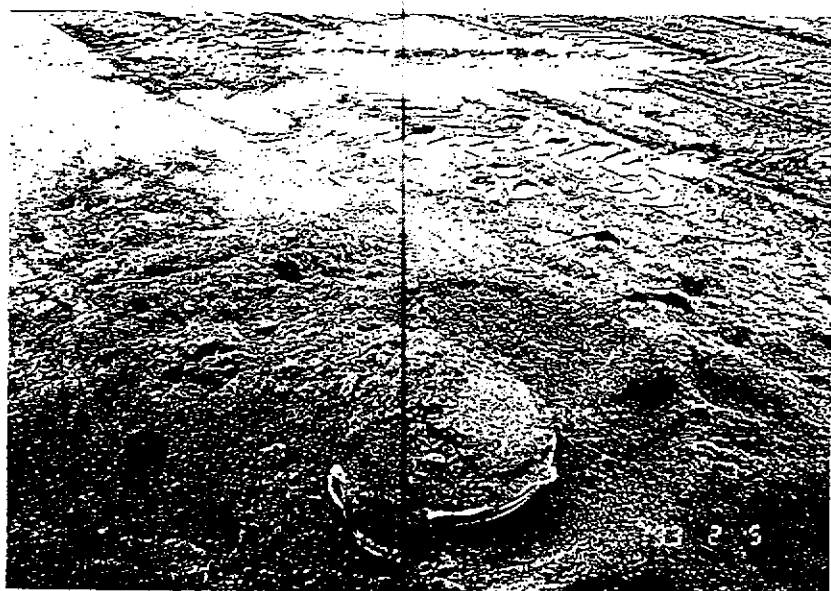
砂樁排水及網袋砂樁排水工法之總施工量約佔鉛直排水工法總施工實績之一半。由於其豐富的實績，又加上本計劃主要以抽砂回填方式進行造地，因此砂樁所需用砂不虞缺乏，應為一可用性高之工法。

打設原理	有無 套管	設 置			施工順序例	
		先端	貫入	拔出		
強制 貫入 方式	有	閉 端	靜力 (壓縮 空氣) 衝擊 貫入	靜力 (壓縮 空氣)		
			振動 貫入	振動 (壓縮 空氣)		
			靜力 壓入	靜力 (飽和 砂)		
鑽孔 方式	有	開 端	噴水 排土	靜力 (浸水)		
			螺旋鑽 排 土	靜力 (自然 落下)		
	無	Relay drilling	氣壓衝擊水沖	飽和 砂		

圖8-4 排水砂槽之打設方式及打設順序



照片8-1 裝設網袋準備吊入套管
(攝於東京羽田機場地盤改良工程)



照片8-2 打設完成之網袋排水砂樁樁頭部份
(攝於東京羽田機場地盤改良工程)

(2) 合成排水帶工法

本工法之概略示於圖8-5。排水帶亦如圖8-5所示，一般約3 mm厚，10 cm寬之帶狀厚紙板或塑膠合成片，以特殊之推送管將其壓入軟弱土層中。打設之水平間距一般為0.5至2.5 m，其中以1.0至1.5 m為最多約佔70%。為使已壓入部份之頭部確實固定於預定深度，而發展出種種不同之錨定方法，例如圓錐頭錨定裝置(如圖8-6)。也有於排水帶上固定間隔裝設感應片，並於推送管之內部先端處裝設檢測器，以檢查推送管抽出時排水帶是否完全錨定於被改良土層中。本工法以往幾乎全部使用於陸地工程，這是由於排水帶在海中進行切斷作業較不方便，又加上工程管理不易之故。直到最近才有大型之合成排水帶打設專用船進行海上作業。

本工法之優點為合成排水帶之材料及施工品質能滿足較嚴格的要求。又其具抗撓屈特性可確保連續之排水功能。但對於多種合成排水帶與週圍土壤之長期透水性，及孔徑與土粒相容性問題必須再加研究，以避免選用不當材料及預估改良土體之壓密行為誤差過大等問題。

本工法有豐富使用實績，由表8-1可知本工法之實例佔鉛直排水工法總施工件數之一半以上。使用本工法於本計劃時，由於現在國內有關市場幾全為進口產品，可能導致工程費之增加，其合理性尚待檢討。

(三)、載重與垂直排水併用工法

本工法為期使完成預期壓密效果之時間短，且不需很高之超載填土，如東京羽田機場拓建工程採用之鉛直排水砂樁之上鋪設水平排水砂層，再於其上填築約3 m高之超載填土。

本工法使用實績豐富，設計分析理論完備，又可靈活應用兩種排水機制不同工法以達到工程技術上要求之最佳組合，並配合檢討材料取得之問題。使功能與經濟之要求同時滿足，為一極具發展潛力之工法。

四、夯實工法

(一) 震實砂樁工法(Sand Compaction Pile Method, SCP工法)

本工法結合(1)強制置換、(2)夯實和(3)壓密排水等土壤改良機制於一身，且適用於任何土壤；包括砂質土、粘土、有機質土等，為最常用之地盤改良法之一。改良深度，在陸上一般為35 m，海上施工可達水面下50至60 m。本工法主要

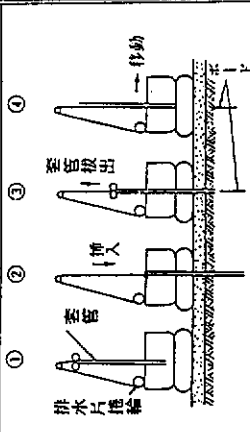
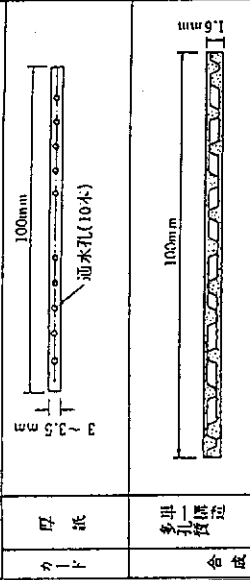
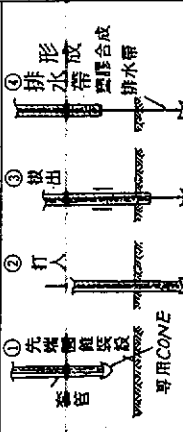
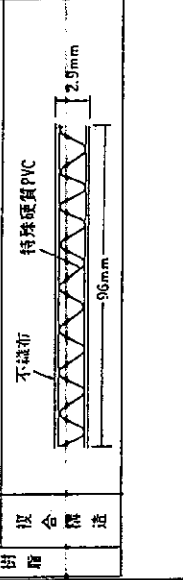
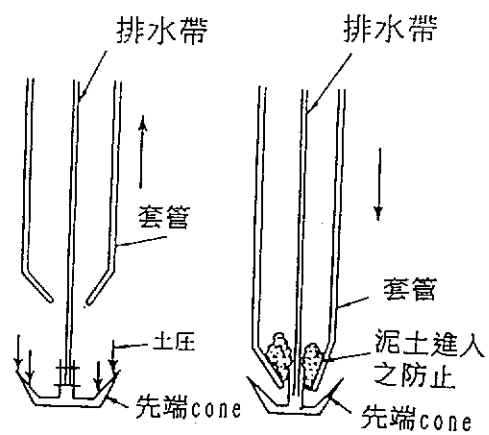
<div>施工方式</div>	<div>自動定版式</div>  <p>① 排水片挿入 ② 套管挿入 ③ 套管拔出 ④ 移動</p>	<div>施工順序</div> <div>材料</div> <div>断面</div>  <p>100mm 通水孔(10本) 1.6mm 105mm</p>
<div>特殊CONE定版式</div>  <p>① 先編組固定 ② 打入 ③ 拔出 ④ 排水形成</p> <p>専用CONE 型排水管 型排水管 型排水管</p>	<div>断面</div>  <p>2.9mm 96mm 特殊硬質PVC 不織布</p> <div>材料</div> <div>断面構造</div>	

圖8-5 合成排水帶工法之打設順序及材料



(a) 錨定效果 (b) 包覆效果

圖8-6 先端錨錠錐之效果

應用範圍示於圖8-7，使用砂樁材料之粒徑分佈範圍示於圖8-8。在良質砂取得不易，且要求樁體之強度時，可改用碎石或砂礫石為填充材料。陸地工程之樁徑一般為60至80 cm，標準為70 cm；海上工程之粘土改良樁徑為100至200 cm，標準為160 cm或200 cm，海上工程之砂質土改良樁徑一般在80 cm至120 cm間。

震實砂樁兼具補強與促進壓密之功能為軟弱地盤改良之高度實用性工法。但，使用震動錘(Vibro hammer)壓入套管時之噪音、震動對週邊之不良影響，及所產生之樁體四週隆起現象，都需預先考慮處理對策。本計劃中，在特殊地點，單獨以垂直排水改良之粘土強度無法或很難達到所需強度時適用本工法。

(二) 浮震法(Vibro flotation method)

主要利用其水平振動及噴射水加於土壤填充料及原有土層中，一方面使填充物與原有地盤之顆粒級配重新調整，一方面由於震動夯實使填充砂樁體兼具強度與排水功能。此工法主要應用於砂質地盤之液化防止，根據經驗此工法使用於砂粒(>74mm)含量70%以上之地盤時效果良好。其施工之步驟與機具設備分別示於圖8-9及圖8-10。浮震器一般採用如圖8-10所示之一體型其功率介於15 HP至30 HP間，改良深度為8至13.5 m，最近已發展成功自由搭接型，施工深度可達20 m以上。填充之骨材可使用碎石、砂礫、爐渣等。粗粒料打設間隔一般在1.2至2.2 m間，成正方形或正三角形排列。

本工法之優點為對於砂質地盤剛性及強度之增加。減少沉陷，增加地盤上方載重之應力分散效果等。本工法之震動及噪音之公害極小，可考慮使用於市區內之工程。

(三) 重錘落下法(Dynamic Consolidation Method)

本工法為利用特殊之吊車將重約10至50 tf之重錘自20至30 m高處自由落下(如圖8-11)，利用重錘之衝擊能量，使被改良物之密度增加，以提高其承載力，減少沉陷。

本工法常被用來消除地中之空洞，強制置換，及海底地盤鋪設砂石平臺時夯實之用。本工法原使用於碎石、砂礫土，及不飽和粘土之改良，對於飽和粘土，以間隔靜置方式，待其超額孔隙水壓消散後，再繼續錘擊，可收到夯實之效果。由於本工法確立於1960年代後期，因此在改良效果與重錘之關係方面已累積不

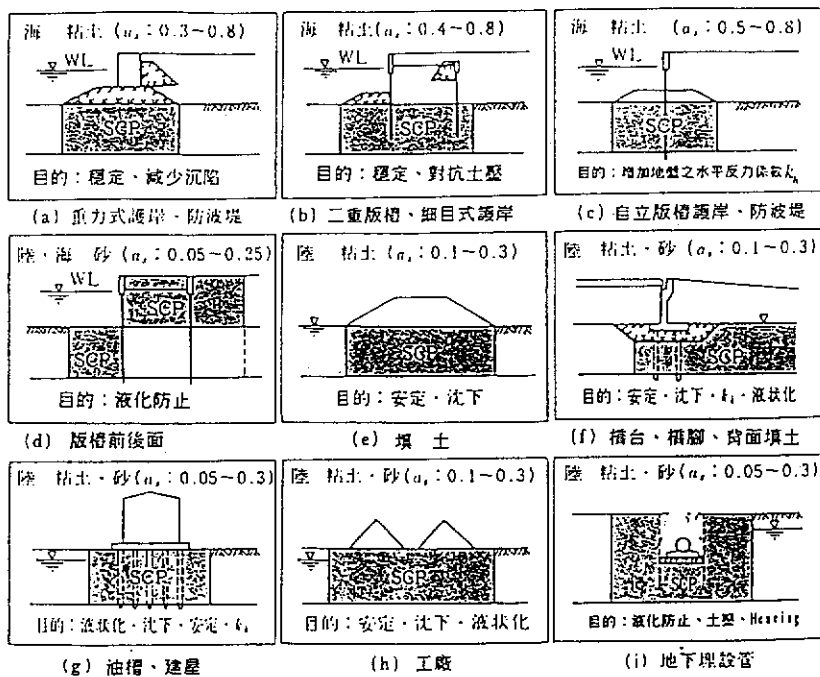


圖8-7 震實砂樁工法之適用型式(圖中 a_s 為單位體積之置換率，)

“海、陸”各表示海上及陸上工程)

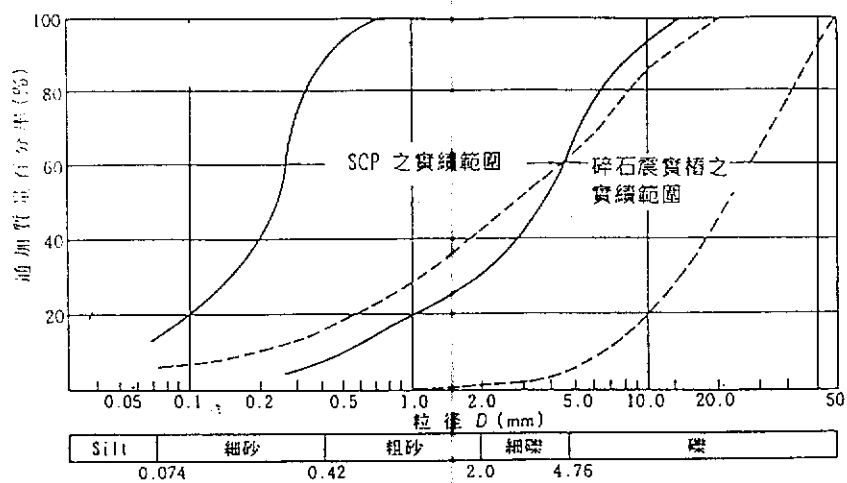
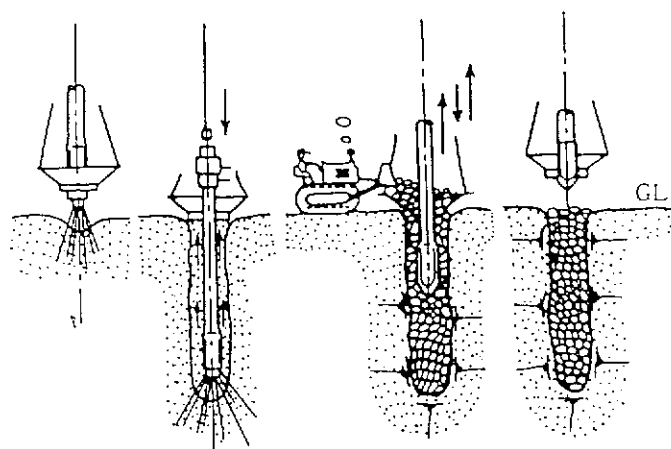


圖8-8 SCP砂樁材料之粒徑分佈實績範圍



(1) 貫入開始 (2) 貫入終了 (3) 骨材充填夯實 (4) 夯實終了

圖8-9 浮震法之夯實

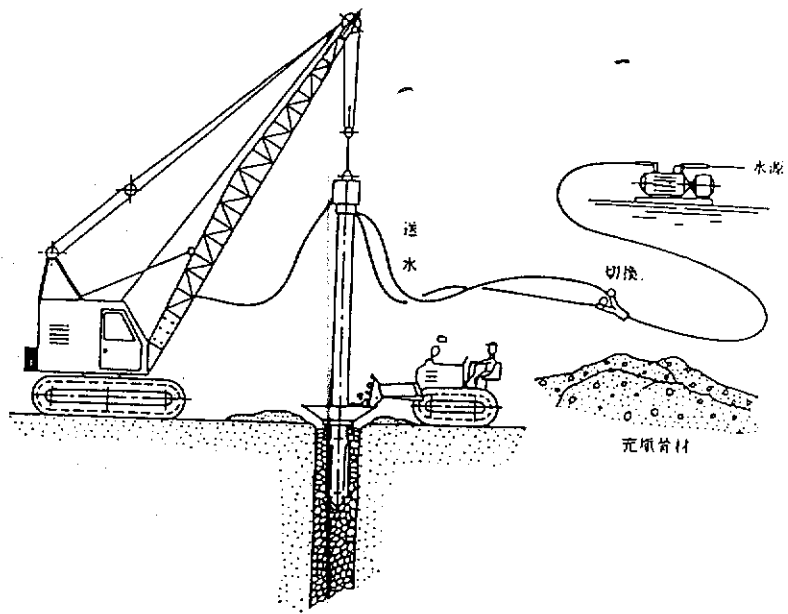


圖8-10 浮震法之施工機具佈置

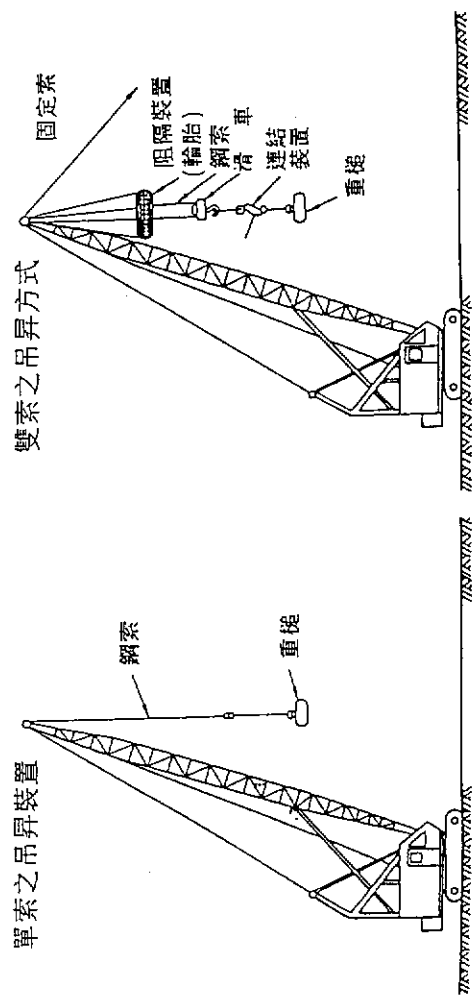


圖8-11 重槌落下方式(日本國內施工例)

少經驗，可視為一有系統之實用工法。圖8-12所示為一般公認之經驗式之一例，即：

$$D = aWH \quad (8-1)$$

其中D為改良深度(m)，W為鏈重(tf)，H為落下高(m)，a為影響係數(0.3至0.7)。

五、深層攪拌工法

本工法依不同混合作業方式可分為(1)以安定液為主之攪拌混合法，(2)以粉狀安定劑為主之攪拌混合法，及(3)以高壓噴漿為主之噴射混合法(如圖8-13a至c)。深層攪拌改良樁之適用範圍示於圖8-14。此類工法由於使用之安定劑價格一般較高，因此導致不經濟原則。又其改良效果受甚多因數之控制，若無週密之檢驗管制，不能收到良好改良效果。又在環保之考量下，安定劑本身對環境之影響也是今後使用上考慮的重點之一。

六、真空壓密工法

嚴格來說，本工法屬於載重工法之一種，唯真空壓密工法以真空抽氣方式配合鉛直排水使負壓力作用於軟弱土層之內部。對於受到負壓作用之軟弱粘土來說，其所受應力與由於外加超載重所受之應力效果類似。本工法之基本配置示於圖8-15，理論上來說，本工法之最大載重為10 tf/m²，但由於密閉不可能完全達成，及受地下水氣化等因素的影響，實際最大載重僅為5至6 tf/m²。

本工法之設計分析理論可參照載重工法。在施工上最重要者，需確實執行不透氣布之鋪設，並隨時量測負壓力值，以檢測漏氣之部位。本工法適合於透水性很小之粘土層，且經地質調查發現無連續砂質夾層之軟弱地盤。

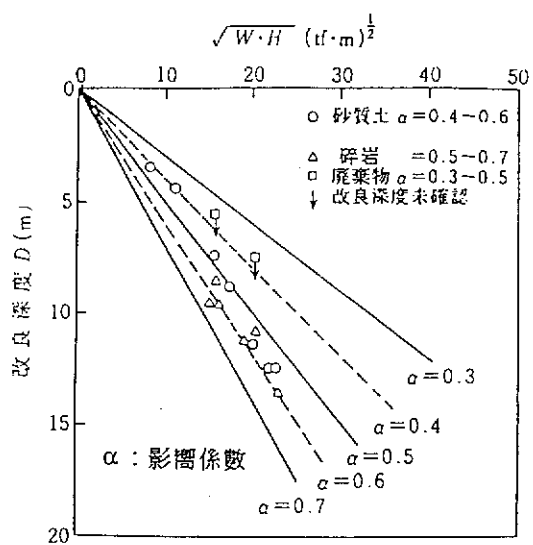


圖8-12 $D - \sqrt{WH}$ 之關係

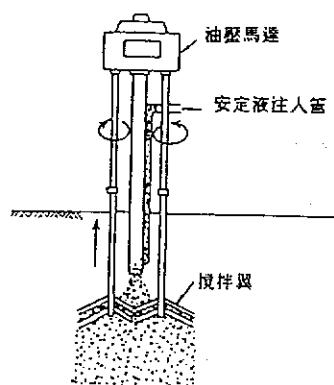


圖8-13(a) 安定液之混合處理

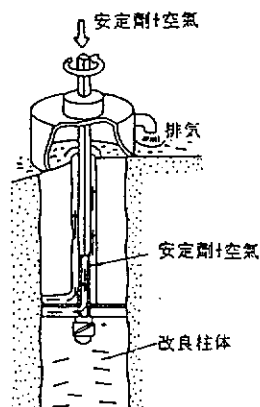


圖8-13(b) 安定粉劑之混合處理

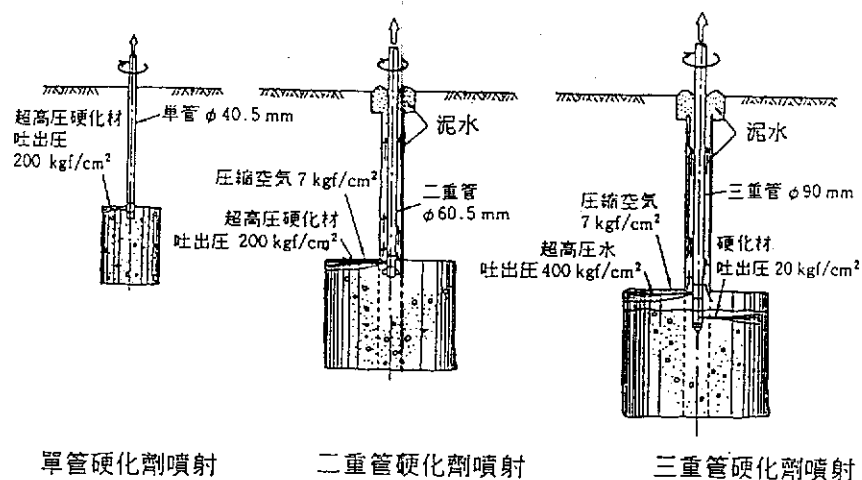
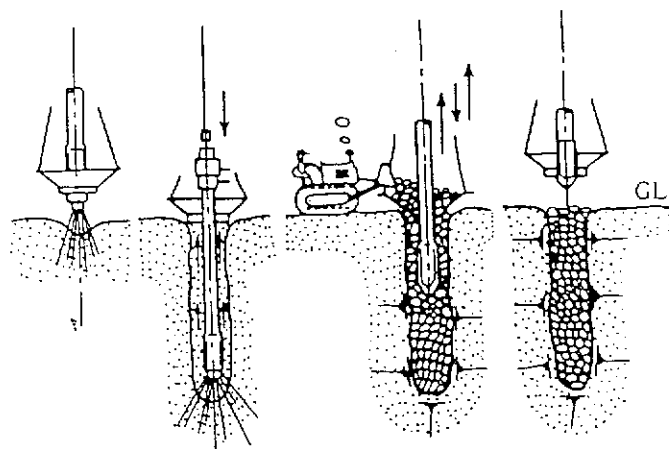


圖8-13(c) 三種高壓噴漿式地盤改良工法



(1) 貫入開始 (2) 貫入終了 (3) 筒材充填夯實 (4) 夯實終了

圖8-9 浮震法之夯實

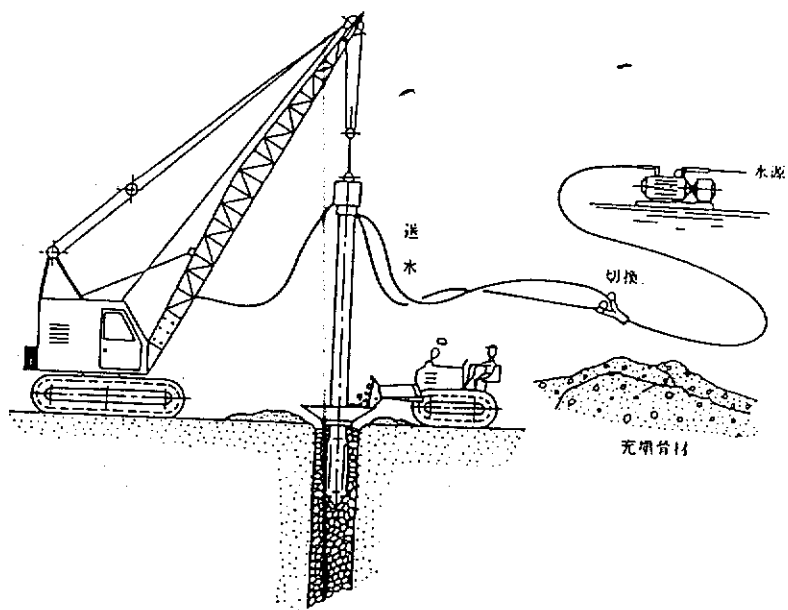
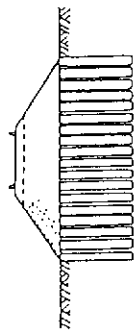
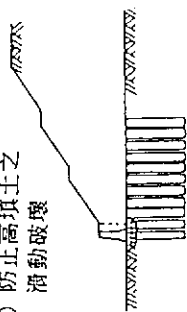


圖8-10 浮震法之施工機具佈置

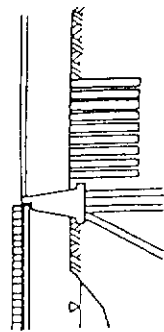
① 減少填土之沉陷
防止滑動破壞



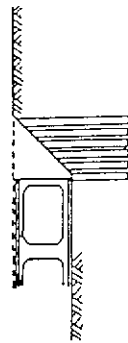
② 防止高填土之
滑動破壞



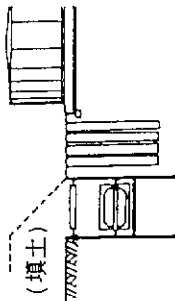
③ 防止橋台背面之滑動破壞
減少不均勻沉陷



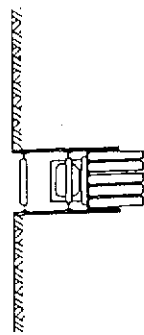
④ 挖方坡面之穩定



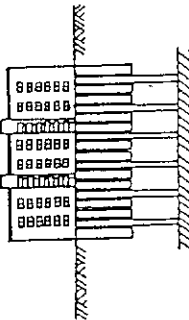
⑤ 防止填土或挖方對於鄰接
構造物之不良影響



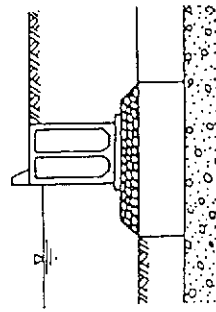
⑥ 防止地中埋設物之沉陷



⑦ 增加中高層建物基礎樁
之水平抵抗



⑧ 岸壁基礎



⑨ 防波堤基礎地盤之改良

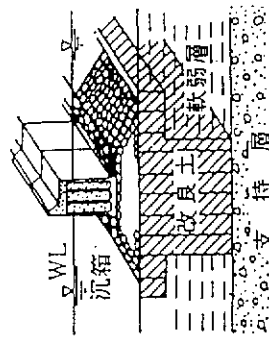


圖8-14 深層攪拌工法之適用形態

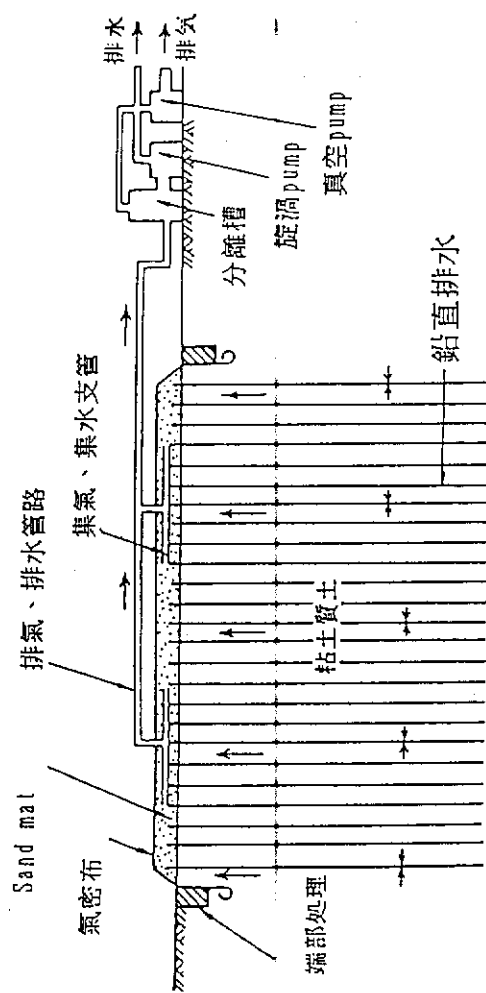


圖 8-15 真空壓密概念圖

第三節 淺層地盤改良工法

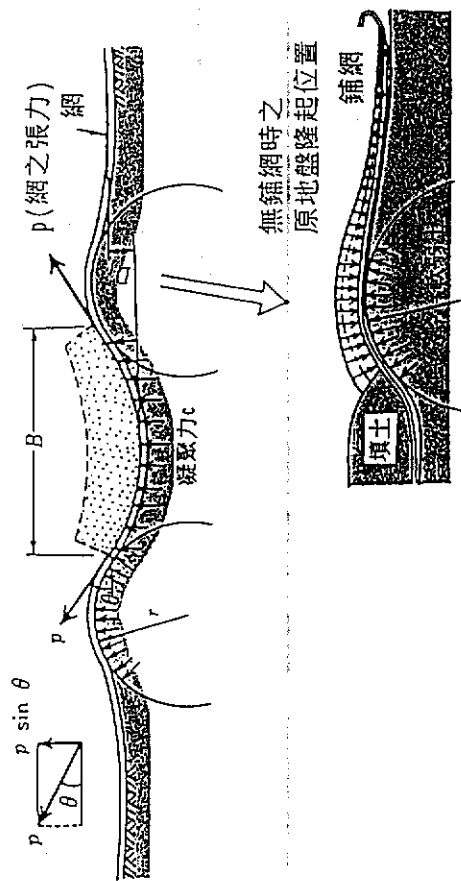
一、表層處理工法

表層處理工法可歸納如表8-2。此類工法有兩種用途：(a)臨時性施工便道之路基(表8-2中之所有方法皆適用)，(b)公路鐵道飛機場等之路基(表8-2中除表層排水及日曬乾燥兩種方法以外皆適用)：

表8-2 表層處理工法之種類與特徵

工法	概要	優點	缺點	適用性
(1) 表層排水	在地表挖掘排水路以降低地下水位	簡便，費用低	對於粘土地盤無法得到良好之改良效果	表層處理中經常被用
(2) 日曬乾燥	與工法(1)併行陽光之曝曬以改良表層土	預定工期長時為有效之方法	短期間內無法得到良好改良效果	預定工期長時適用性大
(3) 鋪網	在軟弱土壤表層鋪設格網或織布以建立便道(其機制見圖8-16)	格網或織布取得容易時此法為有效工法	軟弱地盤寬廣時可能需與(6)和(7)併用	在軟弱地盤表層無法直接鋪設砂墊(sand mat)時可完全發揮此工法之特長
(4) 鋪砂墊(sand mat)	於軟弱地盤表層直接灑布良質砂以造成可用之表層	與鉛直排水工法併用可發揮其排水之功能	最近良質砂取得困難	做為良好排水層之適用性大
(5) 置換	全部或部份去除軟弱土以良質土取代之	改良效果確實	置換量大時軟弱土之處理成問題	歷史最悠久的工法確實之工法
(6)** 石灰系列穩定處理	在軟弱土中加入生石灰或熟石灰以改良土壤	對火山灰質土效果特佳	比(3)之工法高價	由於施工法及機械之進步適用性良好
(7)** 水泥系列穩定處理	在軟弱土中加入普通或特殊水泥以改良土壤	對高含水量土壤其改良後強度也相當高	與(6)同為高價	同(6)
(8)** 工業副產品安定處理	於軟弱土中加入爐渣、煤渣、石膏等工業副產品以改良土壤	有效之廢物利用	材料取得問題、現場機具設備較繁瑣	有些工業副產品需以工業廢棄物之特殊方法處理

** 參閱圖8-16、圖8-17及圖8-18



鋪網產生之類似填土壓制效果

圖8-16 鋪網工法之承載力機構示意圖

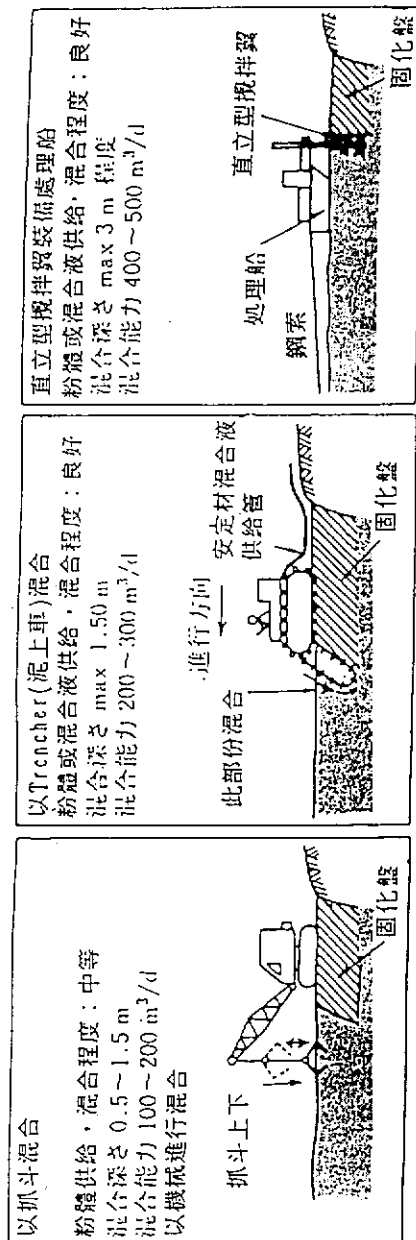


圖8-17 軟弱地盤之表層混合處理工法示意圖

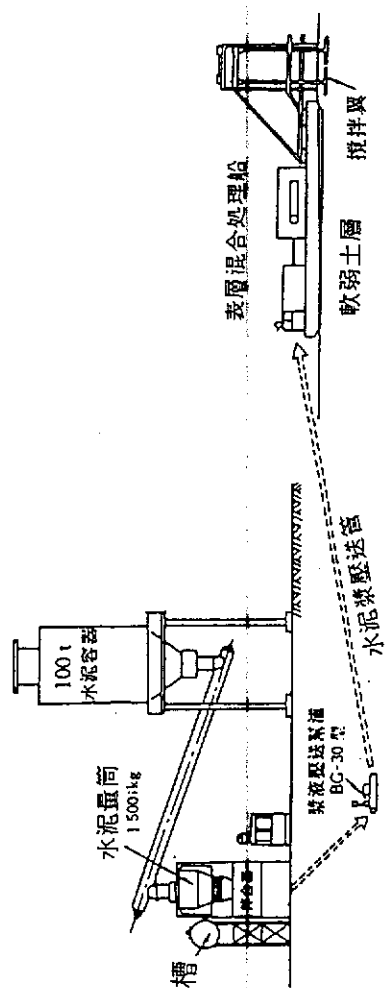


圖 8-18 表層混合處理工事配置例

二、荷重減輕工法(保麗隆板工法，EPS工法，Expanded Poly-Styrol Method)

利用保麗隆板之極輕自重特性，挪威於1972年首先將其使用於軟弱地盤之道路沉陷對策工法中，得到非常成功的效果。EPS工法經世界各國之採用，累積了相當實績。日本於1985年首度採用於北海道軟弱地盤上橋樑與引道間差異沉陷之防止。至此施工實績有大幅躍昇之趨勢，1989年中全日本施工件數達95件(見圖8-19)，保麗隆板工法之適用範圍列於圖8-20由表可知其不只為一具有潛力之軟弱地盤對策工法，更可延伸其應用範圍至山坡地及地滑地之穩定對策。壓出成型法(XPS)之工程用保麗隆板密度只有單一種且密度較高，模內成型法(EPS)可經由發泡率之控制得到不同之密度。整體來說其乾燥自重非常輕，約為一般土壤的1/100，現在用於路基工程之EPS尺寸為2 m長，1 m寬，50 cm厚，其重量約20到30公斤，搬運容易，施工迅速。

以兩種標準試驗法所得之材料應力應變結果示於圖8-21。由圖可知，壓出成型法製成之保麗龍(XPS)較模內成型法製成之保麗龍(EPS)具較大之彈性模數與壓縮強度。又EPS之強度隨密度之增加而增加，保麗龍之強度特性也受加載速度及試體大小的影響。由圖8-22可知，載重小於某一值時長期潛變之趨勢會收斂。一般來說，若保持長期載重不大於5%應變下無圍壓壓縮強度之50%，則潛變會達收斂狀態。EPS耐強酸，強鹼，海水，一般之殺虫劑，肥料，水性塗料，與混凝土但溶於瀝青，石油，及油性塗料等。故EPS與此等物質有接觸之可能性時，須以混凝土或不透水布被覆保護。此外EPS經過實地車行試驗與反覆加載試驗，以其做為路基材料之獨到特性，在國外已漸受到肯定與注目。

圖8-23為EPS工法之施工例，此例為軟地弱地盤上之道路路堤工程。由於EPS之自重極輕，故可防止因路堤之新增載重使軟弱地盤發生大量沉陷。但地表或地下水之侵入或滯留於EPS之周圍對於路基之穩定性威脅很大。故在EPS上方及兩側以防水布鋪蓋，其下方以排水濾料鋪設排水系統。

第四節 地盤改良工法之評估

地盤改良工法選擇，除了依據功能之滿足與否以外，尚受其他多種因素控制，在此無法盡列。表8-3為日本對於眾多方法之功能及其他適用性根據多年之經

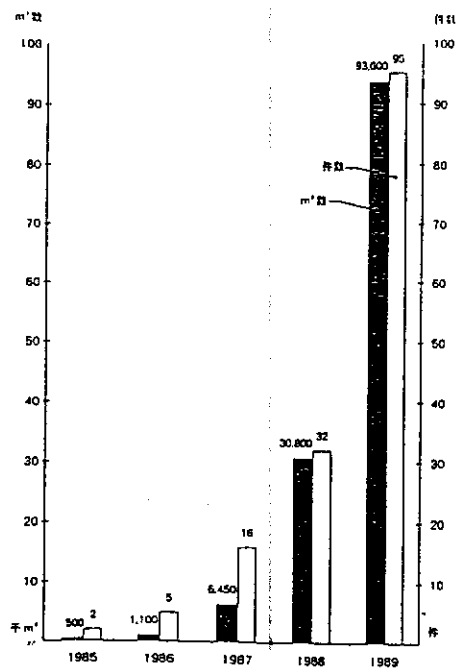


圖8-19 EPS工法之施工量

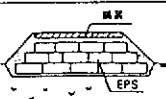
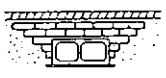





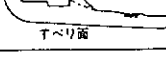
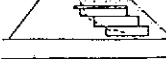

用途	模式圖	特 長			工法のメリット
		輕重性	自立性	施工性	
軟弱地盤上之填土		○		○	<ul style="list-style-type: none"> 減少沉陷 減少其他地盤對策工法之施工費 減低維持管理費
構造物之回填		○	○		<ul style="list-style-type: none"> 上荷載重・土壓之減輕 構造物断面之減小 差異沉陷之防止
橋台、擋土牆之背填		○	○		<ul style="list-style-type: none"> 牆台背面側壓之減輕 側方流動壓之減輕 防止差異沉陷
假設道路		○		○	<ul style="list-style-type: none"> 施工性之提高(工期之縮短) 其他地盤處理之減低 撤去・復舊簡易化
急傾斜地之填土		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 滑動安全率之確保 滑動對策工之減低 用地之減少
自立壁		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 最少限用地之確保 壁面構造之簡易化
填土・造成地之拓寬		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 緩和對已設構造物之影響 用地之增加
地滑地之頭部填土		○		○	<ul style="list-style-type: none"> 減輕荷重 提高滑動安全率
災害復舊填土		○		○	<ul style="list-style-type: none"> 填土之迅速整治 可用於假設及永久工程
埋設管基礎落石封斷					<ul style="list-style-type: none"> 經濟性 基礎之一般化 荷重減輕

圖8-20 EPS工法之適用範圍

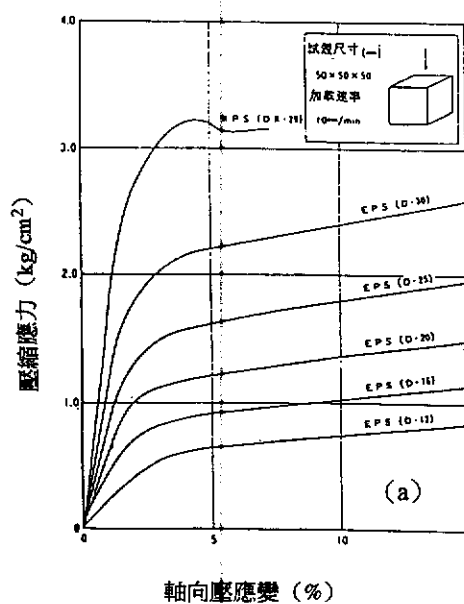
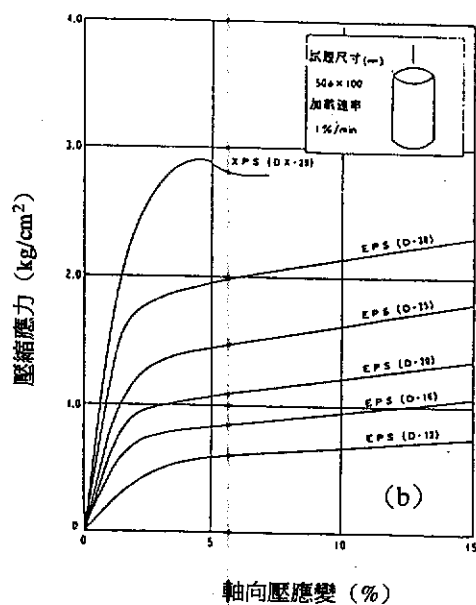
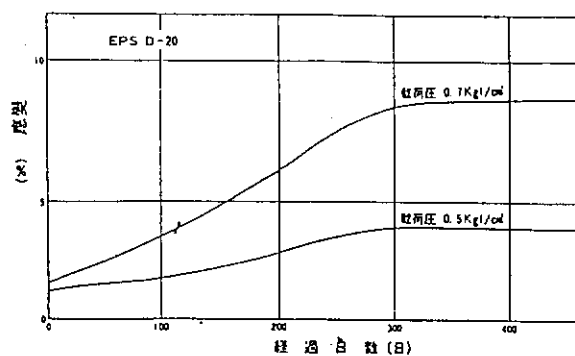


圖8-21 保麗龍板之壓縮應力~應變之關係

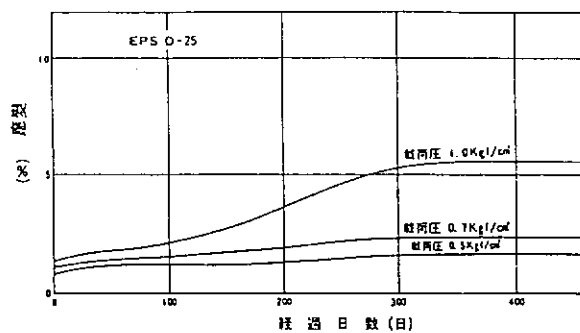
(a) 根據JIS K-7220之壓縮試驗結果

(b) 根據土質試驗法之壓縮試驗結果

D-12或D-30: 表示密度為 $12\text{KG}/\text{M}^3$ 或 $30\text{KG}/\text{M}^3$



EPD-20 之壓縮特性(D20)



EPD-25 之壓縮特性(D25)

圖8-22 兩種保麗龍板之壓縮潛變特性

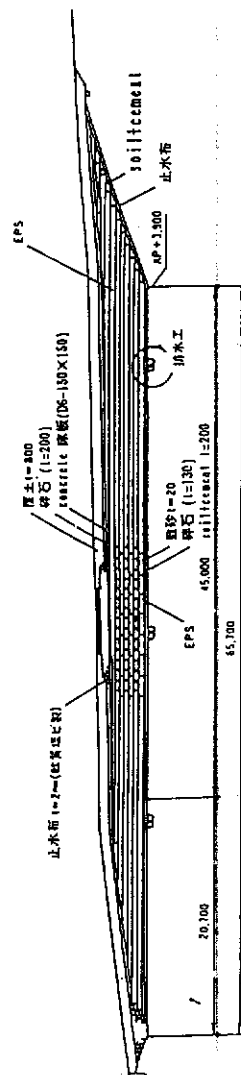


圖8-23 軟弱地盤上EPS工法施工例之橫斷面圖

驗所作評估，可為本計劃中初步標定適用工法之參考。具體之比較，則有待主辦管單位、工程專家，及施工專業，實際衡量現況並進行量化之估算後，才可能得到客觀之結論。

表8-3 地盤改良工法之評估

工法	目 的				對象土質		改良效果	工期	工程費	設計精度	可能規模	施工管理之必要性	環境衝擊	實績
	強度增加	防止下陷	防止液化	減低透水性	粘土	砂土								
置換工法	0	0	△	×	0	×	中	短	低	優	大	小	大	多
載重工法	0	0	×	×	0	×	中	長	低	優	大	中	小	多
鉛直排水	0	0	×	×	0	×	中	中	中	優	大	大	小	多
震實砂槽	0	0	0	×	0	0	大	短	中	良	大	中	中	多
浮震工法	0	△	0	×	△	0	大	短	中	良	大	中	中	多
深層混合	0	0	×	△	0	△	大	短	中	良	中	大	小	中
注人工法	△	×	△	0	×	0	大	短	高	良	小	大	大	多
重錐落下法	0	△	0	×	△	0	中	中	中	良	中	中	大	少
點井法	△	△	×	×	△	0	中	中	中	優	大	小	中	多
真空壓密	0	0	×	×	0	×	中	中	中	良	小	中	小	少
凍結工法	0	×	×	0	0	0	大	中	中	良	中	中	中	多

0：表示‘主要目的’，△：表示‘次要目的’，×：表示‘無此目的’

第九章 新加坡大型回填工程設計與施工方法

由於新加坡地窄人稠，多年繁榮使其土地已不敷使用，將導至經濟成長受限，鑑此新加坡政府乃自西元1964年起，大力開發多處海埔新生地，成績斐然，迄今已有500公頃新增土地完成，集中在東側和西側地區，此外南邊亦有小型回填工程已竣工使用，因其國內砂石無法源源供給，唯有抽取海中土壤回填最為適宜，本章將介紹其中二處大型回填工程。

(1) 裕廊深水港(Jurong Port)擴港工程。

(2) 樟宜機場(Changi Airport)南側海灣新生地回填工程。

第一節 裕廊深水港多功能碼頭設計與施工

(Design and Construction of Multi-Purpose Berth at Jurong Port of Pulau Damar Laut Singapore)

裕廊港位於新加坡西南部海岸，見圖9-1，主要作為新加坡原料和工業產品輸出港口，為了擴充港區運輸量，首期工程將耗資新加坡幣二億元，興築三席多功能碼頭，並且加深港區航道使其成為一深水港。最終計劃是希望能完成八席船席，一處墩造繫船臺(Dolphin cum Pier)和一處突堤道(Causeway cum Bunkering Berth)，分三期工程總經費達新加坡幣五億三仟萬元。

一、港區擴港計劃

圖9-2為裕廊港擴港計劃三期工程示意圖。首期工程已於1990年初開工興建，預計耗資新加坡幣二億元，可於1993年完成，預期工程括：

(1) 三處多功能船席，總長為960公尺長吃水深16公尺。

(2) 一處突堤道，包括一座長230公尺長連接船席(Bunkering Berth)，是用九個細胞式鋼板結構物(Cellular Cell Sheet Pile)及八個圓弧細胞(Arc Cells)組成。以及一座長135公尺寬26公尺預力混凝土橋梁，周圍並用鋼板樁保護阻隔水流。

(3) 一處長260公尺寬30公尺墩造繫船臺，吃水深為16公尺。

(4) 回填使Pulau Damar Laut地區陸地由27公頃至61公頃。

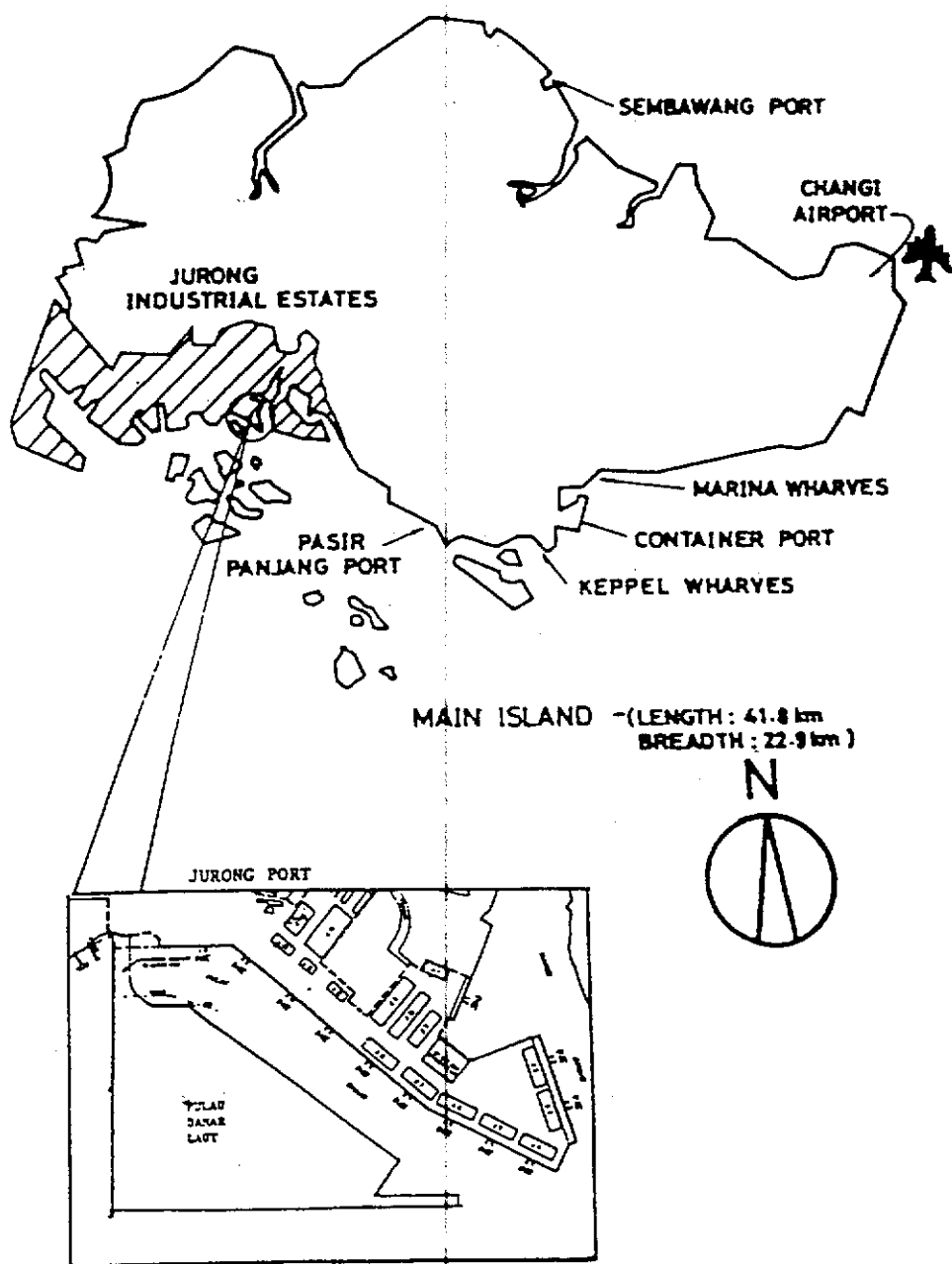


圖9-1 裕廊港地理位址
(摘自：Hec et. al., 1992)

二、多功能碼頭設計

(一) 設計準則

(1) 行駛的船隻：限制船隻接近船席時，若為150,000 DWT行駛速率為0.125 m/sec，而200,000 DWT則限速為0.1 m/sec；

(2) 吃水深為18公尺；

(3) 進港角度為15度；

(4) 設計載重括

1.活載重60 KN/m²；

2.活動吊車容許起重量150 T；

3.4個高40呎長貨櫃裝滿貨物荷重；

4.HA和HB載重；

5.五個起重吊車相距20公尺至35公尺。

(二) 設計過程

就碼頭設計型式言，開放型和封閉型碼頭結構物皆曾被考慮，最後選擇使用圖9-3開放型式碼頭(Open Type of Wharf)，是基於此法最為經濟。

開放型結構物包括

(1) 砂堆底部基礎工程(Sandkey Foundation)：砂堆(Sandkey)所置放基礎以凝聚性土壤為主，強度約為100 kPa，考慮如此高凝聚性強度是因為碼頭超載重設計為60 KN/m²。

(2) 砂堆：粗粒至中等顆粒砂(Coarse and Medium Sand)被使用，係其可堤供高摩擦角，避免發生港口淤塞(Siltation)。

(3) 俱高強度土工織物(Geo-Fabric)，使用時應考量其孔隙間大小。

(4) 三層重石用來保護岸邊結構物安全，包括Filter、Secondary、Armour Stone。

(5) 樁基礎係用外徑分別為914 mm和840 mm二類型預力圓型混凝土基樁(Prestressed Concrete Circular Pile)，基樁細節設計圖參較圖9-4。

(6) 樁基臥梁(Bents and Beams)係以鋼筋混凝土製成。

(7) 碼頭上部工程(Deck)為一組合型式，包括鋼筋混凝土和預鑄式預力混凝土厚塊(Precast Prestressed Concrete Planks)。

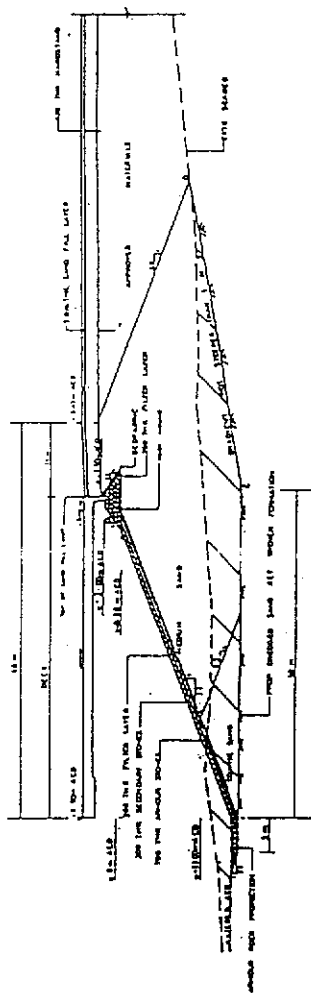
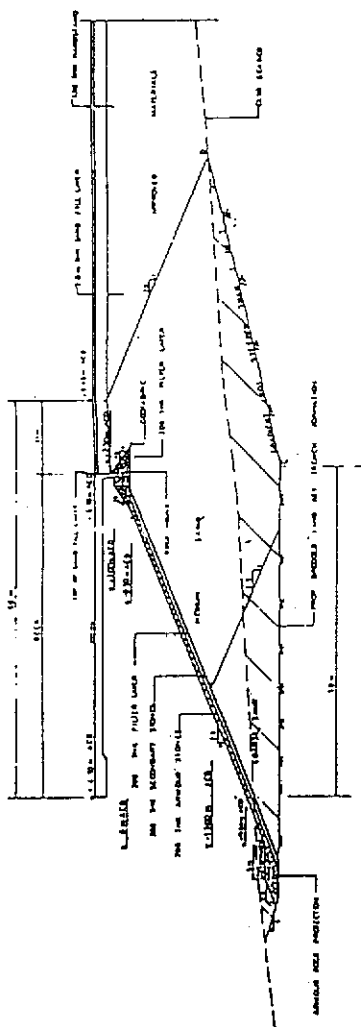
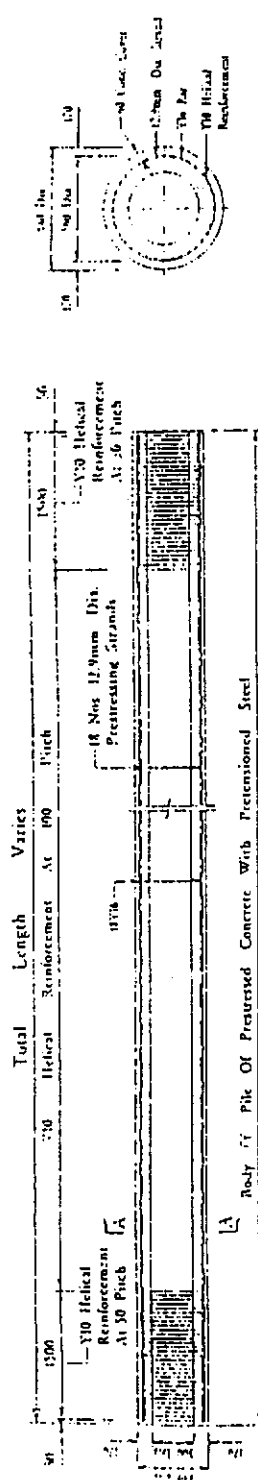


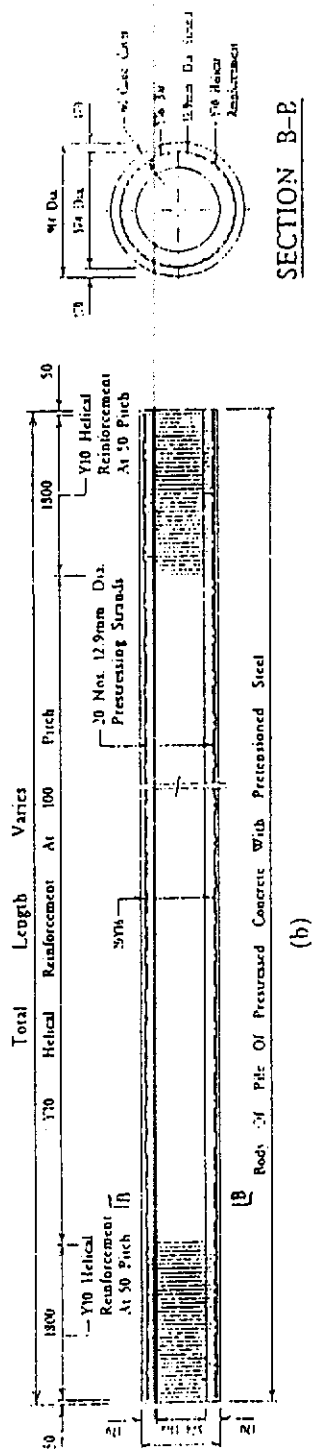
圖9-3 裕廊港開放型碼頭示意圖
(摘自：Hee et. al., 1992)

(摘自: Hee et. al., 1992)



(a)

SECTION A-A



(b)

SECTION B-B

圖9-4 裕廊港基樁細節示意圖
(摘自：Hee et. al., 1992)

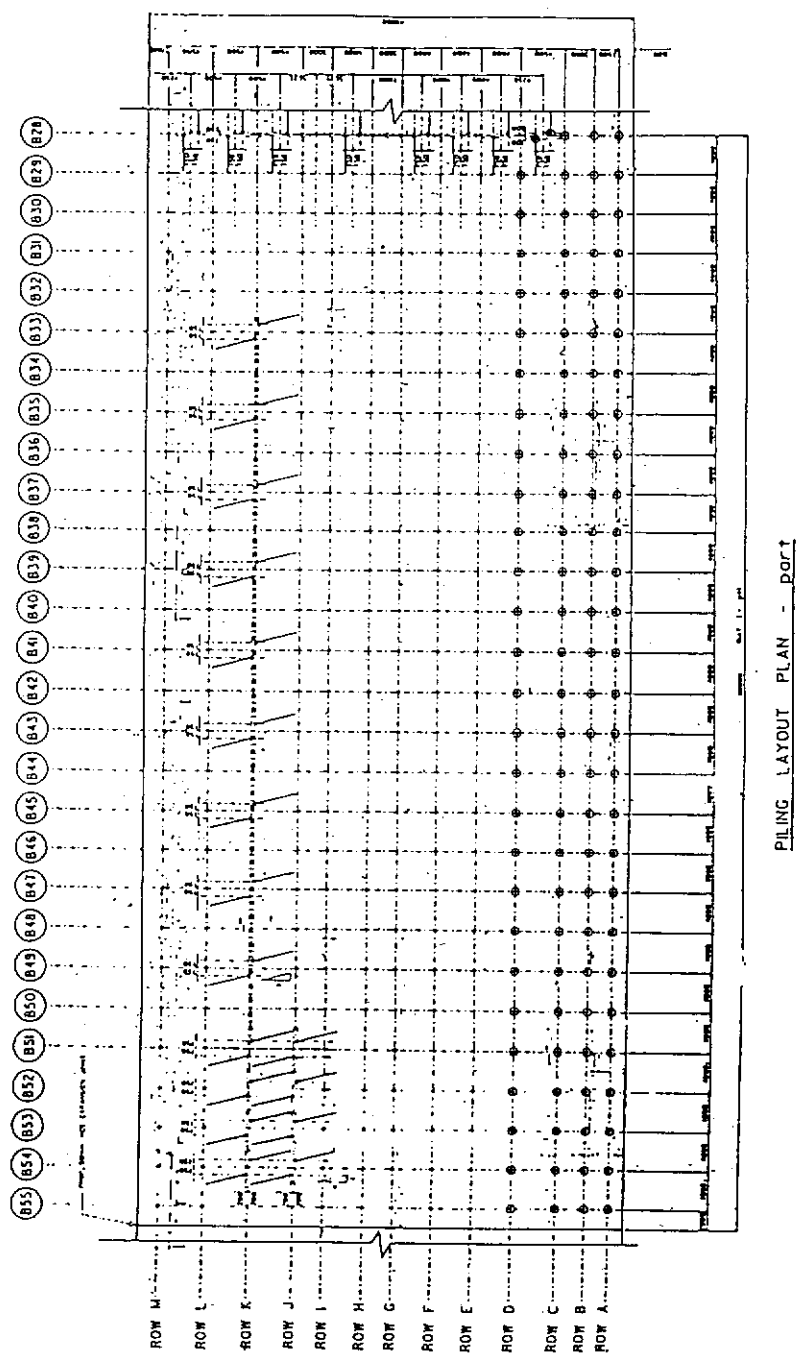


圖9-5 裕廊港基樁配置示意圖
(摘自：Hee et. al., 1992)

(8) 護舷材：直徑1.6公尺橡膠管細胞式護舷材(Rubber Cell Fenders)被用來吸收船隻駁岸時造成之衝擊力能量，護舷材詳細尺寸見圖9-6，彼此間隔為28公尺。但為使小於10,000 DWT船隻駁岸，兩個較小型SM 600橡膠護舷材安裝在細胞式護舷材之間，倘若細胞式護舷材間距小於14公尺，船隻駁岸造成衝擊力將有顯著增加，將使得碼頭下直樁和斜樁數目增加很多。

(9) 在砂堆工程和原有岸邊海床回填材料：選擇粗顆粒土壤為填充材料，而沉泥成份不可超過總土壤重量百分比15 %。

三、多功能碼頭施工經驗

3.1.碼頭施工注意要項

- (1) 砂堆底部基礎工程應浚挖(Dredge)至要求深度。
- (2) 砂堆施工。
- (3) 砂堆上方回填工程。
- (4) 預力混凝土樁施工。
- (5) 砂堆高度平整使Filter、Secondary和Armour砂堆按放。
- (6) 預力臥梁之施工。
- (7) 預力混凝土厚塊上方之RC版施工。

(三) 施工細節

(1) 砂堆底部基礎工程浚挖

浚挖工作係用絞刀式吸力挖泥船(Cutter Suction Dragger)，挖出土方再以駁船外拋至許可地點，浚挖之前，要進行工址和附近水域土壤調查工作，試驗結果指出Pulau Damar Laut工址SPT值約為16，與黏土剪力強度100 kPa相等。基礎工程是否合格需視現場SPT N值和水中挖溝利用水力式地質調查(Hydrographic Survey)，一旦試驗結果不合格，進一步穩定分析計算出極限狀態下安全係數，倘若仍不符合規定，則應重新浚挖再進行試驗，直至安全係數於安全側止。

(2) 砂堆施工

將合格砂土運送至預定處，再將其拋至已挖好之砂堆海槽 (Sandkey Trench) 上方，施工期間應注意下方基礎是否軟化。首先應由取土坑地點取樣至工地實驗室進行試驗，一旦不符合規範規定應予以拒絕。規範規定準則係依據砂堆0-1 m、2-8 m和8 m以下土壤，其荷式貫入試驗CPT之貫入抵抗值分別應在4、6和8 MPa以上。CPT試驗結果見圖9-7。為了達成上述承載力之要求，啟用深層壓實法 (Deep Compaction Method) 改良，其係利用一震動桿 (Vibratory Probe)：長20公尺直徑300公分圓管，由砂堆頂處逐步貫入。

(3) 砂堆上方回填工程

當砂堆完成至適當高度，緊接上方回填工程繼續填至+4 m ACD時，因初始已調查周圍海床至-5 m ACD並無超過15%沉泥之砂質土壤，故使用吸力式挖泥船抽砂進行回填工程，施工過程應分析是否對砂堆造成不穩定現象，或對航道有淤塞影響，尤其周圍產生負面後遺症皆在考慮之內。

回填材料之品控分別採用篩分析、沉泥含量分析、剪力盒試驗和相對密度試驗，而每天當拋石駁船進行拋放之前應先採樣受檢。當回填至最上方二公尺土方時，要求其需滿足CPT貫入抵抗質達4 MPa或乾土單位重達改良型AASHO 93%以上，為了達成此一目標，乃用20 T滾壓機，此已先經試驗得出，20 T滾壓機對工質土壤有效影響深度可至地面下三公尺範圍內；CPT試驗貫入抵抗值達10至12 MPa。

(4) 預力混凝土樁施工

二種預力混凝土樁被用於樁基工程，其直徑分別為914 mm和840 mm，其中混凝土等級係用60 MPa。樁場鑄場所設置在工址內，長度介在28 m至40 m間。在樁基全面施工之前，承包商被要求進行二種基樁試驗，包括靜載重試驗和動載重試驗，前者是加載至設計載重之二倍，後者則在打樁過程進行試驗，利用PDA分析法計算出各組試樁之張應力，進而推估單樁極限承載力。此外，打樁之前承包商被要求利用鋼管樁穿越樁基土壤，貫入結果 (Probing Result) 比較土壤資料和試樁資料，可詳細繪出樁承載層等高線圖 (Contour Map) 此結果在往後施工進行中亦隨時予以修正，利用此法可精準預測出樁確實設計長度。

(5) 預力臥梁之施工

在所有樁完成之後，將樁最上方1.3公尺混凝土敲碎進行連接工作，樁間連接是用預鑄鋼筋混凝土材料，其中鋼筋量和位置應先予以檢查。

(6) 砂堆平整之設計高度

護岸工程施工採用下述三階段完成：

1.砂堆用特殊機械先予以平整，並用水力式探測(Hydrographic Sounding)法檢驗砂堆剖面。

2.Secondary Stone擺放在砂堆上方。

3.Armour Stone在Secondary Stone安放後予以試驗，合格再置其上。

(7) 安放預力式厚塊於臥梁上方

當完成護岸工程之後，利用塔式吊車將預力式厚塊裝卸在臥梁上方，預力厚塊則見圖9-8。

(8) 最上層場鑄混凝土施工

在預力式厚塊安裝和檢驗完成後將場鑄混凝土澆置於上，見圖9-9。

四、結論

從許多控制措施，明瞭打擊樁仍有很好的完整性，對於承載力和沉陷二因素，皆有很滿意安全係數。

利用樁極限承載力可汲取許多寶貴資料。在Pulau Damar Laut所興築多功能碼頭工程，使用之設計方法對其成為一世界級深水港，係一種經濟有效且適當之工法。

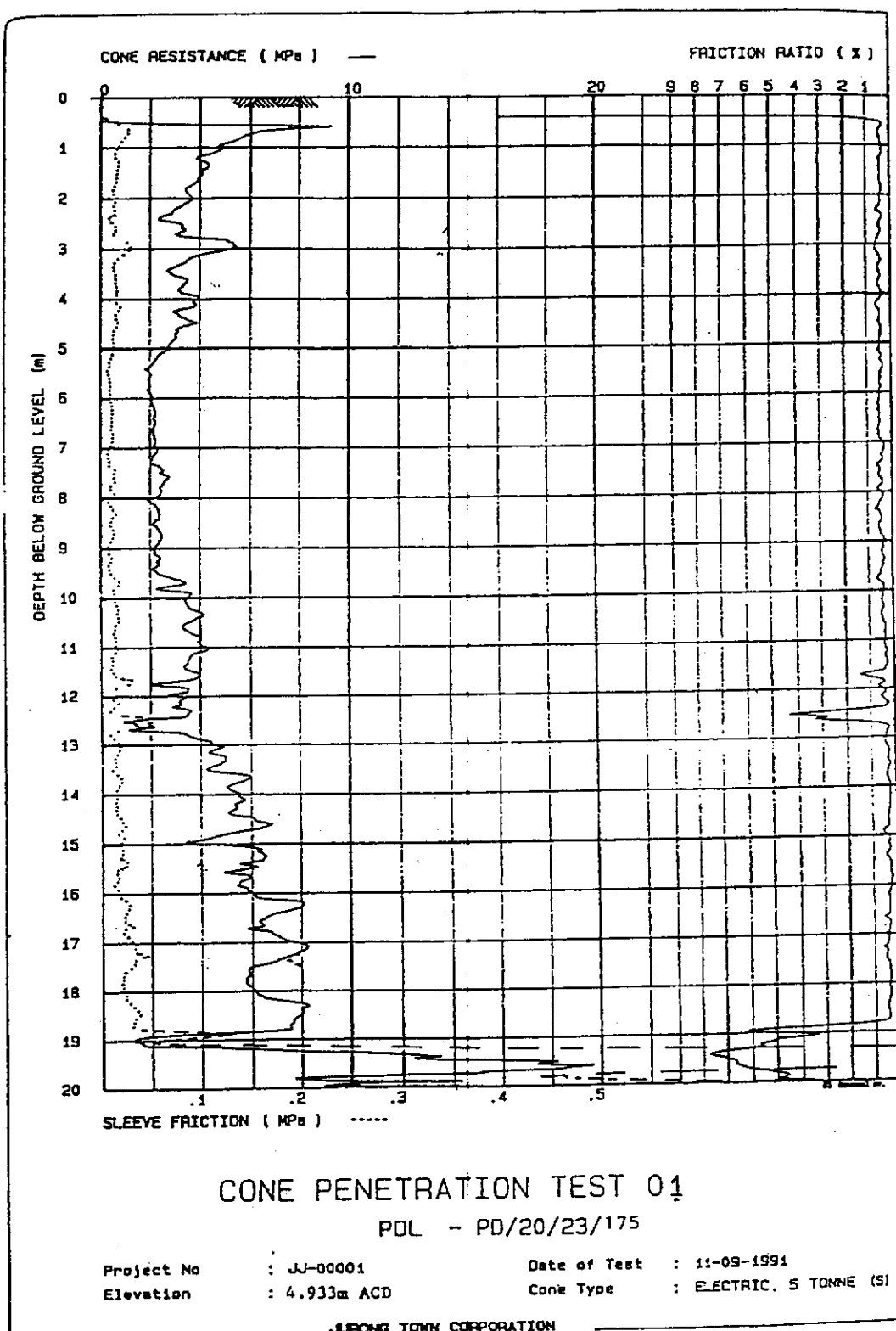
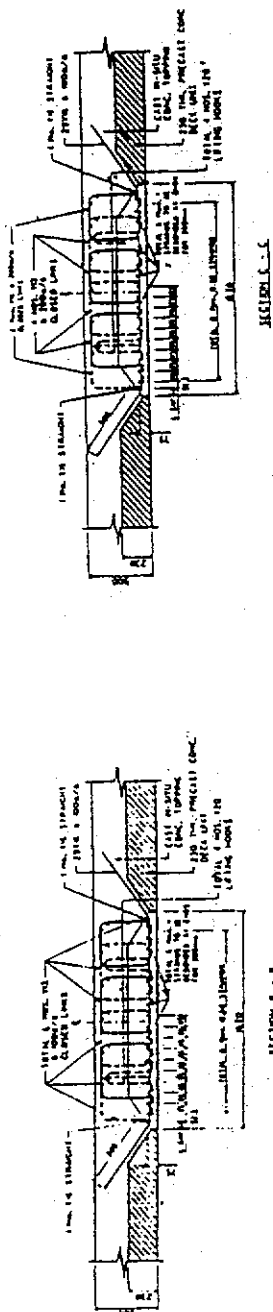


圖9-7 裕廊港CPT試驗結果
 (摘自: Hee et. al., 1992)



TYPICAL SECTIONAL VIEW OF PANEL P3
 LAYOUT WITH REINFORCEMENT DATA
 SCALE 1/16"

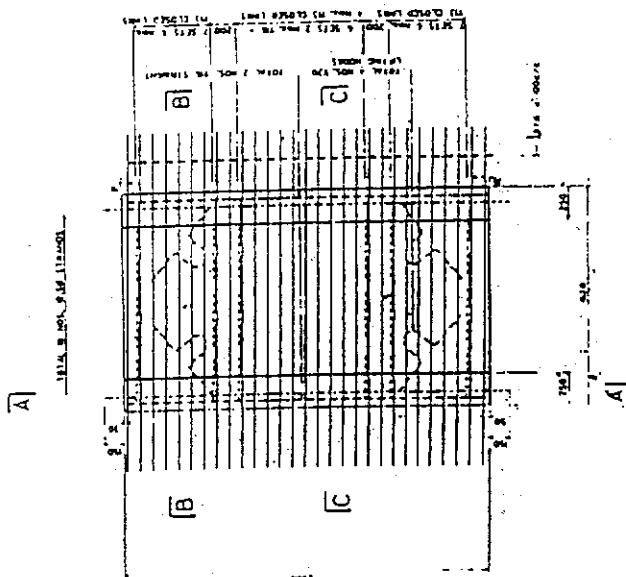


圖9-8 裕廊港預力式混凝土厚塊示意圖
 (摘自：Hee et. al., 1992)

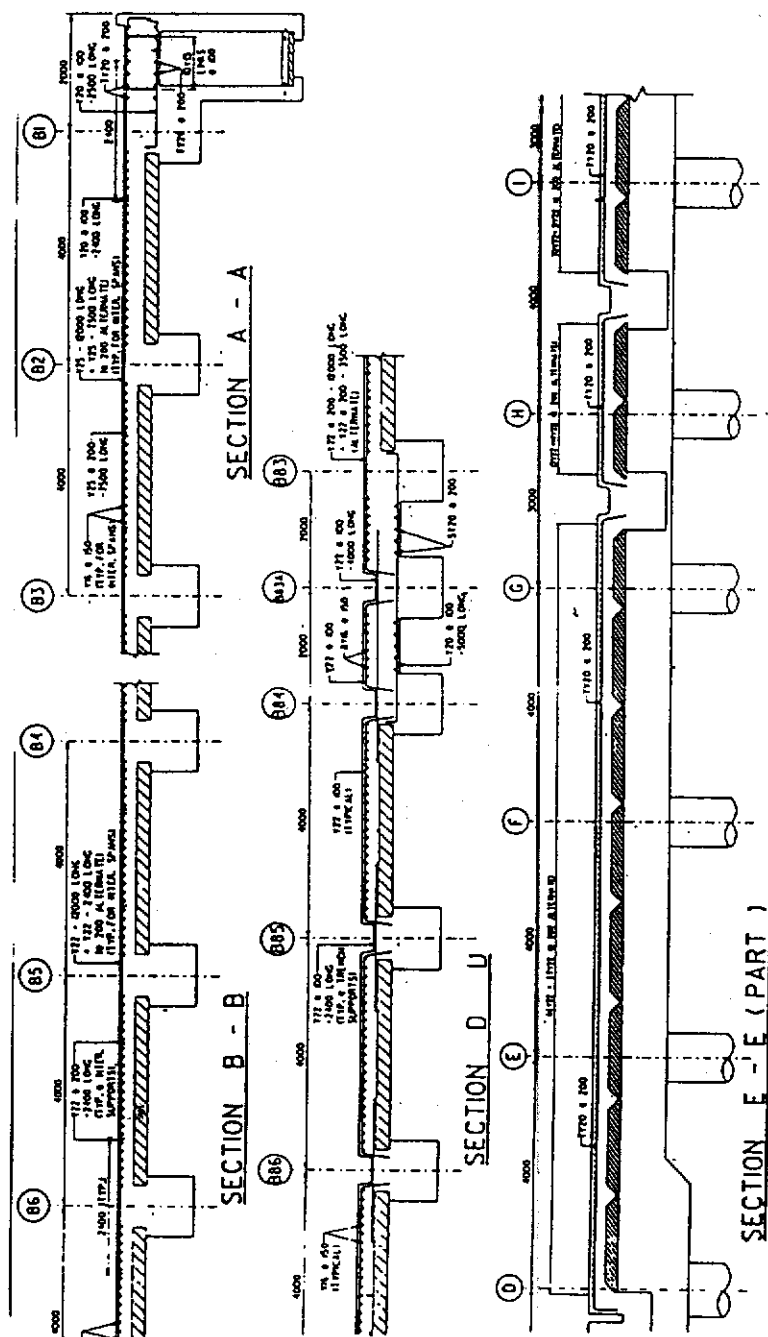


圖9-9 裕廊港最上層場鑄混凝土示意圖
(摘自：Hee et. al., 1992)

第二節 新加坡東區大型回填工程

採用黏土—砂土分層回填方式乃是一種經濟且有效之方法。此法係新加坡大學近年極力推廣之工法，主要是用新加坡很稀少且昂貴之砂土，填入由海底浚挖出之海底黏土，利用此三明治方法(Sandwiching Scheme)可以降低孔水在黏土間排水路徑。此法之成功是能夠減少砂土之使用量，並達成快速將海底黏土回填完工，藉由實驗室和現場實驗驗證其可行性，最近，已將此構想應用在新加坡東側樟宜(Changi)地區40 ha回填計劃。

一、簡介

自1964年新加坡沿岸已有近500 ha新生地完成見圖9-10。預估有近四億立方公尺新增土壤，係用陸地上開採砂石和海床土壤抽出填成，未來回填計劃亦將陸續推出，此處希望能尋求一較新回填材料。過去曾利用聲波(Sonic Prospection)方法鑽孔方法，知悉新加坡周圍海域，幾乎佈滿軟弱海底黏土，厚達40公尺，由於藏量甚豐，可以利用絞刀式吸力浚挖船(Cutter Suction Dredgers)輕易挖起，運輸上遠較於陸地選取黏質沙土來得便宜。

據此新加坡進行大型回填工程唯有利用此類材料最為適宜，並開發出一種新工法予以進行。然而直接將海底軟弱黏土用水力回填(Hydraulic Place)方式耗時太久，並且因地盤軟弱尚需土質改良，所費不貲。沿用三明治工法係利用回填土內部砂土減低排水路徑，進而實質地減少壓密時間。

黏土—砂土層狀回填方式，乃先將黏土用水力方式抽進入已施工完成之海堤(Sea Dyke)中，藉由重力和滲流使土壤逐漸沉積(Sedimentation)，當黏土達至足夠強度時，再將薄砂土層置於黏土表面處，反覆進行期間下層黏土層已開始壓密中(Under Consolidation)。

上法已先後在Pulau Tekong Besar完成實驗室和現場實驗，並用於樟宜地區南側海灣40 ha回填計劃中。本文除描述實驗室和現場結果，亦將討論樟宜計劃初期發現工程問題，以及解決方式。

二、實驗室研究

設計一簡單砂貫入(Sand Penetration Test)黏土試驗，將砂分批以薄層狀置入下層已裝滿黏土泥漿(Clay Slurries)之圓柱管內，如圖9-11。而下層黏土泥漿適度

改變含水量，模擬現地水力式回填黏土層之強度，而測定黏土層含水量及密度係用 γ -ray法，當黏土泥漿含水量超過270% (即 $\rho=1.2 \text{ g/cm}^3$)，砂土顆粒將迅速穿越黏土層而沉至底部，倘若小於此含水量，將因粘滯拖拉力(Viscous Drag)使黏土泥漿產生強度，再利用Viscosimeter測定不同含水量下，黏土泥漿剪應力與剪應變速率之關係如圖9-12。結果顯示黏土泥漿行為似Bingham流體。

圖9-13為剪應力與含水量之關係，圖中知悉含水量小於250%，黏土泥漿強度將迅速增加，此亦可由實驗過程感覺出。

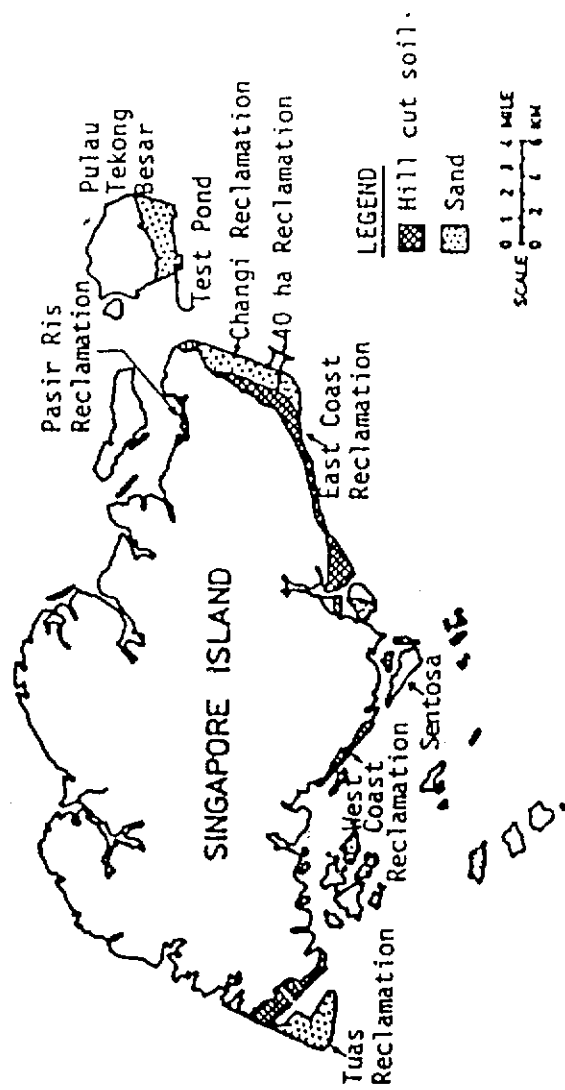


圖9-10 新加坡沿岸新生地分佈位置圖

(摘自：Lee et. al., 1992)

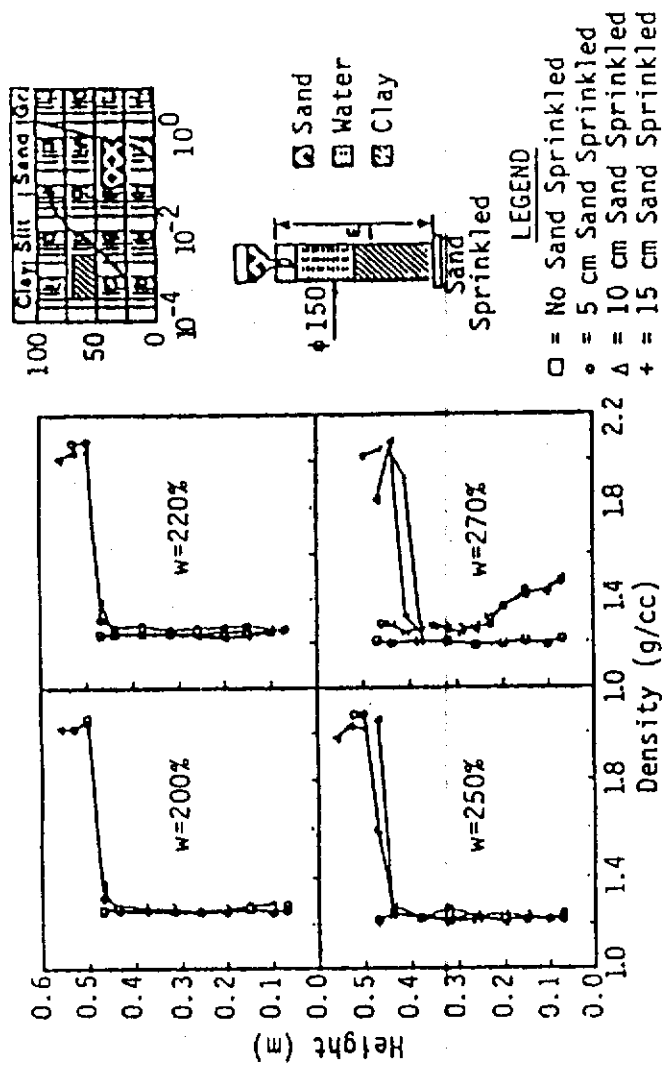


圖9-11 砂質入黏土泥漿實驗配置圖
(摘自：Lee et. al., 1992)

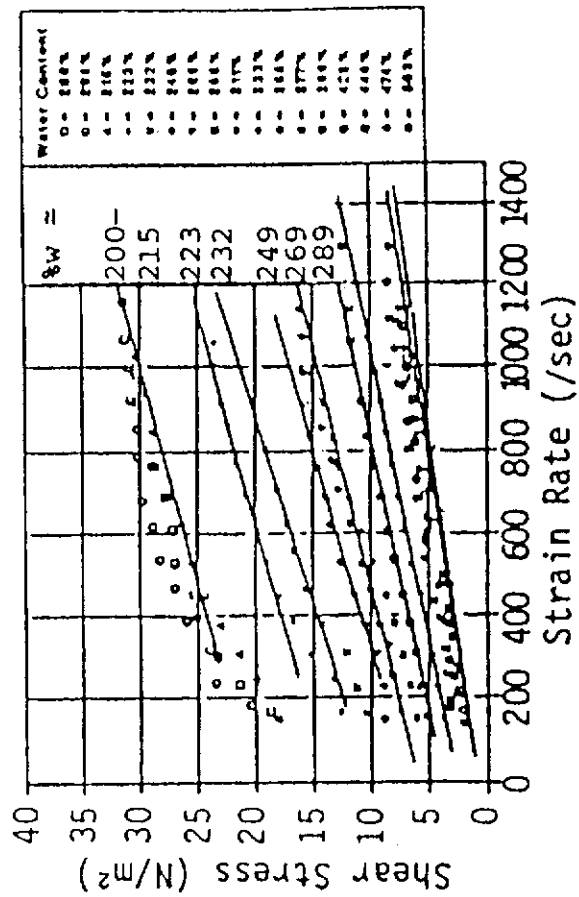


圖9-12 黏土泥漿剪應力與含水量之關係
(摘自：Lee et. al., 1992)

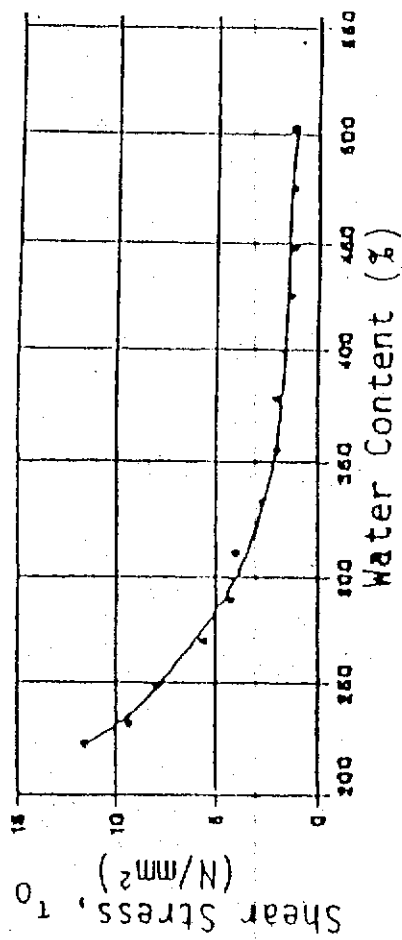


圖9-13 黏土泥漿剪應力與含水量之關係
(摘自：Lee et. al., 1992)

三、Tekong現場回填實驗

粘土-砂土層狀回填現場試驗，係於1985年在Pulan Tekong Besar地方進行，長方形實驗坑(Rectangular Experiment Pond)面積為20公尺*10公尺，土壤回填土堆高度為3.7公尺，側邊坡斜度設為1:2。試驗所用回填方式見圖9-14，圖中並可看出各土層隨時間增加高度變化情形，此外，在黏土和砂土間交界面亦可由圖中看出，詳細步驟是黏土先被抽出按置完成，令其靜置約5天，目的是讓黏土靠自重逐漸沉積，這階段量得表層黏土泥漿含水量介於170%($\rho=1.3\text{g/cc}$)至220%($\rho=1.25\text{g/cc}$)之間，比較其實驗室試驗結果，在此含水量之黏土泥漿用於支持上方5 cm薄砂層應無問題。緊接將薄砂層利用水力回填方式，均勻撒鋪在黏土層上方，每次約為4-5公分，等兩天後黏土泥漿經由部份砂粒貫入，剪力抵抗值變大即可防止砂土繼續沉入，隨後利用此方法每二至三天以一層5公分薄砂層繼續放入，直至第一層30公分砂土層完成為止，即圖中S1層。

圖9-14(b)和圖9-14(c)分別是顆粒分佈示意圖及含水量隨深度變化情形。試驗當中觀察到當第一層薄砂層填上時，較粗顆粒砂土幾沉入至軟弱黏土內部達15公分，而留下小顆粒於其上方，如此，可使表層黏土泥漿強度增加，阻止砂土繼續沉入，由圖9-14(b)可清晰看出最上砂土層，上下各15公分薄砂土層顆粒分佈不同，這個方法成功完成使主管當局決定將其應用在樟宜灣40 ha大型回填計劃。

四、樟宜南灣現場實驗

廣達40 ha樟宜南灣回填計劃開始於1988年初著手興建，工址又被分隔為二大區域，稱A區和C區，各約10 ha高度則為5公尺，中間再用海堤予以分開，此二平行回填區及海堤配置見圖9-15。其中C區先以兩層海底挖出填好之黏土層中間夾一薄砂層，用三明治方式完成，最後再以一砂土層填於第二黏土層上方；A區則類似，但以A₂和A₃區先予以處理，由於C區已先開工，因此本文只能就C區作以下討論。

五、工地觀察(Field Observation)

(一) 顆粒分離效應(Particle Segregation Effects)

C區進行第一層海底黏土層水力回填時，係靠近C₁區附近僅利用一抽土處抽土，結果無法像Tekong現場回填試驗，能均勻將黏土泥漿撒鋪於工址上方，造成黏土顆粒大量分離，較接近抽土處顆粒較大，而遠離抽土位置之填土區域，將因

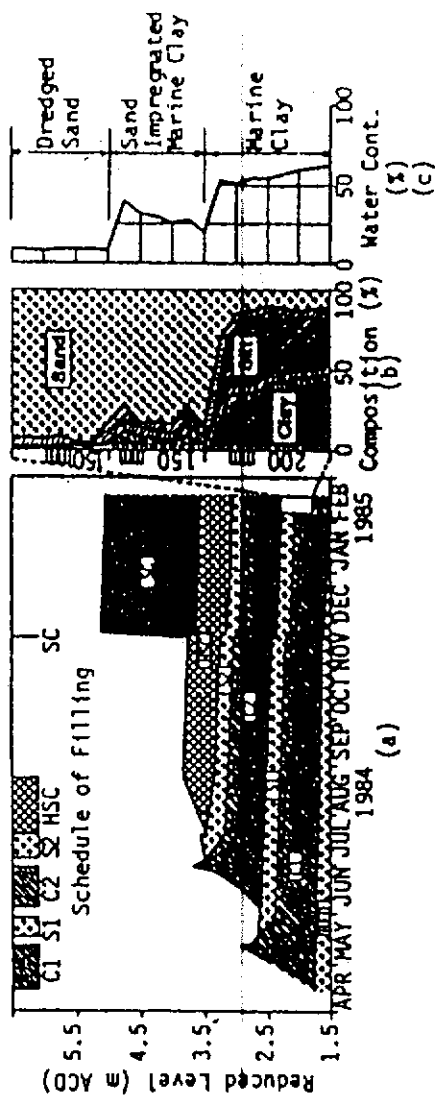


圖9-14 Takong現場實驗砂土與黏土分佈圖

(摘自：Lee et. al., 1992)

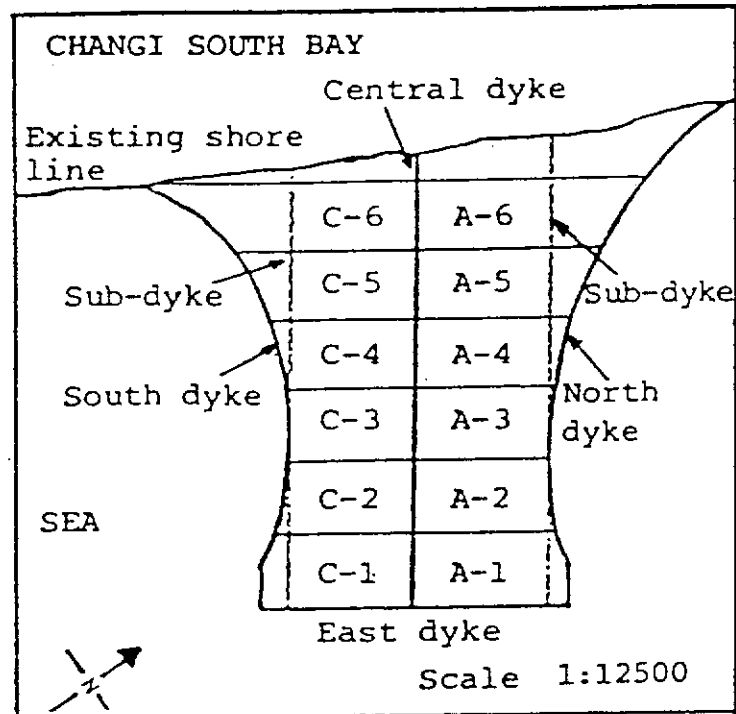


圖9-15 回填15天後黏土泥漿單位重與深度之關係
(摘自：Lee et. al., 1992)

較緩慢沉積速率使得土體密度和強度皆不理想。此現象係藉用 γ -ray方法和同時間不同地方採樣試驗得出。

在回填15天之後再於現場 C_1 和 C_3 區取得黏土泥漿樣，試驗結果比較於圖9-16。圖中指出 C_1 區平均單位重為 1.35 g/cc ($w/c=145\%$)，遠較 C_2 區平均單位重 1.14 g/cc ($w/c=400\%$)為大，而 C_2 區位置係在抽土處200公尺以外，然而 C_1 區則在抽土處附近，顯然因顆粒分離效應使 C_1 區取得較粗顆粒，導致其單位重較大強度較好。

(二) 砂貫入黏土效應 (Sand Penetration in Clay)

在回填海底黏土完成20天後，於 C_2 區試驗得出表層1公尺處土壤密度小於 1.2 g/cc ($w/c=280\%$)至 1.3 g/cc ($w/c=170\%$)之間，隨後開始第一階段填入5公分薄砂土層，乾密度與深度關係見圖9-16。在砂土開始從+0.5 mACD處填起，清晰發現該處黏土泥漿將含水量為250%，頗吻合實驗室和Tekong現場試驗，緊接第二層10公分薄砂層填入，該處含水量減為220%-250%，顯然較早一層砂土層填上已使表層黏土泥漿以有強度，抵抗隨後之10公分砂土層自重，因為強度已如預期好，故填第三層15公分薄砂層時就不進行試驗，直至最後20公分薄砂土層撒鋪，試驗發現原在+0.5 mACD之50公分砂土層，已可在-0.5 mACD黏土泥漿處發現，在原有三層砂土鋪撒完後，黏土泥漿所獲得剪力強度似仍無法有效抵抗最後一層20公分砂土重量之貫入，因此建議砂土填入時，似宜再分更多層且厚度不宜太厚。

然而，以上結果也証實回填砂土層有效用於此工法，臨界含水量仍直在220%至250%之間。

六、結論和討論

新加坡大學大地工程研究群針對新生地回填工程提出另一種可行性工法：係用黏土一砂土層狀回填方式。發現此工法非常便宜且可迅速有效減少土層壓密時間，主要是借用薄砂土層減少排水路徑。

藉由二者包括實驗室和現場實驗之可行性，試驗出下層海底黏土將因上層薄砂層分批填上而獲得足夠強度。此外，黏土泥漿臨界含水量約為220%至225%，倘若小於含水量220%時，將可因抗剪強度之迅速提升，更值得在工址推廣此一工法。

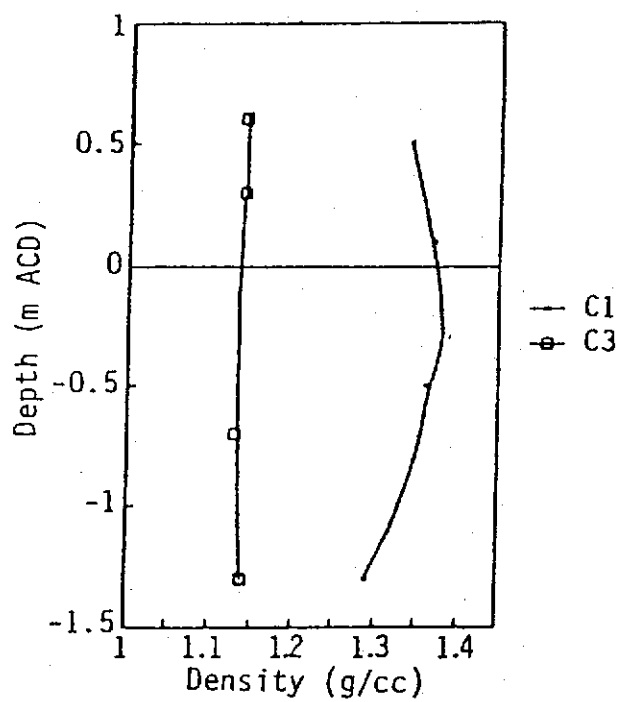


圖9-16 樟宜南灣現場實驗C₂區單位重與深度之關係
(摘自：Lee et. al., 1992)

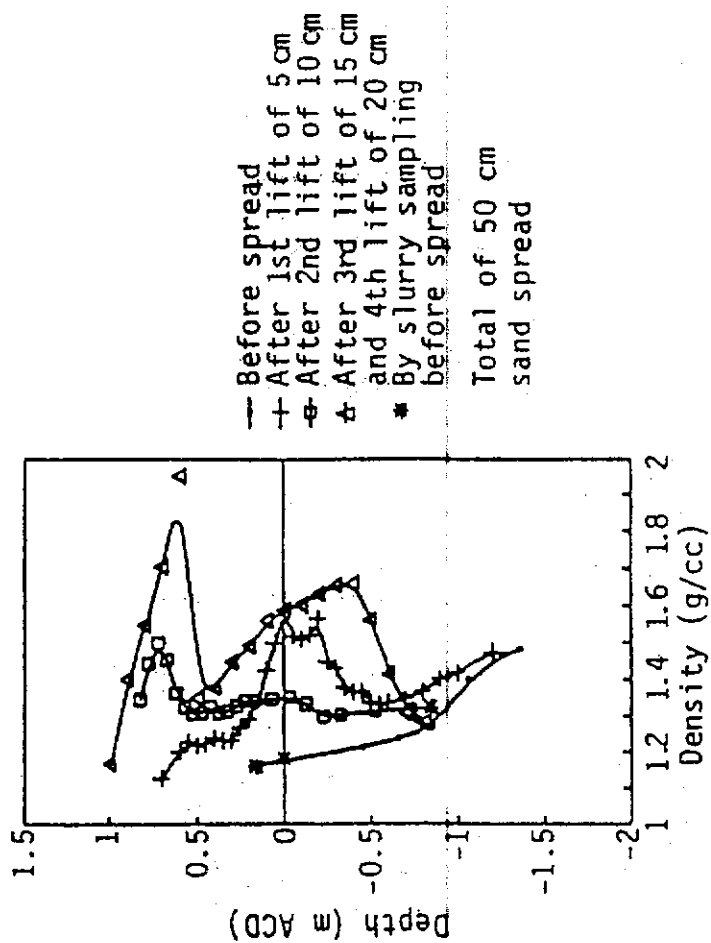


圖9-17 樟宜南灣現場實驗C2區單位重與深度之關係

(摘自：Lee et al., 1992)

而在樟宜現址試驗結果除可驗證上述二者實驗之結果，另一是浮現出其它相關工程問題，包括抽土處僅有一處抽取，雖然經濟但將造成很多缺失，將因顆粒分離而使得距取土處較遠區域強度變弱。

第二為鋪撒薄砂層在海底黏土層上方時，仍宜用5公分和10公分之厚度，當一次鋪撒20公分時，可能造成砂土嚴重貫入黏土層內部，並且每次在鋪撒薄砂層時，唯有下方黏土層含水量在220%-250%以下才可。

總結，由實驗室和現場實驗發現此一工法之可行性，然而有二關鍵決定此工法成功與否，包括需多少時間才可使海底黏土獲得足夠強度，並且應鋪撒愈薄砂土層於上才可。

第十章 高雄深水港港址軟弱地盤之處理技術及工法選擇

綜合本報告中第七章關西國際機場之人工島建設、第八章日本軟弱地盤改良法和第九章新加坡大型回填工程設計與施工方法。今就本研究計劃對高雄深水港軟弱之處理技術及工法選擇加以研討及建議。

第一節 軟弱地盤改良工法

一、軟弱地盤之概念

通常所謂軟弱地盤是指堆積在沖積平原、湖沼地、山谷等之沖積層的軟弱自然地盤，以及藉由回填、填方等之堆積成之軟弱性人工地盤。軟弱地盤一般是由未遭受過地形或地質變動、載荷重、地震震動等物理性作用或未受土粒子間化學性作用履歷之軟弱黏土、沈泥、有機土或鬆散砂質土等所構成。

地盤受局部載重作用時之變形行為是隨載重之增加而呈現圖10-1(a)所示三種不同階段之變化。由載重與地盤強度之相對性關係，得知既使地盤之變形小，若其關係可能已在第二階段，則會造成基礎施工上各種問題的發生，此時該基礎地盤可稱為軟弱地盤。另外，軟弱之黏性土地盤因其有優異之塑性性質且透水性低，因而既使在載重較小之第一階段，其變形會持續相當長的時間，形成類似第二階段之變形行為，其載重與沈陷量之關係是如圖10-1(b)中虛線所示，幾乎沒有直線部份，沈陷量相對很大。

因此，軟弱地盤之判斷基礎是依上述之各種因素而變，很難單憑地盤條件而一概論之。表10-1為目前日本所使用之軟弱地盤概略判斷基準例，由此表亦可知，軟弱地盤之判斷基準按工程單位類別及構造物之種類多少有所不同。

砂質地盤一般是採用N值當做液化現象之概略判斷基準，若N值小於其界限線，則可能發生液化，因此在該範圍內之砂質地盤若受地震作用時則可視為軟弱地盤而處理。

在工程規劃階段若興建地點之地盤恰為上述之軟弱地盤，一般取決上通常會採用下列四種考慮方法：

- (1) 變更興建地點，迴避軟弱地盤。

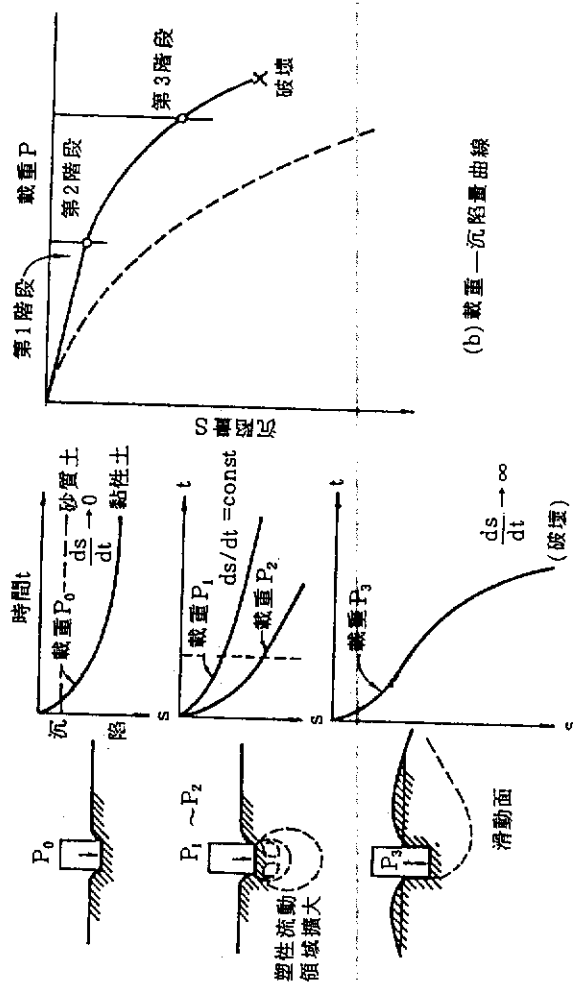


圖10-1 載重作用狀態下基礎地盤之行為 (摘自張惠文·民國73年)

表10-1 軟弱地盤之概略判斷基準(摘自張惠文・民國73年)

構造物種類	地盤之狀態							判斷
	土質	層厚	N 值	一軸壓縮強度 q_u (t/m^2)	圓承載力 q_c (t/m^2)	維力 q_v (t/m^2)	長期容許耐力 (t/m^2)	
道路			2以下	2.5以下	12.5以下			極軟弱
			2~4	2.5~5	12.5~25			軟弱
			4~8	5~10	25~50			普通
高速道路	泥炭		4以下	5以下			100%以上	軟弱地盤
	粘性土		4以下	5以下			50%以上	
	砂質土		10以下	≥ 0			30%以上	
鐵路		2m以上	0					軟弱地盤
		5m以上	2以下					
		10m以上	4以下					承載層
		3m以上 其下非軟弱層	30以上					
新幹線			2以下		20以下			需要精密調查 (對沉陷與破壞)
			2~5		20~50			層厚時應調查其沉陷狀況
			5以上		50以上			無震害後調查 無軟弱地盤之問題
建築石塊			10以下				10以下	軟弱地盤
			20以下					軟弱地盤

參考資料：土質工學會編：軟弱地盤の調査、設計、施工法，1966
土質工學會編：軟弱地盤における工事實施例，1966

(2) 變更構造物形式以適合地盤條件。

1.減輕構造物之重量(荷重)或力矩作用量。

2.變更基礎形式(由淺基礎變更成深基礎)，迴避軟弱地層。

3.採用與周圍地盤之同步性佳的構造物。(譬如考慮構造物之沈陷與地盤沈陷一致。)

(3) 去除軟弱之地盤材料，置換良質之材料。

(4) 改善軟弱之地盤。

二、地盤改良工法之目的

(一) 地盤改良之定義

地盤改良簡單而言是指改善軟弱地盤之工程性質，增加地盤穩定性之意。一般類似地盤改良而常被使用之名詞有土質改良、土質穩定以及土質穩定處理等。通常地盤改良被解釋在現場原位置改良軟弱之「地盤」，而穩定處理則認為改良該「土材料」而置於預定處理之位置。另外，土質穩定依其處理之地盤深度大致可區分成淺層土質穩定與深層土質穩定，為了區別起見，前者被稱為土質穩定，後者被稱為地盤改良。

(二) 地盤改良之目的

填方、土木構造物、建築物等之加載工程以及挖方、臨時挖掘、管道等開挖工程是一般最常見的工程項目，這些工程若在軟弱地盤上施工時，最易發生的主要問題點歸納可得表10-2所示幾種。

地盤改良之目的是針對表10-2所示之各類問題，施以適當之處置，改善地盤條件。

改善之處置手段主要可分為：

(1) 改善剪力特性(防止剪力破壞、防止剪力變形、減輕土壓力等)。地盤對剪力破壞與土壓力之穩定性是憑藉於土壤之剪力強度，因此欲達成(1)之目的，基本上應增加土壤之剪力強度。

另外，地盤產生沈陷與變形之原因大致可歸納有：

(a) 因載重(開挖)地盤上壤體積變化而產生壓縮變形。

(b) 因形狀變化而產生剪力變形。

表10-2 軟弱地盤施工時之問題點(摘自張惠文，民國73年)

	沉陷	承載力、穩定性	其他
加載	(1)構造物、填方以及該地盤所產生之全面或局部沉陷 (2)作用於構造物基礎之負摩擦 (3)填方或構造物荷重所造成之側向地盤之壓密沉陷 (4)廣面積地盤沉陷	(1)基礎地盤剪力作用致使填方破壞 (2)構造物基礎承載力不足 (3)偏向載重及土壓力造成構造物之變形與破壞 (4)填方或構造物荷重造成之側向地盤隆起	(1)車輛荷重以及其他因素所造成之周圍地盤振動 (2)地盤時基礎地盤之液化 (3)壩、堤防等之基礎地盤漏水
開挖工程	(1)開挖致使側方或上方地盤下陷 (2)地下水位降低造成地盤壓密沉陷	(1)開挖斜面之崩塌 (2)開挖底面之隆起 (3)應力解除、腐蝕、鬆弛與回脹等致使土壓力之增加	(1)滲透水之滲漏 (2)流砂，管湧

(a)在黏土地盤謂之壓密沈陷，而(b)又可分成瞬間沈陷(彈性沈陷)及側向流動(塑性流動)所導致之沈陷。

在黏性土之軟弱地盤，以壓密所造成之沈陷與側向流動所造成之沈陷對工程施工的影響最大，同時問題也最多。通常要完全防止此類之沈陷與變形需要花費相當之時間與經費，因而，施工上大多會按構造物之形式規模、重要性等而容許某種程度之沈陷與變形。

(2).改善壓縮性(防止壓密沈陷等)。其目的是在防止壓密沈陷之類的壓縮變形，因此，必須採用某些適當的方法促使地盤成不壓縮性，或促進壓密作用加速進行。另外，防止側向流動(塑性流動)之類的剪力變形，雖是(1)的目的之一，但仍採取適當之手段，增加地盤土壤之剪力強度，同時增大其剪力變形係數。

(3).改善透水性(防止漏水、滲水等)。其目的是在於處理此類土壤內水之移動所造成的問題，其處置方法是如何促使地盤成不透水性以及如何減輕水壓力之作用。

(4).改善動態特性(防止液化、減輕振動等)。鬆散砂質地盤受地震之作用易形成液化現象，同時，地震、車輛荷重等動態應力所致成之地盤振動亦會使構造物產生各種不良之影響，引起振動公害。其目的就在於處理此類動態問題，其處置方法就是如何防止地盤之液化，或如何改善振動性質等促使地盤耐震化。

(三) 地盤改良計劃

軟弱地盤之改良計劃一般是依圖10-2所示之步驟進行。首先實施行資料調查及一般地盤調查。根據調查之結果設定地盤條件以及結構條件。

地盤條件：

- (a) 地形、地質之成因。
- (b) 地盤之成層狀態。
- (c) 軟弱層之層厚與範圍。
- (d) 承載層之位置與傾斜。
- (e) 透水層之位置與狀態。
- (f) 地下水與孔隙水壓之狀態。
- (g) 土壤之物理與工程性質。

結構條件：

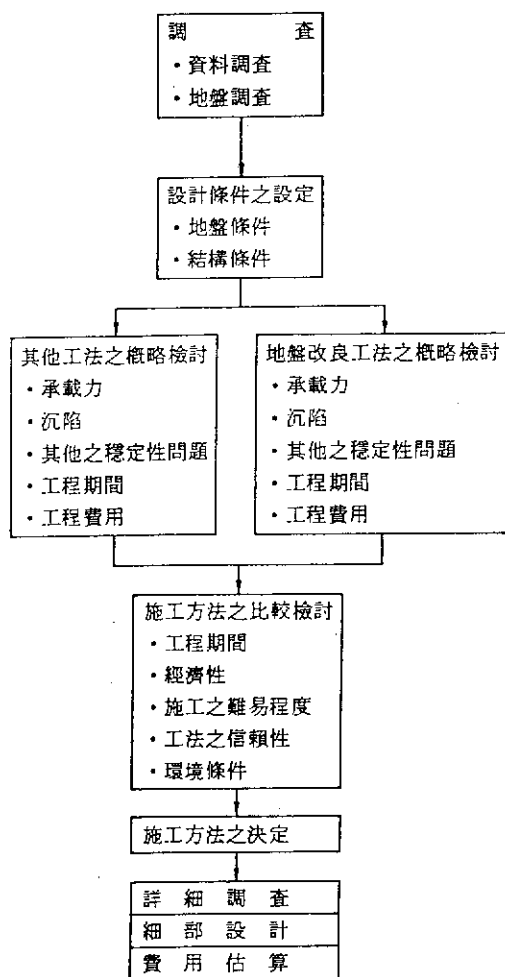


圖10-2 軟弱地盤之改良計劃擬定程序(摘自張惠文，民國73年)

(a) 形式：載荷面之剛性與形式，開挖之形式。

(b) 規模：載荷重之大小。分佈狀態、種類，載荷重之面積與配置、開挖之深度與寬度。

(c) 重要性與目的。

(d) 穩定性之安全係數。

(e) 沈陷、變形之容許值。

首先對一般性工法(即非地盤改良工法)實施地盤之承载力與沈陷的檢討，檢討滑動破壞、變形、土壓力、透水性、液化等之穩定性，同時亦就工期、費用等加以概估。

其次，就上述檢討所得能夠適應目的需求之改良工法加以比較，一般主要比較項目是工期、工程費用、施工難易程度(根據過去之施工經驗)、工法之信賴性以及對鄰接構造物之影響等環境條件。綜合研判後，決定出最適當之施工法。但若綜合研判後仍未能決定出最適當施工法時，則有必要考慮變更結構條件或採用組合式地盤改良工法，再行比較檢討。

四、高雄深水港港址回填方式

(一) 砂土回填方式

由本報告書中所敘述高雄深水港現場土壤調查中所獲得土層資料中加以探討，所利用土層資料由第三章中所提供。進行港址地區其土層由原地表面(高程約為+4.0公尺)至海平面下深度約為50公尺處，皆為砂土層，但部份地區夾有砂質黏土層或砂質壤土層，其厚度由一公尺至四公尺左右。利用該港址土層分佈資料，由第六章中所敘述二種不同回填方式及利用有限元素法數值分結果加以探討如下：

(1) 由外海向內陸回填方式：

經由圖3-13中所拼合成海底深度等高線(不甚正確)中瞭解若預定港址位於海水深度為20公尺左右，則該深度處離現有海岸邊的距離約為2公里，則沿海岸線橫向間隔為50公尺。由第六章中圖6-4(a)中得知，其海水深度20公尺處，其回填厚度達到預定地表面高程若為+3.4公尺，假設回填工程於三年內完成，其沈陷量可達到55 cm左右，而於填工完成後七年的總沈陷量可達到94 cm左右，其七年期

間仍存有沈陷量達到40 cm左右。而預估其回填高程需達到+4.55公尺，如此才可控制十年後該港區達到其預定高程為+3.4公尺。

(2) 由內陸向外海回填方式：

由第六章中圖6-4(b)中得知，其海水深度20公尺處其回填工程於三年內完成後其沈陷量可達到102 cm左右，填工完成七年後，其沈陷量為180 cm，其七年期間仍有沈陷量達到80 cm左右，其控制回填高程需達到5.25公尺左右，如此可達到該港區預定高程為+3.4公尺。

(3) 砂土回填方式必須利用附近地區深海中離港址(海深20公尺)外海至少五公里至20公里範圍外抽取海底砂土以輸砂管道加壓輸送，該取砂土區海深可能達到30公尺以上，抽送加壓及管道設備及抽砂船隻必定昂貴，而仍以岸邊回填漸漸向外海回填，而防止回填砂土流失，必須先築造擋土結構防止流失。由於海水深度不同，所回填砂土承受水深不同的上揚力，則該回填砂土層其相對密度僅達到疏鬆狀態30%左右，因此上述二種回填方式所預估沈陷量頗大。若回填砂土層的相對密度僅到30%左右。原存有砂土層經由液化潛能評估皆達到不液化狀況，而對疏鬆回填砂土層則必須利用壓實排水砂樁工法加以深層地盤改良。

(4) 若利用內陸運送砂土由內陸向外海回填其砂石車運輸量極大，輸送路線所經道路必受來往重型砂石車破壞，所途經地區居民也必定抗議。因此採用日本關西機場回填工法(第七章)，利用船隻輸送，而鄰近砂土區則以屏東里港砂土場較為便利。

(二) 粗粒料回填方式

所謂粗粒料則指砂石顆粒粒徑停留於4號篩以上顆粒，因此該粗粒料使用卵石料回填，但卵石料的顆粒間孔隙較大，因此採用粗細級配料回填，如此回填後的土層，其相對密度可達到50%左右，可稱為緊密土層，回填後的沈陷量應較砂土層來得小，而不需再經過壓實排水砂樁工法再加以深層地盤改良，於預定港址附近高屏溪附近已存有砂石場，由南部機場專案小組提供砂石場分佈見圖10-3。若採用高屏溪卵石料回填，則可先疏濬高屏溪河床中心的石料，利用船隻輸送，但由於港址地區氣候乾燥，僅利用七月至十月的颱風期的降雨量較多時才可操作容易。

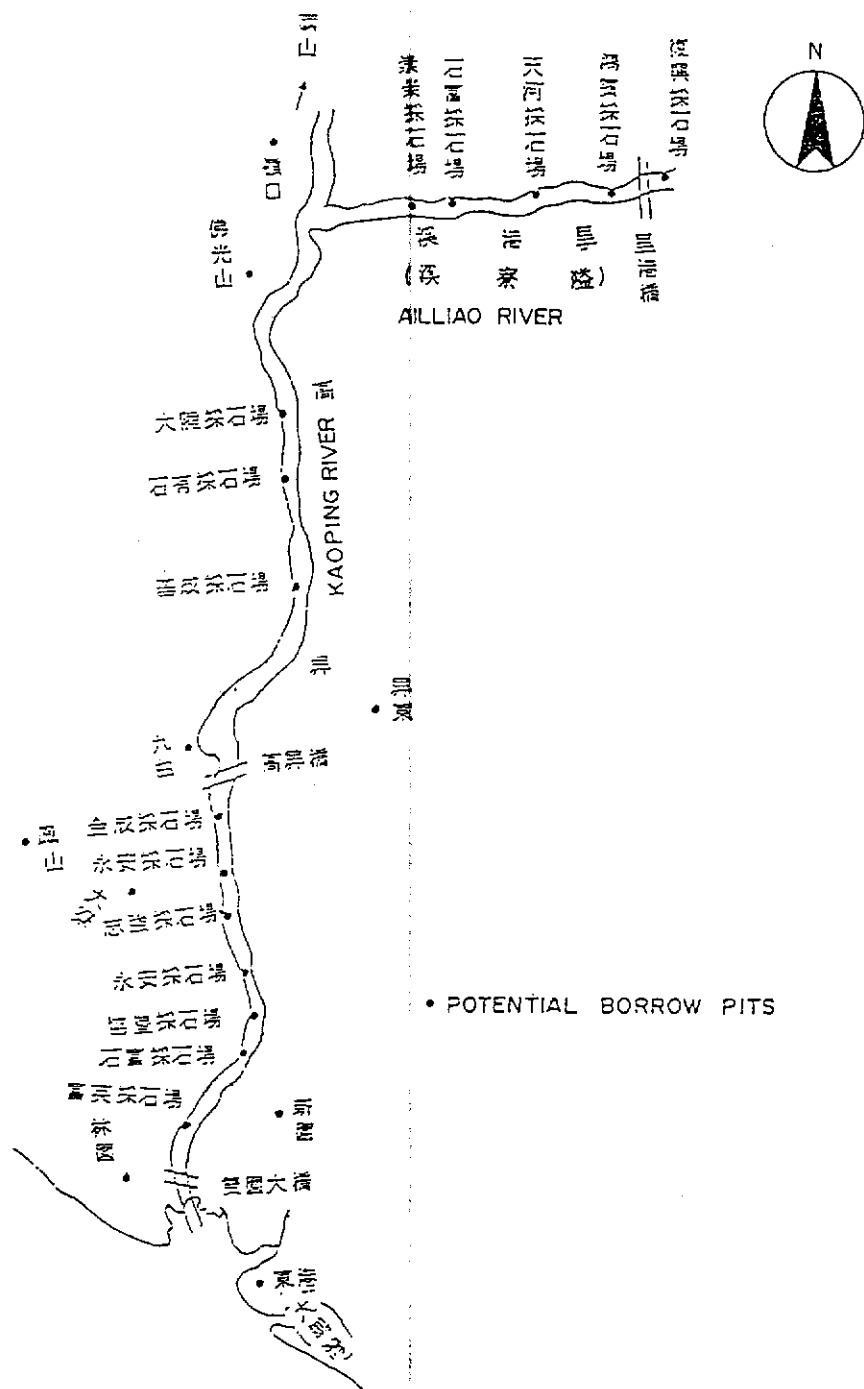


圖10-3 高屏溪卵砂石料借土區

(交通部運輸研究所南部機場專案小組提供)

第二節 建港工程

一、防波堤

防波堤工程主要功能作為回填砂土之擋土設施，防止砂土在回填作業時之流失，而其必須防止防波堤波浪之沖擊，其設計時必須首先考慮堤身結構物在深海中的穩定安全。而又於完成防波堤後背方填土區所回填砂土成卵砂石料所引起堤體的側向土壓力的穩定安全。防波堤設計時須考慮港址回填區域鄰近地區的海岸地形及海域生態之保護，以及所可能引起地域區居民生活的衝擊。

(一) 臨時性海堤：由於所擬定回填區域其所涉及範圍過大，於第六章中所提及回填砂土所引起沈陷量的估算，採用2公里長度和50公尺寬度為預定回填範圍，但由沿海岸線的寬度可能達到7公里寬度左右。由於區域性回填的需要，必須採用臨時性海堤分區築造該海堤結構物並非一永久的構造物，日後，仍存於回填土層中。因此，必須採用較經濟之斷面和其施工材料可採用拋石堤型式，如第七章中所敘述日本關西機場人工島築造時所採用A護岸或B護岸方式築造(參閱圖7-3)或採用新加坡裕廊港新建開放型碼頭防波堤方式(參閱圖9-3)。

(二) 永久性海堤：永久性海堤由於固定於海床中，其背側必須承受回填土層側向主動土壓力以及港址建造完成後地表面荷重所引起穩定性的安全。該永久性海堤型式可採用日本關西機場人工島築造時所採用防波堤型式或D護岸的拋石組成直立式消波沈箱以及D護岸的鋼製箱格二種不同型式。由於不同的海水深度，於選擇不同型式的基本原則，必須考慮波高、波速及水深等因素。

二、回填砂石層海底邊坡之破壞

(一) 海底邊坡破壞現象

由於回填區海水深度不一致，而所回填區域必須分隔成小面積範圍方式予以回填，上述臨時性海堤和永久性海堤的築造型式，於設計前，必須確實掌握土層正確資料，先加以探討再仔細考慮於築造時所可能引起原有海底砂土層邊坡穩定的破壞。

海底邊坡破壞由於不同的海象環境而有其不同處。邊坡破壞可能發生在近岸較遠深水區域。海底邊坡破壞的觀念與陸上邊坡有所差別，由於海底沈積土層表層部份由於新近沈積，再加以承受海底波浪於漲退潮差移動，無法承受固定壓密

應力而可能使得壓密尚未完成而仍存有軟弱狀態。該表層的軟弱沈積土層內仍可能含有海底植生及風化貝殼類等有機物或無機物成份，使得土層內顆粒間的孔隙含有難以驅除的氣體，再由於波浪作用及海水動態壓力之作用，可使得土層內之孔隙水力及孔隙氣壓可隨之增加達到較陸上土層的較高數值。因此，海底邊坡破壞可能發生在極為平緩的邊坡上，其坡角5度以下，甚至1~2度左右(林美聆，民國80年)，而其破壞規模較一般陸上邊坡破壞之規模大得多和嚴重得多。

(二) 海底邊坡破壞之型式

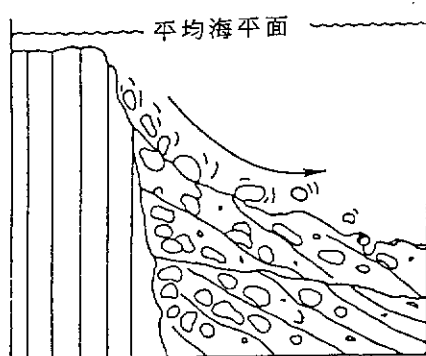
由林美聆(民國80年)參考文獻提示：其根據所收集到海底邊坡破壞之證據，Dott(1963)認為依邊坡破壞之情形可分成下列四種型式：(a) 墜落、(b) 滑動或坍落、(c) 流動及(d) 混濁流，如圖10-4所示。對上述四種邊坡破壞型式分別說明如下：

(a) 墜落-墜落係指岩塊或土壤顆粒之自由掉落，通常此類破壞為局部破壞，常發生於坡度較陡處，如海底峽谷及海蔞壁等，有時亦可發生在珊瑚礁處。

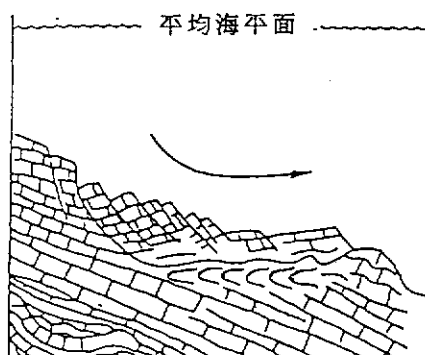
(b) 滑動或坍落-為目前所知分佈最廣的邊坡破壞型態，滑動破壞具有坡頂裂隙、滑動面露頭、張力區及坍落土體等特徵可據以判斷。滑動破壞常發生於坡度相當平緩之海底邊坡上，且破壞面之深度常較其長度要小得多，如為圓弧形破壞面時，其弧度將很平緩。滑動破壞由於持續之土體下坡移動，可能使土壤強度降低而進一步引發流動破壞。

(c) 流動與(d) 混濁流亦可視為流動破壞之一種。流動破壞係指土體之移動有如流體般流動，其型態可進一步細分為土石流、液化流、顆粒流及混濁流等。主要之區別在於不同之土壤顆粒分佈、移動方式、水壓力之大小等。流動常於邊坡之上部產生之滑動或坍落，使破壞土體持續移動而產生，常見在邊坡上端有一滑動痕跡，而後破壞土體沿一狹長通道向下坡方向流動，其移動距離遠較土體深度為大，而由滑動破壞轉變至流動破壞，其間並無明顯界限。混濁流為海洋沈積物由洋流之向上作用力推動向下坡方向傳遞，常見於河流之出海口附近。混濁流可由邊坡之滑動破壞導致流動而伴隨產生，且常為造成海底電纜破壞之主要原因。

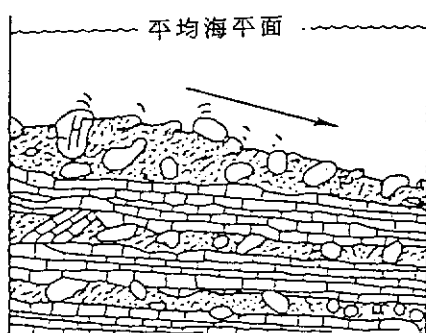
海底邊坡破壞之型態雖可區分為上述四類，但在實際情況中，一種型態之邊坡破壞常能導致他種破壞型態之產生而形成複合式破壞。且在破壞發生時，土壤



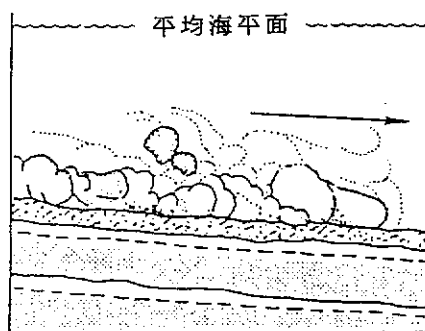
岩石或土壤墜落



滑動或坍落



流動



混濁流

圖10-4 海底邊坡破壞之型態 (Prior and Coleman, 1984)
(摘自林美聆·民國80年)

在持續位移下，其性質可能產生改變，亦可導致他種破壞型態之發生。故要將邊坡破壞依上述四種型態完全加以區隔，亦有其困難之處。

三、海底邊坡破壞之因素

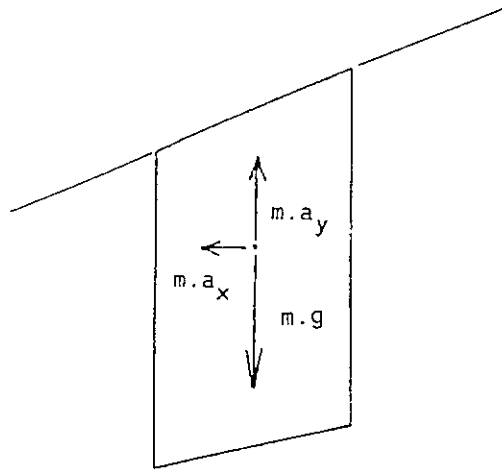
由林美聆(民國80年)的參考文獻中提供資料中得：導致邊坡發生破壞之因素很多，有時單一因素同時即足以使邊坡破壞，更常見者為數種因素同時作用而產生破壞，其情況相當複雜。茲將四種導致邊坡破壞之主要因素及其於穩定分析上之考慮分別討論於下。

(一) 大地應力作用

由於地殼板塊運動之影響，海洋板塊在與大陸板塊接合處，沒入於大陸板塊之下而形成隱沒區，並產生極大之擠壓應力，因而造成斷層活動及地震。海底地震常見發生於隱沒區及海底火山，並可造成邊坡破壞之發生。對於地震作用下之海底邊坡穩定分析，可採用擬靜態方式，將地震力考慮為水平向及垂直向各產生一加速度增量作用於土體上，如圖10-5所示。Morgenstern(1967)根據此一方法所做分析，僅只考慮水平向之加速度作用時，即使小規模地震亦足以導致海底邊坡之破壞。實際上地震為動態作用力，故較嚴謹之分析應考慮地震波在土壤及海水內之傳遞，以及土壤之動態性質，屬於互制作用之領域。

(二) 海洋波浪作用力

受到位於海洋面上空的氣團作用，在洋面上常有波浪產生，常氣團較為強烈時(例如颱風)，所產生之波浪可能極大。此外，在地震發生時，震波之傳遞亦可能在洋面上引發巨大波浪，如海嘯即是。這一類之大波浪作用之考慮，可將波浪之波形以正弦波表示，其作用於海底之土層相當於一相當於一相同波形之壓力波作用於土層表面，而壓力之大小為海水單位重乘以平均海平面上之水位高，如圖10-6所示。波浪之波形特性(包括波長與波高)與平均海水深度有極大的關係，深水區域受波浪作用力之影響較不顯著，淺水區域最顯著，而中深度區域其次。對於淺水區及中深度區域之波浪，常可用較簡單之線性波理論(小振幅波)表示之。Henkel(1970)根據此一案例，以上述方法考慮波浪為海底邊坡上之上加荷重，並並以圓弧形破壞面進行靜態之邊坡穩定分析，如圖10-7所示，結果發現僅以此一簡單方法分析，即可證明該例中之波浪作用力足以使邊坡產生破壞。事實上，波浪之作用力為動態作用力，而當其作用於土壤時可使土壤產生位移，此項位移又



m : 土體質量
 g : 重力加速度
 a_x : 水平向加速度
 a_y : 垂直向加速度

圖10-5 地震作用下之邊坡擬靜態分析法
(摘自林美聆，民國80年)

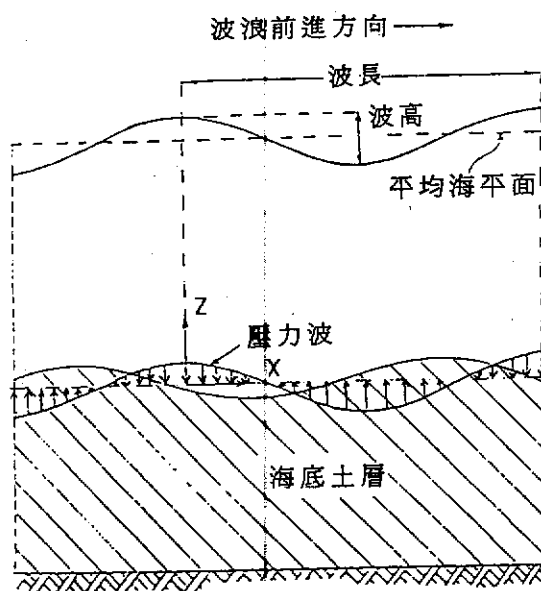


圖10-6 波浪作用力於邊坡分析之考慮
(摘自林美聆·民國80年)

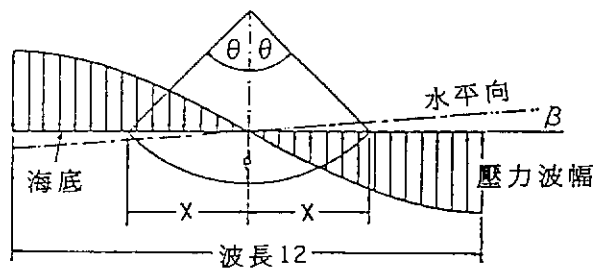


圖10-7 波浪作用力下之靜態邊坡穩定分析(Henkel, 1970)
(摘自林美聆，民國80年)

影響水波之特性，故其作用為土壤與波浪之互制情形，與地震作用力類似，較嚴謹之分析應採用動態分析。但波浪作用力與地震作用力不同，其週期約10秒至20秒，較地震長得多，故土層之動態反應與地震時不同。

(三)、土壤快速堆積

在河流出海口處，由於水流速度減緩，使河流沖刷之土壤堆積於出海口處而形成三角洲。由於土壤之快速堆積，常造成三角洲前緣之邊坡坡角變陡，而快速堆積所造成之土層荷重增加，及堆積土壤來不及壓密而非常軟弱。在穩定分析上，可採用一般之靜態邊坡穩定分析法。如邊坡破壞面所在之深度遠小於破壞面之長度時，可採用無限邊坡分析法加以簡化，所得結果與實際狀況仍頗為相符。

(四)、潮汐作用

由於海洋潮汐的作用，造成近岸淺水區域於高潮位時和低潮位時有一水頭差。海底邊坡之土層，在高潮時因坡外之高水位而使土層內之孔隙水壓值升高，而在退潮時，坡外水位迅速降低，但土層內之孔隙水壓排除速度較慢，因而產生一超額孔隙水壓，並在邊坡內引起滲流，其情況類似於水庫洩降之過程，相同問題亦出現在陸上之河岸邊坡。當漲潮與退潮間之水位差距大時，在邊坡內所引起之滲流作用力極大，可能導致邊坡之破壞。對於此一作用力之考慮，可採用洩降時之邊坡穩定分析法，以孔隙水壓或滲流力計算滲流作用，此時滲流之方向係由坡內向坡外之低潮位流去。

四、海床邊坡穩定分析法

一般海床邊坡之規模均相當大，當破壞發生時，其破壞面之深度，常遠小於破壞面之長度，而適用於無限邊坡分析法之假設。故在進行邊坡之靜態分析時，初步可採用無限邊坡分析法，如圖10-8所示，此時邊坡位於海面以下，故應使用土壤之浸水單位重 γ 進行計算；安全係數(F/S)可表成

$$F.S. = \frac{C}{\gamma' z} 2 \csc 2\beta + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (10-1)$$

其中C、 ϕ 為土壤剪力強度參數， β 為邊坡坡角，z為剪動面垂直深度。

以式(10-1)計算安全係數時，如海底土層為軟弱之黏土，則可採用總應力分析，令土壤剪力強度參數 $\phi = 0$ ， C 等於土壤之不排水剪力強度即可。

對於海底邊坡之動態分析，應以土層及海水間之互制情形加以考慮，且對於地震及波浪之動態作用力，應依其頻率(或周期)之不同，分別進行分析。

第三節 回填砂土層技術改良

一、潛在液化砂層之穩定

深水港港址回填砂土，由於深水中靜水壓力的上揚力不同，因此所回填砂土層的相對密度必介於或小於30%左右，該疏鬆水中砂土層存有液化破壞可能。

穩定有液化潛力之砂層的一個可能有效方法是使用礫石或岩石排水溝，如圖10-9所示。設置礫石或岩石排水溝的目的在於盡快消除超孔水壓力。消除超水壓力的速度須與循環載重產生超孔水壓力之速度一樣快。礫石或岩石排水溝設計原理已由Seed與Booker(1977)提出：

(一) 孔水壓力的產生及消除方程式

假設Darcy定律有效，砂層之連體方程式為

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_h}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_h}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k_v}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial \epsilon}{\partial t} \quad (10-2)$$

式中 k_h 為砂在水平方向之滲透性係數， k_v 為砂在垂直方向之滲透性係數， u 為超孔水壓力， γ_w 為水單位重， ϵ 為體積應變。

當時隔為 dt 時，土壤元體之超孔水壓力變化為 du 。但若一循環剪應力作用於土壤元體時，則孔隙口壓力將增加。在時間 dt 內，有 dN 個剪應力循環次數；其對應增加之超孔水壓力 $(\partial u_g / \partial N) dN$ (其中 u_g 為循環剪應力所產生之超孔水壓力)。因此時隔 dt 內之超孔水壓力淨變化量 $[du - (\partial u_g / \partial N) dN]$ 。且

$$\partial \epsilon = m_{v3} [\partial u - (\partial u_g / \partial N) dN]$$

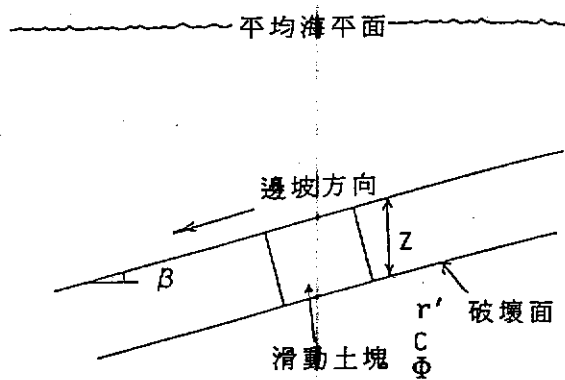


圖10-8 浸水之無限邊坡穩定分析法
(摘自林美聆，民國80年)

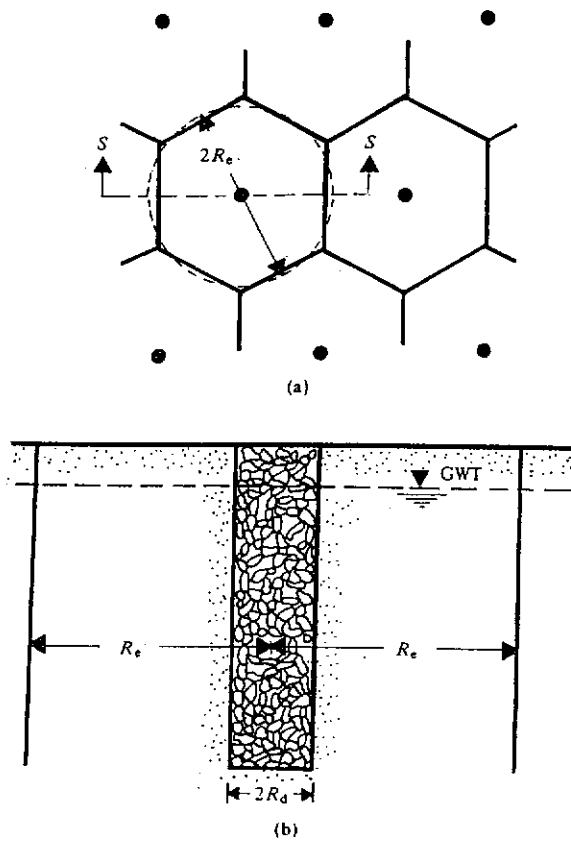


圖10-9 礫石排水溝：(a) 平面圖，(b) S-S剖面圖。排水溝半徑 R_d ；有效排水半徑 R_e (摘自Fundamentals of Soil Dynamics, B. M. Das, 1983)

或

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = m_{v_3} \left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_g}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial t} \right) \quad (10-3)$$

式中 m_{v_3} 為體積壓縮係數。

合併式(10-2)與(10-3)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_h}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_h}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k_v}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = m_{v_3} \left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_g}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial t} \right) \quad (10-4)$$

若 m_{v_3} 為常數，且輻射對稱存在，則式(10-4)可以圓柱座標寫成

$$\frac{k_h}{\gamma_w m_{v_3}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{k_v}{\gamma_w m_{v_3}} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_g}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial t} \quad (10-5)$$

由純粹輻射流之情況，式(10-5)形式如下：

$$\frac{k_h}{\gamma_w m_{v_3}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_g}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial t} \quad (10-6)$$

欲解式(10-6)，必須先計算 k_h ， m_{v_3} ， $\partial N / \partial t$ 及 $\partial u_g / \partial N$ 諸項。 k_h 值可以很容易的由現地抽水試驗求得。體積壓縮係數可由循環性三軸試驗決定 (Lee 與 Albaisia, 1974)。 $\partial N / \partial t$ 則可表為

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{N_s}{t_d} \quad (10-7)$$

式中 N_s 為由於持續載重時間為 t_d 的地震所引起的均勻應力主要循環數。

(二) 礫石或岩石排水溝之分析

對於輻射流向的情形，式(10-7)之關係已由Seed與Brooker(1977)提出解答，並表示 u/σ_v 之比值為下列參數之函數：

$$\frac{R_d}{R_e} = \text{岩石或礫石排水溝之半徑/岩石或礫石排水溝之有效半徑} \quad (10-8)$$

N_s/N_1 ，與

$$T_{ad} = \frac{k_b}{\gamma_w} \left(\frac{t_d}{m_{v3} R_d^2} \right) \quad (10-9)$$

利用以上之參數，式(10-6)之解以圖10-10之無因次形式表示，可供設計岩石及礫石排水溝之用。圖10-10中， r_g 定義為

$$r_g = \text{設計所選用 } u_g \text{ 之最大極限值} / \sigma_v \quad (10-10)$$

為了求得圖10-10所示之解，須假設用於礫石或岩石排水溝材料之滲透係數為無限大。但實際情形當 $k_{b(\text{rock or gravel})} / k_{(\text{sand})} \approx 200$ 時即已足夠。

二、垂直砂樁排水工法之探討

(一) 垂直排水砂樁設計之理論

有關黏性土層壓密之Terzaghi理論係發表於1924年，其中壓密所需時間與最大排水距離之平方成正比。為促進黏性土層之壓密，D.E.Moran根據此一理論，研究出在黏性土層中打入砂樁以縮短排水距離之方法，而於1926年取得砂樁排水法(Sand Drain Method)之專利。

垂直排水法係以縮短壓密沈陷之時間為目的，如圖10-11所示於軟弱土層中打設砂樁或排水帶等材料，形成人工排水路徑之工法。設計垂直排水法之理論基礎，目前均以Barron理論(1948)為中心。Barron理論有實際設計與沈陷觀測為依據，已為全世界廣泛地採用，但這並不證明此一理論絕對沒有疑問之處。

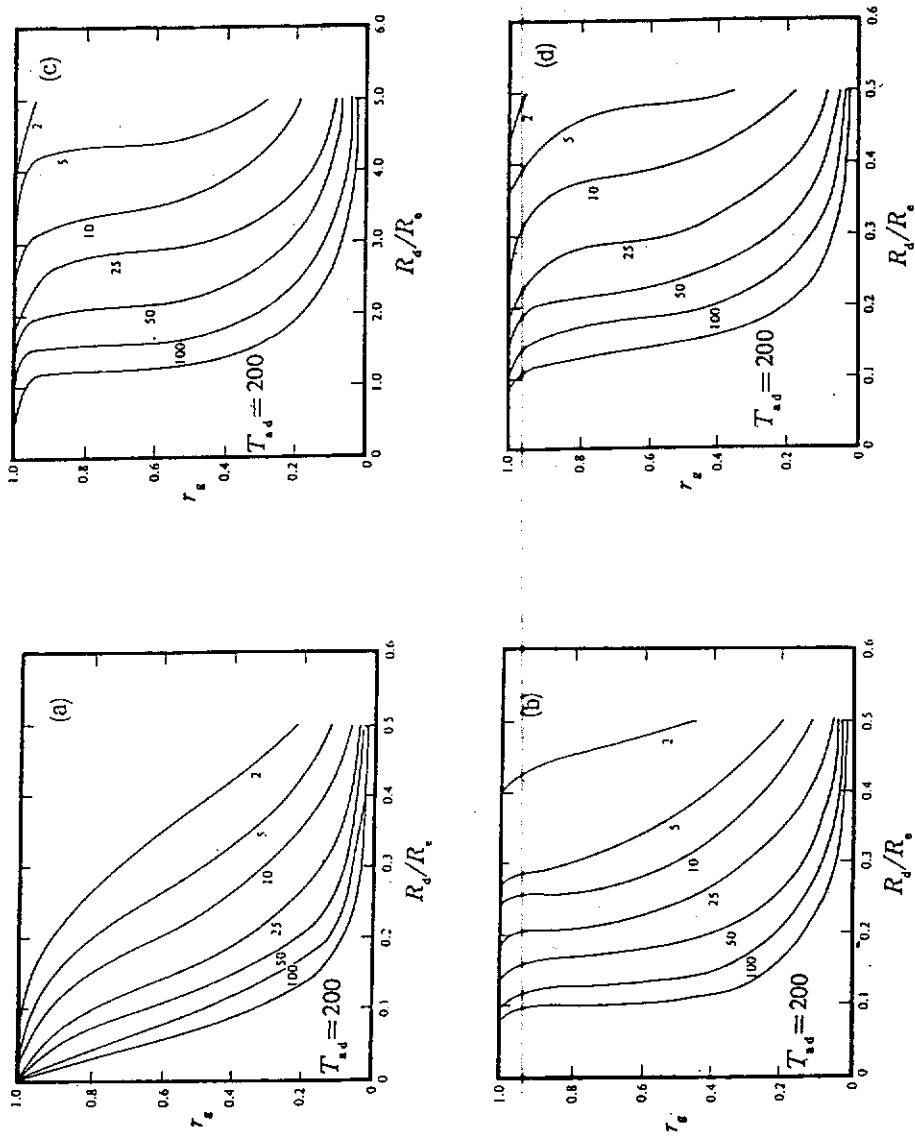


圖10-10 最大孔水壓力與排水系統參數間之關係： $N_s/N_1 = (a) 1 \cdot (b) 2 \cdot (c) 3 \cdot$

(d) 4 · 參閱[Seed, H. B., and Booker, J. R. (1977)]

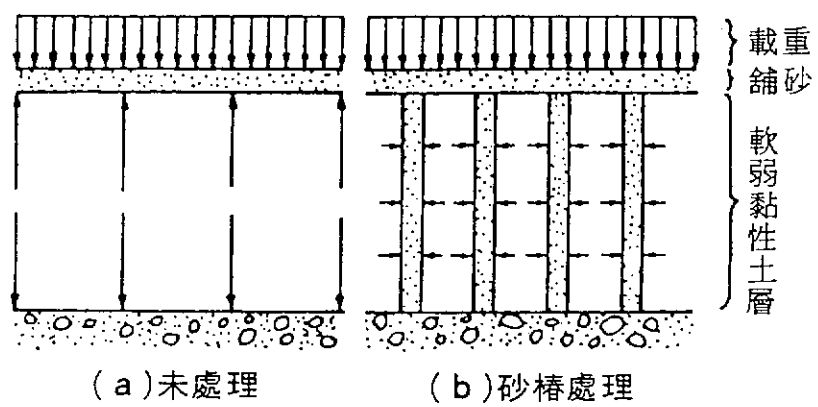


圖10-11 砂樁排水法之原理(摘自張惠文，民國73年)

正如所知，Barron以變形條件將此問題區分為二種情況。其一為黏土層表面載以剛性荷重，沈陷時此表面保持為一平面，此即稱為等應變情況。在此情況下，變形經常保持一樣，但荷重的分佈卻隨時間逐漸變。另一種情況為加一撓性之均佈荷重於黏土層表面，沈陷時表面因不受拘束，故可以自由地變形，此即稱為自由應變情況。Barron針對上述兩種變形條件，發表下列二式：

(1) 等應變情況：

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = C_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (10-11)$$

(2) 自由應變情況：

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (10-12)$$

上二式中 u 代表土體中距圓心距離處在時間之孔隙水壓， C_h 則為土體之壓密係數，與其透水性質有關，式(10-11)中左邊之 \bar{u} 為向圓心集中之放射流壓密情況下，圓柱狀黏土層水平截面內之平均孔隙水壓，因此對距離 r 為一常數。而式右邊則表體積應變，對位置而言亦須為常數，即壓密過程中任意時間之體積應變於半徑方向均作同樣之分佈。Barron誘導式(10-11)時，假設「應變僅發生於鉛直方向」及「等鉛直應變」，因此得到以上之結果為當然之歸結。但放射流壓密中，位於圓心附近之排水面與外圍不透水邊界面之應變不可能經常相等，因此，式(10-11)有其根本上的疑問。

至於自由應變的情況，式(10-12)之熱傳導公式是否成立尚值得懷疑，而且並無根據。吉國(1972)考慮變形條件對此問題重新檢討，證實了在自由應變情況下式(10-12)並不成立，卻成立於等應變情況。此外，自由應變情況下，黏土層表面變形隨著深度其影響逐漸減小，終變為等應變情況。如考慮黏土層表面為排水面，且黏土層厚度 H 比有效圓直徑 D_e 大出甚多時，變形幾乎與等應變情況相同。根據現場的沈陷觀測經驗，由於填土等土石結構物之剛性作用，排水砂樁正上方

之沈陷量與砂樁間之沈陷量幾乎沒有差異，可認定壓密係依等應變條件進行，因此用式(10-12)分析足可滿足要求。

(二) 工法之問題注意點

砂樁排水工法歷經數十年歲月，但仍存有失敗或無效的案例。垂直砂樁排水法係以縮短壓密沈陷之時間為目的，且部份的大地工程師皆依賴砂樁排水的有效性使用於軟弱地盤作為地盤改良技術之處理方法。由張惠文(民國73年)的論文中提及。

1970年5月，美國波士頓土木學會為解決垂直排水法有效與無效之爭論，於哈佛大學舉辦了一次公開討論會。參加討論的主要有學術界的Casagrande與麻省理工學院的Ladd，工程界WES的Johnson與紐約港灣局的Kapp。討論結果得到幾項一致之意見，但存有部份歧見。

意見一致部分有以下若干點：

(1) 比較處理與未處理地盤之試驗填土，有助於判斷砂樁排水法或其施工法之有效性。

(2) 為決定是否有必要打設砂樁，須做徹底的土壤調查。

(3) 砂樁排水法僅對主要壓密有效，對次要壓密則無效。為處理此一問題，應與加載工法併用。

(4) 砂樁排水法對泥炭等有機質土無效，其理由是此類土壤即使不打砂樁，其沈陷速度亦快，且次要壓密量大。

(5) 砂樁排水法的使用須有謹慎的穩定分析，及完整的現場計測與施工管理。

(三) 砂樁排水法有效性之研討

由張惠文(民國73年)論文中提及：

日本土質工學會於1972年舉辦砂樁排水法有效性之座談會後，事隔十年，再次以講座方式，於該會會刊上發表各方論點。網干(1983)根據以上資料，整理出以下數點結論：

(1) 砂樁排水法係由Terzaghi-Barron的理論發展而出的工法，因此對理想的Terzaghi黏土非常適合，但實際的黏土如愈趨向非Terzaghi型，則此工法愈不適用。因此，遇到次要壓密大之黏土時，其殘餘沈陷與殘留孔隙水壓均可能較想像為大，須加以留意。

(2) 有關擠壓式排水砂樁之改良效果，須考慮擾動帶之影響。嚴格說來，此時應測定黏土層的水平方向滲透係數 k_h 或水平方向壓密係數 C_h 、擾動後之 k_h 或 C_h ，再以考慮擾動因素之公式計算砂樁之間隔。由以往之實測值得，普通均質海底黏土之水平壓密係數 $C_h = (4 \sim 6)C_v$ ，而擠壓式砂樁之實效 C_h 隨砂樁距離而異，約等於或略小於 C_v 。此外，如再考慮排水砂樁或排水砂層之水頭損失，則可能作更精密的分析。

(3) 以鑽孔式或噴射式之方法形成砂樁，可減少上述之擾動程度，並可得較快之沈陷速度(Landan, 1966)。但此類工法之費用與施工速度較成問題，因此與擠壓式施工法比較時，須加上時效果以作綜合評價。

(4) 處理泥炭等有機質土次要壓密的最有效方法為加載工法，以往使用砂樁排水法的工程，通常在壓密度達90%左右即算完成而移交使用者。但殘留之10%與此後之次要壓密所引起之殘餘沈陷已逐漸不能為使用者接受。

(5) 目前有效無效之論戰中未提及的問題，尚有單向度壓密試驗的試料中央之孔隙水壓，即使壓密沈陷達100%，仍有相當大之孔隙水壓殘留其內。此殘留量與排水層之距離有關，未改良之情況可能較已改良情況更長期地保留相當大的殘留孔隙水壓。以往的長期現場觀測記錄有很多這方面的資料。討論砂樁排水法的效用時，也應注意此一觀點。

(6) 對於像過壓密黏土般之硬質黏土或浚渫污泥等，砂樁排水法是否有效？如為 C_v 大之土層Rowe之極限值($C_v=0.18 \text{ cm}^2/\text{min}$ 以上，沒有必要打設砂樁)是否適用？以及對層狀土層之適用極限等之研究均還不十分充分。另外，含有不規則砂層之土層是有應採用砂樁排水法等判斷準則之建立，應屬今後重要的課題。

(四) 砂樁排水法改良處理之探討

砂樁排水法的理論基礎為壓密理論，利用此一工法時技術上的問題在於做出符合理論的砂樁，任何一部分有了缺陷，此工法即不完善。然而，河成之沖積地盤常因地形與氣候條件，形成含有薄砂層之複雜層結構。此條件下之自然地盤的

壓密沈陷本來就不易處理，更何況砂樁排水法仍存有壓密理論與實際現象不一致之弱點，而使其理論背景多了幾項問題，導致砂樁無效論之出現。為了砂樁排水法未來之健全發展，於瞭解砂樁無效之根本因素後，提高壓密理論在實際問題的適用性，本質上為一重要的工作。至於打設砂樁之技術問題，今後仍須加緊開發與探討。但無論理論或技術上之任一問題，短期內均不易解決。

然而，對促進壓密沈陷、減輕或消除完工後之殘餘沈陷、或快速增加地盤承载力等要求，已隨著社會的趨勢逐年增加。況且任何一種地盤改良工法並非萬能，可適用任何地盤。因此經土壤調查後，如認為現行砂樁排水法不可信賴，則應另尋其他工法代替，如深層攪拌工法、生石灰樁法等，靈活運用，達成地盤改良之目的。

第四節 回填地盤表土層土壤改良

一、前言

預定深水港港址由於回填土層形成陸地，其深層處已於前節中敘述利用垂直砂樁排水工法，使得新近回填土層不論利用砂土或卵石回填，由於新近穩定土層仍不足承受重型結構物，例如港區內貨櫃存放場、重型吊車、起重機械軌道系統、重型倉庫和重型載貨車停車場等。該表面層由於承受荷重而引起沈陷，尤其是不均勻沈陷量，因此需要特別的土壤改良方法加以處理所可能產生沈陷問題。

二、夯實處理

如果土壤添加水量後，土壤將由夯壓設備加以能量施加，則夯實成所需求的夯實的乾單位重，使得土壤顆粒重組成為更緊密狀。

由於回填土層為砂土或卵石層，現場夯實應採用震動式壓路機，對粒狀土壤最為有效。

三、土壤添加料穩定處理

添加料被用來穩定現場土壤-特別是細粒土壤。這些添加料中最普遍的是石灰，石灰-飛灰、水泥和瀝青，土壤穩定處理的主要目的是(a) 變更土壤、(b) 加速施工和(c) 改良土壤之強度及耐久性。石灰、水泥和石灰-飛灰穩定處理之一般原理將在下列各節中討論(瀝青穩定處理已不再經常使用)。

(一) 石灰穩定處理

普通用於穩定處理細粒土壤之石灰是高鈣熟石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ，方解質生石灰 $[\text{CaO}]$ ，水化合鎂質石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}]$ ，和鎂質生石灰。用於穩定處理大多數土壤之石灰量通常在5-10%範圍內變化。當石灰加至黏質土壤，產生幾個化學反應。這些反應是陽離子交換和膠凝-凝集；且它們亦為凝結作用在陽離子交換和膠凝-凝集反應中，通常和黏土有關連的單價陽離子被二價鈣離子所取代。這些陽離子，依據它們交換親和力，可以安排為系列如下：



基於此系列，任何已知陽離子可取代其右側之離子。例如，鈣離子可以由黏土中取代鉀和鈉離子。膠凝和凝集使黏土組織改變。黏土顆粒有團聚以形成較大尺寸顆粒之趨勢。這些反應有助於(a) 降低液性限度、(b) 增加塑性限度、(c) 減少塑性指數、(d) 增加縮性限度、(e) 增加工作性和(f) 改良土壤之強度和變形性質。

因為在軟弱黏質土壤中加入熟石灰會造成塑性限度之立即增加，因此將土壤由可塑體改變為固體且使它看起來“乾燥”，可將限量石灰灑在泥濘和不易處理的建造基地。改良施工基地的交通能力且可以節省時間和金錢。生石灰也成功地應用於直徑100 mm到150 mm之鑽孔以穩定地基和邊坡。對此種型式之工程，將洞鑽成方格型式然後填充生石灰。

(二) 水泥穩定處理

水泥逐漸被用作土壤之穩定材料，特別用於公路和土壩之建造。美國首次控制下之水泥穩定土建築於1935年在接近Johnsonville，南卡羅萊納州實施。水泥可用來穩定砂質和黏質土壤。如石灰之情況，水泥具有降低黏性土壤之液性限度且增加塑性指數和工作性之影響。對於黏性土壤，當細粒部分(通過No.200篩)小於大約40%，液性限度小於45-50，且塑性指數小於大約25時水泥穩定處有效。

像石灰一樣，水泥有助於增加土壤強度；且強度隨養治時間增加。

粒狀土壤和具有低塑性之黏性土壤更適合水泥穩定處理，經驗顯示含鈣黏土更容易用加入水泥來穩定，然而含鈉和含氫黏土，性質為膨脹性，對石灰穩定處理反應較佳。因此，在選擇穩定材料時應相當注意。

(三) 飛灰穩定處理

飛灰通常是發電廠有關煤粉燃燒過程之副產品。飛灰是細粒灰塵且主要含有矽、礬土和各種氧化物及鹽，它本質為火山灰且能和熟石灰反應產生膠結產物。因此，石灰-飛灰混合物可用來穩定公路基層及底層。

有效之混合物可用10-35%之飛灰和2-10%之石灰來製作。土壤-石灰-飛灰混合物在適當含水量控制情況下夯實以獲得穩定土層。某種主要由美國西部燃燒煤而獲得之飛灰，它稱為“C型”飛灰它包含相當大比例(高達約25%)之游離石灰，加入水後，將和其他飛灰混合物反應以形成膠結產物。這可消除工業石灰之必要。

(四) 土工織物

土工織物是用於土壤加勁之透水組構屬名。土工織物在基礎工程上作類似之應用。組構通常為石油產物-亦即，多元酯、聚乙烯和聚丙烯，它們太易腐壞。土工織物可為編織、非編織和針織。

迄今，土工織物主要用於公路和路堤之建造。在建造公路時將組構在軟弱基層像地毯般展開。覆土直接置於其上然後夯實。

土工織物之應用在基礎工程上是相當新的方法，到目前為止在此方面僅有相當少量的研究。但是，它將快速地受到歡迎。在基礎工程上有四種主要土工織物之應用：

- 1.排水：組構能快速將水由土壤導至各種出口因此提供更高之土壤抗剪強度以至於穩定度。

- 2.過濾：當放置於兩土層之間，一為粗粒且另一為細料，組構容許水由一層至另一層自由滲流。但是，它可保護細粒土壤不被沖入粗粒土壤中。

- 3.分隔：土工織物在建造後及結構計劃使用期間有助於保持各種土層分離。例如，在建造公路時，黏質基層可和粒狀底層保持分離。

- 4.加勁：土工組構之抗張強度增加土壤支承力。

第五節 深水港港址軟弱地盤技術改良建議

茲將本章高雄深水港港址軟弱地盤之處理技術及工法選擇，前四節中已詳加分析，茲將技術改良建議分述如下：

(一) 本研究計劃所進行預定港址區域內，僅有六個鑽孔其最深鑽孔深度離地表面下30公尺左右。由所搜集預定第三港口港址鑽孔資料，該資料僅提供鑽孔記錄及粒徑分佈曲線，難以確實瞭解沿海岸土層分佈狀況，而其鑽孔最深深度約離海平面下50公尺左右。深水港港址進行細部規劃時，必須施行周全土壤鑽探規劃，鑽孔深度達及海平面下150公尺左右，至少需求30至50鑽孔，其中至少需有五個鑽孔，其鑽孔深度達離海平面下200公尺左右。

(二) 港址回填材料依採用高屏溪卵石砂料為主要借土區，運送工具以船艘為主，避免重型砂石車運送。如此，可避免鄰近道路破壞及居民抗議，土石量以自動電測系統，如日本關西機場人工島回填方法處理。

(三) 回填方式採用內陸向外海漸漸小區域方式，可採用外圍向內方式進行，該小區域以50公尺或100公尺的寬度長度達及深水高度20公尺處，可採用100公尺見方小區域回填，回填海底邊坡若以卵石砂料而推估，可維持邊坡坡度30度左右，也可節省中間間隔海堤費用。但此回填方式必須由延續本計劃再予以仔細分析。

(四) 港址停靠船舶護岸可採用沈箱式基礎或使用大口徑鋼管基樁，其樁徑約1.8公尺左右，深基礎的選擇，必須依據細部規劃時，仔細分析和比較。

(五) 港區重型構造物的基礎承載層可採用地工織物網鋪設，約每50公分鋪設地工織物網，約四或六層即可，經每層鋪設後再以震動方式滾壓粒料，再鋪上一層地工織物網，則可增加該承載層的承載壓力頗大。其詳細規劃及估算必須由延續計劃再予以仔細分析。

(六) 港區貨櫃停放場及各通道道路部份，其地表土層材料可添加硬化劑或飛灰的混合料加以穩定處理，可期使表土層回填後單軸抗壓強度增加，而該混合料於28天養治後的強度可達 10 kg/cm^2 以上，而其滲透係數則小於 10^{-7} cm/sec 以上。此由延續計劃中再予以仔細分析。

(七) 針對第二項回填材料也可採用中鋼所生產廢料，如爐石、爐渣、飛灰或採用堆置旗津區內電石渣廢料，可經添加硬化劑後，其抗壓強度增大，並將廢料中不安定金屬分子經固化安定後，穩定而不予以釋放，如此可避免污染水質。此可於延續計劃中再仔細研究。

(八) 地盤技術改良工法由第八章日本軟弱地盤工法並加以評估，列於表8-3中。可為細部規劃中具體加以比較。

參考資料

1. 中鼎工程顧問公司，高雄都會區大眾捷運系統紅線主要路段地質調查工作服務建議書，民國七十九年七月。
2. 亞新工程顧問公司，高雄都會區大眾捷運系統紅線主要路段地質調查分析服務建議書，民國七十九年七月。
3. 交通部運輸研究所，闢建深水港工程技術研究，抽砂回填工法之研究，期末報告書，財團法人中華民國港埠服務社，民國八十一年十二月。
4. 林美聆，海底邊坡穩定問題之探討，地工技術雜誌，第34期第67-77頁，民國80年6月。
5. 金永斌，基礎工程學，三民書局，民國75年7月。
6. 高雄港務局，高雄港務局開闢第三港口之研究總報告，民國七十一年七月。
7. 高雄港務局，高雄港簡介，民國八十一年。
8. 張惠文，垂直砂樁排水法之有效性與改良效果，地工技術雜誌，第8期第44-50頁，民國73年10月。
9. 國立成功大學臺南水工試驗所，高雄海域海象調查研究期末報告，民國八十二年一月。
10. Barron, R. A., (1948), "Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells," ASCE, Vol.113, 718.
11. Bowles, J. E., (1988), "Foundation Analysis and Design", McGraw-Hill Company, New York.
12. B. M. Das, (1982), "Fundamentals of Soil Dynamics", Thomson Information Publishing Group, Boston.
13. B. M. Das, (1990), "Principles of Foundation Engineering", 2nd Edition, Thomson Information Publishing Group, Boston.
14. Hee, A. M., Ng, H. C., Phan, Hin, (1992), "Design and Construction of Multi-Purpose Berth at Pulau Damar Laut Singapore", The 1992 ECD Seminar on Engineering for Coastal Development.

15. Lee, K. L. and Albasia, A. (1974), "Earthquake Induced Settlements in Saturated Sands," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE 100 (GT4), 387-406.
16. Lee, K. L., and Seed, H. B. (1967), "Cyclic Stress Conditions Causing Liquefaction of Sand," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE 93 (SM1), 47-70.
17. Lee, S. L., Karunaratne, G. P., Yong, K. Y., Tan, S. A., Vijiaratnam, (1992), "Soft Clay Properties in a Layered Clay-Sand Reclamation".
18. Prakash, S. (1981), "Soil Dynamics", McGraw-Hill Company, New York.
19. Prakash, S. and Mathur, J. N. (1965), "Liquefaction of Fine Sand Under Dynamic Loads," *Proceedings, 5th Symposium of the Civil and Hydraulic Engineering Departments, Indian Institute of Science, Bangalore, India.*
20. Seed, H. B. (1979), "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE 105 (GT2), 201-255.
21. Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE 97 (SM9), 1249-1273.
22. Seed, H. B., and Lee, K. L. (1966), "Liquefaction of Saturated Sands During Cyclic Loading," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE 92, (SM6), 105-134.
23. Seed, H. B., and Peacock, W. H. (1971), "The Procedure for Measuring Soil Liquefaction Characteristics," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE 97 (SM8), 1099-1119.

附錄一

現場鑽孔(BH.1至BH.6) 鑽探記錄表和鑽探及試驗表

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-1

鑽探時間：81.11.07

地點：高雄市小港區海倉里外海一路旁 地面標高：

地下水位：- 1.51 M

試驗時間：81.11.17 - 81.11.23

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)			分 類	自然 含水量 w (%)	液 性 限 L _w %	塑 性 限 P _w %	塑性 指數 Pi %	質地 密度 t/m ³	比重 G	孔隙 比 e	估計 容 承 載 力 t/m ²
					卵石	砂	泥 黏 土									
-1		T-1 S-1	12	棕灰色細砂含中砂 砂夾貝屑	0	91.6	8.4	SP-SM	23.1	--	--	NP	1.96	2.76	0.73	14.4
-2		T-2 S-2	12		0	71.9	28.1	SM	21.1	--	--	NP	2.07	2.74	0.60	14.4
-3		S-3	13		0	81.3	18.7	SM	21.3	--	--	NP	1.92	2.74	0.73	15.6
-4		T-3 S-4	15		0	83.4	16.6	SM	22.5	--	--	NP	2.12	2.73	0.58	18.0
-5		S-5	15	7.40	0	91.2	8.8	SP-SM	23.0	--	--	NP	2.04	2.75	0.66	18.0
-6		T-4 S-6	7	灰色沉泥質粘土	0	2.8	97.2	CL	30.4	39.2	20.8	18.4	1.97	2.73	0.81	8.4
-7		T-5 S-7	8		0	0.7	99.3	CL	34.4	39.3	21.3	18.0	1.93	2.74	0.91	9.6
-8		T-6 S-8	16	11.30	0	70.3	29.7	SM	20.1	--	--	NP	2.12	2.76	0.56	19.2
-9		T-7 S-9	17	灰色細砂含中砂夾 貝屑	0	82.2	17.8	SM	25.6	--	--	NP	2.05	2.77	0.71	20.4
-10		T-8 S-10	21		0	87.8	12.2	SM	24.3	--	--	NP	2.07	2.78	0.67	25.2
-11																

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-1

鑽探時間：81.11.07

地點：高雄市小港區海倉里外海一路旁 地面標高：

地下水位：-1.51 M

試驗時間：81.11.17 - 81.11.23

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析(%)			分類	自然含水量 w (%)	液性指數 L _w %	塑性指數 P _w %	塑性指數 Pi %	當地 密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 承载力 t/m ²
					卵石	砂	沉泥 粘土									
-16		S-11	22	灰色細砂含中砂夾 貝屑	0	73.6	26.4	SM	24.4	--	--	NP	2.03	2.75	0.67	26.4
-17		S-12	24	17.80	0	83.1	16.9	SM	24.3	--	--	NP	2.13	2.72	0.59	28.8
-18		S-13	25	灰色細砂夾貝屑	0	87.9	12.1	SM	30.2	--	--	NP	1.96	2.73	0.81	30.0
-19		T-9	26		0	73.1	26.7	SM	24.7	--	--	NP	2.19	2.73	0.55	> 30
-20		S-14	27		0	82.7	17.3	SM	25.5	--	--	NP	2.02	2.74	0.70	> 30
-21		S-15	24	23.90	0	78.8	21.2	SM	28.1	--	--	NP	1.94	2.76	0.82	28.8
-22		S-16	28	灰色沉泥質粘土 24.70	0	84.5	15.5	SM	27.4	--	--	NP	1.98	2.75	0.77	> 30
-23		T-10	30	灰色細砂夾貝屑 27.00	0	83.3	16.7	SM	26.2	--	--	NP	1.95	2.72	0.76	> 30
-24		S-17	26	灰色沉泥質細砂	0	60.6	39.4	SM	22.1	--	--	NP	2.05	2.76	0.64	> 30
-25		S-18	29		0	61.3	38.7	SM	27.9	--	--	NP	2.05	2.77	0.73	> 30
-26		S-19	29		0	61.3	38.7	SM	27.9	--	--	NP	2.05	2.77	0.73	> 30
-27		S-20	29		0	61.3	38.7	SM	27.9	--	--	NP	2.05	2.77	0.73	> 30
-28		T-11	26		0	60.6	39.4	SM	22.1	--	--	NP	2.05	2.76	0.64	> 30
-29		S-19	26		0	60.6	39.4	SM	22.1	--	--	NP	2.05	2.76	0.64	> 30
-30		S-20	29		0	61.3	38.7	SM	27.9	--	--	NP	2.05	2.77	0.73	> 30

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔 號：B-1

鑽探時間：81.11.07

地點：高雄市小港區海倉里外海一路旁 地面標高：

地下水位：- 1.51 M

試驗時間：81.11.17 - 81.11.23

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)			分類	自然含水量 w (%)	液限 L _w %	塑性指數 PI %	當地密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計容承载力 t/m ²
					卵石	砂	淤泥黏土								
31				灰色沉泥質細砂	0	52.2	47.8	SM	25.7	--	NP	2.09	2.72	0.64	> 30
32		S-21	30		0	51.3	48.7	SM	28.1	--	NP	1.94	2.74	0.82	> 30
33		S-22	27		0	58.6	41.4	SM	27.9	--	NP	1.82	2.73	0.92	> 30
34		T-12	27		0	69.4	30.6	SM	28.8	--	NP	1.88	2.75	0.88	> 30
35		S-23	27		0	70.1	29.9	SM	29.4	--	NP	1.91	2.74	0.86	> 30
36		S-24	31		0	54.0	46.0	SM	28.8	--	NP	1.91	2.75	0.85	> 30
37		S-25	31		0	51.9	48.1	SM	26.9	--	NP	1.96	2.77	0.79	> 30
38		T-13	32		0	58.3	41.7	SM	28.1	--	NP	1.90	2.75	0.85	> 30
39		S-26	32		0	57.6	42.4	SM	28.0	--	NP	1.90	2.76	0.86	> 30
40		S-27	33		0	51.4	48.6	SM	26.3	--	NP	1.94	2.73	0.78	> 30
41		S-28	32												
42		T-14	34												
43		S-29	34												
44		S-30	34												
45															

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-1

鑽探時間：81.11.07

地點：高雄市小港區海倉里外海一路旁 地面標高：

地下水位：-1.51 M

試驗時間：81.11.17 - 81.11.23

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析(%)			分類	自然含水量 w(%)	液限 L _w %	塑性指數 P _w %	塑性指數 P _i %	當地 密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 容許 承载力 t/m ²
					卵石	砂	泥黏土									
46																
47		S-31	35	灰色沉泥質細砂	0	62.3	37.7	SM	28.4	--	--	NP	1.94	2.72	0.80	> 30
48		T-15 S-32	35		0	55.8	44.2	SM	27.4	--	--	NP	1.96	2.73	0.77	> 30
49																
50		S-33	37	50.00	0	68.0	32.0	SM	27.1	--	--	NP	1.90	2.75	0.84	> 30
51				鑽探終止												
52																
53																
54																
55																
56																
57																
58																
59																
60																

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-2

鑽探時間：81.11.14

地點：高雄市小港區鳳興里鳳興路旁 地面標高：地下水位：- 1.76 M

試驗時間：81.11.17 - 81.11.23

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	雙數 N	地質說明	顆粒分析 (%)		分類	自然含水量 w (%)	液限 L _w %	塑性指數 P _w %	塑性指數 P _i %	當地密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計容許承载力 t/m ²
					砂	沉泥黏土									
1		S-1	72	灰色細砂 0.50	64.7	0.8	GP	4.3	--	--	NP	1.96	2.76	0.47	> 30
2		S-2	67	卵礫石層夾中粗砂 含少量貝屑	58.9	0.9	GP	4.3	--	--	NP	2.09	2.77	0.38	> 30
3		S-3	57	4.60	77.9	1.1	GP	5.9	--	--	NP	1.89	2.75	0.54	> 30
4		S-4	18	灰色細砂夾中砂含 貝屑	0	7.1	SP-SM	28.8	--	--	NP	1.90	2.75	0.86	21.6
5		S-5	19		0	9.3	SP-SM	31.8	--	--	NP	1.89	2.74	0.91	22.8
6		S-6	22	12.70	0	7.2	SP-SM	32.5	--	--	NP	1.89	2.63	0.84	26.4
7		T-1	24		0	11.6	SP-SM	29.7	--	--	NP	1.79	2.67	0.93	28.8
8		S-7	24	14.20	0	12.7	SM	32.3	--	--	NP	1.90	2.81	0.96	28.8
9		T-2	24		0	12.7	SM	32.3	--	--	NP	1.90	2.81	0.96	28.8
10		S-8	24	14.20	0	12.7	SM	32.3	--	--	NP	1.90	2.81	0.96	28.8
11		T-3	18		0	12.7	SM	32.3	--	--	NP	1.90	2.81	0.96	28.8
12		S-9	18	14.20	0	12.7	SM	32.3	--	--	NP	1.90	2.81	0.96	28.8
13		T-4	20		0	12.7	SM	32.3	--	--	NP	1.90	2.81	0.96	28.8
14		S-10	20	灰色中細砂	0	12.2	SM	30.0	--	--	NP	1.90	2.72	0.86	24.0

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

鑽探時間：81.11.14

孔號：B-2

地點：高雄市小港區鳳興里鳳興路旁

地下水位：-1.76 M

試驗時間：81.11.17 - 81.11.23

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	數 N	地質說明	顆粒分析(%)			分類	自然含水量 w (%)	液限 L _w %	塑限 P _w %	塑性指數 Pi %	容密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 容承力 t/m ²
-16		S-11	25	灰色中細砂	0	85.2	14.8	SM	26.5	--	--	NP	1.85	2.71	0.85	30.0
-17		S-12	28		0	92.4	7.6	SP-SM	31.4	--	--	NP	1.90	2.74	0.89	> 30
-18		T-5														
-19		S-13	27		0	85.2	14.8	SM	29.2	--	--	NP	2.01	2.73	0.75	> 30
-20																
-21		S-14	30		0	87.1	12.9	SM	27.5	--	--	NP	1.94	2.75	0.81	> 30
-22		S-15	27		0	87.3	12.7	SM	27.5	--	--	NP	1.95	2.76	0.80	> 30
-23		T-6														
-24		S-16	32		0	89.7	10.3	SP-SM	11.4	--	--	NP	1.95	2.74	0.57	> 30
-25		S-17	32		0	90.9	9.1	SP-SM	11.9	--	--	NP	1.90	2.75	0.62	> 30
-26																
-27		S-18	34	30.00	0	88.8	11.2	SP-SM	11.2	--	--	NP	1.98	2.73	0.53	> 30
-28		T-7														
-29		S-19	34		0	87.3	12.7	SM	12.8	--	--	NP	1.95	2.74	0.58	> 30
-30		S-20	33		0	88.2	11.8	SP-SM	12.2	--	--	NP	1.96	2.73	0.56	> 30

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-3

鑽探時間：81.11.16

地點：高雄市小港區龍鳳里

地面標高：

地下水位：-2.03 M

試驗時間：81.11.19 - 81.11.25

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析(%)			分類	含水量 w (%)	液限 L _w %	塑性指數 P _i %	天然密度 t/m ³	比重 G	孔隙率 e	估計 容許 承载力 t/m ²
					卵石	砂	泥 粘土								
1		S-1	68	灰色細砂	54.7	43.6	1.7	GP	5.4	--	NP	1.97	2.79	0.49	> 30
2		S-2	62	卵礫石層夾中砂	59.9	38.2	1.9	GP	5.3	--	NP	2.09	2.76	0.39	> 30
3		S-3	23	3.70	0	75.8	24.2	SM	26.3	--	NP	1.86	2.70	0.85	27.6
4		S-4	24	灰色中細砂含貝屑	0	89.9	10.1	SP-SM	24.6	--	NP	1.81	2.77	0.91	28.8
5		S-5	21		0	92.1	7.9	SP-SM	26.9	--	NP	2.04	2.72	0.71	25.2
6		S-6	20		0	92.9	7.1	SP-SM	28.1	--	NP	1.86	2.74	0.89	24.0
7		T-1	21	10.70	0	82.6	17.4	SM	29.9	--	NP	1.93	2.73	0.84	25.2
8		S-7													
9		T-2	19	灰色沉泥質細砂	0	64.9	35.1	SM	22.6	--	NP	2.09	2.75	0.61	22.8
10		S-8													
11		T-3	19	13.65	0	68.3	31.7	SM	24.8	--	NP	2.06	2.76	0.62	22.8
12		S-9													
13		T-4	23	灰色細砂質沉泥	0	45.4	54.6	ML	30.2	--	NP	1.96	2.74	0.80	27.6
14		S-10		15.15											
15		S-10													

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-3

鑽探時間：81.11.16

地點：高雄一小港區龍鳳里

地面標高：

地下水位：- 2.03 M

試驗時間：81.11.19 - 81.11.25

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析(%)			分類	自然含水量 w (%)	液限 Lw %	塑性限 Pv %	塑性指數 Pi %	堆積密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 容許 承载力 t/m ²
					卵石	砂	泥粘土									
-16					0	72.1	27.9	SM	26.9	--	--	NP	2.02	2.73	0.72	> 30
-17		S-11	28		0	72.6	27.4	SM	23.6	--	--	NP	2.02	2.76	0.68	> 30
-18		S-12	27		0	80.9	19.1	SM	32.8	--	--	NP	1.92	2.77	0.92	> 30
-19		T-5	29		0	79.6	20.4	SM	29.0	--	--	NP	1.90	2.75	0.85	> 30
-20		S-13	28		0	81.1	18.9	SM	30.1	--	--	NP	1.97	2.72	0.81	> 30
-21		S-14	31	灰色沉泥質細砂	0	88.0	12.0	SM	28.4	--	--	NP	1.92	2.75	0.84	> 30
-22		T-6	31		0	77.4	22.6	SM	29.4	--	--	NP	1.83	2.76	0.95	> 30
-23		S-15	33		0	84.6	15.4	SM	28.9	--	--	NP	1.98	2.74	0.78	> 30
-24		S-16	33		0	84.8	15.2	SM	30.0	--	--	NP	1.91	2.75	0.87	> 30
-25		S-17	34		0	75.4	24.6	SM	27.1	--	--	NP	1.99	2.75	0.76	> 30
-26		S-18	37	30.00	0			SM								
-27		T-7														
-28		S-19														
-29		S-20														
-30																

鑽探終止

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究


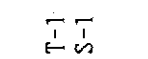
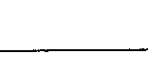
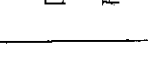
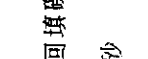
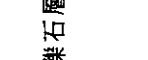
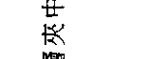
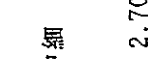
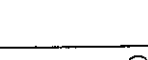
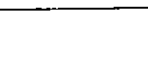

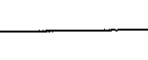

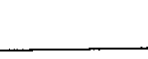

孔號：B-4

鑽探時間：81.11.20

地點：高雄縣林園鄉中芸村中芸國小旁 地面標高：

地下水位：- 6.50 M

試驗時間：81.11.28 - 81.12.03

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)			分類	自然含水量 w (%)	液限 Lw %	塑性指數 Pi %	塑性指數 Pw %	比重 G	孔隙比 e	估計容許承载力 t/m ²
					卵石	砂	沉泥黏土								
1		T-1		回填礫石層夾中細砂											
2		S-1													
3		S-2	46	2.70	41.5	52.5	6.0	SP-SM	7.2	--	NP	--	2.27	0.32	> 30
4		S-3	28	灰色中細砂	0	88.5	11.5	SW-SM	19.9	--	NP	--	2.04	0.63	> 30
5		S-4	25		0	92.1	7.9	SP-SM	24.5	--	NP	--	1.87	0.81	30.0
6		S-0	26		0	89.0	11.0	SP-SM	17.8	--	NP	--	2.11	0.52	> 30
7		S-5	29		0	89.7	10.3	SP-SM	26.1	--	NP	--	1.79	0.94	22.8
8		S-6	19		0	94.5	5.5	SP-SM	26.5	--	NP	--	1.89	0.83	28.8
9		S-7	24	11.70	0	3.6	96.4	CL	39.4	41.2	17.4	23.8	1.80	1.14	19.2
10		T-2	16	灰色沉泥質粘土	0	1.1	98.9	CL	38.0	40.0	16.8	23.2	1.87	1.04	20.4
11		S-8	17	灰色沉泥質粘土	0	91.2	8.8	SP-SM	31.0	--	NP	--	1.85	0.93	22.8
12		T-3		灰色細砂											
13		S-9													
14		T-4													
15		S-10	19												

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港址地盤改良技術研究

孔號：B-4

鑽探時間：81.11.20

地點：高雄縣林園鄉中芸村中芸國小旁 地面標高：

地下水位：-6.50 M

試驗時間：81.11.28 - 81.12.03

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	數 N	地質說明	顆粒分析(%)	分類	自然含水量 w (%)	液限 L _w %	塑限 P _w %	塑性指數 Pi %	堆密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 容許 承载力 t/m ²
-16		S-11	22	灰色細砂	0	90.5	9.5	SP-SM	29.7	--	1.95	2.72	0.81	26.4
-17		S-12	23		0	83.1	11.9	SP-SM	28.7	--	1.90	2.76	0.87	27.6
-18		T-5												
-19		S-13	23		0	90.5	9.5	SP-SM	28.8	--	1.92	2.75	0.84	27.6
-20				19.90										
-21		S-14	16	灰色沉泥質粘土	0	1.3	98.7	CL	34.3	35.4	1.86	2.74	0.98	19.2
-22		S-15	16		22.30									
-23		T-6												
-24		S-16	23	灰色細砂	0	89.6	10.4	SP-SM	24.0	--	1.89	2.63	0.73	27.6
-25		S-17	22		0	91.1	8.9	SP-SM	25.5	--	1.99	2.73	0.72	26.4
-26														
-27		S-18	26		0	85.3	14.7	SM	23.3	--	1.97	2.76	0.73	> 30
-28		T-7												
-29		S-19	27		0	86.1	13.9	SM	25.4	--	1.97	2.73	0.74	> 30
-30		S-20	20		0	85.2	14.8	SM	24.1	--	2.05	2.73	0.65	24.0

鑽探及試驗報告表

鑽探時間：81.11.20

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-4

地點：高雄縣林園鄉中芸村中芸國小旁 地面標高：地下水位：-6.50 M 試驗時間：81.11.28 - 81.12.03

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)			分類	含水量 w (%)	液限 L _w %	塑性指數 P _w %	塑性指數 P _i %	密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 承载力 t/m ²
					卵石	砂	泥土									
31				灰色細砂	0	82.5	17.5	SM	25.5	--	--	NP	2.05	2.75	0.68	25.2
32		S-21	21		0	79.7	20.3	SM	23.4	--	--	NP	2.07	2.74	0.63	26.4
33		S-22	22	灰色沉泥質細砂	0	59.9	40.1	SM	22.4	--	--	NP	2.07	2.72	0.61	28.8
34		T-8	24		0	69.3	30.7	SM	24.2	--	--	NP	1.92	2.72	0.76	27.6
35		S-23	24		0	60.1	39.9	SM	20.6	--	--	NP	2.10	2.75	0.58	30.0
36		S-24	23	38.80	0	85.3	14.7	SM	22.9	--	--	NP	1.89	2.73	0.78	30.0
37		S-25	25		0	91.6	8.4	SP-SM	22.6	--	--	NP	1.96	2.74	0.71	> 30
38		T-9	26	灰色細砂	0	87.8	12.2	SM	21.0	--	--	NP	1.86	2.72	0.77	> 30
39		S-26	25		0	93.7	6.3	SP-SM	23.5	--	--	NP	1.83	2.73	0.84	> 30
40		S-27	26		0	88.7	11.3	SP-SM	21.7	--	--	NP	1.86	2.74	0.79	> 30
41		S-28	27													
42		T-10	27													
43		S-29	27													
44		S-30	29													
45																

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-4

鑽探時間：81.11.20

地點：高雄縣林園鄉中芸村中芸國小旁 地面標高：

地下水位：- 6.50 M

試驗時間：81.11.28 - 81.12.03

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)	分類	自 然 含 水 量 w (%)	液 限 L _w %	塑 限 P _w %	塑性 指數 Pi %	堆 實 度 t/m ³	比 重 G	孔隙 比 e	估計 容 承 載 力 t/m ²
46														
47		S-31	30		砂	SP-SM	21.4	--	--	NP	1.81	2.72	0.82	> 30
48		S-32	31	灰色細砂	砂	SP-SM	20.5	--	--	NP	1.80	2.70	0.81	> 30
49		T-11			泥									
50		S-33	33	50.00	砂	SM	18.6	--	--	NP	1.86	2.77	0.77	> 30
51				鑽探終止										
52														
53														
54														
55														
56														
57														
58														
59														
60														

鑽探及試驗報告表

鑽探時間：82.04.02 - 82.04.04

孔 號：B - 5

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

試驗時間：82.04.09 - 82.04.16

地下水位：滿水位

地點：高雄縣林園鄉中芸村海上

地面標高：- 3.15 M

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)			分類	自然含水量 w (%)	液限 L _w %	塑性指數 PI %	塑性指數 PI %	當地密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計容許承载力 t/m ²
					卵石	砂	泥 粘土									
-1		T-1														
-2		S-1	10		0	82.0	18.0	SM	18.8	--	NP		2.09	2.71	0.54	12.0
-3		S-2	20		0	87.0	13.0	SM	27.9	--	NP		1.93	2.72	0.80	24.0
-4		S-3	22		0	99.0	1.0	SP	20.4	--	NP		2.15	2.72	0.52	26.4
-5		S-4	23		0	75.0	25.0	SM	12.2	--	NP		2.41	2.76	0.29	27.6
-6		S-5	26		0	79.0	21.0	SM	12.1	--	NP		2.26	2.67	0.32	> 30
-7		S-6	26		0	80.0	20.0	SM	15.4	--	NP		2.24	2.73	0.41	> 30
-8		S-7	27		0	92.0	8.0	SM	18.1	--	NP		2.14	2.72	0.50	> 30
-9		S-8	30		0	70.0	30.0	SM	12.2	--	NP		2.31	2.72	0.32	> 30
-10		S-9	37		0	77.0	23.0	SM	12.3	--	NP		2.35	2.73	0.31	> 30
-11		S-10	32		0	82.0	18.0	SM	13.3	--	NP		2.32	2.71	0.32	> 30

灰色中細砂

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔號：B-5

鑽探時間：82.04.02 - 82.04.04

地點：高雄縣林園鄉中芸村海上

地面標高：- 3.15 M

地下水位：滿水位

試驗時間：82.04.09 - 82.04.16

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析(%)			含水量 w (%)	液限 Lv %	塑性 指數 Pi %	性 狀 P _w %	地 質 密 度 t/m ³	比 量 G	孔隙 比 e	估計 承载力 t/m ²
					卵石	砂	泥 黏 土								
-16		S-11	35		0	87.0	13.0	20.0	--	NP	--	2.17	2.69	0.49	> 30
-17															
-18		S-12	32		0	84.0	16.0	10.4	--	NP	--	2.19	2.70	0.36	> 30
-19															
-20		S-13	32		0	78.0	22.0	12.1	--	NP	--	2.34	2.72	0.30	> 30
-21		S-14	27		0	97.0	3.0	20.7	--	NP	--	2.09	2.68	0.55	> 30
-22				灰色中細砂											
-23		S-15	28		0	82.0	18.0	14.8	--	NP	--	2.22	2.69	0.39	> 30
-24		S-16	32		0	80.0	20.0	14.6	--	NP	--	2.25	2.72	0.39	> 30
-25															
-26		S-17	35		0	78.0	22.0	13.1	--	NP	--	2.44	2.73	0.27	> 30
-27		S-18	35		0	87.0	13.0	14.5	--	NP	--	2.31	2.72	0.35	> 30
-28															
-29		S-19	39		0	90.0	10.0	14.5	--	NP	--	2.30	2.71	0.35	> 30
-30		S-20	39	30.00	0	78.0	22.0	12.6	--	NP	--	2.38	2.70	0.28	> 30

鑽探終止

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

孔 號：B-6

鑽探時間：82.04.08 - 82.04.09

地點：高雄港小港區海倉里海上 地面標高：- 3.50 M 地下水位：滿水位 試驗時間：82.04.10 - 82.04.17

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)	分類	含水量 w (%)	液限 L _w %	塑性 P _w %	塑性指數 P _i %	容重 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 容重 t/m ³
-1		T-1												
-2		S-1	11	灰色中細砂偶夾碎	1.0 94.0 5.0	SP	23.2	--	--	NP	2.00	2.72	0.67	13.2
-3		S-2	15	石及少許貝屑	0 88.0 14.0	SM	19.7	--	--	NP	2.11	2.74	0.55	18.0
-4		S-3	16		1.0 98.0 3.0	SP	24.5	--	--	NP	2.04	2.73	0.67	19.2
-5		S-4	3	5.85 灰色沉泥質黏土 6.20	1.0 64.0 35.0	SM	27.1	--	--	NP	2.08	2.74	0.67	3.6
-7		T-2	15	灰色中細砂	0 78.0 22.0	SM	24.7	--	--	NP	2.08	2.72	0.63	18.0
-8		S-5	15		0 92.0 8.0	SP-SM	19.4	--	--	NP	2.04	2.74	0.60	15.0
-9		S-6	15											
-10		S-7	24	10.35	2.0 82.0 16.0	SM	20.3	--	--	NP	2.10	2.73	0.56	28.8
-11		S-8	21		0 78.0 22.0	SM	24.3	--	--	NP	2.04	2.69	0.64	25.2
-12		T-3	19	灰色細砂	0 54.0 46.0	SM	23.0	--	--	NP	2.07	2.74	0.63	22.8
-13		S-9												
-14		S-10	16		0 70.0 30.0	SM	24.0	--	--	NP	2.11	2.76	0.62	19.2
-15		S-10												

鑽探及試驗報告表

名稱：高雄深港港址地盤改良技術研究

孔號：B-6

鑽探時間：82.04.08 - 82.04.09

地點：高雄市小港區海倉里海上

地面標高：- 3.50 M

試驗時間：82.04.10 - 82.04.17

深度 M	柱狀圖	土樣號 No.	擊數 N	地質說明	顆粒分析 (%)			分類	自然含水量 w (%)	液性度 L _w %	塑性指數 Pi %	地盤密度 t/m ³	比重 G	孔隙比 e	估計 容許 承载力 t/m ²
					卵石	砂	沉泥黏土								
-16															
-17		S-11	18	灰色細砂	0	83.0	17.0	SM	19.5	--	NP	2.11	2.74	0.55	21.6
-18		S-12	20		1.0	83.0	16.0	SM	28.3	--	NP	1.97	2.70	0.76	24.0
-19		S-13	20		0	77.0	23.0	SM	31.4	--	NP	1.94	2.72	0.84	24.0
-20				20.25											
-21		S-14	20	灰色沉泥質黏土夾細砂	0	42.0	58.0	ML	34.1	--	NP	1.79	2.73	1.04	24.0
-22															
-23		S-15	22	灰色細砂	0	83.0	17.0	SM	25.2	--	NP	2.02	2.75	0.71	26.8
-24		S-16	20		0	79.0	21.0	SM	29.4	--	NP	2.03	2.74	0.75	24.0
-25															
-26		S-17	21	26.55	0	79.0	21.0	SM	29.6	--	NP	1.97	2.71	0.78	25.2
-27		S-18	23	灰色細砂質沉泥	0	38.0	62.0	ML	27.7	--	NP	1.92	2.76	0.79	27.6
-28		S-19	21		0	22.0	78.0	ML	26.0	--	NP	2.03	2.72	0.69	25.2
-29															
-30		S-20	17	30.00	0	30.0	70.0	ML	28.7	--	NP	2.05	2.73	0.71	20.4

鑽探終止

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉





鑽 孔 號：B-1

孔位標高：

鑽探深度：50.00 M

地下水位：- 1.51 M

鑽探日期：81.11.17

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
1		T-1 S-1	0.50 1.10	1.10 1.55	4	5	7			棕灰色細砂含中砂 夾貝屑
2										
3		T-2 S-2	2.00 2.70	2.70 3.15	3	5	7			
4		S-3	4.05	4.50	3	5	8			
5										
6		T-3 S-4	5.00 5.70	5.70 6.15	4	6	9			灰色沉泥質粘土
7		S-5	7.05	7.50	5	6	9			
8										
9		T-4 S-6	8.00 8.70	8.70 9.15	2	3	4			
10		T-5 S-7	9.50 10.20	10.20 10.65	3	4	4			
11		T-6 S-8	11.00 11.70	11.70 12.15	4	7	9			灰色細砂含中砂夾 貝屑
12										
13		T-7 S-9	12.50 13.20	13.20 13.65	5	7	10			
14										
15		T-8 S-10	14.00 14.70	14.70 15.15	6	8	13			
16		S-11	16.05	16.50	6	9	13			
17										
18		S-12	17.55	18.00	5	9	15			

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B - 1

孔位標高：

鑽探深度：50.00 M

地下水位：- 1.51 M

鑽探日期：81.11.17

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準重入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
19		S-13	19.05	19.50	6	10	15			灰色細砂夾貝屑
20		T-9	19.80	20.50						
21		S-14	20.50	20.95	7	10	16			
22		S-15	22.05	22.50	6	4	16			
23										23.90
24		S-16	23.55	24.00	5	10	14			灰色沉泥質粘土
25		T-10	24.50	25.20						24.70
26		S-17	25.20	25.65	7	12	16			灰色細砂夾貝屑
27		S-18	26.55	27.00	7	14	16			27.00
28		T-11	27.50	28.20						灰色沉泥質細砂
29		S-19	28.20	28.65	9	11	15			
30		S-20	29.55	30.00	8	13	15			
31		S-21	31.05	31.50	9	13	17			
32										
33		S-22	32.55	33.00	7	12	15			
34		T-12	33.50	34.20						
35		S-23	34.20	34.65	8	11	16			
36		S-24	35.55	36.00	9	14	17			

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B - 1

孔位標高：

鑽探深度：50.00 M

地下水位：- 1.51 M

鑽探日期：81.11.17

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
37		S-25	37.05	37.50	8	15	16			灰色沉泥質細砂
38										
39		T-13 S-26	38.00 38.70	38.70 39.15	9	16	16			
40		S-27	40.05	40.50	8	15	18			
41										
42		S-28	41.55	42.00	10	14	18			
43		T-14 S-29	42.50 43.20	43.20 43.65	10	15	19			
44										
45		S-30	44.55	45.00	9	16	18			
46		S-31	46.05	46.50	9	16	19			
47										
48		T-15 S-32	47.00 47.70	47.70 48.15	10	17	18			
49										50.00 鑽探終止
50		S-33	49.55	50.00	10	18	19			
51										
52										
53										
54										

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B - 2

孔位標高：

鑽探深度：30.00 M

地下水位：- 1.76 M

鑽探日期：81.11.14

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
1		S-1	1.05	1.50	27	32	40			灰色細砂 0.50
2										卵礫石層夾中粗砂 含少量貝屑 4.60
3		S-2	2.55	3.00	24	29	38			
4		S-3	4.05	4.50	35	23	34			
5										灰色細砂夾中砂含 貝屑 12.70
6		S-4	5.55	6.00	7	8	10			
7		S-5	7.05	7.50	8	9	10			
8										
9		S-6	8.55	9.00	8	10	12			
10		T-1 S-7	9.50 10.20	10.20 10.65	9	11	13			
11										
12		T-2 S-8	11.00 11.70	11.70 12.15	8	10	14			
13		T-3 S-9	12.50 13.20	13.20 13.65	7	9	9			灰色細砂質沉泥 14.20
14										灰色中細砂
15		T-4 S-10	14.00 14.70	14.70 15.15	7	9	11			
16		S-11	16.05	16.50	8	12	13			
17										
18		S-12	17.55	18.00	8	14	14			

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B - 2

孔位標高：

鑽探深度：30.00 M

地下水位：- 1.76 M

鑽探日期：81.11.14

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
19		T-5	18.50	19.20						灰色中細砂
		S-13	19.20	19.65	9	13	14			
20										
21		S-14	20.55	21.00	9	14	16			
22										
23		S-15	22.05	22.50	10	12	15			
24		T-6	23.00	23.70						
		S-16	23.70	24.15	9	15	17			
25										
26		S-17	25.05	25.50	8	14	18			
27										
28		S-18	26.55	27.00	10	16	18			30.00 鑽探終止
29		T-7	27.50	28.20						
		S-19	28.20	28.65	11	15	19			
30										
		S-20	29.55	30.00	13	15	18			
31										
32										
33										
34										
35										
36										

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B - 3

孔位標高：

鑽探深度：30.00 M

地下水位：- 2.03 M

鑽探日期：81.11.16

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明	
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45				
1		S-1	1.05	1.50	30	26	42			灰色細砂 0.80	
2										卵礫石層夾中砂 3.70	
3		S-2	2.55	3.00	28	33	29				
4		S-3	4.05	4.50	9	10	13			灰色中細砂含貝屑 10.70	
5											
6		S-4	5.55	6.00	9	11	13				
7		S-5	7.05	7.50	8	10	11				
8											
9		S-6	8.55	9.00	6	9	10				
10		T-1 S-7	9.50 10.20	10.20 10.65	8	9	12				
11		T-2 S-8	11.00 11.70	11.70 12.15	6	9	10			灰色沉泥質細砂 13.65	
12											
13		T-3 S-9	12.50 13.20	13.20 13.65	7	8	11				
14		T-4 S-10	14.00 14.70	14.70 15.15	8	10	13			灰色細砂質沉泥 15.15	
15											
16		S-11	16.05	16.50	8	13	15			灰色沉泥質細砂	
17											
18		S-12	17.55	18.00	7	12	15				

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B-3

孔位標高：

鑽探深度：30.00 M

地下水位：- 2.03 M

鑽探日期：81.11.16

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
19		T-5	18.50	19.20	8	13	16			灰色沉泥質細砂
20		S-13	19.20	19.65						
21		S-14	20.55	21.00	9	13	15			
22		S-15	22.05	22.50	11	14	17			
23										
24		T-6	23.00	23.70	12	15	16			
25		S-16	23.70	24.15						
26		S-17	25.05	25.50	11	16	17			
27		S-18	26.55	27.00	13	15	18			
28		T-7	27.50	28.20	12	16	18			
29		S-19	28.20	28.65						
30		S-20	29.55	30.00	13	18	19			30.00
31										鑽探終止
32										
33										
34										
35										
36										

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B - 4

孔位標高：

鑽探深度：50.00 M

地下水位：- 6.50 M

鑽探日期：81.11.20

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
1		T-1 S-1	0.50 1.20	1.20 1.46	56	11/100				回填礫石層夾中細砂 2.70
2										
3		S-2	2.55	3.00	11	17	29			灰色中細砂 11.70
4		S-3	4.05	4.50	8	13	15			
5										
6		S-4	5.55	6.00	9	12	13			
7		S-0	7.05	7.50	12	12	14			
8		S-5	7.80	8.25	10	16	13			
9		S-6	8.55	9.00	8	9	10			
10		S-7	10.05	10.50	9	11	13			
11		T-2 S-8	10.80 11.50	11.50 11.95	5	7	9			
12										
13		T-3 S-9	12.50 13.20	13.20 13.65	6	8	9			灰色沉泥質細砂 13.40
14										灰色沉泥質粘土 14.20
15		T-4 S-10	14.00 14.70	14.70 15.15	7	8	11			灰色細砂
16										
17		S-11	16.05	16.50	8	9	13			
18		S-12	17.55	18.00	8	10	13			

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

鑽 孔 號：B-4

孔位標高：

鑽探深度：50.00 M

地下水位：- 6.50 M

鑽探日期：81.11.20

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
19		T-5 S-13	18.50 19.20	19.20 19.65	9	11	12			灰色細砂 19.90
20										
21		S-14	20.55	21.00	6	8	8			灰色沉泥質細砂 22.30
22										
23		S-15	22.05	22.50	7	7	9			
24										
25		T-6 S-16	23.00 23.70	23.70 24.15	8	10	13			
26										
27		S-17	25.05	25.50	9	10	12			
28										
29		S-18	26.55	27.00	8	12	14			
30										
31		T-7 S-19	27.50 28.20	28.20 28.65	9	13	14			
32										
33		S-20	29.55	30.00	7	9	11			
34										
35		S-21	31.05	31.50	8	9	12			灰色細砂 31.50
36										
37		S-22	32.55	33.00	7	10	12			
38										
39		T-8 S-23	33.50 34.20	34.20 34.65	9	11	13			
40										
41		S-24	35.55	36.00	8	11	12			灰色沉泥質細砂
42										

地質鑽探記錄表

工程名稱：高雄新建深水港碼頭沉陷地質調查

業主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉

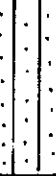
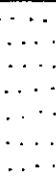
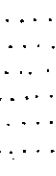
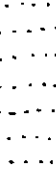
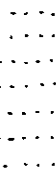


鑽孔號：B-4

孔位標高：

鑽探深度：50.00 M

地下水位：- 6.50 M

鑽探日期：81.11.20

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
37		S-25	37.05	37.50	9	12	13			灰色沉泥質細砂
38		T-9	38.00	38.70						38.80
39		S-26	38.70	39.15	9	11	14			灰色細砂
40		S-27	40.05	40.50	8	11	15			
41		S-28	41.55	42.00	9	12	15			
42		T-10	42.50	43.20						
43		S-29	43.20	43.65	9	13	14			
44		S-30	44.55	45.00	10	13	16			
45		S-31	46.05	46.50	10	14	16			
46		S-32	47.55	48.00	9	13	18			
47		T-11	48.50	49.20						
48		S-33	49.55	50.00	10	15	18			
49										50.00
50										鑽探終止
51										
52										
53										
54										

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉中芸村海上

鑽 孔 號：B - 5

孔位標高：- 3.15 M

鑽探深度：30.00 M

地下水位：滿水位

鑽探日期：82.04.02 - 82.04.04

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
1		T-1	0.00	1.80						
		S-1	1.05	1.50	3	4	6			
2										
3		S-2	2.55	3.00	7	9	11			
4		S-3	4.05	4.50	9	11	11			
5										
6		S-4	5.55	6.00	8	12	11			
7		S-5	7.05	7.50	11	12	14			
8										
9		S-6	8.55	9.00	10	11	15			灰色中細砂
10		S-7	10.05	10.50	7	13	14			
11										
12		S-8	11.55	12.00	11	14	16			
13		S-9	13.05	13.50	15	17	20			
14										
15		S-10	14.55	15.00	14	15	17			
16		S-11	16.05	16.50	16	16	19			
17										
18		S-12	17.55	18.00	11	14	18			

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄縣林園鄉中芸村海上



鑽 孔 號：B - 5

孔位標高：- 3.15 M

鑽探深度：30.00 M

地下水位：滿水位

鑽探日期：82.04.02 - 82.04.04

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
19		S-13	19.05	19.50	10	15	17			灰色中細砂
20										
21		S-14	20.55	21.00	9	11	16			
22										
23		S-15	22.05	22.50	11	13	15			
24										
25		S-16	23.55	24.00	11	15	17			
26										
27		S-17	25.05	25.50	13	16	19			
28										
29		S-18	26.55	27.00	15	17	18			
30		S-19	28.05	28.50	15	18	21			<div style="text-align: right;">30.00</div>  鑽探終止
31		S-20	29.55	30.00	14	19	20			
32										
33										
34										
35										
36										

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄市小港區海倉里海上



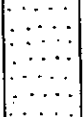
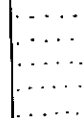

鑽 孔 號：B - 6

孔位標高：- 3.50 M

鑽探深度：30.00 M

地下水位：滿水位

鑽探日期：82.04.08 - 82.04.09

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
1		T-1	0.00	0.80						灰色中細砂偶夾碎石及少許貝屑
2		S-1	1.05	1.50	2	4	7			
3		S-2	2.55	3.00	4	6	9			
4		S-3	4.05	4.50	5	8	8			
5										
6		S-4	5.55	6.00	1	1	2			灰色沉泥質黏土 6.20
7		T-2	6.30	7.10						灰色中細砂
8		S-5	7.10	7.55	5	7	8			
9		S-6	8.55	9.00	4	6	9			
10		S-7	10.05	10.50	8	11	13			
11										
12		S-8	11.55	12.00	7	9	12			灰色細砂
13		T-3	12.30	13.10						
14		S-9	13.10	13.55	6	8	11			
15		S-10	14.55	15.00	5	7	9			
16		S-11	16.05	16.50	5	8	10			
17		S-12	17.55	18.00	6	9	11			
18										

地 質 鑽 探 記 錄 表

工程名稱：高雄深水港港址地盤改良技術研究

業 主：國立成功大學

工程地點：高雄市小港區海倉里海上

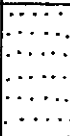

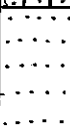
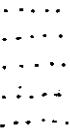




鑽 孔 號：B-6

孔位標高：-3.50 M

鑽探深度：30.00 M

地下水位：滿水位

鑽探日期：82.04.08 - 82.04.09

深度 M	柱 狀 圖	樣 號	鑽探深度		標準貫入 試驗 (15 cm)			取 樣 率 %	R. Q. D. %	地 質 說 明
			自 M	至 M	0 / 15	15 / 30	30 / 45			
19		S-13	19.05	19.50	7	8	12			灰色細砂
20		T-4	19.75	20.55						20.25
21		S-14	20.55	21.00	6	9	11			灰色沉泥質粘土夾細砂 21.00
22		S-15	22.05	22.50	5	8	13			灰色細砂
23										
24		S-16	23.55	24.00	8	8	12			灰色細砂
25		S-17	25.05	25.50	7	9	12			
26										26.55
27		S-18	26.55	27.00	7	10	13			灰色細砂質沉泥
28		S-19	28.05	28.50	6	9	12			
29										
30		S-20	29.55	30.00	5	7	10			30.00
31										鑽探終止
32										
33										
34										
35										
36										

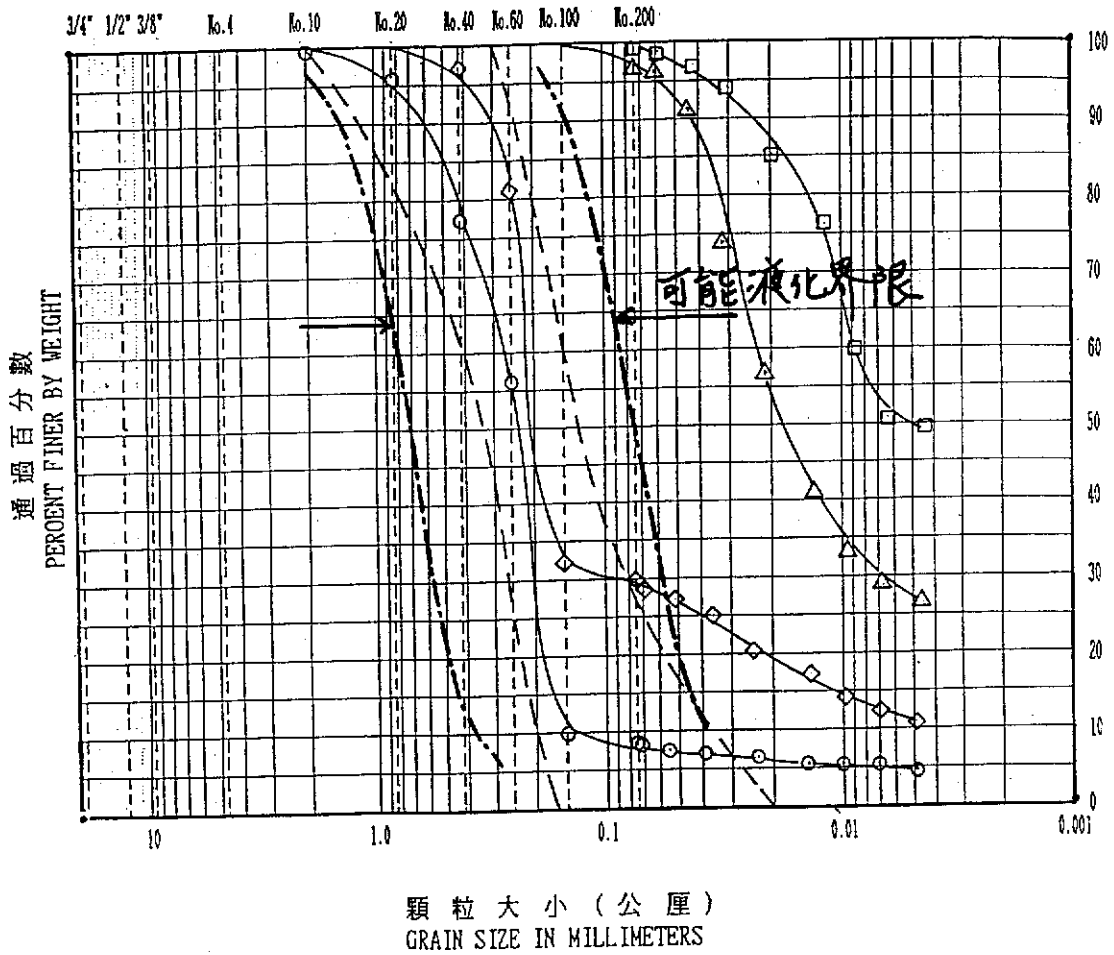
附錄二

現場鑽孔(BH.1至BH.6)

土壤顆粒分析曲線、土壤之組成及級配液化潛能分析

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

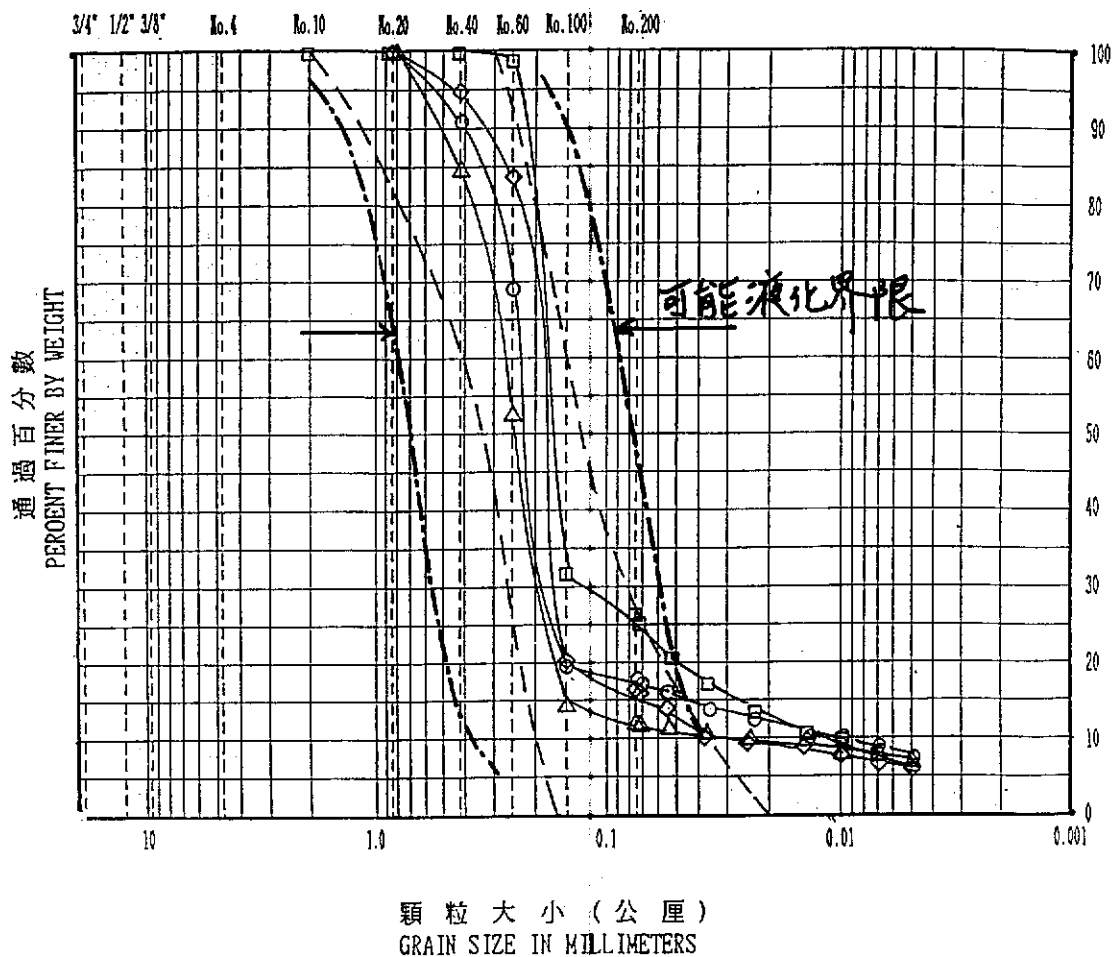


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-5	7.05-7.50	○	0	91.2	8.8	4.4	SP-SH	13.2
	S-6	8.70-9.15	△	0	2.8	70.4	26.8	CL	97.2
	S-7	10.20-10.65	□	0	0.7	49.9	49.4	CL	99.3
	S-8	11.70-12.15	◇	0	70.3	18.7	11.0	SH	29.7

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

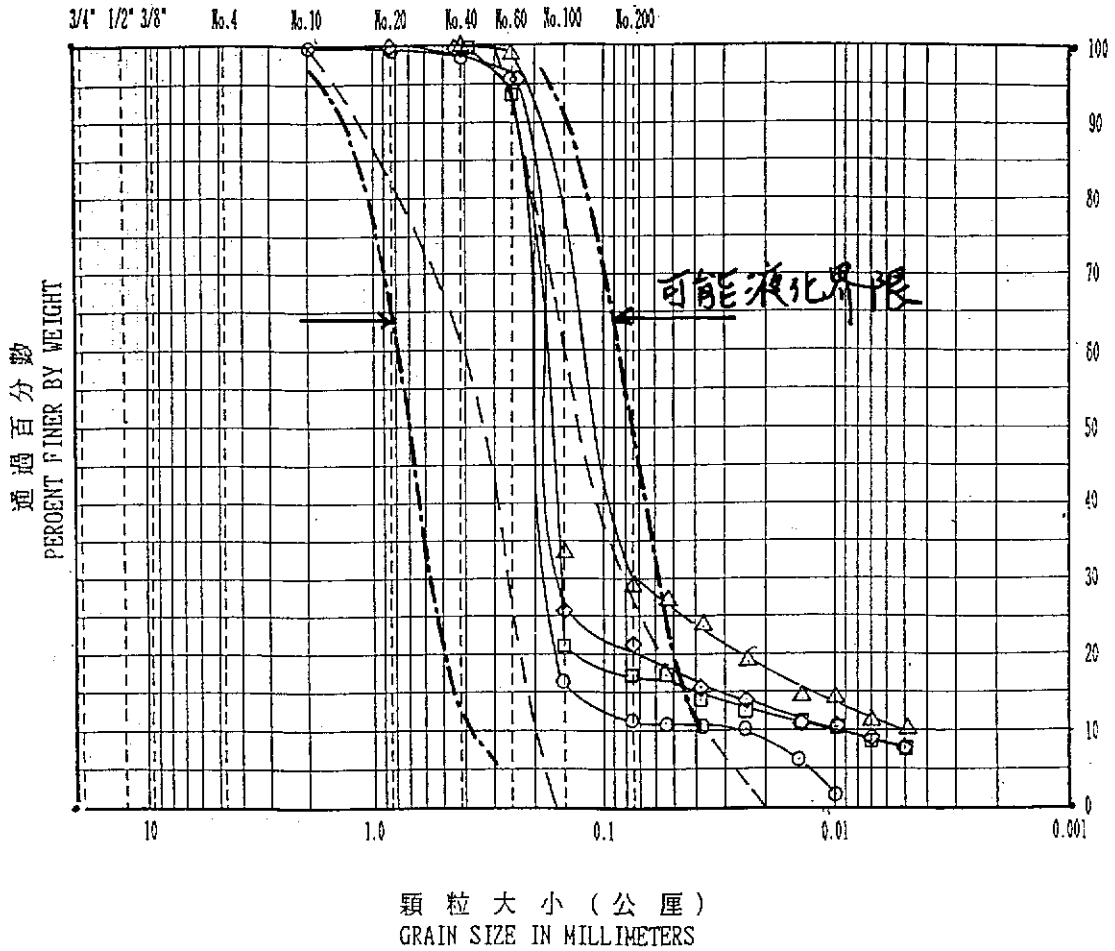
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-9	13.20-13.65	○	0	82.2	10.3	7.5	SH	17.8
	S-10	14.70-15.15	△	0	87.8	5.6	6.6	SH	12.2
	S-11	16.05-16.50	□	0	73.6	20.1	6.3	SH	26.4
	S-12	17.55-18.00	◇	0	83.1	10.6	6.3	SH	16.9

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

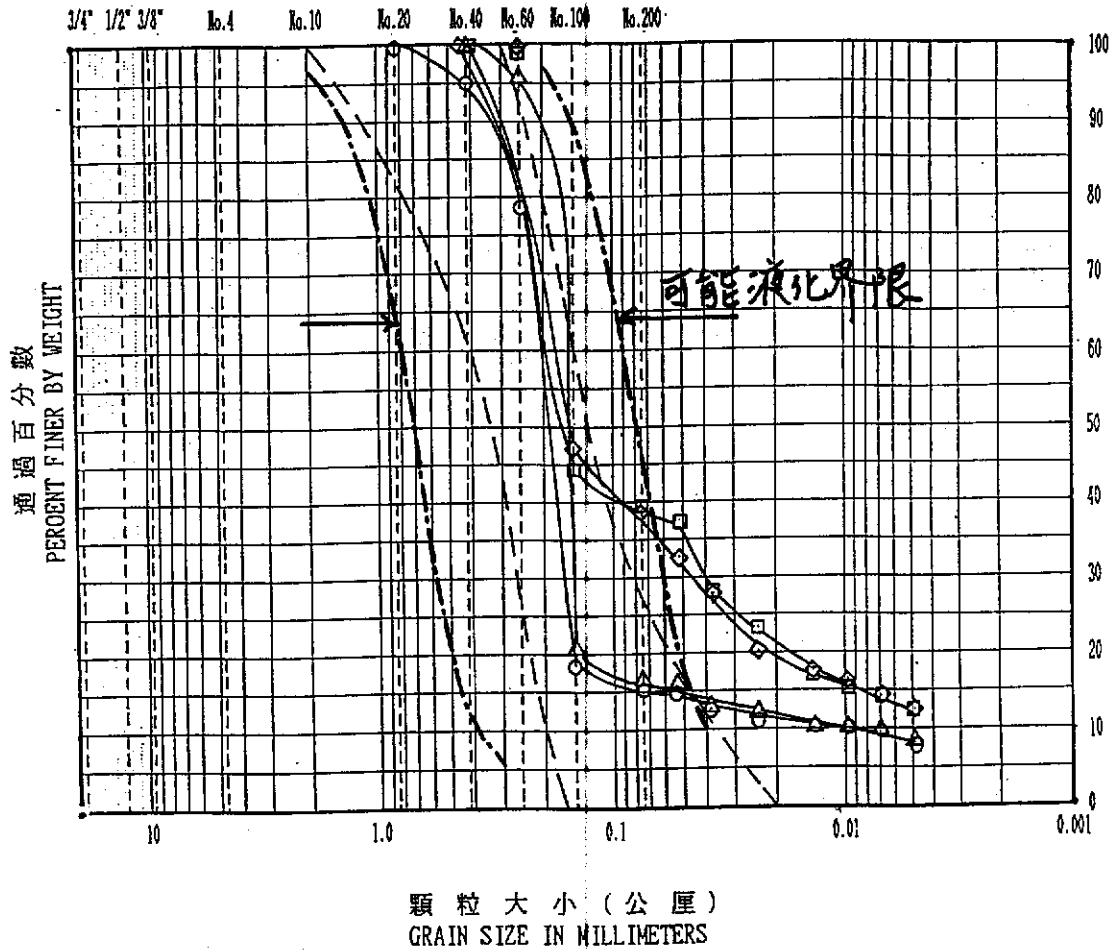


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-13	19.05-19.50	○	0	87.9	12.1	0	SM	12.1
	S-14	20.50-20.95	△	0	71.3	19.2	9.5	SM	28.7
	S-15	22.05-22.50	□	0	82.7	9.4	7.9	SM	17.3
	S-16	23.55-24.00	◇	0	78.9	13.3	7.8	SM	21.1

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

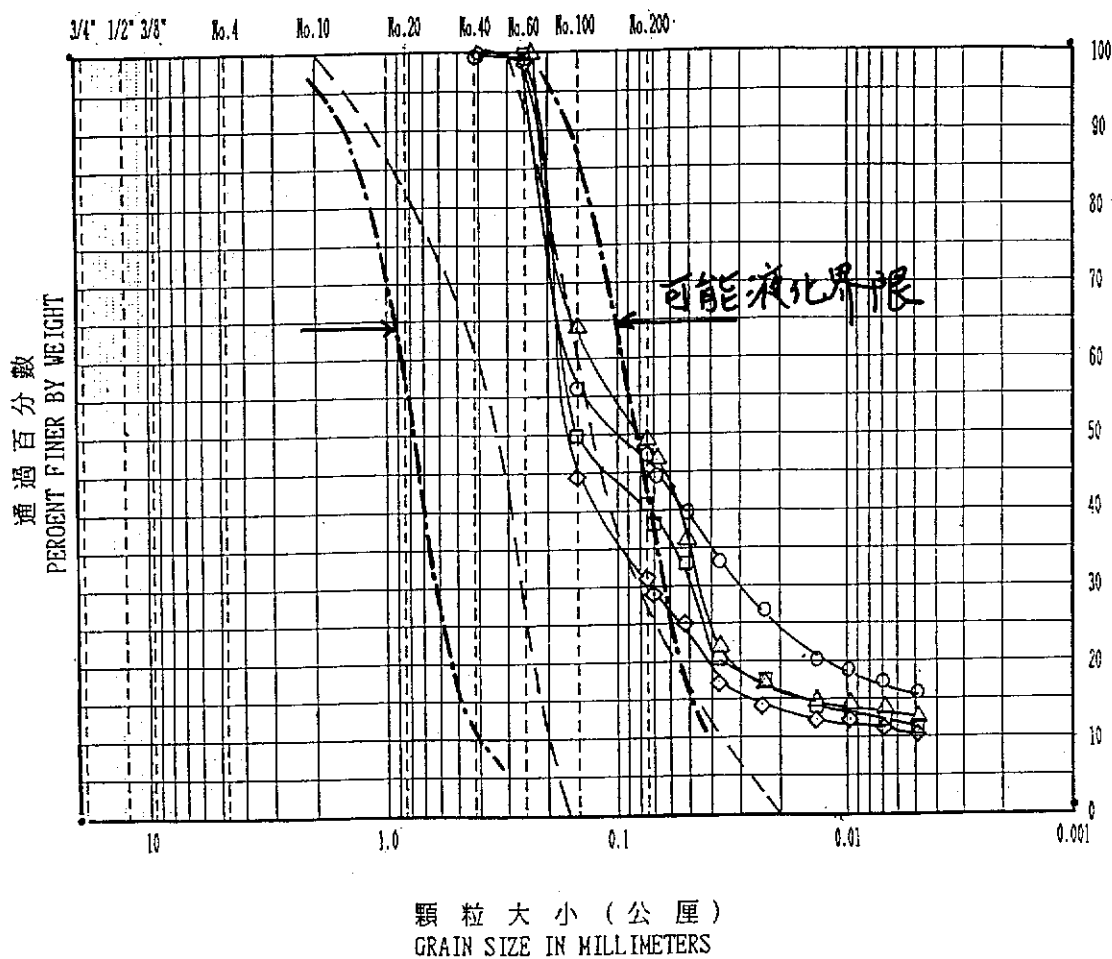


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-17	25.20-25.65	○	0	84.5	7.6	7.9	SM	15.5
	S-18	26.55-27.00	△	0	83.3	8.1	8.6	SM	16.7
	S-19	28.20-28.65	□	0	60.6	26.8	12.6	SM	39.4
	S-20	29.55-30.00	◇	0	61.3	26.2	12.5	SM	38.7

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

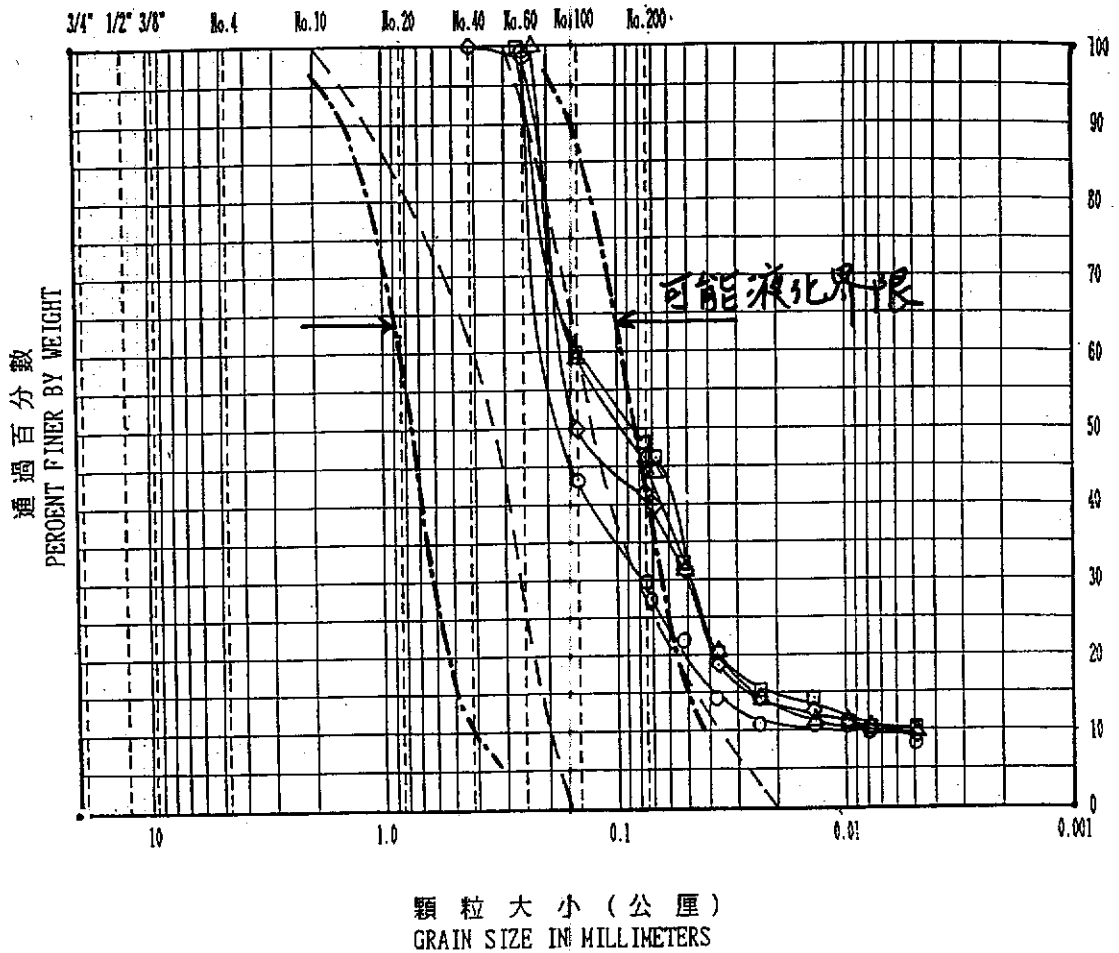


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-21	31.05-31.50	○	0	52.2	32.0	15.8	SM	47.8
	S-22	32.55-33.00	△	0	51.3	36.1	12.6	SM	48.7
	S-23	34.20-34.65	□	0	58.6	30.3	11.1	SM	41.4
	S-24	35.55-36.00	◇	0	69.4	19.6	11.0	SM	30.6

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

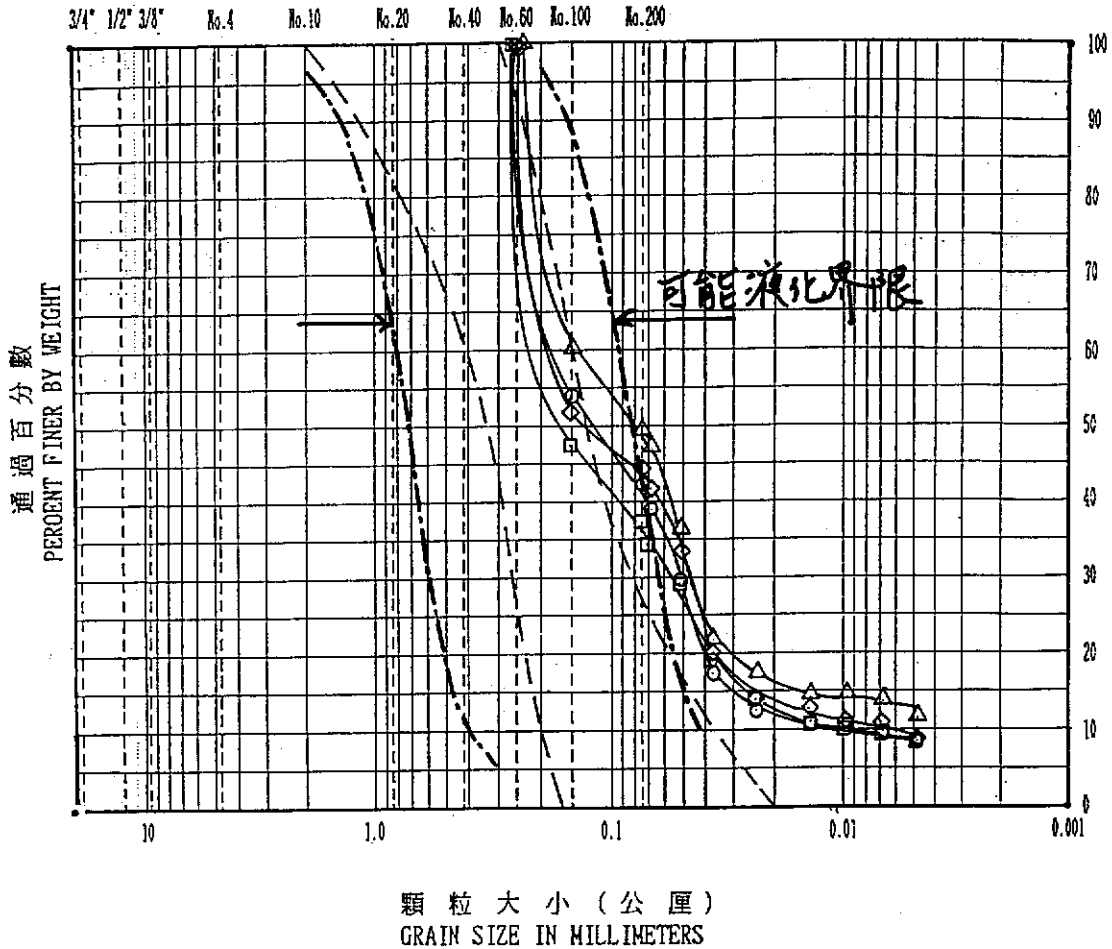


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-25	37.05-37.50	○	0	70.1	22.0	7.9	SM	29.9
	S-26	38.70-39.15	△	0	54.0	36.6	9.4	SM	46
	S-27	40.05-40.50	□	0	51.9	37.8	10.3	SM	48.1
	S-28	41.55-42.00	◇	0	58.3	32.3	9.4	SM	41.7

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

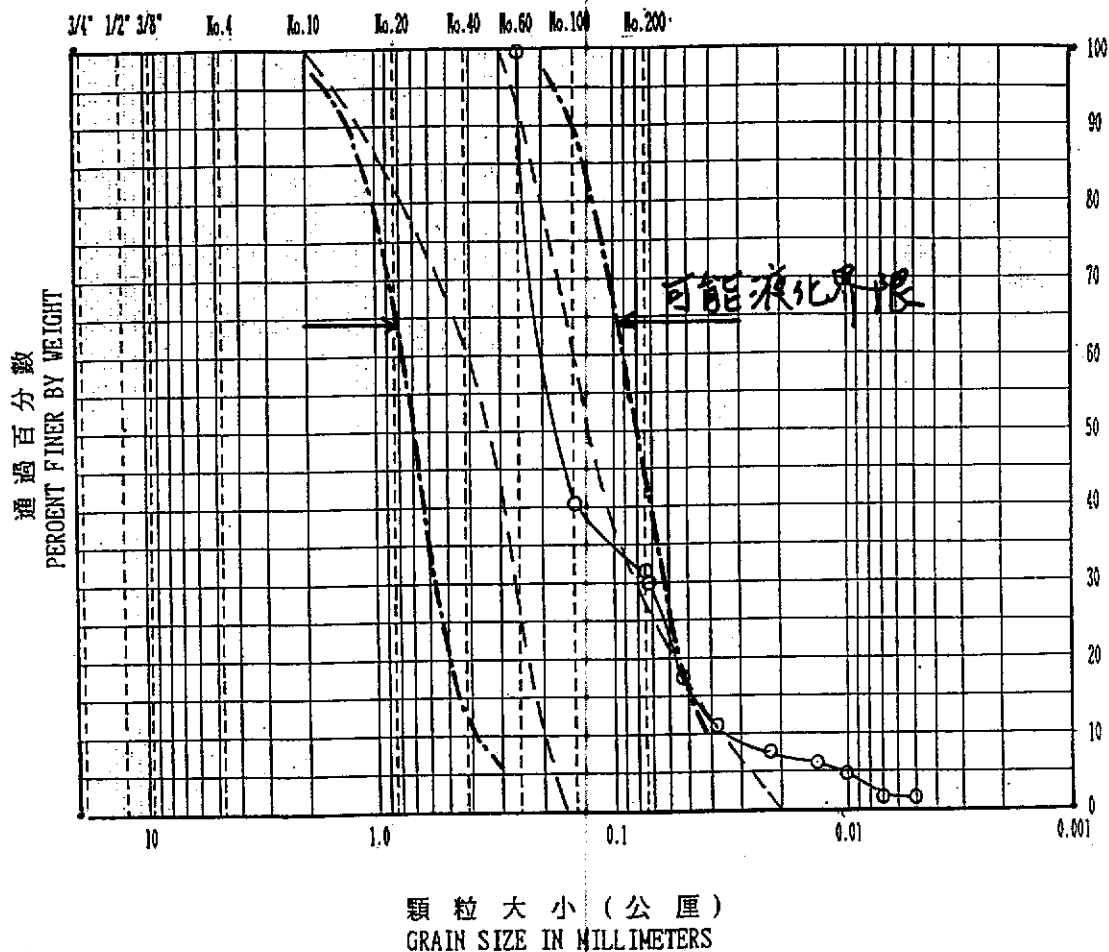


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-29	43.20-43.65	○	0	57.6	34.6	7.8	SM	42.4
	S-30	44.55-45.00	△	0	51.4	63.1	11.7	SH	74.8
	S-31	46.05-46.50	□	0	62.3	29.8	7.9	SM	37.7
	S-32	47.70-48.15	◇	0	55.8	34.7	9.5	SM	44.2

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

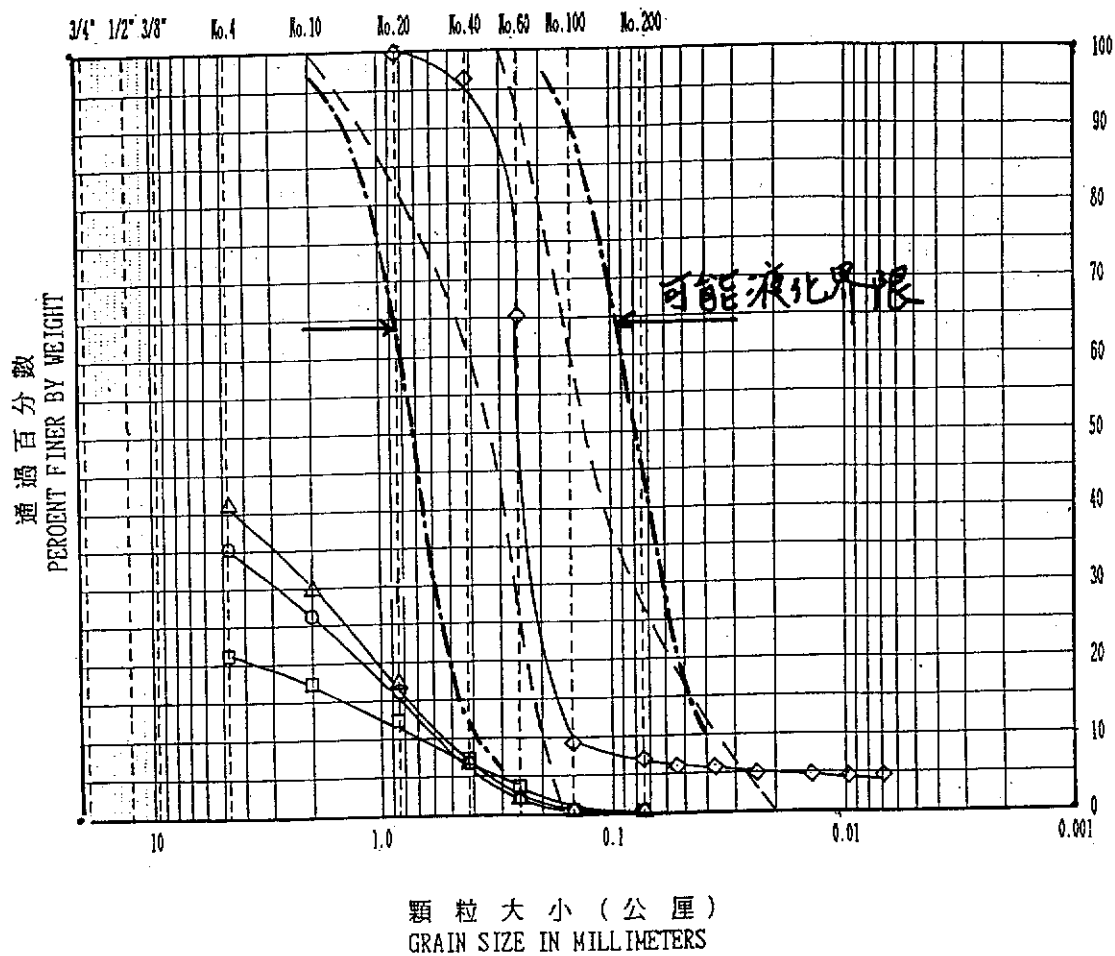
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-1	S-33	49.55-50.00	○	0	68.0	30.4	1.6	SM	32

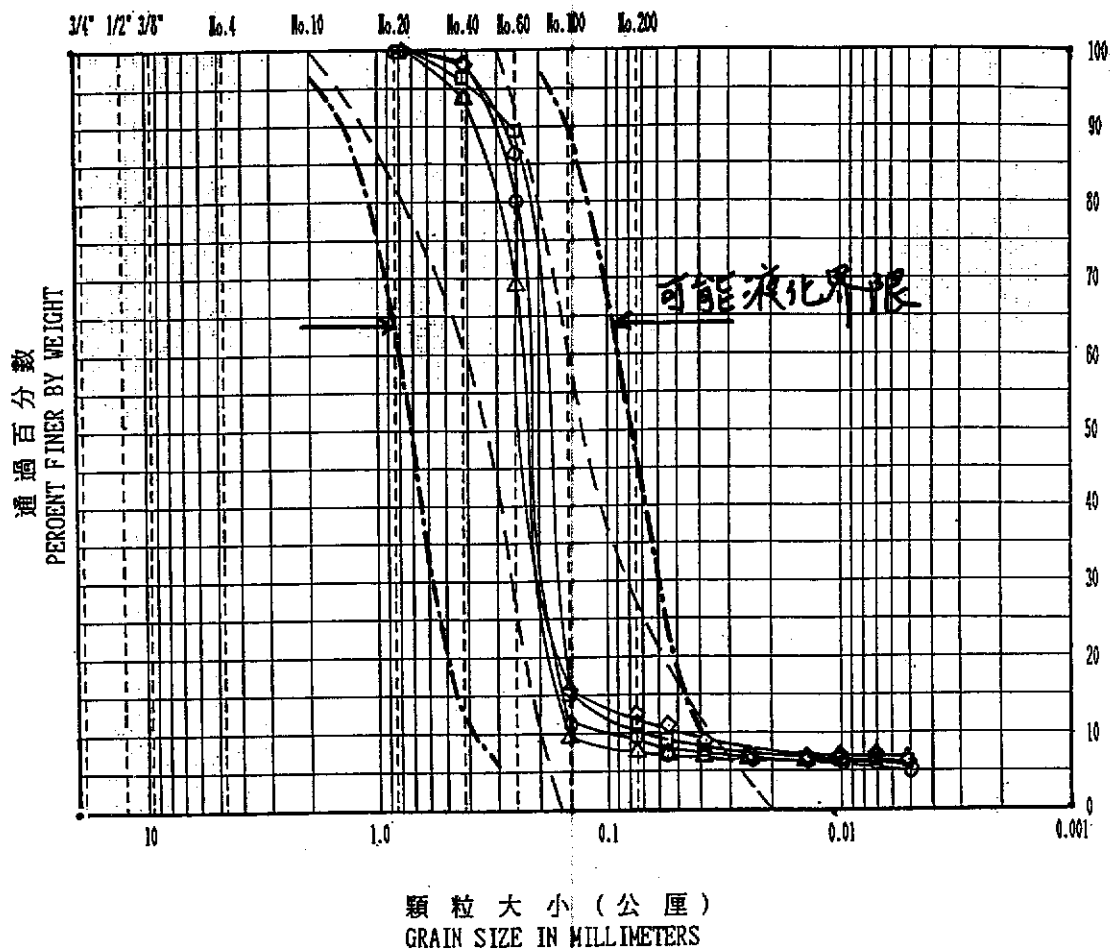
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-2	S-1	1.05-1.50	○	64.7	34.5	0.8	0	GP	0.8
	S-2	2.55-3.00	△	59.0	40.1	0.9	0	GP	0.9
	S-3	4.05-4.50	□	78.0	20.9	1.1	0	GP	1.1
	S-4	5.55-6.00	◇	0	92.9	2.4	4.7	SP-SH	7.1

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

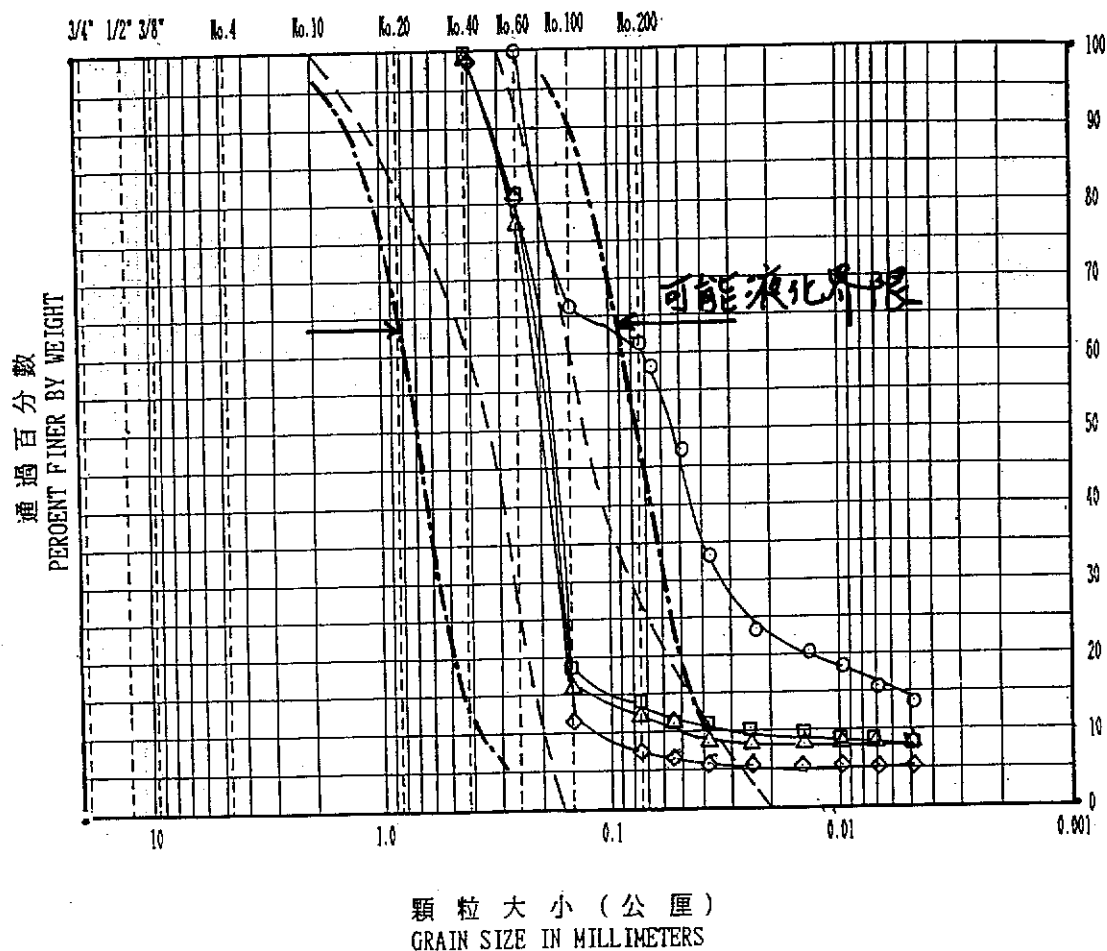


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-2	S-5	7.05-7.50	○	0	90.7	3.9	5.4	SP-SM	9.3
	S-6	8.55-9.00	△	0	92.8	0.8	6.4	SP-SM	7.2
	S-7	10.20-10.65	□	0	88.4	5.2	6.4	SP-SM	11.6
	S-8	11.70-12.15	◇	0	87.3	6.5	6.2	SM	12.7

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

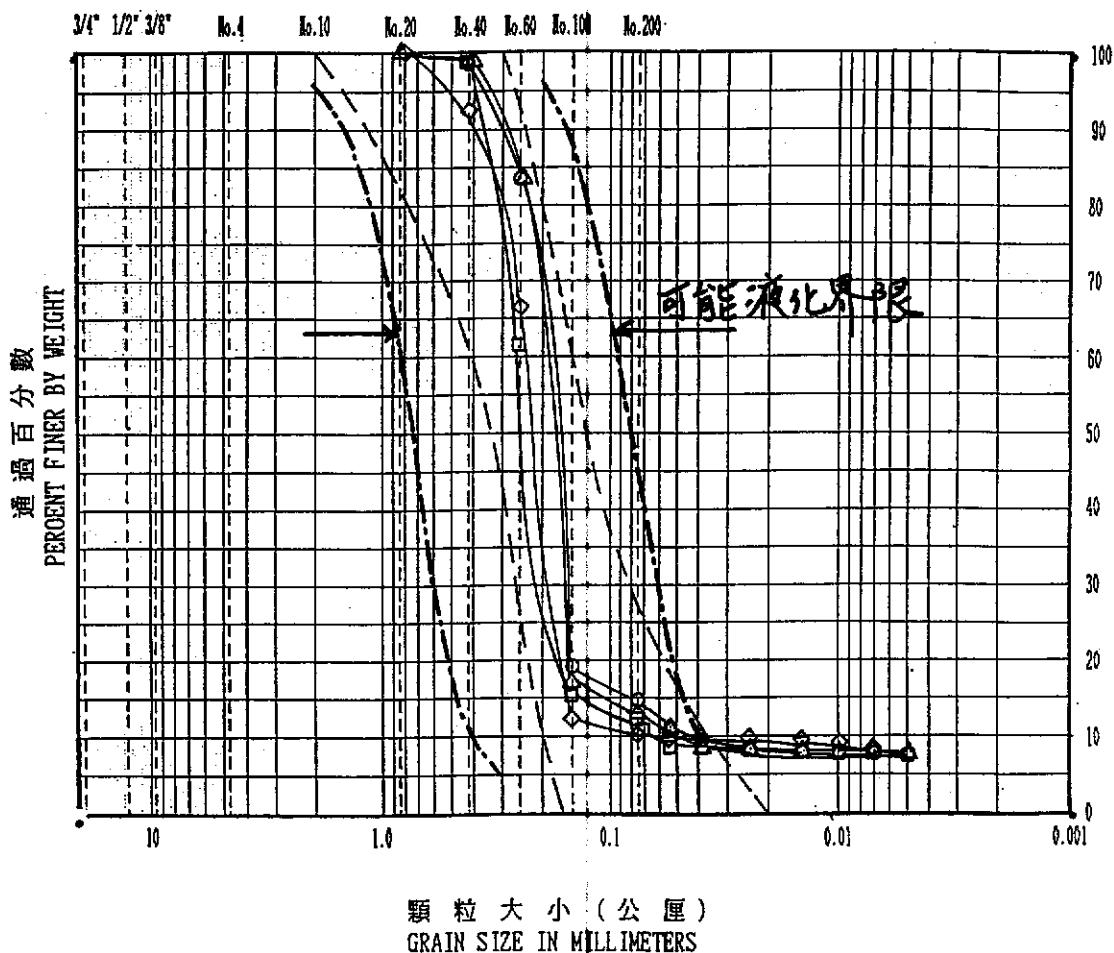


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-2	S-9	13.20-13.65	○	0	38.0	48.5	13.5	ML	62
	S-10	14.70-15.15	△	0	87.8	4.3	7.9	SM	12.2
	S-11	16.05-16.50	□	0	85.9	6.2	7.9	SM	14.1
	S-12	17.55-18.00	◇	0	92.4	1.4	6.2	SP-SM	7.6

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

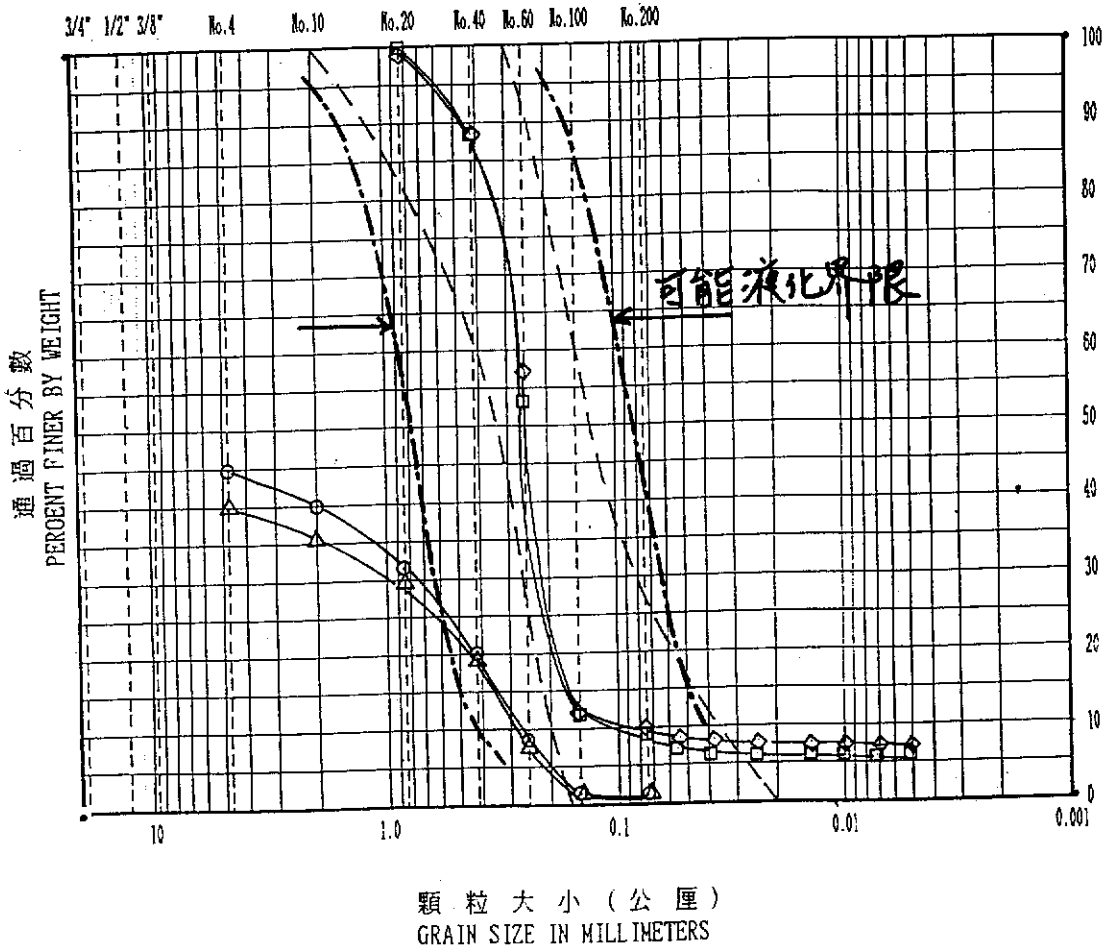


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-2	S-13	19.05-19.50	○	0	85.2	7.6	7.2	SM	14.8
	S-14	20.55-21.00	△	0	87.1	5.7	7.2	SM	12.9
	S-15	22.05-22.50	□	0	87.3	4.9	7.8	SM	12.7
	S-16	23.70-24.15	◇	0	89.7	2.6	7.7	SP-SM	10.3

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

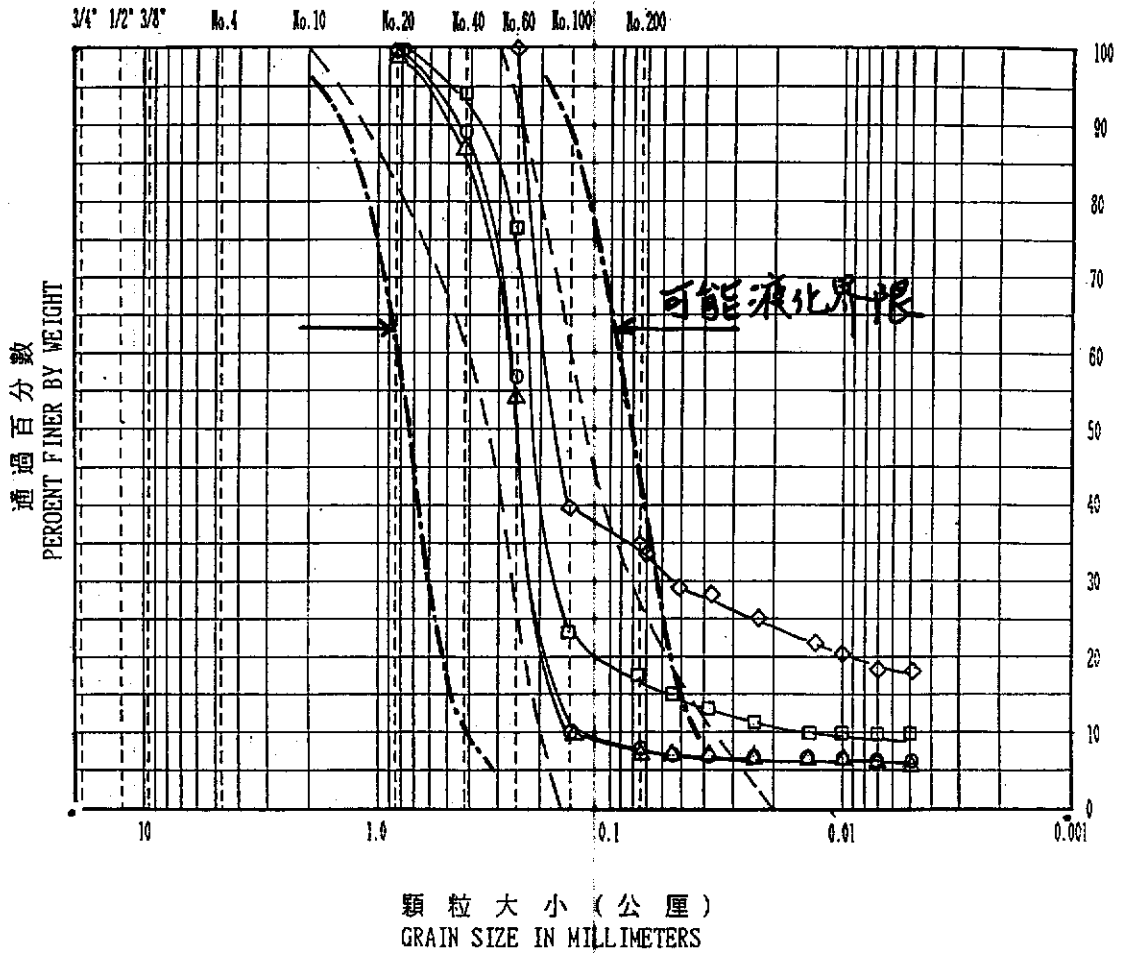


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-3	S-1	1.05-1.50	○	54.8	43.6	1.6	0	GP	1.6
	S-2	2.55-3.00	△	60.0	38.1	1.9	0	GP	1.9
	S-3	4.05-4.50	□	0	91.0	3.2	5.8	SM	9.0
	S-4	5.55-6.00	◇	0	89.9	2.8	7.3	SP-SM	10.1

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

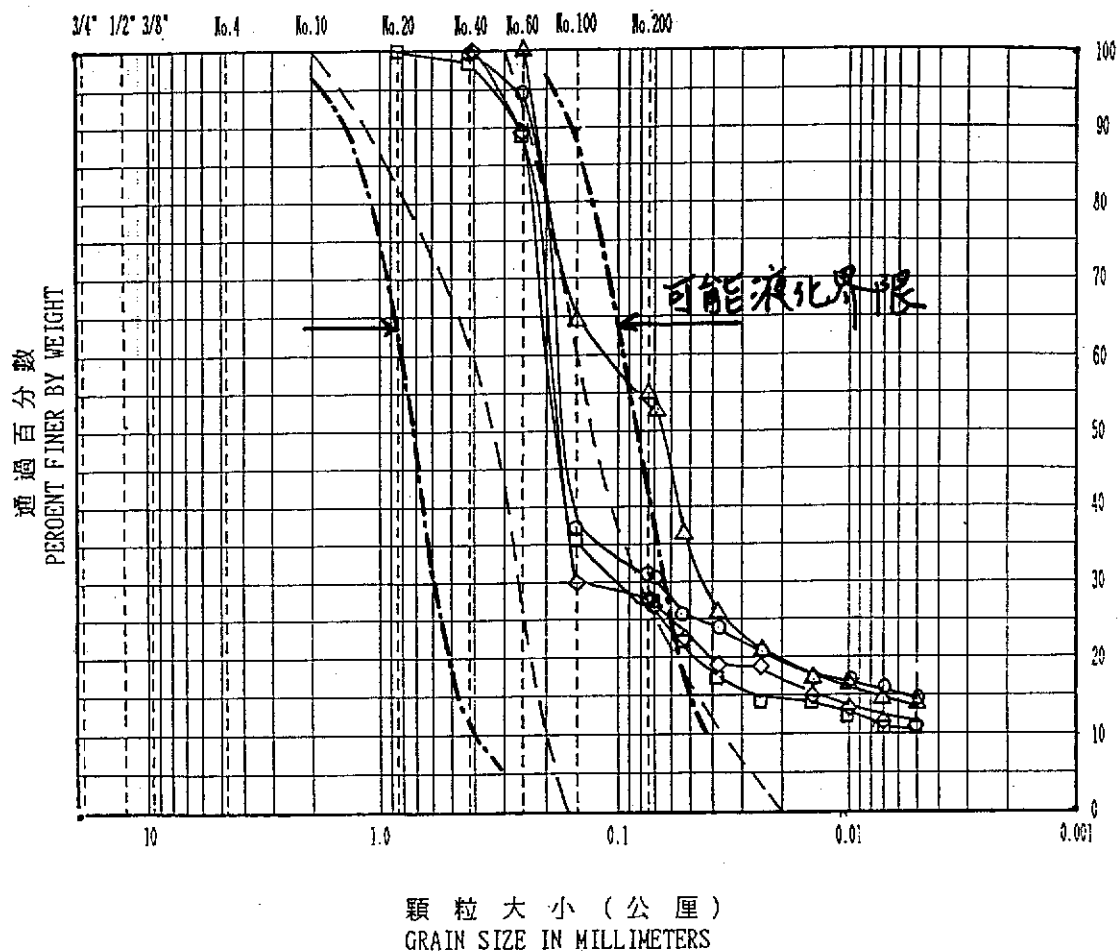
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-3	S-5	7.05-7.50	○	0	92.1	0.8	7.1	SP-SM	7.9
	S-6	8.55-9.00	△	0	92.9	1.3	5.8	SP-SM	7.1
	S-7	10.20-10.65	□	0	82.6	7.5	9.9	SM	17.4
	S-8	11.70-12.15	◇	0	64.9	17.8	17.3	SM	35.1

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

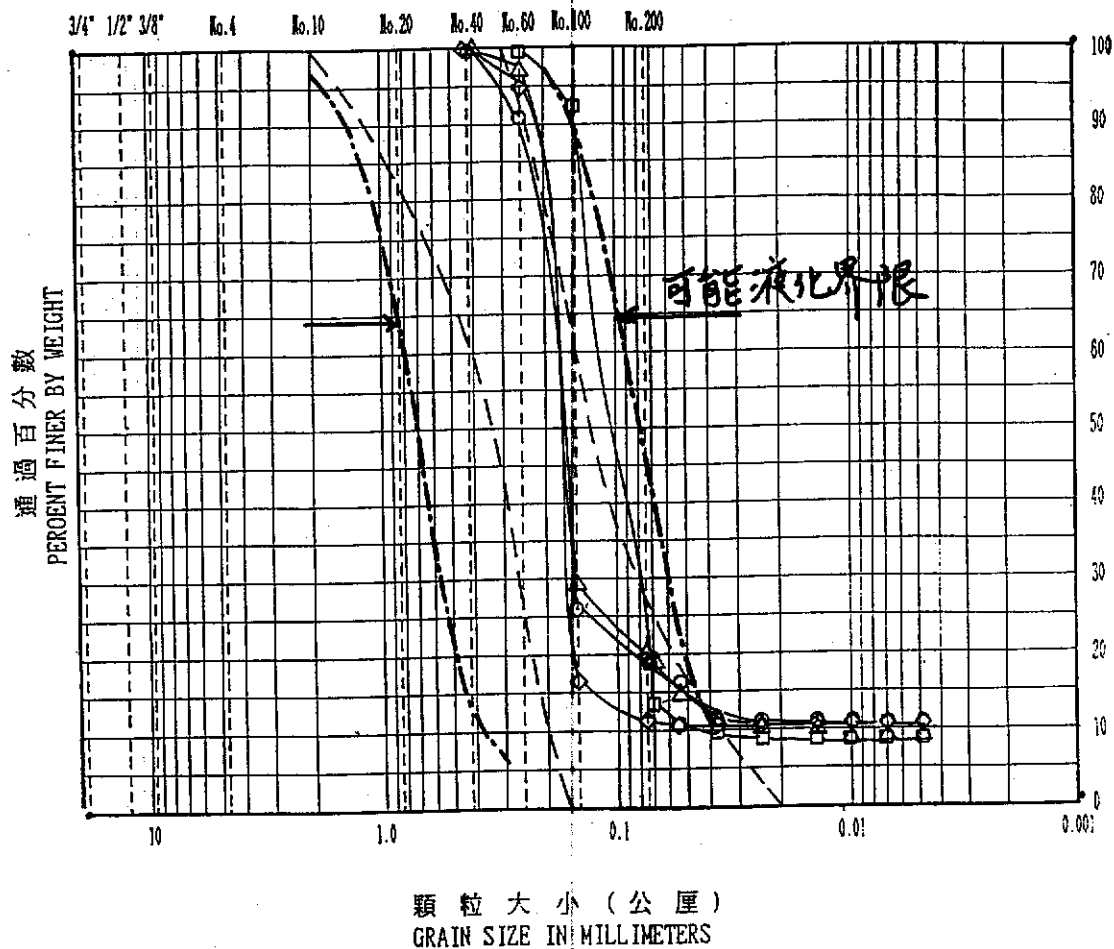


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-3	S-9	13.20-13.65	○	0	68.3	17.3	14.4	SM	31.7
	S-10	14.70-15.15	△	0	45.4	41.0	13.6	ML	54.6
	S-11	16.05-16.50	□	0	72.1	16.9	11.0	SM	27.9
	S-12	17.55-18.00	◇	0	72.6	16.1	11.3	SM	27.4

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

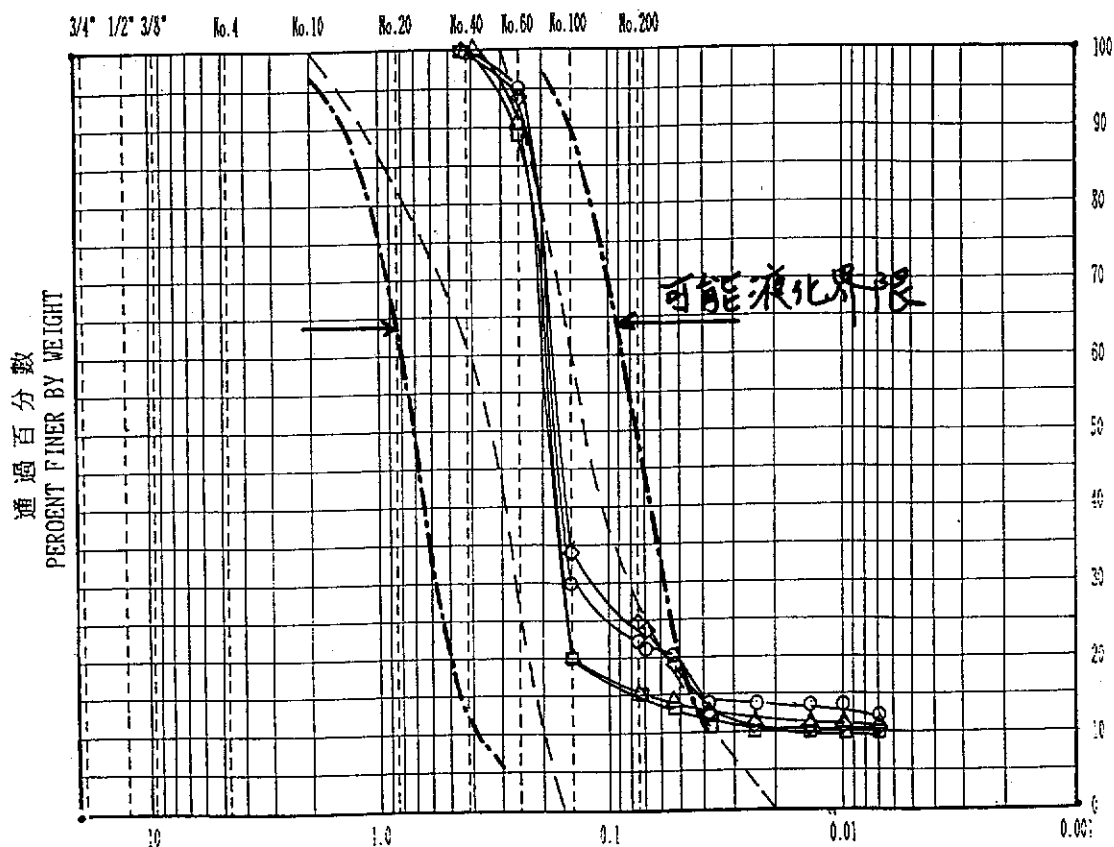


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-3	S-13	19.20-19.65	○	0	80.9	7.9	11.2	SM	19.1
	S-14	20.55-21.00	△	0	79.6	11.9	8.5	SM	20.4
	S-15	22.05-22.50	□	0	81.1	10.4	8.5	SM	18.9
	S-16	23.70-24.15	◇	0	88.0	1.0	11.0	SM	12.0

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



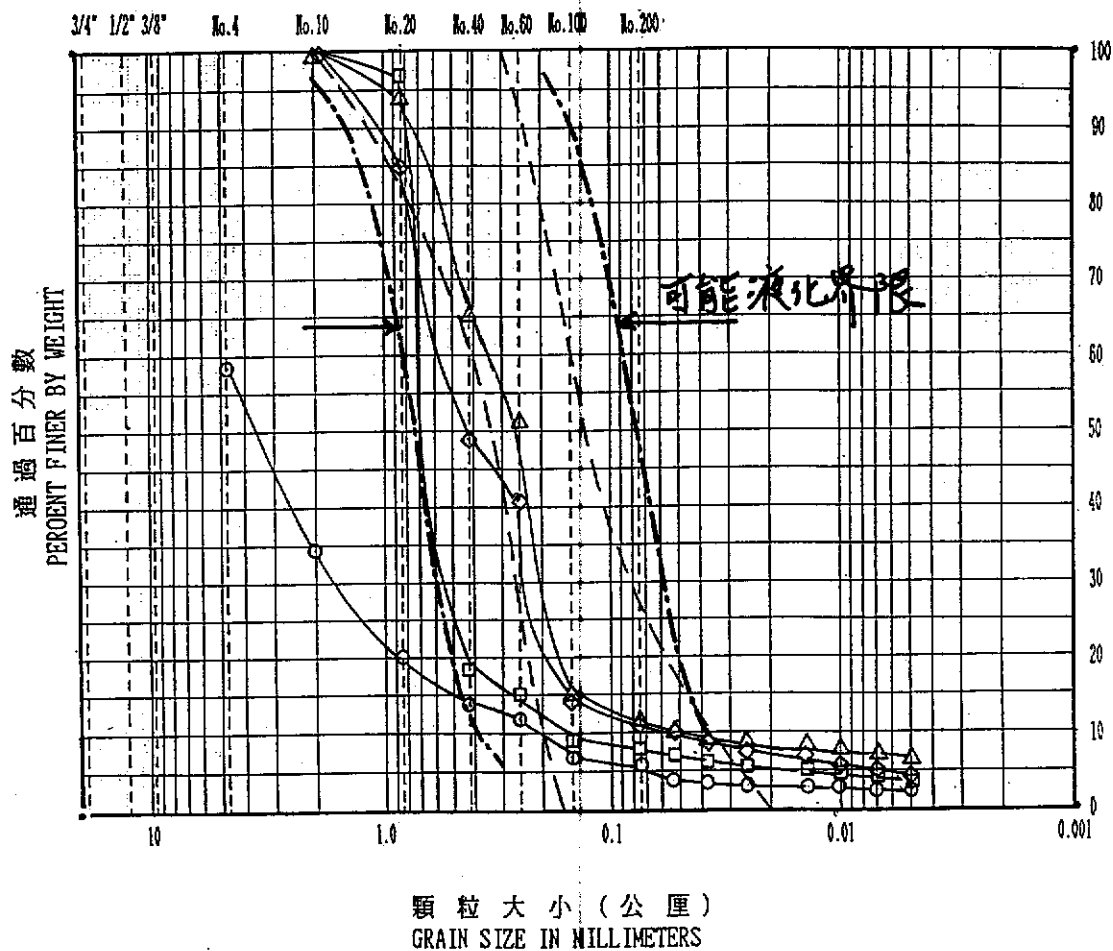
顆粒大小 (公厘)
GRAIN SIZE IN MILLIMETERS

卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-3	S-17	25.05-25.50	○	0	77.4	10.0	12.6	SM	22.6
	S-18	26.55-27.00	△	0	84.6	4.4	11.0	SM	15.4
	S-19	28.20-28.65	□	0	84.8	4.8	10.4	SM	15.2
	S-20	29.55-30.00	◇	0	75.4	13.6	11.0	SM	24.6

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

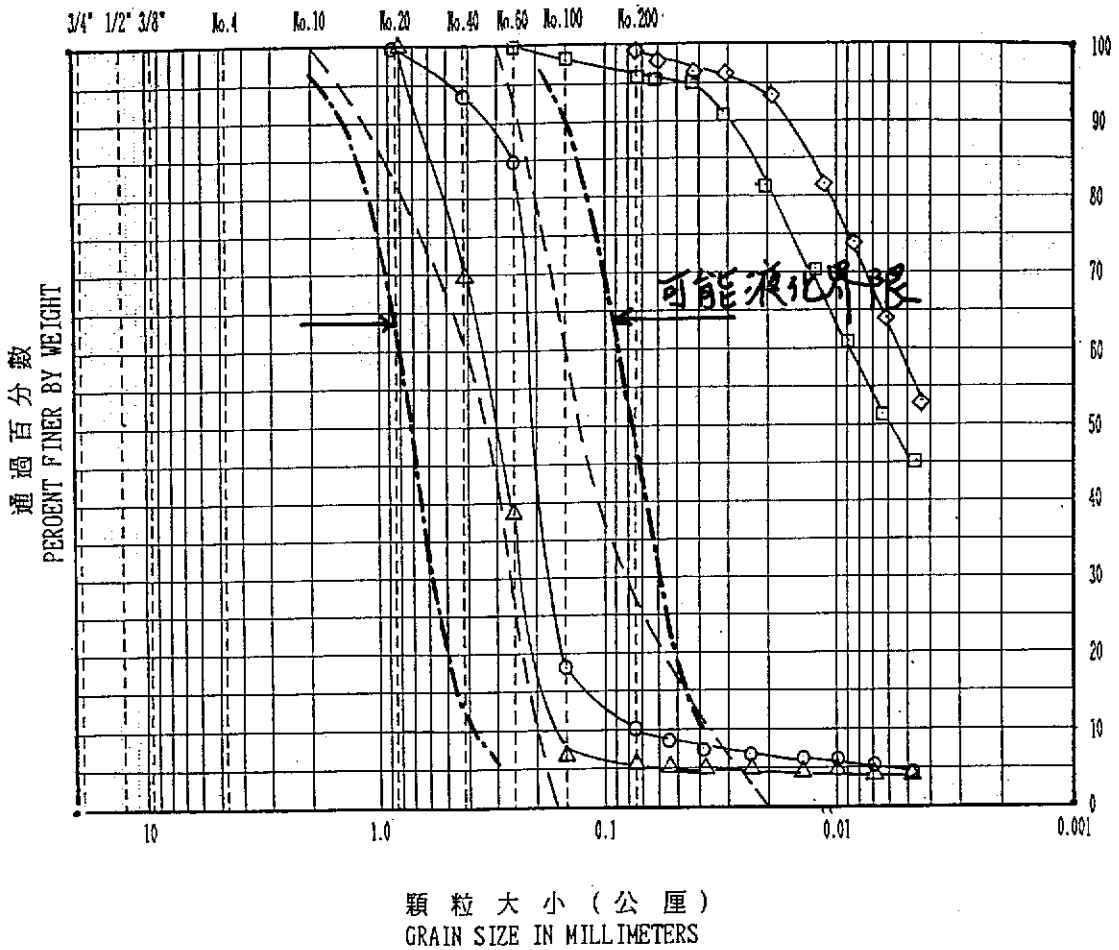


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-2	2.55-3.00	○	41.5	52.5	3.5	2.5	SP-SM	6.0
	S-3	4.05-4.50	△	0	88.5	5.7	5.8	SW-SP	11.5
	S-4	5.55-6.00	□	0	92.1	4.7	3.2	SP-SM	7.9
	S-5	7.80-8.25	◇	0	89.0	6.6	4.4	SP-SM	11.0

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

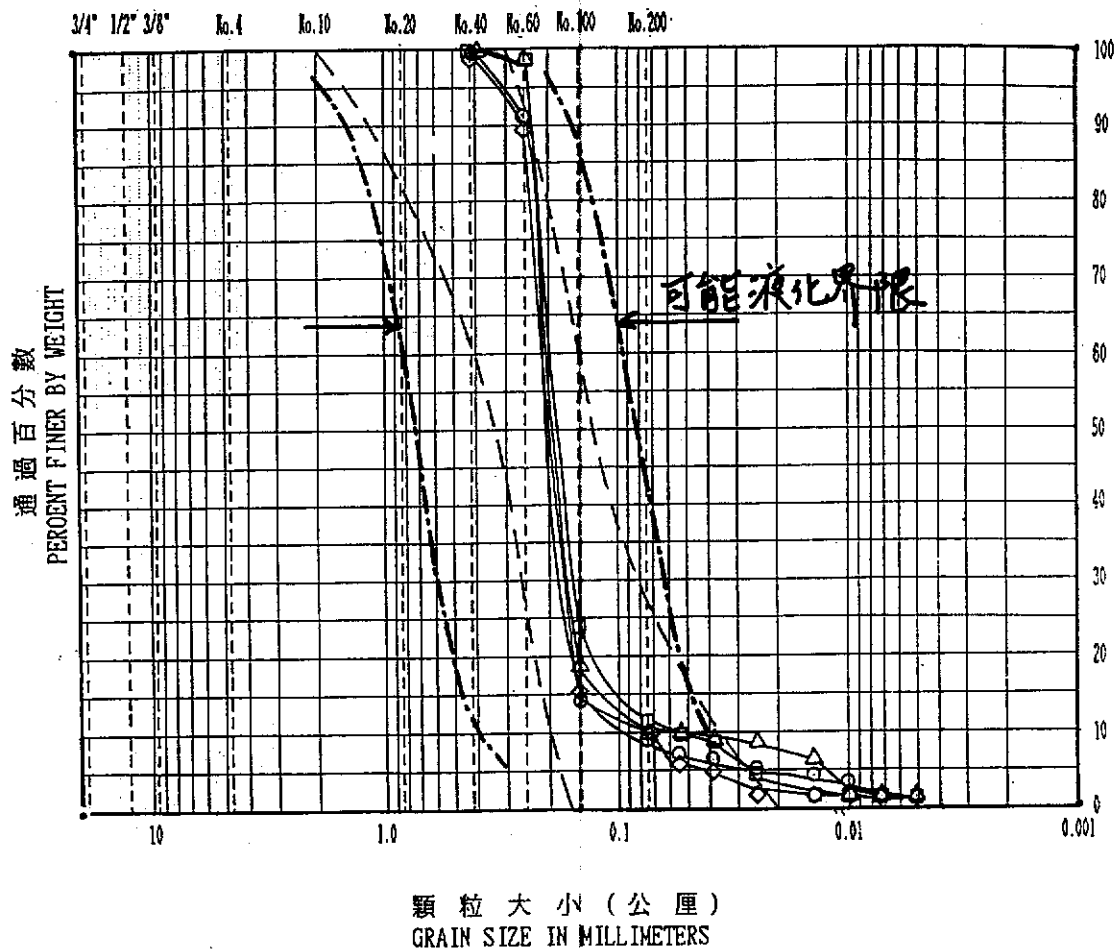
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-6	8.55-9.00	○	0	89.7	5.6	4.7	SP-SM	10.3
	S-7	10.05-10.50	△	0	94.4	2.5	3.1	SP-SM	5.6
	S-8	11.50-11.95	□	0	3.6	50.9	45.5	CL	96.4
	S-9	13.20-13.65	◇	0	1.1	45.4	53.5	CL	98.9

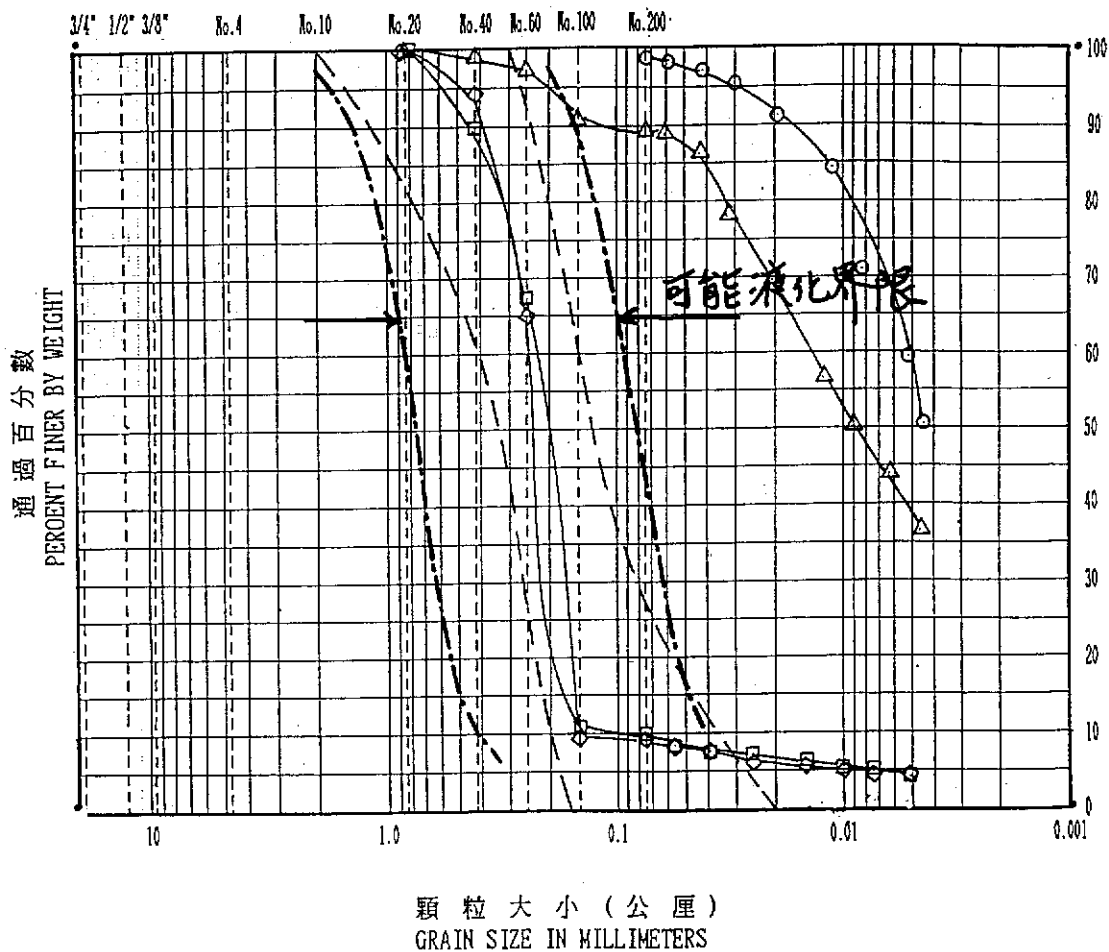
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-10	14.70-15.15	○	0	91.2	7.2	1.6	SP-SM	8.8
	S-11	16.05-16.50	△	0	90.5	7.9	1.6	SP-SM	9.5
	S-12	17.55-18.00	□	0	88.1	10.3	1.6	SP-SM	11.9
	S-13	19.20-19.65	◇	0	90.5	7.9	1.6	SP-SM	9.5

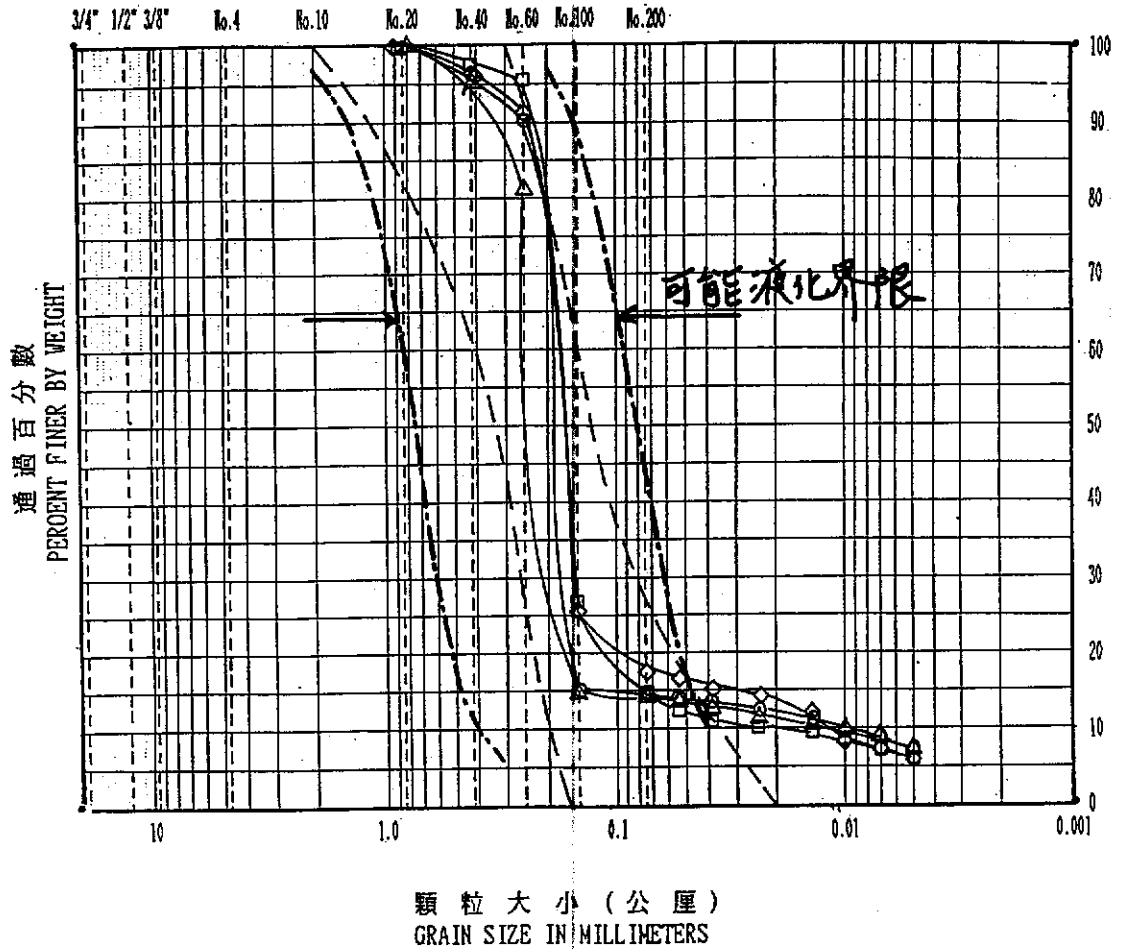
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-14	20.55-21.00	○	0	1.3	48.0	50.7	CL	98.7
	S-15	22.05-22.50	△	0	11.2	52.0	36.8	CL	88.8
	S-16	23.70-24.15	□	0	89.6	6.4	4.0	SP-SH	10.4
	S-17	25.05-25.50	◇	0	91.1	4.9	4.0	SP-SH	8.9

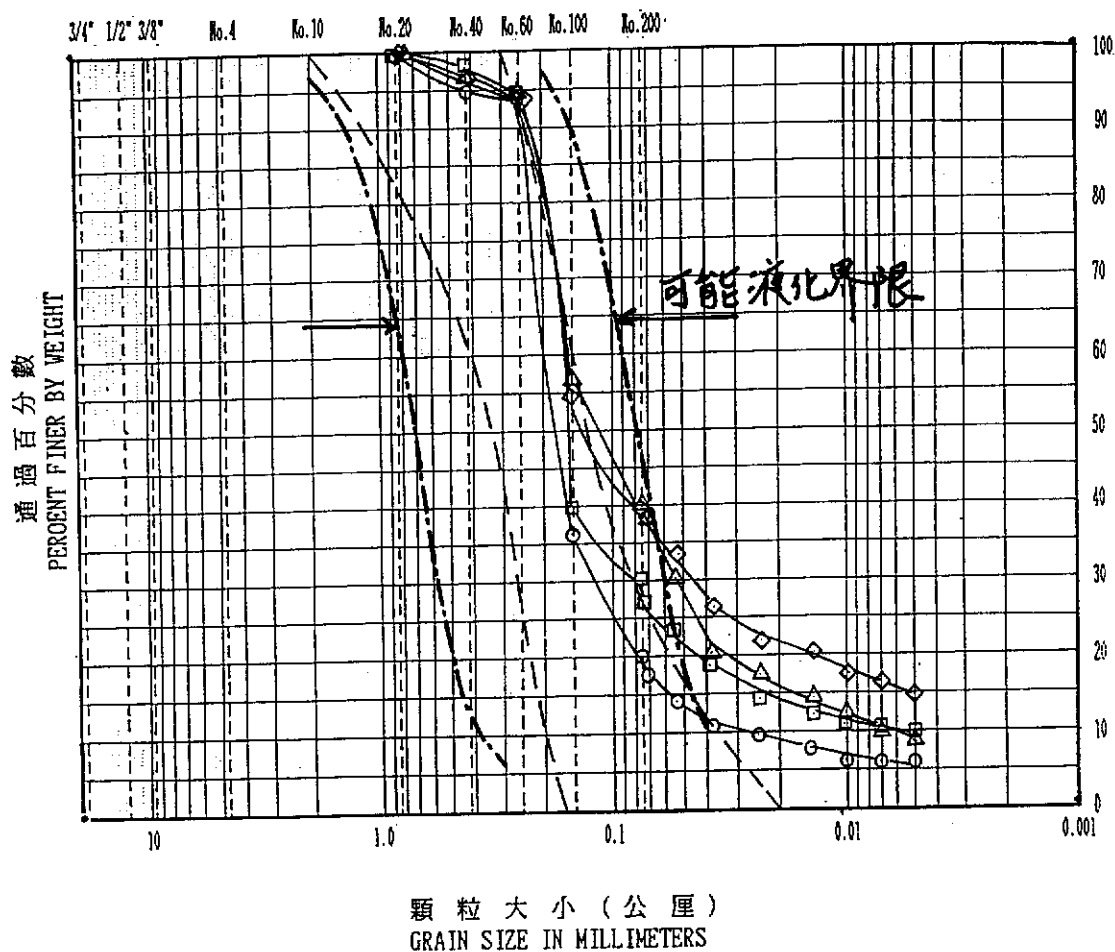
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-18	26.55-27.00	○	0	85.3	7.2	7.5	SM	14.7
	S-19	28.20-28.65	△	0	86.1	6.2	7.7	SM	13.9
	S-20	29.55-30.00	□	0	85.2	8.2	6.6	SM	14.8
	S-21	31.05-31.50	◇	0	82.4	11.0	6.6	SM	17.6

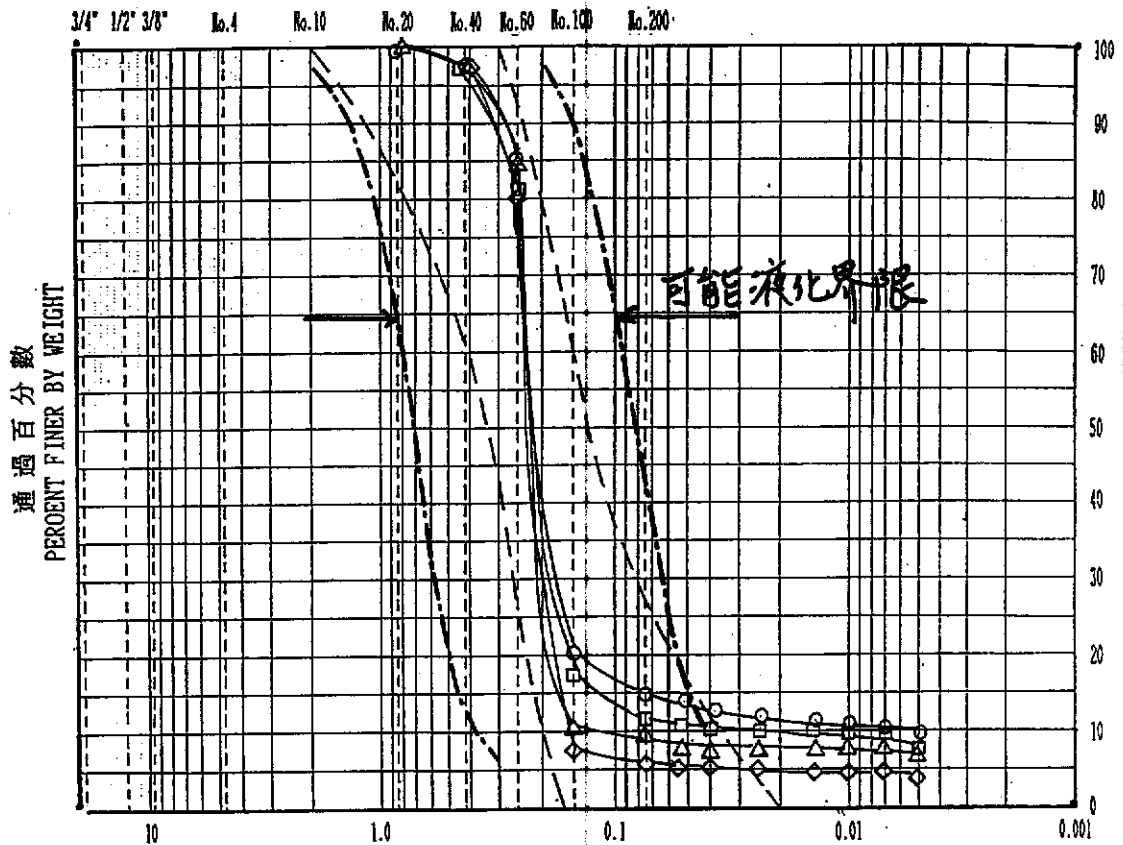
美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-22	32.55-33.00	○	0	79.7	14.0	6.3	SM	20.3
	S-23	34.20-34.65	△	0	59.9	31.6	8.5	SM	40.1
	S-24	34.55-36.00	□	0	69.2	21.3	9.5	SM	30.8
	S-25	37.05-37.50	◇	0	60.1	25.2	14.7	SM	39.9

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



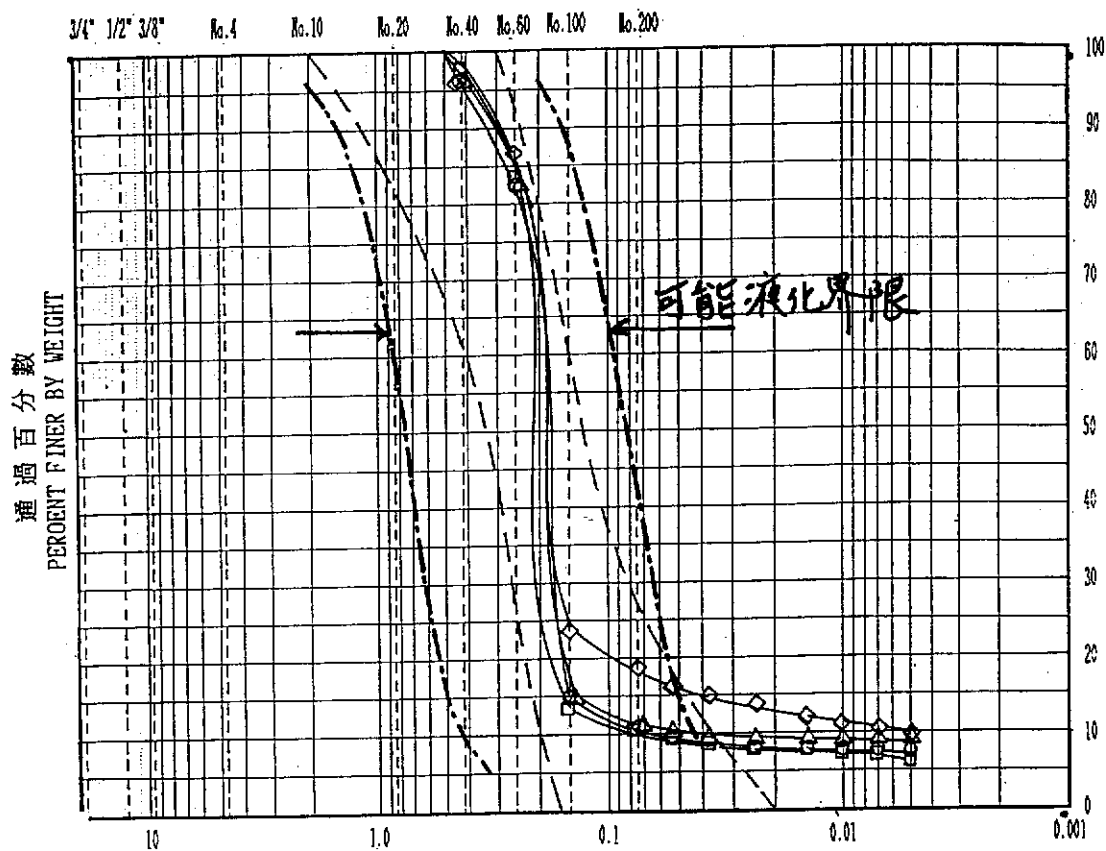
顆粒大小 (公厘)
GRAIN SIZE IN MILLIMETERS

卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-26	38.70-39.15	○	0	85.3	5.2	9.5	SH	14.7
	S-27	40.05-40.50	△	0	91.6	1.8	6.6	SP-SH	8.4
	S-28	41.55-42.00	□	0	87.8	4.5	7.7	SM	12.2
	S-29	43.20-43.65	◇	0	93.7	2.5	3.8	SP-SM	6.3

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

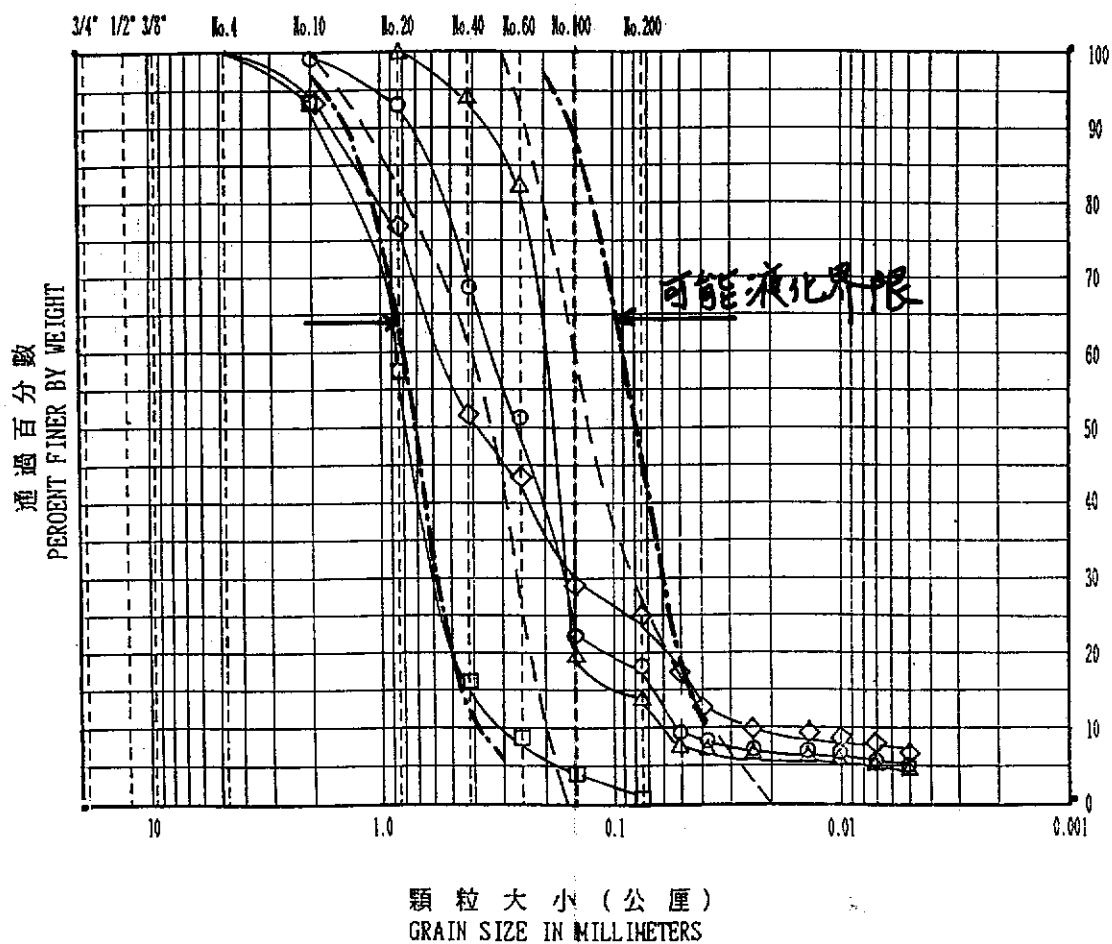


顆粒大小 (公厘)
GRAIN SIZE IN MILLIMETERS

卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-4	S-30	44.55-45.00	○	0	88.7	2.7	8.6	SP-SM	11.3
	S-31	46.05-46.50	△	0	88.7	2.4	8.9	SP-SM	11.3
	S-32	47.55-48.00	□	0	89.1	4.2	6.7	SP-SM	10.9
	S-33	49.55-50.00	◇	0	81.5	8.5	10.0	SM	18.5

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

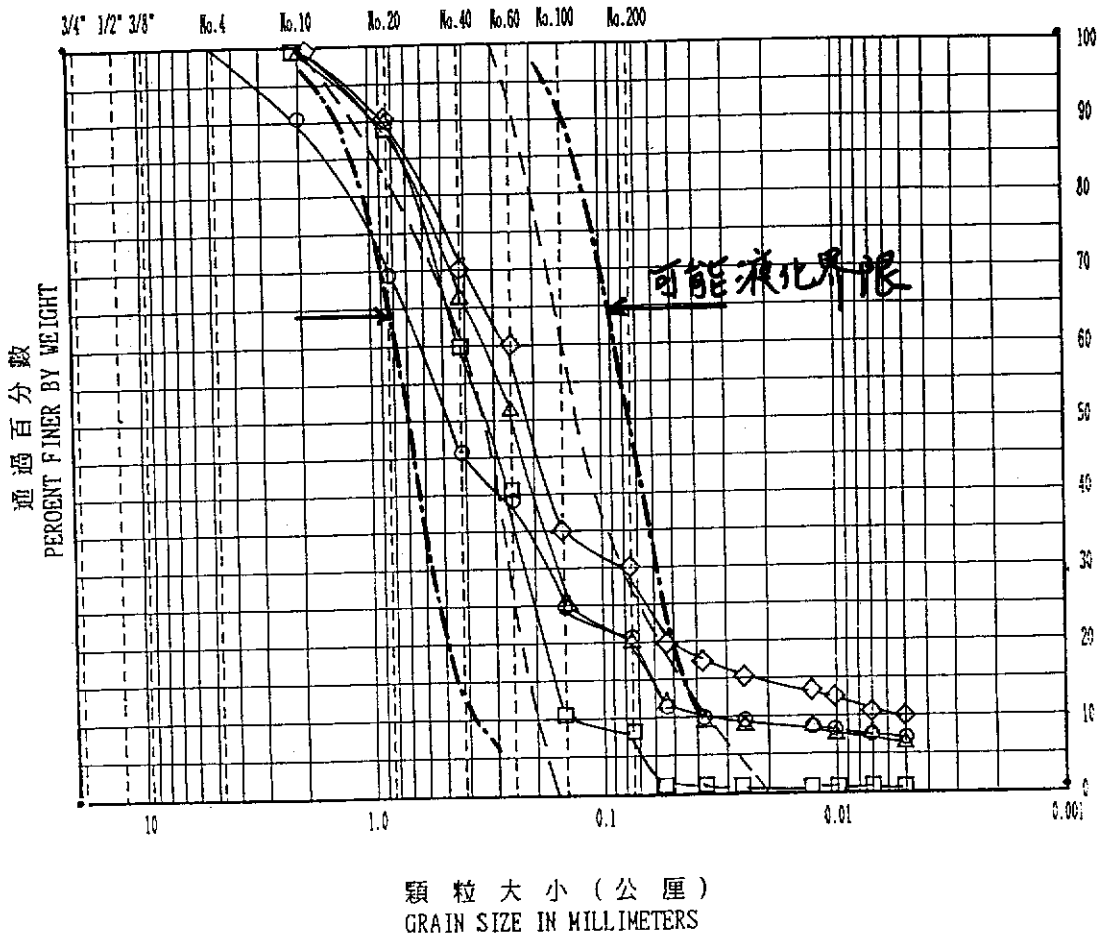


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-5	S-1	1.05-1.50	○	0	82.0	13.0	5.0	SM	18
	S-2	2.55-3.00	△	0	87.0	9.0	4.0	SM	13
	S-3	4.05-4.50	□	0	99.0	1.0	0.0	SP	1
	S-4	5.55-6.00	◇	0	75.0	18.0	7.0	SM	25

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

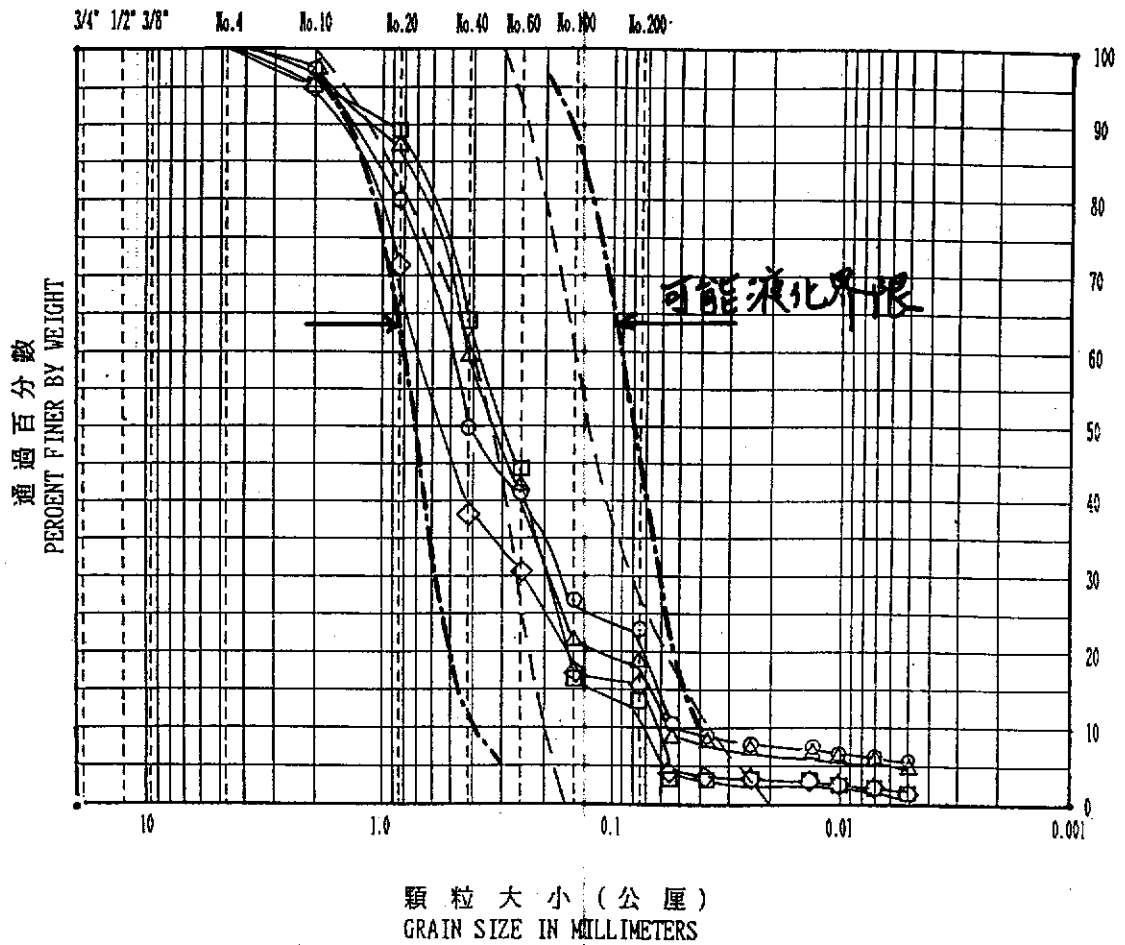


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-5	S-5	7.05-7.50	○	0	79.0	14.0	7.0	SM	2/
	S-6	8.55-9.00	△	0	80.0	14.0	6.0	SM	> 0
	S-7	10.05-10.50	□	0	92.0	7.0	1.0	SP-SM	2
	S-8	11.55-12.00	◇	0	70.0	20.0	10.0	SM	> 0

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

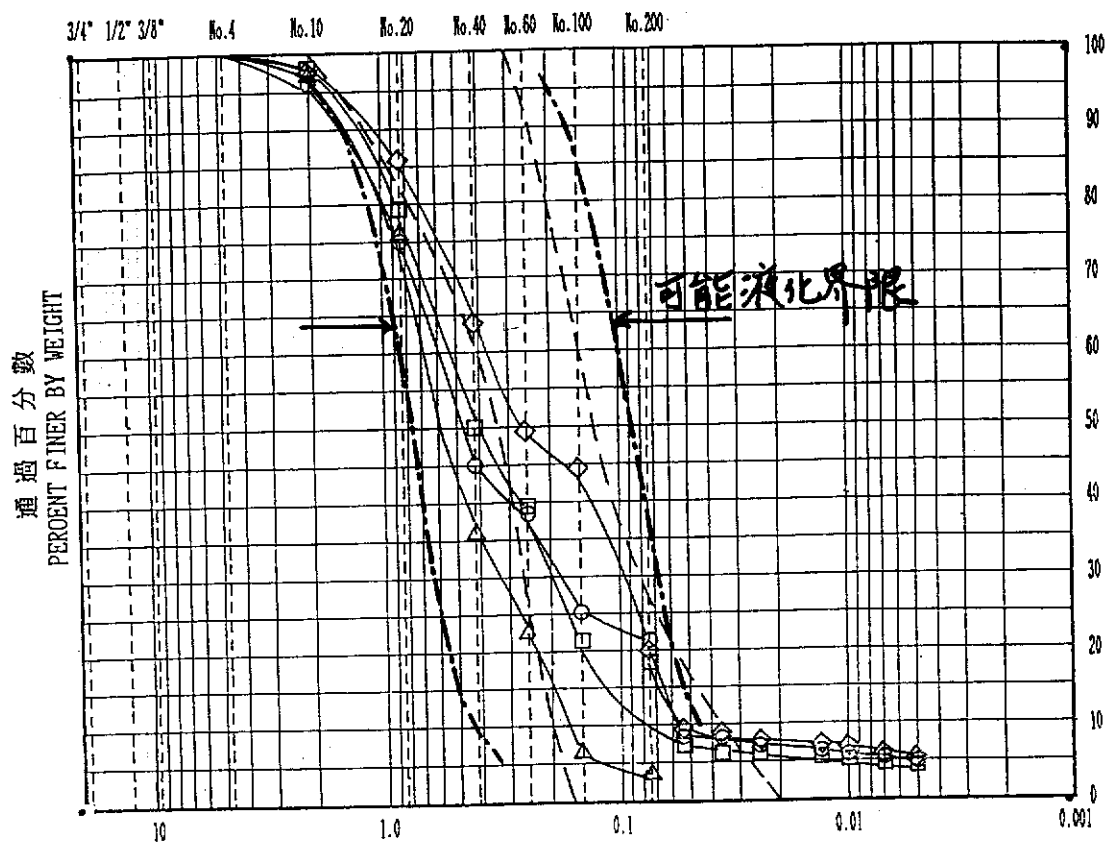


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-5	S-9	13.05-13.50	○	0	77.0	17.0	6.0	SM	23
	S-10	14.55-15.00	△	0	82.0	13.0	5.0	SM	18
	S-11	16.05-16.50	□	0	87.0	11.0	2.0	SM	13
	S-12	17.55-18.00	◇	0	84.0	14.0	2.0	SM	16

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



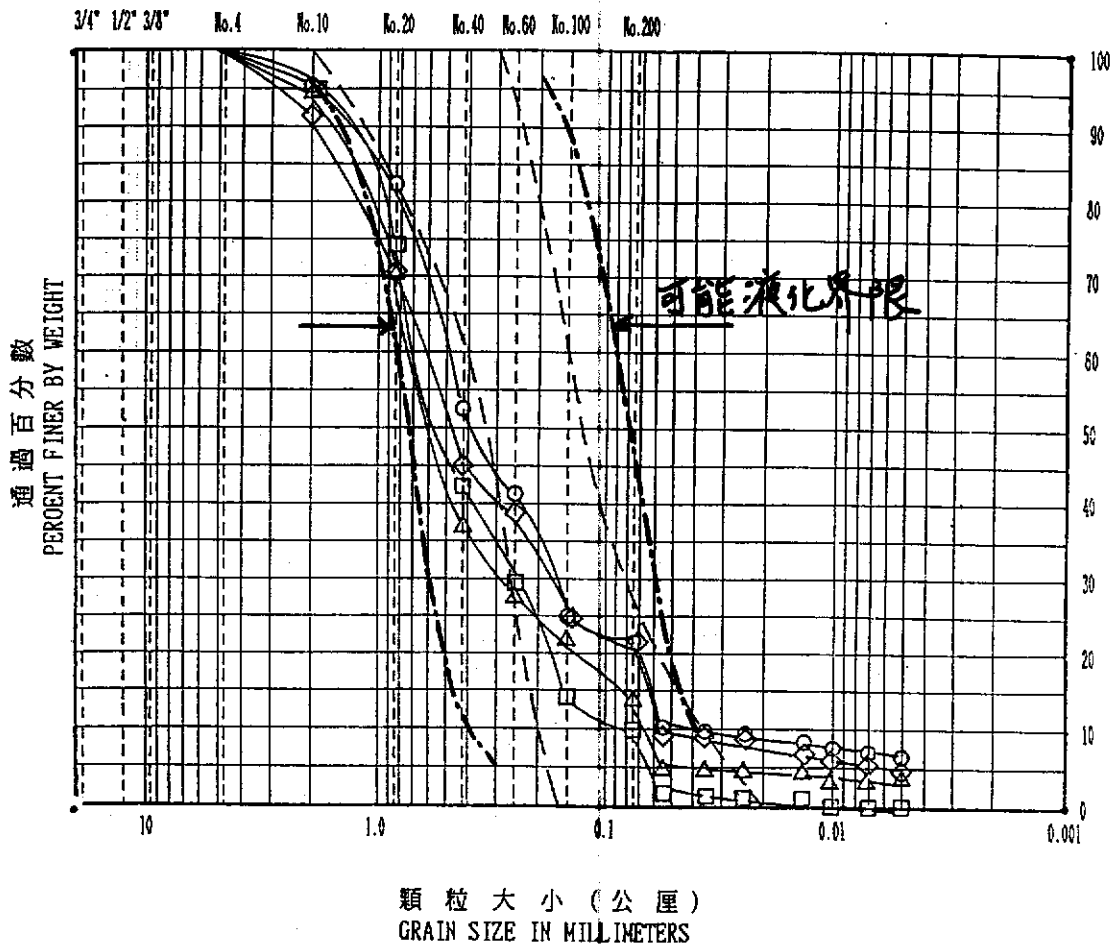
顆粒大小 (公厘)
GRAIN SIZE IN MILLIMETERS

卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-5	S-13	19.05-19.50	○	0	78.0	17.0	5.0	SM	>2
	S-14	20.50-21.00	△	0	97.0	3.0	0.0	SP	3
	S-15	22.05-22.50	□	0	82.0	14.0	4.0	SM	18
	S-16	23.55-24.00	◇	0	80.0	15.0	5.0	SM	>0

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

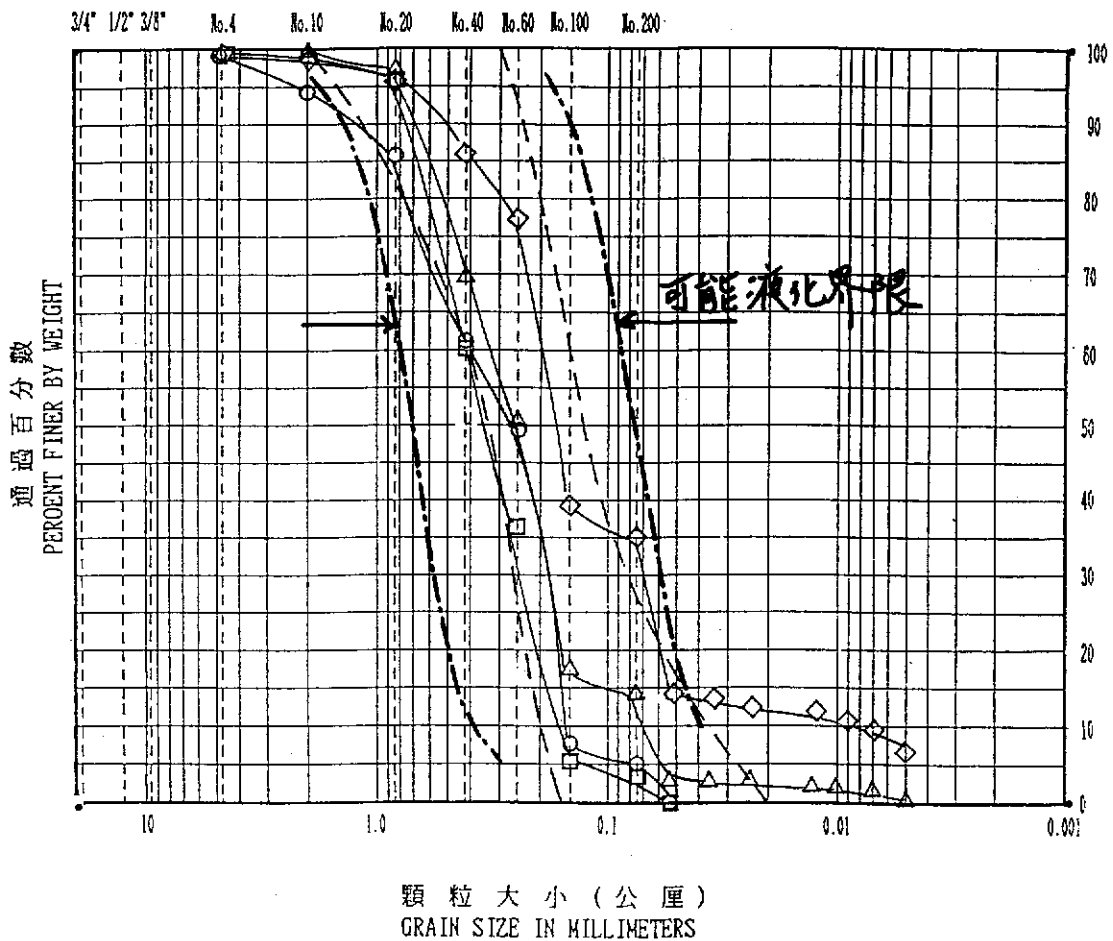


卵 石	粗 砂	中 砂	細 砂	粉 土	黏 土
-----	-----	-----	-----	-----	-----

鑽 孔	土 樣	深 度	符 號	卵 石	砂	粉 土	黏 土	分 類	註 明
B-5	S-17	25.05-25.50	○	0	78.0	15.0	7.0	SM	> 2
	S-18	26.55-27.00	△	0	87.0	10.0	3.0	SM	13
	S-19	28.05-28.50	□	0	90.0	10.0	0.0	SP-SM	10
	S-20	29.55-30.00	◇	0	78.0	17.0	5.0	SM	> 2

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

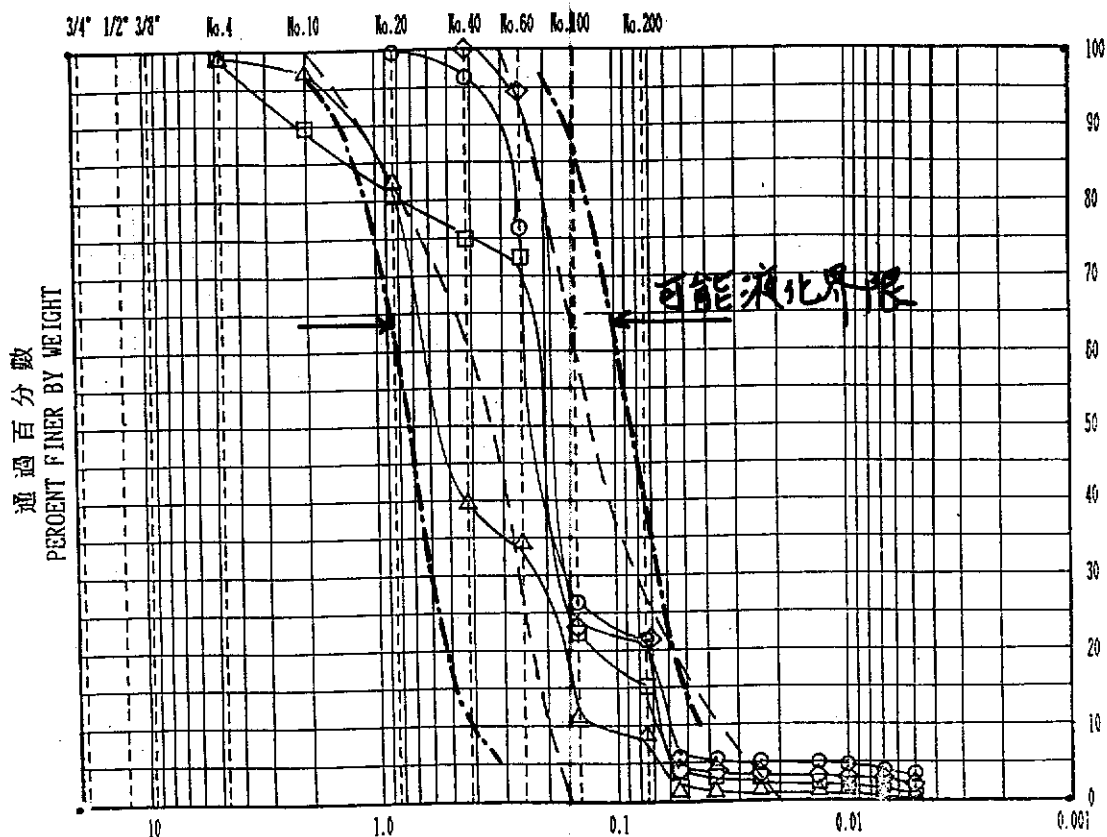


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-6	S-1	1.05-1.50	○	1.0	94.0	5.0	0.0	SP	5
	S-2	2.55-3.00	△	0	86.0	14.0	0.0	SM	14
	S-3	4.05-4.50	□	1.0	96.0	3.0	0.0	SP	3
	S-4	5.55-6.00	◇	1.0	64.0	28.0	7.0	SM	35

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



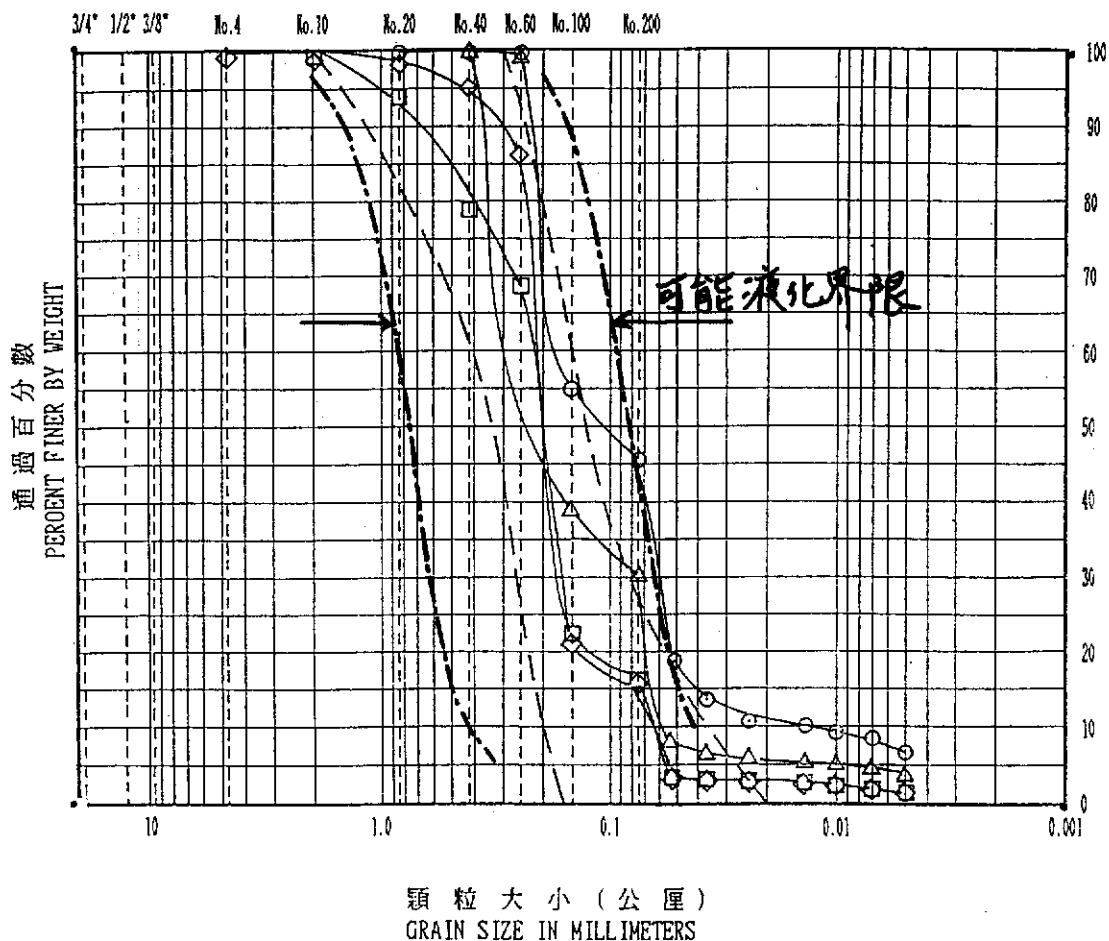
顆粒大小 (公厘)
GRAIN SIZE IN MILLIMETERS

卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-6	S-5	7.10-7.55	○	0	78.0	19.0	3.0	SM	22
	S-6	8.55-9.00	△	0	92.0	7.0	1.0	SP-SH	8
	S-7	10.05-10.50	□	2.0	84.0	12.0	2.0	SM	14
	S-8	11.55-12.00	◇	0	78.0	20.0	2.0	SM	22

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

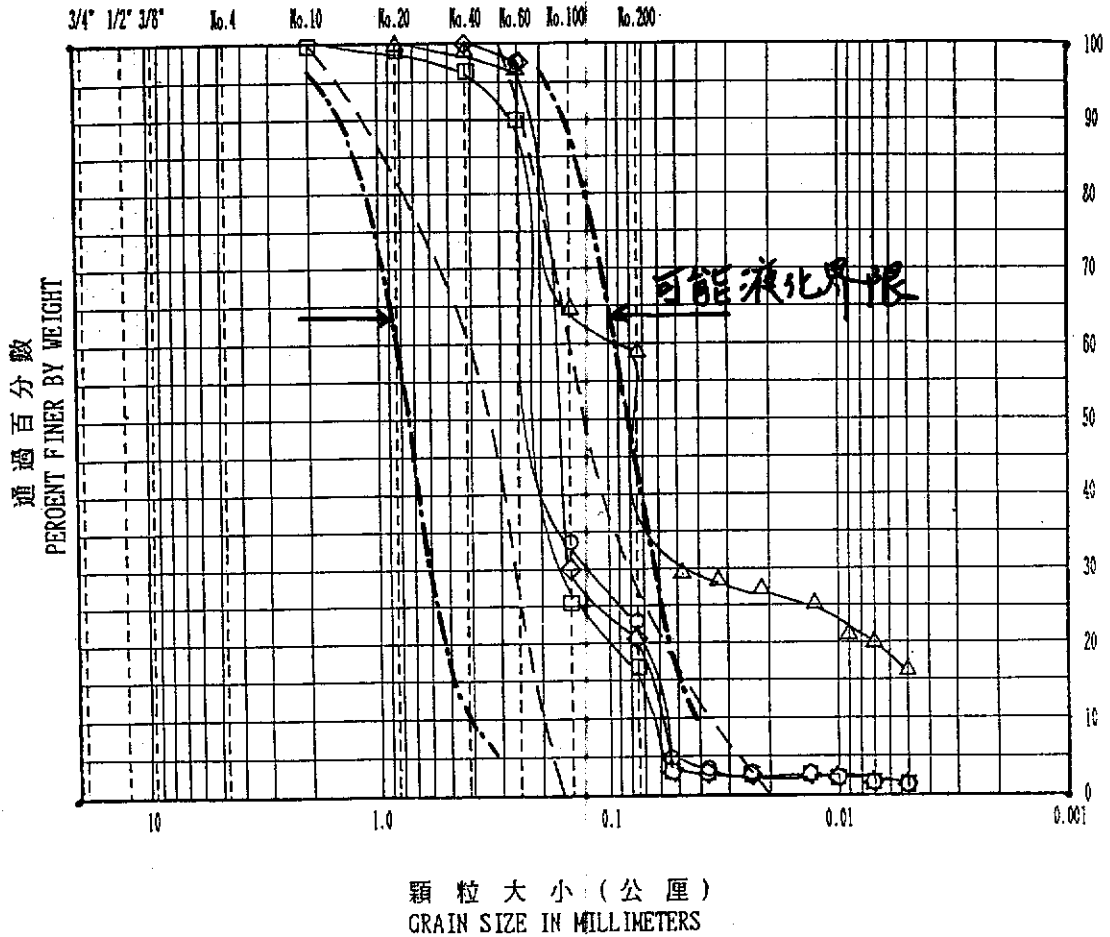


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-6	S-9	13.10-13.55	○	0	54.0	39.0	7.0	SM	4/6
	S-10	14.55-15.00	△	0	70.0	27.0	3.0	SM	3/5
	S-11	16.05-16.50	□	0	83.0	15.0	2.0	SM	1/2
	S-12	17.55-18.00	◇	1.0	83.0	14.0	2.0	SM	1/2

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE

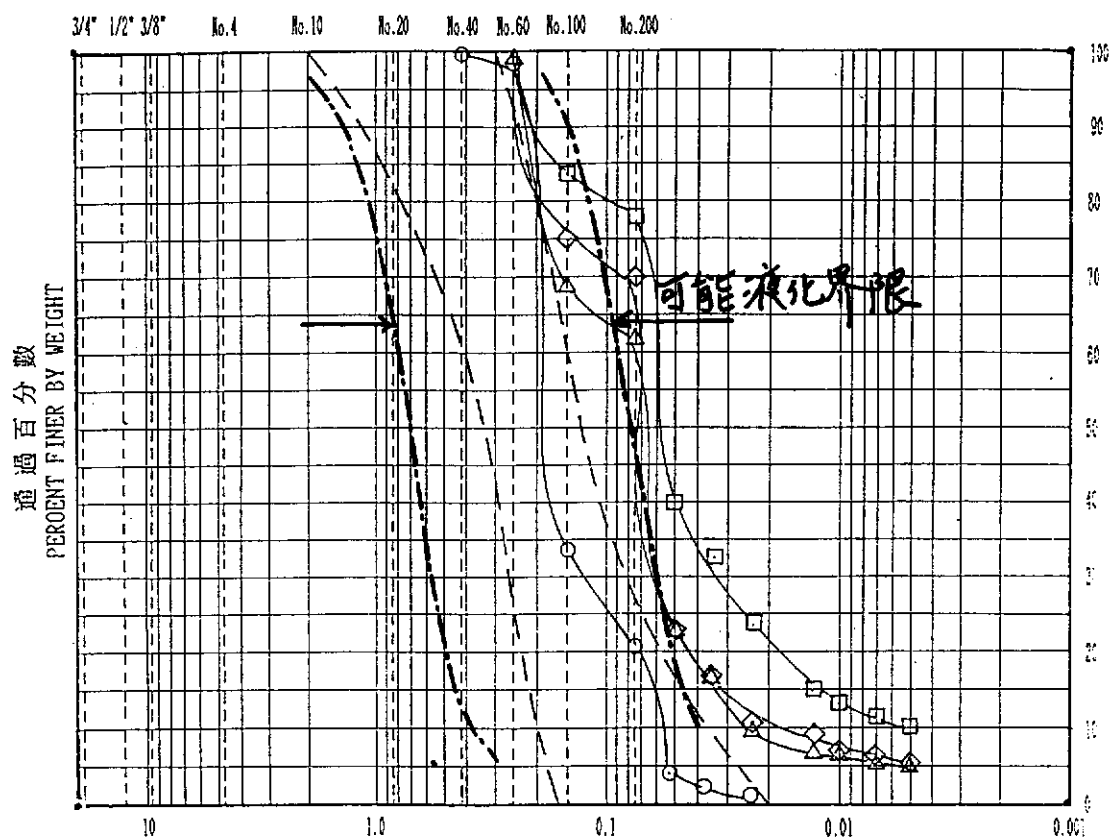


卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-6	S-13	19.05-19.50	○	0	77.0	21.0	2.0	SM	23
	S-14	20.50-21.00	△	0	42.0	42.0	16.0	ML	58
	S-15	22.05-22.50	□	0	83.0	15.0	2.0	SM	17
	S-16	23.55-24.00	◇	0	79.0	81.0	2.0	SM	21

吉泰工程顧問有限公司
GEOTECH Engineering Consultants Co.

美國標準篩
U.S. STANDARD SIEVE SIZE



卵石	粗砂	中砂	細砂	粉土	黏土
----	----	----	----	----	----

鑽孔	土樣	深度	符號	卵石	砂	粉土	黏土	分類	註明
B-6	S-17	25.05-25.50	○	0	79.0	21.0	0.0	SM	21
	S-18	26.55-27.00	△	0	38.0	57.0	5.0	ML	62
	S-19	28.05-28.50	□	0	22.0	68.0	10.0	ML	78
	S-20	29.55-30.00	◇	0	30.0	64.0	6.0	ML	70

附錄三

高雄深水港港址附近土層資料
鑽探記錄表和鑽探及試驗表

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港碼頭定位測量 地點 日期 67.12.14
鑽孔編號 B15 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 3.1 m
Hole No. B15 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 3.1 m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁壓 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	容重 γ _a (T/m ³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	0		0	砂質粉土 (SP)	12.3	2.65	2.00	0.49						-
S ₁	1.0		7	砂質粉土 (SP-SM)	17.8	2.66	1.87	0.67						29.1
S ₂	2.3		8	含砂粉土 (SM)	24.3	2.67	1.94	0.71						29.4
S ₃			14	"	16.1	"	2.04	0.52						21.2
S ₄			13	砂質粉土 (SM)	17.7	"	2.06	0.53						20.9
S ₅			16	"	14.3	"	2.03	0.53						21.8
S ₆			19	"	24.6	"	1.97	0.69						22.7
S ₇			21	"	21.6	"	2.03	0.60						23.3
S ₈			20	"	19.4	"	2.03	0.57						23.0
S ₉	13.3		3	含砂粉土 (ML)	28.3	2.68	1.95	0.76						27.9
S ₁₀			3	粉土 (CL)	24.0	"	2.00	0.66						27.9
S ₁₁			5	含砂粉土 (ML)	25.9	"	1.90	0.78						28.5
S ₁₂	17.2		25	(SM)	24.5	2.67	1.98	0.68						24.5
S ₁₃			27	"	19.8	"	2.03	0.58						25.1

備註：容許容重以基礎寬 1.5 公尺為計算
Remarks: Q_a Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港口預定位置地質 地點 日期 69.12.16
鑽孔編號 B15 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 3.1m
Hole No. B15 Sampler Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 3.1m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地 密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁壓 壓強 強度 Qu (T/m²)	載重量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14			29	砂壤土 (SM)	15.7	2.67	2.04	0.51						35.7
S15			30	"	14.2	"	2.03	0.50						36.0
S16			31	"	26.8	"	1.85	0.74						36.3
S17			32	"	23.4	"	2.00	0.65						36.6
S18			34	"	22.7	"	2.00	0.65						37.2
S19	-29.9		35	砂壤土 (ML)	22.8	2.68	2.02	0.63						37.5
S20	-29.5		35	(SM)	26.3	2.67	1.85	0.73						37.5
S21	-30.0		40	"	22.3	"	2.01	0.62						39.0
S22			41	"	19.4	"	2.04	0.56						39.3
S23			39	"	16.3	"	2.03	0.53						38.7
S24			40	"	24.5	"	2.01	0.66						39.0
S25			41	(ML)	22.4	2.68	2.03	0.62						39.3
S26			40	"	17.8	"	2.04	0.55						39.0

備註：容許容重以基脚寬 1.5 公尺寬方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第五港口預定位置勘探 地點 日期 69.12.14
鑽孔編號 B15 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 3.1m
Hole No. B15 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗擊數 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性限度 L.L. (%)	塑性限度 P.L. (%)	塑性指數 P.I. (%)	無旁來壓縮強度 Qu (T/m ²)	垂直荷重 Qa (T/m ²)	內摩擦角 φ (Deg)
S27			27	粉土 (ML)	25.6	2.68	1.91	0.76						28.1
S28			29	"	25.3	"	1.98	0.69						25.7
S29			30	"	26.3	"	1.98	0.71						26.0
S30			32	"	25.6	"	1.99	0.69						26.6
S31			35	"	26.8	"	1.97	0.72						27.5
S32			26	"	24.8	"	1.98	0.69						27.8
S33	3.00		25	"	22.3	"	2.04	0.61						27.5

備註：容許垂直荷重以基面寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港中樑定位鑽探 地點

日期 69. 12. 14

鑽孔編號 B16

取土器 2" Standard Split Spoon

高程

地下水位 水深 4 m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性限度 L.L. (%)	塑性限度 P.L. (%)	塑性指數 P.I. (%)	無側限壓強強度 Qu (T/m²)	真實量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	-0.1		0	粉質砂土 (SP)	8.00	2.65	1.97	0.45						-
S ₁	-2.2		10	粉質砂土 (SP-SH)	22.4	2.66	2.00	0.63						30.0
S ₂			13	粉質砂土 (SH)	22.1	2.67	2.03	0.61						30.9
S ₃			15	"	16.7	"	2.04	0.53						31.5
S ₄			16	"	15.7	"	2.04	0.51						31.2
S ₅	-7.2		5	粉質砂土 (SH)	29.7	2.48	1.93	0.80						28.5
S ₆	-9.4		16	"	27.8	"	1.94	0.76						31.8
S ₇			18	粉質砂土 (SH)	14.2	2.67	2.03	0.50						32.4
S ₈			20	"	15.5	"	2.03	0.52						33.0
S ₉	-14.6		4	粉質砂土 (SH)	30.8	2.70	2.25	0.91	45.2	21.9	23.5	4.0	4.8	-
S ₁₀	-16.1		5	(SH)	22.0	2.68	1.87	0.25						28.5
S ₁₁			22	(SH)	17.2	2.67	2.04	0.56						33.6
S ₁₂			27	"	26.2	"	1.98	0.77						35.1
S ₁₃			29	"	21.9	"	2.02	0.61						35.7

備註：擊數重量以直徑 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室

LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港口預定位置地質 地點 日期 69.12.16
 Project Location Date
 鑽孔編號 B16 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 4m
 Hole No. Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限 L.L. (%)	塑性 限 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	容重 Qa (T/m ²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14			31	砂質粘土 (CL)	16.4	2.67	2.04	0.52						35.7
S15			33	"	13.8	"	2.04	0.49						36.3
S16			36	"	22.3	"	2.01	0.62						36.9
S17			32	"	13.2	"	2.01	0.50						37.8
S18			33	"	17.3	"	2.03	0.54						36.6
S19			35	"	18.2	"	2.03	0.55						30.7
S20	-30		37	"	20.8	"	2.00	0.64						37.5
S21			37	"	23.5	"	2.00	0.65						38.1
S22			40	"	25.4	"	1.97	0.70						38.1
S23			41	"	21.6	"	2.01	0.62						39.0
S24			40	砂質粘土 (CL)	15.8	2.68	2.03	0.53						39.3
S25			43	"	13.6	"	2.03	0.50						39.0
S26	-32.7		45	(SM)	26.4	"	1.93	0.75						39.9

備註：容重與重量以基礎寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第一港埠定位及打樁 地點 日期 6.12.14
鑽孔編號 B16 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 4m
Hole No. B16 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 4m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓強 強度 Qu (T/m²)	容重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27			46	灰色黏土 (ML)	25.2	2.68	2.00	0.68						40.8
S28			47		26.3	"	1.98	0.71						41.1
S29			48		26.1	"	1.97	0.71						41.4
S30			30		25.2	"	1.97	0.70						36.0
S31			31		28.5	"	1.94	0.78						36.3
S32			36		22.6	"	2.01	0.63						37.8
S33			40		20.3	"	2.03	0.61						39.0

備註：容許容重以基礎寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港頭新港埠工程 地點 日期 69.12.18
鑽孔編號 B17 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 地表面
Hole No. B17 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 地表面

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試探編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁壓 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	容重 或重量 Qa (T/m ²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S0	0		4	粉砂土 (SP)	10.9	2.65	1.98	0.48						—
S1	1.0		7	粉砂土 (SP)	22.2	2.66	2.00	0.63						29.1
S2	2.2		13	粉砂土 (SP)	14.0	2.67	2.04	0.49						30.9
S3			15	"	17.0	"	2.03	0.54						31.5
S4			16	"	12.5	"	2.03	0.68						31.8
S5			10	"	21.3	"	2.04	0.59						30.0
S6			6	"	12.1	"	2.04	0.67						28.8
S7			19	"	14.9	"	2.06	0.49						32.7
S8	2.4		18	"	8.40	"	2.06	0.62						32.4
S9			3	粉砂土 (ML)	28.7	2.68	1.84	0.78						27.9
S10			3	"	25.6	"	1.95	0.72						27.9
S11	1.6		20	(SP)	18.4	2.67	2.04	0.55						33.0
S12			23	"	10.3	"	2.03	0.45						32.9
S13			24	"	24.7	"	1.95	0.72						36.2

備註：容許容重以基面寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 Project 第三港預定位置地質 地點 Location _____ 日期 Date 69.12.10
鑽孔編號 Hole No. B.17 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 Elevation _____ 地下水位 G. W. L. 地表面

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁束 壓縮 強度 Qu (T/m²)	容重 Q _a (T/m³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₁₄			27	粉砂壤土 (SM)	22.6	2.67	1.95	0.68						35.1
S ₁₅			34	"	26.2	"	1.98	0.70						37.2
S ₁₆			36	"	24.3	"	1.98	0.68						37.8
S ₁₇			37	"	15.7	"	2.04	0.51						38.1
S ₁₈			39	"	19.1	"	2.06	0.52						38.7
S ₁₉			40	"	24.3	"	1.94	0.70						37.0
S ₂₀	→ 30		41	"	23.2	"	1.95	0.69						37.3
S ₂₁			36	"	17.3	"	2.04	0.53						37.8
S ₂₂			40	"	15.2	"	2.00	0.52						37.4
S ₂₃			41	"	23.5	"	2.01	0.64						39.3
S ₂₄			40	"	16.0	"	2.04	0.52						37.0
S ₂₅			43	"	16.2	"	2.03	0.53						39.9
S ₂₆			40	"	23.9	"	2.01	0.65						37.0

備註：容許容重以基礎寬1.5公尺為計算

Remarks: Q_a Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港預定位置地質 地點 日期 69.12.18
Project Location Date
鑽孔編號 B.7 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 地表面
Hole No. Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁壓 壓強 強度 Qu (T/m²)	垂直 載重 量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27	1.0		42	砂土 (SL)	20.3	2.67	2.03	0.58						39.6
S28	1.5		36	"	18.2	"	2.03	0.55						37.8
S29	2.0		36	"	17.0	"	2.06	0.52						37.8
S30	2.5		32	砂土 (SL)	27.8	2.68	1.87	0.83						34.6
S31	3.0		36	"	27.5	"	1.88	0.82						37.8
S32	3.5		40	"	27.4	"	1.92	0.78						39.0
S33	4.0		41	"	27.6	"	1.95	0.75						39.3

備註：容許垂直載重以基礎寬度 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第二港口核定位置鑽探 地點 日期 69.12.23
鑽孔編號 B18 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 地表面
Hole No. B18 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 地表面

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土質分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性限度 L.L. (%)	塑性限度 P.L. (%)	塑性指數 P.I. (%)	無旁束壓縮強度 Qu (T/m²)	容許量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S0	5.0													

備註：容許容重以圖面寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 高雄港第一港池疏浚工程 地點 高雄港第一港池 日期 69.12.23
鑽孔編號 B18 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地表面
Hole No. B18 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation 地表面 G. W. L. 地表面

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁生 壓維 限度 Qu (T/m ²)	容重 Qs (T/m ²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14			25	砂壤土 (Silt)	12.0	2.67	2.04	0.67						34.5
S15			30	"	26.3	"	1.95	0.73						36.0
S16			32	"	16.7	"	1.98	0.58						36.6
S17			36	"	22.0	"	2.06	0.60						37.8
S18			37	"	26.5	"	1.98	0.78						38.1
S19			40	"	12.6	"	2.03	0.68						39.0
S20	300		35	"	25.7	"	1.92	0.73						37.5
S21			36	"	24.8	"	2.00	0.67						37.8
S22			38	"	26.9	"	1.95	0.73						38.6
S23			36	"	20.6	"	2.03	0.59						37.8
S24			25	"	23.5	"	1.97	0.67						37.5
S25			40	"	25.3	"	1.98	0.69						39.0
S26			43	"	25.0	"	2.06	0.51						37.9

附註：容許容重是以基礎寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qs Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 華港碼頭定位測量 地點 日期 69.12.23
Project Location Date
鑽孔編號 B.8 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 地表面
Hole No. Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	割地 密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁水 壓強 強度 Qu (T/m ²)	容重 Qa (T/m ³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27	40.3		25	原色粘土 (ML)	25.7	2.68	1.97	0.71						37.5
S28			32	"	24.7	"	1.94	0.72						36.6
S29			33	"	25.4	"	1.97	0.70						36.9
S30			25	"	16.9	"	2.03	0.54						37.5
S31			30	"	26.3	"	1.94	0.74						36.0
S32			32	"	26.3	"	1.96	0.72						36.6
S33	40.0		36	"	24.5	"	1.98	0.69						37.8















備註：容許容重以基脚寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港預定位置鑽探 地點 日期 69.12.29
 鑽孔編號 B1P 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 9.3 m
 Hole No. B1P Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁壓 壓縮 強度 Qu (T/m²)	容重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S0	±0		0	砂質粉土 含少量砂 (SP)	12.3	2.65	2.00	0.69						-
S1	-1.0		10	砂質粉土 (SP)	16.9	2.67	2.01	0.55						30.0
S2	-1.5		12	"	10.3	"	2.03	0.45						30.6
S3	-2.0		10	"	20.3	"	1.97	0.63						30.0
S4	-2.5		16	"	24.3	"	1.97	0.68						31.8
S5	-3.0		18	"	23.3	"	2.00	0.65						32.4
S6	-3.5		19	"	25.4	"	1.97	0.75						32.7
S7	-4.0		3	含貝殼 砂質粉土 (MH)	27.2	2.68	1.95	0.75						27.9
S8	-4.5		3	(SH)	23.3	2.67	2.01	0.64						27.9
S9	-5.0		23	"	18.4	"	2.04	0.55						33.9
S10	-5.5		26	"	19.1	"	2.04	0.56						34.8
S11	-6.0		27	"	14.6	"	2.03	0.51						35.1
S12	-6.5		25	"	24.4	"	2.00	0.66						34.5
S13	-7.0		26	"	25.5	"	1.98	0.69						34.8

備註：容許重量以基座寬 1.5 公尺見方計算
 Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港預定位置地質 地點 日期 69.12.29
 鑽孔編號 B19 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 9.3 m
 Hole No. B19 Sampler Split Spoon Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	容重 γ _s (T/m ³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14			30	灰色粉砂土 (MH)	22.8	2.67	1.03	0.62						36.0
S15			31	"	16.2	"	1.04	0.52						36.3
S16			29	"	23.6	"	1.97	0.68						35.7
S17			32	"	26.7	"	1.94	0.73						36.6
S18			35	"	16.3	"	1.03	0.53						37.5
S19			34	"	13.9	"	1.06	0.48						37.2
S20	30.0		32	"	21.5	"	1.01	0.61						36.6
S21			30	"	20.7	"	1.06	0.56						36.0
S22			29	灰色粉砂土 (ML)	27.0	2.68	1.97	0.73						35.7
S23			35	"	25.9	"	1.93	0.75						37.5
S24			37	"	27.2	"	1.94	0.76						38.1
S25			38	"	21.1	"	1.03	0.60						37.5
S26			36	"	25.1	"	1.97	0.70						37.8

備註：容重與含水量以基腳寬 1.5 公尺見方計算
 Remarks: Q_a Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港口預定位置地質 地點 日期 69.12.29
鑽孔編號 B.P. 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 9.3 m
Hole No. B.P. Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-Ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	載重量 Qa (T/m ²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27			37	灰色粘土 (HL)	16.0	2.68	2.04	0.52						38.1
S28			39	"	17.6	"	2.04	0.55						38.7
S29			38	"	14.7	"	2.03	0.51						38.4
S30			40	"	24.7	"	1.97	0.67						29.0
S31			37	"	25.2	"	1.97	0.70						28.1
S32			35	"	23.6	"	1.98	0.67						27.5
S33			37	"	21.1	"	2.01	0.61						38.1

備註：容許載重量以基腳寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港6號及位置船岸門 地點
 Project Location

日期 69.10.28
 Date

鑽孔編號 B20
 Hole No.

取土器 2" Standard Split Spoon
 Sampler

高程
 Elevation

地下水位 水深 9.1m
 G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m²)	預置量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	0		0	砂質粉土 (SP)	9.80	2.65	2.00	0.45						
S ₁	1.1		9	砂質粉土 (SP)	10.4	2.67	2.03	0.50						27.7
S ₂			10	"	16.0	"	2.06	0.52						28.0
S ₃			11	"	20.0	"	2.06	0.58						30.3
S ₄			12	"	22.5	"	2.00	0.64						30.6
S ₅			16	"	20.2	"	1.97	0.68						31.8
S ₆			19	"	27.6	"	1.95	0.72						32.7
S ₇			18	"	20.3	"	1.98	0.67						32.4
S ₈			20	"	23.2	"	2.00	0.64						33.0
S ₉			21	"	23.1	"	2.02	0.63						33.3
S ₁₀			16	"	21.9	"	1.98	0.68						31.8
S ₁₁	17.0		3	砂質粉土 (CL)	21.2	2.70	1.90	0.86	42.4	20.7	21.7	4.6	5.5	—
S ₁₂	17.0		20	(MH)	23.1	2.67	2.01	0.64						33.0
S ₁₃	17.0		20	砂質粉土 (CL)	25.1	2.68	1.93	0.68						33.0

備註：容許預置量以基礎寬 1.5 公尺見方計算
 Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港碼頭及棧橋工程 地點 高雄港 日期 69.10.28
鑽孔編號 B20 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 水深 9.1m
Hole No. B20 Sampler Split Spoon Elevation G. W. L

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m²)	容重 γ _s (T/m³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14	22.1		19	不透水粘土 (ML)	28.5	2.68	1.98	0.70						23.7
S15			30	不透水粘土 (SH)	11.6	2.67	1.97	0.51						36.0
S16			32	"	21.7	"	2.03	0.60						34.6
S17			35	"	18.0	"	2.06	0.54						37.5
S18	28.9		23	不透水粘土 (ML)	27.6	2.68	1.98	0.82						33.9
S19			32	(SH)	20.9	2.67	2.06	0.57						36.6
S20	30.0		34	"	16.3	"	2.03	0.53						37.2
S21			35	"	21.3	"	2.01	0.61						37.5
S22			37	"	26.0	"	2.00	0.66						38.1
S23			36	"	20.2	"	2.00	0.60						37.8
S24			39	"	23.7	"	2.00	0.65						38.7
S25			37	"	28.6	"	1.91	0.75						38.1
S26			36	"	18.5	"	2.04	0.55						37.8

備註：容重與重量以基所定 1.5 公尺見方計算

Remarks: Q_a Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港預定位置地質 地點 日期 69.10.28
 鑽孔編號 B20 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 9.1m
 Hole No. B20 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L.

鑽探 年份 Boring				試驗年份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	實地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	容許 承载力 Qa (T/m ²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27	1		41	砂土 (SM)	25.0	2.67	2.03	0.63						27.3
S28	1		34	砂土 (ML)	18.8	2.68	2.06	0.55						27.2
S29	1		35	"	21.3	"	2.04	0.59						27.5
S30	1		36	"	17.2	"	2.03	0.55						27.8
S31	1		30	"	24.6	"	1.98	0.68						26.0
S32	1		34	"	22.9	"	2.02	0.63						27.2
S33	1		36	"	28.6	"	1.97	0.71						27.8

備註：容許承载力以基礎寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第二港擴充工程

地點

日期 69.11.8

鑽孔編號 B20

取土器 2" Standard Split Spoon

高程

地下水位 水深 11.6 m

G. W. L

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土質分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 L.L. (%)	塑性 P.L. (%)	塑性 P.I. (%)	無側限 壓強 Qu (T/m²)	垂直 荷重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S0	5.0		0	砂質粉土 (SM)	11.6	2.65	1.93	0.53						-
S1	7.0		7	砂質粉土 (SM)	21.5	2.67	2.01	0.61						29.7
S2	10.0		10	"	19.0	"	2.06	0.56						30.0
S3	12.0		9	(SM)	24.2	"	2.00	0.66						29.7
S4	14.0		11	"	26.6	"	1.97	0.69						30.3
S5	16.0		12	"	22.2	"	1.98	0.64						30.6
S6	18.0		18	"	21.4	"	2.03	0.60						32.4
S7	20.0		19	"	18.1	"	2.04	0.55						32.7
S8	22.0		20	砂質粉土 (SM)	23.2	2.68	2.01	0.62						33.0
S9	24.0		18	"	23.2	"	1.93	0.71						32.4
S10	26.0		20	"	26.6	"	1.97	0.72						33.0
S11	28.0		16	"	26.6	"	1.94	0.75						31.8
S12	30.0		20	(SM)	25.0	2.67	1.98	0.67						33.0
S13	32.0		22	"	24.5	"	2.00	0.66						33.6

備註：容許垂直荷重以基礎寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港水底基礎工程 地點 日期 69.11.8
 Project Location Date
 鑽孔編號 B-1 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 11.6m
 Hole No. Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試探編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	容地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓強 強度 Qu (T/m²)	容許 重量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14			25	灰色泥砂 (MH)	26.3	2.67	1.97	0.72						26.5
S15			26	"	25.7	"	1.97	0.70						26.8
S16			28	"	23.6	"	2.00	0.65						25.4
S17			30	"	21.5	"	2.03	0.59						26.0
S18			31	"	19.8	"	2.04	0.56						26.3
S19			35	"	25.5	"	1.98	0.67						27.5
S20	-20.0		34	"	24.3	"	1.96	0.71						27.2
S21			32	"	23.8	"	1.93	0.70						26.6
S22			40	"	21.5	"	2.02	0.59						27.0
S23			38	"	22.0	"	2.00	0.60						26.4
S24			39	"	21.6	"	2.03	0.59						28.7
S25			36	原色粘土 (ML)	28.3	2.68	1.88	0.83						37.8
S26			38	"	25.3	2.68	1.97	0.70						38.6

備註：容許重量以深處寬 1.5 公尺寬度計算
 Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港+擴建港池疏浚

地點 Location

日期 69.11.8

鑽孔編號 B-1

取土器 2" Standard Split Spoon

高程 Elevation

地下水位 水深 11.6m
G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗擊數 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性限度 L.L. (%)	塑性限度 P.L. (%)	塑性指數 P.I. (%)	無側限壓縮強度 Qu (T/m²)	容許承载力 Qa (T/m²)	內摩擦角 φ (Deg)
S27	1		40	粉砂土 (ML)	25.8	2.68	2.00	0.68						39.0
S28	1		30	"	24.7	"	1.91	0.75						36.0
S29	1		25	"	25.0	"	1.98	0.69						37.5
S30	1		26	"	22.9	"	2.00	0.65						37.8
S31	1		27	含貝壳石灰色硬砂土 (MH)	23.2	2.67	2.00	0.64						38.1
S32	1		26	(MH)	20.2	"	2.04	0.57						37.8
S33	1		27	"	22.4	"	2.03	0.61						38.1















備註：容許承载力以基脚寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第一港池填土位置地質 地點 日期 69.11.11.
 鑽孔編號 B22 取土器 2" Standard Split-Spoon 高程 地下水位 水深 9.3m
 Hole No. B22 Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	容比重度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性限度 L.L. (%)	塑性限度 P.L. (%)	塑性指數 P.I. (%)	無側限壓強 Qu (T/m²)	容重 Q _u (T/m³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	1.0		0	砂質粉土 (SP)	18.7	2.65	1.95	0.61						-
S ₁	2.0		9	砂質粉土 (SP)	25.1	2.67	1.91	0.75						27.7
S ₂	3.0		10	"	20.7	"	2.00	0.61						30.0
S ₃	4.0		12	"	20.1	"	2.01	0.60						30.6
S ₄	5.0		15	"	22.1	"	2.01	0.62						31.5
S ₅	6.0		16	"	25.3	"	1.95	0.72						31.8
S ₆	7.0		19	"	16.6	"	2.03	0.53						32.7
S ₇	8.0		16	粉質粘土 (ML)	25.1	2.68	1.98	0.69						31.8
S ₈	9.0		19	"	20.7	"	1.97	0.70						32.7
S ₉	10.0		20	(SM)	26.4	2.67	1.93	0.75						33.0
S ₁₀	11.0		22	"	26.8	"	1.97	0.69						33.6
S ₁₁	12.0		23	"	22.7	"	1.98	0.65						33.9
S ₁₂	13.0		25	"	23.0	"	2.01	0.64						30.5
S ₁₃	14.0		27	"	25.5	"	1.96	0.73						35.1

備註：容重與含水量以基所定 1.5 公尺見方計算

Remarks: Q_u Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室

LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港快速位置勘探 地點 日期 67. 11. 11
Project Location Date
鑽孔編號 B22 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 9.3m
Hole No. Sampler Elevation G. W. L.

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 抗压 强度 Qu (T/m²)	容重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14			29	灰色粉土 (SM)	23.3	2.67	2.01	0.64						25.7
S15			30	"	23.4	"	1.98	0.66						26.0
S16			33	"	11.3	"	2.01	0.68						26.9
S17			34	"	18.8	"	2.03	0.56						27.2
S18			34	"	24.5	"	1.91	0.74						27.2
S19			38	"	25.5	"	1.98	0.69						28.4
S20	-300-		40	"	21.0	"	2.03	0.59						27.0
S21			37	"	17.3	"	2.04	0.54						28.1
S22			39	"	21.6	"	2.01	0.62						28.7
S23			40	"	24.6	"	2.00	0.66						29.0
S24			39	"	25.4	"	1.95	0.72						28.7
S25			41	"	17.5	"	2.06	0.52						29.3
S26	-370-		36	灰色粉土 (CL)	27.3	2.68	1.94	0.76						27.8

備註：容許容重量以基面寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第二港口預定位置地質 地點 日期 67.11.11
 鑽孔編號 B22 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 9.3 m
 Hole No. B22 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 9.3 m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m²)	容許量 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27			32	灰色粘土 (ML)	21.8	2.68	2.04	0.60						26.6
S28			35	"	21.8	"	2.04	0.60						27.5
S29			32	灰色泥砂土 (MH)	26.1	2.67	1.98	0.70						26.6
S30			34	"	21.9	"	2.02	0.61						27.2
S31			35	"	20.6	"	2.01	0.60						27.5
S32			36	"	19.7	"	2.03	0.57						27.8
S33			38	"	20.4	"	2.00	0.66						28.4

備註：容許量以基座寬 1.5 公尺見方計算
 Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 Project 第三港預定位置船塢 地點 Location _____ 日期 Date 67.11.16
鑽孔編號 Hole No. B-2 取土器 Sampler 2" Standard Split Spoon 高程 Elevation _____ 地下水位 G. W. L. 水深 10 m

鑽探紀錄 Boring				試驗報告 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土質分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m²)	容許 載重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	-0.1		0	粉質砂土 (SP)	9.7	2.65	2.03	0.63						-
S ₁	-2.5		10	粉質砂土或粉質粘土 (SP-SM)	22.4	2.66	0.97	0.65						30.0
S ₂			11	粉質粘土 (SM)	21.8	2.67	2.03	0.61						30.3
S ₃			12	"	16.7	"	2.04	0.53						30.6
S ₄			14	"	26.3	"	1.95	0.73						31.2
S ₅			13	"	21.6	"	2.02	0.59						30.9
S ₆			16	"	22.3	"	2.01	0.62						31.8
S ₇			18	"	23.3	"	2.01	0.56						32.4
S ₈			18	"	22.3	"	1.96	0.68						32.4
S ₉			22	"	24.5	"	2.03	0.66						32.6
S ₁₀			23	"	21.7	"	2.02	0.61						33.9
S ₁₁			25	"	21.5	"	2.02	0.61						34.5
S ₁₂			22	粉質粘土 (ML)	24.7	2.68	2.00	0.67						33.6
S ₁₃	-1.8		25	"	26.3	"	1.92	0.74						30.5

備註：容許承載力以基面下 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY
地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 Project 第三港口擴充工程 地點 Location _____ 日期 Date 69.11.16
鑽孔編號 Hole No. B-3 取土器 Sampler 2" Standard Split Spoon 高程 Elevation _____ 地下水位 G. W. L. 水深 10 m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing									
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Den-s-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	內摩 擦角 Qa (T/m ²) (Deg)
S14	22.1		24	灰色粘土 (ML)	13.2	2.68	1.87	0.58					34.2
S15			26	灰色粘土 (ML)	20.9	2.67	2.04	0.58					34.3
S16			30	"	26.5	2.67	1.95	0.73					36.0
S17			29	"	25.5	"	1.95	0.72					35.7
S18			30	"	26.1	"	1.96	0.74					36.0
S19			31	"	26.7	"	1.96	0.74					36.3
S20	30.0		36	"	23.8	"	1.91	0.73					37.8
S21			37	"	15.6	"	2.04	0.51					38.1
S22			39	"	15.7	"	2.03	0.52					38.7
S23			40	(ML)	26.3	2.68	1.91	0.77					39.0
S24			42	"	26.5	"	1.91	0.77					39.6
S25			44	"	23.4	"	1.98	0.67					40.2
S26			45	"	20.5	"	2.02	0.60					40.5

備註：容許重量以基礎寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第一港預定位置地質 地點 日期 67. 11. 16
 鑽孔編號 B-3 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 10M
 Hole No. B-3 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 10M

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing									
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27			40	灰色砂土 (細)	24.4	2.67	1.93	0.72					37.0
S28			42	"	22.0	"	2.06	0.60					37.6
S29			42	"	16.8	"	2.03	0.56					38.6
S30			34	"	24.3	"	1.98	0.67					37.2
S31			36	"	24.2	"	1.95	0.70					37.8
S32			37	"	24.6	"	2.00	0.66					38.1
S33	39.0		39	灰色砂土 (中)	21.7	2.68	2.00	0.63					38.7

備註：容許負重量以基座寬 1.5 公尺見方計算
 Remarks: Qu Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港碼頭定修遷移 地點 日期 69.11.20
 鑽孔編號 B24 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深 2.4 m
 Hole No. B24 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 2.4 m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blew No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m²)	容重 γ _s (T/m³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	0.0			砂質粉土 (SP)	12.6	2.65	2.03	0.67						-
	-0.9													
S ₁	-1.5			粉質粘土 (CP-ML)	24.4	2.66	1.98	0.67						31.2
S ₂	-2.5			砂質粉土 (SP)	21.0	2.67	2.04	0.61						31.8
S ₃				"	15.9	"	2.03	0.52						32.4
S ₄				"	14.0	"	2.04	0.49						33.0
S ₅				"	17.1	"	2.04	0.53						32.6
S ₆				"	25.3	"	1.97	0.70						32.7
S ₇				"	24.3	"	2.00	0.65						32.6
S ₈				"	22.5	"	2.00	0.64						32.5
S ₉				"	21.5	"	2.01	0.61						35.1
S ₁₀				"	23.9	"	2.01	0.65						36.3
S ₁₁				"	21.4	"	2.02	0.60						36.6
S ₁₂				"	20.6	"	2.04	0.58						37.2
S ₁₃				"	17.2	"	2.04	0.53						36.6

備註：容許容重以基面寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Q_n Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港池淤填工程 地點 日期 69.11.20
鑽孔編號 B24 取土器 2" Standard Split Spoon 高度 地下水位 水深 2.4 m
Hole No. B24 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深 2.4 m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing									
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無旁限 壓縮 強度 Qu (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S14	22.0		30	砂壤土 (SM)	22.9	2.67	2.03	0.62					36.8
S15	23.7		35	砂壤土 (ML)	25.3	2.68	1.98	0.69					37.1
S16			36	(SM)	22.5	2.67	2.01	0.63					37.8
S17			37	"	17.8	"	2.03	0.58					38.1
S18			38	"	20.1	"	2.03	0.58					37.5
S19			38	"	25.9	"	1.98	0.70					38.4
S20	30.0		40	(ML)	20.8	2.68	2.00	0.59					37.0
S21			36	"	25.5	"	1.98	0.70					37.2
S22	31.6		35	"	22.8	"	2.03	0.62					37.5
S23			38	(SM)	25.2	2.67	1.97	0.70					38.4
S24			42	"	24.6	"	1.97	0.69					38.6
S25			43	"	22.6	"	2.01	0.63					38.8
S26			46	"	19.8	2.67	2.00	0.57					40.8

備註：容許載重以基礎寬 1.5 公尺為計算

Remarks: Qe Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 第三港碼頭及防波堤工程 地點 高雄港 日期 69.11.20
 鑽孔編號 B24 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 地下水位 水深2.4m
 Hole No. B24 Sampler 2" Standard Split Spoon Elevation G. W. L. 水深2.4m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性限度 L.L. (%)	塑性限度 P.L. (%)	塑性指數 P.I. (%)	無側限壓縮強度 Qu (T/m²)	容重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S27			43	灰色泥砂土 (砂土)	25.6	2.67	1.98	0.69						38.9
S28			42	"	26.3	"	2.07	0.66						39.6
S29			40	"	23.1	"	2.03	0.62						39.0
S30			39	"	28.4	"	2.00	0.61						38.7
S31			40	"	26.5	"	1.91	0.28						38.0
S32			39	"	24.3	"	1.98	0.69						38.7
S33			40	"	24.6	"	2.02	0.61						39.0

備註：容許載重以基礎寬 1.5 公尺見方計算
 Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 Project 第三港核定位置地質 地點 Location _____ 日期 Date 69.11.28
鑽孔編號 Hole No. Bx 取土器 2" Standard Split Spoon 高程 Elevation _____ 地下水位 G. W. L. 水深 9.1m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試探編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓強 Qu (T/m²)	容重 Qa (T/m²)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₀	3.0		0	灰色粉砂 粘土 (SP)	11.9	2.65	2.01	0.48						-
S ₁	1.4		15	灰色粉砂 粘土 (SP)	14.3	2.66	2.06	0.48						31.5
S ₂			13	"	12.3	"	2.03	0.47						30.9
S ₃			16	"	16.2	"	2.06	0.49						31.8
S ₄			13	灰色粉砂 粘土 (SP)	23.2	2.67	2.05	0.64						30.9
S ₅			15	"	23.2	"	2.01	0.64						31.5
S ₆			16	"	26.3	"	1.95	0.73						31.8
S ₇			18	"	25.4	"	1.97	0.70						32.1
S ₈			18	"	23.2	"	2.02	0.63						32.4
S ₉			20	"	22.7	"	2.01	0.63						33.0
S ₁₀			25	"	24.9	"	1.98	0.68						34.5
S ₁₁			29	"	21.3	"	2.00	0.62						34.7
S ₁₂			27	"	26.4	"	1.96	0.74						35.1
S ₁₃			32	"	27.2	"	1.93	0.76						35.6

備註：容許容重以基礎寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 Project 第三港口預定位置鑽探 地點 Location _____ 日期 Date 69. 11. 28
鑽孔編號 Hole No. B25 取土器 Sampler 24 Standard Split Spoon 高程 Elevation _____ 地下水位 G. W. L. 水深 9.1m

鑽探部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	試探圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L. (%)	塑性 限度 P.L. (%)	塑性 指數 P.I. (%)	無側限 壓縮 強度 Qu (T/m ²)	容重 γ _s (T/m ³)	內摩 擦角 φ (Deg)
S ₁₄			30	灰色砂土 (SM)	28.1	2.67	1.94	0.80						36.0
S ₁₅			35	灰色粉土 (ML)	29.2	2.68	1.91	0.81						37.5
S ₁₆			34	"	31.7	"	1.90	0.86						37.2
S ₁₇			35	"	30.3	"	1.87	0.86						37.5
S ₁₈			35	"	26.6	"	1.97	0.72						37.5
S ₁₉			36	"	26.3	"	1.93	0.75						37.8
S ₂₀			37	灰色粉砂土 (MH)	21.5	2.67	2.02	0.61						38.1
S ₂₁			39	"	18.9	"	2.03	0.56						38.7
S ₂₂			40	"	23.1	"	2.00	0.64						39.0
S ₂₃			41	"	26.7	"	1.94	0.74						39.3
S ₂₄			45	"	14.5	"	2.04	0.69						40.2
S ₂₅			47	"	22.3	"	2.01	0.62						41.1
S ₂₆			40	"	22.2	"	2.03	0.61						39.0

備註：容許容重以基面寬 1.5 公尺見方計算
Remarks: Q_a Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室

LABORATORY

地質鑽探及土壤試驗結果報告表
RESULTS OF SOIL EXPLORATION

工程名稱 Project 第三港口預定位置地質

地點 Location

日期 Date 67.11.28

鑽孔編號 Hole No. B25

取土器 Sampler

2" Standard Split Spoon

高程 Elevation

地下水位 G. W. L. 水深 9.1m

鑽孔部份 Boring				試驗部份 Testing										
試樣編號 Sample No.	深度 Depth (M)	柱狀圖 Log	貫入試驗 Blow No.	土壤分類 Soil Classification	自然含水量 Natural Water content (%)	比重 Spec-ific Grav-ity	當地密度 Field Dens-ity (g/cc)	孔隙比 Void Ratio	液性 限度 L.L.	塑性 限度 P.L.	塑性 指數 P.I.	無旁束 壓縮 強度 Qu	載重量 Qa	內摩 擦角 ϕ
S27			42	灰色砂土 (SM)	25.3	2.67	1.97	0.71						37.6
S28			40	"	16.3	"	2.03	0.53						39.0
S29			43	"	25.7	"	2.03	0.52						37.9
S30			39	"	16.7	"	2.04	0.53						38.7
S31			40	"	15.7	"	2.03	0.52						38.0
S32			20	灰色粘土 (CL)	25.1	2.68	1.98	0.69						33.0
S33			29	灰色砂土 (SM)	19.4	2.67	2.03	0.57						25.7

備註：容許載重量以基礎寬 1.5 公尺見方計算

Remarks: Qa Shows allowable bearing capacity of soil on the basis of Footing width 1.5m

附錄四

高雄深水港港址附近土層資料

土壤顆粒分析曲線、土壤之組成及級配液化潛能分析

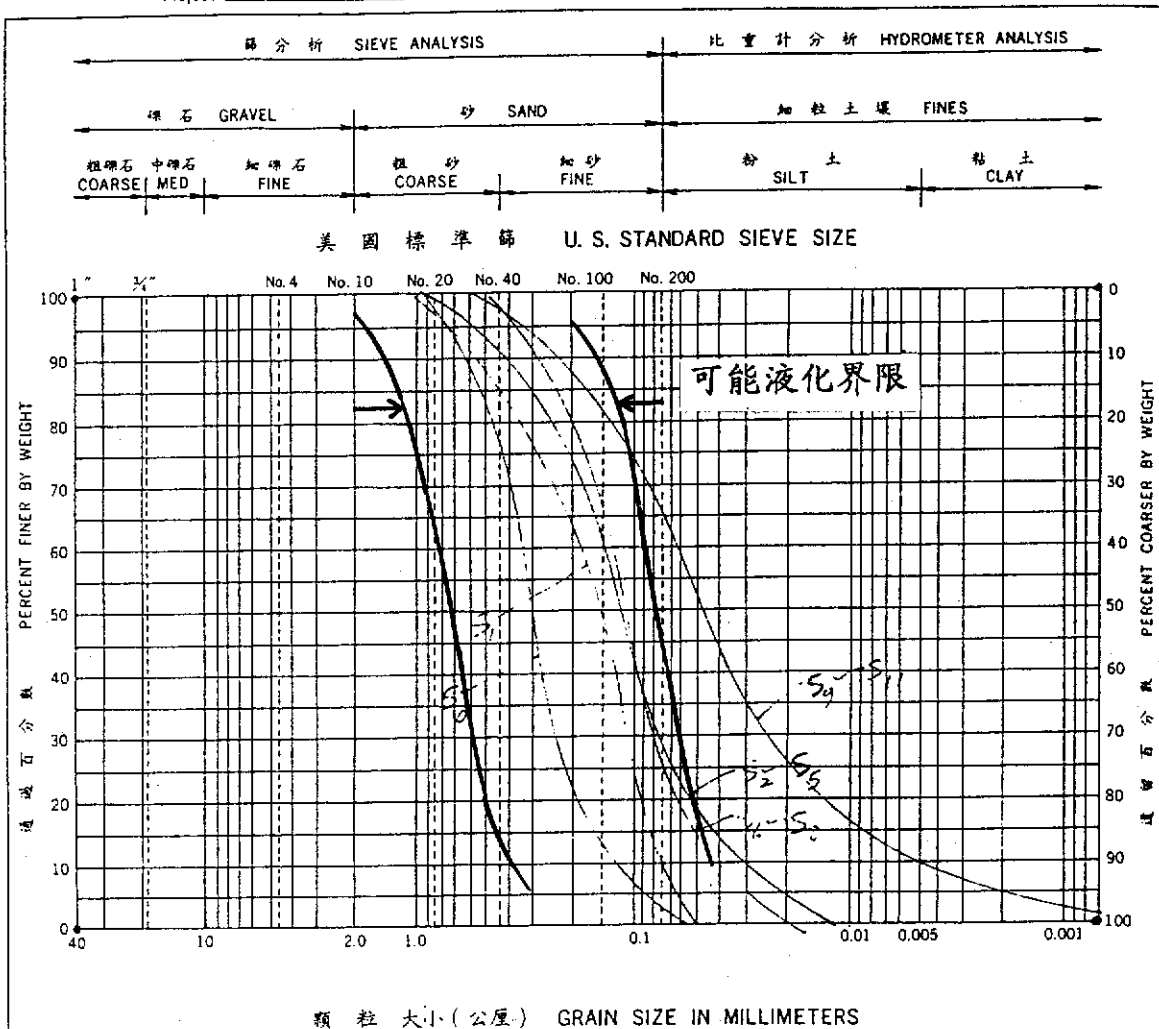
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B15



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性指數 LIQUIDITY INDEX	塑性指數 PLASTICITY INDEX	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			97	3	0	0.13	0.34	2.62	0.3	3	SP
S ₁			90	10	0	0.075	0.18	2.40	0.15	10	SP-SM
S ₂ -S ₃			72	28	0	0.25	0.15	5.00	0.12	28	SM
S ₄ -S ₅			75	25	0	0.04	0.14	3.50	0.11	25	"
S ₆ -S ₁₀			34	56	10	0.075	0.04	12.80	0.05	66	ML

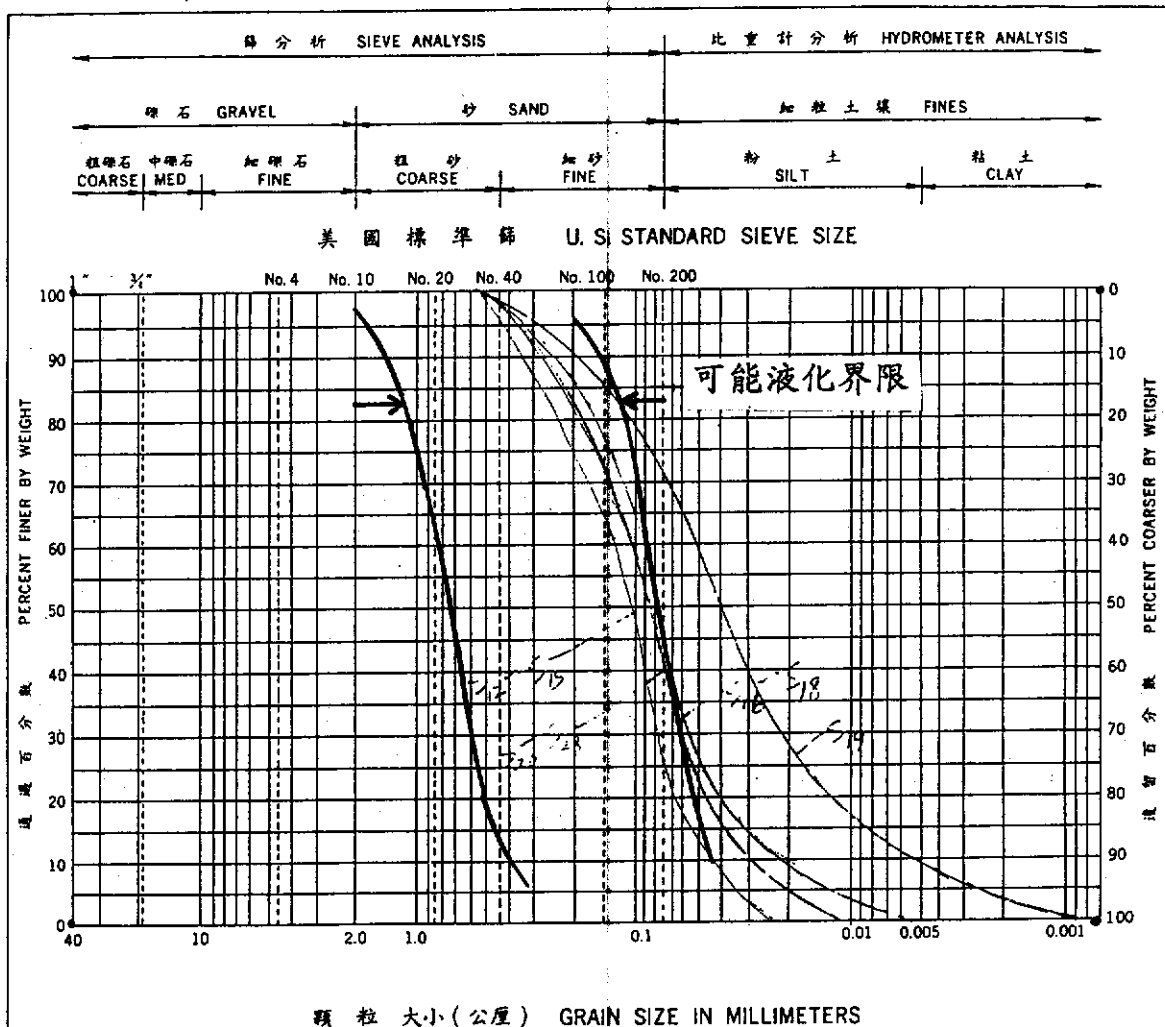
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B15



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 C _u COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L _l D ₂₀	塑性指數 PI	分類
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₅ -S ₁₅			72	28	0	0.044	0.13	2.95	0.11	28	SM
S ₁₅ -S ₁₈			53	47	0	0.022	0.09	4.09	0.08	47	"
S ₁₉			28	63	9	0.0054	0.051	9.44	0.04	72	ML
S ₂₅ -S ₃₃			58	42	0	0.030	0.11	3.67	0.085	42	SM

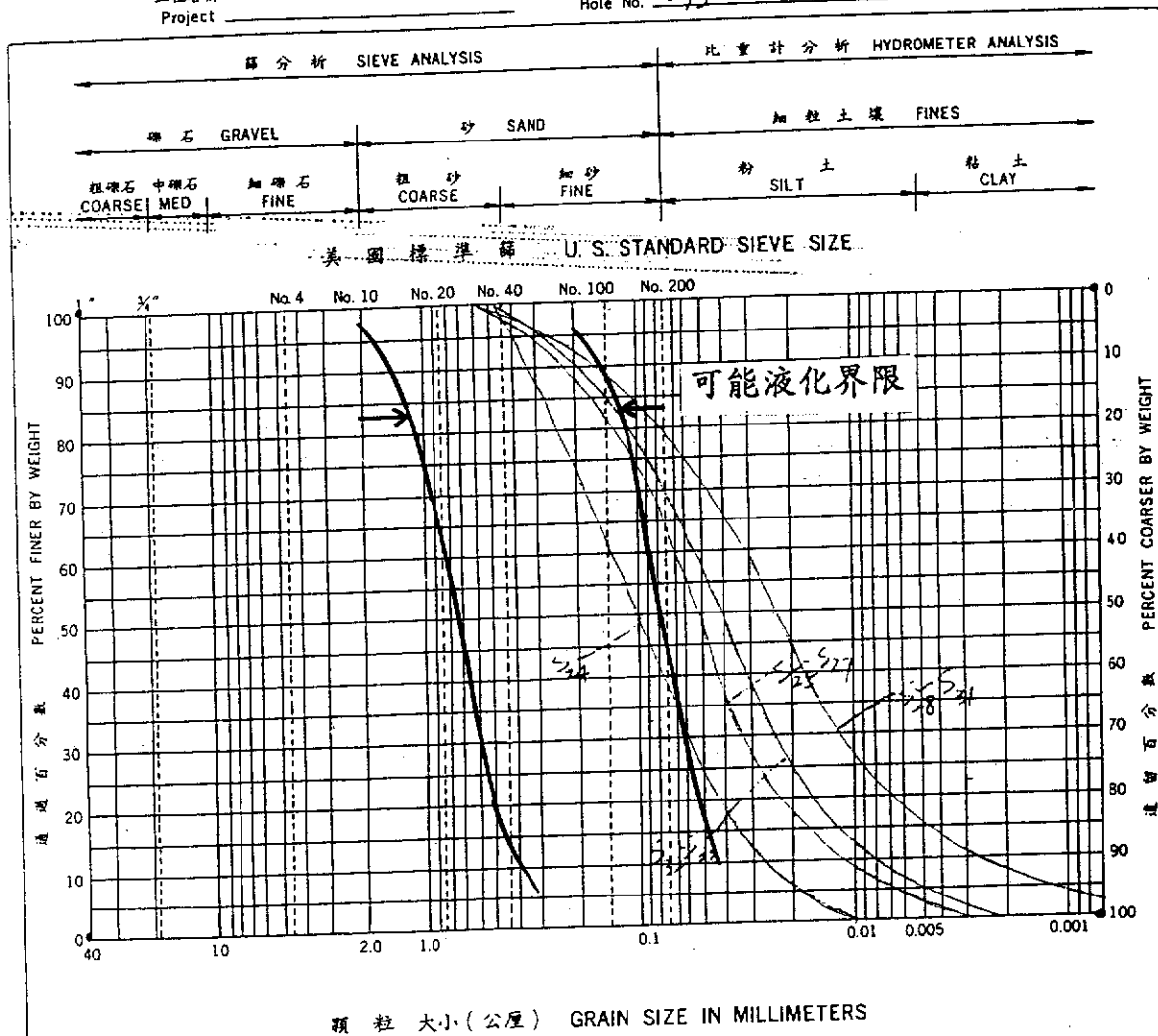
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B₁₅



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 C _u COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL D ₂₀	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₄			62	38	0	0.027	0.15	5.56	0.1	38	SM
S ₂₅ -S ₂₇			36	61	3	0.012	0.07	5.83	0.05	64	ML
S ₂₈ -S ₃₁			21	64	15	0.027	0.032	11.85	0.025	79	"
S ₃₂ -S ₃₃			30	65	5	0.008	0.055	6.88	0.04	70	"

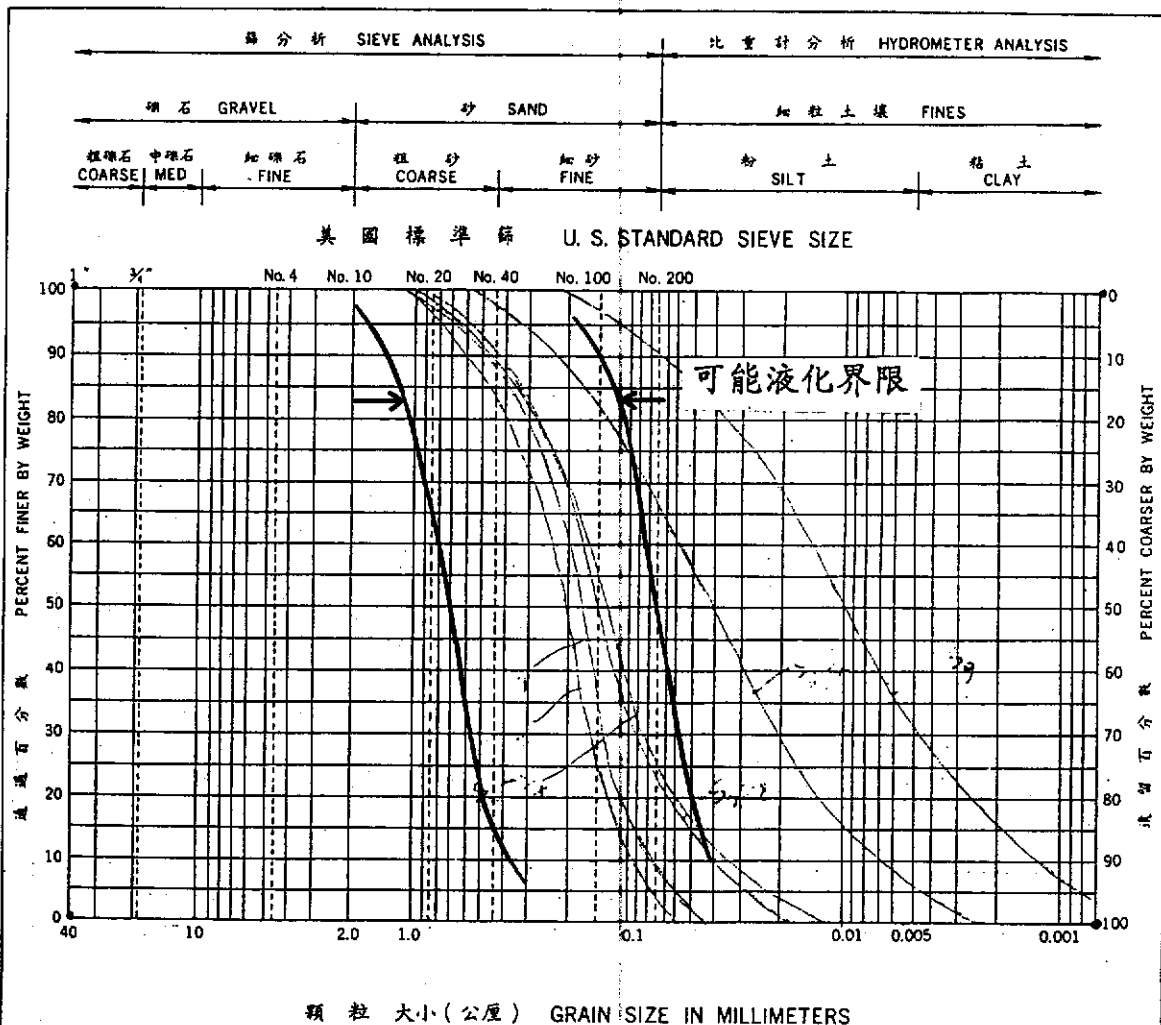
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. E11



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 (%) GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			96	4	0	0.095	0.25	2.63	0.2	4	SP
S ₁			91	9	0	0.078	0.20	2.56	0.18	9	SP-SM
S ₂ -S ₃			75	25	0	0.034	0.17	5.00	0.14	25	SM
S ₃ , S ₄			33	60	7	0.007	0.06	8.57	0.15	67	ML
S ₅ , S ₆			76	24	0	0.040	0.18	4.50	0.04	24	SM
S ₇ -S ₉			9	59	32	0.0014	0.15	10.71	0.01	91	CL

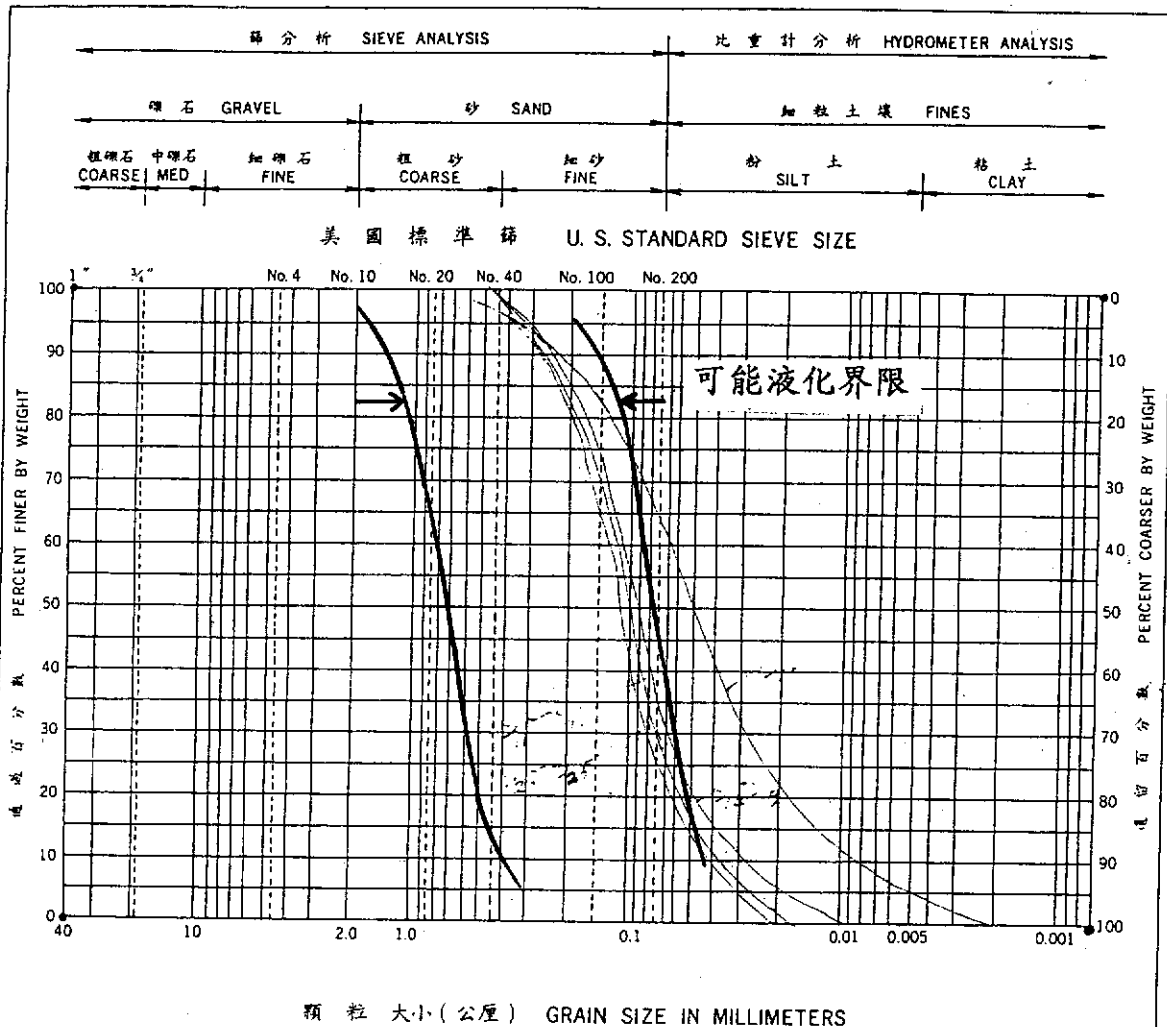
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B11



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₀			35	60	5	0.0085	0.068	8.00	0.05	65	ML
S _{11-S13}			68	32	0	0.039	0.12	3.08	0.1	32	SM
S _{15-S19}			64	36	0	0.028	0.11	3.93	0.09	36	"
S _{20-S23}			73	27	0	0.040	0.13	3.25	0.12	27	"

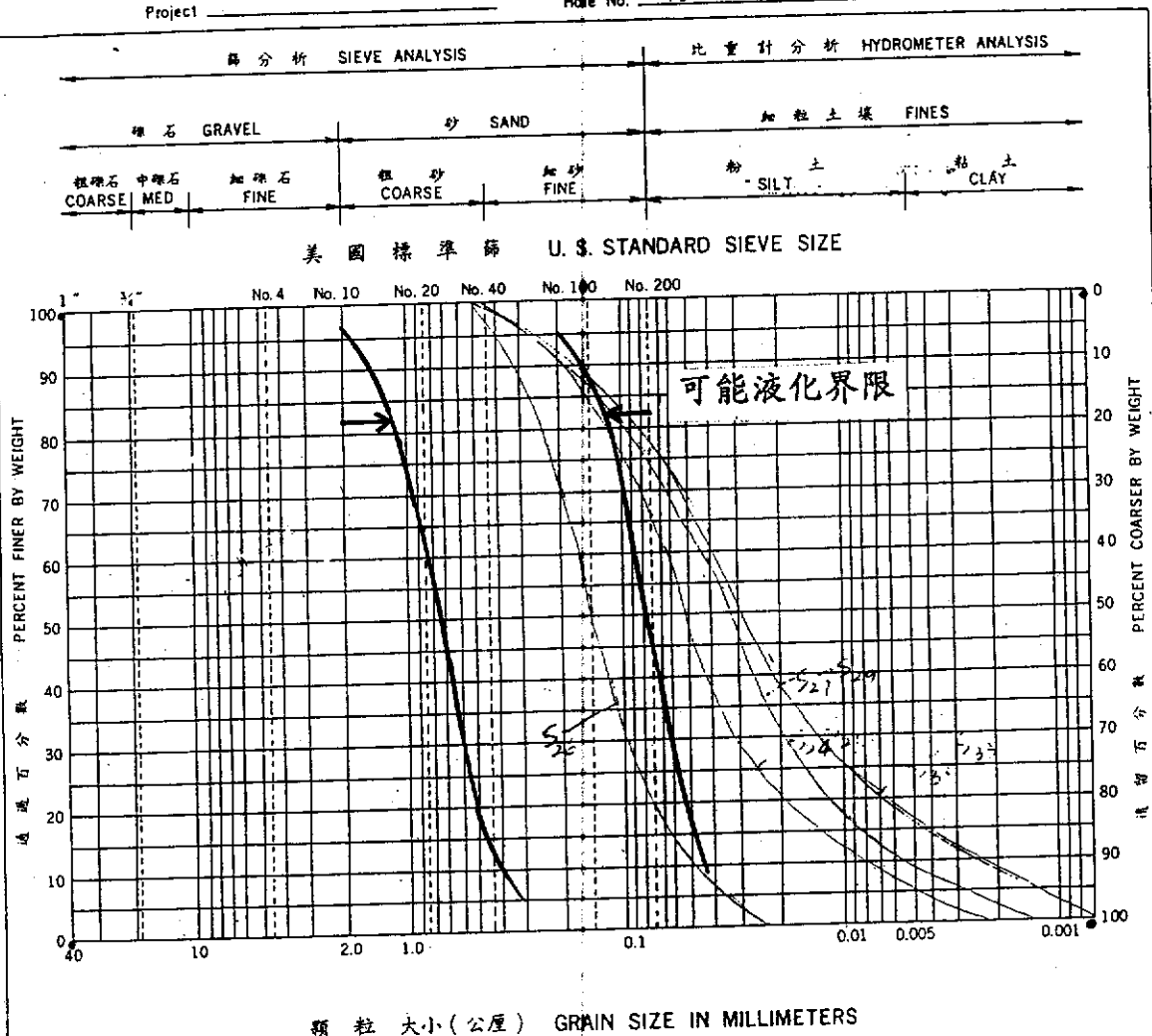
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. E16



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₄ -S ₂₅			33	62	5	0.084	0.065	7.74	0.05	67	ML
S ₂₆			80	20	0	0.05	0.17	3.40	0.15	20	SM
S ₂₇ -S ₂₉			25	66	9	0.055	0.042	7.64	0.032	75	ML
S ₃₀ -S ₃₂			22	62	16	0.025	0.038	15.2	0.03	18	"

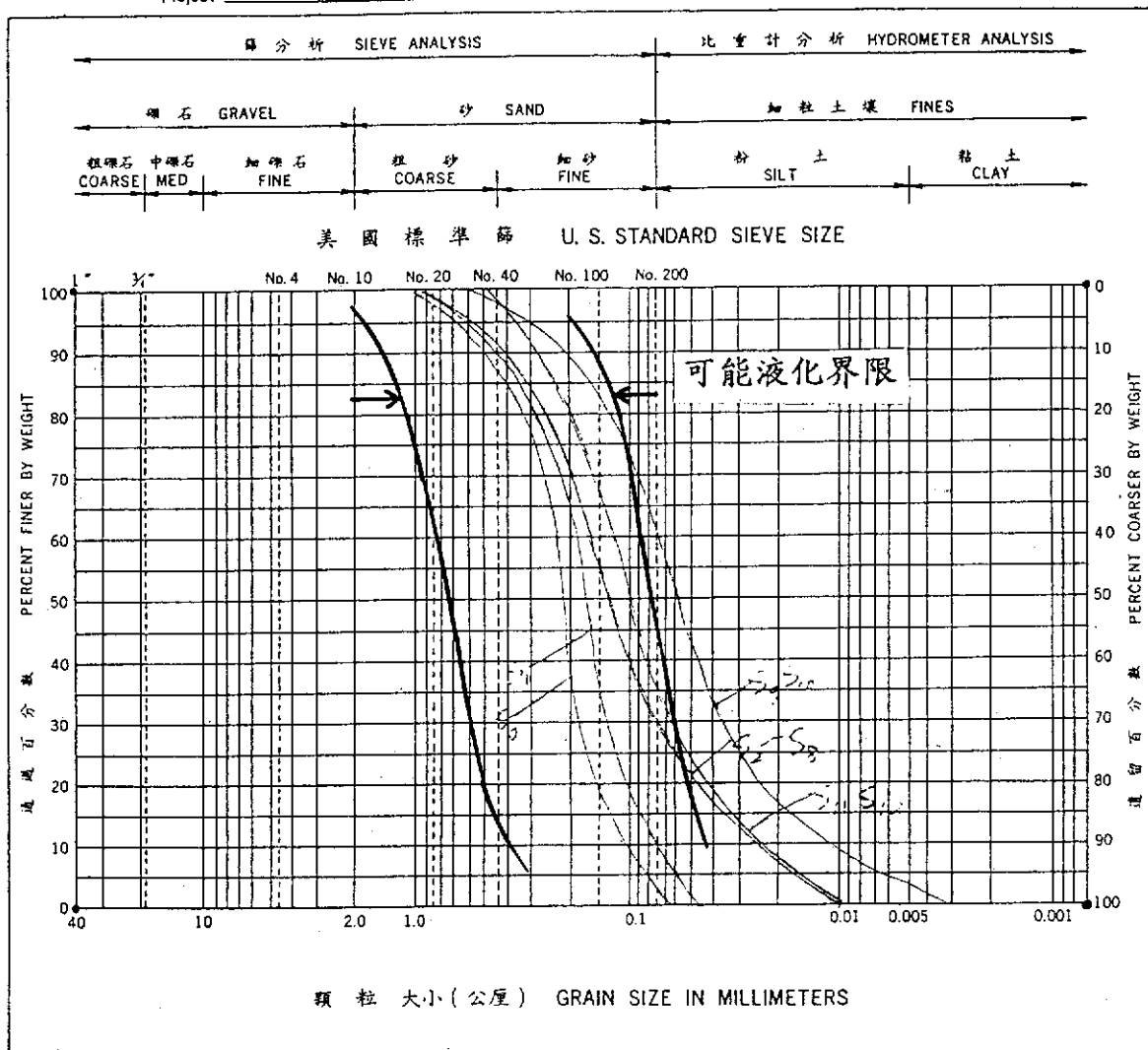
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B17



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			97	3	0	0.11	0.23	2.09	0.21	3	SP
S ₁			90	10	0	0.075	0.19	2.53	0.18	10	SP-SM
S ₂ -S ₈			70	30	0	0.026	0.16	6.15	0.13	20	SM
S ₉ -S ₁₀			38	59	3	0.013	0.075	5.77	0.06	62	ML
S ₁₁ -S ₁₂			64	36	0	0.025	0.13	5.20	0.1	36	SM

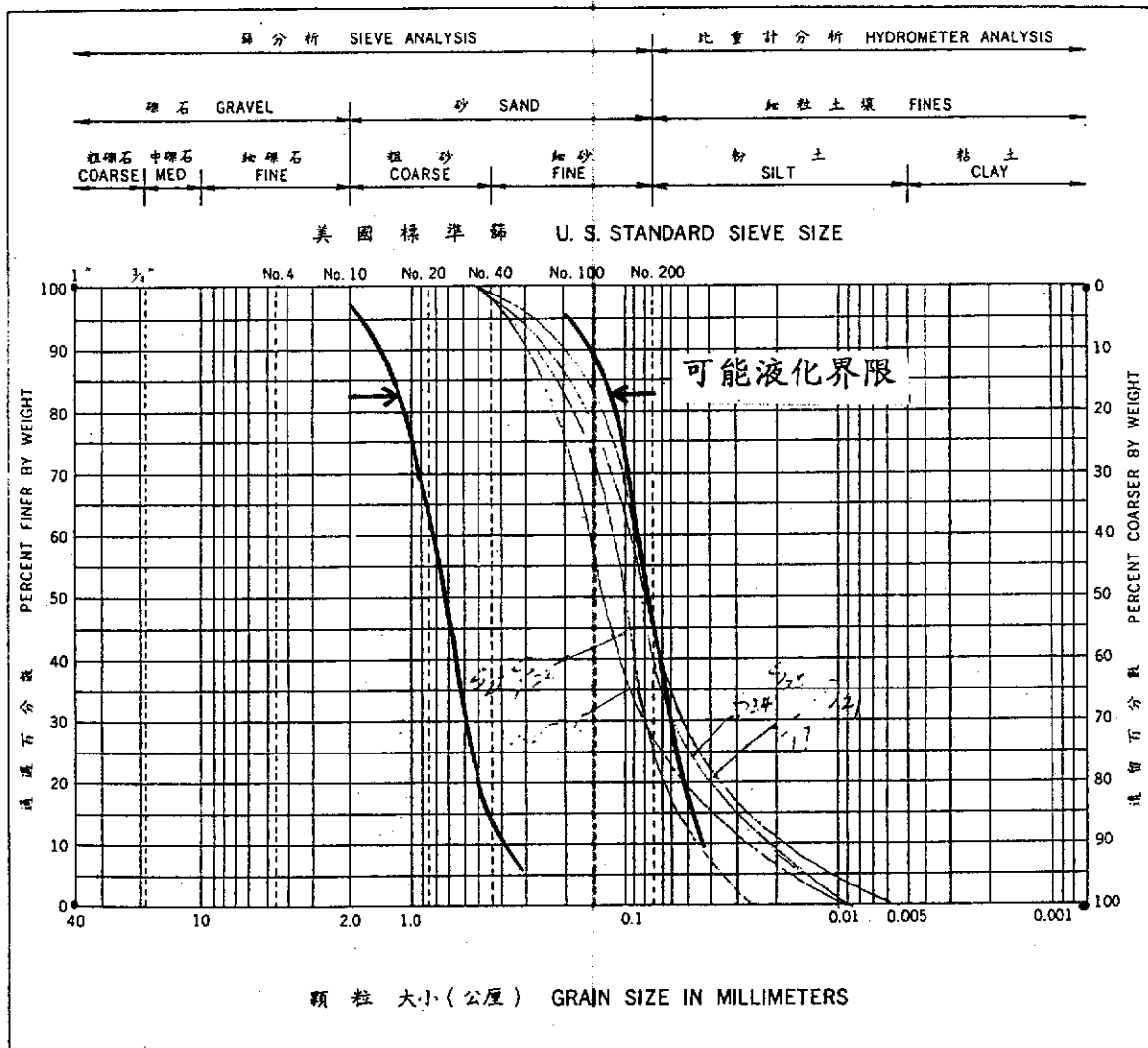
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B.7



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 (GRAIN SIZE ANALYSIS (%))				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu. COEFF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂ -S ₁₅			72	28	0	0.028	0.16	5.71	0.14	28	SM
S ₁ -S ₂₁			55	45	0	0.013	0.025	5.28	0.08	45	"
S ₂₂ -S ₂₃			60	40	0	0.146	0.12	2.61	0.1	40	"
S ₂₄ -S ₂₅			75	25	0	0.022	0.190	4.04	0.081	25	"

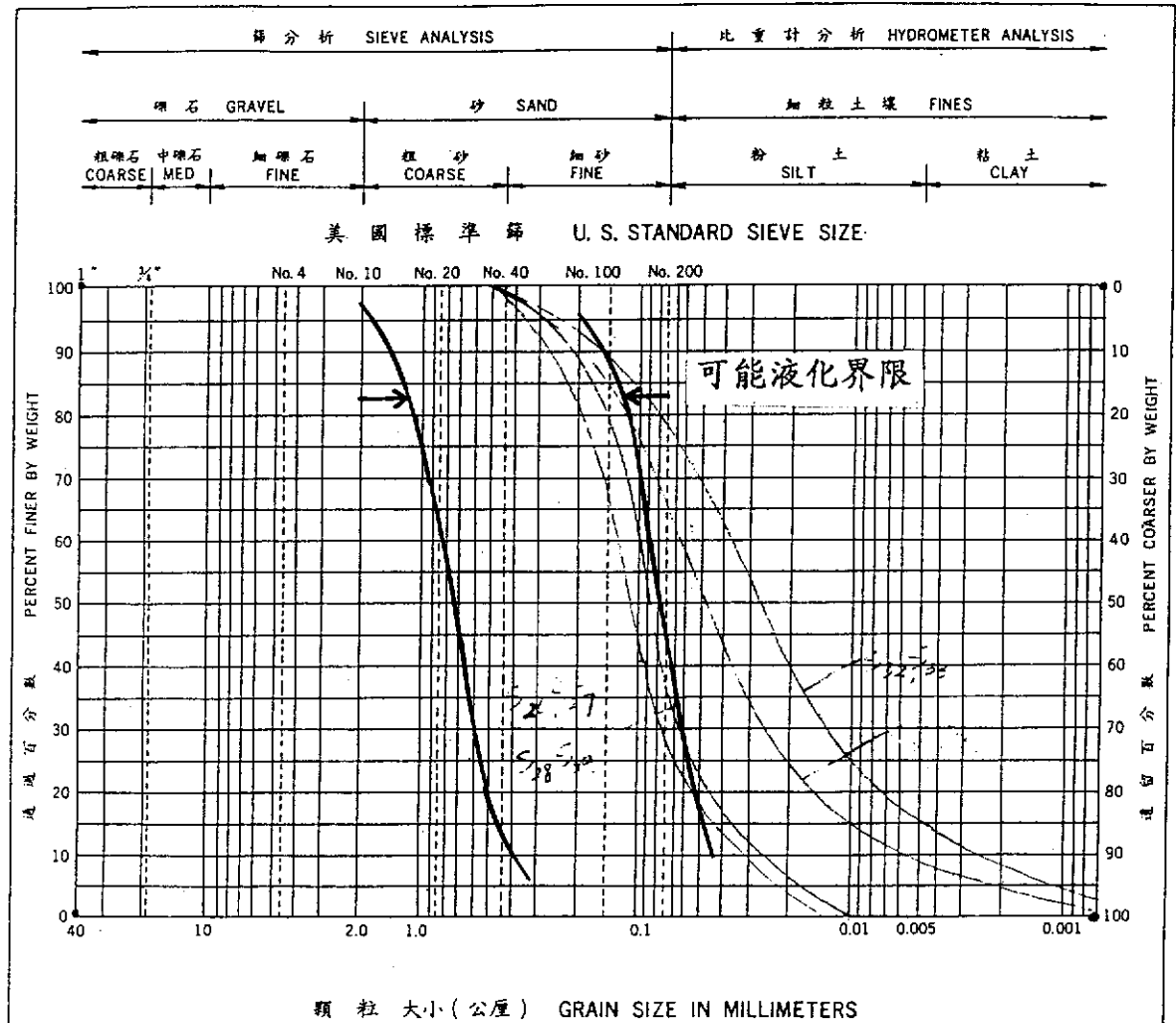
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No.



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 C _u COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁ , S ₂			72	27	0	0.072	0.13	4.06	0.12	28	SM
S ₂ , S ₃			62	38	0	0.026	0.10	3.85	0.09	38	"
S ₃ , S ₄			34	57	9	0.057	0.065	11.02	0.049	66	ML
S ₄ , S ₅			22	63	15	0.025	0.038	15.20	0.026	78	"

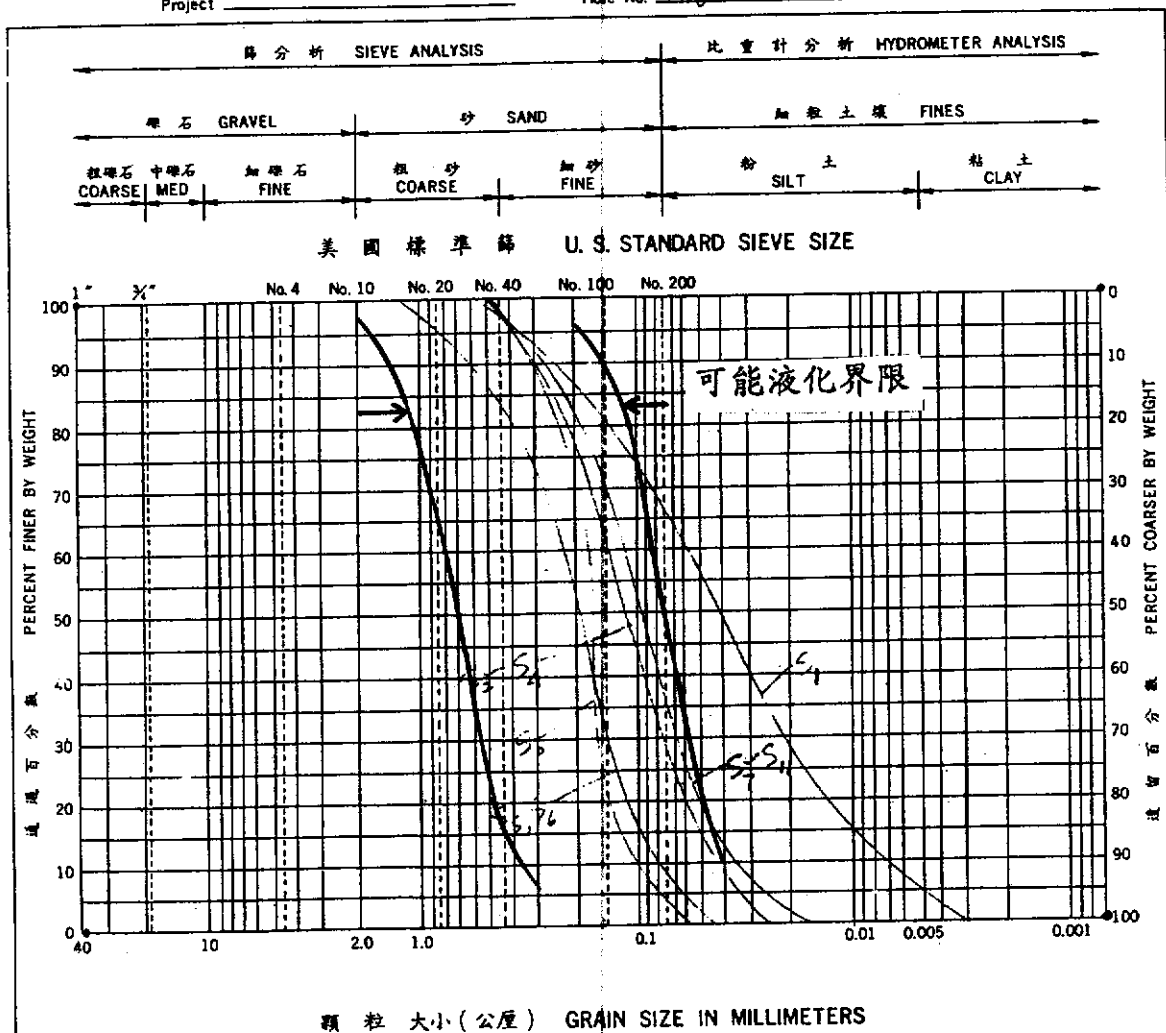
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B8



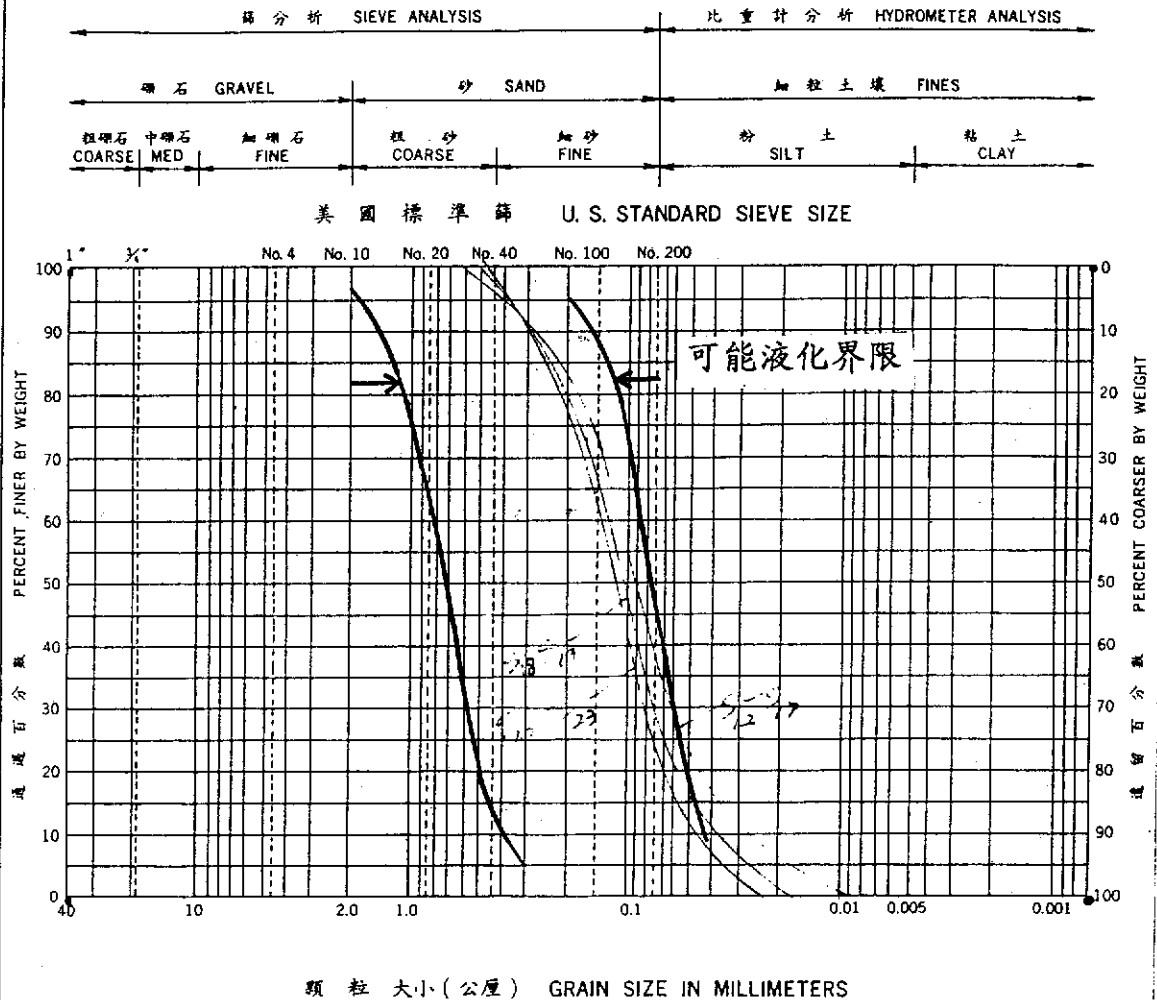
試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₅₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CO. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀		96	4	0	0	0.10	0.18	1.80	0.17	4	SP
S ₁		33	62	5	0	0.07	0.059	0.43	0.04	67	ML
S ₂ -S ₀		72	28	0	0	0.044	0.15	3.41	0.13	28	SM
S ₀ -S ₀		92	8	0	0	0.18	0.23	2.88	0.19	8	SP-SM
S ₁ -S ₁₁		65	35	0	0	0.036	0.12	3.33	0.095	35	SM

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B18



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂ -S ₁₇			62	38	0	0.028	0.12	4.29	0.09	38	SM
S ₁₈ -S ₁₉			70	30	0	0.038	0.13	3.42	0.11	30	"
S ₂₀ -S ₂₃			75	25	0	0.047	0.14	2.98	0.13	25	"

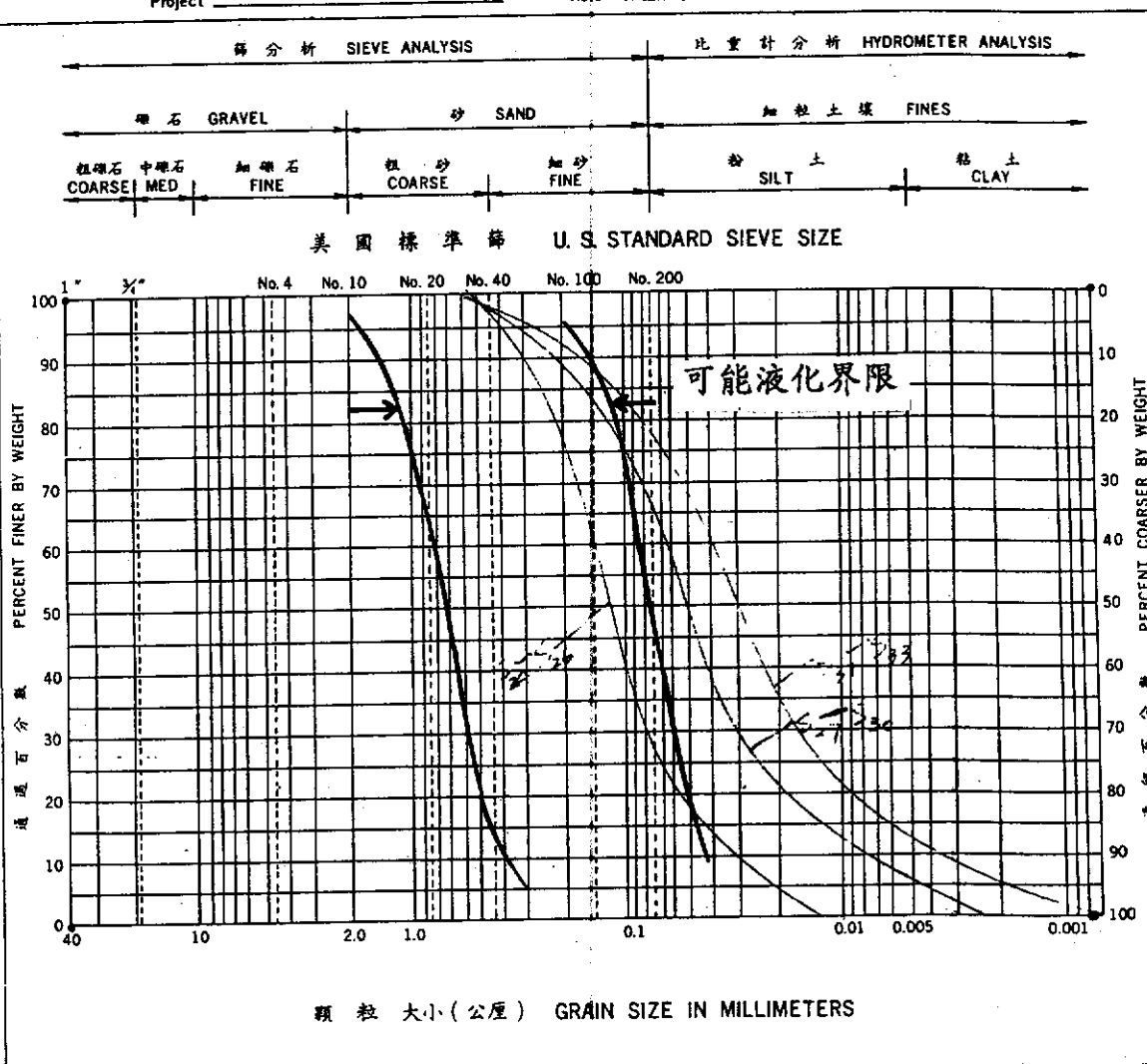
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B18



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Co. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₀ -S ₁₆			12	28	0	0.03	0.15	5.00	0.13	28	SM
S ₂₅ -S ₃₀			34	60	6	0.078	0.065	8.33	0.05	66	ML
S ₃₁ -S ₃₃			24	65	13	0.036	0.040	11.11	0.03	78	"

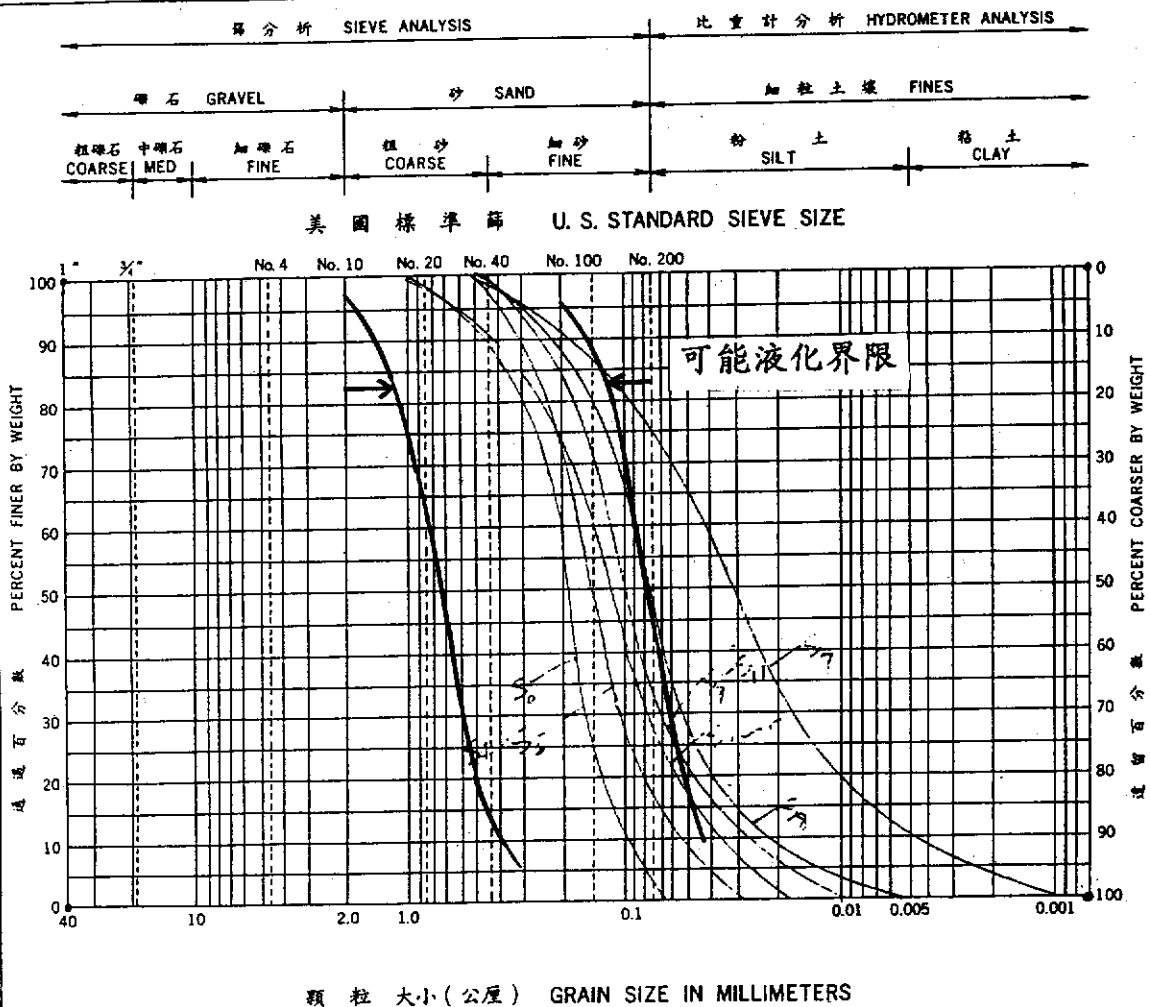
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B19



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			97	3	0	0.098	0.21	2.14	0.2	3	SP
S ₁ ~S ₃			72	28	0	0.037	0.15	4.05	0.12	28	SM
S ₄ ~S ₆			83	17	0	0.055	0.17	3.09	0.16	17	"
S ₇			25	65	10	0.005	0.042	8.40	0.03	75	ML
S ₈			52	48	0	0.023	0.09	3.91	0.078	48	SM
S ₉ ~S ₁₁			66	34	0	0.028	0.12	4.29	0.1	34	"

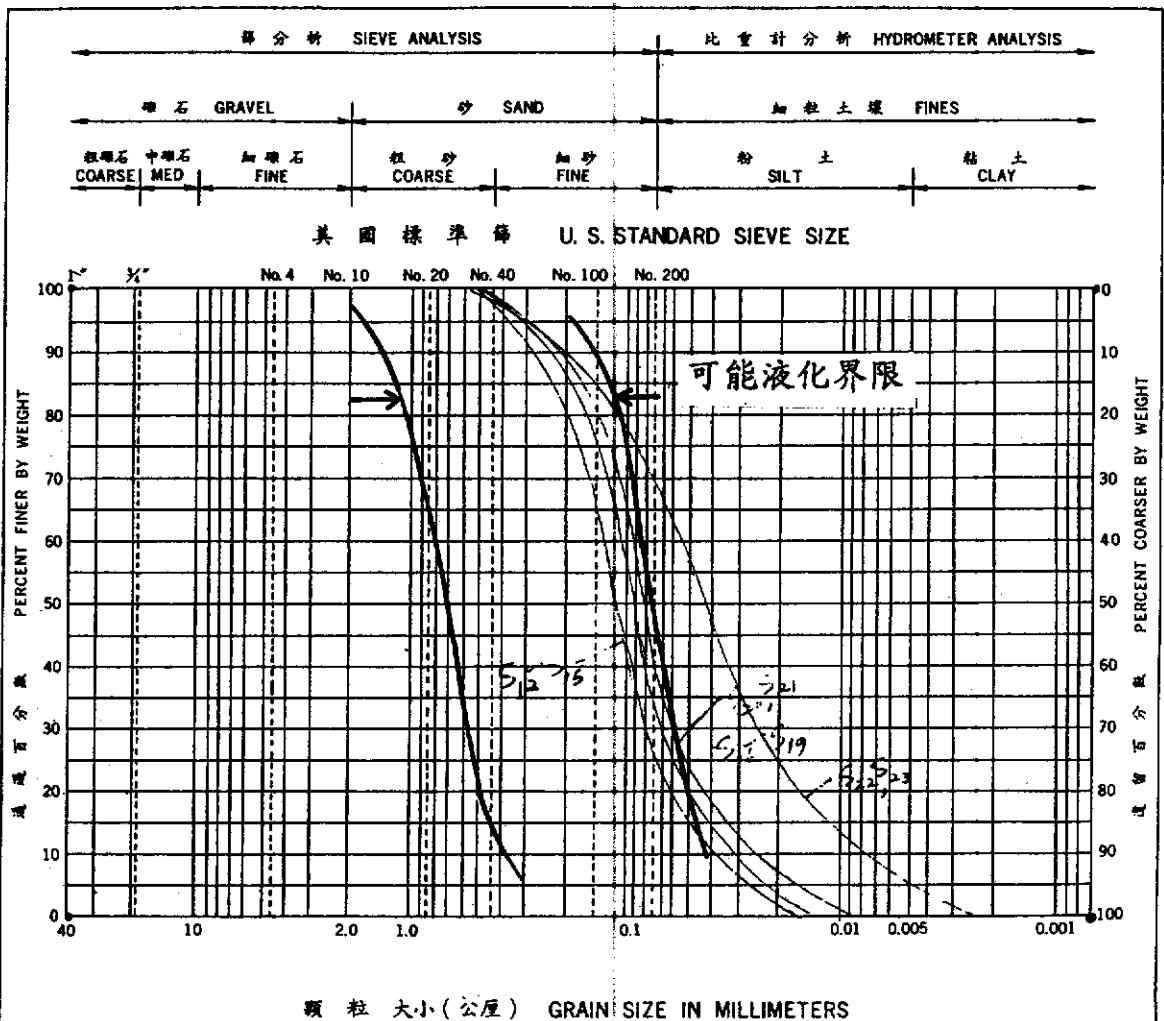
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. BM



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CO. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂ -S ₁₅			74	26	0	0.039	0.14	3.51	0.12	26	SM
S ₁₆ -S ₁₉			66	34	0	0.030	0.11	3.67	0.09	34	"
S ₂₀ -S ₂₁			60	40	0	0.025	0.094	3.76	0.08	40	"
S ₂₂ -S ₂₃			30	65	5	0.078	0.055	7.05	0.042	70	ML

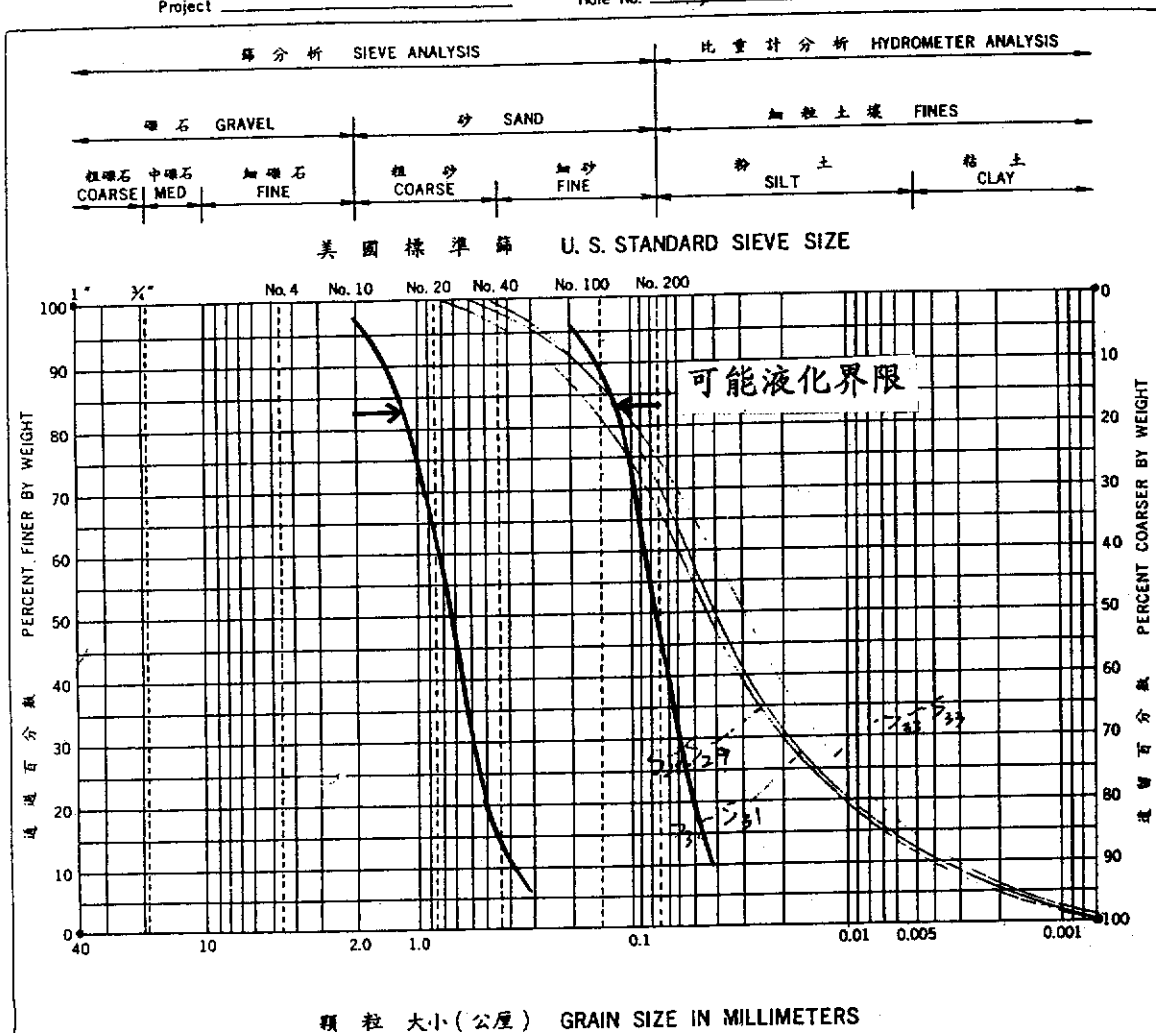
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B-9



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Co. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 P.I.	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₉ -S ₂₉			33	55	12	0.0042	0.06	14.29	0.045	67	ML
S ₃₁ -S ₃₁			30	57	13	0.0058	0.054	14.21	0.04	70	"
S ₃₃ -S ₃₃			25	61	14	0.0033	0.042	12.73	0.03	75	"

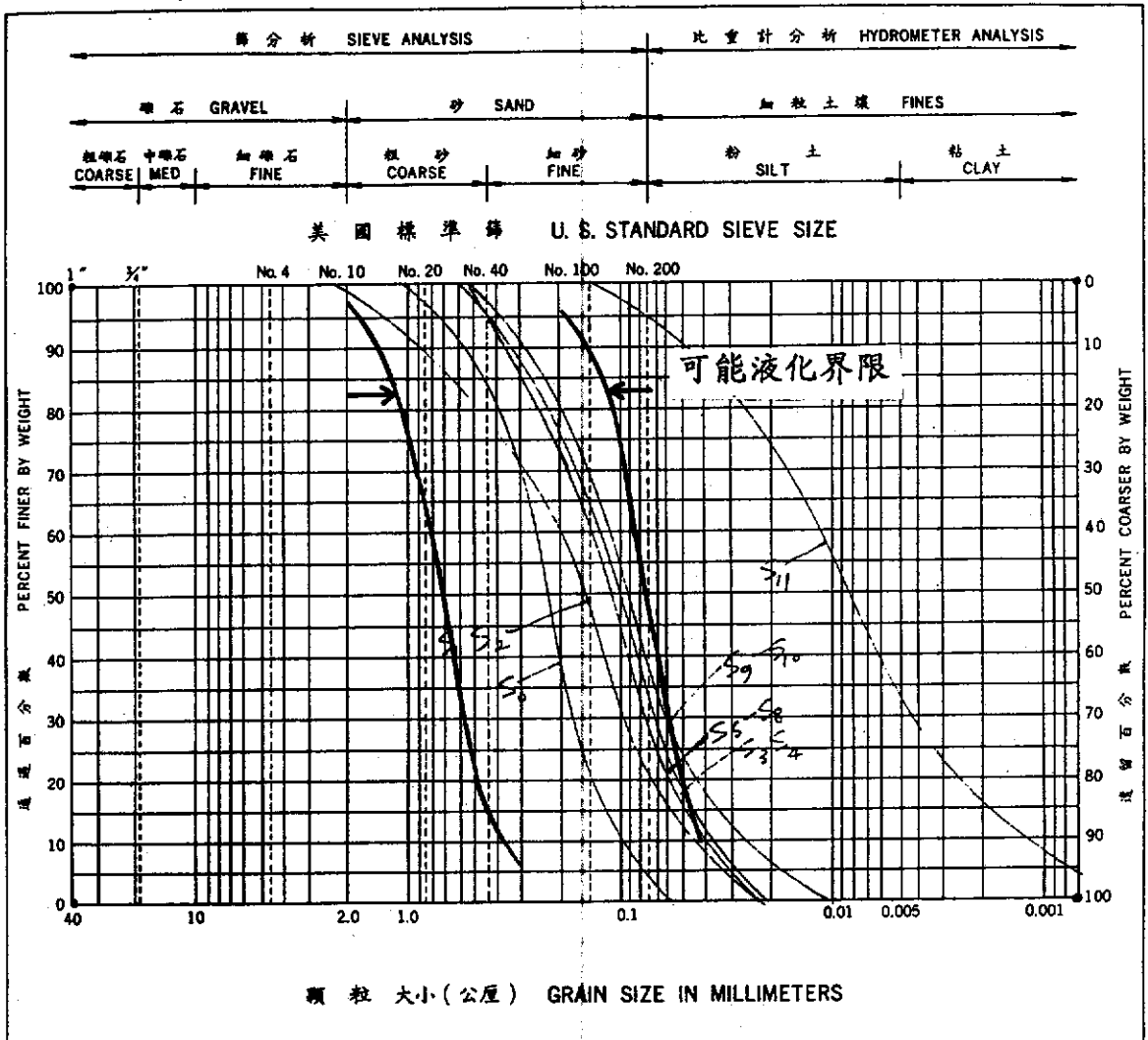
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B₂₀



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Co. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁			96	4	0	0.10	0.26	2.60	0.23	4	SP
S ₁ -S ₂			79	21	0	0.045	0.20	4.44	0.16	21	SM
S ₂ -S ₃			66	34	0	0.038	0.14	3.68	0.1	34	"
S ₃ -S ₄			72	28	0	0.040	0.15	3.75	0.12	28	"
S ₄ -S ₅			62	38	0	0.028	0.12	4.29	0.09	38	"
S ₅ -S ₆			5	62	33	0.013	0.013	10.00	0.008	95	CL

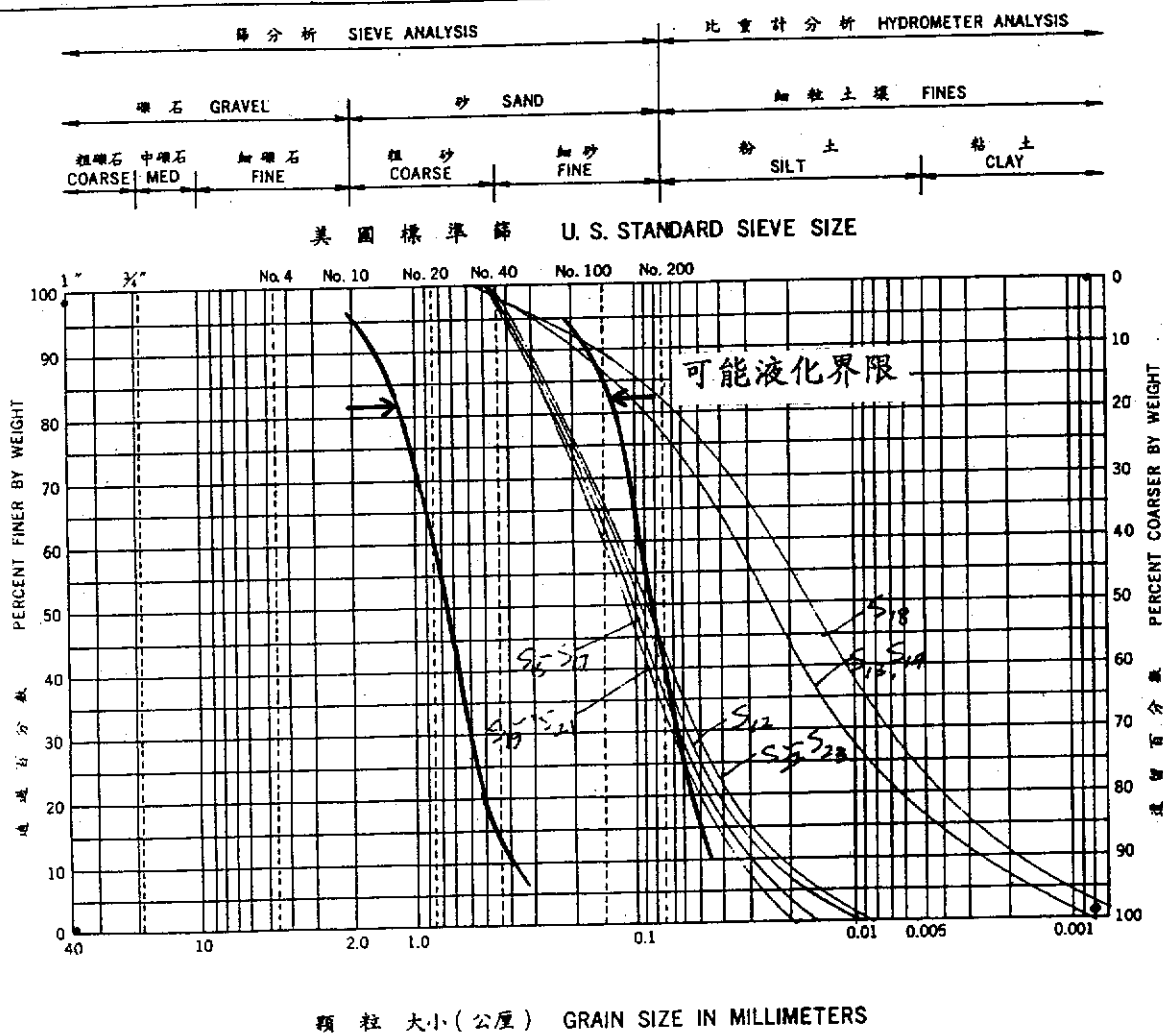
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B20



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒粒徑 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)			D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Co. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT CLAY						
S ₂			61	39 0	0.026	0.13	5.00	0.095	39	SM
S ₁₃ , S ₁₄			23	60 17	0.028	0.035	12.50	0.025	77	ML
S ₁₅ -S ₁₇			65	35 0	0.03	0.14	4.67	0.1	35	SM
S ₁₈			18	59 23	0.019	0.024	12.63	0.017	82	ML
S ₁₉ -S ₂₁			67	33 0	0.035	0.15	4.29	0.12	33	SM
S ₂₂ , S ₂₃			51	43 0	0.022	0.12	5.45	0.09	43	Y

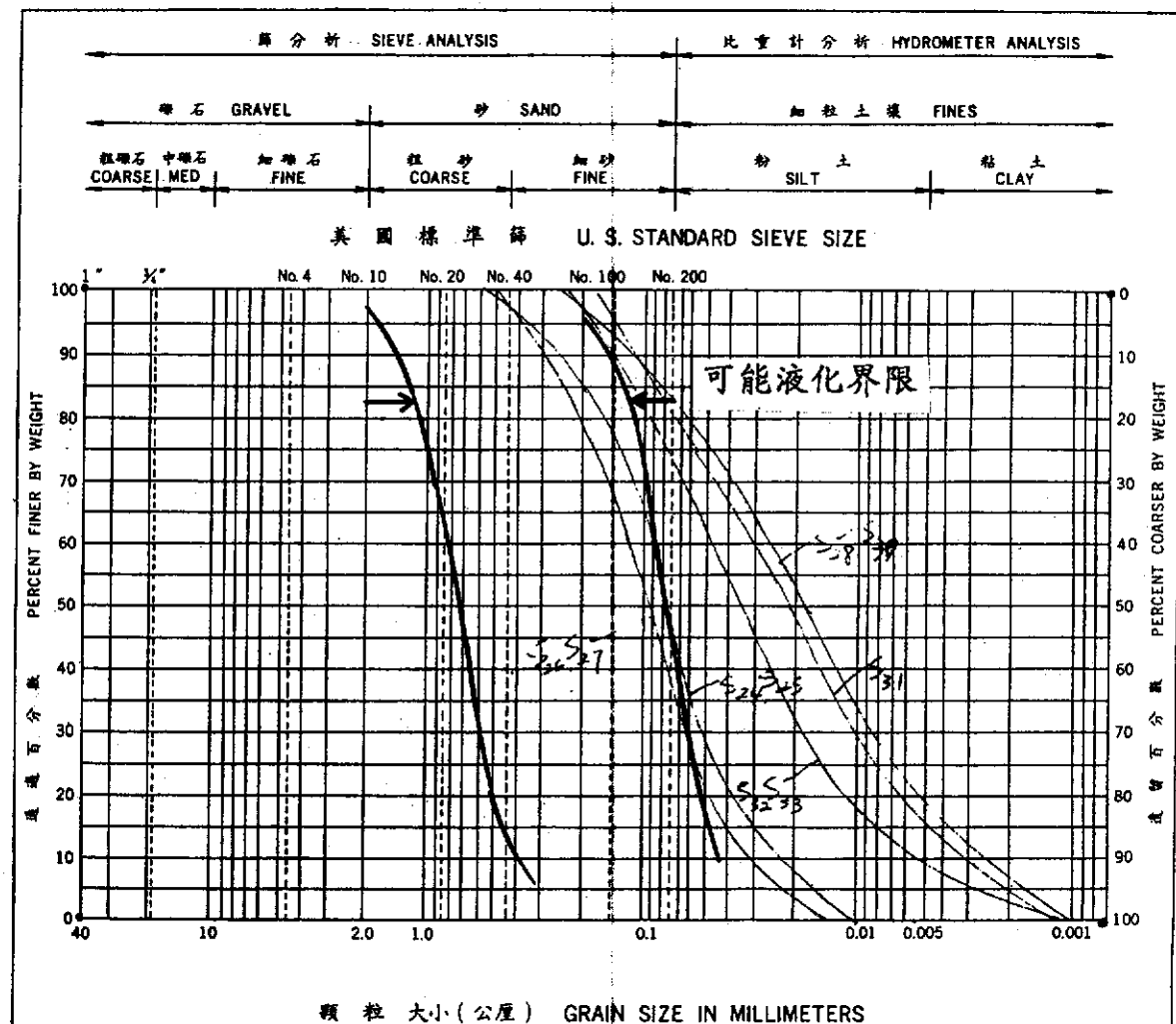
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B₂₀



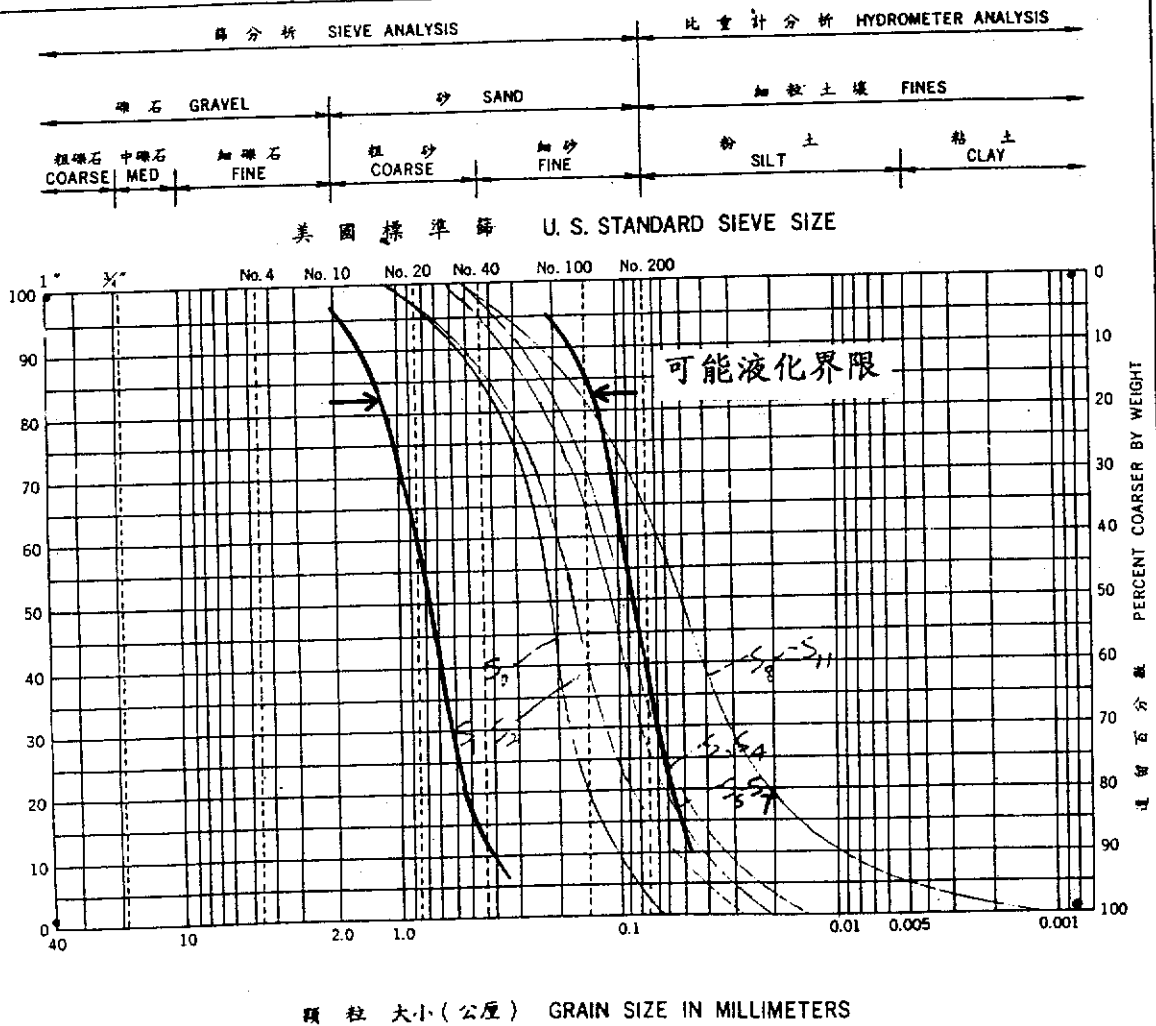
試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Ca COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₆ , S ₂₈			52	48	0	0.023	0.09	3.91	0.076	48	SM
S ₂₆ , S ₂₇			62	38	0	0.031	0.13	4.19	0.09	38	"
S ₂₈ , S ₃₀			17	64	19	0.026	0.026	10.00	0.018	83	ML
S ₃₁			19	65	16	0.003	0.030	10.00	0.021	81	"
S ₃₂ , S ₃₃			27	64	9	0.0153	0.048	9.06	0.035	73	"

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B₂₁



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			98	2	0	0.11	0.24	2.18	0.21	2	SP
S ₁ S ₂			85	15	0	0.058	0.20	3.45	0.17	15	SM
S ₃ S ₄			66	34	0	0.033	0.12	3.64	0.095	34	"
S ₅ S ₇			74	26	0	0.042	0.14	3.33	0.12	26	"
S ₉ S ₁₁			35	60	5	0.098	0.01	7.14	0.05	65	ML

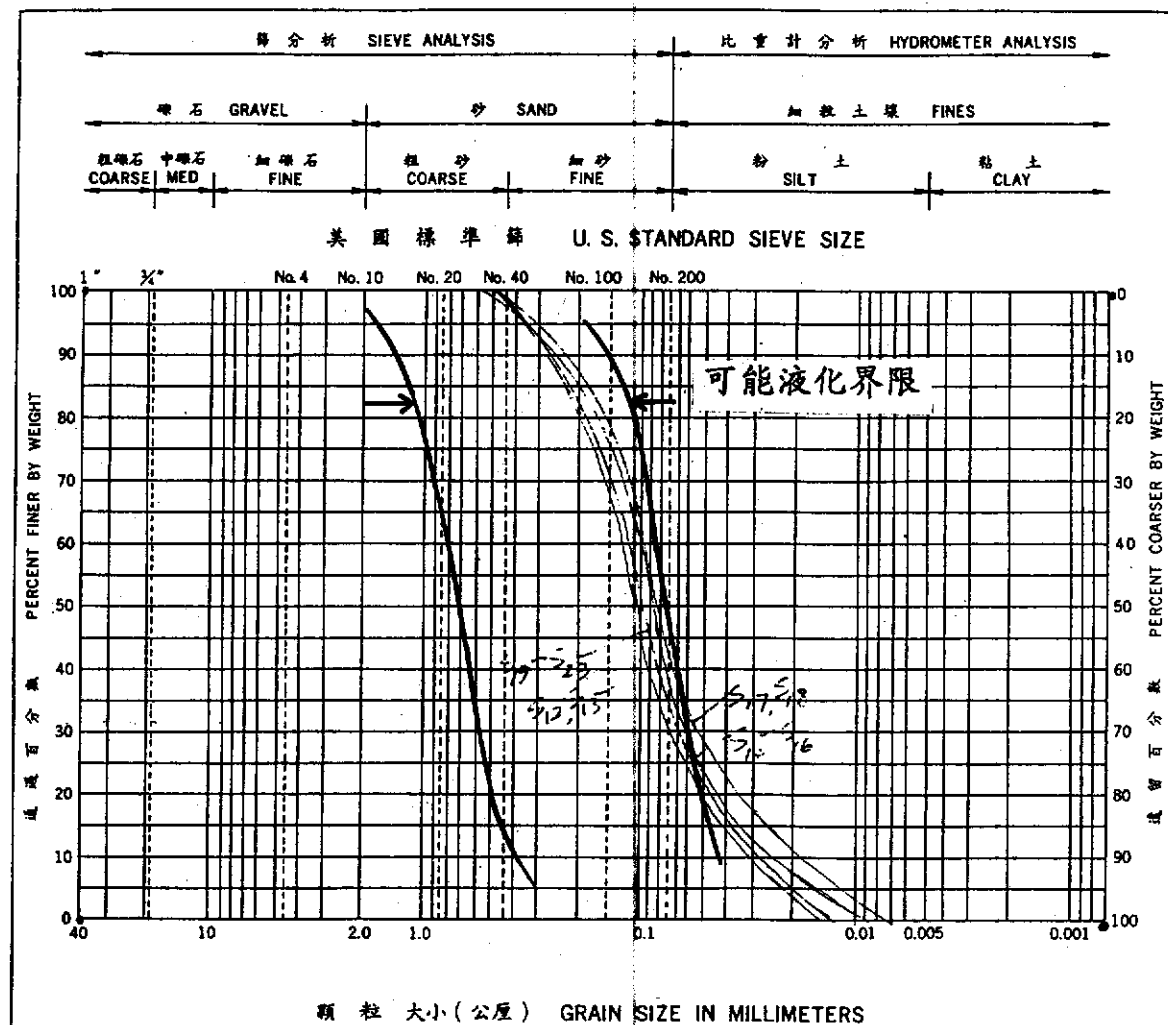
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B₂₁



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂ S ₃			70	30	0	0.03	0.13	4.33	0.11	30	SM
S ₅ S ₆			62	38	0	0.025	0.10	4.10	0.087	38	"
S ₇ S ₈			58	42	0	0.018	0.098	5.44	0.081	42	"
S ₉ S ₁₀			65	35	0	0.028	0.12	4.29	0.1	35	"

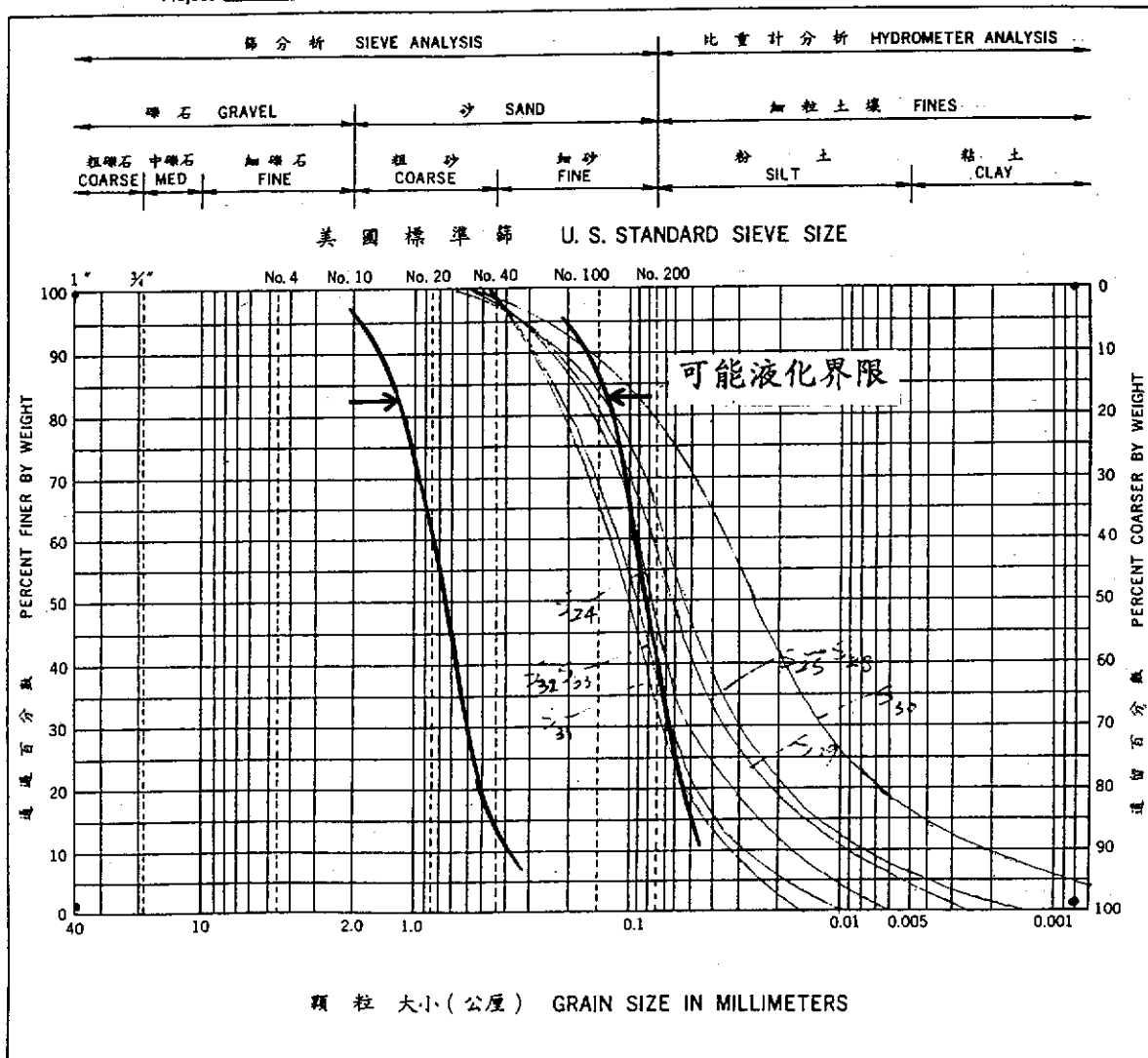
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B21



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 (%) GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 C _u COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 P.I.	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₂			53	47	0	0.017	0.09	5.29	0.08	47	SM
S ₂₅ ~ S ₂₈			35	59	6	0.008	0.07	8.75	0.055	65	ML
S ₂₉			42	54	4	0.009	0.078	8.67	0.06	58	"
S ₃₀			21	62	17	0.023	0.35	15.22	0.026	79	"
S ₃₁			66	34	0	0.054	0.13	3.82	0.1	34	SM
S ₃₂ , S ₃₃			62	38	0	0.028	0.12	4.29	0.09	38	"

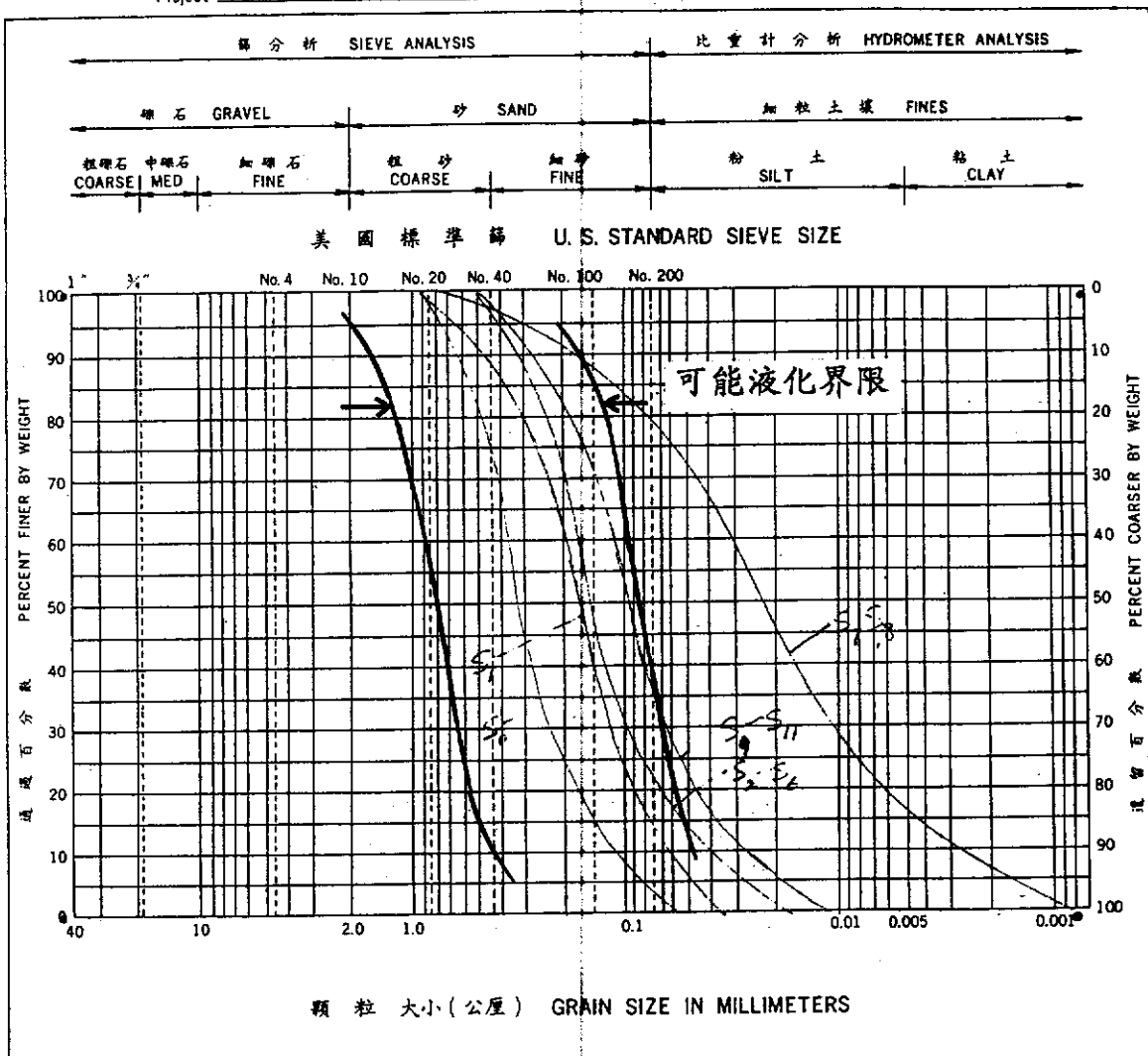
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B22



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			77	3	0	2.12	0.36	3.00	0.32	3	SP
S ₁			86	14	0	2.04	0.19	2.97	0.17	14	SM
S _{2-S4}			78	22	0	2.04	0.17	4.25	0.16	22	"
S _{7-S8}			21	62	17	0.078	0.032	11.43	0.024	79	ML
S _{9-S11}			64	36	0	0.078	0.12	4.29	0.095	36	SM

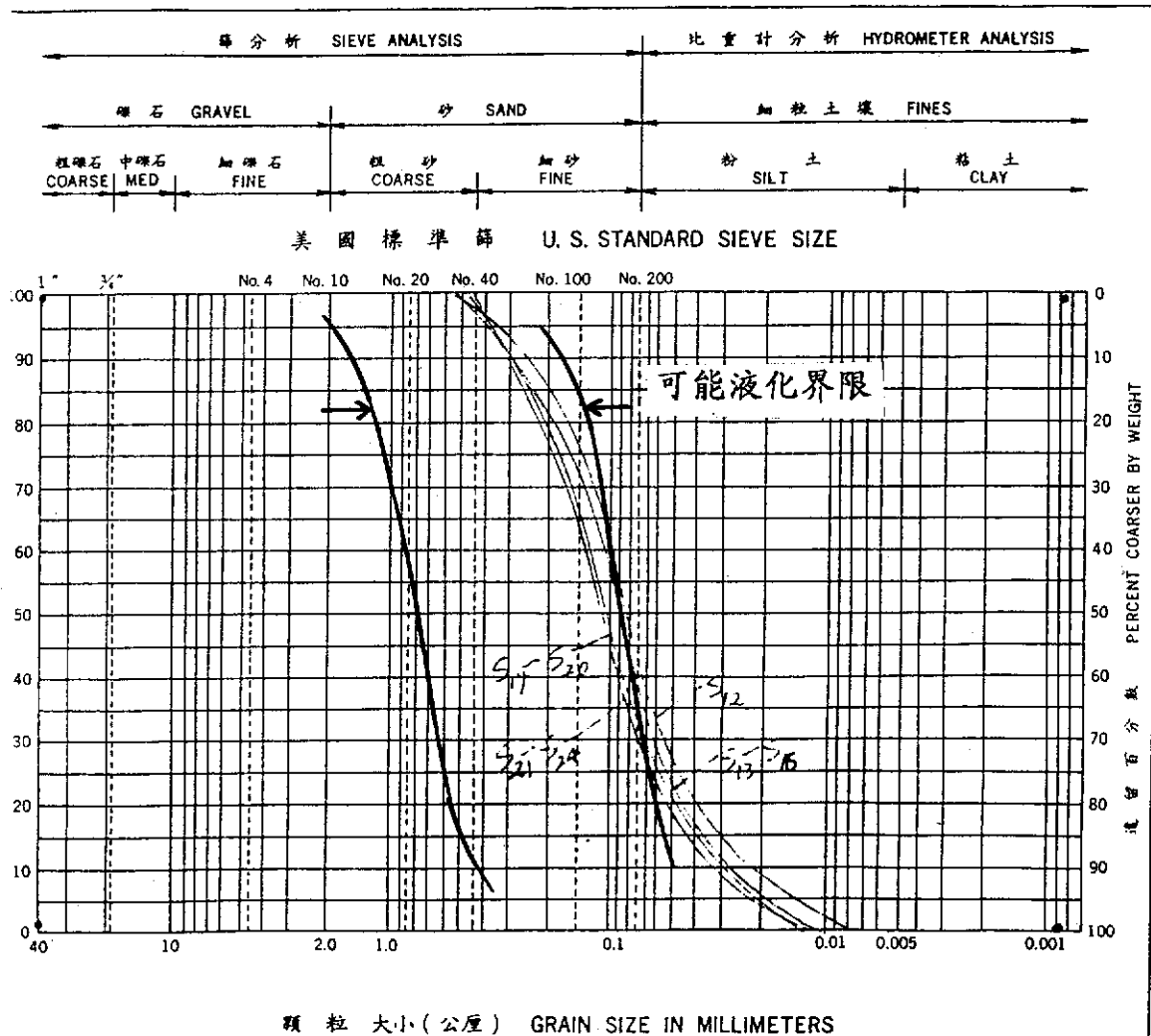
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B22



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂			57	43	0	0.022	0.10	4.55	0.082	43	SM
S ₁₃ ~S ₁₆			62	38	0	0.028	0.11	3.93	0.09	38	"
S ₁₇ ~S ₂₀			67	33	0	0.029	0.13	4.48	0.11	33	"
S ₂₁ ~S ₂₄			70	30	0	0.034	0.14	4.12	0.12	30	"

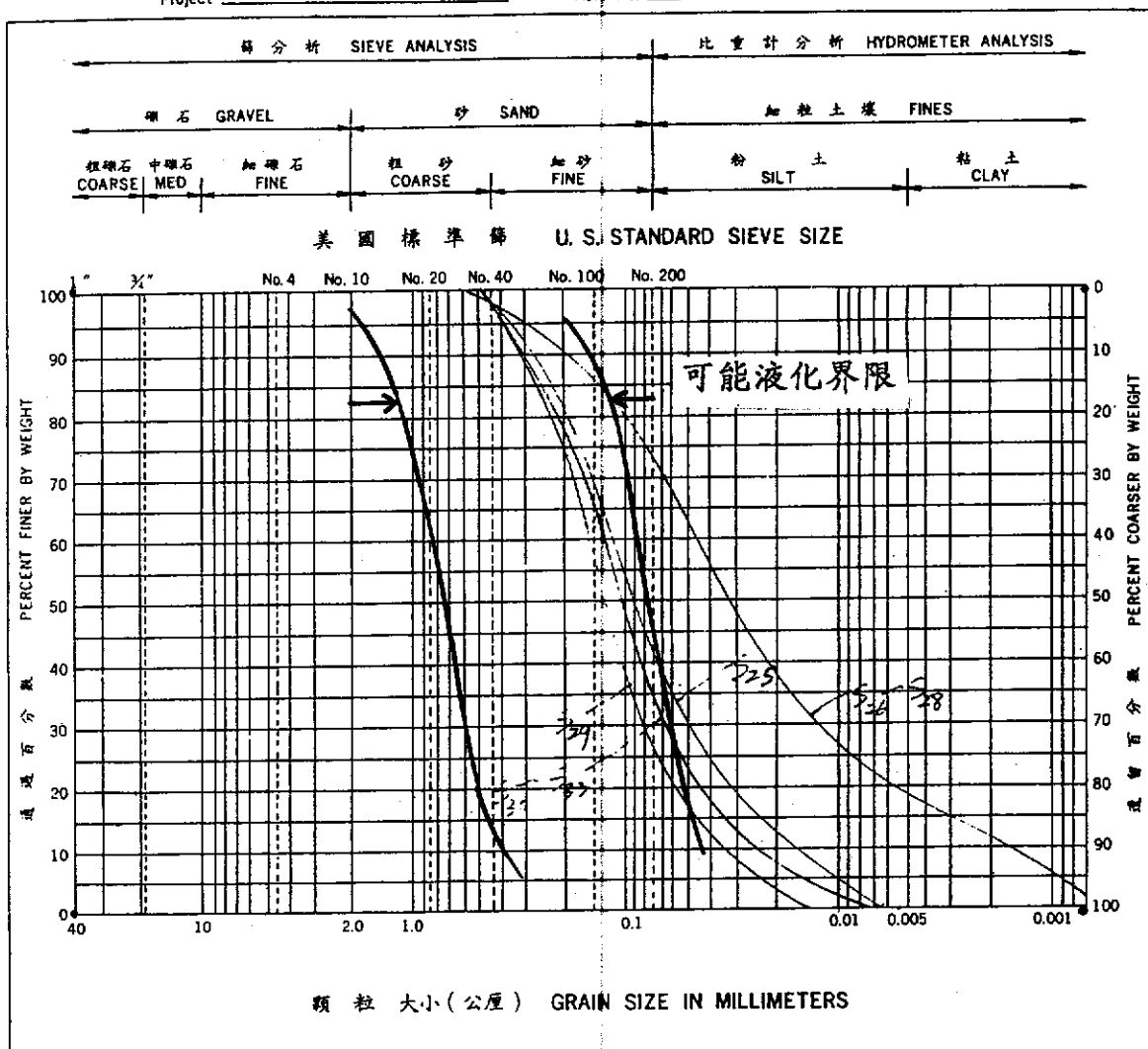
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B₂₂



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%) GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Co. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₄			58	42	0	0.075	0.12	7.50	0.09	42	SM
S ₂₆ ~S ₂₈			27	55	18	0.075	0.425	27.06	0.033	73	ML
S ₂₉			74	26	0	0.075	0.16	4.57	0.13	26	SM
S ₃₀ ~S ₃₂			65	35	0	0.075	0.13	5.20	0.1	35	"

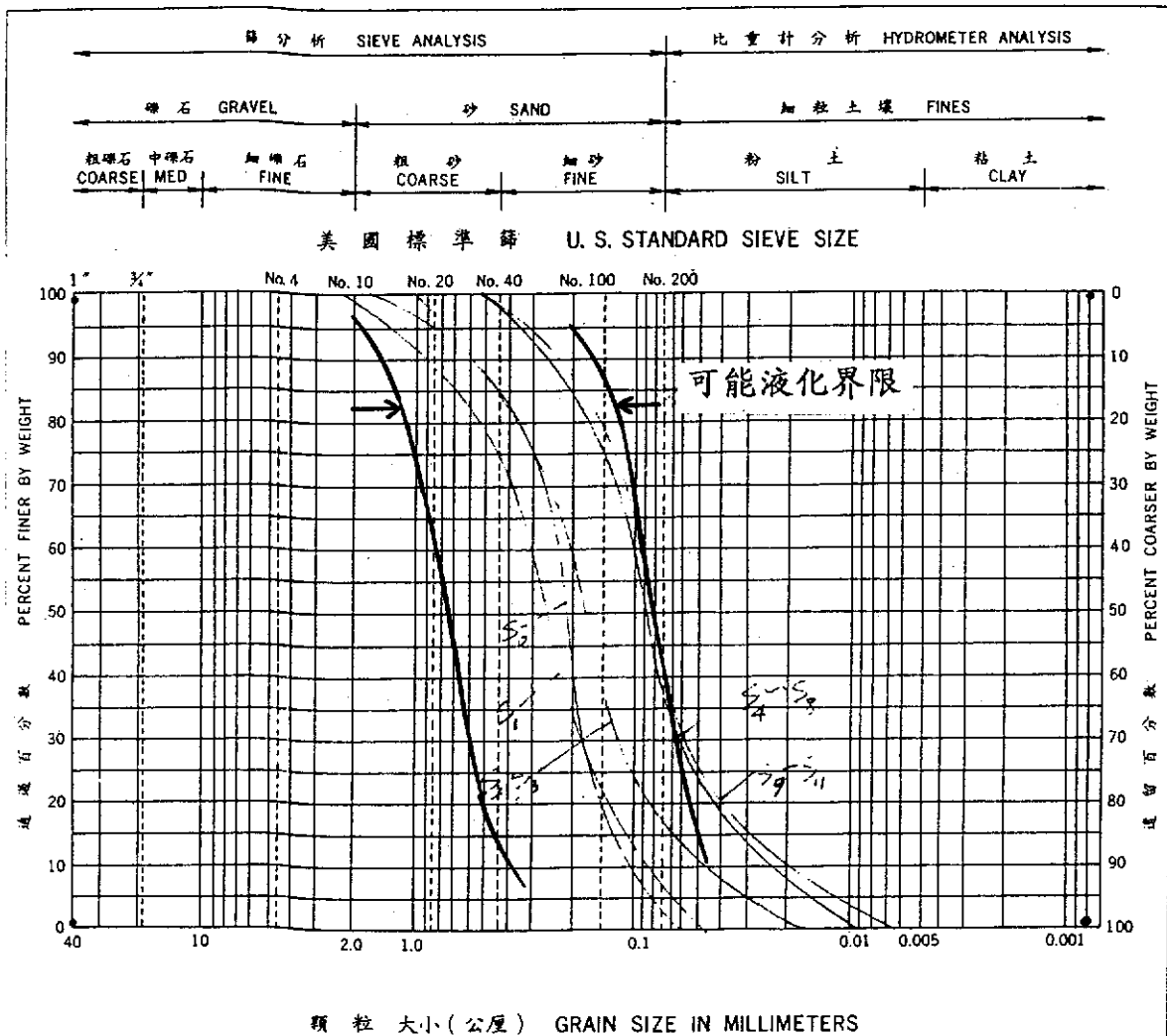
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B23



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			97	3	0	0.11	0.24	2.18	0.22	3	SP
S ₁			92	8	0	0.085	0.30	3.53	0.27	8	SP-SM
S ₂ -S ₃			83	17	0	0.047	0.20	4.26	0.17	17	SM
S ₄ -S ₅			62	38	0	0.024	0.10	4.17	0.09	38	"
S ₆ -S ₁₁			59	41	0	0.020	0.094	4.70	0.08	41	"

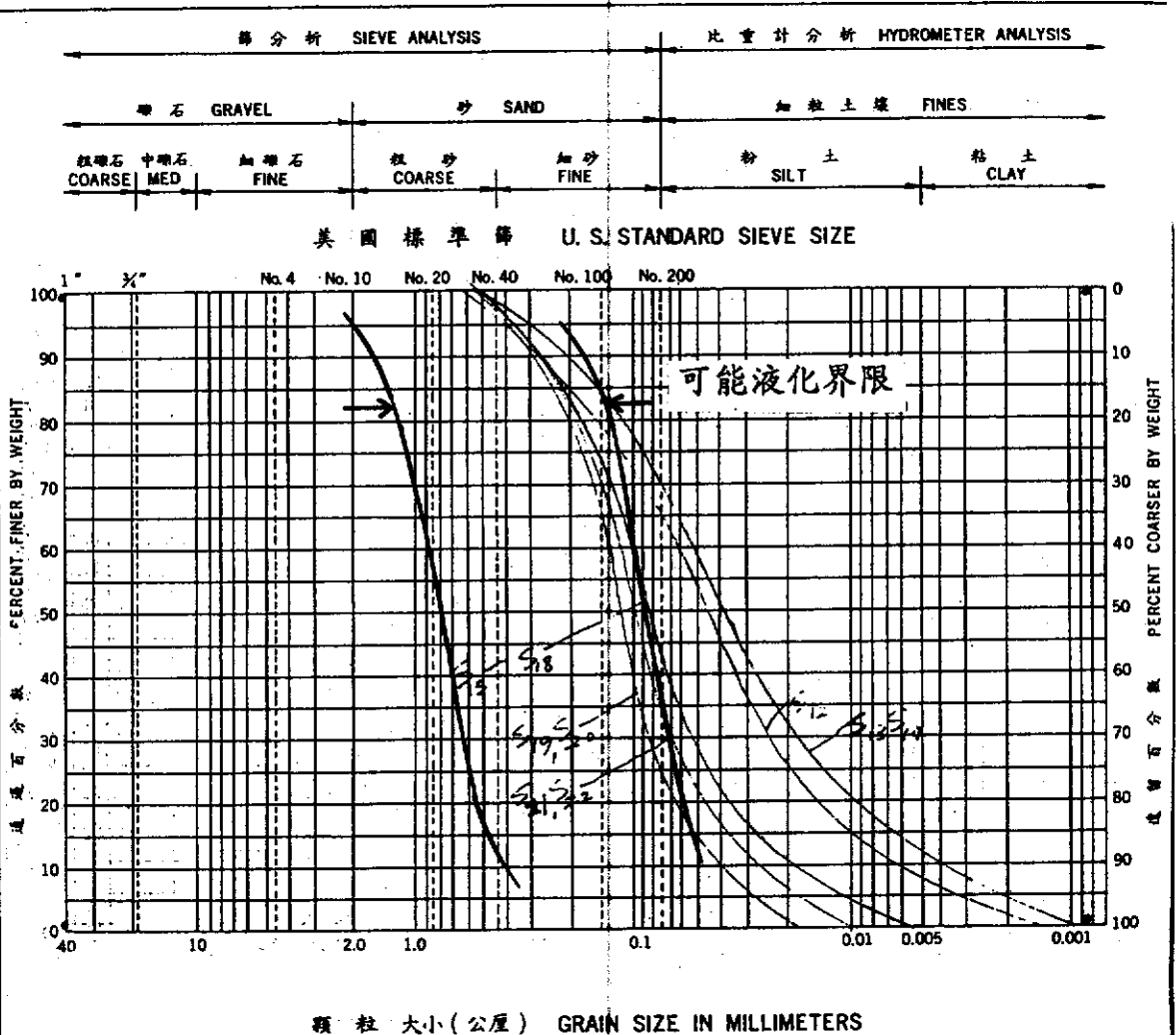
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B22



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%) GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CO. COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂			35	57	8	0.0064	0.062	9.69	0.045	65	ML
S ₁₃ , S ₁₄			30	57	13	0.004	0.052	13.00	0.04	70	'
S ₁₅ , S ₁₈			56	44	0	0.018	0.10	5.56	0.082	44	SM
S ₁₉ , S ₂₀			75	25	0	0.040	0.14	3.50	0.13	25	"
S ₂₁ , S ₂₂			66	34	0	0.027	0.12	4.44	0.1	34	"

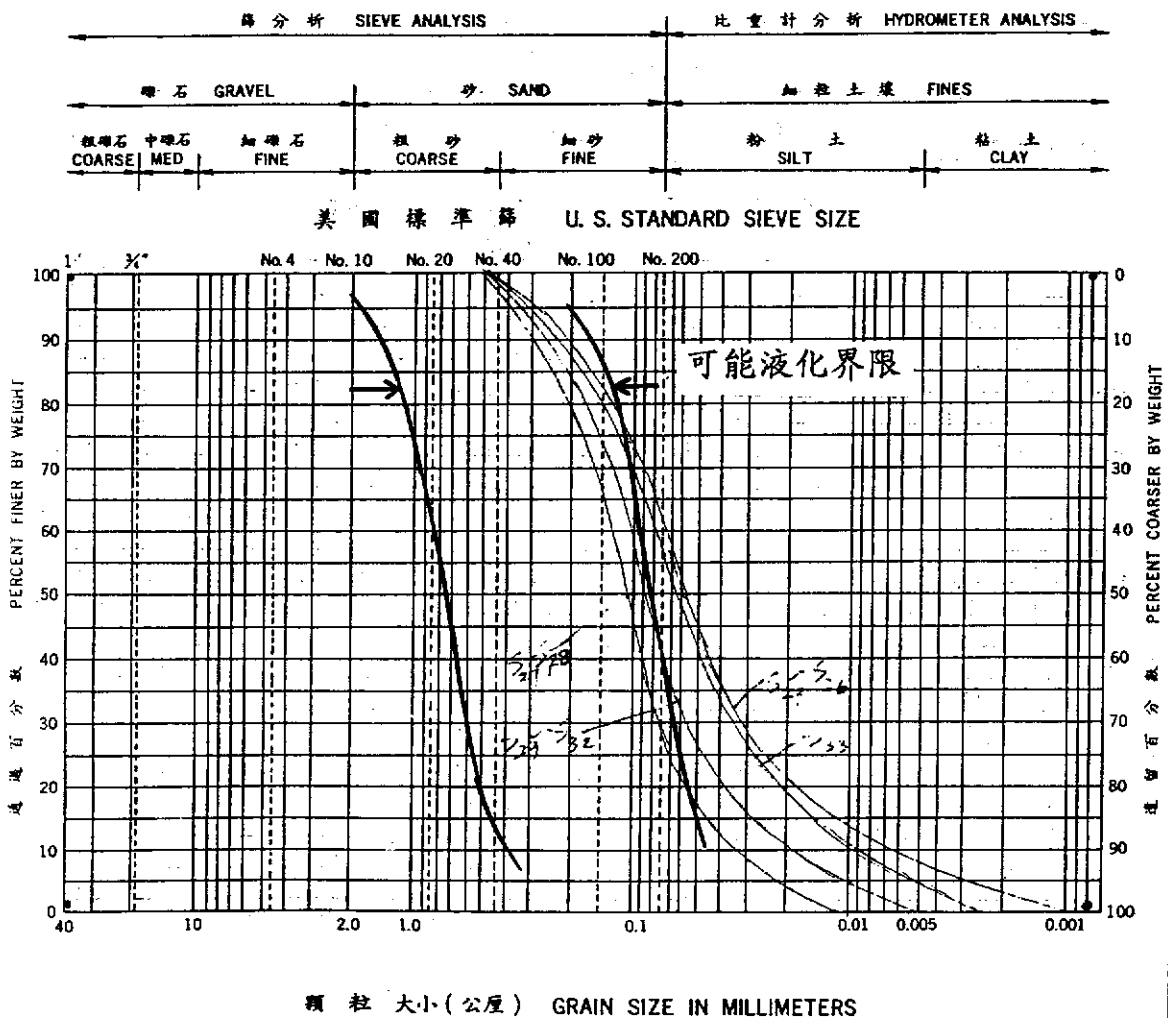
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B23



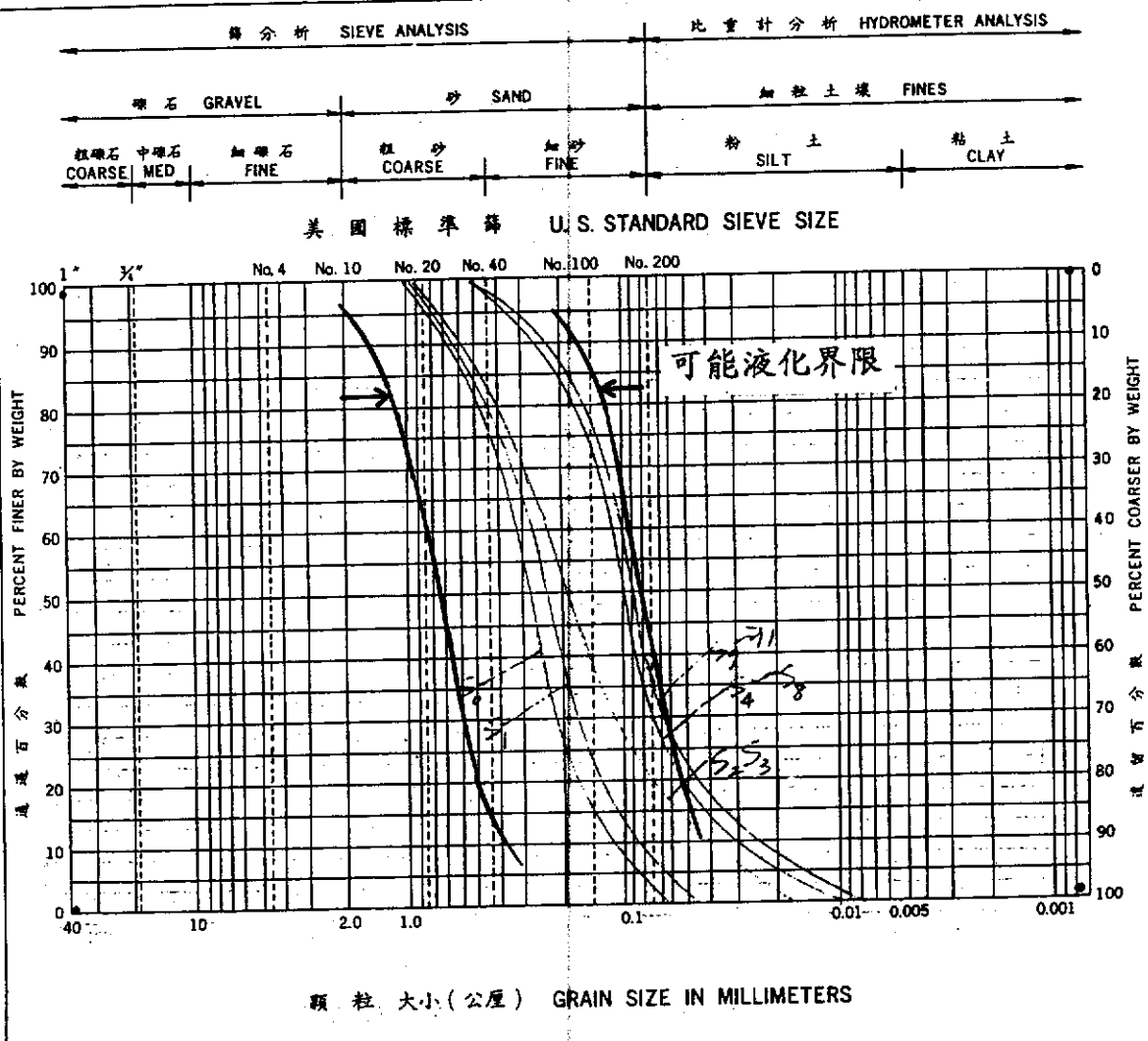
試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 (%) GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₃ -S ₂₄			40	52	8	0.065	0.075	11.54	0.057	60	ML
S ₂₇ -S ₂₈			72	28	0	0.034	0.14	4.12	0.11	28	SM
S ₂₉ -S ₃₂			60	40	0	0.018	0.11	6.11	0.09	40	"
S ₃₃			41	52	4	0.009	0.08	8.89	0.065	56	ML

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B54



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₀			98	2	0	0.12	0.32	2.67	0.28	2	SP
S ₁			92	8	0	0.075	0.27	3.18	0.24	8	SP-SM
S ₂ -S ₃			80	20	0	0.040	0.24	6.00	0.19	20	SM
S ₄ -S ₈			70	30	0	0.030	0.12	4.00	0.1	30	"
S ₉ -S ₁₄			65	35	0	0.025	0.12	4.00	0.09	35	"

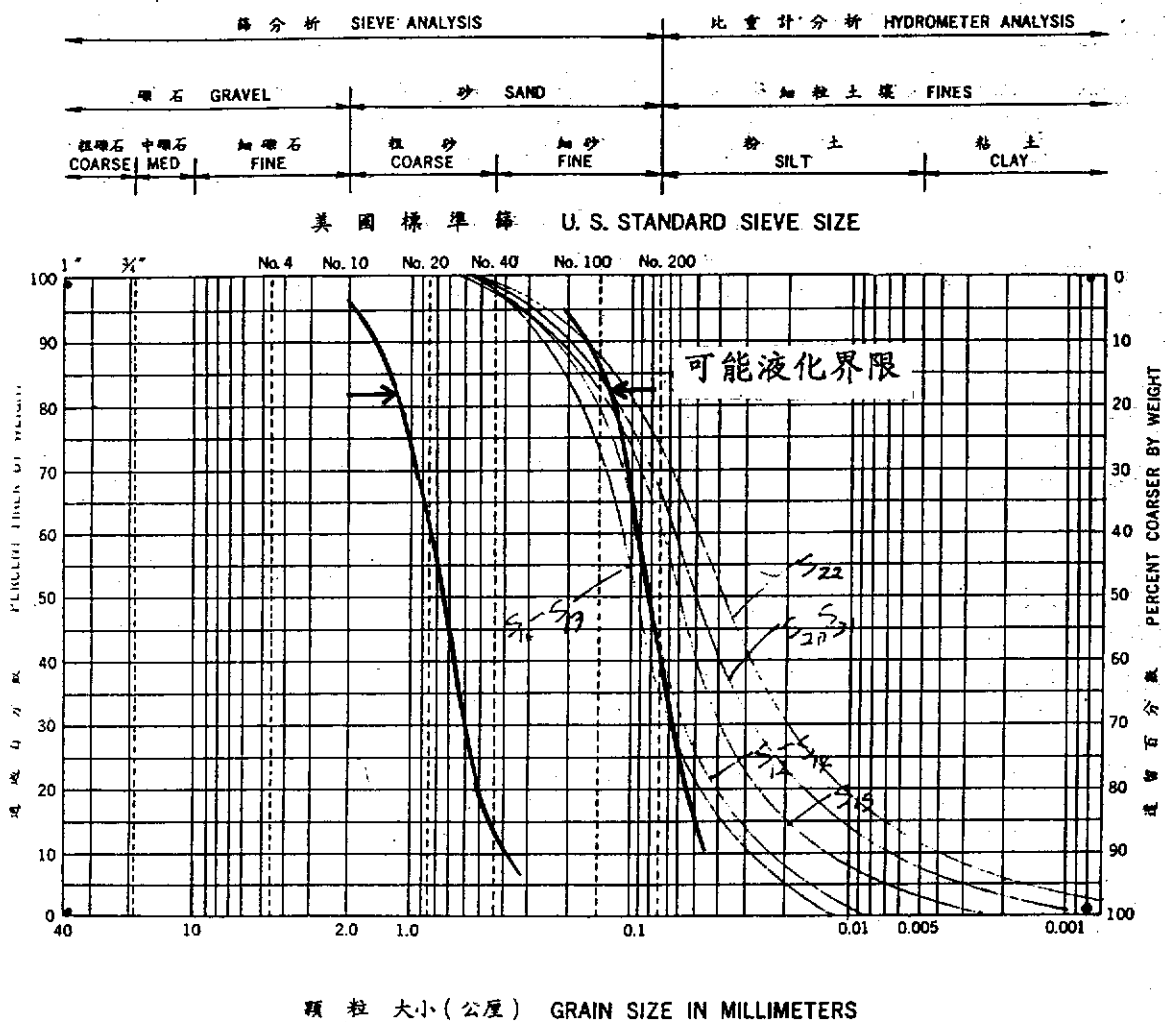
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B24



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂ -S ₁₄			57	43	0	0.024	0.092	3.83	0.08	43	SM
S ₁₅			38	59	3	0.014	0.074	5.29	0.06	62	ML
S ₁₆ -S ₁₇			65	35	0	0.029	0.11	3.79	0.095	35	SM
S ₂₀ -S ₂₁			33	59	8	0.0068	0.065	9.56	0.05	67	ML
S ₂₂			26	62	12	0.004	0.050	12.50	0.038	74	"

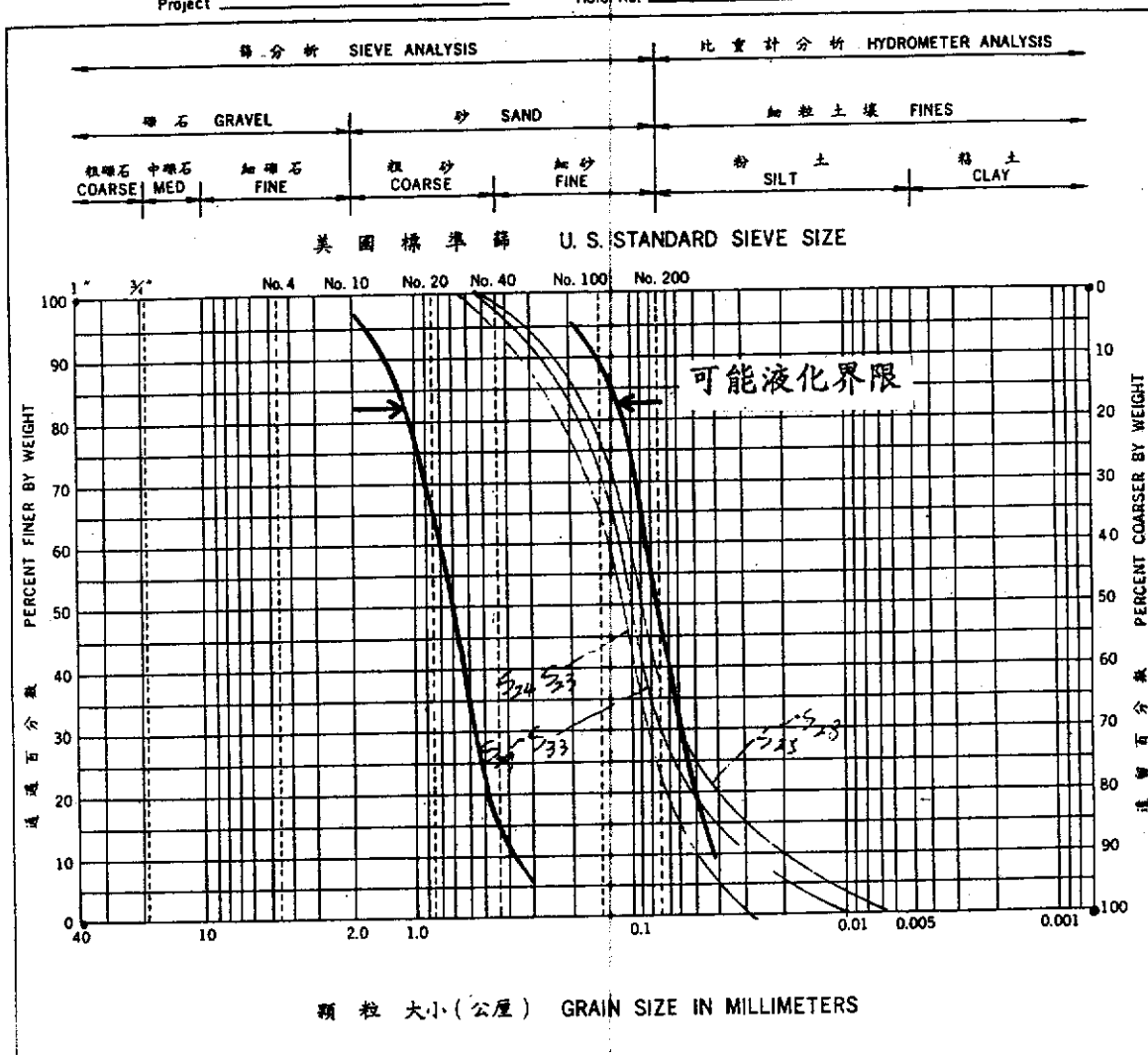
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B-2



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₂₄ -S ₂₄			77	23	0	0.050	0.14	2.80	0.12	23	SM
S ₂₅ -S ₂₅			62	38	0	0.020	0.10	5.00	0.09	38	"
S ₂₆ -S ₂₆			70	30	0	0.030	0.12	4.00	0.1	30	"

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

試樣編號 SAMPLE NO.	深 度 DEPTH (M)	顆 粒 粒 徑 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 Cu COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分 類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁			96	4	0	0.09	0.16	1.78	0.15	4	SP
S ₁ ~S ₃			92	8	0	0.10	0.64	6.40	0.55	8	SP-SM
S ₄ ~S ₇			72	28	0	0.04	0.12	3.00	0.095	28	SM
S ₈ ~S ₁₂			63	37	0	0.024	0.099	2.91	0.085	37	U

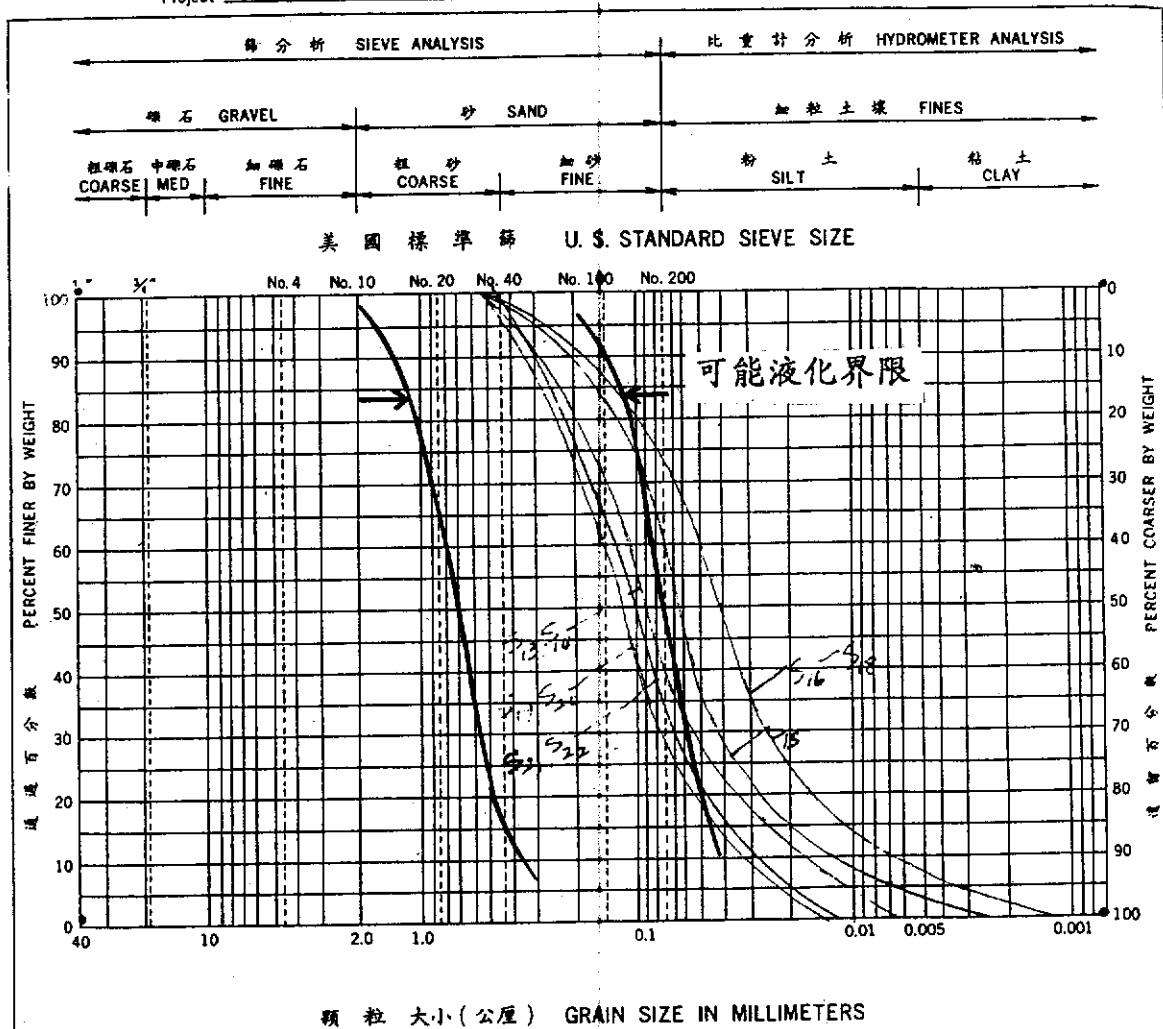
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B25



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂ -S ₁₄			60	40	0	0.07	0.11	6.47	0.09	40	SM
S ₁₄			40	57	3	0.07	0.075	5.36	0.065	60	ML
S ₁₄ -S ₁₈			27	65	8	0.07	0.05	7.14	0.04	73	"
S ₁₉ -S ₂₀			72	28	0	0.02	0.15	4.61	0.12	28	SM
S ₂₁ -S ₂₂			66	34	0	0.02	0.13	4.48	0.1	34	"

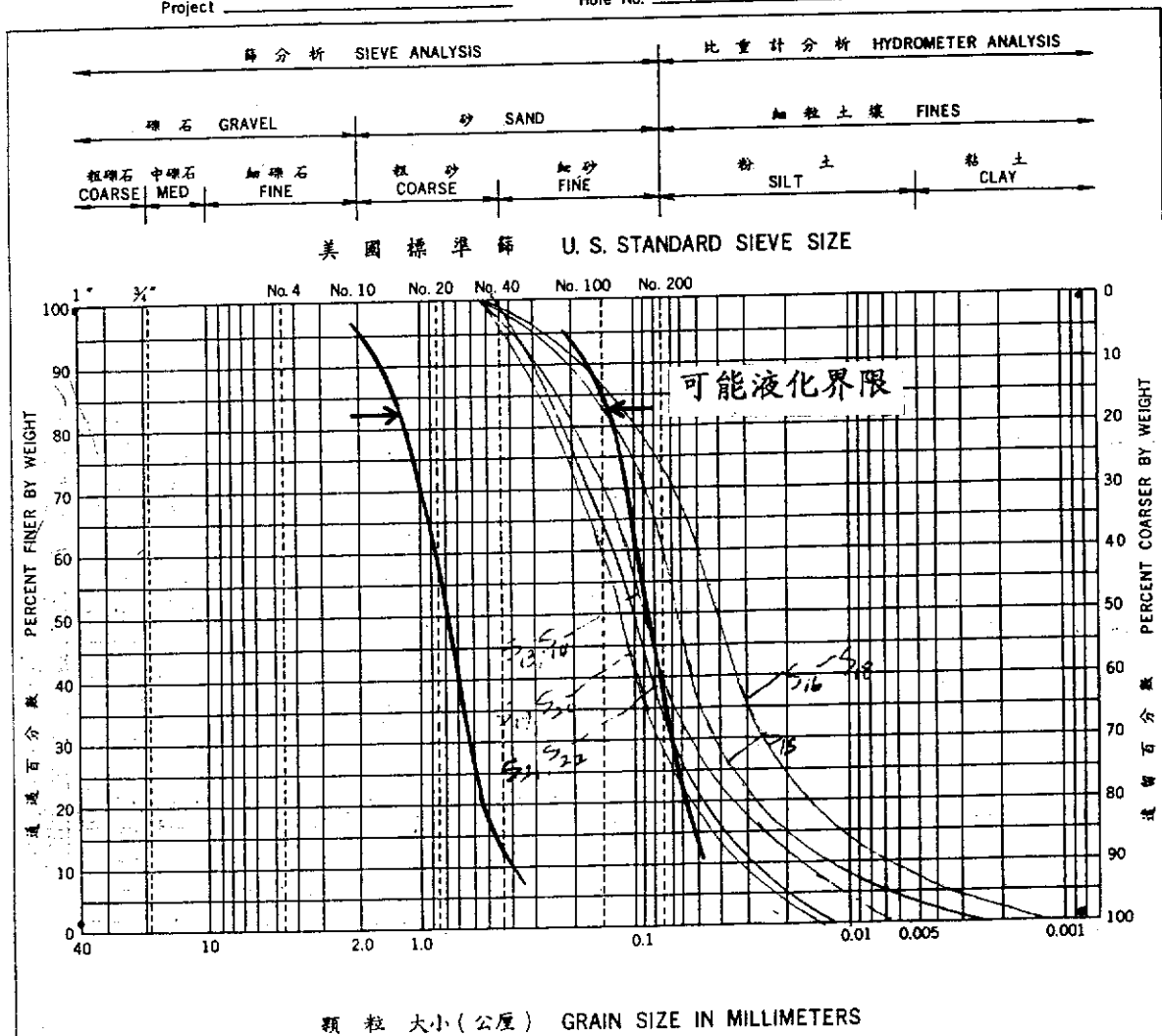
高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU

試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B25



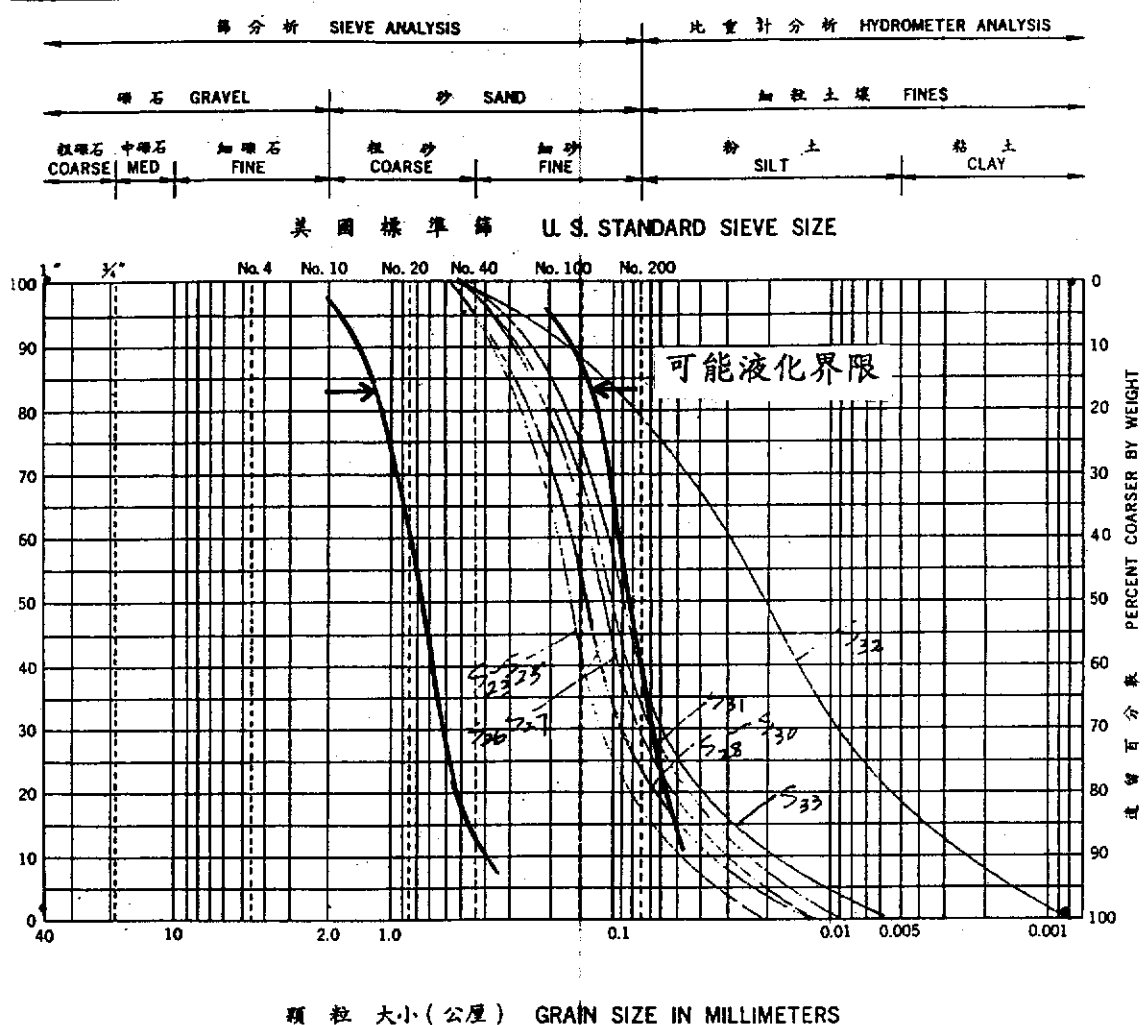
試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分佈 GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 L.L.	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S ₁₂ -S ₁₄			60	40	0	0.017	0.11	6.47	0.09	40	SM
S ₁₅			40	57	3	0.014	0.075	5.36	0.065	60	ML
S ₁₆ -S ₁₈			27	65	8	0.007	0.05	7.14	0.041	73	"
S ₁₉ -S ₂₀			72	28	0	0.032	0.15	4.61	0.13	28	SM
S ₂₁ -S ₂₂			66	34	0	0.029	0.13	4.48	0.1	34	"

高雄港務局港埠工程處
HARBOR CONSTRUCTION & MAINTENANCE OFFICE
KAOHSIUNG HARBOR BUREAU
試驗室
LABORATORY

顆粒分佈曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION BORING HOLE

工程名稱
Project

鑽孔編號
Hole No. B25



試樣編號 SAMPLE NO.	深度 DEPTH (M)	顆粒分析 (%) GRAIN SIZE ANALYSIS (%)				D ₁₀ (MM)	D ₆₀ (MM)	平均係數 CU COEF. OF UNIFORMITY	液性限度 LL	塑性指數 PI	分類 CLASSIFICATION
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY						
S25			82	18	0	0.05	0.18	3.60	0.17	18	SM
S27			71	29	0	0.03	0.14	4.67	0.12	29	"
S28			76	24	0	0.036	0.16	4.44	0.14	24	"
S29			66	34	0	0.025	0.13	5.20	0.1	34	"
S32			21	61	18	0.0025	0.07	12.00	0.02	79	ML
S33			61	39	0	0.018	0.11	6.11	0.09	39	SM

附錄五

Sondex Settlement System

使用說明書

附錄五 Sondex Settlement System 使用說明(圖A5-1)

一．前言

Sondex Settlement System被用以量測土壤沉陷量(Settlement) 和上拱量，如開挖、施工、回填或隧道等土木工程施工所造成。系統收集到數據可被引用為沉陷量和總位移量，倘若儀器水平安置則可測定水平移動量。系統包括一量測桿(Probe) 和一組感應環(Sensing Ring)，在軟弱地盤時，感應環於適當間距按置在一塑膠管上(Plastic Pipe)，塑膠管可隨周圍土壤滑動而拉伸或壓縮，若為堅硬地盤，則感應環可固定在剛性電纜線管上。當量測桿逐步放入塑膠管內，藉由感應環激發訊號，經電纜線傳至地面上記錄收集器，比較原有長度可計算出其間變化量。

二．操作步驟

步驟1 建立一參考點，由於每次量測結果精確度與參考點有關，故應審慎操作，一般將參考點置於塑膠管頂部，抑或附近參考架(Reference Stand)。

步驟2 應加載重塊使膠帶弄緊。

步驟3 調整靈敏鈕(Sensitivity Control) 順時針方向至適當值，再按下電池試驗鈕，一旦“嗶”聲響起，表示至少為11伏特，繼續調撥靈敏鈕為5。

步驟4 放下量測桿至最深感應環附近，當“嗶”聲響起，再略微拉高或放下量測桿直至指針為最高值，必要時重調靈敏鈕使指針達尖鋒值。

步驟5 決定感應環深度，參見三利用膠帶和參考點之間關係可求得。

步驟6 提升量測桿至下一個感應環，當“嗶”聲響起，繼續略升或略降量測桿至指針達最大值，再記錄深度，反覆此步驟直至所有感應環皆被量測為止，為了確保量測品質，宜由最深處感應環測定起。

三．利用Sondex Cable記號測定感應環深度

利用圖A5-2測定感應環深度，步驟如下：

步驟1 建立歸0參考點。

步驟2 放下量測桿至適當深度，測得感應環深度。

步驟3 計算出感應環深度。

例如： $120.00\text{ ft} - 0.55\text{ ft} = 119.45\text{ ft}$

四．數據整理

1.記錄紙(Data Sheet)：原稿紙在工地記錄結果如圖A5-3示，表中量測時程為六個月，共有10個感應環，彼此間距為5英尺，每個時段記錄各個感應環深度，原稿明顯指出第10感應環結果最大，但事實上此處係在一穩定地盤，其沉陷值最小，相反地其他感應環已有相當量沉陷值。

2.數據整理(Data Summary)

圖A5-4為原稿整理獲得，表中包括差值(Differences)和變化值(Changes)。

3.差值計算(Calculate Differences)

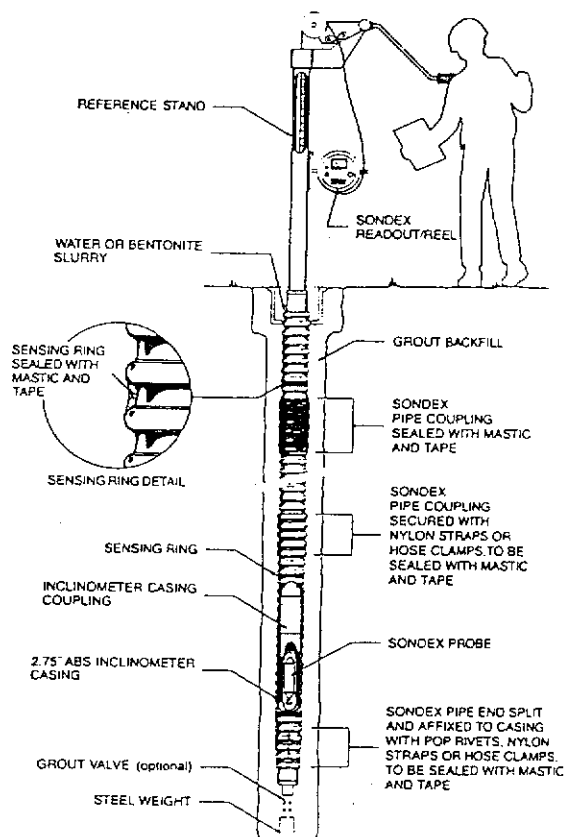
首先設立最底端感應環為一參考值，然後將上方各感應環深度值與其相減得出，例如，第一個月感應環10和感應環1，二者深度差值為44.96英尺。

4.變化值計算(Calculate Changes)

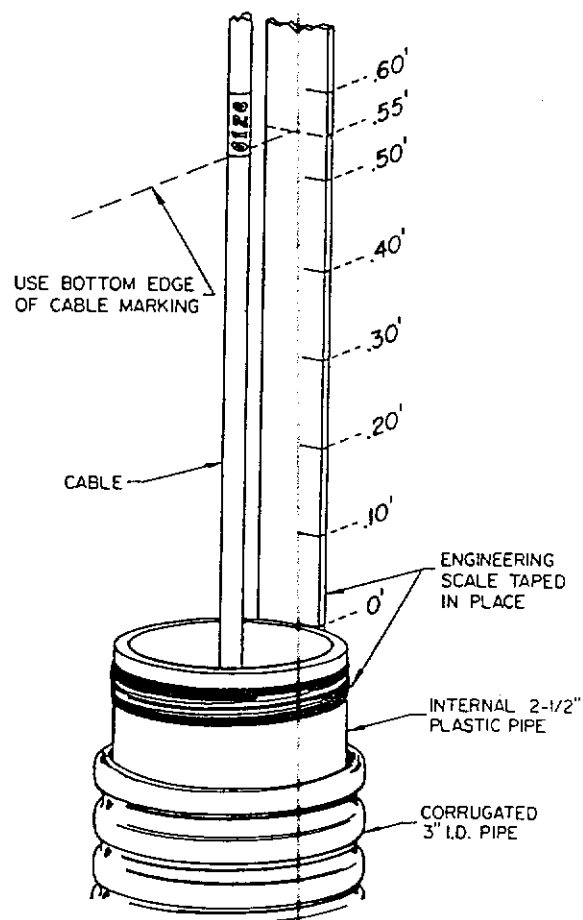
為了計算地盤沉陷量或上拱量，先設第1欄所有值為一參考值，然後幾個月量測結果與其比較才是真正變化值；即沉陷量或上拱量。

五．繪圖

圖A5-5和圖A5-6乃將表中數據整理繪得，以作為結果解說。



圖A5-1 Sondex Settlement System全貌



圖A5-2 測定感應環深度示意圖

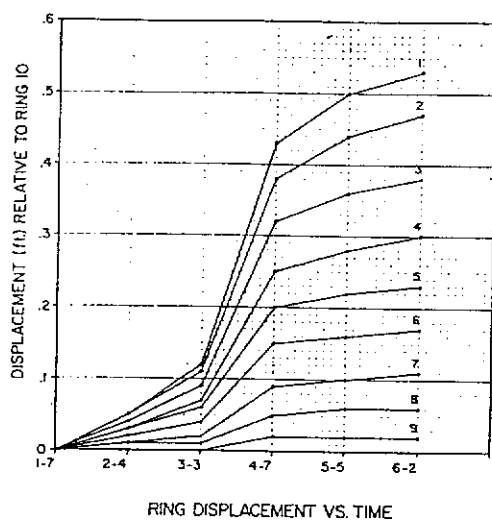
SONDEX DATA SHEET								
Slope Indicator Company								
INSTALLATION _____								
JOB LOCATION _____								
DATE AND READING								
LOCATION	1-7	2-4	3-3	4-7	5-5	6-2		
1	.62	.62	.62	.61	.61	.61		
2	5.58	5.58	5.57	5.52	5.51	5.51		
3	10.65	10.64	10.62	10.53	10.50	10.49		
4	15.61	15.59	15.56	15.42	15.38	15.37		
5	20.57	20.55	20.51	20.33	20.28	20.26		
6	25.63	25.60	25.55	25.34	25.28	25.26		
7	30.64	30.60	30.54	30.29	30.23	30.21		
8	35.59	35.55	35.48	35.20	35.14	35.11		
9	40.62	40.57	40.50	40.20	40.13	40.10		
10	45.58	45.53	45.46	45.14	45.07	45.04		

圖A5-3 工地記錄結果

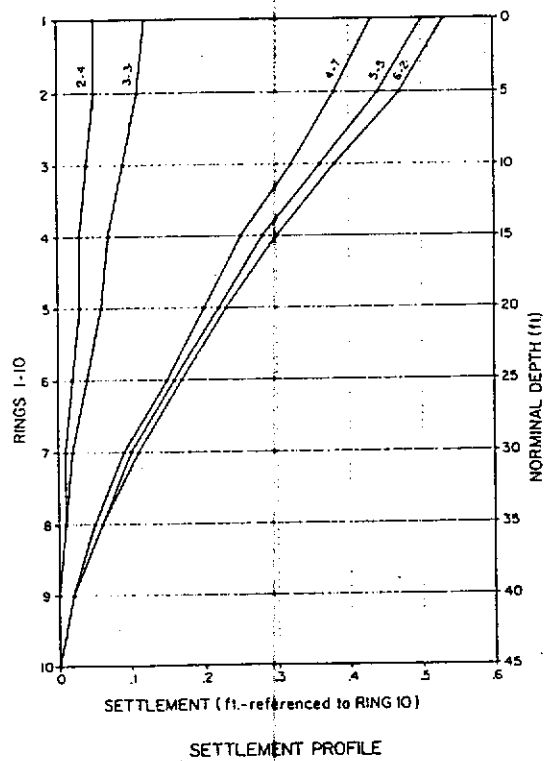
DATA SUMMARY

INTERVAL	1-7	DATE: 2-4		DATE: 3-3		DATE: 4-7		DATE: 5-5		DATE: 6-2	
	INITIAL DIFF	DIFF	CHANGE	DIFF	CHANGE	DIFF	CHANGE	DIFF	CHANGE	DIFF	CHANGE
10-1	44.96	44.71	.05	44.84	.12	44.53	.43	44.46	.50	44.43	.53
10-2	40.00	39.95	.05	39.89	.11	39.62	.38	39.56	.44	39.53	.47
10-3	34.93	34.89	.04	34.84	.09	34.61	.32	34.57	.36	34.55	.38
10-4	29.97	29.94	.03	29.90	.07	29.72	.25	29.69	.28	29.67	.30
10-5	25.01	24.98	.03	24.95	.06	24.80	.20	24.79	.22	24.78	.23
10-6	19.95	19.93	.02	19.91	.04	19.80	.15	19.79	.16	19.78	.17
10-7	14.94	14.93	.01	14.92	.02	14.85	.09	14.84	.10	14.83	.11
10-8	9.99	9.98	.01	9.98	.01	9.94	.05	9.93	.06	9.93	.06
10-9	4.96	4.96	0	4.96	0	4.94	.02	4.94	.02	4.94	.02

圖A5-4 原稿數據整理



圖A5-5 感應環位移量與時間關係圖



圖A5-6 沈陷量與深度關係圖

附錄六

土層液化潛能評估之程式分析

附錄六 土層液化潛能評估之程式分析

一、緒言

當飽合疏鬆砂土受到地震或其他型式之振動，砂土會因孔隙水壓之升高而暫時喪失其強度而如液體一般，此種現象即謂“液態化”。若土壤發生液態化，則可能造成結構物之沈陷或傾斜甚至破壞。由於地震引致土層液化之個案報告，以1964年發生在日本新潟(Niigata)大地震[2]較為詳細和完整。在這次地震中，由於土層液化而造成財產之損失相當龐大。有鑑於此，自1960年代起即有相當多之學者投入對液化之肇因及防治對策之研究，而其成果亦相當之顯著，而其中又以Seed等之研究成果最為卓著[6,7,8]。

土層液化潛能之評估方法，有多位學者提出不同之學理與方法，其中以使用標準貫入試驗(SPT)錘擊數N(blow counts)之方法最為簡便，此種方法是經由許多現場液化案例經驗之累積，而歸納出之土層液化準則(Margin)而成，是故以此種方法作液化潛能之初步評估有其一定程度之可靠性。目前國內工程界亦普遍使用此法對土層之液化潛能作初步之評估。

本計畫之液化評估是使用程式分析，此程式使用之SPT-N值土層液化評估是依據Seed等所建議之液化簡易評估法則[6,7,8]以及美國國家研究評議會(National Research Council)地震工程委員會(Committee on Earthquake Engineering)[1]對土層液化評估報告之建議所撰寫。

此程式將建議之圖表關係與評估邏輯藉著電腦程式之運算使其評估過程自動化，以節省許多人為查圖、分析、計算和結果整理之繁複程序。

本計畫使用之程式是以培基(BASIC)語言所撰寫，程式名稱為LPA，以交談式方式輸入土層資料與分析結果之圖形銀幕輸出。並同時可將銀幕顯示之圖形結果建立繪圖語言(HP-GL)之圖形檔，以便在各式列表機或繪圖機中作高品質之分析結果報告之輸出。本附錄將說明程式LPA之分析之方法及過程。

二、土層液化潛能評估之通則

一般對土層液化潛能評估之通則可歸納為下列五個步驟：

1. 建立地下土層之地質資料。如此資料包括土層組成，地下水位狀況，各土層之土壤物性，如比重(G_s)，孔隙比(e)，含水量(ω)等。
2. 建立設計地震(Design Earthquake)資料。如地震規模(Magnitude)，最大地表加速度(a_{max})，地動震譜等。
3. 決定由設計地震在各深度土壤所引致之剪應力大小。
4. 決定各土層土壤對震動液化之阻抗或強度大小，此阻抗能力可由試驗室或工地試驗等所求取。
5. 比較步驟5與步驟4之應力大小以評估土層是否有發生液化之可能。亦即比較抵抗液化之強度與地震時所引致土層中之應力，而評估土層之液化潛能如圖A6-1所示。

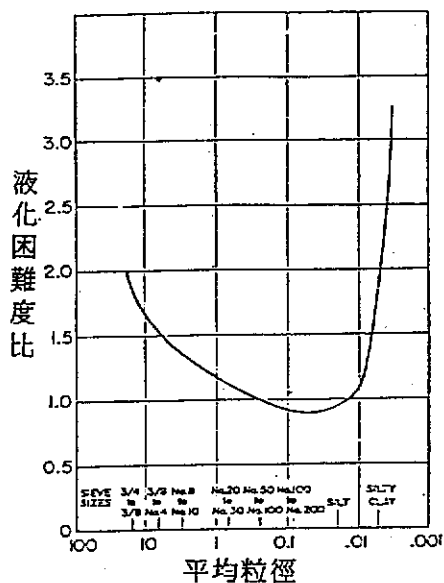
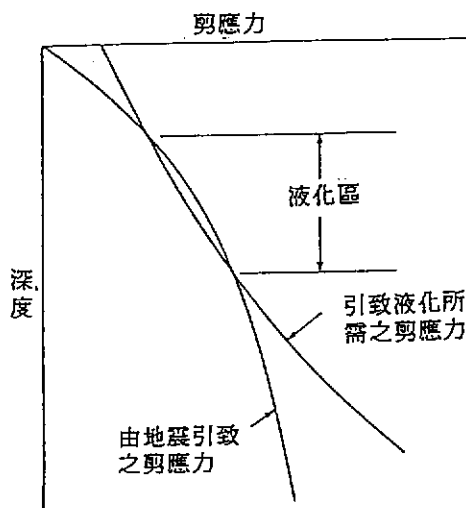
三、SPT-N值液化潛能評估法

本程式所使用之SPT-N值液化潛能分析法是依據Seed等[6,7,8]和美國國家研究評議會(NRC)地震工程委員會在1985年[1]所建議之方法所發展和撰寫。此分析方法可歸納下列幾項步驟來說明。

A. 建立地下土層資料

一般而言，液化通常是發生在較為疏鬆之飽和砂土層，而土壤液化可能發生之深度在30 m以內，但其通常以20 m內較易發生，而最有可能之深度大約在10米深左右。土壤之顆粒大小將影響液化發生之潛能，如圖A6-2所示為土壤平均粒徑 D_{50} 對液化難易度之影響。另外，土壤之組成及級配狀況亦將影響液化發生之潛能。如圖A6-3所示為日本學者Tsuchida[4]所得之研究結果。在本法之液化分析中為考慮土壤組成與顆粒粒徑分佈的影響，而以土壤中所包含之細料(即粉土與黏土之總和)之百分比表示。此細料之影響可由圖A6-4中所顯示。圖中三條線分別區隔細料含量為小於5%、15%和35%之準則線(Marginal line)。在程式分析中亦考慮細料之含量，若細料含量不位在準則線上時，則以內插法求得。

使用本方法分析所需各土層之資料包含地下水位深度，每一土層之厚度，SPT-N值，土壤之比重，孔隙比和含水量。至於土壤之單位重可由孔隙比和含水量計算而得。現場標準貫入試驗所量測到之N值大小，則亦需考慮覆土應力和打擊能量傳遞到鑽桿之能量修正。



圖A6-1 土層液化評估示意圖[6]

圖A6-2 平均粒徑與液化潛能之關係[3]

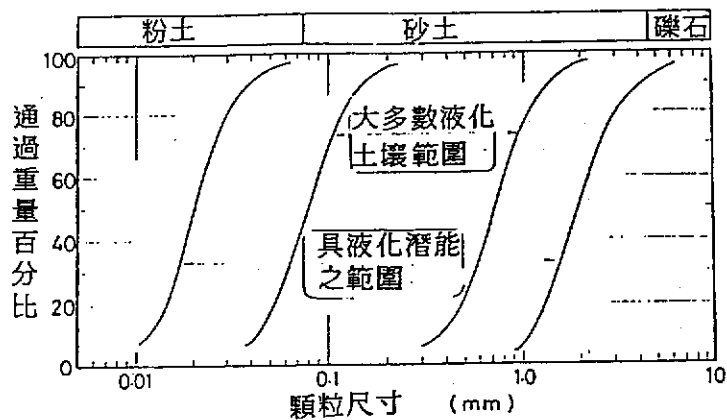
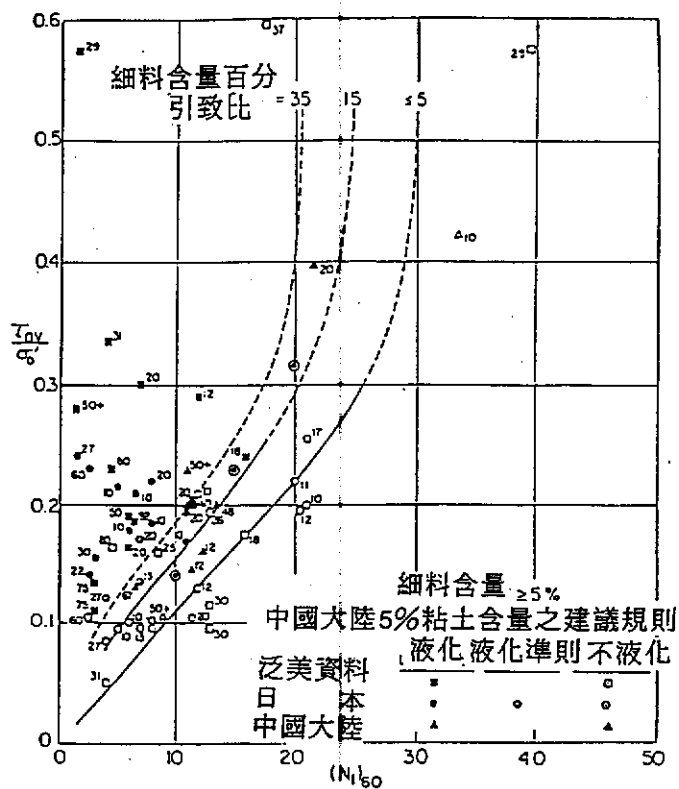


圖 A6-3 液化與不具液化潛能之土壤範圍[5]



圖A6-4 在 $M=7.5$ 時，不同細料百分比下，引致液化所需之剪應力比與 (N_1) 之關係 [8]

覆土應力之修正是以覆土應力在1 T/ft²(或1 Kg/cm²)作為基準。此修正後之N值定為N₁，N₁值可如下式表示：

$$N_1 = C_N N_m \quad (A6-1)$$

上式中N_m為SPT試驗所量測到之實際N值，而C_N為修正係數，此修正係數如圖A-5所示，依據Liao and Whitman[4]之建議C_N可以下列式表示

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_0}} \quad (A6-2)$$

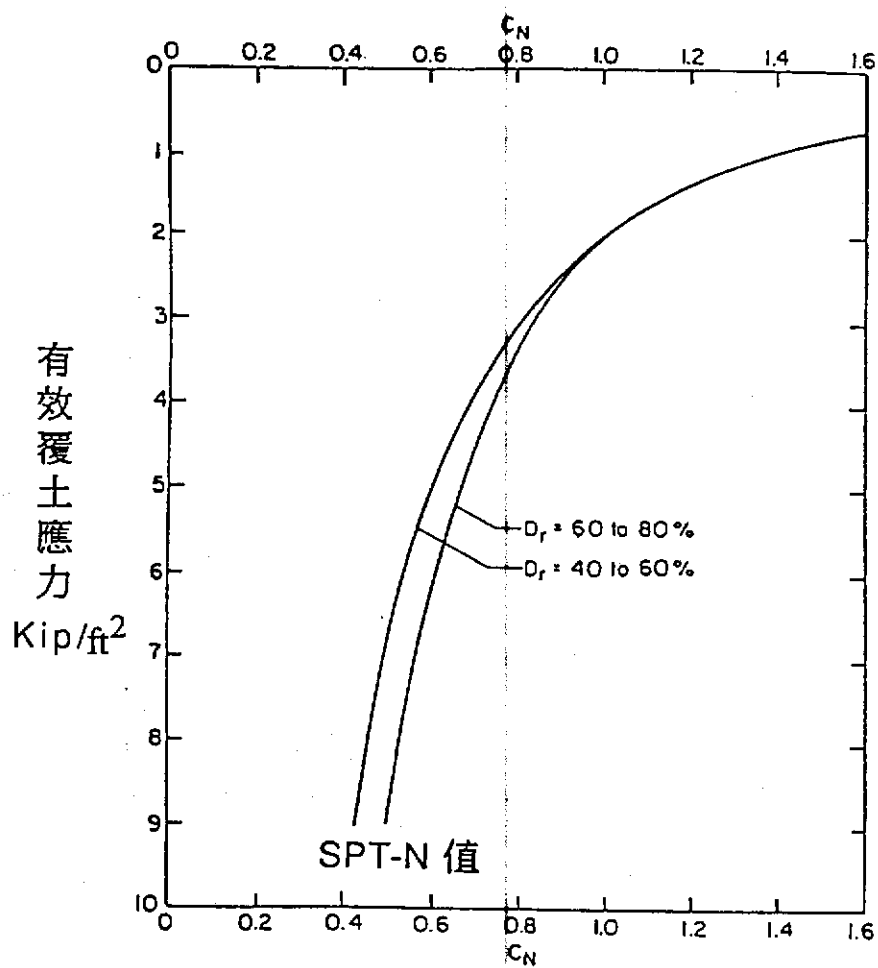
上式中σ'₀為有效覆土應力。在程式分析中當有效覆土應力大於0.39 Kg/cm²時，C_N=1.6。由於土層之SPT-N值受實際打擊能量傳遞至鑽桿之影響甚大，一般打擊能量傳遞至鑽桿之能量約在60%左右，是故Seed等[8]以其作為修正之標準值，而經此修正後之SPT-N₁值以(N₁)₆₀表示，此公式可以下列式表示。即

$$(N_1)_{60} = \frac{C_N ER_m N_m}{60} \quad (A6-3)$$

上式中ER_m為傳遞之能量比，以百分比表示，各國所使用之SPT試驗傳遞能量比(ER)如表A6-1所示。

B. 建立地震之相關資料

應用此方法分析所需之地震資料主要有欲分析地區之地震規模(M)和最大地表加速度(a_{max})，某一區域可能發生之地震規模，理論上需經由複雜之統計程序之評估，若在無法作特殊之分析下，可依據建築技術規則[11]所規範之台灣等震度分佈圖(Isoseismic Intensity)選定。此等震度圖如圖A6-6所示。另外，地表之最大加速度，學理上亦需經特殊而複雜之地盤反應分析去求取。但在無法作有效之地盤反應分析時，可根據如圖A6-7所示之地震規模與地表最大加速度作初步之評估。



圖A6-5 不同有效覆土應力 τ 之 C_N 值[7]

C. 計算由設計地震規模與地表最大速度可能在各土層所引致之剪應力

在地震力作用下，土壤在深度 h 所受之剪應力與地表加速度成正比，其關係如下：

$$(\tau_{avg}) = 0.65 \frac{\gamma h}{g} a_{max} \gamma_d \quad (A6-4)$$

亦可以剪應比表示如下

$$\left(\frac{\tau_{avg}}{\sigma'_v} \right)_d = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} \gamma_d \quad (A6-5)$$

式中 $(\tau_{avg}/\sigma'_v)_d$ 為設計地震引致之土壤剪力比， γ 為土壤之單位重， σ_v 為土壤之總覆土應力， σ'_v 為土壤之有效覆土應力， a_{max} 為地震引致之最大水平地表加速度， g 為重力加速度， γ_d 為深度折減係數。

γ_d 之值可由圖A6-8獲得。如圖中所示， γ_d 之數值是相當之散佈以反應不同土壤所產生之結果，程式之設計上考慮兩種選擇，一是選取其平均值，另一則為選擇其上限值，選擇上限值則分析之結果較選取平均值保守。

D. 計算土層之抗液化之剪力強度

本方法是應用SPT-N值來評估土層對液化之剪力阻抗。如圖A6-4所示為Seed等根據不同工址發生活化與不液化之SPT- $(N_1)_{60}$ 值與工地承受地震規模為7.5時所引致之剪應力比值 (τ/σ'_v) 之關係。圖中三條曲線分別表示所含細料為 $\leq 5\%$ 、 15% 和 35% 的土壤之液化與不液化之分隔線(此分隔線本文稱之為判斷液化之準則線[Marginal line])。對於某一特定深度，可藉所量測得之SPT- $(N_1)_{60}$ 值與其所含土壤之細料含量，根據此三條準則線計算此土層深度在地震規模為7.5時之土壤對液化之剪應力阻抗比值 $(\tau/\sigma'_v)_1$ ，圖A6-4只適用地震規模為7.5，若設計地震規模不為7.5時，此三條準則線需再作修正。如圖A6-9所示為不同地震規模之液化準則線，圖中所示之橫座標可作下列方式修正。

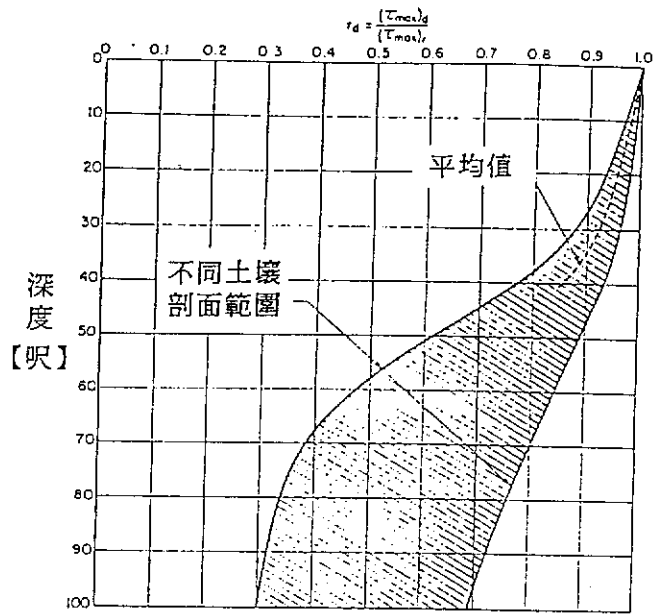


圖 A6-8 對不同土層剖面 r_d 值之範圍 [6]

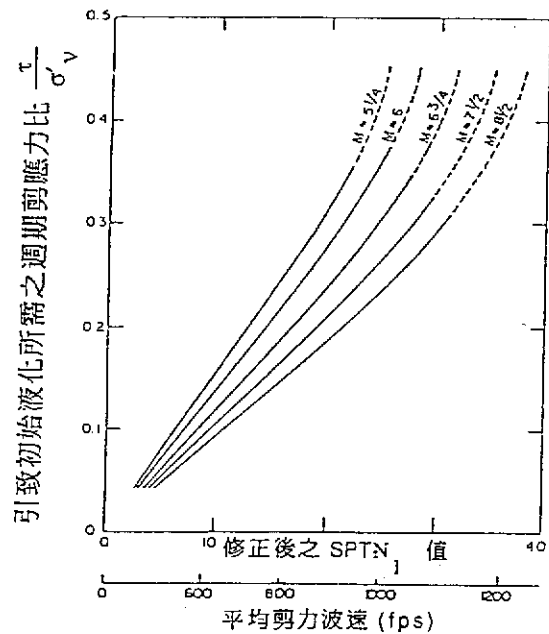


圖 A6-9 不同地震規模，引致液化所需之剪應力比與 N_1 值之關係 [7]

$$(N_1)_{60} = C_M (N_1)_{60} \quad (A-6)$$

C_M 為因應地震規模(M)之修正係數。此係數可約略表示為下列之關係：

$$C_M = 1.253 + 0.5795M - 0.1469M^2 + 8.675 \times 10^{-3} M^3 \quad (A-7)$$

E. 評估土層液化潛能

比較土壤所受剪應力與對液化剪應力抵抗值，以評估土壤在設計地震下是否會液化。為方便計，抵抗液化之安全係數F.S.可定義如下：

$$F.S. = \frac{(\tau_{avg}/\sigma'_v)_l}{(\tau_{avg}/\sigma'_v)_d} \quad (A6-8)$$

式中 $(\tau_{avg}/\sigma'_v)_l$ 為在步驟D中所獲得之抗液化強度比，而 $(\tau_{avg}/\sigma'_v)_d$ 則為在步驟C中所得之土壤在地震作用下所承受之剪應力比。

F. 土壤液化安全係數之說明

安全係數究應多少土層才被視為無液化之可能？依據美國國家研究評議會(NRC)地震工程委員會之建議，如果使用之設計地震之地動資料為合理，則採用安全係數為1.33或1.35應即為足夠。但若使用之設計地震之地動資料過於保守，則安全係數只要大於1，土壤即視為不會液化。

如以上文所述之E步驟來定義安全係數，如圖A6-4所示，在 $(N_1)_{60}$ 時尚稱簡便合理，而易於接受。但當細料含量分別在35%、15%和≤5%之 $(N_1)_{60}$ 分別大於約20.5、24.5和30時，此時之準則線趨於無限大，是故在分析進行第D項步驟時，若 $(N_1)_{60}$ 大於這些臨界值時，則無法正確的求得其土壤達到液化所需之剪應力之抵抗比，導致上項所求得之安全係數無限大。圖A6-4所示之準則線Seed原則上只在區分界定土壤液化或不液化，若以此準則線訂定土壤抗液化之安全係數，則其安

全係數大小為10或100則是一樣之答案，即土壤不會液化。是故在作電腦分析時遇到 $(N_1)_{60}$ 大於臨界值時，則為方便計，抗液化剪應力比值一律定為1.0。為避免當 $(N_1)_{60}$ 值大於臨界值而造成抗液化剪應力比值有無限大發生之情形，若另以 $(N_1)_{60}$ 之比值訂定土壤抗液化之安全係數，如下式所示：

$$F.S. = \frac{(N_1)_{60,m}}{(N_1)_{60,1}} \quad (A6-9)$$

式中 $(N_1)_{60,m}$ 為量測之SPT- $(N_1)_{60}$ 值，而 $(N_1)_{60,1}$ 為在地震所引致之剪應力比所對應發生液化所需之SPT- $(N_1)_{60}$ 值，此值可經由圖A6-4中之準則線求得。

以此 $(N_1)_{60}$ 之比值來定義土壤液化之安全係數，在應用圖A6-4時，則無發生無限大值之情形。但因液化準則線在剪應力比值與 $(N_1)_{60}$ 之關係為非線性。是故以剪應力比值和以 $(N_1)_{60}$ 比值所求得之安全係數並不會一致，然在一般情況下，(即 $(N_1)_{60}$ 在20以下)其誤差約在10%~15%以內。為方便作比較，此兩種定義之安全係數在程式中均可分別求得。但是，本計畫中使用之安全係數，是以應力比為準則。

四、程式分析流程與架構

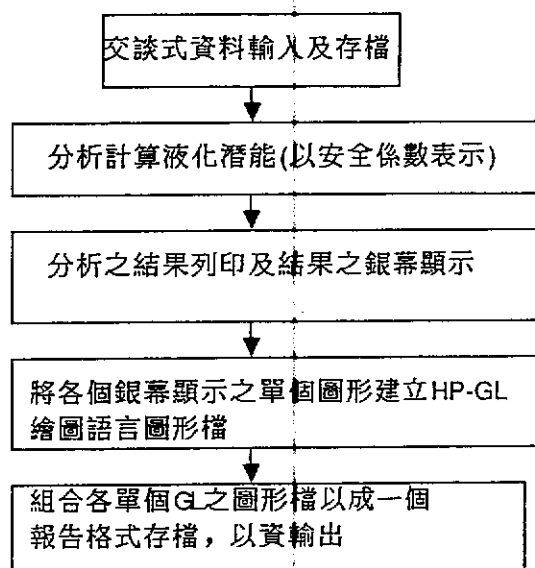
程式名稱為LPA(Liquefaction Potential Analysis)，分析過程是依據第三節說明之原理，程式設計除了要滿足計算之無誤外，亦需將其結果作有效率及詳細資料之輸出列印與繪圖，使得從資料之輸入到結果報告之輸出，整個過程由電腦處理。程式之分析過程之主要步驟如圖A6-10所示說明。

A. 資料輸入：

資料是以交談式方式輸入，主要輸入三種資料：

1. 地震資料：包含地震規模(M)，最大地表加速度(a_{max})，安全因數(F.S.)(注意此安全因數是在界定土層之液化準則線)。

2. 土層物性資料，包含地下水位深度(DWT)及在分析深度內之層數(NLAY)，在輸入每層之物理性質時，可有兩項選擇(ISOIL)：一是當ISOIL = 0時，輸入各土層之厚度(H)(由上而下)，比重(Gs)，孔隙比(e)和含水量(ω)，另



圖A6-10 液化程式分析簡單步驟

一種是當ISOIL = 1時，直接輸入各土層之厚度(H)，飽和單位重(γ_{sat}) 和溼土單位重(γ_m)。

3. 輸入SPT-N值試驗資料，即輸入執行SPT試驗之深度對應之SPT-N值和其所在位置土壤之細料(即黏土和粉土之總合)含量之百分比。當然為了作能量修正，亦需輸入打擊能量傳遞至鑽桿之能量自百分比(ER)。

由以上所說明之輸入資料，所組成之資料組成方式如圖A6-11所示。圖中所示，各變數資料分別為：

M = 地震規模

A_{max} = 最大地表加速度(ing)

F.S. = 安全因數

DWT = 地下水位深度(m)

ER = 打擊能量傳遞比

ISOIL = 輸入土層資料指標(0或1)

NLAY = 總計分析之土層數

DUM = 虛變數(無用)

H = 每層土厚(m)

Gs = 土壤比重

e = 土壤孔隙比

ω = 土壤含水量(以小數點輸入)

(γ_{sat}) = 土壤飽和單位重(KN/m³)

(γ_m) = 土壤溼單位重(KN/m³)

NCR = 資料孔數(程式設定一個檔案只輸入一個孔數之資料)

NDS = 每列變數(程式設定為3)

NOC = 每孔數分析之總數個深度

D = 欲分析之深度(m)

SPT-N = 標準貫入試驗(SPT)之錘擊數

FC = 該深度之細料含量百分比(%)

由交談資料輸入之檔案可經由PE2或PE3呼叫作資料之修正等。

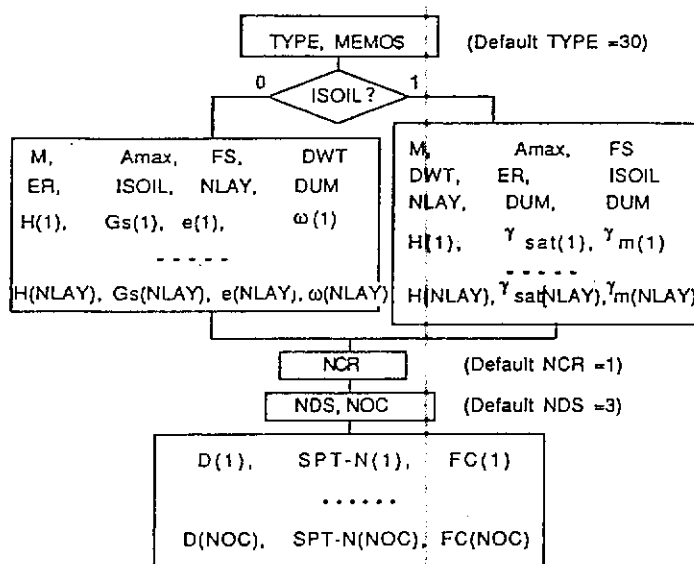


圖 A6-11 資料結構圖

B. 液化潛能評估

程式分析評估液化潛能之結果是以安全係數之方式表示。如第二節之敘述，表示安全係數可以剪應力比(SR)或SPT- $(N_1)_{60}$ 比表示。本程式可以兩種方式計算所得之安全係數同時列印出，以供參考。此兩種安全係數之在程式中計算評估方式如以下之敘述和說明。

i) 剪應力比值法

首先計算如圖A6-4所示地震規模為7.5之三個細料含量比之液化準則線，再依據問題所給之地震規模及土壤實際所含之細料百分比，將實際之液化準則線定出，其過程可以線性內插法求得。根據所在深度之有效覆土應力和SPT傳遞能量比值，修正量測到之N值為 $(N_1)_{60}$ 值，以 $(N_1)_{60}$ 值配合所求得之液化準則線，求得在此 $(N_1)_{60}$ 下欲達到液化之抗液化剪力比值 $(\tau/\sigma'_v)_1$ 。

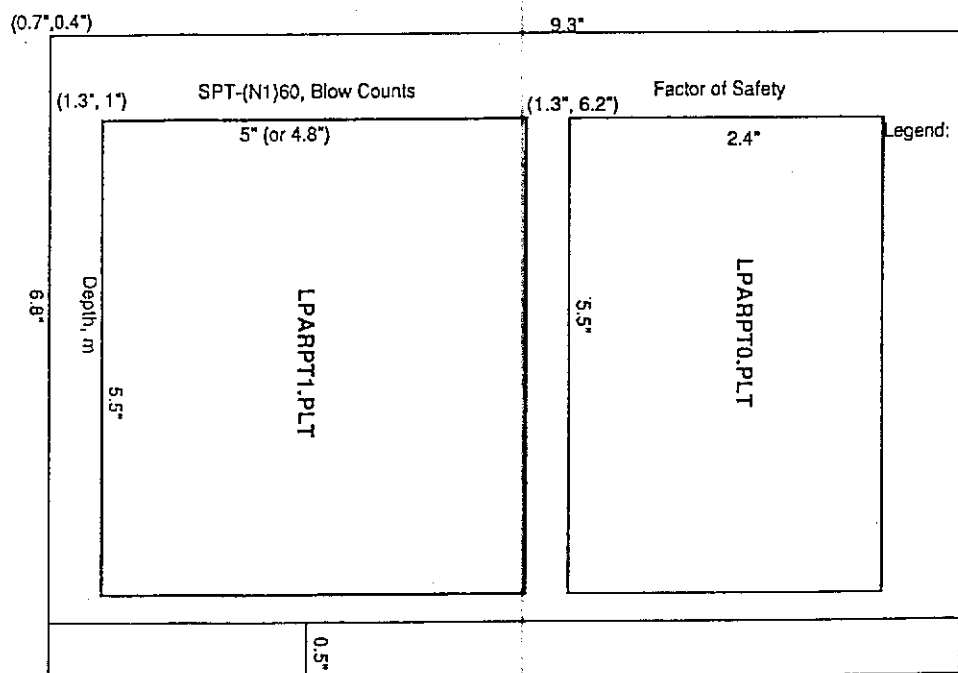
ii) $(N_1)_{60}$ 比值法

如應力比值法，首先將以地震規模及土壤所含細料百分比之液化準則線求出。以所給之最大地表加速度 a_{max} ，計算在由地震在該深度所引致之剪應力比，以此剪應力比在液化準則線定出欲發生液化所需之土壤之值。其次，依據所在深度之有效覆土應力和SPT傳遞能量百分比值ER修正現場量測到之SPT-N值為。則該深度抵抗液化之安全係數為與之比值如(A-9)式所示。

C. 分析結果之即時圖示與圖形建檔

分析計算之結果在銀幕即時顯示時，其可順便建立個別之繪圖檔，待分析完成時，再將此個別圖形檔組合成最後報告之圖形檔，則分析完成時，圖文之報告頁亦完成。如此將達到最為節省人力之目的。如圖A6-12所示，本程式之分析結果報告頁，共由兩個主要之圖形檔構成，第一個圖形檔名設定為LPARPT0.PLT，是存入分析所得安全係數與深度之關係，第二個圖形檔名設定為LPARPT1.PLT為儲存SPT- $(N_1)_{60}$ 與深度之關係，圖中並繪出所設定之固定安全係數，而細料分別為5%、15%和35%之液化準則線(或邊界線)，圖中各個資料點旁並標示之該位置所含細料之百分比。在圖A6-12中，並標示程式中所設定之(x,y)座標原點位置(單位為英尺)。

由以上說明，本程式分析之流程圖如圖A6-13所示。



圖A6-12 LPA分析報告格式

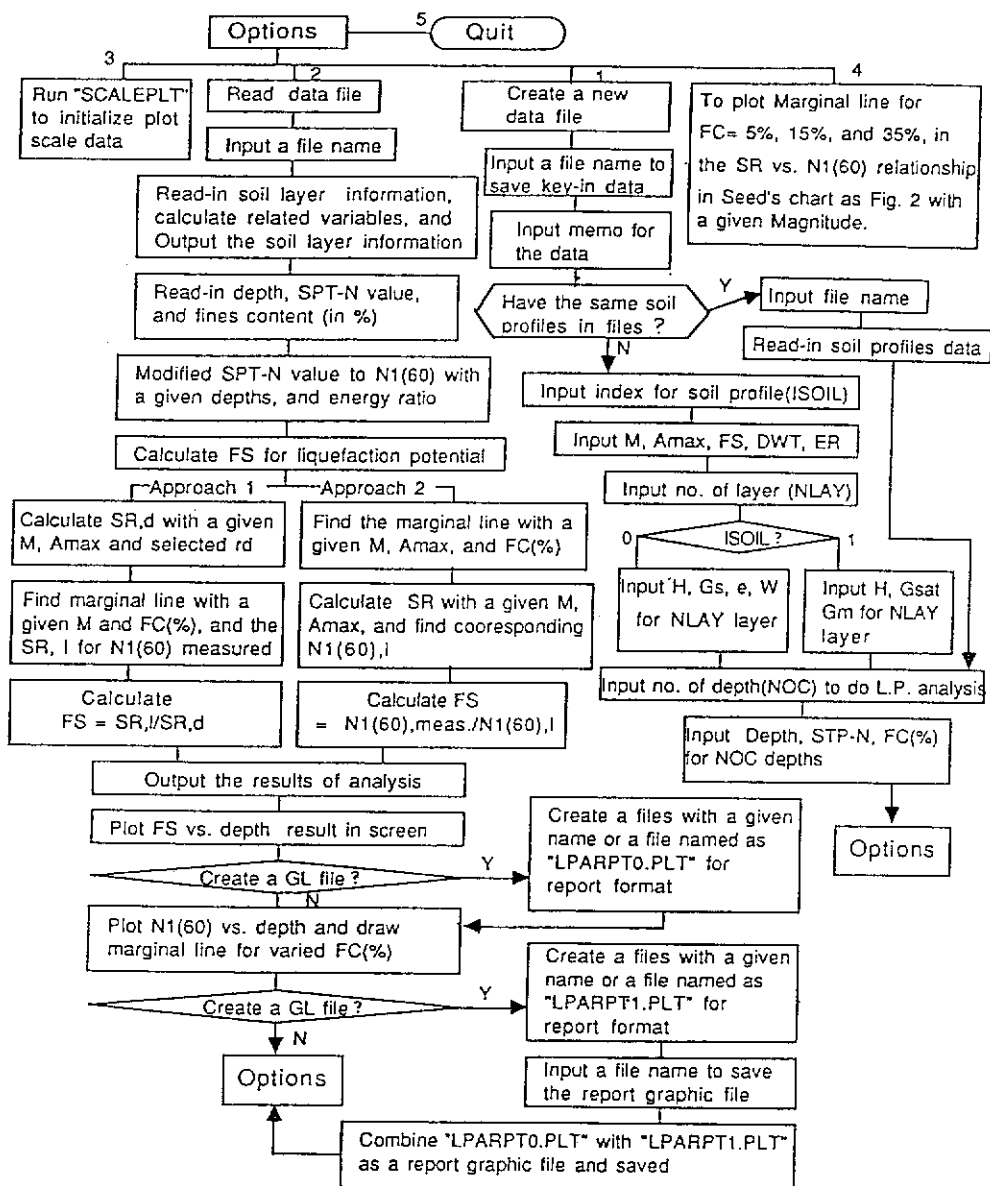


圖 A6-13 LPA 程式流程圖

五、參考文獻

1. Committee on Earthquake Engineering (1985), Liquefaction of Soil During Earthquake, NRC Report No. CETS-EE-001, 240P.
2. JSSMFE (1966), Damage Reports for Niigata Earthquake, June 1964, Soil and Foundation, Vol VI, No.1, Jan., 106P.
3. Lee, K. L. and Fitton, J. A. (1969), "Factors Affecting the Cyclic Loading Strength of Soil, "Vibration Effect of Earthquakes on Soils and Foundations, ASTM STP450, ASTM.
4. Liao, S. and Whitman, R. V. (1985), "Overburden Correction Factors for SPT in Sand" Technical note submitted to the ASCE Journal of Geotechnical Engineering Publication.
5. Tsuchida, H. (1970), "Prediction and Counter measure Against the Liquefaction in Sand Deposits." PP3.1-3.33 in Abstract of the Seminar in the Portland Harbor Research Institute.
6. Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971) "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE97 (SM9) : 1249-1273.
7. Seed, H. B., Idriss, I. M., and Arango, I. (1983), "Evaluation of Liquefaction Using Field Performance Data." Journal of Geotechnical Engineering, ASCE102 (GT4) : 246-270.
8. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F, and Chung, R. M. (1984), "The Influence of SPT Procedure in soil Liquefaction Resistance Evaluation," EERC-84/15, U. C. Berkeley, California, October.
9. 吳偉特(1979) "台灣地區砂性土壤液化潛能之初步分析" 土木・水利，第六卷，第二期，PP39-66.
10. 徐明同，地震工程，中國工程師學會出版，民77年9月，166P.
11. 中國建築技術規則，詹氏圖書公司，民80年出版。