98-34-7391
MOTC-IOT-97-H1DA001

港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(2/2)

交 通 部 運 輸 研 究 所
中華民國 98 年 4 月

98-34-7391
MOTC-IOT-97-H1DA001

港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(2/2)

著 者：陳桂清、柯正龍、蘇吉立、羅建明、張道光

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究．(2/2)
/陳桂清等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所 , 民98.04
面 : 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-01-8232-3(平裝)

1. 港埠工程 2. 港埠管理

443.2 98006759

港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(2/2)

著　　者：陳桂清、柯正龍、蘇吉立、羅建明、張道光
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587176
出版年月：中華民國 98 年 4 月
印 刷 者：承亞興企業有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：300 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話:(02)25781515
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009800897　　ISBN：978-986-01-8232-3（平裝）
著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(2/2)

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN 978-986-01-8232-3（平裝）	1009800897	98-34-7391	97-H1DA001

主辦單位：港灣技術研究中心
主管：邱永芳
計畫主持人：陳桂清
研究人員：柯正龍、蘇吉立、羅建明、張道光、薛仲傑、謝大勇、陳義松
李春榮、李昭明、何木火、陳毓清、魏瓊蓉、林隆貞
聯絡電話：04-26587188
傳真號碼：04-26564418

研究期間
自 97 年 01 月
至 97 年 12 月

關鍵詞：耐久性、腐蝕、港灣設施、維護管理系統

摘要：

臺灣為一海島，四面環海，位處環太平洋地震帶上，每年夏秋季節常有颱風侵襲，且地震發生頻繁。受此巨大天然外力襲擊，港灣結構物甚易損壞，對港埠設施安全與營運造成影響。

港灣設施長年處於海洋惡劣環境下，結構物是否安全堪用，必需明確瞭解與確保。因此，結構物現況調查、環境劣化因子之探討與維護管理甚為重要。鑑於上述觀點，本研究分為三個子計畫執行，分別為子計畫一(港灣構造物之現況調查研究)；子計畫二(碼頭維護管理系統建置之研究)；子計畫三(臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究)。

本年度完成工作包括：(1)臺中港及基隆港數座碼頭之現況調查及建置基隆港西2至西4號碼頭維護資料庫；（2）結合港灣工程單價資料庫，整合及驗證建置成碼頭本體設施維護管理系統；(3)大氣環境腐蝕因子調查成果與建立資料庫，並完成臺灣大氣腐蝕環境分類，以作為新建與既有結構物防蝕設計與維護管理之依據。研究成果可提供港務局等維護港灣設施參考，並作為公路局、港務局及相關單位金屬材料選用之依據，以達到符合各地區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
98 年 4 月	416	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，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定價價購。

機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Deterioration Diagnosis and Corrosion Protection on Harbor Structures (2/2)

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-01-8232-3 (pbk)	1009800897	98-34-7391	97-H1DA001

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen Kuei-ching
PROJECT STAFF: Ko Jeng-long, Su Ch-li, Lo Chien-ming
PHONE: 04-26587188
FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD
FROM January 2008
TO December 2008

KEY WORDS: Durability, Corrosion, Wharf facility, Maintenance management system

ABSTRACT :

Taiwan is an island surrounded by the sea. It is located in the pacific earthquake zone. Many earthquakes and typhoons attack the island each year. Harbor structures confront these huge natural forces, and marine ingression environment would deteriorate and damage the structures. It greatly threatens structure safety and affects ports operation with heavy loss.

Under severe marine environmental impact, the safety and physical situations of structures should be specifically confirmed and assured. Thus, field surveying, environmental factors, and maintaining strategy were focused on. For the above aspects, three subjects were executed in the study. They were as follows:

(1) Sub-project 1: the study of field survey on harbor facilities.

(2) Sub-project 2: developing the system of maintenance and management for harbor wharf facilities.

(3) Sub-project 3: the study of corrosive factors of the atmosphere in Taiwan.

During the second year, the project achieved the following tasks, (1) Several wharves field inspection at Taichung & Keelung Harbors were completed. Meanwhile, the wharf maintenance and the management system of No.2 to No.4 wharves at west side Keelung Harbor were established. (2) Combining price data files of single items of harbor engineering to integrate and verify the system of wharf maintenance and management. (3) Completed the atmosphere field survey and established the fundamental corrosion factors files and the corrosively of atmosphere classification in Taiwan. The research results can provide harbor bureaus with references in maintaining harbor facilities, and as a metal material selection reference for highways and harbor bureaus to achieve or exceed the designed life of public construction, avoid or reduce industrial safety incidents, lower social costs and increase economic efficiency.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2009	416	300	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(2/2)

目　錄

中文摘要 I

英文摘要 II

表目錄 VIII

圖目錄 XIII

第一章 緒論 1-1

第二章 研究計畫概述 2-1

2.1 研究時程 2-1

2.2 計畫摘要與研究內容 2-1

2.2.1 子計畫(一)：港灣構造物之現況調查研究 2-1

2.2.2 子計畫(二)：碼頭維護管理系統建置之研究 2-2

2.2.3 子計畫(三)：臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究 2-3

第三章 港灣構造物之現況調查研究 3-1

3.1 前言 3-1

3.1.1 研究動機 3-1

3.1.2 研究目的 3-2

3.1.3 研究範圍 3-2

3.2 文獻回顧 3-3

3.2.1 碼頭結構型式 3-3

3.2.2 港灣 R.C.結構物安全檢測項目 3-18

3.2.3 檢測及評估實施時機 3-20

3.2.4 結構物安全檢測評估 3-23
3.3 研究方法與進行步驟 3-28
3.3.1 調查範圍 3-29
3.3.2 構造物基本資料蒐集 3-29
3.3.3 檢測及維修歷史 3-29
3.3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測 3-29
3.3.5 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測 3-31
3.3.6 非主結構體檢測 3-36
3.3.7 構造物初步檢測評估 3-36
3.3.8 完成檢測或進行細部評估 3-38
3.4 結果與討論 3-39
3.4.1 臺中港 1 號碼頭 3-39
3.4.2 臺中港 2 號碼頭 3-45
3.4.3 臺中港 3 號碼頭 3-49
3.4.4 臺中港 4 號碼頭 3-53
3.4.5 臺中港 4A 號碼頭 3-57
3.4.6 基隆港西 2 號碼頭 3-61
3.4.7 基隆港西 3 號碼頭 3-66
3.4.8 基隆港西 4 號碼頭 3-70
3.4.9 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測 3-74
3.5 小結 3-136
第四章 碼頭維護管理系統建置之研究 4-1
4.1 前言 4-1

4.1.1 計畫緣起與重要性 4-1
4.1.2 計畫目的 4-2
4.1.3 文獻回顧 4-3
4.1.4 研究方法、時程與目標 4-4
4.2 系統規劃與基本界定 4-5
4.2.1 整體系統規劃 4-5
4.2.2 碼頭本體設施安全檢測系統規劃 4-7
4.2.3 港灣工程單價資料庫簡易查詢系統規劃 4-8
4.2.4 系統基本整合與界定 4-8
4.2.5 碼頭安全定義之界定 4-9
4.2.6 適用標的之界定 4-9
4.2.7 適用人員之界定 4-10
4.2.8 檢測時機之界定 4-11
4.2.9 檢測作業階段與檢測範圍之界定 4-12
4.2.10 碼頭異象 4-13
4.2.11 碼頭本體設施結構之相關標定 4-18
4.3 系統建構 4-26
4.3.1 系統研建之淵源 4-26
4.3.2 系統之特點 4-26
4.3.3 系統首頁之建構 4-27
4.3.4 歷史檢測案例資料庫首頁之建構 4-27
4.3.5 港灣工程單價資料庫首頁之建構 4-28
4.3.6 各港碼頭本體設施維護管理系統首頁之建構 4-29

4.3.7 安全檢測表單與參考資料首頁之建構 4-30
4.3.8 各區域港灣工程單價資料庫首頁之建構 4-31
4.3.9 彙整後單項及單價分析資料庫首頁之建構 4-32
4.3.10 安全檢測表單與參考資料之建構 4-33
4.3.11 彙整後單價分析表之建構 4-53
4.4 系統應用與說明 4-55
4.4.1 作業規劃 4-55
4.4.2 準備作業 4-56
4.4.3 現地初勘與初勘評估作業 4-56
4.4.4 現地細勘與細勘評估作業 4-65
4.5 小結 4-75
第五章 臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究 5-1
5.1 前言 5-1
5.2 研究方法及進行步驟 5-2
5.2.1 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析 5-4
5.2.2 大氣腐蝕因子調查建置 5-4
5.2.3 現地暴露試驗 5-7
5.2.4 資料蒐集與分析 5-9
5.2.5 大氣腐蝕因子資料庫建立與轉移 5-11
5.3 文獻回顧 5-11
5.3.1 大氣腐蝕測試規範 5-11
5.3.2 大氣腐蝕因子介紹 5-13
5.3.3 影響大氣腐蝕的因素 5-14

5.4 氣象與空氣污染資料蒐集分析 5-16
5.4.1 氣象資料分析 5-17
5.4.2 環保署空氣品質監測資料分析 5-19
5.5 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗調查建置 5-20
5.5.1 調查範圍 5-20
5.5.2 氯鹽沉積速率調查 5-21
5.5.3 二氧化硫沉積速率調查 5-44
5.5.4 濕潤時間百分比 5-47
5.5.5 腐蝕因子環境分類 5-51
5.5.6 現地暴露試驗 5-57
5.6 大氣腐蝕因子資料庫建立 5-92
5.6.1 系統功能規劃 5-92
5.6.2 系統架構規劃 5-92
5.6.3 電腦環境規劃 5-93
5.6.4 系統說明 5-93
5.7 小結 5-104
第六章 結論 6-1
參考文獻 參-1
附錄 1 自辦計畫審查意見處理情形表 ..... 附錄 1-1
附錄 2 自辦計畫審查簡報資料 ..... 附錄 2-1

表目錄

表 3-1　重力式碼頭各構件產生異狀列表----------3-13

表 3-2　板樁式碼頭各構件產生異狀列表----------3-14

表 3-3　棧橋式碼頭各構件產生異狀列表----------3-15

表 3-4　井筒與牆式墩柱式碼頭各構件產生異狀列表----------3-17

表 3-5 港灣構造物細部構材檢測建議項目 ----------3-19

表 3-6　碼頭構造物初步檢測評估表----------3-30

表 3-7　鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係----------3-33

表 3-8　圓柱試體長度直徑比----------3-34

表 3-9　超音波脈波速度與混凝土品質之關係----------3-35

表 3-10 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係----------3-37

表 3-11 臺中港 1 號碼頭初步檢測表----------3-44

表 3-12 臺中港 2 號碼頭初步檢測表----------3-48

表 3-13 臺中港 3 號碼頭初步檢測表----------3-52

表 3.14 臺中港 4 號碼頭初步檢測表 ----------3-56

表 3-15 臺中港 4 號碼頭初步檢測表----------3-60

表 3-16 基隆港西 2 號碼頭初步檢測表----------3-65

表 3-17 基隆港西 3 號碼頭初步檢測表----------3-69

表 3-18 基隆港西 4 號碼頭初步檢測表----------3-73

表 3-19 基隆港西 2 號碼頭檢測結果簡表----------3-78

表 3-20 基隆港西 3 號碼頭檢測結果簡表----------3-78
表 3-21 基隆港西 4 號碼頭檢測結果簡表----------3-79
表 3-22 各單元構件檢測記錄範例----------3-80
表 3-23 電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗結果----------3-81
表 3-24 鑽心試體之抗壓強度----------3-82
表 3-25 鑽心試體之超音波脈波速度----------3-83
表 3-26 基隆港西 2 至西 4 號碼頭氯離子檢測----------3-84
表 3-27 岸肩載重所造成最大彎矩及剪力----------3-87
表 3-28 西 2 至 4 號碼頭岸肩設計組合載重---------- 3-88
表 3-29 西 2 至 4 號碼頭設計載重----------3-89
表 3-30 西 2 至 4 號碼頭面版結構強度檢核結果----------3-90
表 3-31 西 2 至 4 號碼頭容許應力檢核結果----------3-90
表 3-32 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之垂直力----------3-96
表 3-33 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之水平力---------3-97
表 3-34 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)抵抗力矩----------3-98
表 3-35 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)驅動力矩----------3-98
表 3-36 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之垂直力---------3-99
表 3-37 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之水平力------- 3-100
表 3-38 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)抵抗力矩---------- 3-100
表 3-39 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)驅動力矩---------- 3-100
表 3-40 井筒式斷面作用於壁體之垂直力---------- 3- 102

表 3-41 井筒式斷面作用於壁體之水平力---------- 3-102
表 3-42 井筒式斷面抵抗力矩---------- 3-103
表 3-43 井筒式斷面驅動力矩---------- 3-103
表 3-44 碼頭拋石護坡安全分析結果---------- 3-113
表 3-45 碼頭拋石護坡後線荷載與安全係數關係---------- 3-116
表 3-46 碼頭地震力分析結果---------- 3-120
表 4-1 高雄港碼頭外視異象實地勘查案例統計表----------4-15
表 4-2 港灣設施安全檢測評估系統表-A0----------4-33
表 4-3 港灣設施安全檢測評估系統表-B0----------4-34
表 4-4 港灣設施安全檢測評估系統表-C0----------4-35
表 4-5 港灣設施安全檢測評估系統表-D0----------4-36
表 4-6 港灣設施安全檢測評估系統表-E0----------4-37
表 4-7 港灣設施安全檢測評估系統表-F1----------4-38
表 4-8 港灣設施安全檢測評估系統表-F2----------4-39
表 4-9 港灣設施安全檢測評估系統表-F3----------4-40
表 4-10 港灣設施安全檢測評估系統表-G0----------4-41
表 4-11 港灣設施安全檢測評估系統表-H0----------4-42
表 4-12 港灣設施安全檢測評估系統表-S1----------4-47
表 4-13 港灣設施安全檢測評估系統表-S2----------4-48
表 4-14 港灣設施安全檢測評估系統表-S3----------4-49
表 4-15 港灣設施安全檢測評估系統表-S4----------4-50

表 4-16 港灣設施安全檢測評估系統表-S5----------4-51
表 4-17 港灣設施安全檢測評估系統表-S6----------4-52
表 4-18 彙整後單價分析表例 1-船席岩方浚挖及運棄----------4-53
表 4-19 彙整後單價分析表例 2-潛水伕組 ----------4-54
表 4-20 基隆港西 2 號碼頭基本資料表----------4-57
表 4-21 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述與照片紀錄表-D1 ----------4-58
表 4-22 基隆港西 2 號碼頭檢測照片紀錄表-D2 ----------4-59
表 4-23 基隆港西 2 號碼頭檢測照片紀錄表-D3 ----------4-60
表 4-24 基隆港西 2 號碼頭巡查報告表-E0 ----------4-61
表 4-25 碼頭巡查報告表-E0 之系統評估與分劃說明----------4-62
表 4-26 檢測圖述、照片與變位監測佈點紀錄表-D1 ----------4-66
表 4-27 基隆港西 2-4 碼頭垂直變位監測結果 ----------4-67
表 4-28 基隆港西 2-4 碼頭水平變位監測結果 ----------4-68
表 4-29 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S1----------4-69
表 4-30 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S2----------4-70
表 4-31 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S3----------4-71
表 4-32 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S4----------4-72
表 4-33 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S5----------4-73
表 4-34 基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S6----------4-74
表 5-1 各試驗點之氯鹽沉積速率----------5-26
表 5-2 2007 年 5 月中旬至 8 月中旬各試驗點之氯鹽沉積速率 ----5-34

表 5-3　聖帕颱風侵襲之氯鹽沉積速率計算結果----------5-34
表 5-4　各試驗點之二氧化硫沉積速率計算結果----------5-41
表 5-5　特定試驗位址之二氧化硫沉積速率計算結果----------5-43
表 5-6　各測點試驗期間濕潤時間百分比----------5-48
表 5-7　濕潤時間分類----------5-52
表 5-8　氯鹽沉積速率分類----------5-52
表 5-9　二氧化硫(SO_2) 沉積量分類 ----------5-52
表 5-10 大氣腐蝕環境分類(以環境因子分類)----------5-53
表 5-11 利用 2007.05-2008.08 之腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類-5-54
表 5-12 不同金屬之化學清洗法使用化學藥品及條件----------5-58
表 5-13 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分----------5-62
表 5-14 碳鋼金屬之腐蝕速率----------5-63
表 5-15 鋅金屬之腐蝕速率----------5-66
表 5-16 銅金屬之腐蝕速率----------5-69
表 5-17 鋁金屬之腐蝕速率----------5-72
表 5-18 各金屬之腐蝕速率之大氣腐蝕分類結果----------5-85

圖目錄

圖 3.1　沈箱式碼頭 ---------- 3-4

圖 3.2　方塊式碼頭 ---------- 3-4

圖 3.3　L 型塊式碼頭 ---------- 3-5

圖 3.4　錨碇板式碼頭 ---------- 3-6

圖 3.5　直樁棧橋式碼頭 ---------- 3-7

圖 3.6　斜樁棧橋式碼頭 ---------- 3-7

圖 3.7　井筒式碼頭斷面結構型式 ---------- 3-8

圖 3.8　牆式墩柱碼頭斷面結構結構型式 ---------- 3-9

圖 3.9　導致重力式方塊碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖 -----3-11

圖 3.10 導致重力式沈箱碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖 -----3-11

圖 3.11 重力式方塊碼頭構件標示 ----------3-12

圖 3.12 重力式沈箱碼頭構件標示 ----------3-12

圖 3.13 導致板樁式錨碇碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖 -----3-14

圖 3.14 港灣結構安全檢測實施流程圖 ----------3-22

圖 3.15 構造物現況調查流程 ----------3-28

圖 3.16 鋼筋腐蝕電位量測示意圖 ----------3-33

圖 3.17 臺中港 1-4A 碼頭位置示意圖 ----------3-39

圖 3.18 臺中港 1 至 3 號碼頭結構型式 ----------3-40

圖 3.19 臺中港 1 號碼頭現況情形平面圖 ----------3-40

圖 3.20 臺中港 1 號碼頭現況情形----------3-41
圖 3.21 臺中港 2 號碼頭現況情形平面圖----------3-45
圖 3.22 臺中港 2 號碼頭現況情形----------3-45
圖 3.23 臺中港 3 號碼頭現況情形平面圖----------3-49
圖 3.24 臺中港 3 號碼頭現況情形----------3-49
圖 3.25 臺中港 4 號碼頭結構型式示意圖----------3-53
圖 3.26 臺中港 4-4A 號碼頭現況情形示平面圖----------3-53
圖 3.27 臺中港 4 號碼頭現況情形----------3-54
圖 3.28 臺中港 4A 號碼頭結構型式示意圖----------3-57
圖 3.29 臺中港 4A 碼頭現況情形----------3-57
圖 3.30 基隆港西 2 至西 4 號碼頭位置示意圖----------3-61
圖 3.31 基隆港西 2 號碼頭結構斷面----------3-62
圖 3.32 基隆港西 2 號碼頭現況情形平面圖----------3-62
圖 3.33 基隆港西 2 號碼頭現況情形----------3-63
圖 3.34 基隆港西 3 號碼頭現況情形平面圖----------3-66
圖 3.35 基隆港西 3 號碼頭現況情形----------3-66
圖 3.36 基隆港西 4 號碼頭現況情形平面圖----------3-70
圖 3.37 基隆港西 4 號碼頭現況情形----------3-70
圖 3.38 全區水深地形成果----------3-75
圖 3.39 測區 3 維模型圖----------3-76
圖 3.40 岸肩底部目視檢測記錄方式----------3-77

圖 3.41 碼頭上部結構分析流程圖 ----------3-85
圖 3.42 碼頭面板結構圖 ----------3-86
圖 3.43 下部結構分析流程 ----------3-91
圖 3.44 基隆港西 2 至 4 號碼頭各結構型式所佔長度 ----------3-92
圖 3.45 牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較深) ----------3-93
圖 3.46 牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較淺) ----------3-94
圖 3.47 井筒式斷面模式 ----------3-95
圖 3.48 拋石護坡分析流程 ---------- 3-106
圖 3.49 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深) ---------- 3-107
圖 3.50 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺) ---------- 3-108
圖 3.51 井筒式斷面模式之拋石護坡 ---------- 3-109
圖 3.52 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深) ---------- 3-110
圖 3.53 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)---------- 3-111
圖 3.54 拋石護坡穩定計算(井筒式斷面) ---------- 3-112
圖 3.55 拋石護坡穩定計算綜合成果 ---------- 3-114
圖 3.56 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深) ---------- 3-118
圖 3.57 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺) ---------- 3-118
圖 3.58 井筒式斷面之拋石護坡 ---------- 3-119
圖 4-1 民國 86 年高雄港現有碼頭年齡統計圖 ---------- 4-2
圖 4.2 系統組成架構圖 ---------- 4-6
圖 4.3 碼頭本體設施安全檢測系統組成架構圖 ---------- 4-7

圖 4.4　港灣工程單價資料庫簡易查詢系統組成架構圖 ---------- 4-8
圖 4.5　碼頭外部異象 3 大特性之關聯圖 ----------4-15
圖 4.6　腐蝕、龜裂與破裂之連續循環現象例 ----------4-16
圖 4.7　蝕、龜裂與破裂連續循環之結果例 ----------4-16
圖 4.8　龜裂、破裂、沉陷、傾斜與拱起之連續循環現象例 --------4-17
圖 4.9　龜裂、破裂、沉陷、傾斜與拱起之連續循環結果例 --------4-17
圖 4.10 導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 -----4-20
圖 4.11 導致重力式沉廂碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 -----4-21
圖 4.12 導致版樁式錨錠樁碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 --4-21
圖 4.13 導致減壓平版式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 -----4-22
圖 4.14 導致棧橋式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 ----------4-22
圖 4.15 重力式方塊碼頭檢測部位標稱示意圖 ----------4-23
圖 4.16 重力式沉廂碼頭檢測部位標稱示意圖 ----------4-24
圖 4.17 版樁式錨碇樁碼頭檢測部位標稱示意圖 ----------4-24
圖 4.18 減壓平版式碼頭檢測部位標稱示意圖 ----------4-25
圖 4.19 棧橋式碼頭檢測部位標稱示意圖 ----------4-25
圖 4.20 碼頭本體設施維護管理系統首頁 ----------4-27
圖 4.21 歷史檢測案例資料庫首頁 ----------4-28
圖 4.22 港灣工程單價資料庫首頁 ----------4-28
圖 4.23 本體設施維護管理系統首頁(高雄港例) ----------4-29
圖 4.24 安全檢測表單與參考資料首頁 ----------4-30

圖 4.25 高雄港工程單價資料庫首頁 ----------4-31
圖 4.26 單項及單價分析資料庫首頁 ----------4-32
圖 4.27 檢測作業綱要與流程圖-H1 ----------4-43
圖 4.28 碼頭水下檢測作業綱要與流程圖-H2 ----------4-44
圖 4.29 鋼管樁碼頭水下檢測作業綱要與流程圖-H3 ----------4-45
圖 4.30 碼頭水下檢測作業綱要與流程圖-H4 ----------4-46
圖 5.1 研究作業流程圖 ---------- 5-3
圖 5.2(a) 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)---------- 5-5
圖 5.2(b) 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754) ---------- 5-5
圖 5.3 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754) ---------- 5-6
圖 5.4 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)---------- 5-8
圖 5.5 氯鹽沉積速率調查位置 ----------5-23
圖 5.6 2007.05-2007.09 氯鹽沉積速率 ----------5-30
圖 5.7 2007.09-2008.01 氯鹽沉積速率 ----------5-31
圖 5.8 2008.01-2008.05 氯鹽沉積速率 ----------5-31
圖 5.9 2008.05-2008.08 氯鹽沉積速率 ----------5-32
圖 5.10 2007.05-2008.08 氯鹽沉積速率 ----------5-32
圖 5.11 第一、二次調查期間氯鹽沉積速率比較----------5-33
圖 5.12 氯鹽沉積速率於 2007 年 5 月中旬至 8 月中旬與聖帕颱風侵襲時之比較 ----------5-35
圖 5.13 四次調查與一年期之垂直海岸試驗線平均氯鹽沉積速率-5-36

圖 5.14　一年暴露期之氯鹽沉積速率與海岸線距離的關係----------5-37
圖 5.15　2007.05-2007.09 SO_2 沉積速率 ----------5-45
圖 5.16　2007.09-2008.01 SO_2 沉積速率 ----------5-45
圖 5.17　2008.01-2008.05 SO_2 沉積速率 ----------5-46
圖 5.18　2008.05-2008.08 SO_2 沉積速率 ----------5-46
圖 5.19　2007.05-2008.08 SO_2 沉積速率 ----------5-47
圖 5.20　腐蝕生成物清除法作業流程圖 ----------5-59
圖 5.21　2007.05-2008.08 碳鋼腐蝕速率 ----------5-77
圖 5.22　2007.05-2008.08 鋅腐蝕速率 ----------5-77
圖 5.23　2007.05-2008.08 銅腐蝕速率 ----------5-78
圖 5.24　2007.05-2008.08 鋁腐蝕速率 ----------5-78
圖 5.25　垂直海岸試驗線碳鋼平均腐蝕速率比較----------5-79
圖 5.26　垂直海岸試驗線鋅金屬平均腐蝕速率比較----------5-79
圖 5.27　垂直海岸試驗線銅金屬平均腐蝕速率比較----------5-80
圖 5.28　垂直海岸試驗線鋁金屬平均腐蝕速率比較----------5-80
圖 5.29　特定測站碳鋼腐蝕速率比較 ----------5-81
圖 5.30　特定測站鋅金屬腐蝕速率比較 ----------5-81
圖 5.31　特定測站銅金屬腐蝕速率比較 ----------5-82
圖 5.32　特定測站鋁金屬腐蝕速率比較 ----------5-82
圖 5.33　碳鋼第一年腐蝕速率 ISO 分類 ----------5-88
圖 5.34　鋅第一年腐蝕速率 ISO 分類 ----------5-88

圖 5.35　銅第一年腐蝕速率 ISO 分類 ----------5-89
圖 5.36　鋁第一年腐蝕速率 ISO 分類 ----------5-89
圖 5.37　資料庫系統架構流程 ----------5-93
圖 5.38　資料庫首頁 ----------5-94
圖 5.39　資料庫網頁—關於本計畫 ----------5-94
圖 5.40　資料庫使用規範與方法 ----------5-95
圖 5.41　試片處理 ----------5-95
圖 5.42　氣象資料整理與分析 ----------5-96
圖 5.43　空氣品質監測資料整理與分析 ----------5-97
圖 5.44　濕潤時間百分比等位圖 ----------5-97
圖 5.45　氯鹽沉積速率等位圖 ----------5-98
圖 5.46　二氧化硫沉積速率等位圖 ----------5-99
圖 5.47　碳鋼腐蝕速率 ----------5-99
圖 5.48　鋅腐蝕速率 ---------- 5-100
圖 5.49　銅腐蝕速率 ---------- 5-101
圖 5.50　鋁腐蝕速率 ---------- 5-101
圖 5.51　專家會員登入 ---------- 5-102
圖 5.52　點選試驗點位置查詢數據 ---------- 5-103
圖 5.53　手動繪圖比較 ---------- 5-103

第一章　緒論

臺灣四面環海，地處環太平洋地震帶上，每年地震、颱風等災害不斷，港灣構造物長年處於此巨大外力衝擊與海洋惡劣環境下，甚易造成港工構材諸如鋼板樁腐蝕、混凝土劣化、強度損失以及內部鋼筋腐蝕、斷裂，最後導致結構物損壞、崩塌等現象，對構造物之耐久性與安全性威脅甚大，對港埠之營運影響更為至鉅。

近年來，國內風災、地震頻傳，許多公共工程諸如交通設施，屢遭襲擊，一夕之間不是倒塌就是受損嚴重，結構物面臨岌岌可危，安全堪慮的窘境。自民國 88 年 921 大地震以及近幾年來之大小災襲後，各大商、漁港之碼頭、防波堤等設施陸續零星發生損壞，例如臺中港區 1 至 4A 碼頭之傾斜、損毀、後線土壤之沉陷、液化，蘇澳港區之南外廓防波堤沉箱之掏空塌陷、花蓮港新東防波堤胸牆之嚴重損毀、基隆港區數座鋼板(管)樁碼頭之腐蝕破損(洞)、背填土掏空導致碼頭面塌陷，或其它突發性無預警之損壞事例時有所聞。因此，港灣構造物現況是否安全堪用，必需明確瞭解，俾採必要之防範措施。

由於國內五大國際商港其碼頭建造使用已久，部份碼頭已日益呈現老舊、損壞等現象，而新建碼頭之需求已趨萎縮，如何將現有之設施達到最有效率之使用，避免修護及龐大重建經費之耗費外，其營運停頓造成之不便及損失更難以估計。為此，碼頭維護管理機制之建立，必為未來港灣重要之課題。目前，港灣設施維護管理尚無一完整之系統，相關研究大多著重於較高階之港灣本體設施結構性之安全檢測與評估，對於執行細節諸如檢測作業之務實化、檢測程序之統一化、檢測斷面之標準化、劣化與損壞之異象行為，仍然有許多地方需要整合與建立，方能達成港灣設施之永續經營。

臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。根據國家科技發展總目標、促進海洋永續發展，增強臺灣做為亞太地區商業及物流轉運中心的功

能，港灣設施功能扮演重要關鍵角色。因此，如何提升港灣設施之建設、工程品質與耐久性，以及維護、管理與安全極為重要，自不言可喻。

此外，由於臺灣地區天然環境上空氣污染之結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本土化大氣腐蝕因子的調查與掌握，對金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計的影響，有其重要性。

自 1971 年起，國內各研究單位曾陸續以試片腐蝕速率的量測方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類，但因試驗場址維護不易，各地區鮮少有持續 10 年以上的腐蝕數據，且大部份的研究亦止於 1995。隨著氣候變遷與工業的發展，為達到結構物耐久性防蝕設計的目的，目前若仍引用過去腐蝕因子之調查數據，腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；然而臺灣近 10 年來並無任何單位進行全國之大氣腐蝕因子的調查與研究。有鑑於此，本計畫擬以兩年時間針對臺灣全島區域進行大氣腐蝕劣化因子調查，完成臺灣大氣腐蝕環境的分類工作，並根據調查結果建立電腦查詢資料庫，規劃一適合國內環境「本土化」需求的大氣腐蝕劣化因子查詢系統，以作為日後新建與既有金屬及鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

本年度已完成之工作內容如下；(1)台中港 1 至 4 號碼頭與基隆港西 2 至西 4 號碼頭之現況調查(2)碼頭本體設施維護管理系統建置之研究：本年度除持續驗證、檢討與修正民國 94 至 96 年完成之重力式、板樁式及棧橋式碼頭本體設施檢測系統外，並結合港灣工程單價資料庫，整合建置成碼頭本體設施維護管理系統 (3)大氣環境腐蝕因子調查與資料庫的建立，並完成臺灣大氣腐蝕環境分類，以作為新建與既有結構物防蝕設計與維護管理之依據。

第二章　研究計畫概述

2.1 研究時程

本計畫研究期程為兩年，規劃為三個子計畫進行，自民國 96 年 1 月起至民國 97 年 12 月止。各子計畫之研究內容分別簡述於 2.2 節中。

2.2 計畫摘要與研究內容

2.2.1 子計畫(一)：港灣構造物之現況調查研究

2.2.1.1 計畫摘要

臺灣四面環海為一典型海島氣候，地處環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，加上每年颱風侵襲不斷，港灣構造物處於此巨大外力衝擊與海水鹽份浸泡等惡劣環境下，甚易造成港工構材諸如鋼板樁腐蝕、混凝土劣化、強度損失以及內部鋼筋腐蝕、斷裂等之破壞現象，對構造物之耐久性與安全性威脅甚大。

近年來，國內風災、地震頻傳，許多公共工程諸如交通設施，屢遭襲擊，一夕之間不是倒塌就是受損嚴重，結構物面臨岌岌可危，安全堪慮的窘境。臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。自民國 88 年 921 大地震以及近幾年來之大小災襲後，各大商、漁港之碼頭、防波堤等設施陸續零星發生損壞，例如基隆港區數座鋼板(管)樁碼頭之腐蝕破損(洞)、蘇澳港區之南外廓防波堤沉箱之掏空塌陷、花蓮港新東防波堤胸牆之嚴重損毀，或其它突發性無預警之損壞事例，時有所聞。因此，港灣工程結構現況是否安全堪用，必需明確瞭解，俾採必要之防範措施。

2.2.1.2 研究內容

第一年(蘇澳港、高雄港、花蓮港及臺北港碼頭現況調查)

本年度將以蘇澳港、高雄港、花蓮港及臺北港為調查對象，各港區擇取數座碼頭或防波堤進行現況調查。研究重點如下：

1.碼頭、防波堤等設施現況調查

2.現地非破壞性檢測與劣損評估

3.建立港灣設施之檢測與維護機制

4.檢測機制之實地操作與驗證

第二年(臺中港及基隆港碼頭現況調查）

本年度將以臺中港及基隆港為調查對象，各港區擇取數座碼頭或防波堤進行現況調查。研究重點如下：

1.碼頭、防波堤等設施現況調查

2.現地非破壞性檢測與劣損評估

3.建立港灣設施之檢測與維護機制

4.檢測機制之實地操作與驗證

2.2.2 子計畫(二)：碼頭維護管理系統建置之研究

2.2.2.1 計畫摘要

碼頭之營運頻繁，變數多，維護管理不易。且位處海洋環境，結構易受干涉、易老化，潛伏性問題多，常會造成港灣設施潛伏性與立即性的損壞，為確保碼頭正常運做及避免耗費巨資重建，藉助一套實用簡易之管理系統，做好碼頭維護管理是必要的，且營建自動化已為現今之趨勢，碼頭管理亦不應被排除在外。目前，港灣設施維護管理尚無一完整之系統，相關研究範圍多著重於較高階之港灣本體設施結構性之安全檢測與評估，且此部份之研究成果已漸趨成熟，唯許多細節尚待努力，如檢測作業務實化、檢測程序統一化、檢測斷面標準化、

異象行為整合分析等。

本研究之目的，擬先分別研建各式碼頭之簡易性、實務性、系統化與標準化之碼頭本體設施結構安全檢測系統，最後再整合建置一套碼頭本體設施維護管理系統，使爾後一般基層檢測人員或專業人員於執行檢測作業時有統一的調查模式、統一的溝通與描述語言，使調查模式簡單化、統一化與格式化，調查資料得以延續，資源得以整合，以利於日後港灣管理自動化之發展。

2.2.2.2 研究內容

第一年工作內容：

建置棧橋式碼頭本體設施簡易安全檢測系統。

1.資料搜集及維護作業標準化

(1)搜集各港維護管理作業程序等資料

(2)整合現行檢測作業，包括簡化檢測作業程序、務實化、統一化

(3)統一碼頭設施檢測斷面標準化

2.整合碼頭設施現況、損壞等異象行為之分類、分析

第二年工作內容：

1.整合各式碼頭本體設施結構之簡易安全檢測系統建置與現有維護技術。

2.建置碼頭本體設施維護管理系統。

2.2.3 子計畫(三)：臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究

2.2.3.1 計畫摘要

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高溼與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已

銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本土大氣腐蝕因子的調查與掌握，對陸上土建構物尤其是金屬結構物之耐久性與防蝕設計之須求，有其重要性。

臺灣缺乏完整的本土大氣腐蝕因子資料庫。自 1971 年起，國內許多研究單位曾陸續以金屬試片做為腐蝕速率的量測方式，進行臺灣大氣腐蝕環境分類，然而因試驗場址維護不易，各地區均無持續 10 年以上的腐蝕數據，且相關研究止於 1995 年。隨著時空、全球氣候變遷與國內工業持續高度發展，為達到結構物耐久性與防蝕設計須求，若仍引用過時且不完整之調查數據，對結構物之耐久性與腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；臺灣近 10 年來並無任何單位進行全島區域之大氣腐蝕因子之調查與研究，因此進行當前大氣環境腐蝕因子的調查與研究，有其急迫性與必要性。

本計畫為期兩年，主要工作項目為大氣環境腐蝕因子調查與資料庫的建立，並完成臺灣大氣腐蝕環境分類，以作為新建與既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考。

2.2.3.2 研究內容

第一年工作內容：

1.國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析

2.大氣腐蝕因子調查建置：

(1)調查範圍：本年度將完成涵蓋臺灣全島區域之試驗場址(點)選定及相關試樣擺放；須包含垂直海岸線與平行海岸線之調查規劃，調查區域的選擇須有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵公路沿線等)，最終可繪製各腐蝕因子之等位圖。

(2)氣象資料蒐集分析：至少包括氣溫、相對溼度、風速、風向等資料，並針對歷年資料進行分析。

(3)腐蝕因子調查項目：包括相對溼度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)附著量之調查。

3.現地暴露試驗：針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗，建立腐蝕速率與大氣腐蝕因子之關聯性。

4.資料蒐集與初步分析：持續現地取樣與試驗調查，分析本年度成果與趨勢。

5.大氣腐蝕因子資料庫建立。

第二年工作內容：

1.國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析

2.大氣腐蝕因子調查建置：

(1)調查範圍：同第一年部份。

(2)氣象資料蒐集分析：同第一年部份。

(3)腐蝕因子調查項目：同第一年部份。

3.現地暴露試驗：同第一年部份。

4.資料蒐集與初步分析：持續現地取樣與試驗調查，分析本年度成果與趨勢。

5.大氣腐蝕因子資料庫建立。

第三章 港灣構造物之現況調查研究

3.1 前言

3.1.1 研究動機

臺灣地區四周環海，除了基隆、臺中、蘇澳、花蓮及高雄等國際港外，工業港及漁港等大小港口遍佈，碼頭及防波堤等港灣構造物更是不計其數，主要建造材料包括鋼筋混凝土及鋼材兩種，其中鋼筋混凝土在海洋環境中，外界腐蝕因子，如海水潑濺、氯離子、硫酸鹽、二氧化碳等侵襲，混凝土發生劣化和內部鋼筋腐蝕問題較其他環境更為嚴重。此外，鋼材亦因海洋環境屬嚴重腐蝕區域，容易因發生腐蝕造成鋼板樁或鋼管樁斷面積減少或開裂、穿孔破洞等問題，影響碼頭營運安全。除了環境影響因素以外，由於地處亞熱帶，夏秋兩季常有颱風侵襲，加上因位於環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，強烈地震經常發生，常造成港灣構造物發生嚴重破壞，其中尤以東部之蘇澳及花蓮港損壞情形最為嚴重，不僅影響船舶停靠及貨物裝卸安全，更需花費鉅額經費從事損壞後之維修工作，造成經濟重大損失。

以蘇澳港及花蓮港為例，建造施工期間至今，每年均因颱風侵襲造成防波堤消波胸牆破損、沉箱鋼筋混凝土嚴重損壞和消波塊大量流失，堤面和護基方塊發生不等程度之嚴重損壞，造成營運及財物重大損失，因此，每年均需編列數百萬元以上經費進行災害維修獲改善研究；1999 年九月臺灣地區發生規模達芮氏 7.3 的 921 集集大地震，臺中港 1 至 4 號碼頭也發生後線陸地多處開裂、地層崩塌形成多處坑洞、碼頭沉箱與背填陸地龜裂並錯開分離、沉箱位移及傾斜，岸上相關設施及建築物傾倒破壞等，高雄港與基隆港也曾發生碼頭坍陷等損壞，都造成工程進度延誤或影響船舶進出安全及影響營運造成不便，損失難以估計。

國內目前交通部、運輸研究所及國內五大商港之港務局，對於港

灣構造物現況調查安全檢測及評估工作，除交通部於民國 89 年起委託國立中山大學進行「港灣構造物安全檢測與評估之研究」，並研擬「港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）」、運輸研究所港研中心則於民國 90 年研擬「港灣設施維護手冊（草案）」，運輸研究所並於民國 93 年起委託國立海洋大學進行「港灣構造物維護管理準則之研究」外，各港務局亦有港灣設施實施維護管理之相關作業規定，為能早日統一建立適用於國內本土環境之港灣構造物檢測評估制度，本研究將參照「港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）」內容選定國內商港數座不同型式之碼頭構造物進行現況調查，期能提供相關管理單位參酌。

3.1.2 研究目的

本研究擬針對港灣構造物中數量最多功能最重要之碼頭或防波堤構造進行現況調查之安全檢測與評估，期望提供維修單位參考，建立平時定期或特殊狀況之緊急檢測制度，儘早發現構造物混凝土劣化或內部鋼筋腐蝕狀況，減少構造物因環境因素或天然災害所造成更大之損壞。

3.1.3 研究範圍

港灣構造物可大致分為水域設施結構及岸上結構兩大類，水域設施包括碼頭、防波堤等主要結構和碼頭防舷材、繫纜設施、附屬防蝕材料等附屬結構設施。岸上結構主要為倉庫、廠房、儲存槽及相關機具設備。依使用材料分類，主要有鋼筋混凝土及鋼材兩種。其中又以鋼筋混凝土使用最為廣泛，本研究將針對國內商港數座不同型式之碼頭構造物等鋼筋混凝土或鋼板樁結構進行探討。

3.2 文獻回顧

港灣構造物一般由混凝土(P.C)或鋼筋混凝土(R.C.)、鋼材、砂石級配及土石方等材料所構成，其中以鋼筋混凝土材料被最廣泛使用。港灣 R.C.構造物又以碼頭及防波堤結構為主。碼頭為船舶停靠、裝卸物資時，最重要的繫靠設備。防波堤屬於港灣構造中之外廓工程，用以防止海洋波浪傳遞至港池內，維持港灣內水域之靜穩。其他岸上設施包含繫靠設備必要之碼頭附屬設施。由於港灣構造物在海洋環境下，經過波浪及上部荷重等外力長期作用，材料產生變形損壞或位移，甚至材料變質影響整個結構安全，因此必須定期實施安全檢測，俾利結構物之使用安全及維修加固，防止地震或颱風等災害造成更嚴重的損壞。

3.2.1 碼頭結構型式

碼頭結構物可概分為重力式、板樁式、棧橋式與其他等四類碼頭，以下將國內各港常見前三類碼頭與本研究之基隆港西 2 至西 4 號碼頭井筒式與牆式墩柱碼頭簡略及維護管理說明如下。

3.2.1.1 重力式碼頭概述

重力式碼頭其功能為承受碼頭之加載載重，抵抗背後之土壓力、內外之水壓力及船舶之撞擊力、拉力等，其特性為：

1. 堤體本身用混凝土做成，較為堅固且較耐久，水深較淺時多採用。
2. 水深較深時，土壓及水壓之水準外力增大，所需牆體之重量急遽增加，除岩層及基礎良好之處外，非為經濟之設計。
3. 作為耐震結構時，與牆體重量比例之地震力作用於牆體，較為不利。
4. 沈箱及混凝土塊之製造需廣大場地、起重船、拖船等船團，因此，

如為短期及少量工程配合上述設備時，較不經濟。

5. 與規劃水深相比，如現有地層較淺，亦較不利。

重力式碼頭依其堤體型式及施工方法，可分為沈箱式、方塊式、L 型塊式、空心型塊及場鑄混凝土式等，臺灣地區各港口之重力式碼頭中，以沈箱式、方塊式、L 型塊式三種最為常見，如圖 3.1 至圖 3.3 所示。

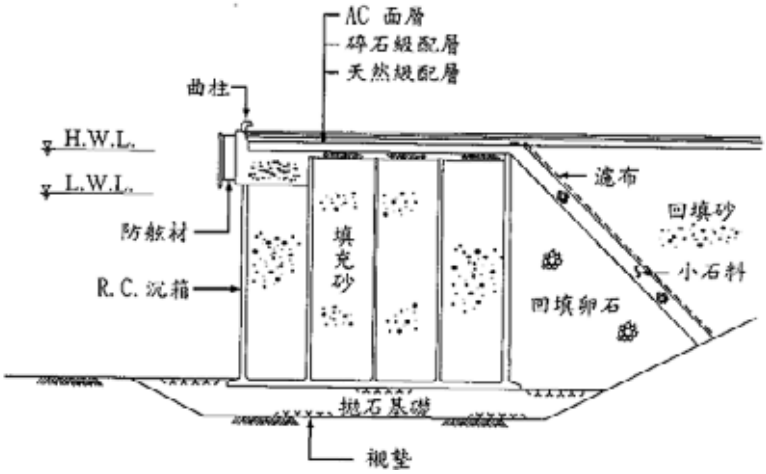


圖 3.1 沈箱式碼頭

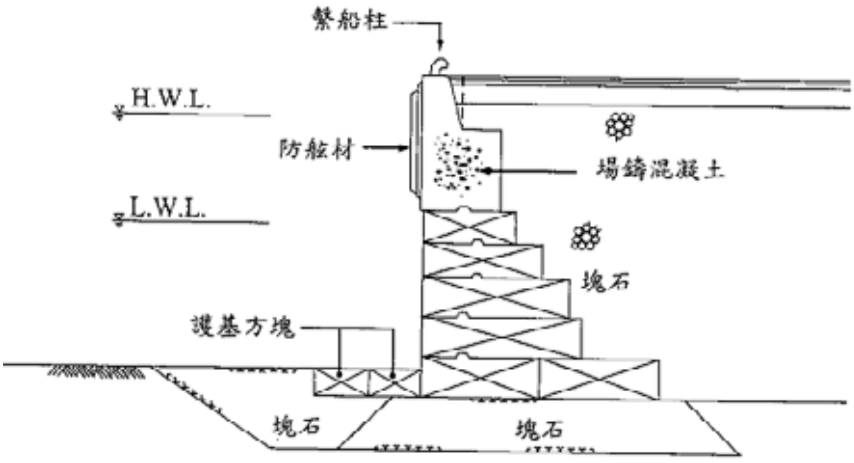


圖 3.2 方塊式碼頭

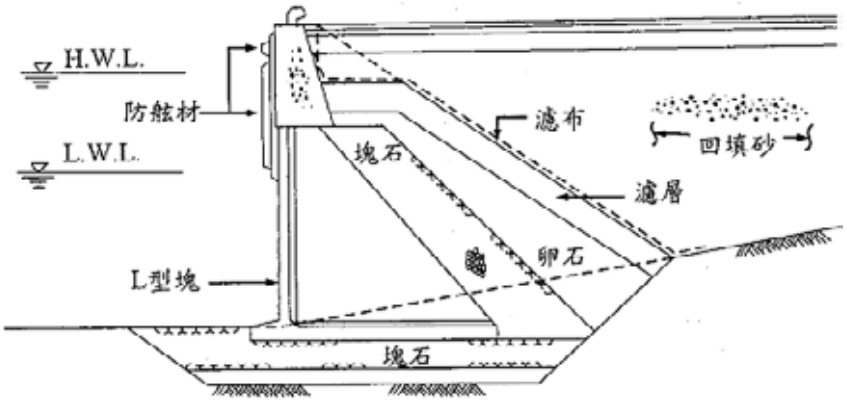


圖 3.3　L 型塊式碼頭

3.2.1.2 板樁式碼頭概述

板樁式碼頭係打設板樁及回填土築成，主要利用被動土壓力抵抗拉桿張力。板樁之材料為鋼、鋼筋混凝土、預力混凝土、木材等。由於鋼板樁之容許應力較大、成品亦可得較大之斷面係數，可用於水深較深之碼頭，因此目前鋼板樁較為常用。板樁式碼頭之特性如下：

1. 施工設備比較簡單，工程費較省。
2. 多數場合不需作水下基礎工程，因此施工迅速。
3. 牆體極輕，富彈性，耐震性強，可容許適當之不均勻沈陷。
4. 原地層水深較深時，板樁打設後，如未回填及錨碇設施未放妥時，波浪來襲容易損壞。
5. 鋼板樁於水中易腐蝕，耐久性較重力式差，所以宜採用陰極防蝕法，獲按腐蝕程度採用較大斷面。
6. 板樁式碼頭按型式，可分為自立式、錨碇式、井筒式，臺灣地區各港之板樁碼頭中，以錨碇是板樁最為常見，如圖 3.4 所示。

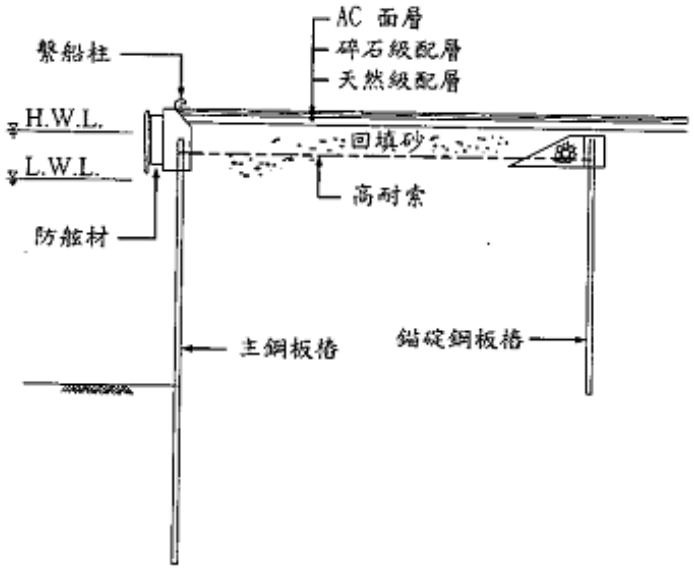


圖 3.4 錨碇板式碼頭

3.2.1.3 棧橋式碼頭概述

棧橋式碼頭構造型式係如橋梁般，以樁為支柱，其上設置頂板組成碼頭，其特性如下：

1. 結構較其他型式為輕，地層軟弱之處無法構築重力式或板樁式時，可採此法。
2. 不妨礙水流、漂砂、潮流激烈之處亦不致影響自然條件之平衡。
3. 不需新填土。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 碼頭寬大時工程費亦增。
6. 對水平力之抵抗較弱。
7. 水流影響船舶之靠岸。

棧橋式碼頭，隨支撐頂板之支柱結構可分為直樁棧橋式、斜樁棧橋式，如圖 3.5 至圖 3.6 所示。

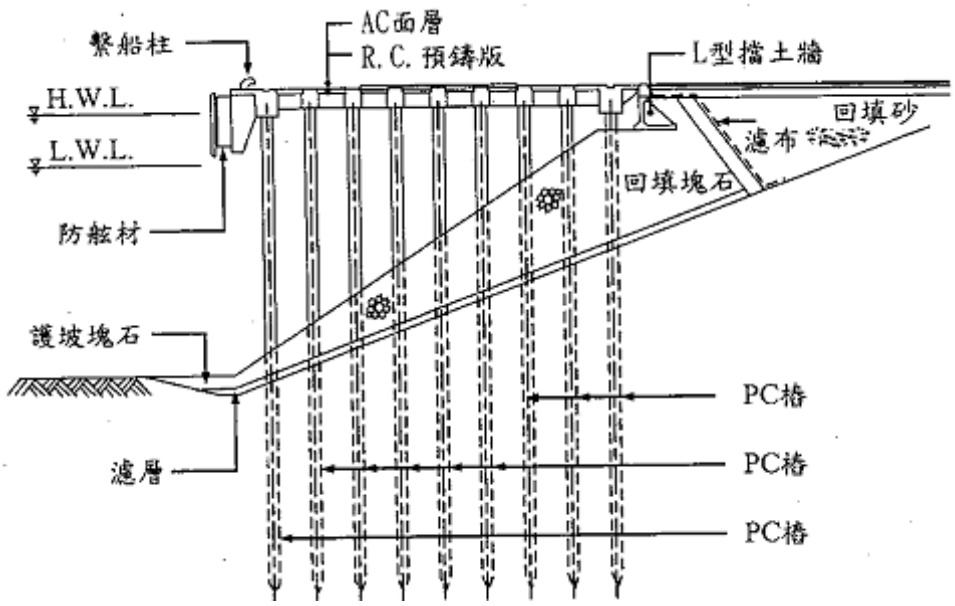


圖 3.5 直樁棧橋式碼頭

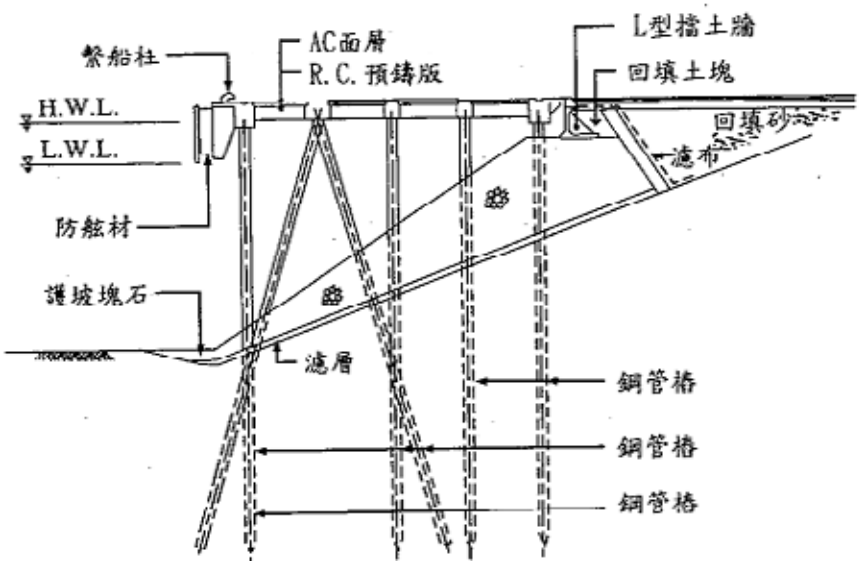


圖 3.6 斜樁棧橋式碼頭

3.2.1.4 井筒式碼頭概述

以基隆港西 2 號碼頭現有井筒式碼頭碼頭構造為例，其上部結構由梁、板及冠牆等鋼筋混凝土結構組成，下部結構以塊石堆砌之井筒柱狀支撐上部結構，並採用拋石作為堤岸之保護方法，其結構型式如圖 3.7 所示。

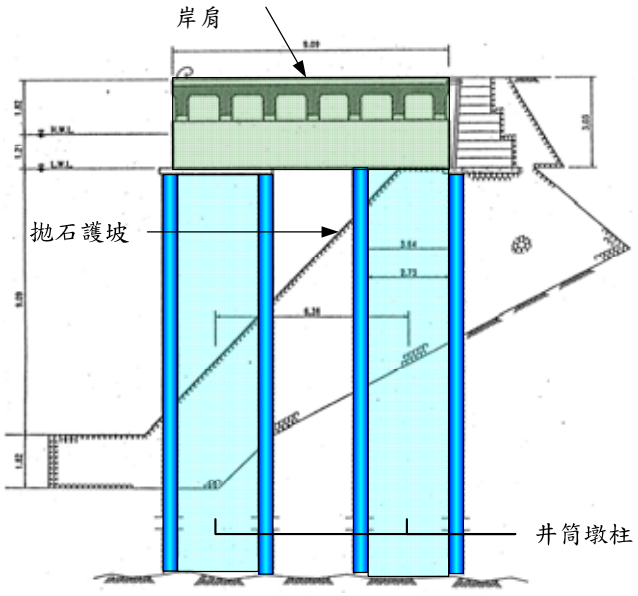


圖 3.7 井筒式碼頭斷面結構型式

井筒式碼頭特性如下所述：

1. 基隆港西 2 號井筒式碼頭其建造年份較久，需特別注意其材料老劣化之問題。
2. 井筒墩柱採塊石堆砌方式構築，已經長期的壓密，較傳統之重力式碼頭而言，其較無沈陷之問題。
3. 塊石堆砌之墩柱，較難抵抗地震力之侵襲，但此結構上有設置拋石護坡用於增加其墩柱之穩固，以避免地震來襲之崩塌危險。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 下部結構採類似棧橋式之墩柱設計，易受水流之影響。

3.2.1.5 牆式墩柱碼頭概述

以基隆港西 2 至西 4 號碼頭現有井筒與牆式墩柱碼頭碼頭構造為例，其上部結構同井筒式碼頭，下部結構為砌石堆疊橋墩支撐並採拋石護坡堤岸，基礎型式為打設木樁並填充砌石與硬石，其上為袋裝混凝土堆疊，其結構型式如圖 3.8 所示。

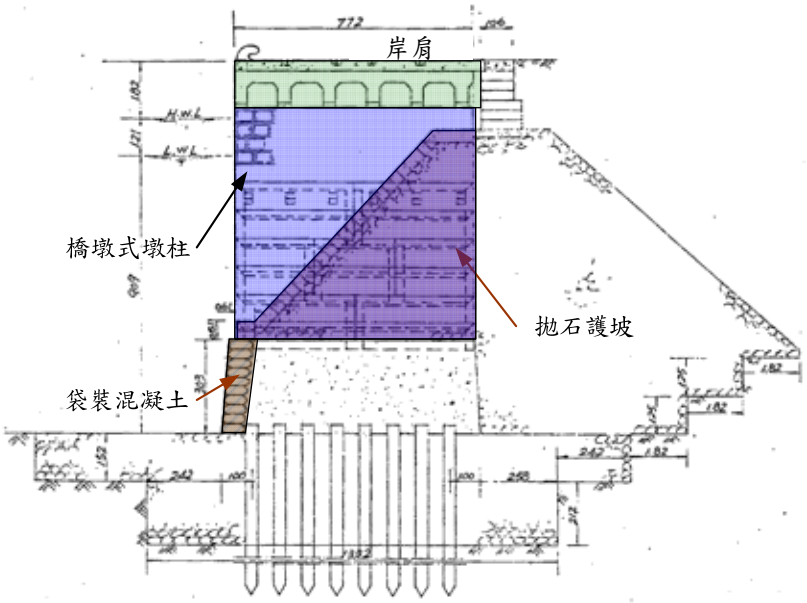


圖 3.8 牆式墩柱碼頭斷面結構結構型式

牆式墩柱碼頭特性如下：

1. 基隆港西 2 至西 4 號牆式墩柱式碼頭建造年份較久，需特別注意其材料老劣化之問題。
2. 牆式墩柱採塊石堆砌方式構築，已經長期的壓密，較傳統之重力式碼頭而言，其較無沈陷之問題。
3. 塊石堆砌之墩柱，較難抵抗地震力之侵襲，但此結構上有設置拋石護坡用於增加其墩柱之穩固，以避免地震來襲之崩塌危險。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 下部牆式墩柱結構無法透通，故水流之影響較小。

3.2.1.6 重力式碼頭維護管理

重力式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

1. 岸壁結構：因地盤下陷造成上部結構下陷或傾斜，或因地震所產生的額外土壓力及水壓力，超過結構原有之設計強度，大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成岸壁產生裂縫、破損、剝離、拱起及下陷；貨碼頭結構沿法線方向產生位移、錯動及側傾。

2. 岸肩因防砂板的破損造成被填土砂流失而引起岸肩的下陷，或因地震力產生破壞或變位，造成岸肩破裂、伸縮縫破損，或因基礎液化產生岸肩下陷、破壞、伸縮縫破損；因波浪造成岸肩鋪面破損而致使路基外露。

3. 背填土砂：可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因結構體的破損產生被填土砂發生漏砂及淘空的現象。

4. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷或因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用。

圖 3.9 至圖 3.10 為重力式碼頭產生外部異狀之示意，各示意圖中所標示之 13 項行為，均為可能導致該類式碼頭外部異狀之基本機制，其所發生之部位並非圖示中之單一點或部位，而是相關之整體或單元，如圖 3.9 中所示機制(12)地震力之影響範圍為碼頭整體，機制(2)不當撞擊力若指船舶未依規定靠岸，其可能產生範圍為岸壁任何部位，機制(2)不當撞擊力若指岸肩任何物體未依規定拋置吊放，其可能產生範圍為岸肩任何部位，機制(5)地表水滲流之可能產生範圍為整個岸肩及後線。由各項或多項合成之基本機制所產生之外部異狀，將不是單一之異狀，異狀所產生之部位與範圍亦將是多處與多面。

據此，可針對重力式碼頭產生異狀之構件位置進行標註，如圖 3.11 至圖 3.12 所示，並針對此些構件表列其發生之異狀(異狀類型以蘇(2006)，其餘各式碼頭皆以此異狀類型進行表列)，如表 3-1 所示。

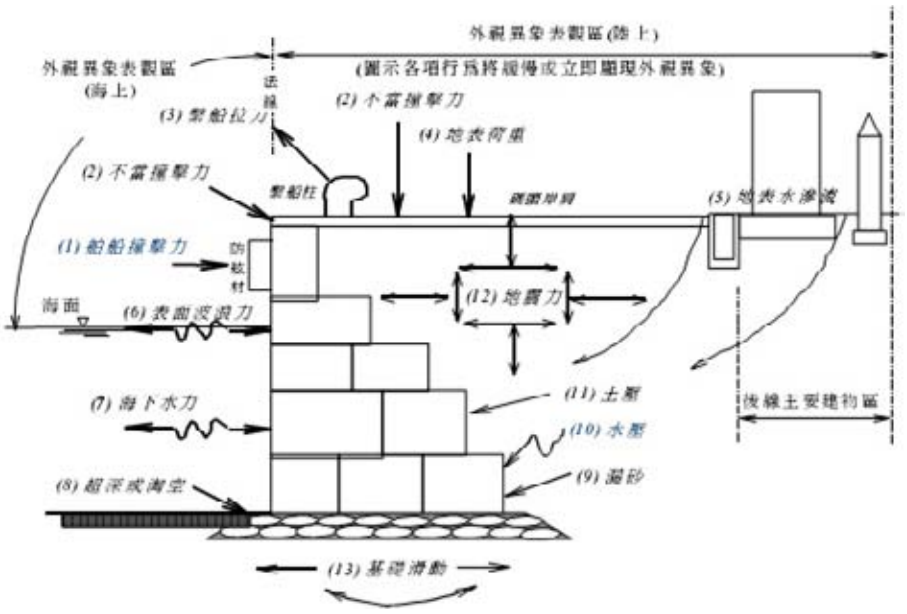


圖 3.9 導致重力式方塊碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖

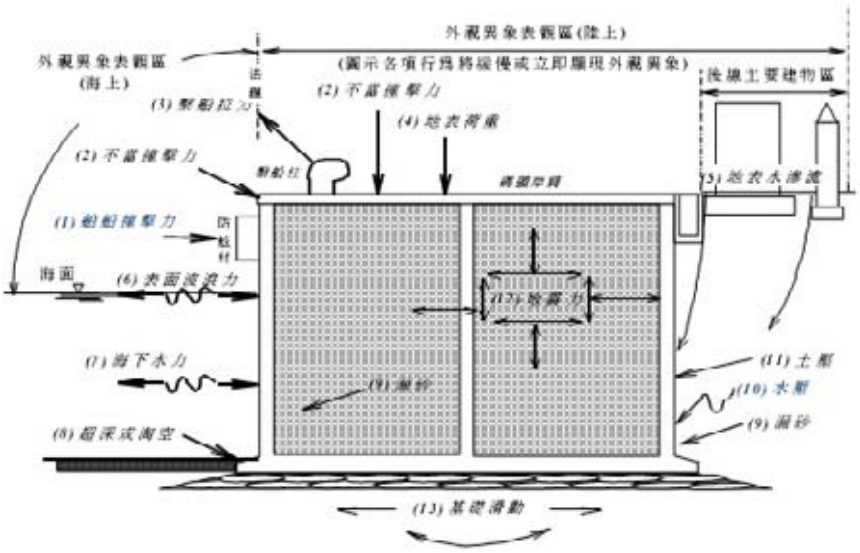


圖 3.10 導致重力式沈箱碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖

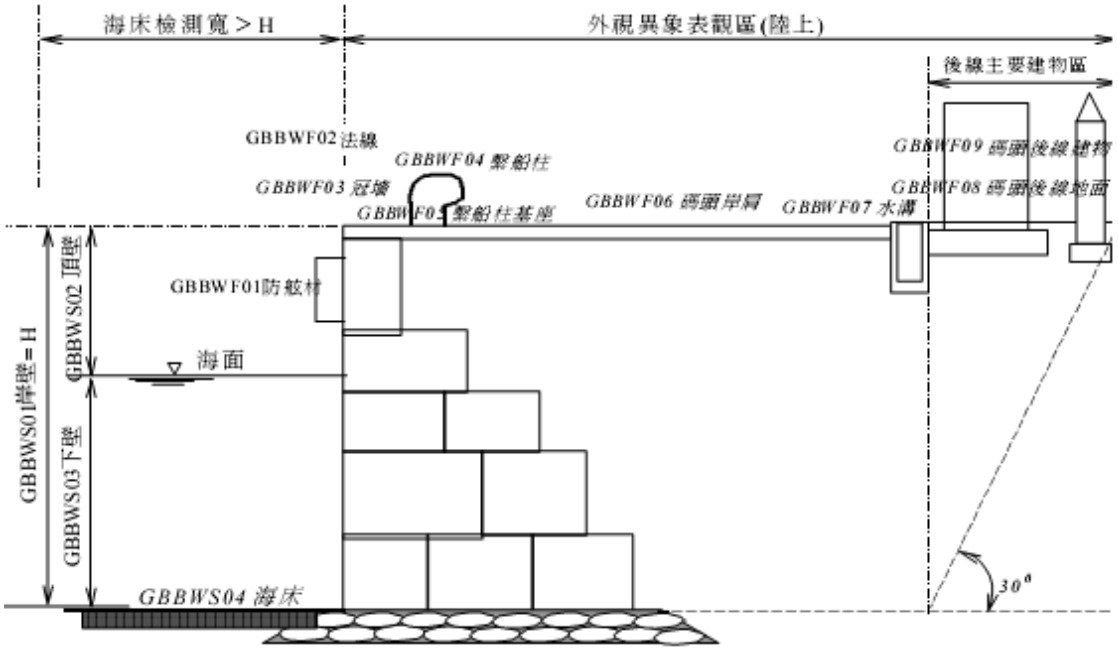


圖 3.11 重力式方塊碼頭構件標示

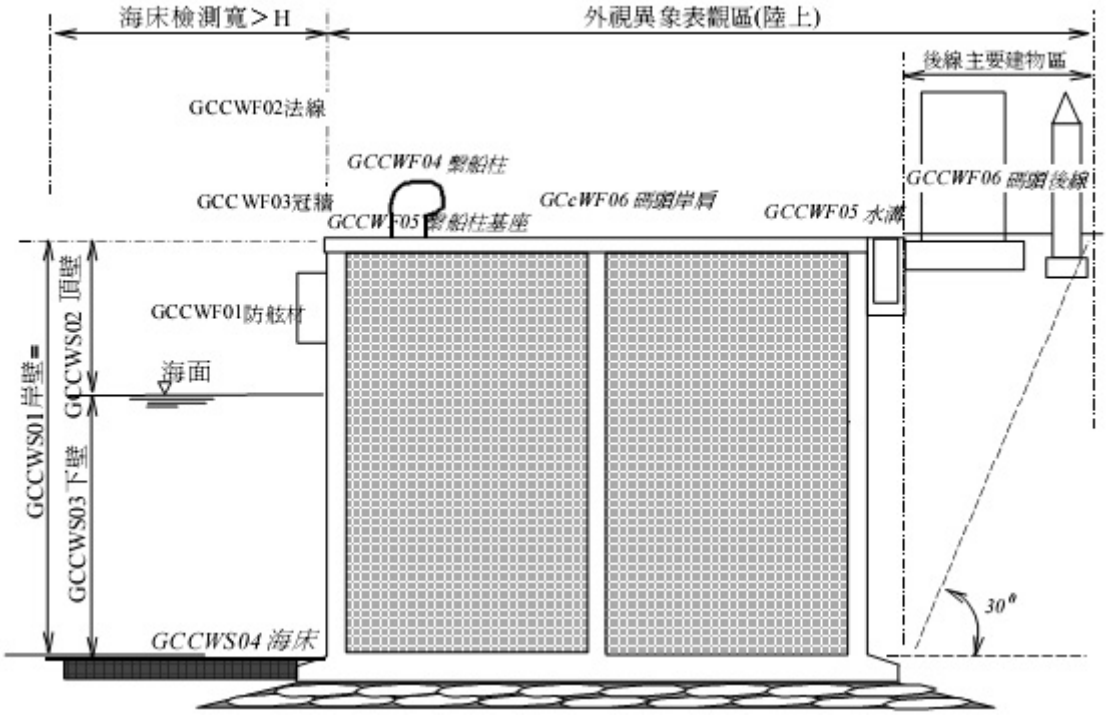


圖 3.12 重力式沈箱碼頭構件標示[4]

表 3-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表

構件類型	構件名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部結構	主要結構	法線						✓	
		岸肩	✓		✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓				
	基礎	海床				✓	✓		

3.2.1.7 板樁式碼頭維護管理

板樁式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

1. 板樁結構：因經年累積腐蝕造成板樁的破壞，或因地震所產生額外土壓力及水壓力，超過結構原有之設計強度、大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成結構岸壁產生裂縫、破損、拱起及下陷；或板樁沿法線方向產生位移及側傾。
2. 岸肩：因持續的背填料壓密下陷造成岸肩破壞、因過度的荷重作業使得板樁鋪面產生破損而致使岸肩下陷，因地震力產生破壞或變位造成岸肩破壞；或因背填土砂液化產生岸肩下陷、破壞。
3. 背填土砂：其可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因鋼板樁的破損產生背填土砂發生漏砂及淘空的現象。
4. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷或因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷現象。

據此，可針對板樁式碼頭產生異狀之構件位置進行標註，如圖 3.13 所示，並針對這些構件表列其發生之異狀，如表 3-2 所示。

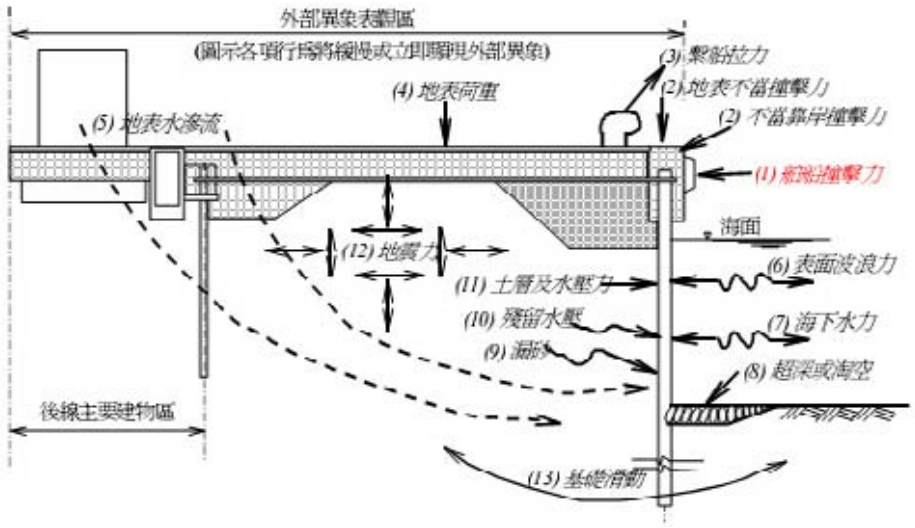


圖 3.13 導致板樁式錨碇碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖[4]

表 3-2 板樁式碼頭各構件產生異狀列表

構件類型	構件名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部結構	主要結構	法線						✓	
		岸肩	✓	✓	✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓			✓	
		鋼板樁	✓	✓				✓	
		RC(PC)樁	✓	✓	✓			✓	
	基礎	海床				✓	✓		

3.2.1.8 棧橋式碼頭維護管理

棧橋式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

1. 基樁結構：因經年累積腐蝕造成基樁的破壞，因地震所產生的額外水準力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成基樁產生破損、斷裂及挫曲；或因基礎土壤滑動或大型船隻碰撞，致而使基樁產生位移或側傾。

2. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭格梁接榫破壞、碼頭單元接榫鬆動，或因波量作用將碼頭面掀起。

3. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷，或因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用，或護坡塊石沖刷以及碼頭拋石護坡滑動。

棧橋式碼頭構件發生之異狀，如表 3-3 所示。

表 3-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀列表

構件類型	構件名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部結構	主要結構	法線						✓	
		梁	✓	✓	✓				
		岸肩	✓		✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓				
		鋼管		✓					
		PC 圓樁	✓	✓	✓				
	基礎	海床				✓	✓		
		拋石護坡							✓

3.2.1.9 井筒式碼頭維護管理

國內主要商港目前井筒與牆式墩柱碼頭僅於於基隆港部份碼頭屬之，以基隆港西 2 至西 4 號碼頭為例，其係於民國 41 年建造，年代久遠，且亦無類似結構可供參考以作為維護管理特性之參考，但由於井筒式碼頭由塊石堆砌成中空圓柱，其構件類似棧橋式碼頭，其上部結構為梁、面板及冠牆等鋼筋混凝土結構，下部結構採井筒柱狀支撐並採拋石護坡堤岸。初步評估破壞機制如下：

1. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭面板、梁破壞碼頭單元接榫鬆動，或因波量作用將碼頭面掀起，或因鋼筋混凝土材料腐蝕、剝落等劣化導致破壞。

2. 井筒式結構：因地震所產生的額外水平力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成井筒式結構產生破損及斷裂；或因大型船隻碰撞，而使井筒式結構產生位移或側傾。

3. 碼頭基礎：因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用，或護坡塊石沖刷以及碼頭拋石護坡滑動，並引致岸肩的下陷、破裂及伸縮縫破損。

井筒式碼頭構件發生之異狀，如表 3-4 所示。

3.2.1.10 牆式墩柱碼頭維護管理

牆式墩柱碼頭由塊石堆砌並在兩墩距間堆疊拋石護坡其上部構件類似棧橋式碼頭，但下部構件的結構模式類似重力式碼頭，其上部結構為梁、面板及冠牆等鋼筋混凝土結構，下部棧橋結構為砌石堆疊橋墩支撐並採拋石護坡堤岸，基礎型式為打設木樁並填充砌石與硬石，其上為袋裝混凝土堆疊。初步評估破壞機制：

1. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭面板、梁破壞、碼頭單元接榫鬆動，或因波量作用將碼頭面掀起，或因鋼筋混凝土材料腐蝕、剝落等劣化導致破壞。

2. 砌石堆疊橋墩結構：因地震所產生的額外水準力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成砌石堆疊橋墩結構產生破損及斷裂；或因大型船隻碰撞，而使砌石堆疊橋墩結構產生位移或側傾。

3. 碼頭基礎因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用，或護坡塊石沖刷以及碼頭拋石護坡滑動，並引致岸肩的下陷、破裂及伸縮縫破損，或因地震力產生破壞或變位造成承載力不足導致上結構、橋墩構造及拋石護坡堤岸破壞。

牆式墩柱碼頭構件發生之異狀，如表 3-4 所示。

表 3-4 井筒與牆式墩柱式碼頭各構件產生異狀列表

構件類型	構件名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部結構	主要結構	法線						✓	
		岸肩底板	✓	✓	✓				
		梁	✓	✓	✓				
		岸肩	✓		✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓				
		井筒						✓	✓
		牆式墩柱						✓	✓
	基礎	海床				✓	✓		
		袋裝混凝土							✓
		拋石護坡							✓

3.2.2 港灣 R.C.結構物安全檢測項目

安全檢測項目依結構位置可概分為整體結構變形檢測、細部構材檢測、基礎地盤檢測及碼頭附屬設施檢測等。

整體結構變形檢測係檢測 R.C.結構物可能產生之大變形或位移。細部構材檢測分為上部結構及下部結構等兩大部分，其中上部結構同質性較大；下部結構則依 R.C.結構物型式不同，受力行為不一，容易發生結構破壞處有所差異，故檢測細項也有所區分。檢測項目建議如下：

3.2.2.1 整體結構變形檢測

整體結構變形檢測項目包括 R.C.結構物(碼頭或防波堤)不均勻沈陷、岸肩伸縮縫破損、壁體傾斜、法線位移檢測等。當這些檢測結果顯示出 R.C.結構物有沈陷或位移或傾斜時，則其他部位的結構，如基礎結構或護基拋石必須做進一步的檢測。

3.2.2.2 細部構材檢測

細部構材檢測為整體結構變形檢測之外，進一步對不同型式 R.C.結構物進行之檢測，細部構材檢測與 R.C.結構物之型式有關，因此，將以 R.C.結構物型式及構材性質分別討論之。其中包括上部結構破壞檢測及上部結構破壞檢測，上部結構中如碼頭面版結構裂縫，裂縫位置、長度、寬度及深度，碼頭面版鋼筋腐蝕，混凝土強度變化及其他以目視或簡單測量儀器能觀察之破壞或損害現象等。

基礎結構檢測則與 R.C.結構物型式關係密切，但檢測不易實施，一般需借助精密儀器配合。各種型式之港灣構造物施測項目建議如表 3-5 所示。

表 3-5 港灣構造物細部構材檢測建議項目

構造物名稱	建議檢測項目
重力式碼頭	碼頭岸側背填料空洞、碼頭前側基礎掏刷、混凝土塊破損或劣化、混凝土塊或層間產生相對位移、碼頭壁體破損前傾等。
版樁式碼頭	碼頭岸側背填料空洞、碼頭基礎掏刷、版樁法線方向變位、鋼版樁潮間帶及海下腐蝕、版樁裂縫或破損、鋼版樁接縫開裂、鋼版樁陰極防蝕陽極塊損耗、產生電流、鋼板樁腐蝕電位檢測等
棧橋式碼頭	碼頭面版強度及混凝土性質檢測、鋼管基樁潮間帶腐蝕及海下腐蝕、鋼管基樁基礎掏刷、鋼版樁陰極防蝕陽極塊損耗、產生電流、鋼板樁腐蝕電位檢測、碼頭靠船速度或撞擊振動監測等
沉箱式碼頭及防波堤	胸牆裂縫、沉箱結構裂縫、結構體鋼筋裂縫、沉箱壁體傾斜、護基方塊沈陷移動、拋石基礎沈陷移動或沖刷
拋石堤	不均勻沈陷、胸牆裂縫、胸牆壁體傾斜、拋石基礎沈陷移動或沖刷

3.2.2.3 基礎地盤調查

基礎地盤調查包括碼頭坐落處之地盤屬性、液化潛能評估，碼頭基礎掏空檢測，與防波堤則為堤趾沖刷之評估等。

3.2.2.4 碼頭附屬設施之檢測

檢測項目包括：防舷材破損及裂縫、繫船柱基礎裂縫及其他設置於岸上與泊船有關之設施之破壞或損害等。

3.2.3 檢測及評估實施時機

港灣構造物安全檢測實施可概分為，定期(或不定期)實施之一般性安全檢測，及在重大災害發生時之緊急檢測，檢測時機如大型颱風過後，重大地震發生時，碼頭營運中發生重大事故（如大型船隻操船不當而碰撞）以致造成碼頭結構安全受損，以及施工時因故造成之結構破壞等。

3.2.3.1 一般性安全檢測

一般性安全檢測通常以定期方式進行，針對各種不同港灣構造物完工後使用之狀況、年限、環境等條件進行檢測，檢測時間並無強制性，可依實際需要進行。若發現較嚴重破壞狀況，但尚無需立即修復或立即修復有困難時，則應密集監測，以確保港灣構造物營運安全。

實施一般性檢測在如機具、人員調度困難或環境惡劣無法實施定期檢測時，可補充定期檢測之不足。故雖未明確規定檢測時間或間距，建議仍應在一定期間內，完成應檢測次數。

3.2.3.2 緊急災變檢測

重大災害如颱風或地震發生後必須立即進行緊急檢測，其中颱風過後，應針對防止波浪侵襲之構造物如防波堤、消波設施等進行緊急檢測；地震發生時，則針對地表加速度及動力作用較敏感的港灣構造物，如重力式結構或為固定在與海床接觸處之結構等，亦應進行緊急檢測，根據以往之地震記錄顯示，可能造成破壞之地震大多為 4 級以上，因此建議 4 級以上地震發生時，應對所有港灣構造物進行全面性檢測；當震央位於港區鄰近地區且震度達 6 級以上之大地震發生時，更應儘速於 72 小時內完成緊急檢測並確認構造物受損情形，評估應否進行進一步之防護措施。此外，碼頭結構常因大型船隻碰撞，導致安全受損，或施工時因故造成之結構破壞等事故時，應針對個別構造物及其周遭之港灣構造亦應進行緊急檢測。

3.2.3.3 分階段檢測及評估

檢測工作可區分為兩個階段實施，第一階段為初步檢測，一般性安全檢測及重大災害發生時之緊急檢測，均必須先經過第一階段之初步檢測，依初步檢測之結果，經過評估判定後再決定是否必須進行第二階段之檢測。

第一階段之檢測其檢測項目及檢測重點，依照港灣構造物之形式、使用狀況及環境條件等，建立表格，使得在經常性實施時具有較高的效率，及較正確之結果。

第一階段檢測工作完成後，即進入檢測結果初評階段，評估時其標準主要有兩大部分：

1.結構安全是否有問題

2.構造之功能性是否有問題。

第二階段的檢測工作若為一般性檢測時，第二階段的細部檢測工作將依構件位置、材料特性等來加以區分，並同樣將檢測之重點、具體要求之數據建立成表格化之形式，以便於能經常性的執行。

立即性的緊急檢測在第二階段實施時，屬於較嚴重損壞，必須立即修復的港灣構造，應建立檢測計畫，其檢測結果除了顯示構造破壞之程度之外，並將成為未來修復工作之重要參考。

第二階段檢測工作完成後，則進入檢測結果終評階段。

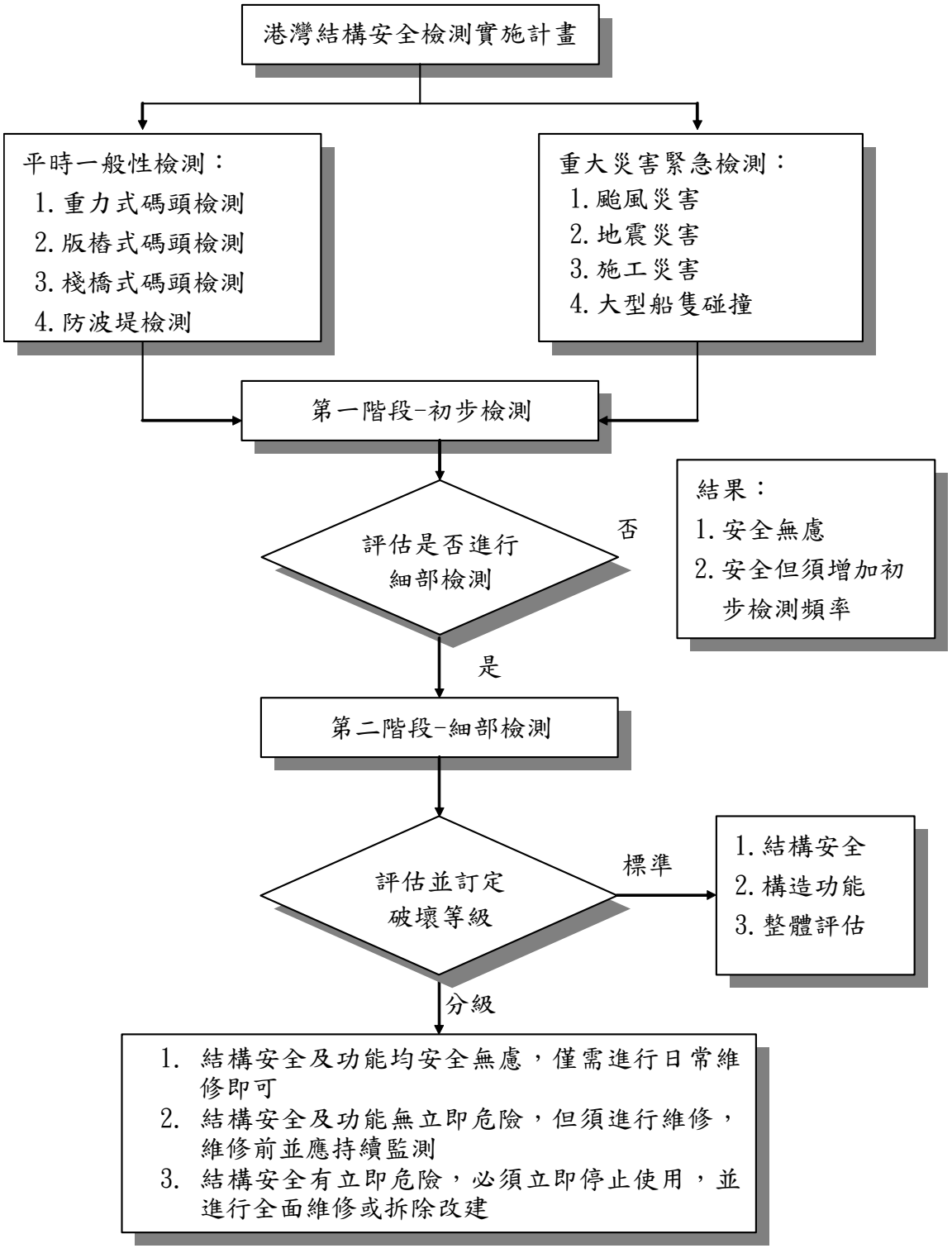


圖 3.14 港灣結構安全檢測實施流程圖

3.2.4 結構物安全檢測評估

港灣結構物經過必要之安全檢測後，除須將檢測結果彙整分析，並應建立系統性的評估制度，結合港區相關資料庫系統，將可能受損原因及相對應之檢測方法、分級評估制度及維護措施納入港區管理體系中，才能達到確保港灣構造物使用安全無虞，發揮港口營運提供船舶安全進出之功能。

港灣結構物安全檢測的評估過程可分為以下四個階段；(1)初步安全檢測(2)細部安全檢測(3)檢測結果安全評估(4)港灣結構整體評估等級。

3.2.4.1 初步安全檢測

以目測方式及較簡單之測量儀器對碼頭整體結構變形或位移進行了解，如檢查碼頭面混凝土是否有剝離、裂縫、鋼筋外露等現象，附屬設施如橡膠護舷是否產生龜裂、破損等異狀現象，並加以拍照、量測、繪圖及描述記錄，配合結構物背景資料進行初步安全評估。

港灣構造物整體結構之安全性及破壞後之受力反應，不容易由構造物表面之初步檢測結果直接判定，由於檢測品質包括檢測人員之訓練及經驗都將嚴重影響評估結果，為確保檢測工作之客觀性及可靠性，將檢測評估方式適度量化仍有其必要性。初步安全檢測可視為第一階段檢測，檢測完成後，即進行初評階段。

整體檢測結果之判定及評估之標準主要分為：

1.結構安全是否有問題。

2.構造功能性是否有問題。

依據檢測結果，將各項檢測項目之檢測值經下列公式換算後，依其值所在範圍而決定最後等級。

$$ID_1 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i} \quad \text{.....(3.1)}$$

式中 ID_1 為初步檢測危險度指標(Index of Dangerousness) ，Di、Ei、Ri 分別為各項檢測中檢測人員填寫之檢測值，N 則代表檢測項目之總數。ID_1 值越高則代表危險度越高，數值分配範圍為 0 到 10 間。

初步安全檢測階段判定結果分為以下三個等級：

1. $0 \leqq ID_1 < 2$：安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。
2. $2 \leqq ID_1 < 4$：安全無虞，無須進行細部檢測，但於未來必須增加檢測頻率。
3. 非主體結構之 ID≧4，但其他主結構體之 ID＜4：為功能堪虞，小型立即性維修可改善功能狀況者者應立即進行，如主結構體或整體檢測值之 ID≧4，必須進行第二階段之細部檢測以進一步了解構造物破壞狀況。

3.2.4.2 細部安全檢測

細部安全檢測為第二階段的結構安全檢測，必須配合非破壞性檢測儀器或其他更深入之檢測方法，才得以對港灣結構進行細部構材檢測。

細部安全檢測適用於：

1.目視檢測無法判定或檢測對象不易進行者。

2.經初步檢測結果判定必須進行細部檢測者。

3.為重大災害或事故發生後之緊急檢測。

4.工程維修進行中有特殊需求者。

不同型式的港灣構造物，進行細部檢測時檢測重點亦有所不同。依照碼頭及堤防型式不同，細部檢測評估表將有所區分。如初步檢測過程中，主結構體部份 D 值等級判定為 3 以上時，細部安全檢測時應視情況以較可靠之儀器重新檢測，並會同細部檢測評估表之檢測項目及結果，共同做最後之安全等級評估。

港灣構造物進行檢測與評估，評估時分成兩個階段進行。第一階段的評估工作包括結構安全性及構造物之功能性，主要在判定構造物是否安全。如屬安全堪虞，則必須進行第二階段之細部檢測，進一步了解構造物破壞狀況。

第二階段之細部檢測工作完成後，可依第一階段之評估方式進行評估，評估時將現地檢測數據及圖表等資料，進行詳細分析，由於結構物安全評估，牽涉複雜的結構力學行為，為對整體結構之安全能有更正確的了解，必要時須進一步分析結構力學行為。

細部檢測評估包括結構安全性，構造功能性，整體考量等三項原則，說明如下：

1. 結構安全性原則

港灣構造物受損後，結構安全如未能由檢測所得之數據直接判斷時，必須經過力學分析加以判定。結構安全除了受到材料性能影響外，外力作用包括波浪及地震作用力、海水與土壤間的相互作用，因此，分析時並無適用公式可供引用，應同時考量靜力分析及動力分析，以求符合真實受力情形。

2. 構造功能性原則

港灣構造物均有其應用上之不同功能。構造物功能性無法發揮時並不代表結構之安全有問題，但結構如屬無法完全發揮功能，又未維修恐將進一步造成破壞而危及安全。構造物主要或附屬設施，不論合併評估或單獨評估，如評定等級屬於為安全堪虞的第三等級時（非主體結構之 IDA≧4，但其他主結構體之 ID1＜4 時，小型立

即性維修可改善安全或使用之功能狀況者）應立即進行修復，以維護港口之正常運作。

3. 整體性評估原則

整體性評估除將第一階段檢測中的主結構體列入考慮之外，並將第二階段依碼頭型式不同，而進行之細部檢測結果一起納入評估。由安全性及功能性兩大原則評估後，只要其中之一，不論是安全性或功能性有問題時，即應進行修復工作，但在決定採取何種修復措施之前，則應做整體性的評估，其中包括經濟效益考量，並配合港灣整體營運採取最適切之修復措施。

3.2.4.3 結構整體評估等級

綜合前述各節將港灣結構檢測結果評估後，縝密訂定出評估後之等級。檢測工作分兩階段進行時，各階段評估後之分級亦有所區分。

1. 第一階段檢測分級

第一階段檢測工作完成後，即進入檢測結果初評階段，依據評估結果，構造之初步檢測結果可分成三個等級。

2. 第二階段檢測分級

第二階段檢測分級中，除將第一階段檢測中的主結構體納入考慮外，依港灣構造物型式不同，而進行之細部檢測結果需一起列入評估。其評估方式如下：

$$ID_2 = \frac{\sum_{i}^{N}(D_i + E_i)R_i}{\sum_{i}^{N} R_i} \quad \text{.....(3.2)}$$

式中 ID_2 為細部檢測危險度指標，Di、Ei、Ri 分別為各檢測中檢測人員填寫之檢測值，N 則代表檢測項目之總數，包括細部檢測及初

步檢測主結構體之受測項目(若進行重新檢測，以較新的數據為準)。ID值越高則代表危險度越高，數值分配範圍為 0 到 10 間，其與判定結果關係，與初步檢測階段類似分成三個等級並條列如下：

1. $1.0 \leqq ID_2 < 3$：輕微受損、結構安全及構造功能無虞，僅需進行日常維修即可，但於未來必須增加初步檢測之頻率；
2. $2.3 \leqq ID_2 < 6$：構造損壞，但結構安全及構造功能均無立即危險、應進行維修；若無法立即實施維修，則必須在維修前進行同步監測工作。
3. $ID_2 \geqq 6$：嚴重損壞，結構安全有立即危險，且構造功能無法發揮，必須立即停用並進行大部維修或拆除重建。

3.3 研究方法與進行步驟

本研究參考交通部港灣構造物安全評估之工作手冊（草案）及相關港務局檢測工作規則等，民國 96 年已針對蘇澳、花蓮、高雄及臺北港不同碼頭型式實施現況調查，本年度選定臺中港及基隆港個數座碼頭進行調查，調查流程示如圖 3.15。

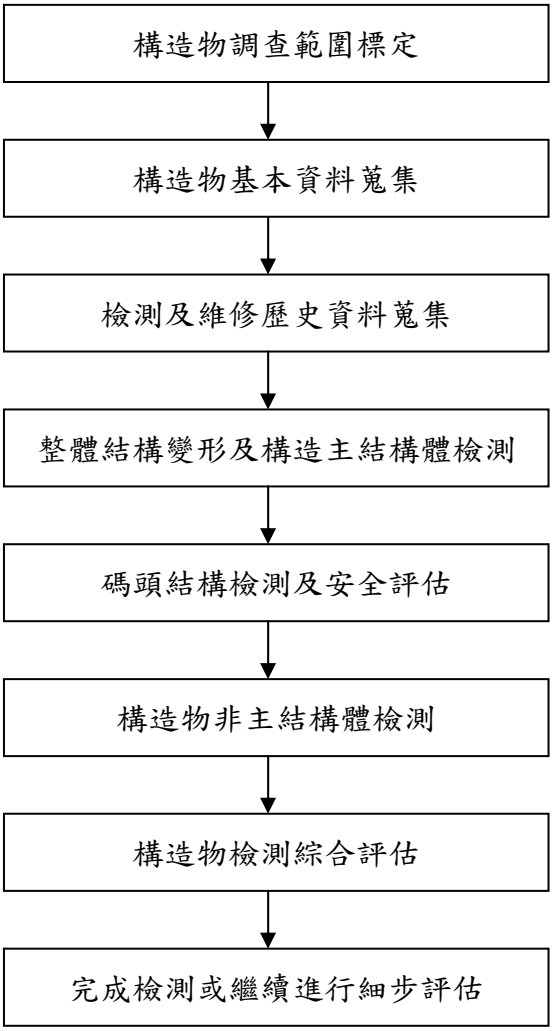


圖 3.15 構造物現況調查流程

3.3.1 調查範圍

本年度調查範圍包括：臺中港 1 至 4 號及 4A（沉箱重力式）碼頭及基隆港西 2 至西 4 號（井筒式及牆式墩柱）碼頭，依初步檢測規定項目進行調查，並針對基隆港西 2 至西 4 號碼頭進行水下目視檢測、鋼筋混凝土現地非破壞性檢測、結構安全評估及建置維護管理資料庫。

3.3.2 構造物基本資料蒐集

構造物基本資料包括有隸屬港口，碼頭編號，碼頭長度、縱深，船隻靠泊（船席）水域深度，包括原設計水深及調查水深；靠泊船隻屬性，如為貨櫃碼頭、雜散貨輪碼頭、化學品碼頭等；靠泊船級、最大噸位；碼頭構造型式等。

3.3.3 檢測及維修歷史

檢測歷史包含：檢測日期，檢測區分（初步或細部檢測），檢測結果，如有特別註記或維修者，應附上維修記錄檔案名稱、編號等；檢測單位及檢測人員等。

3.3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測

整體結構變形檢測中包含之檢測項目有碼頭壁體傾斜、位移檢測，碼頭面法線改變檢測，碼頭面沈陷檢測，碼頭沉箱與後線連接縫檢測。

由於港灣構造物主體結構的主要部份均位於水下，初步檢測檢測項目包括：碼頭面之裂縫檢測、鋼筋外露程度，鋼筋腐蝕探測；混凝土強度劣化檢測，混凝土保護層厚度檢測等；構造伸縮縫檢測則包括有岸肩伸縮縫，及面版伸縮縫等，檢測項目詳如表 3-6。

表 3-6 碼頭構造物初步檢測評估表

碼頭基本資料	隸屬港口：		碼頭編號:	檢測區段:	
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：	長度： 縱深：	水域深度	原設計： 目　前：	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃	☐ 化學(油)品	☐ 雜貨輪	☐ 其他
	碼頭構造型式	☐ 重力式	☐ 版樁式	☐ 棧橋式	☐ 其他
	上次檢測	時間：	單位：	區分：	結果：
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭法線變形			4	
	碼頭岸壁傾斜			5	
	岸肩伸縮縫變形			4	
	(岸肩)混凝土強度			2	
	(岸肩)保護層厚度			2	
	(岸肩)鋼筋腐蝕探測			2	
	碼頭面(版)沈陷			4	
	(面版)混凝土強度			2	
	(面版)保護層厚度			2	
	(面版)鋼筋腐蝕探測			2	
	鋼版腐蝕檢測			3	
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i =$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材			3	
	繫船柱			2	
	擋車墻			1	
	排水給水設備			2	
	照明設施			2	
	油電管路			2	
	貨櫃起重機軌道			2	
	防颱固定座			2	
	其他				
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum^{N_A} R_i =$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i =$			
檢測單位：		檢測人：		檢測時間：	

3.3.5 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測

本研究另因基隆市政府近期擬推動之基隆火車站暨西 2、西 3 號碼頭都市更新計畫案，其中西 2、西 3 號碼頭位於該案「新西岸商業城」更新單元，西 4 號碼頭則為基隆港務局未來規劃客運專區之範圍；由於西 2 至西 4 號碼頭係於民國 41 年建造，主要結構為以鋼筋混凝土材料作為建材之牆式墩柱碼頭，使用迄今已超過 50 年，結構已屬老舊，部份鋼筋混凝土構件材料疑有老化腐蝕現象，對未來配合都市更新之商場興建及岸肩靠泊作業可能造成風險，亟需進行碼頭設施檢測評估。故針對其結構安全進行檢測評估，並研擬改善對策及建置碼頭維護管理系統，以提供港務局業務單位酌參。

檢測項目包含：(1)碼頭船席水深測量；(2)碼頭岸肩、梁及下部結構檢測：(3)鋼筋混凝土材料劣化檢測；(4)碼頭結構安全分析；(5)建置網路版之碼頭維護管理系統。

3.3.5.1 碼頭船席水深測量

採用高效率、高測點密度多音束水深測量系統之 RESON SeaBat 8124 多音束測深機，測量主要目的在於繪製碼頭旁水深地形，並對垂直面的牆式墩柱碼頭實施檢測。儀器之音束涵蓋範圍 120 度，約為 3.4 倍水深之寬度，共有 80 個音束，每個音束大小為 1.5 度×1.5 度。測深可達 300m，測深解析度 1 cm，測深精度符合國際海測組織 IHO 規範。聲納頻率 200kHz，施測頻率最高可達 40 Hz。搭配 Hypack 資料收集軟體，可即時了解測區深度，觀測覆蓋狀況等，另搭配 GPS 衛星定位系統定位，配合運動姿態感測器、電羅經、聲速儀、潮位儀等實施測量。

3.3.5.2 碼頭岸肩、梁及下部結構檢測

由潛水人員潛入水下，近距離目視觀察碼頭岸肩、梁及下部結構表面外觀損壞狀況，如裂縫、剝落、破洞、鋼筋外露或腐蝕等之初步觀察鑑定，描繪記錄劣損位置及情形，各座碼頭之岸肩、梁及下部結構應逐一編號記錄，最後以照相或攝影存證。

3.3.5.3 鋼筋混凝土材料劣化檢測

依據碼頭面版、樑及下部結構檢測結果，每座碼頭擇取 2 個單元以上進行檢測。檢測項目包含：

1. 非破壞性檢測：

(1)反彈錘法：

依據 ASTM C 805 的規定實施，檢測時依構造物面積大小，選擇面積約 1 × 2 m 的混凝土表面，繪製 20 cm 見方之方格進行試錘試驗，每一方格測試 12 個數據，計算時先將最大與最小值剔除後，求其平均值，再依儀器所附之反彈值與混凝土抗壓強度推估曲線，獲得混凝土表面硬度。比對反彈值推估所得與鑽心試體之抗壓強度試驗結果。

(2)鋼筋混凝土電阻係數量測

量測時係於混凝土表面鑽取定距離之兩孔(約 5 公分)，，吹出孔內因鑽孔而產生之粉塵顆粒後，注入凡士林做為介質，接著利用具兩個探針(頭)之電阻量測儀進行試驗。

(3)鋼筋電位值量測

混凝土內鋼筋腐蝕是一種電化學反應(Electro Reaction)，在鋼筋表面會形成陰極(鈍態)和陽極(正在腐蝕中部份)，不同位置會有不同的電位和電流型態，利用此種原理，可有效地測量某一範圍之電位分佈情形，以評估在鋼筋表面上發生腐蝕的可能程度。

鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能量測儀器連接成一通路，將導線與電錶連接後，移動參考電極即可量測出整個結構物內半電池腐蝕電位(Half Cell)，如圖 3.16 所示。

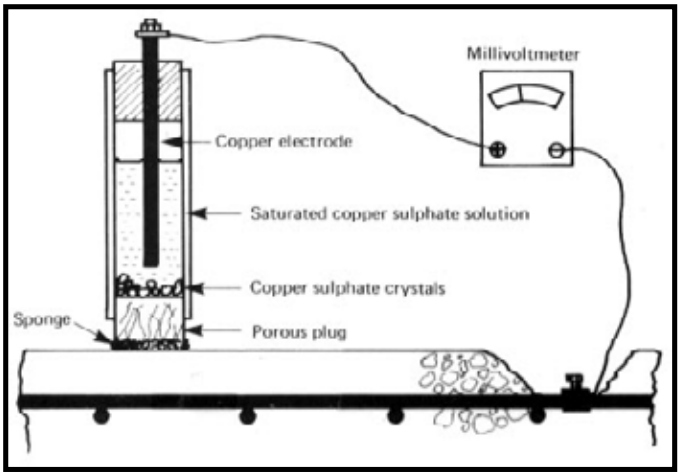


圖 3.16 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

腐蝕電位與鋼筋腐蝕關係，依據 ASTM C-876 及 Van Daveer 建議電位在－200mV CSE(飽和硫酸銅電極) 時腐蝕機率各為小於 10%和 5%電位在－200mV 至－350mV CSE 時腐蝕機率為大於 50%，電位若小於-350mV CSE 時，腐蝕機率則提高至大於 90%和 95%。如表 3-7 所示。

表 3-7 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係

鋼筋電位值 mV (CSE)	腐蝕機率
>-200	<5%
-200~-350	50%~95%
<-350	>95%

2. 破壞性試驗

(1)現地碼頭岸壁鑽心取樣

本研究之試驗是為破壞性試驗,試驗的主要目的是在決定結構體中部份區域之抗壓強度，同時取出之試體可做中性化試驗與超音波檢測。鑽心試驗是依據 CNS 規範中之規定，其取樣之試

驗抗壓強度之圓柱試體，其試體直徑至少為最大粗粒料粒經之 3 倍。鑽小試體長度最好為其直徑之 2 倍，或者不得小於其直徑。

(2)中性化試驗

混凝土因空氣中的酸性物質(如二氧化碳、二氧化硫等)會降低混凝土的鹼度，其原先的 pH 值會降到 7～9 左右，此即混凝土之中性化。

中性化不僅使混凝土失去保護鋼筋的作用，且破壞鋼筋表面的鈍化膜，使鋼筋在低鹼的環境下產生銹蝕；中性化的另一作用會加速混凝土的收縮，產生拉裂與結構破壞，對港灣構造物之影響更值得注意與防範。

測定混凝土中性化深度及中性化區域，最簡便也最常用之方法為酚太試劑，將現場所鑽取之混凝土試體或敲除之混凝土，放置在乾燥環境讓試體自然乾燥後，再將混凝土表面上噴灑酚太指示劑。

觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度，該試劑在 pH 值在 8.5 以上之鹼性環境中會變為紅色，而 pH 值在小於 8.5 的環境下則為無色，實際測定則以剖面的分界點來判定未中性化程度。

(3)鑽心試體抗壓試驗

依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之，試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以表 3-8 之更正因數(表中未列入之值，可由內差法求知)。

表 3-8 圓柱試體長度直徑比

試體長度直徑比	1.75	1.50	1.25	1.10	1.00
強度修正因數	0.98	0.96	0.93	0.90	0.87

抗壓試驗採用 ELE 2000KN 抗壓試驗機。

(4)超音波脈波速度量測

使用英國 CNS 儀器公司出品之 PUNDIT(Portable Uitrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester)超音波脈波速度測定儀，量測在硬固混凝土材質內超音波脈波之傳遞速度，瞭解混凝土之品質狀況。脈波速度與混凝土品質關係如表 3-9 所示，可作初步研判。

表 3-9 超音波脈波速度與混凝土品質之關係

脈波速度(m/sec)	混凝土品質狀況
<2500	不良
2500~3000	中等
>3000	優良

(5)氯離子檢測

本試驗依 AASHTO-T260 規範硬固混凝土氯離子含量試驗(水溶法)。此法乃是將混凝土粉末，浸泡於蒸餾水中，加熱沸騰後，靜置 24 小時後過濾之，以離子層析儀測得之 Cl^-含量。

3.3.5.4 碼頭結構安全分析

蒐集國內外碼頭檢測評估與維護等文獻，依據鋼筋混凝土材料劣化檢測結果，進行碼頭結構安全分析及及提出改善措施。本研究將基隆港西 2 至西 4 號碼頭分為上部結構、下部結構及拋石護坡三大部份分析後再整體評估碼頭結構安全性。

3.3.5.5 建置網路版之碼頭維護管理系統

建置網路版之碼頭維護管理系統，以資料形式區分為四組資料庫，分別為基本資料庫、檢測資料庫、維修資料庫以及系統管理資料庫。

3.3.6 非主結構體檢測

非主結構體檢測項目包括：護舷材破損、劣化及裂縫檢測；繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測；其他附屬設施如擋車墻，給水排水設備，照明設備，供電供油相關之管線、管路等。

3.3.7 構造物初步檢測評估

構造物完成檢測後，依各檢測項目之損壞程度(D)、損壞範圍(E)，及該構件損壞對整體結構之影響性(R)進行評估，稱為 D.E.R.評估法。

其中損壞程度(D)分為 0 到 5 級六等，級別為 1 級到 4 級時分別代表檢測對象之損壞程度，隨級別之增加其損壞程度亦隨之提高，級別為“0“級時則代表該檢測項目不存在。級別為“5“級時則代表該檢測項目無法判定或無法檢測，必須進行下一步之細部檢測，故等級為 5 時代表損壞程度高於 4。E 值為構件破壞範圍或破壞構件參數，以構件破壞數與受測構件數的百分比，或破壞面積與受測面積的百分比為參考，依其所座落範圍訂出“1“到“5“的等級，以百分比乘以十後，捨棄小數點為 E 值，大於五之值均以 5 填入表格。R 值之決定則有賴經驗及訓練，故暫不對 R 值提出參考建議。

碼頭檢測項目之 D 值示如表 3-10，依據檢測結果，檢測值經下列公式 3-1 或公式 3-2 換算後決定最後等級。

表 3-10 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係-1

檢測項目	劣化現象	劣 化 程 度	D 值
碼頭壁體	傾斜、破損、混凝土剝離龜裂	1.混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象 2.混凝土龜裂，鋼筋完全露出，無腐蝕現象。鋼筋部份露出，而且有腐蝕現象。壁體傾斜達 10~15 度時 3.可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出而且腐蝕預力管露出。傾斜達 15 度以上時	2 3 4
碼頭法線	變形、扭曲	1.儀器檢測出法線偏移、扭曲 2.可目視觀察出法線偏移、扭曲	3 4
碼頭面版	龜裂、沈陷、材質劣化	1.面版混凝土輕微剝落或龜裂開且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象 2.儀器檢測出輕微沈陷，或面版鋼筋完全露出，無腐蝕現象 3.可目視出沈陷、崩塌，或面版鋼筋完全露出而且有腐蝕現象	2 3 4
混凝土強度	劣化、不足	1.強度不足為 10%以內 2.強度不足為 20%以內 3.強度不足為 30%以內 4.強度不足達 30%以上	1 2 3 4
保護層厚度	厚度不足	1.厚度不足為 20%以內 2.厚度不足為 30%以內 3.厚度不足為 40%以內 4.厚度不足達 40%以上	1 2 3 4
鋼筋腐蝕檢 視	鋼筋腐蝕	1.無明顯的鏽蝕區域 2.局部區域有鏽水出現 3.帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現裂縫 4.一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色片狀剝落	1 2 3 4
鋼版腐蝕檢 測	腐蝕部位及現象	1.L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕 2.平均低潮位附近起，於 L.W.L.附近可見紅橙色生銹 3.於 L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布 4.H.W.L.以上的飛沫帶及接近 L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	1 2 3 4

表 3-10(續) 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係-2

檢測項目	劣化現象	劣　化　程　度	D 值
鋼版腐蝕檢　測	腐蝕程度	1.無明顯的鏽蝕區域 2.局部區域有鏽蝕集中 3.受到漂流物反覆侵蝕，形成帶狀區域的鏽蝕 4.3/4 區域出現紅橙色的鏽蝕，且有明顯的凹洞或破洞	1 2 3 4
岸肩伸縮縫	變形、破壞	1.接縫處雜屑堆積使伸縮縫功能減弱 2.埋入接頭上方之材料開裂，彈性材料變質但仍具水密性 3.合成之材質開裂、伸展接頭完全被密封、壓力封完全掉入膨脹缺口、彈性元件開裂等	2 3 4
護舷材	開裂、材質劣化	1.材質表面褪色、輕微劣化，靠船時有輕微龜裂現象 2.材質表面劣化明顯，靠船時能明顯觀察到龜裂現象 3.材質老化、構件變形、脫落，靠船時開裂過大以失去避振功能	2 3 4
繫船柱	破損、變形	1.材質已有鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形 2.材質鏽損狀況明顯，基座有龜裂情形 3.材質鏽損甚至剝落，基座龜裂擴大	2 3 4
擋車墻	破損、變形	1.材質表面已有龜裂情形 2.材質表面有明顯龜裂，基座有崩塌情形 3.材質龜裂擴大或多處崩塌、破損、位移	2 3 4
排水、給水設備	破壞、斷裂	1.破損而有滲水現象 2.斷裂失去功能	3 4
照明設施	破　壞	1.部份損壞而只能發揮部份功能 2.大部損壞失去功能性	3 4
油電管路	破　壞	1.破損而有滲油、漏電現象， 2.斷裂而失去功能性	3 4

3.3.8 完成檢測或進行細部評估

港灣構造物初步檢測及評估結果，如必須做進一步的評估檢測，將針對構造物安全性進行細部檢測及結構力學相關之分析，包括結構安全性，構造功能性，整體考量等。

3.4 結果與討論

3.4.1 臺中港 1 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 250 m，寬 20.0m，設計水深為-13.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2，碼頭位置及結構型式如圖 3.17 及圖 3.18 所示。以靠泊雜貨輪，載運穀類為主。2008 年 6 月調查時之碼頭情形如圖 3.19 及圖 3.20 所示。

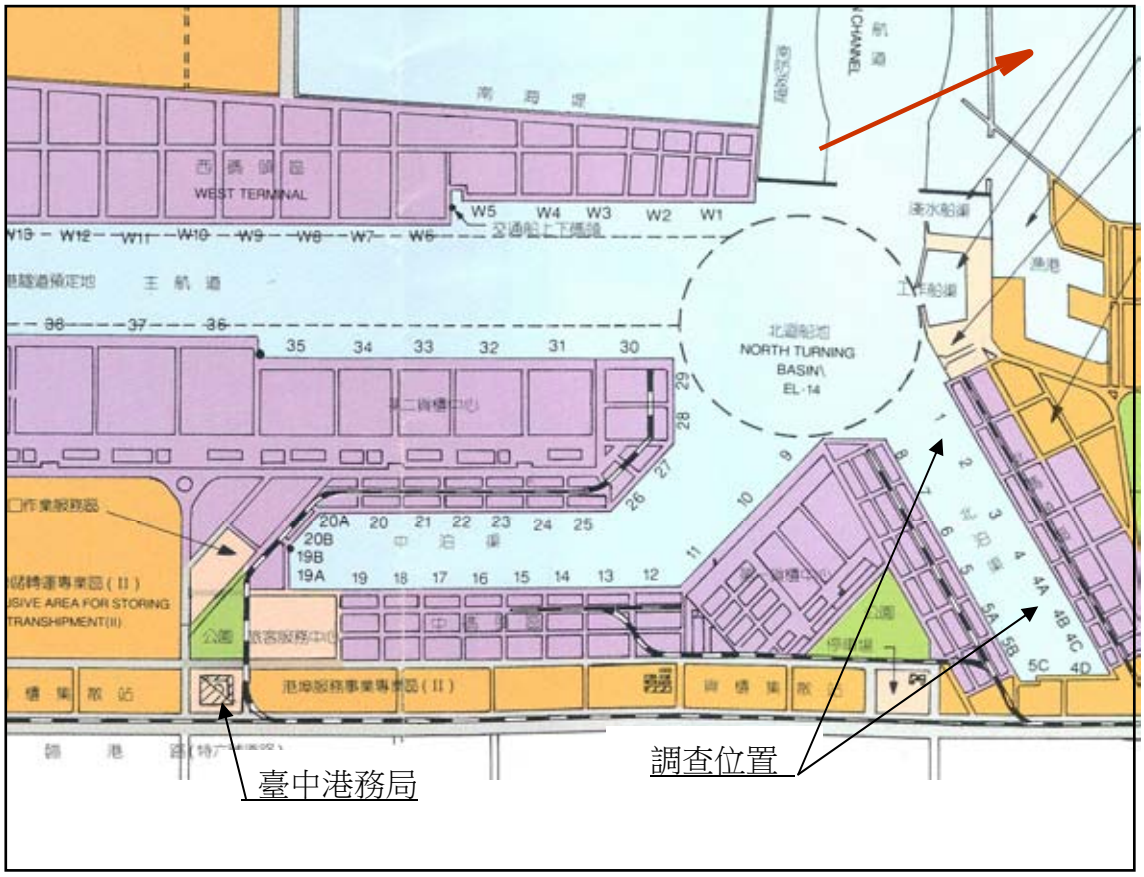


圖 3.17 臺中港 1-4A 碼頭位置示意圖

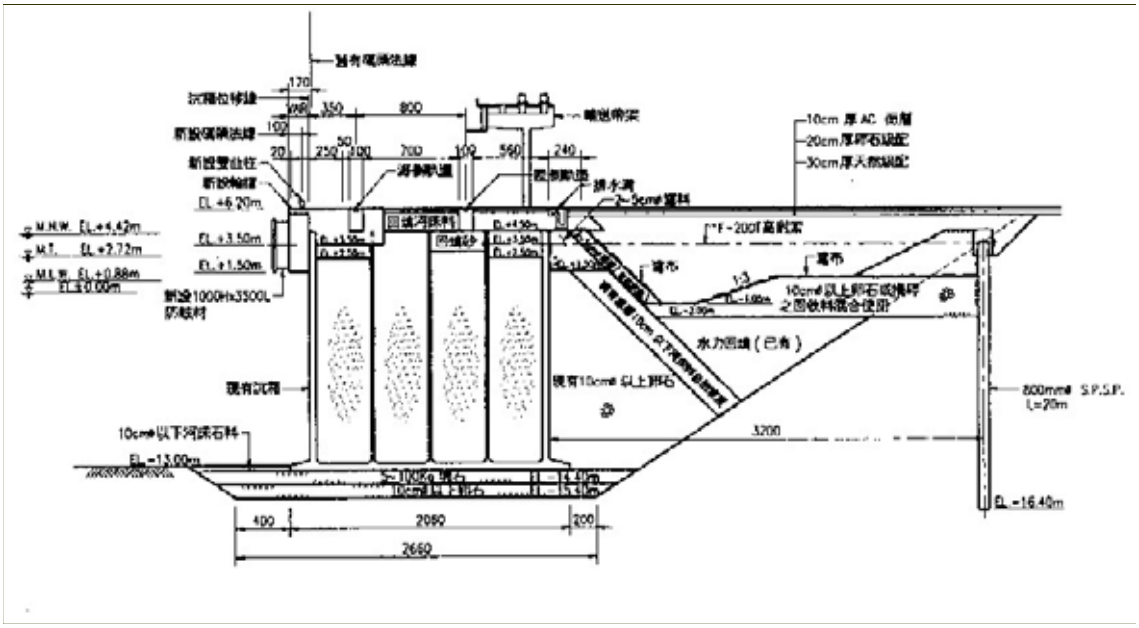


圖 3.18 臺中港 1 至 3 號碼頭結構型式

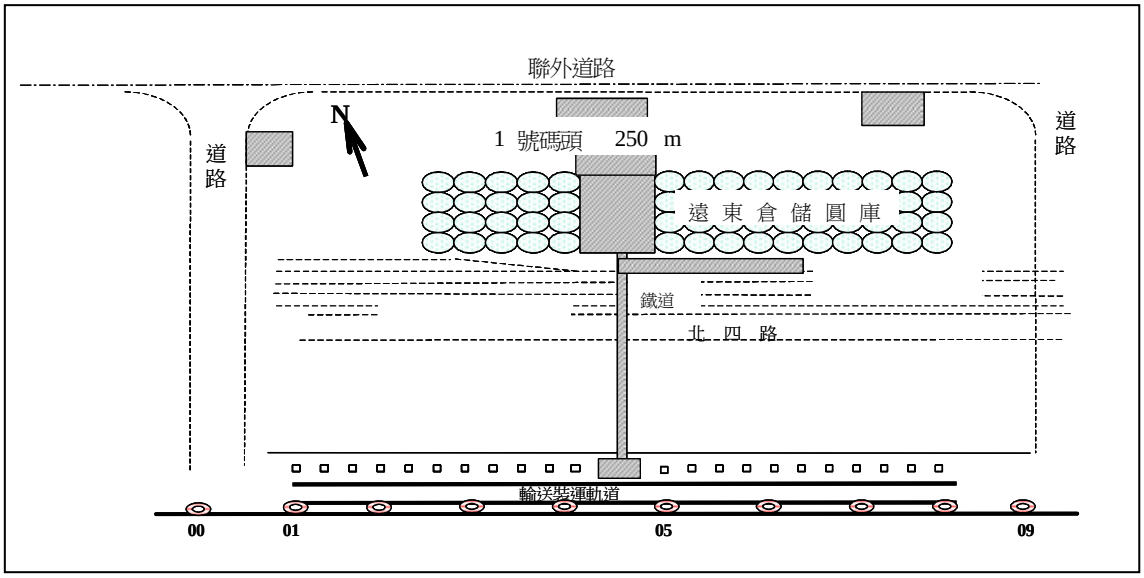


圖 3.19 臺中港 1 號碼頭現況情形平面圖（2008.06）



a. 碼頭法線及岸肩現況



b. 碼頭後線及輸送設施現況

圖 3.20 臺中港 1 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，但如僅作緊急靠泊應無安全疑慮，故隨即在碼頭後線經略為整修後，即開放工船舶靠泊卸貨。垂直碼頭方向之輸送帶亦均已沉陷無法使用，必須重建。永久復舊斷面採既有沉箱補強輔以鋼管樁錨碇，於 2000 年 6 月完工，至調查時間（2008 年 6 月）已歷時 8 年。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：檢測重點包含是否傾斜、破損、位移等。本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：檢測重點包含是否扭曲、變形等。本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=0，R=4。

(4)混凝土強度檢測：構造物當無重大明顯的破壞發生時，或重大明顯的破壞發生原因不明確時，一般混凝土強度可先視為與設計強

度相當，即強度損失不大或可忽略，本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對鋼筋腐蝕探測進行評估。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車墻材質表面未發生明顯龜裂或變形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-11 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-11 臺中港 1 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：1 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-13 m 目　前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪（穀類）　☐其他			
	碼頭構造型式	☑沉箱重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月　單位：港研中心 區分：緊急檢測　結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	4	0
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.4$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.2$			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 6 月					

3.4.2 臺中港 2 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 250 m，寬 20.0m，設計水深為-13.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2，碼頭位置如圖 3.17 所示，結構型式同臺中港 1 號碼頭（如圖 3.18），以靠泊雜貨輪，載運油品、液體散貨為主，碼頭現況情形如圖 3.21 及圖 3.22 所示。

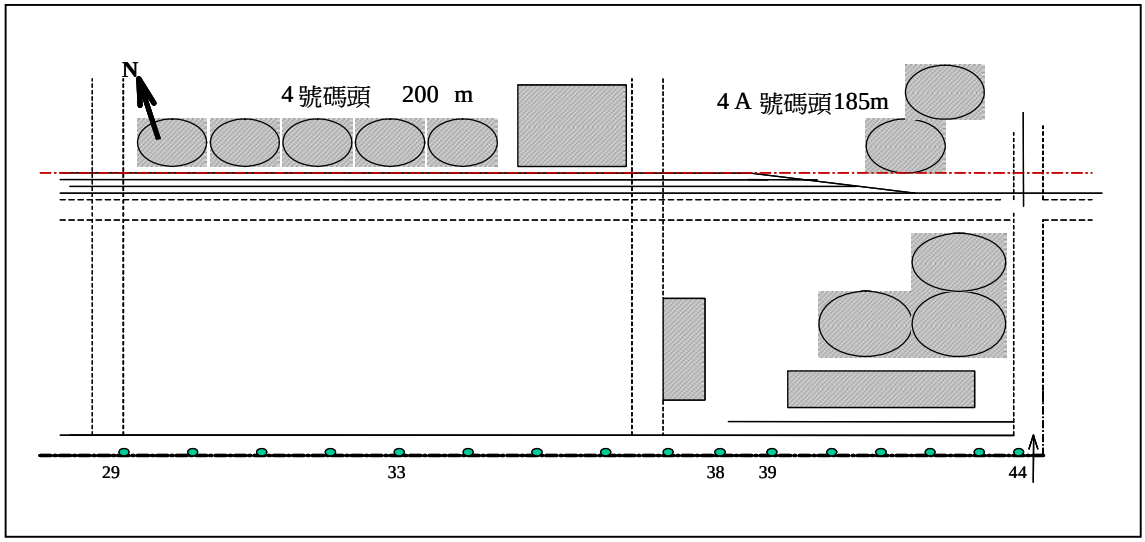


圖 3.21 臺中港 2 號碼頭現況情形平面圖（2008.06）



a. 碼頭後線現況　　b. 碼頭岸肩及檔車牆現況

圖 3.22 臺中港 2 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭後線發生液化噴沙及沉陷現象，永久復舊斷面採既有沉箱補強輔以鋼管樁錨碇，於 2000 年 6 月完工，至調查時間（2008 年）已歷時 8 年。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-12 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車墻材質表面未發生明顯龜裂或變形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-12 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-12 臺中港 2 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：2 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-13 m 目　前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃☐化學(油)品☑雜貨輪（油品、糖密等液體）☐其他			
	碼頭構造型式	☑沉箱重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月　單位：港研中心 區分：緊急檢測　結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	4	8
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車墻	----	----	----	----
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.6$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.2$			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 6 月					

3.4.3 臺中港 3 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 250 m，寬 20.0 m，設計水深為-13.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2，碼頭位置如圖 3.17 所示，結構型式同臺中港 1 號碼頭（如圖 3.18），以靠泊雜貨輪，載運穀類散貨為主。碼頭現況情形如圖 3.23 及圖 3.24 所示。

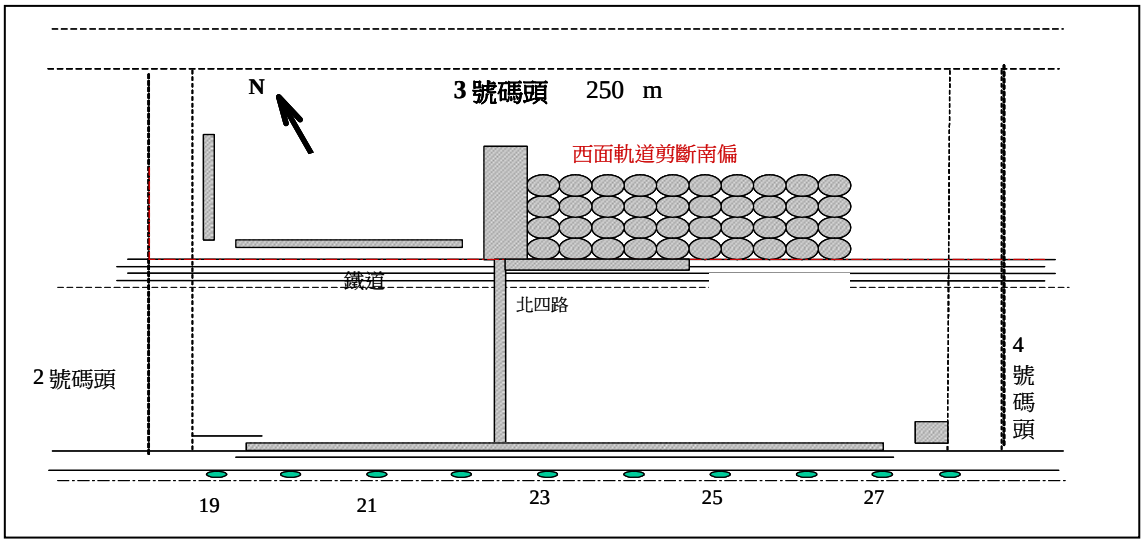
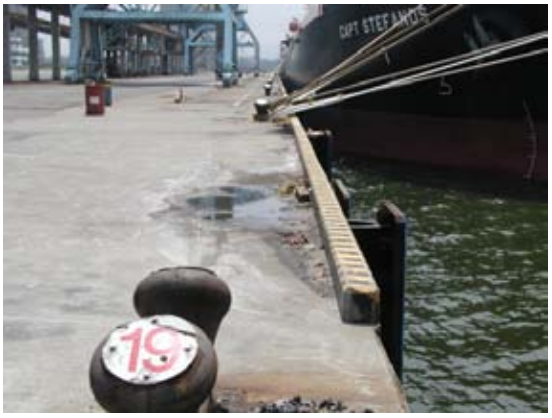


圖 3.23 臺中港 3 號碼頭現況情形平面圖（2008.06）



a. 碼頭法線及擋車墻現況



b. 碼頭後線及輸送設施現況

圖 3.24 臺中港 3 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，吸穀機因支架採獨立基腳，整排輸送帶均已沉陷無法使用，必須重建。垂直碼頭方向之輸送帶亦均已沉陷無法使用，必須重建。永久復舊斷面採既有沉箱補強輔以鋼管樁錨碇，於 2000 年 6 月完工，至調查時間（2008 年）已歷時 8 年。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-13 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示

結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車墻材質表面未發生明顯龜裂或變形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-13 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-13 臺中港 3 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：3 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-13 m 目　前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪　☐其他			
	碼頭構造型式	☑沉箱重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月　單位：港研中心 區分：緊急檢測　結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	4	0
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.4$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.1$			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 6 月					

3.4.4 臺中港 4 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 200 m，寬 20.0m，設計水深為-11.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2，碼頭位置及結構型式如圖 3.17 及圖 3.25 所示。以靠泊雜貨輪，載運糖蜜等液體散貨為主。碼頭現況情形示如圖 3.26 及圖 3.27 所示。

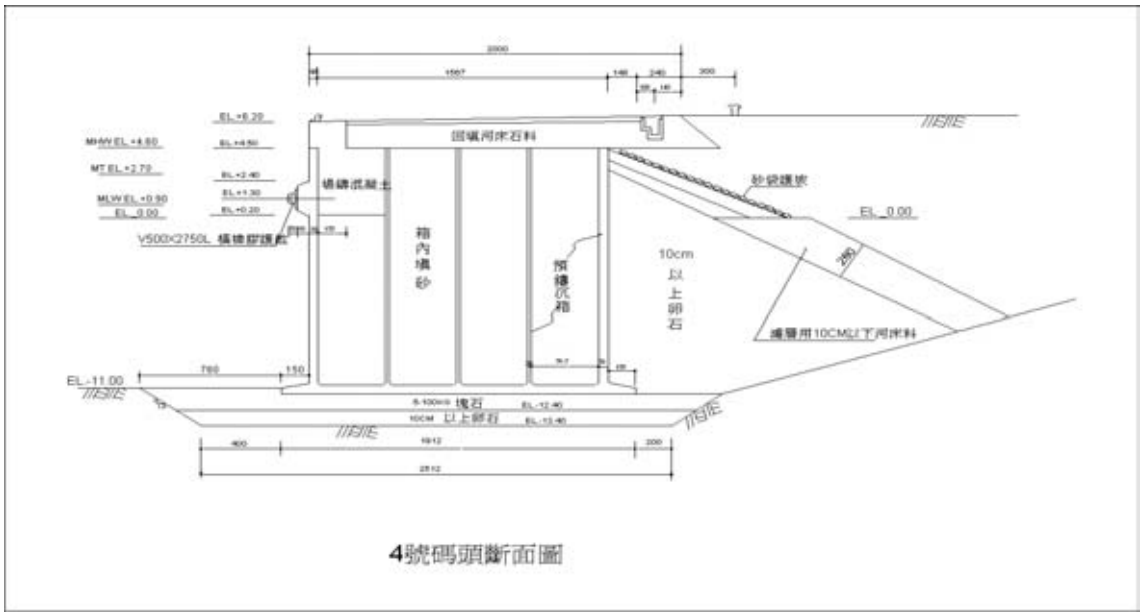


圖 3.25 臺中港 4 號碼頭結構型式示意圖

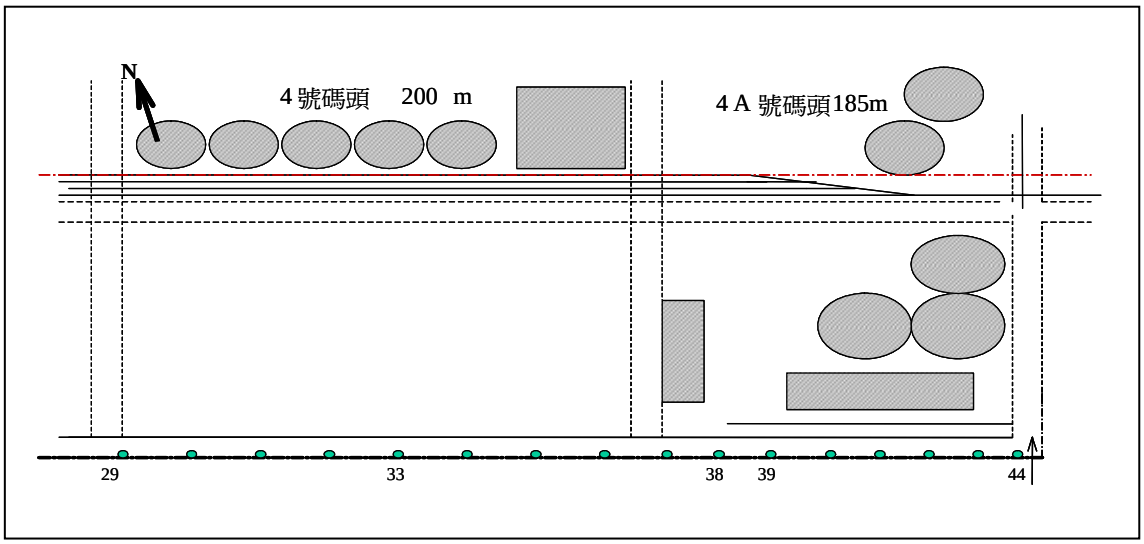


圖 3.26 臺中港 4-4A 號碼頭現況情形平面圖（2008.06）



圖 3.27 臺中港 4 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，但如僅作緊急靠泊應無安全疑慮，故隨即在碼頭後線經略為整修後，即開放工船舶靠泊卸貨。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-14 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車墻材質表面部分發生撞損龜裂或變形現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-14 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-14 臺中港 4 號碼頭初步檢測表

<table>
<tr><td rowspan="6">碼頭基本資料</td><td colspan="2">隸屬港口：臺中港</td><td colspan="3">碼頭編號：4 號</td></tr>
<tr><td colspan="2">建造日期：</td><td colspan="3">啟用日期：民國 65 年</td></tr>
<tr><td>靠泊船級</td><td colspan="4">原設計：　　實際使用：</td></tr>
<tr><td>碼頭法線版面標高：+6.20 m</td><td>長度：250 m
縱深：20 m</td><td>水域深度</td><td colspan="2">原設計：-11 m
目　前：-11 m</td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="4">☐貨櫃 ☐化學(油)品 ☑雜貨輪（糖蜜等液體）☐其他</td></tr>
<tr><td>碼頭構造型式</td><td colspan="4">☑沉箱重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他</td></tr>
<tr><td>上次檢測</td><td colspan="4">時間：1999 年 9 月 單位：港研中心
區分：緊急檢測　結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修</td></tr>
<tr><td colspan="2">調查項目及評估值</td><td>破壞程度 D</td><td>破壞範圍 E</td><td>破壞影響性 R</td><td>(D+E)×R</td></tr>
<tr><td rowspan="8">整體結構變形及主結構體破壞檢測</td><td>碼頭岸壁</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>0</td></tr>
<tr><td>碼頭法線</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td></tr>
<tr><td>碼頭面版</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td></tr>
<tr><td>混凝土強度</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>保護層厚度</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td></tr>
<tr><td>鋼筋腐蝕探測</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td></tr>
<tr><td>鋼版腐蝕檢測</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td></tr>
<tr><td>岸肩伸縮縫</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td></tr>
<tr><td colspan="2">主體結構破壞評估</td><td colspan="4">$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$</td></tr>
<tr><td rowspan="7">非主結構設施破壞檢測</td><td>護舷材</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr>
<tr><td>繫船柱</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td></tr>
<tr><td>擋車墻</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td></tr>
<tr><td>排水給水設備</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>照明設施</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td></tr>
<tr><td>油電管路</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td></tr>
<tr><td>附屬設施破壞評估</td><td colspan="4">$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.9$</td></tr>
<tr><td colspan="2">整體破壞評估(初步檢測)</td><td colspan="4">$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.3$</td></tr>
<tr><td colspan="6">檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 6 月</td></tr>
</table>

3.4.5 臺中港 4A 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 185 m，寬 20.0m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2，碼頭位置及結構型式如圖 3.17 及圖 3.28 所示。以靠泊貨輪，以載運水泥為主。碼頭現況情形示如圖 3.29 所示。

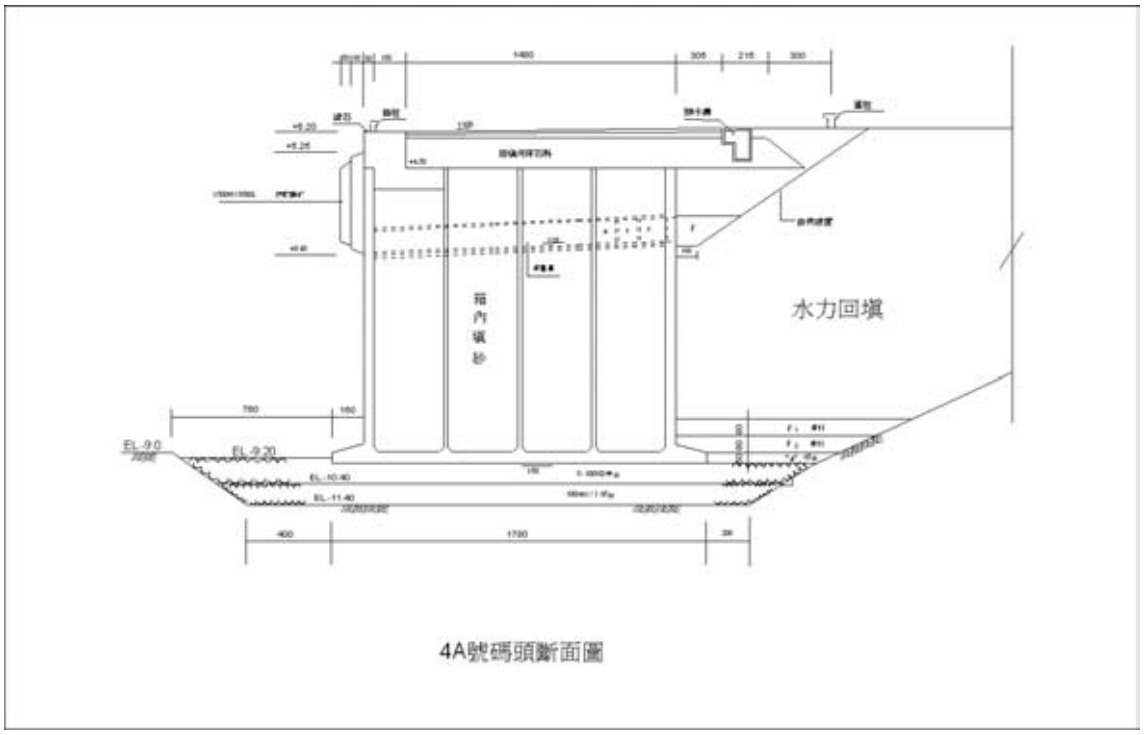


圖 3.28 臺中港 4A 號碼頭結構型式示意圖



圖 3.29 臺中港 4A 碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，但如僅作緊急靠泊應無安全疑慮，故隨即在碼頭後線經略為整修後，即開放工船舶靠泊卸貨。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=1，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-15 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭部分擋車墻材質表面發現操撞損或變形，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-15 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-15 臺中港 4A 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：4A 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：185 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃 ☐化學(油)品 ☑雜貨輪（水泥等）☐其他			
	碼頭構造型式	☑沉箱重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測　結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	1	4	8
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.4$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	0	0	2	0
	擋車墻	1	1	2	4
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.4$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.4$			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 6 月					

3.4.6 基隆港西 2 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭全長共 204.5 m，臨西 1 號碼頭之 22.18 m 部份為井筒式結構，餘 182.32 m 則屬牆式墩柱結構，寬 12.4 m，設計載重 2.0 t/m^2，水深為 -9.0 m，碼頭位置及結構型式如圖 3.30 及圖 3.31 所示。以靠泊客貨輪船為主，碼頭現況情形如圖 3.32 及圖 3.33 所示。

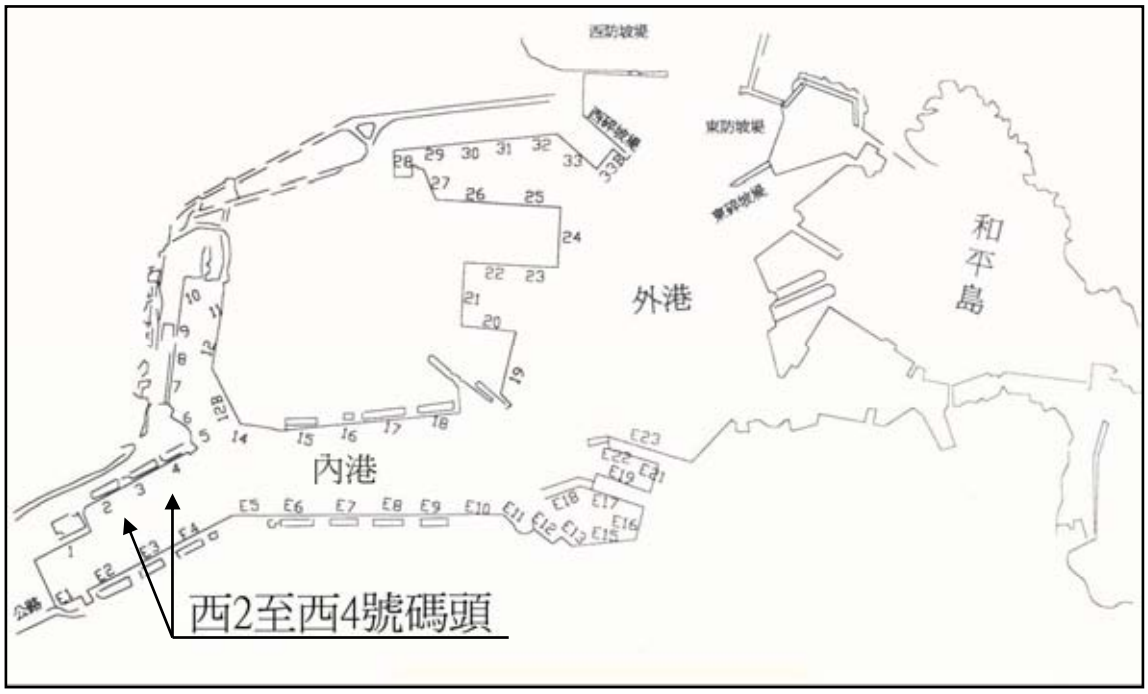
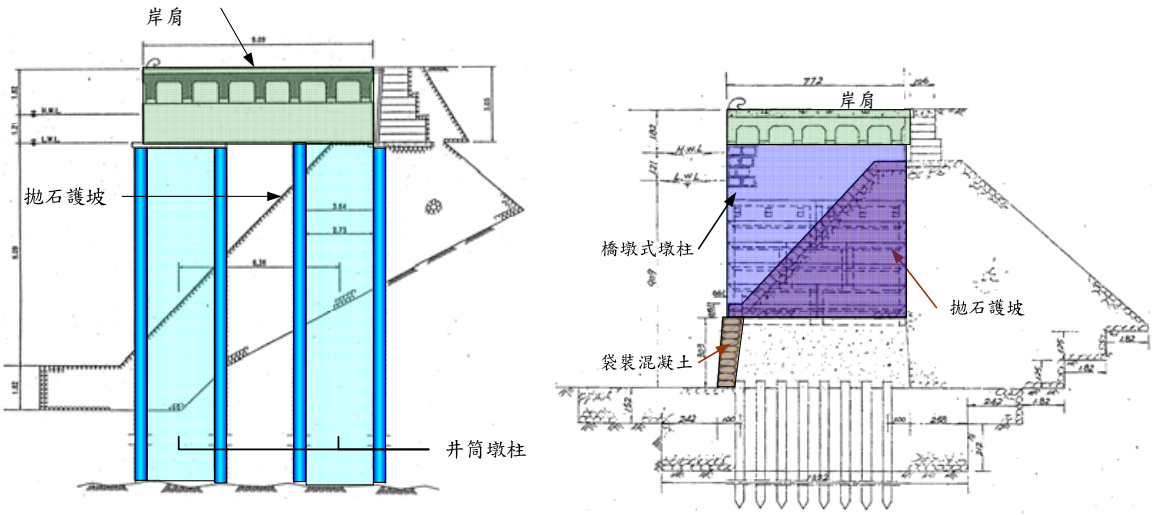


圖 3.30 基隆港西 2 至西 4 號碼頭位置示意圖



（a）井筒式結構斷面　　（b）牆式墩柱結構斷面

圖 3.31 基隆港西 2 號碼頭結構斷面

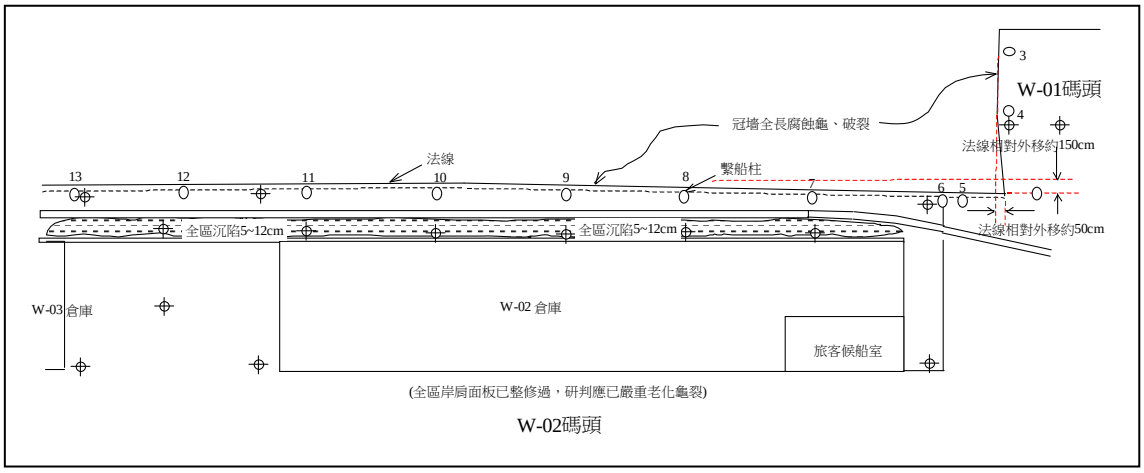


圖 3.32 基隆港西 2 號碼頭現況情形平面圖

2. 過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：不詳。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭雖使用超過 50 年，但碼頭岸壁體並未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。



碼頭法線及面版現況 1



碼頭法線及面版現況 2

圖 3.33 基隆港西 2 號碼頭現況情形

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線臨西 1 號碼頭長約 20 m 部分出現約 50 cm 位移，其他則並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=1，E=1，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版靠海側出現裂縫，但無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但混凝土經現地試錘試驗及鑽心取樣抗壓試驗結果，強度均大於 210 kg/cm2，混凝土強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但未發現鋼筋腐蝕及劣化導致之破壞行為，且現地鑽心取樣之混凝土鋼筋保護層均大於 7.5 cm，故未檢測保護層厚度，不予評分。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故未檢測此項目，不予評分。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或材料所組成，故未檢測此項目，不予評分。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-16 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.1，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭碼頭上部份柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車墻：未進行評估。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-16 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-16 基隆港西 2 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 2 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 41 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+3.2 m	長度：204.5 m 縱深：12.4 m	水域深度	原設計：-9m 目　前：-9 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品 ☐ 雜貨輪　☑其他（砂石）			
	碼頭構造型式	☐重力式☐版樁式 ☐棧橋式 ☑其他：井筒式 22.18 m，牆式墩柱 182.32 m			
	上次檢測	時間：　　單位：　　區分：　　結果：			

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	1	1	4	8
	碼頭面版	1	2	4	12
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i =$ 1.1			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車墻	----	----	----	----
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.6$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 1.0$			

檢測單位：港灣技術研究中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 7 月

3.4.7 基隆港西 3 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為牆式墩柱結構，全長共 183.0 m，寬 12.4 m，設計載重 2.0 t/m^2，水深為 -9.0 m，碼頭位置及結構型式如圖 3.30 及圖 3.31（b）所示，以靠泊雜貨輪，載運廢鐵、礦物等大宗物資為主。碼頭現況情形示如圖 3.34 及圖 3.35 所示。

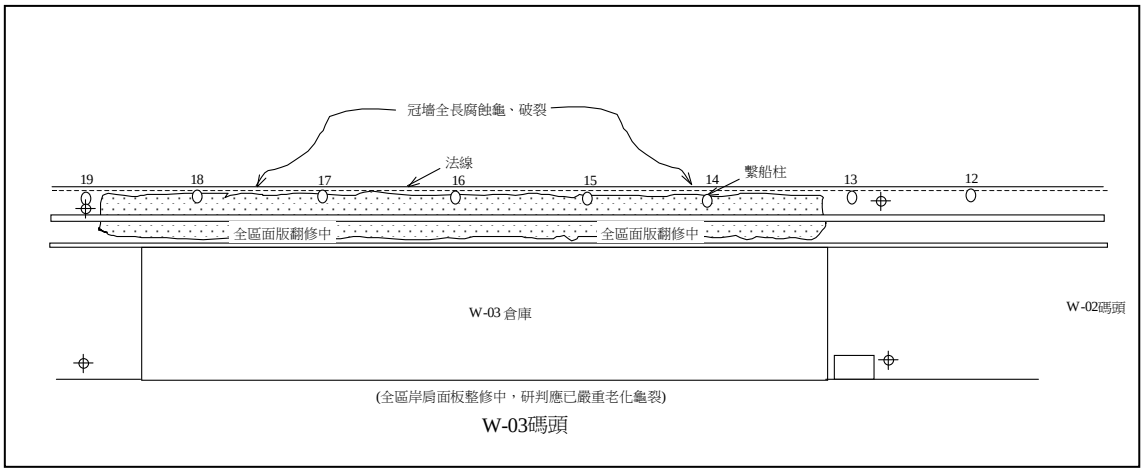
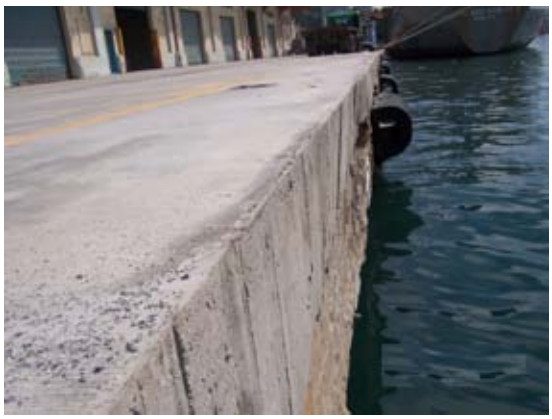


圖 3.34 基隆港西 3 號碼頭現況情形平面圖



a. 碼頭面版維修現況(2008.03.17)



b. 碼頭面版維修後情形(2008.06.02)

圖 3.35 基隆港西 3 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：不詳。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭雖使用超過 50 年，但碼頭岸壁體並未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版靠海側出現裂縫，但無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但混凝土經現地試錘試驗及鑽心取樣抗壓試驗結果，強度均大於 210 kg/cm2，混凝土強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但未發現鋼筋腐蝕及劣化導致之破壞行為，且現地鑽心取樣之混凝土鋼筋保護層均大於 7.5 cm，故未檢測保護層厚度，不予評分。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行探測，故不予評分。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故未實施此項目，故不予評分。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-17 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭碼頭上部份柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=1，

R=2。

(3)擋車墻：未進行評估。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-17 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-17 基隆港西 3 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 3 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 41 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+3.2 m	長度：183.0 m 縱深：12.4 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品 ☐ 雜貨輪　☑其他（砂石）			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☑其他：牆式墩柱			
	上次檢測	時間：　　單位：　　區分：　　結果：			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	4	12
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i =$ 0.6			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車墻	----	----	----	----
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.6$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.6$			
檢測單位：港灣技術研究中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 7 月					

3.4.8 基隆港西 4 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭全長共 183.0 m，其中緊臨西 3 號碼頭部份為牆式墩柱結構，餘 9.6m 為擁壁式結構，寬 12.4 m，設計載重 2.0 t/m^2，水深為 -9.0 m，碼頭位置及主要結構型式如圖 3.30 及圖 3.31（b）所示，以靠泊雜貨輪，載運廢鐵、礦物、砂石等大宗物資為主。碼頭現況情形示如圖 3.36 及圖 3.37 所示。

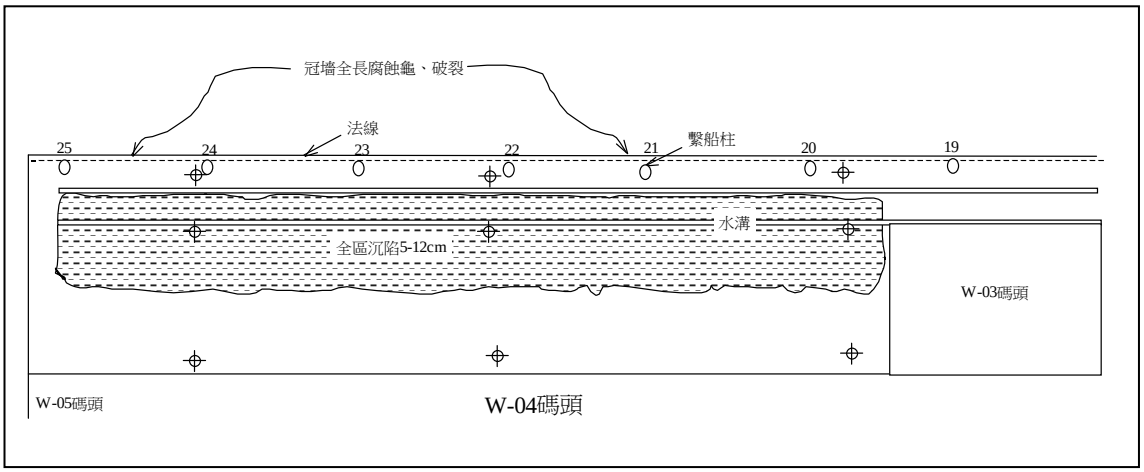


圖 3.36 基隆港西 4 號碼頭現況情形平面圖



a. 碼頭冠牆及防舷材現況情形　　b. 碼頭法線及面版現況情形

圖 3.37 基隆港西 4 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：不詳。

3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估

值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭雖使用超過 50 年，但碼頭岸壁體並未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。

(2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版靠海側出現裂縫，但無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=4。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但混凝土經現地試錘試驗及鑽心取樣抗壓試驗結果，強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但未發現鋼筋腐蝕及劣化導致之破壞行為，且現地鑽心取樣之混凝土鋼筋保護層均大於 7.5 cm，故未檢測保護層厚度，不予評分。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭未檢測此項目，故不予評分。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故未檢測此項目，不予評分。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-18 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭碼頭上

部份柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車墻：未進行評估。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-18 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-18 基隆港西 4 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港			碼頭編號：西 2 號	
	建造日期：			啟用日期：	
	靠泊船級	原設計：		實際使用：民國 41 年	
	碼頭法線版面標高：+3.2 m	長度：167 m 縱深：12.4m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品 ☐ 雜貨輪　☑其他（砂石）			
	碼頭構造型式	☐版樁式 ☐棧橋式 ☑其他：牆式墩柱 157.4m、擁壁式 9.6m			
	上次檢測	時間：　　單位：　　區分：　　結果：			

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	4	12
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.6$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車墻	----	----	----	----
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.6$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.6$			

檢測單位：港灣技術研究中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 7 月

3.4.9 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測

3.4.9.1 碼頭船席水深測量

1. 測線規劃：依測區水深及及實際涵蓋範圍即時調整測線間距。深度範圍約在水面下深度 10 m，以側打方式外側音束已幾乎到達水面。為求精確，故在接近碼頭附近來回施測多次，覆蓋率超過 200%，施測範圍平行碼頭外 80 公尺處。

2. 率定測試：多音束測深機需至測區另外尋找適當地點作系統疊合測試，經由多次的反覆測試與計算求取出最佳的率定值，以修正音鼓安置角度的偏差及 GPS 時間延遲的影響，以正確計算出水深測點之深度及位置。

3. 儀器架設偏移修正：以船隻重心為相對座標之中心，船隻重心至船首方向為基準方向，在安置測深系統的各項裝置時記錄並繪製各裝置的相對位置以茲修正計算。

4. 船隻姿態角觀測：配置運動姿態感測器(Motion Sensor)及電羅經(Gyro Compass)以記錄測深時船隻的前後傾斜 (Pitch)、左右搖擺(Roll)、船向(Yaw)之角度及上下起伏 (Heave)之高度，作為水深的修正計算。

5. 船隻導航及定位：採用 RTK 即時動態衛星定位測量，配合船上移動站，可測定船隻位置以及記錄測深時刻的位置座標。

6. 潮位觀測：在港區內選擇相對靜穩水域(地點)設置驗潮站「402」，以自動驗潮儀記錄潮位高，取樣頻率為每 6 分鐘量測一次水位紀錄，觀測結果作為水深測量作業時的水位變化修正之用，並換算水深成果為基隆港築港高程系統上。

7. 聲速量測：使用直接量測式聲速儀，最小記錄單位可達 0.5 公尺/秒，記錄時視測區深度及聲速變化情況而定，取樣間隔在 1 公尺內。

8. 水深測量資料處理：逐一對單一測線初步篩除可疑的水深資料，如訊號品質不佳的水深值、異常的水深值及定位品質不佳的水深點，並加入各項修正資料，經檢核無誤後，得到歸算後的水深資料。

9. 測量成果內容：依測量成果繪製港區 1/500 水深地形圖，港區等深線間距 1 公尺一條。水深圖之圖面高程(水深點)，以 5m 間隔(網格間距 5m×5m)標示一點為原則。全區水深地形成果及 3D 全維模型分別如圖 3.38 及圖 3.39 所示。

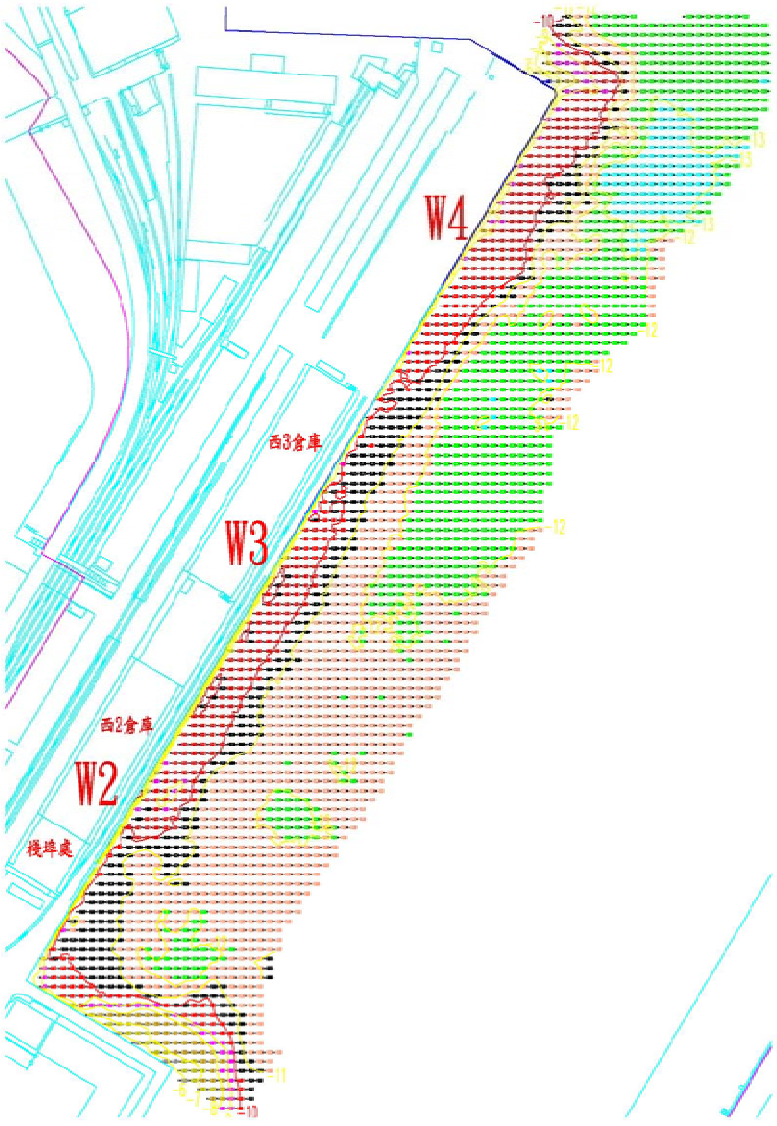


圖 3.38 全區水深地形成果

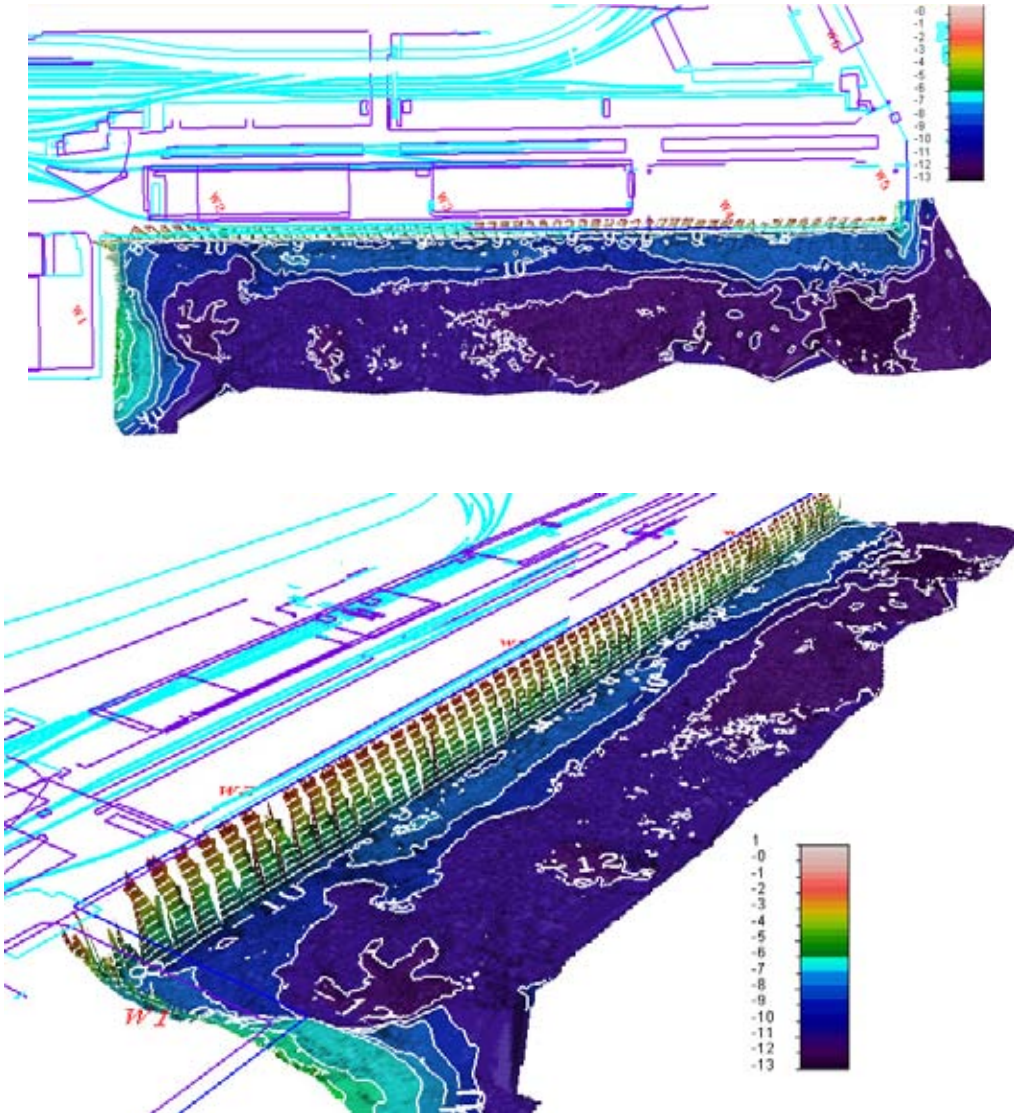


圖 3.39 測區 3 維模型圖

3.4.9.2 碼頭岸肩、梁及下部結構檢測

由潛水人員潛入水下，近距離目視觀察碼頭岸肩、梁及下部結構表面外觀損壞狀況，如裂縫、剝落、破洞、鋼筋外露或腐蝕等之初步觀察鑑定，描繪記錄劣損位置及情形，各座碼頭之岸肩、梁及下部結構應逐一編號記錄，最後以照相或攝影存證。

1. 現場目視檢測記錄方式

西 2 至 4 號碼頭井筒式與牆式墩柱式碼頭其構件經拆解成岸

肩、井筒或牆式墩柱、拋石護坡(包含袋裝混凝土)與海床等四部分，以作為水下目視檢測所著重之重點。本研究水下目視檢測部分針對岸肩底部以全程攝影與異狀照相方式進行，而墩柱、拋石護坡與海床部分則為發現異狀時進行攝影並照相。由於岸肩底部以 7 根大梁組成，故由臨海側開始編號 B1、B2…B7，且由於單區域橫向距離(即兩墩柱距離)較長，故再以面海為向分成左、中、右三區域，並標以 B1L、B1M、B1L、而大梁梁腹則以量海側向為左、背海側向為右之原則，並標以 B1LL、B1LR。而兩大梁間之岸肩底部則以 S 進行編號，並以 S1L、S2M、S2R 代表左、中、右之位置，如圖 3.40 所示。

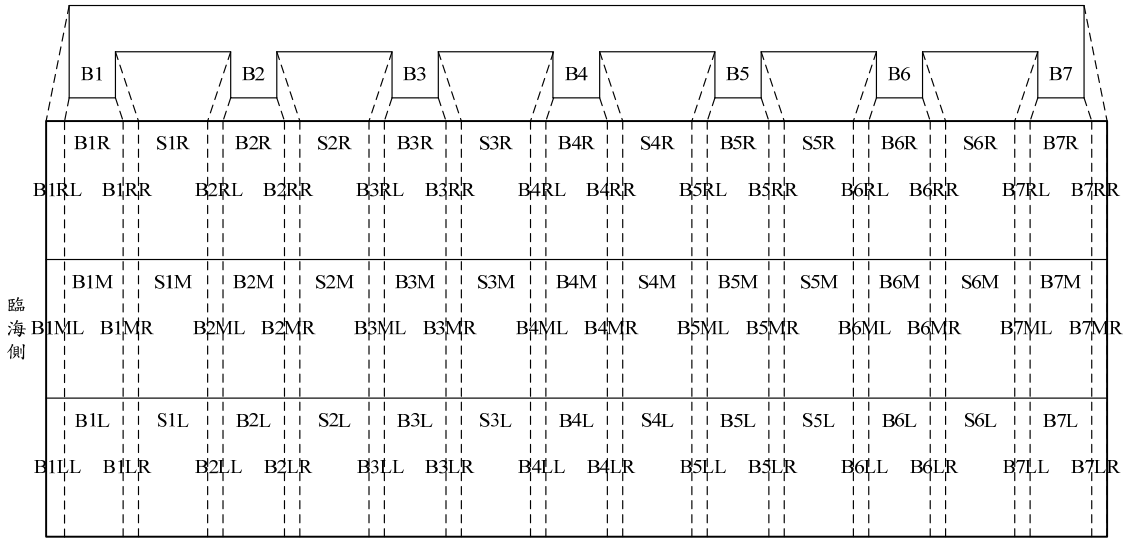


圖 3.40 岸肩底部目視檢測記錄方式

而對於墩柱、拋石護坡與海床之檢測，研究人員即於岸肩頂部拉設標註距離之繩索，以便潛水人員於水下檢測此些構件發現異狀時，進行水深之記錄。

2. 目視檢測記錄

各碼頭檢測結果表列如表 3-19 至表 3-21 所示，而各單元之檢測記錄如表 3-22 年所示。

表 3-19 基隆港西 2 號碼頭檢測結果簡表

碼頭編號	單元編號	構件項目	異狀類型	異狀檢測結果		
				D	E	範圍
W2	B1	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.73 m^2
W2	B1	岸肩底部	剝落	2	1	
W2	B2	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.25 m^2
W2	B2	岸肩底部	剝落	2	1	
W2	B5	岸肩底部	剝落	2	1	0.15 m^2
W2	B6	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.06 m^2
W2	B10	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.03 m^2
W2	B12	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.05 m^2
W2	B18	岸肩底部	剝落	2	1	0.61 m^2
W2	B20	岸肩底部	剝落	2	1	0.09 m^2
W2	B21	岸肩底部	剝落	2	1	0.05 m^2
W2	B22	岸肩底部	剝落	2	1	0.73 m^2

表 3-20 基隆港西 3 號碼頭檢測結果簡表

碼頭編號	單元編號	構件項目	異狀類型	異狀檢測結果		
				D	E	範圍
W3	B1	岸肩底部	剝落	2	1	0.20 m^2
W3	B2	岸肩底部	剝落	2	1	0.15 m^2
W3	B3	岸肩底部	剝落	2	1	0.25 m^2
W3	B3	岸肩底部	腐蝕	4	1	
W3	B10	岸肩底部	剝落	2	1	0.15 m^2
W3	B11	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.15 m^2
W3	B11	岸肩底部	裂縫	4	1	
W3	B16	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.40 m^2
W3	B18	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.02 m^2
W3	B19	岸肩底部	剝落	2	1	0.50 m^2
W3	B20	岸肩底部	剝落	2	1	0.02 m^2

表 3-21 基隆港西 4 號碼頭檢測結果簡表

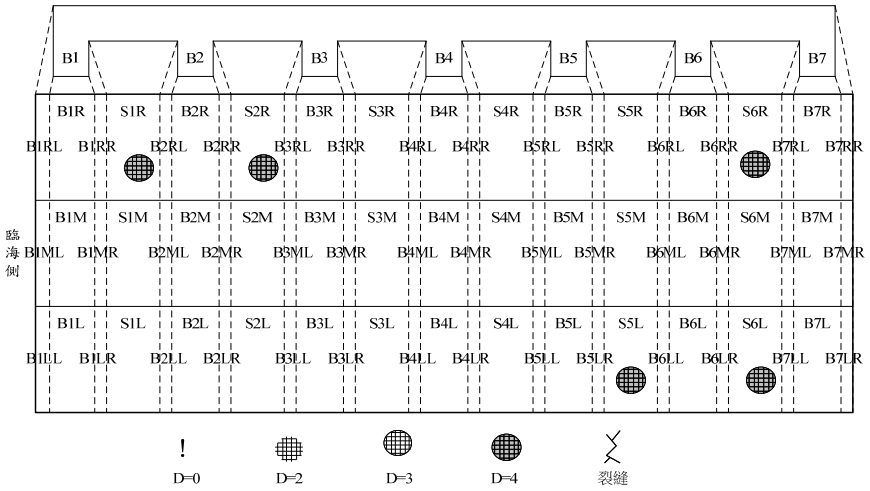
碼頭編號	單元編號	構件項目	異狀類型	異狀檢測結果		
				D	E	範圍
W4	B3	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.80 m^2
W4	B5	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.02 m^2
W4	B6	岸肩底部	腐蝕	2	1	0.05 m^2
W4	B8	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.01 m^2
W4	B9	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.05 m^2
W4	B10	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.08 m^2
W4	B11	岸肩底部	腐蝕	4	2	0.10 m^2
W4	B13	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.02 m^2
W4	B14	岸肩底部	腐蝕	4	2	0.50 m^2
W4	B15	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.05 m^2
W4	B16	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.08 m^2
W4	B17	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.20 m^2
W4	B17	岸肩底部	剝落	2	1	

表 3-22 各單元構件檢測記錄範例

檢測日期：2008/06/24　天氣：晴

港灣名稱：基隆港	碼頭編號：西 2 號碼頭	檢測單元：B1
檢測單位：交通部港灣技術研究中心		檢測人員：柯正龍、蘇吉立

異狀簡圖



異狀描述

構件項目	異狀類型	異狀評估		位置	範圍/長度
		D	E		
岸肩底部	腐蝕	4	1	S1R、S2R、S5L、S6L、S6R	0.73 m^2

異狀照片



S1R



S2R



S5L



S6L



S6R

3.4.9.3 鋼筋混凝土材料劣化檢測

1. 非破壞性試驗結果

表 3-23 為本研究於前述非破壞性試驗(包含電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗等)之量測結果。

表 3-23 電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗結果

	編號	平均反彈值 (推估強度)	腐蝕電位 (-mV)	電阻係數 (KΩ)
西2號碼頭	B7-1	34.69 (272)	267～434	7.8～53.3
	B7-2			
	B7-3			
	B15-1	35.87 (289)	—	16.8～80.0
	B15-2			
	B15-3			
	B15-4			
西3號碼頭	B2-1	33.18 (250)	412～605	20.6～56.5
	B2-2			
	B2-3			
	B14-1	33.25 (251)	344～503	4.1～79.9
	B14-2			
	B14-3			
	B14-4			
西4號碼頭	B15-1	34.97 (276)	245～405	3.4～60.2
	B15-2			
	B15-3			
	B15-4			
	B18-1	26.60 (162)	192～294	0.9～12.1

2. 破壞性試驗結果

(1)鑽心試體抗壓試驗

混凝土之抗壓強度為現行混凝土品質控制之指標，在假定混

凝土為均質材料之前提下，由混凝土單軸抗壓強度不但可知混凝土抗壓能力外，亦可評估混凝土之其他性質。例如抗壓強度高之混凝土，其彈性係數、抗拉強度、水密性及耐久性亦均較理想。

本研究的抗壓強度見表 3-24 所示。其可看出西 2 號碼頭之抗壓強度在 414 至 535 kg/cm^2 之間，西 3 號碼頭除了一顆鑽心試體抗壓強度為 156 kg/cm^2 外(有蜂窩現象)，最低為 327 kg/cm^2，最高為 612 kg/cm^2，而西 4 號碼頭之抗壓強度在 212 至 370 kg/cm^2 之間。因為缺乏以前碼頭設計的抗壓強度的資料，只能提供目前的抗壓強度。

表 3-24 鑽心試體之抗壓強度

	編號	抗壓強度 (kg/cm^2)	備註
西2號碼頭	B7-1	465	
	B7-2	491	
	B7-3	414	
	B15-1	462	
	B15-2	520	
	B15-3	535	
	B15-4	435	
西3號碼頭	B2-1	501	
	B2-2	612	
	B2-3	327	
	B14-1	340	
	B14-2	—	(試體有蜂窩)
	B14-3	437	
	B14-4	376	
西4號碼頭	B15-1	321	
	B15-2	360	
	B15-3	370	
	B15-4	355	
	B18-1	248	
	B18-3	246	
	B18-4	212	

(2)鑽心試體超音波量測

超音波速測定，係藉由超音波脈動之傳遞以非破壞性之方式量測，由其傳遞速度瞭解混凝土之均勻性及組織之緻密性。量測結果整理如表 3-25 所示。從表中可看其脈波速率均大於 4000 m/sec(除了編號 W4-18-4 為 3992 m/sec 外)，由表 3-9 當超音波脈波速度與混凝土品質之關係＞3000 m/sec 其混凝土品質均屬優良，顯示本次量測試體品質均屬優良。

表 3-25 鑽心試體之超音波脈波速度

	編號	超音波速(m/sec)	備註
西2號碼頭	B7-1	4699	
	B7-2	4717	
	B7-3	4574	
	B15-1	4720	
	B15-2	4777	
	B15-3	4635	
	B15-4	4519	
西3號碼頭	B2-1	4591	
	B2-2	4655	
	B2-3	4341	
	B14-1	4607	
	B14-2	—	(試體有蜂窩)
	B14-3	4461	
	B14-4	4465	
西4號碼頭	B15-1	4428	
	B15-2	4254	
	B15-3	4357	
	B15-4	4252	
	B-18-1	4257	
	B18-3	4126	
	B18-4	3992	

(3)鑽心試體氯離子量測

本研究為瞭解氯離子侵入碼頭岸壁混凝土的深度，於混凝土鑽心試體靠海側的面起每 1 公分取混凝土粉末，共取 7 公分深度，檢測結果如表 3-26 所示。

表 3-26 基隆港西 2 至西 4 號碼頭氯離子檢測(kg/m^3)

深度 / 試體編號	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
W2-15-2	0.57	2.54	0.47	1.15	0.94	0.51	0.78
W2-15-4	0.65	1.87	2.46	1.63	1.68	0.60	0.15
W3-2	0.79	0.97	—	0.98	0.10	0.21	0.04
W3-14	1.48	2.27	0.45	0.30	0.17	0.21	0.10
W4-15-1	0.87	2.04	0.82	0.46	0.44	0.19	0.13
W4-18-1	0.62	1.34	1.23	0.22	0.99	0.84	0.48

3.4.9.4 碼頭結構安全分析

1. 上部結構(碼頭岸肩)安全評估

由於基隆港西 2 至西 4 號碼頭年齡至少 60 年以上,屬老舊之結構設施，同時相關之原始設計參數、條件多不可考；此外，現有圖說資料僅有手繪結構圖，且圖紙內大部分尺寸標註因字體模糊而無法確切判讀，此皆形成分析上之先天限制。故於分析中各項須假設之條件將以保守為之。

(1)分析模式

方向定義：本次分析以碼頭法線方向為 x 向，垂直碼頭方向為 y 向，而垂直海平面之方向為 z 向。

分析原則與分析模型：依碼頭構造圖，上部結構由 6 或 7 支在 y 向連續之大梁所組成，並跨於相鄰兩井筒式墩柱(部分西 2 號碼頭墩柱)或牆式墩柱(其餘墩柱)，故其結構行為可以簡支梁分析之，且分析結果將較偏保守側。

由於上部結構 x 及 y 向勁度大，應無強度上之疑慮，故此兩方向主要考量為水平地震力導致上部結構掉落之狀況(類似橋梁之落橋)，惟此兩方向因結構形狀之束制，因地震力而使碼頭面版掉落之機率應屬極低。因此，後續之分析評估以將大梁承載力為主要考量。

(2)分析評估

分析評估依據民國 89 年交通部部頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」及 84 年交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準研究—碼頭設計基準及說明草案」相關內容。碼頭面版所承受之車輛活載重參考 90 年交通部部頒「公路橋梁設計規範」。分析之流程如圖 3.41 所示。

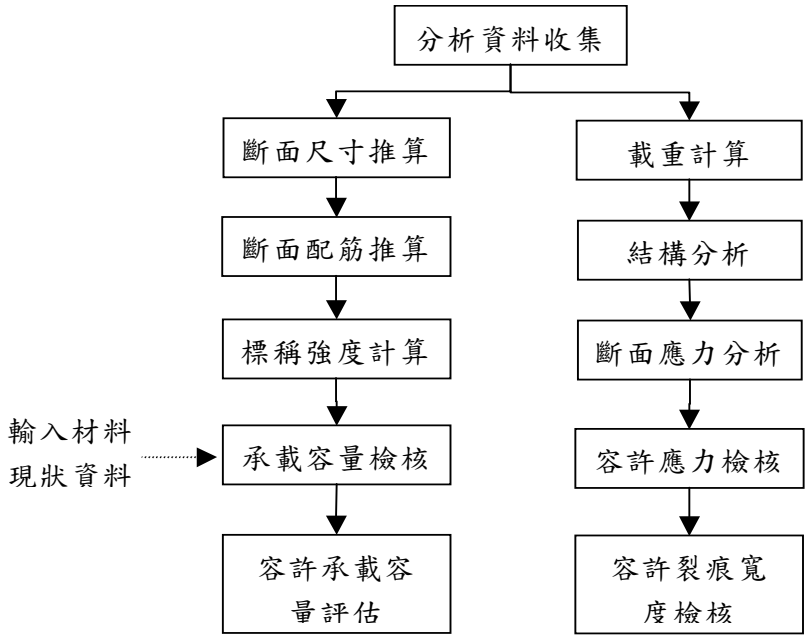


圖 3.41 碼頭上部結構分析流程圖

a. 自重：自重可依材料體積及單位體積重量計算之。材料之單位體積重量依以下數值：鋼筋混凝土 2.45 t/m^3，(b)瀝青混凝土 2.3 t/m^3。

自重應包含大梁、鋼筋混凝土版及瀝青混凝土面層等。因相關圖說無明顯尺寸標註，自重計算時所需尺寸乃依僅有圖說(如圖 3.42)相對比例推算而得。大梁重量依斷面尺寸乘上鋼筋混凝土單位重而得；鋼筋混凝土版厚依圖估算約為 30cm；一般瀝青混凝土磨耗層之厚度為 5 cm，考量本案碼頭已歷經多次維修，實際厚度不詳，故瀝青混凝土厚度加計 25%，為 6.25 cm。

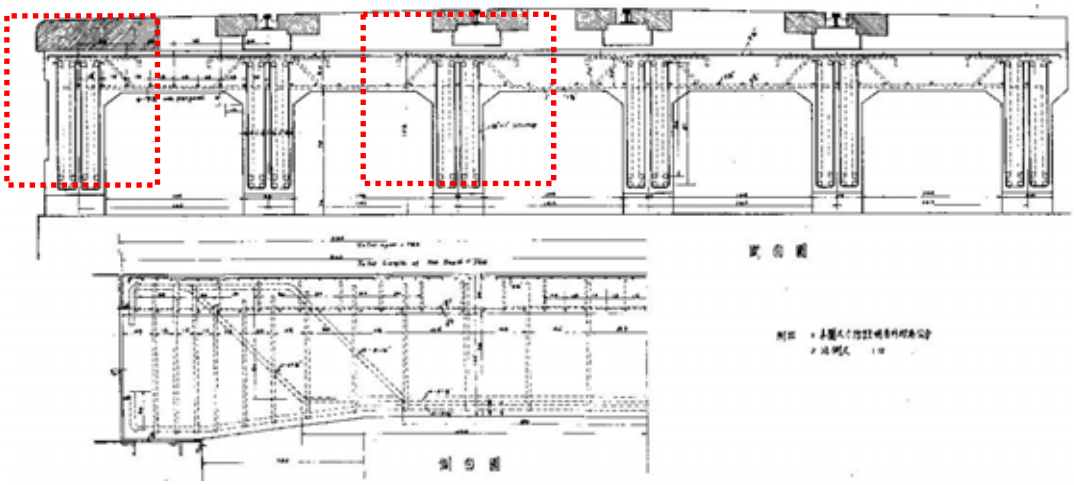


圖 3.42 碼頭面板結構圖

b. 裝載載重：一般散雜貨碼頭，為設計方便，碼頭面裝載載重可採 1~2 t/m^2。本研究以最大值 2 t/m^2 進行相關分析，故分析結果將較為保守。

c. 活載重：西 2 號碼頭為臺馬輪停靠之客運碼頭，考量之活載重為群眾載重，其單位面積載重為 0.5 t/m^2；西 3 號、西 4 號碼頭為散裝碼頭，考量之活載重為貨車、拖車等，故載重大小參考公路橋梁設計規範辦理，採 HS20-44×1.25 之貨車載重。

d. 載重組合：依碼頭設計基準，碼頭上部結構設計應檢討之載重組合包含：Comb1：自重＋裝載載重及 Comb2：自重＋活載重

e. 安全評估準則:依強度設計法進行斷面之極限強度檢核,即ϕ標稱強度>設計載重；或依容許應力設計法進行容許應力檢核及容許裂痕寬度檢核，即設計應力<容許應力，且工作應力下梁底裂痕寬度<容許裂痕寬度。

(3)安全分析結果

a. 載重分析：依上述載重計算原則，各碼頭分析斷面自重所造成之最大彎矩及剪力如表 3-27 所示，由於上部結構大梁間距為 1.44 m，而造成活載重之貨車輪距為 1.8 m，大於梁間距，故大梁所受最大載重僅為單排輪重(軸重之半)，而不需考量軸重。另由表 3-27 可知，各碼頭之分析載重結果相同，故本節後續之結果僅以西 2 至 4 號碼頭逕行表示，不針對不同碼頭個別分列。

表 3-27 岸肩載重所造成最大彎矩及剪力

碼頭	西 2 號碼頭 (井筒式)		西 2 號碼頭 (牆式墩柱式)		西 3 號碼頭		西 4 號碼頭	
碼頭面寬(cm)	909		772		772		772	
分析斷面	T 型梁	Γ 型梁	T 型梁	Γ 型梁	T 型梁	Γ 型梁	T 型梁	Γ 型梁
MDL (t-m)	26.22	19.02	26.22	19.02	26.22	19.02	26.22	19.02
VDL (t)	13.11	9.51	13.11	9.51	13.11	9.51	13.11	9.51
MCL (t-m)	23.04	14.72	23.04	14.72	23.04	14.72	23.04	14.72
VCL (t)	11.52	7.36	11.52	7.36	11.52	7.36	11.52	7.36
MLL (t-m)	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69
VLL (t)	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40

b. 載重組合：因碼頭設計準則內並無載重組合之載重係數相關說明，故依混凝土結構載重組合之規定。其中，將裝載載重視為活載重之一種。

(a)檢核極限強度時採用之載重組合如下：

(Comb)s1：1.2×自重+1.6×裝載載重

(Comb)s2：1.2×自重+1.6×活載重

(b)檢核容許應力時採用之載重組合如下：

(Comb)a1：1.0×自重+1.0×裝載載重

(Comb)a2：1.0×自重+1.0×活載重

由分析載重可知，進行 T 型梁檢核時，彎矩由載重組合(Comb)s1 及(Comb)a1 控制，剪力則由載重組合(Comb)s2 及(Comb)a2 控制；進行Γ型梁檢核時，無論彎矩或剪力皆由載重組合(Comb)s2 及(Comb)a2 控制，其相關組合載重表列如表 3-28 所示。

表 3-28 西 2 至 4 號碼頭岸肩設計組合載重

檢核原理	設計載重	T 型梁	Γ型梁
強度設計法	Md (t-m)	68.33	54.33
	Vd (t)	37.17	32.85
容許應力法	Md (t-m)	49.26	38.71
	Vd (t)	26.51	22.81

c. 分析斷面及標稱強度：碼頭上部結構可視為簡支梁分析之。西 2 至 4 號碼頭上部結構跨徑相同且大梁形式相同，僅在碼頭面寬度有所差異(西 2 號碼頭部分碼頭面寬為 909 cm，其餘碼頭面則同為 772 cm，惟此差異不影響本案分析結果。

碼頭上部結構由六支連續大梁所組成，內梁為雙翼之 T 型梁，外梁為單翼之Γ型梁。進行相關分析評估時，以單支 T 型或Γ型梁斷面加以計算。從相關結構斷面圖說僅可判讀所用主筋數量為 8 支，但所用主筋及箍筋尺寸無法判讀，故分析時將就不同鋼筋號數之狀況下，評估岸肩結構之安全性。

依規範規定，最小鋼筋量為 $\frac{14}{f_y} b_w d$ =20.50 cm^2，而當主筋採#6 鋼筋配置時，主筋量 A_s =22.92 cm^2，稍大於最小鋼筋量；而後續另針對不同鋼筋配置之分析結果進行相關計算及評估，以求得不同鋼筋配置下，分析斷面之承載容量。箍筋尺寸依圖說估算取#4 鋼筋，間距為 15 cm。

依上述分析斷面及其配筋情形，分析斷面之強度如表 3-29 下所示。

表 3-29 西 2 至 4 號碼頭設計載重

鋼筋配置	T 型梁強度		Γ 型梁強度	
	ϕ_M Mn(t-m)	ϕ_V Vn(t)	ϕ_M Mn(t-m)	ϕ_V Vn(t)
8-#6	58.48	41.80	58.07	41.80
8-#7	78.67	41.80	77.93	41.80
8-#8	102.45	41.80	101.17	41.80
8-#9	130.00	41.80	127.92	41.80

註：ϕ_M =0.9, ϕ_V =0.75

d. 檢核結果

(a)極限強度檢核

參照表 3-28 及表 3-29 之結果，依強度設計法精神檢核之結果如表 3-30 所示。

表 3-30 西 2 至 4 號碼頭面版結構強度檢核結果

鋼筋配置	T 型梁		Γ 型梁	
	ϕ_M Mn(t-m)>Md	ϕ_V Vn(t)>Vd	ϕ_M Mn(t-m)>Md	ϕ_V Vn(t)>Vd
8-#6	NG	Yes	Yes	Yes
8-#7	Yes	Yes	Yes	Yes
8-#8	Yes	Yes	Yes	Yes
8-#9	Yes	Yes	Yes	Yes

(b)容許應力及容許裂痕檢核

依據碼頭設計基準，鋼筋容許彎曲應力為 f_b =1400 kg/cm^2，混凝土容許壓應力為 f_{cb}=94.5 kg/cm^2；而於設計載重下(表 3-31 第 4、5 列)，分析斷面鋼筋所受應力 f_s 及混凝土所受壓應力 f_c(相關計算過程可參閱附錄 5)，及其容許應力檢核結果如下表所示。

表 3-31 西 2 至 4 號碼頭容許應力檢核結果

鋼筋配置	T 型梁				Γ 型梁			
	f_s (kg/cm^2)	f_c (kg/cm^2)	$f_b > f_s$	$f_{cb} > f_c$	f_s (kg/cm^2)	f_c (kg/cm^2)	$f_b > f_s$	$f_{cb} > f_c$
8-#6	1520.24	17.43	NG	Yes	1439.77	25.84	NG	Yes
8-#7	1085.40	14.84	Yes	Yes	1047.97	22.42	Yes	Yes
8-#8	801.58	12.87	Yes	Yes	787.90	19.80	Yes	Yes
8-#9	608.14	11.33	Yes	Yes	607.76	17.72	Yes	Yes

2. 下部結構安全評估

(1)分析流程：藉由彙整現況檢測資料與相關設計資料進行分析模式之建立，並探討下部結構之受力行為，及依據碼頭規範進行穩定分析，分析流程如圖 3.43 所示。

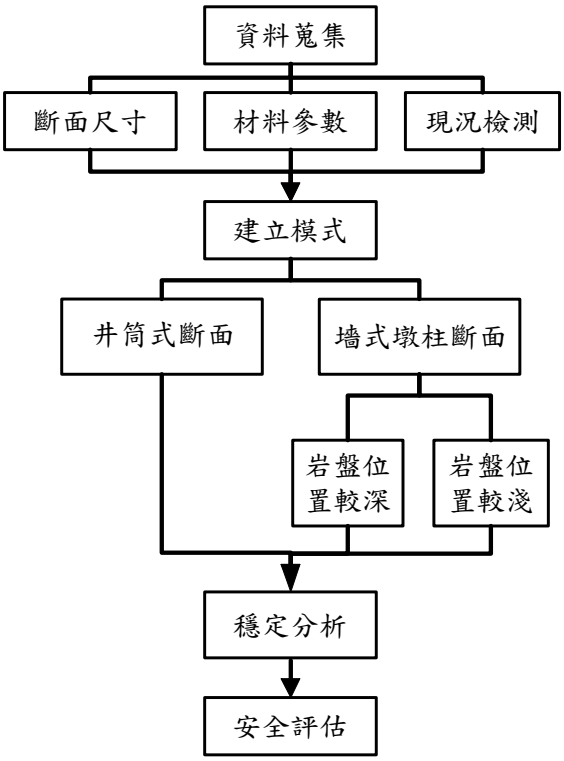


圖 3.43 下部結構分析流程

(2)材料參數：依據基隆港西 2 至西 4 號碼頭設計斷面圖資料，碼頭下部結構主要由砌石拋石、硬石拋石、袋裝混凝土、砌石與拋石等材料所構成。材料參數依據碼頭設計基準。

(3)模式建立：西 2 至西 4 號碼頭結構型式可分為牆式墩柱斷面(岩盤位置較深,佔 55.5%)、牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺,佔 40.5%)、井筒式斷面(佔 4%)三種類型（如圖 3.44）。以下依據基隆港務局提供之設計斷面圖，並參考港務局提供之「基隆港西 2 至西 4 號客運專區規劃及旅客中心新建工程地質鑽探及試驗分析工作」報告，進行分析斷面模式之建立。

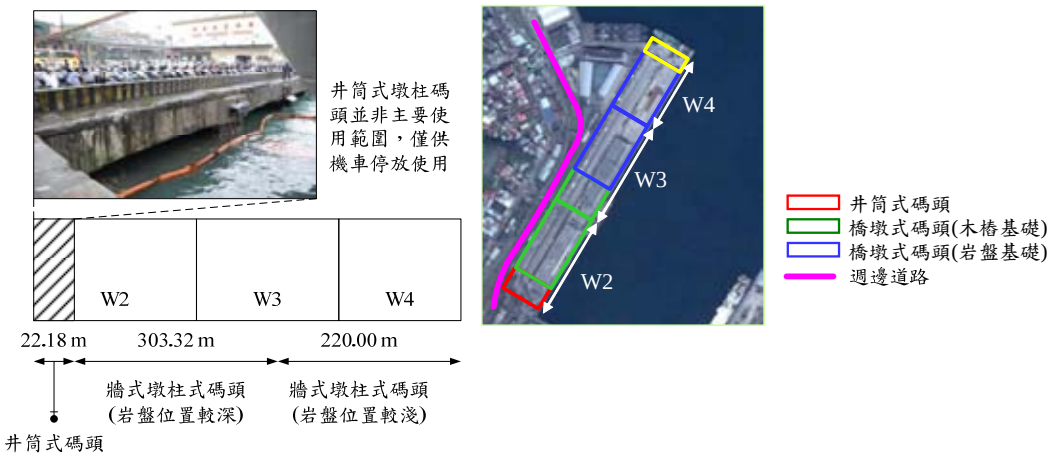


圖 3.44 基隆港西 2 至 4 號碼頭各結構型式所佔長度

a. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)

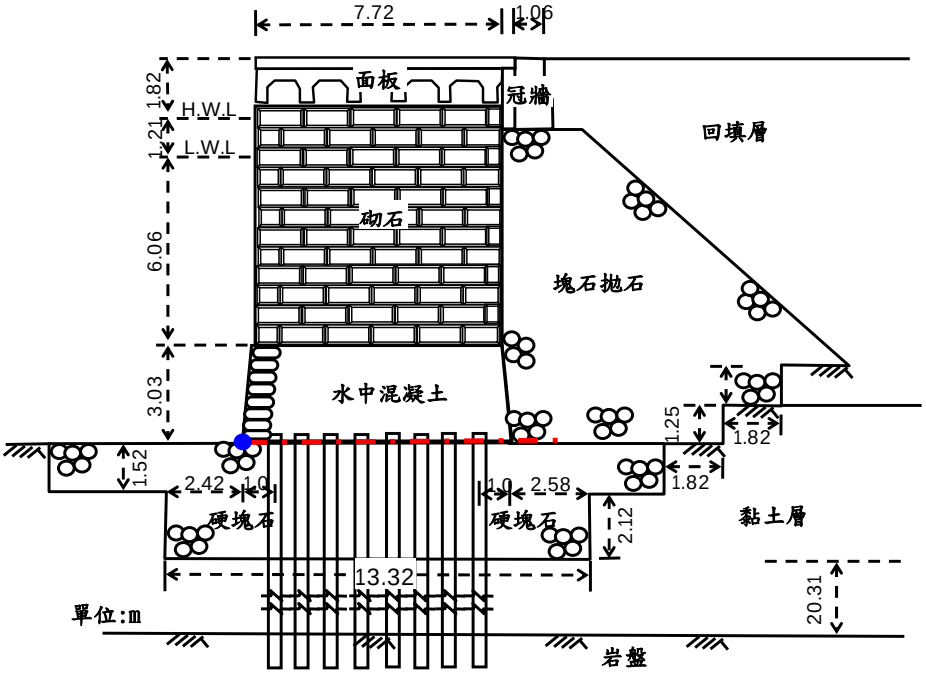
主要分布於西 2 號碼頭里程 22.18m ~ 204.5m 與西 3 號碼頭里程 0m ~ 120m，其下部結構係由砌石堆疊成牆式結構，與重力式碼頭結構較相似。分析斷面模式如圖 3.45 所示。

b. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)

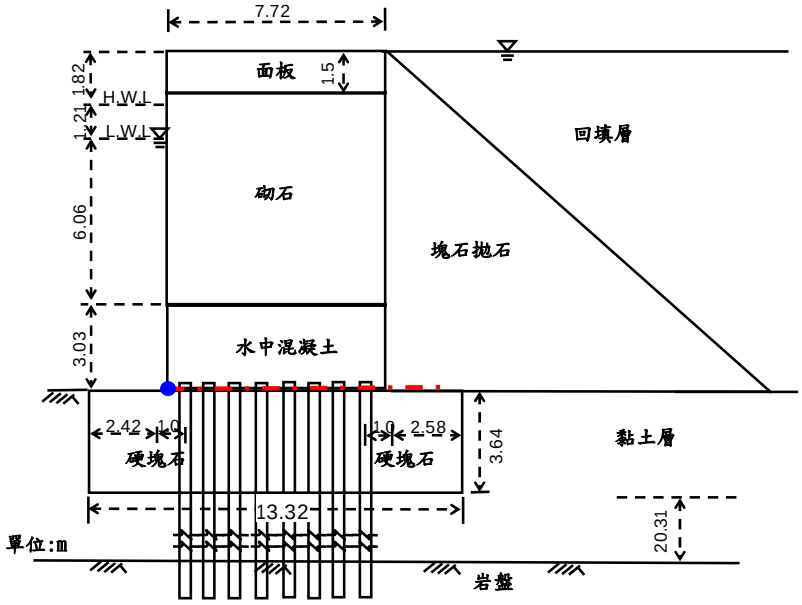
主要分布於西 3 號碼頭里程 120m ~ 183m 與西 3 號碼頭里程 0m ~ 157m，其下部結構係由砌石堆疊成牆式結構，與重力式碼頭結構較相似。分析斷面模式如圖 3.46 所示。

c. 井筒式斷面

主要分布於西 2 號碼頭里程 0m ~ 22.18m，其下部結構係由砌石堆疊成中空圓柱所構成，與直樁棧橋式碼頭結構較相似斷面如圖 3.47 所示意。

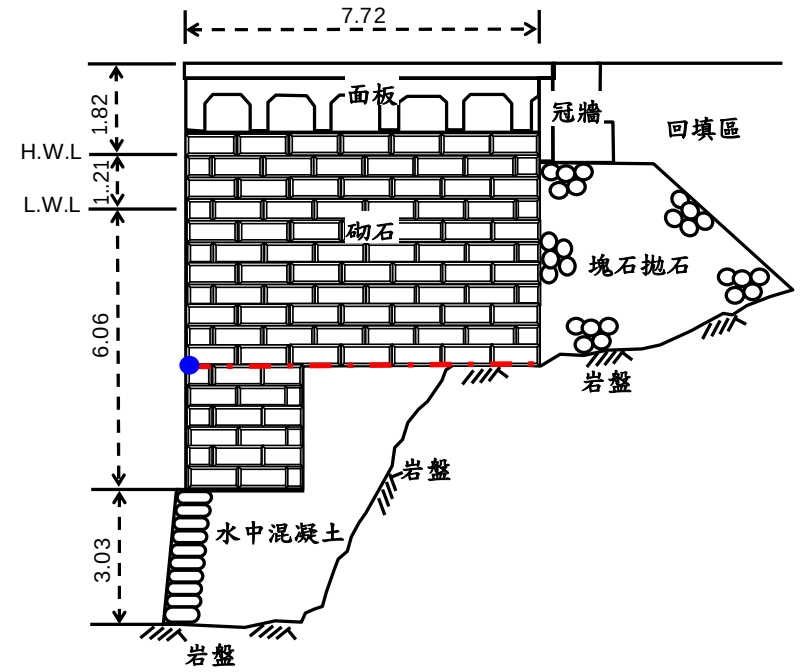


(a)設計斷面

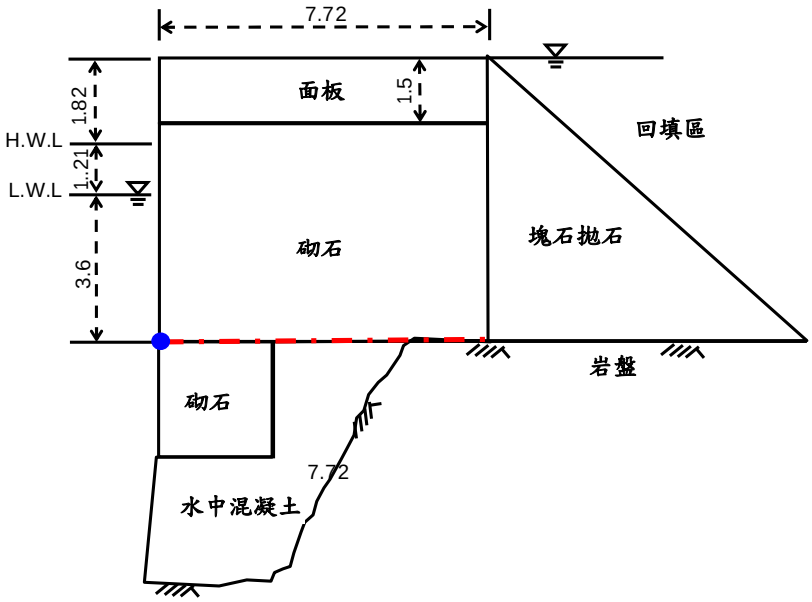


(b)簡化分析斷面

圖 3.45 牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較深)

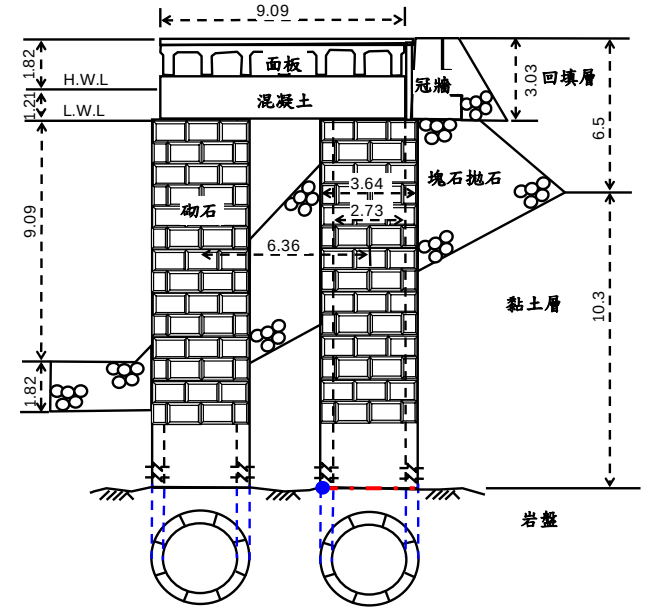


(a)設計斷面

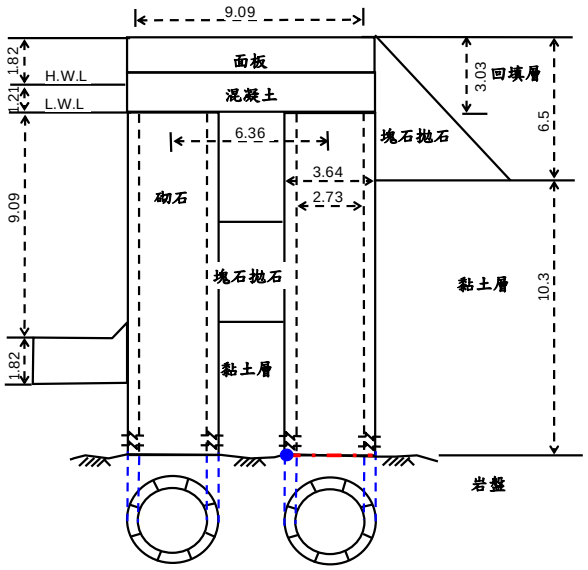


(b)簡化分析斷面

圖 3.46 牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較淺)



(a)設計斷面



(b)簡化分析斷面

圖 3.47 井筒式斷面模式

(4)模式分析

a. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)

依據民國 89 年交通部部頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」（以下簡稱碼頭設計基準）及 84 年交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準研究—碼頭設計基準及說明草案」進行穩定分析。

(a)滑動分析：依據碼頭設計基準第六篇第 4 章第 4.3 節，壁體滑動安定須滿足下式：

$$S.F \le \frac{\mu \cdot W}{P} \quad \text{.....(3-3)}$$

式中：S.F.：安全係數，常時 1.2

μ：壁體底面與基礎之摩擦係數

W：作用於壁體之垂直合力(t/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

由上述資料作用於壁體之垂直合力包含面板重量、牆式墩柱、水中混凝土與裝載載重，而作用於壁體之水平合力包含殘留水壓、側向土壓力，各相關作用力資料詳表 3-32、表 3-33。

表 3-32 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之垂直力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
裝載載重	58.00
面板重量	68.18
砌石牆重	145.90
水中混凝土重	53.80
浮力	79.67

表 3-33 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之水平力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
殘留水壓	32.13
主動土壓力	16.18
回填區荷載產生之側向力	5.23

利用滑動安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 145.9 + 53.8 - 79.67)}{(32.13 + 16.18 + 5.33)} = 2.29 \geq 1.2$$

(b)傾覆分析：依據碼頭設計基準第六篇第 4 章第 4.3 節，壁體傾覆安定須滿足下式：

$$S.F \leq \frac{W \cdot \bar{x}}{P \cdot \bar{y}} \quad \text{.....(3-4)}$$

式中 S.F.：安全係數，常時 1.2

μ：壁體底面與基礎之摩擦係數

W：作用於壁體之垂直合力(t/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

$\bar{x}$：垂直合力作用力臂(m)

$\bar{y}$：垂直合力作用力臂(m)

各相關作用力矩資料詳表 3-34、表 3-35。

表 3-34 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)抵抗力矩

作用外力名稱	作用力 (t/m)	力臂(m)	彎矩(t-m)
裝載載重	58.00	3.86	223.86
面板重量	68.18	3.86	263.18
砌石牆重	145.90	3.86	563.18
水中混凝土重	53.80	3.86	207.67

表 3-35 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)驅動力矩

作用外力名稱	作用力(t/m)	力臂(m)	彎矩(t-m)
浮力	79.67	3.86	307.53
殘留水位以上水壓力	4.59	10.10	46.36
殘留水位以下水壓力	27.54	4.55	125.17
側向土壓力	16.18	4.04	65.27
回填區荷載產生之側向力	5.23	6.06	32.30

利用傾覆安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{(223.86 + 263.18 + 563.18 + 207.67)}{(307.53 + 46.36 + 125.17 + 65.37 + 32.3)} = 2.18 \geq 1.2$$

(c)容許回填區荷載分析：計算滿足規範中安全係數要求下，回填區上方之最大容許荷載。

最大容許荷載(q)=min[FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2]

(i)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 145.9 + 53.8 - 79.67)}{(32.13 + 16.18 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22)}$$

$$q = 20.35(t/m^2)$$

(ii)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{(223.86 + 263.18 + 563.18 + 207.67)}{(307.53 + 46.36 + 125.17 + 65.37 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22 \cdot 6.06)}$$

$$q = 31.18(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=min[20.35; 31.18]=20.35(t/m^2)

b. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)：分析依據規範同牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)

(a)滑動分析：作用於壁體之垂直合力包含面板重量、牆式墩柱、水中混凝土與裝載載重，而作用於壁體之水平合力包含殘留水壓、側向土壓力，各相關作用力資料詳表 3-36、表 3-37。

表 3-36 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之垂直力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
裝載載重	58.00
面板重量	68.18
砌石牆重	98.61
浮力	37.13

表 3-37 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之水平力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
殘留水壓	15.5
主動土壓力	4.84
回填區荷載產生之側向力	2.92

利用滑動安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 98.61 - 37.13)}{(15.5 + 4.84 + 2.92)} = 4.03 \geq 1.2$$

(b)傾覆分析：各相關作用力矩資料詳表 3-38、表 3-39。

表 3-38 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)抵抗力矩

作用外力名稱	作用力 大小(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
裝載載重	58.00	3.86	223.86
面板重量	68.18	3.86	263.18
砌石牆重	98.61	3.86	380.65

表 3-39 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)驅動力矩

作用外力名稱	作用力(t/m)	力臂(m)	彎矩(t-m)
浮力	37.13	3.86	143.32
殘留水位以上水壓力	4.59	4.61	21.16
殘留水位以下水壓力	10.19	1.80	18.34
側向土壓力	4.84	2.21	10.70
回填區荷載產生之側向力	2.92	3.315	9.68

利用傾覆安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{(223.86 + 263.18 + 380.65)}{(143.32 + 21.16 + 18.34 + 10.7 + 9.68)} = 4.27 \geq 1.2$$

(c)容許回填區荷載分析：計算滿足規範中安全係數要求下，回填區上方之最大容許荷載。

最大容許荷載(q)=min[FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2]

(i)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 98.61 - 37.13)}{(15.5 + 4.84 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22)}$$

$$q = 39.66$$

(ii)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = \frac{(223.86 + 263.18 + 380.65)}{(143.32 + 21.16 + 18.34 + 10.7 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22 \cdot 3.315)}$$

$$q = 43.92$$

則最大容許荷載(q)=min[39.66; 43.92]=39.66(t/m^2)

c.井筒式斷面：依據碼頭規範進行下部現況結構穩定分析

(a)滑動分析：作用於壁體之垂直合力包含面板重量、牆式墩柱、水中混凝土與裝載載重，而作用於壁體之水平合力包含殘留水壓、側向土壓力，各相關作用力資料詳表 3-40、表 3-41。

表 3-40 井筒式斷面作用於壁體之垂直力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
裝載載重	68.29
面板重量	68.18
混凝土	31.99
砌石牆重	62.40
內填砂重	135.23
浮力	111.24

表 3-41 井筒式斷面作用於壁體之水平力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
殘留水壓	46.31
主動土壓力	55.54
被動土壓力	94.75
回填區荷載產生之側向力	20.81

利用滑動安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{0.5 \times (68.29 + 68.18 + 31.99 + 62.4 + 135.33 - 111.24) + 94.75}{(46.31 + 55.54 + 20.87)} = 1.81 \geq 1.2$$

(b)傾覆分析：各相關作用力矩資料詳表 3-42、表 3-43。

表 3-42 井筒式斷面抵抗力矩

作用外力名稱	作用力大小(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
裝載載重	68.29	4.55	310.37
面板重量	68.18	4.55	309.89
混凝土	31.99	4.55	145.28
砌石牆重(A)	31.20	7.27	226.82
砌石牆重(B)	31.20	1.82	56.78
內填砂重(A)	67.67	7.27	491.92
內填砂重(B)	67.67	1.82	123.15
被動側向土壓力(塊石拋石) 3.92*18.03/2*(3.92/3+(8.6-3.92))=			211.56
被動側向土壓力(黏土) 10.52*(8.6-3.92)^2/2+(14.87-10.52)*(8.6-3.92)^2/6=			131.09

表 3-43 井筒式斷面驅動力矩

作用外力名稱	作用力(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
浮力	11.00	4.55	50.00
浮力(A)	50.12	7.27	364.37
浮力(B)	50.12	1.82	91.22
殘留水位以上水壓力	4.59	14.78	67.84
殘留水位以下水壓力	41.72	6.89	287.24
主動側向土壓力(塊石拋石) 1.8*8.2/2*(8.2/3+(16.8-8.2))=			83.64
主動側向土壓力(黏土層) 1.6*(16.8-8.2)^2/2+(9.6-1.6)*(16.8-8.2)^2/6=			157.78
回填區荷載產生之側向力 0.44*8.2*(8.2/2+(16.8-8.2))+2*(16.8-8.2)^2/2=			119.78

利用傾覆安定計算式則得到安全係數為

$$F.S.=\frac{(310.37+309.89+145.38+226.82+56.78+491.92+123.15+211.56+131.09)}{(50+364.37+91.22+67.84+287.24+83.64+157.78+119.78)}=1.64\geq 1.2$$

(c)容許回填區荷載分析：計算滿足規範中安全係數要求下，回填區上方之最大容許荷載。

最大容許荷載(q)=min[FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2]

(i)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S.=1.2=\frac{0.5\times(68.29+68.18+31.99+62.4+135.33-111.24)+94.75}{(46.31+55.54+(q\cdot 0.22\cdot 8.2+q\cdot(16.8-8.2))}$$

$$q=8.01(t/m^2)$$

(ii)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S.=1.2=\frac{(310.37+309.89+145.38+226.82+56.78+491.92+123.15+211.56+131.09)}{(50+364.37+91.22+67.84+287.24+83.64+157.78+q\cdot 0.22\cdot 8.2\cdot 12.7+\mathrm{q}\cdot 36.98)}$$

$$q=9.51(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=min[8.01; 9.51]=8.01(t/m^2)

(5)下部結構分析結果彙整

a. 牆式橋墩斷面(岩盤深度較深)

(a)在依據設計準則建議之材料參數下，其抗壁體滑動安全係數為 2.29，抗壁體傾覆安全係數為 2.18。

(b)滿足設計準則安全係數 1.2 要求下，最大容許回填區荷載 20.35 t/m^2。

b. 牆式橋墩斷面(岩盤深度較淺)

(a)在依據設計準則建議之材料參數下，其抗壁體滑動安全係數為 4.03，抗壁體傾覆安全係數為 4.27。

(b)滿足設計準則安全係數 1.2 要求下，最大容許回填區荷載 39.66 t/m^2。

c.井筒式斷面

(a)在依據設計準則建議之材料參數下，其抗壁體滑動安全係數為 1.81，抗壁體傾覆安全係數為 1.64。

(b)滿足設計準則安全係數 1.2 要求下，最大容許回填區荷載 8.01 t/m^2。

3. 拋石護坡安全評估

(1)分析流程：

藉由彙整現況檢測資料與相關設計資料進傑分析模式之建立，並利用有限元素分析探討拋石護坡之受力行為，及依據碼頭規範進行邊坡穩定分析，分析流程如圖 3.48 所示。

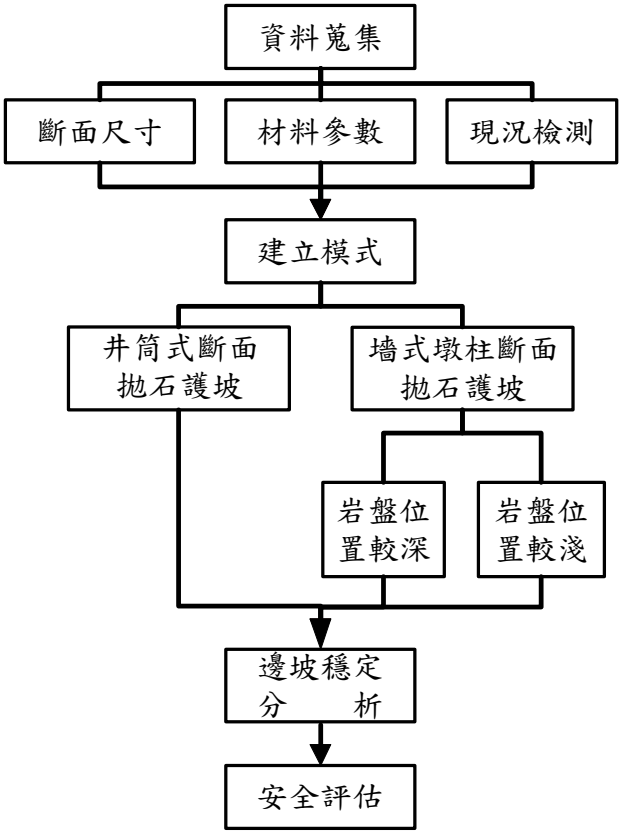


圖 3.48 拋石護坡分析流程

(2)材料參數：材料參數參照碼頭設計基準。

(3)模式建立：同下部結構分析

a. 牆式墩柱斷面之拋石護坡(岩盤位置較深)

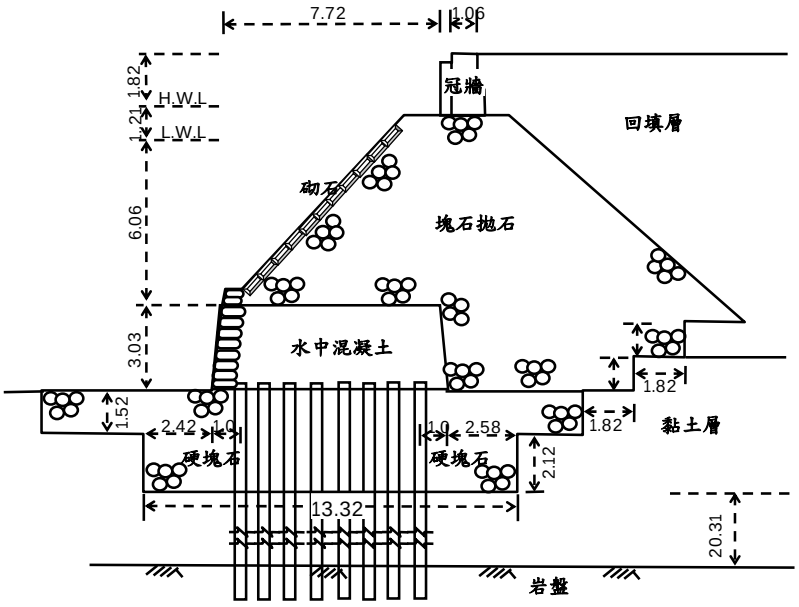
主要分布於西 2 號碼頭里程 22.18 m ~ 204.5 m 與西 3 號碼頭里程 0 m ~ 120 m。分析斷面模式如圖 3.49 所示。

b. 牆式墩柱斷面之拋石護坡(岩盤位置較淺)

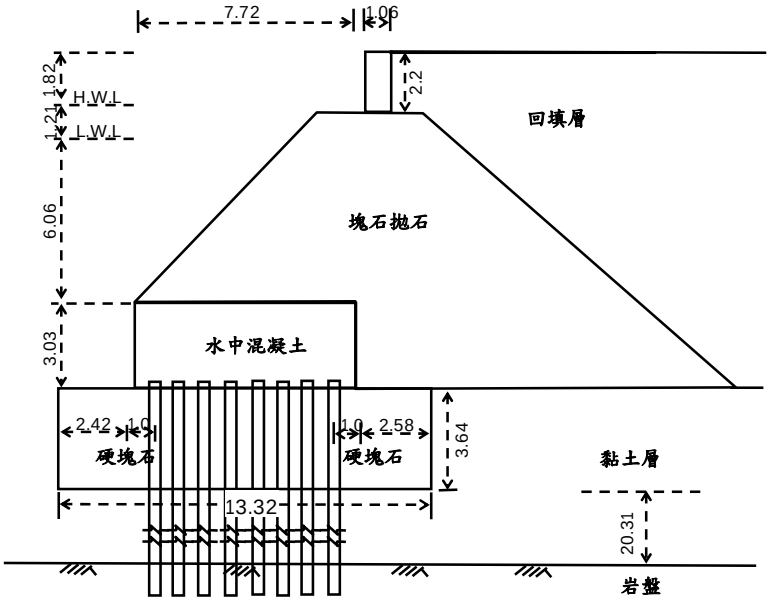
主要分布於西 3 號碼頭里程 120 m ~ 183 m 與西 3 號碼頭里程 0 m ~ 157 m。分析斷面模式如圖 3.50 所示。

c. 井筒式斷面之拋石護坡

主要分布於西 2 號碼頭里程 0 m ~ 22.18 m，斷面如圖 3.51 所示意。

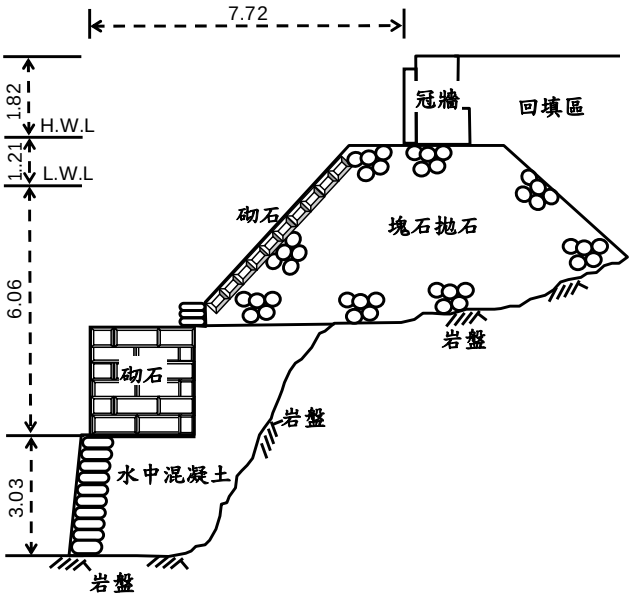


(a)設計斷面

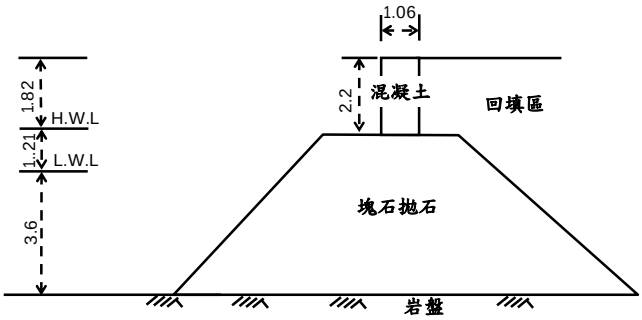


(b)簡化分析斷面

圖 3.49 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

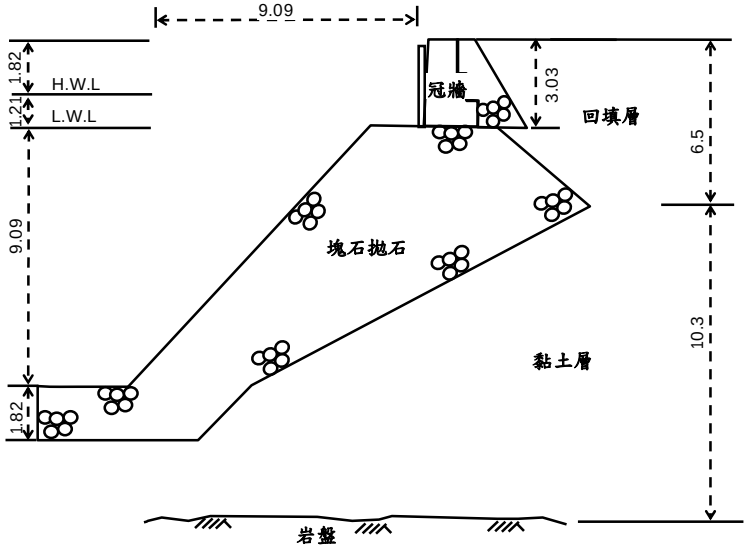


(a)設計斷面

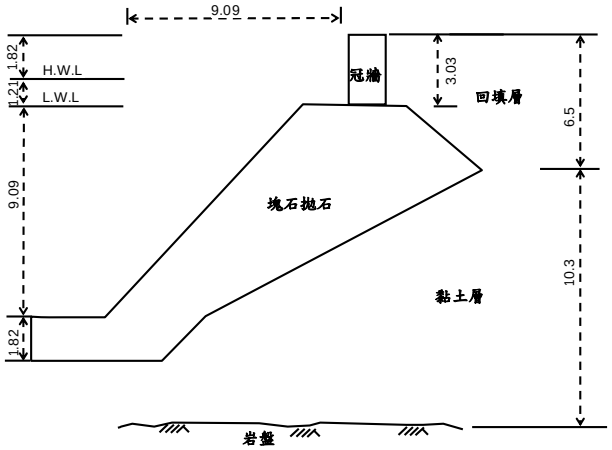


(b)簡化分析斷面

圖 3.50 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)



(a)設計斷面



(b)簡化分析斷面

圖 3.51　井筒式斷面模式之拋石護坡

(4)模式分析

a. 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

針對拋石護坡穩定性之分析，係依據碼頭設計準則第四篇第 6 章斜面之安定，並利用數值分析模式進行計算，由原設

計斷面其坡度為 42 度，拋石塊之摩擦角為 40 度，相關分析成果如圖 3.52。

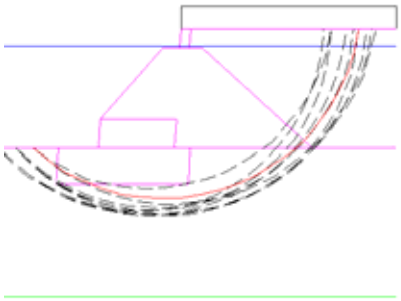
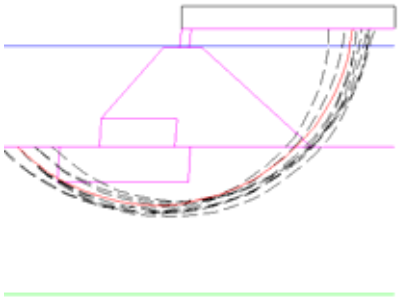
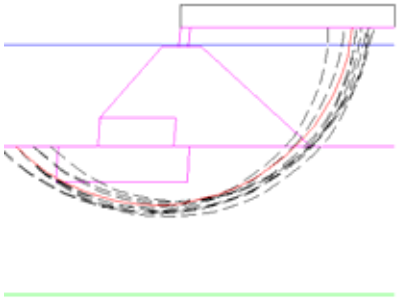
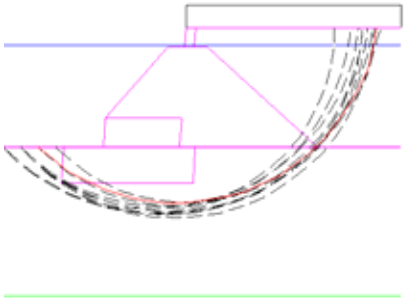
	
F.S.=1.32 (with surface loading 2.0 t/m^2)	F.S.=1.16 (with surface loading 4.0 t/m^2)
	
F.S.=1.05 (with surface loading6.0 t/m^2)	F.S.=0.95 (with surface loading8.0 t/m^2)

圖 3.52 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

b. 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

原設計斷面其坡度為 42 度，拋石塊之摩擦角為 40 度，相關分析成果如圖 3.53。

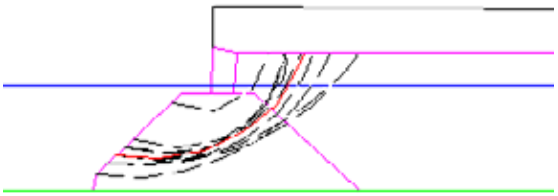
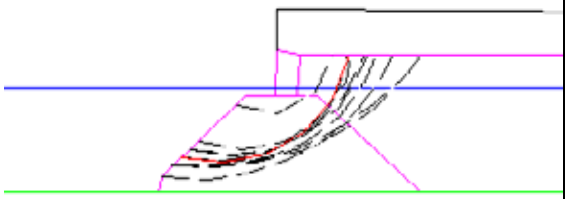
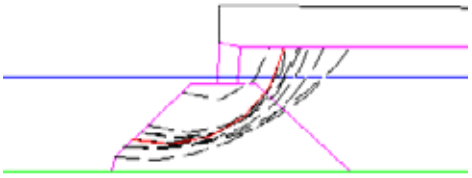
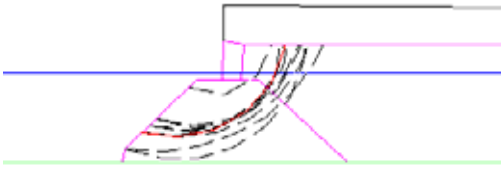
	
F.S.=1.41 (with surface loading 2.0 t/m^2)	F.S.=1.3 (with surface loading 4.0 t/m^2)
	
F.S.=1.23 (with surface loading 6.0 t/m^2)	F.S.=1.01 (with surface loading 20.0 t/m^2)

圖 3.53　牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

c. 井筒式斷面之拋石護坡

由於原設計資料並無相關拋石下方之地層資料，故依據港研中心提供之「基隆港西 2 至西 4 客運專區規劃及旅客中心新建工程地質鑽探及試驗分析工作」報告，依據鄰近鑽孔土層建立分析斷面地層資料，則拋石下方之地層為黏土層，另由原設計斷面其坡度為 48 度，拋石塊之摩擦角為 40 度，相關分析成果如圖 3.54。

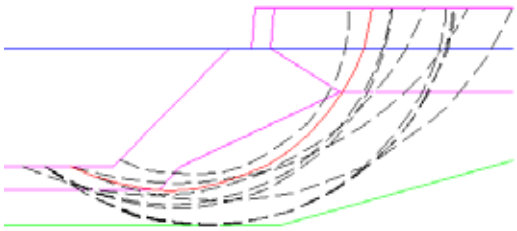
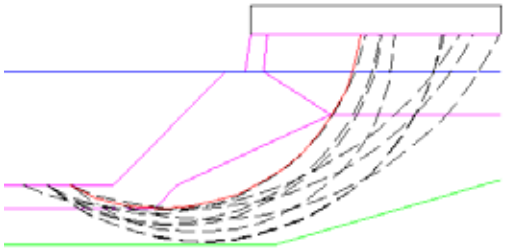
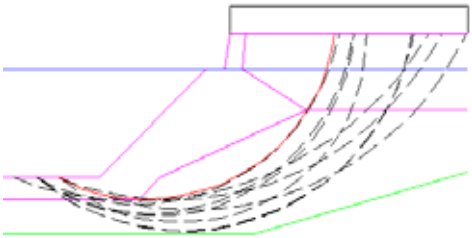
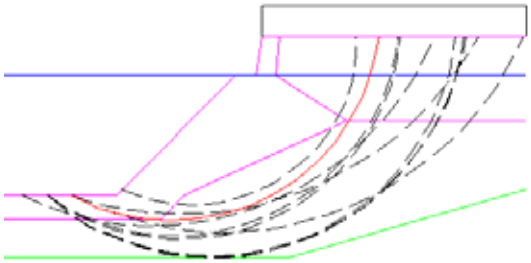
	
F.S.=1.11 (without surface loading)	F.S.=1.03 (with surface loading 1 t/m^2)
	
F.S.=1.00 (with surface loading 1.5 t/m^2)	F.S.=0.98 (with surface loading 2.0 t/m^2)

圖 3.54 拋石護坡穩定計算(井筒式斷面)

(5)拋石護坡分析結果彙整

a. 牆式橋墩斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)

在考量岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 2 t/m^2 下，安全係數為 1.32。

b. 橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)

在考量岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 2 t/m^2 下，安全係數為 1.4。

c. 井筒式斷面之拋石護坡

井筒式斷面之拋石護坡不考慮岸壁後側回填區裝載，並依據鄰近鑽孔資料依保守分析採取拋石下方土層為黏土層時，於常時安全係數為 1.11 小於 1.3，其原因可能與原設計斷面其坡度為 48 度，拋石塊之摩擦角為 40 度及土層為黏土層有關。綜合上述成果可彙整如表 3-44 所示。

表 3-44 碼頭拋石護坡安全分析結果

碼頭形式	邊坡安全分析	備註
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)	1.32≧1.3	設計斷面坡度 42^o，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 55.5%，岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 $2t/m^2$。
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)	1.4≧1.3	設計斷面坡度 42^o，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 40.5%，岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 $2t/m^2$。。
井筒式結構之拋石護坡	1.11≦1.3	設計斷面坡度 48^o，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 4%，位於進入西 2 至西 4 碼頭管制區外之路面，非為主要卸貨載區，不考慮岸壁後側回填區裝載。

*1.依據設計準則要求，安全係數須滿足 1.3。

2.碼頭裝載主要使用範圍，位於牆式橋墩斷面結構區域。

3.井筒式結構之拋石護坡，依其現況位於碼頭管制區外非為主要卸貨載區，其上方為禁制區僅部分單排機車停放。

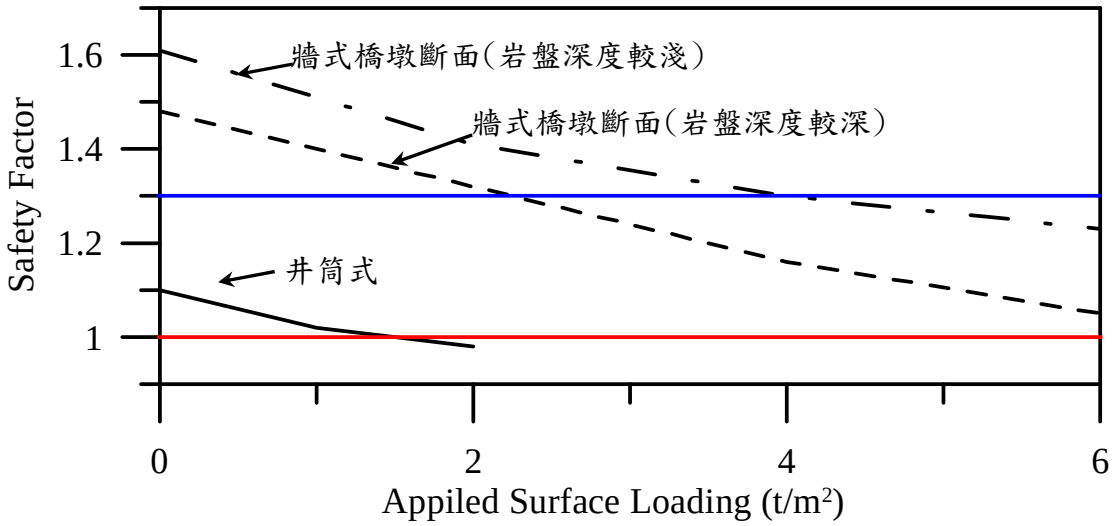


圖 3.55 拋石護坡穩定計算綜合成果

4. 容許回填區荷載分析

為因應未來「基隆市環港核心商業區都市更新計畫」中擬將西 2 至西 4 號碼頭再利用開發為西岸商業城，故於本節將探討回填區之容許荷載。

由於西 2 至西 4 號碼頭除上部面板外，於面板下結構體系由下部結構及拋石護坡所構成，任一種結構體損壞皆會導致碼頭無法正常利用，故針對容許回填區荷載分析主要依據下列分析方式進行，容許回填區荷載分析=min[下部結構,拋石護坡]

(1)下部結構

對下部結構而言，其分析為考量滿足規範中安全係數要求下，最大容許荷載(q)=min[FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2]≦4

a. 牆式橋墩式斷面(岩盤深度較深)

(a)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (68.18 + 145.9 + 53.8 - 79.67)}{(32.13 + 16.18 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

(b)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{(263.18 + 563.18 + 207.67)}{(307.53 + 46.36 + 125.17 + 65.37 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22 \cdot 6.06)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=4 (t/m^2)

b. 牆式橋墩式斷面 (岩盤深度較淺)

(a)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (68.18 + 98.61 - 37.13)}{(15.5 + 4.84 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

(b)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = \frac{(263.18 + 380.65)}{(143.32 + 21.16 + 18.34 + 10.7 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22 \cdot 3.315)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=4 (t/m^2)

c. 井筒式結構

(a)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \times (68.18 + 31.99 + 62.4 + 135.33 - 111.24) + 94.75}{(46.31 + 55.54 + (q \cdot 0.22 \cdot 8.2 + q \cdot (16.8 - 8.2))}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

(b)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S.=1.2=\frac{(309.89+145.38+226.82+56.78+491.92+123.15+211.56+131.09)}{(50+364.37+91.22+67.84+287.24+83.64+157.78+q\cdot 0.22\cdot 8.2\cdot 12.7+\mathrm{q}\cdot 36.98)}$$

$$q\geq 4(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=4 (t/m^2)

(2)拋石護坡

針對拋石護坡後線上方之最大容許荷載，係依據碼頭設計準則第四篇第 6 章斜面之安定，並利用數值分析模式進行計算，其結果可參考 5.3 節，結果彙整如表 3-45。

表 3-45 碼頭拋石護坡後線荷載與安全係數關係

碼頭形式	地表荷載				備註
	0 (t/m^2)	2(t/m^2)	4 (t/m^2)	6 (t/m^2)	
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深) (佔 55.5%)	1.48	1.32	1.16	1.05	設計斷面坡度 42°
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺) (佔 40.5%)	1.60	1.41	1.30	1.23	設計斷面坡度 42°
井筒式結構之拋石護坡(佔 4%)	1.11	0.98	-	-	設計斷面坡度 48°

*1.依據設計準則要求，安全係數須滿足 1.3。
2.碼頭裝載主要使用範圍，為位於牆式橋墩斷面結構區域。
3.井筒式結構之拋石護坡，依其現況位於碼頭管制區外非為主要卸貨載區，其上方為禁制區僅部分單排機車停放。

綜合上述分析結果，針對碼投主要使用區(牆式墩柱結構之下部結構+拋石護坡)其最大容許回填區荷載建議為≦2.2 t/m^2。

對井筒式斷面而言，當回填區荷載大於 1.5 t/m^2 時其安全係數會小於 1 而達不穩定狀態，建議應維持現況使用為宜。

5. 地震力分析

西 2 至西 4 號碼頭除上部面板外，於面板下結構體系由下部結構及拋石護坡所構成，任一種結構體損壞皆會導致碼頭無法正常利用，經由 5.2 節下部結構分析與 5.3 節拋石護坡穩定分析可知，拋石護坡相較於下部結構而言其穩定性較敏感，尤其針對未來若要碼頭後線回填區進行相關工程時，尤需要注意其穩定性。

由與本碼頭始建於 1906 年並於 1912 年完成，現有碼頭構造型式係於民國 41 年改建，當時並無相關耐震設計之規範，因此將針拋石護坡進行其地震力分析。依據內政部(2006)建築物耐震設計規範及解說，基隆港西 2 至西 4 號碼頭位於基隆市內，其設計震度為 0.24g。另由中央氣象局資料顯示，921 大地震時基隆海大測站量側之最大地表加速度值為東西向 37.56gal 為 0.038g，南北向 27.4gal 為 0.028g。

(1)牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

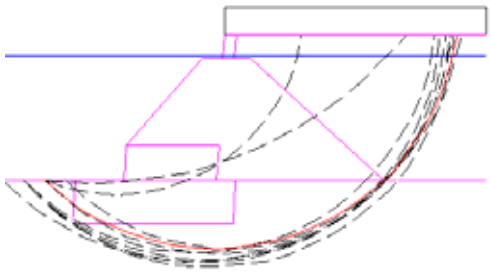
針對拋石護坡地震力之穩定性分析，利用數值分析模式進行計算，相關分析成果如圖 3.56 所示。

(2)牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

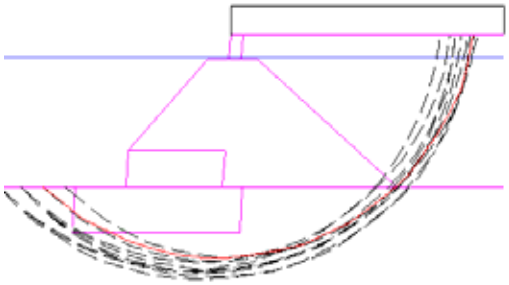
針對拋石護坡地震力之穩定性分析，利利用數值分析模式進行計算，相關分析成果如圖 3.57 所示。

(3)井筒式斷面之拋石護坡

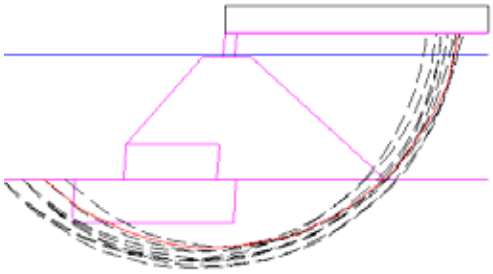
針對地震力之穩定性分析，利用數值分析模式進行計算，相關分析成果如圖 3.58 所示。



PGA=0.24g, F.S.=0.98
(with surface loading 2.0 t/m^2)

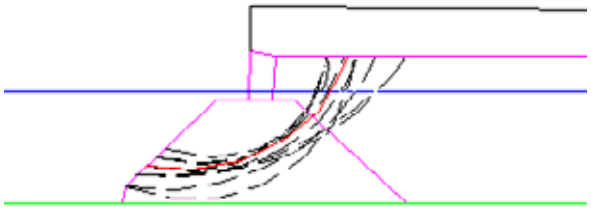


PGA=0.2g, F.S.=1.0
(with surface loading 2.0 t/m^2)



PGA=0.18g, F.S.=1.02
(with surface loading 2.0 t/m^2)

圖 3.56 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)



PGA=0.24g, F.S.=1.08

(with surface loading 2.0 t/m^2)

圖 3.57 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

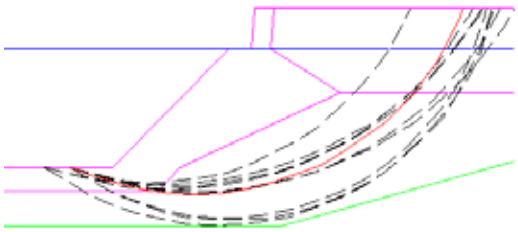
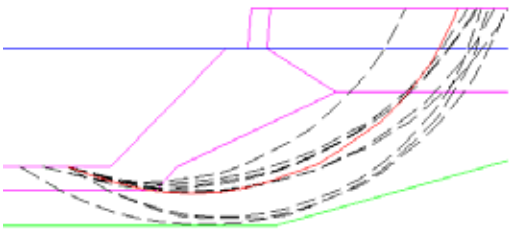
	
PGA=0.08g, F.S.=1.01 (without surface loading)	PGA=0.1g, F.S.=0.99 (without surface loading)

圖 3.58 井筒式斷面之拋石護坡

綜合地震力分析結果顯示：

(1)牆式橋墩斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)

依據準則考量回填區荷載為 2.0t/m^2 與滿足設計準則安全係數 1.0 要求下，最大容許地震地表加速度為 0.2g，換算為歸週期為 275 年。

(2)橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)

依據設計準則考量回填區荷載為 2.0t/m^2 下，可達建築物耐震設計規範及解說要求之設計震度為 0.24g，換算為歸週期為 475 年。

(3)井筒式斷面之拋石護坡

在不考量回填區荷載下，滿足設計準則安全係數 1.0 要求下，最大容許地震地表加速度為 0.08g，換算為歸週期為 17.6 年，故建議當地震震度大於 4 級(0.08g)時，建議應對井筒式結構作水下目視檢測。綜合上述結果彙如表 3-46 所示。

表 3-46 碼頭地震力分析結果

碼頭形式	地表最大加速度(PGA)					備註
	0.24g	0.20g	0.18g	0.1g	0.08g	
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深) (佔55.5%)	F.S.=0.98	F.S.=1.0	F.S.=1.02	-	-	設計斷面坡度 42°
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺) (佔40.5%)	F.S.=1.08	-	-	-	-	設計斷面坡度 42°
井筒式結構之拋石護坡(佔 4%)	-	-	-	F.S.=0.99	F.S.=1.01	設計斷面坡度 48°

*1.依據設計準則要求，安全係數須滿足 1.0。

2.依據耐震設計規範本區設計震度為 0.24g。

3.考量現況，牆式橋墩式斷面之拋石護坡岸壁後側回填區裝載，採 2t/m2。

4.考量現況，井筒式結構之拋石護坡不考慮岸壁後側回填區裝載。

5.碼頭裝載主要使用範圍，為位於牆式橋墩斷面結構區域。

6.井筒式結構之拋石護坡，依其現況位於碼頭管制區外非為主要卸貨載區，其上方為禁制區僅部分單排機車停放。

7.當地震震度大於 4 級(0.08g)時，建議應對井筒式結構作水下目視檢測。

3.5 小結

1.本年度調查碼頭結構之結果，臺中港 1 至 4A 碼頭曾於民國 88 年 921 大地震受到嚴重損壞，但修護至今其現況經應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，其主整體結構評估指數（ID_1）均小於 2.0，顯示結構體功能完整安全無虞，基隆港西 2 至西 4 號碼頭雖以使用超過 50 年但主整體結構評估指數亦均小於 2.0，整體結構安全無虞，惟建議必需加強平時巡查頻率，確保營運正常。

2.基隆港西 2 至西 4 號碼頭目視檢測結果顯示，西 2 至西 4 號碼頭現況，除岸肩底部出現部份混凝土剝落或鋼筋腐蝕生銹外，並無立即性危險，但仍需進行維修，以維護碼頭營運正常。

3.基隆港西 2 至西 4 號碼頭水深量測結果顯示，碼頭現有水深與設計水深差異不大；混凝土材料試驗包括抗壓強度、試錘試驗、電阻係數量測、中性化試驗、超音波波速量測及鋼筋腐蝕電位量測等，結果顯示並無明顯劣化情形，但碼頭岸壁混凝土之氯離子濃度有多處大於規範允許值，必須注意內部鋼筋可能發生腐蝕之影響

4.基隆港西 2 至西 4 號碼頭上部結構安全分析，採極限強度或容許應力檢核，若鋼筋配置採用 8 支 #7 或 8 支 #8 時其抗彎、抗剪皆能符合規範需求。下部結構及拋石護坡整體常時安全分析，牆式橋墩斷面結構部份之設計載重為 $2t/m^2$ 時，常時分析其安全係數均大於 1.3，符合設計準則要求。

6.基隆港西 2 至西 4 號碼頭牆式墩柱結構之下部結構與拋石護坡回填區之最大容許荷載，建議應小於 2.2 t/m^2。井筒式結構部份，回填區荷載大於 1.5 t/m^2 時，其安全係數會小於 1 而達不穩定狀態，建議應維持目前使用現況為宜。

7.基隆港西 2 至西 4 號碼頭抵抗地震力分析，牆式橋墩斷面之拋石護坡當回填區荷載為 2.0 t/m^2 並需滿足設計準則安全係數大於 1.0 時，最

大容許地震地表加速度為 0.2g，換算回歸週期為 275 年；井筒式斷面之拋石護坡之最大容許地震地表加速度為 0.08g，回歸週期為 17.6 年，故建議當地震震度大於 4 級(地表加速度為 0.08g)時，應即針對井筒式結構進行水下相關檢測。

8.本年度建置之碼頭維護管理系統，係以確立資料庫架構與建置資料儲存內容為重點，後續仍需針對年度維修排序建議與未來生命週期之預測等持續進行研究。此外，關於結構評估指數計算所需之各項權重，亦需蒐集更多案例獲邀請相關專家學者召開座談進行訂定。

第四章 碼頭維護管理系統建置之研究

4.1 前　言

本章首先由基本環境、歷史、永續經營之理念、潮流與政策等 5 方面來說明本計畫之緣起與重要性，再說明計畫之主要目的，並回顧有關之文獻座，最後再針對本研之研究方法、時程與目標做說明。

4.1.1 計畫緣起與重要性

本計畫之緣起與重要性，可從基本環境、歷史、永續經營之理念、潮流與政策等 5 方面來說明。

1. 基本環境

碼頭營運頻繁變數多，維護管理本已不易，且面臨海洋環境，結構又容易受干涉而加速老化，故潛伏性問題多，極易使港灣設施構成潛伏性與立即性的損壞[20]。

臺灣屬於亞熱帶氣候，夏秋兩季常有颱風發生，港灣設施承受暴潮及暴風波浪侵襲之頻率高，又地處環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，常有強烈地震發生。

2. 歷史

臺灣各大港設施使用至今多已老舊，以李延恭等於 1996 年高雄港區老舊碼頭安全調查及評估研究中之調查統計為例(如圖 4.1)，當時之高雄港既有碼頭中即有 36 座屬建造 30 年以上或材料外視已有 60%以上老化現象之碼頭，有 68 座屬建造 10~30 年或材料外視已有 30%~ 60%老化現象之碼頭，有 20 座屬建造 10 年內之碼頭，屬起造中或更建中之碼頭計 6 座，不明未查者計 11 座[19]，由此可知即早建立一套碼頭維護管系統更形重要。

3. 永續經營之理念

為達碼頭永續經營之理念，必須透過維護管理，以避免營運中

災難的發生，進而導致更大之經濟損失，因此有系統的做好碼頭維護管理是必要的，不但能提早發現港灣設施潛伏性的問題，防範導致立即性的損壞，亦能確保港灣結構設施之設計耐用年限及設計功能之維持，而碼頭安全檢測為實施碼頭維護管理之必要手段之一。

4. 潮流

營建自動化、維護管理與永續經營之理念已為現今之趨勢。維護管理已為一門工程，維護管理的問題將成為國內外工程界未來的挑戰，碼頭維護管理當然不應被排除在外。

5. 政策

交通部於交通土木工程建設科技所擬定之 21 世紀 4 大規劃方向中亦首重『交通工程建設(含港埠)之維護與管理』，且於交通工程建設更強調防災與永續經營之理念。

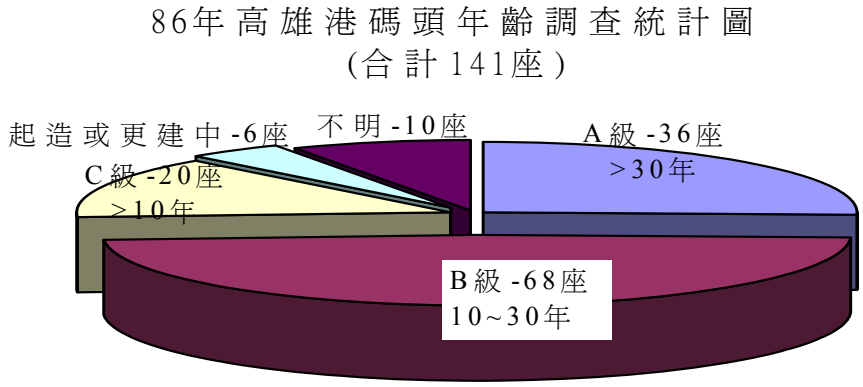


圖 4.1　86 年高雄港現有碼頭年齡統計圖

4.1.2　計畫目的

營建自動化已為現今之趨勢，碼頭管理亦不應被排除在外。交通部於交通土木工程建設科技所擬定之 21 世紀 4 大規劃方向中亦首重『交通工程建設(含港埠)之維護與管理』。而臺灣現今碼頭維護管理面臨迄待解決或加強的重要課題有四[24]：

1. 維護管理理念之建立與改革。

2. 完善可行的維護管理系統與制度。

3. 維護管理技術的發展。

4. 維護管理人員之培訓。

本計畫主要之目的在配合潮流與政策並為延續上述課題而施行。

4.1.3 文獻回顧

與碼頭檢測有關且較整體性之研究應屬港研中心李延恭、蘇吉立等於 1997 年著手研究之高雄港老舊碼頭安全調查。以及蘇吉立於 2002 年發表於第二十四屆海洋工程研討會論文集中之"碼頭結構安全檢測系統之研建"[26]。其它研究多屬個案碼頭或碼頭局部性結構之調查研究。

2002 年本中心於中山大學李賢華教授參與相關合作後，亦曾著手研擬建立港灣設施維護手冊初稿，並以該初稿為範本，於 7 月開辦第一次港灣構造物安全檢測與評估研習會[25]。

雖然港灣設施結構性之安全檢測與評估相關之研究成果，已漸趨成熟，唯許多細節尚待努力解決，如：

1. 檢測程序應統一化、檢測斷面應標準化、異象行分析觀念有待整合。

2. 檢測系統適用性、檢測階段、檢測作業程序等有待明確界定。

3. 統合異象分類、明確界定檢測部位、整合檢測項目與檢測內容。

4. 統一標稱碼頭基本檢測部位名稱，統合分析可能導致各式碼頭異象之機制。

5. 檢測評估、記錄與報告標準化。

與整體維護管理有關較規模性之研究，則有運研所與海洋大學合作，於 2004 年 2 月完成之港灣構造物維護管理準則之研究(草案)[28]，唯該研究於實用性仍待加強。

本研究除引用、整合並改進前述相關研究外，並結合運用港灣工程

單價資料庫[14]，使碼頭維護管理更完整而務實。

4.1.4 研究方法、時程與目標

本研究係延承蘇吉立於 2002 年之初步研究成果，並重新檢討整合相關研究之現有檢測理念與檢測方法，檢討整合內容包括：

1. 檢測標的、檢測人員、檢測時機(或目的) 與檢測作業階段等基本界定。
2. 港灣設施常見異象之統合分類。
3. 各基本異象與相關行為之觀念。
4. 各式設施結構標準斷面示意圖之繪製。
5. 導致各式設施結構異象之可能機制。
6. 各式設施結構基本檢測部位之標稱與編號。
7. 安全檢測評估系統表之建置。

除檢討整合上述內容外，並使檢測、維護與評估作業一致，成為碼頭安全檢測評估系統。

於系統實用性上，係利用歷史案例之輸入加以研討驗證，再應用於現有之現地案例，藉以反覆修正，使整個系統更具實用性。

逐年反覆修正、整合建置各式碼頭本體設施之安全檢測評估系統，使各類檢測、維護與評估作業標準化、系統化與務實化，最後再結合港灣工程單價資料庫，建置成碼頭本體設施維護管理系統。

整體研究時程分為四年，各年度完成之研究主題與重點如下：

1. 重力式碼頭檢測系統之建置—(94 年) [3]

94 年度建置完成重力式碼頭檢測系統。

2. 鋼板(管)樁碼頭檢測系統之建置—(95 年) [4]

95 年度延續已完成之重力式碼頭檢測系統，並於持續之印證、檢討與修正中加以擴充，再建構成同時適合重力式與鋼板樁碼頭之檢測系統。

3. 棧橋式碼頭檢測系統之建置—(96 年) [30]

96 年度延續已完成同時適合重力式與鋼板樁碼頭之檢測系統，並於持續之驗證、檢討與修正中加以擴充，再建構成同時適合重力式、鋼板樁與棧橋式碼頭之檢測系統。

4. 碼頭本體設施維護管理系統之建置—(97 年)

本年度除持續驗證、檢討與修正碼頭本體設施檢測系統外，並結合港灣工程單價資料庫，整合建置成碼頭本體設施維護管理系統。

本研究之主要目標在於使檢測與維護管理作業系統化與簡易化，並使巡查→維護→檢測→評估作業一貫化，使碼頭本體設施維護管理邁向自動化。整體系統之建置並以可行性與實用性為原則。

系統成熟後可使維護管理決策有參考依據，藉以提昇碼頭維護管理之功效，維護工程安全，減低災害損失，促進港埠管理現代化，提昇港埠功能與營運效率。並期望本計劃之成果將有助於資源整合、培育專業技術人才及提高研究水準。

4.2 系統規劃與基本界定

為使系統之建置能循序漸進，系統之實用性更完整，且檢測、評估與維護作業確實系統化，且碼頭本體設施安全檢測系統之建置作業較為繁雜，故於系統建構前首先必須對整體系統預先規劃，並對系統建置中之相關若事項須進行整合與界定。

4.2.1 整體系統規劃

本研究對於整體系統組成架構之規劃如圖 4.2。

圖 4.2 中規劃為兩個子系統，其一為碼頭本體設施安全檢測系統，另一子系統為港灣工程單價資料庫簡易查詢系統，並設計一 EXCEL 表單作為兩子系統之資料查詢平台與聯結介面。

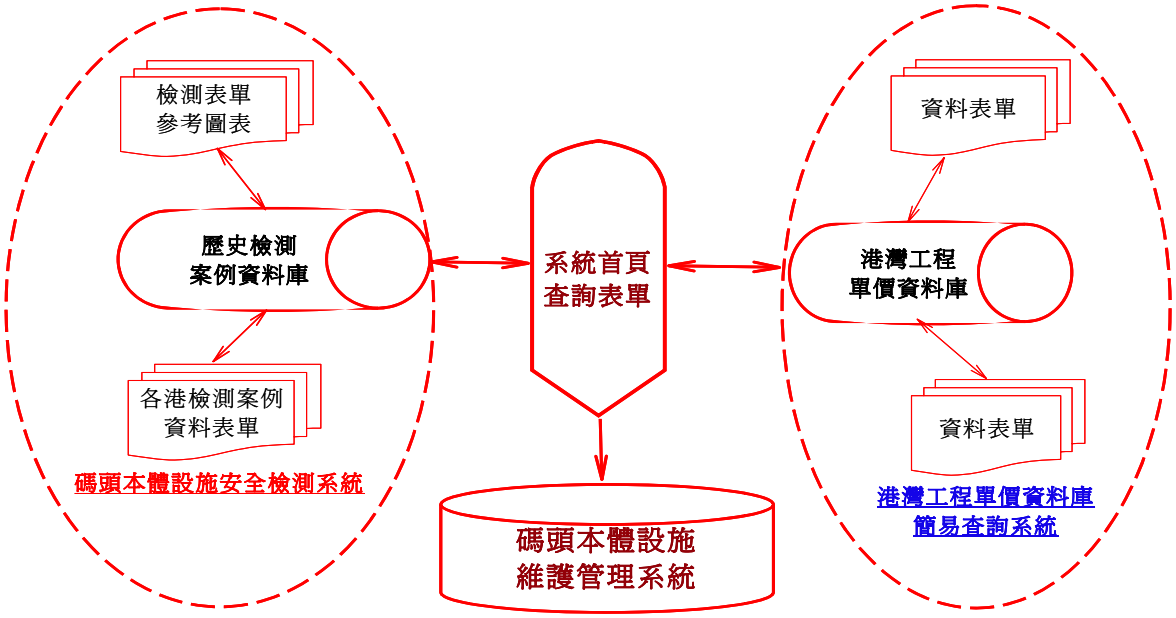


圖 4.2 系統組成架構圖

依圖 4.2 之整體規劃，係將系統分為碼頭本體設施安全檢測系統與港灣工程單價資料庫簡易查詢系統兩部份規劃，並分為三階段建置，第一階段首先規劃建置港灣工程資料庫，第二階段規劃建置碼頭之檢測系統，第三階則將兩系統結合建置成為碼頭本體設施維護管理系統。

4.2.2 碼頭本體設施安全檢測系統規劃

碼頭本體設施安全檢測系統之組成架構規劃如圖 4.3。

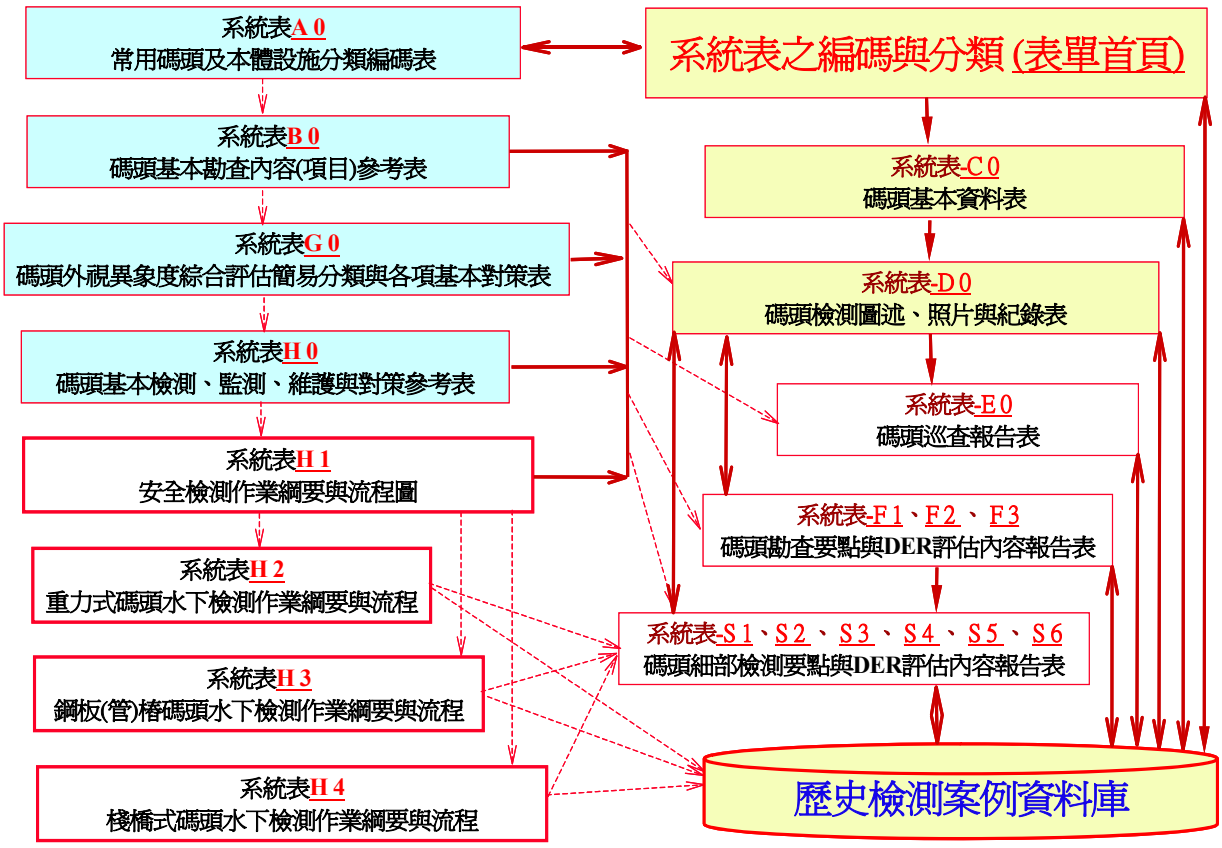


圖 4.3　碼頭本體設施安全檢測系統組成架構圖

於圖 4.3 之規劃下，其檢測系統之建置係依重力→版樁式→棧橋式之順序循序漸進分年整合建置完成。

圖 4.3 中之左半部為系統之參考圖表，右半部則為系統之檢測評估表，並構成歷史檢測案例資料庫。

4.2.3 港灣工程單價資料庫簡易查詢系統規劃

港灣工程單價資料庫簡易查詢系統組成架構規劃如圖 4.4。

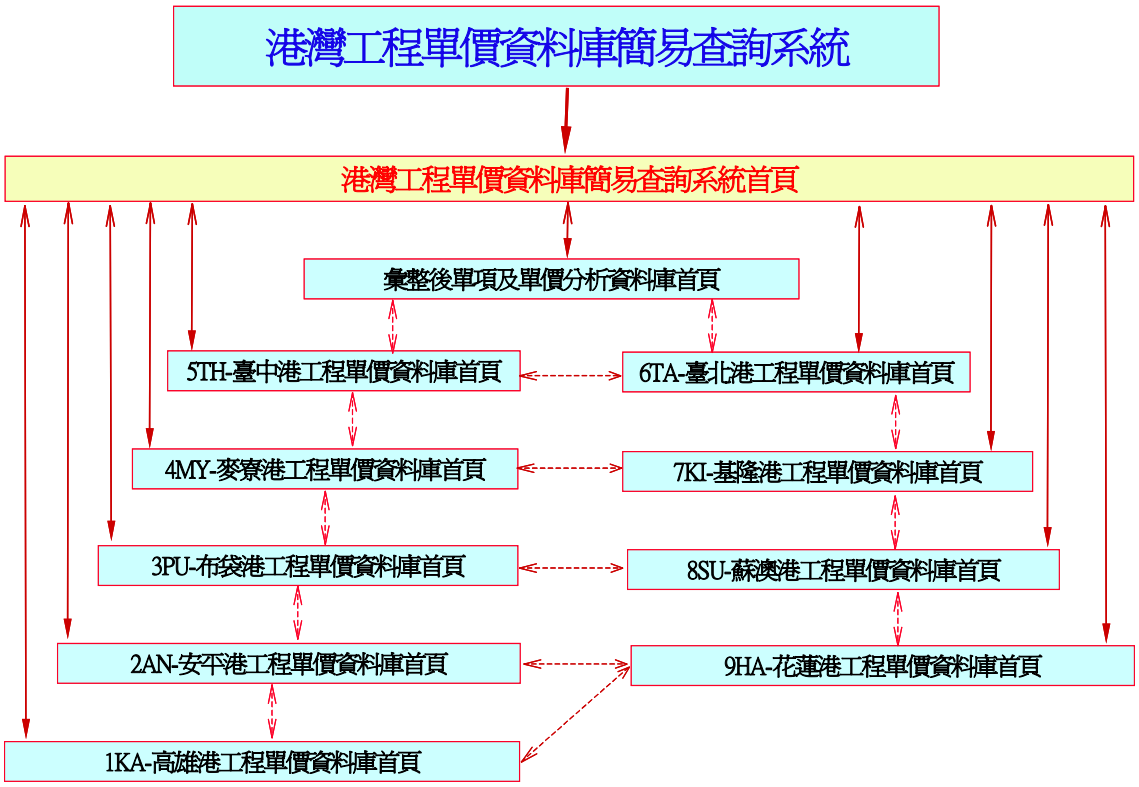


圖 4.4　港灣工程單價資料庫簡易查詢系統組成架構圖

4.2.4 系統基本界定與整合

整體規劃以系統化、簡易化與實用性為原則，故系統建置採用之軟體為 Microsoft Excel，由於碼頭本體設施安全檢測系統建置較為繁雜，故於系統建置中有若事項須進行整合與界定。

本研究於碼頭本體設施安全檢測系統建置過程中，同時完成之重要基本事項可分為：基本界定事項與基本整合事項。

1. 基本界定事項

碼頭安全定義、適用標的、適用人員、檢測時機、檢測作業階段與檢測範圍。

2. 基本整合事項

統合分類港灣設施常見之異象、整合建立基本異象相關行為觀念、整合建立各式設施結構標準斷面示意圖、整合建立導致各式設施結構異象之可能機制斷面示意圖、整合建立各式設施結構基本檢測部位之標稱與編號、整合建置安全檢測評估系統表、整合建立基本細部檢測與監測以及基本維護與對策、整合建立安全檢測作業綱要與流程、整合建立各式碼頭之水下作業綱要與流程。

4.2.5 碼頭安全定義之界定

廣義之碼頭安全定義應包括:碼頭工作性之安全與碼頭結構性之安全[5]。

影響碼頭工作性安全之主要因素包括:碼頭運作動線規劃不合理或碼頭運作動線受到干擾。無論碼頭運作動線規劃不合理或受到干擾，除可使碼頭營運效率降低外亦會使碼頭潛伏工作上之危險以及本體設施受損之危險性。而導致碼頭運作動線規劃不合理或受到干擾之可能因素包括[20]：1.碼頭機能規劃配置不當。2.行政流程不當。3.管理挫施不當。4.碼頭主體與附屬設施之異變現象。然碼頭工作性安全之管控大部份受制於行政管理。

影響碼頭結構性之安全因素雖較為繁雜,但其安全性均會反應於碼頭主體與附屬設施之外部異變現象，故可由碼頭主體與附屬設施之外部異變現象評估其影響因素與安全性。碼頭結構性安全之管控則因影響碼頭結構性安全之因素較為繁雜，故除須仰賴完善之行政管理措施外，尚須仰賴完善可行之維護與檢測技術。

4.2.6 適用標的之界定

本研究係針對碼頭結構性之安全管控,提出一套完善可行之維護管理系統，且界定檢測標的暫時適用於港灣設施之碼頭主體結構，並排除部分附屬設施。碼頭主體結構之港灣設施將包括：重力式碼頭、版

樁式碼頭、棧橋式碼頭及防波堤 4 大類。本系統目前則暫不納入防波堤。僅針對碼頭主體與附屬設施之外部異變現象以及碼頭結構性之安全進行調查、評估與建議適當之措施。

4.2.7 適用人員之界定

本系統之適用人員，居於下列兩大理念而界定：

1. 碼頭異象之相關理念

本研究延用並進一步譚述蘇吉立[20、26]與陳等[27]之共同思維。將構造物之安全檢測視同人類之醫學診治，已為上述相關研究學者之共識。

本研究將碼頭初勘視同人類醫學之初診，當人體有所不適或健康狀況不佳時，常有一些表象或感覺，因此醫師於初診時常可經由看、聽、問、觸與查閱病例之診療手法，再配以醫師之專業判斷即決定治療處方或建議進一部之細診措施，即人類於平時或一般症狀就醫初診時，醫師均不必用精密或先進之技術，而是先觀察人體之表面異狀，再輔以簡單之儀器進行必要之聽、觸診，同時詢問就診者之個人感覺，最後憑醫師個人之專業知識與經驗而完成初診，故人類醫學此階段之初診，本研究將視同碼頭初勘，而初診之醫師則視同碼頭初勘之一般基層檢測人員。

而碼頭之細檢等同人類醫學之細診(或精診)，其措施常以先進儀器檢測或先進化驗技術為手段與方法，其檢測或化驗之結果經醫學之專業評估分析後再決定醫療之方法與程序，此等同於碼頭之細部檢測、評估分析後再決定處置方法與程序，此階段所需專業人員亦較為高階或更有經驗者。

此外人類於平時無健康異狀時，醫學上乃需定期健檢，定期健檢則包含一般之診察與檢測，此觀念與方法亦如碼頭之定期安檢。

2. 實用與簡易之理念

本研究基於前項理念，與考量國內目前許多建物使用單位或管

理單位均缺乏工程專業人才之狀況下，於系統之規劃設計上主張實用與簡易。故於初勘作業強調適用於一般基層檢測人員，本系統所稱一般基層檢測人員，係指有碼頭安全檢測經驗或受過碼頭設施安全檢測訓練之一般基層人員。本系統於細部檢測作業模式之規劃，則著重適用於經驗豐富之碼頭安全檢測人員、熟悉基本港灣工程之專業人員、專業檢測人員、專業監測人員與專業分析人員，於人員之專業須求上較為高階而廣泛。

4.2.8 檢測時機之界定

為使檢測性質與目的更簡明與務實的區分,本研究主要依檢測性質與目的，將檢測時機區分為：平時檢測(隨機性、一般性檢測)、例行檢測(定期監測、定期檢測以及針對特殊項目或目的之監測與檢測)與災害檢測(工程、營運或天然災害檢測)。

各檢測時機詳述如下：

1. 平時檢測

平時檢測應屬隨機性與一般性檢測，可為定期與不定期檢測，期間應較短，本研究建議最好每天為之，但可依經濟及人力，並考量影響性(重要性)後，分類分項分工為之(各港應於各港之維護管理作業體系與維護計畫中明訂之)，平時檢測主要檢測目的在隨時掌控碼頭之外視異象，平時檢測一般為巡檢與初勘檢測。

2. 例行檢測

例行檢測係針對特殊項目或特定目的，進行檢測或監測。特殊項目如航道檢測、港池檢測、水下壁體檢測、水下基礎檢測、變位監測與腐蝕監測---等，因此等項目無法利用外視異象之觀測與判斷，必須利用潛水人員於水下進行檢測或利用特殊儀器探測，檢測工作無法於平時隨時施行，必須依區域狀況施以定期檢測。

特定目的如某種研究性質之調查，或因應平時巡查或檢測之結果，針對某種異象或疑慮而進行必要之檢測與監測，藉以確定安全

或釐清某種疑慮。

3. 災害檢測

災害檢測係針對颱風災害、地震災害、施工災害、營運災害等檢測，屬即時檢測，其目的再提供現場之即時之應變措施與災後之評估資料。

4.2.9 檢測作業階段與檢測範圍之界定

為使檢測作業標準化，本研究將檢測作業共區分為五個階段，各階段之基本作業內容與檢測範圍界定如下：

1. 先期準備作業

包括搜集相關資訊、搜集基本資料、建立檢測計畫、建立檢測表、現地踏勘與檢測會議等。

2. 初勘作業

主要工作在勘查、記錄、描述現地各基本檢測部位之外視異象。除對特殊檢測項目、特定事項之檢測與追縱外，任何檢測時機均須先經初勘作業。

本研究基於適用人員之界定理念，主張此階段不應仰賴特殊、笨重或精密之儀器，使用工具應以普遍性、簡單性及隨機性為主，並輔以目視檢測及專業經驗之概判。初勘可用工具如：檢測記錄表、筆、像機、捲尺、步計尺、測微尺、水線、垂球、鐵鎚、鋼釘、噴漆、石筆、工作袋--等[19]。

此階段檢測作業範圍限於海上碼頭岸壁面、碼頭岸肩面及碼頭後線適當縱深之地表面範圍(如圖 2-9 至 2-18 所示之外視表觀區)。

3. 初勘綜合評估作業

為本研究規劃檢測作業之第一階段評估。

於此階段之調查評估表，本系統初期將以 Microsoft Excel 之軟體規劃設計，使檢測員從勘查至評估均可以設計好之制式表格循續

為之，並使系統評估結果之警示度，於表單輸出中自動評定。此階段之綜合評估結果可為即時維護管理之行政參考，亦為細部檢測之指標。

4. 細部檢測作業

細部檢測作業主要在再次確定及詳測初勘之結果、執行海下檢測、執行特殊項目之專業檢測或特殊事項之監測。

此作業階段須仰賴特殊儀器設備、特殊專業人員與特殊方法之檢測與監測，其目的在佐證或釐清初勘之懷疑與判斷，檢、監測之結果亦為綜合評估作業之重要指標。

細部檢測作業範圍含蓋初勘範圍與海面下至海床(如圖 4.10 至 4-19 所示之全部檢測區)。

5. 綜合評估作業

為檢測作業之最後階段評估，本系統於 Microsoft Excel 規劃設計下，如同初勘，檢測員從勘查至評估均可以設計好之制式表格循續為之，系統評估結果之警示度與基本對策亦自動評定。

綜合評估結果可為後續維護管理之行政參考，亦為設施進行補救措施、高階分析之最終指標。

4.2.10 碼頭異象

本研究對碼頭異象之相關整合工作首先統合分類碼頭異象,再整合碼頭異象特性之觀念，最後對碼頭異象之成因與常現行為分佈狀況進行探討與分析。

1. 碼頭異象分類之統合

碼頭異象統合分類的目的為使調查員有統一的溝通與描述語言，並使調查模式簡單化、統一化與格式化。以利於日後自動化管理之實施。故於統合碼頭異象之前，首先再次定碼頭義異象並強調其觀念。

觀察與檢測碼頭之整體結構安全狀況可比擬如人類，當人類有所不適或健康狀況不佳時，常會有一些現象呈現於人體外表，因此旁人才得以警覺，醫師才得以經由看、聽、問、觸與查閱病例之診療手法，再配以專業之判斷，對病人進行適當之治療與進一部之診療措施，而觀察與檢測碼頭之整體結構安全狀況亦然，故碼頭異象之定義為，勘查檢測港灣設施之碼頭或防波堤時，於整體設施之外部目視所見之表面異變或劣化之現象，本研究謂之碼頭異象。

碼頭異象分類係延伸引用前人研究，該分類係由現地初勘實際觀查統計綜合分類而得，依其對整體設施之影響性，由輕至重計分：1.腐蝕 2.龜裂 3.破裂 4.沉陷 5.拱起 6.傾斜 7.崩塌等七大異象(如表 4-1)。

2. 碼頭異象之特性

碼頭異象彼此之間的行為常俱下列 3 大特性[5]：

(1)互相伴隨發生—多樣性。

(2)互為因果—循環性。

(3)不斷的互為因果而擴大表徵—連續性。

三大特性之關聯如圖 4.5，正因此關聯特性，若忽視一小小異象足可延誤拯救碼頭之時效，不可不慎(三大特性於現地實際產生之現象與結果之案例如圖 4.5 至圖 4.9)。若不時時加以適當的安全檢測與維修，輕者將使碼頭運作之潛在危險性漸昇，重者將使碼頭結構之潛在危險性漸昇，甚至導致突發性之崩毀，不可不慎。

表 4-1　高雄港碼頭外部異象實地勘查案例統計表

碼頭型式	重力式	錨錠式	棧橋式	混合式	合　計	*可疑待查
碼頭座數	16	62	26	14	118	0
各式碼頭 %	13.56	52.54	22.03	11.86	100.00	0.00
異象類別	發生率百分比 %（及座數）					
腐蝕　座數	7	2	3	8	20	40
本式 %	43.75	3.23	11.54	57.14		
全港區 %	5.93	1.69	2.54	6.78	16.95	33.90
龜裂　座數	11	31	8	14	64	0
本式 %	68.75	50.00	30.77	100.00		
全港區 %	9.32	26.27	6.78	11.86	54.24	0.00
破裂　座數	9	8	4	9	30	0
本式 %	56.25	12.90	15.38	64.29		
全港區 %	7.63	6.78	3.39	7.63	25.42	0.00
沉陷　座數	9	23	0	10	42	3
本式 %	56.25	37.10	0.00	71.43		
全港區 %	7.63	19.49	0.00	8.47	35.59	2.54
拱起　座數	5	2	0	3	10	1
本式 %	31.25	3.23	0.00	21.43		
全港區 %	4.24	1.69	0.00	2.54	8.47	0.85
傾斜　座數	7	1	0	4	12	59
本式 %	43.75	1.61	0.00	28.57		
全港區 %	5.93	0.85	0.00	3.39	10.17	50.00
崩塌　座數	6	1	0	1	8	0
本式 %	37.50	1.61	0.00	7.14		
全港區 %	5.08	0.85	0.00	0.85	6.78	0.00
超深　座數	1	1	0	0	2	77
本式 %	6.25	1.61	0.00	0.00		
全港區 %	0.85	0.85	0.00	0.00	1.69	65.25

1996.10　蘇吉立　　File Name:86KAL010.XLS

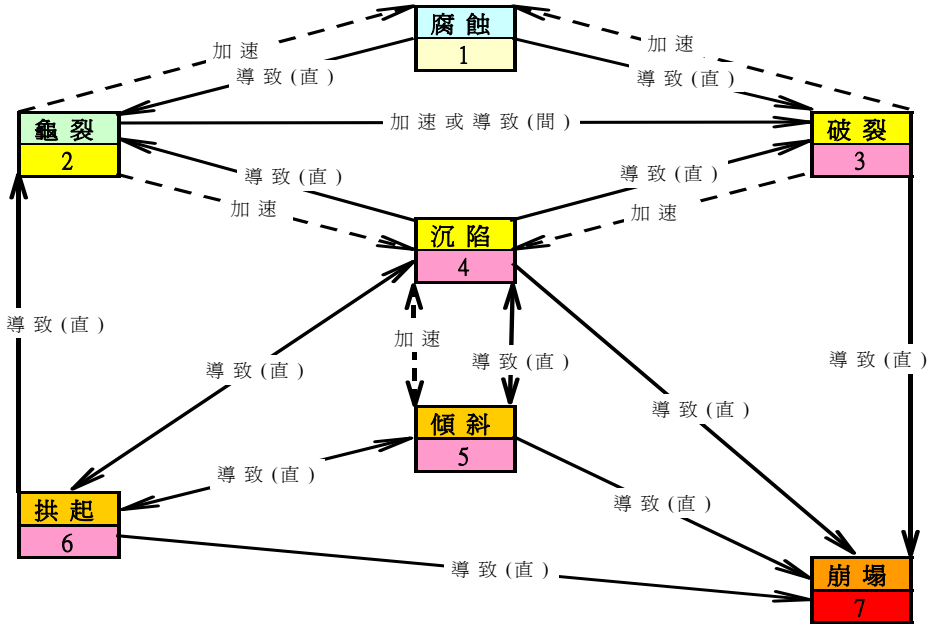


圖 4.5　碼頭外部異象 3 大特性之關聯圖

3. 碼頭異象之成因與常現行為分佈狀況

重新檢討分析蘇吉立 1998 年[5]之研究結果;導致各種碼頭異象行為之可能主要因素及常見各種碼頭異象行為分佈狀況分項歸納分析如下(以其對碼頭結構可能之潛在危險度由輕至重依序敘述)：

(1)腐蝕

可能主要成因包括；海洋環境自然因素、外力撞擊或磨損、結構體之保護層厚度不均等。

常見各種腐蝕之外視異象行為分佈狀況有：A.樁 B.樑 C.壁體胸牆 D.防舷材 E.法線橫樑 F.繫船柱及基座 G.岸肩梁版等。

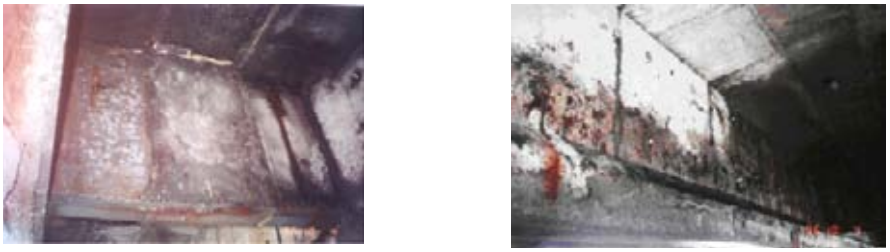


圖 4.6 腐蝕、龜裂與破裂之連續循環現象例

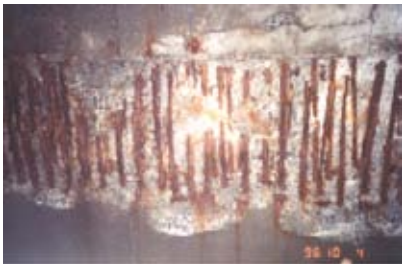


圖 4.7 腐蝕、龜裂與破裂連續循環之結果例



圖 4.8 龜裂、破裂、沉陷、拱起與傾斜之連續循環現象例



圖 4.9 龜裂、破裂、沉陷、拱起與傾斜之連續循環結果例

(2)龜裂

可能主要因素包括；材料因素（含腐蝕、疲勞及老化）、結構體保護層厚度不均、強度不均、應力集中、不當外力、地震力、長期反復載重、壓密沉陷、超載沉陷、基床滲水軟化、漏砂、傾斜或基礎結構失衡滑動等。

常見各種龜裂之外視異象行為分佈狀況有：A.PC 樁 B.樑 C.壁體胸牆 D.防舷材 E.法線橫樑 F.繫船柱基座（多造成 45 及 90 度拉裂）G.岸肩梁版 H. 岸肩地面 I.後線地面。

(3)破裂

同龜裂。

(4)沉陷

可能主要因素包括；不當外力、地震力、長期反復載重、壓

密、超載、基床滲水軟化、漏砂、傾斜或基礎結構失衡滑動。

常見各種沉陷之外視異象行為分佈狀況有：A.壁體胸牆 B.法線橫樑 C. 岸肩梁版 D. 岸肩地面 E.後線地面。

(5)拱起

同沉陷。

(6)傾斜

可能主要因素包括；沉陷及導致沉陷之原因。

常見各種傾斜之外視異象行為分佈狀況有：A. 壁體胸牆 B.碼頭附屬建物。

(7)崩塌

可能主要因素包括；沉陷、傾斜及導致沉陷之原因，而大量滲水、颱風、地震、不當外力及超載為加速崩塌之主因。

常見各種崩塌之外視異象行為分佈狀況有：A. 壁體胸牆 B.岸肩梁版 C. 岸肩地面 D.後線地面 E.整體。

碼頭常現異象之分佈狀況例，如圖 4.6 至圖 4.9。外示異象整體觀念之描述亦可以圖 4.5 說明之。瞭解圖中關係，將使安全調查之工作與研判之能力提昇。

4.2.11 碼頭本體設施結構之相關標定

為使碼頭結構安全調查者,能明確瞭解種種可能導致碼頭外視異象之基本機制，預先導正對可能異象行為之研判方向，同時提昇調查者之研判力，且為避免於同一異象原因之研判，因不同調查者而於研判之方向與結果產生太大之差異，對於碼頭本體設施結構必須先做好相關之標定。本研究對碼頭本體設施結構之相關標定包括：

(1)導致碼頭本體設施結構外視異象之基本機制標定。

(2)碼頭本體設施結構基本檢測部位之標定。

1. 碼頭本體設施定義與分類

碼頭本體設施相關名詞，本研究採用侯合雄等 1996 年編製，交通部運輸研究所出版之"港灣工程專有名詞"書中之定義[6]。

為精簡研究範圍，使系統之相關處理作業簡化，本研究於碼頭本體設施之研究項目僅限於重力式碼頭、板樁式碼頭與棧橋式碼頭三項，依序逐年研究，而重力式碼頭為今年之研究項目。

依『港灣工程專有名詞』之定義，重力式碼頭分為：沉箱式碼頭、L 型塊式碼頭、方塊式碼頭、空心方塊式碼頭與整塊式碼頭，為簡化系統之相關作業處理，本研究再將重力式碼頭劃分為：沉箱式碼頭與塊式碼頭兩大類。

2. 導致碼頭外部異象基本機制之標定

本研究於碼頭結構，乃延用蘇吉立(2002 年)所建立之標準斷面示意圖以及所統合分析之所有可能導致各式設施異象基本機制之成果，加以檢討整合後重新建立。

94 年已檢討整合建置完成導致重力式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖(如圖 4.10 與圖 4.11)， 95 年近一步增建完成導致版樁式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖(如圖 4.12 與圖 4.13)，96 年度則持續增建完成導致棧橋式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖(如圖 4.14)，所有圖示經本年重新檢視後已略做修正，並改以系統之畫面呈現。

圖 4.10 至圖 4.14 各示意圖中所標示之 13 項行為，均為可能導致該類式碼頭外部異象之基本機制，其所發生之部位並非圖示中之單一點或部位，而是相關之整體或單元，如圖 4.8 中所示機制(12)地震力之影響範圍為碼頭整體，機制(2)不當撞擊力若指船舶未依規定靠岸，其可能產生範圍為岸壁任何部位，機制(2)不當撞擊力若指岸肩任何物體未依規定拋置吊放，其可能產生範圍為岸肩任何部位，機制(5)地表水滲流之可能產生範圍為整個岸肩及後線。

由各項或多項合成之基本機制所產生之外部異象，將不是單一

之異象，異象所產生之部位與範圍亦將是多處與多面，且圖示各項行為將緩慢或立即顯現外視異象。

如圖 4.10 至圖 4.14 中亦同時標定各式碼頭之外視表觀區(勘查範圍)。

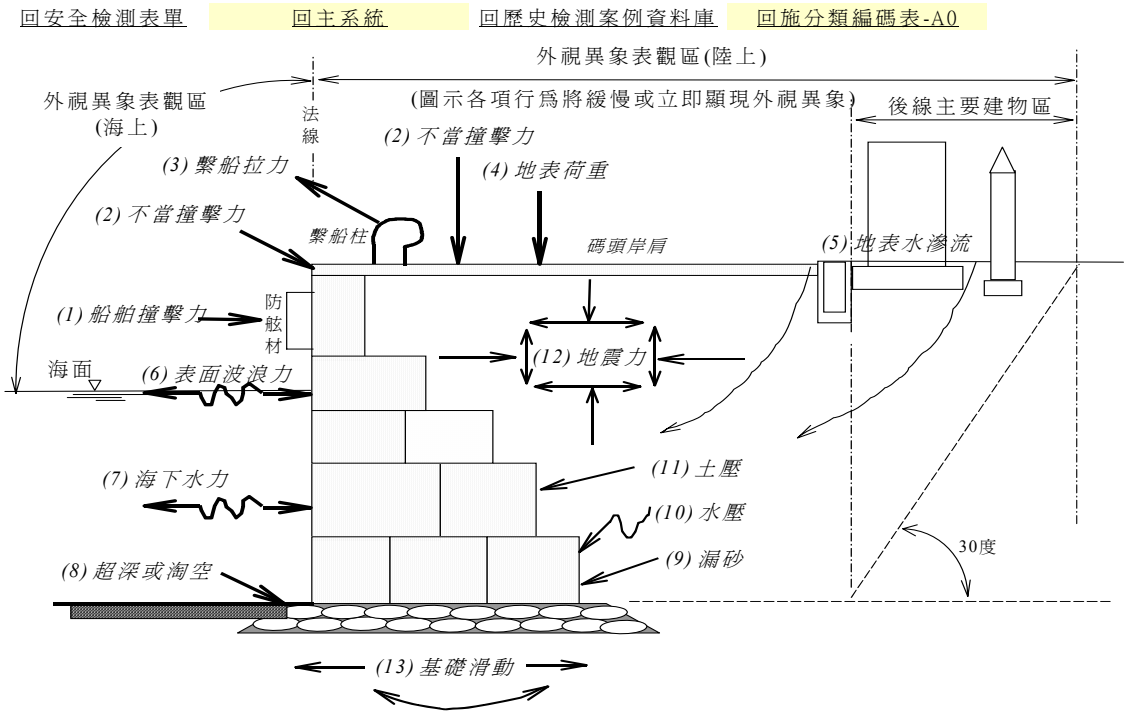


圖 4.10 導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

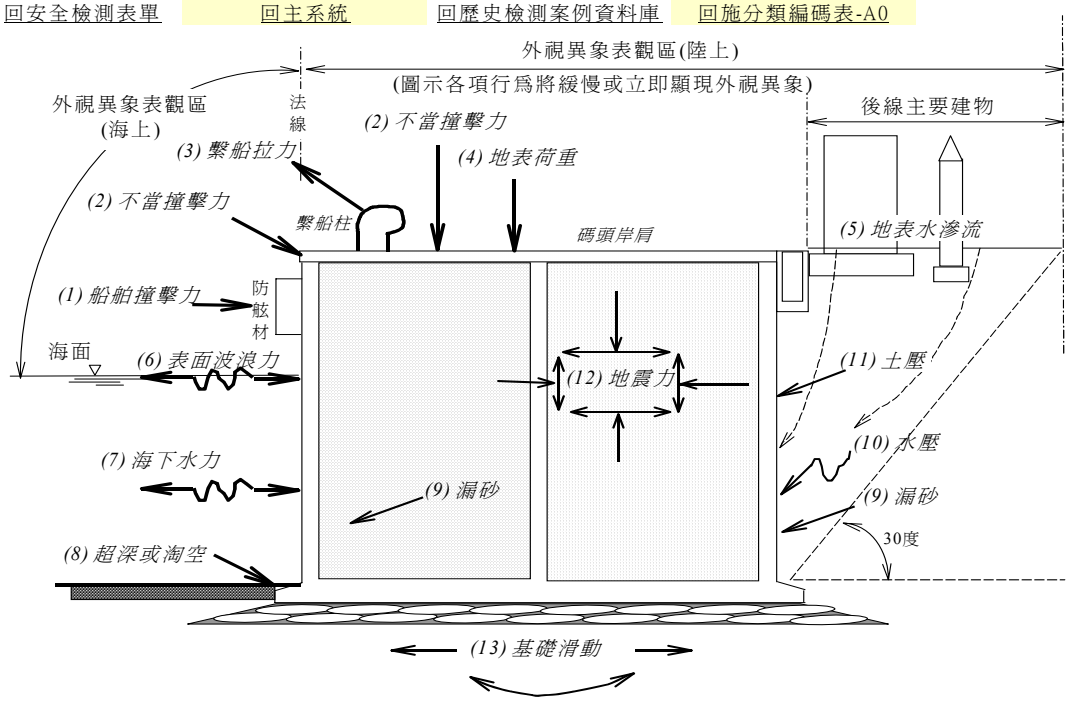


圖 4.11 導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

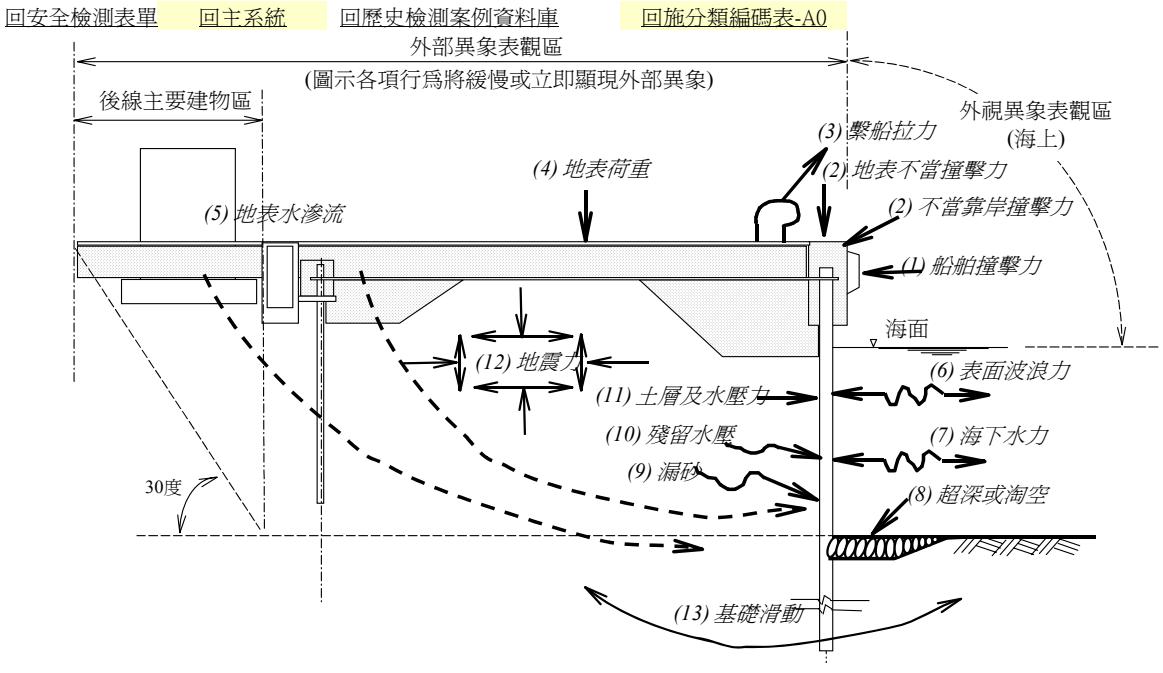


圖 4.12 導致版樁式錨錠樁碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

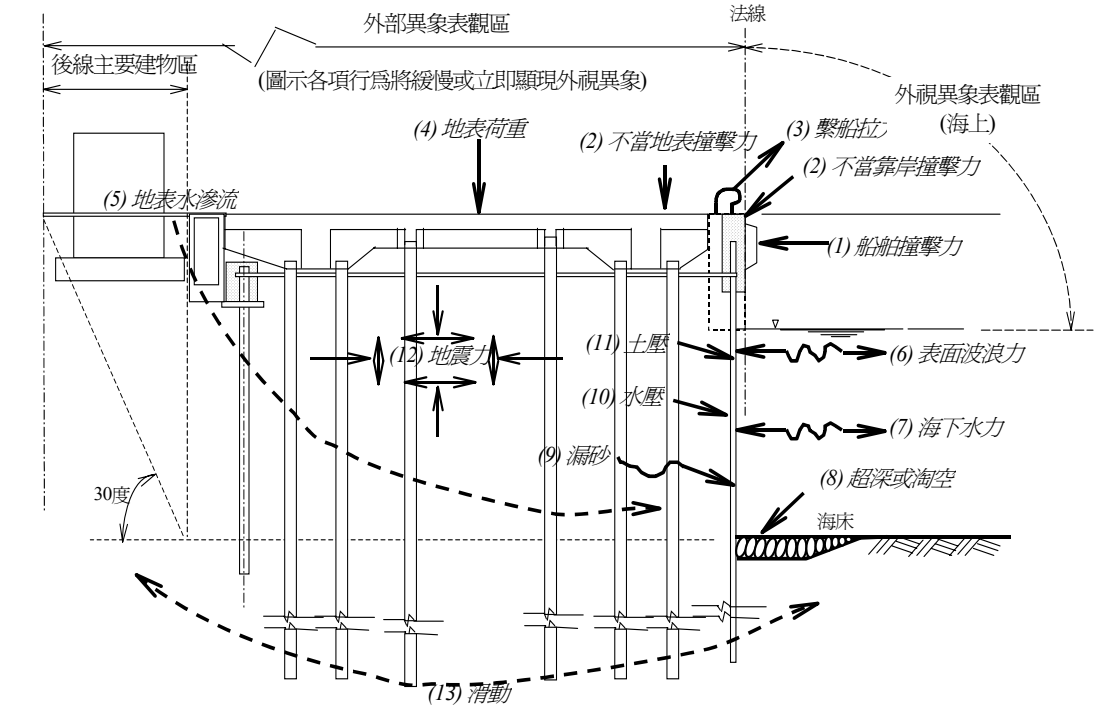


圖 4.13 導致減壓平版式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

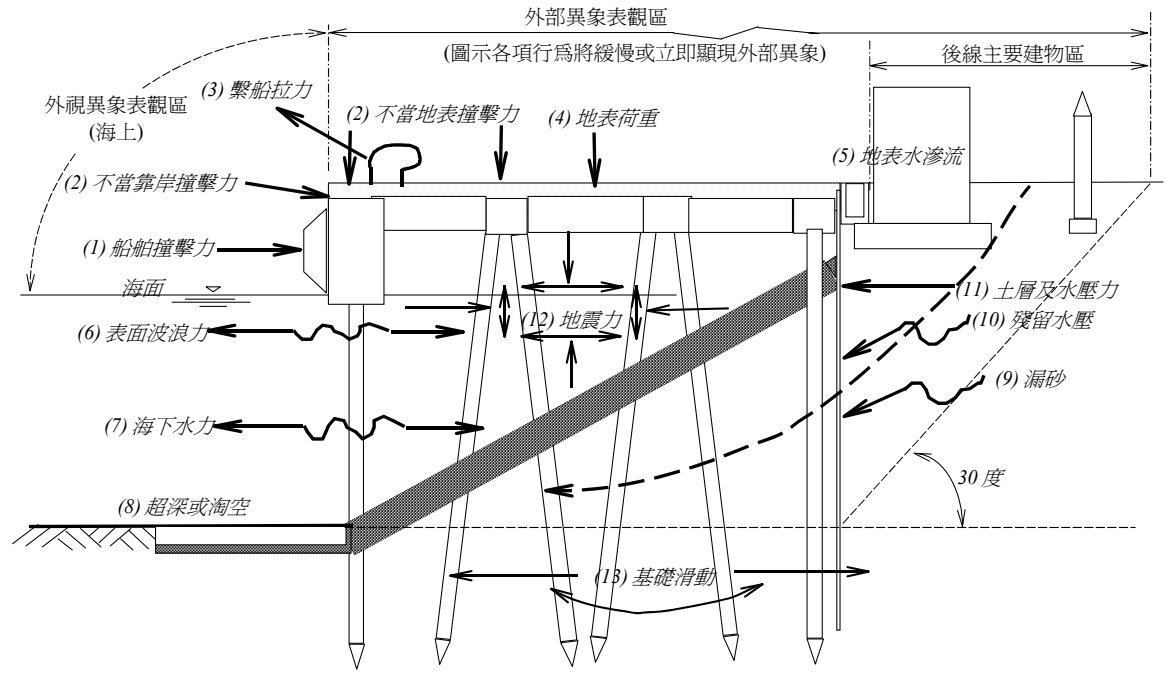


圖 4.14 導致棧橋式碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

3. 碼頭基本檢測部位之標定

除了整合導正異象因素之分析研判基本方向外，亦統一標稱檢測部位與名稱，並依檢測順序與結構型式，加以編號標示。

94 年首先整合建置完成重力式碼頭檢測部位標稱示意圖，如圖 4.15 與圖 4.16， 95 年增建完成版樁式碼頭檢測部位標稱示意圖，如圖 4.17 與圖 4.18，96 年度再續建完成棧橋式碼頭檢測部位標稱示意圖，如圖 4.19。所有圖示經本年重新檢視後已略做修正，並改以系統之畫面呈現。

圖 4.15 至圖 4.19 中標稱之各項檢測部位，即為整合統一後系統之既定基本檢測部位，各部位之基本檢範圍，亦明確標定於標準圖示中。

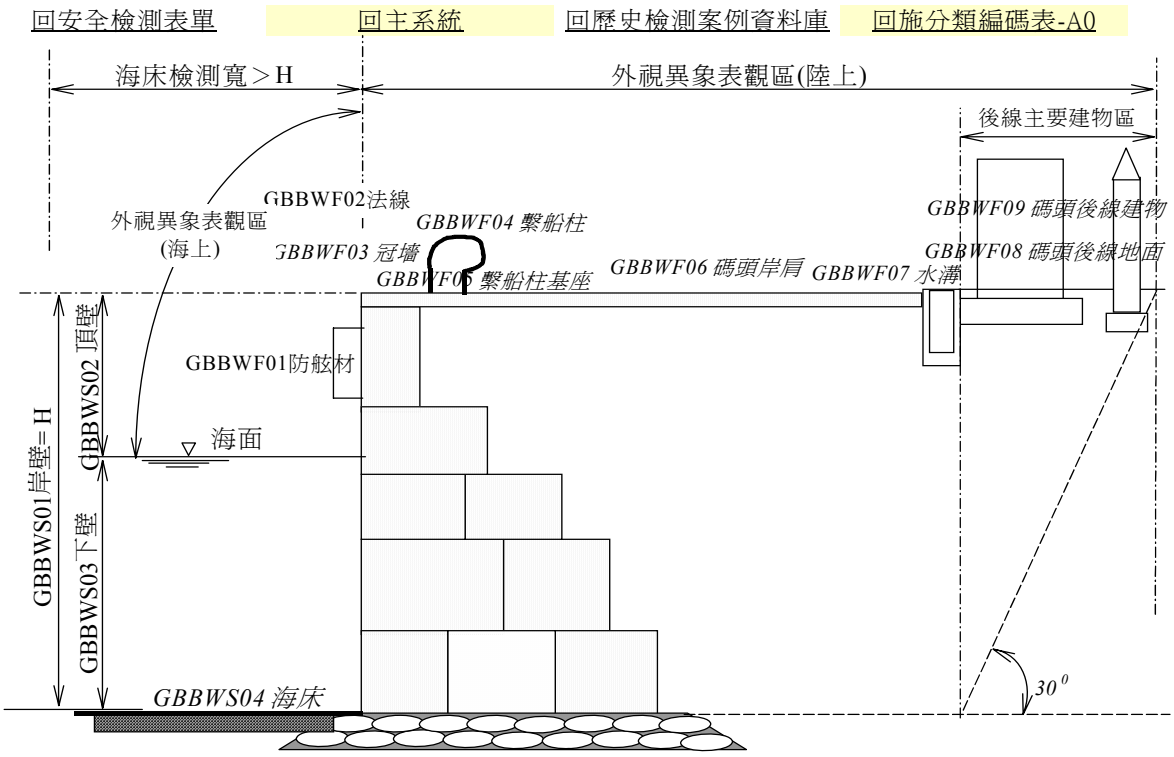


圖 4.15 重力式方塊碼頭檢測部位標稱示意圖

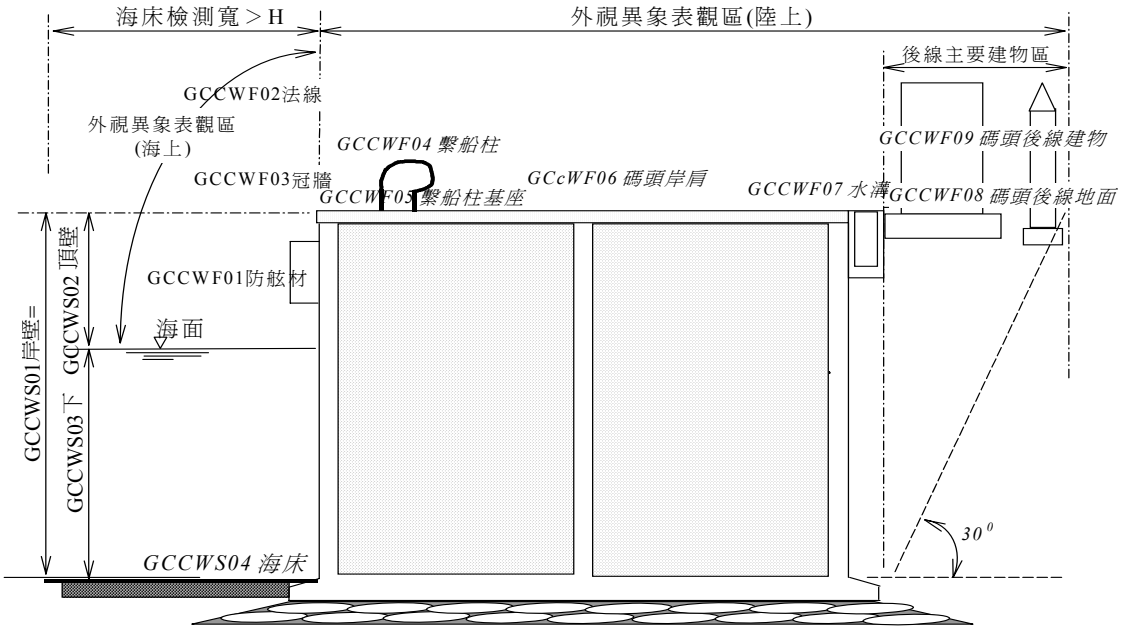


圖 4.16 重力式沉箱碼頭檢測部位標稱示意圖

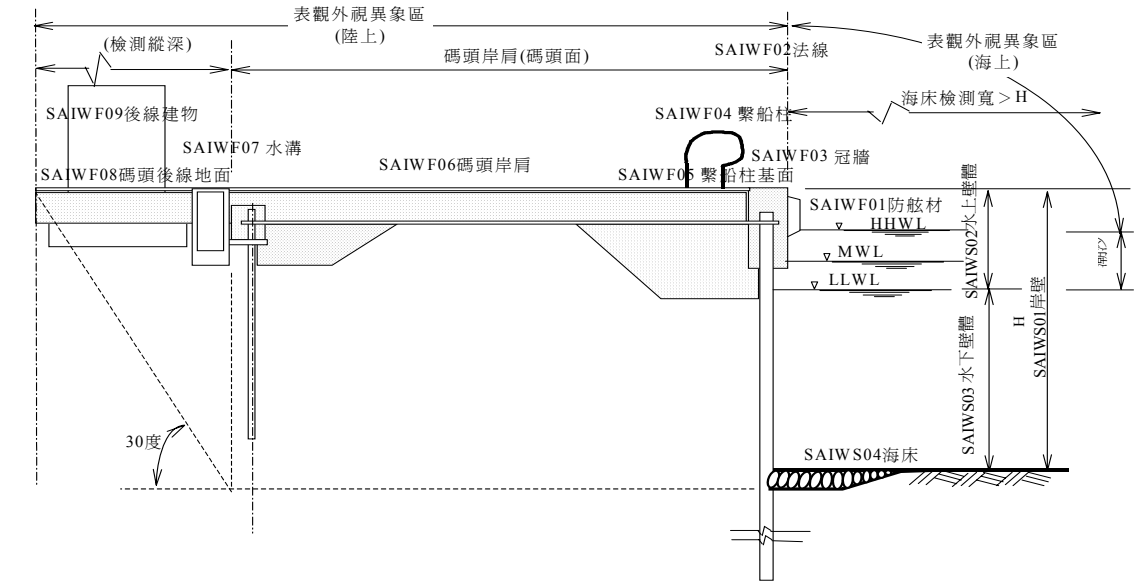


圖 4.17 版樁式錨碇樁碼頭檢測部位標稱示意圖

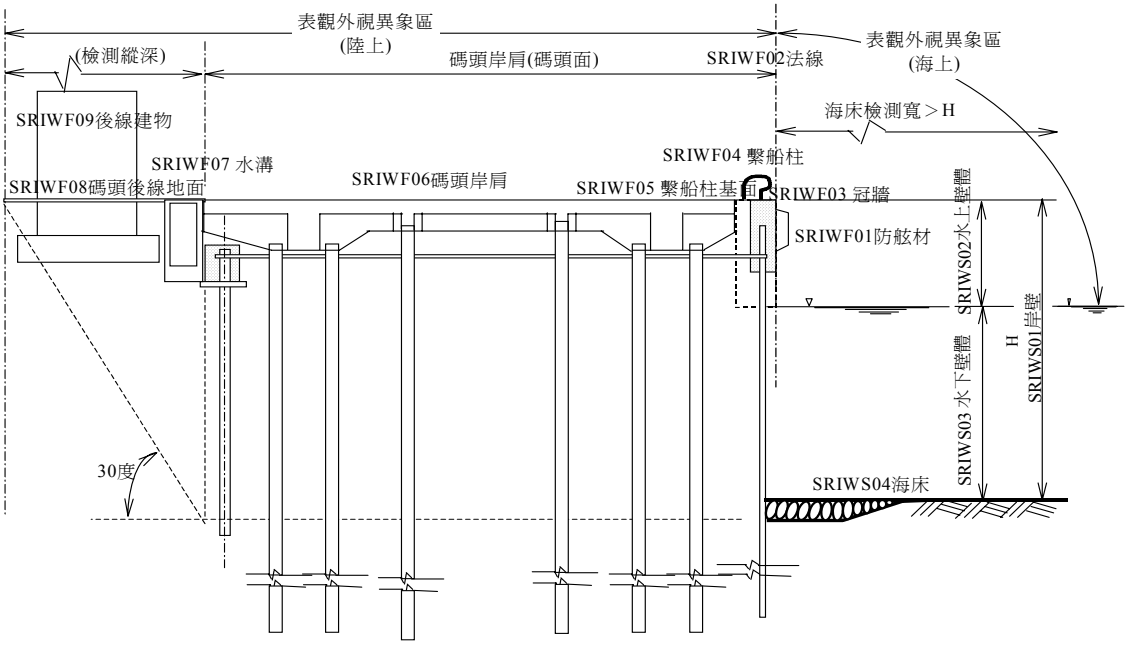


圖 4.18　減壓平版式碼頭檢測部位標稱示意圖

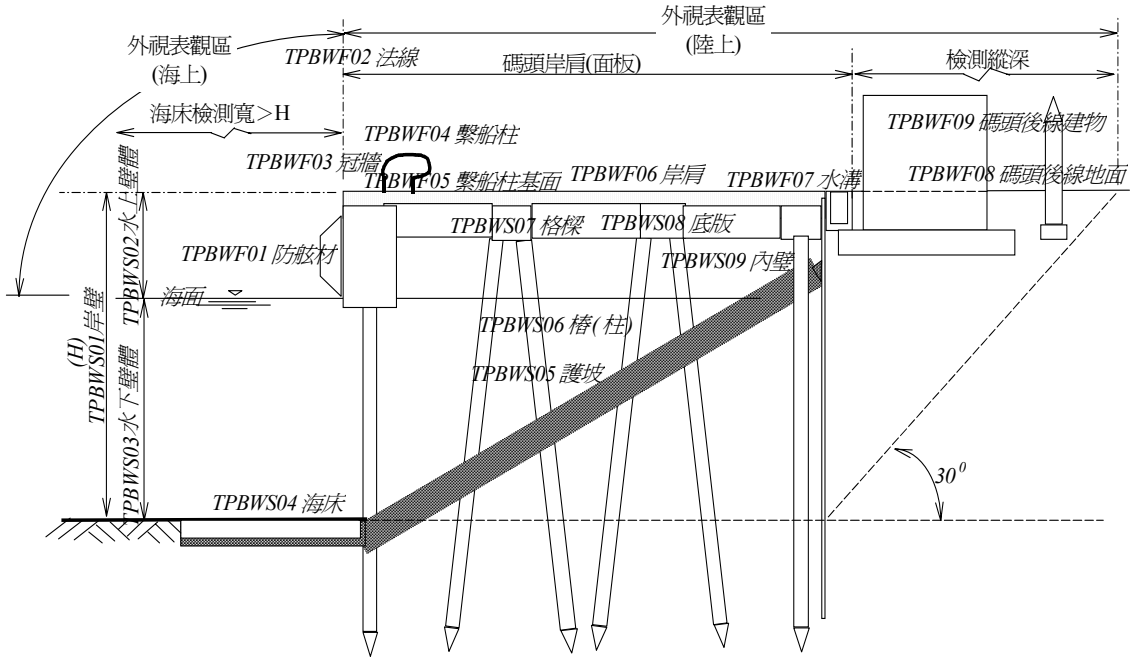


圖 4.19 棧橋式碼頭檢測部位標稱示意圖

4.3 系統建構

本節首先簡要說明與系統建構有關之主要淵源,並強調本系統之主要特點，再一一介紹本系統已建構完成之主要頁面，並說明各頁面之功能與相互關連。

4.3.1 系統研建之淵源

碼頭本體設施安全檢測系統表建構之基本構思，係源自李延恭等 1998 年與蘇吉立 1998 年,且歷經李延恭等 1999 年[21]、蘇吉立等 2000[22] 乃至蘇吉立 2002 年等相關研究，期間並參酌公路局之橋梁檢測系統[23] 與李賢華 2002[1]之部份理念，並於理念與實務上加以整合與檢討修正。然系統之建置初期仍延續蘇吉立 2002 年所建置之架構，重新檢討修正該系統，使該系統更完整、合理與實用。港灣工程單價資料庫則引用蘇吉立 2005 年於港研中心基本研究之成果 [29] 。

4.3.2 系統之特點

本系統研建初期以檢測系統為重心,故本系統之特點實為檢測系統之特點。本檢測系統之建構與展現，係利用 Windows 作業視窗及 Microsoft Excel 作業軟體，將檢測前之基本資料建立、檢測中之異象描述與異象度評定、檢測後之分析評估與基本對策等，依序設計成一系列之安全檢測評估系統表，配合 Microsoft Excel 作業軟體之特性，研建一系列之安全檢測評估系統表而構成一檢測系統。

本檢測系統所強調之特點如下：

1. 明確界定檢測系統適用性。
2. 統合異象分類、檢測項目、檢測內容與異象行為分析觀念。
3. 檢測流程、檢測記錄與檢測報告標準化。
4. 統合分析可能導致各式碼頭外視異象之行為機制。
5. 檢測部位、檢測部位名稱與檢測程序統一化。
6. 檢測評估自動化。

4.3.3 系統首頁之建構

系統之所有查詢平台、介面與資料之儲存，均建構於 EXCEL 表單中，系統首頁之建構如圖 4.20。於系統首頁直接點選港灣工程單價資料庫或歷史檢測案例資料庫之圖示，即可進入該點選之資料庫。

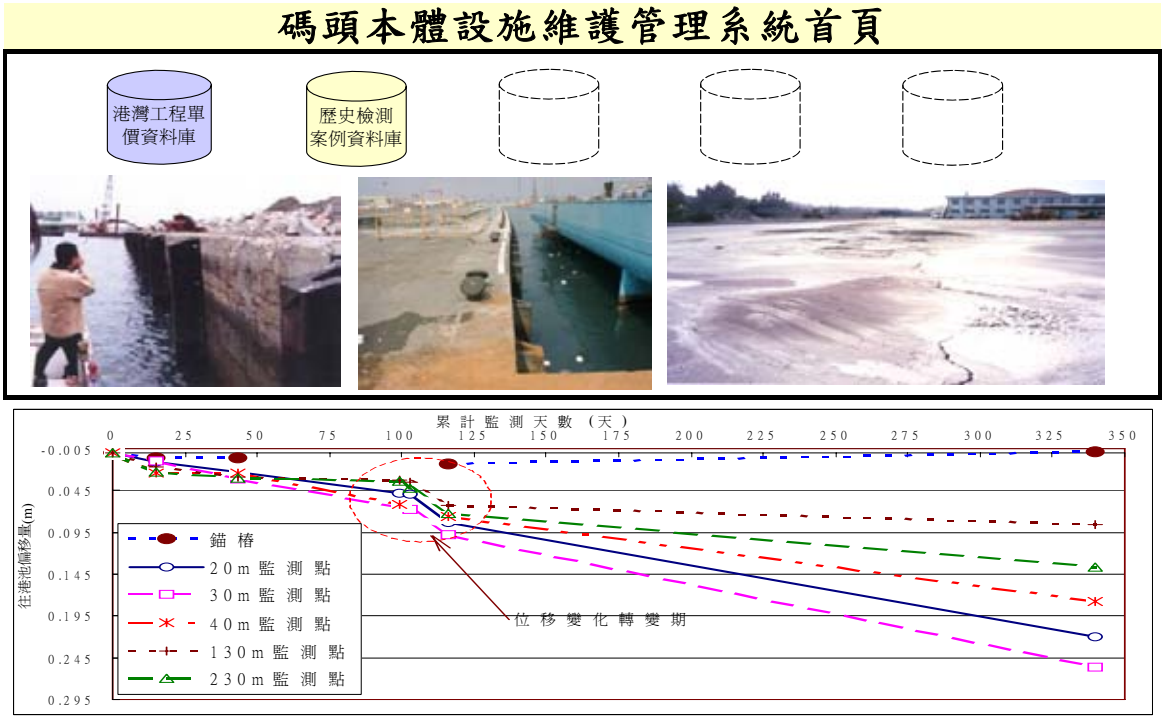


圖 4.20 碼頭本體設施維護管理系統首頁

4.3.4 歷史檢測案例資料庫首頁之建構

歷史檢測案例資料庫首頁亦建構於 EXCEL 表單中，於系統首頁直接點選歷史檢測案例資料庫之圖示，即進入歷史檢測案例資料庫首頁(如圖 4.21)。



圖 4.21 歷史檢測案例資料庫首頁

4.3.5 港灣工程單價資料庫首頁之建構

港灣工程單價資料庫首頁亦建構於 EXCEL 表單中，於系統首頁直接點選港灣工程單價資料庫之圖示，即進入港灣工程單價資料庫首頁(如圖 4.22)。

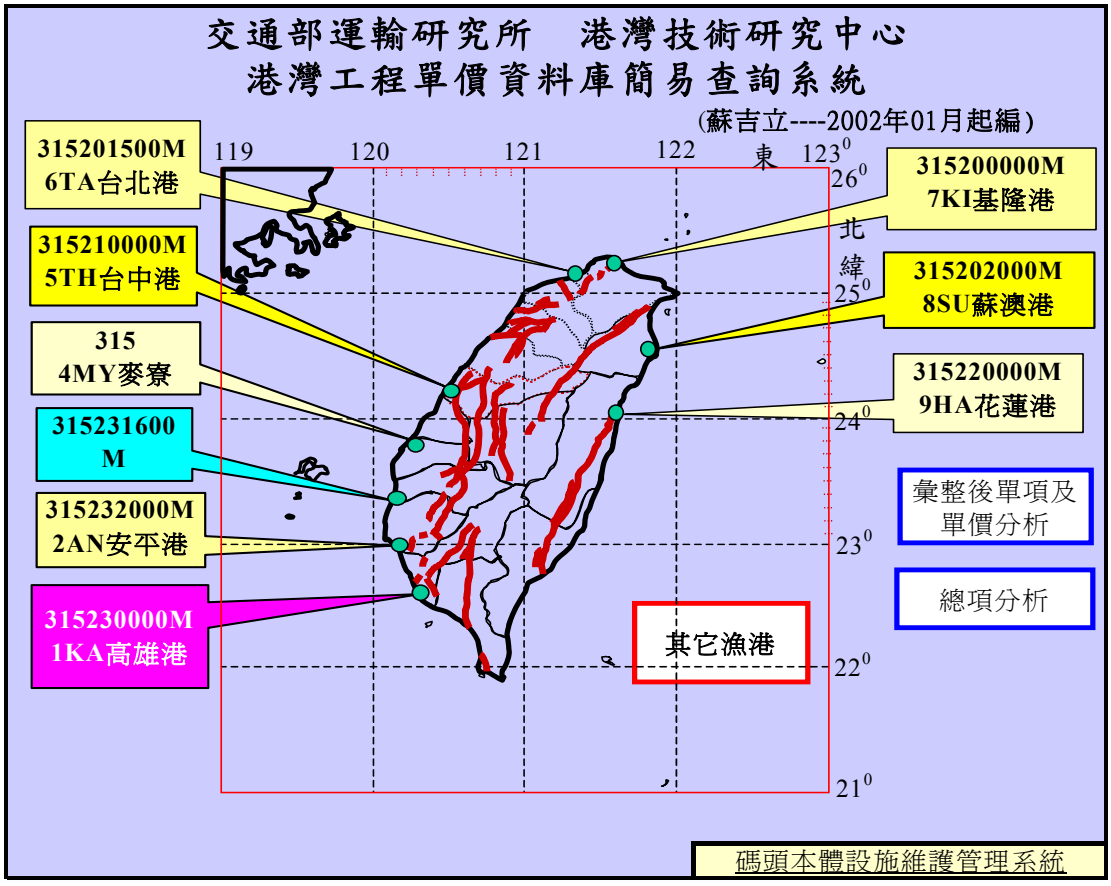


圖 4.22 港灣工程單價資料庫首頁

4.3.6 各港碼頭本體設施維護管理系統首頁之建構

於碼頭本體設施歷史檢測案例資料庫首頁(如圖 4.21)可任意點選須求之港口，例如點選高雄港即進入高雄港碼頭本體設施維護管理系統首頁(如圖 4.23) ，亦可直接點選進入港灣工程單價資料庫首頁(如圖 3-3)或安全檢測表單與參考資料首頁(如圖 4.24)。

高雄港碼頭本體設施維護管理系統

回主系統

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	澎湖	其它漁港
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA	PH	

安全檢測表單與參考資料

港灣工程單價資料庫

檢測日期	碼頭結構型式	碼頭編號	檢測屬性	資料分類	檢測次第	備註
20050523	SAIW	001-1	FF	C0	0001	碼頭基本資料表
20050523	SAIW	001-1	FF	D0	0001	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
20050523	SAIW	001-1	FC	E0	0001	碼頭巡查報告表
20050523	SAIW	001-1	FF	F1	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-1	FF	F2	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-1	FF	F3	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	C0	0001	碼頭基本資料表
20050523	SAIW	001-2	FF	D0	0001	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
20050523	SAIW	001-2	FC	E0	0001	碼頭巡查報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	F1	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	F2	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	F3	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
19970423	SAIW	036-0	FF	C0	0001	碼頭基本資料表
19970423	SAIW	036-0	FF	D0	0001	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
19970423	SAIW	036-0	FC	E0	0001	碼頭巡查報告表
20060907	SAIW	036-0	FF	D0	0002	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
20060907	SAIW	036-0	FC	E0	0002	碼頭巡查報告表

圖 4.23 各港碼頭本體設施維護管理系統首頁(高雄港例)

於各港碼頭本體設施維護管理系統首頁中，對於該港碼頭之歷史檢測案例均表列其中，可直接查詢之表列資料包刮：檢測日期、碼頭結構形式、碼頭編號、檢測屬性、資料分類、檢測次第與備註(資料內容說明) 。

4.3.7 安全檢測表單與參考資料首頁之建構

目前已建構完成之安全檢測表單與參考資料首頁如圖 4.24,頁中系統編碼 A0、B0、G0、H0~4 為資料參考圖表，提供檢測作業、評估、與決策之參考，C0、D0、E0、F1~3、S1~6 則為檢測評估表，使用者可直接於頁面點選需求之參考圖表資料或檢測表單，於此頁面亦可直接點選橫向連結至各港碼頭本體設施維護管理系統首頁，亦可直接點選返回主系統頁面(如圖 4.20) 。

回主系統　　最新更修日期　200706

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	澎湖
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA	0PH

系統表之編碼與分類

系統表編碼	設施編碼	檢測性質編碼	檢測次數編碼	檢測表單編碼	分類
A0					常用碼頭及本體設施分類編碼表
B0					碼頭基本勘查內容(項目)參考表
C0	SSSW	**OF**	0001	01	碼頭基本資料表
D0	SSSW	OF	0001	01	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
E0	SSSW	OC	0001	01	碼頭巡查報告表
F1	SSSW	**OF**	0001	01	碼頭勘查要點與DER評估報告表
F2	SSSW	**OF**	0001	02	碼頭勘查要點與DER評估報告表
F3	SSSW	**OF**	0001	03	碼頭勘查要點與DER評估報告表
G0					碼頭外視異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表
H0					碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表
H1					安全檢測作業綱要與流程圖
H2					重力式碼頭水下檢測作業綱要與流程
H3					鋼板(管)樁碼頭水下檢測作業綱要與流程
H4					棧橋式碼頭水下檢測作業綱要與流程
S1	SSSW	**OS**	0001	01	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S2	SSSW	**OS**	0001	02	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S3	SSSW	**OS**	0001	03	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S4	SSSW	**OS**	0001	04	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S5	SSSW	**OS**	0001	05	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S6	SSSW	**OS**	0001	06	碼頭細部檢測整體評估建議之基本維護與對策內容表
異象圖例					

代號補充說明					
SSS	系統	OC	平時巡查	FS	例行細勘
W	碼頭	OF	平時初勘	SF	災害初勘
OD	基本對策參考資料	OS	平時細勘	SS	災害細勘
		FF	例行初勘		

圖 4.24 安全檢測表單與參考資料首頁

4.3.8 各區域港灣工程單價資料庫首頁之建構

以高雄港為例，其建構完成之首頁如圖 4.25，欲進入此頁面可由港灣工程單價資料庫首頁(圖 4.22)直接點選高雄港之圖示即可。

於各區域首頁表單中均表列歷史案例單價之資料表，可於表列中直接點選欲查詢該區之案例單價資料，亦可直接點選進入其它港區之查詢或回系統主頁面。

交通部運輸研究所　港灣技術研究中心

港灣工程單價資料庫簡易查詢系統

高雄港工程單價資料庫

(蘇吉立----2002年01月起編)

系統首頁

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	其它漁港	彙整後單項工程單價	總項工程單價
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA			
版樁式碼頭	重力式碼頭	棧橋式碼頭	其它型式碼頭	護岸	防波堤	附屬建物或設施	造地及其它	**單價及單價分析**	施工記事及說明		
1KA08703012000	1KA08701151000	1KA08701152000		1KA08701153000	1KA08907010000	1KA00000002000繫船柱	1KA00000001000港域開發	1KA00000002100繫船柱更新			
1KA08908000000		1KA08703011000				1KA08701154000景觀	1KA08703014000浚填	1KA08704161000一般土木			
		1KA08904010000				1KA08703013000船渠機電	1KA08709040000遮陽棚監造	1KA08707041000一般土木			
		1KA09101140000				1KA08704160000塔台	1KA08902170000委託管理	1KA08712001000水電			
						1KA08707040000場地	1KA08906080000設計監造	1KA08712002000水電			
						1KA08804271000登記站	1KA08906280000委託調查	1KA08712003000一般土木			
						1KA08804272000車棚建築	1KA08811161000版樁防蝕	1KA08712004000水電			
						1KA08811010000軌道圍籬	1KA08811162000板樁防蝕	1KA08712005000水電			
						1KA08906090000路拓寬		1KA08712006000水電			

圖 4.25　高雄港工程單價資料庫首頁

4.3.9 彙整後單項及單價分析資料庫首頁之建構

彙整後單項及單價分析資料之首頁如圖 4.26，欲進入此頁面可由港灣工程單價資料庫首頁(圖 4.22)或各港區首頁(如圖 4.25)直接點選彙整後單項及單價分析即可。

可於彙整後單項及單價分析資料庫首頁之表列中直接搜尋點選欲查詢之常用工程項目單價及單價分析資料，亦可直接點選進入其它港區之查詢或回系統首頁。

交通部運輸研究所　港灣技術研究中心

港灣工程歷史單價資料庫簡易查詢系統

彙整後單項及單價分析資料庫首頁

系統首頁　　(蘇吉立----2008年再修)

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	其它漁港	單項工程	總項工程單價	資料蒐集與整理現
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA				

預算項目名稱與單價初步分析整合結果(初步建議)

公共工程綱要編碼		常用項目名稱	統合彙整後之建議項目名稱	常用單位	建議單位	參考施工量	歷史參考單價(新台幣元)					單價分析參考
							高	中	低			
01	**300**	**工程管理需求**										
	321	施工照相及錄影	施工照相	式	式	1						
			施工錄影		式							
01	**500**	**施工設施及臨時管制**										
		臨時假設工程		式								
	522	臨時工務所	臨時工務所	式	式	1		250000				
	522	施工棚(含辦公室倉庫等設備)	臨時施工棚	式	式	1		18200				
			臨時工務所	式	式							
			臨時倉庫	式	式							
		臨時水電及電信設備費用	臨時水電設備	月	式	20		60000				
			臨時電訊設備									
		臨時水電費	臨時水電費	式	月	1		73000				
		臨時電話費	臨時電訊費	式	月	1		15000				
01	564	臨時性安全圍籬 (2 m 高鋼浪鈑)	H=2 m 鋼浪鈑臨時安全圍籬	M	M	289		1800				
		假設工程(含臨時性安全圍籬 2 m 高鋼浪鈑)	假設工程	式	式	1		2170200				
			H=2 m 鋼浪鈑臨時安全圍籬									
		船機動復員費	船機動復員費	次		1		38000				
		臨時擋土支撐系統打設及拆除	臨時擋土支撐系統打設	M		325		1000				
			臨時擋土支撐系統拆除									
		臨時圍籬拆除及運棄	臨時圍籬拆除	M		477		260				
		臨時抽水費	臨時抽水費	座		32		3500				

圖 4.26 彙整後單項及單價分析資料庫首頁

4.3.10 安全檢測表單與參考資料之建構

目前已建構完成之安全檢測表單共有檢測系統表 C0、D0、E0、F1~3、S1~6 等表單(如首頁圖 4.24 中所列)，已建構完成之資料參考圖表則有檢測系統表 A0、B0、G0、H0~4 等 (如首頁圖 4.24 中所列)，所有安全檢測表單與參考資料之建構分述於下列各節。

1. 檢測系統表 A0 之建構

系統表 A0 之建構，係將常用碼頭結構型式、附屬建物及附屬設施加以分類後編碼，並利用 Microsoft Excel 彙整列表，表中亦將已標定建構完成各式碼頭之異象機制圖與檢測部位圖標示於表中(如表 4-2)。

此表於系統中屬資料參考類，除可查詢常用碼頭結構型式、附屬建物及附屬設施之編碼意義外，亦可查詢系統已標定建構完成各式碼頭之異象機制圖與檢測部位圖示。

表 4-2 港灣設施安全檢測評估系統表-A0

回安全檢測表單　回主系統

港灣設施安全檢測評估系統表-A0

常用碼頭及本體設施分類編碼表							
碼頭主體				附屬建物		附屬設施	
編碼	結構型式	已建異象機制圖	已建檢測部位標稱	編碼	名稱	編碼	名稱
GCCW	**重力式沉箱碼頭**	✓	✓	BO	辦公室	CC	繫船柱基座
GLBW	重力式L型塊碼頭			BW	倉庫	CB	繫船柱
GCBW	重力式空心方塊碼頭			BT	通棧	CF	防舷材
GBBW	**重力式方塊碼頭**	✓	✓	BS	圓庫	C	車檔
SALW	版樁式錨碇版碼頭			BC	輸送設施	C	水溝
SAIW	**版樁式錨碇樁碼頭**	✓	✓	SY	堆貨場		
SRIW	**平版樁基式碼頭(減壓平版式碼頭)**	✓	✓	CY	貨櫃場		
TSVW	棧橋式鋼管直樁碼頭						
TSBW	**棧橋式鋼管斜樁碼頭**	✓	✓				
TPVW	棧橋式PC直樁碼頭						
TBTW	**橋墩式棧橋碼頭**						
TPBW	**棧橋式PC斜樁碼頭**						

蘇吉立2008版

2. 檢測系統表 B0 之建構

系統表 B0 之建構，係將目前已標定之碼頭基本勘查內容(項目)，分陸上及水下兩部份利用 Microsoft Excel 依序彙整列表。各勘查內容(項目)代號標定之順序，陸上部份係由防舷材往上往內，水下標定順序係由岸壁往下往外，整體標定內容順序與代號詳如表 4-3。

此表於系統中屬資料參考類，表中所列勘查項目，即為系統建議之基本勘查項目，所列順序亦為本系統建議之現地勘查要點與順序。

表 4-3　港灣設施安全檢測評估系統表-B0

回安全檢測表單　　回主系統

港灣設施安全檢測評估系統表-B0

碼頭基本勘查內容（項目）參考表			
代號	內容(項目)	代號	內容(項目)
陸上勘查			
WF01-3	防舷材破裂	WF06-1	岸肩腐蝕
WF01-7	防舷材崩塌	WF06-2	岸肩龜縫
WF02-5O	法線外拱	WF06-3	岸肩破縫
WF02-5I	法線內拱	WF06-4	岸肩沉陷
WF03-1	冠牆腐蝕	WF06-5	岸肩拱起
WF03-2	冠牆龜縫	WF06-6	岸肩傾斜
WF03-3	冠牆破縫	WF06-7	岸肩崩塌
WF03-4	冠牆沉陷	WF07-3	水溝破裂
WF03-6	冠牆傾斜	WF07-4	水溝沉陷
WF03-7	冠牆崩塌	WF07-7	水溝崩塌
WF04-1	繫船柱腐蝕	WF08-3	後線地面破裂
WF04-3	繫船柱破裂	WF08-4	後線地面沉陷
WF05-3	繫船柱基面破裂	WF08-7	後線地面崩塌
WF05-6	繫船柱基傾斜	WF09-4	後線建物沉陷
WF05-7	繫船柱基崩塌	WF09-6	後線建物傾斜
		WF09-7	後線建物崩塌
C08-水下巡檢			
WS01-C08-1	水下異象檢視	WS05-C08-11	護坡檢視
WS01-C08-2	水下照相	WS06-C08-12	樁頭檢視
WS01-C08-3	水深檢測	WS06-C08-13	樁身破裂檢測
WS01-C08-4	壁體傾斜檢測	WS06-C08-14	樁腐蝕電位檢測
WS01-C08-5	壁體破裂檢視	WS06-C08-15	樁厚度檢測
WS01-C08-6	壁體漏沙檢視	WS06-C08-16	樁身傾斜檢視
WS01-C08-7	海床掏刷檢視	WS06-C08-17	底樑檢視
WS04-C08-8	海床拱起檢視	WS06-C08-18	底版檢視
WS04-C08-9	海床淤砂檢視	WS06-C08-19	內壁檢視
WS04-C08-10	防淘刷體檢視		

蘇吉立 2007版

3. 檢測系統表 C0 之建構

檢測系統表 C0 之建構，亦利用 Microsoft Excel 建立一資料表，主要在建置儲存碼頭基本資料。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-4。此表於檢測系統中屬檢測評估類。

表 4-4　港灣設施安全檢測評估系統表-C0

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-C0

| 基本資料表SSSW-OF-0001-00 | | |

4. 檢測系統表 D0 之建構

檢測系統表 D0 之建構，亦利用 Microsoft Excel 建立一資料表，主要在建置儲存碼頭基本檢測照片、檢測圖述與檢測紀錄。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-5。此表於系統中屬檢測評估類。

表 4-5　港灣設施安全檢測評估系統表-D0

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-D0

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表SSSW-OF-0001-00																							
檢測資料屬性	區域		既有		改建		翻修		年份		月份												
	平時		例行		災害	✓																	
	巡查		初勘		細勘																		
碼頭名稱																							
碼頭用途屬性	軍用		貨櫃		散雜		水泥		穀		油		化		漁		港勤		客		其它		
																					✓		
碼頭型式	重力式		✓	版樁式			棧橋式				平版樁基式				護岸				其它				
岸壁結構	方塊	✓	沉箱		鋼板		鋼管		PC圓樁		PC版樁		其他										
岸肩結構	方塊	✓	沉箱		鋼管直樁		鋼管斜樁		PC斜樁		PC直樁		其他										
錨碇結構	鋼版樁		鋼管樁		PC圓樁		PC版樁		無		其他												
岸肩或背填料	砂		砂石級配		碎石級配		卵石級配		塊石級配		回填料		其它										
岸肩面板	RC		PC	✓	AC		卵石級配		碎石級配		其他												
基本外視異象檢測照片及描繪記錄圖																							
檢測單位：	港灣技術研究中心						檢測人員：																
檢測日期：　　年　　月　　日																			第　　頁 共　　頁				

5. 檢測系統表 E0 之建構

檢測系統表 E0 之建構，亦利用 Microsoft Excel 建立一調查表，主要在提供一般基層人員於平時、例行或災害時之綜合性快速檢測與評估報告用，報告之目的在提供決策之快速而適當處置之依據，亦為細部檢測之參考依據。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-6。

表 4-6　港灣設施安全檢測評估系統表-E0

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　　20080609年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-E0

碼頭巡查報告表-TBTW-FC-0001

| | | |

6. 檢測系統表 F1 之建構

檢測系統表 F1 之建構，亦利用 Microsoft Excel 建立一調查表，主要在提供一般基層人員於平時、例行或災害時之初勘與評估報告用。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-7。

表 4-7　港灣設施安全檢測評估系統表-F1

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-F1

| 碼頭勘查要點與DER評估報告表SSSW-OF-0001-01 | | |

7. 檢測系統表 F2 之建構

檢測系統表 F2 之建構與功用如同 F1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-8。

表 4-8　港灣設施安全檢測評估系統表-F2

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-F2

| **碼頭勘查要點與DER評估報告表SSSW-OF-0001-02** | | |

8. 檢測系統表 F3 之建構

檢測系統表 F3 之建構與功用如同 F1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-9。

表 4-9　港灣設施安全檢測評估系統表-F3

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-F3

| 碼頭勘查要點與DER評估報告表SSSW-OF-0001-03 | | |

表 4-10 港灣設施安全檢測評估系統表-G0

回安全檢測表單 **回主系統**

港灣設施安全檢測評估系統表-G0

碼頭外視異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表					
外視異象分類		外視異象度綜合等級分類			
		A級	B級	C級	O級
1.腐蝕	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	一般外視異象	銹水、龜裂、破裂、拱起			
	檢、監測	**S01、C01~C04**	**S01、C01~C04**	**S01、C01~C04**	
	維護與對策	**G01、G04、G05、G13、G14、G15、G16、G17**	**G01、G04、G05、G07、G8、G16**	**G01、G04、G16**	**G01、G04**
2.龜裂	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	一般外視異象	有規則長裂縫		不規則短裂縫	
	檢、監測	**S00、S02、C01~C05、SS00、SS02**	**S00、S02、C01~C05、SS00、SS02**	**S02、C01~C05、SS02**	**S02、C01~C05、SS02**
	維護與對策	**G01、G05、G13、G14、G15、G16、G17**	**G01、G03、G05、G07、G08、G16**	**G01、G03、G16**	**G01、G03**
3.破裂	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	一般外視異象	有規則長裂縫		不規則短裂縫	
	檢、監測	**S00、S03、C01~C05、SS00、SS02**	**S00、S03、C01~C05、SS00、SS02**	**S03、C01~C05、SS02**	**S03、C01~C05、SS02**
	維護與對策	**G01、G05、G13、G14、G15、G16、G17**	**G01、G04、G05、G07、G08、G16**	**G01、G04、G16**	**G01、G03**
4.沉陷	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	沉陷量	沉陷量大於20cm	沉陷量10~15cm	沉陷量5~10cm	沉陷量小於5cm
	檢、監測	**S00~S04、C06~C08、SS00、SS04**	**S00~S04、C06~C08、SS00、SS04**	**S00~S04、C06~C08、SS00、SS04**	
	維護與對策	**G01、G05、G07、G14**	**G01、G05、G07、G14**	**G01、G05**	**G01**
5.拱起	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	拱起量	拱起量大於10cm	拱起量10~5cm		拱起量小於5cm
	檢、監測	**S00~S05、C06~C08、SS00~SS05**	**S00~S05、C06~C08、SS00~SS05**		
	維護與對策	**G01、G07、G14~G15**	**G01、G14~G15**		**G01**
6.傾斜	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	傾斜量	2%(或法線外移>30cm)	2~1%(或法線外移10~30cm)	<1%(或法線外移<10cm)	無
	檢、監測	**S00~S06、C06~C08、SS00~SS06**	**S00~S06、C06~C08、SS00~SS06**	**S00~S06、C06~C08、SS00~SS06**	
	維護與對策	**G01、G13~G15**	**G01、G07、G14~G15**	**G01、G14~G15**	**G01**
7.崩塌	外視分佈範圍	>45%	45~25%	25~5%	<5%
	一般外視異象	崩垮	傾崩	崩陷	崩破
	檢、監測	**S00~S07、C06~C08、SS00~SS06**	**S00~S07、C06~C08、SS00~SS06**	**S00~S07、C06~C08、SS00~SS06**	**S00~S07、C06~C08、SS00~SS06**
	維護與對策	**G01、G13~G17**	**G01、G13~G17**	**G01、G07、G14~G16**	**G01、G07~G08**
註		A表示高度警示	B表示中度警示	C表示警示	O表示正常

蘇吉立200701更修

10.檢測系統表 H0 之建構

檢測系統表 H0 之建構，係將整合分類後之所有基本細部檢測與監測以及基本維護與基本對策等均給予相對代號，並利用 Microsoft Excel 彙整列表。

此表於系統中屬資料參考類，主要提供一般基層人於細勘時選擇擬實施之基本檢監測項目以及基本維護與對策項目之參考。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-11。

表 4-11　港灣設施安全檢測評估系統表-H0

回安全檢測表單　**回主系統**

港灣設施安全檢測評估系統表-H0

碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表									
外部或水上		隱性或水下				監測		基本維護與對策	
代號	內容	代號	內容	代號	內容	代號	內容	代號	內容
S00	法線檢測	C01	保護層厚度檢測	C08-11	護坡檢視	SS00	法線監測	G01	阻絕外部滲流水源
S01	腐蝕檢測	C02	強度檢測	C08-12	樁頭檢視	SS02	裂縫監測	G02	整治排水系統
S02	龜裂檢測	C03	氯離子含量檢測	C08-13	樁身破裂檢測	SS04	沉陷監測	G03	裂縫填補
S03	破裂檢測	C04	中性化深度檢測	C08-14	樁腐蝕電位檢測	SS05	拱起監測	G04	面層清理補修
S04	沉陷檢測	C05	裂縫深度檢測	C08-15	樁厚度檢測	SS06	傾斜監測	G05	面層全面整修
S05	拱起檢測	C06	孔洞檢測	C08-16	樁身傾斜檢視			G06	漏砂填補
S06	傾斜檢測	C07	地質補充調查	C08-17	底樑檢視			G07	部份管制
S07	崩塌檢測	C08	水下巡檢	C08-18	底版檢視			G08	部份補強
		C08-1	水下異象檢視	C08-19	內壁檢視			G09	岸肩警示
		C08-2	水下照相					G10	岸肩交通管制
		C08-3	水深檢測					G11	岸肩工作管制
		C08-4	壁體傾斜檢測					G12	海上警示
		C08-5	壁體破裂檢視					G13	全面管制
		C08-6	壁體漏沙檢視					G14	全面評估
		C08-7	海床掏刷檢視					G14-1	結構設計校核
		C08-8	海床拱起檢視					G14-2	穩定分析
		C08-9	海床淤砂檢視					G14-3	耐震分析
		C08-10	防淘刷體檢視					G14-4	抗液化分析
								G15	全面補強
								G16	部份更修
								G17	全面改建

蘇吉立200701更修

11.檢測系統圖 H1 之建構

檢測系統圖 H1 為本研究對於碼頭安全檢測所規劃建議之安全檢測作業綱要與流程圖，屬檢測系統參考圖，其中規劃建議之內容與流程詳如圖 4.27 。全圖亦配合系統建構於 Microsoft Excel 表單下。

此圖於系統中屬資料參考類，主要提供一般基層人於檢測作業規劃與檢測作業流程之參考。

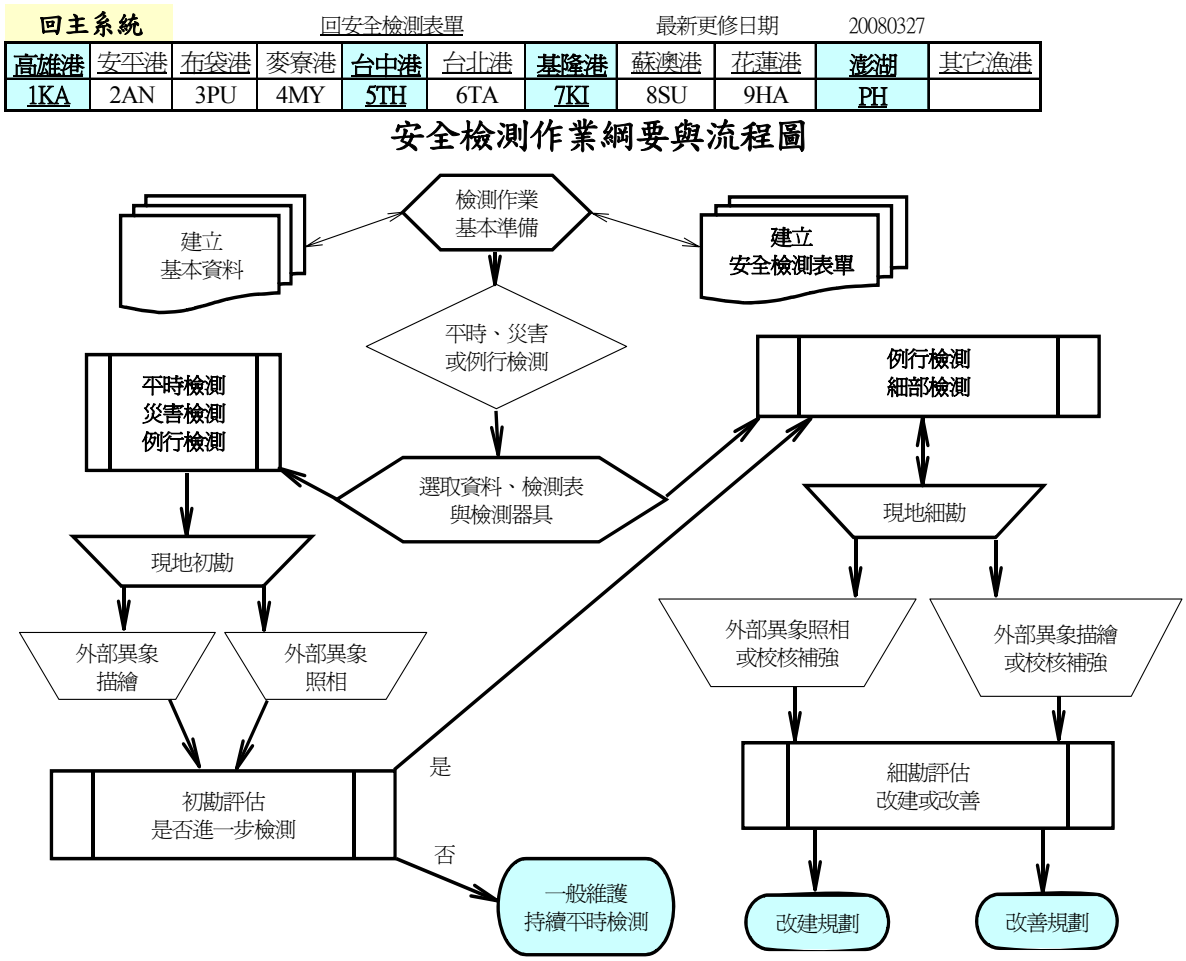


圖 4.27 安全檢測作業綱要與流程圖-H1

12.檢測系統圖 H2 之建構

檢測系統圖 H2 為本研究對於重力式碼頭水下安全檢測所規劃建議之安全檢測作業綱要與流程圖，全圖亦配合系統建構於 Microsoft Excel 表單下，其中規劃建議之內容與流程詳如圖 4.28。此圖於系統中屬資料參考類，主要提供一般基層人於重力式碼頭水下安全檢測作業規劃與檢測作業流程之參考。

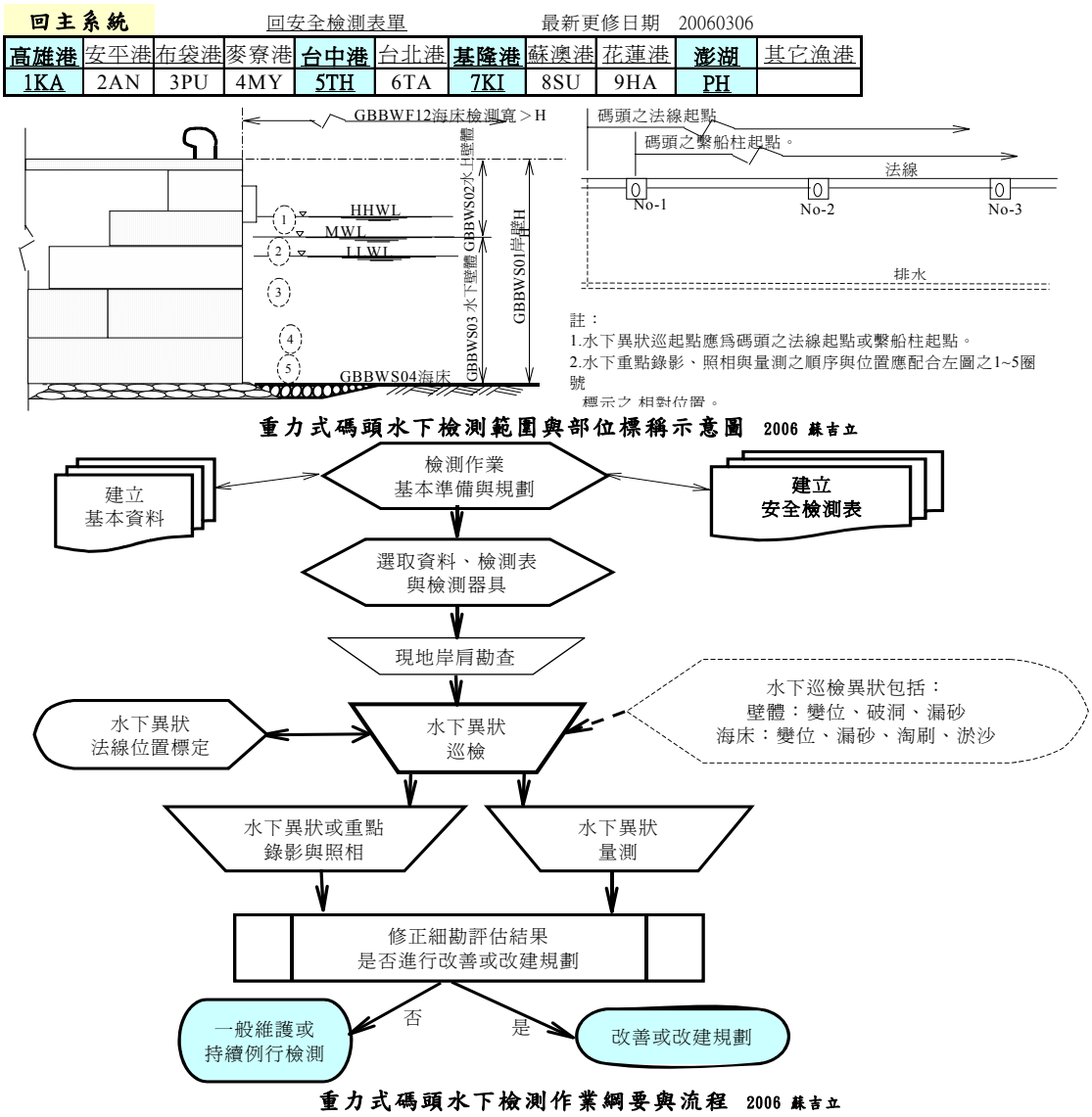


圖 4.28 重力式碼頭水下檢測作業綱要與流程圖-H2

13.檢測系統圖 H3 之建構

檢測系統圖 H3 為本研究對於鋼版(管)樁碼頭水下檢測所規劃建議之安全檢測作業綱要與流程圖，全圖亦配合系統建構於 Microsoft Excel 表單下，其中規劃建議之內容與流程詳如圖 4.29。

此圖於系統中屬資料參考類，主要提供一般基層人於鋼版(管)樁碼頭水下安全檢測作業規劃與檢測作業流程之參考。

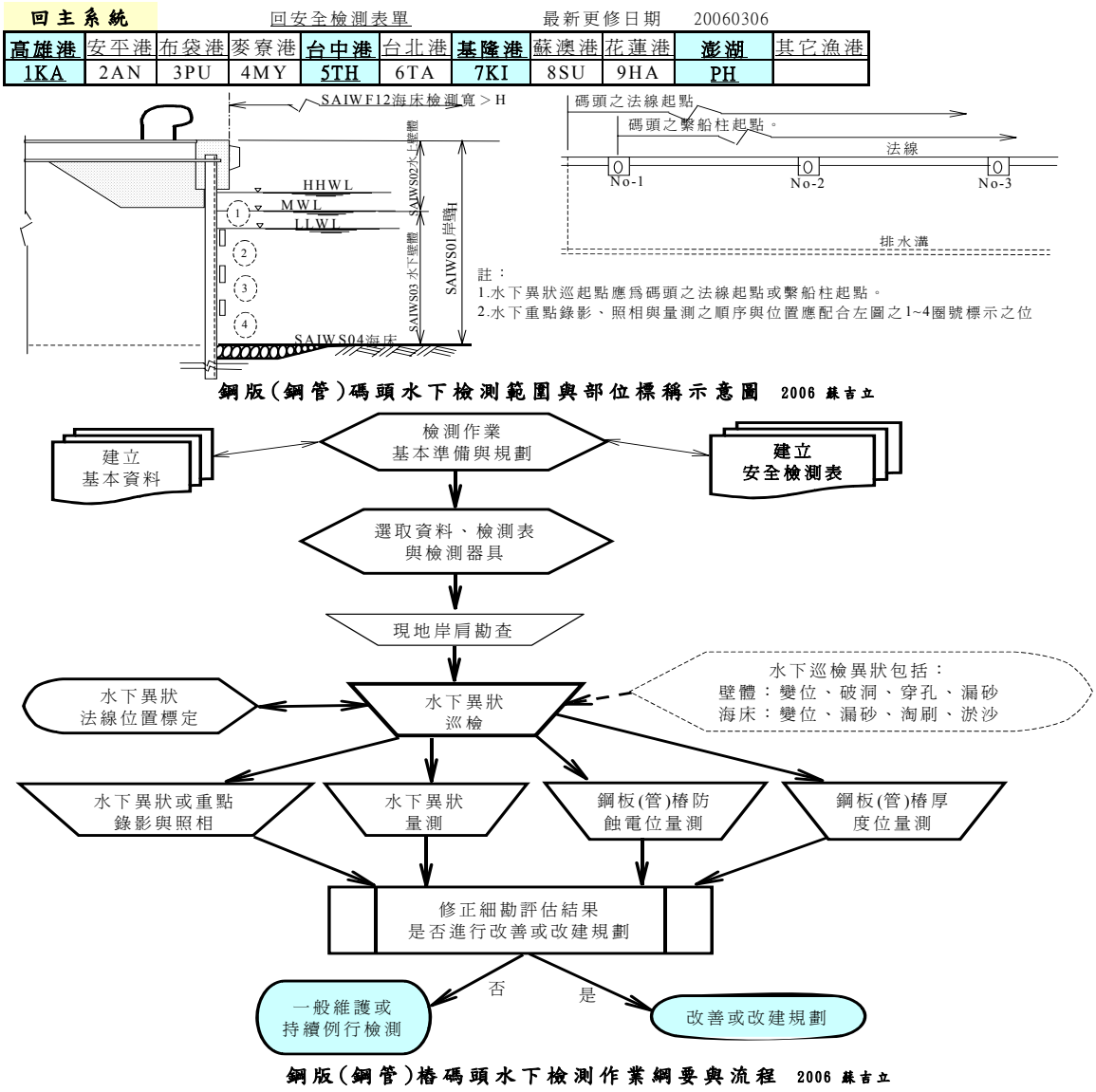


圖 4.29 鋼版(鋼管)樁碼頭水下檢測作業綱要與流程圖-H3

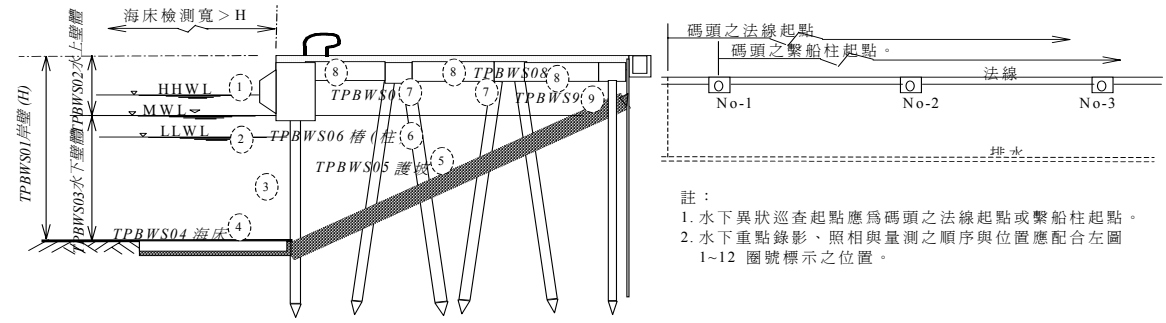
14.檢測系統圖 H4 之建構

檢測系統圖 H4 為本研究對於棧橋式碼頭水下檢測所規劃建議之安全檢測作業綱要與流程圖，全圖亦配合系統建構於 Microsoft Excel 表單下，其中規劃建議之內容與流程詳如圖 4.30。

此圖於系統中屬資料參考類，主要提供一般基層人於棧橋式碼頭水下安全檢測作業規劃與檢測作業流程之參考。

回主系統　　回安全檢測表單　　最新更修日期　2008

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	澎湖	其它漁港
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA	PH	



棧橋式碼頭水下檢測範圍與部位標稱示意圖　2008 蘇吉立更修

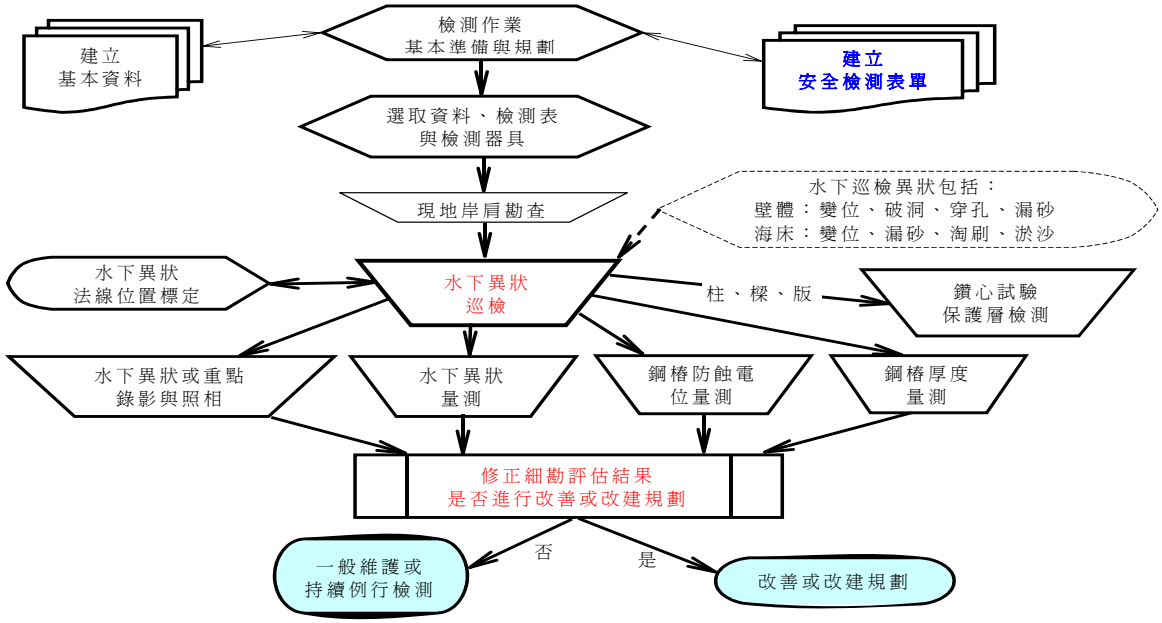


圖 4.30 棧橋式碼頭水下檢測作業綱要與流程圖-H4

15.檢測系統表 S1 之建構

檢測系統表 S1 之建構，亦利用 Microsoft Excel 建立一調查表，主要在提供一般基層人員於例行或災害時之細勘與評估報告用。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-12。主要內容為碼頭防舷材、法線、冠牆與繫船柱之細部檢測評估。

表 4-12　港灣設施安全檢測評估系統表-S1

回安全檢測表單　　回主系統　　回歷史檢測案例資料庫　　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S1

| 碼頭細部檢測要點與DER評估內容表SSSW-OS-0001-01 | | |

16.檢測系統表 S2 之建構

檢測系統表 S2 之建構與功能如同 S1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-13。主要內容為碼頭繫船柱基與岸肩(1-3 項異象)之細部檢測評估。

表 4-13　港灣設施安全檢測評估系統表-S2

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S2

| **碼頭細部檢測要點與DER評估內容表GBBW-OS-0001-02** | | |

17.檢測系統表 S3 之建構

檢測系統表 S3 之建構與功能如同 S1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-14。主要內容為碼頭岸肩(4-7 項異象)、水溝與後線之細部檢測評估。

表 4-14 港灣設施安全檢測評估系統表-S3

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200705年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S3

| **碼頭細部檢測要點與DER評估內容表SSSW-OS-0001-03** | | |

18.檢測系統表 S4 之建構

檢測系統表 S4 之建構與功能如同 S1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-15。主要內容為海床與碼頭結構之水下細部檢測評估。

表 4-15　港灣設施安全檢測評估系統表-S4

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200705年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S4

| **碼頭細部檢測要點與DER評估內容表SSSW-OS-0001-04** | | |

19.檢測系統表 S5 之建構

檢測系統表 S5 之建構與功能如同 S1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-16。主要內容為棧橋式碼頭結構之水下細部檢測評估。

表 4-16 港灣設施安全檢測評估系統表-S5

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200806年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S5

| 碼頭細部檢測要點與DER評估內容表SSSW-OS-0001-05 | | |

20.檢測系統表 S6 之建構

檢測系統表 S6 之建構與功能如同 S1。目前整合修建完成之表單格式與建置內容詳如表 4-17。主要內容為碼頭細部檢測後之整體評估所做成之基本維護與對策之建議。

表 4-17 港灣設施安全檢測評估系統表-S6

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200705年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S6

碼頭細部檢測整體評估建議之基本維護與對策內容表SSSW-OS-0001-06																				
檢測資料屬性	區域		既有	✓	改建		翻修		年份		月份									
	平時		例行	✓	災害															
	巡查		初勘		細勘															
碼頭名稱																				
碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港勤	客	其它									
碼頭型式	重力式		版樁式		棧橋式		平版樁基式			護岸		其它								
岸壁結構	方塊	✓	沉箱		鋼板		鋼管		PC版樁		PC圓樁		其他							
岸肩結構	方塊	✓	沉箱		鋼管直樁		鋼管斜樁		PC斜樁		PC直樁		其他							
錨碇結構	鋼版樁		鋼管樁		PC圓樁		PC版樁		無		其他									
岸肩或背填料	砂		砂石級配		碎石級配		卵石級配		塊石級配		回填料		其他							
岸肩面板	RC		PC		AC		卵石級配		碎石級配		其他									

整體基本維護與對策之建議

編號	處置對策	說明	勾選
G01	阻絕外部滲流水源		✓
G02	整治排水系統		✓
G03	裂縫填補		
G04	面層清理補修		
G05	面層全面整修		
G06	漏砂填補		
G07	部份管制		
G08	部份補強		
G09	岸肩警示		
G10	岸肩交通管制		
G11	岸肩工作管制		
G12	海上警示		
G13	全面管制		
G14	全面評估		
G14-1	結構設計校核		
G14-2	穩定分析		
G14-3	耐震分析		
G14-4	抗液化分析		
G15	全面補強		
G16	部份更修		
G17	全面改建		✓

檢測單位：	港灣技術研究中心							
檢測人員：	蘇吉立							

檢測日期：　年　月　日　評估表頁數: 第　頁 共　頁　200705蘇吉立更修

4.3.11　彙整後單價分析表之建構

本系統目前彙整後之單價分析表格式如表 4-18 之例 1-船席岩方浚挖及運棄。以例 1-船席岩方浚挖及運棄來探討，於格式、工料明細與工料量上均可再進行檢討、整合、改進與修正。

表 4-18 彙整後單價分析表例 1-船席岩方浚挖及運棄

回系統首頁　　彙整後單項及單價分析資料庫首頁

單 價 分 析 表

工程地點： 基隆港

工程名稱： 基隆港西三十二號碼頭船席岩盤浚挖工程(參考基準)

工程項目： 船席岩方浚挖及運棄

工程項目編碼：　　工程項目編號：　　編製日期： 85年12月

工料明細		工料量		工料價		附　註
		單位	數量	單　價	複　價	
1.	潛水及鑿碎工	工	3.00	3,015.00	9,045.00	
2.	潛水及小工	工	3.00	1,206.00	3,618.00	
3.	風車租借及油料	式	1.00	975.00	975.00	
4.	鑽機租借及鑽頭	式	1.00	1,096.00	1,096.00	
5.	棄土運棄	M^3	1.00	211.00	211.00	
6.	測量繪圖及定位費(含浚挖中與浚挖後)	式	1.00	121.00	121.00	
7.	障礙物處理費	式				
8.	動復員費	式				
9.	工料損耗	式	1.00	34.00	34.00	
工程項目單價合計		M^3			15,100.00	元(新台幣)

審核　計算

另例 2-潛水伕組探討，如同例 1-船席岩方浚挖及運棄，於格式、工料明細與工料量上亦可再進行檢討、整合、改進與修正。

本例最大之問題再於工資之編列與十祭出入太大。

表 4-19　彙整後單價分析表例 2-潛水伕組

回系統首頁　　彙整後單項及單價分析資料庫首頁

單 價 分 析 表

工程地點： 高雄港
工程名稱： 安平港工程預算(參考基準單價不變內容修改)
工程項目： 潛水伕組
工程項目編碼：　　工程項目編號：　　編製日期： 89年 2月

工料明細		工料量		工料價		附　註
		單位	數量	單　價	複　價	
1.	潛水伕	工	1.00	1,600.00	1,600.00	?工資有問題
2.	助手	工	1.00	1,400.00	1,400.00	?工資有問題
3.	壓氣工工資	工	1.00	1,200.00	1,200.00	?工資有問題
4.	舢舨租金	式	1.00	500.00	500.00	
5.	工料損耗	式	1.00	100.00	100.00	含零星工料機具
工程項目單價合計		組			4,800.00	元(新台幣)

審核　計算

4.4 系統應用與說明

為達系統之實用性與可行性，於檢測系統上，除藉歷史災害或破壞案例作為驗證與修正外，並再將驗證與修正後之系統應用於現地。所有驗證與應用過之案例均同時建置於歷史檢測資料庫中。

系統目前用於驗證之歷史案例有：臺中港 1 號(重力式)碼頭與澎湖龍門尖山港五期(重力式)碼頭。現地應用測試之案例則有：高雄港、臺北港與基隆港等多處碼頭，碼頭形式涵蓋重力式、錨錠式鋼板樁與棧橋式。

本年度研究工作著重於安全檢測系統與港灣工程資料庫之整合，並將安全檢測系統做最後檢討與修正，再應用於基隆港西 2 至 4 號碼頭之現地調查與評估。

因基隆港西 2 至 4 號碼頭狀況大致類似，故本章僅利用基隆港西 2 號碼頭之現地調查與評估之應用案例進行本系統之應用與說明，下列各章節係依該案之執行過程作為本系統之應用範例解說。

4.4.1 作業規劃

基隆港西 2 號碼頭現地調查與評估之整體作業規劃如圖 4.27 安全檢測作業綱要與流程圖-H1，係本系統目前建議之安全檢測作業綱要與流程。依圖 4.27 所規劃之作業階段依序可分為：

1. 準備作業。
2. 現地初勘作業。
3. 初勘評估作業。
4. 現地細勘作業。
5. 細勘評估作業。

4.4.2 準備作業

如圖 4.27 (安全檢測作業綱要與流程圖-H1)內容所示，準備作業包刮：資料蒐集、資訊蒐集、了解資料、了解資訊、檢測屬性判訂、建立安全檢測表單、選取現地檢測所需之檢測器具等。所有準備作業無所先後，應同時或交叉進行，資料與資訊應予比對，視案情可透過會議詳加研討資料與資訊。所有主要安全檢測表單本系統已事先建構，可直接於系統之安全檢測表單與參考資料首頁(圖 4.24)瀏覽選取。

於基隆港西 2 號碼頭案例屬特殊目的研究調查,故檢測屬性判訂為例行檢測。因本次例行檢測為本案之首次檢測，故屬性判訂後，須選取現地初勘檢測所需之相關參考資料、檢測表與檢測器具，並將相關基本資料與資訊預先建入選取之相關檢測表，準備執行本次例行檢測之首次現地初勘檢測作業。

本案首先選取初勘檢測作業之表單包刮：C0-基本資料表、D0-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表、E0-碼頭巡查報告表(本案例於初勘並未採用 F1-F3 碼頭勘查要點與 DER 評估報告表)。

4.4.3 現地初勘與初勘評估作業

初勘作業分為現地初勘(室外)作業與初勘評估(室內)作業，現地初勘作業包刮：勘查現地、照相、填寫碼頭巡查報告表、碼頭異象描繪等。

進入現場所先應先勘查現地再行照相,照相順序應依繫船柱編號進行，並由防舷材、法線、冠牆、繫船柱、岸肩、水溝、後線等依序照相，照相完成續填碼頭巡查報告表與描繪碼頭異象，此時地初勘(室外)作業才算完成。

初勘評估(室內)作業主要工作為資料比對、整理、建置、評估與建議。作業順序首先須整理建置勘查照片，再重新整理建置現地預先描繪之碼頭異象與勘查照片於系統表-D0(碼頭檢測圖述、照片與紀錄表)，並以照片重新校核整理確認現地預先填寫之系統表-E0(碼頭巡查報告表)。

1. 檢測系統表-C0 之應用與說明

本案初勘實際完成之系統表- C0 如表 4-20 基隆港西 2 號碼頭基本資料表。因碼頭管理資訊一直缺乏，且本碼頭起造於民國 41 年，故表中缺乏很多資料無法建立。

表 4-20　基隆港西 2 號碼頭基本資料表

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-C0

基本資料表TBTW-OF-0001-00																												
檢測資料屬性	區域	KI	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2008	月份	3																
	平時		例行	✓	災害																							
	巡查		初勘	✓	細勘																							
碼頭名稱	基隆港西 2 碼頭																											
碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港勤	客	其它																	
			✓							✓																		
碼頭型式	重力式		版樁式		棧橋式	✓	平版樁基式		護岸		其它	✓																
岸壁結構	方塊		沉箱		鋼板		鋼管		PC圓樁		PC版樁		其他	✓	起造於民國41年柱採井筒式及砌石之橋墩式結構底床主要爲拋石及袋？混泥土												
岸肩結構	方塊		沉箱		鋼管直樁		鋼管斜樁		PC斜樁		PC直樁		其他	✓														
錨碇結構	鋼版樁		鋼管樁		PC圓樁		PC版樁		無		其他	✓																
岸肩或背填料	砂		砂石級配		碎石級配		卵石級配	✓	塊石級配		回填料		其它	✓														
岸肩面板	RC		PC	✓	AC		卵石級配		碎石級配		其他																	
碼頭起造日期	年	41	月		碼頭完工日期		年		月		碼頭啟用日期		年		月													
設計標高：	EL+m	3.00	基本設計圖(電子檔)																									
設計海床：	EL-m	-9.00	平面	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								
設計坡度：	%		斷面	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								
設計船舶：	噸(級)		細部	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								
設計震度：	震度(gal)		施工照片	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								
設計載重：	T/m^2	2.00	施工監測	E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								

基本完工照片			
法線、防舷材照片	繫船柱、冠牆照片	岸肩照片	水溝照片
照片編號	照片編號	照片編號	照片編號
法線、防舷材照片	繫船柱、冠牆照片	岸肩順照片	後線地面照片
照片編號	照片編號	照片編號	照片編號
法線、防舷材照片	繫船柱、冠牆照片	岸肩照片	後線建物照片
照片編號	照片編號	照片編號	照片編號

檢測單位：	港灣技術研究中心	檢測人員：	蘇吉立		

檢測日期：　2008　年　3 月　17　日　　第　1 頁　共　1 頁

2. 檢測系統表-D0 之應用與說明

本案初勘實際完成之系統表-D0 包刮：表 4-21 至 4-23 之碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-D1 至 D3。

表 4-21 (檢測系統表-D1)之紀錄內容有表頭之基本資料、外示異象平面描繪紀錄圖及部份照片。

表 4-21　基隆港西 2 號碼頭檢測圖述與照片紀錄表-D1

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

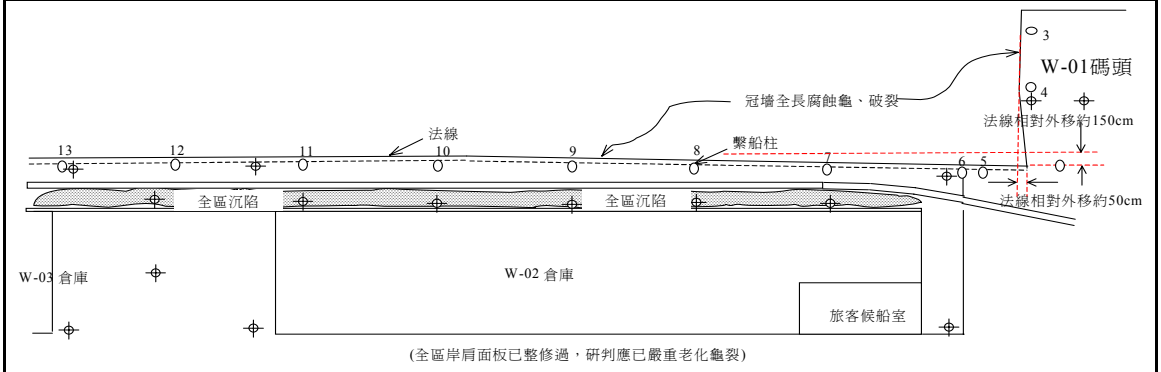
港灣設施安全檢測評估系統表-D1

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表TBTW-FF-0001-01

檢測資料屬性	區域	KI	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2008	月份	3	
	平時		例行	✓	災害								
	巡查		初勘	✓	細勘								
碼頭名稱	基隆港西02碼頭												
碼頭用途屬性	軍用		貨櫃		散雜	✓	水泥		穀		油		
	化		漁		港勤		客	✓	其它				
碼頭型式	重力式		版樁式		棧橋式	✓	平版樁基式		護岸		其它	✓	
岸壁結構	方塊		沉箱		鋼板		鋼管		PC圓樁		PC版樁		其他 ✓
岸肩結構	方塊		沉箱		鋼管直樁		鋼管斜樁		PC斜樁		PC直樁		其他 ✓
錨碇結構	鋼版樁		鋼管樁		PC圓樁		PC版樁		無	✓	其他		
岸肩或背填料	砂		砂石級配		碎石級配		卵石級配		塊石級配		回填料	✓	其它 ✓
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他		

起造於民國41年柱採井筒式及砌石之橋墩式結構底床主要爲拋石及袋？混泥土

外視異象平面描繪記錄圖



(全區岸肩面板已整修過，研判應已嚴重老化龜裂)

W-02碼頭

外視異象檢測照片



20080317KIW02TBTWF01-1



20080317KIW02TBTWF01-2



20080317KIW01TBTWF01-1



20080317KIW01TBTWF03-1

檢測單位：	港灣技術研究中心	檢測人員：	蘇吉立	柯正龍	張道光
			陳桂清	羅建明	

檢測日期：　2008　年　3 月　17　日　　第　1 頁　共　3 頁

表 4-22(檢測系統表-D2)之紀錄內容有表頭之部份基本資料、及部份照片。

表 4-22　基隆港西 2 號碼頭檢測照片紀錄表-D2

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-D2

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表TBTW-FF-0001-01

檢測資料屬性	區域	KI	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2008	月份	3
	平時		例行	✓	災害							
	巡查		初勘	✓	細勘							
碼頭名稱	基隆港西02碼頭											
碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港勤	客	其它	
			✓							✓		
碼頭型式	重力式		版樁式		棧橋式	✓	平版樁基式		護岸		其它	✓

外視異象檢測照片


20080317KIW02TBTWF03-1


20080317KIW02TBTWF3-2


20080317KIW02TBTWF02-1


20080317KIW02TBTWF01-3


20080317KIW02TBTWF01-4


20080317KIW02TBTWF06-1


20080317KIW02TBTWF04-1


20080317KIW02TBTWF06-2


20080317KIW02TBTWF03-3


20080317KIW02TBTWF06-3


20080317KIW02TBTWF08-1


20080317KIW02TBTWF08-2


20080317KIW02TBTWF04-2


20080317KIW02TBTWF04-3


20080317KIW02TBTWF06-4


20080317KIW02TBTWF09-1

檢測單位：	港灣技術研究中心		檢測人員：	蘇吉立	柯正龍	張道光
				陳桂清	羅建明	

檢測日期：　2008 年　3 月　17 日　　第 2 頁 共 3 頁

表 4-23(檢測系統表-D3)之紀錄內容有表頭之部份基本資料、及部份照片。

表 4-23　基隆港西 2 號碼頭檢測照片紀錄表-D3

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-D3

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表TBTW-FF-0001-01

檢測資料屬性	區域	**KI**	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2008	月份	3	
	平時		例行	✓	災害								
	巡查		初勘	✓	細勘								
碼頭名稱	**基隆港西02碼頭**												
碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港勤	客	其它		
			✓							✓			
碼頭型式	重力式		版樁式		棧橋式	✓	平版樁基式		護岸		其它	✓	

外視異象檢測照片


20080317KIW02TBTWF06-5


20080317KIW02TBTWF04-4


20080317KIW02TBTWF04-5


20080317KIW02TBTWF06-6


20080317KIW02TBTWF06-7


20080317KIW02TBTWF04-6


20080317KIW02TBTWF06-8


20080317KIW02TBTWF04-7


20080317KIW02TBTWF06-9


20080317KIW02TBTWF09-2


20080317KIW02TBTWF09-3


20080317KIW02TBTWF09-4

檢測單位：	港灣技術研究中心	檢測人員：	蘇吉立	柯正龍	張道光
			陳桂清	羅建明	

檢測日期：　2008 年　3 月　17 日　　第 3 頁 共 3 頁

3. 檢測系統表-E0 之應用與說明

本案例於初勘僅採用檢測系統表-E0，並未同時採用檢測系統表-F0。表 4-24 為基隆港西 2 號碼頭於 2008 年 3 月 17 日應用檢測系統表-E0 所得之西 2 號碼頭巡查報告表。

表 4-24　基隆港西 2 號碼頭巡查報告表-E0

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　　20080609年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-E0

碼頭巡查報告表-TBTW-FC-0001

| | | |

碼頭巡查報告表之-E0 之系統評估與分劃說明如下：

表 4-25　碼頭巡查報告表-E0 之系統評估與分劃說明

0	所有警示度及分佈範圍分劃	<5%,"O"正常,5~25%,"C"警示,25~45%,"B"中度警示,45~100%,"A"高度警示
巡查部位各項目綜合等級評估(警示度)說明		
1	防舷材引用評估異象項目及說明	腐蝕(指防舷材之鐵件部份)、龜裂、破裂、崩塌(無法使用、崩落或遺失時100)
2	防舷材評估建議採用分劃與評語	IF(%<5,"無",IF(%<25,"一般維護",IF(%<45,"加強巡檢、維護或部份更換",IF(%<=100,"全面或部份更換"))))
3	法線引用評估異象項目及說明	沉陷、拱起(指法線之水平外拱或內拱)、崩塌
4	冠牆引用評估異象項目及說明	腐蝕、龜裂、破裂、沉陷、傾斜、崩塌
5	繫船柱引用評估異象項目及說明	腐蝕(無法使用、使用危險或崩塌時100)、龜裂(無法使用、使用危險或崩塌時100)、破裂(無法使用、使用危險或崩塌時100)
6	繫船柱基引用評估異象項目及說明	腐蝕、龜裂、破裂、沉陷、傾斜、崩塌
7	岸肩引用評估異象項目及說明	同上
8	岸肩水溝引用評估異象項目及說明	龜裂、破裂、沉陷、傾斜、崩塌
9	後線地面引用評估異象項目及說明	同上
10	後線建物引用評估異象項目及說明	同上
巡查綜合評估 - 整體異象警示度說明		
11	整體腐蝕警示度評估使用部位項目及說明	共2項：03.冠牆06.岸肩
12	整體龜裂警示度評估使用部位項目及說明	共4項：03.冠牆06.岸肩07.岸肩水溝08.後線地面
13	整體破裂警示度評估使用部位項目及說明	同上
14	整體沉陷警示度評估使用部位項目及說明	(含沉落、陷落)同上
15	整體拱起警示度評估使用部位項目及說明	共1項：02.法線
16	整體傾斜警示度評估使用部位項目及說明	共3項：06.岸肩07.岸肩水溝08.後線地面
17	整體崩塌警示度評估使用部位項目及說明	(含崩落、崩滑、遺失)共4項：03.冠牆06.岸肩07.岸肩水溝08.後線地面
巡查綜合評估 - 建議因應措施說明		
18	整體	IF(<5,"正常",IF(<25,"一般維護、基本檢測",IF(<45,"加強維護、加強檢測",IF(<65,"管制使用、全面檢測與修護評估",IF(<=100,"暫停使用、全面檢測與修護評估")))))
19	冠牆	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維修",IF(<45,"加強巡檢、監測與維修",IF(<=100,"部份或全面翻修"))))
20	繫船柱	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維護",IF(<45,"加強巡檢、維護或補強",IF(<=100,"全面或部份翻修"))))
21	繫船柱基	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維護",IF(<45,"加強巡檢、監測與維護",IF(<=100,"全面或部份翻修或補強"))))
22	岸肩	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維修",IF(<45,"加強巡檢、監測與維修",IF(<=100,"部份或全面翻修"))))
23	岸肩水溝	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維修",IF(<45,"部份或全面翻修",IF(<=100,"全面翻修"))))
24	後線地面	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維修",IF(<45,"部份或全面翻修",IF(<=100,"全面翻修"))))
25	後線建物	IF(<5,"無",IF(<25,"一般維修",IF(<45,"部份或全面翻修",IF(<=100,"全面翻修"))))
26	是否進行法線檢、監測	IF(法線外視異象沉陷、拱起及岸肩沉陷平均分數<15,"否","是")
27	是否進行裂縫檢、監測	IF(整體外視異象龜裂分數>5,"是","否")
28	是否進行沉陷檢、監測	IF(整體外視異象沉陷分數>5,"是","否")
29	是否進行水下檢、監測	IF(岸肩外視異象腐蝕與拱起以外之綜合平均分數>25,"是","否")
30	是否進行強度檢、監測	IF(整體外視異象腐蝕、龜裂、破裂、沉陷綜合平均分數>25,"是","否")
31	是否進行地質檢、監測	IF(岸肩外視異象腐蝕與拱起以外之綜合平均分數>25,"是","否")

本案於初勘時採用系統表 E0-碼頭巡查報告表進行調查評估，初勘綜合評估之結果可為即時維護管理之行政參考，亦為細部檢測之指標。

系統表 E0 係針對碼頭七大外視異象分部於各部位之外視狀況，進行目視檢測與評估。有關碼頭巡查報告表之應用果與說明如下：

1. 碼頭巡查報告表內容

主要內容有基本資料、異象分劃、巡查部位(項目) 、各部位(項目)之某異象度與檢測說明、各部位(項目)之異象度綜合等級評估、巡查綜合評估。

2. 基本資料

基本資料記錄內容包刮檢測資料屬性、碼頭名稱、碼頭用途屬性、碼頭形式、主要結構內容及特殊資訊說明等。基本資料填入時除區域、日期與特殊資訊說明外均採打勾式填入。

3. 異象分劃

異象分劃內容有異象種類、警示度等級、等級分劃等。異象種類依其對本體結構之影響度由左至右(由小至大)直接標列有腐蝕、龜裂、破裂、沉陷、拱起、傾斜、崩塌等 7 大類。異象警示度等級分劃為 A(高度警示)、B(中度警示)、C(警示)、O(正常)等 4 級。於碼頭巡查報告表內之等級分劃主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃，各異象相對分劃範圍之等級為： 100~45%為 A、44~25%為 B、24~5%為 C、<5%為 O(等級分劃可參閱檢測系統表-G0)，現場檢測人員僅須填入某檢測部位(項目)對應某異象之百分比數。

4. 巡查部位(項目)

由上而下之表列巡查部位(項目)，係港池往後線依序編號分為：SSSWF01-防舷材、SSSWF02 法線、SSSWF03 冠牆、SSSWF04 繫船柱、SSSWF05 繫船柱基、SSSWF06 岸肩、SSSWF07 岸肩水溝、SSSWF08 後線地面、SSSWF09 後線建物等 9 大巡查部位(項目)。表中巡查部位(項目)之編號，使用者可依巡查碼頭之結構形式只更改前

3 碼，其餘不必更動，原表編號前 3 碼 SSS 係為系統編號。本案例為橋墩式棧橋碼頭，故前 3 碼改為 TBT(參考表 3-1　港灣設施安全檢測評估系統表-A0)。

5. 各部位(項目)之某異象度與檢測說明

各部位(項目)異象度之填入，除依第 3 項之分劃填入百分比外，針對異象狀況應加以文字重點補助說明。本案例所作之重點說明主要在於巡查部位(項目)之法線(若以 9 號繫船柱為分界，法線外拱約 150cm，初步研判可能為施工造成？原因待查？)與岸肩(全區外半部岸肩層維修過，但內半部岸肩全區至少沉陷 5~12cm)。

6. 各部位(項目)之異象度綜合等級評估

此部份於系統設計係自動判訂，檢測者無需計算或判別，亦無法輸入。因防舷材、法線與繫船柱等 3 部位(項目)之異象發生與演變中並未含蓋 7 大異象，故各部位(項目)之異象度綜合等級評估，除於某些部位(項目)之某些異象直接排除免評外，並分為兩部份評估：腐蝕、龜裂與破裂等前 3 項異象合併評估，沉陷、拱起、傾斜與崩塌等後 4 項異象合併評估，如此不但可增加等級評估之正確性，亦可輔助警示度之判訂。

本案例各部位(項目)之異象度綜合等級評估結果如表 4-5：防舷材綜合等級 C(警示)、法線綜合等級 1~3 項免評 4~7 項 B(中度警示)、冠牆綜合等級 1~3 項 A(高度警示)4~7 項 O(正常) 、繫船柱綜合等級 1~3 項 B(中度警示) 4~7 項免評、繫船柱基綜合等級 1~3 項 A(高度警示) 4~7 項 O(正常)、岸肩綜合等級 B(中度警示) 、岸肩水溝綜合等級 1~3 項 O(正常) 4~7 項 B(中度警示) 、後線地面綜合等級 1~3 項 C(警示) 4~7 項 O(正常) 、後線建物綜合等級 1~3 項 O(正常)4~7 項 O(正常)。

7. 巡查綜合評估

此部份如同各部位(項目)之異象度綜合等級評估，於系統均設計自動判訂，檢測者無需計算或判別，亦無法輸入。巡查綜合評估結

果分為整體警示度與建議因應措施兩大部份。

本案例整體警示度評估結果：腐蝕 A、龜裂 B、破裂 B、沉陷 B、拱起 A、傾斜 O、崩塌 O、綜合 1~3 項 B、綜合 4~7B。

本案例建議因應措施：整體(加強維護、加強檢測)、冠牆(加強巡檢、監測與維修)、繫船柱(加強巡檢、維護或補強)、繫船柱基(全面或部份翻修或補強)、岸肩(加強巡檢、監測與維修)、岸肩水溝(一般維修)、後線地面(無)、後線建物(無) 。

建議應進一步檢、監測者有：法線、裂縫、沉陷、水下、強度與地質等。

4.4.4 現地細勘與細勘評估作業

細勘作業亦分為現地細勘(室外)作業與細勘評估(室內)作業。現地細勘與細勘評估作業要領如同初勘，但檢測項目、方法與意義不盡相同。

於現地細勘(室外)作業前須依初勘評估結果之建議，規劃好準備進行細部檢測與監測之工作。現地細勘作業包刮：勘查現地、照相、細部檢測、監測、填寫碼頭細勘報告表或校核補強初勘結果。

校核補強事項包刮：照相、碼頭異象描繪、細部檢測等。細勘評估(室內)作業主要工作包刮：資料比對、整理、建置、評估與建議。

1. 碼頭變位檢測與監測

本案根據初勘評估結果，預先規劃擬定碼頭變位檢測與監測包刮垂直與水平。

於基隆港西 2 號碼頭設置之整體碼頭變位檢測與監測點之相關分佈狀況如表 4-26，此表即為西 2 號碼頭例行細檢之檢測圖述、照片與變位監測佈點紀錄表-D1。

本案規劃碼頭變位監測頻率為每個月監測 1 次。

表 4-27 為本案自 2008 年 4 月 2 日至 5 月 6 日針對基隆港西 2 至 4 號碼頭垂直變位(沉陷)持續監測之紀錄。

表 4-28 為本案自 2008 年 4 月 2 日至 5 月 6 日針對基隆港西 2 至 4 號碼頭水平變位持續監測之紀錄。

表 4-26　檢測圖述、照片與變位監測佈點紀錄表-D1

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2007年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-D1

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表TBTW-FS-0002-01

檢測資料屬性	區域	KI	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2008	月份	4
	平時		例行	✓	災害							
	巡查		初勘		細勘	✓						

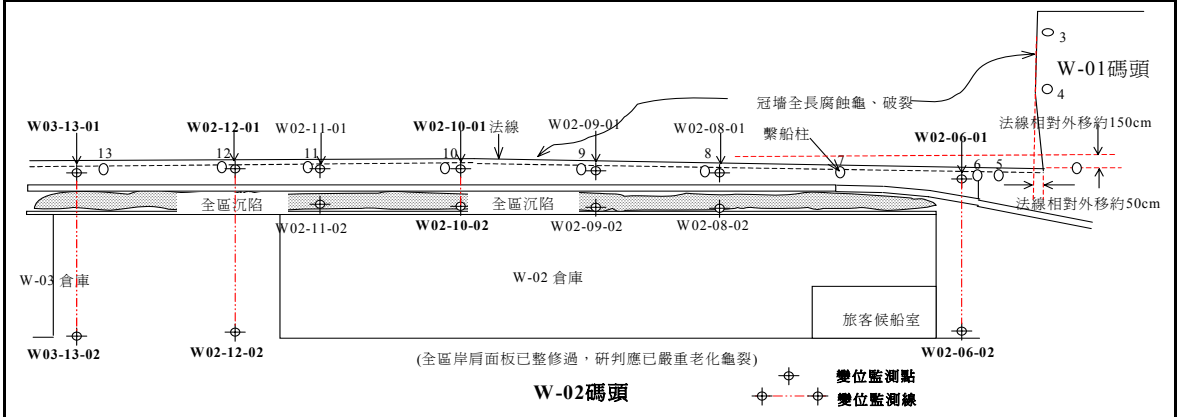
碼頭名稱	基隆港西02碼頭

碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港勤	客	其它	
			✓							✓		

碼頭型式	重力式		版樁式		棧橋式	✓	平版樁基式		護岸		其它	✓	
岸壁結構	方塊		沉箱		鋼板		鋼管		PC圓樁		PC版樁		其他 ✓
岸肩結構	方塊		沉箱		鋼管直樁		鋼管斜樁		PC斜樁		PC直樁		其他 ✓
錨碇結構	鋼版樁		鋼管樁		PC圓樁		PC版樁		無	✓	其他		
岸肩或背填料	砂		砂石級配		碎石級配		卵石級配		塊石級配		回填料	✓	其它 ✓
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他		

起造於民國41年柱採井筒式及砌石之橋墩式結構底床主要爲拋石及袋？混泥土

外視異象及變位監測佈點平面描繪記錄圖



外視異象及檢測照片



20080317KIW02TBTWF01-1



20080317KIW02TBTWF01-2



20080402KIW02-10-1-2監測線



20080402KIW02-10-1-2監測線

檢測單位：	港灣技術研究中心		檢測人員：	蘇吉立	柯正龍	張道光
				陳毓清	李春榮	何木火

檢測日期：　2008　年　4 月　1　日　　第　1 頁　共　1 頁

表 4-27　基隆港西 2-4 碼頭垂直變位監測結果

基隆港區西 2 -4 碼頭細部調查 － 沉陷監測結果表

檢測單位	港灣技術研究中心						
檢測人員	蘇吉立	柯正龍	張道光	陳毓清	李春榮	何木火	陳義松
監測日期	20080401	20080506	20080617				備註
監測站	高程 (EL.m)						
W02-06-02	**0.00**	**0.00**					參考基點BM1
W02-06-01	**-10.55**	**-10.50**					
W02-08-02	**-8.21**						
W02-08-01	**-7.75**	**-7.90**					
W02-09-02	**-14.35**	**-14.30**					
W02-09-01	**-11.35**	**-11.40**					
W02-10-02	**-17.31**	**-17.00**					
W02-10-01	**-10.05**	**-9.10**					
W02-11-02	**-14.45**						
W02-11-01	**-6.35**	**-5.40**					
W02-12-01	**-11.75**						
W02-12-02	**-18.30**						
W03-13-02	**-6.90**	**-5.40**					
W03-13-01	**-9.10**						
W03-15-02	**-14.40**						
W03-15-01							
W03-16-01	**-8.50**						
W03-17-01	**-10.30**						
W03-18-01	**-8.60**	**-8.60**					
W04-W-01		**-9.50**					
W04-W-02		**7.10**					
W04-19-01	**-7.50**	**-7.60**					
W04-19-02	**-27.80**						
W04-W-03		**-5.30**					
W04-W-04		**58.50**					
W04-20-02	**55.50**						
W04-20-01	**-6.75**						
W04-W-05		**-5.80**					
W04-W-06		**35.60**					
W04-21-01		**-0.92**					
W04-21-03		**63.90**					
W04-22-03	**41.80**						
W04-22-02	**-9.65**						
W04-22-01	**-5.70**						
W04-23-01							
W04-23-03		**35.20**					
W04-24-03	**-6.80**						
W04-24-02	**-9.30**						
W04-24-01	**-7.20**	**-7.20**					
W04-25-01		**-3.60**					
W04-25-03		**-13.10**					

表 4-28　基隆港西 2-4 碼頭水平變位監測結果

基隆港區西 2 -4 碼頭細部調查 － 水平變位監測結果表

檢測單位	港灣技術研究中心						
檢測人員	蘇吉立	柯正龍	張道光	陳毓清	李春榮	何木火	陳義松
監測日期	20080402	20080506	20080617				備註
監測線	垂直法線方向表面整體水平位移(.m)						
W02-06-01-02	38.905	38.908					**電子測距儀**
W02-10-01-02	7.434						廠牌 : PENTEX
W02-12-01-02	31.825						型號 : PCS-3
W03-13-01-02	29.957						儀號 : 415396
W04-W-01-02		35.065					
W04-W-03-04		31.109					
W04-19-01-02	32.951						誤差 ± 1mm
W04-20-01-02	28.851						
W04-22-01-03	24.178						
W04-23-01-03		30.179					
W04-24-01-03	33.857	33.857					

2. 檢測系統表-S0 之應用與說明

本案於檢測系統表-S0 之應用僅以基隆港西 2 號碼頭為案例說明，實際完成之系統表-S0 包刮：S1~S6，即表 4-29 至 4-34。其中 S1~S5 為碼頭檢測圖述、照片與紀錄表，S6 為碼頭細部檢測整體評估建議之基本維護與對策內容表。

系統表 S1 之細部檢測部位為：防舷材、法線表冠牆及繫船柱，表 4-29 即為西 2 號碼頭於上述部位之檢測結果。

表 4-29　基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S1

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2008年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S1

碼頭細部檢測要點與DER評估內容表TBTW-FS-0001-01

| | | |

系統表 S2 之細部檢測部位與內容為：繫船柱基及岸肩之腐蝕、龜裂與破裂，表 4-30 即為西 2 號碼頭於上述部位之檢測結果。

表 4-30　基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S2

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　2008年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S2

碼頭細部檢測要點與DER評估內容表TBTW-FS-0001-01

| | | |

系統表 S3 之細部檢測部位與內容為：岸肩之沉陷、拱起、傾斜與崩塌及水溝、後線地面及後線建物，表 4-31 即為西 2 號碼頭於上述部位之檢測結果。

表 4-31　基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S3

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200805年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S3

碼頭細部檢測要點與DER評估內容表TBTW-FS-0001-01

| | | |

系統表 S4 之細部檢測部位與內容為：岸壁、海床與護坡，表 4-32 即為西 2 號碼頭於上述部位之檢測結果。

表 4-32　基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S4

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200805年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S4

| 碼頭細部檢測要點與DER評估內容表TBTW-FS-0001-01 | | |

統表 S5 之細部檢測部位與內容為：樁(柱) 、格樑、底版及內壁，表 4-33 即為西 2 號碼頭於上述部位之檢測結果。

表 4-33　基隆港西 2 號碼頭檢測圖述、照片與紀錄表-S5

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200806年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S5

| 碼頭細部檢測要點與DER評估內容表TBTW-SS-0001-01 | | |

基隆港西 2 號碼頭於系統表 S6 之應用結果如表 4-34。

表 4-34　基隆港西 2 號碼頭整體評估建議之基本維護與對策內容表-S6

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　200805年再修版

港灣設施安全檢測評估系統表-S6

碼頭細部檢測要點與DER評估內容表TBTW-SS-0001-01																							
檢測資料屬性	區域	KI	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2008	月份	5											
	平時		例行	✓	災害																		
	巡查		初勘		細勘	✓																	
碼頭名稱	基隆港西02碼頭																						
碼頭用途屬性	軍用		貨櫃		散雜		水泥		穀		油		化		漁		港勤		客		其它		
					✓														✓				
碼頭型式	重力式				版樁式				棧橋式	✓			平版樁基式				護岸				其它	✓	備注
岸壁結構	方塊				沉箱				鋼板				鋼管				PC版樁				PC圓樁		其他	✓	起造於民國41年
岸肩結構	方塊				沉箱				鋼管直樁				鋼管斜樁				PC斜樁				PC直樁		其他	✓	柱採井筒式及砌
錨碇結構	鋼版樁				鋼管樁				PC圓樁				PC版樁				無	✓	其他						石之橋墩式結構
岸肩或背填料	砂				砂石級配				碎石級配				卵石級配				塊石級配		回填料	✓	其他			✓	底床主要爲拋石
岸肩面板	RC	✓			PC				AC	✓			卵石級配				碎石級配		其他						及袋? 混泥土

整體基本維護與對策之建議

編號	處置對策	說明	勾選
G01	阻絕外部滲流水源	改善積水現象	✓
G02	整治排水系統		✓
G03	裂縫填補	防止滲水及滲流	✓
G04	面層清理補修		✓
G05	面層全面整修		✓
G06	漏砂填補		
G07	部份管制		✓
G08	部份補強		
G09	岸肩警示		
G10	岸肩交通管制		
G11	岸肩工作管制		
G12	海上警示		
G13	全面管制		
G14	全面評估		
G14-1	結構設計校核		
G14-2	穩定分析	分析建構年代之設計規範與新規範之差異性以爲日後使用及維護之參考	✓
G14-3	耐震分析	分析建構年代之設計規範與新規範之差異性以爲日後使用及維護之參考	✓
G14-4	抗液化分析	分析建構年代之設計規範與新規範之差異性以爲日後使用及維護之參考	✓
G15	全面補強		
G16	部份更修		
G17	全面改建		

檢測單位：	港灣技術研究中心						
檢測人員：	蘇吉立						
檢測日期：	2008 年 5 月 6 日	評估表頁數: 第 6 頁 共 6 頁					200805蘇吉立更修

4.5 小結

1. 重視維護管理之理念已為世界之潮流，亦為我國交通政策之一。碼頭營運雜而變數多，且身處海洋惡劣環境，容易產生潛伏性問題，而國內碼頭多已老舊且位處地震帶上，碼頭維護管理之工作與理念更有待加強，本計畫執行後之研究成果，除可適當因應這些問題外，並可為日後制定相關檢測與維護標準作業程序之參考

2. 本計畫所採取之研究方法係檢討整合與碼頭維護管理有關之既有相關研究成果，並逐年整合建置各式碼頭本體設施之檢測系統，使各類檢測作業標準化與系統化，最後再整合相關資料庫建置成碼頭本體設施維護管理系統，未來完成之系統除了可使檢測與維護管理作業系統化與簡易化外，並可使系統趨向可行性與實用性，藉以提昇碼頭維護管理之功效，維護工程安全，減低災害損失，促進港埠管理現代化，提昇港埠功能與營運效率，達成碼頭本體設施維護管理自動化之目標。

3. 本研究發展之檢測系統業經 94~96 年三年之延革，於案例的反覆驗證與應用中，系統之可行性與實用性已漸趨成熟。系統發展至今雖已驗證過臺中港 1 號(重力式)碼頭與澎湖龍門尖山港五期(重力式)碼頭之歷史破壞案例，現地應用案例亦有高雄港、基隆港與臺北港等多處碼頭，但為使系統更有改進的空間，並確保系統更務實而完整，應持續加強歷史驗證與現地應用測試案例，並於歷史案例驗證與現地應用過程中不斷加以檢討修正。

4. 本研究成果目前尚有許多待事項有待提升或改進，如：

   （1）可參考現有系統重建於地理資訊系統(GIS)。

   （2）系統應系統表 S6 之評估建議內容目前為人工評估，可進一步提升為自動評估。

   （3）所有系統表之格式設計與表中之相關評估要素與內容應，均可不斷改良、檢討與修正。

第五章 臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究

5.1 前言

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高溼與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本土化大氣腐蝕因子的調查與掌握，對金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計的影響，有其重要性。

惟臺灣至今仍缺乏完整的本土化大氣腐蝕因子資料庫。自 1971 年起，國內各研究單位曾陸續以試片腐蝕速率的量測方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類，但因試驗場址維護不易，各地區鮮少有持續 10 年以上的腐蝕數據，且大部份的研究亦止於 1995 年。隨著氣候變遷與工業的發展，為達到結構物耐久性防蝕設計的目的，目前若仍引用過去腐蝕因子之調查數據，腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；然而臺灣近 10 年來並無任何單位進行全國之大氣腐蝕因子的調查與研究。有鑑於此，本計畫擬以兩年時間針對臺灣全島區域進行大氣腐蝕劣化因子調查，完成臺灣大氣腐蝕環境的分類工作，並根據調查結果建立電腦查詢資料庫，規劃一適合國內環境「本土化」需求的大氣腐蝕劣化因子查詢系統，以作為日後新建與既有金屬及鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

本章節之研究為期兩年，主要工作項目為大氣環境腐蝕因子調查與資料庫的建立，並完成臺灣大氣腐蝕環境分類，以作為新建與既有結構物防蝕設計與維護管理之依據。

第一年已完成的工作項目包括下列五項：

1. 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

2. 大氣腐蝕因子調查建置：

(1) 調查範圍：本年度將完成涵蓋臺灣全島區域之試驗場址(點)選定

及相關試樣擺放；須包含垂直海岸線與平行海岸線之調查規劃，調查區域的選擇須有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵公路沿線等)，並最終可繪製各腐蝕因子之等位圖。

(2)氣象資料蒐集分析：至少包括氣溫、相對溼度、風速、風向等資料，並針對歷年資料進行分析。

(3)腐蝕因子調查項目：包括相對溼度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)沉積速率之調查，以提供季節與區域之關聯性。

3. 現地暴露試驗：針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗，建立腐蝕速率與大氣腐蝕因子之關聯性。

4. 資料蒐集與初步分析：持續現地取樣與試驗調查，分析本年度成果與趨勢。

5. 大氣腐蝕因子資料庫建立。

第二年（本年度）工作項目為：

1. 持續現地取樣與試驗調查，分析歷年成果與趨勢。

2. 依據現地暴露試驗與腐蝕因子調查分析結果，建立腐蝕速率與腐蝕因子之關聯性。

3. 建立大氣腐蝕因子資料庫。

4. 完成臺灣大氣腐蝕環境分類。

5.2 研究方法及進行步驟

本研究為期兩年，主要工作項目為大氣環境腐蝕因子調查與資料庫的建立，並完成臺灣大氣腐蝕環境分類，研究流程如圖 5.1 所示。研究方法與進行步驟概述如下：

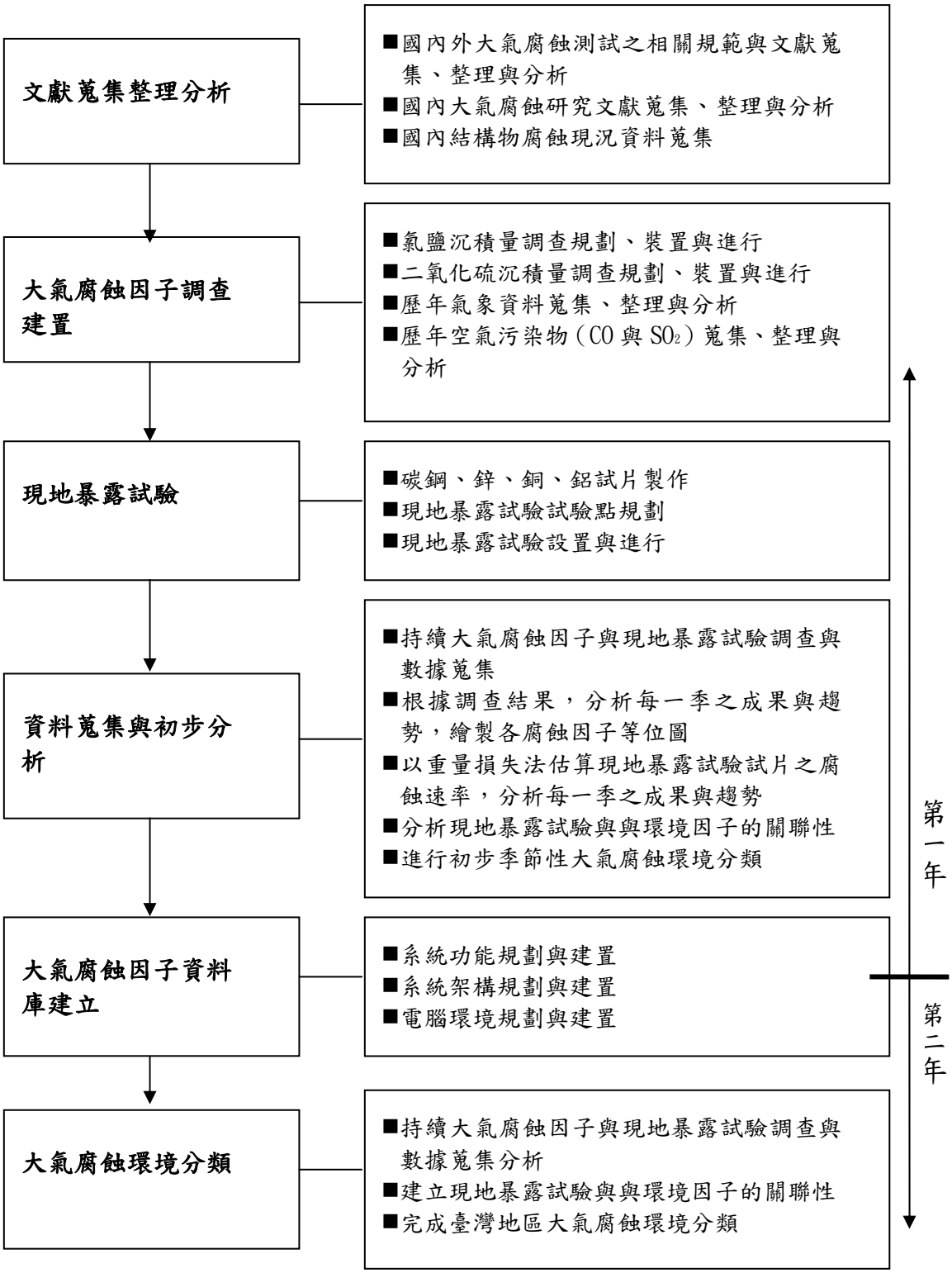

文獻蒐集整理分析
■國內外大氣腐蝕測試之相關規範與文獻蒐集、整理與分析
■國內大氣腐蝕研究文獻蒐集、整理與分析
■國內結構物腐蝕現況資料蒐集
大氣腐蝕因子調查建置
■氯鹽沉積量調查規劃、裝置與進行
■二氧化硫沉積量調查規劃、裝置與進行
■歷年氣象資料蒐集、整理與分析
■歷年空氣污染物（CO 與 SO2）蒐集、整理與分析
現地暴露試驗
■碳鋼、鋅、銅、鋁試片製作
■現地暴露試驗試驗點規劃
■現地暴露試驗設置與進行
資料蒐集與初步分析
■持續大氣腐蝕因子與現地暴露試驗調查與數據蒐集
■根據調查結果，分析每一季之成果與趨勢，繪製各腐蝕因子等位圖
■以重量損失法估算現地暴露試驗試片之腐蝕速率，分析每一季之成果與趨勢
■分析現地暴露試驗與與環境因子的關聯性
■進行初步季節性大氣腐蝕環境分類
大氣腐蝕因子資料庫建立
■系統功能規劃與建置
■系統架構規劃與建置
■電腦環境規劃與建置
大氣腐蝕環境分類
■持續大氣腐蝕因子與現地暴露試驗調查與數據蒐集分析
■建立現地暴露試驗與與環境因子的關聯性
■完成臺灣地區大氣腐蝕環境分類
第一年
第二年

圖 5.1 研究作業流程圖

5.2.1 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析

本研究將蒐集國內外大氣腐蝕測試之相關規範與文獻，包括 ISO、ASTM、CNS 等，整理分析相關要點與腐蝕速率估算方式。此外，針對國內各研究單位過去執行之大氣腐蝕調查數據，進行回饋分析，比較臺灣過去與目前大氣腐蝕因子與腐蝕速率變化的趨勢，獲得適用於本土環境大氣腐蝕防蝕應用之依據。

5.2.2 大氣腐蝕因子調查建置

大氣腐蝕因子調查項目包括相對溼度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)沉積速率之調查，以提供季節與區域之關聯性。參考 CNS 13754[26]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)規範，製作氯鹽與二氧化硫沉積量採集裝置與分析，如下：

5.2.2.1 氯鹽沉積量採集裝置與分析

氯鹽沉積量採集裝置是以濕燭法進行，其原理為使用一個濕纖維織物表面，在已知面積的條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量，並計算所得之氯鹽沉積速率，以 $mg/m^2/day$ 表示。採集器構造示意如圖 5.2 所示，係將一 25mm 直徑、長度約 120mm 之 PE 燭心，外覆兩層管狀外科用紗布(在大氣中暴露面積約為 $100cm^2$)插入橡膠塞中，再將橡膠塞頭插入 500ml 玻璃瓶的頸部；瓶內溶液使用 200 ml 甘油及蒸餾水配置 1,000 ml 溶液，再加入 20 滴辛酸；若測試地區溫度高於 25℃，可增加甘油含量至 40% (V/V)以防止過度蒸發。濕燭瓶放置試驗架頂棚下方中央，且頂棚為不透明構造物，大小約 500mm 見方；燭心頂端距架頂約 200mm，瓶底距地面至少 1m。測試後回收的紗布以定量之去離子水(約 50 ml)沖洗，再依離子層析法(NIEA W415.52B)測定水中之氯鹽含量。

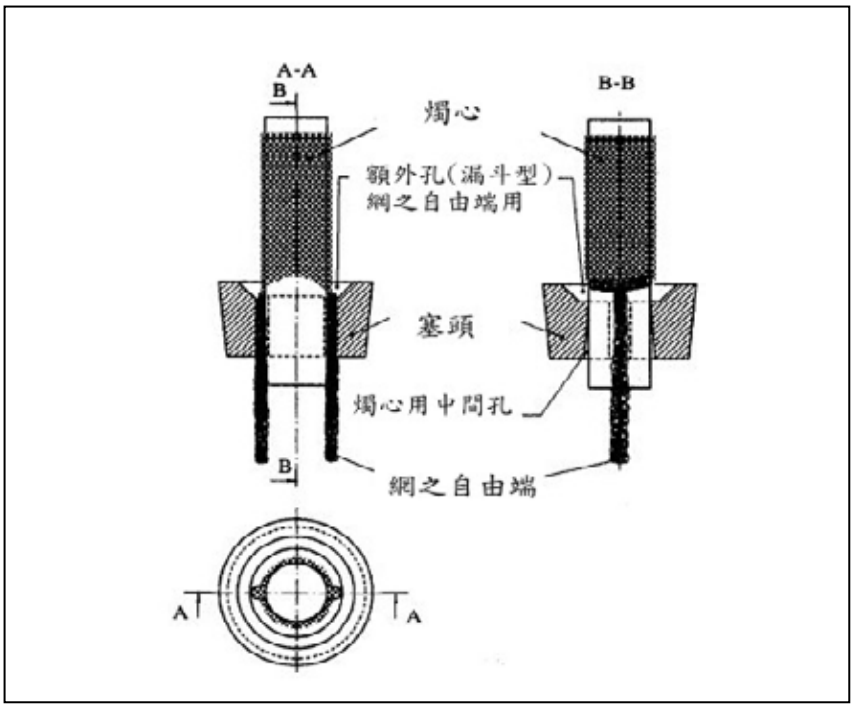


圖 5.2(a) 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)

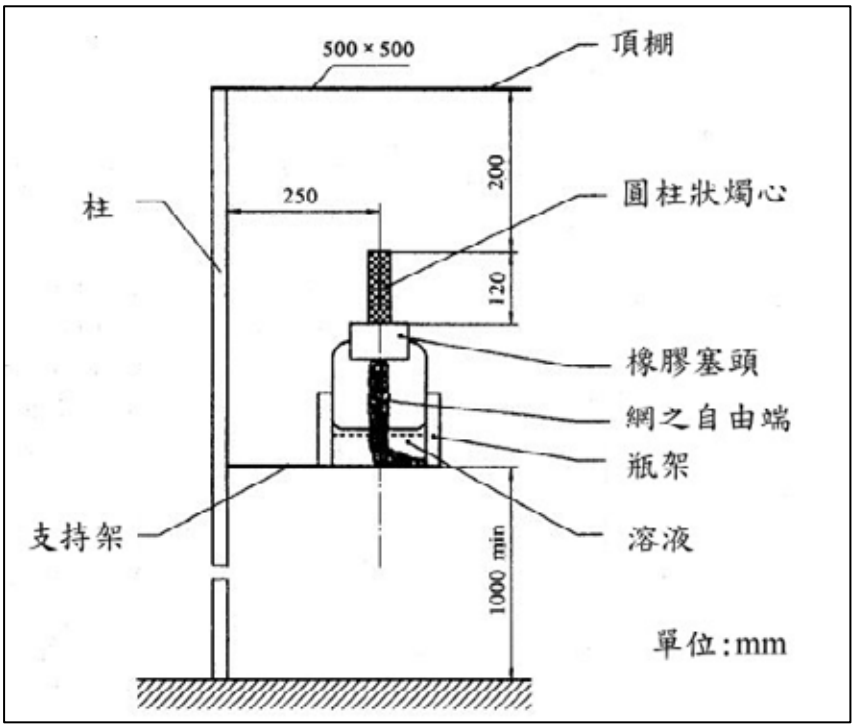


圖 5.2(b) 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)

5.2.2.2 二氧化硫沉積量採集裝置與分析

二氧化硫沉積量採集裝置是以二氧化硫在二氧化鉛硫酸化平板之沉積速率測定，其原理為大氣中二氧化硫與二氧化鉛會反應形成硫酸鉛，暴露一段時間後回收該平板，並針對平板上的附著物進行硫酸鹽分析以測定二氧化硫之含量，二氧化硫的沉積速率以 $mg/m^2/day$ 表示。採集器之構造示意如圖 5.3。採集步驟為先製作硫酸化平板(CNS 13754)，再將試驗盤朝下放置(其目的為減少吸附酸雨沉降或懸浮硫酸氣體)，平板須水平且不妨礙正常通風及空氣之流暢。平板的分析須於完成暴露後 60 天內完成，可依離子層析法(NIEA W415.52B)測定，即先使用碳酸鈉溶液溶解並移出硫酸化平板之附著物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量。

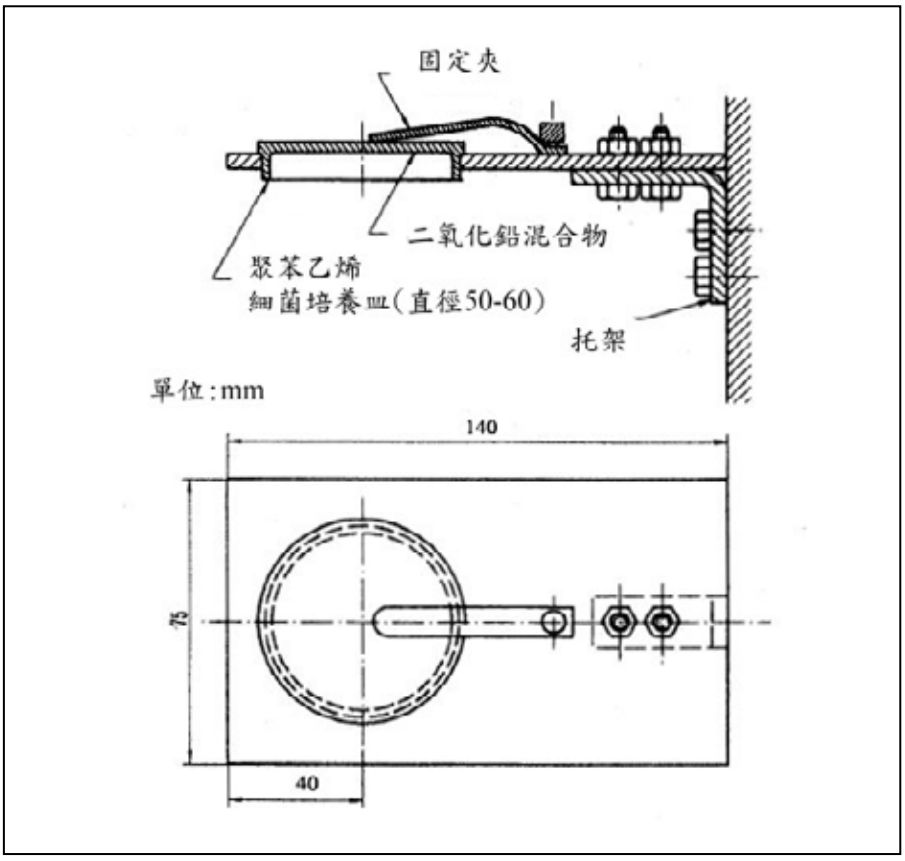


圖 5.3　二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

5.2.2.3 取樣頻率

每一試驗點依調查項目建置一組採集器，取樣頻率為每季一次，每次取樣後更換新的燭心紗布或二氧化鉛硫酸化平板。測試回收後之試樣進行沉積速率分析，並繪製沉積量與時間之關係圖，以探討大氣中之氯鹽與二氧化硫之季節與區域的關聯性。此外，為瞭解臺灣全島長期(一年期)空氣污染物的累積量，在各試驗場址(點)另設一組長期之採集裝置，以進行季節性與一年期之沉積速率比較。

5.2.2.4 氣象與空氣污染資料蒐集與分析

本計畫將蒐集中央氣象局與相關研究單位歷年之氣候資料年報，針對氣溫、相對濕度、降水量、日照時數、風速、風向、等因子進行歷年變化分析，同時亦將各因子之變化取各季平均值，進行季節性分析，季節區分方式：春季為 1~3 月，夏季為 4~6 月，秋季為 7~9 月，冬季為 10~12 月。此外，為瞭解空氣中污染物分佈的狀況，亦將蒐集環保署等相關單位空氣品質監測資料，整理與分析項目包括一般空氣品質監測站、交通空氣品質監測站、工業品質監測站與國家公園空氣品質監測站之一氧化碳(CO)與二氧化硫(SO_2) 等污染物濃度。

5.2.3 現地暴露試驗

5.2.3.1 試片製作

本研究將針對碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗，試片製作的方式參考 CNS 13753[2] (ISO 9226[28])大氣腐蝕性測定標準試片製作，採用螺旋狀標準試片，即試片的材料如下：

碳鋼：非合金碳鋼(Cu=0.03~0.10%, P < 0.07%)。

鋅：98.5%以上之純度。

銅：99.5%以上之純度。

鋁：99.5%以上之純度。

將以上金屬之線材，線材直徑 2~3 mm，剪取約 1000 mm 長度，纏繞在直徑為 24 mm 的圓棒上，製成螺旋試片。試片裝置如圖 5.4 所示。

現地暴露試驗試片(碳鋼、鋅、銅、鋁)之取樣頻率為每季一次，每次取樣後更換新試片。測試回收後之試樣進行腐蝕速率分析，探討季節與區域之大氣腐蝕速率變化。此外，在各試驗場址(點)另設一組一年期之大氣暴露試片，以進行季節性與一年期之腐蝕速率比較。

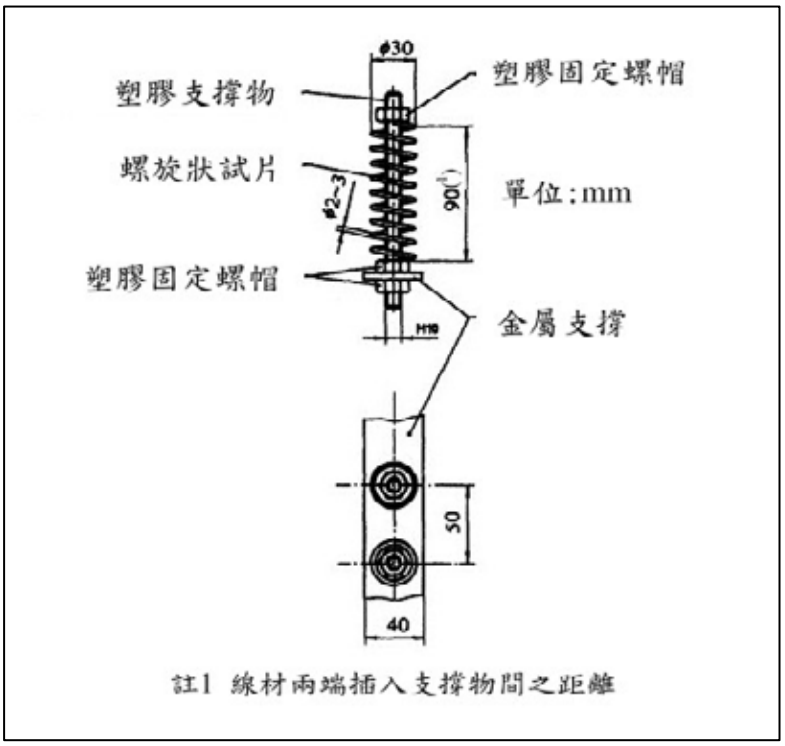


圖 5.4　螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)

5.2.3.2 板片試片

依據 CNS 13757，量測大氣腐蝕速率的試片有兩種，一種為螺旋狀試片而另一種為板狀試片；為避免螺旋狀試片在長期(一年期以上)暴露後因腐蝕而消耗殆盡，今參考 ASTM G 50-76[36] “Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals”規範製作板狀試片，藉以瞭解金屬長期(一年期以上)的腐蝕速率。

試片準備如下：

1. 試片種類：碳鋼、鋅、銅、鋁，其成份將依據 CNS 13757(ISO 9226)規範準備。
2. 試片尺寸：依據 ASTM G 50-76，長度 150 mm、寬度 100 mm、厚度 5 mm 的試片。
3. 試驗期程：10 年。
4. 取樣頻率：6 次，即第 1、2、3、5、8、10 年每年一次。
5. 試片數量：以重量損失法進行腐蝕速率量測，每一試驗點各金屬各須 24 片試片(每次取樣 3 片，重複取樣 6 次，5 片備用，1 片為對照) ，共 96 片試片。
6. 試驗地點：選擇足以代表本島不同腐蝕環境之區域，如腐蝕嚴重的鹽害區、工業區，以及腐蝕較輕微的鄉村區(對照組)等 3 處。鹽害區將選定為臺中火力電場，工業區將選擇麥寮工業區，而鄉村區則為溪頭森林區。
7. 大氣暴露試驗架設置：大氣暴露試驗架依據 ASTM G50-76 標規範設置；試驗架離地距離大於 760 mm，試片設置角度與垂直面成 30^{o} 角且面向南方，試片固定座採用絕緣材料。

5.2.4 資料蒐集與初步分析

參考 CNS13401 ”金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類” 規範，大氣腐蝕環境分類是根據金屬標準試片在某環境中進行自然暴露試驗所得之腐蝕速率，或綜合大氣腐蝕因子，即某環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類；其中，潤濕時間(τ，Time of Wetness)是以全年中溫度高於 0 ^{o}C，相對濕度大於 80%之小時數或百分比來區分，環境中大氣污染物濃度的嚴重性則是以 SO_2 沉降量或濃度與氯鹽(海鹽)沉降量分別進行區分。之後，將環境之腐蝕性依污染量或最初第一年之腐蝕率大小，分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級。今針對大氣腐蝕因子調查與現地暴露試驗之資料蒐集與初步分析分述如下：

5.2.4.1 大氣腐蝕因子調查資料蒐集與初步分析

1. 氣象資料與空氣品質監測資料

持續蒐集暴露期間與過去歷年之氣溫、相對濕度、降水量、日照時數、風速、風向等氣象因子，同時亦蒐集環保署等相關單位空氣品質監測資料中之一氧化碳(CO)與二氧化硫(SO_2) 等污染物濃度，將上述各因子進行歷年變化與季節性分析比較。

2. 氯鹽沉積速率分析

持續現地取樣與試驗調查，並將各試驗點測試後每季回收的紗布以定量之去離子水(約 50 ml)沖洗，再依離子層析法測定水中之氯鹽含量。之後，依據各試驗點之沉積速率，繪製臺灣全島之氯鹽沉積速率等位圖。

3. 二氧化硫沉積速率分析

持續現地取樣與試驗調查，並將各試驗點測試後每季回收的硫酸化平板依離子層析法測定，依據各試驗點之沉積速率，繪製臺灣全島之二氧化硫沉積速率等位圖。

綜合暴露期間內各試驗點之相對濕度、氯鹽沉積量與二氧化硫沉積速率，依據 CNS13401 (ISO 9223)規範，進行初步的季節性大氣腐蝕環境分類；並比較現地暴露試驗腐蝕速率測定結果，分析現地暴露試驗與環境因子的關聯性。

5.2.4.2 現地暴露試驗資料蒐集與初步分析

持續現地取樣與試驗調查，並將各試驗點測試後每季回收的試片進行腐蝕速率量測。碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬試片之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122[36] (ISO 8407[37])金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。腐蝕速率單位以 μm/y 表示。各試驗點腐蝕速率計算後，分析現地暴露試驗與環境因子的關聯性。

5.2.5 大氣腐蝕因子資料庫建立

1. 系統功能規劃：資料庫系統中會將本計畫之成果及以往相關文獻資料，包括環境影響因子(如氣象資料、落鹽量、二氧化硫沉積量空氣中 CO 與 SO_2 濃度等)與現地暴露試驗數據，進行資料輸入與查詢模組開發，分析結果將以圖資系統配合臺灣地圖導入，提供設計與維護管理人員快速查詢的功能，以擷取所需之本土化資訊。
2. 系統架構規劃：本系統之架構主要分為資料存取、資料處理與資料查詢三大模組。資料存取主要提供所蒐集資料或數據資料之輸入建檔，資料處理提供數據分析功能、資料查詢提供顯示與列印(含統計查詢)等功能。開發工作及程式撰寫包括資料庫規劃設計、資料處理界面、查詢使用等介面程式設計。
3. 電腦環境規劃：為方便管理及整合資料，本系統將採用目前廣為使用的 Microsoft WINDOWS/XP 為作業平台，資料庫系統將視資料量多寡選用 SQL 或 MS ACCESS 為開發工具，圖文介面將採用較為人所熟知之商用產品，諸如 Autodesk 公司產品，同時為考慮資料查詢的便利性，本系統將以網路作業方式進行開發。
4. 資料庫轉移與操作訓練：資料庫建立期間將與委託單位相互討論資料庫的架構與應用，並於期末報告審查後將資料庫移轉予委託單位，舉行操作訓練課程。

5.3 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析

5.3.1 大氣腐蝕測試規範

1. 國外 ISO 大氣腐蝕環境分類

大氣腐蝕測試工作有系統之進行，最早可溯及美國 ASTM 的 D-1 及 A-1 兩委員會自 1906 年起分別測試塗料塗裝及金屬被覆之鋼鐵產品，自此開始美國便陸續展開數個二十年計畫分別測試當時最新產品的大氣腐蝕耐蝕性及耐久性。國際標準化組織-ISO 於 1985 年起於全球 13 國 47 處地點進行大氣腐蝕暴露試驗，根據這試驗工

作成果，於 1992 年發佈 ISO 9223(大氣腐蝕性分類)、ISO 9224(各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225(污染量量測方法)、及 ISO 9226(標準試片腐蝕率量測方法)四項標準規範，根據這四項規範，只要在欲工作地點從事一年期之標準試片腐蝕率量測或潤濕時間量測及總污染量量測，根據量測結果，即可定義該處的腐蝕環境區分，再根據對照表即可得到該腐蝕環境區分之腐蝕率指標值。

換句話說，ISO 9223 大氣腐蝕性分類標準是根據金屬標準試片在某環境中進行自然暴露試驗所得之腐蝕速率，或綜合某環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類，環境中大氣污染物濃度的嚴重性則是以 SO_2 沉積速率或濃度與氯化物(海鹽)沉積速率分別進行區分，將環境之腐蝕性依污染量或最初第一年之腐蝕率大小，分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級，C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)。

2. 國外 CLIMATE TEST 大氣腐蝕環境分類

CLIMAT 是取 Classify Industrial and Marine Atmospheres 的字首，而其測試試片是由兩種不同異金屬(Bi-metallic)所組成，即將細金屬線纏繞在螺桿上產生腐蝕電池，並暴露在大氣環境中約 3-6 個月後，再以細金屬線的重量損失率來評估當地的大氣腐蝕行為。

由於鋁線與銅桿在工業性大氣腐蝕環境中有較高的靈敏度，因此取 Al-Cu 組合為工業性環境腐蝕指標，簡稱 I.C.I. (Industrial Corrosivity Indices)。在海洋性大氣腐蝕環境中則以鋁線繞在鐵桿的靈敏度較高，取 Al-Fe 組合作為海洋性環境腐蝕指標 M.C.I. (Marine Corrosivity Indices)，另外 Al 線纏繞成螺旋狀(Al-Coil)及 Al 線繞在塑膠螺桿(Al-Plastic)定為 Al 線在大氣環境的腐蝕指標(Al-A.C.I.)。每一測試裝置是由 Al-Fe、Al-Coil、Al-Plastic、Al-Cu 等四個不同組合單元所組成，並且均固定在一方形塑膠板上；再依據腐蝕指標的高低，將大氣環境區分為腐蝕性"可忽略(Negligible)"，"輕微(Moderate)"，"輕微嚴重(Moderate Severe")，"嚴重(Severe)"，與"較

嚴重(Very Severe)"等五級。

3. 中華民國國家標準 CNS 規範

有鑑於大氣腐蝕測試的重要，經濟部標準檢驗局於民國 83 年起依據國際標準化組織-ISO 規範(ISO 9223、ISO9224、ISO 9225、ISO 9226、ISO8565[40])，制定一系列之「金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性」國家標準 CNS 規範，包括 CNS13401 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，CNS13754 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，CNS14123 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)等五項規範。其中針對大氣腐蝕劣化因子所須的環境資料，於 CNS14123 中規定，須具備氣溫(^{o}C)、相對濕度(%)、降雨量(mm/day)、日照幅射的時間及強度、二氧化硫沉積量(CNS 13754，$mg/m^2/day$ or $\mu g/m^3$)、與只適用於海邊測試場地之氯鹽沉積速率(CNS 13754，$mg/m^2/day$)等參數；其他因素，如降雨時間、濕潤時間、風速及風向、雨水 pH 值、氣體量及特殊的污染物等，皆可依測試條件的要求而加以蒐集量測。此外，在進行戶外暴露實驗時，因開始暴露的季節不同會造成腐蝕速率的不同，所以 CNS14123 中建議，長期或短期的暴露測試應在腐蝕速率最高的時期(如春、秋季)開始進行。

5.3.2 大氣腐蝕因子介紹

大氣腐蝕依腐蝕反應可分為化學與電化學反應。在乾燥無水的大氣環境中，金屬表面因氧化、硫化而造成變色或失去金屬光澤等，是為化學腐蝕，而其它劣化行為，則多為電化學反應。即金屬表面為薄層電解液下的腐蝕過程，電解液薄膜是由空氣中的水分於金屬表面吸附、凝聚、及溶有空氣中污染物質所形成，陽極反應為金屬的溶解和水化反應，陰極反應為氧的還原反應，其反應過程如下：

陽極反應：

$$M + xH_2O \rightarrow M^{n+} \bullet xH2O + ne^-$$

式中，M 代表金屬，M^{n+}為 n 價金屬離子，$M^{n+} \bullet xH2O$ 為金屬離子化水合物。

陰極反應：

在中性或鹼性介質中，$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

在酸性介質(如酸雨)中，$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

由於水、氧在水膜間的擴散率、大氣中的氯離子含量、以及空氣中的污染物質如 SO_2、灰塵等，均會影響金屬在大氣中的腐蝕速率。

5.3.3 影響大氣腐蝕的因素

1. 大氣的相對濕度

大氣腐蝕是一種水膜下的電化學反應，空氣中水分在金屬表面凝聚生成水膜，與空氣中氧氣通過水膜進入金屬表面，是產生大氣腐蝕的基本條件。水膜的形成與大氣中的相對濕度密切相關，相對濕度的定義是指在某一溫度下，空氣中的水蒸氣含量與在該溫度下空氣中所能容納的水蒸氣最大含量之比值。由於不同物質或同一物質的不同表面狀態，對於大氣中水分的吸附能力不同，因此，當空氣中相對濕度到達某一臨界值時，水分將在金屬表面形成水膜，促使電化學反應產生、腐蝕速率增加，此時的相對濕度值稱為金屬腐蝕臨界相對濕度，如鐵的腐蝕臨界相對濕度為 65%。此外，空氣中相對濕度還影響金屬表面水膜厚度與乾濕交替的頻率；如金屬表面有較薄的水膜存在時，大氣中的氧容易擴散至金屬表面，加速腐蝕；當水膜變厚時，氧的擴散阻力增加，腐蝕速率下降。

2. 表面潤濕時間

依國際標準 ISO 9223 的定義，表面潤濕時間是指產生大氣腐蝕的電解質膜，以吸附或液態膜型式覆蓋在金屬表面上的時間；潤濕時間愈長，腐蝕總量愈大。而金屬表面的潤濕，則是由露水、雨水、高濕度水分凝聚、甚至溶化的雪水所引起。

3. 日照時間

日照的紫外光會促使高分子材料及塗層老化，因此日照時間對於高分子材料及塗層，關係較為密切；但對金屬材料而言，日照時間長，將使金屬表面水膜消失，降低表面潤濕時間，腐蝕總量減少。

4. 氣溫

溫度的變化能影響金屬表面水蒸氣的凝聚、水膜中各腐蝕氣體和鹽類的溶解度、水膜電阻、以及腐蝕過程中陰、陽極的反應速度。

5. 降雨

降雨對大氣腐蝕有兩種影響，一方面因降雨增加，大氣中的相對濕度增加，延長了金屬表面的潤濕時間，同時也因降雨的沖刷，破壞了金屬表面腐蝕產物的保護性，加速大氣腐蝕；但另一方面，因降雨沖洗掉金屬表面的污染物與灰塵，減少了液膜的腐蝕性，減緩大氣腐蝕。此外，工業大氣中的雨水溶解了空氣中的污染物，如 SO_2、Cl^-等，亦加速大氣腐蝕的產生。

6. 風速與風向

風速對表面液膜的乾濕交替頻率有一定的影響，在風沙環境中，風速過大對金屬表面會有磨耗作用。而在污染源的環境中(如工廠的排煙、海邊的鹽粒子)，風向會影響污染物的傳播，直接關係到大氣腐蝕速率。

7. 降塵

固體塵粒對腐蝕的影響可分為 3 類：(1)塵粒本身具有可溶性與腐蝕性，當溶解於液膜中時，成為腐蝕性介質，(2)塵粒本身無腐蝕

性，亦不溶解(如碳粒)，但它能吸附腐蝕物質，當溶解於液膜中時，加速腐蝕反應，(3)塵粒本身無腐蝕性與吸附性(如沙粒)，但落在金屬表面，可能使沙粒與金屬表面間形成縫隙，易於水分凝聚，產生局部腐蝕。

5.3.4 臺灣大氣腐蝕環境

1971 年起，臺灣各研究單位均以試片腐蝕速率量測的方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類。整合工業技術研究院與臺灣大學於 1993-1994 年與 1989 年之研究數據[9, 10]，分別針對熱浸鍍鋅試片與碳鋼試片第一年腐蝕速率之環境分類，顯示臺灣的腐蝕環境較 ISO 所規定的上限值更為嚴苛。以熱浸鍍鋅試片為例，臺灣大氣環境對於鋅金屬的腐蝕性，除奮起湖為 C3 外，各地多為 C4 以上環境，甚至部份地區，包括硫害環境的陽明山與海洋環境的林口電廠、臺中港、麥寮等，均為 C5 至 C5+的等級。

過去無任何研究單位利用腐蝕環境因子來進行大氣腐蝕環境分類，2004 年工研院材化所首先統計 1998~2000 年環境因子數據，並依據 ISO 9223 進行臺灣西部大氣腐蝕環境分類。以熱浸鍍鋅鋼材(表面為鋅金屬)為例，可以大甲溪為界，大甲溪以北地區多為 C4 等級，大甲溪以南多為 C3，沿海地區則為 C5 等級。

5.4 氣象與空氣污染資料蒐集分析

中央氣象局目前所屬本島主要氣象站共計 21 個，創立年份最早可追溯至 1896 年，包括臺北、臺中、澎湖、臺南和恆春等 5 個測站，隨後陸續增設，海拔超過 1,000 公尺的測站則有日月潭、阿里山及玉山等 3 個測站。為掌握臺灣各地各氣象因子之長期變化，氣象站監測項目涵括氣溫、相對濕度、日照時數、風速、風向、降水量、降水時日數、雲量、蒸發量、氣壓及天空狀況。

5.4.1 氣象資料蒐集分析

為瞭解氣象因子歷年變化狀況，本計畫參考中央氣象局 1997-2007 年氣候資料年報及 2007 年～2008 年中央氣象局網站資料，針對氣溫、相對濕度、日照時數、風速、風向、降水量、降水日數、雨水酸鹼值等各因子進行歷年變化分析；同時為瞭解各因子季節性的變化，將各因子之變化取各季平均。1998 年至 2008 年 8 月之氣象資料彙整分析如下：

1. 氣溫

臺灣地區年平均溫度以平地地區(海拔低於 600m)較高，均超過 20 °C；而山地地區(海拔高於 600m)則較涼爽，均低於 20 °C，而且以地勢愈高，平均溫度愈低。在西南部及南部平地地區均超過 24 °C，中部平地地區為 22~24 °C，北部及東北部平地地區大致在 20~22 °C 之間，南北之間的溫差大約為 3 °C。

各單月平均氣溫以 1 月或 2 月最低，除山區外，各地平均溫度均超過 14 °C，但平地南、北之間的溫差卻可達到 5 °C；各單月平均氣溫以 7 月最高，除山區外，其平均溫度均高於 28 °C，而且平地南、北之間的溫差不到 1 °C。綜合而言，除山區外，夏季是普遍高溫炎熱，南北的溫差小；冬季北部比較涼爽，南部則相當溫暖。

臺灣的低緯度地區，冬季時東部仍比西部的平均溫度高。以 2007 年資料為例，東部的成功測站(北緯 23°06′)，1 月平均氣溫為 19.5 °C，而西部且緯度位置較南的臺南測站(北緯 23°00′)，1 月平均氣溫僅為 18.0 °C，比成功測站低 1.5 °C。

臺灣自有氣候觀測記錄以來，各地的最高氣溫記錄為 39.7 °C，出現在臺東測站(1988 年 5 月 7 日)；平地地區的最低氣溫記錄為-1.0 °C，出現於臺中測站(1901 年 2 月 13 日)；若也考慮山區，則臺灣曾出現的最低溫記錄為-18.4 °C，出現於玉山測站(1970 年 1 月 31 日)。

2. 相對濕度

各主要氣象站各季測得最大相對濕度為 95.3% （2000 年冬季鞍部測站、2006 年秋季阿里山測站），最小季相對濕度為 45.3%，

（2004 年冬季玉山測站）；各季相對濕度大多介於 75%~90%。四季之相對濕度值平均值以夏季最高、冬季最低，四季相對濕度值往北部皆有上升之趨勢。

3. 日照時數

臺灣地區南北總長約 400 公里，緯度橫跨 3 個緯度，各季總日照時數顯現出明顯差異，由等位線圖可明顯看出，各季及全年總日照時數南部遠大於北部，受地形影響，西部日照時數大於東部。

1998 年至 2006 年期間四季平均總日照時數以秋季最高為 551.5 小時、春季最低為 353.2 小時；以年平均總日照時數而言，以 2004 年 1,913.7 小時最高，1999 年最低為 1584.6 小時。

4. 風速、風向

臺灣地區年平均風速以玉山測站最高(6.1m/s)、梧棲測站次之(4.9m/s)、恆春測站再次之(4.0m/s)、成功測站為 3.8m/s，鞍部為測站 3.2m/s、基隆為測站 2.8m/s、新竹為測站 2.8m/s，其餘各氣象站皆在 2.8m/s 以下。除內陸及西南部外，其餘各地的最多風向均以 N~NE 為主。每年自 10 月起至隔年 3 月止，受東北季風影響，東部、北部地區各測站之主要風向為 N~NE，夏季則受西南季風影響，南部地區各測站之主要風向則為 S~SW，高山測站的主要風向則整年度大致穩定，並無明顯季節性變化。

5. 降水量

臺灣地區各地降水量分布不均，全年平均降水量約為 2,500 公厘。若就單站單年降水量而言，蘇澳地區於 1998 及 2000 年分別出現年降水量 7,205 公釐及 6,596 公釐的紀錄。單日降水量記錄為阿里山測站於 1996 年 7 月 31 日至 8 月 1 日賀伯颱風來襲期間曾之 1,095 公厘及 24 小時累積雨量 1,748 公厘(世界紀錄為 1,870 公厘) 紀錄。

6. 降水日數

春、夏、冬三季及全年總降水日數皆以東北角最多、西南部的

臺南、高雄最少，秋季差異則較不明顯。

7. 雨水酸鹼度值

環保署定義「酸雨」為雨水酸鹼值在 5.0 (pH<5.0) 以下。臺灣地區酸雨分布大約是以嘉南平原作為分界，向南或向北逐漸酸化，依中央氣象局資料顯示，2007 年 1 月～8 月雨水酸鹼值平均值達酸雨標準者有基隆(4.4)、鞍部(4.4)及臺北(pH=4.8)三站。

8. 太陽輻射

臺灣地區地面接受的全年太陽輻射量是由南部向北部遞減，臺灣本島全年太陽輻射量最多的地方是恆春，為 137.6 千卡/平方公分，其原因主要是恆春的地理緯度低且日照時數較多。臺灣地區全年太陽輻射量最少的地方在基隆，約 86.9 千卡/平方公分，主要原因是基隆冬季面迎東北季風，雲量多，而且全年多雨。

5.4.2 空氣品質監測資料分析

考慮空氣污染物對結構物腐蝕潛勢之影響時，本研究以環保署 1998~2008 年 8 月監測數據作為參考資料。

SO_2 各季濃度有三處高區(濃度高於 5 ppb)，分別為桃園站、頭份站以及高屏地區(包含鳳山站、大寮站、林園站、楠梓站、左營站、前金站、前鎮站、小港站)； NO_2 各季濃度也有三處帶狀高區(春、夏、冬三季濃度高於 20 ppb、秋季高於 15 ppb)，分別為松山站－中壢站、豐原站－大里站以及高屏地區；CO 各季濃度有三處帶狀高區(春、夏、冬三季濃度高於 0.6ppm、秋季高於 0.4ppm)與 NO_2 濃度高區位址相同。

全省二氧化硫污染物最高濃度發生在高雄縣市，尤其以春季及冬季最為明顯(9ppb~12ppb)，夏、秋兩季污染最高濃度除高屏地區外，另一區位為桃園縣市。除基隆市、臺北縣市，桃園縣及宜蘭縣外，其他縣市在春、冬兩季濃度均較夏、秋兩季為高。

氮氧化物一年中最大濃度，除桃園縣外，其他縣市均發生於春季，一年中最小濃度發生於秋季。春冬兩季濃度最高值發生在高雄縣市，

而夏、秋兩季之最高濃度則發生在臺北縣市。

一氧化碳一年中最大濃度各縣市發生在春季、最小濃度發生在秋季。最大濃度發生地點以臺北縣市最高，高雄縣市和臺中縣市次之。

二氧化硫部分，以交通測站最高(6ppb~8ppb)、工業區測站次之(5ppb~8ppb)、公園測站最低(約 1ppb)，其原因為交通工具排放廢氣及工業區工廠內部鍋爐使用大量液態燃料所導致之結果；而在氮氧化物方面，交通測站濃度(25ppb~40ppb)遠大於工業測站(10ppb~25ppb)及一般測站(10ppb~25ppb)，而公園綠地(約 3ppb) 濃度僅達交通測站濃度的10%，顯示氮氧化物主要來自於交通工具及工業區工廠所排放之廢氣。另外，不論就二氧化硫或氮氧化物，交通和工業區測站皆顯示以春季之污染物濃度最高、秋季濃度最低。一氧化碳部分，以交通測站最高(1.5ppm~1.6ppm)、公園測站最低(約 0.2ppm)，其它測站差異則較不明顯(0.3ppm~ 0.7ppm)。

5.5 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗調查建置

5.5.1 調查範圍

調查範圍涵蓋臺灣全島區域之試驗場址(點)選定及相關試樣擺放。試驗點位置的選擇，以下列因素考量：

(1) 以中央氣象局設有氣象站之附近區域為佳。

(2) 足以代表本島特殊氣候的不同類型氣候區，如鹽害區、受季風影響最嚴重的氣候區、交通頻繁之都市地區、工業區、或鹽害硫害較為輕微但相對溼度與溫度變化較大的山地氣候區等。

(3) 本島內工程建設較多、人口與橋梁數量較為密集的地區，如西部路廊。

(4) 濱海或跨海的海濱氣候區。

為選擇長期、固定及安全的試驗場址，本研究協調交通部港務局、交通部公路總局、交通部鐵路管理局、行政院海岸巡防署海岸巡防總局、經濟部工業局工業區服務中心、內政部營建署國家公園管理處、

臺灣高速鐵路股份有限公司、臺北自來水事業處、臺灣電力公司、臺灣中油公司、中鋼公司、臺塑石化股份有限公司與學校，於各機關所屬單位內設置大氣腐蝕試驗裝置。

5.5.2 氯鹽沉積速率調查

5.5.2.1 調查試驗點

根據工業技術研究院於 2002 年進行臺灣 203 座橋梁檢測結果顯示，距海岸線愈遠，氯離子附著量愈少；結構物與海岸距離超過 3 公里以上時，靠陸地側(背海風面)與靠海側(迎海風面)混凝土表面之氯離子附著量相當且較低，幾乎可忽略氯離子對鋼構或鋼筋混凝土結構之影響。因此，本研究垂直海岸線落鹽量之調查將以距離海岸線 3 km 為邊界，即垂直海岸線試驗點的佈設以離海岸線距離，朝內陸沿一條直線設置，每條測線以離海岸線算起，分別約於臨海、100m、300m、1 km、3 km 之距離處設置試驗點。全島共規劃 9 條調查路線，設置站址共 41 處，如下：

(1) 東北季風海域(基隆)：基隆試驗線，包括海洋大學 3 處、市區民宅 1 處與深美國小 1 處，共 5 處。

(2) 西北季風海域(桃園)：桃園試驗線，包括大潭安檢所 1 處、大潭電廠 2 處與觀音工業區 1 處，共 4 處。

(3) 中部地區海域(臺中)：臺中港試驗線，包括臺中港區內 1 處、港研中心 1 處與市區民宅 3 處，共 5 處。

(4) 中部工業區海域(雲林)：臺塑六輕麥寮工業區試驗線，包括六輕工業區內 5 處。

(5) 西南部地區海域(高雄)：高雄港試驗線，包括高雄港區內 4 處與過港隧道管理中心 1 處，共 5 處。

(6) 南部地區海域(恆春)：核三廠試驗線，包括核三廠區內 4 處與恆春市區民宅 1 處，共 5 處。

(7) 東北部地區海域(宜蘭)：蘇澳港試驗線，包括蘇澳港區內 3 處、蘇

澳市區民宅 1 處與龍德工業區 1 處，共 5 處。

(8) 東部地區海域(花蓮)：花蓮港試驗線，包括花蓮港區內 2 處、市區民宅 1 處、市區加油站 1 處與花蓮火車站 1 處，共 5 處。

(9) 東南部地區海域(臺東)：臺東成功漁港試驗線，包括成功新港安檢所 1 處與市區加油站 1 處，共 2 處。

另外為使試驗點之數據可作內插推算，於上述調查路線之垂直方向，即沿臺灣南北向再規劃西部二條、東部一條試驗線。臺灣西部之試驗線一為西部濱海沿線，另一則為臺灣高鐵沿線；西部濱海沿線試驗點包括：臺電核能一廠、臺電林口電廠、新竹外湖安檢所、臺電通霄電廠、苗栗外埔安檢所、臺中五甲安檢所、臺電臺中電廠、彰濱工業區、彰化王功安檢所、嘉義東石安檢所、臺南成大安南校區水工試驗所、高雄縣興達火力電廠、中鋼公司、臺電大林電廠、屏東臺電楓港變電站，共 15 個試驗點；高鐵沿線車站試驗點則包括高鐵新竹站、臺中站、嘉義站、左營站，共 4 個試驗點。臺灣東部濱海公路沿線之試驗點包括：臺北澳底安檢所、宜蘭梗枋安檢所、礁溪火車站、宜蘭朝陽南澳安檢所、花蓮太魯閣國家公園管理處、花蓮橄仔樹安檢所、花蓮石梯安檢所、臺東東河金樽安檢所、臺東富崗伽蘭安檢所、臺東尚武安檢所，共 10 個試驗點。

在對照組方面，選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，規劃之試驗點包括臺北市陽明山國家公園管理處、北橫公路(公路總局第一區養護工程處復興工務段)、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段)、南橫公路(公路總局第三區養護工程處甲仙工務段)等 4 個試驗點。此外，都會地區於臺北市、臺中市與高雄市選取交通頻繁處，設置 3 個試驗點。

氯鹽沉積速率的調查位置分佈如圖 5.5 所示。圖中，紅色字樣表示垂直海岸線規劃的調查路線共 41 個試驗點，藍色字樣為 29 個平行海岸線之試驗點，綠色字樣則表示 7 個參考對照試驗點。



圖 5.5 氯鹽沉積速率調查位置

5.5.2.2 氯鹽沉積速率計算與調查結果

各試驗點暴露後回收的紗布以定量的去離子水(約 50 ml)沖洗，再依離子層析法測定水中之氯離子含量。

表 5-1 為各試驗點四次採樣與一年期之氯鹽沉積速率計算結果。四次採樣的調查期間分別為 2007.05-2007.09，2007.09- 2008.01，2008.01-2008.05，2008.05-2008.08，而一年期的調查期間則為 2007.05-2008.08。

一般而言，2007.05-2007.10 調查期間，氯鹽沉積速率介於 0.2 $mg/m^2/day$ (太魯閣國家公園與北橫巴陵)至 32.14 $mg/m^2/day$(臺東伽蘭安檢所)之間，而較高的沉積速率發生在東海岸中部至南部沿海之伽蘭、成功、石梯、金樽安檢所，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 20 $mg/m^2/day$；其次為西海岸新竹苗栗附近海岸之外湖、外埔安檢所，氯鹽沉積速率分別為 11.67 $mg/m^2/day$ 與 21.05 $mg/m^2/day$，再者為高雄港、桃園大潭海岸附近、臺北縣石門鄉核能一廠、臺塑六輕工業區、基隆市海岸區、花蓮港、恆春鎮核能三廠、臺中港，氯鹽沉積速率介於 8.96 $mg/m^2/day$ 至 3.09 $mg/m^2/day$ 之間。

2007.09-2008.01 之氯鹽沉積速率介於 0.15 $mg/m^2/day$ (陽明山國家公園)至 183.44 $mg/m^2/day$ (林口火力電廠)，較高的沉積速率發生在西海岸北部至中南部的沿海區域，如桃園大潭至麥寮六輕之間，各測點所測得的氯鹽沉積速率介於 112.5 $mg/m^2/day$ 至 11.5 $mg/m^2/day$，其次為東海岸之花蓮港 0m 處、檳仔樹、石梯安檢所等，氯鹽沉積速率分別為 19.82 $mg/m^2/day$、33.3 $mg/m^2/day$ 與 16.82 $mg/m^2/day$。

2008.01-2008.05 之氯鹽沉積速率介於 0.26 $mg/m^2/day$ (阿里山)至 31.52 $mg/m^2/day$ (林口火力電廠)，較高的沉積速率發生在西北海岸核一廠至桃園大潭之間、東北海岸基隆以及彰濱工業區與雲林麥寮工業區附近。至於臺灣南部海岸以及東部海岸區域，氯鹽沉積速率較小，介於 1.00 $mg/m^2/day$ (興達火力電廠)至 2.10 $mg/m^2/day$ (臺東金樽安檢所)之間。

2008.05-2008.08 之氯鹽沉積速率介於 0.02 $mg/m^2/day$ (北橫巴陵)

至 48.96 mg/m^2/day (基隆澳底安檢所)，較高的沉積速率發生在東北海岸基隆、林口火力電廠與西海岸新竹外湖安檢所至彰濱工業區之間，且東部海岸中南部由臺東成功至伽蘭安檢所之間的氯鹽沉積速率亦在 2.85 mg/m^2/day 至 12.54 mg/m^2/day 之間。至於臺灣南部海岸的氯鹽沉積速率較小，介於 1.17 mg/m^2/day (興達火力電廠)至 0.38 mg/m^2/day (高雄港試驗線 1Km)之間。

由於濕燭法的原理為使用一個濕纖維織物表面，在已知面積的條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量；因此在纖維織物維持濕潤的狀況下，附著在纖維織物上的氯鹽會隨暴露時間的增加而累積，但在雨天時因為雨水的潑濺，燭心上部份的氯鹽沉積也可能被洗去，因此比較一年期與四季的氯鹽沉積速率值，一年期的氯鹽沉積速率多大於單季取樣的沉積速率。在 2007.05-2008.08 一年期的暴露時間內，臺灣本島的氯鹽沉積速率介於 0.13 mg/m^2/day (北橫巴陵)至 99.84 mg/m^2/day (桃園試驗線 0m)之間，較高的沉積速率發生在東部海岸的臺北縣貢寮鄉澳底、宜蘭南澳、花蓮檞仔樹與臺東伽蘭，以及西部海岸的苗栗外埔等之安檢所、林口火力電廠、彰濱工業區與臺塑六輕工業區，高雄港試驗線 0m 處亦達到 11.74 mg/m^2/day，僅有山區之試驗位址較無顯著變化，如北橫巴陵為 0.13 mg/m^2/day，阿里山為 0.23 mg/m^2/day，南橫天池為 0.29 mg/m^2/day。

表 5-1 各試驗點之氯鹽沉積速率

單位：$mg/m^2/day$

項次	安裝地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
1	核一廠	8.55	9.46	11.23	7.69	40.32
2	基隆試驗線 0m	2.08	7.37	14.42	-	-
3	100m	4.66	0.38	10.85	4.67	20.61
4	300m	0.81	0.25	4.62	2.33	8.75
5	1Km	0.65	1.08	2.15	0.85	3.14
6	3Km	0.88	0.32	4.65	3.12	7.69
7	澳底安檢所	14.25	-	23.76	48.96	97.69
8	梗枋安檢所	5.51	4.92	6.15	15.20	15.99
9	礁溪火車站	0.34	0.37	0.56	2.43	4.60
10	龍德工業區	3.73	0.68	2.08	2.86	4.95
11	蘇澳港試驗線 0m	2.07	1.53	3.09	4.80	14.80
12	100m	1.43	1.27	2.38	2.35	20.91
13	300m	1.21	0.87	1.56	4.37	8.10
14	1Km	0.46	0.51	0.60	0.92	2.68
15	南澳安檢所	5.76	1.76	3.01	3.54	21.38
16	太魯閣國家公園	0.20	0.25	0.30	0.13	0.83
17	花蓮港試驗線 0m	3.43	12.80	4.82	4.47	18.31
18	100m	2.12	19.82	3.18	2.66	23.09
19	300m	0.47	2.84	1.22	0.95	3.83
20	1Km	0.53	2.32	1.47	0.63	4.43
21	3Km (花蓮火車站)	0.59	2.03	0.76	0.46	2.52
22	橄仔樹安檢所	3.03	33.30	2.04	5.57	20.76
23	石梯安檢所	23.67	16.82	4.17	4.31	19.40
24	成功試驗線 0m	26.15	4.76	1.73	2.54	12.56
25	300m	3.67	3.45	1.92	2.85	10.89
26	金樽安檢所	20.46	2.90	2.10	1.46	6.20
27	伽蘭安檢所	32.14	8.26	3.21	12.54	76.31
28	尚武安檢所	2.72	1.16	1.02	0.59	2.67
29	核三廠試驗線 0m	3.37	9.23	2.80	3.04	10.20
30	100m	0.68	4.67	2.07	1.45	3.72
31	300m	1.03	6.87	2.32	0.91	3.73
32	1Km	2.37	3.71	1.94	1.07	3.12
33	3Km	1.32	1.11	0.88	0.76	2.87
34	楓港變電站	0.59	1.31	1.32	0.39	1.48
35	大林火力電廠	5.11	5.08	4.61	1.76	6.07
36	中鋼公司	4.98	2.95	0.75	0.50	2.39
37	高雄市區	0.58	1.86	0.44	0.38	1.17
38	高雄港試驗線 0m	3.40	10.96	2.74	1.84	11.74
39	100m	8.96	8.79	2.44	1.08	11.40
40	300m	2.10	3.15	1.71	0.80	5.02
41	1Km	2.11	2.88	1.47	0.38	2.28
42	3Km	1.23	1.26	0.78	0.79	2.07

表 5-1 各試驗點之氯鹽沉積速率(續)

項次	安裝地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
43	高鐵左營站	0.36	0.70	0.46	0.20	1.75
44	興達火力電廠	1.48	0.99	1.00	1.17	4.86
45	成大水工所	1.10	1.63	0.52	0.36	3.56
46	東石安檢所	2.23	6.87	3.25	1.47	6.12
47	高鐵嘉義站	0.69	0.75	0.58	0.24	0.93
48	臺塑六輕試驗線 0m	3.49	80.20	9.71	2.51	58.55
49	100m	6.81	61.36	20.32	3.48	41.54
50	300m	3.28	29.05	10.58	1.22	17.24
51	1Km	5.02	46.54	9.98	4.22	23.63
52	3Km	1.04	12.54	2.63	0.39	4.84
53	王功安檢所	1.17	11.52	8.35	1.63	7.41
54	彰濱工業區	15.27	18.22	26.44	6.06	55.15
55	高鐵臺中站	0.34	1.36	0.52	0.05	0.25
56	臺中市區	0.66	1.01	0.40	0.08	0.31
57	臺中火力電廠	0.92	15.58	11.54	1.78	18.24
58	臺中港試驗線 0m	3.09	9.94	4.90	4.72	13.07
59	100m	0.87	14.06	2.66	0.61	5.07
60	300m	0.71	13.70	2.79	0.16	2.20
61	1Km	0.76	12.14	2.06	0.95	1.68
62	3Km	0.57	3.17	1.27	0.62	1.09
63	五甲安檢所	1.79	33.12	4.53	3.31	14.53
64	通霄火力電廠	1.14	11.33	2.47	3.16	5.06
65	外埔安檢所	21.05	79.56	7.94	24.43	88.82
66	外湖安檢所	11.67	13.38	9.11	16.69	51.90
67	高鐵新竹站	0.58	0.79	0.26	0.15	0.87
68	桃園試驗線 0m	8.83	112.51	2.91	6.21	99.84
69	100m	2.08	19.21	3.27	2.03	9.25
70	300m	2.47	38.29	2.93	3.48	11.82
71	1Km	2.05	6.89	2.29	1.63	6.11
72	林口火力電廠	7.83	183.44	31.52	12.74	67.15
73	臺北市區	0.48	0.73	0.93	0.21	1.03
74	陽明山國家公園	0.34	0.15	1.49	0.24	1.79
75	北橫巴陵	0.20	0.45	0.32	0.02	0.13
76	阿里山	0.31	0.25	0.26	0.04	0.23
77	南橫天池	0.27	0.20	0.33	0.13	0.29

註：- 表示試體遺失

5.5.2.3 氯鹽沉積速率季節性之比較

本研究四次採樣調查的期間分別為 2007.05-2007.09，2007.09-2008.01，2008.01- 2008.05，2008.05-2008.08，相當於臺灣氣候之夏季至初秋、初秋到冬季、冬季至春末與春末至夏季期間。圖 5.6 至圖 5.9 為四次採樣期間內之氯鹽沉積速率等位圖，圖 5.10 則為一年期之氯鹽沉積速率調查結果，圖中，紅色部份表示氯鹽沉積速率大於 10 mg/m^2/day 的區域。根據四次採樣調查結果，臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率以初秋到冬季(2007.09- 2008.01)最為嚴重，由臺北縣石門鄉核能一廠一直到嘉義縣東石鄉，氯鹽沉積速率多大於 10 mg/m^2/day，且約在 6 ~ 80 mg/m^2/day 之間；而在夏季至初秋(2007.05- 2007.09)以及春末至夏季(2008.05-2008.08)，因主要調查期間均為夏季，所以兩次所得之氯鹽沉積速率相近，即在林口火力電廠、桃園大潭至苗栗通霄電廠之間以及彰濱工業區附近的氯鹽沉積速率較大，約為 6 ~ 15 mg/m^2/day；冬季至春末(2008.01- 2008.05)，臺北縣石門鄉核能一廠至桃園大潭間以及彰濱工業區與麥寮工業區附近氯鹽沉積速率較大，約在 4 ~ 8 mg/m^2/day 左右。

至於臺灣東部海岸的氯鹽沉積速率則以夏季至初秋(2007.05-2007.09)最為嚴重，分佈於臺北縣貢寮鄉澳底安檢所附近以及花蓮石梯檢所至臺東伽蘭安檢所之間，氯鹽沉積速率約為 15 ~ 30 mg/m^2/day；而初秋到冬季(2007.09-2008.01)，較大的氯鹽沉積速率發生在花蓮橄仔樹安檢所至花蓮港試驗線之間，約為 19 ~ 30 mg/m^2/day；至於冬季至春末(2008.01 -2008.05)，臺北縣貢寮鄉澳底安檢所至宜蘭梗枋安檢所的氯鹽沉積速率較高，約為 6 ~ 24 mg/m^2/day 左右；但在春末至夏季(2008.05-2008.08)期間，不僅臺北縣貢寮鄉澳底安檢所至宜蘭梗枋安檢所的氯鹽沉積速率仍維持較高的沉積速率(約為 15 ~ 48 mg/m^2/day 之間)，且臺東伽蘭安檢所附近的氯鹽沉積速率亦高達 12.6 mg/m^2/day。

臺灣南部海岸的氯鹽沉積速率與西部海岸以及東部海岸相較，氯鹽沉積速率較小，四次調查的結果多小於 10 mg/m^2/day。簡言之，臺灣本島一年期(2007.05-2008.08)累積的氯鹽沉積速率，除南部海岸較低

外(僅高雄港試驗線 0m 與核三廠試驗線 0m 處大於 10 mg/m^2/day，分別為 11.7 mg/m^2/day 與 10.2 mg/m^2/day)，西部海岸從雲林麥寮以北至北部海岸的核一廠，以及自核一廠至東部海岸的臺東伽蘭安檢所附近，其一年累積的氯鹽沉積速率多大於 10 mg/m^2/day，如圖 5.10 所示。

比較四次調查期間內的氯鹽沉積速率，顯然的，夏季至初秋(2007.05-2007.9)調查期間東海岸中部至南部沿海區域氯鹽沉積速率較高；但在初秋到冬季(2007.09-2008.01)調查期間，氯鹽沉積速率較高的位置則發生在西海岸北部至中南部的沿海區域，且有往內陸延伸的趨勢。由於臺灣位於亞洲東南近海的季風區內，季風現象明顯，尤其以冬季的東北季風最為強烈。每年的 4 月間，夏季風已徐徐吹入，但是由於大陸上的冷氣團依然間歇地抵達，使得風向變化頻仍，因此 4、5 月間是轉換期。6 月以後，大陸上低氣壓已有相當發展的程度，促使空氣向北消退，夏季季風也跟隨而上，一直到 8 月才是最盛期，盛行吹西南風和東南風，即中央山脈以東吹東南風，以西則吹西南風，但當颱風或熱帶性低氣在臺灣附近時，亦會有短時期的東北風。9 月以後，大陸上高氣壓勢力增強，迫使夏季季風南退，開始吹東北風，但有時夏季季風依然北上，這時期也是轉換期。10 月以後風向逐漸穩定，12 月到 2 月為最盛期，3 月以後，逐漸衰減。因此推論兩次氯鹽沉積速率調查的差異應是 2007.05-2007.09 期間，東部海岸受夏季季風以及颱風的吹襲，海風挾帶大量的氯鹽，造成該區域空氣中氯鹽含量增加所致；而 2007.09-2008.01 期間，西海岸北部至中南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽有顯著增加的趨勢。圖 5.11 為氯鹽沉積速率第一次與第二次採樣之比較圖；圖中，綠色、藍色與紅色的區域均表示第二次氯鹽沉積速率增加的地方，即在西海岸核能一廠至臺塑六輕的沿海區域與東海岸花蓮港附近，氯鹽沉積速率都有明顯增加的趨勢，其中尤以林口火力電廠與桃園大潭海岸附近為甚。此外，再以高鐵沿線各站為例，2007.09 - 2008.01 期間之氯鹽沉積速率均大於 2007.05-2007.09 之調查結果，且新竹站以南至左營站之間第二次調查結果分別為：新竹站(0.79 mg/m^2/day)、臺中站(1.36 mg/m^2/day)、嘉義站(0.75 mg/m^2/day)與左營站(0.70 mg/m^2/day)，顯示高鐵沿線在

2007.09-2008.01 期間，除臺中地區的氯鹽沉積速率較大外，其餘地區均相近(~0.75 mg/m^2/day)。

至於冬季至春末(2008.01- 2008.05)的調查期間，東北季風由盛轉弱並進入夏季季風的轉換期，所以在此期間臺灣北部海岸自臺北縣石門鄉核能一廠至桃園大潭附近以及彰濱工業區與麥寮工業區附近，氯鹽沉積速率仍因東北季風的影響而維持偏高的趨勢。換句話說，臺灣氯鹽沉積速率的分佈受東北季風的影響甚巨，西海岸北部至中部、南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽會有顯著增加的趨勢；而夏季季風對臺灣南部海岸空氣中的氯鹽量並無顯著的影響；至於東部海岸因受夏季季風以及颱風的吹襲，海風挾帶大量的氯鹽，會造成該區域空氣中氯鹽含量增加。

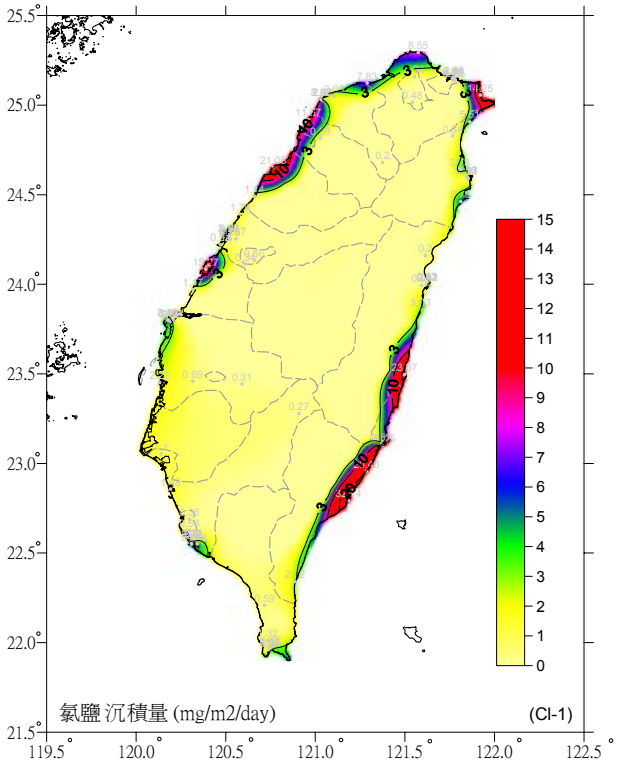


圖 5.6　2007.05-2007.09 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

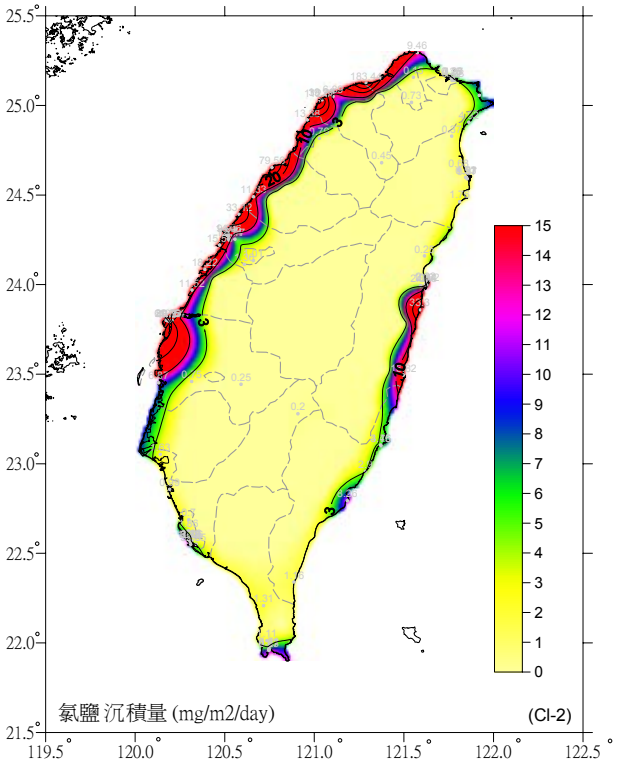


圖 5.7　2007.09-2008.01 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

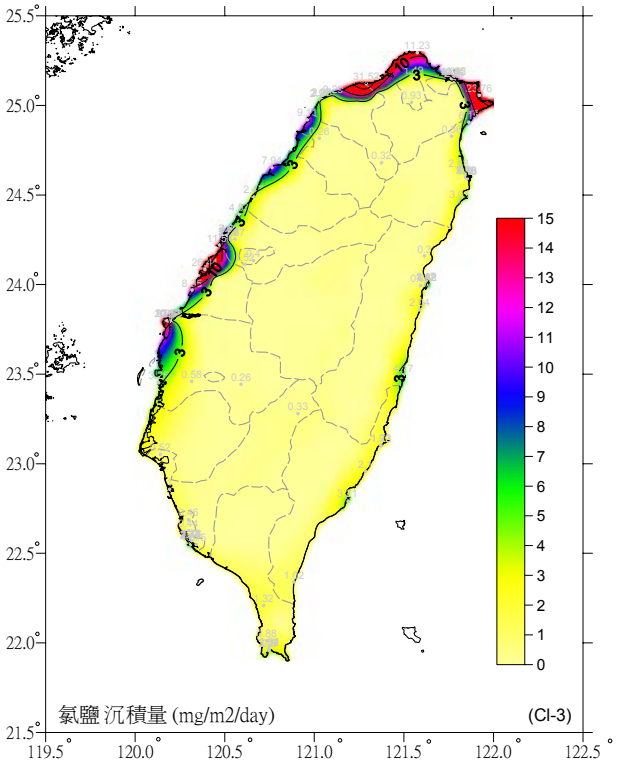


圖 5.8　2008.01-2008.05 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

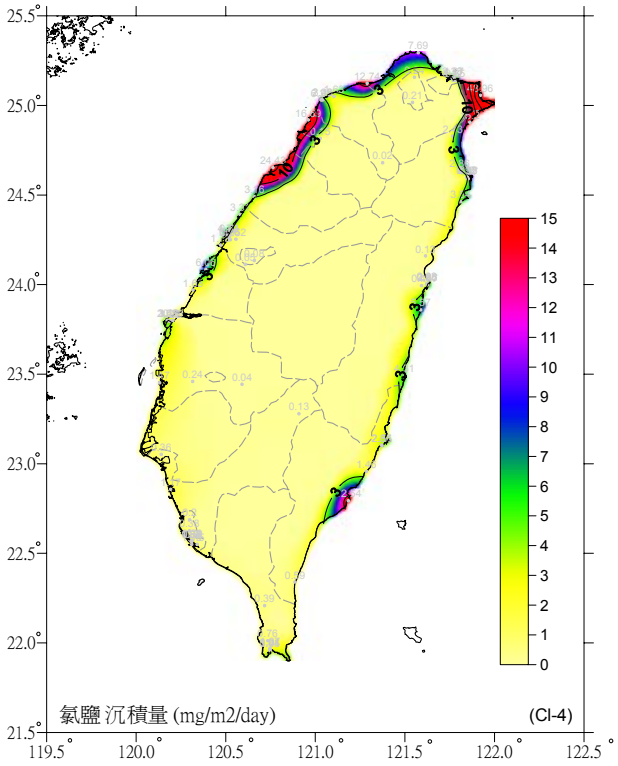


圖 5.9　2008.05-2008.08 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

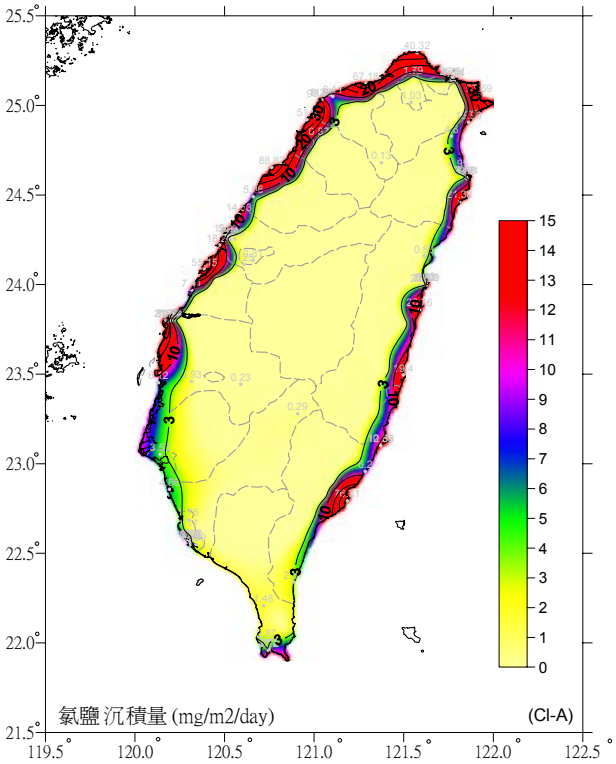


圖 5.10　2007.05-2008.08 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

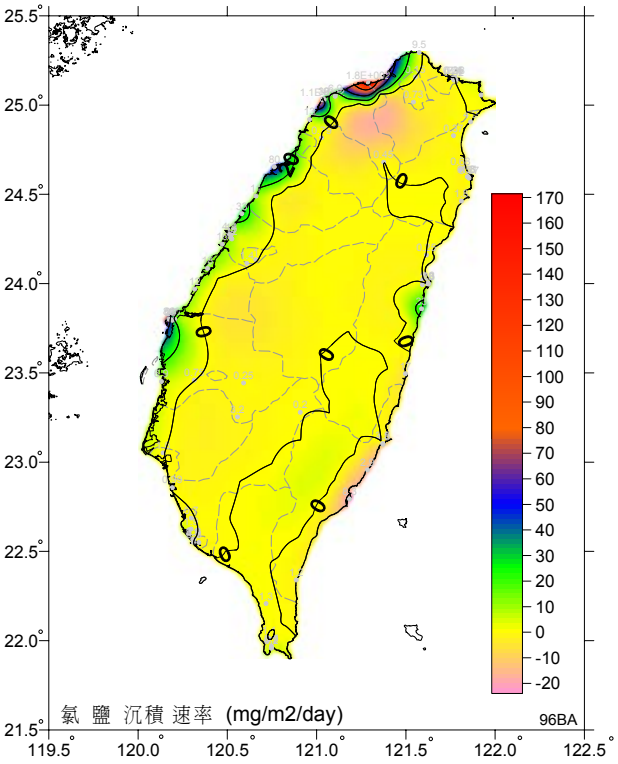


圖 5.11　第一、二次調查期間氯鹽沉積速率比較

5.5.2.4 聖帕颱風調查結果

為瞭解颱風侵襲對氯鹽沉積速率之影響，本研究在聖帕颱風侵襲前後進行調查。聖帕颱風於 2007 年 8 月 17 日由臺灣東部海岸登陸，因此颱風期之氯鹽沉積速率調查時間為 2007/8/15 至 2007/9/6，調查位置為東部海岸蘇澳港至花蓮港之間。表 5-2 與表 5-3 分別為 2007 年 5 月中旬至 8 月中旬(聖帕颱風前)與聖帕颱風時之氯鹽沉積速率計算結果，圖 5.12 為聖帕颱風前之氯鹽沉積速率與聖帕颱風侵襲之氯鹽沉積速率比較結果。顯然的，颱風侵襲期間造成各試驗點氯鹽沉積速率有顯著增加的趨勢，尤其是在濱海試驗點如蘇澳港 100m 處、花蓮港 0m 處與橄仔樹安檢所，其增加率有 10 倍左右；至於龍德工業區因距海岸線較遠，受地形與建築物屏障的結果，氯鹽沉積速率並無增加。比較蘇澳港試驗線，0m 位置位於蘇澳港務局行政大樓頂樓，100m 位置位於港務局單身宿舍頂樓，300m 位置位於港區內圍牆上，而 1km 位置位

於蘇澳鎮市區內，由於風向與建築物的遮避效應，蘇澳港 100m 處的氯鹽沉積速率較大，此現象說明了空氣中的氯鹽含量會受到風速、風向與局部地形之影響。

表 5-2 2007 年 5 月中旬至 8 月中旬各試驗點之氯鹽沉積速率

項次	安裝地點	Cl 濃度 (mg/L)	暴露面積 (cm^2)	暴露天數 (day)	計算結果 ($mg/m^2/day$)
1	龍德工業區	64.06	94.25	91	3.73
2	蘇澳港試驗線 0m	33.98	94.25	87	2.07
3	100m	23.67	94.25	88	1.43
4	300m	20.00	94.25	88	1.21
5	1 Km	8.00	94.25	93	0.46
6	南澳安檢所	102.15	94.25	94	5.76
7	花蓮港試驗線 0m	60.19	94.25	93	3.43
8	100m	37.08	94.25	93	2.12
9	300m	8.32	94.25	93	0.47
10	1Km	9.27	94.25	93	0.53
11	3Km (花蓮火車站)	10.34	94.25	93	0.59
12	檄仔樹安檢所	53.12	94.25	93	3.03

表 5.3 聖帕颱風侵襲之氯鹽沉積速率計算結果

	安裝地點	Cl 濃度 (mg/L)	暴露面積 (cm^2)	暴露天數	計算結果 ($mg/m^2/day$)
1	龍德工業區	12.35	94.25	21	3.12
2	蘇澳港試驗線 0m	27.92	94.25	23	6.44
3	100m	103.76	94.25	22	25.02
4	300m	50.89	94.25	22	12.27
5	1 Km	7.85	94.25	21	1.98
6	南澳安檢所	20.69	94.25	21	5.23
7	花蓮港試驗線 0m	147.00	94.25	21	37.14
8	100m	21.08	94.25	21	5.33
9	300m	16.55	94.25	21	4.18
10	1Km	25.14	94.25	21	6.35
11	3Km (花蓮火車站)	18.85	94.25	21	4.76
12	檄仔樹安檢所	95.31	94.25	21	24.08

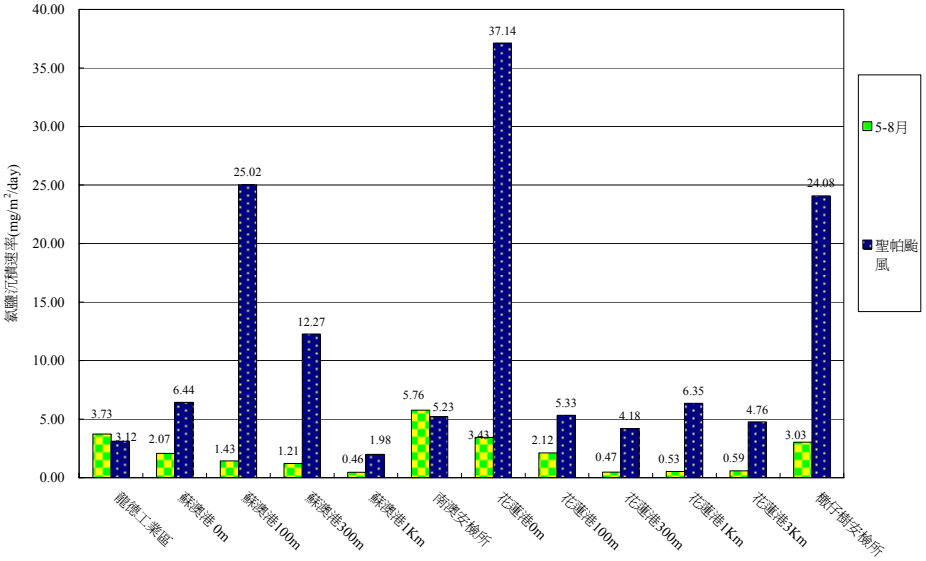


圖 5.12　2007 年 5 月至 10 月之氯鹽沉積速率與聖帕颱風侵襲之氯鹽沉積速率比較

5.5.2.5 氯鹽沉積速率與距海岸線距離之關係

空氣中氯鹽含量輸送到內陸的分佈受到風速、風向、局部地形的影響，距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小。以第二次調查為例，沿海地區如桃園大潭 0m 為 112.51 mg/m^2/day，外湖安檢所為 13.38 mg/m^2/day，外埔安檢所為 79.56 mg/m^2/day，五甲安檢所為 33.12 mg/m^2/day，臺中港試驗線 100m 為 14.06 mg/m^2/day，彰濱工業區為 18.22 mg/m^2/day，六輕試驗線 0m 為 80.2 mg/m^2/day，高雄港試驗線 0m 為 10.96 mg/m^2/day；但在內陸山區，陽明山國家公園之氯鹽沉積速率為 0.15 mg/m^2/day，北橫巴陵為 0.28 mg/m^2/day，阿里山為 0.25 mg/m^2/day，南橫天池為 0.20 mg/m^2/day。至於垂直海岸的試驗線，因同一試驗線各試驗位址間的距離較近(離海岸距離分別為 0m、100m、300m、1km 與 3km)，若某一位址有建築物遮避，則「距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小」的現象可能較不明顯。如蘇澳港試驗線，其 0m 位置位於蘇澳港務局行政大樓頂樓，100m 位置位於港務局單身宿舍頂樓，300m 位置位於港區內圍牆上，而 1km 位置位於蘇澳鎮市區內；由

於風向與建築物的遮避效應，第一次與第二次量測時蘇澳港臨海 0m 處的氯鹽沉積速率最大，但在聖帕颱風調查期間(2007.08.15-2007.09.06)，蘇澳港 100m 處的氯鹽沉積速率卻最大，此現象再次說明了試驗位址相近之氯鹽調查結果，會受到風速、風向與局部遮避的影響而產生差異。

圖 5.13 為四次調查與一年期暴露之垂直海岸試驗線於距海岸 0m、100m、300m、1000m、3000m 之平均氯鹽沉積速率；顯然的，臺灣全年期之試驗結果，臺塑六輕試驗線與桃園大潭試驗線的平均氯鹽沉積速率較高。此外，一年期氯鹽沉積速率與距海岸線距離的關係如圖 5.14 所示，與本所過去研究「橋梁混凝土表面氯離子含量與海岸距離之關係」成果相同，即空氣中氯鹽含量輸送到內陸的分佈，受到風速、風向、局部地形的影響，距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小，且距離海岸超過 3000m 以上時，氯離子的沉積速率已明顯減少。

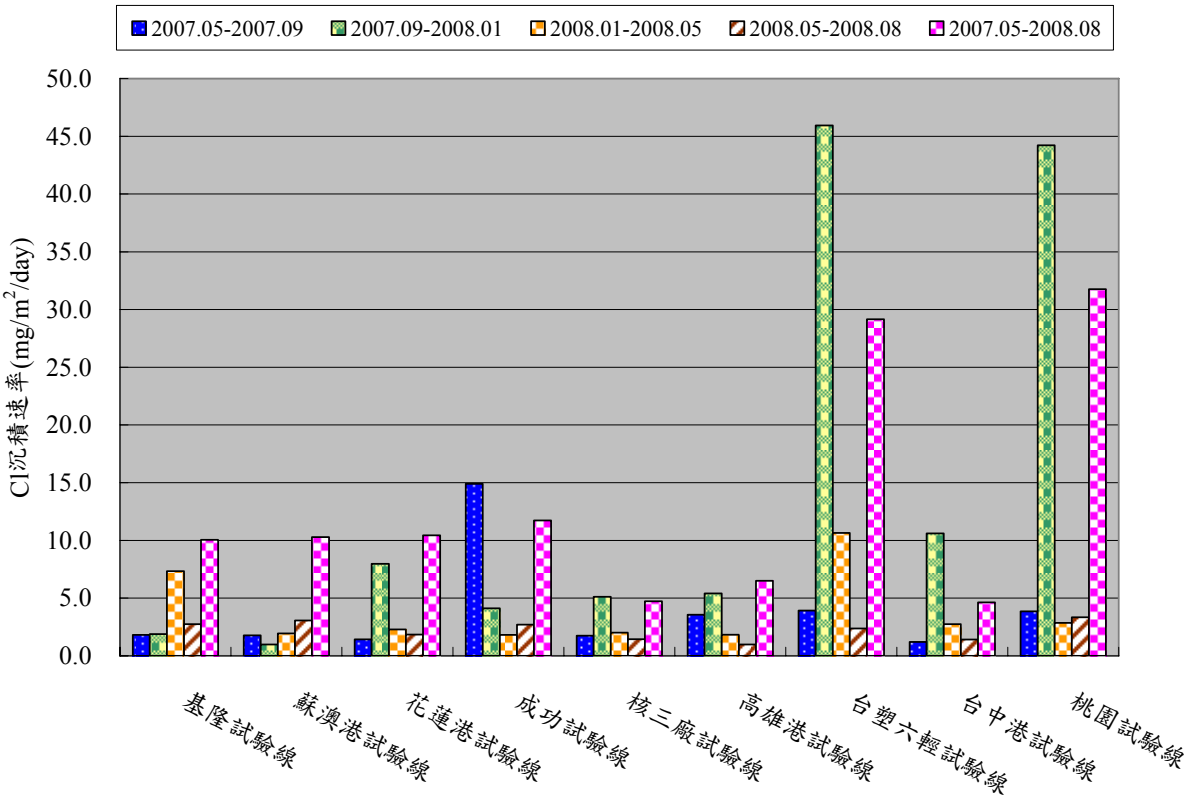


圖 5.13 四次調查與一年期之垂直海岸試驗線平均氯鹽沉積速率

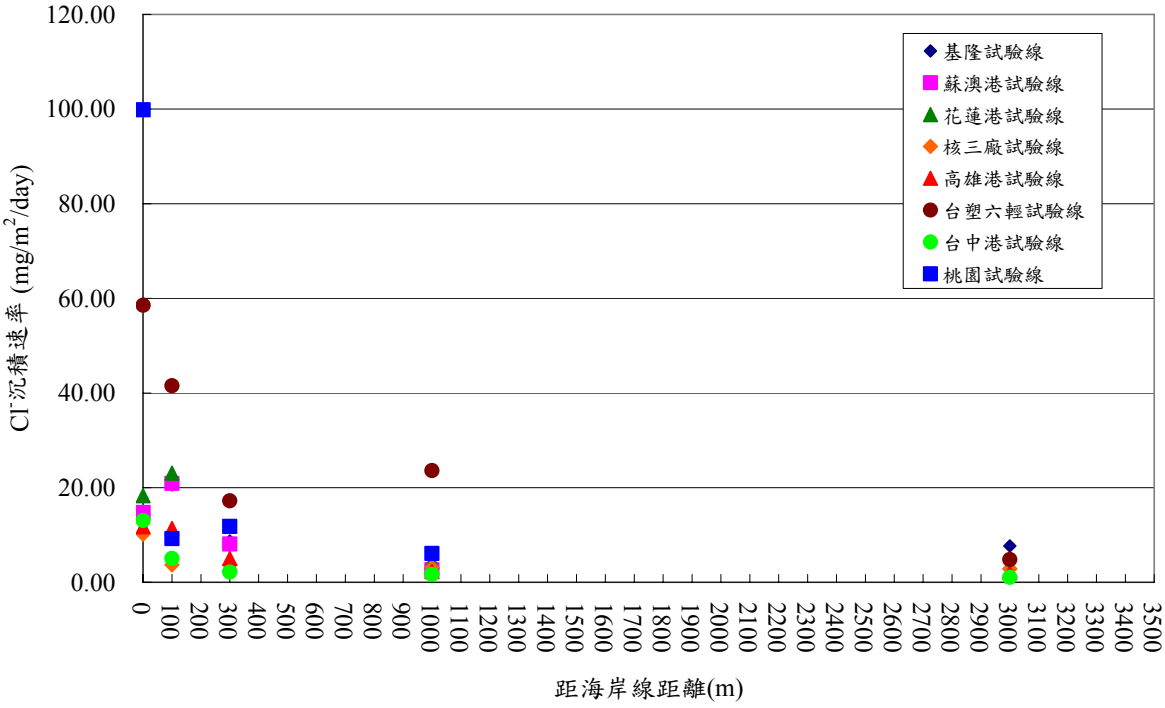


圖 5.14 一年暴露期之氯鹽沉積速率與海岸線距離的關係

5.5.3 二氧化硫沉積速率調查

5.5.3.1 調查試驗點

大氣中廢氣的污染程度決定了當地大氣的腐蝕性，若排放的廢氣中含有大量的 SO_2 與 H_2S，這些氣體在大氣中會形成酸雨，且當這些硫化物溶於水以水膜形式存在時，將會形成強腐蝕介質，加速金屬腐蝕。一般在石化廠、煉鋼廠、火力電廠等工業區與都市地區，大氣中均可能存在相當程度的硫化物；因此本研究針對 SO_2 沉積速率調查試驗點的佈設，主要以都市地區、工業地區、石化與火力電廠附近為主，並設置對照組，建置如下：

(1)都市地區：臺北市、臺中市、高雄市，選取交通頻繁處，共 3 個試驗點。

(2)工業地區：選定具代表性之工業區服務中心，共 29 個試驗點。

(3)石化與火力電廠：中油桃園煉油廠、高雄煉油廠、林園煉油廠、臺電深澳、林口、大潭、通霄、臺中、興達、大林發電廠與核能三廠，

共有 11 個試驗點。

(4) 臺灣西部南北縱向：高鐵沿線車站，地點包括高鐵桃園站、臺中站、嘉義站、左營站，共有 4 個試驗點。

(5) 對照組：選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，規劃之試驗點包括臺北市陽明山國家公園管理處、太魯閣國家公園管理處、北橫公路(公路總局第一區養護工程處復興工務段)、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段)、南橫公路(公路總局第三區養護工程處甲仙工務段)、與礁溪火車站等 6 個試驗點。在硫磺區如臺北自來水事業處陽明山淨水站亦有 1 個試驗點。

總計 SO_2 沉積速率的調查位置共有 54 個試驗點，包括都市地區 3 個試驗點，全臺工業區 29 個試驗點，石化與火力電廠 11 個試驗點，高鐵沿線 4 個試驗點，6 個參考對照試驗點與硫磺溫泉區 1 個試驗點。

5.5.3.2 SO_2 沉積速率計算與調查結果

各試驗點暴露後回收的硫酸化平板依離子層析法測定，即使用碳酸鈉溶液先移出並溶解硫酸化平板之內容物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量。

表 5-4 為各試驗位址二氧化硫沉積速率計算結果。四次採樣調查的時間與氯鹽沉積速率調查的時間相同，分別為 2007.05-2007.09，2007.09- 2008.01，2008.01- 2008.05，2008.05- 2008.08，而一年期的調查時間則為 2007.05-2008.08。

第一次調查期間(2007.05-2007.09)，陽明山的硫磺區的二氧化硫沉積速率最大(646.03 $mg/m^2/day$)，其餘介於 7.04 $mg/m^2/day$ (南橫天池)至 325.30 $mg/m^2/day$(高雄煉油廠)之間。較高的沉積速率發生在高雄煉油廠(325.30 $mg/m^2/day$)、大發工業區(257.88 $mg/m^2/day$)、彰濱工業區(247.98 $mg/m^2/day$)、桃園煉油廠(239.72 $mg/m^2/day$)、大林火力電廠(226.86 $mg/m^2/day$)、中鋼公司(210.43 $mg/m^2/day$)、中油林園廠(207.39 $mg/m^2/day$)，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準(P3, 200 $mg/m^2/day$)。至於六輕工業區，因硫酸化平板設置的位置不在石化廠廠

區內，故僅測得該區域之背景值約為 110.08 mg/m^2/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高(132.61 mg/m^2/day)、臺中站次之(75.90 mg/m^2/day)、嘉義站再次之(58.49 mg/m^2/day)、新竹站最低為(40.73 mg/m^2/day)。東部海岸因無石化工業區或電廠的設立，除龍德工業區(167.46 mg/m^2/day)外，二氧化硫沉積速率僅介於 9.23 mg/m^2/day(太魯閣國家公園)與 31.78 mg/m^2/day(豐樂工業區)之間。

2007.09-2008.01 第二次調查期間內，二氧化硫沉積速率仍以陽明山的硫磺區最高，約為 2454.07 mg/m^2/day，其餘介於 6.87 mg/m^2/day (南橫天池)至 585.31 mg/m^2/day(大林火力電廠)之間。其中較高的沉積速率發生在中油林園廠(515.26 mg/m^2/day)、大發工業區(19.84 mg/m^2/day)、彰濱工業區(299.32 mg/m^2/day)、桃園煉油廠(292.69mg/m^2/day)、六輕工業區(石化廠區外，約 276.65 mg/m^2/day)與高雄煉油廠(240.24 mg/m^2/day)。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高(151.60 mg/m^2/day)、嘉義站次之(90.13 mg/m^2/day)、臺中站再次之 66.34 mg/m^2/day)、最低為新竹站 (61.31 mg/m^2/day)。東部海岸因無石化工業區或電廠的設立，除龍德工業區(249.09 mg/m^2/day)外，二氧化硫沉積速率僅介於 7.76 mg/m^2/day(太魯閣國家公園) 與 35.13 mg/m^2/day(和平工業區)之間。

第三次調查(2008.01-2008.05)，陽明山的硫磺區的二氧化硫沉積速率仍最高，為 1568.51 mg/m^2/day，其餘介於 5.76 mg/m^2/day (南橫天池)至 449.29 mg/m^2/day(陽明山國家公園)之間。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高(108.07 mg/m^2/day)、嘉義站次之(92.43 mg/m^2/day)、臺中站再次之 86.95 mg/m^2/day)、最低為新竹站 (72.02 mg/m^2/day)。此外，本次調查期間在臺塑麥寮石化廠區內距海岸 300m 處亦設置了二氧化硫採集器，該處之二氧化硫沉積速率為 205.37 mg/m^2/day。

第四次調查期間(2008.05-2008.08)，二氧化硫沉積速率仍以陽明山的硫磺區最高，約為 1368.95mg/m^2/day，其餘介於 3.29 mg/m^2/day (南橫天池)至 257.68 mg/m^2/day(臺塑六輕試驗線 300m)之間。較高的沉積

速率發生在中鋼公司(254.76 mg/m^2/day)、大發工業區(223.05 mg/m^2/day)、桃園煉油廠(222.31 mg/m^2/day)，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準(P3, 200 mg/m^2/day)。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分佈由大到小依序為左營站、臺中站、新竹站、嘉義站，分別為 54.63、50.11、22.99、21.55 mg/m^2/day。

一年期的暴露時間內(2007.05-2008.08)，臺灣本島的二氧化硫沉積速率以陽明山的硫磺區最高，為 1277.75mg/m^2/day，陽明山國家公園次之，為 238.15 mg/m^2/day，其餘介於 4.24 mg/m^2/day (南橫天池)至 186.82 mg/m^2/day (龍德工業區)之間；較高的沉積速率發生在桃園煉油廠、高雄煉油廠、中油林園廠、大林火力電廠等石化廠與火力電廠以及臺塑麥寮工業區、觀音工業區、大發工業區等，僅有山區的試驗位址，二氧化硫沉積速率無顯著變化，如北橫巴陵為 6.78 mg/m^2/day，阿里山為 9.99 mg/m^2/day，南橫天池為 4.24 mg/m^2/day。

各石化廠與火力電廠、高鐵沿線、都市地區以及重要工業區之二氧化硫沉積速率彙整如**表 5-5** 所示。

表 5-4 各試驗點之 SO_2 沉積速率計算結果

項次	安裝地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
1	基隆試驗線 3Km	97.49	42.20	55.50	31.40	29.54
2	礁溪火車站	16.35	12.38	29.39	10.52	20.25
3	龍德工業區	167.46	249.09	219.66	184.29	186.82
4	和平工業區	13.39	35.31	25.45	13.11	15.09
5	太魯閣國家公園	9.23	7.76	14.65	14.49	7.67
6	美崙工業區	12.55	19.94	25.30	19.67	12.50
7	豐樂工業區	31.78	29.00	32.80	20.57	11.57
8	核三廠試驗線 1Km	16.43	17.92	21.28	12.62	8.50
9	屏東工業區	54.98	85.36	97.46	32.95	41.67
10	中油林園廠	207.39	515.26	290.96	199.02	123.36
11	大林火力電廠	226.86	585.31	176.32	96.84	118.60
12	中鋼公司	210.43	189.62	365.11	254.76	86.15
13	鳳山工業區	83.34	183.49	349.85	58.23	56.82
14	大發工業區	257.88	341.60	390.78	223.05	172.08
15	高雄市區	195.93	127.03	169.24	55.64	94.82
16	高鐵左營站	132.61	151.60	108.07	54.63	101.24
17	高雄煉油廠	325.30	240.24	158.04	196.76	125.80
18	仁大工業區	175.39	136.89	119.93	87.41	81.63
19	永安工業區	147.27	195.83	198.53	114.20	63.83
20	興達火力電廠	175.22	73.03	111.03	41.56	52.10
21	安平工業區	101.73	190.31	136.75	80.46	97.40
22	成大水工所	84.25	47.34	38.86	43.61	26.18
23	官田工業區	103.65	134.75	180.30	78.98	71.22
24	朴子工業區	98.29	106.49	147.78	88.78	65.70
25	高鐵嘉義站	58.49	90.13	92.43	21.55	46.20
26	斗六工業區	52.09	67.89	147.76	44.87	59.90
27	六輕工業區	110.18	276.65	164.30	103.96	111.67
28	彰濱工業區	247.98	299.32	236.86	89.33	24.64
29	田中工業區	174.00	258.12	305.85	120.43	154.88
30	南崗工業區	75.13	57.33	91.89	57.04	38.07
31	大里工業區	53.14	69.09	76.17	22.08	32.15
32	高鐵臺中站	75.90	66.34	86.95	50.11	30.93
33	臺中市區	48.62	82.61	86.05	28.56	26.42
34	臺中工業區	120.08	88.89	97.94	59.02	42.88
35	臺中港關連工業區	110.51	121.22	97.02	152.91	76.85

表 5-4 各試驗點之 SO_2 沉積速率計算結果（續）

項次	安裝地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
36	臺中火力電廠	112.47	167.31	157.32	137.41	109.62
37	通霄火力電廠	51.71	67.46	340.44	32.97	43.65
38	竹南工業區	114.17	226.11	370.43	14.73	62.54
39	頭份工業區	114.91	140.21	191.37	97.48	90.70
40	工研院	51.72	120.83	105.20	43.17	46.82
41	新竹工業區	45.87	83.79	117.03	58.34	43.32
42	平鎮工業區	137.67	272.41	149.14	36.44	49.72
43	高鐵新竹站	40.73	61.31	72.02	22.99	32.77
44	桃園試驗線 300m	98.18	70.84	98.82	46.92	48.88
45	桃園試驗線 1Km	134.51	199.60	233.85	143.21	168.34
46	林口火力電廠	54.33	50.50	103.03	44.15	51.54
47	樹林工業區	170.34	117.22	143.60	120.15	78.58
48	桃園煉油廠	239.72	292.69	268.17	222.31	164.45
49	臺北市區	89.28	56.52	80.66	35.30	28.24
50	陽明山國家公園	112.15	268.30	449.29	177.53	238.15
51	陽明山硫磺區	646.03	2454.07	1568.51	1368.95	1277.75
52	北橫巴陵	12.41	10.31	7.61	7.13	6.78
53	阿里山	16.73	12.80	14.27	11.60	9.99
54	南橫天池	7.04	6.87	5.76	3.29	4.24

註：- 表示試體遺失

表 5-5 特定試驗位址之二氧化硫沉積速率計算結果

單位：$mg/m^2/day$

試驗地點	試驗調查期間				
	96.05-96.09	96.09-97.01	97.01-97.05	97.05-97.08	96.05-97.08
高鐵新竹站	40.73	61.31	72.02	22.99	32.77
高鐵臺中站	75.90	66.34	86.95	50.11	30.93
高鐵嘉義站	58.49	90.13	92.43	21.55	46.20
高鐵左營站	132.61	151.60	108.07	54.63	101.24
桃園煉油廠	239.72	292.69	268.17	222.31	164.45
高雄煉油廠	325.30	240.24	158.04	196.76	125.80
中油林園廠	207.39	515.26	290.96	199.02	123.36
林口火力電廠	54.33	50.50	103.03	44.15	51.54
大潭火力電廠	98.18	70.84	98.82	46.92	48.88
通霄火力電廠	51.71	67.46	340.44	32.97	43.65
臺中火力電廠	112.47	167.31	157.32	137.41	109.62
興達火力電廠	175.22	73.03	111.03	41.56	52.10
大林火力電廠	226.86	585.31	176.32	96.84	118.60
六輕試驗線 300m	-	-	205.37	257.68	-
六輕工業區 (石化廠區外)	110.18	276.65	164.30	103.96	111.67
觀音工業區	134.51	199.60	233.85	143.21	168.34
彰濱工業區	247.98	299.32	236.86	89.33	24.64
仁大工業區	175.39	136.89	119.93	87.41	81.63
大發工業區	257.88	341.60	390.78	223.05	172.08
中鋼公司	210.43	189.62	365.11	254.76	86.15
龍德工業區	167.46	249.09	219.66	184.29	186.82
臺北市區	89.28	56.52	80.66	35.30	28.24
臺中市區	48.62	82.61	86.05	28.56	26.42
高雄市區	195.93	127.03	169.24	55.64	94.82

5.5.3 二氧化硫沉積速率季節性之比較

圖 5.15 至圖 5.18 為四次採樣期間內之二氧化硫沉積速率等位圖，圖 5.19 則為一年期之二氧化硫沉積速率調查結果；圖中，黃色表示二氧化硫沉積速率為 0~10 mg/m^2/day 的區域，綠色表示沉積速率為 10~35 mg/m^2/day 的區域，藍色表示沉積速率為 35~80 mg/m^2/day 的區域，粉紅色表示 80~200 mg/m^2/day 的區域，紅色則為大於 200 mg/m^2/day 的區域。顯然的，二氧化硫沉積量的分佈取決於工業區、石化廠與火力電廠所在的位置與其生產頻率有關，受季節變化影響的較少，所以四次調查的結果有相似的分佈情形。但有趣的是在西海岸觀音工業區與彰濱、麥寮工業區附近，初秋至冬季(2007.09 -2008.01)與冬季至春末期間，二氧化硫沉積速率均有顯著增加的趨勢。參考中央氣象局在此調查期間內的酸雨資料，臺灣北部的基隆、臺北與新竹均有酸雨情況發生，且宜蘭、金門、馬祖亦都有顯著的酸雨情形。由於宜蘭、金門、馬祖這些區域內均無工業區、石化廠與火力電廠的設立，且屬於鄉村環境，因此可合理的推論，在秋季與冬季時大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫可能藉由東北季風的挾帶而侵襲臺灣，以致造成臺灣北部與西部沿海的二氧化硫沉積速率增加。

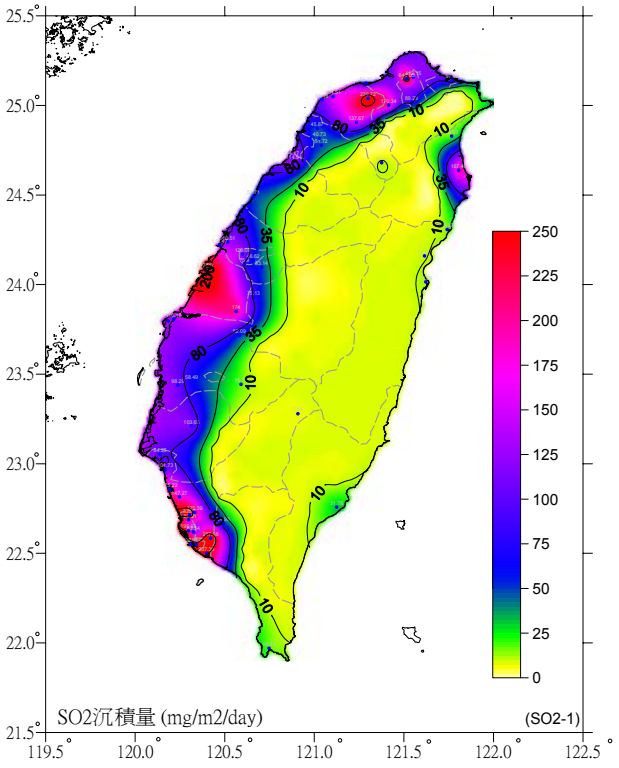


圖 5.15　2007.05-2007.09 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

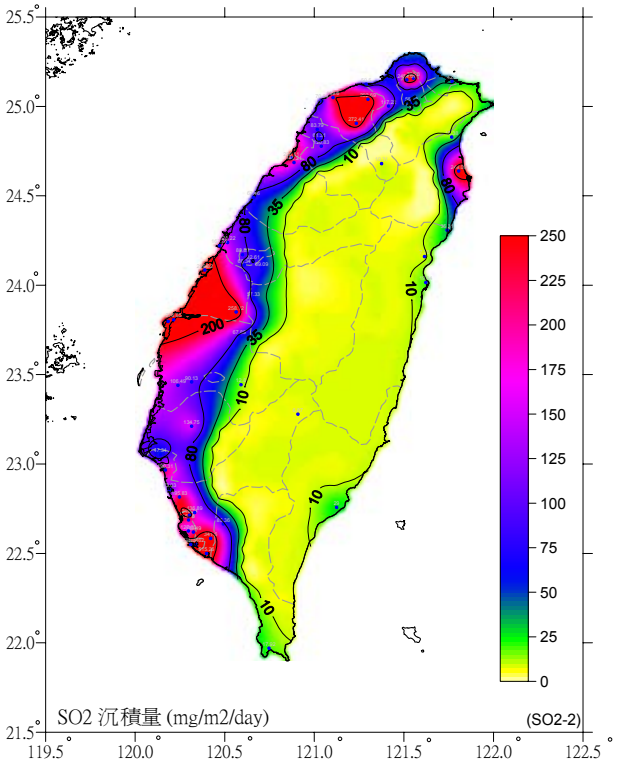


圖 5.16　2007.09-2008.01 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

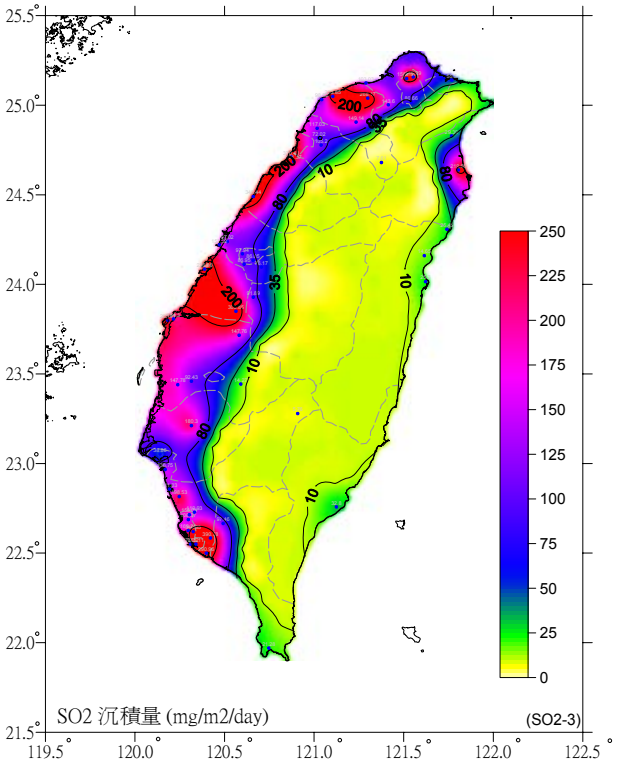


圖 5.17　2008.01-2008.05 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

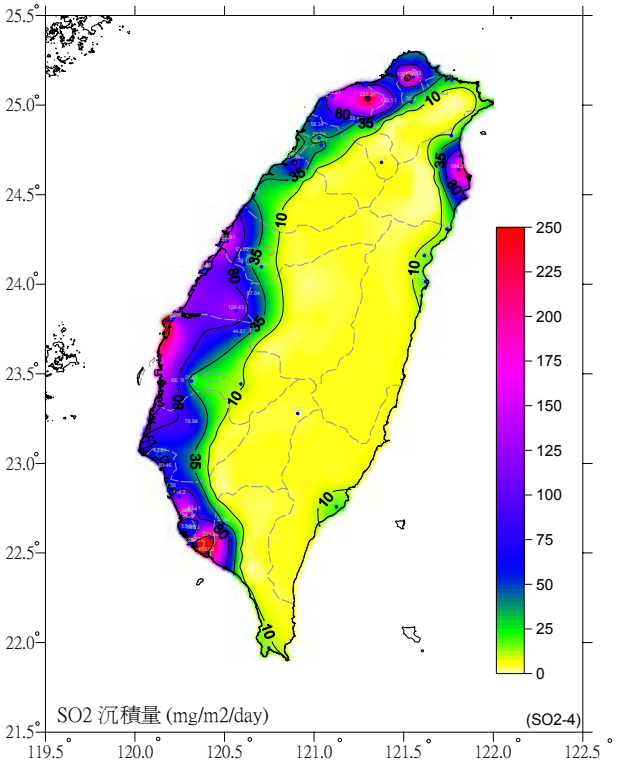


圖 5.18　2008.05-2008.08 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

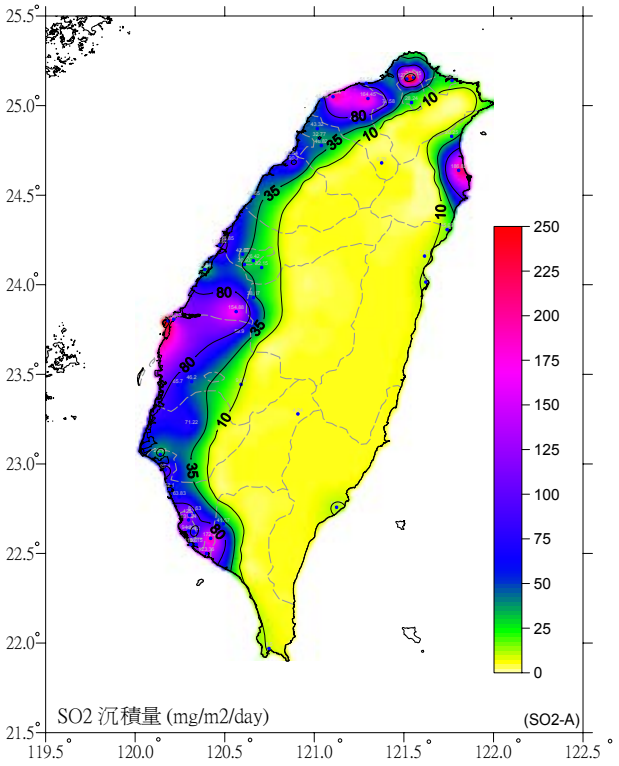


圖 5.19　2007.05-2008.08 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

5.5.4 濕潤時間百分比

表 5-6 為各測點四次調查期間與一年期之濕潤時間百分比,其計算方法為利用中央氣象局氣象站逐時記錄之相對濕度資料，統計試體暴露期間內相對濕度大於 80%的小時數，再除以總暴露時間(小時數)。若測點所在位置無氣象站，則以鄰近的氣象站資料推估，選用氣象站的名稱如表中括號內所示。顯然的，因為第一次與第四次調查期間為夏季，所以全台相對濕度均較高，但第二次與第三次調查期間為秋、冬轉春之季，臺灣受東北季風的影響呈現北濕南乾的現象。綜合言之，臺灣各地於 2007.05 至 2008.08 約一年期間內，相對濕度大於 80%的小時數至少佔全年時數之 30%以上，且雲林麥寮地區更可高達 62.6%，僅次於山區如阿里山 86%、南橫天池 85.3%、北橫巴陵 84.8%、陽明山 78.1%。

表 5-6 各測點試驗期間濕潤時間百分比

單位：%

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97. 8	96.5-97.8
1	核一廠	41.5	46.0	55.3	53.6	49.1
2	**基隆試驗線 0m**	28.4	53.2	43.9	34.1	39.9
3	**基隆試驗線 100m**	28.4	53.2	43.9	34.1	39.9
4	**基隆試驗線 300m**	28.4	53.2	43.9	34.1	39.9
5	**基隆試驗線 1Km**	25.6	43.2	43.9	34.1	36.7
6	**基隆試驗線 3Km**	28.4	53.2	43.9	34.1	39.9
7	澳底安檢所 (基隆)	28.4	53.2	43.9	34.1	39.9
8	梗枋安檢所 (基隆)	28.4	53.2	43.9	34.1	39.9
9	礁溪火車站 (蘇澳)	51.4	51.8	53.1	45.2	50.4
10	龍德工業區 (蘇澳)	52.2	62.3	52.9	45.0	53.1
11	**蘇澳港試驗線 0m**	51.4	62.3	52.9	44.5	52.8
12	**蘇澳港試驗線 100m**	51.2	62.3	52.9	44.5	52.7
13	**蘇澳港試驗線 300m**	51.2	62.3	52.9	44.5	52.7
14	**蘇澳港試驗線 1Km**	51.7	62.1	53.2	44.5	52.9
15	南澳安檢所 (蘇澳)	51.8	62.1	53.2	44.5	52.9
16	和平工業區 (花蓮)	60.0	44.7	45.2	51.1	50.3
17	太魯閣國家公園	60.0	44.7	45.2	51.1	50.3
18	美崙工業區	57.7	44.7	45.2	51.1	49.7
19	**花蓮港試驗線 0m**	60.0	41.5	45.3	51.1	49.5
20	**花蓮港試驗線 100m**	60.0	41.5	45.3	50.3	49.3
21	**花蓮港試驗線 300m**	60.0	41.8	45.5	50.3	49.4
22	**花蓮港試驗線 1Km**	60.0	41.8	45.5	50.3	49.4
23	**花蓮港試驗線 3Km**	60.0	41.5	45.6	50.3	49.4
24	橄仔樹安檢所(花蓮)	60.0	41.8	45.2	50.9	49.5
25	石梯安檢所 (花蓮)	59.2	41.8	45.2	50.9	49.3
26	**成功試驗線 0m**	35.1	20.1	42.8	49.8	36.9
27	**成功試驗線 300m**	35.1	20.1	42.8	49.8	36.9
28	金樽安檢所 (成功)	35.1	20.1	42.8	46.6	36.1
29	伽蘭安檢所 (臺東)	31.1	19.6	42.3	43.8	34.2
30	豐樂工業區 (臺東)	31.4	19.6	42.3	43.7	34.2
31	尚武安檢所 (臺東)	31.1	19.6	42.3	43.7	34.2
32	**核三廠試驗線 0m**	54.5	12.0	16.0	58.2	35.2
33	**核三廠試驗線 100m**	54.5	12.0	16.0	58.2	35.2
34	**核三廠試驗線 300m**	54.5	12.0	16.0	58.2	35.2
35	**核三廠試驗線 1Km**	54.5	12.0	16.0	58.2	35.2
36	**核三廠試驗線 3Km**	54.5	12.0	16.0	58.2	35.2
37	楓港變電站 (恆春)	54.5	16.0	16.0	58.2	36.2
38	屏東工業區 (高雄)	44.6	33.7	14.6	56.5	37.4
39	中油林園廠	44.5	35.5	16.4	40.3	34.2

表 5-6 各測點試驗期間濕潤時間百分比(續 1)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97. 8	96.5-97.8
40	大林火力電廠	45.3	30.2	14.2	42.8	33.1
41	中鋼公司	44.1	35.5	16.3	40.3	34.1
42	鳳山工業區	44.6	35.7	16.3	40.3	34.2
43	大發工業區	44.6	35.5	16.4	40.3	34.2
44	高雄市區	44.6	35.5	16.4	42.3	34.7
45	**高雄港試驗線 0m**	44.0	36.8	16.4	56.2	38.4
46	**高雄港試驗線 100m**	44.0	36.8	16.4	56.2	38.4
47	**高雄港試驗線 300m**	44.1	36.8	16.4	56.2	38.4
48	**高雄港試驗線 1Km**	44.1	36.8	16.4	56.2	38.4
49	**高雄港試驗線 3Km**	44.1	36.8	16.4	56.2	38.4
50	高鐵左營站	46.2	24.0	17.2	57.8	36.3
51	高雄煉油廠	44.5	35.5	16.4	40.3	34.2
52	仁大工業區	44.2	35.5	16.3	40.3	34.1
53	永安工業區 (高雄)	43.6	33.2	14.4	40.1	32.8
54	興達火力電廠(高雄)	45.0	30.2	14.2	42.8	33.0
55	安平工業區 (臺南)	36.8	44.3	25.9	25.5	33.1
56	成大水工所	36.8	44.3	25.9	25.5	33.1
57	官田工業區 (臺南)	36.0	41.3	30.1	25.5	33.2
58	東石安檢所 (麥寮)	58.4	57.8	59.4	63.6	59.8
59	朴子工業區 (嘉義)	43.9	58.5	58.7	54.1	53.8
60	高鐵嘉義站 (嘉義)	45.5	58.7	59.4	52.0	53.9
61	斗六工業區 (嘉義)	36.6	58.0	57.6	54.5	51.7
62	**六輕試驗線 0m**	60.1	58.8	63.6	68.0	62.6
63	**六輕試驗線 100m**	60.1	58.8	63.6	68.0	62.6
64	**六輕試驗線 300m**	60.1	58.8	63.6	68.0	62.6
65	**六輕試驗線 1Km**	60.1	58.8	63.6	68.0	62.6
66	**六輕試驗線 3Km**	60.1	58.8	63.6	68.0	62.6
67	六輕工業區	60.1	58.8	63.6	68.0	62.6
68	王功安檢所 (麥寮)	60.0	53.2	63.3	70.2	61.7
69	彰濱工業區 (梧棲)	41.3	45.1	58.3	36.8	45.4
70	田中工業區 (臺中)	28.8	29.1	40.7	40.9	34.9
71	南崗工業區 (臺中)	28.8	29.1	40.7	40.9	34.9
72	大里工業區 (臺中)	28.8	29.1	39.0	43.9	35.2
73	高鐵臺中站 (臺中)	28.8	29.1	39.0	43.9	35.2
74	臺中市區 (臺中)	30.5	27.6	39.0	43.9	35.2
75	臺中工業區 (臺中)	30.5	27.6	39.0	43.9	35.2
76	關連工業區(梧棲)	41.3	43.9	61.9	35.6	45.7
77	臺中火力電廠(梧棲)	43.4	46.9	64.8	37.7	48.2

表 5-6 各測點試驗期間濕潤時間百分比(續 2)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97. 8	96.5-97.8
60	高鐵嘉義站 (嘉義)	45.5	58.7	59.4	52.0	53.9
61	斗六工業區 (嘉義)	36.6	58.0	57.6	54.5	51.7
78	**臺中港試驗線 0m**	41.2	45.1	59.8	35.6	45.4
79	**臺中港試驗線 100m**	41.2	45.1	59.8	35.6	45.4
80	**臺中港試驗線 300m**	41.4	45.1	59.8	35.6	45.5
81	**臺中港試驗線 1Km**	41.4	45.1	59.8	35.6	45.5
82	**臺中港試驗線 3Km**	41.4	45.1	59.8	35.6	45.5
83	五甲安檢所 (梧棲)	38.2	43.8	62.1	35.6	44.9
84	通霄火力電廠 (梧棲)	43.4	46.9	64.8	37.7	48.2
85	外埔安檢所 (梧棲)	38.2	43.8	62.1	35.6	44.9
86	竹南工業區 (新竹)	33.1	28.2	49.7	36.7	36.9
87	頭份工業區 (新竹)	33.3	28.6	49.7	35.8	36.8
88	外湖安檢所 (新竹)	33.0	29.1	46.7	36.8	36.4
89	工研院 (新竹)	36.1	30.1	47.5	35.7	37.3
90	新竹工業區(新竹)	32.1	31.6	47.1	34.9	36.4
91	平鎮工業區 (新竹)	33.5	27.7	48.9	36.2	36.6
92	高鐵新竹站	32.6	20.0	46.7	36.8	34.0
93	**桃園試驗線 0m**	44.2	43.9	56.2	49.6	48.5
94	**桃園試驗線 100m** (淡水)	44.2	43.9	56.2	49.6	48.5
95	**桃園試驗線 300m** (淡水)	44.2	43.9	56.2	49.6	48.5
96	**桃園試驗線 1Km** (淡水)	45.3	43.9	56.2	48.8	48.5
97	林口火力電廠 (淡水)	44.2	43.9	56.2	49.6	48.5
98	樹林工業區 (臺北)	35.3	39.0	48.7	34.2	39.3
99	桃園煉油廠 (臺北)	32.4	38.2	52.9	34.3	39.5
100	臺北市區	33.5	42.8	47.8	37.2	40.3
101	陽明山國家公園	83.2	84.3	71.2	73.6	78.1
102	陽明山硫磺區)	83.2	84.3	71.2	73.6	78.1
103	北橫巴陵	84.0	85.4	88.2	81.4	84.8
104	阿里山	84.1	87.9	85.8	86.3	86.0
105	南橫天池	86.2	83.6	87.5	83.9	85.3

5.5.5 腐蝕因子環境分類

參考 CNS 13401 (ISO 9223)，大氣腐蝕環境的分類可採用試片腐蝕速率量測與環境因子進行區分，若採用環境因子進行分類，選擇的參數則包括濕潤時間(τ)、空氣中的氯鹽沉積速率(S)與二氧化硫沉積量(P)。其中，濕潤時間是以全年中溫度高於 0 ^{o}C，相對濕度大於 80%之小時數或百分比計算，氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)是以 CNS 13754 (ISO 9225)濕燭法測量，二氧化硫沉積量則是以 CNS 13754 (ISO9225)規定之二氧化鉛硫酸化平板量測的沉積速率(mg/m^2/day)測定或是空氣中的 SO_2 濃量(μg/m^3) 計算；其中，各參數的量測時間均至少為一年以上。表 5-7 至表 5-9 分別為 CNS 13401 (ISO 9223)規範中對濕潤時間、氯鹽沉積速率與 SO_2 沉積速率或濃度的分類；表 5-10 則為相對於表 5-7 至表 5-9 之分類結果，將大氣腐蝕環境分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級，C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)。

依據 CNS 與 ISO 規範，若要以腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類，濕潤時間、氯鹽與二氧化硫的沉積速率至少應經過一年以上的連續量測，彙整 2007.05-2008.08 一年調查期間之腐蝕因子檢測數據進行大氣腐蝕環境分類，結果如表 5-11 所示；若測點所在位置無實測的腐蝕因子數據，則以鄰近的腐蝕因子資料推估，選用測點的名稱如表中括號內所示。

表 5-7 濕潤時間分類

類別	濕潤時間	
	hour/year	%
τ_1	$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0.1$
τ_2	$10 < \tau \leq 250$	$0.1 < \tau \leq 3$
τ_3	$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$
τ_4	$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$
τ_5	$5500 < \tau$	$60 < \tau$

(資料來源：CNS 13401, ISO 9223)

表 5-8 氯鹽沉積速率分類

氯鹽沉積速率 $mg/m^2/day$	類別
$S \leq 3$	S_0
$3 < S \leq 60$	S_1
$60 < S \leq 300$	S_2
$300 < S \leq 1500$	S_3

(資料來源：CNS 13401, ISO 9223)

表 5-9 二氧化硫(SO_2) 沉積量分類

SO_2 沉積速率 $mg/m^2/day$	SO_2 濃度 $\mu g/m^2$	類別
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P_0
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P_1
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P_2
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P_3

(資料來源：CNS 13401, ISO 9223)

表 5-10 大氣腐蝕環境分類(以環境因子分類)

碳鋼															
	τ_1			τ_2			τ_3			τ_4			τ_5		
	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3
P_0-P_1	1	1	1 or 2	1	2	3 or 4	2 or 3	3 or 4	4	3	4	5	3 or 4	5	5
P_2	1	1	1 or 2	1 or 2	2 or 3	3 or 4	3 or 4	3 or 4	4 or 5	4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1 or 2	1 or 2	2	2	3	4	4	4 or 5	5	5	5	5	5	5	5
鋅與銅															
	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3
P_0-P_1	1	1	1	1	1 or 2	3	3	3	3 or 4	3	4	5	3 or 4	5	5
P_2	1	1	1 or 2	1 or 2	2	3	3	3 or 4	4	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1	1 or 2	2	2	3	3 or 4	3	3 or 4	4	4 or 5	5	5	5	5	5
鋁															
	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3
P_0-P_1	1	2	2	1	2 or 3	4	3	3 or 4	4	3	3 or 4	5	4	5	5
P_2	1	2	2 or 3	1 or 2	3 or 4	4	3	4	4 or 5	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1	2 or 3	3	3 or 4	4	4	3 or 4	4 or 5	5	4 or 5	5	5	5	5	5
NOTE－Corrosivity is expressed as the numerical part of the corrosivity category code (for example: 1 instead of C1).															

(資料來源：CNS 13401, ISO 9223)

表 5-11 利用 2007.05-2008.08 之腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類

項次	試驗地點	相對濕度分類	氯鹽沉積量分類	SO_2 沉積量分類	碳鋼大氣腐蝕分類	鋅與銅大氣腐蝕分類	鋁大氣腐蝕分類
1	核一廠	τ_4(淡水)	S1	P1 (基隆 3Km)	C3	C3	C3
2	**基隆試驗線 0m**	τ_4	S1	P1 (基隆 3Km)	C3	C3	C3
3	**100m**	τ_4	S1	P1 (基隆 3Km)	C3	C3	C3
4	**300m**	τ_4	S1	P1 (基隆 3Km)	C3	C3	C3
5	**1Km**	τ_4	S1	P1 (基隆 3Km)	C3	C3	C3
6	**3Km**	τ_4	S1	P1	C3	C3	C3
7	澳底安檢所	τ_4(基隆)	S2	P1 (基隆 3Km)	C4	C4	C3 or C4
8	梗枋安檢所	τ_4(基隆)	S1	P1(礁溪車站)	C3	C3	C3
9	礁溪火車站	τ_4(蘇澳)	S1	P1	C3	C3	C3
10	龍德工業區	τ_4(蘇澳)	S1	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
11	**蘇澳港試驗線 0m**	τ_4	S1	P3 (龍德)	C5	C4 or C5	C4 or C5
12	**100m**	τ_4	S1	P3 (龍德)	C5	C4 or C5	C4 or C5
13	**300m**	τ_4	S1	P3 (龍德)	C5	C4 or C5	C4 or C5
14	**1Km**	τ_4	S0	P3 (龍德)	C5	C4 or C5	C4 or C5
15	南澳安檢所	τ_4(蘇澳)	S1	P1 (和平)	C3	C3	C3
16	和平工業區	τ_4(花蓮)	S1 (南澳)	P1	C3	C3	C3
17	太魯閣國家公園	τ_4	S0	P0	C3	C3	C3
18	美崙工業區	τ_4(花蓮)	S1 (花蓮 1Km)	P1	C3	C3	C3
19	**花蓮港試驗線 0m**	τ_4	S1	P1 (美崙)	C3	C3	C3
20	**100m**	τ_4	S1	P1 (美崙)	C3	C3	C3
21	**300m**	τ_4	S1	P1 (美崙)	C3	C3	C3
22	**1Km**	τ_4	S1	P1 (美崙)	C3	C3	C3
23	**3Km**	τ_4	S0	P1 (美崙)	C3	C3	C3
24	撖仔樹安檢所	τ_4(花蓮)	S1	P1 (美崙)	C3	C3	C3
25	石梯安檢所	τ_4(花蓮)	S1	P1 (美崙)	C3	C3	C3
26	**成功試驗線 0m**	τ_4	S1	P1 (豐樂)	C3	C3	C3
27	**300m**	τ_4	S1	P1 (豐樂)	C3	C3	C3
28	金樽安檢所	τ_4(成功)	S1	P1 (豐樂)	C3	C3	C3
29	伽蘭安檢所	τ_4(臺東)	S2	P1 (豐樂)	C4	C4	C3 or C4
30	豐樂工業區	τ_4(臺東)	S0 (花蓮 3Km)	P1 (豐樂)	C3	C3	C3
31	尚武安檢所	τ_4(臺東)	S0	P1 (豐樂)	C3	C3	C3
32	**核三廠試驗線 0m**	τ_4(恆春)	S1	P0 (核三 1Km)	C3	C3	C3
33	**100m**	τ_4	S1	P0 (核三 1Km)	C3	C3	C3
34	**300m**	τ_4	S1	P0 (核三 1Km)	C3	C3	C3
35	**1Km**	τ_4	S1	P0	C3	C3	C3
36	**3Km**	τ_4	S0	P0 (核三 1Km)	C3	C3	C3
37	楓港變電站	τ_4(恆春)	S0	P0 (核三 1Km)	C3	C3	C3
38	屏東工業區	τ_4(高雄)	S0 (市區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4

表 5-11 利用 2007.05-2008.08 之腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類

項次	試驗地點	相對濕度分類	氯鹽沉積量分類	SO_2 沉積量分類	碳鋼大氣腐蝕分類	鋅與銅大氣腐蝕分類	鋁大氣腐蝕分類
39	中油林園廠	τ_4	S1 (大林電廠)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
40	大林火力電廠	τ_4	S1	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
41	中鋼公司	τ_4	S0	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
42	鳳山工業區	τ_4	S0 (高雄市區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
43	大發工業區	τ_4	S0 (中鋼)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
44	高雄市區	τ_4	S0	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
45	**高雄港試驗線 0m**	τ_4	S1	P3 (高雄市區)	C5	C4 or C5	C4 or C5
46	**100m**	τ_4	S1	P3 (高雄市區)	C5	C4 or C5	C4 or C5
47	**300m**	τ_4	S1	P3 (高雄市區)	C5	C4 or C5	C4 or C5
48	**1Km**	τ_4	S0	P3 (高雄市區)	C5	C4 or C5	C4 or C5
49	**3Km**	τ_4	S0	P3 (高雄市區)	C5	C4 or C5	C4 or C5
50	高鐵左營站	τ_4	S0	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
51	高雄煉油廠	τ_4	S0(高鐵左營站)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
52	仁大工業區	τ_4	S0(高鐵左營站)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
53	永安工業區	τ_4(高雄)	S1 (興達電廠)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
54	興達火力電廠	τ_4(高雄)	S1	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
55	安平工業區	τ_4(臺南)	S0 (市區)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
56	成大水工所	τ_4	S1	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
57	官田工業區	τ_4(臺南)	S0 (鄉村區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
58	東石安檢所	τ_4 (麥寮)	S1	P2 (朴子)	C4	C3 or C4	C3 or C4
59	朴子工業區	τ_4(嘉義)	S0	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
60	高鐵嘉義站	τ_4(嘉義)	S0	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
61	斗六工業區	τ_4(嘉義)	S0 (鄉村區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
62	**臺塑六輕試驗線 0m**	τ_5 (麥寮)	S1	P3	C5	C5	C5
63	**100m**	τ_5	S1	P3	C5	C5	C5
64	**300m**	τ_5	S1	P3	C5	C5	C5
65	**1Km**	τ_5	S1	P3	C5	C5	C5
66	**3Km**	τ_5	S0	P3	C5	C5	C5
67	六輕工業區	τ_5	S0	P3	C5	C5	C5
68	王功安檢所	τ_4 (麥寮)	S1	P3 (臺塑六輕)	C5	C5	C5
69	彰濱工業區	τ_4(梧棲)	S1	P1	C3	C3	C3
70	田中工業區	τ_4(臺中)	S0 (臺中市區)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
71	南崗工業區	τ_4 (臺中)	S0 (臺中市區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4

表 5-11 利用 2007.05-2008.08 之腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類

項次	試驗地點	相對濕度分類	氯鹽沉積量分類	SO_2 沉積量分類	碳鋼大氣腐蝕分類	鋅與銅大氣腐蝕分類	鋁大氣腐蝕分類
72	大里工業區	τ_4 (臺中)	S0 (臺中市區)	P1	C3	C3	C3
73	高鐵臺中站	τ_4 (臺中)	S0	P1	C3	C3	C3
74	臺中市區	τ_4 (臺中)	S0	P1	C3	C3	C3
75	臺中工業區	τ_4 (臺中)	S0 (市區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
76	關連工業區	τ_4 (梧棲)	S0 (臺中港 1Km)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
77	臺中火力電廠	τ_4 (梧棲)	S1	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
78	**臺中港試驗線 0m**	τ_4	S1	P2 (關連工業區)	C4	C3 or C4	C3 or C4
79	**100m**	τ_4	S1	P2 (關連工業區)	C4	C3 or C4	C3 or C4
80	**300m**	τ_4	S0	P2 (關連工業區)	C4	C3 or C4	C3 or C4
81	**1Km**	τ_4	S0	P2 (關連工業區)	C4	C3 or C4	C3 or C4
82	**3Km**	τ_4	S0	P2 (關連工業區)	C4	C3 or C4	C3 or C4
83	五甲安檢所	τ_4 (梧棲)	S1	P2 (通霄電廠)	C4	C3 or C4	C3 or C4
84	通霄火力電廠	τ_4 (梧棲)	S1	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
85	外埔安檢所	τ_4 (梧棲)	S2	P2 (通霄電廠)	C4	C4	C4
86	竹南工業區	τ_4 (新竹)	S0 (鄉村區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
87	頭份工業區	τ_4 (新竹)	S0 (鄉村區)	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
88	外湖安檢所	τ_4 (淡水)	S1	P1 (高鐵新竹站)	C3	C3	C3
89	工研院	τ_4 (新竹)	S0 (高鐵站)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
90	新竹工業區	τ_4 (新竹)	S0 (高鐵站)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
91	平鎮工業區	τ_4 (新竹)	S0 (鄉村區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
92	高鐵新竹站	τ_4	S0	P1	C3	C3	C3
93	**桃園試驗線 0m**	τ_4 (淡水)	S2	P2 (桃園 300m)	C4	C4	C4
94	**100m**	τ_4	S1	P2 (桃園 300m)	C4	C3 or C4	C3 or C4
95	**300m**	τ_4	S1	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
96	**1Km**	τ_4	S1	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
97	林口火力電廠	τ_4 (淡水)	S2	P2	C4	C4	C4
98	樹林工業區	τ_4 (臺北)	S0 (臺北市區)	P2	C4	C3 or C4	C3 or C4
99	桃園煉油廠	τ_4 (臺北)	S0	P3	C5	C4 or C5	C4 or C5
100	臺北市區	τ_4	S0	P1	C3	C3	C3
101	陽明山國家公園	τ_5	S0	P3+	C5	C5	C5
102	陽明山硫磺區	τ_5	S0	P3+	C5	C5	C5
103	北橫巴陵	τ_5	S0	P0	C3 or C4	C3 or C4	C4
104	阿里山	τ_5	S0	P0	C3 or C4	C3 or C4	C4
105	南橫天池	τ_5	S0	P0	C3 or C4	C3 or C4	C4

5.5.6 現地暴露試驗

5.5.6.1 現地暴露試驗

現地暴露試驗試驗點建置的數量以涵蓋氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置之 75%為原則，全國合計共有 88 個試驗點。即在氯鹽沉積量調查路線上，9 條垂直海岸線試驗點的佈設以距海岸線約臨海、300m、1 km、3 km 之距離處設置，配合 20 個平行海岸線之臨海試驗點(西部濱海與東部濱海沿線之港口或安檢所)，4 個高鐵沿線試驗點與 4 個參考對照試驗點，共 55 個試驗場址。在二氧化硫沉積量調查位置上，包括工業區所在各縣市各一個試驗點，共 22 個試驗點(高雄市設立兩處)，都市地區 3 個試驗點，石化與火力電廠 11 個試驗點，高鐵沿線 4 個試驗點，硫磺區 2 個試驗點與 5 個參考對照試驗點，共 47 個試驗場址。其中，若氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置相同時，僅在該試驗點設立一組試片(包括碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬)裝置。調查位置共 88 個場址。

5.5.6.2 暴露試片

現地暴露試驗試片製作的方式參考 CNS 13753 大氣腐蝕性測定標準試片製作，採用螺旋狀標準試片，碳鋼線材直徑為 2.65mm，鋅線材直徑為 2.35mm，銅線材直徑為 3.0mm，鋁線材直徑為 2.4mm；長度均約 1,000mm。

5.5.6.3 試片腐蝕生成物清除與測試

碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬線材之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。為確保除去腐蝕生成物的化學清洗方法不會損壞底材金屬，先依照 CNS14122 規範，使用腐蝕試片進行重複清洗，以制定檢量標準，作業流程如圖 5.20 所示。針對不同金屬，化學清洗法使用的化學藥品及各項條件如表 5-12 所示。

表 5-12 不同金屬之化學清洗法使用化學藥品及條件

材料	化學藥品	時間（min）	溫度（°C）	備註
碳鋼	以 500mL HCl（ρ=1.19g/mL）與 3.5g 六亞甲四胺（Hexamethylene tetramine），加入蒸餾水配成 1000mL	10	室溫 (23.5)	—
鋅	100g 氯化銨（NH_4Cl），加入蒸餾水配成 1000mL	2~5	70	—
銅	以 100mL 硫酸（H_2SO_4，ρ=1.84 g/mL），加蒸餾水至 1000mL	1~3	室溫 (23.5)	在處理之前，先移除表面的塊狀腐蝕生成物，可使銅的二次沉積產物量減到最少
鋁	硝酸（HNO_3，ρ=1.42 g/mL）	1~5	室溫 (23.5)	去除額外之沉積物及塊狀之腐蝕生成物，以免造成基底金屬過度流失

針對腐蝕試片，以此化學清洗法實驗測試後，各個試片浸泡之適當清洗時間，碳鋼線材試片為 10 分鐘，鋅線材試片為 4 分鐘，銅線材試片為 2 分鐘，鋁線材試片為 6 分鐘。

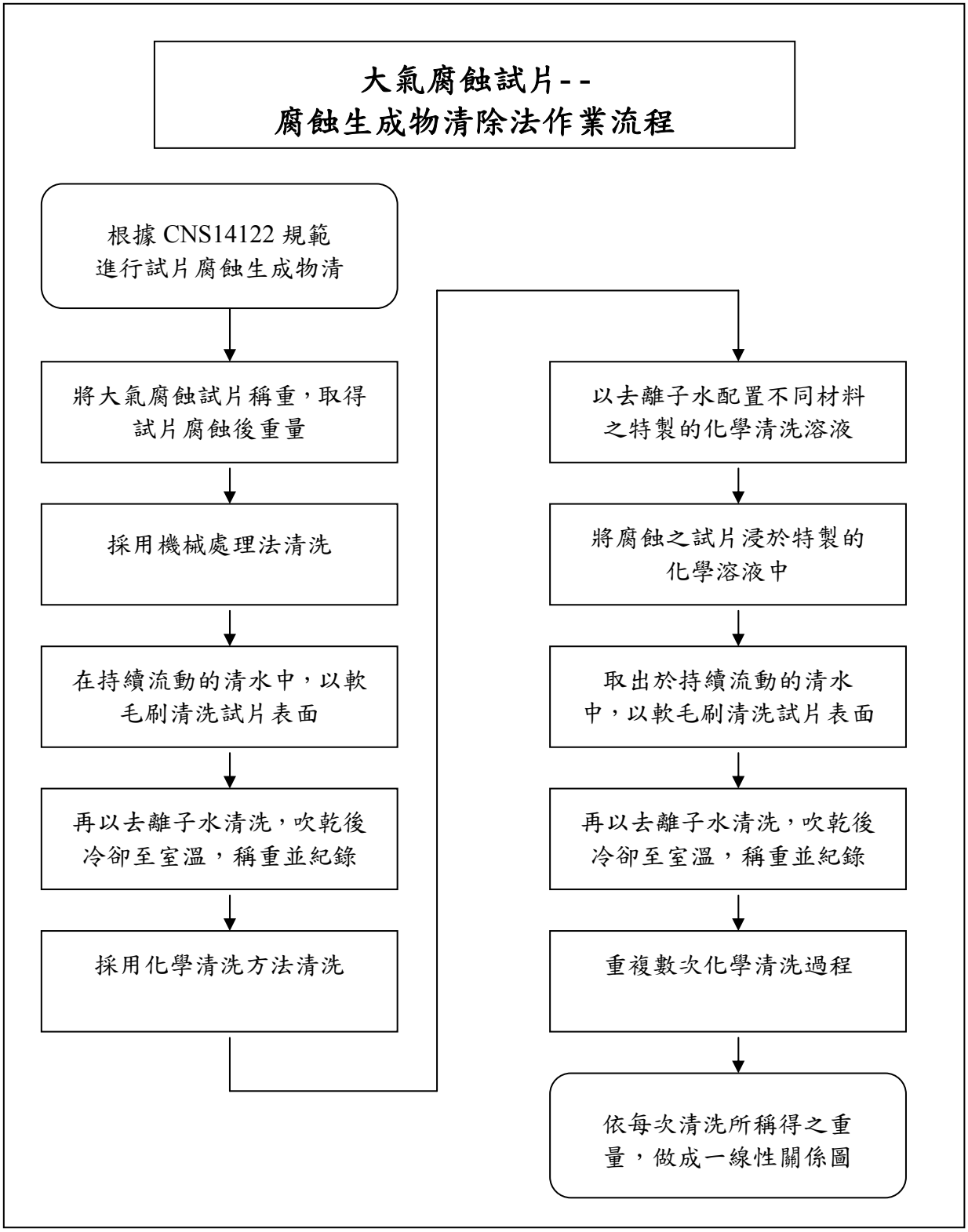


圖 5.20 腐蝕生成物清除法作業流程圖

5.5.6.4 腐蝕速率計算與調查結果

螺旋狀標準試片之腐蝕速率單位以 μm/y 表示，計算公式依據 CNS 13753 規範，金屬的腐蝕速率在初期暴露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值；表 5-13 即為 CNS 13401 規範中以各金屬最初第一年之腐蝕速率來區分腐蝕環境，表中除鋁金屬外，碳鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率單位均可以 μm/yr 表示；主要原因是因碳鋼、鋅、銅金屬在大氣環境中的腐蝕現象為均勻腐蝕，但鋁金屬則為局部腐蝕，所以鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率可以 μm/yr 表示，但鋁的腐蝕速率須以 $g/m^2/yr$ 表示。今彙整四次採樣與一年期之各金屬之腐蝕速率計算結果，如表 5-14 至表 5-17 所示。

第一次調查期間(2007.05-2007.10，夏季至初秋)，除了陽明山硫磺區的試片腐蝕速率特別大之外(碳鋼= 875μm/yr、鋅= 10.2μm/yr、銅= 55.2μm/yr、鋁= 16.692 $g/m^2/yr$)，針對碳鋼金屬，大氣腐蝕速率介於 9.6μm/yr (南橫天池)至 398.2μm/yr (新竹外湖安檢所)之間；鋅金屬介於 1.5μm/yr (雲林斗六工業區)至 44.1μm/yr (桃園大潭試驗線 0m)之間；銅金屬介於 0.6μm/yr (南橫天池)至 20.6μm/yr (蘇澳龍德工業區)之間；而鋁金屬則介於 0.136 $g/m^2/yr$ (南橫天池)至 22.483 $g/m^2/yr$ (彰化王功安檢所)之間。

第二次調查期間(2007.09-2008.01，初秋到冬季)，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 19.1μm/yr (南橫天池)至 480.2μm/yr (臺塑六輕試驗線 0m 處)之間；鋅金屬介於 1.7μm/yr (北橫巴陵)至 157.7μm/yr(桃園大潭試驗線 0m)之間；銅金屬介於 1.1μm/yr (南橫天池)至 53.3μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 1.133 $g/m^2/yr$ (屏東工業區)至 40.974 $g/m^2/yr$ 六輕試驗線 1Km 處)之間。

第三次調查期間(2008.01-2008.05，冬季至春末)，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 19.1μm/yr (南橫天池)至 480.2μm/yr (臺塑六輕試驗線 0m 處)之間；鋅金屬介於 1.7μm/yr (北橫巴陵)至 157.7μm/yr(桃園大潭試驗線 0m)之間；銅金屬介於 1.1μm/yr (南橫天池)至 53.3μm/yr (陽明山硫磺區)

之間；而鋁金屬則介於 1.133 g/m^2/yr (屏東工業區)至 40.974 g/m^2/yr(六輕試驗線 1Km 處)之間。

第四次調查期間(2008.05-2008.08，春末至夏季)，碳鋼金屬大氣腐蝕速率以陽明山硫磺區最高，為 803.9μm/yr，其餘介於 11.2μm/yr (南橫天池)至 414.5μm/yr (新竹外湖安檢所)之間；鋅金屬介於 1.8μm/yr (雲林斗六工業區)至 45.7μm/yr(新竹外湖安檢所)之間；銅金屬介於 2.2μm/yr (阿里山與雲林斗六工業區)至 66.7μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 0.279 g/m^2/yr (南橫天池)至 26.293 g/m^2/yr (苗栗外埔安檢所)之間。

至於一年期暴露試驗(2007.05-2008.08)金屬的腐蝕速率，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 19.2μm/yr (南橫天池)到 594.1μm/yr (陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 1.1μm/yr (北橫巴陵)至 125.7μm/yr(桃園大潭試驗線 0m)之間；銅金屬介於 0.9μm/yr (北橫巴陵)至 33.9μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 0.177 g/m^2/yr (太魯閣國家公園)至 14.196 g/m^2/yr(六輕試驗線 1Km 處)之間。

表 5-13 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

腐蝕性分類	腐蝕速率 (γ_{corr})				
	單 位	碳 鋼	鋅	銅	鋁
C1	g/m^2 /yr μm/yr	$\gamma_{corr}\leq 10$ $\gamma_{corr}\leq 1.3$	$\gamma_{corr}\leq 0.7$ $\gamma_{corr}\leq 0.1$	$\gamma_{corr}\leq 0.9$ $\gamma_{corr}\leq 0.1$	可忽視 —
C2	g/ m^2 /yr μm/yr	$10<\gamma_{corr}\leq 200$ $1.3<\gamma_{corr}\leq 25$	$0.7<\gamma_{corr}\leq 5$ $0.1<\gamma_{corr}\leq 0.7$	$0.9<\gamma_{corr}\leq 5$ $0.1<\gamma_{corr}\leq 0.6$	$\gamma_{corr}\leq 0.6$ —
C3	g/ m^2 /yr μm/yr	$200<\gamma_{corr}\leq 400$ $25<\gamma_{corr}\leq 50$	$5<\gamma_{corr}\leq 15$ $0.7<\gamma_{corr}\leq 2.1$	$5<\gamma_{corr}\leq 12$ $0.6<\gamma_{corr}\leq 1.3$	$0.6<\gamma_{corr}\leq 2$ —
C4	g/ m^2 /yr μm/yr	$400<\gamma_{corr}\leq 650$ $50<\gamma_{corr}\leq 80$	$15<\gamma_{corr}\leq 30$ $2.1<\gamma_{corr}\leq 4.2$	$12<\gamma_{corr}\leq 25$ $1.3<\gamma_{corr}\leq 2.8$	$2<\gamma_{corr}\leq 5$ —
C5	g/ m^2 /yr μm/yr	$650<\gamma_{corr}\leq 1500$ $80<\gamma_{corr}\leq 200$	$30<\gamma_{corr}\leq 1500$ $4.2<\gamma_{corr}\leq 8.4$	$25<\gamma_{corr}\leq 50$ $2.8<\gamma_{corr}\leq 5.6$	$5<\gamma_{corr}\leq 10$ —

資料來源：CNS 13401 (ISO 9223)

表 5-14　碳鋼金屬之腐蝕速率

單位：μm/yr

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
1	核一廠	226.7	388.1	230.7	351.0	290.9
2	**基隆試驗線 0m**	126.4	254.2	218.7	151.3	247.0
3	**基隆試驗線 300m**	68.9	249.5	179.4	100.4	247.2
4	**基隆試驗線 1Km**	57.7	173.2	176.0	72.6	112.6
5	**基隆試驗線 3Km**	58.7	205.8	148.3	69.3	113.5
6	澳底安檢所	158.8	325.5	274.3	210.9	323.7
7	梗枋安檢所	129.9	212.7	39.3	172.4	155.2
8	礁溪火車站	24.4	58.2	55.0	63.6	27.3
9	龍德工業區	170.6	87.8	104.3	141.6	141.1
10	**蘇澳港試驗線 0m**	64.2	117.8	106.9	116.0	71.9
11	**蘇澳港試驗線 300m**	52.5	107.5	82.6	91.7	62.0
12	**蘇澳港試驗線 1Km**	68.3	101.7	93.4	87.9	72.6
13	南澳安檢所	103.5	112.2	102.7	108.4	101.6
14	和平工業區	44.0	60.0	71.0	72.4	33.7
15	太魯閣國家公園	25.2	29.6	42.9	48.4	32.5
16	**花蓮港試驗線 0m**	95.6	170.0	129.8	140.9	137.2
17	**花蓮港試驗線 300m**	45.9	139.4	95.1	111.1	102.1
18	**花蓮港試驗線 1Km**	45.3	145.0	65.2	82.1	92.5
19	**花蓮港試驗線 3Km**	25.8	106.2	66.5	58.5	69.6
20	橄仔樹安檢所	143.2	169.0	180.3	157.6	174.3
21	石梯安檢所	80.7	170.9	161.4	116.2	105.6
22	**成功試驗線 0m**	162.4	155.9	93.6	221.7	122.2
23	**成功試驗線 300m**	84.8	125.3	81.7	131.9	84.3
24	金樽安檢所	158.5	133.7	98.4	188.4	85.2
25	伽藍安檢所	105.5	105.4	72.4	145.6	88.6
26	豐樂工業區	51.7	64.7	64.8	104.3	33.2
27	尚武安檢所	47.8	83.2	58.7	91.6	33.2
28	**核三廠試驗線 0m**		141.9	111.5	176.5	89.4
29	**核三廠試驗線 300m**	100.0	114.0	125.3	136.0	59.9
30	**核三廠試驗線 1Km**	85.6	71.7	58.6	128.0	59.7
31	**核三廠試驗線 3Km**	62.0	74.3	46.5	121.2	55.1
32	楓港變電站	72.0	52.8	61.6	92.4	36.5
33	屏東工業區	48.0	58.6	25.4	64.5	34.7

表 5-14 碳鋼金屬之腐蝕速率(續 1)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
34	中油林園廠	116.4	102.7	59.6	113.7	61.5
35	大林火力電廠	150.0	114.5	69.0	136.0	84.5
36	中鋼公司	105.6	119.9	70.8	131.7	59.5
37	大發工業區	98.9	89.7	66.9	82.1	55.3
38	高雄市區	71.9	67.4	58.6	76.2	72.8
39	**高雄港試驗線 0m**	142.2	113.9	68.6		
40	**高雄港試驗線 300m**	122.3	95.8	63.8	123.3	117.1
41	**高雄港試驗線 1Km**	93.8	101.0	62.5	100.5	89.1
42	**高雄港試驗線 3Km**	87.7	98.0	57.6	91.3	84.0
43	高鐵左營站	78.2	65.7	61.6	93.4	61.2
44	高雄煉油廠	157.1	95.7	64.8	130.4	74.2
45	仁大工業區	86.5	86.9	46.9	82.0	69.7
46	興達火力電廠	158.1	73.1	117.6	132.4	66.1
47	成大水工所	88.6	101.6	69.2	69.9	57.1
48	官田工業區	63.1	84.3	90.4	79.1	39.2
49	東石安檢所	143.3	169.3	168.1	148.5	101.3
50	朴子工業區	71.6	77.8	82.6	103.7	79.4
51	高鐵嘉義站	37.4	95.1	89.3	51.8	47.8
52	斗六工業區	35.8	49.4	35.0	34.0	34.5
53	**臺塑六輕試驗線 0m**	176.3	480.2	264.0	155.8	191.2
54	**六輕試驗線 300m**	146.0	362.0	182.7	97.2	130.1
55	**六輕試驗線 1Km**	96.2	436.3	184.1	142.3	167.6
56	**六輕試驗線 3Km**	82.1	316.8	144.6	117.7	124.2
57	六輕工業區	93.6	387.9	207.1		173.0
58	王功安檢所	56.1	362.9	241.5	150.5	164.8
59	彰濱工業區	61.9	265.9	201.2	97.7	132.1
60	田中工業區	63.9	71.1	85.4	102.7	38.4
61	高鐵臺中站	57.6	57.3	66.2	80.8	45.5
62	臺中市區	42.7	38.8	54.6	66.6	46.7
63	臺中火力電廠	88.7	294.7	260.2	141.1	127.1
64	**臺中港試驗線 0m**	69.4	262.7	207.2	137.2	104.2
65	**臺中港試驗線 300m**	42.9	224.0	128.4	96.1	59.3
66	**臺中港試驗線 1Km**	49.3	148.0	146.4	107.7	65.5
67	**臺中港試驗線 3Km**	32.3	112.8	108.7	130.0	43.5

表 5-14 碳鋼金屬之腐蝕速率(續 2)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
68	五甲安檢所	63.0	227.0	165.5	180.6	131.9
69	通霄火力電廠	55.4	97.9	171.8	74.3	66.5
70	外埔安檢所	141.6	461.3	399.9	225.0	159.2
71	頭份工業區	77.6	121.9	155.0	101.0	100.0
72	外湖安檢所	398.3	296.6	273.9	414.5	298.4
73	工研院	39.3	54.6	89.0	76.7	67.5
74	新竹工業區	62.3	105.4	92.9	68.5	77.7
75	平鎮工業區	70.2	107.6	118.1	88.4	56.3
76	高鐵新竹站	47.3	80.8	85.1	75.1	62.7
77	**桃園試驗線 0m**	243.1	398.6	287.9	267.3	273.3
78	**桃園試驗線 300m**	140.2	307.0	148.8	191.5	254.5
79	**桃園試驗線 1Km** (觀音工業區)	105.5	340.1	205.1	125.8	231.0
80	林口火力電廠	139.0	336.5	258.3	287.5	254.9
81	樹林工業區	57.7	68.7	77.2	77.9	44.7
82	桃園煉油廠	97.5	124.5	116.7	167.3	157.6
83	臺北市區	46.1	112.0	94.5	126.0	65.9
84	陽明山國家公園	68.4	226.5	173.7	171.7	168.9
85	陽明山硫磺區	875.0	424.3	532.6	803.9	594.1
86	阿里山	53.5	36.2	33.0	28.6	25.6
87	南橫天池	9.6	19.1	18.8	11.2	19.2
88	北橫巴陵	23.7	28.9	54.0	25.3	19.2

註：- 表示試片遺失

表 5-15 鋅金屬之腐蝕速率

單位：μm/yr

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
1	核一廠	4.9	14.9	17.0	13.8	12.1
2	**基隆試驗線 0m**	3.8	17.0	21.0	12.4	7.0
3	**基隆試驗線 300m**	1.9	11.4	17.6	8.3	4.4
4	**基隆試驗線 1Km**	5.3	4.9	12.0	6.0	2.5
5	**基隆試驗線 3Km**	2.8	6.6	9.8	4.9	2.7
6	澳底安檢所	5.7	19.5	8.6	15.0	9.5
7	梗枋安檢所	4.4	15.1	5.1	14.5	6.1
8	礁溪火車站	3.1	2.7	2.3	3.3	1.3
9	龍德工業區	3.9	7.3	4.4	3.8	2.8
10	**蘇澳港試驗線 0m**	3.4	8.1	4.8	5.2	4.4
11	**蘇澳港試驗線 300m**	4.2	6.4	3.1	3.4	3.4
12	**蘇澳港試驗線 1Km**	4.1	8.8	3.5	3.8	3.6
13	南澳安檢所	7.7	8.2	3.6	6.7	4.9
14	和平工業區	2.9	4.8	3.1	2.0	2.8
15	太魯閣國家公園	3.8	4.2	2.4	1.9	2.0
16	**花蓮港試驗線 0m**	6.3	9.2	6.1	11.2	5.3
17	**花蓮港試驗線 300m**	3.4	10.8	3.4	10.2	3.5
18	**花蓮港試驗線 1Km**	3.6	8.6	2.9	9.8	2.9
19	**花蓮港試驗線 3Km**	3.5	5.3	2.9	5.4	2.5
20	橄仔樹安檢所	18.8	31.9	17.5	16.8	8.8
21	石梯安檢所	5.5	18.1	6.4	5.4	4.2
22	**成功試驗線 0m**	11.5	5.6	9.4	17.5	6.4
23	**成功試驗線 300m**	4.4	5.5	9.6	8.0	4.9
24	金樽安檢所	13.8	11.3	9.4	20.0	9.6
25	伽蘭安檢所	8.2	10.4	12.4	8.5	7.8
26	豐樂工業區	2.6	3.1	2.4	3.7	1.1
27	尚武安檢所	1.9	8.4	3.7	7.3	3.2
28	**核三廠試驗線 0m**		16.4	11.3	6.8	9.1
29	**核三廠試驗線 300m**	4.4	12.8	4.9	6.1	4.7
30	**核三廠試驗線 1Km**	3.9	6.9	6.1	4.5	4.5
31	**核三廠試驗線 3Km**	4.2	7.1	3.4	5.2	3.0
32	楓港變電站	5.6	3.6	2.8	3.9	2.6
33	屏東工業區	4.1	2.8	1.8	4.8	1.6

表 5-15 鋅金屬之腐蝕速率(續 1)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
34	中油林園廠	6.5	3.5	2.3	4.6	3.3
35	大林火力電廠	10.5	3.7	4.5	5.4	8.7
36	中鋼公司	4.3	3.6	1.6	4.6	2.5
37	大發工業區	5.6	3.5	2.9	4.3	2.8
38	高雄市區	2.6	2.8	1.9	3.4	2.5
39	**高雄港試驗線 0m**	7.9	4.9	1.9	-	-
40	**高雄港試驗線 300m**	5.7	4.0	2.1	6.7	4.6
41	**高雄港試驗線 1Km**	3.2	4.9	1.3	4.7	4.5
42	**高雄港試驗線 3Km**	3.0	4.2	1.2	3.1	3.4
43	高鐵左營站	3.1	1.8	2.4	3.3	2.4
44	高雄煉油廠	5.1	2.6	1.6	3.2	2.2
45	仁大工業區	3.9	2.7	1.3	3.5	2.4
46	興達火力電廠	7.3	15.8	3.7	3.7	3.2
47	成大水工所	4.6	12.3	4.1	2.1	3.7
48	官田工業區	3.0	3.1	2.8	2.8	1.5
49	東石安檢所	7.9	8.5	6.5	3.4	5.9
50	朴子工業區	2.3	3.4	2.7	2.9	2.2
51	高鐵嘉義站	2.2	4.4	6.2	5.4	1.6
52	斗六工業區	1.5	3.3	0.9	1.8	1.4
53	**臺塑六輕試驗線 0m**	6.3	54.0	12.6	5.1	13.0
54	**六輕試驗線 300m**	4.2	52.4	7.4	4.5	10.0
55	**六輕試驗線 1Km**	3.3	64.8	18.9	4.1	14.8
56	**六輕試驗線 3Km**	3.5	55.4	9.0	1.9	8.6
57	六輕工業區	3.3	47.9	7.7	-	5.0
58	王功安檢所	4.4	52.0	39.8	5.1	11.6
59	彰濱工業區	31.3	10.5	15.5	6.1	9.6
60	田中工業區	2.2	3.6	2.4	2.7	1.3
61	高鐵臺中站	4.2	5.0	2.9	2.2	1.9
62	臺中市區	2.5	2.3	0.8	2.6	1.5
63	臺中火力電廠	4.9	17.6	15.4	4.6	10.0
64	**臺中港試驗線 0m**	3.8	14.0	6.9	9.8	5.8
65	**臺中港試驗線 300m**	3.6	10.3	3.8	6.3	4.5
66	**臺中港試驗線 1Km**	3.5	13.0	6.4	7.6	4.3
67	**臺中港試驗線 3Km**	3.0	6.2	2.6	4.0	2.7

表 5-15 鋅金屬之腐蝕速率(續 2)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
68	五甲安檢所	11.8	12.6	7.1	5.1	7.5
69	通霄火力電廠	3.5	10.3	13.7	3.7	5.7
70	外埔安檢所	19.1	45.6	24.7	29.1	30.0
71	頭份工業區	2.8	5.1	5.3	10.1	3.8
72	外湖安檢所	25.9	19.3	30.2	45.7	21.2
73	工研院	4.9	5.5	5.6	11.7	3.9
74	新竹工業區	1.8	3.4	5.1	2.9	2.9
75	平鎮工業區	3.3	5.8	4.4	5.5	2.7
76	高鐵新竹站	1.9	3.1	2.7	2.2	3.5
77	**桃園試驗線 0m**	44.1	157.7	37.9	13.1	125.7
78	**桃園試驗線 300m**	13.1	27.5	7.6	8.1	15.4
79	**桃園試驗線 1Km (觀音工業區)**	4.4	11.2	4.0	4.8	9.9
80	林口火力電廠	15.6	8.5	6.5	27.8	35.8
81	樹林工業區	3.5	4.4	3.6	6.3	1.9
82	桃園煉油廠	3.5	4.6	4.7	3.2	2.9
83	臺北市區	4.0	5.5	4.9	11.5	3.4
84	陽明山國家公園	4.8	9.1	6.6	5.3	4.5
85	陽明山硫磺區	10.2	12.6	16.9	10.8	20.5
86	阿里山	3.0	4.2	5.3	3.5	1.3
87	南橫天池	2.3	2.1	3.9	4.1	1.9
88	北橫巴陵	1.6	1.7	3.6	2.9	1.1

註：- 表示試片遺失

表 5-16 銅金屬之腐蝕速率

單位：μm/yr

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
1	核一廠	12.9	11.3	7.7	12.8	6.8
2	**基隆試驗線 0m**	7.2	7.8	7.2	7.6	3.3
3	**基隆試驗線 300m**	6.0	4.2	7.0	6.1	2.8
4	**基隆試驗線 1Km**	4.9	3.8	6.8	4.6	2.5
5	**基隆試驗線 3Km**	4.8	4.8	7.5	4.6	2.4
6	澳底安檢所	8.0	9.3	6.9	12.0	5.0
7	梗枋安檢所	13.6	6.0	6.6	9.6	4.1
8	礁溪火車站	2.4	1.9	2.1	4.6	1.5
9	龍德工業區	20.1	32.4	12.1	14.0	11.2
10	**蘇澳港試驗線 0m**	4.8	6.2	7.6	6.3	3.5
11	**蘇澳港試驗線 300m**	3.5	2.7	2.1	3.5	2.9
12	**蘇澳港試驗線 1Km**	6.0	4.2	3.9	4.7	2.4
13	南澳安檢所	4.5	3.3	5.0	8.4	3.2
14	和平工業區	3.9	3.8	2.4	5.7	1.7
15	太魯閣國家公園	3.1	1.5	2.5	3.4	1.8
16	**花蓮港試驗線 0m**	7.6	8.6	6.5	11.3	3.6
17	**花蓮港試驗線 300m**	3.7	5.0	4.7	5.7	3.2
18	**花蓮港試驗線 1Km**	4.1	4.8	3.9	5.8	2.1
19	**花蓮港試驗線 3Km**	1.6	2.6	2.0	3.2	1.6
20	橄仔樹安檢所	9.8	12.4	9.2	14.6	5.2
21	石梯安檢所	7.7	9.1	6.7	8.9	3.3
22	**成功試驗線 0m**	6.1	4.8	5.0	4.3	4.7
23	**成功試驗線 300m**	9.1	4.4	4.6	3.9	3.9
24	金樽安檢所	12.5	15.2	9.0	10.1	4.6
25	伽蘭安檢所	14.2	12.1	13.3	13.9	7.4
26	豐樂工業區	6.0	4.1	3.8	8.1	2.6
27	尚武安檢所	4.1	3.1	5.1	3.1	2.1
28	**核三廠試驗線 0m**	10.4	12.0	13.0	11.0	8.9
29	**核三廠試驗線 300m**	6.7	11.5	8.2	7.4	5.4
30	**核三廠試驗線 1Km**	4.9	10.2	8.0	6.6	4.7
31	**核三廠試驗線 3Km**	4.7	9.5	7.3	4.2	4.4
32	楓港變電站	4.6	5.3	7.6	3.1	2.2
33	屏東工業區	3.8	2.0	1.5	7.4	2.5

表 5-16 銅金屬之腐蝕速率(續 1)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
34	中油林園廠	10.6	23.4	3.3	10.2	4.2
35	大林火力電廠	9.6	5.2	3.2	8.6	3.3
36	中鋼公司	7.3	8.4	3.0	5.2	4.5
37	大發工業區	7.3	4.1	3.4	6.3	3.7
38	高雄市區	4.0	3.9	2.5	3.1	2.7
39	**高雄港試驗線 0m**	5.6	3.5	2.5	-	-
40	**高雄港試驗線 300m**	6.2	4.7	3.2	5.5	4.9
41	**高雄港試驗線 1Km**	4.5	2.9	1.7	4.8	2.3
42	**高雄港試驗線 3Km**	3.5	2.2	1.1	3.6	2.8
43	高鐵左營站	3.5	2.2	3.4	3.5	2.0
44	高雄煉油廠	10.6	17.4	2.2	9.2	3.9
45	仁大工業區	4.6	3.3	4.4	7.4	2.6
46	興達火力電廠	9.9	10.7	7.4	7.2	3.1
47	成大水工所	5.1	5.7	3.4	5.5	4.0
48	官田工業區	8.6	7.5	6.7	5.3	5.0
49	東石安檢所	9.2	9.3	6.0	6.7	4.3
50	朴子工業區	2.9	2.2	4.6	3.1	2.8
51	高鐵嘉義站	2.6	5.3	4.6	3.0	2.6
52	斗六工業區	1.7	1.6	1.3	2.2	1.4
53	**臺塑六輕試驗線 0m**	9.5	29.5	18.3	23.7	9.4
54	**六輕試驗線 300m**	9.4	22.0	14.4	12.0	6.5
55	**六輕試驗線 1Km**	7.6	22.2	16.7	7.5	7.7
56	**六輕試驗線 3Km**	9.5	22.1	14.4	5.9	7.6
57	六輕工業區	13.1	20.1	10.3	-	6.4
58	王功安檢所	13.3	25.0	18.1	13.2	5.6
59	彰濱工業區	8.5	22.9	19.0	9.8	5.0
60	田中工業區	2.4	2.8	2.2	4.5	2.2
61	高鐵臺中站	2.6	2.8	2.3	2.6	1.9
62	臺中市區	2.1	1.9	1.5	3.3	1.6
63	臺中火力電廠	6.0	27.7	19.4	23.8	5.1
64	**臺中港試驗線 0m**	4.4	16.7	9.2	9.1	5.4
65	**臺中港試驗線 300m**	3.3	7.3	6.0	5.5	4.8
66	**臺中港試驗線 1Km**	3.9	4.7	8.3	6.4	4.6
67	**臺中港試驗線 3Km**	2.4	4.1	4.1	4.3	2.4

表 5-16 銅金屬之腐蝕速率(續 2)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
68	五甲安檢所	6.7	14.6	10.9	8.5	10.8
69	通霄火力電廠	4.7	26.7	8.0	5.4	4.6
70	外埔安檢所	12.1	25.4	22.2	22.9	15.4
71	頭份工業區	2.6	4.5	6.0	6.7	5.5
72	外湖安檢所	8.9	10.0	7.5	9.7	7.0
73	工研院	3.0	4.0	5.4	4.0	1.7
74	新竹工業區	2.7	3.7	2.9	4.4	3.5
75	平鎮工業區	2.7	3.8	4.0	3.4	3.4
76	高鐵新竹站	3.0	2.8	2.9	2.9	1.8
77	**桃園試驗線 0m**	16.5	24.3	22.2	24.7	14.5
78	**桃園試驗線 300m**	11.3	12.0	9.1	9.8	6.6
79	**桃園試驗線 1Km (觀音工業區)**	5.1	8.0	6.3	5.2	3.4
80	林口火力電廠	10.0	20.4	11.5	10.6	8.0
81	樹林工業區	2.2	3.8	3.6	2.9	2.8
82	桃園煉油廠	3.6	4.6	4.7	3.6	2.9
83	臺北市區	2.5	4.0	2.8	4.7	4.1
84	陽明山國家公園	14.1	20.9	16.2	9.6	7.9
85	陽明山硫磺區	55.2	53.3	62.8	66.7	33.9
86	阿里山	2.0	2.0	2.2	2.2	1.1
87	南橫天池	0.6	1.1	0.7	2.8	1.3
88	北橫巴陵	1.0	1.3	1.6	2.3	0.9

註：- 表示試片遺失

表 5-17 鋁金屬之腐蝕速率

單位：$g/m^2/yr$

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
1	核一廠	5.360	12.524	15.756	11.393	7.321
2	**基隆試驗線 0m**	3.127	7.545	14.338	4.645	3.235
3	**基隆試驗線 300m**	1.297	4.908	11.480	1.019	2.884
4	**基隆試驗線 1Km**	1.360	4.500	11.803	0.812	0.672
5	**基隆試驗線 3Km**	0.386	6.343	12.863	0.617	0.577
6	澳底安檢所	3.042	8.814	21.807	2.445	3.736
7	梗枋安檢所	3.341	7.044	11.526	2.474	1.824
8	礁溪火車站	0.753	1.210	1.153	0.257	0.411
9	龍德工業區	3.090	6.488	8.714	1.706	1.716
10	**蘇澳港試驗線 0m**	2.958	8.463	8.022	3.199	3.615
11	**蘇澳港試驗線 300m**	1.277	2.635	2.766	1.004	2.273
12	**蘇澳港試驗線 1Km**	2.683	3.614	4.202	0.973	1.015
13	南澳安檢所	1.562	4.708	6.741	1.505	2.352
14	和平工業區	1.263	2.580	1.373	2.002	1.163
15	太魯閣國家公園	0.526	2.198	2.369	0.585	0.177
16	**花蓮港試驗線 0m**	4.367	6.988	3.492	4.840	3.364
17	**花蓮港試驗線 300m**	1.684	4.328	2.523	1.236	2.496
18	**花蓮港試驗線 1Km**	1.420	4.474	3.000	1.092	1.396
19	**花蓮港試驗線 3Km**	0.316	4.186	1.854	0.912	1.115
20	橄仔樹安檢所	5.208	10.966	6.362	5.659	4.321
21	石梯安檢所	2.272	8.362	3.216	1.431	2.735
22	**成功試驗線 0m**	4.841	10.562	5.909	5.111	2.526
23	**成功試驗線 300m**	1.926	7.261	5.175	2.081	1.754
24	金樽安檢所	2.766	7.188	6.510	2.806	2.165
25	伽蘭安檢所	2.717	10.562	7.946	3.043	2.471
26	豐樂工業區	1.098	6.235	4.675	1.820	1.513
27	尚武安檢所	1.482	5.978	3.647	1.514	1.129
28	**核三廠試驗線 0m**		9.595		2.121	3.547
29	**核三廠試驗線 300m**	2.057	10.162	2.461	1.857	2.176
30	**核三廠試驗線 1Km**	1.049	7.589	2.501	1.370	1.715
31	**核三廠試驗線 3Km**	1.291	8.941	5.164	0.810	1.263
32	楓港變電站	0.972	2.000	1.009	0.850	0.680
33	屏東工業區	0.504	1.133	2.138	0.794	0.622

表 5-17 鋁金屬之腐蝕速率(續 1)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
34	中油林園廠	3.974	33.499	2.733	3.014	1.993
35	大林火力電廠	2.306	9.975	7.453	6.325	1.560
36	中鋼公司	3.227	10.423	3.602	2.147	1.357
37	大發工業區	2.017	4.454	3.355	1.910	1.122
38	高雄市區	1.059	3.133	2.655	1.381	1.454
39	**高雄港試驗線 0m**	5.821	9.636	6.754	-	-
40	**高雄港試驗線 300m**	5.217	8.266	6.174	7.518	5.518
41	**高雄港試驗線 1Km**	1.829	4.795	1.710	4.663	3.677
42	**高雄港試驗線 3Km**	1.829	3.517	1.638	4.210	2.279
43	高鐵左營站	1.008	2.099	4.300	3.227	1.718
44	高雄煉油廠	2.140	34.564	1.991	2.724	3.439
45	仁大工業區	1.647	22.476	2.440	1.680	1.593
46	興達火力電廠	2.677	6.191	5.796	3.353	2.393
47	成大水工所	1.397	6.806	4.981	0.857	1.087
48	官田工業區	0.745	3.688	3.227	1.018	0.794
49	東石安檢所	2.495	17.133	11.296	7.697	2.230
50	朴子工業區	0.979	8.543	2.726	3.390	1.663
51	高鐵嘉義站	0.300	13.066	8.826	0.956	1.103
52	斗六工業區	0.426	1.982	2.897	2.572	0.668
53	**臺塑六輕試驗線 0m**	7.763	25.053	20.216	4.387	13.729
54	**六輕試驗線 300m**	3.969	25.203	24.887	5.281	13.189
55	**六輕試驗線 1Km**	3.402	40.974	35.523	2.185	14.196
56	**六輕試驗線 3Km**	3.315	35.883	22.637	2.295	10.764
57	六輕工業區	15.919	28.946	19.193	-	7.204
58	王功安檢所	22.483	34.498	18.225	13.812	9.738
59	彰濱工業區	17.929	24.873	21.515	12.141	7.731
60	田中工業區	1.196	4.100	3.436	1.732	0.532
61	高鐵臺中站	0.847	3.925	3.786	0.414	1.402
62	臺中市區	0.905	4.096	1.089	0.857	1.296
63	臺中火力電廠	8.819	28.392	24.205	8.826	6.284
64	**臺中港試驗線 0m**	6.130	31.466	19.755	6.497	5.813
65	**臺中港試驗線 300m**	1.493	15.235	6.728	1.178	3.214
66	**臺中港試驗線 1Km**	2.488	12.197	9.789	2.948	1.655
67	**臺中港試驗線 3Km**	0.498	11.296	6.372	0.423	1.153

表 5-17 鋁金屬之腐蝕速率(續 2)

項次	試驗地點	試驗調查期間				
		96.5-96.9	96.9-97.1	97.1-97.5	97.5-97.8	96.5-97.8
68	五甲安檢所	3.388	22.063	17.079	6.812	5.729
69	通霄火力電廠	1.268	11.056	9.809	4.975	3.723
70	外埔安檢所	9.036	27.032	21.571	26.293	12.515
71	頭份工業區	1.345	8.697	11.308	1.916	5.400
72	外湖安檢所	19.205	18.428	18.873	16.300	10.361
73	工研院	7.197	6.763	9.318	3.830	1.321
74	新竹工業區	2.092	9.046	5.314	4.565	1.845
75	平鎮工業區	1.315	8.535	4.172	2.002	1.428
76	高鐵新竹站	1.387	6.901	5.332	3.378	1.373
77	**桃園試驗線 0m**	14.743	30.744	25.884	20.443	11.810
78	**桃園試驗線 300m**	7.344	17.326	11.009	12.923	9.891
79	**桃園試驗線 1Km (觀音工業區)**	3.735	20.468	16.943	11.812	2.684
80	林口火力電廠	10.989	17.708	19.871	18.798	8.575
81	樹林工業區	1.263	5.980	3.501	1.140	1.317
82	桃園煉油廠	2.367	7.729	8.862	4.068	2.309
83	臺北市區	0.951	6.840	2.420	2.003	1.688
84	陽明山國家公園	4.320	6.173	4.932	6.694	3.366
85	陽明山硫磺區	16.692	9.193	4.841	14.731	10.083
86	阿里山	0.233	2.152	3.400	0.453	0.487
87	南橫天池	0.136	1.597	0.646	0.279	0.370
88	北橫巴陵	0.444	1.311	1.076	1.060	0.410

註：- 表示試片遺失

5.5.6.5 各金屬腐蝕速率季節性之比較

本研究四次採樣調查的期間相當於臺灣氣候之夏季至初秋、初秋至冬季、冬季至春末與春末至夏季期間。圖 5.21 為碳鋼金屬一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示碳鋼腐蝕速率為 1.3~25 μm/yr 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 25~50 μm/yr 的區域，藍色表示腐蝕速率為 50~80 μm/yr 的區域，粉紅色表示 80~200 μm/yr 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 200 μm/yr 的區域。圖 5.22 為鋅金屬一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示鋅腐蝕速率為 0.1~0.7 μm/yr 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 0.7~2.1 μm/yr 的區域，藍色表示腐蝕速率為 2.1~4.2 μm/yr 的區域， 粉紅色表示 4.2~8.4 μm/yr 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 8.4 μm/yr 的區域。圖 5.23 為銅金屬一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示銅腐蝕速率為 0.1~0.6 μm/yr 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 0.6~1.3 μm/yr 的區域，藍色表示腐蝕速率為 1.3~2.8 μm/yr 的區域， 粉紅色表示 2.8~5.6 μm/yr 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 5.6 μm/yr 的區域。圖 5.24 為鋁金屬一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示鋁腐蝕速率小於 0.6 $g/m^2/yr$ 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 0.6~2 $g/m^2/yr$ 的區域，藍色表示腐蝕速率為 2~5 $g/m^2/yr$ 的區域， 粉紅色表示 5~10 $g/m^2/yr$ 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 10 $g/m^2/yr$ 的區域。此外，中央山區部份因本研究試驗點的設置僅有 3 處，若採用內插方式繪製等位圖，可能會因數據過少而有錯誤的可能，所以圖面留以空白並不繪製等位圖。

一般而言，各金屬(碳鋼、鋅、銅、鋁)在東北季風期(即初秋到春末，2007.09 至 2008.05 兩次調查期間)的腐蝕速率較夏季季風期(2007.05-2007.09 與 2008.05-2008.08)為高，推論其原因應是試驗期間大氣腐蝕因子之差異所致。即在東北季風期期間，西海岸北部至中部、南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽會有顯著增加的趨勢，此外，大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫亦可能藉由東北季風的挾帶而侵襲臺灣，再加上此調查期間內之相對濕度為北濕南乾的現象，以致各金屬在東北季風期的腐蝕速率較高。換句話說，

東北季風所帶來的潮濕與空氣中氯鹽與二氧化硫含量的增加，增加了各金屬的腐蝕速率；且相對濕度的大小與空氣中氯鹽以及二氧化硫含量，是為金屬腐蝕速率決定的主要因素。

圖 5.25 至圖 5.28 分別為碳鋼、鋅、銅、鋁金屬於垂直海岸試驗線(0m、300m、1 Km 與 3Km 腐蝕速率平均值)之比較。針對碳鋼金屬(圖 5.25)，東北季風期間在西海岸桃園大潭試驗線、臺中港試驗線與麥寮六輕試驗線以及北海岸之基隆試驗線的腐蝕速率均有顯著的增加，但在高雄港試驗線與核三廠試驗線無太大的變化，而東海岸的試驗線，僅花蓮港試驗線在 2007.09-2008.01 期間內有些許的增加。至於鋅金屬與鋁金屬，全年期在西海岸腐蝕速率增加的趨勢與碳鋼相同，但在東海岸的變化較小(圖 5.26 與圖 5.28)；而針對銅金屬，銅的腐蝕速率在西海岸較東海岸為大且以桃園大潭試驗線與臺塑麥寮試驗線最為嚴重(圖 5.27)。圖 5.29 至圖 5.32 為石化廠、火力電廠、工業區、高鐵沿線與都市地區等特定測站各金屬之腐蝕速率比較。

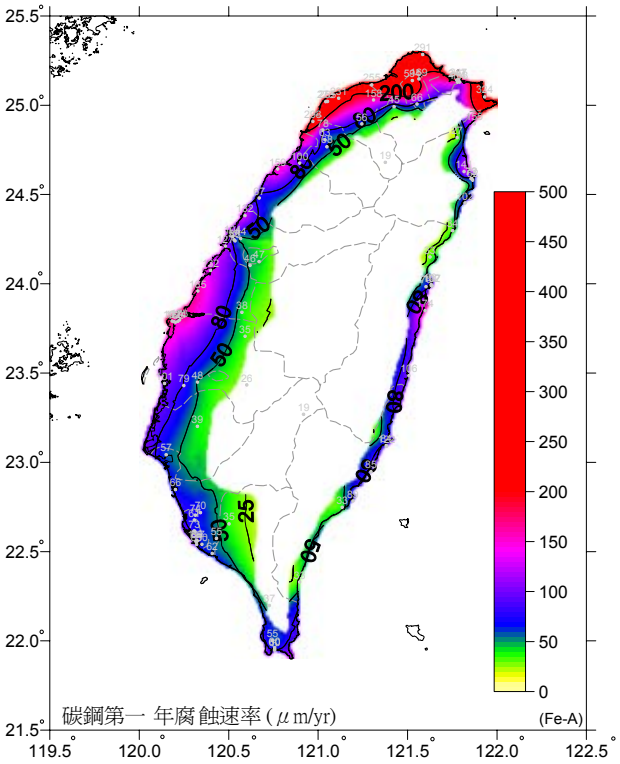


圖 5.21　2007.05-2008.08 碳鋼腐蝕速率(μm/yr)

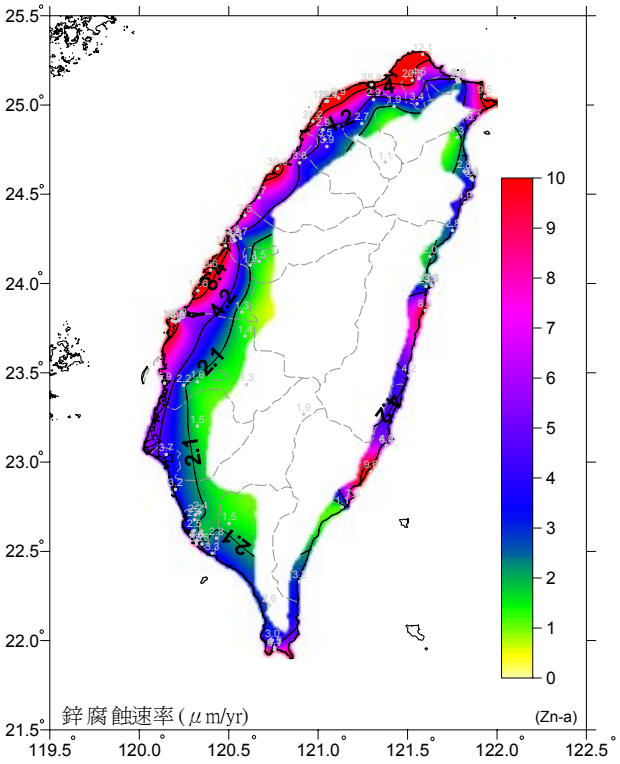


圖 5.22　2007.05-2008.08 鋅腐蝕速率(μm/yr)

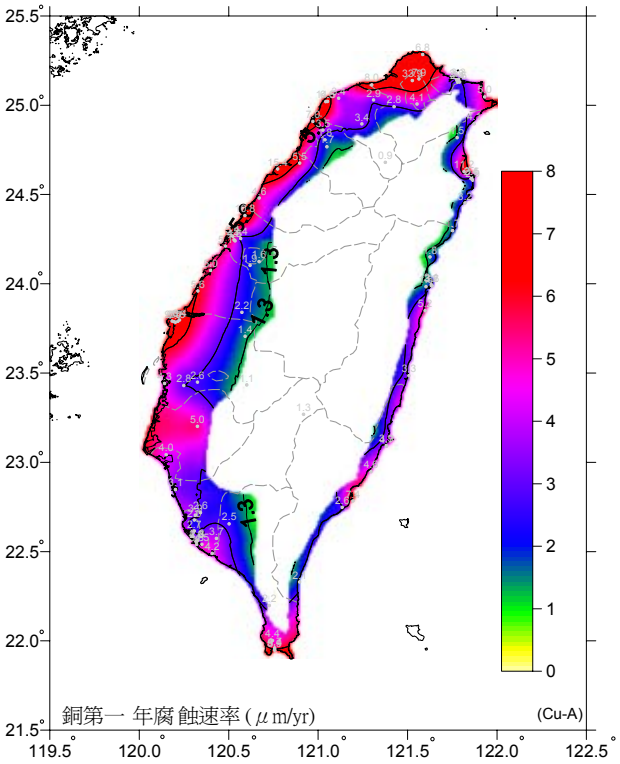


圖 5.23　2007.05-2008.08 銅腐蝕速率(μm/yr)

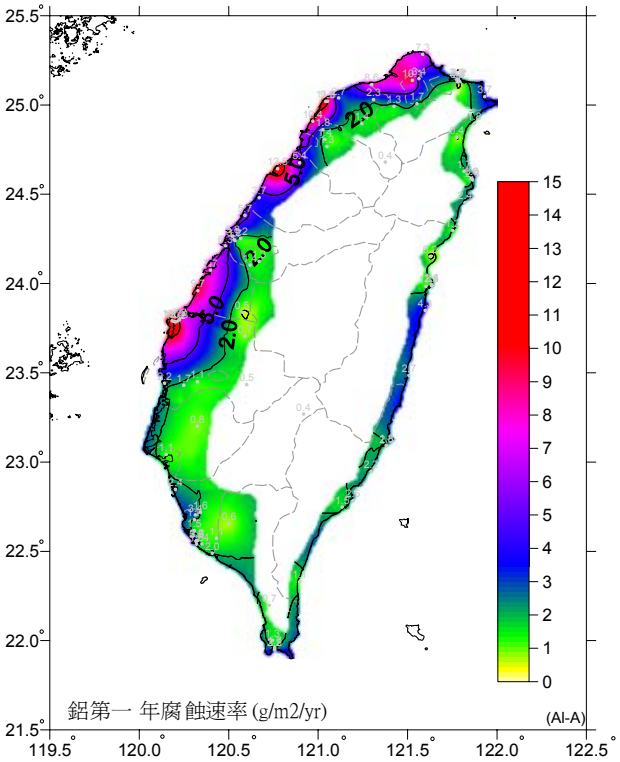


圖 5.24　2007.05-2008.08 鋁腐蝕速率(g/m^2/yr)

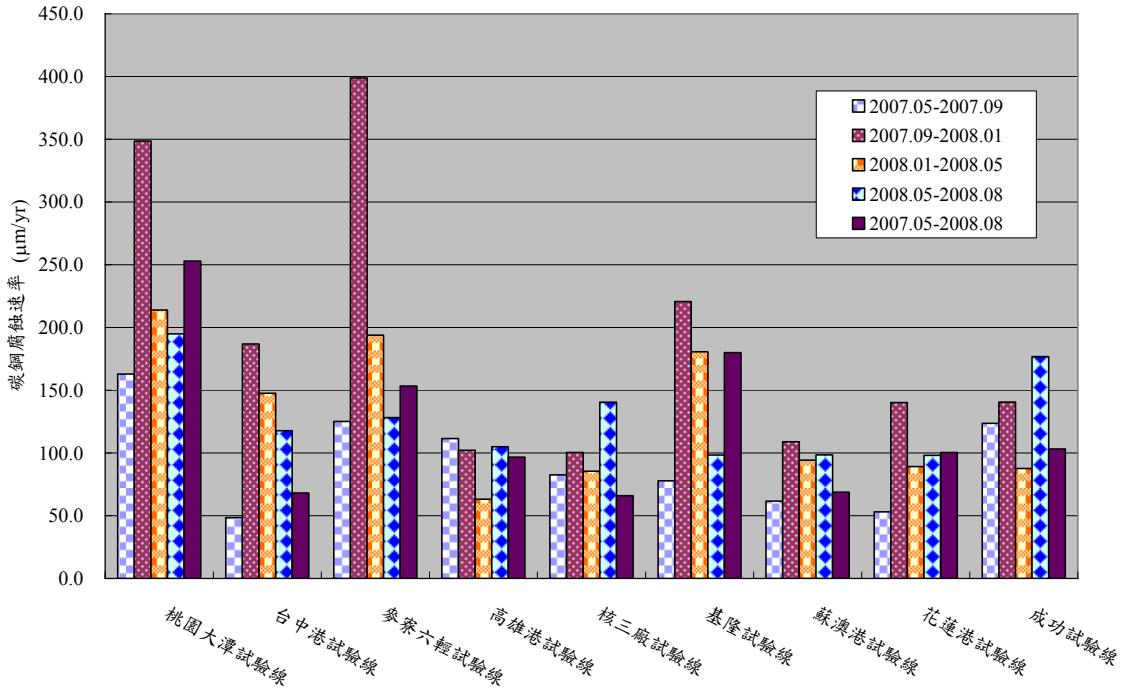


圖 5.25 垂直海岸試驗線碳鋼平均腐蝕速率比較

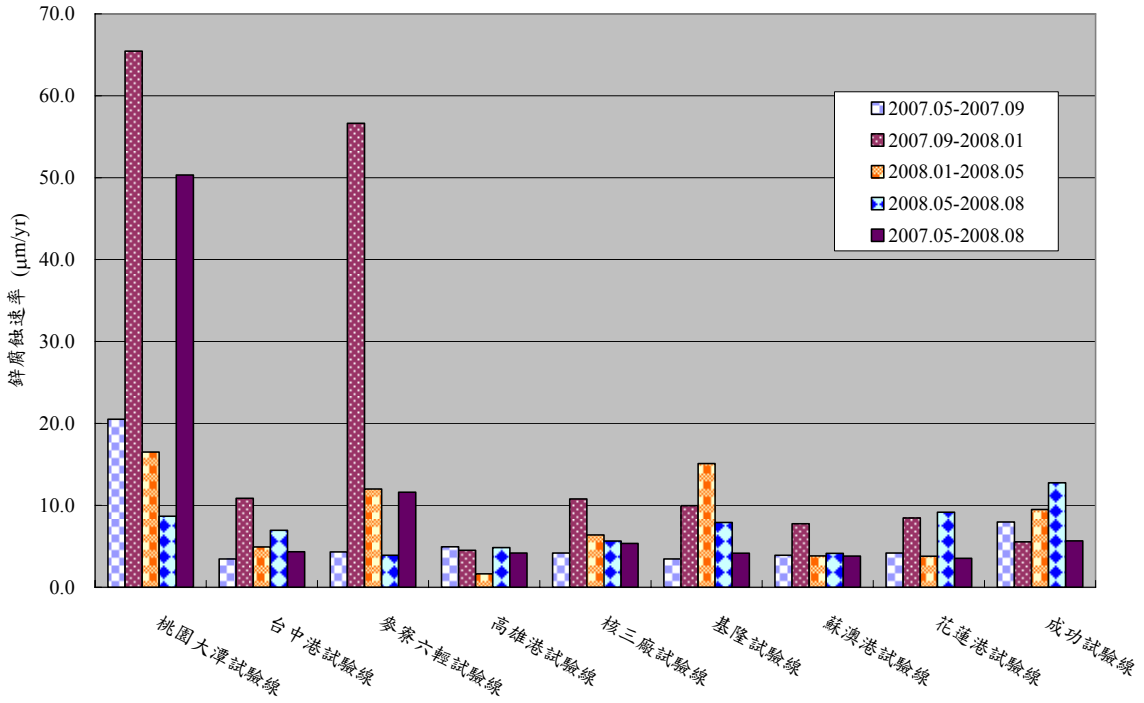


圖 5.26 垂直海岸試驗線鋅金屬平均腐蝕速率比較

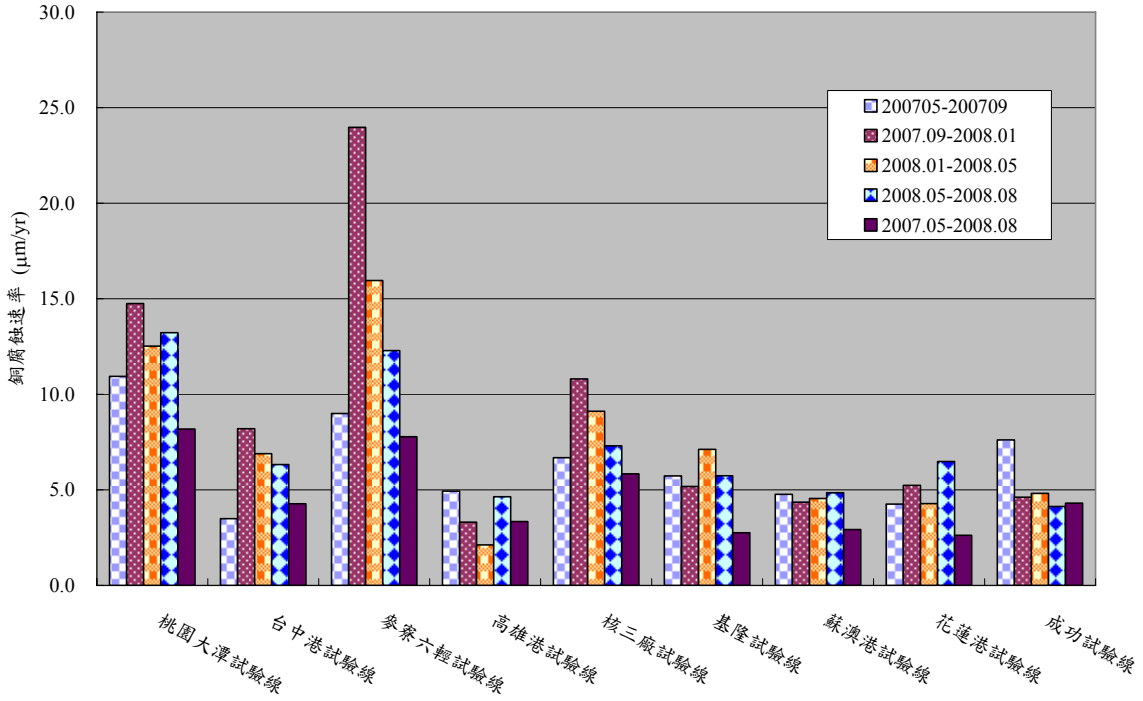


圖 5.27 垂直海岸試驗線銅金屬平均腐蝕速率比較

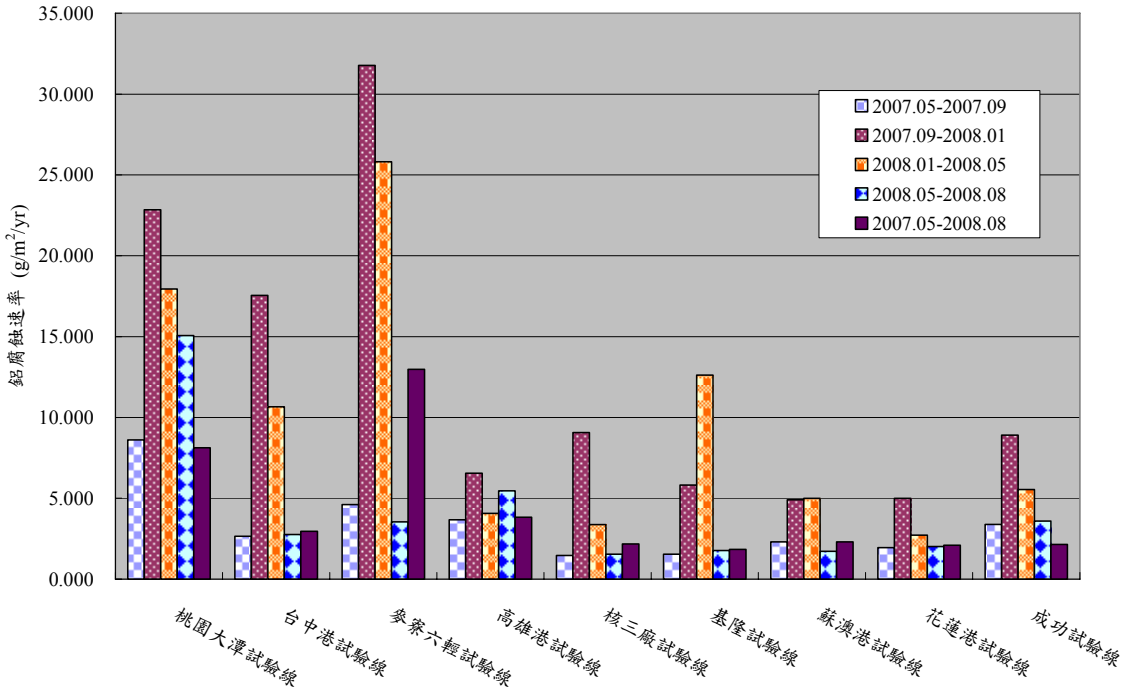


圖 5.28 垂直海岸試驗線鋁金屬平均腐蝕速率比較

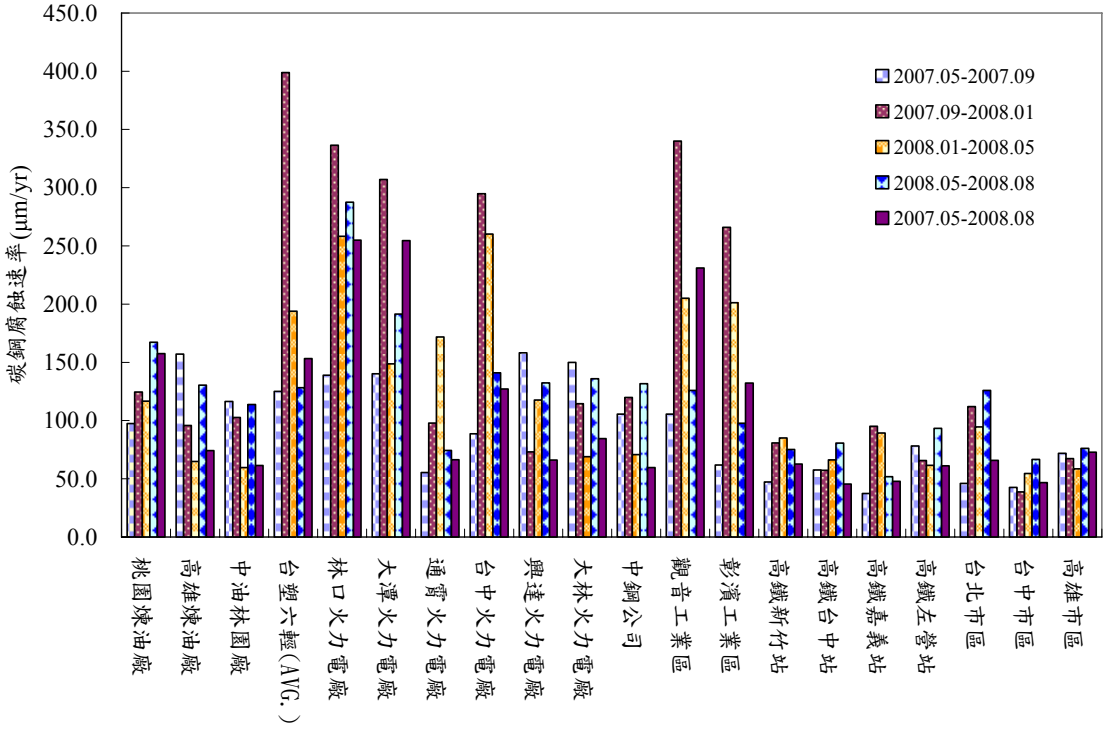


圖 5.29 特定測站碳鋼腐蝕速率比較

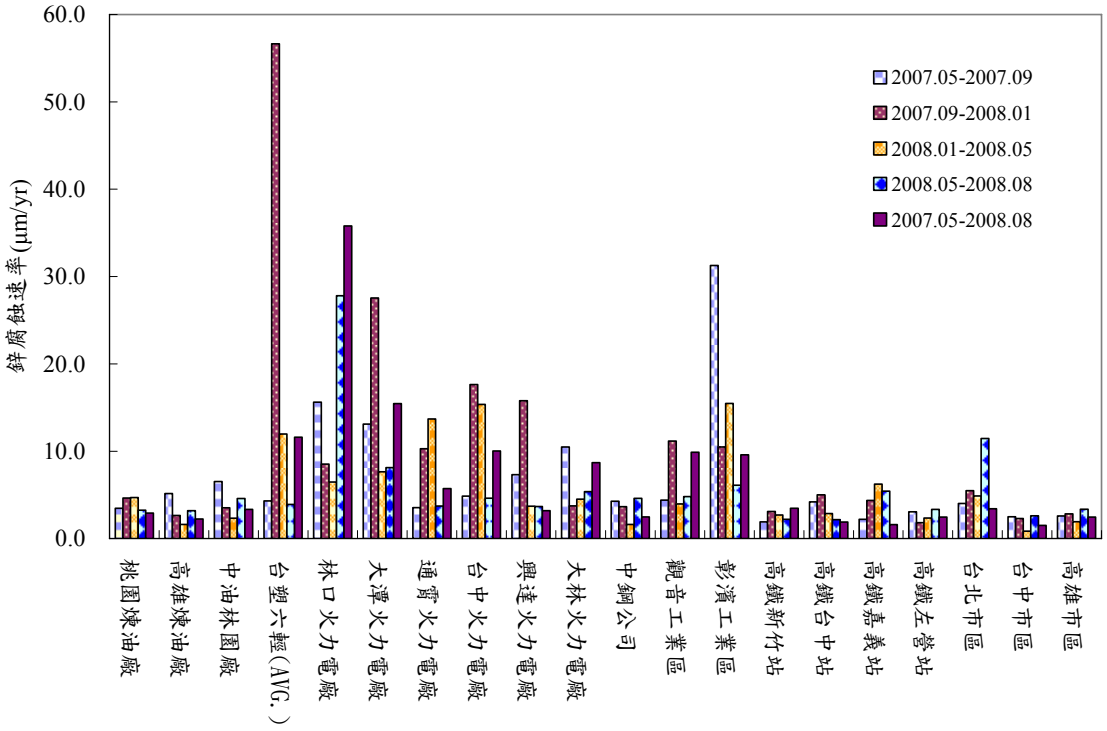


圖 5.30 特定測站鋅金屬腐蝕速率比較

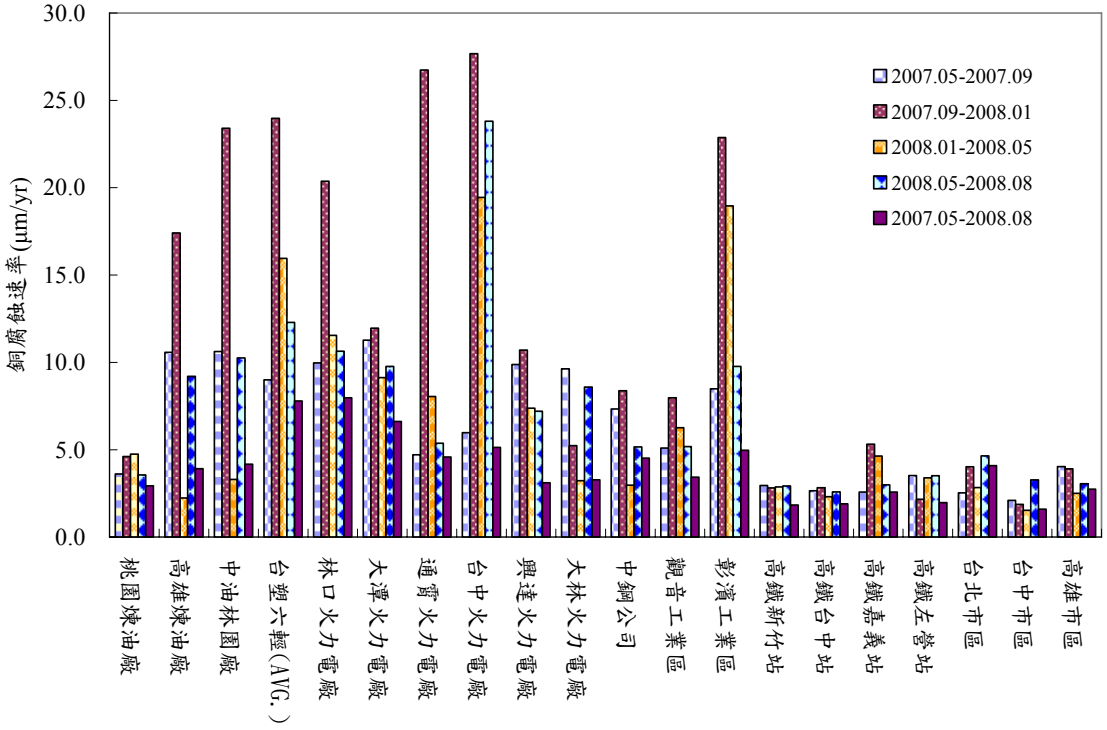


圖 5.31 特定測站銅金屬腐蝕速率比較

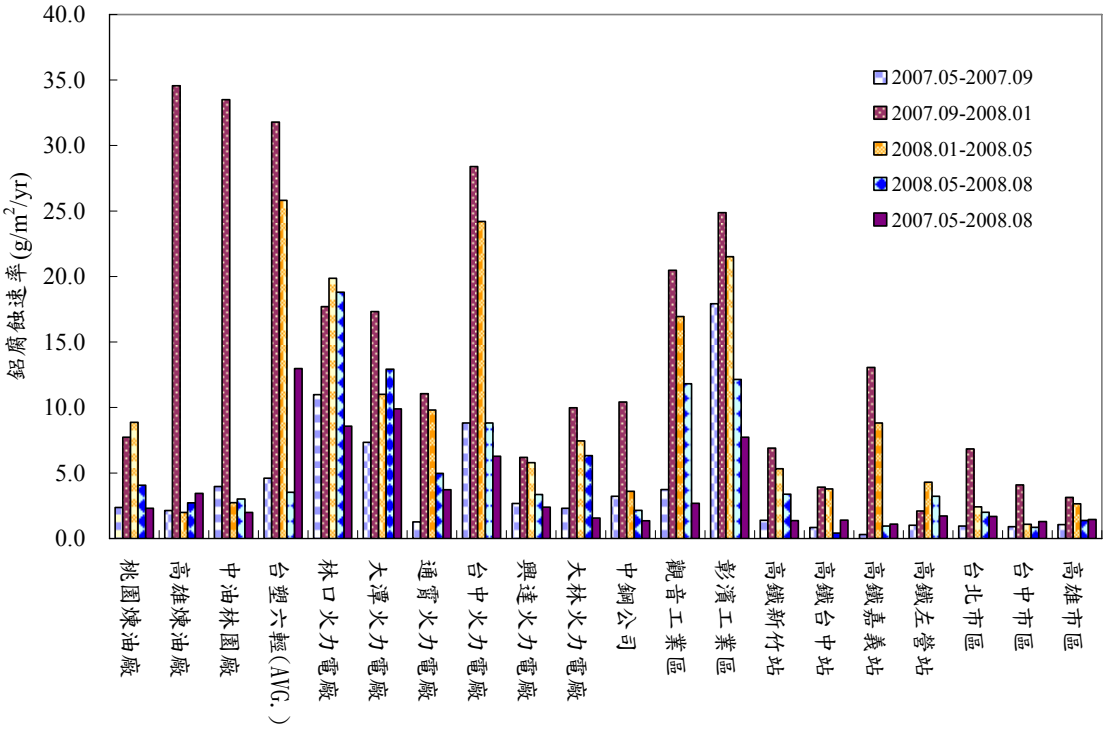


圖 5.32 特定測站鋁金屬腐蝕速率比較

5.5.6.6 各金屬大氣腐蝕環境分類

CNS 13401 (ISO 9223)大氣腐蝕性分類可根據標準金屬試片在某環境中進行自然暴露，並以最初第一年的腐蝕率大小來決定大氣腐蝕環境分類，其分類標準如表 5-13 所示，可分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級；C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)。今彙整 2007.05-2008.08 (15 個月)試片之腐蝕速率進行各金屬的大氣腐蝕分類，結果如表 5-18 所示。表中，C5+表示金屬的腐蝕速率已超過 CNS 13401 規範中所規定之 C5 的腐蝕速率。

圖 5.33 至圖 5.36 分別為碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在 2007.05- 2008.08 (15 個月)暴露期間之大氣腐蝕分類等位圖；圖中等位線區間的顏色依表 5-18 中各金屬最初第一年之腐蝕速率來區分，C5 等級以上(C5+)以紅色表示，C5 等級以粉紅色表示，C4 等級以藍色表示，C3 等級以綠色表示，C2 等級以黃色表示，C1 等級則以淡黃色表示。

一般而言，除了在山區的試驗位址外，碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，甚至在西北部海岸，碳鋼、鋅、銅的腐蝕環境可達 C5+。在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，針對碳鋼與鋅金屬，臺灣西部之大氣腐蝕環境分類可以大甲溪為界，大甲溪以北地區(如通霄以北之苗栗、新竹、桃園、臺北市)多為 C4 等級，大甲溪以南臺中市至臺南縣市之間多為 C3，但高雄縣市附近則為 C4。

至於銅金屬，其在臺灣全島地區的腐蝕狀況，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 至 C5+等級，山區腐蝕環境為 C3 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為 C4 等級。而針對鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 等級，山區腐蝕環境為 C2 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C3~C4 等級。

比較採用環境因子腐蝕分類(章節 5.5)與採用試片腐蝕速率分類的結果，發現使用環境因子進行之大氣腐蝕分類較為和緩；如以碳鋼為

例，核一廠試驗點若採環境因子分類為 C3 等級，但以腐蝕速率分類則為 C5+等級，其間的差異甚巨。經檢討，推論應是濱海區域實測之氯鹽沉積速率未確實反應現場氯鹽沉積量所致。因為濕燭法的原理為使用一個濕纖維織物表面，在已知面積的條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量；但在東北季風與颱風侵襲臺灣時，持續強勁的風速會將部份纖維織物吹破或減薄，以致影響實際的氯鹽累積而造成較小的腐蝕等級。換句話說，本研究自 2007.05 至 2008.08 調查期間，濱海地區持續累積的氯鹽採集裝置可能因纖維織物的破裂、減薄而使量測到的氯鹽沉積量變小，以致 ISO 分類僅在 S0-S1(< 60 mg/m^2/day)的範圍內，但若採用 S2 (60~300 mg/m^2/day)修正並進行環境因子腐蝕分類，則濱海地區的腐蝕等級可為 C5。因此，如何確保濕燭法纖維織物不受強風破壞的方法應審慎研究，而本計畫在濱海地區所得一年期之氯鹽沉積速率應視為「2007.05-2008.08 期間較低的氯鹽沉積速率，實際之氯鹽累積量應大於此量測值」。

表 5-18 各金屬之腐蝕速率之大氣腐蝕分類結果(試驗期間：96.05-97.08)

項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
1	核一廠	C5+	C5+	C5+	C5
2	**基隆試驗線 0m**	C5+	C5	C5	C4
3	**基隆試驗線 300m**	C5+	C5	C5	C4
4	**基隆試驗線 1Km**	C5	C4	C4	C3
5	**基隆試驗線 3Km**	C5	C4	C4	C2
6	澳底安檢所	C5+	C5+	C5	C4
7	梗枋安檢所	C5	C5	C5	C3
8	礁溪火車站	C3	C3	C4	C2
9	龍德工業區	C5	C4	C5+	C3
10	**蘇澳港試驗線 0m**	C4	C5	C5	C4
11	**蘇澳港試驗線 300m**	C4	C4	C5	C4
12	**蘇澳港試驗線 1Km**	C4	C4	C4	C3
13	南澳安檢所	C5	C5	C5	C4
14	和平工業區	C3	C4	C4	C3
15	太魯閣國家公園	C3	C3	C4	C2
16	**花蓮港試驗線 0m**	C5	C5+	C5	C4
17	**花蓮港試驗線 300m**	C5	C5+	C5	C4
18	**花蓮港試驗線 1Km**	C5	C5	C4	C3
19	**花蓮港試驗線 3Km**	C4	C4	C4	C3
20	橄仔樹安檢所	C5	C5+	C5	C4
21	石梯安檢所	C5	C5	C5	C4
22	**成功試驗線 0m**	C5	C5	C5	C4
23	**成功試驗線 300m**	C5	C5	C5	C4
24	金樽安檢所	C5	C5+	C5	C4
25	伽蘭安檢所	C5	C5	C5+	C4
26	豐樂工業區	C3	C3	C4	C3
27	尚武安檢所	C3	C4	C4	C3
28	**核三廠試驗線 0m**	C5	C5+	C5+	C4
29	**核三廠試驗線 300m**	C4	C5	C5	C4
30	**核三廠試驗線 1Km**	C4	C5	C5	C3
31	**核三廠試驗線 3Km**	C4	C4	C5	C3
32	楓港變電站	C3	C4	C4	C3
33	屏東工業區	C3	C3	C4	C3
34	中油林園廠	C4	C4	C5	C3
35	大林火力電廠	C5	C5	C5	C3

表 5-18 各金屬之腐蝕速率之大氣腐蝕分類結果(續 1)

項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
36	中鋼公司	C4	C4	C5	C3
37	大發工業區	C4	C4	C5	C3
38	高雄市區	C4	C4	C4	C3
39	**高雄港試驗線 0m**	-	-	C5	-
40	**高雄港試驗線 300m**	C5	C5	C5	C5
41	**高雄港試驗線 1Km**	C5	C5	C5	C4
42	**高雄港試驗線 3Km**	C5	C4	C5	C4
43	高鐵左營站	C4	C4	C4	C3
44	高雄煉油廠	C4	C4	C5	C4
45	仁大工業區	C4	C4	C4	C3
46	興達火力電廠	C4	C4	C5	C4
47	成大水工所	C4	C4	C5	C3
48	官田工業區	C3	C3	C5	C3
49	東石安檢所	C5	C5	C5	C4
50	朴子工業區	C4	C4	C4	C3
51	高鐵嘉義站	C3	C3	C4	C3
52	斗六工業區	C3	C3	C4	C3
53	**臺塑六輕試驗線 0m**	C5	C5+	C5+	C5+
54	**六輕試驗線 300m**	C5	C5+	C5+	C5+
55	**六輕試驗線 1Km**	C5	C5+	C5+	C5+
56	**六輕試驗線 3Km**	C5	C5+	C5+	C5+
57	六輕工業區	C5	C5	C5+	C5
58	王功安檢所	C5	C5+	C5	C5
59	彰濱工業區	C5	C5+	C5	C5
60	田中工業區	C3	C3	C4	C2
61	高鐵臺中站	C3	C3	C4	C3
62	臺中市區	C3	C3	C4	C3
63	臺中火力電廠	C5	C5+	C5	C5
64	**臺中港試驗線 0m**	C5	C5	C5	C5
65	**臺中港試驗線 300m**	C4	C5	C5	C4
66	**臺中港試驗線 1Km**	C4	C5	C5	C3
67	**臺中港試驗線 3Km**	C3	C4	C4	C3
68	五甲安檢所	C5	C5	C5+	C5+
69	通霄火力電廠	C4	C5	C5	C4
70	外埔安檢所	C5	C5+	C5+	C5+

表 5-18 各金屬之腐蝕速率之大氣腐蝕分類結果(續 2)

項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
71	頭份工業區	C5	C4	C5	C5
72	外湖安檢所	C5+	C5+	C5+	C5+
73	工研院	C4	C4	C4	C3
74	新竹工業區	C4	C4	C5	C3
75	平鎮工業區	C4	C4	C5	C3
76	高鐵新竹站	C4	C4	C4	C3
77	**桃園試驗線 0m**	C5+	C5+	C5+	C5+
78	**桃園試驗線 300m**	C5+	C5+	C5+	C5
79	**桃園試驗線 1Km (觀音工業區)**	C5+	C5+	C4	C4
80	林口火力電廠	C5+	C5+	C5+	C4
81	樹林工業區	C3	C3	C4	C3
82	桃園煉油廠	C5	C4	C4	C4
83	臺北市區	C4	C4	C5	C3
84	陽明山國家公園	C5	C5	C5+	C4
85	陽明山硫磺區	C5+	C5+	C5+	C5+
86	阿里山	C3	C3	C3	C2
87	南橫天池	C2	C3	C3	C2
88	北橫巴陵	C2	C3	C3	C2

註：- 表示試片遺失

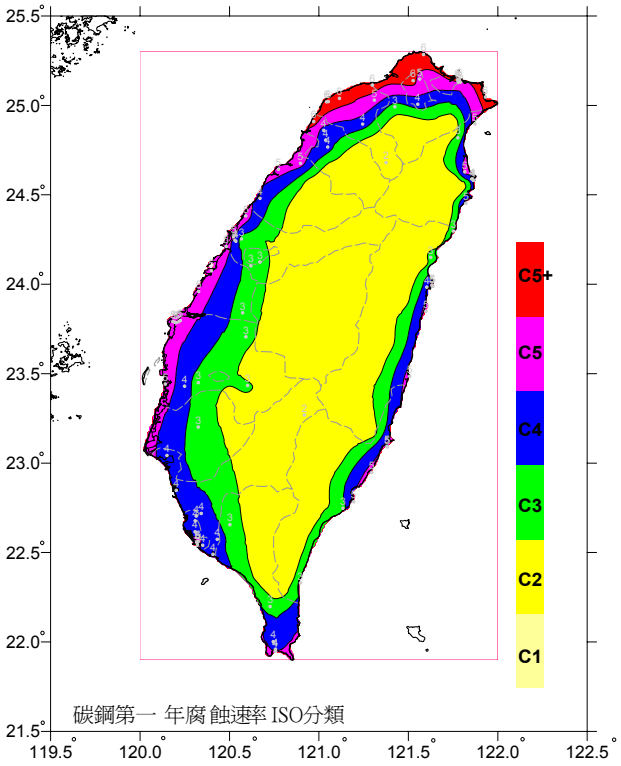


圖 5.33 碳鋼第一年腐蝕速率 ISO 分類

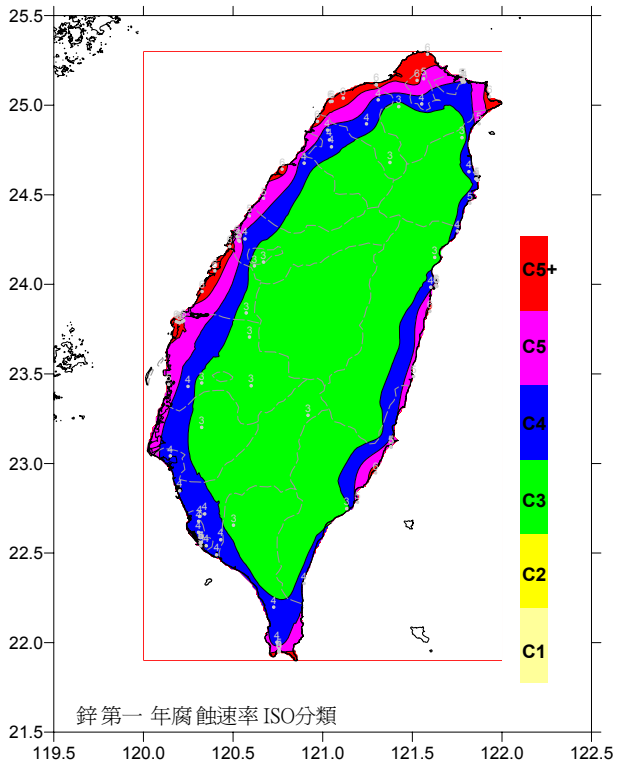


圖 5.34 鋅第一年腐蝕速率 ISO 分類

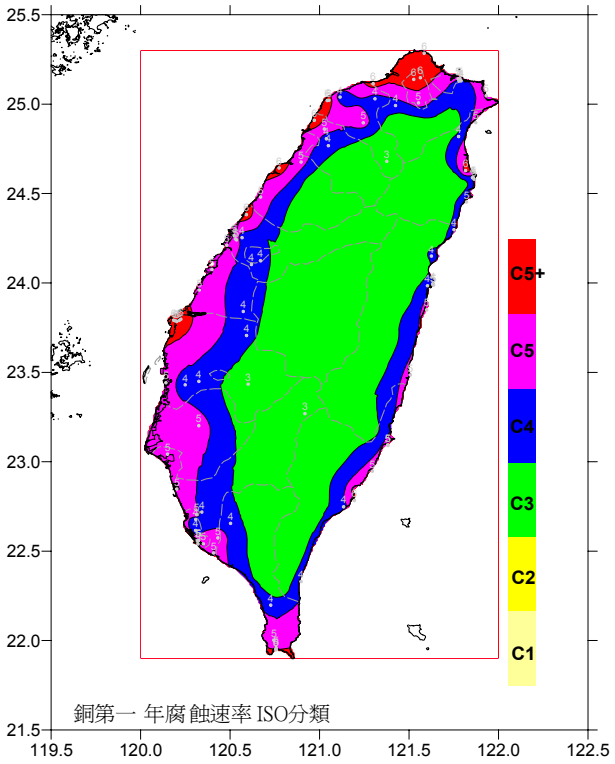


圖 5.35 銅第一年腐蝕速率 ISO 分類

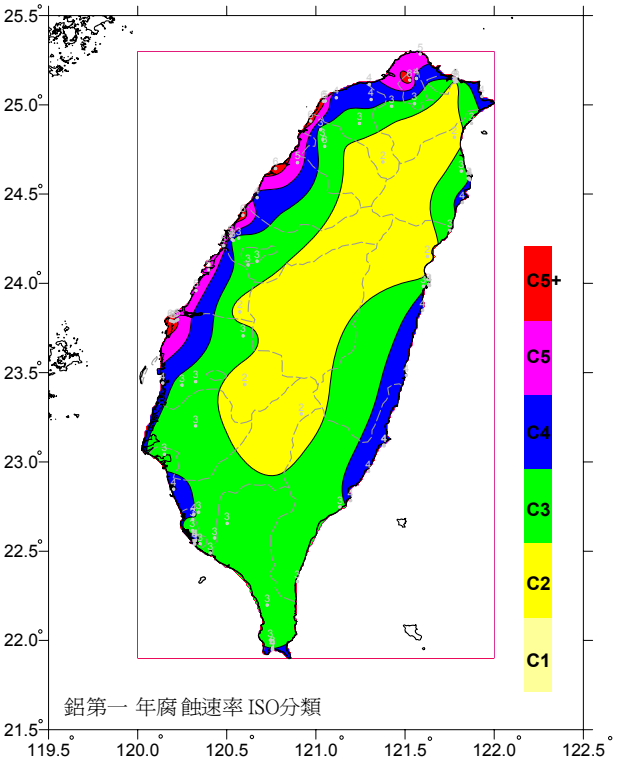


圖 5.36 鋁第一年腐蝕速率 ISO 分類

5.5.6.6 板狀試片建置

依據 CNS 13757，量測大氣腐蝕速率的試片有兩種，一種為螺旋狀試片而另一種為板狀試片；為避免螺旋狀試片在長期(一年期以上)暴露後因腐蝕而消耗殆盡，今參考 ASTM G 50-76[7] “Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals”規範製作板狀試片，藉以瞭解金屬長期(一年期以上)的腐蝕速率。試片準備如下：

1. 試片種類：碳鋼、鋅、銅、鋁，其成份將依據 CNS 13757(ISO 9226)規範準備。
2. 試片尺寸：依據 ASTM G 50-76，長度 150 mm、寬度 100 mm、厚度 5 mm 的試片。
3. 試驗期程：10 年。
4. 取樣頻率：6 次，即第 1、2、3、5、8、10 年每年一次。
5. 試片數量：以重量損失法進行腐蝕速率量測，每一試驗點各金屬各須 24 片試片(每次取樣 3 片，重複取樣 6 次，5 片備用，1 片為對照)，共 96 片試片。
6. 試驗地點：選擇足以代表本島不同腐蝕環境之區域，如腐蝕嚴重的鹽害區、工業區，以及腐蝕較輕微的鄉村區(對照組)等 3 處。鹽害區將選定為臺中火力電場，工業區將選擇麥寮工業區，而鄉村區則為溪頭森林區。
7. 大氣暴露試驗架設置：大氣暴露試驗架依據 ASTM G50-76 標規範設置；試驗架離地距離大於 760 mm，試片設置角度與垂直面成 30^{o} 角且面向南方，試片固定座採用絕緣材料。

本研究板狀試片設置時間為 2008 年 10 月上旬，現場安裝相片如下：



臺中火力電場



臺中火力電場



麥寮工業區



麥寮工業區



溪頭森林區



溪頭森林區

5.6 大氣腐蝕因子資料庫建立

5.6.1 系統功能規劃

結構材料大氣腐蝕是結構物工程設計的重要參考數據，在此資料庫中將包括：

1. 關於本計畫：主要是介紹本計畫的背景，使用的規範、大氣腐蝕環境分類的量測方法。另外亦說明試片材料的選取製作及試片取樣頻率。
2. 國內資料蒐集分析：主要是由氣象局與環保署之氣象資料與空氣監測資料為主，透過專業的分析判斷，以盒鬚圖的方式呈現，讓使用者可以快速的了解臺灣過去 10 年的氣象與空氣概況。
3. 現地試驗資料：包括季節性與一年期之腐蝕因子如濕潤時間、氯鹽沉積速率與二氧化硫沉積速率，以及碳鋼、鋅、銅、鋁金屬之腐蝕速率分析比較。
4. 專家數據庫：此為會員專區，須輸入帳號跟密碼，才可進入該系統。將分析結果以圖資方式配合臺灣地圖導入，提供設計與維護管理人員快速查詢的功能，以擷取所需之本土化資訊。

5.6.2 系統架構規劃

本系統之架構主要分為資料存取、資料處理與資料查詢三大模組。資料存取主要提供所蒐集資料或數據資料之輸入建檔，資料處理提供數據分析功能、資料查詢提供顯示與列印(含統計查詢)等功能。開發工作及程式撰寫包括資料庫規劃設計、資料處理介面、查詢使用等介面程式設計。架構流程如圖 5.37 所示。

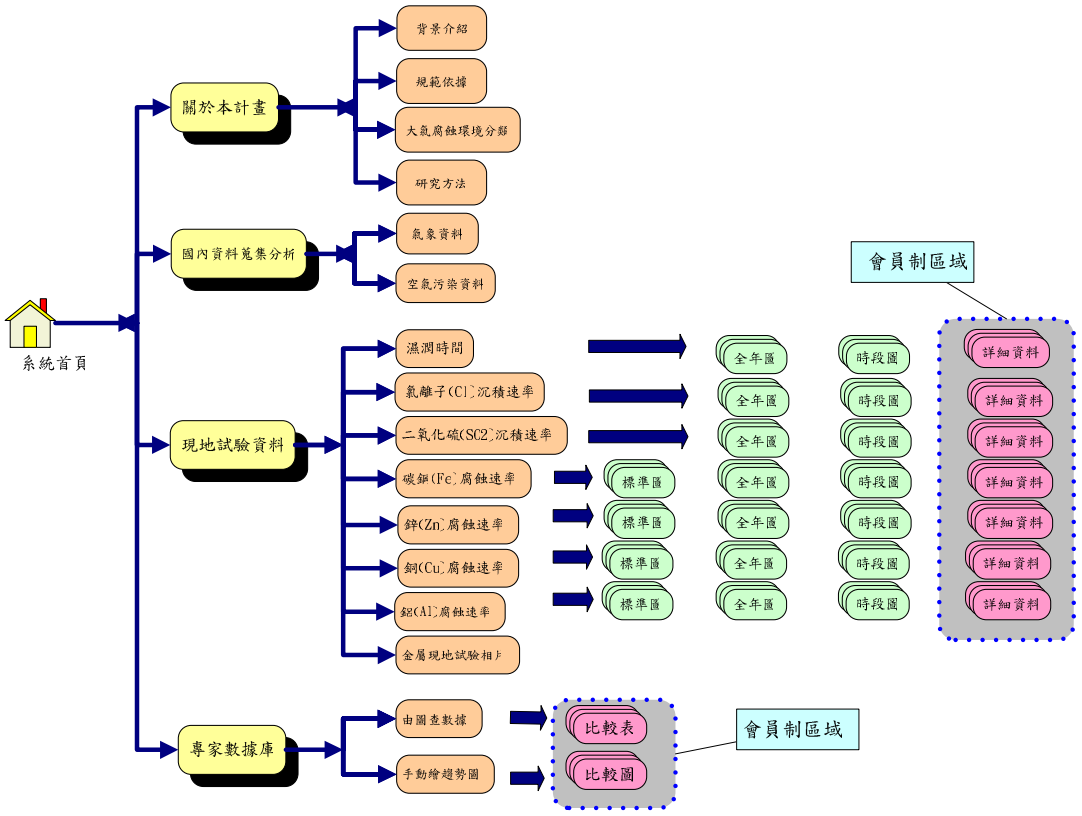


圖 5.37 資料庫系統架構流程

5.6.3 電腦環境規劃

為方便管理及整合資料，本系統採用目前廣為使用的 Microsoft WINDOWS/XP 為作業平台，選用 SQL Server 為資料庫，圖文介面則使用 TeeChart 7.14 來撰寫，同時為考慮資料查詢的便利性，本系統將以網路作業方式進行開發。

5.6.4 系統說明

1. 登入首頁：輸入網址後，進入本系統的主網頁。由首頁可以再點選進入進階選項---『關於本計畫』、『國內資料蒐集分析』、『現地試驗資料』、『專家數據庫』，如圖 5.38。

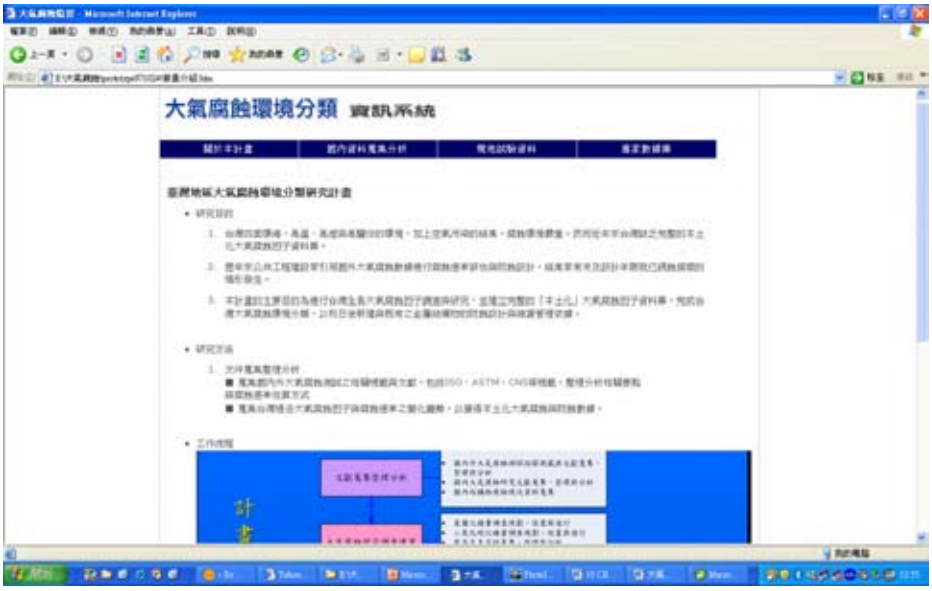


圖 5.38 資料庫首頁

2.【關於本計畫】：由首頁進入此分項後，可以看到與本計畫相關各項簡介，使用者可以透過這些說明更了解本計畫執行之目的與布驟。

(1) 『背景介紹』：由這個網頁可以了解本計畫的研究目的、研究方法與工作流程，如圖 5.39。



圖 5.39 資料庫網頁—關於本計畫

(2) 『使用規範與方法』：由首頁進入此分項後，可以看到本計畫所依據之大氣腐蝕規範、大氣腐蝕環境分類(ISO 9223)、濕潤時間、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、與碳鋼、鋅、銅、鋁金屬腐蝕速率之量測方法，如圖 5.40。



圖 5.40 資料庫使用規範與方法

(3) 『試片處理』：由首頁進入此分項後，可以看到本計畫現地暴露試驗的試片製作材料及試片取樣頻率，如圖 5.41。



圖 5.41 試片處理

3.【國內資料蒐集分析】：主要是由氣象局與環保署之氣象資料與空氣監測資料為主，透過專業的分析判斷，以盒鬚圖的方式呈現，讓使用者可以快速的了解臺灣過去 10 年的氣象與空氣概況。

(1)『氣象資料蒐集分析』：此網站主要蒐集氣象局提供的氣溫、相對濕度、日照時數、太陽輻射、風速、降水量、降水日數的資料，並透過整理及分析，將資料以圖表的方式呈現，如圖 5.42。



圖 5.42 氣象資料整理與分析

(2)『環保署資料蒐集分析』：此網站主要整理分析環保署空氣品質監測資料，如：SO_2 、NO_2 、CO 的資料，並透過整理及分析，將資料以圖表的方式呈現，如圖 5.43。



圖 5.43空氣品質監測資料整理與分析

4. 【現地試驗資料】：此分項的資料主要為季節性與一年期之濕潤時間、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、與碳鋼、鋅、銅、鋁金屬腐蝕速率之分析比較。

(1) 『濕潤時間』：首先呈現本年度的濕潤時間百分比圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的百分比圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.44 為『濕潤時間』網站的圖。

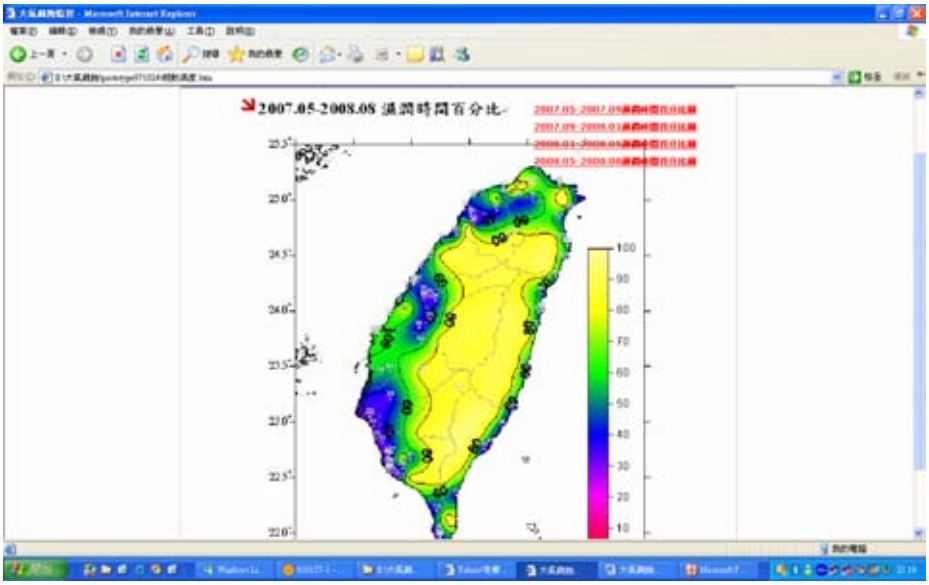


圖 5.44濕潤時間百分比等位圖

(2) 『氯鹽沉積速率』：首先呈現本年度的氯鹽沉積速率圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的氯鹽沉積速率圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.45 為『氯鹽沉積速率』網站的圖。

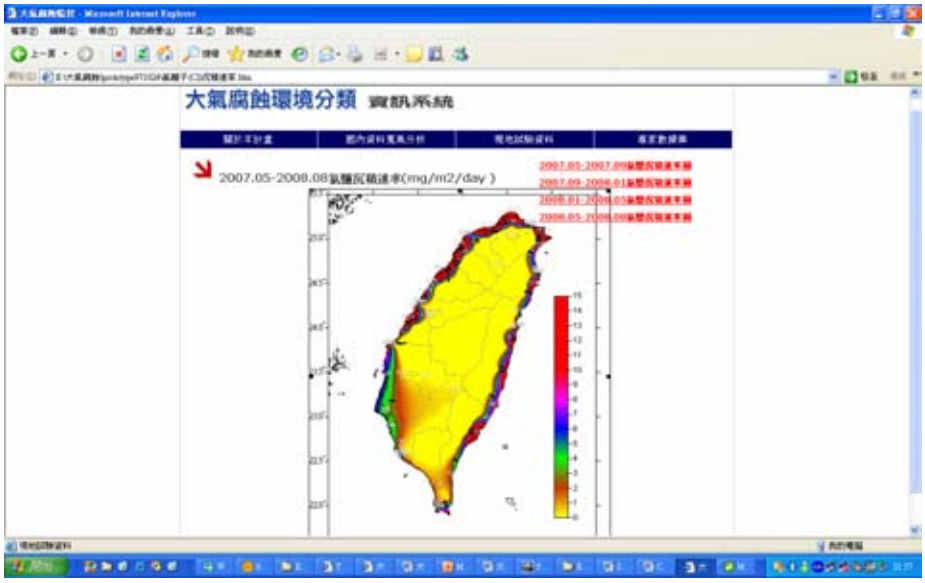


圖 5.45 氯鹽沉積速率等位圖

(3) 『二氧化硫(SO_2)沉積速率』：首先呈現本年度的二氧化硫(SO_2)沉積速率圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的二氧化硫(SO_2)沉積速率圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.46 為『二氧化硫(SO_2)沉積速率』網站的圖。

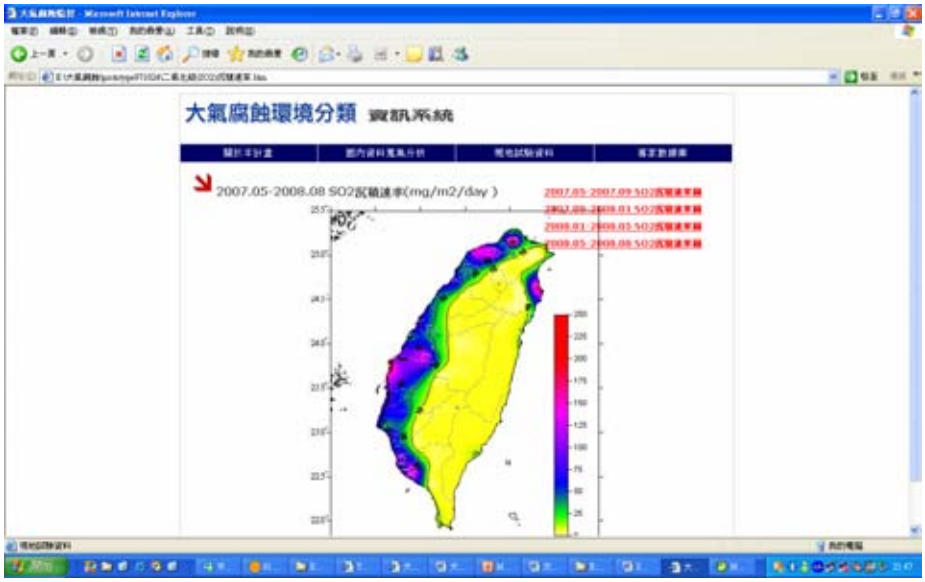


圖 5.46 二氧化硫沉積速率等位圖

(4) 『碳鋼(Fe)腐蝕速率』: 首先呈現本年度的碳鋼(Fe)腐蝕速率圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的碳鋼(Fe)腐蝕速率圖、碳鋼第一年腐蝕速率 ISO 分類圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.47 為『碳鋼(Fe)腐蝕速率』網站的圖。

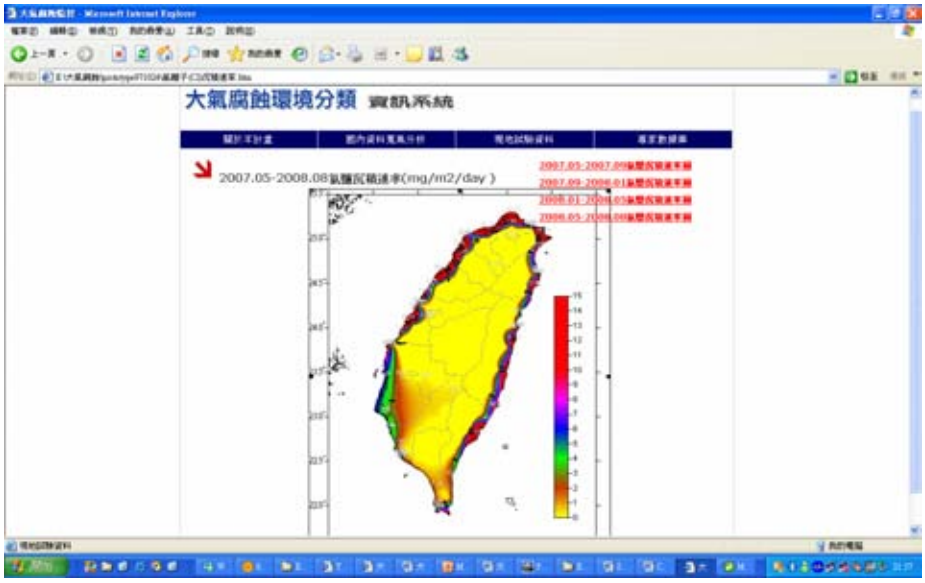


圖 5.47 碳鋼腐蝕速率

(5) 『鋅(Zn)腐蝕速率』：首先呈現本年度的鋅(Zn)腐蝕速率圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的鋅(Zn)腐蝕速率圖、鋅(Zn)第一年腐蝕速率 ISO 分類圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.48 為『鋅(Zn)腐蝕速率』網站的圖。

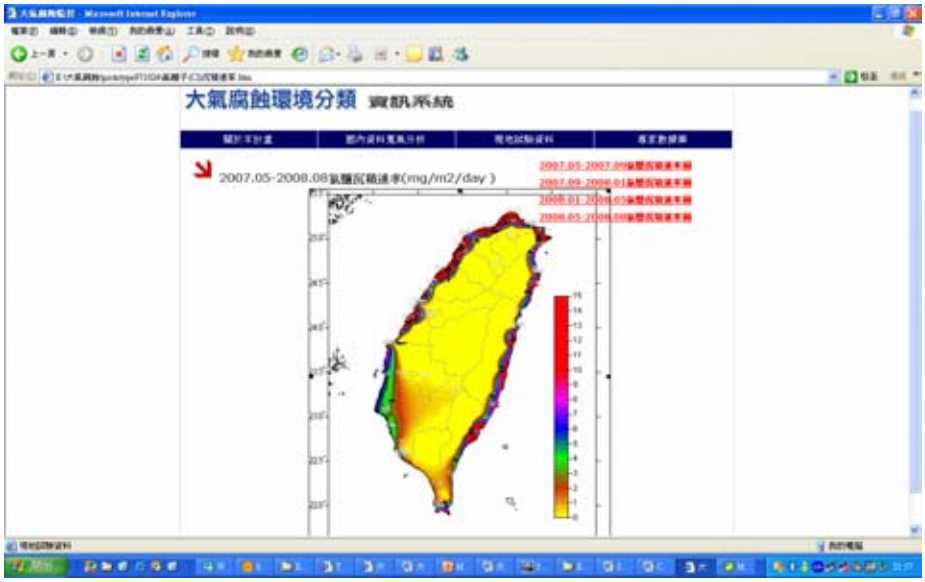


圖 5.48 鋅腐蝕速率

(6) 『銅(Cu)腐蝕速率』：首先呈現本年度的銅(Cu)腐蝕速率圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的銅(Cu)腐蝕速率圖、銅(Cu)第一年腐蝕速率 ISO 分類圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.49 為『銅(Cu)腐蝕速率』網站的圖。

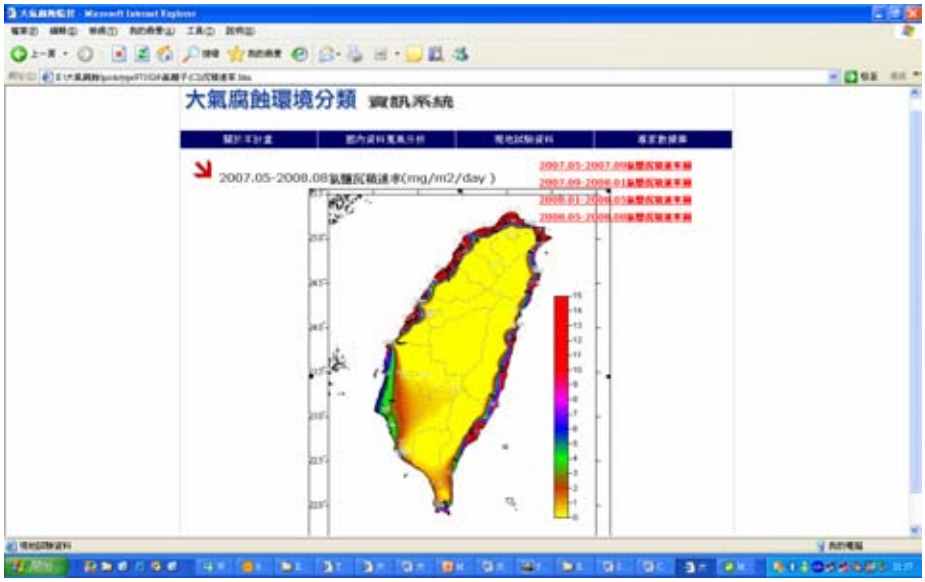


圖 5.49 銅腐蝕速率

(7) 『鋁(Al)腐蝕速率』: 首先呈現本年度的鋁(Al)腐蝕速率圖，於圖上右上方提供本年度四個季節的鋁(Al)腐蝕速率圖、鋁(Al)第一年腐蝕速率 ISO 分類圖，供使用者進階查詢，若需要更進一步的數據資料，需進入會員專區-【數據資料庫】。圖 5.50 為『鋁(Al)腐蝕速率』網站的圖。

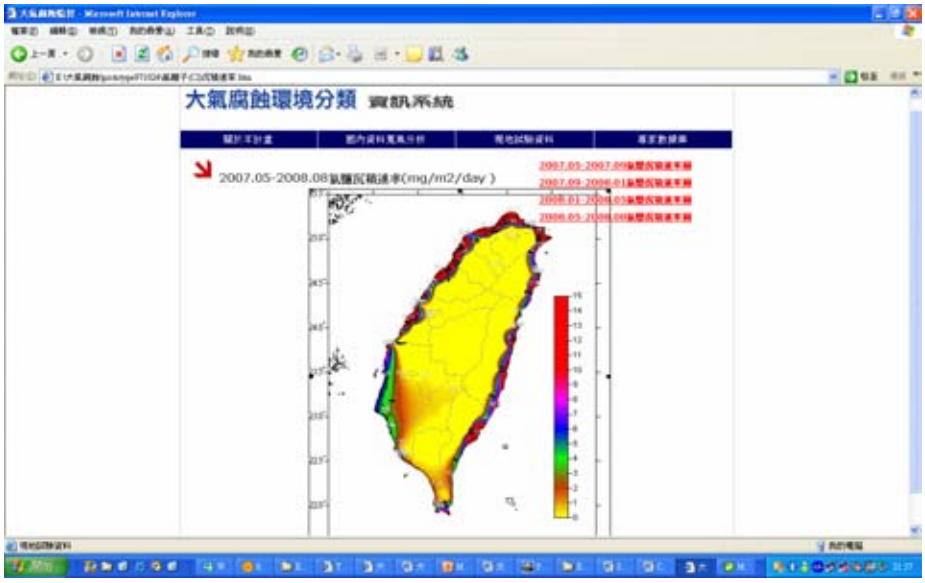


圖 5.50 鋁腐蝕速率

5. 【專家數據庫】：此為會員專區，須輸入帳號跟密碼，才可進入該系統。將分析結果以圖資方式配合臺灣地圖導入，提供設計與維護管理人員快速查詢的功能，以擷取所需之本土化資訊。點選【專家數據庫】下任何分項都會先出現會員登入畫面，如圖 5.51。



圖 5.51 專家會員登入

(1)『由圖查數據』：首先呈現一張臺灣地圖，臺灣地圖上有現地暴露試驗的 105 的點，供使用者用滑鼠點選該點後，出現該點的相關位置資訊及在該點做的各種試驗數據，如圖中於點選基隆試驗線後，系統出現該試驗線的相關位置資料，請參考圖 5.52。

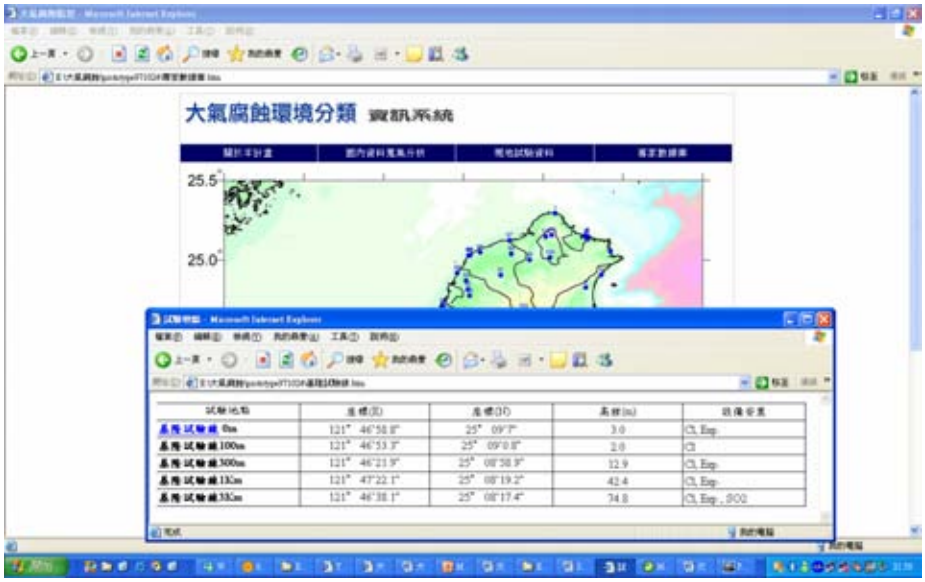


圖 5.52 點選試驗點位置查詢數據

(2)『手動繪圖比較』：提供使用者自己動手選擇要比較的腐蝕因子及數據，系統將依據使用者的選擇繪出比較的柱狀圖，請參考圖 5.53。



圖 5.53 手動繪圖比較

5.7 小結

1.臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率以初秋到冬季(2007.09- 2008.01)最為嚴重，而東部海岸的氯鹽沉積速率則以夏季至初秋(2007.05 -2007.09)最為嚴重，至於臺灣南部海岸的氯鹽沉積速率，與西部海岸以及東部海岸相較，氯鹽沉積速率較小，四次調查的結果多小於 10 $mg/m^2/day$。。

2.西海岸北部至中部、南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽會有增加的趨勢;但夏季季風對臺灣南部海岸空氣中的氯鹽量並無顯著的影響；至於東部海岸因受夏季季風以及颱風的吹襲，海風挾帶大量的氯鹽，會造成空氣中氯鹽含量增加。。

3.空氣中氯鹽含量輸送到內陸的分佈，受到風速、風向、地形局部遮避的影響；距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小，且距離海岸超過 3000m 以上時，氯離子的沉積速率已明顯減少。

4.二氧化硫沉積量的分佈取決於工業區、石化廠與火力電廠所在的位置與其生產頻率有關，受季節變化影響的較少，所以四次調查的結果有相似的分佈情形。

5.在秋季與冬季時大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫可能藉由東北季風的挾帶而侵襲臺灣，以致造成臺灣北部與西部沿海的二氧化硫沉積速率增加。

6.臺灣各地於 2007.05 至 2008.08 約 15 個月內，相對濕度大於 80%的小時數至少佔全年時數之 30%以上，且雲林麥寮地區更可高達 62.6%，僅次於山區如阿里山 86%、南橫天池 85.3%、北橫巴陵 84.8%、陽明山 78.1%。

7.在東北季風期期間，西海岸北部至中部、南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽與二氧化硫有顯著增加的趨勢，再加上此期間內之相對濕度為北濕南乾的現象，以致碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在東北季風期的腐蝕速率較高。

8.除了在山區的試驗位址外，碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，甚至在西北部海岸，碳鋼、鋅、銅的腐蝕環境可達 C5+。

9.在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，針對碳鋼與鋅金屬，臺灣西部之大氣腐蝕環境分類可以大甲溪為界，大甲溪以北地區(如通霄以北之苗栗、新竹、桃園、臺北市)多為 C4 等級，大甲溪以南臺中市至臺南縣市之間多為 C3，但高雄縣市附近則為 C4。

10.銅金屬其在臺灣全島地區的腐蝕狀況除濱海地區之腐蝕環境為 C5 至 C5+等級，山區腐蝕環境為 C3 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為 C4 等級。而針對鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 等級，山區腐蝕環境為 C2 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C3~C4 等級。

第六章 結 論

根據國家科技發展總目標、促進海洋永續發展，增強臺灣做為亞太地區商業及物流轉運中心的功能，港灣設施功能扮演重要關鍵角色。如何提升港灣設施之建設、工程品質與耐久性，以及維護、管理與安全等為本計畫之主要目標。此外，由於臺灣地區天然環境上空氣污染之結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本計畫亦針對本土化大氣腐蝕因子進行調查並建置資料庫，期能提供金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計參考。

本年度研究成果包括：(1)臺中港 1 至 4 號碼頭與基隆港西 2 至西 4 號碼頭之現況調查及結構安全分析與網路版維護管理系統；(2)持續驗證、檢討與修正碼頭本體設施維護管理系統於民國 94 至 96 年完成之重力式、板樁式及棧橋式碼頭本體設施檢測系統外，並結合港灣工程單價資料庫，整合建置成碼頭本體設施維護管理系統；(3)建立大氣環境腐蝕因子調查與試驗資料庫，完成臺灣地區大氣腐蝕環境分類。

本計畫之研究效益，除研究成果可提供港務局等維護港灣設施參考外，研究過程中採用或建置完成之相關檢測方法與實施流程、常時與地震時之結構分析、安全評估標準作業程序、維修補強工法及井筒式與牆式墩柱碼頭維護管理系統等成果，均可提供國內各港務局應用於相關碼頭設施維護管理作業需要與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。此外，並可提供公路局、港務局及相關單位作為金屬材料選用依據，達到符合各地區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。

本計畫各子計畫研究結論如下：

子計畫(一)：港灣構造物之現況調查研究

1.本年度調查碼頭結構之結果，臺中港 1 至 4A 碼頭曾於民國 88 年 921 大地震受到嚴重損壞，但修護至今，其現況經應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，其主整體結構評估指數（ID_1）均小於 2.0，顯示結構體功能完整安全無虞，基隆港西 2 至西 4 號碼頭雖以使用超過 50 年但主整體結構評估指數亦均小於 2.0，整體結構安全無虞，惟建議必需加強平時巡查頻率，確保營運正常。

2.基隆港西 2 至西 4 號碼頭目視檢測結果顯示，西 2 至西 4 號碼頭現況，除岸肩底部出現部份混凝土剝落或鋼筋腐蝕生銹外，並無立即性危險，建議仍需進行維修，以維護碼頭營運正常。

3.基隆港西 2 至西 4 號碼頭水深量測結果顯示，碼頭現有水深與設計水深差異不大；混凝土材料試驗包括抗壓強度、試錘試驗、電阻係數量測、中性化試驗、超音波波速量測及鋼筋腐蝕電位量測等，結果顯示並無明顯劣化情形，但碼頭岸壁混凝土之氯離子濃度有多處大於規範允許值，必須注意內部鋼筋可能發生腐蝕之影響

4.基隆港西 2 至西 4 號碼頭上部結構安全分析，採極限強度或容許應力檢核，若主筋配置採用 8 支#7 鋼筋或 8 支#8 鋼筋時，其抗彎、抗剪皆能符合規範需求。下部結構及拋石護坡整體常時安全分析，牆式橋墩斷面結構部份之設計載重為 $2t/m^2$ 時，常時分析其安全係數均大於 1.3，符合設計準則要求。

6.基隆港西 2 至西 4 號碼頭牆式墩柱結構之下部結構與拋石護坡回填區之最大容許荷載，建議應小於 2.2 t/m^2。井筒式結構部份，回填區荷載大於 1.5 t/m^2 時，其安全係數會小於 1 而達不穩定狀態，建議應維持目前使用現況為宜。

7.基隆港西 2 至西 4 號碼頭抵抗地震力分析，牆式橋墩斷面之拋石護坡當回填區荷載為 2.0 t/m^2 並需滿足設計準則安全係數大於 1.0 時，最大容許地震地表加速度為 0.2g，換算回歸週期為 275 年；井筒式斷面之拋石護坡之最大容許地震地表加速度為 0.08g，回歸週期為 17.6 年，故建議當地震震度大於 4 級時，應即進行井筒式結構水下檢測。

8.本年度建置之碼頭維護管理系統，以確立資料庫架構與建置資料儲存內容為重點，後續仍需針對結構評估指數計算所需之各項權重進行研究，需蒐集更多案例或邀請相關專家學者召開座談進行訂定。

子計畫(二)：碼頭維護管理系統建置之研究

1.碼頭營運安全問題複雜且變數眾多，國內碼頭多已老舊且位處地震帶上，碼頭維護管理之工作更有待加強，本計畫研究成果，可適當因應這些問題。

2.本計畫已逐年完成整合建置各式碼頭本體設施之檢測系統，未來將朝使系統更趨向可行性與實用性，提昇碼頭維護管理之功效，達成碼頭本體設施維護管理自動化之目標。

3.本計畫檢測系統經 94~97 四年之反覆驗證應用，系統已趨成熟。為確保系統更加務實完整，未來將持續加強現地驗證與應用，並不斷檢討修正。

4.本計畫所有系統之表格格式設計及相關評估要素與內容，未來仍待繼續提升或改進。

子計畫(三)：臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究

1.臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率以初秋到冬季最為嚴重，東部海岸則以夏季至初秋最為嚴重，南部海岸較小，本計畫之四次調查結果多小於 10 $mg/m^2/day$。

2.西海岸北部至中部、南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽會有增加的趨勢；但夏季季風對臺灣南部海岸空氣中的氯鹽量並無顯著的影響；至於東部海岸因受夏季季風以及颱風的吹襲，海風挾帶大量的氯鹽，會造成空氣中氯鹽含量增加。。

3.空氣中氯鹽含量輸送到內陸的分佈，受到風速、風向、地形局部遮避的影響；距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小，且距離海岸超過 3000m

以上時，氯離子的沉積速率已明顯減少。

4.二氧化硫沉積量的分佈取決於工業區、石化廠與火力電廠所在的位置與其生產頻率有關，受季節變化影響的較少，所以四次調查的結果有相似的分佈情形。

5.在秋季與冬季時大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫可能藉由東北季風的挾帶而侵襲臺灣，以致造成臺灣北部與西部沿海的二氧化硫沉積速率增加。

6.臺灣各地於 2007.05 至 2008.08 約 15 個月內，相對濕度大於 80%的小時數至少佔全年時數之 30 %以上，且雲林麥寮地區更可高達 62.6%，僅次於山區如阿里山 86%、南橫天池 85.3%、北橫巴陵 84.8%、陽明山 78.1%。

7.在東北季風期期間，西海岸北部至中部、南部的沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽與二氧化硫有顯著增加的趨勢，再加上此期間內之相對濕度為北濕南乾的現象，以致碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在東北季風期的腐蝕速率較高。

8.除了在山區的試驗位址外，碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，甚至在西北部海岸，碳鋼、鋅、銅的腐蝕環境可達 C5+。

9.在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，針對碳鋼與鋅金屬，臺灣西部之大氣腐蝕環境分類可以大甲溪為界，大甲溪以北地區(如通霄以北之苗栗、新竹、桃園、臺北市)多為 C4 等級，大甲溪以南臺中市至臺南縣市之間多為 C3，但高雄縣市附近則為 C4。

10.銅金屬其在臺灣全島地區的腐蝕狀況除濱海地區之腐蝕環境為 C5 至 C5+等級，山區腐蝕環境為 C3 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為 C4 等級。而針對鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 等級，山區腐蝕環境為 C2 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C3~C4 等級。

參考文獻

1. 陳桂清、蘇吉立、柯正龍等，港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(1/2)，交通部運輸研究所，民國 97 年 4 月。
2. 宇泰工程顧問有限公司，九二一地震臺中港區碼頭災損檢測正式報告書，交通部臺中港務局，民國 90 年。
3. 蘇吉立、陳桂清等，碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(1/4)，交通部運輸研究所，民國 95 年 4 月。
4. 蘇吉立、陳桂清等，碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(2/4)，交通部運輸研究所，民國 96 年 4 月。
5. 郭世榮、簡連貴、蕭松山等、港灣設施防災技術之研究(一)－港灣構造物維護管理準則之研究，交通部運輸研究所，民國 93 年 2 月。
6. 侯和雄、陳吉紀等，港灣工程專有名詞，交通部運輸研究所，民國 85 年 4 月。
7. 李釗，港灣混凝土構造物劣化探討(一)，港灣構造物安全檢測與評估研習會論文集，交通部運輸研究所，民國 91 年 7 月。
8. 郭世榮、陳吉紀、簡連貴等，港灣設施防災技術之研究(二)-港灣設施防災對策之研究，交通部運輸研究所，民國 94 年 3 月。
9. J Christopher Ball, ”Galvanic corrosion protection of reinforced concrete structure ar cape canaveral”, Concrete in Austrial Vol. 34 No. 3，2007。
10. 横田 弘等，既有棧橋之生命週期分析之檢討，港灣空港技術研究所資料，2005。
11. 岩波 光保，既有設施考慮機能向上之生命週期分析評價之檢討等，港灣空港技術研究所資料，2006。

12. 尾崎 龍三，經濟損失考慮費用最小化為基礎之港灣構造物信賴性設計法(Level 1)，國土交通省 國土技術政策綜合研究所，2005。

13 高橋 宏直，港灣設施之維修補強、更新費之將來預測，國土交通省 國土技術政策綜合研究所，2005。

14. 高橋 宏直，港灣設施之維修補強與更新費之將來預測關係之研究，國土交通省國土技術政策綜合研究所，2002。

15. 蘇吉立，高雄港老舊碼頭調查研究系列報告，港灣報導，第 38 期，台灣省交通處港灣技術研究所，民國 85 年 10 月，頁 41-43。

16. 李延恭、謝明志、蘇吉立，老舊碼頭基礎安全性調查及評估，中華民國第十八屆海洋工程研討會論文集，民國 85 年 11 月，頁 799-810。

17. 李延恭、蘇吉立、謝明志、陳圭璋，高雄港區老舊碼頭安全調查及評估研究，台灣省交通處港灣技術研究所 87-研(七)，民國 87 年 6 月，頁 2-152。

18. 蘇吉立，重力式碼頭安全檢測與維修研究，港灣報導，第 46 期，台灣省交通處港灣技術研究所，民國 87 年 10 月，頁 43-53。

19. 李延恭、蘇吉立，老舊碼頭調查及評估，地工技術，第 74 期，民國 88 年 8 月，頁 93–104。

20. 蘇吉立、李延恭，921 集集地震後臺中港北碼頭災象調查分析，地工技術，第 77 期，民國 89 年 2 月，頁 65-76。

21. 交通部運輸研究所編著，橋樑檢測評估與維修人員訓練講習講義，民國 92 年 10 月。

22. 蘇吉立，碼頭維護管理草案之初步建議，港灣報導，第 59 期，交通部運輸研究所，民國 91 年 1 月，頁 49-57。

23. 李賢華，港灣構造物安全檢測與評估，港灣構造物安全檢測與評估研習會論文集，交通部運輸研究所，民國 91 年 7 月，頁 5-24。

24. 蘇吉立，碼頭結構安全檢測系統之研究，中華民國第二十四屆海洋工程研討會論文集，民國 91 年 11 月，頁 719-726。

25. 陳宗禮、張大鵬等，既有鋼筋混凝土結構物延壽之基本思維，中國土木水利工程學會編著，既有鋼筋混凝土結構物之維修及補強研討會簡報資料，民國 92 年 11 月，頁 1-13。

26. 曾志煌、王慶福等，港灣構造物維護管理準則之研究"，交通部運輸研究所，民國 93 年 12 月。

27. 蘇吉立，港灣工程單價資料庫之建置(3/3)，交通部運輸研究所，民國 94 年 3 月。

28. 蘇吉立、陳桂清、饒正、柯正龍，碼頭維護管理系統建置之研究(1/2)，交通部運輸研究所，民國 96 年 4 月。

39. ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.

30. 中華民國國家標準 CNS 13754 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，民國 85 年 7 月。

31. ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.

32. 中華民國國家標準 CNS14123 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)，民國 95 年 10 月。

33. 中華民國國家標準 CNS 13753 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，民國 94 年 4 月。

34. ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.

35. ASTM G50 : Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals, 2003.

36. 中華民國國家標準 CNS 14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片

腐蝕生成物清除法，民國 87 年 3 月。

37. ISO 8407/1991: Corrosion of metals and alloys - Removal of corrosion products from corrosion test specimens.
38. ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories.
39. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 1999.
40. ISO 8565/1992: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
41. Metals Handbook- Corrosion, Metals Handbook Ninth Ed., Vol. 13, ASM International, Ohio, 1988.
42. I. Odnevall and C. Laygraf, “Atmospheric corrosion”, ASTM STP 1239, W.W. Kirk and Herbert, H. Lawson, Eds., Philadelphia, 1995.
43. “Outdoor atmospheric corrosion”, ASTM STP 1421, H.E. Townsend Ed., West Conshohocken, PA, 2002.

附錄 1 自辦計畫審查意見處理情形表

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
97年度自辦研究計畫報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(2/2)」

計畫編號：MOTC-IOT-97-H1DA001　　審查日期：98年3月5日

審查委員及其所提之意見	執行單位處理情形及答覆意見
中央大學李釗 教授	
1.報告內容資料豐富，架構符合規模，研究方法合理，結果具參考性。	感謝指教。
2.宜整體檢核文中參考文獻的註記問題。	遵照辦理。
3.報告內容已含港區細部調查，建置管理系統與環境調查資料庫，各項研究成果具體並建立相關系統之網路版已廣利用。	感謝指教。
4.由於調查工作眾多，雖付出人力物力獲致相當成果，但不易綜合表現調查成果，建議可藉港區全區平面圖，利用不同符號展現調查結果與損壞種類。	感謝指教，後續相關研究將加強結果展現與損壞種類分類歸納等工作。
臺灣海洋大學張建智 教授	
1.本計畫內容豐富，據實用參考價值，惟三子計畫間與研究主題之關連性可再加強。	感謝指教，各子計畫間之關連性將加強說明。
2.大氣腐蝕因子之調查工作已進行二年，建議未來可持續蒐集數據，以建立長期	感謝指教，本研究將繼續規劃長期研究內容並檢討修訂資料庫系

完整具可靠性之環境資料庫。	統。
3.計畫文中有些繕打錯誤，請逐一修正。如 p3-33 表 3-7 cse 應為大寫（CSE）；p3-783 波速應為 m/sec。	遵照辦理。
4.基隆港西 2 至西 4 號碼頭已使用 57 年，然使用 D.E.R 評估法所檢測之結果似乎偏低，該法在執行層面上似有再檢討之必要。	遵照辦理，後續相關研究將加強檢討 D.E.R 評估法之各項指數適用範圍，期能更符合實際狀況。
交通部科技顧問室 許書王技正	
1.研究方向正確，為有待持續以競其功。	感謝指教。
2.各子題間之整合可在加強。	遵照辦理。
3.碼頭使用型態改變之影響，後續研究可參酌考量。	遵照辦理。
4.維修方式是否恰當，後續研究應再檢點。	遵照辦理。

附錄 2 自辦計畫審查簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究

97年自辦研究計劃成果簡報

計劃主持人：陳桂清
研 究 人員：蘇吉立、柯正龍
張道光、羅建明

報 告 人：柯正龍
中華民國98年3月5日

緒 論(1/2)

- 臺灣四面環海，地處環太平洋地震帶上，每年地震、颱風等災害不斷。
- 港灣構造物長年處於此巨大外力衝擊與海洋惡劣環境下，甚易造成港工構材諸如鋼板樁腐蝕、混凝土劣化、強度損失以及內部鋼筋腐蝕、斷裂，最後導致結構物損壞、崩塌等現象。
- 構造物之耐久性與安全性威脅甚大，對港埠之營運影響更為至鉅。

緒 論(2/2)

本年度為執行之第二年，計執行三個子計畫

- 子計畫一：港灣構造物之現況調查研究

  以臺中港、及基隆港之碼頭現況為調查重點

- 子計畫二：碼頭維護管理系統建置之研究
- 子計畫三：臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究

子計劃一：港灣構造物現況調查研究

簡報內容

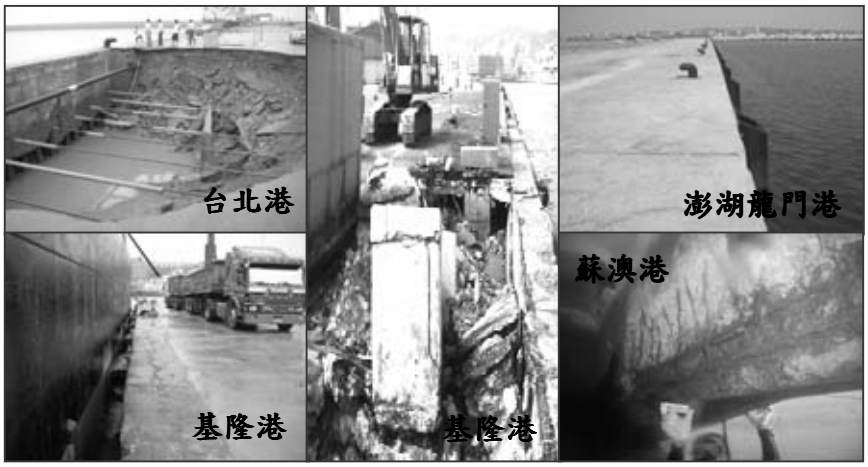
一、前言

二、碼頭現況調查

三、基隆港西2至西4號碼頭檢測及結構安全分析

四、結論

一、前 言

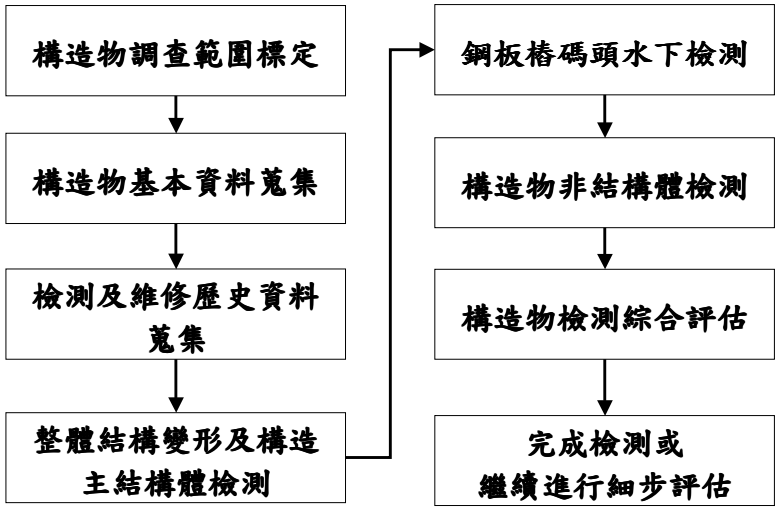


交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

5

二、碼頭現況調查

2.1研究方法及進行步驟



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

D.E.R. 評估法

代號	評定標準
損壞程度 D值 (Degree)	0：檢測項目不存在　　1：良好 2：尚可　3：差　4：嚴重損壞 5：檢測項目無法判定
損壞範圍 E值 (Extend)	以構件破壞數與受測構件數的百分比，或破壞面積與受測面積的百分比為參考，依其所座落範圍訂出"1"到"5"的等級，以百分比乘以十後，捨棄小數點為E 值，大於五之值均以5填入表格
重要性指標 R值 (Relevancy)	R 值為重要性指數，亦可視為各檢測項目中之權值，其值之決定則有賴經驗及訓練

❖初步檢測劣化評估值
初步檢測危險度指標

$$ID_1 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i}$$



D.E.R 初步檢測結果判定分類

等級	指數	判定結果
第一級	$0 \leq ID_1 < 2$	安全無虞、無須進行細部檢測或增加檢測頻率
第二級	$2 \leq ID_1 < 4$	安全無虞、無須進行細部檢測但必須增加檢測頻率
第三級	$ID \geqq 4$	非主體結構之 $ID \geqq 4$， 其他主結構體之 $ID < 4$ 功能堪虞、需立即性維修或進行第二階段之細部檢測

D.E.R初步檢測碼頭設施重點

主體結構 檢測項目	劣化現象	附屬設施 檢測項目	劣化現象
碼頭壁體	傾斜、破損、混凝土剝離龜裂	護舷材	開裂、材質劣化
碼頭法線	變形、扭曲	繫船柱	破損、變形
碼頭面版	龜裂、沈陷、材質劣化	擋車墻	破損、變形
混凝土強度	劣化、不足	排水、給水設備	破壞、斷裂
保護層厚度	厚度不足	照明設施	破　壞
鋼筋腐蝕檢視	鋼筋腐蝕	油電管路	破　壞
鋼版腐蝕檢測	腐蝕部位及現象		
岸肩伸縮縫	變形、破壞		

建立細部檢測評估表

D.E.R.值

***ID* (危險度指標)**

碼頭基本資料	隸屬港口：臺中港			碼頭編號：4A 號	
	建造日期：			啟用日期：	
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高	長度：185 m 堤深：20 m		水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃 ☐化學(油)品 ☑雜貨輪（水泥等）☐其他			
	碼頭構造型式	☑沉箱重力式 ☐版樁式 ☐棧橋式 ☐其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測　結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E) R
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	1	4	8
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.4$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	0	0	2	0
	擋車墻	1	1	2	4
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.4$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_T=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.4$			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2008 年 6 月					

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

11

碼頭現況調查範圍

年度	港區位置	碼頭編號及型式
96	蘇澳港	4 號碼頭（沉箱重力式） 9 號碼頭（直立消波重力式） 13號碼頭（R.C.基樁棧橋式）
	花蓮港	4 號碼頭（鋼板樁式） 20號碼頭（消波及沉箱重力式）
	高雄港	51、52號（R.C.基樁棧橋式）
	臺北港	13、14號碼頭（鋼板樁式）
97	臺中港	1號至4號及4A碼頭（沉箱重力式）
	基隆港	西2至西4號碼頭（牆式墩柱及井筒式）

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

12

臺中港1-4A碼頭基本資料

港口	碼頭編號	長度(m)	寬度(m)	水深(m)	用途	說　明
臺中港	1	250	20	-13.0	穀類	設計載重3T/m²
	2	250	20	-13.0	油品及液體	設計載重3T/m²
	3	250	20	-13.0	穀類	設計載重3T/m²
	4	250	20	-11.0	雜貨及糖蜜	設計載重3T/m²
	4A	183	20	-9.0	散貨及水泥	設計載重3T/m²

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

13

基隆港西2至西4號碼頭基本資料

港口	碼頭編號	結構型式	長度(m)	寬度(m)	水深(m)	設計載重(T/m²)	用途
基隆港	西2	井筒式	22.18	9.09	-9.09	2.0	客貨輪
		牆式墩柱	183.32	7.72	-9.09	2.0	
	西3	牆式墩柱	120	7.72	-9.09	2.0	雜貨
		牆式墩柱	63	7.72	-9.09	2.0	
	西4	牆式墩柱	157	7.72	-9.09	2.0	雜貨
		擁壁式	10	7.72	-9.09	2.0	

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

14

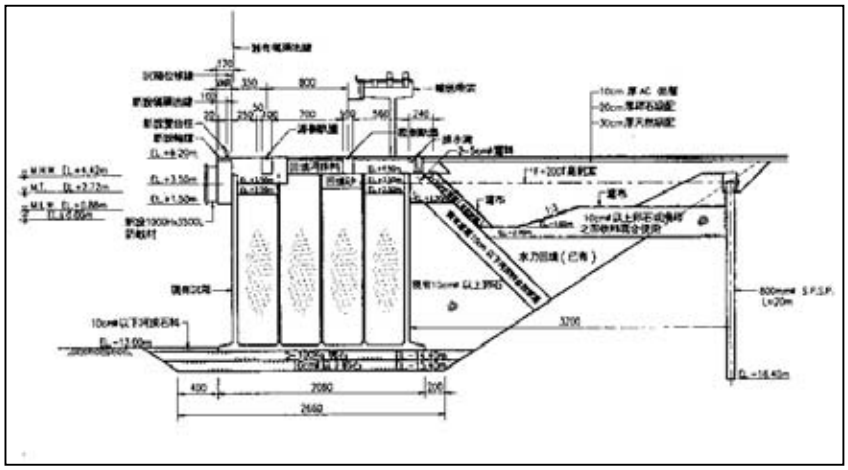
2.2 碼頭現況調查結果與討論



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

15





臺中港 1-3 號碼頭結構型式示意圖

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

17









臺中港1-2號碼頭現況

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

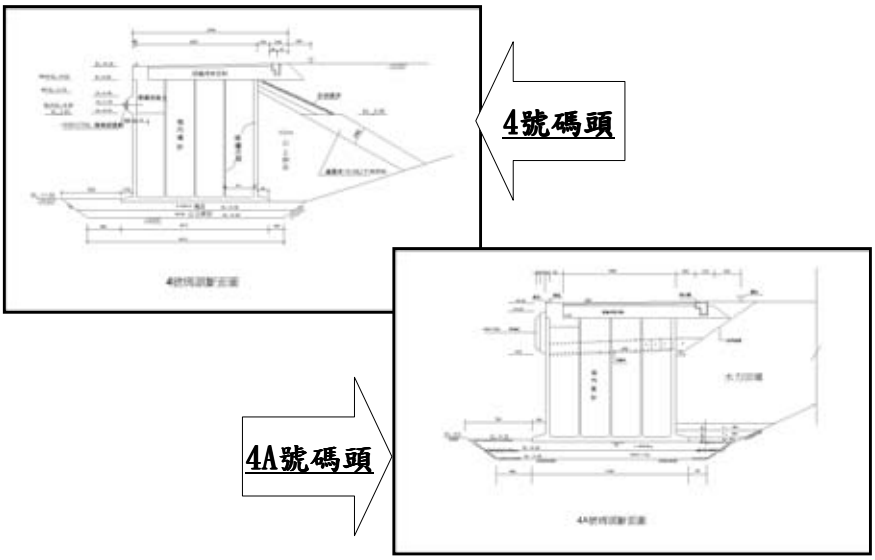
18



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

臺中港3號碼頭現況

19



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

臺中港4及4A號碼頭結構型式示意圖

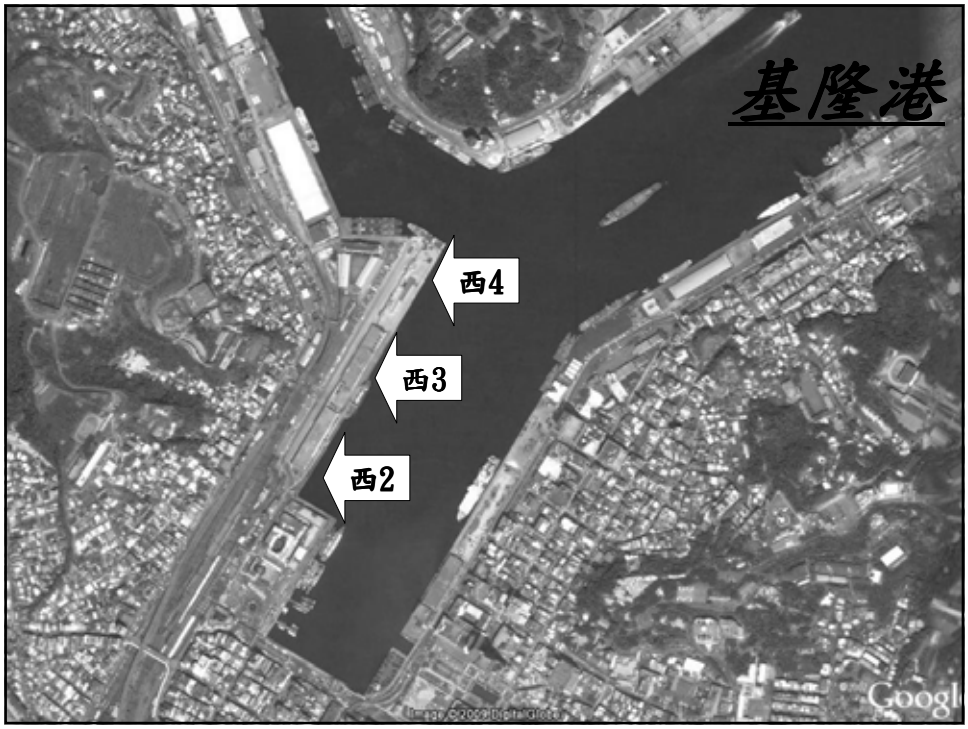
20



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

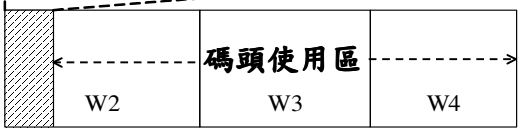
臺中港4及4A號碼頭現況

21

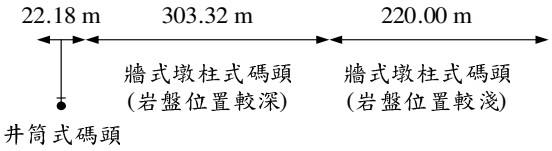




井筒式墩柱碼頭並非主要使用範圍，僅供機車停放使用





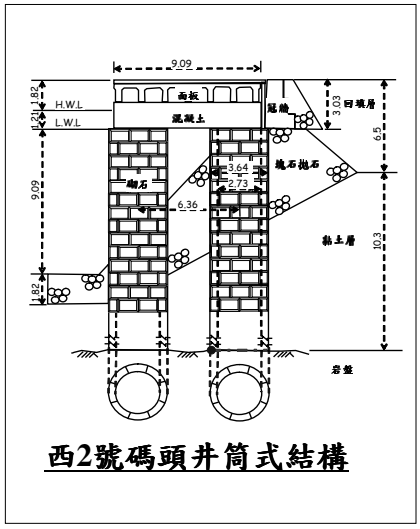


井筒式碼頭
橋墩式碼頭(木樁基礎)
橋墩式碼頭(岩盤基礎)
週邊道路

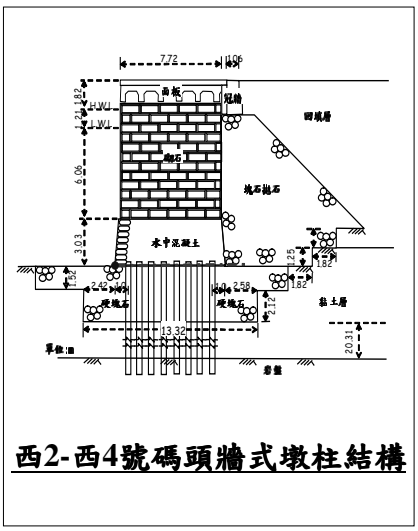
基隆港西2-西4號碼頭結構區分示意圖

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

23



西2號碼頭井筒式結構



西2-西4號碼頭牆式墩柱結構

基隆港西2-西4號碼頭結構型式

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

24







西2-西4號碼頭現況

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

D.E.R. 評估結果

調查位置 / 評估值	臺中港					基隆港		
	1 號碼頭	2 號碼頭	3 號碼頭	4 號碼頭	4A號碼頭	西2號碼頭	西3號碼頭	西4號碼頭
主體結構破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.1	0.6	0.6
附屬設施破壞評估	0.4	0.6	0.4	0.9	0.4	0.6	0.6	0.6
整體破壞評估	0.2	0.2	0.1	0.3	0.4	1.0	0.6	0.6

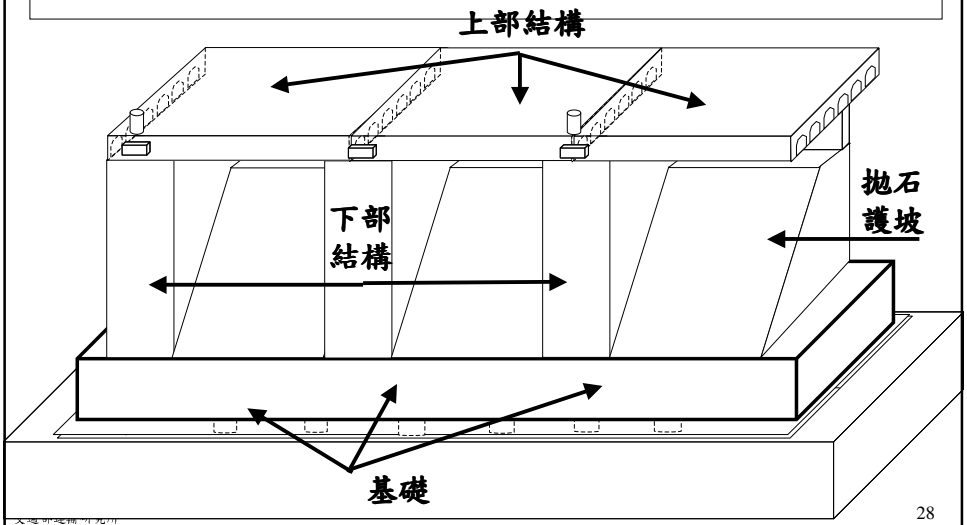
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

三、基隆港西2-西4號碼頭檢測及結構安全分析

1. 船席水深量測(略)
2. 碼頭結構檢測
3. 檢測評估標準作業程序
4. 安全分析及改善對策研擬
5. 設施維修補強工法建立
6. 網路版碼頭維護管理系統建立

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭現況與結構特性探討



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

28

目視檢測結果

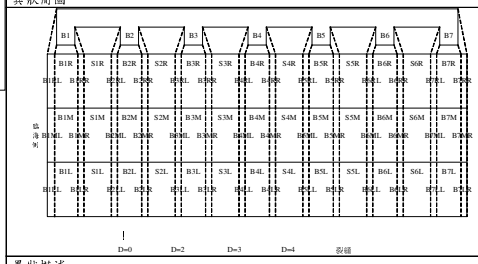
(1/2)

- 檢測記錄範例：以西2號碼頭B1單元為例）

檢測日期：2008/06/24　天氣：晴

港灣名稱：基隆港	碼頭編號：西２號碼頭	檢測單元：B1
檢測單位：臺灣營建研究院		檢測人員：廖振程、簡臣佑

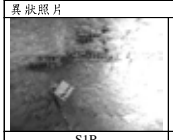
異狀簡圖

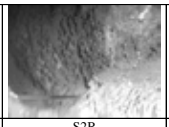


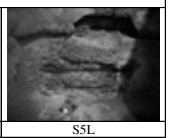
異狀描述

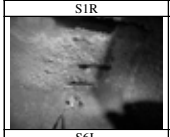
構件項目	異狀類型	異狀評估 D	異狀評估 E	位置	範圍/長度
岸肩底部	腐蝕	4	1	S1R、S2R、S5L、S6L、S6R	0.73 m^2

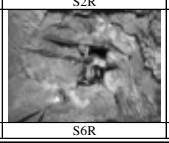
異狀照片


S1R


S2R


S5L


S6L


S6R

目視檢測結果(2/2)

碼頭編號	單元編號	構件項目	異狀類型	異狀檢測結果	
				D	E
W2	B1	岸肩底部	腐蝕	4	1
W2	B1	岸肩底部	剝落	2	1
W2	B2	岸肩底部	腐蝕	4	1
W2	B2	岸肩底部	剝落	2	1
W2	B5	岸肩底部	剝落	2	1
W2	B6	岸肩底部	腐蝕	4	1
W2	B10	岸肩底部	腐蝕	4	1
W2	B12	岸肩底部	腐蝕	4	1
W2	B18	岸肩底部	剝落	2	1
W2	B20	岸肩底部	剝落	2	1
W2	B21	岸肩底部	剝落	2	1
W2	B22	岸肩底部	剝落	2	1

儀器檢測評估

- 混凝土材料試驗
  - 非破壞性試驗
    - 反彈錘法
    - 鋼筋電阻係數量測
    - 鋼筋電位量測
  - 破壞性試驗
    - 混凝土鑽心取樣與抗壓試驗
    - 中性化試驗
    - 超音波脈波速度量測
    - 氯離子檢測



儀器檢測結果(1/4)

- 電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗結果

	編號	平均反彈值(推估強度)	腐蝕電位(-mV)	電阻係數(KΩ)
西2號碼頭	B7-1	34.69 (272)	267～434	7.8～53.3
	B7-2			
	B7-3			
	B15-1	35.87 (289)	–	16.8～80.0
	B15-2			
	B15-3			
	B15-4			
西3號碼頭	B2-1	33.18 (250)	412～605	20.6～56.5
	B2-2			
	B2-3			
	B14-1	33.25 (251)	344～503	4.1～79.9
	B14-2			
	B14-3			
	B14-4			
西4號碼頭	B15-1	34.97 (276)	245～405	3.4～60.2
	B15-2			
	B15-3			
	B15-4			
	B18-1	26.60 (162)	192～294	0.9～12.1



儀器檢測結果(2/4)

鑽心取樣試體試驗室抗壓強度試驗

	編號	抗壓強度	備註
	B7-1	465	
西2號碼頭	B7-2	491	
	B7-3	414	
	B15-1	462	
	B15-2	520	
	B15-3	535	
	B15-4	435	
西3號碼頭	B2-1	501	
	B2-2	612	
	B2-3	327	
	B14-1	340	
	B14-2	—	(試體有蜂窩)
	B14-3	437	
	B14-4	376	
西4號碼頭	B15-1	321	
	B15-2	360	
	B15-3	370	
	B15-4	355	
	B18-1	248	
	B18-3	246	
	B18-4	212	



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

33

儀器檢測結果(3/4)

鑽心試體超音波速量測試驗結果

	編號	超音波速(m/sec)	備註
西2號碼頭	B7-1	4699	
	B7-2	4717	
	B7-3	4574	
	B15-1	4720	
	B15-2	4777	
	B15-3	4635	
	B15-4	4519	
西3號碼頭	B2-1	4591	
	B2-2	4655	
	B2-3	4341	
	B14-1	4607	
	B14-2	—	(試體有蜂窩)
	B14-3	4461	
	B14-4	4465	
西4號碼頭	B15-1	4428	
	B15-2	4254	
	B15-3	4357	
	B15-4	4252	
	B-18-1	4257	
	B18-3	4126	
	B18-4	3992	



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

34

儀器檢測結果(4/4)

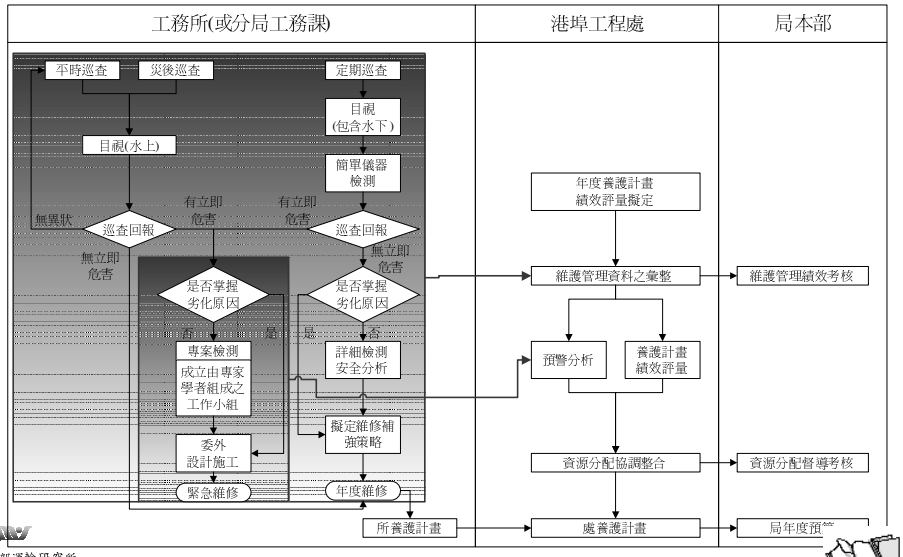
- 鑽心試體氯離子量測
  - 混凝土鑽心試體每1公分取混凝土粉末進行分析，再與CNS 12891規範比較，結果75%以上的試體超過規範規定

深度 / 試體編號	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
W2-15-2	0.57	2.54	0.47	1.15	0.94	0.51	0.78
W2-15-4	0.65	1.87	2.46	1.63	1.68	0.60	0.15
W3-2	0.79	0.97	—	0.98	0.10	0.21	0.04
W3-14	1.48	2.27	0.45	0.30	0.17	0.21	0.10
W4-15-1	0.87	2.04	0.82	0.46	0.44	0.19	0.13
W4-18-1	0.62	1.34	1.23	0.22	0.99	0.84	0.48

碼頭設施檢測評估作業程序

- 維修方式之定義
  - 年度維修
    - 構造物損傷、劣化狀況無立即危險，可在年度預算內檢討辦理，或納入下年度預算辦理維修。
    - 無法判定構造物之劣化損傷現象時，需辦理更精確的詳細檢測。
    - 依損傷變形與構件劣化特性，決定詳細檢測項目及方式，詳細檢測可藉由儀器進行非破壞及局部破壞性檢測。
  - 緊急維修
    - 構造物損傷異狀有立即危險時，考慮其時效性，應於最短時間內，辦理緊急維修工作。
    - 緊急維修以快速、機動為原則，根據平時、定期與災後判定有立即危險時進行之維修，當無法判定異狀現象時，需辦理更詳細的檢測評估

碼頭設施檢測評估作業程序



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭上部結構分析評估(1/4)

- 現況結構分析評估之限制
  - 無足夠原設計條件資料（設計載重、尺寸等）
  - 無配筋資料可據以精確評估
  - 現有結構尺寸（如版厚）在歷經多次維修後與現有圖說有所差異
- 對策
  - 無參考資料可得知之設計參數以保守估算或假設
  - 由最小鋼筋量與最大可能鋼筋量之間，建立不同鋼筋量狀況下之容許承載量趨勢

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

38

西2-西4號碼頭上部結構分析評估(2/4)

- 依據規範
  - 89年交通部部頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」
  - 84年交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準研究—碼頭設計基準及說明草案」
  - 車輛活載重參考90年交通部部頒「公路橋梁設計規範」





交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭上部結構分析評估(3/4)

- 上部結構分析結果---強度檢核

鋼筋配置	T 型梁		Γ型梁	
	ϕ_M M_n(t-m)>M_d	ϕ_V V_n(t)>V_d	ϕ_M M_n(t-m)>M_d	ϕ_V V_n(t)>V_d
8-#6	NG	Yes	Yes	Yes
8-#7	Yes	Yes	Yes	Yes
8-#8	Yes	Yes	Yes	Yes
8-#9	Yes	Yes	Yes	Yes





交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭上部結構分析評估(4/4)

・上部結構分析結果---應力檢核

鋼筋配置	T 型梁				Γ 型梁			
	f_s (kg/cm^2)	f_c (kg/cm^2)	$f_b > f_s$	$f_{cb} > f_c$	f_s (kg/cm^2)	f_c (kg/cm^2)	$f_b > f_s$	$f_{cb} > f_c$
8-#6	1520.24	17.43	NG	Yes	1439.77	25.84	NG	Yes
8-#7	1085.40	14.84	Yes	Yes	1047.97	22.42	Yes	Yes
8-#8	801.58	12.87	Yes	Yes	787.90	19.80	Yes	Yes
8-#9	608.14	11.33	Yes	Yes	607.76	17.72	Yes	Yes

鋼筋容許彎曲應力=1400 kg/cm²
混凝土容許壓應力=94.5 kg/cm²

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭下部結構分析評估(1/3)

上部荷載 (t/m^2)	牆式墩柱結構(岩盤位置較深)	
	滑動安全係數	傾覆安全係數
2	1.69	2.46
3	1.45	2.07
4	1.27	1.78
5	1.13	1.56
6	1.01	1.36

依據規範常時安全係數要求1.2

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭下部結構分析評估(2/3)

上部荷載 (t/m^2)	牆式墩柱結構(岩盤位置較淺)	
	滑動安全係數	傾覆安全係數
2	2.25	6.11
3	1.88	4.96
4	1.61	4.18
5	1.41	-
6	1.25	3.18
7	1.13	-
8	1.03	2.57

- 依據規範常時安全係數要求1.2

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭下部結構分析評估(3/3)

上部荷載 (t/m^2)	井筒式結構	
	滑動安全係數	傾覆安全係數
2	1.06	1.09
2.1	1.04	1.07
2.2	1.02	1.06
2.3	1.01	1.04
2.4	0.99	1.03

依據規範常時安全係數要求1.2

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭拋石護坡分析評估

碼頭形式	邊坡安全分析	備註
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)	1.32≧1.3	設計斷面坡度 42°，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 55.5%，岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 2t/m^2。
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)	1.4≧1.3	設計斷面坡度 42°，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 40.5%，岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 2t/m^2。。
井筒式結構之拋石護坡	1.11≦1.3	設計斷面坡度 48°，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 4%，位於進入西 2 至西 4 碼頭管制區外之路面，非為主要卸貨載區，不考慮岸壁後側回填區裝載。

1. 依據設計準則要求，安全係數須滿足1.3。
2. 碼頭裝載主要使用範圍，位於牆式橋墩斷面結構區域。

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭容許荷載分析

碼頭形式	地表荷載				備註
	0 (t/m^2)	2(t/m^2)	4 (t/m^2)	6 (t/m^2)	
牆式橋墩式斷面之拋石護(岩盤深度較深) (佔 55.5%)	1.48	1.32	1.16	1.05	設計斷面坡度 42°
牆式橋墩式斷面之拋石護(岩盤深度較淺) (佔 40.5%)	1.60	1.41	1.30	1.23	設計斷面坡度 42°
井筒式結構之拋石護坡(佔 4%)	1.11	0.98	-	-	設計斷面坡度 48°

1. 依據設計準則要求，安全係數須滿足1.3。
2. 碼頭裝載主要使用範圍，位於牆式橋墩斷面結構區域。

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

西2-西4號碼頭地震力分析

- 由下部結構分析與拋石護坡穩定分析可知，拋石護坡相較於下部結構而言其穩定性較敏感，未來若要碼頭後線回填區進行相關工程時，需注意其穩定特性。
- 依據內政部建築物耐震設計規範及解說(2006)，基隆港西2至西4碼頭位於基隆市區內，其設計震度為0.24g。

西2-西4號碼頭地震力分析結果

碼頭形式	地表最大加速度(PGA)					備註
	0.24g	0.20g	0.18g	0.1g	0.08g	
式橋墩式斷面護坡(岩盤深度佔 55.5%)	F.S.=0.98	F.S.=1.0	F.S.=1.02	-	-	設計斷面坡度 42°
橋墩式斷面之坡(岩盤深度較(佔 40.5%)	F.S.=1.08	-	-	-	-	設計斷面坡度 42°
式結構之拋石坡(佔 4%)	-	-	-	F.S.=0.99	F.S.=1.01	設計斷面坡度 48°

1. 依據設計準則要求，安全係數須滿足1.0。
2. 依據耐震設計規範本區設計震度為0.24g。
3. 考量現況，牆式橋墩式斷面之拋石護坡岸壁後側回填區裝載，採2t/m²。
4. 考量現況，井筒式結構之拋石護坡不考慮岸壁後側回填區裝載。

西2-西4號碼頭下部結構地震力分析

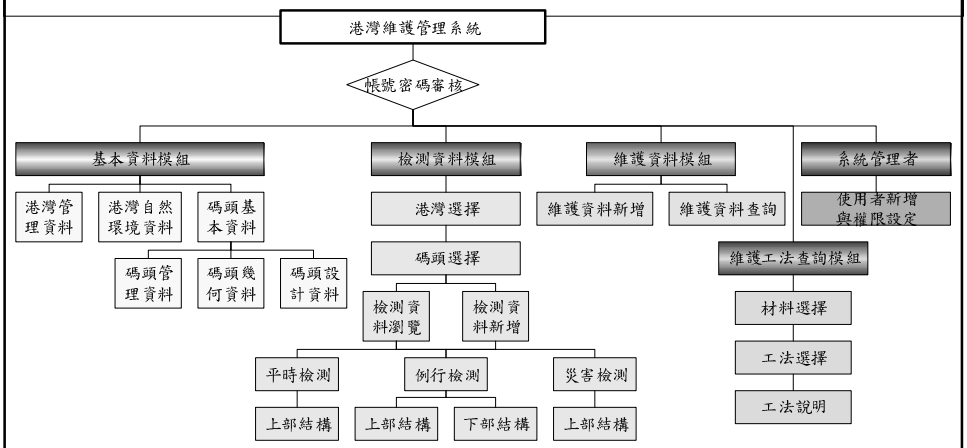
設計震度0.24g

碼頭形式	滑動分析安全係數	傾覆分析安全係數
牆式橋墩式斷面 (岩盤深度較深)	1.29≧1.0	1.72≧1.0
牆式橋墩式斷面 (岩盤深度較淺)	3.73≧1.0	2.67≧1.0
井筒式結構	1.13≧1.0	1.22≧1.0

西2-4號碼頭之改善對策

- 目視與儀器檢測及安全分析之結果，碼頭結構與拋石護坡在目前狀況使用下安全較無疑慮，但岸肩底部混凝土鋼筋外露腐蝕異狀則較為嚴重，建議之改善方式如下
  - 施作方法
    - 打除腐蝕位置處之混凝土，並將其打除至鋼筋以上2cm左右處
    - 打設剪力榫
    - 鋪設鋼筋籠
    - 進行噴凝土澆置

碼頭維護管理系統架構建置規劃(1/3)



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

碼頭維護管理系統架構建置規劃(2/3)

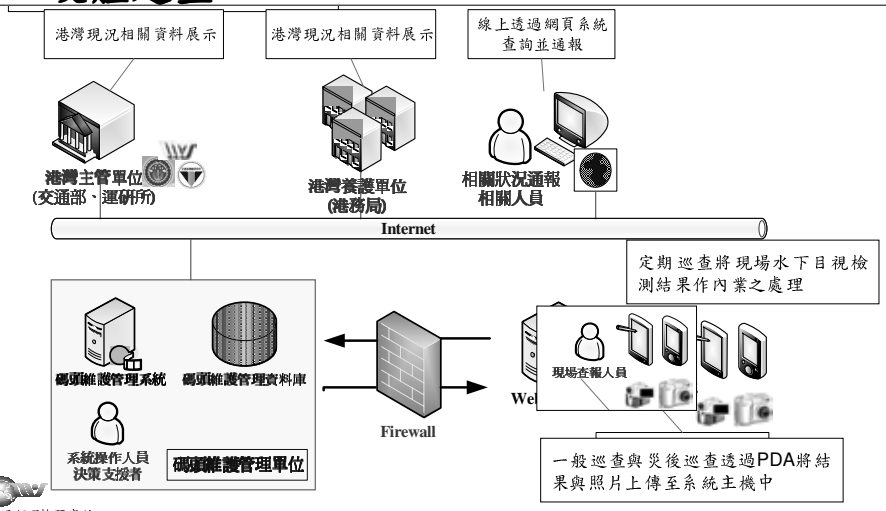
- 軟體建置環境
  - 運作環境： Microsoft Windows 2003 Server
  - 資料庫使用： Microsoft Office Access 2003
  - 程式開發環境與語言： Microsoft Visual Studio .NET 2005 & C#



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

碼頭維護管理系統架構建置規劃(3/3)

硬體建置



碼頭維護管理系統架構-基本資料庫

- **管理資料**
  碼頭編號、管理機關與維修概況等
- **幾何資料**
  碼頭長度、高程、碼頭構材與結構型式等
- **設計資料**
  設計水深、載重、抗震能力等。
- **碼頭現場圖片檔**
  檢測對象之碼頭現場照片以便於內業研究探討。

連結至網址

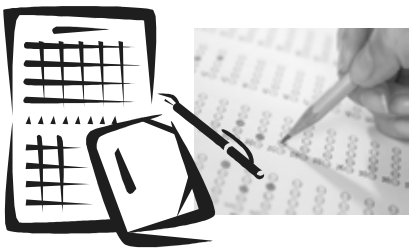


帳號 guest6　密碼 2008

碼頭維護管理系統-檢測資料庫

檢測分類

- 一般巡查
- 定期巡查
- 與災後巡查



等不同檢測類別區分再詳加區分檢測之項目

碼頭維護管理系統-維修資料庫

- 維修資料庫
  - 記錄與查詢劣化構件之維修歷史紀錄，包括時間、位置、所採工法等資料
- 維修工法查詢資料庫
  - 本系統可針對檢測後所得構件劣化之情況與程度提供相對之維修工法之查詢

碼頭維護管理系統建置成果(1/7)

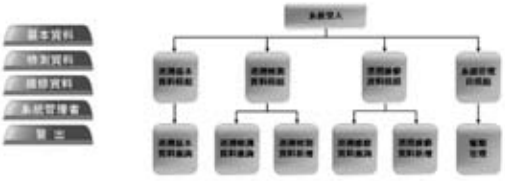




連結至網址



帳號 guest6　密碼 2008

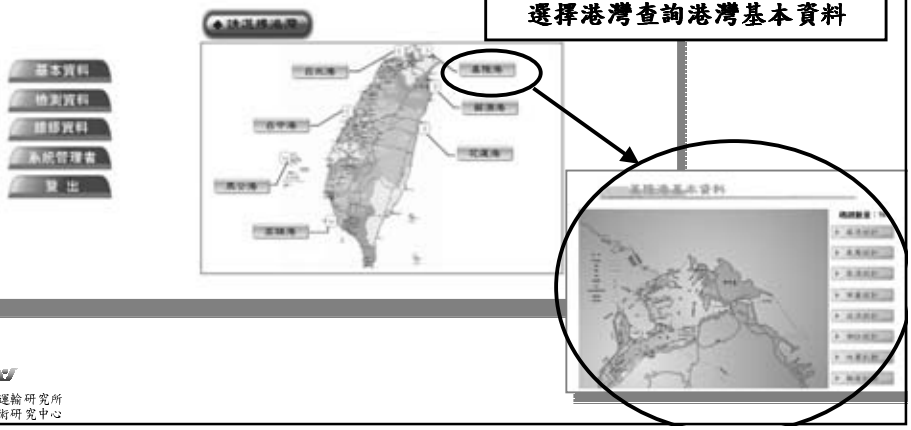


交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

碼頭維護管理系統建置成果(2/7)



選擇港灣查詢港灣基本資料



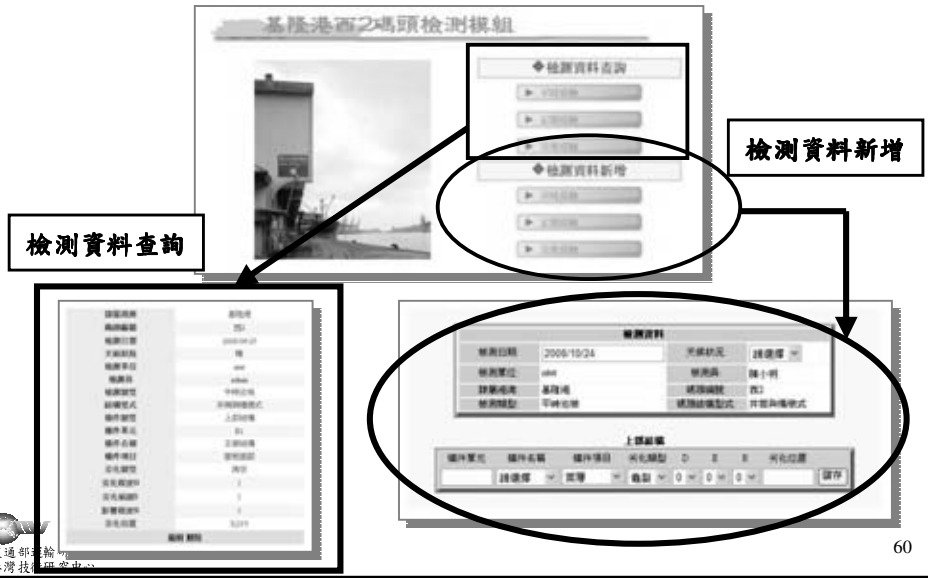
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

碼頭維護管理系統建置成果(3/7)



選擇碼頭查詢碼頭基本資料

碼頭維護管理系統建置成果(4/7)



檢測資料新增

檢測資料查詢

碼頭維護管理系統建置成果(5/7)



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

碼頭維護管理系統建置成果(6/7)



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

碼頭維護管理系統建置成果(7/7)



四、結論(1/3)

- 本年度調查台中港1-4A碼頭(921地震時受損嚴重)及基隆港西2-西4號碼頭(未來將配合基隆市整體規劃調整用途)其主整體結構與附屬設施評估指數均小於2.0，整體結構安全無虞。
- 應用D.E.R法進行評估，雖可迅速獲得初步結果，但各種碼頭結構型式之設計重點不同，評估標準值得繼續討論，其中D值（破壞程度）及R值（影響程度）範圍，建議可蒐集更多案例及邀請專家與現地維護人員共同檢討結構現況與數值大小之關連性。

四、結論(2/3)

基隆港西2至西4號碼頭結構

目視檢測之結果

- 碼頭岸肩底部部份出現鋼筋混凝土腐蝕現象，其餘碼頭均無明顯異狀。

儀器檢測之部分

- 混凝土抗壓強度試驗以西4號碼頭較低，但其抗壓強度仍大於210 kg/cm^2，其他非破壞性試驗亦顯示混凝土性質無明顯劣化。
- 混凝土氯離子含量試驗有75%試體，大於0.3 kg/m^3 ，顯示碼頭之岸壁混凝土受氯離子侵襲嚴重。

四、結論(3/3)

安全分析結果

- 碼頭上部結構當採大於#6鋼筋配置時，結構斷面之強度皆可符合各項檢核之條件。
- 井筒式下部結構在2 t/m^{2}之加載下，其抗滑動與抗傾覆之安全係數小於準則要求，牆式墩柱則大於準則要求。
- 拋石護坡，其安全係數皆小於設計準則。

碼頭維護管理系統

- 初步完成建置資料、未來將配合現地之需求，持續建置及擴充網路版及PDA版內容。

子計劃二：

碼頭維護管理系統建置之研究

簡報內容

一、前言

二、系統規劃與基本界定

三、系統建構

四、系統應用與說明

五、結論與建議

一、前言(1/2)

- 研究重點
  - 界定檢測標的、人員、時機與作業階段、程序等。
  - 統合分類港灣設施常見異象之。
  - 整合港灣設施外視異象與相關行為觀念。
  - 建置港灣設施結構標準斷面示意圖。
  - 建置港灣設施外視異象可能發生機制。
  - 標稱與編號港灣設施結構基本檢測部位。
  - 建置系統安全檢測評估表。
  - 結合港灣工程單價資料。

一、前言(2/2)

❑研究時程

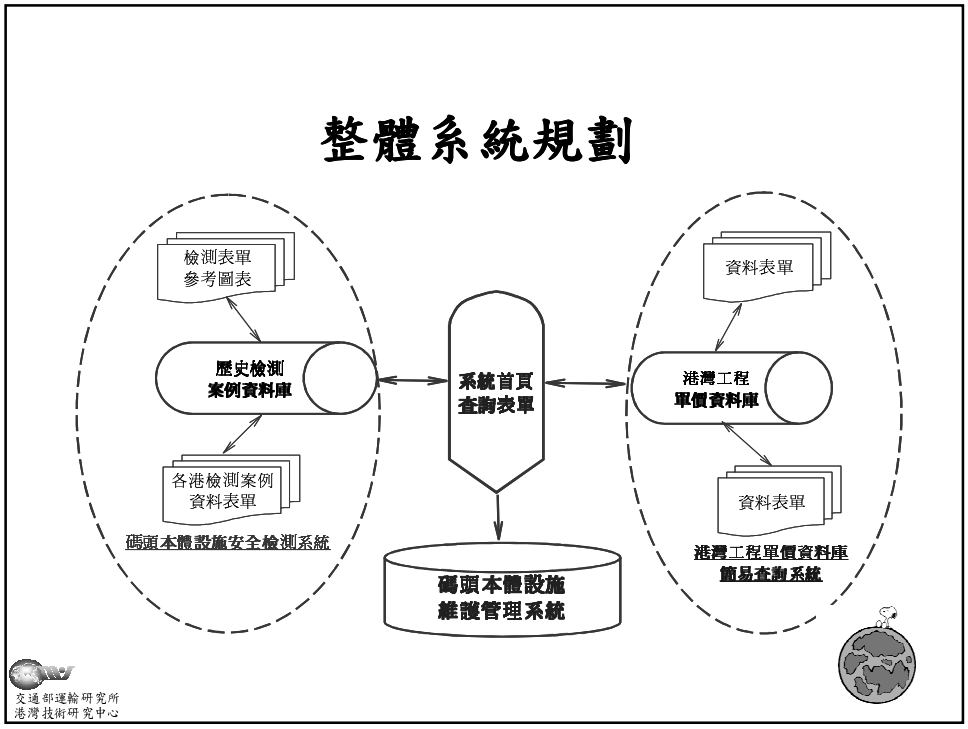
1. 重力式碼頭檢測系統之建置 (94年)
2. 鋼板樁碼頭檢測系統之建置 (95年)
3. 棧橋式碼頭檢測系統之建置 (96年)
4. 碼頭維護管理系統之建置 (97年)

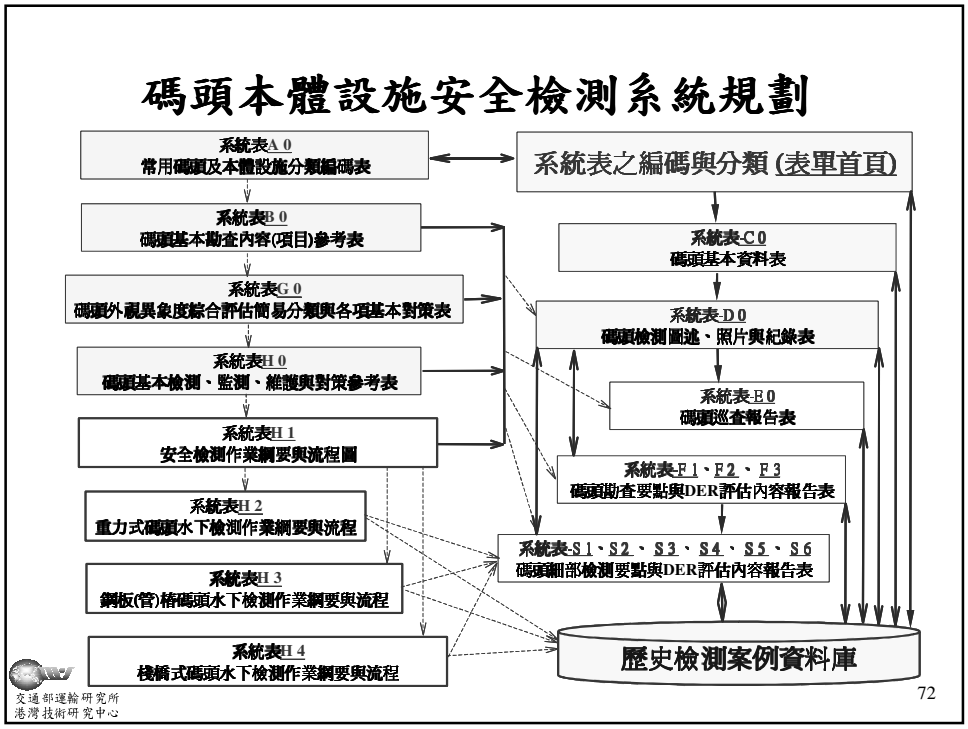


二、系統規劃與基本界定

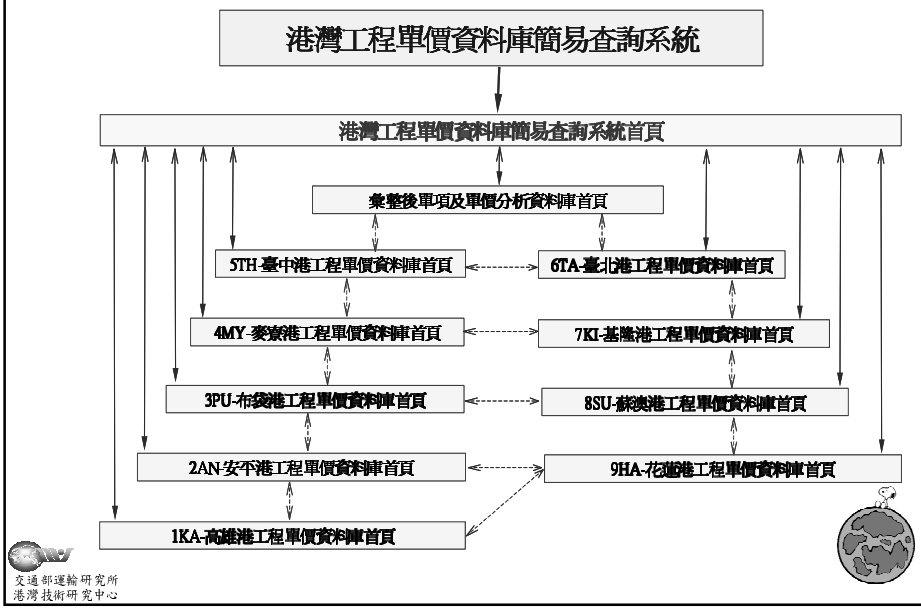
- 整體系統規劃
- 碼頭本體設施安全檢測系統規劃
- 港灣工程單價資料庫簡易查詢系統規劃
- 系統基本整合與界定
- 碼頭安全定義之界定
- 適用標的之界定
- 適用人員之界定
- 檢測時機之界定
- 檢測作業階段與檢測範圍之界定
- 碼頭異象之界定
- 碼頭本體設施結構之相關標定




整體系統規劃
檢測表單
參考圖表
歷史檢測
案例資料庫
各港檢測案例
資料表單
碼頭本體設施安全檢測系統
系統首頁
查詢表單
碼頭本體設施
維護管理系統
資料表單
港灣工程
單價資料庫
資料表單
港灣工程單價資料庫
簡易查詢系統
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心


碼頭本體設施安全檢測系統規劃
系統表A 0
常用碼頭及本體設施分類編碼表
系統表之編碼與分類 (表單首頁)
系統表B 0
碼頭基本勘查內容(項目)參考表
系統表C 0
碼頭基本資料表
系統表G 0
碼頭外觀異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表
系統表D 0
碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
系統表H 0
碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表
系統表E 0
碼頭巡查報告表
系統表H 1
安全檢測作業綱要與流程圖
系統表F 1、F 2、F 3
碼頭勘查要點與DER評估內容報告表
系統表H 2
重力式碼頭水下檢測作業綱要與流程
系統表S 1、S 2、S 3、S 4、S 5、S 6
碼頭細部檢測要點與DER評估內容報告表
系統表H 3
鋼板(管)樁碼頭水下檢測作業綱要與流程
系統表H 4
棧橋式碼頭水下檢測作業綱要與流程
歷史檢測案例資料庫
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心
72

港灣工程單價資料庫簡易查詢系統規劃



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

適用人員之界定

初勘作業強調適用於一般基層檢測人員，

本系統所稱一般基層檢測人員，係指有碼頭安全檢測經驗或受過碼頭設施安全檢測訓練之一般基層人員。

細部檢測作業模式之規劃，則著重適用於

經驗豐富之碼頭安全檢測人員、

熟悉基本港灣工程之專業人員、

專業檢測人員、專業監測人員與專業分析人員，

於專業須求上較為高階而廣泛。

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

檢測時機之界定

- **檢測時機界定之原則**
  使檢測性質與目的更簡明與務實的區分
- **檢測時機之分劃**
  平時檢測
  隨機性或一般性檢測，可為定期與不定期檢測。
  例行檢測
  定期檢測與監測、特定目的或項目的檢測與監測。
  災害檢測
  工程、營運或天然災害檢測。



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

檢測作業階段與檢測範圍之界定

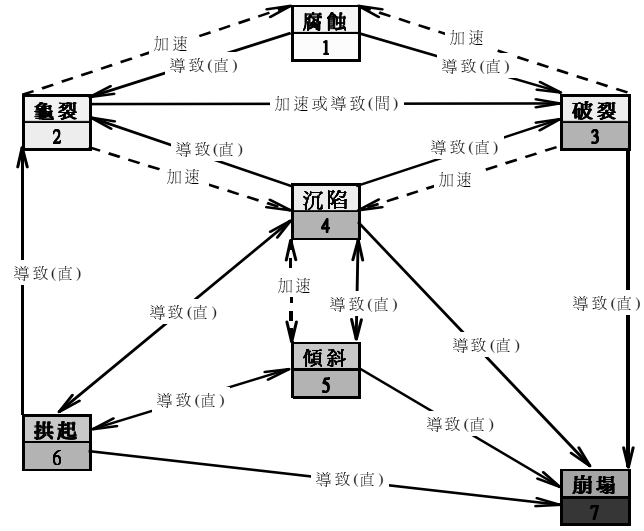
- **檢測作業區分為 五個階段：**
  - 先期準備作業
  - 初勘作業
  - 初勘綜合評估作業
  - 細部檢測作業
  - 細部檢測綜合評估作業



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

76

碼頭異象



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

77

碼頭本體設施結構之相關標定

❑目的：

1. 使碼頭結構安全調查者
   a. 瞭解導致碼頭外部異象之基本機制。
   b. 預先導正對可能異象行為之研判方向。
2. 提昇調查者之研判力。
3. 避免同一異象因不同調查者而於研判產生太大之差異。

❑碼頭本體設施結構之相關標定包括：

1. 導致碼頭本體設施結構外部異象之基本機制標定。
2. 碼頭本體設施結構基本檢測部位之標定。

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

78

碼頭本體設施結構之相關標定

本體設施定義與分類

- 引用標準

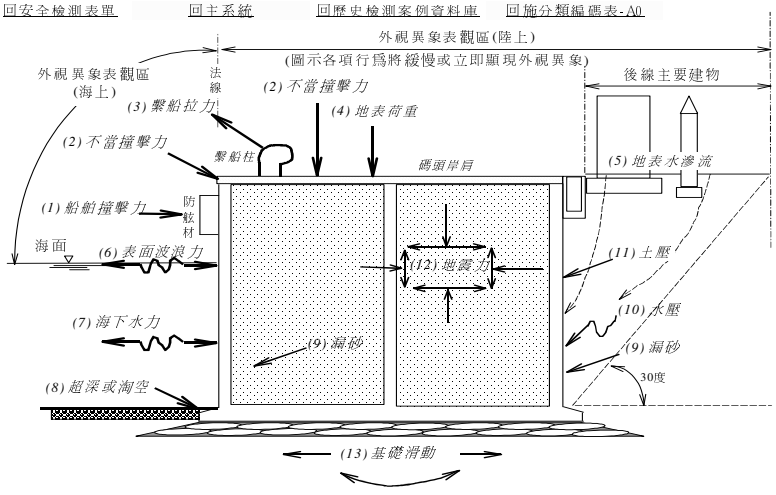
  “港灣工程專有名詞”--運輸研究所(1996)

- 碼頭設施分類

  重力式、板樁式與棧橋式碼頭三項

碼頭本體設施結構之相關標定

導致-重力式(沉箱)碼頭-外部異象基本機制之標定

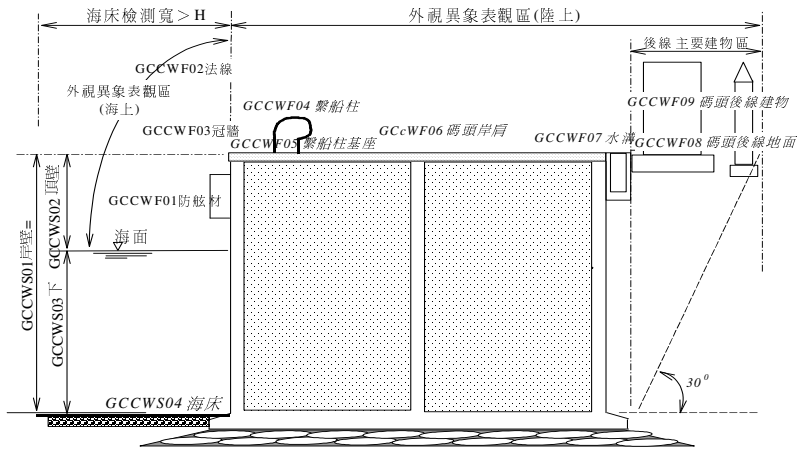


導致重力式沉箱碼頭結構外視異象之主要機制示意圖 200701蘇吉立再修

碼頭本體設施結構之相關標定

重力式(沉箱)碼頭-基本檢測部位之標定

回安全檢測表單　回主系統　回歷史檢測案例資料庫　回施分類編碼表-A0



重力式沉箱碼頭檢測部位標稱示意圖

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

81

三、系統建構

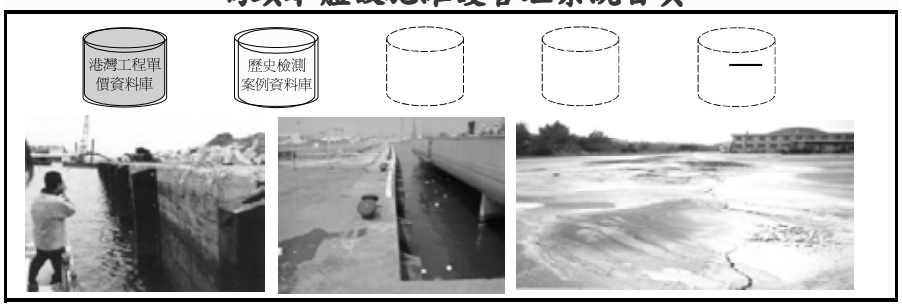
3.1 系統首頁
3.2 歷史檢測案例資料庫首頁
3.3 港灣工程單價資料庫首頁
3.4 各港碼頭本體設施維護管理系統首頁
3.5 安全檢測表單與參考資料首頁
3.6 港灣工程單價資料庫首頁
3.7 彙整後單項及單價分析資料庫首頁
3.8 安全檢測表單與參考資料
3.9 彙整後單價分析表

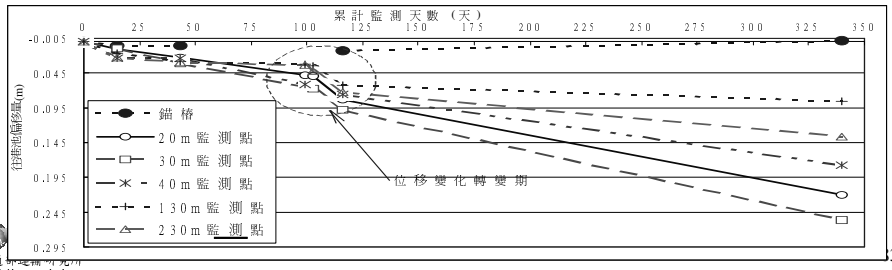
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

82

3.1 系統首頁

碼頭本體設施維護管理系統首頁





交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

3

3.2 歷史檢測案例資料庫首頁

碼頭本體設施歷史檢測案例資料庫首頁

回主系統

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	澎湖	其它漁港
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA	PH	

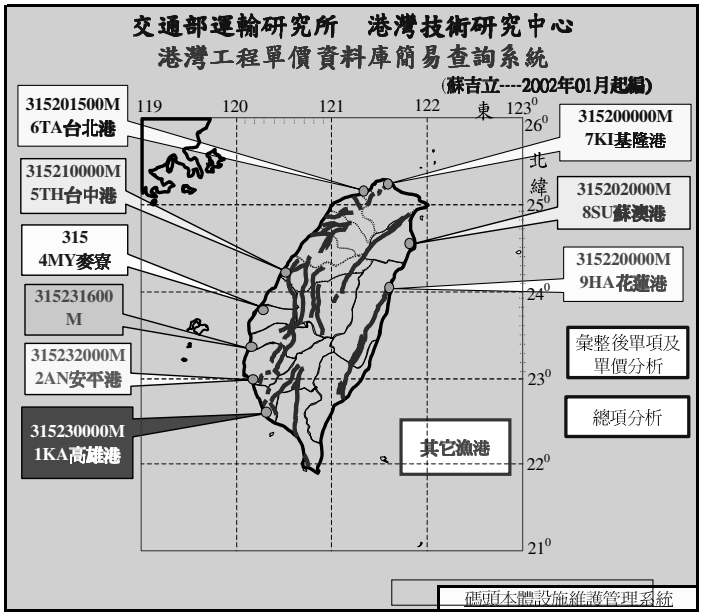
安全檢測表單與參考資料

港灣工程單價資料庫

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

84

3.3 港灣工程單價資料庫首頁



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

85

3.4 各港碼頭本體設施維護管理系統首頁

高雄港碼頭本體設施維護管理系統

回主系統

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	澎湖	其它漁港
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA	PH	

安全檢測表單與參考資料

港灣工程單價資料庫

檢測日期	碼頭結構型式	碼頭編號	檢測屬性	資料分類	檢測次第	備註
20050523	SAIW	001-1	FF	C0	0001	碼頭基本資料表
20050523	SAIW	001-1	FF	D0	0001	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
20050523	SAIW	001-1	FC	E0	0001	碼頭巡查報告表
20050523	SAIW	001-1	FF	F1	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-1	FF	F2	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-1	FF	F3	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	C0	0001	碼頭基本資料表
20050523	SAIW	001-2	FF	D0	0001	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
20050523	SAIW	001-2	FC	E0	0001	碼頭巡查報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	F1	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	F2	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
20050523	SAIW	001-2	FF	F3	0001	碼頭勘查要點與DER評估報告表
19970423	SAIW	036-0	FF	C0	0001	碼頭基本資料表
19970423	SAIW	036-0	FF	D0	0001	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
19970423	SAIW	036-0	FC	E0	0001	碼頭巡查報告表
20060907	SAIW	036-0	FF	D0	0002	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
20060907	SAIW	036-0	FC	E0	0002	碼頭巡查報告表

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

86

3.5 安全檢測表單與參考資料首頁

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	澎湖
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA	0PH

系統表之編碼與分類

系統表編碼	設施編碼	檢測性質編碼	檢測次數編碼	檢測表單編碼	分類 ——
A0					常用碼頭及本體設施分類編碼表
B0					碼頭基本勘查內容(項目)參考表
C0	SSSW	**OF**	0001	01	碼頭基本資料表
D0	SSSW	OF	0001	01	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
E0	SSSW	OC	0001	01	碼頭巡查報告表
E1	SSSW	**OF**	0001	01	碼頭勘查要點與DER評估報告表
E2	SSSW	**OF**	0001	02	碼頭勘查要點與DER評估報告表
E3	SSSW	**OF**	0001	03	碼頭勘查要點與DER評估報告表
G0					碼頭外覘異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表
H0					碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表
H1					安全檢測作業綱要與流程圖
H2					重力式碼頭水下檢測作業綱要與流程
H3					鋼板(管)樁碼頭水下檢測作業綱要與流程
H4					棧橋式碼頭水下檢測作業綱要與流程
S1	SSSW	**OS**	0001	01	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S2	SSSW	**OS**	0001	02	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S3	SSSW	**OS**	0001	03	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S4	SSSW	**OS**	0001	04	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S5	SSSW	**OS**	0001	05	碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
S6	SSSW	**OS**	0001	06	碼頭細部檢測整體評估建議之基本維護與對策內容表
異象圖例					

代號補充說明					
SSS	系統	OC	平時巡查	FS	例行細勘
W	~~碼頭~~	OF	平時初勘	SF	災害初勘
OD	基本對策參考資料	OS	平時細勘	SS	災害細勘
		FF	例行初勘		

3.6 各區域港灣工程單價資料庫首頁

交通部運輸研究所　港灣技術研究中心

港灣工程單價資料庫簡易查詢系統

高雄港工程單價資料庫

(蘇吉立----2002年01月起編)

系統首頁

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	其它~~港~~	彙整後單項工程單價	總項工程單價
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA			
版樁式碼頭	重力式碼頭	棧橋式碼頭	其它型式碼頭	護岸	防波堤	附屬建物或設施	造地及其它	**單價及單價分析**	施工記事及說明		
1KA087030120000	1KA087011510000	1KA087011520000		1KA087011530000	1KA089070100000	1KA000000020000繫船柱	1KA000000010000港域開發	1KA000000021000繫船柱更新			
1KA089080000000		1KA087030110000				1KA087011540000量觀	1KA087030140000浚渫	1KA087041610000一般土木			
		1KA089040100000				1KA087030130000船渠機電	1KA087090400000遮陽棚監造	1KA087070410000一般土木			
		1KA091010140000				1KA087041600000路台	1KA089021700000委託管理	1KA087120010000水電			
						1KA087070400000場地	1KA089060800000設計監造	1KA087120020000水電			
						1KA088042710000登記站	1KA089062800000委託調查	1KA087120030000一般土木			
						1KA088042720000車棚建築	1KA088111610000版樁防蝕	1KA087120040000水電			
						1KA088110100000軌道廊籠	1KA088111620000板樁防蝕	1KA087120050000水電			
						1KA089060900000路拓寬		1KA087120060000水電			

3.7 彙整後單項及單價分析資料庫首頁

交通部運輸研究所　港灣技術研究中心

港灣工程歷史單價資料庫簡易查詢系統

彙整後單項及單價分析資料庫首頁

系統首頁　　(蘇吉立----20

高雄港	安平港	布袋港	麥寮港	台中港	台北港	基隆港	蘇澳港	花蓮港	其它漁港	單項工程	總項工程單價
1KA	2AN	3PU	4MY	5TH	6TA	7KI	8SU	9HA			

預算項目名稱與單價初步分析整合結果(初步建議)

公共工程綱要編碼		常用項目名稱	統合彙整後之建議項目名稱	常用單位	建議單位	參考施工量	歷史參考單價(新台幣元)				
							高	中	低		
01	300	工程管理需求									
	321	施工照相及錄影	施工照相	式	式	1					
			施工錄影		式						
01	500	施工設施及臨時管制									
		臨時假設工程		式							
	522	臨時工務所	臨時工務所	式	式	1		250000			
	522	施工棚(含辦公室倉庫等設備)	臨時施工棚	式	式	1		18200			
			臨時工務所	式	式						
			臨時倉庫	式	式						
		臨時水電及電信設備費用	臨時水電設備	月	式	20		60000			
			臨時電訊設備								
		臨時水電費	臨時水電費	式	月	1		73000			
		臨時電話費	臨時電訊費	式	月	1		15000			
01	564	臨時性安全圍籬(2 m 高鋼浪鈑)	H=2 m 鋼浪鈑臨時安全圍籬	M	M	289		1800			
		假設工程(含臨時性安全圍籬 2 m 高鋼浪鈑)	假設工程	式	式	1		2170200			
			H=2 m 鋼浪鈑臨時安全圍籬								
		船機動復員費	船機動復員費	次		1		38000			

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

89

3.8 安全檢測表單與參考資料

3.8.1　檢測系統表-A0

3.8.2　檢測系統表-B0

3.8.3　檢測系統表-C0

3.8.4　檢測系統表-D0

3.8.5　檢測系統表-E0

3.8.6~8　檢測系統表- F1、F2 、F3

3.8.9　檢測系統表-G0

3.8.10~14 檢測系統表-
H0、H1、H2 、H3 、H4

3.8.15~20 檢測系統表-
S1、S2、S3 、S4 、S5 、S6

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

90

3.11 彙整後單價分析表

回系統首頁　　臺整後單項及單價分析資料庫首頁

單 價 分 析 表

工程地點： 基隆港

工程名稱： 基隆港西三十二號碼頭船席岩盤浚挖工程(參考基準)

工程項目： 船席岩方浚挖及運棄

工程項目編碼：　　工程項目編號：　　編製日期： 85年12月

工料明細		工料量		工料價		附 註
		單位	數量	單 價	複 價	
1.	潛水及鑿碎工	工	3.00	3,015.00	9,045.00	
2.	潛水及小工	工	3.00	1,206.00	3,618.00	
3.	風車租借及油料	式	1.00	975.00	975.00	
4.	鑽機租借及鑽頭	式	1.00	1,096.00	1,096.00	
5.	棄土運棄	M^3	1.00	211.00	211.00	
6.	測量繪圖及定位費(含浚挖中與浚挖後)	式	1.00	121.00	121.00	
7.	障礙物處理費	式				
8.	動復員費	式				
9.	工料損耗	式	1.00	34.00	34.00	
工程項目單價合計		M^3			15,100.00	元(新台幣)

審核

計算

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

91

四、系統應用與說明(1/7)

系統驗證之歷史案例：

1. 臺中港1號(重力式)碼頭
2. 澎湖龍門尖山港五期(重力式)碼頭

現地應用測試案例：

1. 高雄港、臺北港與基隆港等多處碼頭
2. 西2至4號碼頭之現地調查與評估

應用項目及程序如下：

4.1 作業規劃

4.2 準備作業

4.3 現地初勘與初勘評估作業

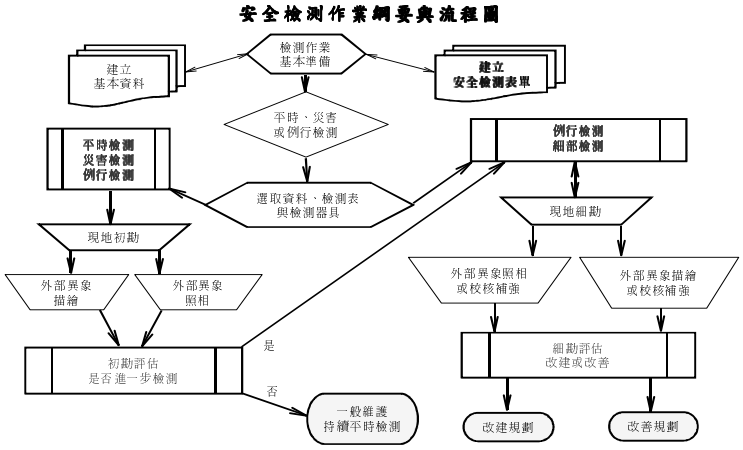
4.4 現地細勘與細勘評估作業

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

92

四、系統應用與說明(2/7)

4.1 作業規劃



四、系統應用與說明(3/7)

4.2 準備作業：

資料與資訊蒐集、檢測屬性判訂、建立安全檢測表單及選取檢測儀器工具等。

- 以基隆港西2號碼頭案例：
  1. 屬特殊目的研究調查，故判訂為例行檢測。
  2. 選取相關參考資料、檢測表與檢測器具。
  3. 建入選取之相關檢測表。
  4. 執行現地初勘檢測作業。
  5. 選用初勘檢測作業之表單包括：
     C0-基本資料表、D0-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表、E0-碼頭巡查報告表

四、系統應用與說明(4/7)

4.3 現地初勘與初勘評估作業

- 現地初勘作業：
  勘查現地、照相、填寫碼頭巡查表、碼頭異象描繪等。

- 初勘評估作業
  作業主要工作為：資料比對、整理、建置、評估與建議。
  作業順序：整理建置勘查照片，再重新整理建置現地描繪之碼頭異象與勘查照片於系統表-D0（碼頭檢測圖述、照片與紀錄表），並校核整理確認現地預先填寫之系統表-E0（碼頭巡查報告表）。

四、系統應用與說明(5/7)

4.3 現地初勘與初勘評估作業

- 系統表 C0- 基本資料表

- 系統表 D1 、 D2 、 D3 碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之驗證

- 系統表 E0 -碼頭巡查報告表之驗證

四、系統應用與說明(6/7)

4.4 現地細勘與評估作業

- 現地細勘(室外) 前須依初勘評估結果之建議，規劃好準備進行細部檢測與監測之工作。
- 現地細勘作業：
  1. 勘查現地、照相、細部檢測、監測、填寫碼頭細勘報告表。
  2. 現地細勘亦在補強初勘結果。
- 細勘評估(室內)作業主要工作同初勘：資料比對、整理、建置、評估與建議。



四、系統應用與說明(7/7)

4.4 現地細勘與評估作業

- 系統表 S1、 S2、 S3、 S4、 S5
  碼頭細部檢測要點與DER評估內容表
- 系統表 S6
  碼頭細部檢測整體評估建議之基本維護與對策內容表



五、結論與建議(1/2)

❑ 結論

本計畫研究成果，可收下列成效：

- 為制定相關檢測與維護作業程序之參考。
- 使碼頭檢測與維護管理邁向系統化、標準化、簡易化。
- 使碼頭檢測與維護管理趨向可行性與實用性。
- 提昇碼頭維護管理功效，維護碼頭安全，減低災害損失。
- 邁向碼頭檢測與維護管理作業自動化之目標。

五、結論與建議(2/2)

❑ 建議

- 本系統日後應配合地理資訊系統(GIS)使用。
- 系統表格與相關評估項目，應持續加強歷史驗證與現地應用測試案例並檢討與修正。
- 系統表S6之評估建議內容目前為人工評估，可進一步提升為自動評估。
- 驗證與應用過之案例均應建置於歷史檢測資料庫中。

子計劃三：
臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究

簡報內容

一、計畫背景分析

二、研究方法及結果與討論

三、大氣腐蝕劣化因子資料庫建置

四、結論與建議

一、計畫背景分析

計畫目的

- 進行台灣全島之大氣腐蝕因子調查
- 完成大氣腐蝕環境分類
- 建立完整的「本土化」大氣腐蝕因子資料庫
- 以利日後新建與既有金屬或鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

二、研究方法及結果討論

2.1國內氣象資料蒐集分析

- 參考中央氣象局1998-2007年氣候資料年報及2007年~2008年8月中央氣象局網站資料，針對氣溫、相對濕度、日照時數、風速、風向、降水量、降水日數等各因子進行歷年變化分析。

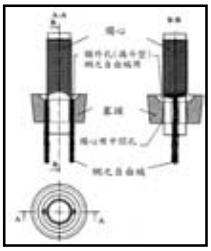
2.2環保署空氣品質監測資料分析

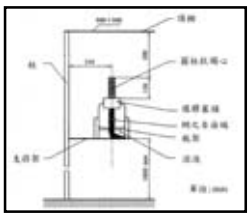
- 以環保署1998~2008年8月監測數據作為參考資料，並以行政區域作為分區規劃為原則；另外針對一般測站、交通、工業、國家公園及背景站監測資料進行分析。

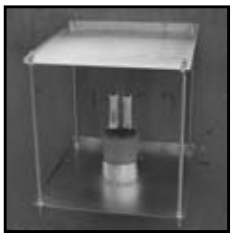
二、研究方法及結果討論

2.3氯鹽沉積量採集裝置-濕燭法

- 濕燭法(ISO 9225)的原理為使用一個濕纖維織物，在已知表面積的條件下，暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量，氯鹽沉積速率，以$mg/m^2/day$表示。
- 測試後回收的紗布以定量之去離子水(約50 ml)沖洗，再依環保署水中陰離子檢測方法–離子層析法(NIEA W415.52B)測定水中之氯鹽含量。





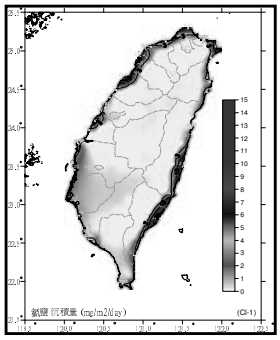




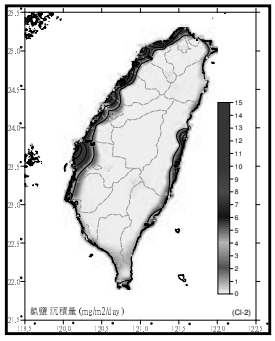
氯鹽沉積量的調查位置
共77個試驗點，包括：

- 垂直海岸線41個試驗點
- 平行海岸線個29試驗點
- 3個都市試驗點
- 4個參考對照試驗點

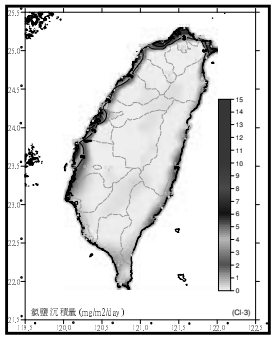
氯鹽沉積速率
季節性之比較



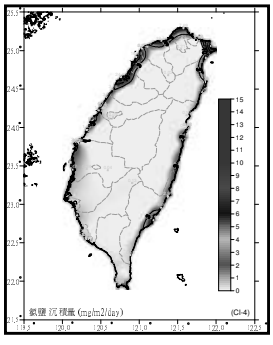
2007.05-2007.09
夏季季風期



2007.09-2008.01
東北季風期

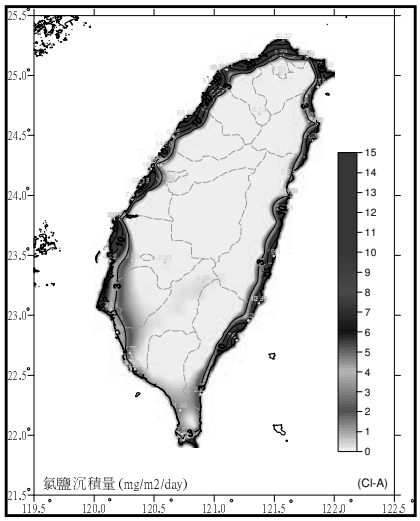


2008.01-2008.05
東北季風轉換期



2008.05-2008.08
夏季季風期

氯鹽沉積速率 (mg/m2/day)



2007.05-2008.08一年期之氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

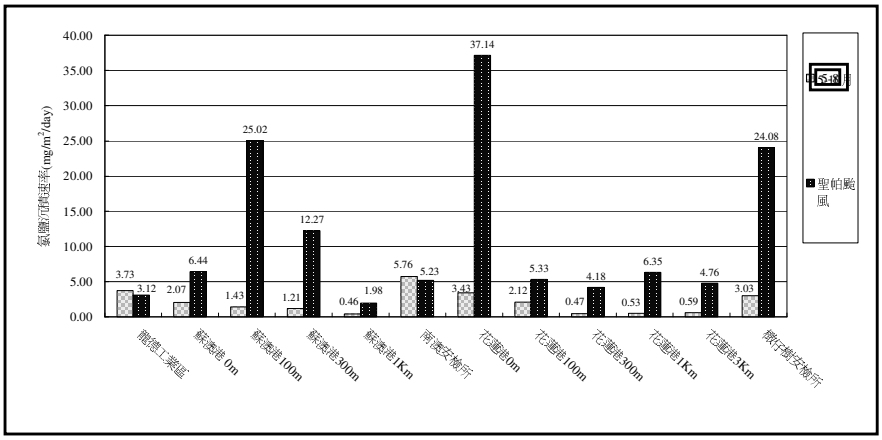
氯鹽沉積速率季節性之比較

- **西部海岸氯鹽沉積速率以初秋到冬季(2007.09- 2008.01)最為嚴重，東部海岸的氯鹽沉積速率為夏季至初秋(2007.05 -2007.09) 。**
- **南部海岸氯鹽沉積速率相較於西部及東部海岸，氯鹽沉積速率較小，四次調查的結果多小於10 mg/m^2/day。**
- **一年期(2007.05-2008.08)累積的氯鹽沉積速率，除南部海岸較低外，西部海岸從雲林麥寮以北至北部海岸的核一廠，及自核一廠至東部海岸的臺東伽蘭安檢所附近，其一年累積的氯鹽沉積速率多大於10 mg/m^2/day 。**

氯鹽沉積速率季節性之比較

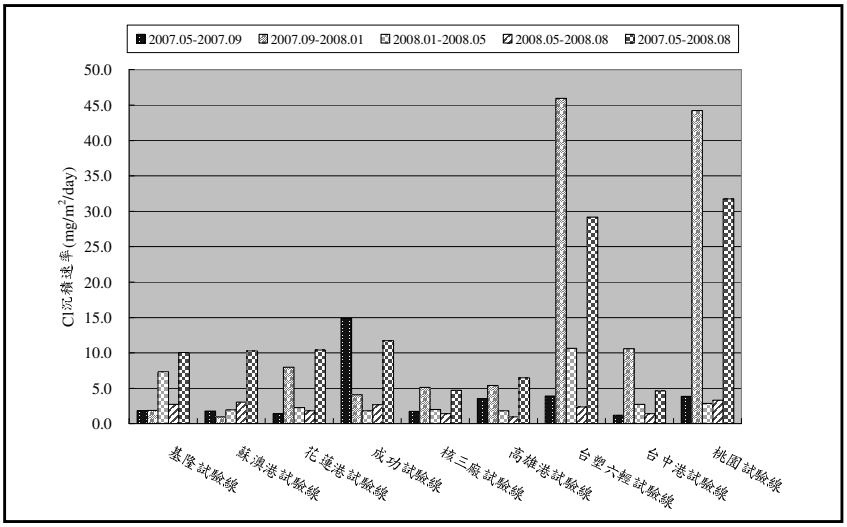
- 夏季季風期(2007.05-2008.09)，東海岸中部至南部沿海區域氯鹽沉積速率較高；但在東北季風期(2007.09-2008.01)，氯鹽沉積速率較高在西海岸沿海區域，且有往內陸延伸的趨勢。
- 夏季至初秋與初秋到冬季兩次氯鹽沉積速率調查的差異應是2007.05-2007.09期間，東部沿海受夏季東南季風及颱風侵襲，挾帶大量氯鹽，造成空氣中氯鹽含量增加所致；而2007.09-2008.01期間，西海岸沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽有顯著的增加。
- 至於冬季至春末(2008.01- 2008.05)，東北季風由盛轉弱，北部海岸自臺北縣石門鄉核一廠至桃園大潭以及彰濱和麥寮工業區附近，氯鹽沉積速率仍因東北季風的影響而維持偏高的趨勢。

氯鹽沉積速率颱風期之比較



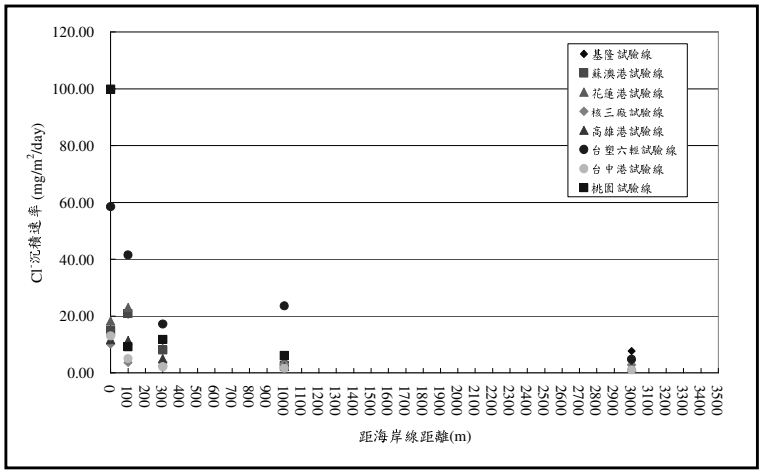
2007年5月至8月上旬氯鹽沉積速率與聖帕颱風侵襲時之氯鹽沉積速率比較

聖帕颱風於2007年8月17日由臺灣東部海岸登陸，因此颱風期之氯鹽沉積速率調查時間為2007/8/15至2007/9/6，調查位置為東部海岸蘇澳港至花蓮港之間。



四次調查與一年期之垂直海岸試驗線平均氯鹽沉積速率

氯鹽沉積速率與海岸線距離的關係



空氣中氯鹽含量輸送到內陸的分佈，受到風速、風向、局部地形的影響，距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小，且距離海岸超過3000m以上時，氯離子的沉積速率已明顯減少。

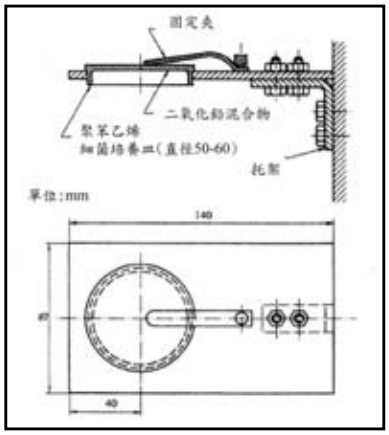
二、研究方法及結果討論

2.4二氧化硫沉積量採集裝置

- 依據ISO 9225，以二氧化硫在二氧化鉛硫酸化平板之沉積速率測定。
- 原理為大氣中二氧化硫與二氧化鉛會反應形成硫酸鉛，暴露一段時間後回收該平板，並針對平板上的附著物進行硫酸鹽分析以測定二氧化硫之含量，二氧化硫的沉積速率以$mg/m^2/day$表示。
- 平板上附著硫酸鹽的分析依環保署水中陰離子檢測方法–離子層析法(NIEA W415.52B)測定，即先使用碳酸鈉溶液溶解並移出硫酸化平板之附著物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量 。

二氧化硫沉積量採集裝置

CNS 13754 (ISO 9225)





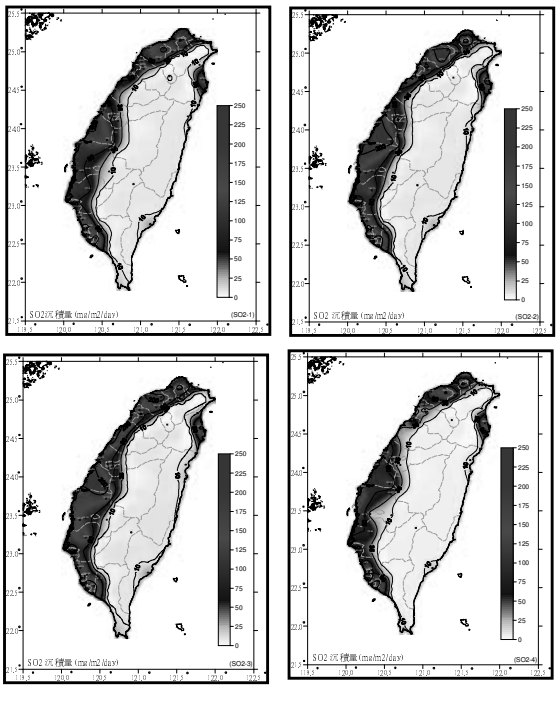
為減少吸附酸雨沉降或懸浮硫酸氣體，試驗盤朝下放置



二氧化硫沉積量的調查位置共54個試驗點，包括：

- **都市地區3個試驗點**
- **全臺工業區29個試驗點**
- **石化與火力電廠11個試驗點**
- **高鐵沿線4個試驗點**
- **1個硫磺溫泉區試驗點**
- **6個參考對照試驗點**

SO_2沉積速率季節性之比較



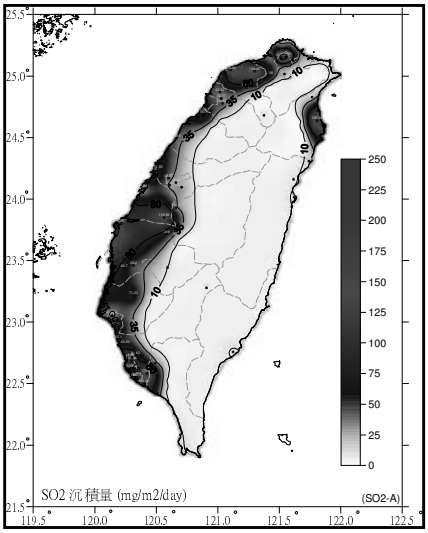
2007.05-2007.09
夏季季風期

2007.09-2008.01
東北季風期

2008.01-2008.05
東北季風轉換期

2008.05-2008.08
夏季季風期

SO_2沉積速率(mg/m²/day)

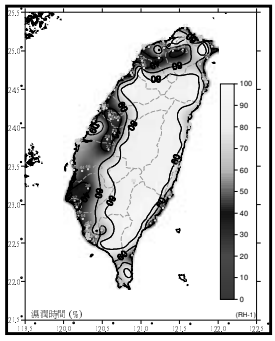


2007.05-2008.08一年期之SO_2沉積速率(mg/m²/day)

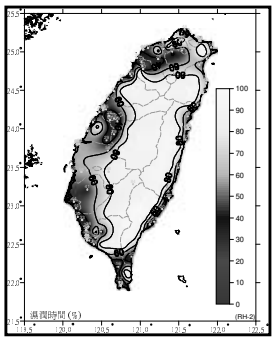
SO_2沉積速率季節性之比較

- 二氧化硫沉積量與工業區、石化廠與火力電廠所在的位置與其生產頻率有關，受季節變化影響的較少。
- 西海岸觀音工業區與彰濱、麥寮工業區附近，東北季風期間(2007.09 -2008.01) ，二氧化硫沉積速率均有顯著增加的趨勢。宜蘭縣境內無石化廠或火力電廠，且屬於鄉村環境，但有嚴重酸雨的情況。
- 因此可合理的推論，在秋季與冬季時大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫可能藉由東北季風的挾帶而侵襲臺灣，以致造成臺灣北部與西部沿海的二氧化硫沉積速率增加。

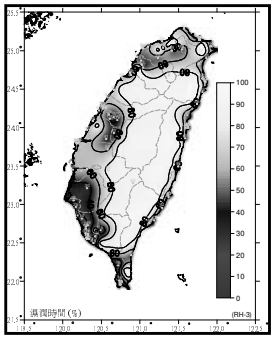
濕潤時間
季節性之比較



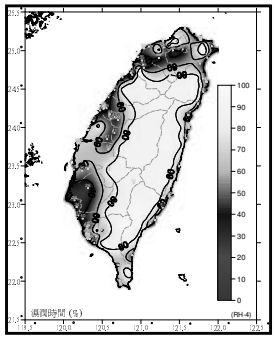
2007.05-2007.09
夏季季風期



2007.09-2008.01
東北季風期

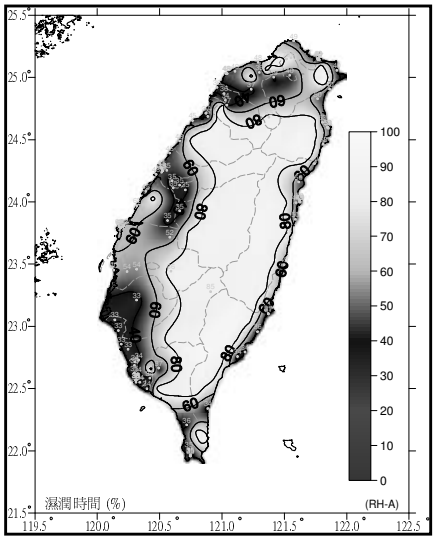


2008.01-2008.05
東北季風轉換期



2008.05-2008.08
夏季季風期

濕潤時間百分比



2007.05-2008.08一年期之濕潤時間百分比等位圖

二、研究方法及結果討論

2.5 現地暴露試驗-螺旋試片

- **試片製作**

  依據ISO 9226大氣腐蝕性測定標準試片製作，採用螺旋狀標準試片

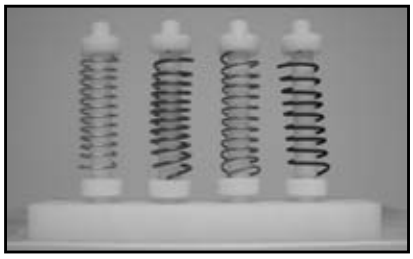
- **螺旋狀試片腐蝕速率計算**

  依照CNS14112試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測試片的重量損失，並依試片的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。

螺旋試片試驗點分佈圖

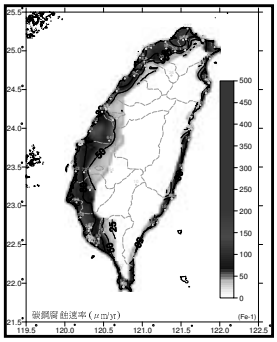


共88個試驗點

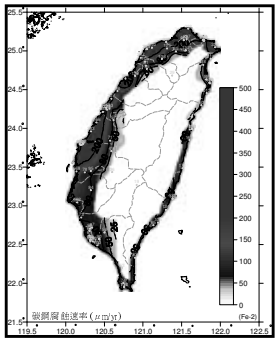


試驗點建置的數量以海鹽氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置之75%為原則。

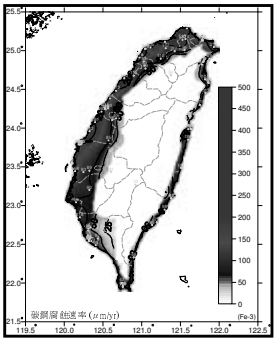
碳鋼腐蝕速率
季節性之比較



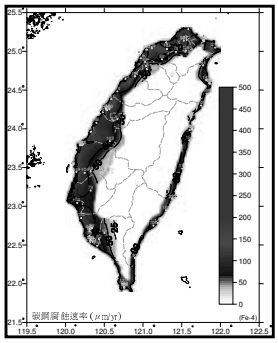
2007.05-2007.09
夏季季風期



2007.09-2008.01
東北季風期

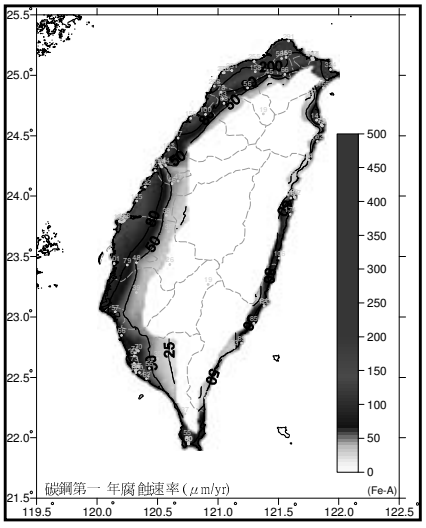


2008.01-2008.05
東北季風轉換期

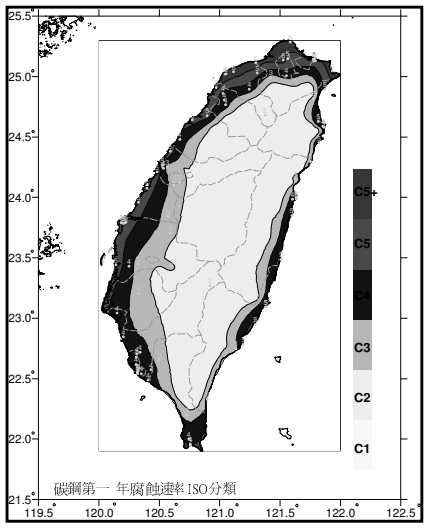


2008.05-2008.08
夏季季風期

碳鋼大氣腐蝕環境分類

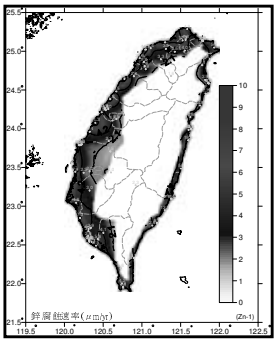


2007.05-2008.08一年期碳鋼腐蝕速率(μm/yr)等位圖

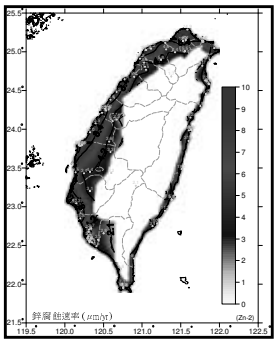


碳鋼第一年腐蝕速率ISO分類

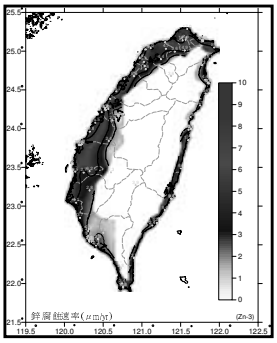
鋅腐蝕速率
季節性之比較



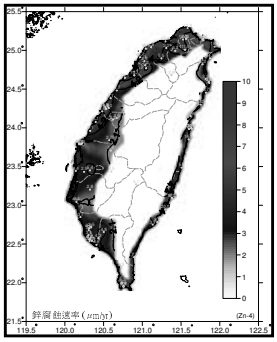
2007.05-2007.09
夏季季風期



2007.09-2008.01
東北季風期

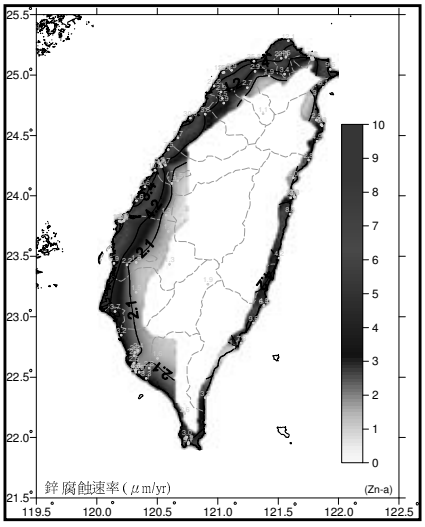


2008.01-2008.05
東北季風轉換期

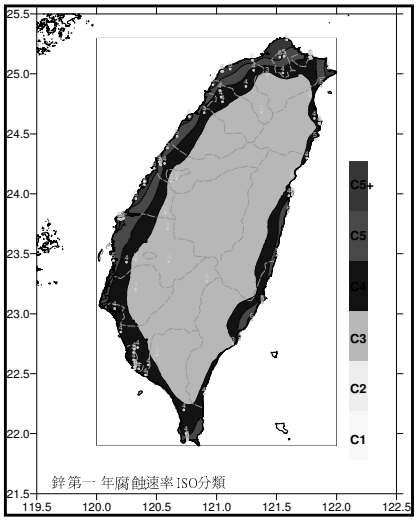


2008.05-2008.08
夏季季風期

鋅大氣腐蝕環境分類

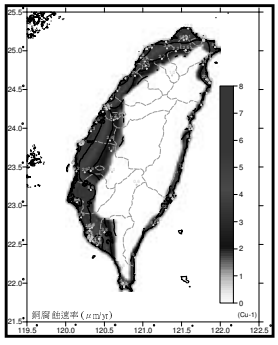


2007.05-2008.08一年期鋅腐蝕速率(μm/yr)等位圖

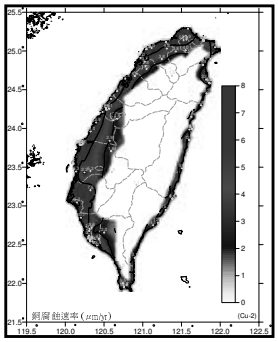


鋅第一年腐蝕速率ISO分類

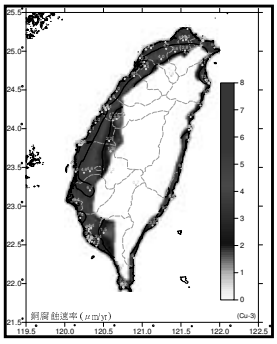
銅腐蝕速率
季節性之比較



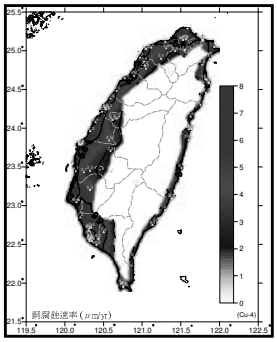
2007.05-2007.09
夏季季風期



2007.09-2008.01
東北季風期

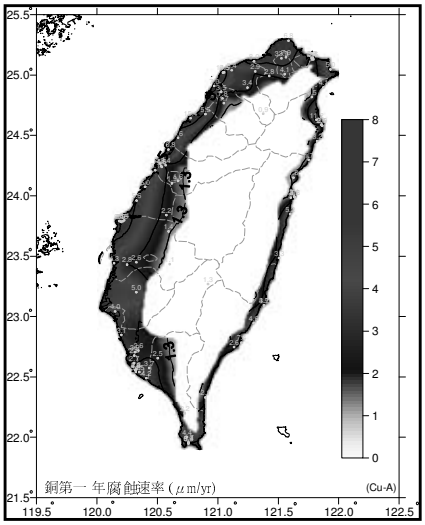


2008.01-2008.05
東北季風轉換期

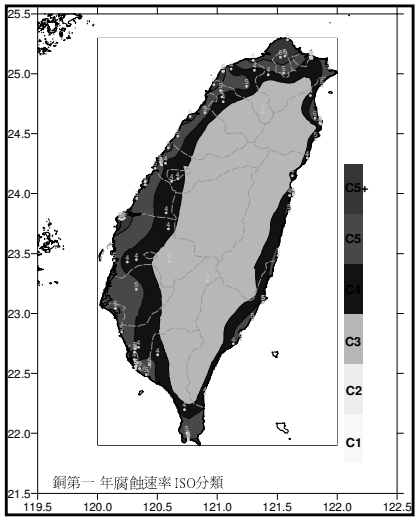


2008.05-2008.08
夏季季風期

銅大氣腐蝕環境分類

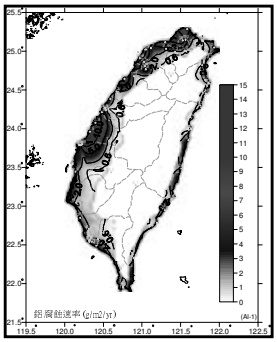


2007.05-2008.08一年期銅腐蝕速率(μm/yr)等位圖

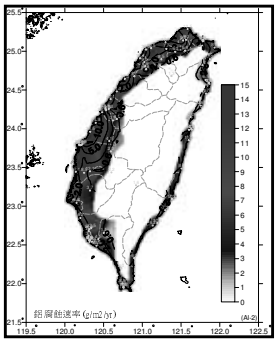


銅第一年腐蝕速率ISO分類

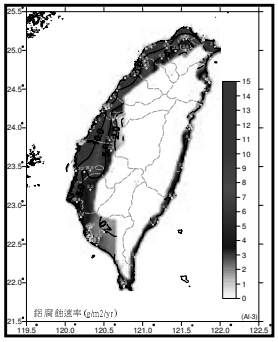
鋁腐蝕速率
季節性之比較



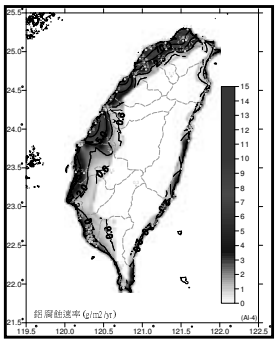
2007.05-2007.09
夏季季風期



2007.09-2008.01
東北季風期

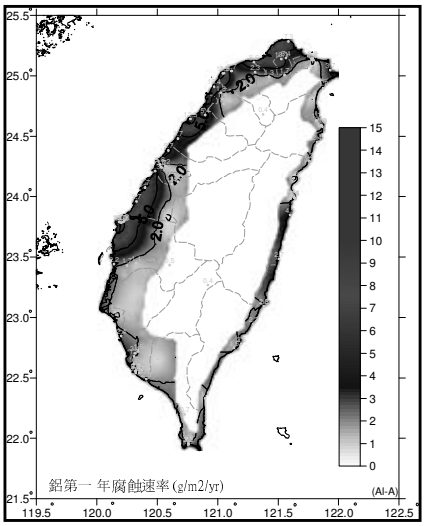


2008.01-2008.05
東北季風轉換期

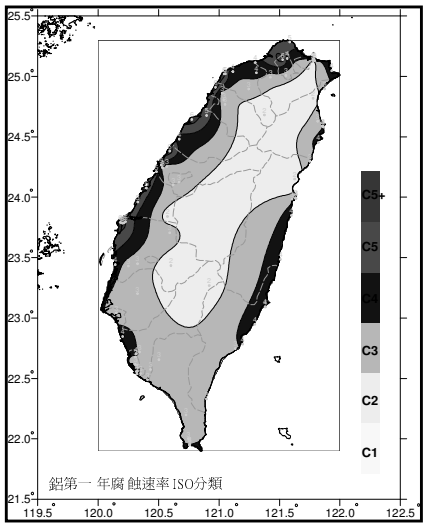


2008.05-2008.08
夏季季風期

鋁大氣腐蝕環境分類



2007.05-2008.08一年期鋁腐蝕速率(g/m2/yr)等位圖

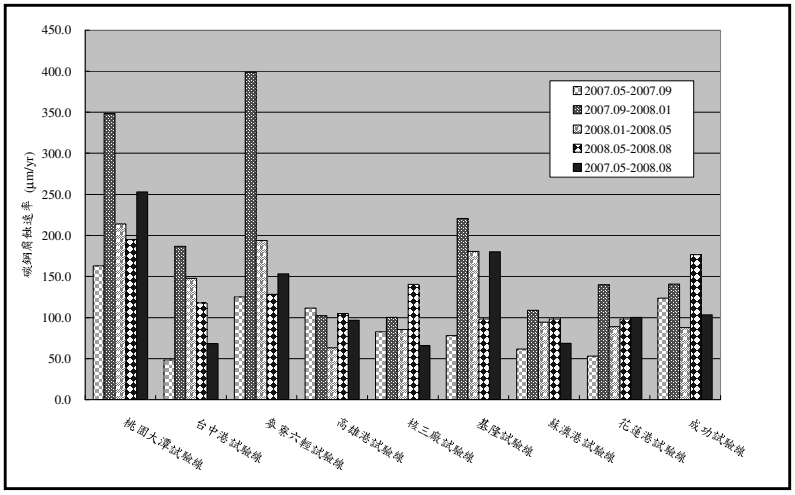


鋁第一年腐蝕速率ISO分類

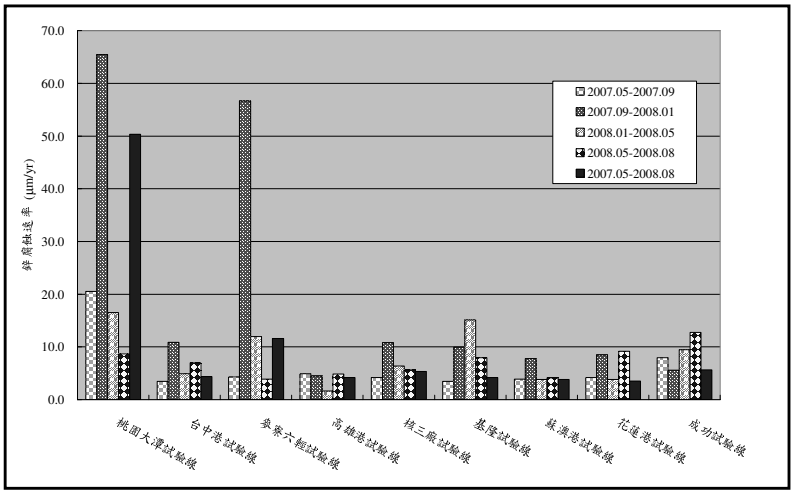
金屬腐蝕速率季節性之比較

- 各金屬(碳鋼、鋅、銅、鋁)在東北季風期的腐蝕速率較夏季季風期為高，應是試驗期間大氣腐蝕因子之差異所致。即在東北季風期期間，西海岸沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中氯鹽有顯著增加趨勢。
- 大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫可能藉由東北季風挾帶而侵襲臺灣，且調查期間相對濕度為北濕南乾的現象，各金屬在東北季風期的腐蝕速率較高。
- 東北季風導致空氣中氯鹽與二氧化硫含量的增加，使各金屬的腐蝕速率增加。

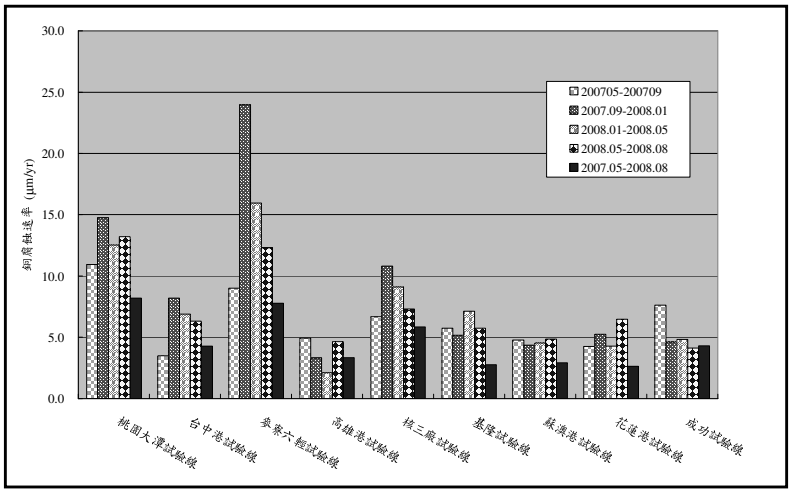
垂直海岸試驗線碳鋼金屬平均腐蝕速率比較



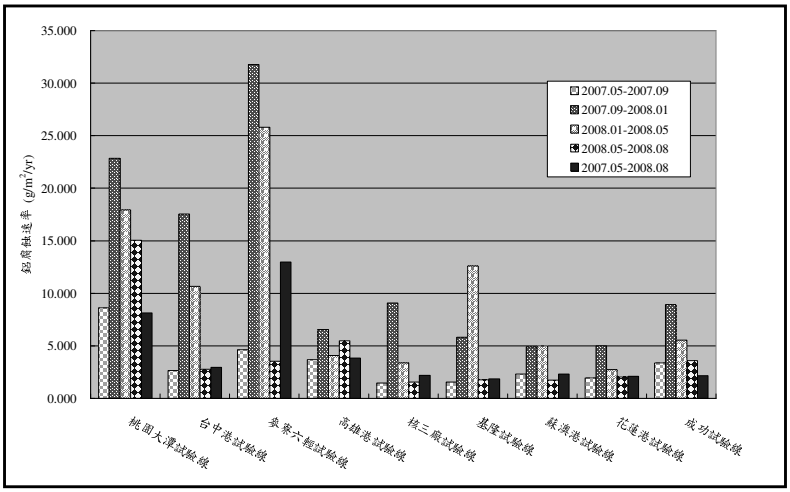
垂直海岸試驗線鋅金屬平均腐蝕速率比較



垂直海岸試驗線銅金屬平均腐蝕速率比較



垂直海岸試驗線鋁金屬平均腐蝕速率比較



二、研究方法及結果討論

2.6 板狀試片建置



鹽害區-臺中火力電場　　工業區-麥寮工業區　　鄉村區-溪頭森林區

設置時間：2008年10月上旬

臺灣大氣腐蝕環境分類

- 除山區試驗位址外，碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為C3以上，甚至在西北部海岸，碳鋼、鋅、銅的腐蝕環境可達C5+。
- 針對碳鋼與鋅金屬，西部大氣腐蝕環境分類可以大甲溪為界，大甲溪以北地區多為C4等級，大甲溪以南臺中市至臺南縣市之間多為C3，但高雄縣市與恆春核三廠附近為C4，沿海地區則為C5至C5+等級。
- 針對銅金屬，除濱海地區之腐蝕環境為C5至C5+等級，山區腐蝕環境為C3等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為C4等級。
- 至於鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為C5等級，山區腐蝕環境為C2等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為C3等級。

三、大氣腐蝕因子資料庫建製

- **系統功能規劃：**

  進行資料輸入與查詢模組開發
- **系統架構規劃：**

  本系統之架構主要分為資料存取、資料處理與資料查詢三大模組。
- **電腦環境規劃：**

  為考慮資料查詢的便利性，本系統將以網路作業方式進行開發。



四、結 論

- 西海岸沿海區域受東北季風的影響，空氣中氯鹽有增加的趨勢；夏季季風對南部海岸則無顯著的影響；東部海岸受夏季季風及颱風吹襲，海風挾帶大量的氯鹽，會造成空氣中氯鹽含量增加。
- 空氣中氯鹽含量輸送到內陸的分佈，受到風速、風向、地形局部遮避的影響；距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小，且距離海岸超過3000m以上時明顯減少。
- 二氧化硫沉積量的分佈取決於工業區、石化廠與火力電廠所在的位置與其生產頻率有關，受季節變化影響的較少，四次調查的結果有相似的分佈情形。

四、結 論

- 秋季與冬季時大陸沿岸石化廠或火力電廠產生的二氧化硫可能藉由東北季風的挾帶而侵襲臺灣，以致造成臺灣北部與西部沿海的二氧化硫沉積速率增加。
- 在東北季風期期間，西海岸沿海區域受強烈東北季風的影響，空氣中的氯鹽與二氧化硫有顯著的增加，再加上此期間內之相對濕度為北濕南乾的現象，以致碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在東北季風期的腐蝕速率較高。
- 大氣腐蝕環境分類對碳鋼與鋅金屬而言，以高鐵沿線為例，臺灣西部可以大甲溪為界，以北地區(如通霄以北之苗栗、新竹、桃園、臺北市)多為C4等級，以南臺中市至臺南縣市之間多為C3，但高雄縣市附近為C4，沿海地區則為C5至C5+等級。

四、結 論

- 大氣腐蝕環境分類對銅金屬，臺灣全島地區除濱海地區之腐蝕環境為C5至C5+等級，山區腐蝕環境為C3等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為C4等級。
- 大氣腐蝕環境分類對鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為C5等級，山區腐蝕環境為C2等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為C3-C4等級。

簡報完畢

敬請指正