

95-67-7205

MOTC-IOT-94-H1DA001

港灣構造物耐久性與維護機制 之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 95 年 4 月

95-67-7205

MOTC-IOT-94-H1DA001

港灣構造物耐久性與維護機制 之研究(1/4)

著 者：陳桂清、饒正、柯正龍、蘇吉立、張道光

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 4 月

95
港灣構造物耐久性與維護機制之研究
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009500926
定價 400 元

國家圖書館出版品預行編目資料

港灣構造物耐久性與維護機制之研究. (1/4) /
陳桂清等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部
運研所，民95
面；公分

ISBN 986-00-4938-6(平裝)

1. 港埠工程 - 管理

443.2

95006910

港灣構造物耐久性與維護機制之研究 (1/4)

著者：陳桂清、饒正、柯正龍、蘇吉立、張道光

出版機關：交通部運輸研究所

地址：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 95 年 4 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 130 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：400 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009500926

ISBN：986-00-4938-6 (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：港灣構造物耐久性與維護機制之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 986-00-4938-6（平裝）	政府出版品統一編號 1009500926	運輸研究所出版品編號 95-67-7205	計畫編號 94-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：饒 正、柯正龍、蘇吉立、張道光 聯絡電話：04-26587118 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 94 年 01 月 至 94 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。 本研究執行期程為四年，本年度為執行之第一年，計執行四個子計畫，簡述如下；子計畫(一)：碼頭構造物之現況調查研究，以澎湖馬公港之鋼板樁碼頭腐蝕現況為調查重點；子計畫(二)：港灣鋼筋混凝土耐久性之研究，探討應用新材料、新工法於港灣土木工程，藉以提升結構物之品質與耐久性；子計畫(三)：重力式碼頭檢測系統建置之研究；子計畫(四)：活性粉混凝土補強R.C.構件與耐久性之研究(1/2)(與國立台灣科技大學共同合作研究)。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
95 年 4 月	326	400	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: Durability and Maintenance Mechanism for Harbor's Structures			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-4938-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009500926	IOT SERIAL NUMBER 95-67-7205	PROJECT NUMBER 94-H1DA001
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen, Kuei-Ching PROJECT STAFF: Rau-Cheng, Ko, Jeng-Long Su, Ch-Li, Chang, Tao-Kuang PHONE: 886-04-26587118 FAX: 886-04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2005 TO December 2005
KEY WORDS: Durability, Corrosion, Wharf facility, Maintenance management system			
ABSTRACT: Taiwan is an island surrounded by sea. It is located in the Pacific Earthquake Zone. There are many earthquakes and typhoons attacking the island each year. Harbor's facilities are confronted with these huge natural forces, and marine environments would make the structures deteriorated, corroded, damaged and collapsed eventually. It seriously threatens structures' durability and security, and affects normal operation of ports seriously. The project will be executed for a four-year period. In this first year, four subprojects were under studied. There are as following: (1) sub-project 1: Field surveying of port's structures, (2) sub-project 2: Durability of port's reinforced concrete structures, (3) sub-project 3: Developing the system of maintenance and management for harbor's facility, and (4) sub-project 4: Rapid Portland Cement applied to reinforced concrete maintenance and its durability (1/2).			
DATE OF PUBLICATION April 2006	NUMBER OF PAGES 326	PRICE 400	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	-----
英文摘要	-----
表目錄	-----X
圖目錄	-----XIX
照片目錄	-----XXVI
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)：碼頭構造物現況調查研究	----- 2-1
2.2.1.1 計畫摘要	----- 2-1
2.2.1.2 研究內容	----- 2-2
2.2.2 子計畫(二)：港灣鋼筋混凝土耐久性之研究	----- 2-3
2.2.2.1 計畫摘要	----- 2-3
2.2.2.2 研究內容	----- 2-3
2.2.3 子計畫(三)：重力式碼頭檢測系統建置之研究	----- 2-3
2.2.3.1 計畫摘要	----- 2-3
2.2.3.2 研究內容	----- 2-4
2.2.4 子計畫(四)：活性粉混凝土補強 R.C.構件與耐久性之	
研究(1/2)	----- 2-5

2.2.4.1 計畫摘要	2-5
2.2.4.2 研究內容	2-5
2.2.5 子計畫(五)：廢棄混凝土再利用於港灣構造物之研究	2-6
2.2.5.1 計畫摘要	2-6
2.2.5.2 研究內容	2-6
2.2.6 子計畫(六)：港灣 PC 構造物腐蝕檢測技術之研究	2-7
2.2.6.1 計畫摘要	2-7
2.2.6.2 研究內容	2-7
2.2.7 子計畫(七)：鋅網在碼頭 R.C.基樁潮間帶陰極防蝕之應用研究	2-8
2.2.7.1 計畫摘要	2-8
2.2.7.2 研究內容	2-8
第三章 碼頭結構物現況調查研究	3-1
3.1 前言	3-1
3.2 研究規劃與調查方法	3-2
3.2.1 規劃流程	3-2
3.2.2 資料蒐集與分析	3-2
3.2.3 檢測範圍	3-3
3.2.4 鋼板（管）樁檢測	3-3
3.2.4.1 目視檢測	3-3
3.2.4.2 厚度量測	3-3

3.2.4.3 鋼樁保護電位量測	3-4
3.2.5 陽極塊調查	3-5
3.2.5.1 選定陽極塊	3-5
3.2.5.2 陽極塊發生電位量測	3-5
3.2.5.3 陽極塊外觀檢查	3-5
3.2.5.4 陽極塊重量量測	3-6
3.2.5.5 陽極塊釋出電流量測	3-6
3.3 結果與討論	3-7
3.3.1 碼頭構造物背景資料分析	3-7
3.3.2 鋼板樁現況檢測	3-7
3.3.2.1 高雄港 54 號碼頭	3-7
3.3.2.2 高雄港 55 號碼頭	3-15
3.3.2.3 高雄港 56 號碼頭	3-23
3.3.2.4 高雄港 57 號碼頭	3-31
3.3.2.5 馬公港 6 號碼頭	3-34
3.3.2.6 馬公港 7 號碼頭	3-41
3.3.2.7 馬公港 8 號碼頭	3-46
3.3.3 陽極塊調查	3-51
3.3.3.1 陽極塊發生電位	3-54
3.3.3.2 陽極塊外觀檢視及重量耗損	3-57
3.3.3.3 陽極塊釋出電流	3-67

3.4 歷年調查結果彙整分析 -----	3-71
3.5 結論與建議 -----	3-72
3.5.1 結論 -----	3-72
3.5.2 建議 -----	3-72
第四章 港灣鋼筋混凝土耐久性之研究 -----	4-1
4.1 前言 -----	4-1
4.1.1 研究動機 -----	4-1
4.1.2 研究目的 -----	4-2
4.2 研究方法與步驟 -----	4-2
4.2.1 高性能混凝土之耐久性研究 -----	4-2
4.2.1.1 試驗規劃 -----	4-2
4.2.1.2 研究背景 -----	4-4
4.2.1.3 試驗方法與步驟 -----	4-7
4.2.2 摻用爐石對添加海砂混拌混凝土之耐久性影響 -----	4-19
4.2.2.1 試驗規劃 -----	4-19
4.2.2.2 研究背景 -----	4-19
4.2.2.3 試驗方法與設備 -----	4-23
4.2.3 混凝土構造物鹼質與粒料反應之調查與潛勢分析 -----	4-25
4.2.3.1 目視調查 -----	4-25
4.2.3.2 現場非破壞性檢測 -----	4-25
4.2.3.3 混凝土鑽心取樣試驗 -----	4-26

4.2.3.4 水泥砂漿棒膨脹試驗法 (ASTM C227) -----	4-27
4.3 試驗結果與討論 -----	4-28
4.3.1 高性能混凝土耐久性研究 -----	4-28
4.3.2 摻用爐石對海砂混拌混凝土之耐久性影響 -----	4-40
4.3.3 混凝土構造物鹼質與粒料反應調查與潛勢分析 -----	4-49
4.3.3.1 目視調查 -----	4-49
4.3.3.2 非破壞性檢測 -----	4-52
4.3.3.3 鑽心試體試驗 -----	4-53
4.3.3.4 ASTM C227 水泥砂漿棒膨脹試驗法 -----	4-56
4.4 結論 -----	4-38
4.4.1 摻用爐石對海砂混拌混凝土之耐久性影響 -----	4-38
4.4.2 混凝土構造物鹼質與粒料反應調查與潛勢分析 -----	4-38
第五章 重力式碼頭檢測系統建置之研究 -----	5-1
5.1 前言 -----	5-1
5.1.1 研究動機 -----	5-1
5.1.2 研究目的 -----	5-2
5.1.3 文獻回顧 -----	5-2
5.1.4 研究方法、時程與目標 -----	5-2
5.2 系統之基本界定 -----	5-3
5.2.1 系統規劃 -----	5-3
5.2.2 檢測標的之界定 -----	5-3

5.2.3	適用人員之界定	5-3
5.2.4	檢測時機之界定	5-4
5.2.5	檢測作業階段之界定	5-5
5.2.6	碼頭異象分類之統合	5-7
5.2.7	碼頭異象之特性	5-8
5.2.8	碼頭異象之成因與常現行為分佈狀況	5-8
5.2.9	碼頭本體設施結構之相關標定	5-10
5.2.10	碼頭本體設施定義與分類	5-10
5.2.11	導致重力式碼頭外部異象基本機制之標定	5-10
5.2.12	重力式碼頭基本檢測部位之標定	5-12
5.3	系統之建構	5-14
5.3.1	系統研建之淵源	5-14
5.3.2	系統研建之特點	5-14
5.3.3	系統之組成	5-15
5.3.4	系統表之編碼與分類	5-16
5.3.5	系統表 A-常用碼頭及本體設施分類編碼表之建構	5-16
5.3.6	系統表 B-碼頭基本勘查內容(項目)參考表之建構	5-17
5.3.7	系統表 C-碼頭基本資料表之建構	5-18
5.3.8	系統表 D-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之建構	5-19
5.3.9	系統表 E-碼頭巡查報告表之建構	5-20
5.3.10	系統表 F1-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之建構	5-21

5.3.11	系統表 F2-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之建構	-5-22
5.3.12	系統表 F3-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之建構	-5-23
5.3.13	系統表 G-碼頭外部異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表之建構	-----5-24
5.3.14	系統表 H-碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表之建構	-----5-25
5.3.15	系統表 S1-碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表之建構	-----5-26
5.3.16	系統表 S2-碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表之建構	-----5-27
5.4	系統之驗證與應用	-----5-28
5.4.1	臺中港 1 號碼頭案例概述	-----5-28
5.4.2	臺中港 1 號碼頭案例系統表 C 之驗證	-----5-29
5.4.3	臺中港 1 號碼頭案例系統表 D 之驗證	-----5-31
5.4.4	臺中港 1 號碼頭案例系統表 E-之驗證	-----5-36
5.4.5	臺中港 1 號碼頭案例系統表 S 之驗證	-----5-37
5.4.6	高雄港碼頭現地調查之應用	-----5-39
5.4.7	高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 C 之應用	-----5-39
5.4.8	高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 D 之應用	-----5-40
5.4.9	高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 E 之應用	-----5-41
5.4.10	高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 F1 之應用	-----5-42

5.4.11 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 F2 之應用-----	5-43
5.4.12 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 F3 之應用-----	5-44
5.5 結論與建議 -----	5-42
第六章 活性粉混凝土補強 R.C.構件與耐久性之研究(1/2) -----	6-1
6-1 計劃概述 -----	6-1
6.1.1 前言 -----	6-1
6.1.2 研究動機及目的 -----	6-2
6.2 文獻回顧 -----	6-2
6.2.1 活性粉混凝土起源與設計理念 -----	6-2
6.2.2 活性粉混凝土性質 -----	6-3
6.2.3 活性粉混凝土之應用 -----	6-3
6.2.4 混凝土結構物之補強 -----	6-3
6.2.4.1 混凝土結構之補強材料 -----	6-4
6.2.4.2 RPC 修補混凝土結構物-----	6-5
6.3 活性粉混凝土配比設計邏輯及理論 -----	6-5
6.3.1 RPC 修補材料的選材原則-----	6-5
6.3.2 RPC 修補材的基本特性要求-----	6-5
6.3.3 RPC 配比設計方法-----	6-6
6.3.3.1 RPC 設計理論-----	6-6
6.3.3.2 Fuller'緻密配比設計-----	6-6
6.3.3.3 RPC 材料粒徑分析-----	6-7

6.3.3.4 配比設計流程	6-7
6.4 試驗計畫	6-8
6.4.1 試驗概述	6-8
6.4.2 混凝土試體製作與規劃	6-9
6.4.2.1 活性粉混凝土試體製作	6-10
6.4.2.2 CFRP 貼片補強混凝土試體製作	6-10
6.4.2.3 RPC 補強混凝土試體製作	6-11
6.4.2.4 養護流程	6-12
6.4.3 試驗方法與試驗儀器（材料基本性能與耐久性質）	6-12
6.4.3.1 基本性能試驗	6-12
6.4.3.2 補強試驗	6-13
6.4.3.3 耐久性試驗	6-14
6.5 試驗結果與討論	6-16
6.5.1 RPC 及材料力學基本性質	6-10
6.5.1.1 工作性	6-18
6.5.1.2 抗壓強度	6-18
6.5.1.3 劈裂試驗	6-22
6.5.1.4 抗彎強度	6-24
6.5.1.5 拉拔試驗	6-26
6.5.1.6 斜剪試驗	6-28
6.5.2 RPC 耐久性試驗	6-29

6.5.2.1 氯離子電滲量量測	6-29
6.5.2.2 表面電阻	6-31
6.5.2.3 超音波試驗	6-33
6.5.2.4 碳化試驗	6-36
6.5.2.5 表面磨耗試驗	6-36
6.5.2.6 SEM 觀測	6-37
6.5.2.7 EDS 試驗	6-37
6.5.2.8 XRD 試驗	6-39
6.5.2.9 MIP 試驗	6-40
6.5.2.10 氣體滲透試驗	6-43
6.5.2.11 水份吸收試驗	6-44
6.5.3 RPC 補強成效試驗	6-46
6.5.3.1 圓柱抗壓貼片補強試驗	6-47
6.5.3.2 抗彎貼片補強試驗	6-49
6.6 結果與討論	6-59
6.6.1 基本材料性質與力學性質	6-59
6.6.2 耐久性質	6-59
6.6.3 修補性能與評估	6-60
第七章 結論	7-1
參考文獻	8-1
附錄-自辦計畫簡報	附錄-1

表目錄

表 3.1 海水中鋼構造物之防蝕保護電位標準-----	3-5
表 3.2 鋼板（管）樁碼頭構造物背景資料 -----	3-7
表 3.3 高雄港 54 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-10
表 3.4 高雄港 54 號碼頭鋼板樁保護電位值（1）-----	3-13
表 3.5 高雄港 54 號碼頭鋼板樁保護電位值（2）-----	3-14
表 3.6 高雄港 55 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-16
表 3.7 高雄港 55 號碼頭鋼板樁保護電位值（1）-----	3-21
表 3.8 高雄港 55 號碼頭鋼板樁保護電位值（2）-----	3-22
表 3.9 高雄港 56 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-24
表 3.10 高雄港 56 號碼頭鋼板樁保護電位值（1）-----	3-29
表 3.11 高雄港 56 號碼頭鋼板樁保護電位值（2）-----	3-30
表 3.12 高雄港 57 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率-----	3-32
表 3.13 高雄港 57 號碼頭鋼板樁保護電位值 -----	3-33
表 3.14 馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率 -----	3-36
表 3.15 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 -----	3-37
表 3.16 馬公港 6 號碼頭鋼管樁保護電位值-----	3-40
表 3.17 馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率 -----	3-41
表 3.18 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 -----	3-43
表 3.19 馬公港 7 號碼頭鋼管樁保護電位值-----	3-46
表 3.20 馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率 -----	3-47

表 3.21 馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 -----	3-48
表 3.22 馬公港 8 號碼頭鋼管樁保護電位值 -----	3-50
表 3.23 高雄港 54 碼頭陽極塊發生電位量測結果 -----	3-54
表 3.24 馬公港 6 碼頭陽極塊發生電位量測結果 -----	3-55
表 3.25 馬公港 7 碼頭陽極塊發生電位量測結果 -----	3-56
表 3.26 馬公港 8 碼頭陽極塊發生電位量測結果 -----	3-56
表 3.27 高雄港 54 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果 -----	3-59
表 3.28 馬公港 6 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果 -----	3-62
表 3.29 馬公港 7 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果 -----	3-64
表 3.30 馬公港 8 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果 -----	3-66
表 3.31 高雄港 54 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果 -----	3-68
表 3.32 馬公港 6 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果 -----	3-69
表 3.33 馬公港 7 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果 -----	3-69
表 3.34 馬公港 8 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果 -----	3-70
表 3.35 國內主要商港鋼構碼頭腐蝕現況調查結果 -----	3-71
表 4.1 試體之相關試驗內容 -----	4-3
表 4.2 混凝土試體配比設計數據 -----	4-5
表 4.3 圓柱試體長度直徑比 -----	4-9
表 4.4 超音波脈波速度與混凝土品質之關係 -----	4-10
表 4.5 混凝土電阻係數與鋼筋腐蝕活性之關係 -----	4-10
表 4.6 ASTM C-876 鋼筋電位值與腐蝕機率之關係 -----	4-13

表 4.7 配比 A(水灰比 0.45 , 河砂)-----	4-19
表 4.8 配比 A(水灰比 0.45 , 海砂)-----	4-19
表 4.9 配比 B(水灰比 0.60 , 河砂)-----	4-21
表 4.10 配比 B(水灰比 0.60 , 海砂) -----	4-21
表 4.11 粒料之基本物理性質 -----	4-22
表 4.12 各類試體編號說明 -----	4-22
表 4.13 各試驗牆之中性化深度 -----	4-28
表 4.14 鑽心與灌製試體之超音波脈波速度(km/sec)-----	4-29
表 4.15 試驗牆現地超音波量測(km/sec) -----	4-32
表 4.16 鑽心試體之電阻係數 -----	4-36
表 4.17 鑽心與灌製試體之抗壓強度(kg/cm ²)-----	4-37
表 4.18 試體抗壓強度試驗結果 (kg/cm ²) -----	4-41
表 4.19 試體超音波脈波速度試驗結果 (km/sec) -----	4-45
表 4.20 水灰比 0.45 鋼筋腐蝕電位與齡期的關係 (mV) -----	4-48
表 4.21 水灰比 0.60 鋼筋腐蝕電位與齡期的關係 (mV) -----	4-49
表 4.22 現場試錘試驗與中性化深度量測之結果 -----	4-52
表 5.1 高雄港碼頭外視異象實地勘查案例統計表 -----	5-7
表 5.2 系統表之編碼與分類狀況 -----	5-16
表 5.3 港灣設施安全檢測評估系統表-A -----	5-17
表 5.4 港灣設施安全檢測評估系統表-B -----	5-17
表 5.5 港灣設施安全檢測評估系統表-C -----	5-18

表 5.6	港灣設施安全檢測評估系統表-D-----	5-19
表 5.7	港灣設施安全檢測評估系統表-E -----	5-20
表 5.8	港灣設施安全檢測評估系統表-F1-----	5-21
表 5.9	港灣設施安全檢測評估系統表-F2-----	5-22
表 5.10	港灣設施安全檢測評估系統表-F3 -----	5-23
表 5.11	港灣設施安全檢測評估系統表-G-----	5-24
表 5.12	港灣設施安全檢測評估系統表-H-----	5-25
表 5.13	港灣設施安全檢測評估系統表-S1-----	5-26
表 5.14	港灣設施安全檢測評估系統表-S2-----	5-27
表 5.15	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-C -----	5-30
表 5.16	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-D1 -----	5-31
表 5.17	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-D2 -----	5-32
表 5.18	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-D3 -----	5-33
表 5.19	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-D4 -----	5-34
表 5.20	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-D5 -----	5-35
表 5.21	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-E -----	5-36
表 5.22	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-S1-----	5-37
表 5.23	臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-S2-----	5-38
表 5.24	高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-C-----	5-39
表 5.25	高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-D -----	5-40
表 5.26	高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-E-----	5-41

表 5.27 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-F1	-----5-42
表 5.28 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-F2	-----5-43
表 5.29 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-F3	-----5-44
表 6.1 十二組膠結砂漿及三組活性粉混凝土(RPC)配比材料	-----6-17
表 6.2 十五組配比新拌漿體流動度試驗值	-----6-17
表 6.3 膠結砂漿及 PRC 之抗壓強度	-----6-20
表 6.4 膠結砂漿及 RPC 之劈裂強度	-----6-23
表 6.5 膠結砂漿與 RPC 之抗彎強度	-----6-25
表 6.6 拉拔試驗結果	-----6-27
表 6.7 斜剪試驗結果	-----6-28
表 6.8 膠結砂漿與 RPC 之電滲量	-----6-30
表 6.9 膠結砂漿與 RPC 之表面電阻	-----6-32
表 6.10 膠結砂漿與 PRC 之超音波波速	-----6-34
表 6.11 不同材料碳化試驗結果	-----6-36
表 6.12 本研究各類混凝土磨耗深度	-----6-37
表 6.13 MIP 孔隙分佈試驗值(RPC)	-----6-41
表 6.14 不同材料之氣體滲透係數	-----6-43
表 6.15 不同材料之水份吸收試驗值	-----6-45
表 6.16 RPC#15 基本力學性質(7 天)(含動彈、動剪)	-----6-46
表 6.17 RPC#15 耐久性質(7 天)	-----6-46
表 6.18 RPC#14 圓柱補強	-----6-47

表 6.19 RPC#15 圓柱補強-----	6-48
表 6.20 PRC#14 貼片抗彎補強-----	6-51
表 6.21 RPC#15 貼片抗彎補強-----	6-52

圖目錄

圖 3.1 調查規劃流程圖	3-2
圖 3.2 檢測水深標示方式	3-3
圖 3.3 陽極塊尺寸量測位置	3-6
圖 3.4 高雄港 54 至 57 號碼頭平面佈置	3-8
圖 3.5 高雄港 54 至 57 號碼頭結構斷面	3-8
圖 3.6 FSP A U 型鋼板樁 BOX 型式	3-9
圖 3.7 高雄港 54 碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖	3-9
圖 3.8 高雄港 54 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係	3-10
圖 3.9 高雄港 54 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	3-11
圖 3.10 高雄港 54 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	3-12
圖 3.11 高雄港 55 碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖	3-15
圖 3.12 高雄港 55 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係	3-16
圖 3.13 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	3-17
圖 3.14 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	3-18
圖 3.15 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (3)	3-19
圖 3.16 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (4)	3-20
圖 3.17 高雄港 56 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖	3-23
圖 3.18 高雄港 56 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係	3-24
圖 3.19 高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	3-25
圖 3.20 高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	3-26

圖 3.21	高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (3)	-----3-27
圖 3.22	高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (4)	-----3-28
圖 3.23	高雄港 57 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖	-----3-31
圖 3.24	高雄港 57 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係	-----3-32
圖 3.25	高雄港 57 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係	-----3-33
圖 3.26	馬公港碼頭平面佈置圖	-----3-34
圖 3.27	馬公港碼頭鋼管樁結構斷面	-----3-35
圖 3.28	馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係	-----3-36
圖 3.29	馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	-----3-38
圖 3.30	馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	-----3-39
圖 3.31	馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (3)	-----3-40
圖 3.32	馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係	-----3-42
圖 3.33	馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	-----3-44
圖 3.34	馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	-----3-45
圖 3.35	馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係	-----3-47
圖 3.36	馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係	-----3-49
圖 3.37	高雄港 54 號碼頭陽極塊安裝位置	-----3-51
圖 3.38	高雄港 54 號碼頭鋼板樁陽極塊斷面型式	-----3-52
圖 3.39	馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊安裝位置	-----3-53
圖 3.40	馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊斷面型式	-----3-53
圖 3.41	高雄港 54 號碼頭海生物清除前後之情形	-----3-58

圖 3.42 馬公港 6 號碼頭現況	3-60
圖 3.43 馬公港 6 號碼頭海生物清除前後之情形	3-61
圖 3.44 馬公港 7 號碼頭海生物清除前後之情形	3-63
圖 3.45 馬公港 8 號碼頭海生物清除前後之情形	3-65
圖 4.1 試驗流程	4-3
圖 4.2 單座試驗牆之設計詳圖	4-5
圖 4.3 試驗牆埋設之監視系統詳圖	4-6
圖 4.4 試驗牆曝露位置配置圖	4-7
圖 4.5 四探針式之電阻量測示意圖	4-12
圖 4.6 Anode-Ladder-System 之原理	4-17
圖 4.7 Anode-Ladder-System 之排置詳圖	4-18
圖 4.8 試驗流程	4-20
圖 4.9 鋼筋腐蝕電位值量測示意圖	4-24
圖 4.10 HPC-4000psi (Air)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)	4-33
圖 4.11 HPC-4000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)	4-33
圖 4.12 OPC-4000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)	4-34
圖 4.13 OPC-4000psi(Air)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)	4-34
圖 4.14 HPC-5000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)	4-35
圖 4.15 HPC-3000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)	4-35
圖 4.16 混凝土之強度發展	4-36
圖 4.17 腐蝕電位與齡期之關係	4-38

圖 4.18	Ladder System 各陽極對陰之電位與齡期關係	4-39
圖 4.19	配比 A 試體(以河砂混拌)之抗壓強度發展趨勢	4-42
圖 4.20	配比 A 試體(以海砂混拌)之抗壓強度發展趨勢	4-42
圖 4.21	配比 B 試體(以河砂混拌)之抗壓強度發展趨勢	4-43
圖 4.22	配比 B 試體(以海砂混拌)之抗壓強度發展趨勢	4-43
圖 4.23	配比 A 試體之超音波脈波速度與齡期的關係	4-44
圖 4.24	配比 B 試體之超音波脈波速度與齡期的關係	4-45
圖 4.25	配比 A 試體之電阻係數與養生齡期的關係	4-46
圖 4.26	配比 B 試體之電阻係數與養生齡期的關係	4-47
圖 4.27	石梯港消波塊 X 光繞射分析試驗結果	4-53
圖 4.28	臺東海濱公園消波塊 X 光繞射分析試驗結果	4-54
圖 4.29	臺東大武公園消波塊 X 光繞射分析試驗結果	4-54
圖 5.1	碼頭外部異象 3 大特性之關聯圖	5-8
圖 5.2	導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖	5-11
圖 5.3	導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖	5-12
圖 5.4	重力式方塊碼頭檢測部位標稱示意圖	5-13
圖 5.5	重力式沉箱碼頭檢測部位標稱示意圖	5-13
圖 5.6	檢測系統組成架構示意圖	5-15
圖 6.1	抗彎補強試體尺寸與斷面示意圖	6-11
圖 6.2	圓柱抗壓補強試體尺寸與斷面示意圖	6-12
圖 6.3	斜剪試驗試體示意圖	6-12

圖 6.4 膠結砂漿及 RPC 新拌性質坍流度試驗值 (15 組)	-----6-18
圖 6.5 膠結砂漿在不同齡期抗壓強度發展(W/B=0.20 , 不含飛灰或爐石粉)	-----6-20
圖 6.6 膠結砂漿在不同齡期抗壓強度發展(W/B=0.17 , 不含飛灰或爐石粉)	-----6-21
圖 6.7 膠結砂漿在不同齡期抗壓強度發展(W/B=0.20 , 添加飛灰與爐石粉)	-----6-21
圖 6.8 RPC 抗壓強度 (第#13 及#14 組)	-----6-22
圖 6.9 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期劈裂強度發展(W/B=0.20)	-----6-23
圖 6.10 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期劈裂強度發展(W/B=0.17)	----6-24
圖 6.11 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期抗彎強度發展(W/B=0.20)	----6-25
圖 6.12 膠結砂漿在不同齡期抗彎強度發展(W/B=0.17)	-----6-26
圖 6.13 RPC 及水泥砂漿拉拔試驗結果	-----6-27
圖 6.14 RPC 斜剪試驗結果	-----6-29
圖 6.15 膠結砂漿及 RPC 電滲量(控制組 Mortar > 40000 庫倫) (W/C=0.20)	-----6-30
圖 6.16 膠結砂漿電滲量(控制組 Mortar > 40000 庫倫) (W/C=0.17)	6-31
圖 6.17 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期之表面電阻(W/C=0.20)	-----6-32
圖 6.18 膠結砂漿在不同齡期之表面電阻(W/C=0.17)	-----6-33
圖 6.19 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期超音波波速發展(W/B=0.20)	-6-34
圖 6.20 膠結砂漿在不同齡期超音波波速發展(W/B=0.17)	-----6-35
圖 6.21 膠結砂漿添加飛灰與爐石在不同齡期超音波波速發展 (W/B=0.20)	-----6-35

圖 6.22 表面磨耗試驗結果	6-37
圖 6.23 EDS 圖 (RPC #13)	6-38
圖 6.24 EDS 圖 (RPC #14)	6-38
圖 6.25 EDS 圖 (RPC #15)	6-39
圖 6.26 RPC#15 配比的 XRD 分析	6-40
圖 6.27 典型#13-1 試體 MIP 孔隙隙量測結果	6-41
圖 6.28 典型#14-1 試體 MIP 孔隙隙量測結果	6-42
圖 6.29 典型#15-1 試體 MIP 孔隙隙量測結果	6-42
圖 6.30 典型#15-2 試體 MIP 孔隙隙量測結果	6-43
圖 6.31 氣體滲透試驗結果	6-44
圖 6.32 不同材料 3 天水份吸收率試驗結果	6-45
圖 6.33 RPC#14 圓柱補強抗壓試驗結果	5-48
圖 6.34 RPC#15 圓柱補強抗壓試驗結果	5-49
圖 6.35 NC 未補強 (第一次)	5-53
圖 6.36 CFRP 補強一層 (第一次)	5-53
圖 6.37 CFRP 補強兩層 (第一次)	5-54
圖 6.38 RPC#14 補強 10 mm	5-54
圖 6.39 RPC#14 補強 20 mm	5-55
圖 6.40 RPC#14 U 型補強	5-55
圖 6.41 NC 未補強 (第二次)	5-56
圖 6.42 CFRP 補強一層 (第二次)	5-56

圖 6.43 CFRP 補強兩層 (第二次)	5-57
圖 6.44 RPC#15 補強 10 mm	5-57
圖 6.45 RPC#15 補強 20 mm	5-58
圖 6.46 RPC#15 U 型補強	5-58

照片目錄

照片 4.1 混凝土試驗牆鑽心試驗	4-11
照片 4.2 現地混凝土試驗牆超音波量測	4-11
照片 4.3 混凝土電阻係數量測儀	4-12
照片 4.4 MnO_2 參考電極	4-15
照片 4.5 AgCl 參考電極	4-15
照片 4.6 Anode-Ladder-System 腐蝕監視系統	4-16
照片 4.7 可攜式 CANIN 量測儀	4-16
照片 4.8 鋼筋腐蝕電位量測之試體灌製前之情形	4-24
照片 4.9 鋼筋腐蝕電位值量測之情形	4-25
照片 4.10 中性化較為嚴重的 OPC 混凝土試體	4-29
照片 4.11 花蓮港新東堤堤身地圖狀裂縫 1	4-50
照片 4.12 花蓮港新東堤堤身地圖狀裂縫 2	4-50
照片 4.13 花蓮港航道消波塊地圖狀裂縫	4-50
照片 4.14 石梯港消波塊地圖狀裂縫	4-50
照片 4.15 新港漁港消波塊地圖狀裂縫	4-50
照片 4.16 富崗漁港堤防裂損現況	4-50
照片 4.17 臺東海濱公園消波塊地圖狀裂縫 1	4-51
照片 4.18 臺東海濱公園消波塊地圖狀裂縫 2	4-51
照片 4.19 臺東大武公園消波塊地圖狀裂縫	4-51
照片 4.20 跨越之臺九線鐵路橋平行主鋼筋方向裂縫	4-51

照片 4.21 臺九線公路橋樑橋墩裂縫 1	-----4-51
照片 4.22 臺九線公路橋樑橋墩裂縫 2	-----4-51
照片 4.23 鑽心試體中性化程度量測情形	-----4-52
照片 4.24 石梯港消波塊 SEM 照片	-----4-55
照片 4.25 臺東海濱公園消波塊 SEM 照片	-----4-55

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。

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。

本研究執行期程為四年，總計畫研究內容規畫為七個子計畫，依不同期程執行。本年度為執行之第一年，預定執行四個子計畫，簡述如下；子計畫(一)：碼頭構造物現況調查研究，以澎湖馬公港之鋼板樁碼頭腐蝕現況為調查重點；子計畫(二)：港灣鋼筋混凝土耐久性之研究，探討應用新材料、新工法於港灣土建工程，藉以提升結構物之品質與耐久性；子計畫(三)：重力式碼頭檢測系統建置之研究；子計畫(四)：活性粉混凝土補強 R.C.構件與耐久性之研究(1/2)(與國立臺灣科技大學共同合作研究)。

本年度已完成之工作內容如下；(1)澎湖馬公港區鋼板樁碼頭之腐蝕現況調查及資料建檔(2)海砂混凝土及高性能混凝土之耐久性試驗分析(3)重力式碼頭檢測系統之建置(4)活性粉混凝土(RPC)之最適配比設計。詳細之研究內容及結果(未含子計畫四)，請參閱本報告其它章節。

第二章 研究計畫概述

2.1 研究時程

本計畫研究期程為四年,自民國 94 年 1 月起至民國 97 年 12 月止。因應實務、時空與政策考量下,本計畫規畫為七個子計畫,依不同期程執行。

2.2 計畫摘要與研究內容

2.2.1 子計畫(一):碼頭構造物現況調查研究

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。

近十數年來,臺灣本島五大商港區之碼頭結構物現況調查,已陸續進行中。相對於離島地區之港灣設施,諸如澎湖馬公與金門碼頭之

狀況，多年來都未曾進行調查與資料檔案建置，因此，本子計畫特別加入離島地區之港灣設施現況調查，做為研究重點之一。相關研究內容如下；

2.2.1.2 研究內容

第一年(馬公港鋼管樁碼頭現況調查)

馬公港部份鋼管樁碼頭使用迄今已超過二十年之設計年限，以往尚無腐蝕調查等相關資料，本年度將全面檢測，以建立該港區鋼管樁之腐蝕資料。研究重點如下：

- 1.海水水質調查分析
- 2.鋼管樁腐蝕現況調查
- 3.鋼管樁厚度量測
- 4.鋼管樁腐蝕速率分析

第二年(金門料羅灣港鋼管樁碼頭現況調查)

金門地處福建東南沿海，九龍江口外之島嶼，四面環海，西距大陸廈門僅十數公里。島上料羅灣港為海峽兩岸通商港口，現有鋼管樁碼頭兩座，啟用至今，腐蝕狀況尚無相關資料可查，是否因地理位置、環境與臺灣略有不同，而有所差異？研究重點如下：

- 1.海水水質調查分析
- 2.鋼管樁腐蝕現況調查
- 3.鋼管樁厚度量測
- 4.鋼管樁腐蝕速率分析

第三、四年(以臺灣地區五港區之碼頭 R.C.結構物現況為調查對像)

- 1.碼頭設施現況調查
- 2.現地非破壞性檢測與評估
- 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)：港灣鋼筋混凝土耐久性之研究

2.2.2.1 計畫摘要

港灣設施大量使用混凝土材料建造，由於混凝土為一多孔隙性之材料，於海洋環境下甚易受到海水或海風挾帶高量鹽份之侵入，造成鋼筋混凝土結構物中之鋼筋發生銹蝕、體積膨脹，導致混凝土的剝落、塌陷、終致損壞等之嚴重問題。

近年來，隨著時代之演進與科技的進步，新材料(諸如添加波索蘭摻料)、新施工技術(如免搗實自充填混凝土)、加速養護等工法，不斷的在開發應用，不但提升混凝土使用效能與工程品質，並大幅提高結構物之耐久性與安全性。臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港灣工程設施之建造、維護與安全極其重要，不言可喻。

2.2.2.2 研究內容

- 1.混凝土材料之應用與性能提升之探討
- 2.混凝土「鹼質與粒料反應」之現地調查與防治改善之探討
- 3.自充填混凝土應用於港灣工程設施
4. R.C.結構物之耐久性與鋼筋防蝕防治
- 5.結構物現況檢測及安全評估與維護

2.2.3 子計畫(三)：重力式碼頭檢測系統建置之研究

2.2.3.1 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。

2.2.3.2 研究內容

第一年

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

3.建置建置重力式碼頭本體設施簡易安全檢測系統。

第二年

建置鋼板樁碼頭本體設施簡易安全檢測系統。

第三年

建置棧橋式碼頭本體設施簡易安全檢測系統。

第四年

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。

2.2.4 子計畫(四)：活性粉混凝土補強 R.C.構件與耐久性之研究(1/2)

2.2.4.1 計畫摘要

鋼筋混凝土原為一耐久性極佳之營建材料，結構物建造完成起用後，甚小或不需維護。然而，臺灣四面環海，地處環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，每年颱風侵襲不斷，早年建造之許多公共工程諸如橋樑、港灣等交通設施，由於使用年代已久，除了屢遭風災襲擊外，超負荷及不當使用，鋼筋混凝土結構物甚易造成劣化損壞，已面臨必需補強修護以維持其耐久性與使用性，如無適時進行修護，一旦損壞危及結構安全，打掉重建所需費用不只。

鋼筋混凝土結構物維修補強是非常的複雜，要完成一項耐久性及有效率的修補工程，需要有一套健全的作業流程，主要步驟可包括(a)修補分析、策略及設計(b)修補材料選擇(c)修補面的準備(d)鋼筋的清理、修補及保護(e)修補材料與底材界面的黏結力(f)澆置的技術。

本計畫為期兩年，主要以活性粉混凝土之補強材料，對補強鋼筋混凝土構件與其耐久性成效之評估與探討。

2.2.4.2 研究內容

第一年

1.補強材料之配比設計與力學性質探討

2.補強材料之基本性能及耐久性試驗

(1)耐久性試驗。

(2)基本性能試驗。

抗壓強度、抗彎強度、斜剪強度、直剪強度、劈張強度、鋼筋

握裹強度、磨損試驗。

3.碳纖維貼片(CFRP)與活性粉混凝土(RPC)補強成效試驗。

4.建立各項理論模式與分析法。

第二年

進行縮小尺寸鋼筋混凝土梁柱接頭或樑柱補強，以實際 R.C.構件驗證活性粉混凝土補強效果，並建立補強施工程序及建議評估與補強方針。

2.2.5 子計畫(五)：廢棄混凝土再利用於港灣構造物之研究

2.2.5.1 計畫摘要

港灣混凝土構造物因其所處環境，其廢棄後性質，不同於一般陸地之廢棄混凝土，主要原因在於港灣混凝土構造物長期處於高鹽分環境下，因此其含鹽量較高，此對於再利用來做為再生資源，有可能對某些構造物有害處，而廢棄物再利用為未來趨勢，本研究嘗試探討廢棄港灣混凝土構造物再利用的可行性，期望提出可行之再利用方向，節省新資源之應用。本計畫研究期程二年，研究內容簡述如後。

2.2.5.2 研究內容

第一年

- 1.國內外文獻蒐集與回顧
- 2.國內港灣廢棄混凝土之現況與數量調查
- 3.國內外港灣混凝土構造物再利用之案例蒐集
- 4.一般廢棄混凝土之性質、數量與應用狀況調查

第二年

- 1.港灣劣化(或損壞)混凝土材料實驗室相關試驗
- 2.港灣再生(劣化)混凝土現地試驗

3.港灣再生混凝土用途規畫及使用成效評估

4.港灣再生混凝土之成本分析

2.2.6 子計畫(六)：港灣 PC 構造物腐蝕檢測技術之研究

2.2.6.1 計畫摘要

預力混凝土(prestressed concrete, PC)為港灣結構的主要組成，常年於海洋環境的侵襲下，因海水中或大氣中的氯離子入侵，促使鋼鍵銹蝕劣化，造成混凝土膨脹裂開，表面剝落，強度降低，甚至破壞整個結構物。因此，瞭解預力混凝土在海洋環境中的腐蝕行為並採用適當的檢測方法，以確保結構物之耐久與安全，有其重要與必要性。目前國內各單位檢測方法不一，尚未制定相關規範，以致檢測結果互有差異；有鑑於此，亟研擬一套符合國內環境需求的檢測規範，以供日後港工 PC 結構物腐蝕檢測時的參考依據。

2.2.6.2 研作內容

第一年

- 1.預力鋼鍵(prestressing steel)劣化原因分析。
- 2.新結構物防蝕方法蒐集評估。
- 3.蒐集國內外檢測方法與檢測儀器。
- 4.建立既有結構物現場評估標準程序。
- 5.修補技術介紹。

第二年

- 1.選擇 3 處港工 PC 結構物，依據第一年建立之現場評估標準程序，進行腐蝕檢測。
- 2.制定港工 PC 結構物腐蝕檢測準則草案。

3.召開專家座談會二次。

2.2.7 子計畫(七)：鋅網在碼頭 R.C.基樁潮間帶陰極防蝕之應用研究

2.2.7.1 計畫摘要

民國 90 年，本所(交通部運輸研究所)與中華民國防蝕工程學會共同合作辦理「研訂港灣構造物陰極防蝕準則(草案)-R.C.結構物部份」，迄今，本所與工研院材料所已依據準則(草案)執行鋅熔射犧牲陽極式與鈦條外加電流式的陰極保護評估研究。由於鋅網犧牲陽極式陰極防蝕工法業已被美國佛羅里達州交通局(FDOT)評估為潮間帶 R.C.構造物最佳的防蝕工法，目前國內尚無研究評估數據；有鑑於此，本計畫擬針對鋅網陰極防蝕工法在潮間帶的應用進行示範工程與評估研究，建立本土化之數據，作為日後潮間帶 RC 基樁之防蝕工法選擇與施工的參考依據。

2.2.7.2 研作內容

第一年

- 1.國外鋅網陰極防蝕使用案例說明。
- 2.選擇碼頭 RC 基樁一處，進行鋅網陰極防蝕示範工程與監測系統設置。
- 3.保護初期，針對混凝土內鋼筋進行外加電流式與犧牲陽極式的極化方式，評估鋼筋極化行為。
- 4.陰極防蝕效果評估。

第二年

- 1.碼頭 RC 基樁鋼筋退極化數據蒐集與陰極防蝕效果評估。

- 2.擬訂鋅網陰極防蝕材料與施工標準作業程序。
- 3.擬訂陰極防蝕驗收標準程序與保護效果檢測程序。

第三章 碼頭結構物現況調查研究

3.1 前言

臺灣四周環海，港灣構造物除遭受惡劣的海洋環境侵蝕外，並需經年累月承受颱風侵襲所挾帶之強風猛浪及豪雨，此外，由於板塊作用經常發生規模不小之地震，均造成港灣構造物劣化毀損機率高於其他構造物。

港灣構造物主要包含防波堤及碼頭。防波堤為港灣之外廓工程，用以防止海洋波浪直接侵入至港灣作業水域內，維持水域之靜穩。碼頭則為提供船舶停靠、裝卸貨物之重要設施，其建造材料可分為鋼筋混凝土及鋼材兩種。

國內商港碼頭其構造型式包括重力式、版樁式、基樁擁壁式、棧橋式等，由於鋼材具有施工設備簡單、施工期短，工程費用少、結構體較富彈性、耐震性強、不需要水下基礎工程 等優點，在港灣工程中廣受應用，然而其最大的缺點為容易發生腐蝕。

本所港研中心即於民國 79 年開始，即陸續針對國內五大港口及其附屬港之鋼構碼頭進行全面性調查。為建立更完整之鋼樁碼頭腐蝕資訊，除已完成主要商港鋼樁碼頭之腐蝕現況調查外，並初步構建港灣構造物安全檢測與評估程序及完成「港灣構造物陰極防蝕準則訂定之研究」，期能建立一套完整之防蝕設計、檢測評估與維修之標準程序，提供規劃設計及維護單位參酌。歷年調查結果顯示，各港之鋼樁如採用適當之防蝕措施，均可達到降低其腐蝕速率之效果，例如，海中帶採用犧牲陽極塊作為防蝕工法。

為確保碼頭營運安全，將繼續鋼管樁碼頭現況調查之研究，本年度(94 年)選定調查對象為高雄港 54 至 57 號鋼板樁碼頭及馬公港 6 至 8 號。期能提供各港務維護單位執行碼頭安全檢測與評估之參考。

3.2 研究規劃與調查方法

3.2.1 規劃流程

本研究參考國內外相關文獻與調查報告後，依實際需求擬訂適當之調查方法與試驗項目，調查規劃流程如圖 3.1 所示。

3.2.2 資料蒐集與分析

蒐集鋼板（管）樁碼頭建造之原始資料，包括碼頭結構設計、板樁型式、防蝕處理方法、使用年限、施工、...等，以及國內外鋼板樁腐蝕防治相關文獻。

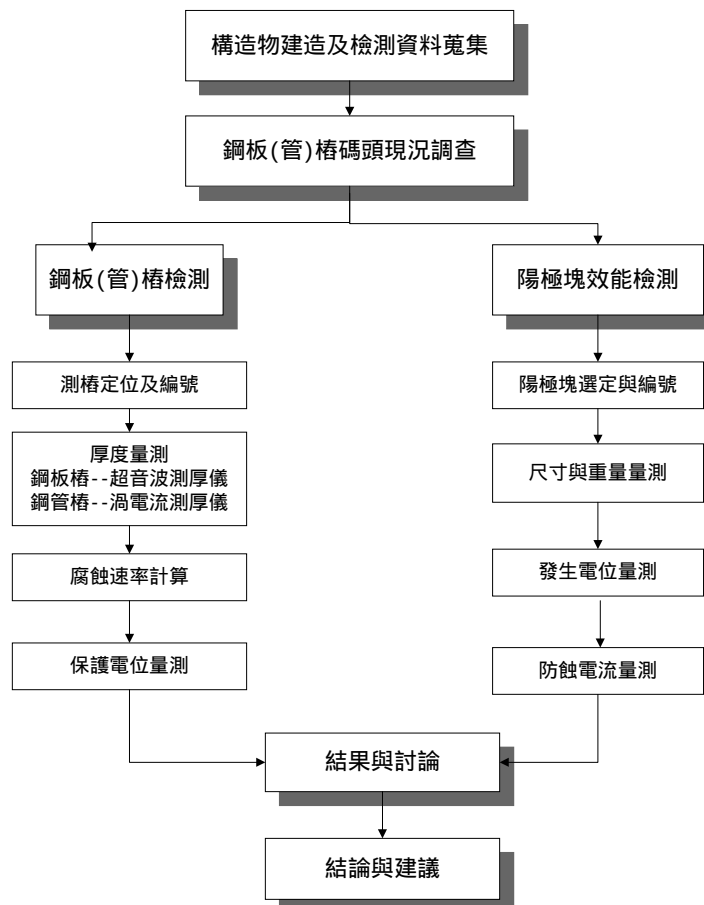


圖 3.1 調查規劃流程圖

3.2.3 檢測範圍

本年度檢測範圍；高雄港 54 至 57 號版樁式碼頭鋼板樁及馬公港 6 至 8 號棧橋式碼頭鋼管樁。

3.2.4 鋼板（管）樁檢測

3.2.4.1 目視檢測

由潛水人員潛入水下，近距離以目視檢測鋼板（管）樁表面腐蝕情況，如發現有破洞或變形則應先標定位置，丈量或記錄破洞大小，再檢查鋼板（管）樁後方級配是否有流失、淘空等現象，最後以照相或攝影存證。

3.2.4.2 厚度量測

1. 選定檢測樁

高雄港 54 至 57 號自起點每 3 公尺選取 1 支鋼板樁為厚度檢測測樁
馬公港 6 至 8 號之鋼管樁選取自海測算起第 1 列及第 2 列樁為測樁。

2. 選定水深與量測位置

依鋼構碼頭之鋼樁腐蝕可能狀況及測樁位於海中帶之長度範圍，每支測樁選定二至十點水深作為量測點。U 型鋼板樁檢測凸面或凹面厚度，鋼管樁則依圓周四等分，取三或四點量測其厚度。檢測水深以平均海平面為基準，標示方式如圖 3.2 所示。

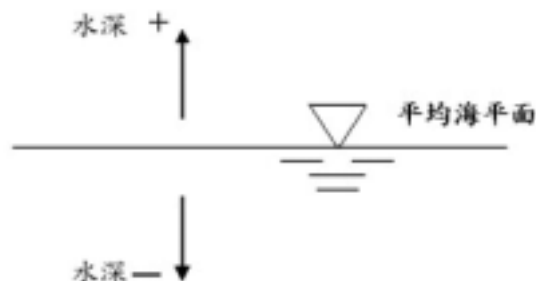


圖 3.2 檢測水深標示方式

3. 厚度量測過程

(1)測厚原理

超音波厚度儀係利用脈衝原理，由於音波在鋼材之傳播速率為一定值，因此，由探頭傳送出一彈性波，經鋼材表面至內壁之傳播時間，即可算出波通過路徑之距離(鋼材厚度)，精準度可達 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ，可由接收器直接讀取厚度。

(2)海生物敲除

使用工具敲除鋼板樁表面上附著之海生物體及鐵銹，敲除面積約 $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 左右。

(3)海生物敲除厚度量測

以英國製之 Cygnus I 型超音波厚度儀之探頭，接觸已敲除清理乾淨之鋼樁表面，即可讀取鋼樁厚度。於每一水深測點量取兩次鋼樁厚度，平均後即為其現有厚度。

4. 腐蝕速率計算

將各測點所測得之厚度數據平均之，可得鋼樁現有厚度。以鋼樁原有厚度減去現有厚度，得出鋼樁實際減少之厚度(即腐蝕厚度)。減少之厚度除以鋼樁使用之年期，即為其實際腐蝕速率。其計算公式如下；

$$\begin{aligned} \text{腐蝕速率} &= \text{腐蝕量} / \text{使用年期} \\ &= (\text{原始厚度}-\text{現有厚度}) / \text{使用年期} \quad (\text{公式 3.1}) \end{aligned}$$

3.2.4.3 鋼樁保護電位量測

以銅/硫酸銅電極為準，量測時以高阻抗電位計或電錶之一端搭接於與鋼樁連結之不銹鋼電位測試棒上，另一端則置於欲量測之鋼樁旁。

防蝕效果的判斷標準如表 3.1 所示，若鋼鐵結構物之保護電位值較標

準防蝕電位值為"負"時，鋼鐵結構物為保護狀態，若電位值比標準防蝕電位值"正"時，則表示保護不足或防蝕效果不佳。以飽和硫酸銅參考電極為例，若鋼鐵結構物之電位值較 -850 mV 為"負"，鋼鐵結構物為保護狀態，但若值較 -850 mV 為"正"，則表示保護不足或防蝕效果不佳。

表 3.1 海水中鋼構造物之防蝕保護電位標準

防蝕保護電位	參考電極
-780 mV	飽和甘汞電極 (SCE)
-800 mV	海水氯化銀電極 (Ag/AgCl/seawater)
-750 mV	飽和氯化銀電極 (Ag/AgCl/sat 'd KCl)
-850 mV	飽和硫酸銅電極 (Cu/CuSO ₄)

3.2.5 陽極塊調查

3.2.5.1 選定陽極塊

陽極塊調查數量分別為高雄港 54 號碼頭選定 21 支，馬公港 6 至 8 號共選定 39 支。

3.2.5.2 陽極塊發生電位量測

1. 潛水人員以飽和硫酸銅電極，置放於陽極塊之上、中、下三處，間隔約 30 公分，岸上人員於三用電錶上讀出電位值。
2. 潛水人員將陽極塊附著之海生物去除後，再以上述方法量測電位一次。

3.2.5.3 陽極塊外觀檢查

陽極塊切割後將陽極塊吊至岸上，先將附著之海生物去除後，觀察記錄陽極塊外觀及消耗情況，並量測陽極塊兩端距端點 10 公分處及中間之現有尺寸，量測位置如圖 3.3 所示。

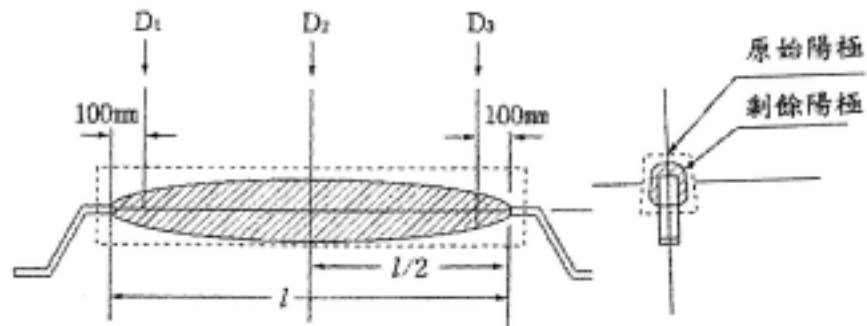


圖 3.3 陽極塊尺寸量測位置

3.2.5.4 陽極塊重量量測

陽極塊完成外觀檢查記錄後，再將其稱重之（最小讀數至 0.1 公斤，陽極塊實際重量應另扣除鐵蕊之重量）。完成殘留重量之量測後，切下之陽極塊必需再焊接回原來之鋼板樁上，切割前後與焊接後均須拍照記錄。

3.2.5.5 陽極塊釋出電流量測

量測時，由潛水人員以電流計之感應環套於陽極塊上方或下方鐵蕊，再由岸上人員直接於電流計讀取電流值。

3.3 結果與討論

3.3.1 碼頭構造物背景資料分析

本年度調查對象為高雄港 54 至 57 號碼頭(鋼板樁)及馬公港 6 至 8 號碼頭(鋼管樁)等構造物，其背景資料如表 3.2 所示。

表 3.2 鋼板(管)樁碼頭構造物背景資料

碼頭名稱	長度 (m)	水深 (m)	鋼板(管)樁 型 式	原始厚度 (mm)	完 工 日 期	防蝕處理
高雄港 54 號	200	10.5	FSP _A U 型鋼板樁	16.1	民國 65 年	犧牲陽極
高雄港 55 號	200	10.5	FSP _A U 型鋼板樁	16.1	民國 65 年	犧牲陽極
高雄港 56 號	200	10.5	FSP _A U 型鋼板樁	16.1	民國 65 年	犧牲陽極
高雄港 57 號	184	10.5	FSP _A U 型鋼板樁	16.1	民國 65 年	犧牲陽極
馬公港 6 號	120	7.5	φ609 mm 鋼管樁	12	民國 81 年	犧牲陽極法
馬公港 7 號	56	7.5	φ609 mm 鋼管樁	12	民國 81 年	犧牲陽極法
馬公港 8 號	140	7.5	φ609 mm 鋼管樁	12	民國 81 年	犧牲陽極法

3.3.2 鋼板樁現況檢測

3.3.2.1 高雄港 54 號碼頭

本座碼頭於民國 65 年完工，水深 10.5 公尺，碼頭全長 200 公尺，採用 FSP_A U 型組合之鋼板樁建造，鋼板樁於完工後即安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施，整支鋼板樁均位於海水中。碼頭平面位置、結構斷面、使用鋼板樁型式分別示如圖 3.4 至圖 3.6。

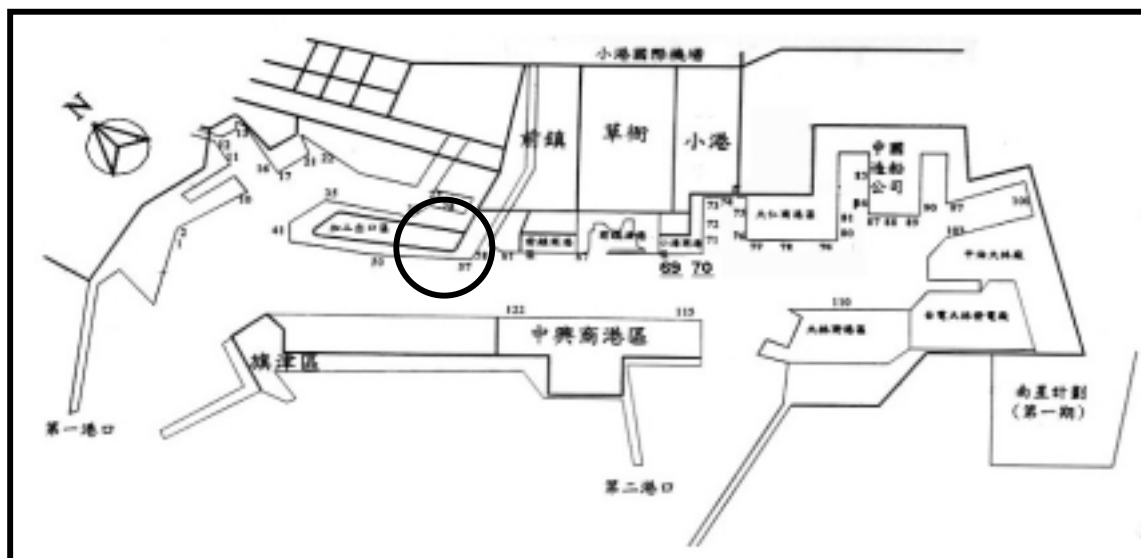


圖 3.4 高雄港 54 至 57 號碼頭平面佈置

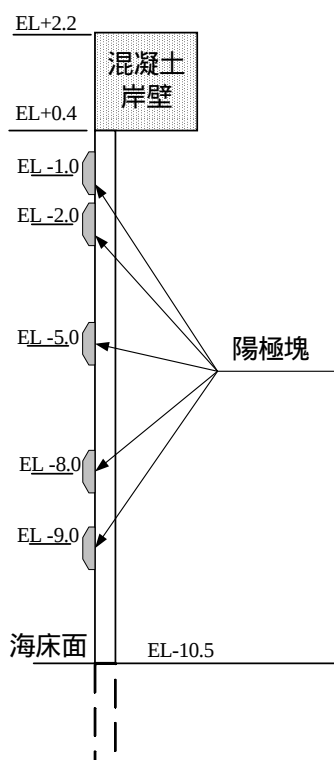


圖 3.5 高雄港 54 至 57 號碼頭結構斷面

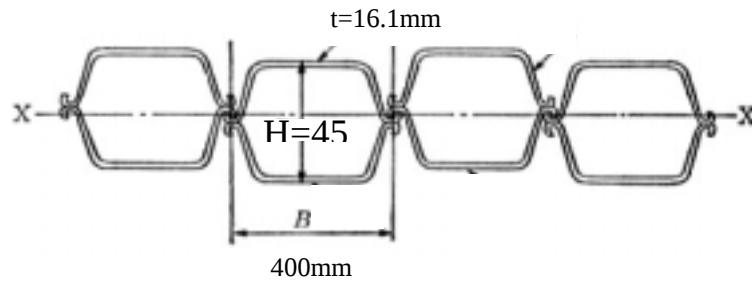


圖 3.6 FSP_A U 型鋼板樁 BOX 型式

1.目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2.鋼板樁厚度

圖 3.7 為 54 號碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖，於自起點起隔 3 支樁取 1 支測樁，共選取 40 支測樁。每支測樁檢測水深分別為 +0.3m、-1.0 m、-2.0 m、-3.0 m、-4.0 m、-5.0 m、-6.0 m、-7.0 m、-8.0 m，計 9 個深度測點，檢測點共計 360 點。

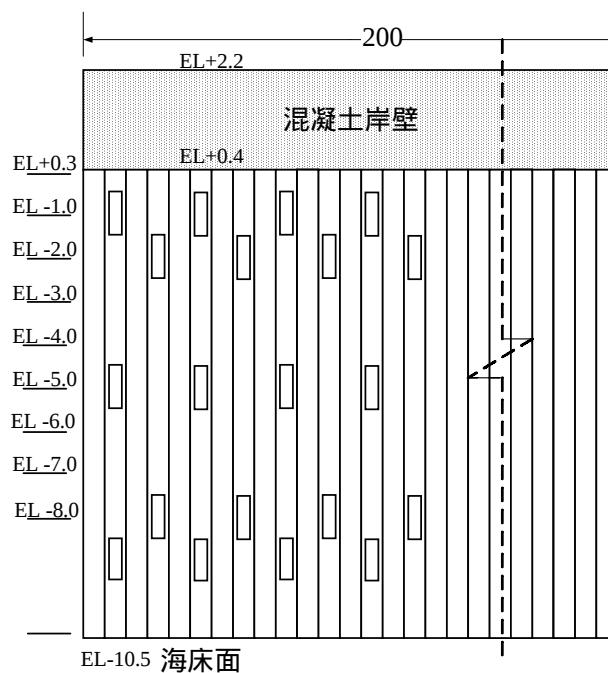


圖 3.7 高雄港 54 號碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖

表 3.3 及圖 3.8 為 54 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率為 0.04 ~ 0.05 mm/yr. mm/yr.左右，遠小於設計允許值（0.20 mm/yr.），圖 3.9 至圖 3.10 為各測樁腐蝕速率與水深關係，每一測點之腐蝕速率均小於設計允許值；鋼板樁使用時間雖已超過 28 年，現有厚度僅少數測點為 13.1 mm，最大減少厚度約 3.0 mm，換算為腐蝕速率約 0.10 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧牲陽極塊已達到防蝕之目的。

表 3.3 高雄港 54 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0	-7.0	-8.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04

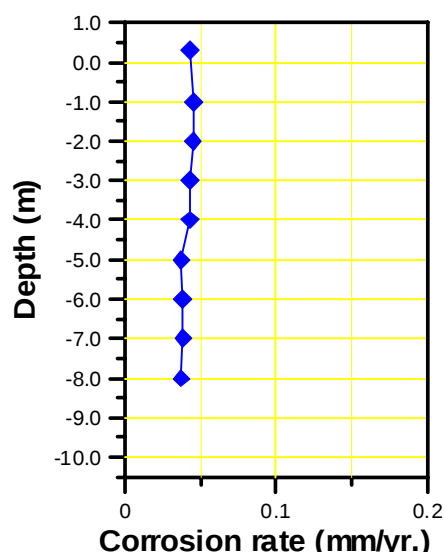


圖 3.8 高雄港 54 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

鋼板樁保護電位量測位置約每 2 公尺取一支樁為測樁，共取 120 支測樁，量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m，量測結果列於表 3.4 至表 3.5。保護電位最大值為 -1038 mV，最小值為 -11137 mV，均小於 -850 mV（以 Cu/CuSO₄ 電極量測），鋼板樁處於防蝕保護狀態。

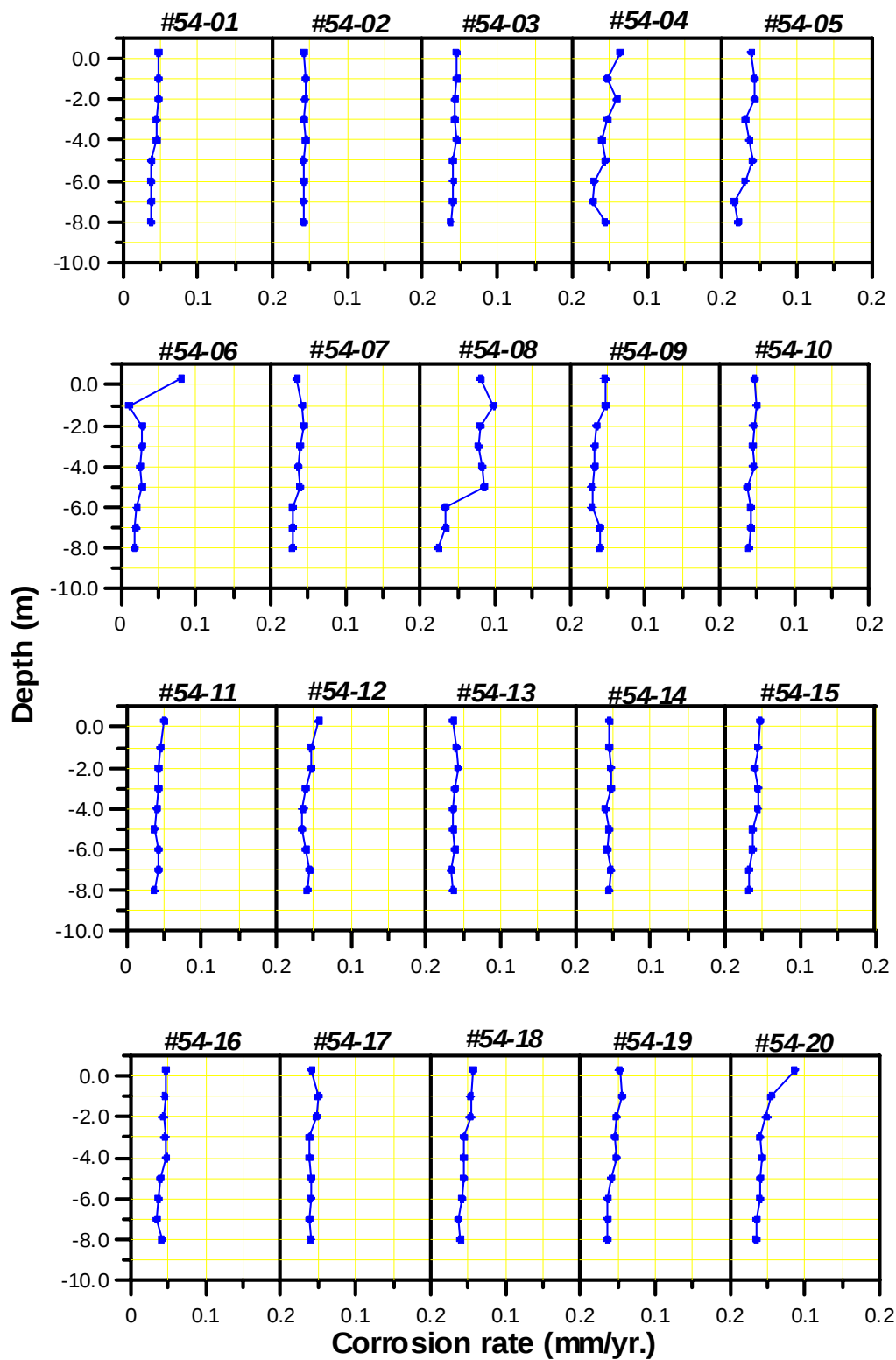


圖 3.7 高雄港 54 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

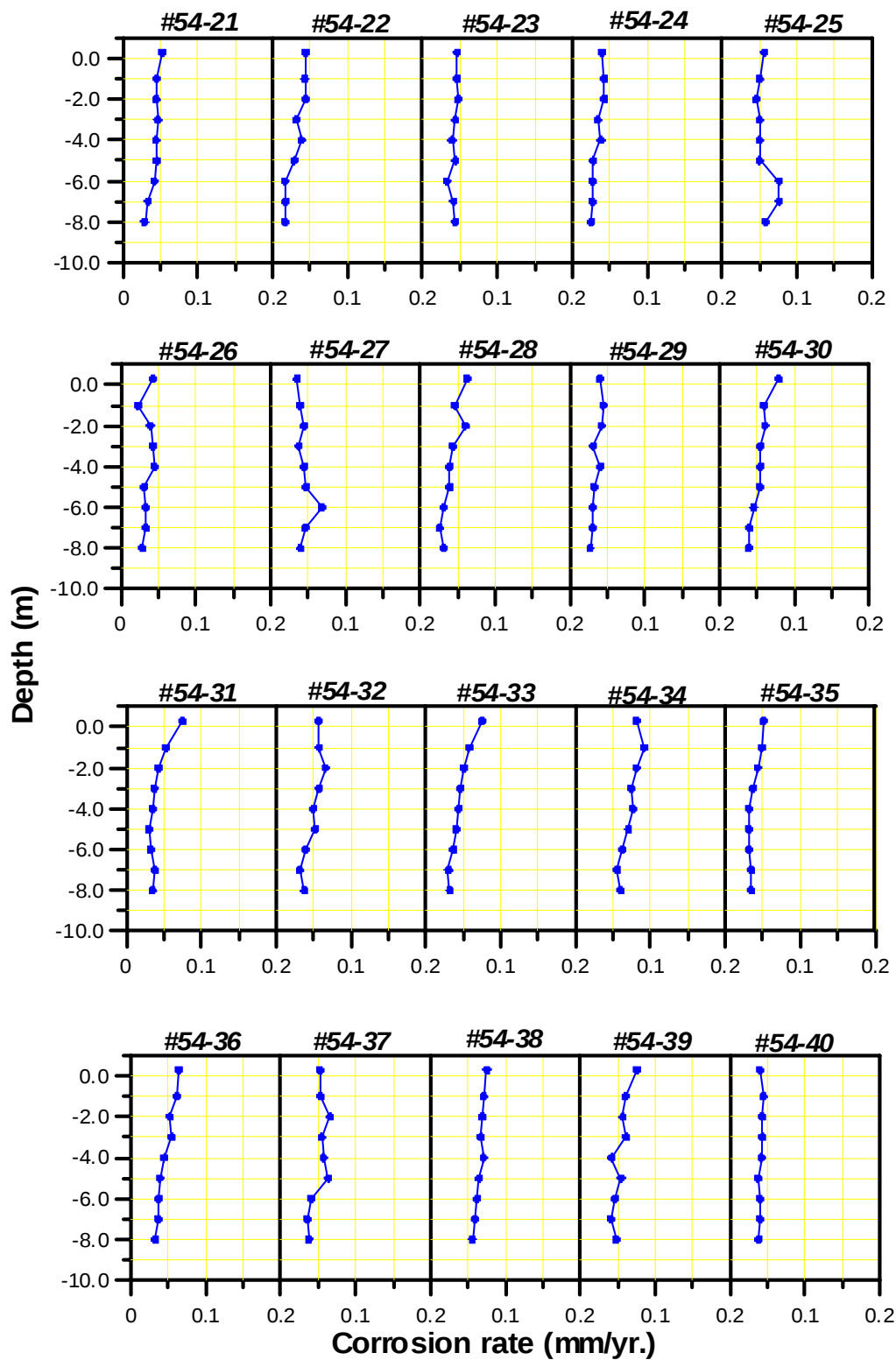


圖 3.8 高雄港 54 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

表 3.4 高雄港 54 號碼頭鋼板樁保護電位值 (1)

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-1059	-1038	-1038	31	-1066	-1072	-1054
2	-1076	-1043	-1049	32	-1068	-1053	-1055
3	-1076	-1048	-1053	33	-1072	-1053	-1054
4	-1065	-1048	-1054	34	-1062	-1054	-1055
5	-1073	-1050	-1055	35	-1062	-1051	-1055
6	-1073	-1059	-1061	36	-1066	-1053	-1053
7	-1093	-1069	-1070	37	-1073	-1053	-1053
8	-1103	-1082	-1079	38	-1074	-1054	-1052
9	-1136	-1089	-1082	39	-1065	-1054	-1053
10	-1112	-1090	-1085	40	-1074	-1055	-1055
11	-1137	-1091	-1082	41	-1069	-1056	-1057
12	-1113	-1086	-1082	42	-1075	-1055	-1059
13	-1115	-1079	-1075	43	-1071	-1058	-1061
14	-1085	-1071	-1069	44	-1080	-1060	-1062
15	-1083	-1065	-1061	45	-1071	-1059	-1063
16	-1078	-1061	-1059	46	-1078	-1059	-1062
17	-1079	-1061	-1057	47	-1069	-1058	-1061
18	-1060	-1067	-1056	48	-1076	-1057	-1058
19	-1068	-1062	-1057	49	-1069	-1056	-1058
20	-1053	-1052	-1054	50	-1077	-1057	-1056
21	-1051	-1048	-1049	51	-1067	-1056	-1057
22	-1049	-1046	-1049	52	-1074	-1056	-1056
23	-1046	-1044	-1047	53	-1065	-1056	-1055
24	-1057	-1048	-1049	54	-1071	-1054	-1053
25	-1065	-1050	-1052	55	-1065	-1052	-1053
26	-1078	-1053	-1055	56	-1078	-1052	-1053
27	-1067	-1055	-1055	57	-1067	-1054	-1054
28	-1067	-1052	-1053	58	-1069	-1055	-1055
29	-1067	-1052	-1053	59	-1065	-1057	-1057
30	-1063	-1052	-1053	60	-1082	-1059	-1059

表 3.5 高雄港 54 號碼頭鋼板樁保護電位值 (2)

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
61	-1074	-1060	-1060	91	-1070	-1058	-1060
62	-1083	-1059	-1060	92	-1080	-1060	-1061
63	-1074	-1058	-1061	93	-1070	-1062	-1062
64	-1082	-1056	-1060	94	-1073	-1061	-1061
65	-1068	-1055	-1059	95	-1076	-1061	-1061
66	-1060	-1051	-1056	96	-1080	-1060	-1060
67	-1066	-1051	-1057	97	-1077	-1060	-1059
68	-1076	-1053	-1054	98	-1070	-1057	-1057
69	-1071	-1055	-1054	99	-1066	-1055	-1055
70	-1071	-1057	-1054	100	-1066	-1053	-1054
71	-1070	-1057	-1055	101	-1065	-1052	-1054
72	-1073	-1058	-1056	102	-1062	-1051	-1053
73	-1071	-1060	-1058	103	-1063	-105	-1052
74	-1083	-1064	-1060	104	-1067	-1049	-1052
75	-1077	-1065	-1061	105	-1067	-1049	-1052
76	-1085	-1065	-1062	106	-1071	-1046	-1051
77	-1076	-1063	-1062	107	-1058	-1049	-1051
78	-1082	-1057	-1058	108	-1066	-1050	-1051
79	-1064	-1054	-1054	109	-1062	-1050	-1052
80	-1071	-1050	-1051	110	-1072	-1049	-1052
81	-1065	-1050	-1050	111	-1065	-1051	-1053
82	-1069	-1051	-1050	112	-1067	-1050	-1053
83	-1062	-1055	-1052	113	-1059	-1053	-1054
84	-1063	-1052	-1052	114	-1058	-1048	-1052
85	-1062	-1053	-1053	115	-1065	-1048	-1050
86	-1064	-1051	-1053	116	-1054	-1046	-1048
87	-1062	-1053	-1054	117	-1052	-1046	-1047
88	-1074	-1052	-1056	118	-1061	-1046	-1047
89	-1064	-1052	-1055	119	-1065	-1050	-1047
90	-1075	-1057	-1058	120	-1066	-1047	-1046

3.3.2.2 高雄港 55 號碼頭

本座碼頭於民國 65 年完工，水深 10.5 公尺，碼頭全長 200 公尺，採用 FSP A U 型組合之鋼板樁建造，鋼板樁於完工後即安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施，整支鋼板樁均位於海水中。碼頭結構斷面及使用鋼板樁型式同 54 號碼頭。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

圖 3.11 為 55 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖，於自起點及終點起各每隔 3 支樁取 1 支測樁，共選取 80 支測樁。每支測樁檢測水深同 54 號碼頭，計 9 個深度測點，檢測點共計 720 點。



圖 3.11 高雄港 55 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖

表 3.6 及圖 3.12 為 55 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率約為 0.02 ~ 0.07 mm/yr. 左右，遠小於腐蝕設計允許值，圖 3.13 至圖 3.16 為各測樁腐蝕速率與水深關係，每一測點之腐蝕速率均小於設計允許值；鋼板樁使用時間雖已超過 28 年，現有最小厚度僅少數測點為 13.8 mm，最大減少厚度約 2.3 mm，換算為腐蝕速率約 0.08 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧牲陽極塊已達到防蝕之目的。

表 3.6 高雄港 55 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	-0.3	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0	-7.0	-8.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04

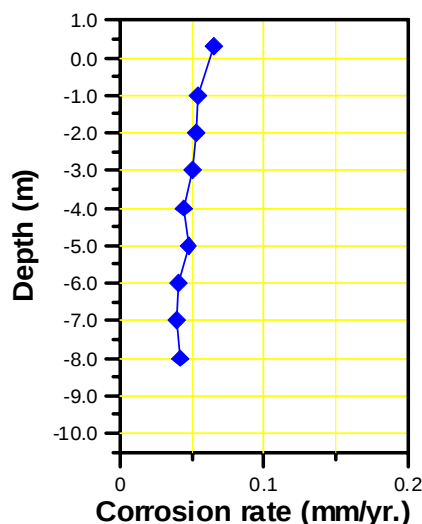


圖 3.12 高雄港 55 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

鋼板樁保護電位量測位置因受限於碼頭現場作業，無法依原規劃之間隔取測樁，而採隨機抽測，共取 106 之測樁，量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m，量測結果列於表 3.7 至表 3.8。由目視檢測發現陽極塊現況，鋁合金部份已消耗殆盡，僅餘骨架鐵蕊，故保護電位最大值為 -591mV，最小值為 -795 mV，均大於-850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，保護電位明顯不足，鋼板樁係處於防蝕保護不足狀態。

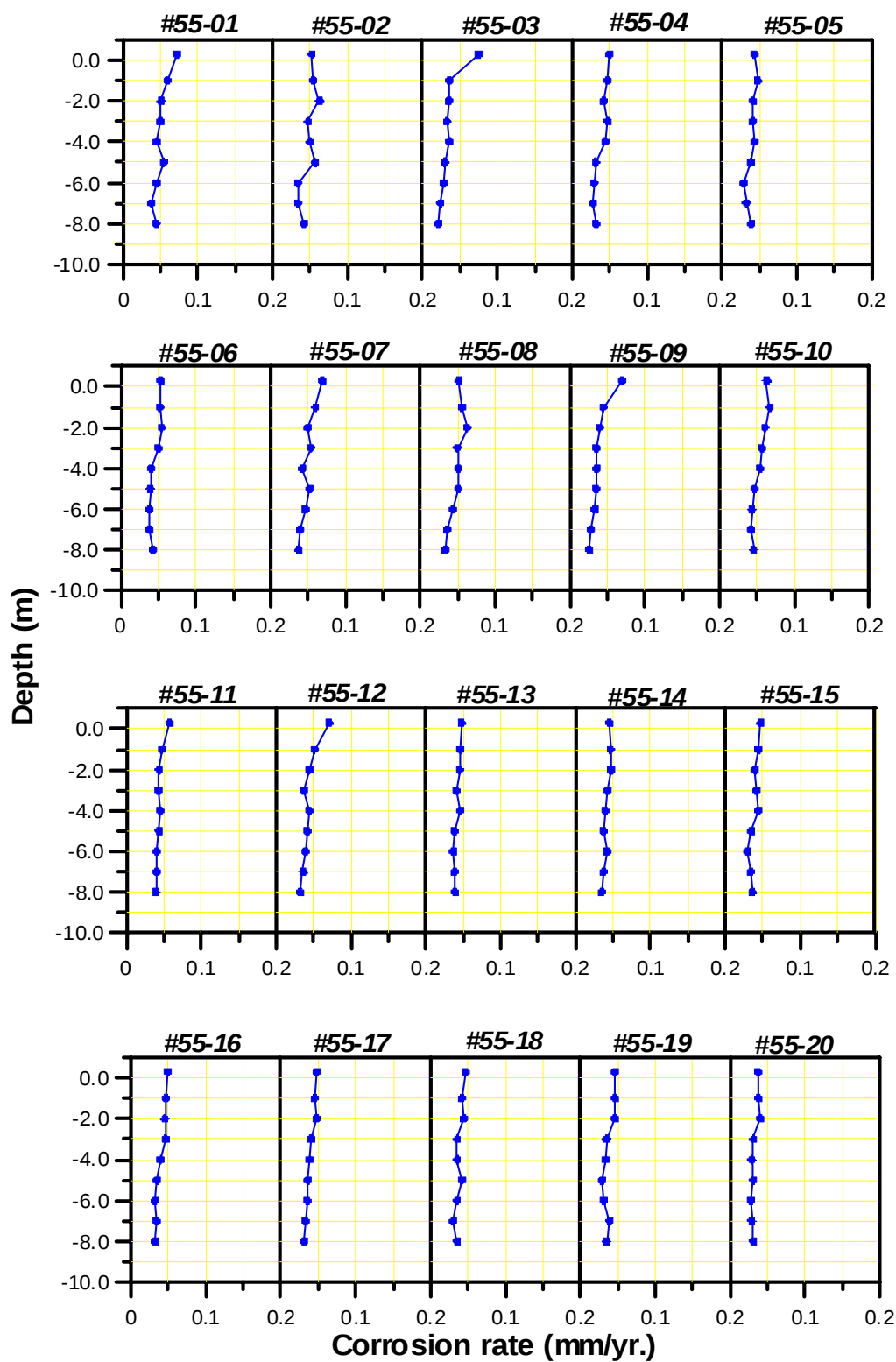


圖 3.13 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

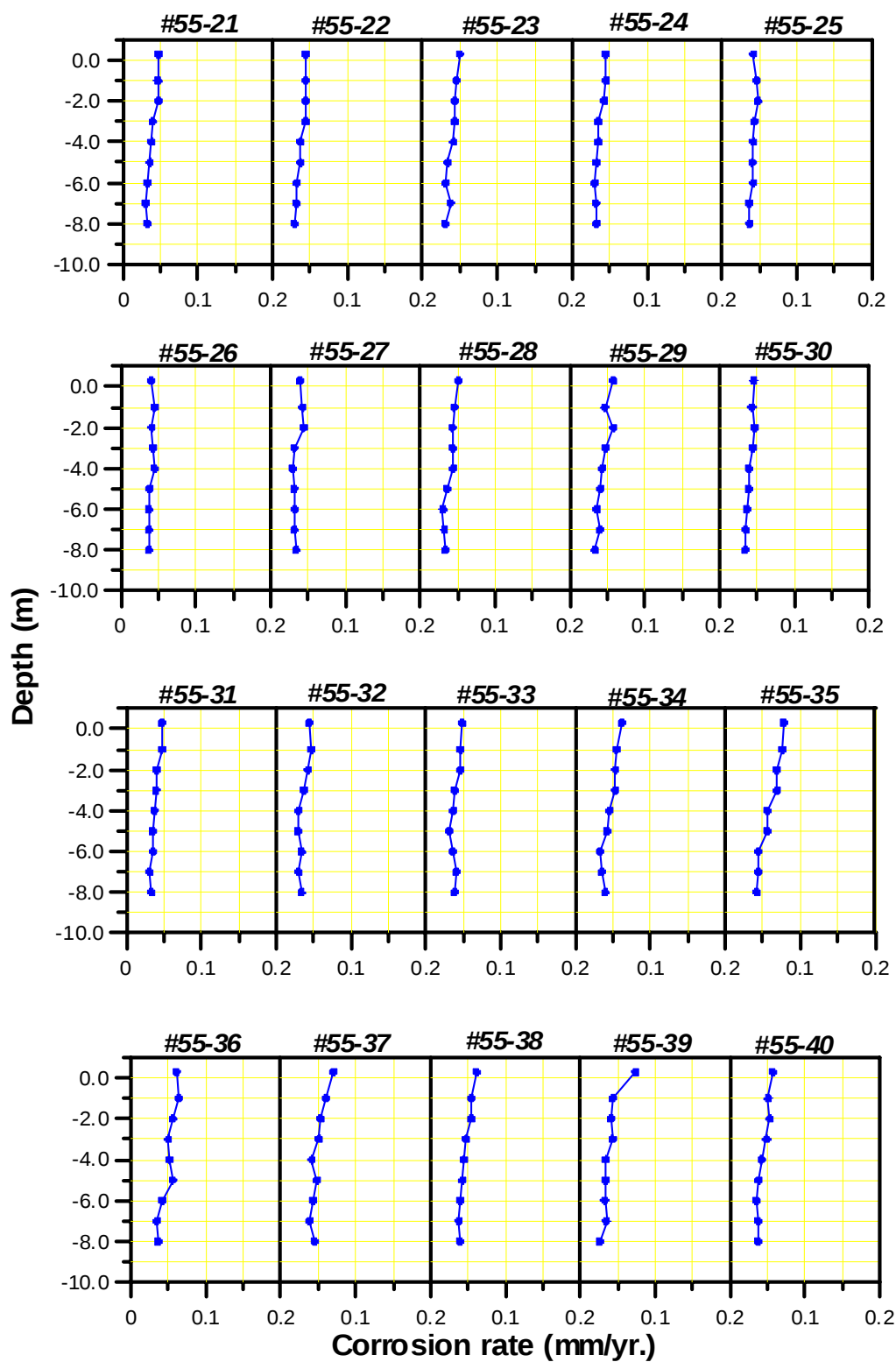


圖 3.14 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

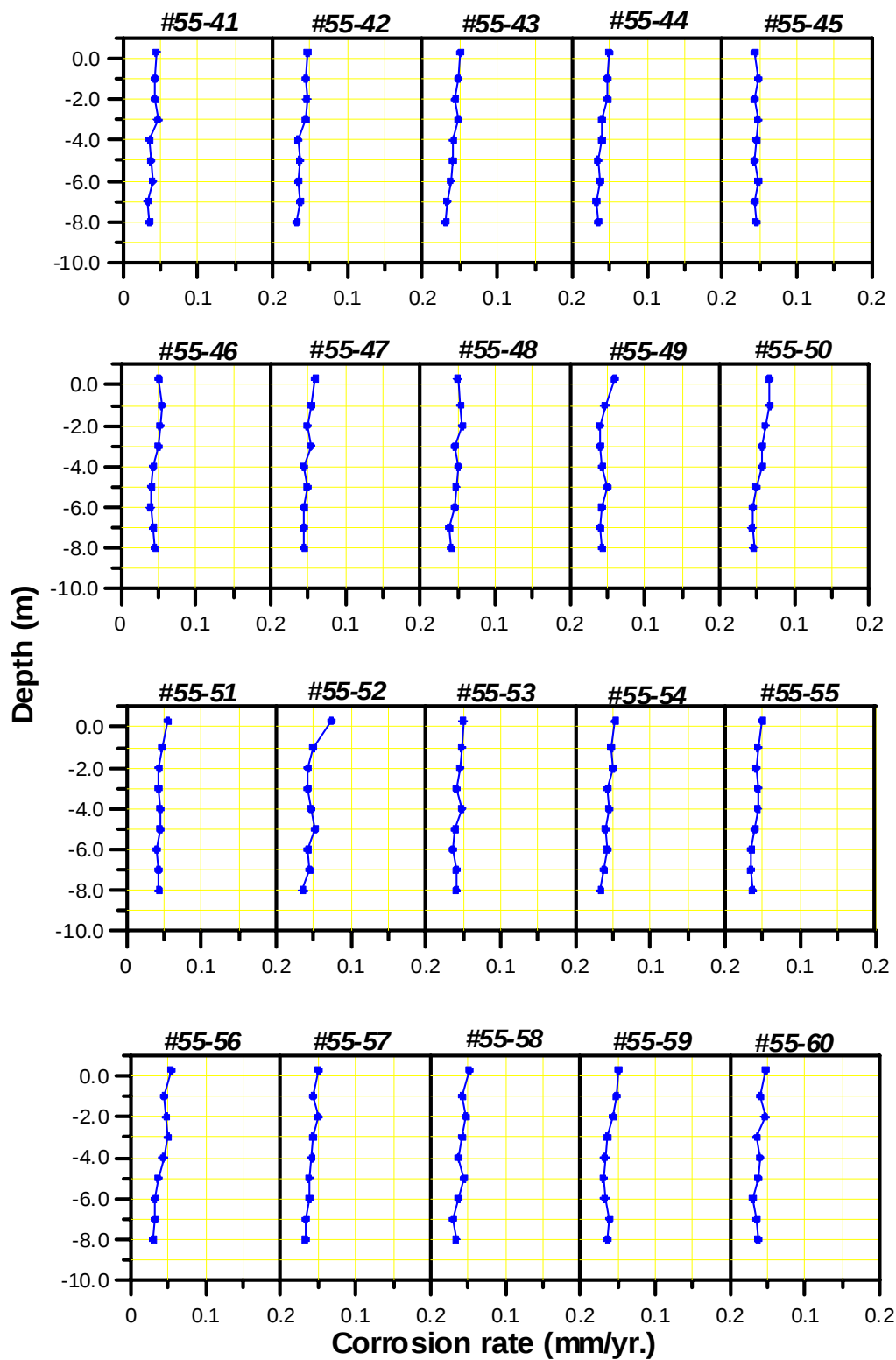


圖 3.15 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (3)

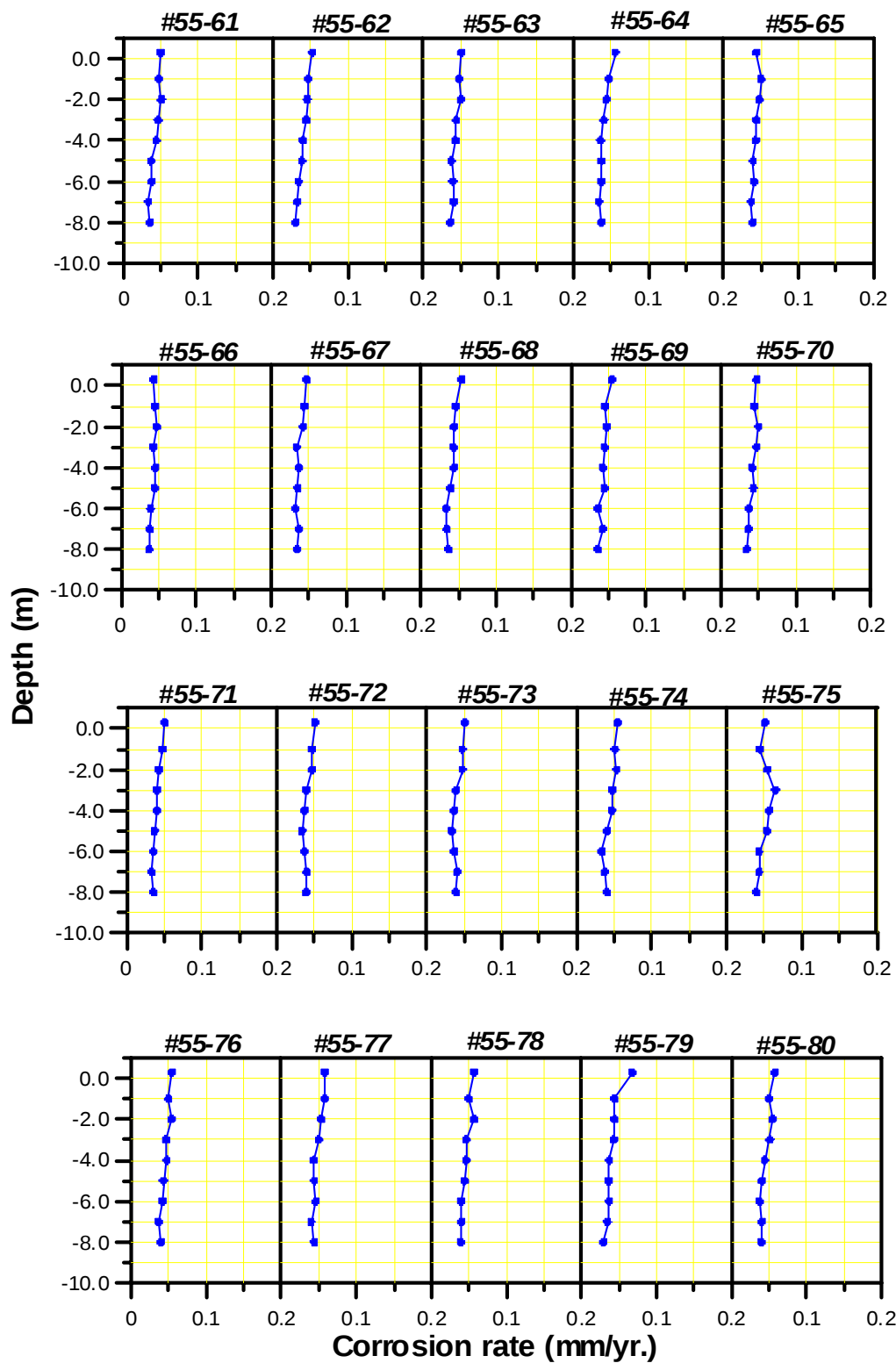


圖 3.16 高雄港 55 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (4)

表 3.7 高雄港 55 號碼頭鋼板樁保護電位值 (1)

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-634	-675	-682	31	-655	-670	-675
2	-640	-685	-690	32	-665	-669	-650
3	-642	-679	-675	33	-666	-670	-677
4	-650	-690	-689	34	-670	-675	-680
5	-787	-786	-785	35	-650	-660	-659
6	-780	-795	-780	36	-650	-675	-685
7	-775	-789	-770	37	-660	-665	-673
8	-785	-789	-775	38	-650	-680	-675
9	-754	-756	-765	39	-670	-679	-683
10	-765	-785	-780	40	-658	-670	-680
11	-770	-775	-771	41	-655	-661	-670
12	-759	-775	-769	42	-660	-670	-685
13	-731	-783	-776	43	-663	-675	-679
14	-754	-795	-780	44	-650	-675	-680
15	-765	-775	-785	45	-653	-658	-665
16	-775	-760	-758	46	-661	-669	-683
17	-722	-725	-732	47	-670	-675	-680
18	-735	-739	-745	48	-651	-673	-681
19	-740	-745	-735	49	-655	-660	-665
20	-730	-745	-752	50	-663	-670	-673
21	-708	-650	-591	51	-657	-670	-672
22	-710	-700	-620	52	-660	-680	-679
23	-700	-695	-615	53	-654	-657	-663
24	-701	-680	-625	54	-649	-660	-663
25	-679	-683	-689	55	-639	-657	-659
26	-670	-680	-675	56	-645	-655	-659
27	-665	-670	-665	57	-655	-660	-664
28	-655	-645	-635	58	-659	-662	-670
29	-674	-676	-683	59	-659	-665	-669
30	-660	-675	-670	60	-645	-670	-665

表 3.8 高雄港 55 號碼頭鋼板樁保護電位值 (2)

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
61	-650	-661	-663	91	-655	-667	-669
62	-649	-658	-660	92	-654	-660	-664
63	-649	-655	-665	93	-657	-664	-668
64	-652	-665	-668	94	-672	-677	-678
65	-661	-664	-667	95	-649	-650	-655
66	-658	-667	-666	96	-652	-647	-654
67	-663	-669	-667	97	-655	-661	-664
68	-660	-670	-671	98	-653	-660	-663
69	-660	-664	-669	99	-655	-662	-663
70	-657	-660	-670	100	-652	-659	-662
71	-663	-668	-670	101	-642	-646	-652
72	-659	-670	-672	102	-640	-646	-655
73	-658	-662	-665	103	-647	-653	-655
74	-656	-660	-663	104	-643	-648	-651
75	-661	-665	-670	105	-647	-656	-660
76	-663	-670	-673	106	-639	-645	-648
77	-662	-665	-672	107			
78	-670	-675	-677	108			
79	-669	-667	-669	109			
80	-670	-671	-675	110			
81	-654	-660	-667	111			
82	-659	-668	-665	112			
83	-660	-663	-665	113			
84	-654	-670	-671	114			
85	-646	-651	-658	115			
86	-658	-674	-670	116			
87	-660	-667	-671	117			
88	-654	-660	-664	118			
89	-648	-650	-656	119			
90	-652	-659	-661	120			

3.3.2.3 高雄港 56 號碼頭

本座碼頭於民國 65 年完工，水深 10.5 公尺，碼頭全長 200 公尺，採用 FSP A U 型組合之鋼板樁建造，鋼板樁於完工後即安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施，整支鋼板樁均位於海水中。碼頭結構斷面、使用鋼板樁型式同 54 號碼頭。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

圖 3.17 為 56 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖，於自終點起每 3 支樁取 1 支測樁，共選取 70 支測樁。每支測樁檢測水深同 54 號碼頭，計 9 個深度測點，檢測點共計 630 點。

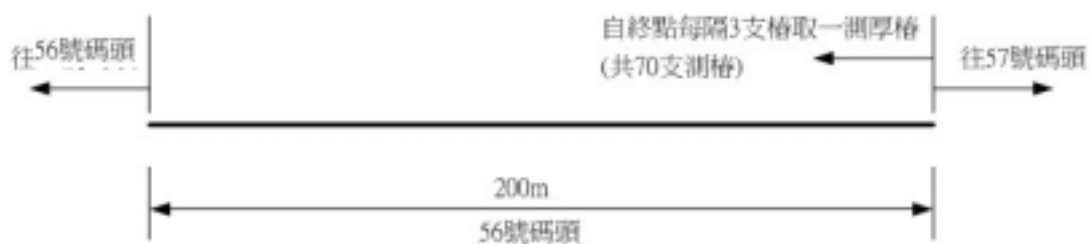


圖 3.17 高雄港 56 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖

表 3.9 及圖 3.18 為 54 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率約為 0.03 ~ 0.10 mm/yr. 左右，遠小於腐蝕設計允許值，圖 3.19 至圖 3.22 為各測樁腐蝕速率與水深關係，每一測點之腐蝕速率均小於設計允許值；鋼板樁使用時間雖已超過 28 年，現有厚度僅少數測點為 13.1mm，最大減少厚度約 3.0 mm，換算為腐蝕速

率約 0.10 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然碼頭完工後安裝犧牲陽極塊已達到防蝕之目的。

表 3.9 高雄港 56 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	-0.3	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0	-7.0	-8.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04

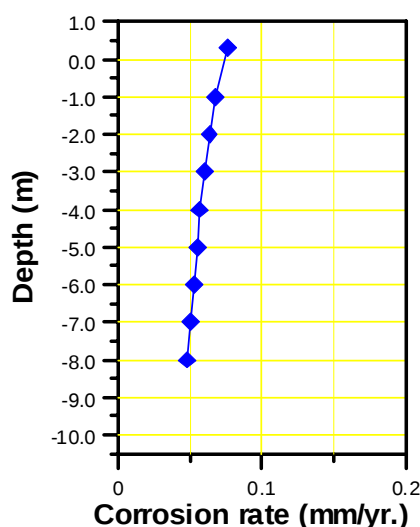


圖 3.18 高雄港 56 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

鋼板樁保護電位量測位置因受限於碼頭現場作業，無法依原規劃之間隔取測樁，而採隨機抽測，共取 106 之測樁，量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m，量測結果列於表 3.10 至表 3.11。由目視檢測發現陽極塊現況，鋁合金部份已消耗殆盡，僅餘骨架鐵蕊，故保護電位最大值為 -635 mV，最小值為 -699 mV，均大於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，保護電位明顯不足，鋼板樁係處於防蝕保護不足狀態。

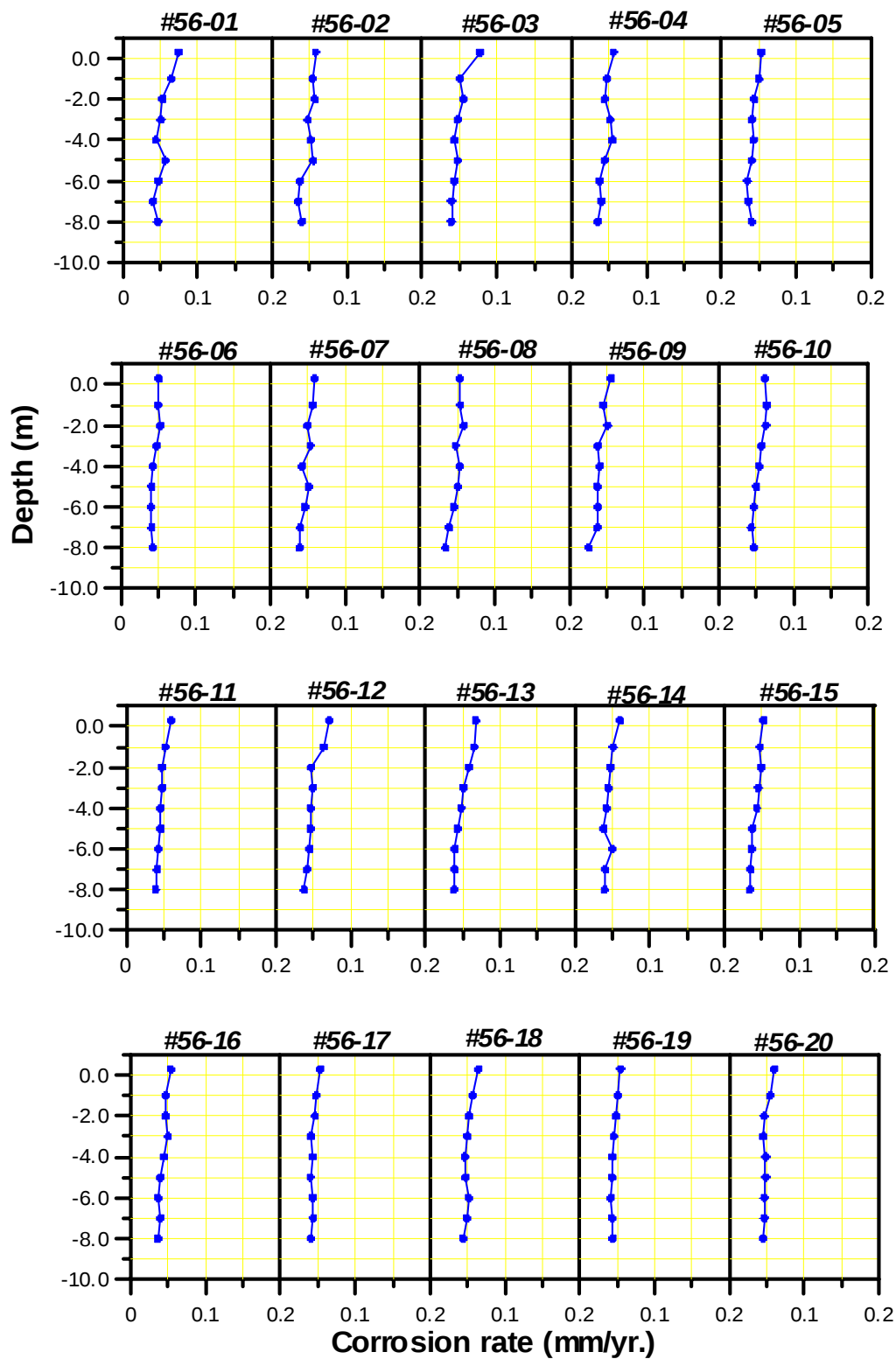


圖 3.19 高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

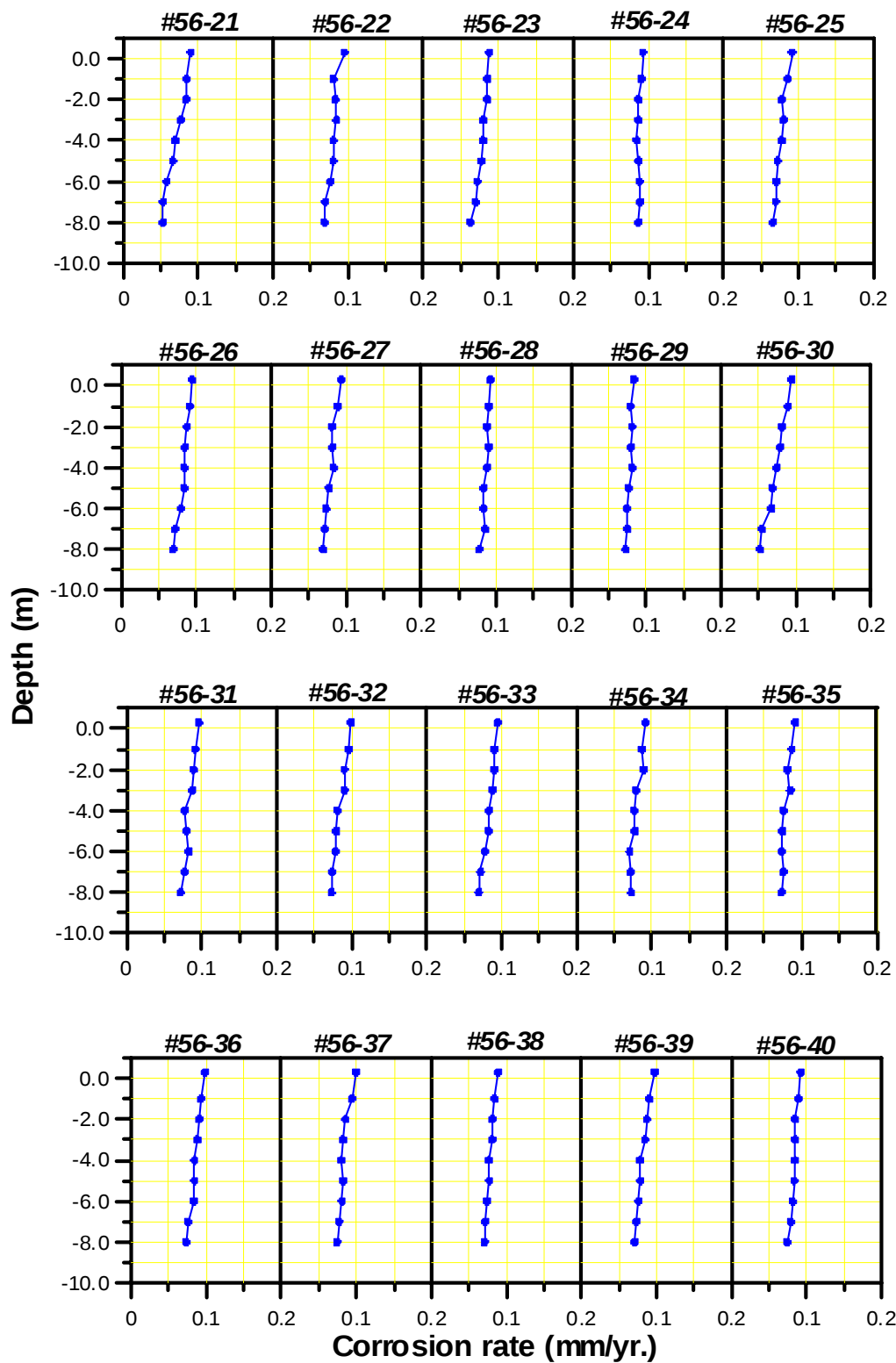


圖 3.20 高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

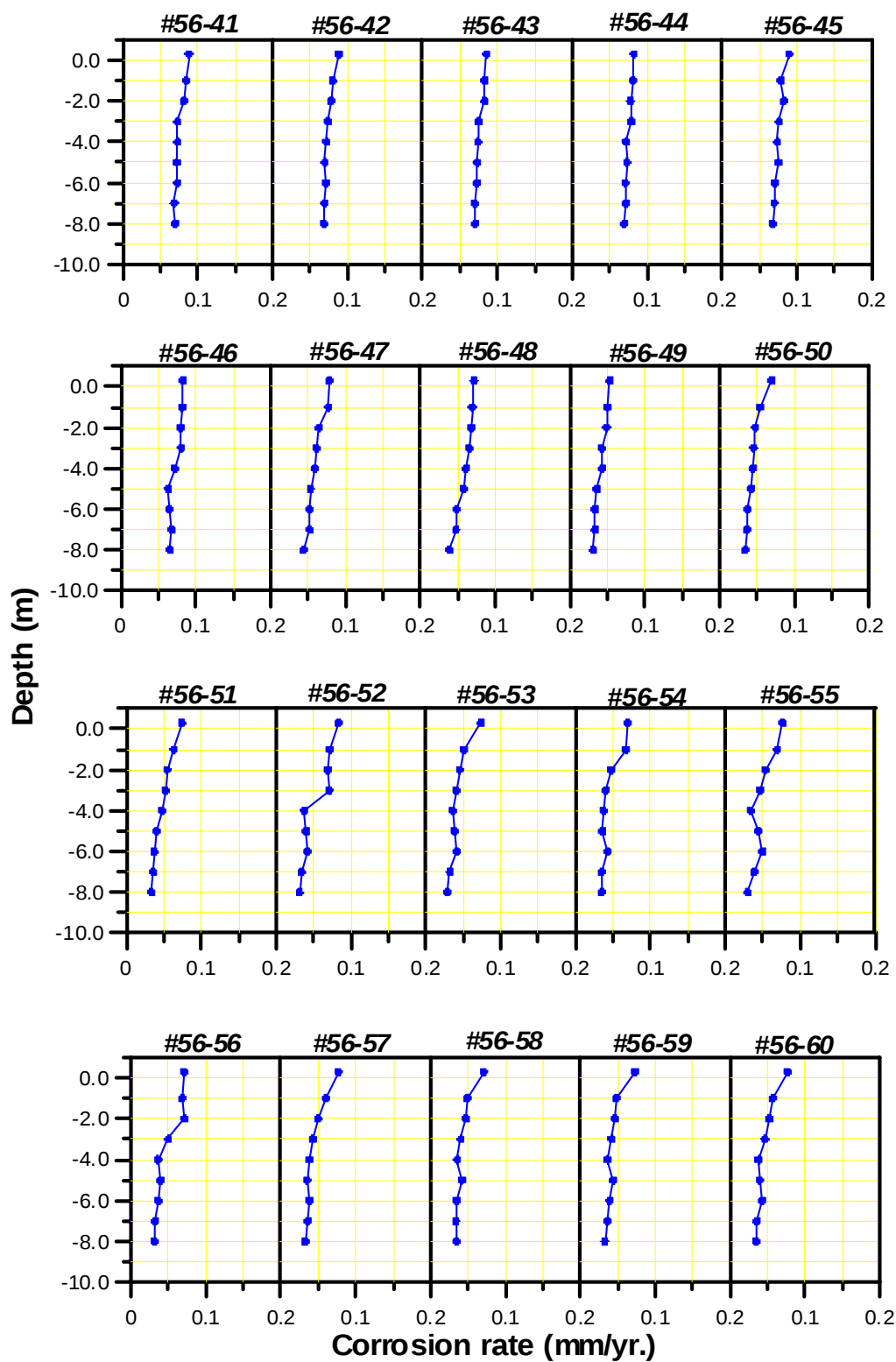


圖 3.21 高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (3)

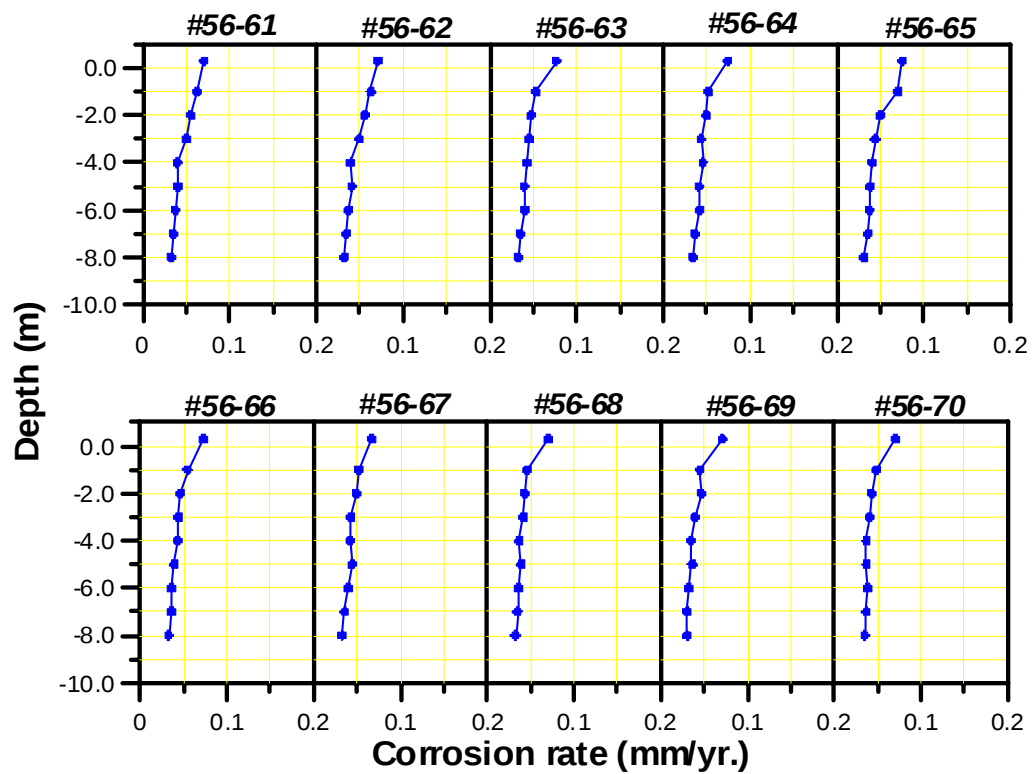


圖 3.22 高雄港 56 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係 (4)

表 3.10 高雄港 56 號碼頭鋼板樁保護電位值 (1)

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-639	-646	-652	31	-636	-651	-653
2	-642	-646	-654	32	-640	-650	-653
3	-643	-645	-652	33	-642	-653	-659
4	-650	-655	-658	34	-641	-655	-658
5	-639	-644	-652	35	-644	-653	-659
6	-642	-646	-650	36	-642	-658	-660
7	-643	-645	-650	37	-645	-654	-655
8	-642	-649	-652	38	-636	-650	-655
9	-639	-644	-652	39	-636	-645	-651
10	-637	-642	-650	40	-641	-650	-653
11	-635	-640	-644	41	-644	-653	-659
12	-638	-642	-651	42	-639	-649	-654
13	-639	-645	-653	43	-647	-655	-659
14	-642	-647	-652	44	-636	-650	-658
15	-640	-650	-654	45	-642	-653	-658
16	-636	-646	-652	46	-636	-651	-656
17	-635	-642	-647	47	-636	-645	-651
18	-630	-644	-645	48	-655	-661	-666
19	-636	-645	-647	49	-646	-652	-658
20	-643	-647	-653	50	-647	-650	-656
21	-645	-647	-651	51	-644	-653	-660
22	-644	-646	-652	52	-650	-662	-667
23	-646	-648	-650	53	-647	-653	-658
24	-639	-645	-653	54	-652	-659	-664
25	-642	-647	-653	55	-657	-664	-669
26	-645	-648	-651	56	-662	-669	-672
27	-648	-652	-655	57	-656	-664	-670
28	-655	-658	-659	58	-652	-662	-669
29	-634	-645	-649	59	-650	-659	-664
30	-640	-651	-655	60	-646	-652	-657

表 3.11 高雄港 56 號碼頭鋼板樁保護電位值 (2)

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
61	-652	-658	-664	91	-686	-692	-694
62	-647	-653	-659	92	-684	-695	-699
63	-652	-658	-664	93	-679	-690	-694
64	-653	-660	-667	94	-680	-685	-694
65	-660	-669	-674	95	-681	-683	-693
66	-658	-665	-670	96	-686	-689	-690
67	-656	-663	-669				
68	-654	-662	-667				
69	-656	-665	-670				
70	-658	-664	-672				
71	-656	-664	-674				
72	-657	-670	-676				
73	-667	-674	-676				
74	-662	-670	-674				
75	-669	-674	-678				
76	-659	-680	-684				
77	-665	-674	-679				
78	-663	-678	-682				
79	-664	-675	-680				
80	-658	-679	-683				
81	-670	-680	-684				
82	-671	-683	-685				
83	-668	-680	-681				
84	-665	-678	-681				
85	-668	-679	-684				
86	-670	-679	-682				
87	-670	-678	-680				
88	-672	-680	-682				
89	-680	-690	-694				
90	-682	-691	-695				

3.3.2.4 高雄港 57 號碼頭

本座碼頭於民國 68 年完工，水深 10.5 公尺，碼頭全長 184 公尺，採用 FSP A U 型組合之鋼板樁建造，鋼板樁於完工後即安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施，整支鋼板樁均位於海水中。碼頭結構斷面及使用鋼板樁型式亦同 54 號碼頭。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

圖 3.23 為 57 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖，於自起點起每隔 3 支樁取 1 支測樁，共選取 10 支測樁。每支測樁檢測水深同 54 號碼頭，計 9 個深度測點，檢測點共計 90 點。



圖 3.23 高雄港 57 號碼頭鋼板樁厚度量測位置示意圖

表 3.12 及圖 3.24 為 57 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率約為 0.03 ~ 0.08 mm/yr. 左右，遠小於腐蝕設計允許值，圖 3.25 為各測樁腐蝕速率與水深關係，每一測點之腐蝕速率均小於設計允許值；鋼板樁使用時間雖已 28 年，現有厚度僅少數測點為 13.7 mm，最大減少厚度約 2.4mm，換算為腐蝕速率約 0.08 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然碼頭完工後安裝犧牲陽極塊已達到防蝕之目的。

表 3.12 高雄港 57 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0	-7.0	-8.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03

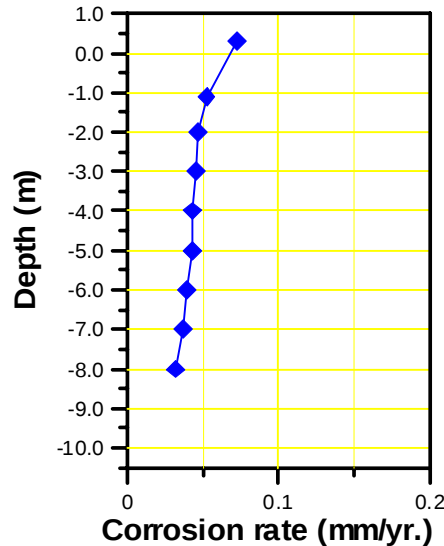


圖 3.24 高雄港 57 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

鋼板樁保護電位量測位置由碼頭起點處約每 2 公尺取一支樁為測樁，共量測 14 支測樁，量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m，量測結果列於表 3.13。由目視檢測發現陽極塊現況，鋁合金部份已消耗殆盡，僅餘骨架鐵蕊，故保護電位最大值為 -808 mV，最小值為 -935 mV，部份大於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，保護電位略顯不足，鋼板樁係處於防蝕保護未完全足夠狀態。

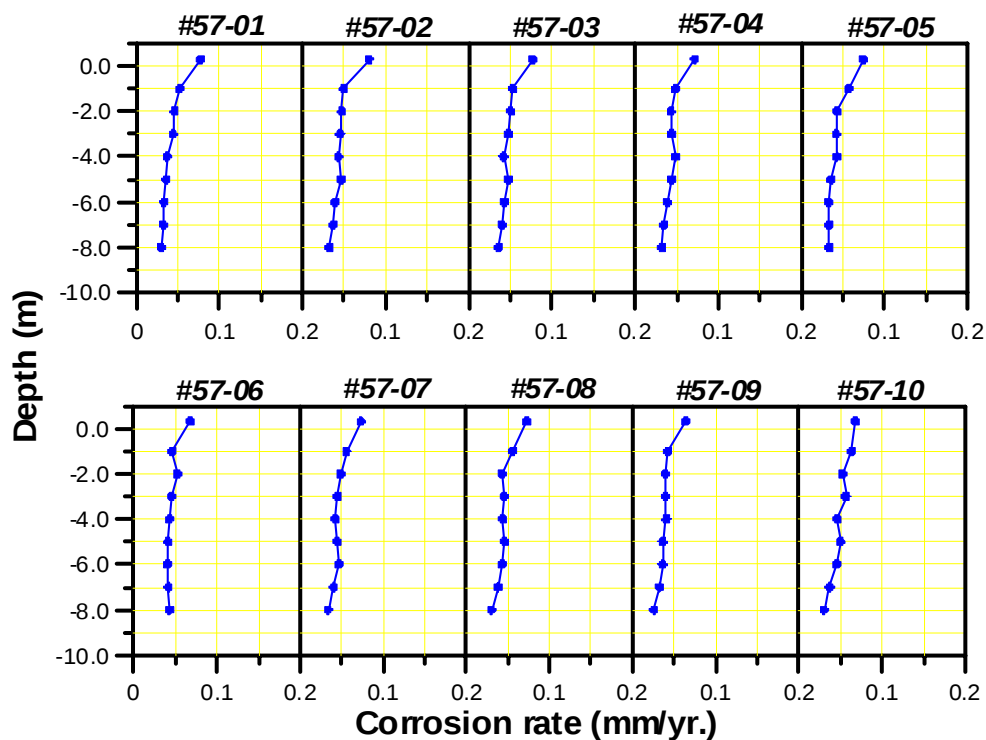


圖 3.25 高雄港 57 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係

表 4.13 高雄港 57 號碼頭鋼板樁保護電位值

單位： mV

編號	水深 (m)			編號	水深 (m)		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-824	-812	-810	8	-900	-901	-902
2	-884	-870	-826	9	-935	-924	-927
3	-837	-819	-808	10	-868	-863	-865
4	-840	-830	-812	11	-872	-880	-890
5	-860	-850	-860	12	-880	-890	-899
6	-880	-870	-885	13	-882	-892	-895
7	-822	-844	-834	14	-880	-889	-885

3.3.2.5 馬公港 6 號碼頭

本座碼頭原屬為長 185 公尺，水深為 -3.5 公尺之疊石岸壁橫式碼頭之部份，民國 81 年向南填築 8800 平方公尺之新生地，改建為棧橋式鋼管樁碼頭，靠海測前列樁之設計水深為 -7.5 公尺。本座包含轉角與 5 號碼頭銜接段全長約 120 公尺，潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之保護電流能互相支援。碼頭平面佈置、結構斷面分別示於圖 3.26 至圖 3.27。



圖 3.26 馬公港碼頭平面佈置圖

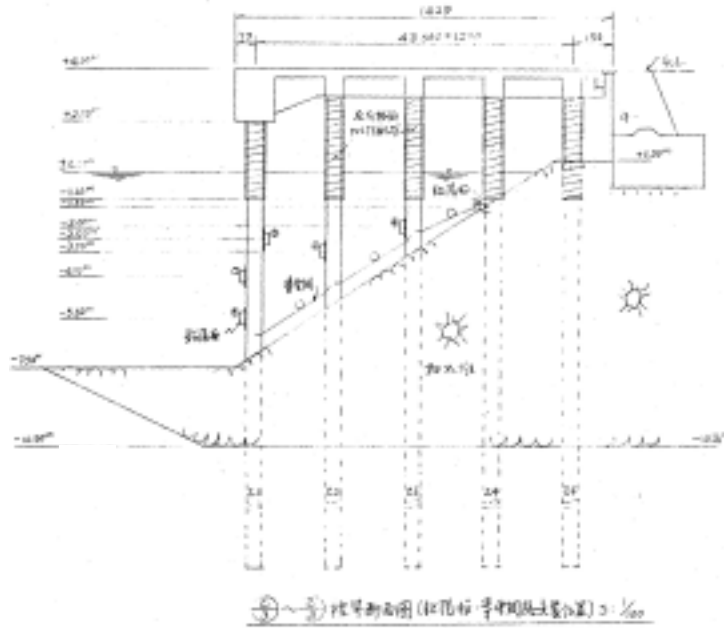


圖 3.27 馬公港碼頭鋼管樁結構斷面

1. 目視檢測

潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土包覆保護，外觀無孔蝕或破洞等嚴重之腐蝕，潮汐帶及海中帶之鋼管樁表面附著許多如牡蠣、籐壺等大型海生物。

2. 鋼管樁厚度

本座碼頭因同排之鋼樁與樁鋼於靠海床處安裝導電網，及共選取 42 支樁為測樁，每支測樁依其所處實際水深，檢測水深為 -1.5 m、 -2.0 m、 -2.5 m、 -3.0 m、 -3.5 m、 -4.0 m 等 4 至 6 個不同水深測點。

表 3.14 及圖 3.28 為各檢測樁之平均腐蝕速率與水深之關係，各檢測水深之平均腐蝕速率在 0.03 至 0.05 mm/yr. 之間。表 3.15 圖 3.29 至圖 3.31 為各測樁腐蝕速率與水深之關係，單一測樁之最大腐蝕速率發生於水深 -3.5 m 處，腐蝕速率為 0.07 mm/yr.，低於設計允許值，腐蝕程度屬於輕微。

表 3.14 馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率

水深(m)	-1.5	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-7.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04

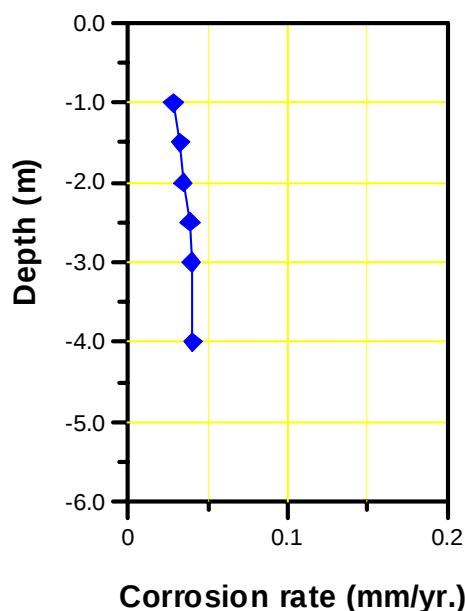


圖 3.28 馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係

3. 鋼管樁保護電位

本座碼頭之鋼管樁保護電位選定自海測算起第 1 列及第 2 列樁，共隨機抽選 16 支測樁，量測水深為 -1.0 m、 -2.5 m、 及 -4.0 m，量測結果列於表 3.16。保護電位最大值為 -993mV，最小值為 -1101 mV，小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)標準防蝕電位值，管樁處於防蝕保護狀態。

表 3.15 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

單位：mm/yr.

水深 (m) 測樁編號	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
6E-1-1	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03
6E-1-2	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
6E-1-3	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04
6E-1-4	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04
6E-1-5	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06
6E-1-6	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
6E-1-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6E-1-8	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04
6E-1-9	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04
6E-2-1	0.02	0.02	0.03	0.03		
6E-2-2	0.03	0.05	0.04	0.04		
6E-2-3	0.03	0.04	0.02	0.04		
6E-2-4	0.03	0.05	0.05	0.04		
6E-2-5	0.03	0.03	0.04	0.06		
6E-2-6	0.03	0.03	0.04	0.04		
6E-2-7	0.03	0.03	0.03	0.03		
6E-2-8	0.02	0.03	0.04	0.03		
6E-2-9	0.03	0.04	0.04	0.03		
6-1-1	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02
6-1-2	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
6-1-3	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04
6-1-4	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.04
6-1-5	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04
6-1-6	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
6-1-7	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
6-1-8	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
6-1-9	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
6-1-10	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
6-1-11	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05
6-1-12	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
6-1-13	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
6-1-14	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
6-1-15	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
6-2-1	0.03	0.02	0.0	0.03		
6-2-2	0.03	0.04	0.02	0.04		
6-2-3	0.03	0.03	0.03	0.04		
6-2-4	0.03	0.04	0.03	0.04		
6-2-5	0.03	0.03	0.04	0.06		
6-2-6	0.03	0.03	0.04	0.04		
6-2-7	0.03	0.03	0.04	0.04		
6-2-8	0.03	0.03	0.04	0.04		
6-2-9	0.03	0.03	0.03	0.03		
平均	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04

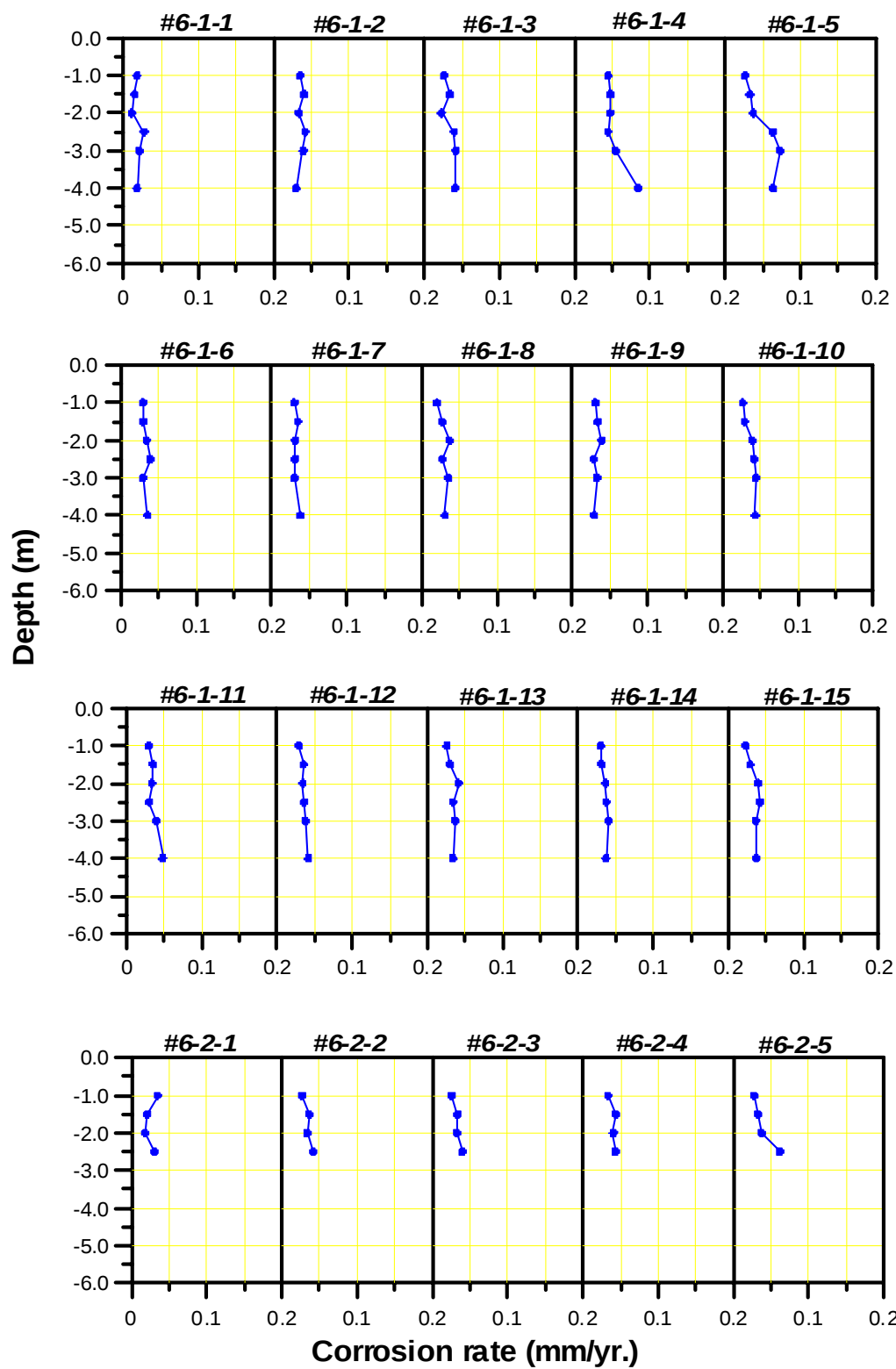


圖 3.29 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

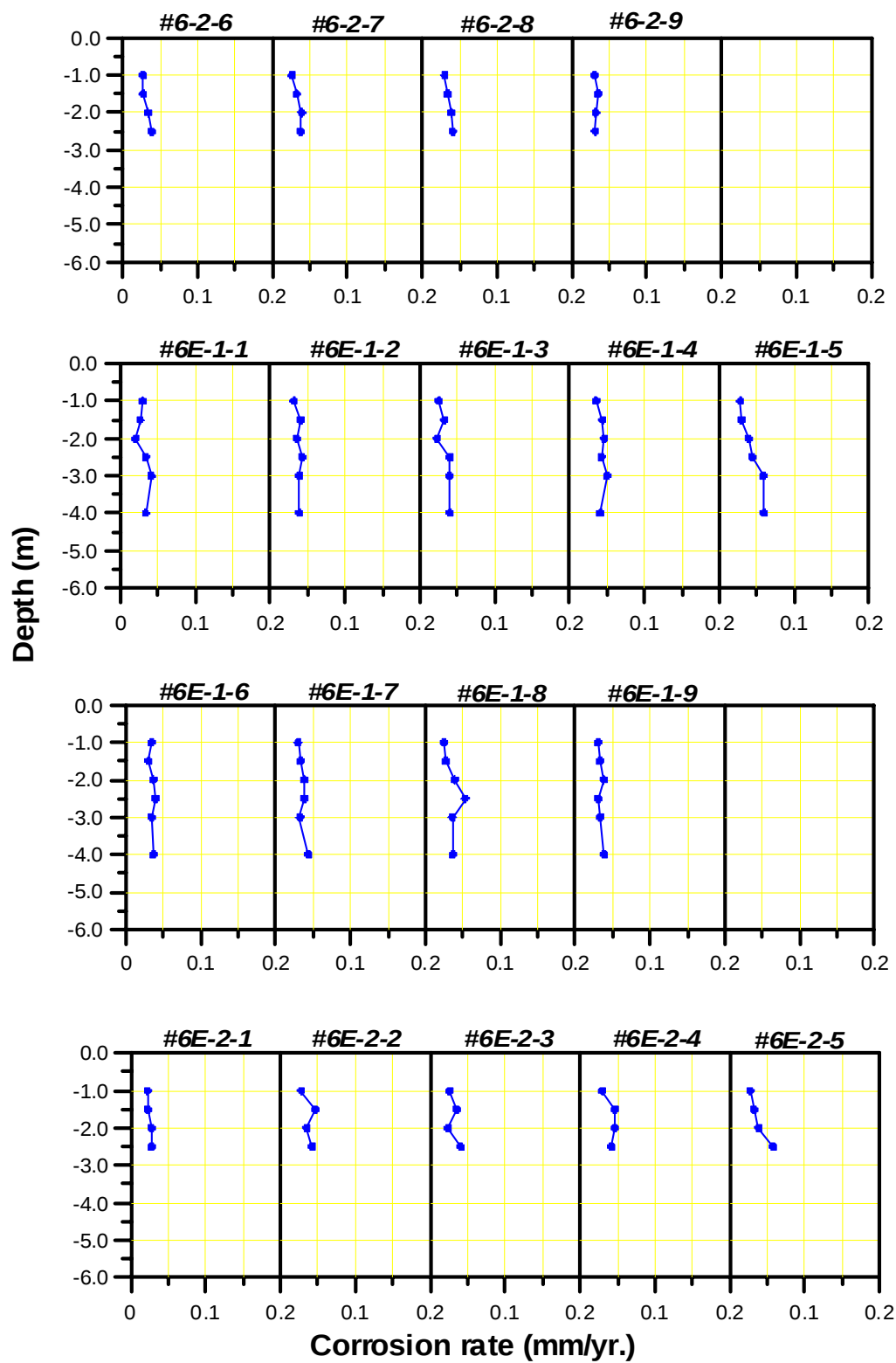


圖 3.30 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

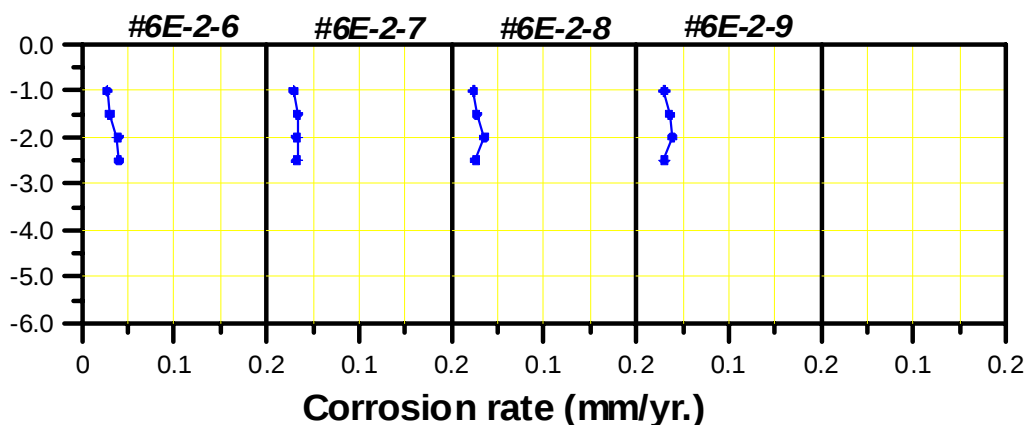


圖 3.31 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (3)

表 3.16 馬公港 6 號碼頭鋼管樁保護電位值

(單位：mV)

檢測位置	編號	水深 (m)			檢測位置	編號	水深 (m)		
		-1.0	-2.5	-4.0			-1.0	-2.5	-4.0
6E-1	1	-1000	-1006	-996	6-1	1	-1025	-1046	-1048
	2	-999	-1001	-994		2	-1050	-1047	-1048
6E-2	1	-1000	-1007	-996	6-2	1	-1070	-1057	-1056
	2	-1001	-1003	-997		2	-1060	-1066	-1057
6E-3	1	-1001	-1006	-996	6-3	1	-1085	-1055	-1053
	2	-1101	-1005	-995		2	-1047	-1048	-1051
6E-4	1	-1000	-1000	-993	6-4	1	-1048	-1047	-1051
	2	-1000	-1005	-993		2	-1040	-1038	-1041
6E-5	1	-999	-1005	-994	6-5	1	-1039	-1037	-1035
	2	-998	-1000	-994		2	-1042	-1046	-1048
					6-6	1	-1044	-1046	-1042
						2	-1041	-1042	-1041
					6-7	1	-1043	-1043	-1043
						2	-1050	-1044	-1043
					6-8	1	-1042	-1043	-1043
						2	-1046	-1045	-1043

3.3.2.6 馬公港 7 號碼頭

本座碼頭同 6 號碼頭原屬水深為 -3.5 公尺之疊石岸壁橫式碼頭之部份，民國 81 年向南填築新生地改建為棧橋式鋼管樁碼頭，靠海測前列樁之設計水深為 -7.5 公尺，全長約 56 公尺，潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之保護電流能互相支援。碼頭平面佈置及結構斷面示於圖 3.26 及圖 3.27。

1. 目視檢測

潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土包覆保護，外觀無孔蝕或破洞等嚴重之腐蝕，潮汐帶及海中帶之鋼管樁表面附著許多如牡蠣、籐壺等大型海生物。

2. 鋼管樁厚度

厚度測樁選定全區碼頭之每排自海測算起第 1 列及第 2 列樁，每支測樁依其所處實際水深，檢測水深為 -1.5 m、 -2.0 m、 -2.5 m、 -3.0 m、 -3.5 m、 -4.0 m 等 4 至 6 個不同水深測點。

表 3.17 及圖 3.32 為各檢測樁之平均腐蝕速率與水深之關係，各檢測水深之平均腐蝕速率在 0.04 至 0.05 mm/yr. 之間。表 4.17 及圖 4.30 至圖 4.31 為各測樁腐蝕速率與水深之關係，單一測樁之最大腐蝕速率多發生於水深 -1.5 m 及 -2.0 m 處，腐蝕速率為 0.10 mm/yr.，低於設計允許值，腐蝕程度屬於輕微。

表 3.17 馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率

水深(m)	-1.5	-2.0	-2.5	3.0	-3.5	-4.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04

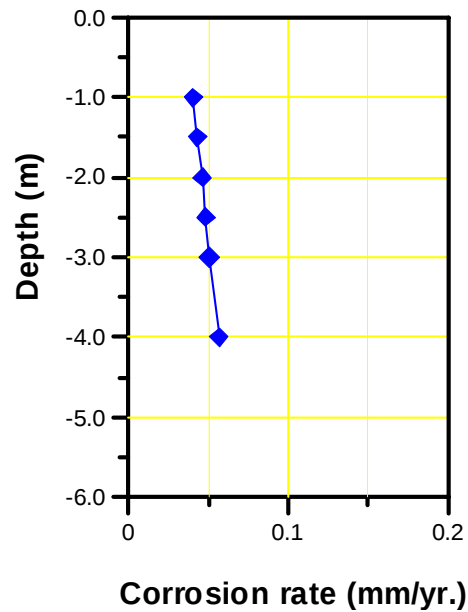


圖 3.32 馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係

3. 鋼管樁保護電位

本座碼頭之鋼管樁保護電位選定自海測算起第 1 列樁及第 2 列樁，共隨機抽選 26 支測樁，量測水深為 -1.0 m、-2.5 m、及 -4.0 m，量測結果列於表 3.19。保護電位最大值為 -1002 mV，最小值為 -1076 mV，平均值為 -1100 mV，小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)標準防蝕電位值，管樁處於防蝕保護狀態。

表 3.18 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

單位：mm/yr.

水深 (m) 測樁編號	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
7-1-1	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
7-1-2	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06
7-1-3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-4	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
7-1-5	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-6	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
7-1-7	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
7-1-8	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05
7-1-9	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
7-1-10	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
7-1-11	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-12	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-13	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-14	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-15	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-16	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7-1-17	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06
7-2-1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
7-2-2	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	
7-2-3	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	
7-2-4	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
7-2-5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
7-2-6	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	
7-2-7	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	
7-2-8	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
7-2-9	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
7-2-10	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	
7-2-11	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	
7-2-12	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
7-2-13	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	
7-2-14	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
7-2-15	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
平均	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06

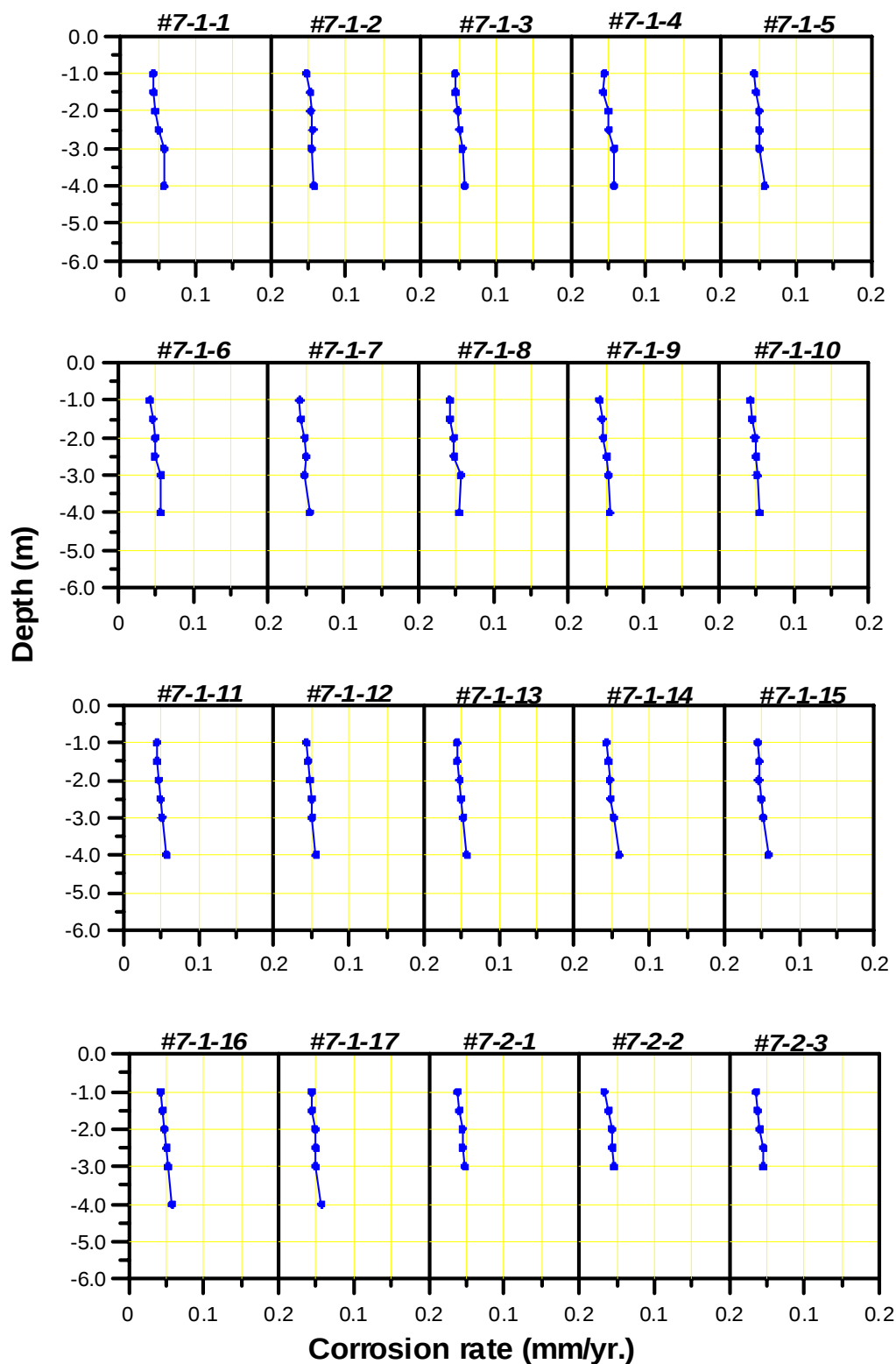


圖 3.33 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

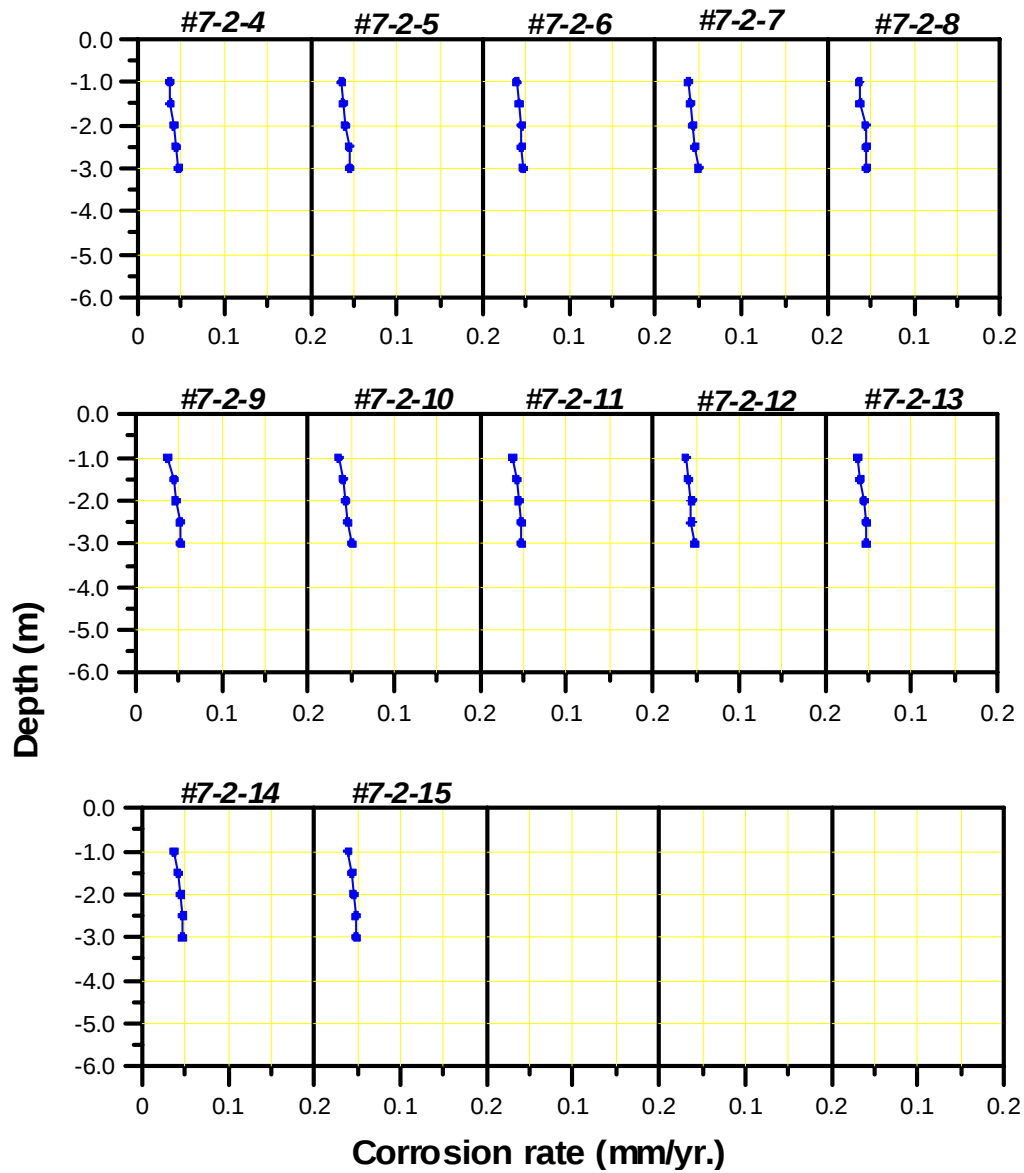


圖 3.34 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

表 3.19 馬公港 7 號碼頭鋼管樁保護電位值

(單位：mV)

檢測位置	編號	水深 (m)			檢測位置	編號	水深 (m)		
		-1.0	-2.5	-4.0			-1.0	-2.5	-4.0
7-1	1	-1009	-1006	-1002	7-8	1	-1071	-1057	-1047
	2	-1005	-1007	-1008		2	-1040	-1039	-1037
7-2	1	-1021	-1025	-1024	7-9	1	-1035	-1042	-1037
	2	-1005	-1005	-1005		2	-1040	-1038	-1045
7-3	1	-1018	-1016	-1013	7-10	1	-1041	-1043	-1041
	2	-1022	-1024	-1024		2	-1043	-1038	-1036
7-4	1	-1027	-1029	-1030	7-11	1	-1043	-1039	-1041
	2	-1020	-1015	-1020		2	-1051	-1047	-1029
7-5	1	-1026	-1022	-1021	7-12	1	-1031	-1025	-1051
	2	-1024	-1026	-1027		2	-1040	-1032	-1031
7-6	1	-1041	-1033	-1057	7-13	1	-1033	-1032	-1031
	2	-1048	-1045	-1037		2	-1040	-1036	-1029
7-7	1	-1044	-1038	-1036					
	2	-1076	-1072	-1072					

3.3.2.7 馬公港 8 號碼頭

本座碼頭同 6 號碼頭原屬水深為 -3.5 公尺之疊石岸壁橫式碼頭之部份，民國 81 年向南填築新生地改建為棧橋式鋼管樁碼頭，靠海測前列樁之設計水深為 -7.5 公尺。全長約 140 公尺，潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之保護電流能互相支援。碼頭平面佈置及結構斷面示於圖 3.26 及圖 3.27。

1. 目視檢測

潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土包覆保護，外觀無孔蝕或破洞等嚴重之腐蝕，潮汐帶及海中帶之鋼管樁表面附著許多如牡蠣、籐壺等大型海生物。

2. 鋼管樁厚度

厚度測樁選定與 7 號碼頭交接處之第 1 至第 5 排靠海側算起第 1 列及第 2 列樁為測厚樁, 每支測樁依其所處實際水深, 檢測水深為 -1.5 m、-2.0 m、-2.5 m、-3.0 m、-3.5 m、-4.0 m 等 4 至 6 個不同水深測點。

表 3.20 及圖 3.35 為各檢測樁之平均腐蝕速率與水深之關係, 各檢測水深之平均腐蝕速率在 0.04 至 0.05 mm/yr. 之間。表 3.21 及圖 3.36 為各測樁腐蝕速率與水深之關係, 單一測樁之最大腐蝕速率多發生於水深 -2.5 m 及 -4.0 m 處, 腐蝕速率為 0.05 mm/yr. , 低於設計允許值, 腐蝕程度屬於輕微。

表 3.20 馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率

水深(m)	-1.5	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-7.0
腐蝕速率 (mm/yr.)	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05

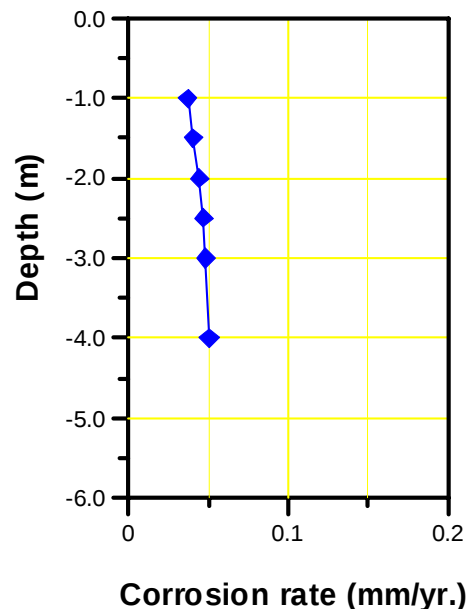


圖 3.35 馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係

3. 鋼管樁保護電位

本座碼頭之鋼管樁保護電位選定自海測算起第 1 列樁及第 1 列樁，共隨機抽選 72 支測樁，量測水深為 -1.0 m、-2.5 m、及 -4.0 m，量測結果列於表 3.22。保護電位最大值為 -990 mV，最小值為 -1113 mV，平均值為 -1100 mV，小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)標準防蝕電位值，管樁處於防蝕保護狀態。

表 3.21 馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

單位：mm/yr.

水深 (m) 測樁編號	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
8-1-1	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
8-1-2	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
8-1-3	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
8-1-4	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
8-1-5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
8-1-6	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
8-2-1	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	
8-2-2	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
8-2-3	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
8-2-4	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
8-2-5	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	
平均	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05

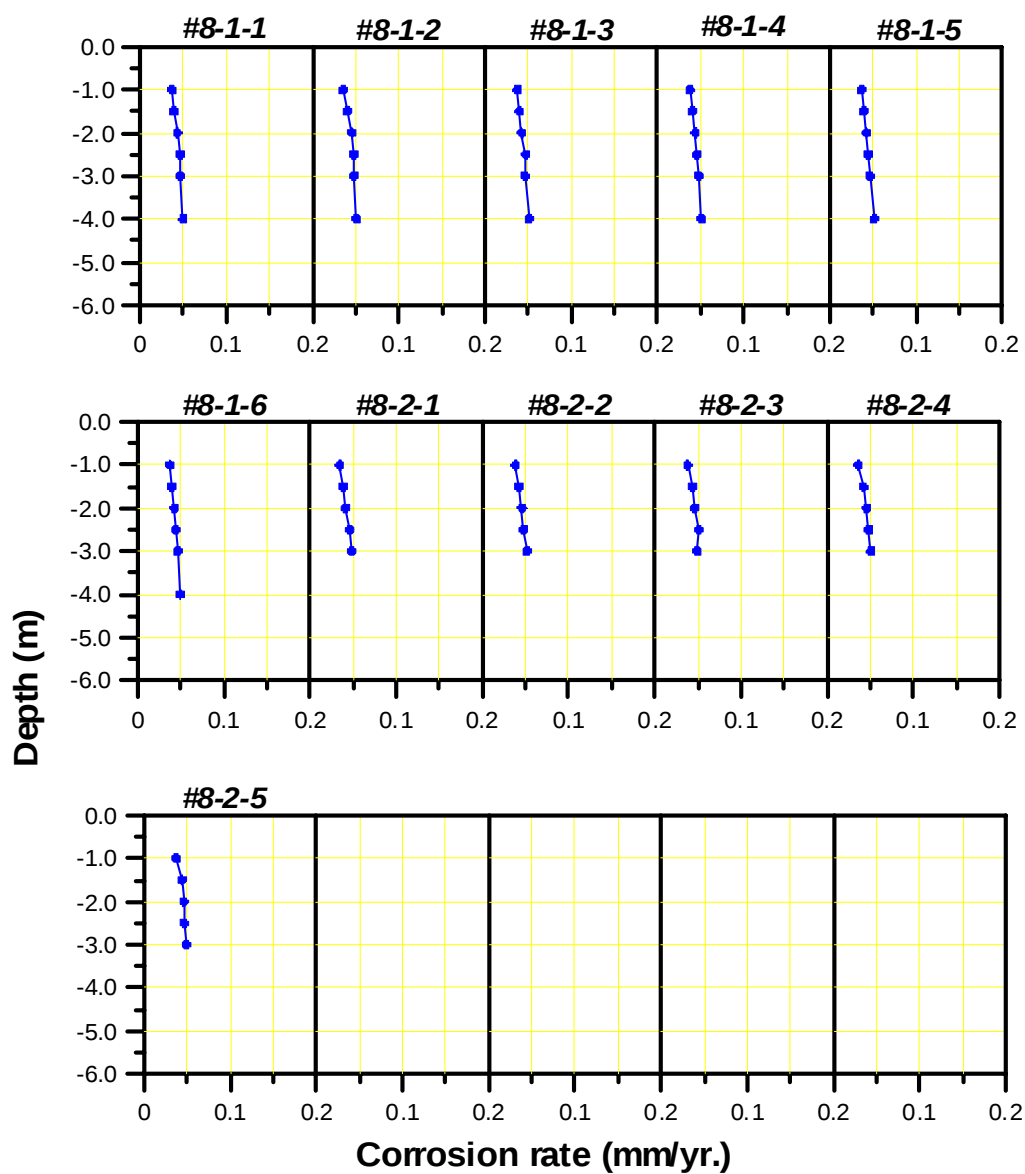


圖 3.36 馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

表 3.22 馬公港 8 號碼頭鋼管樁保護電位值

(單位：mV)

檢測位置	編號	水深 (m)			檢測位置	編號	水深 (m)		
		-1.0	-2.5	-4.0			-1.0	-2.5	-4.0
8-1	1	-991	-990	988	8-19	1	-1021	-1020	-1020
	2	-----	-----	-----		2	-1032	-1025	-1024
8-2	1	-995	-993	-990	8-20	1	-1020	-1019	-1017
	2	-----	-----	-----		2	-1027	-1028	-1038
8-3	1	-1013	-1002	-994	8-21	1	-1023	-1024	-1026
	2	-996	-995	-992		2	-1028	-1030	-1032
8-4	1	-1010	-1007	-1000	8-22	1	-1026	-1029	-1041
	2	-1000	-1002	-1004		2	-1026	-1028	-1040
8-5	1	-1009	-1010	-1005	8-23	1	-1023	-1024	-1021
	2	-1007	-1011	-1021		2	-1027	-1038	-1029
8-6	1	-998	-996	-993	8-24	1	-1024	-1025	-1025
	2	-997	-997	-997		2	1029	-1027	-1008
8-7	1	-1015	-1009	-1007	8-25	1	-1027	-1026	-1025
	2	-996	-995	-995		2	-1025	-1026	-1025
8-8	1	-998	-999	-998	8-26	1	-1025	-1027	-1028
	2	-1007	-1010	-1013		2	-1029	-1030	-1031
8-9	1	-1003	-1004	-1040	8-27	1	-1028	-1026	-1027
	2	-1006	-1011	-1015		2	-1023	-1030	-1037
8-10	1	-999	-997	-996	8-28	1	-1028	-1029	-1027
	2	-1087	-1089	-1003		2	-1023	-1024	-1027
8-11	1	-1093	-1095	-1101	8-29	1	-1025	-1025	-1023
	2	-1092	-1093	-1096		2	-1023	-1024	-1027
8-12	1	-1087	-1089	-1088	8-30	1	-1024	-1028	-1030
	2	-1089	-1088	-1085		2	-1025	-1028	-----
8-13	1	-1107	-1097	-1093	8-31	1	-1029	-1029	-1026
	2	-1085	-1086	-1087		2	-1034	-1033	-1040
8-14	1	-1097	-1092	-1091	8-32	1	-1034	-1035	-1036
	2	-1113	-1093	-1087		2	-1030	-1032	-1037
8-15	1	-1100	-1090	-1090	8-33	1	-1028	-1029	-1042
	2	-1086	-1085	-1085		2	-1033	-1029	-1028
8-16	1	-1090	-1088	-1088	8-34	1	-1029	-1025	-1026
	2	-1082	-1083	-1084		2	-1022	-1026	-1029
8-17	1	-1092	-1088	-1018	8-35	1	-1005	-1004	-1004
	2	-1023	-975	-976		2	-1025	-1027	-1031
8-18	1	-1020	-1019	-1017	8-36	1	-1025	-1029	-1029
	2	-1031	-1024	-1023		2	-1015	-1012	-1009

3.3.3 陽極塊調查

陽極塊調查範圍包括高雄港 54 號碼頭及馬公港 6 至 8 號碼頭。高雄港 54 檢測 21 支，馬公港 6 至 8 號碼頭分別檢測 19 支、5 支及 15 支陽極塊共 39 支，總計 60 支。

高雄港 54 號碼頭於民國 75 年時已安裝陽極塊作為防蝕措施，民國 90 年考量原有陽極塊消耗情形及剩餘重量不多，且使用時間已接近設計年限，全部予以更新。陽極塊安裝位置如圖 4.37 所示，係於首支鋼樁位於水深為 -1.0m 、 -5.0m 及 -9.0m 處先安裝 3 支陽極塊後，間隔 1 支樁後於水深為 -2.0m 及 -8.0m 處再安裝 2 支陽極塊，其後間隔 1 支樁再重複此步驟安裝。陽極塊尺寸為 $(210+250) \times 240$ 之梯形斷面，全長 1000cm ，總重（含鐵芯重）約 149.0kg 。圖 4.38 則為 54 號碼頭之陽極塊斷面型式。

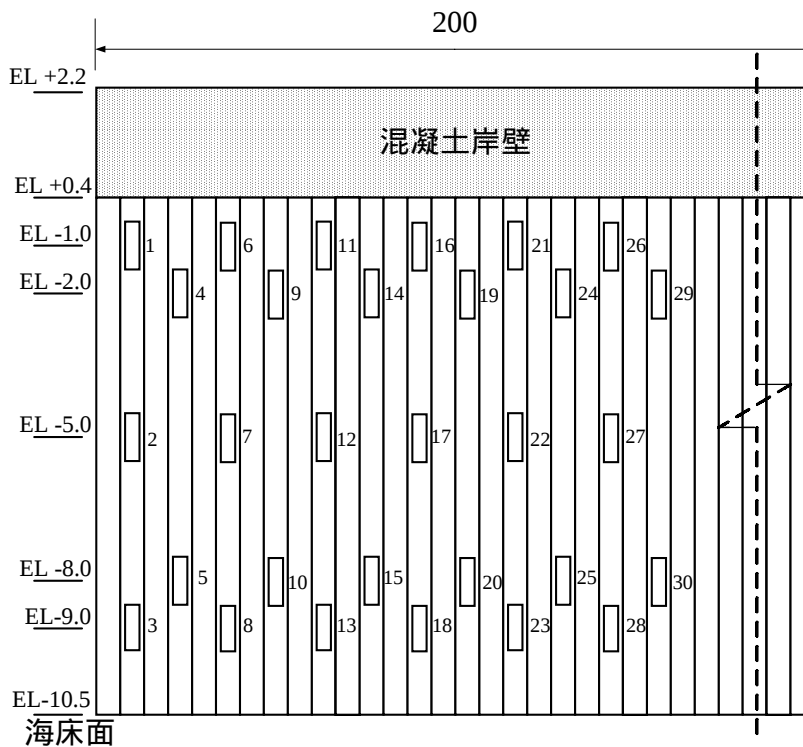


圖 3.37 高雄港 54 號碼頭陽極塊安裝位置

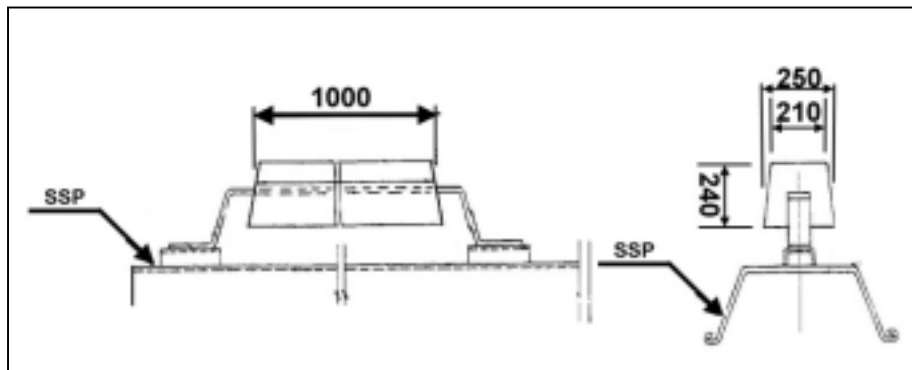


圖 3.38 高雄港 54 碼頭鋼板樁陽極塊斷面型式

馬公港 6 至 8 號碼頭鋼管樁於民國 84 年安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施,以每排 5 列鋼管樁方式排列,自海側算起第 1 列樁於水深-2.5m 及-4.0m (或 -5.5 m) 處安裝 2 支陽極塊,第 2 列樁於水深-3.0 m 處安裝 1 支陽極塊,第 3 列樁於水深-2.0 m 處安裝 1 支陽極塊,第 4 列樁於水深-1.3 m 處(拋石斜坡上方位置)安裝 1 支陽極塊陽極塊。安裝位置及陽極塊斷面型式如圖 3.39 及圖 3.40 所示。陽極塊尺寸為 $(190+230) \times 200 \times 1000$ cm,每支淨重約 113 公斤(不含鐵蕊重)。6 號碼頭調查位置選定於接近 5 號碼頭之轉角處取 4 支,及自碼頭起點算起 0m(起點)、50m(中點)及 100m(終點)三處各取 5 支,7 號碼頭調查位置選定於及自起點算起 30m(中點)取 5 支,8 號碼頭調查位置選定於自碼頭起點算起 0m(起點)、70m(中點)及 140m(終點)三處各取 5 支,合計檢測 39 支陽極塊。

3.3.3.1 陽極塊發生電位

量測時，以高阻抗之數位電錶探棒之一端接觸於鋼板樁連結之不電位測試棒上，另一端探棒則連接銅/硫酸銅電極，並置於欲量測位置旁，量測位置選在陽極塊上中下三等份處。

1.高雄港 54 碼頭

陽極塊發生電位量測結果如表 3.23 所示。切割前其發生電位最大值為 -1052 mV ，最小值為 -1121 mV ，焊接後最大值為 -1097 mV ，最小值為 -1163 mV ，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3.23 高雄港 54 碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	發生電位 (mV , vs. Cu/CuSO ₄ 電極)						備註
	切割前			焊接後			
	上	中	下	上	中	下	
54-1	-1069	-1077	-1072	-1101	-1103	-1109	
54-2	-1068	-1078	-1066	-1127	-1126	-1126	
54-3	-1076	-1082	-1067	-1115	-1110	-1104	
54-7	-1070	-1071	-1078	-1097	-1103	-1103	
54-11	-1071	-1078	-1068	-1108	-1110	-1116	
54-14	-1082	-1052	-1056	-1123	-1121	-1124	
54-16	-1096	-1100	-1104	-1132	-1133	-1133	
54-17	-1086	-1088	-1086	-1133	-1135	-1134	
54-18	-1087	-1085	-1077	-1137	-1132	-1134	
54-19	-1121	-1109	-1105	-1127	-1130	-1134	
54-20	-1091	-1096	-1088	-1125	-1131	-1124	
54-21	-1088	-1087	-1080	-1142	-1163	-1167	
54-22	-1088	-1088	-1080	-1157	-1160	-1166	
54-23	-1088	-1093	-1082	-1147	-1151	-1154	
54-24	-1089	-1092	-1085	-1145	-1160	-1166	
54-25	-1093	-1092	-1084	-1146	-1151	-1154	
54-26	-1071	-1067	-1063	-1158	-1165	-1171	
54-27	-1094	-1097	-1089	-1148	-1145	-1131	
54-28	-1085	-1093	-1082	-1110	-1114	-1109	
54-29	-1074	-1075	-1079	-1138	-1141	-1147	
54-30	-1072	-1074	-1070	-1166	-1175	-1170	
最大發生電位	-1052			-1097			
最小發生電位	-1121			-1163			

2.馬公港 6 碼頭

本座碼頭陽極塊發生電位量測結果如表 3.24 所示，切割前發生電位最大值為 -1037 mV ，最小值為 -1059 mV ，焊接後最大值為 -1037 mV ，最小值為 -1059 mV ，焊接後部份電位小於切割前，可能為量測時，陽極塊尚未充分發揮釋出電壓，但均已釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3.24 馬公港 6 碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	發生電位 (mV , vs. Cu/CuSO ₄ 電極)						備註
	切割前			焊接後			
	上	中	下	上	中	下	
6-E1-1	-1054	-1055	-1062	-1059	-1058	-1055	
6-E1-2	-1055	-1057	-1056	-1055	-1058	-1055	
6-E1-3	-1057	-1056	-1048	-1058	-1058	-1053	
6-E1-4	-1047	-1045	-1039	-1056	-1056	-1049	
6-0-1	-1059	-1058	-1055	-1054	-1057	-1050	
6-0-2	-1055	-1058	-1055	-1037	-1040	-1041	
6-0-3	-1058	-1058	-1053	-1054	-1055	-1062	
6-0-4	-1056	-1056	-1049	-1055	-1057	-1056	
6-0-5	-1054	-1057	-1050	-1057	-1056	-1048	
6-50-1	-1037	-1040	-1041	-1047	-1045	-1039	
6-50-2	-1058	-1063	-1056	-1059	-1058	-1055	
6-50-3	-1056	-1062	-1059	-1055	-1058	-1055	
6-50-4	-1058	-1063	-1053	-1058	-1058	-1053	
6-50-5	-1056	-1060	-1058	-1056	-1056	-1049	
6-100-1	-1066	-1070	-1065	-1054	-1057	-1050	
6-100-2	-1059	-1068	-1066	-1037	-1040	-1041	
6-100-3	-1055	-1053	-1063	-1058	-1063	-1056	
6-100-4	-1087	-1066	-1069	-1056	-1062	-1059	
6-100-5	-1065	-1067	-1059	-1058	-1063	-1053	
最大發生電位	-1037			-1037			
最小發生電位	-1059			-1059			

3. 馬公港 7 碼頭

本座碼頭陽極塊發生電位量測結果如表 3.25 所示，切割前發生電位最大值為 -1054 mV ，最小值為 -1061 mV ，焊接後最大值為 -1039 mV ，最小值為 -1056 mV ，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3.25 馬公港 7 碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	發生電位 (mV , vs. Cu/CuSO ₄ 電極)						備註
	切割前			焊接後			
	上	中	下	上	中	下	
7-30-1	-1061	-1061	-1059	-1056	-1060	-1058	
7-30-2	-1062	-1063	-1056	-1054	-1055	-1062	
7-30-3	-1061	-1064	-1055	-1055	-1057	-1056	
7-30-4	-1056	-1059	-1054	-1057	-1056	-1048	
7-30-5	-1062	-1065	-1060	-1047	-1045	-1039	
最大發生電位	-1054			-1039			
最小發生電位	-1061			-1056			

4. 馬公港 8 碼頭

本座碼頭陽極塊發生電位量測結果如表 3.26 所示，切割前發生電位最大值為 -1027 mV，最小值為 -1141 mV，焊接後最大值為 -1037 mV，最小值為 -1059 mV，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3.26 馬公港 8 碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	發生電位 (mV , vs. Cu/CuSO ₄ 電極)						備註
	切割前			焊接後			
	上	中	下	上	中	下	
8-0-1	-1141	-1142	-1130	-1059	-1058	-1055	
8-0-2	-1126	-1118	-1103	-1055	-1058	-1055	
8-0-3	-1109	-1104	-1109	-1058	-1058	-1053	
8-0-4	-1121	-1128	-1122	-1056	-1056	-1049	
8-0-5	-1135	-1140	-1132	-1054	-1057	-1050	
8-70-1	-1028	-1030	-1027	-1037	-1040	-1041	
8-70-2	-1043	-1043	-1039	-1058	-1063	-1056	
8-70-3	-1052	-1045	-1049	-1056	-1062	-1059	
8-70-4	-1046	-1051	-1038	-1058	-1063	-1053	
8-70-5	-1044	-1044	-1037	-1056	-1060	-1058	
8-140-1	-1081	-1090	-1085	-1066	-1070	-1065	
8-140-2	-1084	-1086	-1075	-1059	-1068	-1066	
8-140-3	-1084	-1094	-1085	-1055	-1053	-1063	
8-140-4	-1086	-1085	-1085	-1059	-1058	-1055	
8-140-5	-1092	-1099	-1084	-1055	-1058	-1055	
最大發生電位	-1027			-1037			
最小發生電位	-1141			-1059			

3.3.3.2 陽極塊外觀檢視及重量耗損

陽極塊於水中量測電位及電流後，由潛水人員於水中以乙炔將陽極塊上下兩處鐵芯切斷，由吊車吊至岸上，檢視其外觀完整性及海生物附著情形，如有必要再量測各單元尺寸變化，再將附著之海生物與反應產物刮除乾淨後，量測其淨重並扣除鐵芯重即為陽極塊剩餘重量，完成後，再焊回原處。

1.高雄港 54 號碼頭

本座碼頭共切割 21 支陽極塊（原預計切割 30 支，因受限於碼頭現場作業及考量水下電焊安全，只切割 21 支），陽極塊表面附著許多藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及少數之海蟲、海草等，外觀與原有比較仍十分完整。除去附著海生物後，表面出現一些白色之氫氧化鋁（ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ）等反應產物，由於安裝使用至今時間僅約 4 年，表面在除去反應產物後仍保持十分完整，顯示初期消耗速率不大。圖 3.41 為陽極塊現場切割（下）後置於陸上進行海生物清除前後之情形。

陽極塊現有尺寸紀錄，以量取距兩端端點各 10 公分及中央三處周長。表 3.27 為陽極塊尺寸及重量量測結果。陽極塊除去附著海生物後剩餘淨重（不含鐵蕊重量）為 121.5 ~ 129.6 kg 之間，消耗重量達 43.8 ~ 13.48 kg 左右，以民國 90 年安裝至今計算，消耗速率約為 0.49 ~ 1.49 kg/yr。陽極塊周長約介於 86 ~ 94.5 cm 間，與原有尺寸相較減少不多。

陽極塊剩餘重量以目前消耗速率及假設陽極材料未完全消耗前未受外力衝擊脫落，推估應可使用至二十年之設計年限。



54 號碼頭陽極塊海生物清除前(1)



54 號碼頭陽極塊海生物清除前(2)



54 號碼頭陽極塊海生物清除後(1)



54 號碼頭陽極塊海生物清除後(2)

圖 3.41 高雄港 54 號碼頭海生物清除前後之情形

表 3.27 高雄港 54 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果

編號	尺寸 (cm)				原有重量 (kg) *	剩餘重量 (kg) **	消耗重量 (kg)	消耗速率 (kg/yr.)
	上	中	下	平均				
54-1	92.0	92.0	94.0	92.7	149.0	146.8	2.2	0.6
54-2	94.0	93.5	92.0	93.2	149.0	147.2	1.8	0.4
54-3	92.0	94.0	92.5	92.8	149.0	146.6	2.4	0.6
54-7	92.0	94.5	94.5	93.7	149.0	148.1	0.9	0.2
54-11	93.5	93.5	91.5	92.8	149.0	145.9	3.1	0.8
54-14	94.0	94.0	93.0	93.7	149.0	147.2	1.8	0.4
54-16	93.0	92.5	92.5	92.7	149.0	145.0	4.0	1.0
54-17	91.5	93.5	93.0	92.7	149.0	147.0	2.0	0.5
54-18	91.0	93.0	91.0	91.7	149.0	142.1	6.9	1.7
54-19	90.0	92.0	92.0	91.3	149.0	147.0	2.0	0.5
54-20	92.5	94.0	93.0	93.2	149.0	146.2	2.8	0.7
54-21	94.0	92.5	93.0	93.2	149.0	147.0	2.0	0.5
54-22	90.5	93.5	92.5	92.2	149.0	144.1	4.9	1.2
54-23	90.5	93.0	92.5	92.0	149.0	144.0	5.0	1.2
54-24	91.0	92.5	93.5	92.3	149.0	148.1	0.9	0.2
54-25	94.5	95.0	95.0	94.8	149.0	142.1	6.9	1.7
54-26	92.0	92.5	93.0	92.5	149.0	148.1	0.9	0.2
54-27	91.0	90.5	95.2	92.2	149.0	145.0	4.0	1.0
54-28	94.5	94.5	94.5	94.5	149.0	147.4	1.6	0.4
54-29	94.5	94.5	93.5	94.2	149.0	145.0	4.0	1.0
54-30	91.5	94.0	93.5	93.0	149.0	144.2	4.8	1.2

2.馬公港 6 號碼頭

本座碼頭切割之 19 支陽極塊，其表面附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及數量甚多之管蟲類、海蟲、海鞘等。表除去附著海生物後，表面出現一層厚重之白色氫氧化鋁（ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ）等反應產物，由於馬公港內不易受到港域外之巨大波浪直接侵襲，故陽極塊表面反應產物並無明顯脫落情形，陽極塊表除去附著海生物後剩餘斷面呈不規則形狀，消耗較大部份處出現有凹陷之現象。圖 3.42 為 6 號碼頭之現況，圖 3.43 為陽極塊現場切割後置於陸上進行海生物清除前後之情形。表 3.28 為陽極塊尺寸及重量量測結果，除去附著海生物後剩餘淨重為 65.9

86.1 kg 間，消耗重量約 26.9 ~ 47.1 kg 左右，以民國 84 年安裝至今估計，消耗率約為 2.2 ~ 3.9 kg/yr。陽極塊周長在 64 ~ 80 cm 間。陽極塊剩餘重量以目前消耗速率及假設陽極材料未完全消耗前未受外力衝擊脫落，推估應可使用至二十年之設計年限。



圖 3.42 馬公港 6 號碼頭現況



6 號碼頭陽極塊海生物清除前(1)



6 號碼頭陽極塊海生物清除前(2)



6 號碼頭陽極塊海生物清除前(3)



6 號碼頭陽極塊海生物清除前(4)



6 號碼頭陽極塊海生物清除後(1)



6 號碼頭陽極塊海生物清除後(2)

圖 3.43 馬公港 6 號碼頭海生物清除前後之情形

表 3.28 馬公港 6 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果

編號	尺寸 (cm)				原有重量 (kg) *	剩餘重量 (kg) **	消耗重量 (kg)	消耗速率 (kg/yr.)
	上	中	下	平均				
6-E1-1	75.5	80.0	72.5	76.0	113.0	81.2	31.8	2.6
6-E1-2	75.0	74.5	73.5	74.3	113.0	84.9	28.1	2.3
6-E1-3	72.5	76.5	71.5	73.5	113.0	82.1	30.9	2.6
6-E1-4	73.5	70.0	74.0	72.5	113.0	83.2	29.8	2.5
6-0-1	68.5	66.5	68.5	67.8	113.0	81.9	31.1	2.6
6-0-2	71.5	71.5	71.0	71.3	113.0	80.9	32.1	2.7
6-0-3	70.5	68.5	75.0	71.3	113.0	83.0	30.0	2.5
6-0-4	71.0	71.0	72.5	71.5	113.0	86.1	26.9	2.2
6-0-5	68.0	71.5	73.5	71.0	113.0	87.1	25.9	2.2
6-50-1	69.0	66.0	57.0	64.0	113.0	72.9	40.1	3.3
6-50-2	67.5	73.0	64.0	68.2	113.0	69.2	43.8	3.7
6-50-3	72.0	75.5	71.5	73.0	113.0	76.8	36.2	3.0
6-50-4	69.5	70.0	64.0	67.8	113.0	73.2	39.8	3.3
6-50-5	72.5	69.5	66.5	69.5	113.0	65.9	47.1	3.9
6-100-1	74.0	77.0	67.0	72.7	113.0	84.2	28.8	2.4
6-100-2	72.5	70.0	66.0	69.5	113.0	78.8	34.2	2.9
6-100-3	68.0	68.0	70.0	68.7	113.0	73.8	39.2	3.3
6-100-4	77.0	72.0	73.0	74.0	113.0	80.7	32.3	2.7
6-100-5	75.0	78.0	68.0	73.7	113.0	81.2	31.8	2.6

3.馬公港 7 號碼頭

本座碼頭切割之 5 支陽極塊，其表面附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及數量甚多之管蟲類、海蟲、海鞘等。表除去附著海生物後，表面出現一層厚重之白色氫氧化鋁（ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ）等反應產物，由於馬公港內不易受到港域外之巨大波浪直接侵襲，故陽極塊表面反應產物並無明顯脫落情形，除去附著海生物後剩餘斷面呈不規則形狀，圖 3.44 為陽極塊現場切割後置於陸上進行海生物清除前後之情形。表 3.29 為馬公港 7 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果陽極塊周長約介於 69 78cm 間。剩餘重量為 81.9 86.9 kg 之間，消耗量達 26.1 31.1kg。以民國 84 年安裝至今估計，消耗率分別為 2.2 3.9 kg/yr.間。陽極塊推估應可使用至二十年之設計年限。



7 號碼頭陽極塊海生物清除前(1)



7 號碼頭陽極塊海生物清除前(2)



7 號碼頭陽極塊海生物清除後(1)



7 號碼頭陽極塊海生物清除後(2)

圖 3.44 馬公港 7 號碼頭海生物清除前後之情形

表 3.29 馬公港 7 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果

編號	尺寸 (cm)				原有重量 (kg) *	剩餘重量 (kg) **	消耗重量 (kg)	消耗速率 (kg/yr.)
	上	中	下	平均				
7-30-1	72.5	75.0	71.5	73.0	113.0	84.0	29.0	2.4
7-30-2	75.0	77.0	72.0	74.7	113.0	84.8	28.2	2.3
7-30-3	77.0	75.0	74.0	75.3	113.0	86.9	26.1	2.2
7-30-4	77.0	78.0	75.0	76.7	113.0	85.8	27.2	2.3
7-30-5	74.0	69.0	70.0	71.0	113.0	81.9	31.1	2.6

4.馬公港 8 號碼頭

本座碼頭切割之 5 支陽極塊，其表面附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及數量甚多之管蟲類、海蟲、海鞘等。表除去附著海生物後，表面出現一層厚重之白色氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等反應產物，由於馬公港內不易受到港域外之巨大波浪直接侵襲，故陽極塊表面反應產物並無明顯脫落情形，陽極塊表除去附著海生物後剩餘斷面呈不規則形狀，消耗較大部份處出現有凹陷之現象。圖 3.45 為本座碼頭之陽極塊現場切割後置於陸上進行海生物清除前後之情形。表 3.30 為陽極塊尺寸及重量量測結果，剩餘重量約在 68.0 ~ 111.1 kg 間，消耗量約 1.9 ~ 45.0 kg 左右，以民國 84 年安裝至今估計，消耗速率約為 0.2 ~ 3.7 kg/yr.。陽極塊周長在 58 ~ 83 cm 之間。陽極塊剩餘重量以目前消耗速率及假設陽極材料未完全消耗前未受外力衝擊脫落，推估應可使用至二十年之設計年限。



8 號碼頭陽極塊海生物清除前(1)



8 號碼頭陽極塊海生物清除前(2)



8 號碼頭陽極塊海生物清除後(1)



8 號碼頭陽極塊海生物清除後(2)

圖 3.45 馬公港 8 號碼頭海生物清除前後之情形

表 3.30 馬公港 8 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果

編號	尺寸 (cm)				原有重量 (kg) *	剩餘重量 (kg) **	消耗重量 (kg)	消耗速率 (kg/yr.)
	上	中	下	平均				
8-0-1	70.5	71.0	76.0	72.5	113.0	84.1	28.9	2.4
8-0-2	71.5	73.5	71.0	72.0	113.0	81.3	31.7	2.6
8-0-3	73.0	70.0	66.0	69.7	113.0	75.1	37.9	3.2
8-0-4	83.0	82.0	82.0	82.3	113.0	111.1	1.9	0.2
8-0-5	74.0	75.0	66.5	71.8	113.0	77.9	35.1	2.9
8-70-1	71.0	76.0	69.0	72.0	113.0	82.9	30.1	2.5
8-70-2	71.0	74.0	64.0	69.7	113.0	68.0	45.0	3.7
8-70-3	71.0	72.0	58.0	67.0	113.0	68.9	44.1	3.7
8-70-4	80.0	78.0	81.0	79.7	113.0	94.0	19.0	1.6
8-70-5	73.0	69.0	68.0	70.0	113.0	70.0	43.0	3.6
8-140-1	70.0	73.0	74.0	72.3	113.0	87.2	25.8	2.1
8-140-2	73.0	73.0	74.5	73.5	113.0	83.2	29.8	2.5
8-140-3	77.0	75.5	75.0	75.8	113.0	92.2	20.8	1.7
8-140-4	73.5	77.0	76.0	75.5	113.0	93.0	20.0	1.7
8-140-5	73.0	74.0	74.0	73.7	113.0	86.8	26.2	2.2

3.3.3.3 陽極塊釋出電流

本次調查之陽極塊釋出電流量測係以電流計為之，量測位置選在陽極塊上下兩處。

1. 高雄港 54 號碼頭

本座碼頭陽極塊釋出電流量測結果列於表 3.31：陽極塊切割前（未清除海生物）瞬間最大值 0.3 安培，最小值為 0.1 安培；焊接後（海生物已清除）瞬間最大值 0.8 安培，最小值為 0.25 安培。

一般而言，陽極塊之釋出電流與其消耗速率有相對應關係，電流發生與陽極塊之等量直徑有關。

2. 馬公港 6 號碼頭

本座碼頭釋出電流量測結果列於表 3.32：陽極塊切割前（未清除海生物）瞬間最大值 0.8 安培，最小值為 0.0 安培；焊接後（海生物已清除）瞬間最大值 1.0 安培，最小值為 0.0 安培。

3.馬公港 7 號碼頭

本座碼頭釋出電流量測結果列於表 3.33：陽極塊切割前（未清除海生物）瞬間最大值 0.36 安培，最小值為 0.01 安培；焊接後（海生物已清除）瞬間最大值 1.00 安培，最小值為 0.02 安培。

4.馬公港 8 號碼頭

本座碼頭釋出電流量測結果列於表 3.34：陽極塊切割前（未清除海生物）瞬間最大值 0.35 安培，最小值為 0.0 安培；焊接後（海生物以清除）瞬間最大值 1.00 安培，最小值為 0.12 安培。

表 3.31 高雄港 54 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果

陽極塊編號	釋出電流（安培，A）				備註
	切割前		焊接後		
	上	下	上	下	
54-1	0.10	0.20	1.20	0.70	
54-2	0.20	0.10	1.50	0.50	
54-3	0.30	0.10	1.40	0.50	
54-7	0.10	0.10	1.90	0.70	
54-11	0.20	0.10	2.20	1.40	
54-14	0.20	0.20	1.60	1.40	
54-16	0.30	0.20	0.90	1.40	
54-17	0.20	0.10	0.70	1.10	
54-18	0.20	0.10	0.60	1.10	
54-19	0.30	0.20	1.00	1.10	
54-20	0.40	0.20	0.90	1.40	
54-21	0.20	0.10	0.60	0.20	
54-22	0.40	0.20	1.40	1.30	
54-23	0.30	0.20	0.45	0.80	
54-24	0.20	0.30	0.60	0.60	
54-25	0.20	0.20	0.60	0.50	
54-26	0.30	0.20	0.30	0.50	
54-27	0.40	0.10	0.50	0.20	
54-28	0.20	0.10	1.00	0.50	
54-29	0.30	0.10	0.40	0.50	
54-30	0.20	0.20	0.50	0.20	
釋出電流最大值	0.40		2.2		
釋出電流最小值	0.10		0.20		

表 3.32 馬公港 6 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果

陽極塊編號	釋出電流 (安培 , A)		備註
	切割前	焊接後	
6-E1-1	0.00 0.15	0.27 0.32	
6-E1-2	0.00 0.40	0.25 0.46	
6-E1-3	0.00 0.25	0.30 1.00	
6-E1-4	0.00 0.25	0.25 0.45	
6-100-1	0.00 0.70	0.00 0.40	
6-100-2	0.00	0.00 0.72	
6-100-3	0.00 0.35	0.00 0.70	
6-100-4	0.00 0.10	0.00 0.76	
6-100-5	0.00 0.10	0.00 0.50	
6-50-1	0.00	0.00 0.30	
6-50-2	0.00 0.75	0.00 0.50	
6-50-3	0.00 0.45	0.00 0.35	
6-50-4	0.00 0.80	0.00 0.22	
6-50-5	0.00 0.50	0.00 0.16	
釋出電流最大值	0.80	1.00	
釋出電流最小值	0.00	0.00	

表 3.33 馬公港 7 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果

陽極塊編號	釋出電流 (安培 , A)		備註
	切割前	焊接後	
7-30-1	0.00 0.30	0.00 0.70	
7-30-2	0.00 0.28	0.00 1.00	
7-30-3	0.00 0.48	0.00 0.74	
7-30-4	0.00 0.12	0.00 0.45	
7-30-5	0.00 0.20	0.00 1.00	
釋出電流最大值	0.48	1.00	
釋出電流最小值	0.00	0.00	

表 3.34 馬公港 8 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果

陽極塊編號	釋出電流 (安培 , A)		備註
	切割前	焊接後	
8-0-1	0.00 0.03	0.00 0.55	
8-0-2	0.00 0.18	0.00 0.30	
8-0-3	0.00 0.04	0.00 0.50	
8-0-4	0.24 0.30	0.00 0.40	
8-0-5	0.00 0.05	0.00 0.75	
8-70-1	0.00 0.10	0.40 0.56	
8-70-2	0.00 0.35	0.51 0.52	
8-70-3	0.00 0.10	0.24 0.52	
8-70-4	0.20 0.32	0.26 0.50	
8-70-5	0.14 0.20	0.40 0.46	
8-140-1	0.00 0.30	0.40 0.46	
8-140-2	0.00 0.20	0.40 0.50	
8-140-3	0.00 0.06	0.12 0.65	
8-140-4	0.00 0.24	0.25 0.67	
8-140-5	0.00 0.24	0.25 0.40	
釋出電流最大值	0.35	1.00	
釋出電流最小值	0.00	0.12	

3.4 歷年調查結果彙整分析

表 3.35 為歷年國內主要商港鋼構碼頭之鋼樁腐蝕調查結果。各港之鋼樁如採用適當之防蝕措施，均可達到降低其腐蝕速率之效果，例如，海中帶採用犧牲陽極塊作為防蝕工法。

表 3.35 國內主要商港鋼構碼頭之鋼樁腐蝕調查結果

港口	檢測碼頭 編號	鋼材現況			備註
		鋼材種類	防蝕措施	腐蝕速率 (mm/yr.)	
基隆港	E2 E10 W19 W27	E 5 E 7、W21 W24、W27：Z 型 鋼板樁 W24 W26：井筒 式鋼板樁 E8 E10：鋼管樁 W19 W20： 鋼管樁	潮汐帶：塗裝工法 海中帶：犧牲陽極 法 (E5、E9、E10 尚有部份未安裝)	1.E 5 E 7、W24 W27 在低潮 位線附近均發現鋼板樁發生 穿孔破洞現象 2.部份碼頭未採防蝕措施前，低 潮位線附近多處及海中帶少 處之鋼樁腐蝕速率大於 0.20 mm/yr.，腐蝕屬嚴重程度，目 前除 E5 外，多已修護海中帶 並安裝犧牲陽極改善，腐蝕速 率已降低。。	陽極塊消耗速率： 1.3 3.7 kg/yr.
臺北港	E1 E3	U 型鋼板樁	潮汐帶：塗裝工法 海中帶：犧牲陽極 法	1.最大腐蝕速率 0.14 mm/yr。 (調查時因鋼樁使用僅約五 年，故腐蝕速率較高) 2.腐蝕速率：東 1、東 2 > 東 3	陽極塊消耗速率： 0.5 3.2 kg/yr.
蘇澳港	6、7 駁 船	駁船：鋼板樁 6、7：鋼管樁	潮汐帶：塗裝工法 海中帶：犧牲陽極 法	駁船碼頭腐蝕速及鋼管樁 (6、 7 號碼頭) 腐蝕速率多小於 0.10mm/yr.。	陽極塊消耗速率： 0.4 3.0 kg/yr.
花蓮港	4 9 航道岸壁	4 9：Z 型鋼板樁 航道岸壁：U 型鋼 板樁	4 5 號碼頭大氣 帶：塗裝工法 潮汐帶：無 海中帶：無	4 5 號碼頭大氣帶之陸側鋼板 樁發現穿孔破洞.，5 6 號碼 頭靠海床處發現數處鋼板樁開 裂，已修護改善。鋼板樁之腐 蝕速率多小於 0.10mm/yr.。	鋼板樁碼頭已於民 國矮 93 年起安裝陽 極塊
臺中港	29、30、99	鋼管樁	潮汐帶：塗裝工法 海中帶：犧牲陽極 法	鋼管樁腐蝕速率多小於 0.14mm/yr.。	陽極塊消耗速率： 0.4 3.5 kg/yr.
安平港	3、4	U 型鋼板樁	海中帶：犧牲陽極 法	鋼管樁腐蝕速率多小於 0.05mm/yr.，腐蝕情狀輕微。	陽極塊消耗速率： 4.9 8.4 kg/yr.
高雄港	39、40、54-58、 69、70、78 81	U 型鋼板樁	海中帶：犧牲陽極 法	鋼管樁腐蝕速率多小於 0.05mm/yr.，腐蝕情狀輕微。	1.鋼板樁均位於海中 帶 2.陽極塊消耗速率： 1.3 4.0 kg/yr.
馬公港	6、7、8	鋼管樁	潮汐帶：PVC 防蝕 帶工法 海中帶：犧牲陽極 法	鋼管樁腐蝕速率小於 0.07mm/yr.，腐蝕情狀輕微。	陽極塊消耗速率： 0.2 3.9 kg/yr.

3.5 結論與建議

3.5.1 結論

1. 本次調查各港碼頭鋼樁由目視檢視及現有厚度與保護電位量測結果顯示，安裝陽極塊可達到對鋼樁防蝕保護之目的。
2. 鋼樁腐蝕速率均小於 0.20mm/yr. 之設計允許值。
3. 陽極塊發生電位與釋出電流量測結果顯示，陽極塊之電氣性能可達到保護鋼樁防蝕之目的。
4. 陽極塊依調查時之剩餘重量及消耗速率推估，均可使用至二十年之設計年限。

3.5.2 建議

1. 碼頭使用如超過二十年或設計年限者，為確保碼頭結構安全與正常運作，應定期進行檢測與維護。
2. 鋼樁如發現穿孔、破洞，應儘速修護並採適當之防蝕措施，以免損害繼續擴大。
3. 未採用防蝕保護措施之鋼構碼頭，應全面施加適當之防蝕措施。

第四章 港灣鋼筋混凝土耐久性之研究

4.1 前言

4.1.1 研究動機

港灣鋼筋混凝土構造物，長年受到海洋惡劣環境的侵蝕，易使有害物質氯離子侵入混凝土結構體內，進而破壞鋼筋表面的鈍態保護膜，使鋼筋發生腐蝕，導致結構物之損壞而減少其使用年限。而高性能混凝土兼具安全性、耐久性、工作性、經濟性及環保性等優越的工程材料特性，若應用於港灣工程則可確保結構物在惡劣環境下有較長之耐久性。因而為了解高性能混凝土之耐久性，本研究將持續對本中心於 88 年灌製之高性能混凝土試驗牆進行監測，以了解此種新材料所製作之結構體在港灣環境下所具有之耐久性之特性。

其次由於砂石的短缺，若能將海砂應用於混凝土中，將可彌補砂石短缺之危機。雖然海砂中 Cl 對鋼筋混凝土有腐蝕鋼筋及其他不良之影響，但是基於陸上砂石來源之匱乏與耗盡，以及海砂資源之豐富與利用，從另一角度思考，或許可從其它方法，諸如添加波索蘭材料、化學摻料（鋼筋腐蝕抑制劑）、電化學防蝕技術等，來改善海砂混凝土之耐久性與品質。本研究乃藉由添加波索蘭材料-爐石，探討海砂混凝土之各項新拌與硬固性質及其耐久性能，內部鋼筋之腐蝕狀況，並持續評估應用於 R.C. 結構物之可行性。

又從以前之報告顯示臺灣東部之粒料有潛在發生「鹼質與粒料之反應」，且港灣環境具有高濕與高鹼質之特性，加上潮汐與風等外力及乾濕循環的作用，使的混凝土構造物之耐久性面臨嚴重之考驗。本所港研中心數年前即對國內各大商港進行混凝土構造物之鹼質與粒料反應之調查，本研究將繼續過去數港之分析模式對臺東地區之混凝土構造物及其粒料來源進行調查與試驗，提供相關單位參酌，期望能協助港灣管理單位瞭解此一反應之潛勢與危害，進而在維修現有或規劃新

建混凝土構造物時有所依據。

4.1.2 研究目的

本研究之主要目的；1.高性能混凝土的耐久性探討。2.以添加爐石於海砂混凝土中，探討混凝土之基本性能變化及其適用性，並評估對鋼筋腐蝕之影響性，以提供爾後使用海砂混凝土之參考。3.對臺灣花東地區部份河川之混凝土結構物進行調查與試驗，以了解可能發生「鹼質與粒料反應」之潛勢。

4.2 研究方法與步驟

本研究分為三個單元來進行：第一單元為「高性能混凝土之耐久性研究」，第二單元為「摻用爐石對添加海砂混拌混凝土之耐久性影響」，第三單元為「混凝土構造物鹼質與粒料反應之調查與潛勢分析」。

4.2.1 高性能混凝土之耐久性研究

4.2.1.1 試驗規劃

本研究之主要目的在探討本中心在 88 年灌製的高性能混凝土試驗牆之耐久性質。本研究中採用三種具本土性材料之高性能混凝土配比，其設計強度分別 3000 psi(210kgf/cm²)，4000 psi(280kgf/cm²)，5000 psi(350kgf/cm²) (試驗組)，與一組 4000 psi(280kgf/cm²)普通混凝土(控制組)製作之試驗牆(內排鋼筋及 Sensor)，於一定時間進行海水乾濕循環之曝露試驗，由於為了與大氣環境下試體之比較，於是選用一組 4000 psi 之 HPC 與 OPC 進行大氣曝露試驗，其試驗流程如圖 4-1 所示。相關試驗內容，述敘如表 4.1 所示。

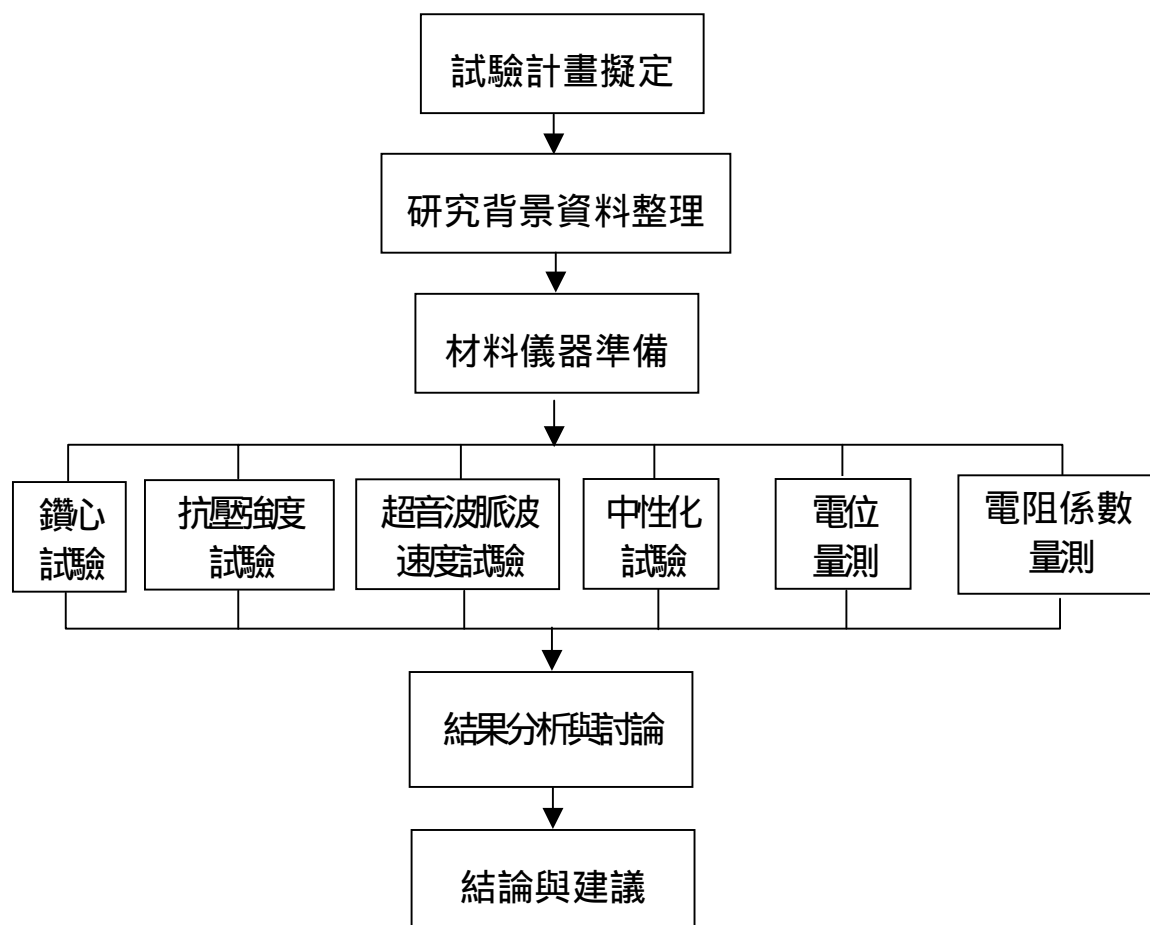


圖 4.1 試驗流程

表 4.1 試體之相關試驗內容

項目 檢測項目	試驗項目	試體種類
破壞性檢測 (試驗牆鑽心試體)	中性化試驗、抗壓強度、超音波脈波速度、電阻係數	鑽心試體 $\Phi 7.5 \times 15\text{cm}$
非破壞性檢測 (試驗牆)	超音波脈波速度、鋼筋電位值量測	試驗牆

4.2.1.2 研究背景

本研究於民國 88 年共灌製六座高性能混凝土試驗牆，高性能混凝土特性是依據國科會 HPC 研究群於民國 85 年 12 月 8 日開會討論，提出研發推動本土化中強度高流動高性能混凝土之決議。其特性為 $f_c' = 4000 \sim 5000 \text{ psi}$ ，並具有以下之性質，水泥應有每公斤 15 psi 強度以上之效益，水泥用量低於 300 kg/cm^2 ，初期坍度為 $220 \pm 20 \text{ mm}$ ，坍流度為 $500 \pm 100 \text{ mm}$ ，45 分鐘後坍度應大於 200 mm，坍流度在 400 mm 以上，水灰比 0.42，波索蘭材料 30% 為原則之免搗實混凝土^[31]，試驗配比與灌製日期如表 4-2 所示。

本研究之 HPC 試驗牆共計有六面，其設計尺寸與鋼筋之排置如詳圖 4-2，同時為了瞭解混凝土之耐久性能，在試驗牆內部埋設了監測 (Sensor) 系統，以監控 RC 之性質，其埋設位置如詳圖 4.3 所示。

然而為了模擬海洋現地情況以及縮短在海洋自然環境條件下結構物發生腐蝕劣化所需之時間，因此必須藉由乾濕循環設備(控制環境變化因素)，進行試驗。本研究將製作之試體及試驗牆置於本所海水循環水槽附近的空地，利用定時之海水噴灑系統，每小時在試驗牆噴海水 15 分鐘，以加速混凝土劣化之速率。試體及試驗牆進行海洋曝露試驗之置放位置如圖 4.4 所示。

本次量測的試驗牆起於民國八十八年，原計畫「港灣環境下高性能混凝土結構體之性質研究」規劃的混凝土試體數量只有二年，故一些混凝土的試驗項目如抗壓強度、透水..等相關的試體數量也只到二年，但就混凝土試驗牆而言因內部有埋設多項 Sensor，可持續量測鋼筋混凝土的電位與電阻，所以高性能混凝土的耐久性研究將整理從一開始的資料與今年量測的數據作一個分析，同時配合破壞性檢測與非破壞性檢測對高性能混凝土做一個耐久性之評估。

表 4.2 混凝土試體配比設計數據

性質 編號	設計強度 (fc') kgf/cm ²	混凝土種類	重量(kg/m ³)						水膠比 (W/B)	水固比 (W/S)	水灰比 (W/C)	灌製日期
			粗骨材	細骨材	水泥	飛灰 + 爐石	水	強塑劑				
A	280 (4000psi)	HPC	990	780	250	200	140	10	0.31	0.079	0.56	88.05.06
B	280 (4000psi)	OPC	894	834	387	---	205	---	0.53	0.097	0.53	88.05.13
C	350 (5000psi)	HPC	1000	710	300	200	140	11	0.27	0.082	0.47	88.05.20
D	210 (3000psi)	HPC	980	880	200	220	140	9.5	0.35	0.077	0.70	88.05.23

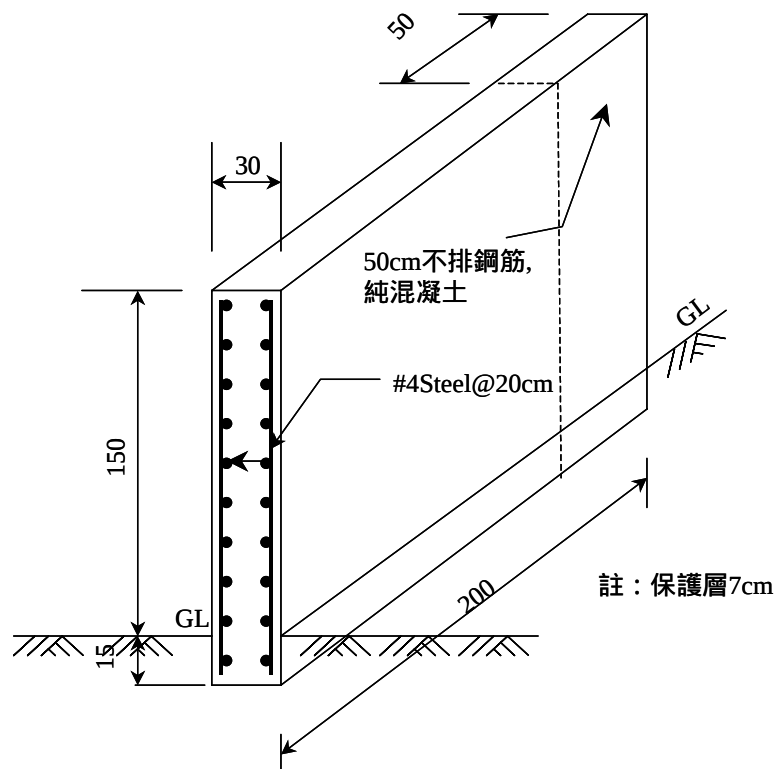


圖 4.2 單座試驗牆之設計詳圖

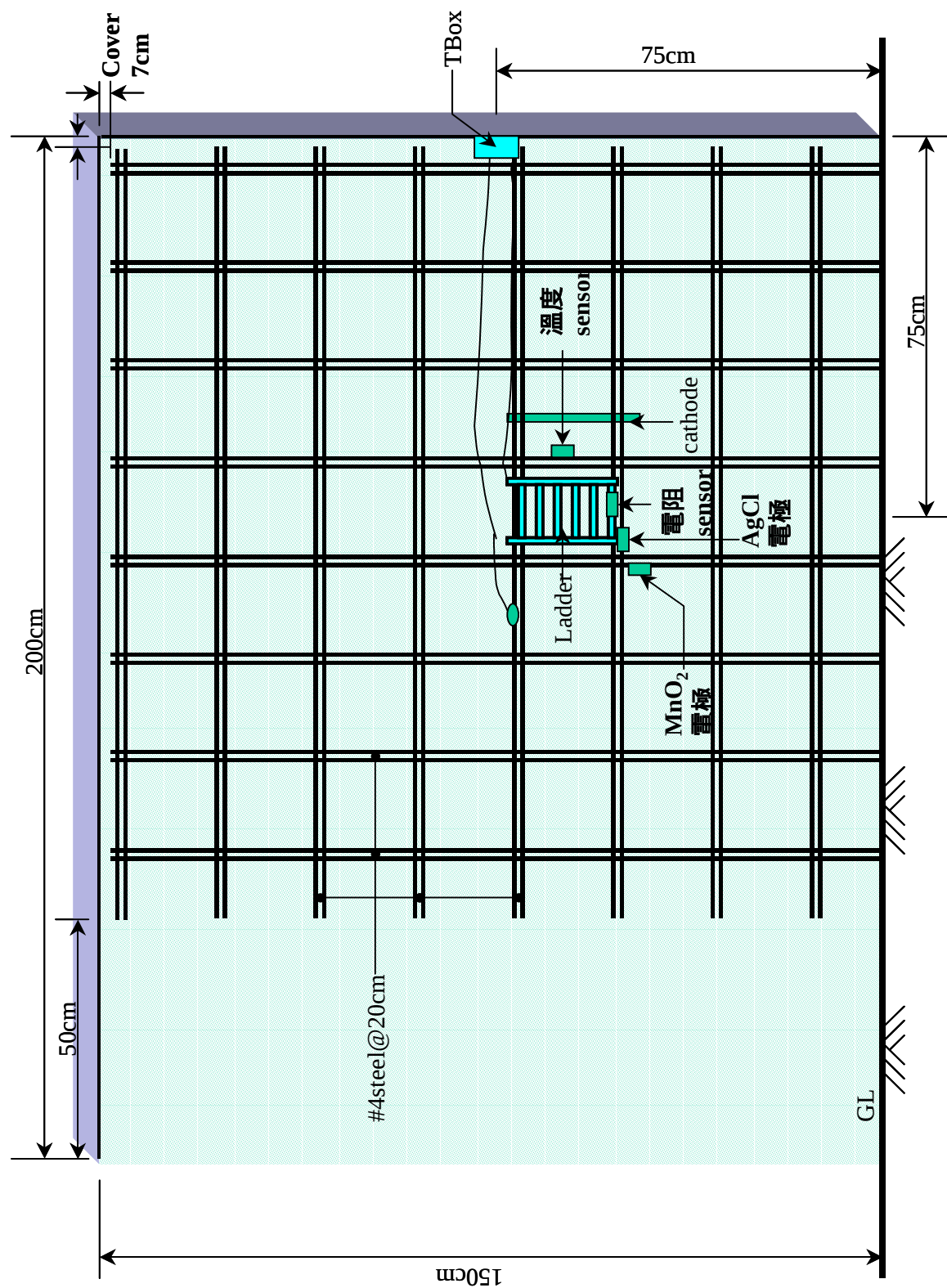


圖 4.3 試驗牆埋設之監視系統詳圖

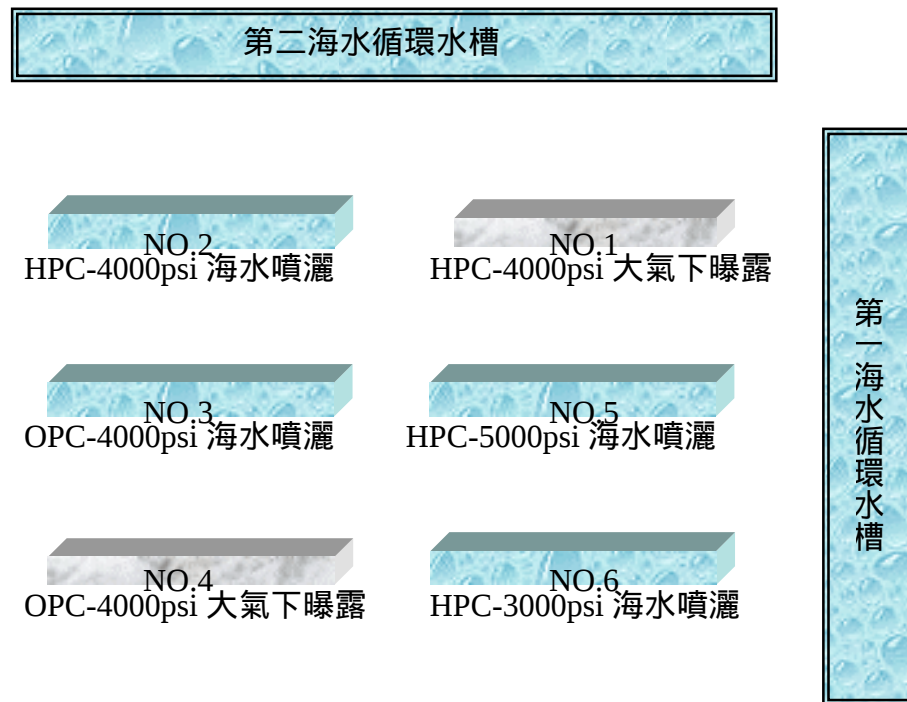


圖 4.4 試驗牆曝露位置配置圖

4.2.1.3 試驗方法與步驟

1. 混凝土試驗牆鑽心取樣

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、超音波與電阻檢測。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徑之 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。本次的鑽心試驗，於每面牆共鑽 3 顆試體，直徑為 7.5 公分，工作情形如照片 4.1 所示。

2. 中性化試驗

混凝土中的氫氧化鈣遇水後，會解離為鈣離子及氫氧離子，所以混凝土的 pH 值一般為 12~14，在此酸鹼度下鋼筋表面會形成一層具

有保護性之鈍化膜。然而空氣中的酸性物質(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。一般在維修時，即以此方法來判定應敲除混凝土劣化區域與決定修復範圍。中性化深度量測時最容易產生誤差有兩個：第一是指示劑不能放太久，否則混凝土變色不易；第二是混凝土試體取出後不能和空氣接觸太久，否則試體表面混凝土均已中性化就無從判斷混凝土中性化的深度。

3.鑽心試體抗壓試驗

鑽心試體進行抗壓試驗時應依以下之步驟進行：

(1)兩端平整處理

抗壓試驗用的圓柱體，其兩端需平滑並垂直於中軸，整個試體之直徑應相同，試體兩端平面上的突出物不得高出 5mm，並與垂直軸不得成 5° 以上之角度，其直徑與試體之平均直徑相差不得大於 3 mm，超出上述三種情形時，需鋸切或鑿琢使合於上述規定。

(2)潮濕狀況

試體未進行抗壓試驗 40-48 小時前，需全部浸入保持室溫之飽和石灰水中，試體自水中取出後需即行試驗，自水中取出至試驗前之一段時間內，試體需覆以潮濕之麻布或棉毯，試驗需在試體潮濕狀況下進

行。

(3)蓋平

抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230 混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求。

(4)度量

試驗前應先量蓋平後之試體長度，準確至 1mm。其平均直徑取試體長之中央，量二個成直角之直徑再平均得之，亦需準確至 1mm。

(5)試驗

可依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

(6)計算及報告

試體受力方向，與原結構物內受力方向之關係，需在報告內註明。試體之抗壓強度，可根據其平均直徑，算出每平方公分所受壓力。如試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以表 4.3 之更正因數(表中未列入之值，可由插入法求知)。

表 4.3 圓柱試體長度直徑比（資料來源：CNS 1238）

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 ELE2000KN 之抗壓試驗機，試驗方法依據中國國家標準 CNS 1232 規範。

4.超音波脈波速度量測

使用英國 CNS 儀器公司出品之 PUNDIT(Portable Ultrasonic 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，了解混凝土之品質狀況。儀器本體主要包括時間顯示器及脈波發射器和接收器等兩部份。其應用於混凝土強度檢測之原理為利用脈波發射器，將超音波脈波傳

入混凝土中利用接收器量測脈波在其內部之傳遞時間，再依據脈波的傳遞路徑計算脈波速度。

試驗進行時，依其發射探頭與接收探頭之位置，分為直接法、半直接法及間接法三種。前二種方法可得較令人滿意的結果。故實際檢測時，多應用直接法求出速度後，配合混凝土試體密度及彈性模數，以判斷混凝土品質及均勻穩定程度。脈波速度與混凝土品質關係如表 4.4 所示，可作初步研判^[32]。

表 4.4 超音波脈波速度與混凝土品質之關係^[32]

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

本研究之超音波量測包含鑽心試體與現地高性能混凝土試驗牆量測，其試驗情形如照片 4-2 所示。

5. 電阻係數試驗

以英國 Colebrand Advanced Engineering 公司之四探針並排之電阻量測儀器，量測時盡量避開或遠離鋼筋位置，將混凝土表面磨平，四個探針接觸表面按下，即可由儀板上讀出電阻值。圖 4.5 為四針式之電阻量測儀器示意圖，試驗儀器如照片 4.3。混凝土電阻係數與其中所含鋼筋之活性程度之關係如表 4.5 所示^[33]。

表 4.5 混凝土電阻係數與鋼筋腐蝕活性之關係⁽³³⁾

電阻係數(kohm.cm)	鋼筋腐蝕活性程度
<5	非常高
5-10	高
10-20	低/中等
>20	低



照片 4.1 混凝土試驗牆鑽心試驗



照片 4.2 現地混凝土試驗牆超音波量測

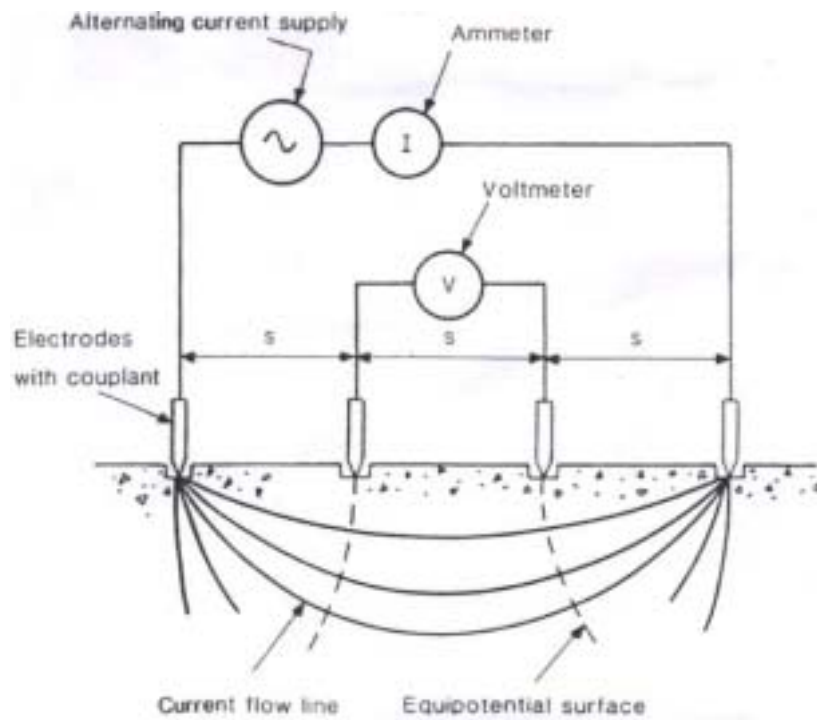


圖 4.5 四探針式之電阻量測示意圖



照片 4.3 混凝土電阻係數量測儀

6. 腐蝕電位量測

依據 ASTM C-876 規範⁽³³⁾之方法，量測鋼筋的腐蝕電位。量測採用的參考電極為 Ag/AgCl，以海綿潤濕包裹參考電極前端，增加電荷傳導效應。量測時先將電位計上的「-」端與參考電極一端相接，而「+」端則與自鋼筋表面接出的導線相接，待電位計讀數穩定後，記錄其上所顯示之鋼筋腐蝕電位值。

偵測混凝土中鋼筋保護電位之參考電極，由於須埋置混凝土中，因此其規格必須適合埋置混凝土環境使用。本實驗評估二種埋置式參考電極於鹽害混凝土環境之使用效果，參考電極種類分別 MnO_2 及 Ag/AgCl 見照片 4.4，4.5。為避免電位測量產生 IR drop 造成誤差，埋置時參考電極感應端與鋼筋保持 1~2cm 距離。本實驗牆試體中埋置之參考電極位置如圖 4.3 所示。根據 ASTM C-876 的建議，當以 Cu/CuSO₄ 參考電極來量測鋼筋腐蝕電位時，其腐蝕狀況可以根據下表 4.6 來判斷。

表 4.6 ASTM C-876 鋼筋電位值與腐蝕機率之關係⁽³³⁾

電位值範圍	鋼筋腐蝕狀態
-200mv < 電位值	90 % 機率不腐蝕
-350 < 電位值 < -200mv	腐蝕可能發生
電位值 < -350	90 % 機率發生腐蝕

7. Anode-Ladder System 監測系統量測

本研究採用德國製之 Anode-Ladder System 腐蝕監視系統，該系統包含了 1.陽極梯(Anode Ladder-AL)內含 6 根單獨的陽極元件及溫度偵測器。2.陰極桿(Cathode Bar-C)，為一塗上白金的鈦金屬桿，其直徑為 8mm，長度為 40cm。3.連接電纜線，主要連接(Sensor 與 terminal box)。4.終端盒(Terminal box-Tbox)，見照片 4.6。5.可攜式 CANIN 量測儀，

照片 4.7。

Anode Ladder System 之原理，乃是將數個陽極金屬埋置在不同深度的混凝土內，與在其附近之陰極桿形成一個通路，(見圖 4.6 所示)，由於混凝土之表面會有氯離子，二氧化碳及氧的滲入，只要臨界氯離子含量和碳化並未到達第一個陽極(A_1)的表面，所有的電流是小的忽略，但當 A_1 受到氯離子及二氧化碳之作用，則會與陰極之間增大電流，然而其他的電極是零。隨著時間的增長，其他的陽極也開始受到腐蝕，藉由連續的量測電流，則可得到臨界氯離子含量或 CO_2 侵蝕的深度與時間的關係。有了這些的數據後，鋼筋的腐蝕時間是可以被預估的。其原理如圖 4.6 所示。

本試驗的 Anode -Ladder-System 之排置見詳圖 4.7 所示。試驗量測為 $A_1 \sim A_6$ 與陰極之電位、電流及各陽極間之電阻作為判斷 $A_1 \sim A_6$ 之陽極（亦就是在模擬不同混凝土保護層厚度下）腐蝕現況。如果此系統能正確評估內部鋼筋之腐蝕現況，即可應用於新建工程之結構體內，以便隨時監控混凝土及其內部鋼筋之現況。



照片 4.4 MnO_2 參考電極



照片 4.5 AgCl 參考電極



照片 4.6 Anode-Ladder-System 腐蝕監視系統



照片 4.7 可攜式 CANIN 量測儀

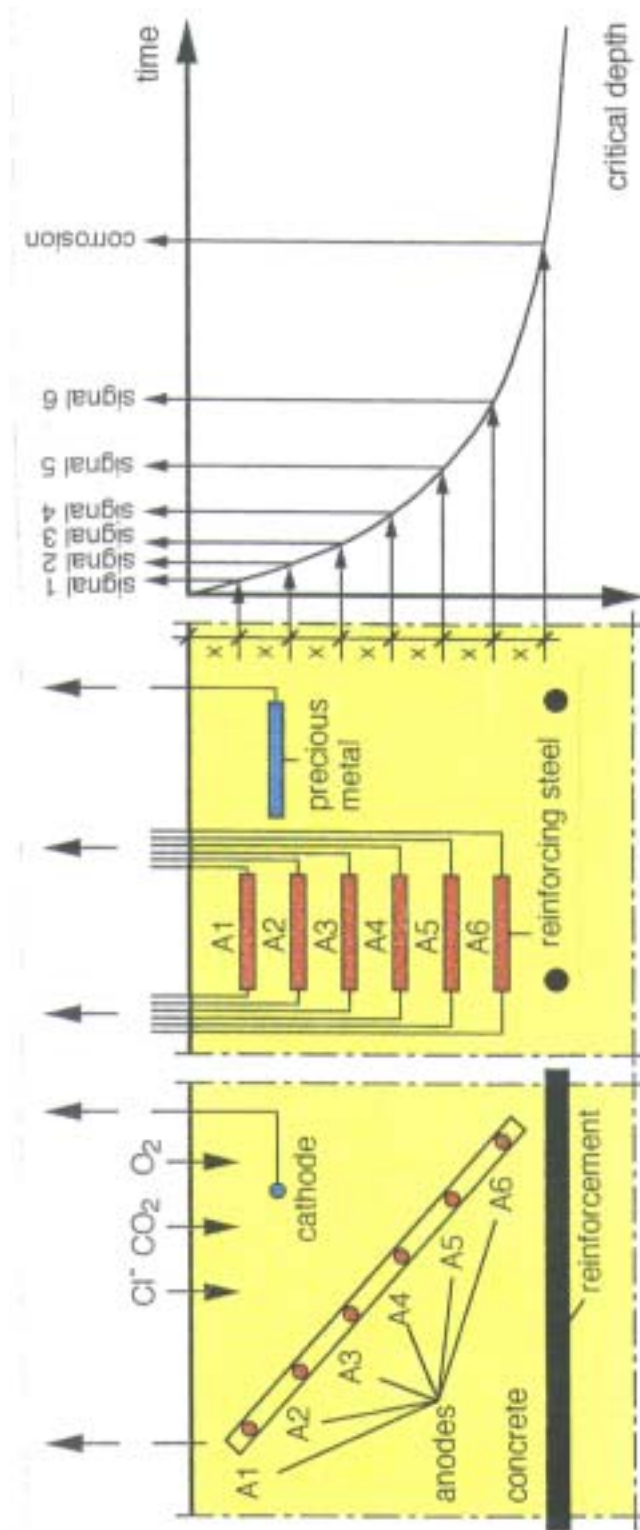


圖 4.6 Anode-Ladder-System 之原理

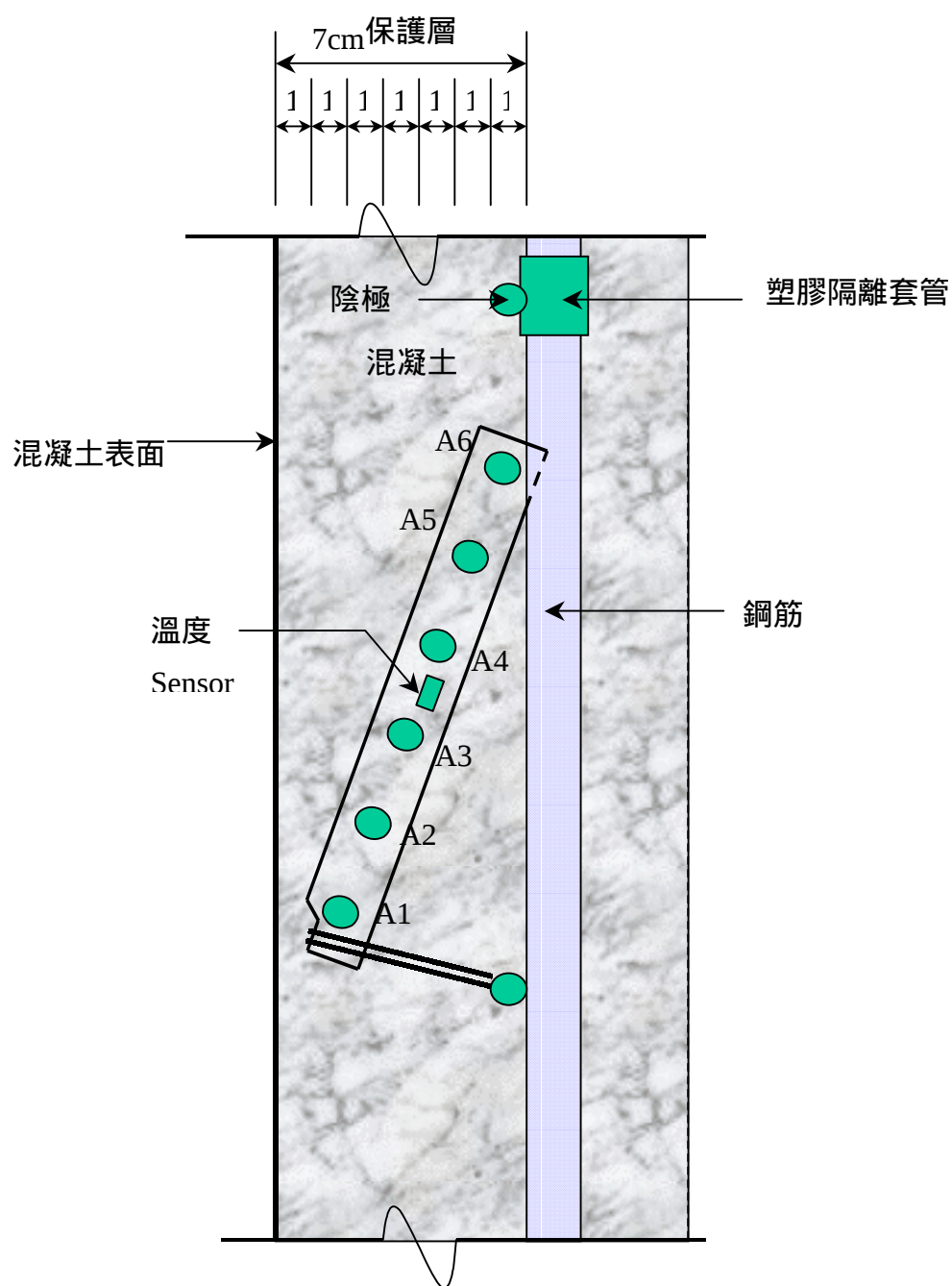


圖 4.7 Anode-Ladder-System 之排置詳圖

4.2.2 摻用爐石對添加海砂混拌混凝土之耐久性影響

4.2.2.1 試驗規劃

採用 ACI 混凝土配比設計法,以添加不等比例之爐石(取代水泥量)於海砂及河砂混拌之混凝土中,進行漿體拌製之基本性質試驗,以及硬固後之各項試驗。本研究持續對去年灌製的試體進行量測,試驗流程如圖 4.8 所示。

4.2.2.2 研究背景

1.混凝土配比

本研究以 ACI 混凝土配比設計法設計,試體水灰比為 0.45 與 0.60,設計強度分別為 450kg/cm^2 及 300kg/cm^2 ,漿體拌製所需之用料量,如表 4.7~4.10 所示。

表 4.7 配比 A(水灰比 0.45, 河砂)

編號	粗粒料 (kg/m^3)	細粒料 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	爐石 (kg/m^3)	爐石取代 水泥量
A-R0	863	718	218	484	0	0 %
A-R30	863	718	218	339	145	30 %
A-R50	863	718	218	242	242	50 %

表 4.8 配比 A(水灰比 0.45, 海砂)

編號	粗粒料 (kg/m^3)	細粒料 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	爐石 (kg/m^3)	爐石取代 水泥量
A-D0	807	789	218	484	0	0 %
A-D30	807	789	218	339	145	30 %
A-D50	807	789	218	242	242	50 %

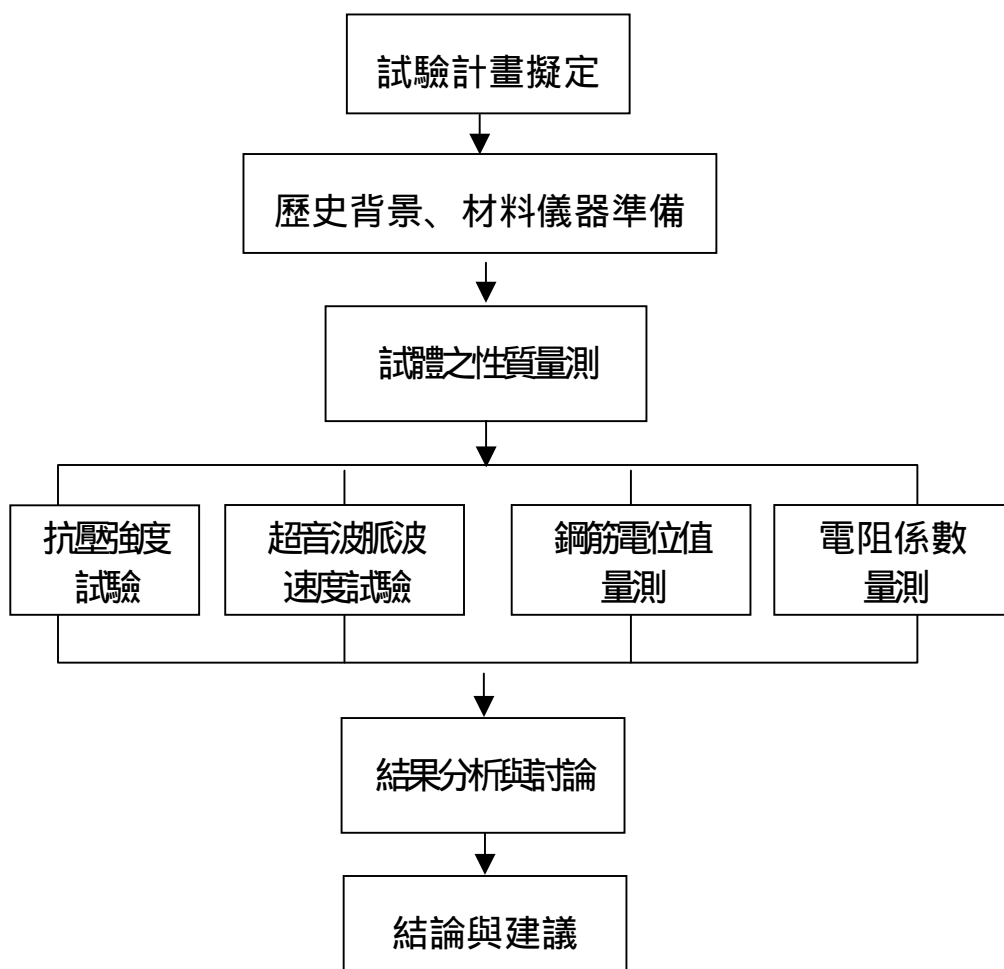


圖 4.8 試驗流程

表 4.9 配比 B(水灰比 0.60 , 河砂)

編號	粗粒料 (kg/m ³)	細粒料 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	爐石 (kg/m ³)	爐石取代 水泥量
B-R0	863	819	218	363	0	0 %
B-R30	863	819	218	254	109	30 %
B-R50	863	819	218	181.5	181.5	50 %

表 4.10 配比 B(水灰比 0.60 , 海砂)

編號	粗粒料 (kg/m ³)	細粒料 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	爐石 (kg/m ³)	爐石取代 水泥量
B-D0	807	892	218	363	0	0 %
B-D30	807	892	218	254	109	30 %
B-D50	807	892	218	181.5	181.5	50 %

2.混凝土之使用材料

(1)水泥：卜特蘭 型水泥。

(2)拌合水：自來水。

(3)爐石粉：國內中聯資源公司生產之高爐石粉，比重為 2.90。

(4)粒料：粗粒料最大粒徑 1/2”，細粒料之細度模數 FM 為 2.70。

(5)海砂：取自臺中港區航道海域浚挖之海砂，氯離子含量 0.24 %，細度模數 FM 為 2.13，粒料之物理性質如表 4.11。

表 4.11 粒料之基本物理性質

物理性質	粗粒料	細粒料 (河砂)	細粒料 (海砂)
細度模數 (FM)	-	2.70	2.13
比重 (SSD)	2.58	2.58	2.63
吸水率 (%)	1.72	2.20	1.36
乾單位重 (kg/m ³)	1529	-	-
乾比重	2.61	2.63	2.68
含水量 (%)	0.17	0.6	1.93

3. 試體編號

試驗共有二個不同之配比，水灰比 0.45 配比其編號為 A，水灰比 0.60 配比其編號為 B，如使用海砂混拌時第二編碼為 D，河砂編碼為 R，第三編碼為爐石粉取代水泥量 0 %，30 %，50 %，其編碼為 0，30，50。各類試體編號說明如下表 4.12；

表 4.12 各類試體編號說明

編號代碼	水灰比	河砂	海砂	爐石取代量
A	0.45	-	-	-
B	0.60	-	-	-
R	-	*	-	-
D	-	-	*	-
0	-	-	-	0 %
30	-	-	-	30 %
50	-	-	-	50 %

試體編號說明如下：

A-R0：A(水灰比 0.45)，R (河砂)，0 (爐石取代水泥量 %)

B-R30：B(水灰比 0.60)，R (河砂)，30 (爐石取代水泥量 30 %)

A- D0：A(水灰比 0.45)，D (海砂)，0 (爐石取代水泥量 %)

B-D50：B(水灰比 0.60)，D (海砂)，50 (爐石取代水泥量 50 %)

4.2.2.3 試驗方法與設備

1.抗壓強度試驗

採用 ELE2000KN 之抗壓試驗機，試驗方法依據中國國家標準 CNS 1232 規範。

2.超音波脈波速度量

可參考 4.2.1.3 節之第 4 點

3.電阻係數試驗

可參考 4.2.1.3 節之第 5 點

4.鋼筋腐蝕電位值量測

混凝土中鋼筋之腐蝕狀況為一電化學反應，因此鋼筋表面會發展出有陽極與陰極之現象。本研究為量測混凝土內之鋼筋腐蝕電位值變化，特製作一個 10cm× 10cm× 36cm 矩型木模試體，內埋置 # 4 鋼筋，其中量測之導線一端與鋼筋焊接，如圖 4.9 所示。照片 4.8 為試體灌製前之情形，試體於澆置 24 小時後拆模，隨即將試體置入養生室進行養護，養護至一定齡期時進行電位值量測。電位量測使用三用電錶，一端接到導線，另一端接上氯化銀參考電極上並與混凝土表面接觸，在電錶上即可讀取腐蝕電位值，試驗情形如照片 4.9 所示。

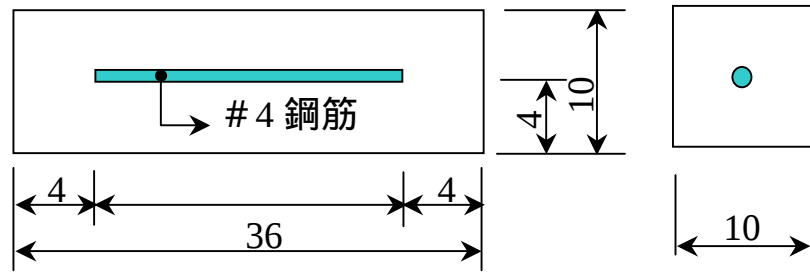


圖 4.9 鋼筋腐蝕電位值量測示意圖



照片 4.8 鋼筋腐蝕電位量測之試體灌製前之情形



照片 4.9 鋼筋腐蝕電位值量測之情形

4.2.3 混凝土構造物鹼質與粒料反應之調查與潛勢

研究內容包括；資料之蒐集、現場目視調查、非破壞性檢測、鑽心取樣、試驗室之各項試驗、試驗數據之分析等。

4.2.3.1 目視調查

混凝土發生鹼質與粒料反應時，可從構造物表面的徵候做初步判斷。調查範圍包括花蓮港區及花東（臺 11 線）濱海公路沿線各類小型漁港設施，諸如防波堤、消波塊、碼頭；縱谷區則以鐵、公路橋樑及建築物為主。

4.2.3.2 現場非破壞性檢測

依據目視調查的結果，篩選防波堤、消波塊等構造物進行現場非破壞性檢測。由硬固混凝土之表面硬度、中性化深度、裂縫狀況等初步評估混凝土現況，並研判鹼質與粒料反應的發生之潛在趨勢。各項檢測項目及概要說明如下述：

1.反彈錘試驗

以反彈錘(Schmidt rebound hammer)撞擊混凝土表面，依據所得之反彈值，估計混凝土構造物表面之硬度，並研判混凝土的均勻性。比對反彈值推估所得與鑽心試體之抗壓強度試驗結果，探討混凝土強度變化和鹼質與粒料反應間之可能關係。

2.混凝土中性化試驗

本試驗主要係探討混凝土構造物中性化的程度，並與其他試驗相互比較分析。利用電鑽或鐵鎚先敲除少量結構體表面之混凝土，刷除混凝土新鮮面上之細顆粒後，以酚指示劑噴灑（刷）之，若表面呈現桃紅色，則表示該處屬於鹼性；若未變色，則表該處已中性化，而後量取混凝土的中性化深度。

4.2.3.3 混凝土鑽心取樣試驗

利用鑽心設備在現場進行鑽心取樣，除將試體攜回實驗室進行相關之試驗外，並與非破壞性試驗所得之結果相互印證。鑽心試體進行之試驗項目包括有 X 光繞射分析 (XRD)、掃描式電子顯微鏡分析 (SEM)、加速浸泡試驗、與以醋酸鈦螢光法檢測反應產物等。

1.X 光繞射分析 (XRD)

X 光繞射分析係由 X 光發射管發出一已知波長之 X 光射線照射於試體上，並量測反射之 X 光射線強度為最大時所對應之角度，再由 Bragg's 公式計算出結晶體晶格面之間隔距離 d 。根據此一關係探討結晶體之構造特性，並進行礦物鑑別及定性分析。透過 XRD 分析可鑑定混凝土之化性（化合物）變化，並進一步探討病變之可能原因。

2.掃描式電子顯微鏡分析 (SEM)

掃描式電子顯微鏡 (Scanning Election Microscopy , 簡稱 SEM) ,

係利用電子槍發射高能量聚焦電子光束，在磁力線圈的作用下，有系統地以電子光束在試體表面來回掃描，藉此得到試體表面外形或晶像之外觀。利用 SEM 分析可對混凝土孔隙結構分佈、晶相變化進行微觀分析，並觀察反應產物以鑑定可能病變之原因。

3.加速浸泡實驗

將現場鑽心試驗所得之鑽心試體儲存於不同的環境，並監測其鹼質與粒料反應的情形。鑽心試體裁切成適當長度後，表面粘設 4 組測點，每組測點之距離以測微計量測後，分別將試體置於 38℃，相對濕度 100%的環境中以及 1N NaOH 的溶液中，定期量測各環境中試體之長度變化。

4.醋酸鈷螢光法

由於鈷會取代鹼質與粒料反應後之鹼矽膠體中的鹼質，且產生之反應產物在短波（254nm）紫外光的照射下會有黃綠色的反應特徵，據此可檢測鹼質與粒料反應是否發生。

4.2.3.4 水泥砂漿棒膨脹試驗法（ASTM C227）

本試驗將自花東沿海地區可能具鹼質與粒料反應活性潛能之粒料，依據 ASTM C227 試驗方法及在指定的養護條件下，量測儲存期間砂漿棒長度變化，而判斷其是否具有反應活性。

4.3 試驗結果與討論

4.3.1 高性能混凝土耐久性研究

1. 中性化試驗

本研究之中性化試驗，是將鋼筋混凝土試驗牆鑽心取下之試體，以酚太試劑進行檢測，檢測結果如表 4.13 所示。從表可發現一般混凝土的中性化較大，且暴露於大氣下的較為嚴重，照片 4.10 為試驗牆混凝土鑽心試體中性化較為嚴重的 OPC 混凝土試體。

表 4.13 各試驗牆之中性化深度

混凝土配比	暴露環境	中性化深度(cm)
HPC-4000psi	Air	0.1
HPC-4000psi	Sea	0
OPC-4000psi	Sea	0.5
OPC-4000psi	Air	1.5
HPC-5000psi	Sea	0
HPC-3000psi	Sea	0

2. 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。

(1) 鑽心試體超音波量測

本試驗是量測六面試驗牆鑽心試體之超音波脈波速度，同時整理從 88 年起灌製之圓柱試體所量測各齡期之超音波脈波速度，量測結果整理如表 4.14 所示。從表中可看出經過六年之暴露試驗，其脈波速率均大於 4.0km/sec，若從表 4.4 超音波脈波速度與混凝土品質之關係 > 3.0km/sec 其混凝土品質均屬優良。



照片 4.10 中性化較為嚴重的 OPC 混凝土試體

表 4.14 鑽心試體之超音波脈波速度(km/sec)

試驗牆 齡期	1	2	3	4	5	6	備註
7 天	3.721	3.721	3.711	3.711	3.914	3.72	圓 柱 試 體
14 天	3.840	3.840	3.823	3.823	4.031	3.850	
28 天	3.957	3.957	3.899	3.899	4.082	3.896	
56 天	4.001	3.999	3.914	3.976	4.110	3.948	
90 天	4.110	4.047	4.095	4.002	4.178	4.076	
180 天	4.206	4.218	4.129	4.059	4.263	4.163	
365 天	4.231	4.243	4.153	4.061	4.266	4.185	
545 天	4.237	4.300	4.18	4.080	4.285	4.226	鑽心試體
2350 天	4.595	4.628	4.201	4.147	4.625	4.618	

(2) 現地試驗牆超音波量測

為了了解現地之混凝土之性質，本研究在試驗牆面繪製 20 格避開鋼筋的方格，進行現地超音波之量測，量測之結果如表 4.15 與圖 4.10~4.15。從圖表可看出高性能混凝土的超音波脈波速率約在 4.0~4.2km/sec 之間，而一般混凝土約在 3.8~4.0km/sec 之間，雖然其速率均大 3km/sec，但可比較得知 HPC 確實有較好性質。

3. 鑽心試體電阻量測

混凝土電阻係數之大小在鋼筋混凝土結構物之腐蝕觀念中，可用來評估腐蝕電流通過混凝土介質的一種能力指標，電阻係數高表示電荷不易通過混凝土介質，電阻係數低則表示電荷較易流通，對混凝土內之鋼筋腐蝕威脅性高。此外，電阻係數亦可作為混凝土品質良窳鑑定標準之一。

表 4.16 為鑽心試體量測之電阻係數值，從表可發現每一個配比的試體其電阻值均大於 30 K Ω cm，依文獻表 4.5 得知電阻係數大於 20 K Ω cm 其鋼筋腐蝕活性程度很低，而高性能混凝土之電阻係數都比一般混凝土高，此乃可能是 HPC 較為緻密所致。

4. 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。例如抗壓强度高之混凝土，其彈性係數、抗拉強度、水密性及耐久性亦均較理想⁽⁵⁴⁾。

本研究的抗壓強度見表 4.17 所示，強度發展如圖 4.16。從圖表中可看出各配比之高性能混凝土的強度均有提升之趨勢，而一般混凝土的強度卻有下降的情形，雖然本研究之試體為鑽心試體與先前灌製之圓柱不同，但仍可發現高性能混凝土經過超過 6 年的暴露試驗，其強度仍然未有降低，這可能是因為 HPC 有添加飛灰爐石等波索蘭材料，與水泥水化物產生波索蘭反應，使 HPC 結構更加緻密，而提升混凝土

之晚期強度。然而一般混凝土的強度降低，也可從前面的中性化試驗得知 OPC 混凝土的中性化較為嚴重，其強度降低的原因可能是混凝土的正常老化所造成的結果。

5. 腐蝕電位分析

本研究在各試驗牆埋設 MnO_2 與 AgCl 等電極來量測混凝土電位變化。圖 4.17 為不同條件之 HPC 與 OPC 試體使用不同參考電極所測得之鋼筋腐蝕電位分佈情形。使用不同參考電極所測得之鋼筋腐蝕電位值似有明顯差距，事實上如換算以標準氫電極為基準零值電位時，則他們的電位值都應是一致的。因此圖 4.17 中各小圖內之用 MnO_2 與 AgCl 電極所測得的電位值差距應介於 $-100\sim-150\text{mV}$ 之間，顯然此兩種參考電極品質相當穩定，恰可相互對照校正。基本上 HPC 與 OPC 試體內之鋼筋，在試驗牆灌製後至水泥漿體大部份完成水化硬化階段(初期 $0\sim30$ 天之間)，電位變化最為激烈，從 -500mV (以 AgCl 為例說明各章節內之電位均已此表示之)上升至 -200mV 附近，推就原因主要受到漿體內水分消長的影響，爾後隨著水泥漿體持續水化完全，漿體的穩定性與鹼性環境的上升，鋼筋之電位趨於穩定(小於 -200mV)，亦即鋼筋處於鈍化狀態。在經過 6.5 年期間，從圖 4.17 各小圖發現鋼筋腐蝕電位有持續下降之趨勢，但仍可比較出 OPC 比 HPC 混凝土的腐蝕電位有較大的情形。同時經過本次之量測結果，發現各電極並未有失效情形，若能持續監測則可更了解混凝土內部之變化。

6. Anode Ladder System 之量測

圖 4.18 為以埋置於 HPC 及 OPC 試驗牆內之偵測元件(Anode Ladder System)所量測到不同保護層厚度處之陽極對陰極電位與時間之變化趨勢。從圖可發現高性能混凝土的腐蝕電位在 $-5\sim-100\text{mV}$ ，而一般混凝土之電位在 $-5\sim-220\text{mV}$ ，OPC 比 HPC 之腐蝕電位有較大之趨勢，尤其是暴露在大氣下 OPC 混凝土其距離混凝土表面 1cm 的陽極梯，腐蝕電位達到 220mV 已經有腐蝕趨勢，同時由中性化試驗得知，該試驗牆之鑽心試體中性化最為嚴重，因此兩者間更可互相印證。

表 4.15 試驗牆現地超音波量測(km/sec)

		1	2	3	4	5
牆 1	1	4.155	4.098	4.076	4.071	4.155
	2	4.011	4.038	4.138	4.000	4.155
	3	4.208	4.071	4.149	4.021	4.132
	4	4.219	4.016	4.110	3.979	4.100
牆 2	1	4.021	4.237	4.144	4.104	3.881
	2	4.190	4.138	4.121	4.065	4.054
	3	4.190	3.995	4.110	4.049	4.202
	4	4.213	4.140	4.098	4.065	4.267
牆 3	1	3.866	3.881	4.000	3.958	3.979
	2	3.788	3.916	3.927	3.916	3.963
	3	3.797	3.906	3.979	3.968	3.927
	4	3.783	3.916	4.000	3.881	3.812
牆 4	1	3.958	3.963	4.076	4.032	3.958
	2	3.937	3.927	3.974	3.932	3.989
	3	4.038	3.922	3.876	3.932	4.016
	4	4.000	3.831	3.793	3.911	3.886
牆 5	1	4.261	4.225	4.249	4.127	4.267
	2	4.196	4.213	4.132	4.038	4.150
	3	4.184	4.161	4.219	4.208	4.093
	4	4.202	4.202	4.213	4.161	4.027
牆 6	1	4.144	4.087	4.087	4.000	4.038
	2	4.021	4.098	4.000	4.082	4.104
	3	4.110	4.082	3.968	3.958	4.076
	4	4.082	4.011	4.011	3.989	4.149

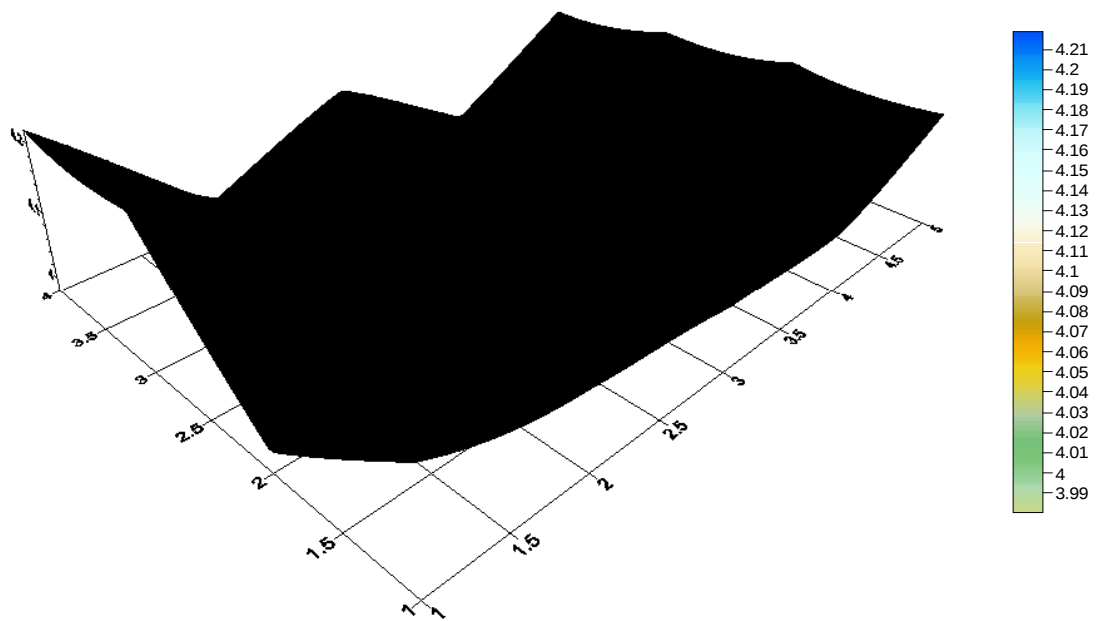


圖 4.10 HPC-4000psi(Air)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)

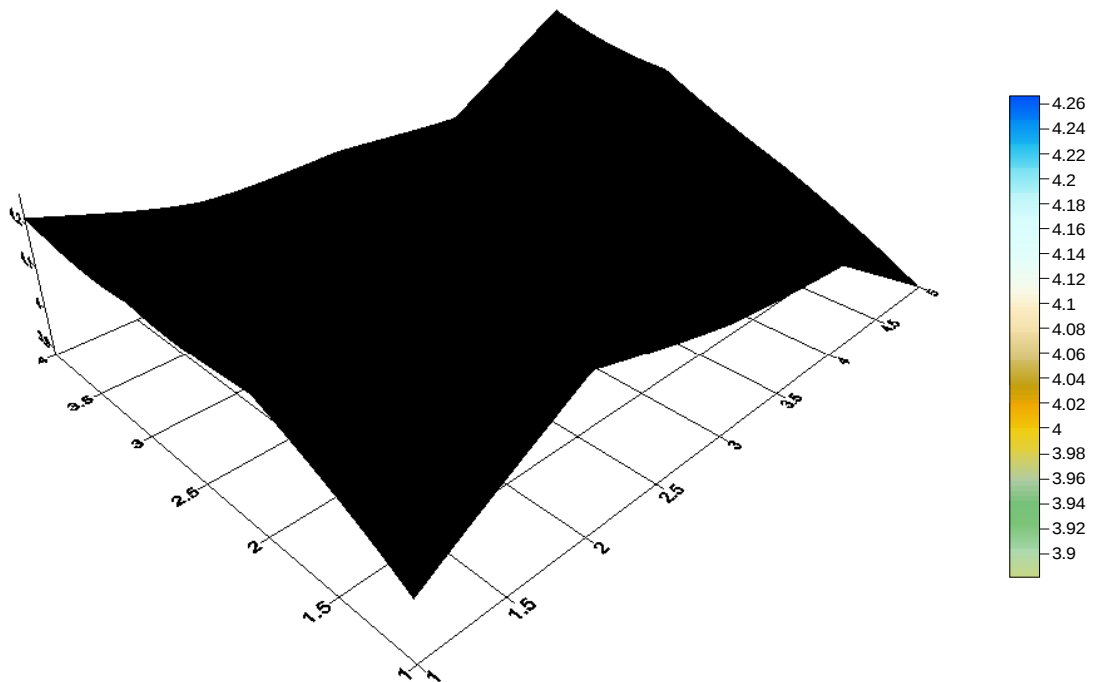


圖 4.11 HPC-4000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)

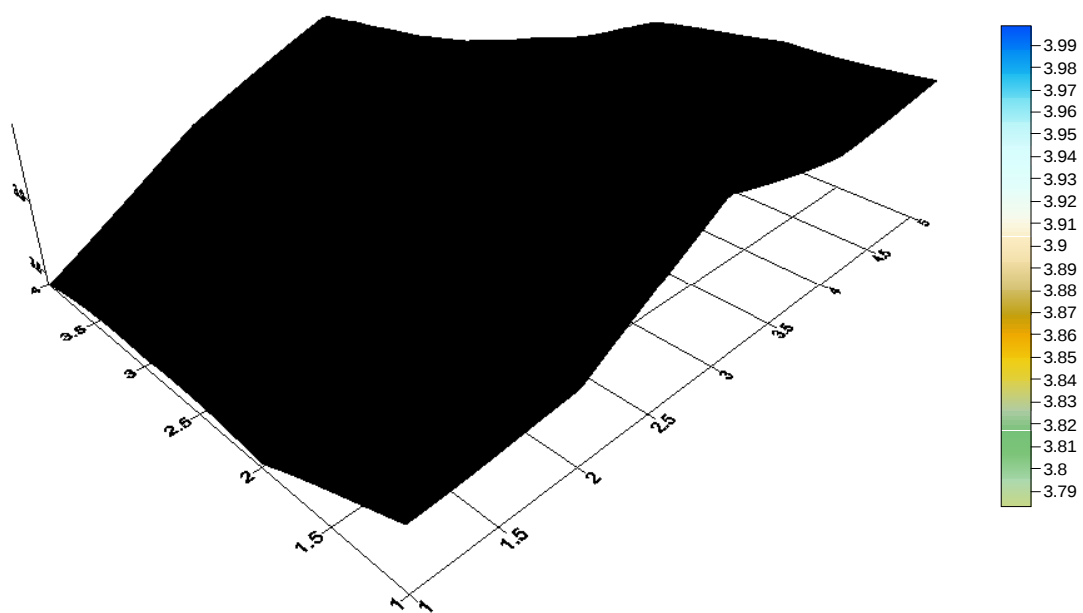


圖 4.12 OPC-4000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)

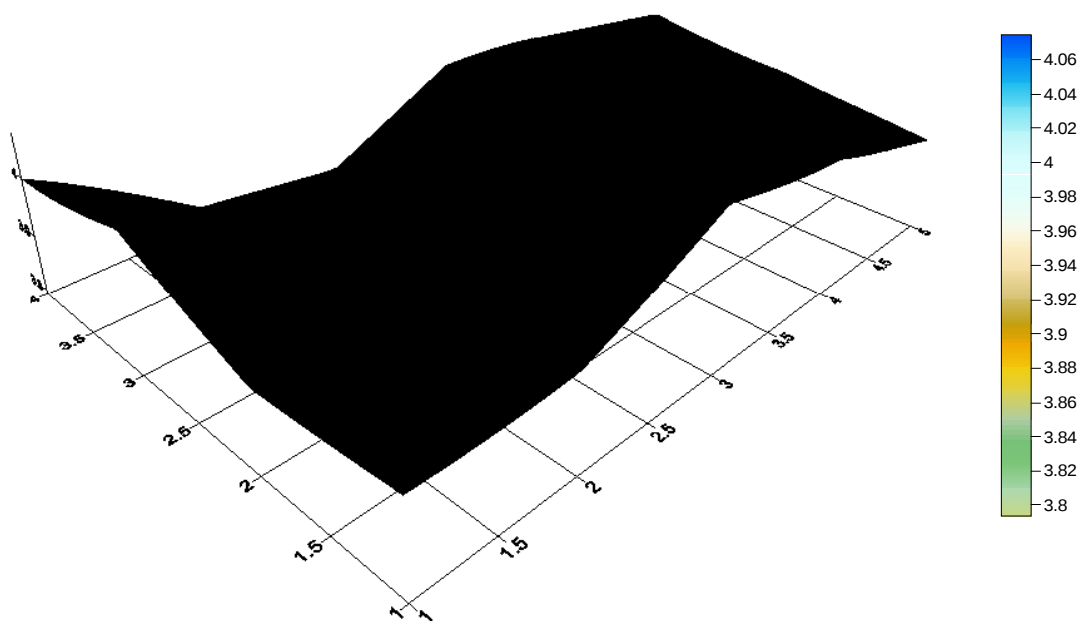


圖 4.13 OPC-4000psi(Air)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)

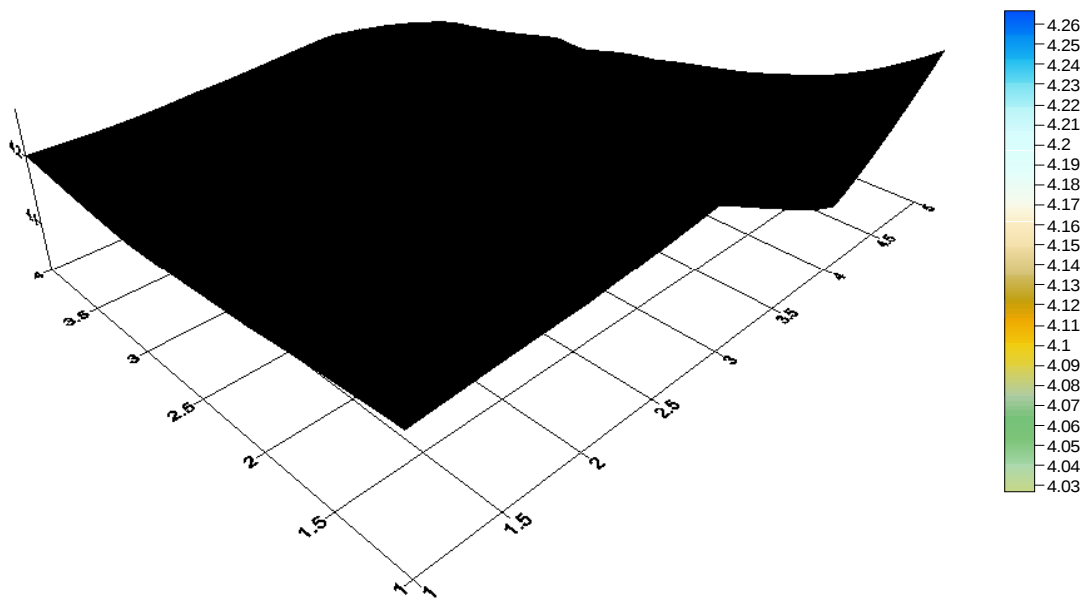


圖 4.14 HPC-5000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)

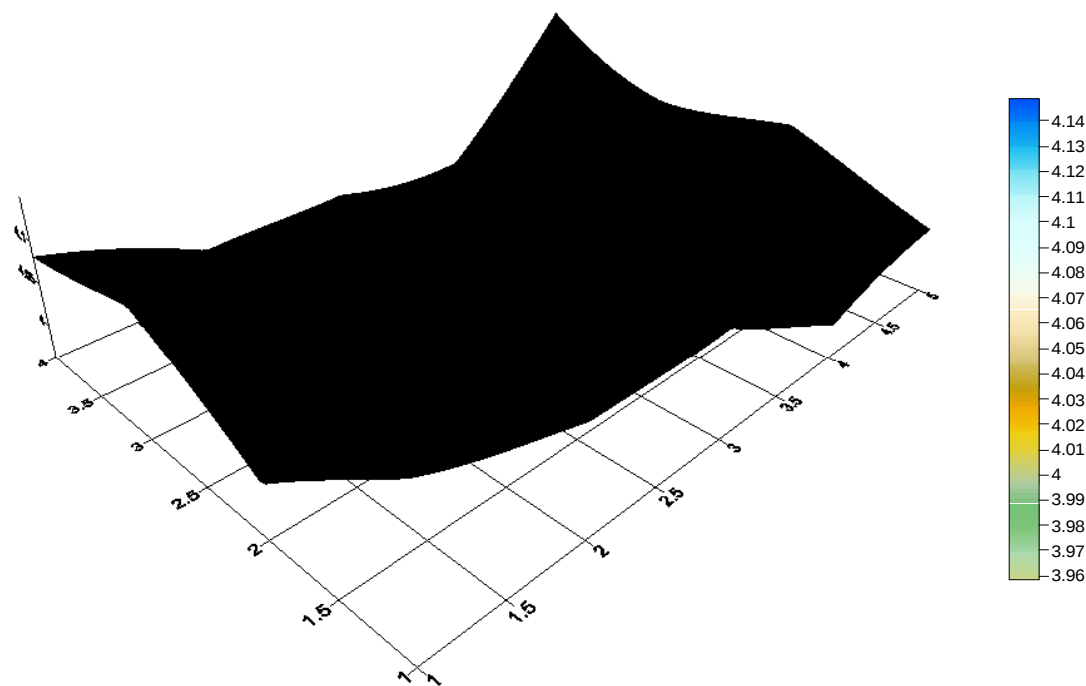


圖 4.15 HPC-3000psi(Sea)試驗牆之超音波脈波速率(km/sec)

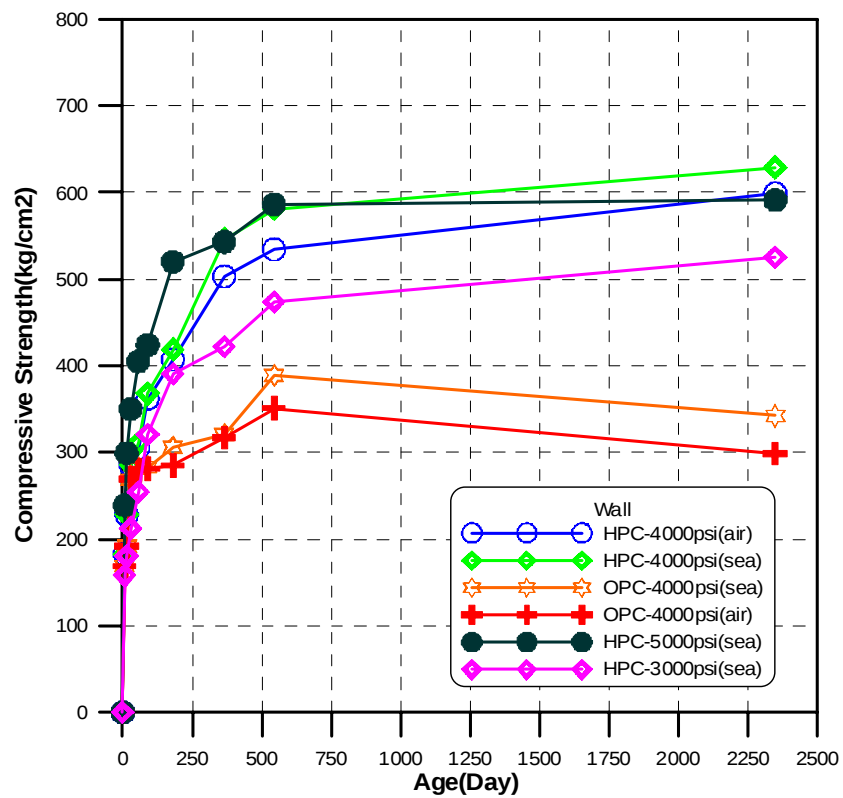


圖 4.16 混凝土之強度發展

表 4.16 鑽心試體之電阻係數

混凝土配比	暴露環境	電阻係數 KΩ cm
HPC 4000psi	AIR	42.9
HPC 4000psi	SEA	44.4
OPC 4000psi	SEA	30.8
OPC 4000psi	AIR	34.2
HPC 5000psi	SEA	41.4
HPC 3000psi	SEA	51.8

表 4.17 鑽心與灌製試體之抗壓強度(kg/cm²)

試驗牆 齡期	1	2	3	4	5	6	備註
7 天	183	183	169	169	239	158	圓 柱 試 體
14 天	228	228	192	192	299	180	
28 天	285	285	269	269	350	213	
56 天	305	311	282	280	405	255	
90 天	362	368	283	281	424	321	
180 天	407	419	306	285	520	391	
365 天	503	546	321	317	543	422	
545 天	534	580	389	351	586	474	鑽心試體
2350 天	599	629	342	299	591	525	

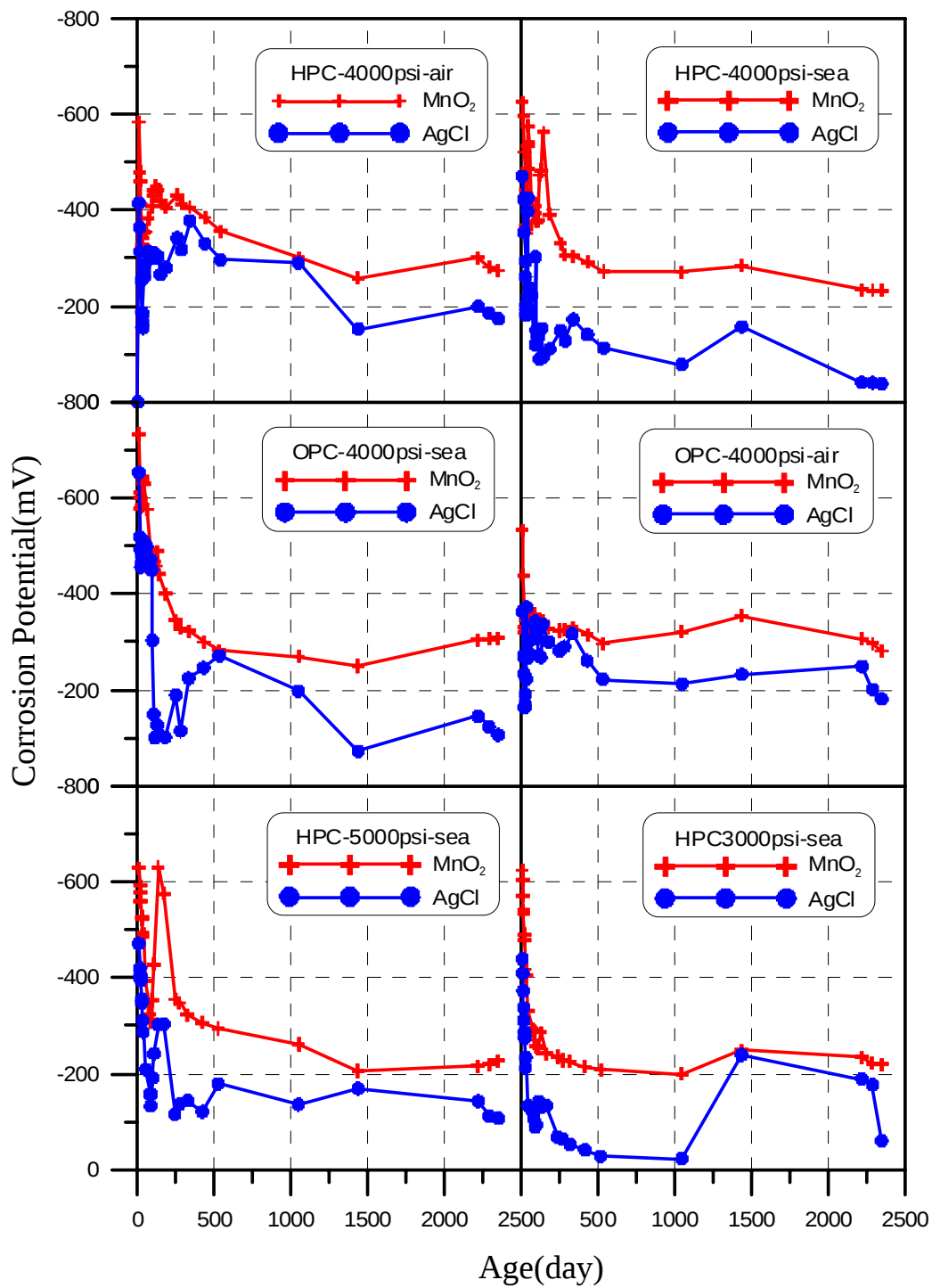


圖 4.17 腐蝕電位與齡期之關係

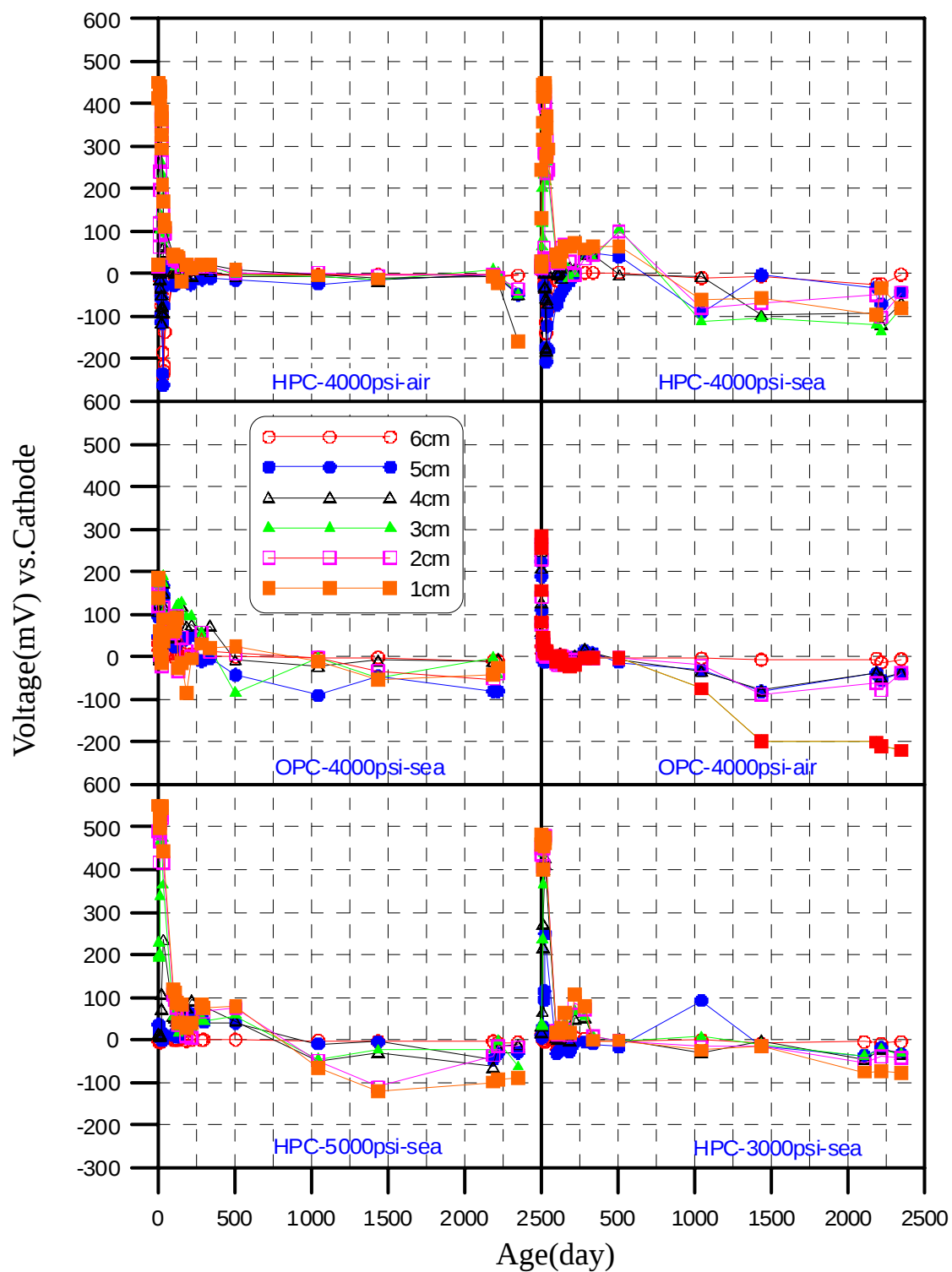


圖 4.18 Ladder System 各陽極對陰之電位與齡期關係

4.3.2 摻用爐石對海砂混拌混凝土之耐久性影響

1. 抗壓強度

抗壓強度為混凝土品質控制之重要指標之一，如假設混凝土為均質材料時，單軸抗壓除了可知道混凝土抵抗壓力能力外，亦可推估其它物理性質，例如抗壓强度高時，相對其彈性模數、抗拉強度、水密性及耐久性亦均較為理想。

本研究為持續量測摻用爐石對海砂混拌混凝土之耐久性影響，表 4.18 為彙整各配比試體之抗壓強度與養生齡期間之試驗結果，各配比試體之抗壓強度發展趨勢，則繪製於圖 4.19 至圖 4.22。表 4.19 中顯示配比 A(水灰比 0.45)之各類型試體之抗壓強度均較配比 B(水灰比 0.60)高出甚多，驗證低水灰比可得較高強度混凝土。同時本研究在經過一年的齡期，其強度發展並未有改變，例如配比 A(河砂，水灰比 0.45)試體，其抗壓強度發展與爐石粉取代水泥量及養生齡期，呈正向關係趨勢，亦即抗壓強度隨爐石粉取代水泥量及養生齡期之增加而增加，且其抗壓強度為各配比中最佳者，而配比 A 如以海砂來混拌混凝土，爐石取代水泥量 30 % 時，其強度卻較爐石取代量 50 % 者為高，推究其原因可能海砂之細度模數(F.M.=2.13)，較河砂之細度模數(F.M.=2.70)為小所致。而在配比 B 分別混拌河砂及海砂之混凝土試體之強度發展趨勢，以爐石粉取代水泥量 30%，可得到最大之抗壓強度，且有加爐石的海砂混凝土的強度比未加爐石有較高的抗壓強度，這也說明若海砂內有添加爐石取代水泥，其抗壓強度會比較高。

表 4.18 試體抗壓強度試驗結果 (kg/cm²)

齡期 試體編號		14 天	28 天	56 天	90 天	180 天	365 天
配比 A (W/C, 0.45)	A-R0	488	526	561	592	602	611
	A-R30	526	601	625	634	671	708
	A-R50	536	606	633	658	708	738
	A-D0	485	517	552	591	599	602
	A-D30	509	579	601	623	641	687
	A-D50	488	552	587	607	623	652
配比 B (W/C, 0.60)	B-R0	383	412	461	498	502	510
	B-R30	396	450	501	528	555	594
	B-R50	374	425	474	509	532	560
	B-D0	278	295	318	335	352	379
	B-D30	307	349	378	404	408	412
	B-D50	299	340	347	354	356	385

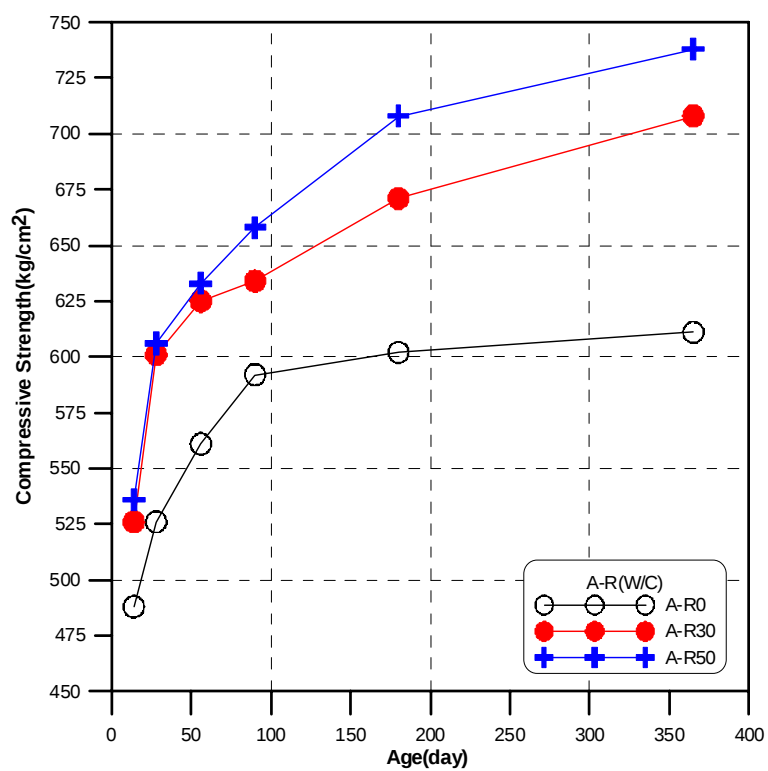


圖 4.19 配比 A 試體(以河砂混拌)之抗壓強度發展趨勢

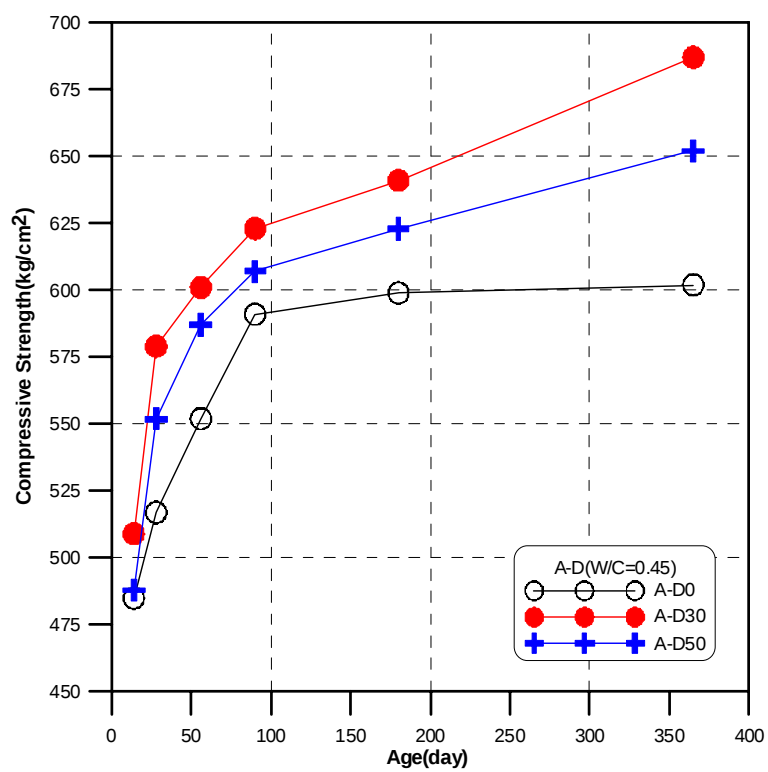


圖 4.20 配比 A 試體(以海砂混拌)之抗壓強度發展趨勢

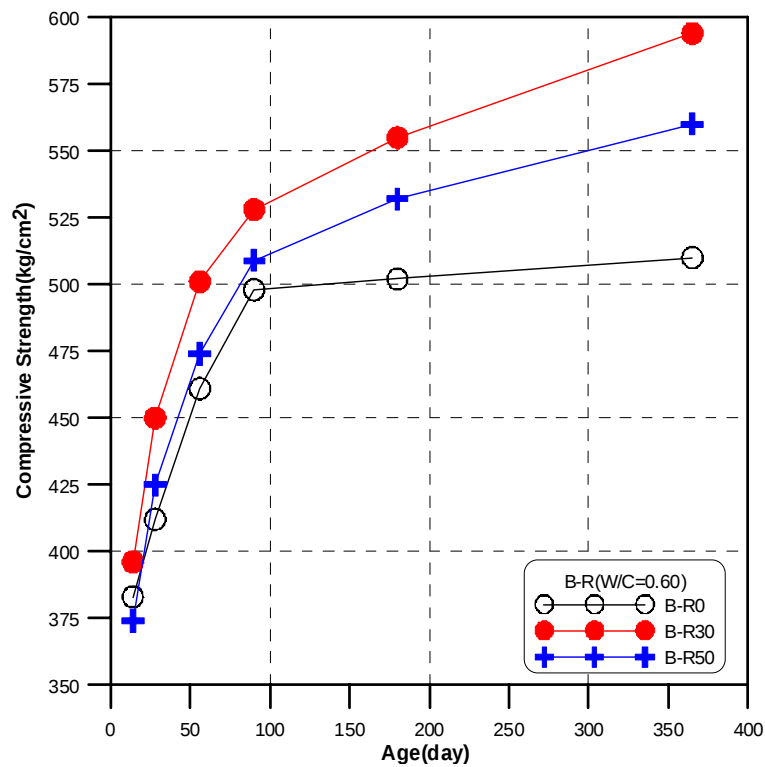


圖 4.21 配比 B 試體(以河砂混拌)之抗壓強度發展趨勢

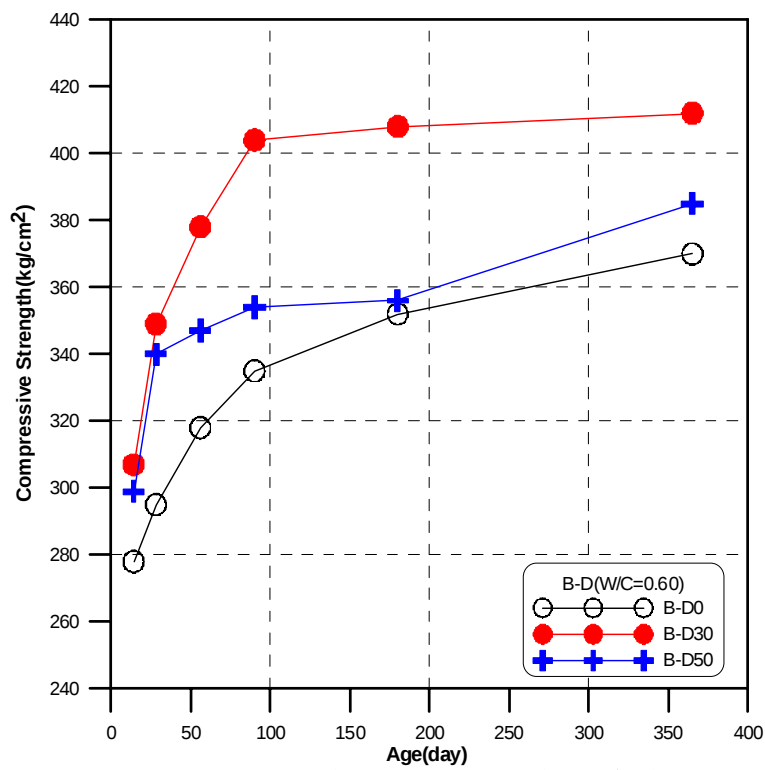


圖 4.22 配比 B 試體(以海砂混拌)之抗壓強度發展趨勢

2. 超音波脈波速度

超音波脈波速度量測，係藉由超音波脈動在介質內之傳遞速度之快慢，可評估受測介質內部之均勻性及其組織之緻密性為何？當介質緻密時則脈波速度快，若介質內部有孔隙或裂縫存在時，則其脈波速度顯著變慢。

表 4.19 及圖 4.23 與圖 4.24 為各配比試體進行超音波脈波速度量測所得之結果。表 4.19 中顯示，各類型試體之脈波速度均隨養生齡期之增加而變快，推究可能原因乃水泥漿體水化過程充分且持續進行，水化產物（C-S-H）膠體發展完整，並充分填滿孔隙路徑，致使漿體趨於緻密硬實，因此，波速通過介質（漿體）變為甚快。經過一年的齡期各類型試體於不同養生齡期下，其超音波脈波速度均大於 4.0km/sec 以上，如依據表 4.4 混凝土品質等級判別標準，混凝土之品質相當穩定且屬於優良等級。上述之結果恰與抗壓強度發展趨勢，關係呈一致性且相互驗證。

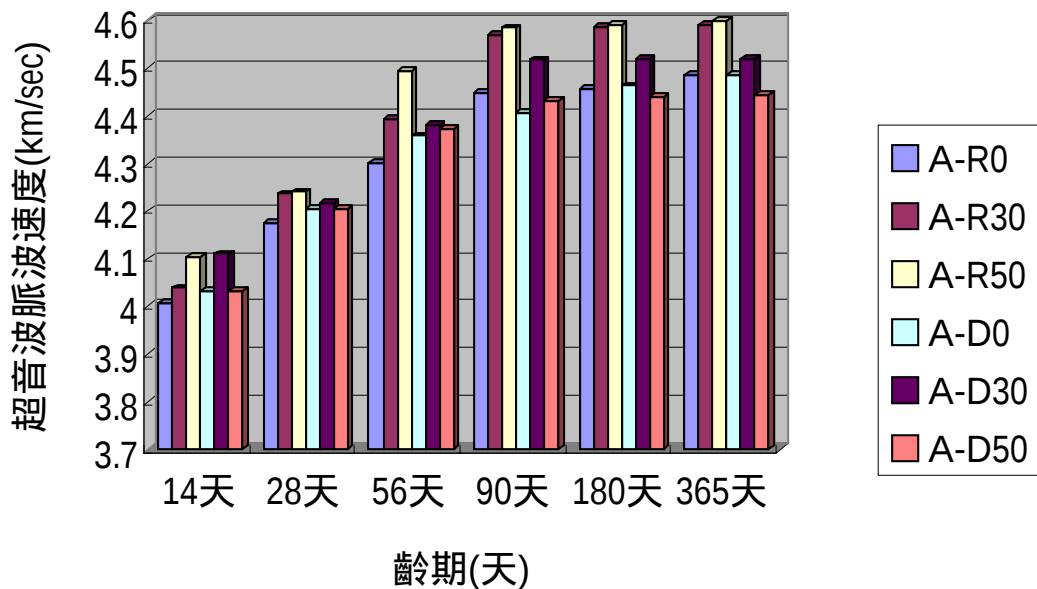


圖 4.23 配比 A 試體之超音波脈波速度與齡期的關係

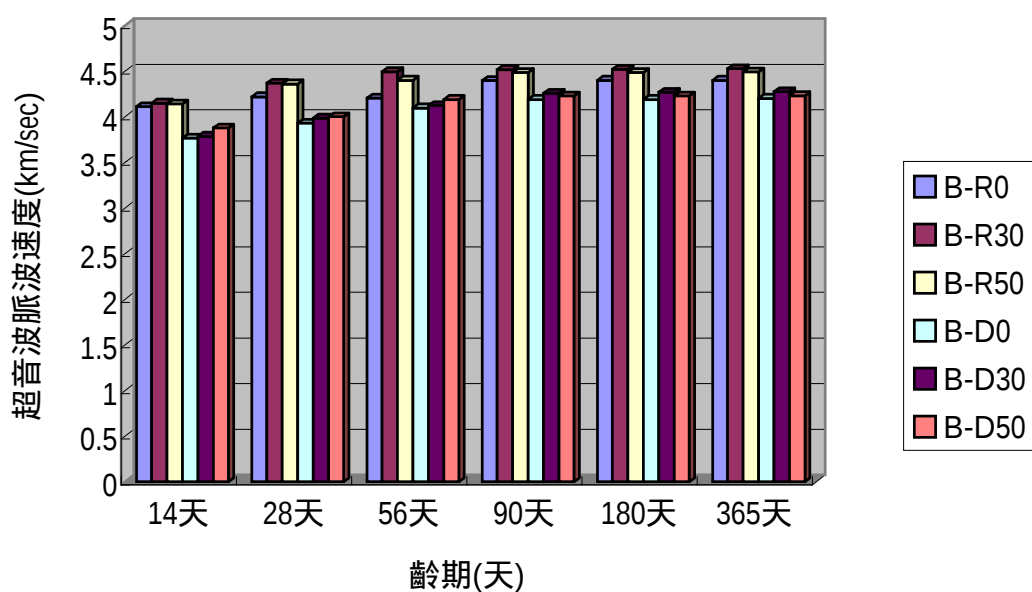


圖 4.24 配比 B 試體之超音波脈波速度與齡期的關係

表 4.19 試體超音波脈波速度試驗結果 (km/sec)

齡期		14 天	28 天	56 天	90 天	180 天	365 天
配比 A (W/C, 0.45)	A-R0	4.008	4.175	4.300	4.449	4.456	4.487
	A-R30	4.039	4.236	4.392	4.570	4.588	4.592
	A-R50	4.103	4.240	4.493	4.584	4.590	4.599
	A-D0	4.031	4.204	4.358	4.405	4.463	4.487
	A-D30	4.110	4.217	4.381	4.517	4.518	4.519
	A-D50	4.032	4.205	4.371	4.432	4.439	4.444
配比 B (W/C, 0.60)	B-R0	4.11	4.218	4.205	4.398	4.399	4.401
	B-R30	4.149	4.367	4.493	4.518	4.520	4.524
	B-R50	4.141	4.359	4.401	4.484	4.485	4.490
	B-D0	3.767	3.929	4.097	4.189	4.190	4.201
	B-D30	3.785	3.984	4.121	4.255	4.269	4.274
	B-D50	3.878	3.998	4.189	4.228	4.228	4.230

3. 電阻係數

混凝土電阻係數之大小在鋼筋混凝土結構物之腐蝕觀念中，可用來評估腐蝕電流通過混凝土介質的一種能力指標，電阻係數高表示電荷不易通過混凝土介質，電阻係數低則表示電荷較易流通，對混凝土內之鋼筋腐蝕威脅性高。此外，電阻係數亦可作為混凝土品質良窳鑑定標準之一。

圖 4.25 與圖 4.26 分別為配比 A 與配比 B 試體之電阻係數試驗結果。兩圖中顯示，混凝土之電阻係數均隨養生齡期之增加而增大，與混凝土之強度發展並未有相同之趨勢，探究原因可能為混凝土試體量測時其表面之乾濕度影響到量測。雖然乾濕度會影響到電阻量測但還是可發現在齡期一年時低水比的混凝土其電阻係數比高水灰比為高，且有添加爐石取代水泥的電阻係數也較高。

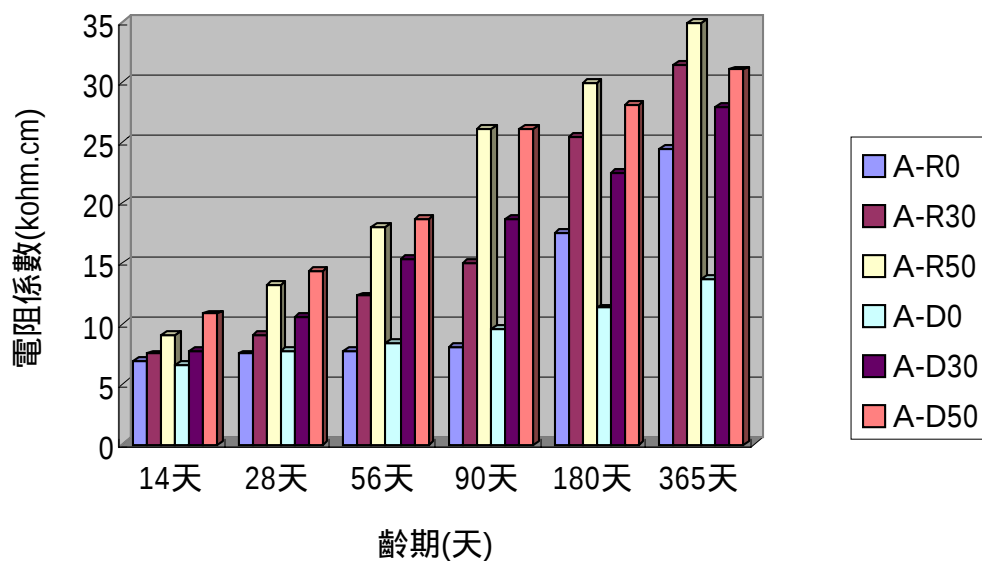


圖 4.25 配比 A 試體之電阻係數與養生齡期的關係

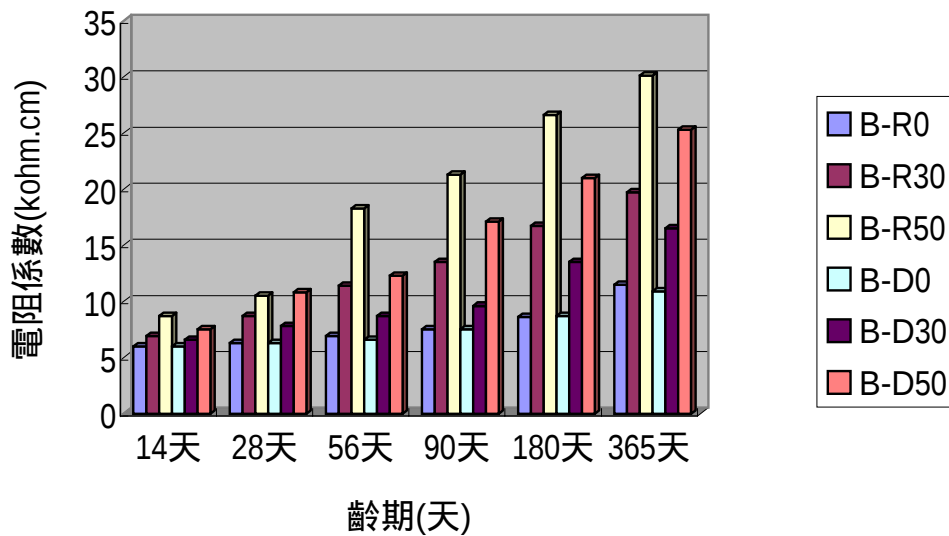


圖 4.26 配比 B 試體之電阻係數與養生齡期的關係

4.鋼筋腐蝕電位值量測

腐蝕是一種電化學反應，在鋼筋表面會形成許多陰極和陽極之小電池(cell)區域，在不同位置有不同的電位和電流產生。利用此理論，可檢測某一範圍之電位分佈狀況，以評估鋼筋表面發生腐蝕的可能程度與範圍。

表 4.20 與表 4.21 分別為配比 A 與配比 B 試體內之鋼筋腐蝕電位值量測結果。雖經過一年之量測，混凝土內之鋼筋腐蝕電位還是很不穩定，並未呈現明顯或規律趨勢，但可發現暴露在海水中的試體其腐蝕電位有較大的情形，此刻，甚難依據表中數據解讀內部鋼筋實際之腐蝕狀況，欲得正確之結果，以掌控鋼筋腐蝕發展過程，本項試驗應長期進行監測。

表 4.20 水灰比 0.45 鋼筋腐蝕電位與齡期的關係 (mV)

齡期 配比		28 天	90 天	180 天	365 天
配比 A (W/C, 0.45)	A-R0 (Air)	-215	-218	-173	-62
	A-R0 (Sea)	-217	-228	-272	-385
	A-R30 (Air)	-538	-548	-436	-92
	A-R30 (Sea)	-537	-600	-609	-621
	A-R50 (Air)	-435	-516	-333	-62
	A-R50 (Sea)	-405	-553	-543	-599
	A-D0 (Air)	-106	-111	-97	-77
	A-D0 (Sea)	-116	-308	-317	-340
	A-D30 (Air)	-179	-181	-136	-101
	A-D30 (Sea)	-154	-526	-551	-572
	A-D50 (Air)	-343	-231	-200	-147
	A-D50 (Sea)	-350	-576	-574	-571

表 4.21 水灰比 0.60 鋼筋腐蝕電位與齡期的關係 (mV)

齡期 配比		28 天	90 天	180 天	365 天
配比 B (W/C, 0.60)	B-R0 (Air)	-75	-80	-71	-66
	B-R0 (Sea)	-73	-82	-100	-122
	B-R30 (Air)	-162	-187	-102	-47
	B-R30 (Sea)	-157	-189	-599	-620
	B-R50 (Air)	-123	-148	-101	-65
	B-R50 (Sea)	-124	-204	-546	-615
	B-D0 (Air)	-93	-112	-113	-111
	B-D0 (Sea)	-86	-298	-596	-606
	B-D30 (Air)	-80	-87	-93	-112
	B-D30 (Sea)	-78	-305	-322	-344
	B-D50 (Air)	-86	-144	-123	-110
	B-D50 (Sea)	-89	-287	-277	-267

4.3.3 混凝土構造物鹼質與粒料反應調查與潛勢分析

4.3.3.1 目視調查

花蓮港新東堤與花東沿海之石梯港、長濱漁港、新港漁港之防波堤則出現地圖狀裂縫、裂縫處並有滲出物等疑似鹼質與粒料反應之徵候。此外，花蓮港西堤及航道東側之消波塊，各漁港內消波塊也都發現零星或大批地圖狀裂縫、滲出物等明顯鹼質與粒料反應徵候，省道臺 11 線及臺 9 線至臺東大武沿線之消波塊及部份橋樑之橋墩亦有多處發現類似徵候，且批段性十分明顯，如照片 4.11~4.22。



照片 4.11 花蓮港新東堤堤身地圖狀裂縫1



照片 4.12 花蓮港新東堤堤身地圖狀裂縫2



照片 4.13 花蓮港航道消波塊地圖狀裂縫



照片 4.14 石梯港消波塊地圖狀裂縫



照片 4.15 新港漁港消波塊地圖狀裂縫



照片 4.16 富崗漁港堤防裂損現況



照片 4.17 臺東海濱公園消波塊地圖狀裂縫1



照片 4.18 臺東海濱公園消波塊地圖狀裂縫2



照片 4.19 臺東大武公園消波塊地圖狀裂縫



照片 4.20 跨越之臺九線鐵路橋平行主鋼筋方向裂縫



照片 4.21 臺九線公路橋樑橋墩裂縫 1



照片 4.22 臺九線公路橋樑橋墩裂縫 2

4.3.3.2 非破壞性檢測

1. 試錘試驗

試錘試驗結果如表 4.22 所示。換算為混凝土之表面硬度，花蓮港新東堤堤身之測點除一處低於設計值 210 kg/cm^2 外，均大於設計值。消波塊部份其硬度除新港漁港明顯偏低外，均屬正常值 (140 kg/cm^2) 以上；由於消波塊屬消耗性構件，其強度不足並不致發生重大損害。

表 4.22 現場試錘試驗與中性化深度量測之結果

構造物名稱	表面硬度 (kg/cm^2)	中性化深度 (mm)
花蓮港新東堤	163 339	1 4
石梯漁港消波塊	162 195	0.5 3
新港漁港消波塊	105.0	0.5 3.
臺東濱海公園消波塊	243 351	1 3
大武公園消波塊	386 438	1 2.5

2. 中性化試驗

試驗結果詳如表 4.18 所示，中性化程度均不高，以花蓮港新東堤較高，約在 1 mm 至 4mm 深度左右，照片 4.23 為鑽心試體進行中性化深度量測之情形。



照片 4.23 鑽心試體中性化程度量測情形

4.3.3.3 鑽心試體試驗

1. X 光繞射分析 (XRD)

本試驗係將混凝土構造物以鑽心試體擇要敲取碎片，各試樣壓碎之碎片分袋，分別取出部份碎片，依規定研磨至通過所需篩號（#100）之粉末，進行 XRD 實驗，試驗結果如圖 4.27 至 圖 4.29 所示，經比對可能具有活性之成分，活性成分主要有 Tridymite(鱗英石) Cristobalite (方英石) $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8$ (鹼矽膠體) 及可能使混凝土發生膨脹之 Ettringite (鈣鉬石) 等。

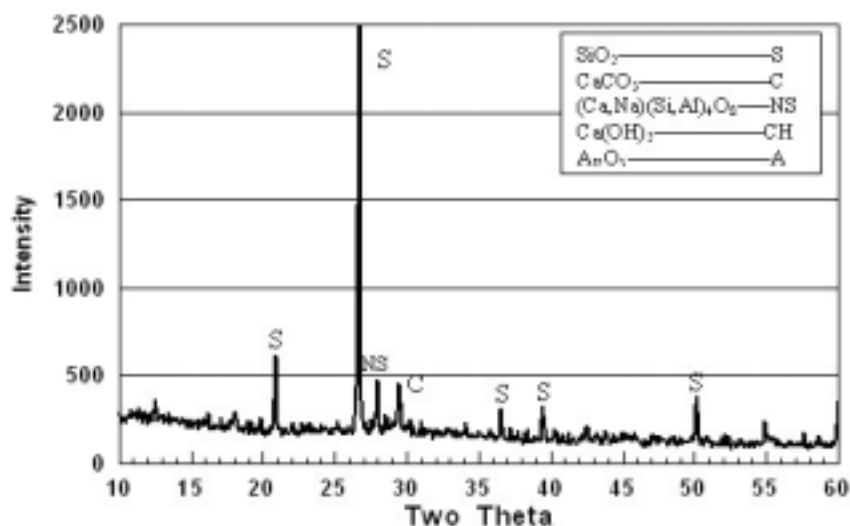


圖 4.27 石梯港消波塊 X 光繞射分析試驗結果

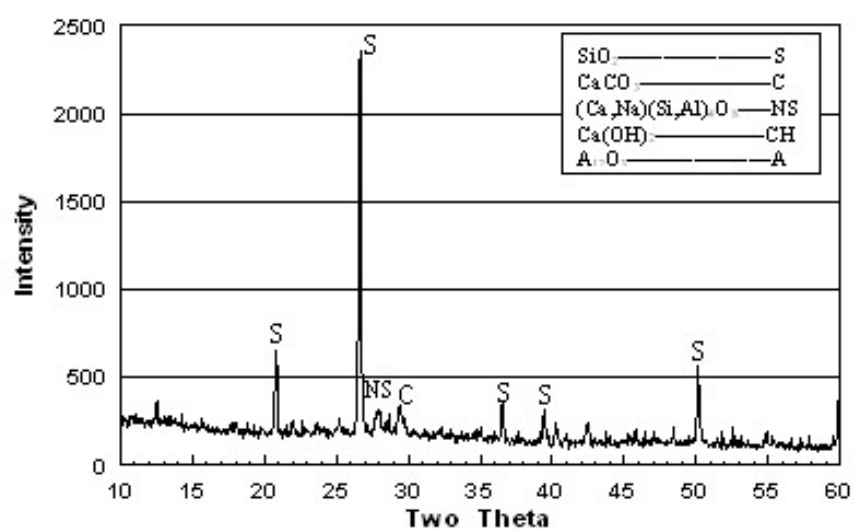


圖 4.28 臺東海濱公園消波塊 X 光繞射分析試驗結果

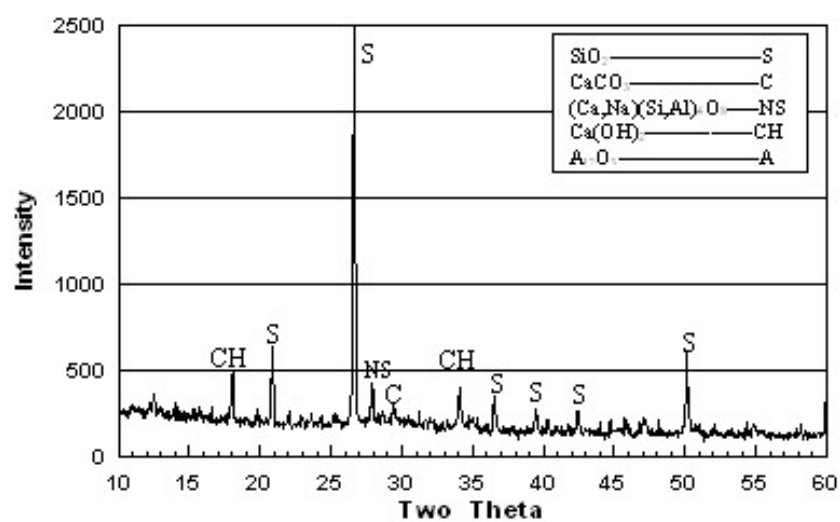
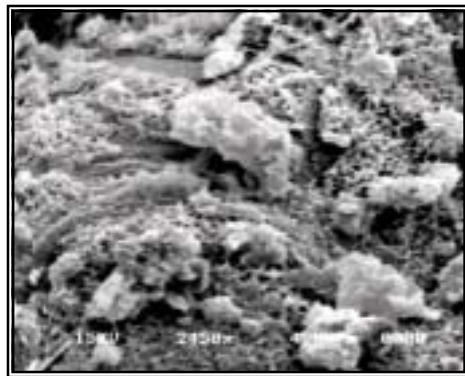


圖 4.29 臺東大武公園消波塊 X 光繞射分析試驗結果

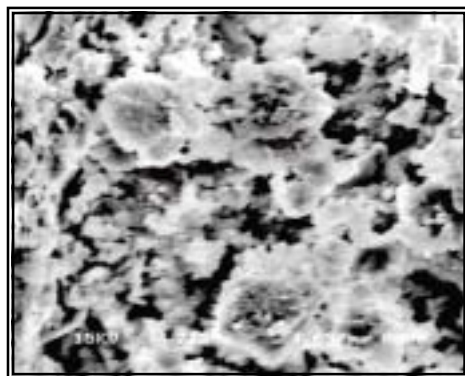
2. 掃描式電子顯微鏡分析 (SEM)

本研究中所選擇的 SEM 試體，分別取自鑽心試體或鑿取自有疑似鹼質與粒料反應徵候之現地結構物碎片。石梯港及臺東海濱公園消波塊部份試體其內部有海綿狀體之膠結物，與屬於活性粒料和鹼性物質反應所生成的產物類似，部份形狀包括了海綿狀體之膠結物、細絲狀等，如照片 4.24 至 4.25 所示；顯示其組成成份包括鹼、矽、鈣、鋁和鈉之膠體，與外部徵候調查結果相互印證，應有鹼質與粒料反應之生成物存在。

為確認類似鹼質與粒料反應膠體產物的存在與反應膠體產物的成分，本研究後續將對部分完成浸泡試驗之試體同時進行 EDS 分析，如出現類似鹼性物質反應所生成的產物，且經分析含有鈉、鉀、矽、鈣等成分，可與 X 光繞射分析及目視檢測結果相互比對確認粒料活性。



照片 4.24 石梯港消波塊 SEM 照片



照片 4.25 臺東海濱公園消波塊 SEM 照片

3.鑽心試體斷面醋酸鈷法試驗

現場完成鑽心試體取樣後，以醋酸鈷法檢測試體表面是否含有鹼矽膠體。各試體斷面在噴灑醋酸鈷液體前後之照片比對分析，經過詳細色澤變化鑑定後，整體而言，尚無出現黃綠色反應(鹼矽膠體)的區域。

4.鑽心試體浸泡試驗膨脹量量測

鑽心試體浸泡環境分為 38 °C 1N NaOH 溶液，及 38 °C，相對濕度 100 % 兩種。本試驗因需長期觀測，目前試驗尚在進行中。

4.3.3.4 ASTM C227 水泥砂漿棒膨脹試驗法

依據 ASTM C227 規範規定，將取自具活性潛能之地區（臺東縣東河、三仙台....等地區）之粒料製作成水泥砂漿棒，含鹼量則調整至 1.2 %，本試驗因需長期觀測，目前試驗尚在進行中。

4.4 結論

4.1.1 高性能混凝土的耐久性研究

- 1.本研究的高性能混凝土的中性化試驗,可看出部分 OPC 混凝土的中性化深度達 1.5cm，而 HPC 則幾乎不受影響。
- 2.現地與鑽心試體超音波量測,都可發現 HPC 之脈波速度比 OPC 為高。
- 3.本研究之 HPC 其抗壓強度在齡期 6.5 年有持續增加,而 OPC 混凝土的強度已下降折減，其折減原因乃混凝土老化之正常現象。
- 4.在 Anode Ladder System 之量測結果顯示,其腐蝕電位後隨齡期之增加而趨於緩和,HPC 之電位在-5~-100mV,而 OPC 之電位在-5~220mV。
- 5.經本年度量測試驗牆的結果，埋設混凝土內部之電極並未失效，建議繼續長期監測。

4.4.2 摻用爐石對海砂混拌混凝土之耐久性影響

1. 配比 A(水灰比 0.45)試體，不添加爐石的河砂與海砂其抗壓強度發展非常相似，而水灰比在 0.6 時以河砂的抗壓強度較高。
2. 配比 A(水灰比 0.45)試體，添加 50 % 爐石的河砂其抗壓強度最高，而其他配比在添加 30% 爐石的河砂與海砂，其強度發展較高。
3. 有添加爐石的海砂與河砂混凝土，其強度發展都比不添加爐石的佳。
4. 含爐石粉之混凝土試體，其電阻係數較不含爐石粉試體者為高。

4.4.3 混凝土構造物鹼質與粒料反應調查與潛勢分析研究

花蓮港區內及花東地區部份小型漁港或護岸設施諸如堤防消波塊、以及陸上橋樑等構造物外觀，其外觀有發現鹼質與粒料反應之外部徵候，顯示其有發生鹼質與粒料反應之潛能及疑慮。

第五章 重力式碼頭檢測系統建置之研究

5.1 前言

5.1.1 研究動機

本計畫之研究動機，可從 5 方面來說明：

A. 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，潛伏性問題多，極易構成潛伏性與立即性的損壞^[38]。加上臺灣面臨西太平洋又地處地震帶上，港灣設施承受暴潮、暴風、暴浪與地震侵襲之頻率高，港灣維護管理更加不易。

B. 歷史

臺灣各大港設施使用至今多已老舊，以李延恭等於 1996 之高雄港研究調查之統計為例^[37]，當時之高雄港既有碼頭中，建造 30 年以上或材料外視已有 60% 以上老化現象之碼頭即佔 1/4，若含建造 10~30 年或材料外視已有 30%~ 60% 老化現象之碼頭則佔 3/4，由此可知即早建立一套碼頭安全檢測系統更形重要。

C. 維護管理與永續經營之理念

基於維護管理與永續經營之理念，必須避免營運中災難的發生進而導致更大之經濟損失，有系統的做好碼頭維護管理是必要的，而碼頭安全檢測為實施碼頭維護管理之必要手段。

D. 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，碼頭管理當然不應被排除在外。

E. 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』。

5.1.2 研究目的

臺灣現今碼頭維護面臨迄待解決或加強的重要課題有：維護理念之建立與改革、完善可行的維護系統與制度、維護技術的發展與維護人員之培訓等^[42]。本計畫主要之目的除在配合潮流與政策外，並為延續上述課題而施行。

5.1.3 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 1996 著手研究之高雄港老舊碼頭安全調查(李等，1998)^[37]。以及蘇吉立於 2002^[44]發表於二十四屆海洋工程研討會論文集集中之"碼頭結構安全檢測系統之研建"。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 月剛完成之港灣構造物維護管理準則之研究(草案)^[46]。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^[37]。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^[44]：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.異象分類、檢測部位、檢測項目與檢測內容等有待明確界定與整合統一。4.碼頭基本檢測部位名稱有待整合統一標稱。5.可能導致各式碼頭異象之機制應統合分析。6.檢測評估、記錄與報告應標準化。

5.1.4 研究方法、時程與目標

本研究係延承蘇吉立於 2002 之初步研究成果^[44]，並重新檢討整合相關研究之現有檢測之理念、方法程序與基本界定，於安全檢測評估系統表整合建置時，將配合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。整體研究時程分為四年，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，最後再整合建置成碼頭本體設施維護管理系統。各年度之研究主題重點為：(94 年)重力式碼頭檢測系統之建置。(94 年)鋼板樁碼頭檢測系統之建置 (95 年)。(96 年)棧橋式碼頭檢測系統之建置 (97 年)碼頭本體設施維護管理系統之建置。

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，並以可行性與實用性為最終之目標，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。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。

5.2 系統之基本界定

5.2.1 系統規劃

本研究於系統規劃上將分為兩階段 第一階段首先規劃各式碼頭之檢測系統作為子系統，第二階段則結合子系統及整合相關之資料庫成為碼頭本體設施維護管理系統(主系統)，子系統建置之軟體為 Microsoft Excell，主系統則擬建置於 GIS 相關系統下。整體規劃以簡易與實用為原則。為使檢測作業系統化，建置前需作相關之界定與統合。

5.2.2 檢測標的之界定

本系統檢測標的將暫時適用於港灣設施之碼頭主體結構，排除附屬設施，而以碼頭主體結構之港灣設施為主，並將其分為：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。

5.2.3 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

將構造物之安全檢測視同人類之醫學診治，已為蘇^[38、44]與陳^[45]等之共識。本研究延用並進一步譚述蘇與陳等之共同思維。

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。

5.2.4 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、定期檢測與特殊項目監測與檢測)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：

A. 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。

B. 例行檢測

例行檢測係對特殊檢測項目施行定期檢測或針對特定事項進行追縱監測。特殊檢測項目如航道檢測、港池檢測、水下壁體檢測、水下基礎檢測---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。

特定事項係指因應平時檢測之某種異象而進行之必要監測，其目的在追蹤該異象於給定時間之變化量或變化率。例行檢測本研究將其列為細部檢測。

C. 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。

5.2.5 檢測作業階段之界定

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界定如下：

A. 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。

B. 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，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。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(李等 1998、1999)^[37, 38]。

C. 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環為之，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。

D. 細部檢測作業

作業範圍含蓋初勘範圍至與海下至海床。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。

E. 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環為之，系統評估結果之警示度與或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。

5.2.6 碼頭異象分類之統合

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，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，勘查檢測港灣設施時，於整體設施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蘇與李等之研究結果^[35、37]，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 5-1)。

表 5-1 高雄港碼頭外視異象實地勘查案例統計表^[37]

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

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。

5.2.7 碼頭異象之特性

碼頭異象彼此之間的行為常俱 3 大特性^[38]：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。

3 大特性之關聯如圖 5-1，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。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。

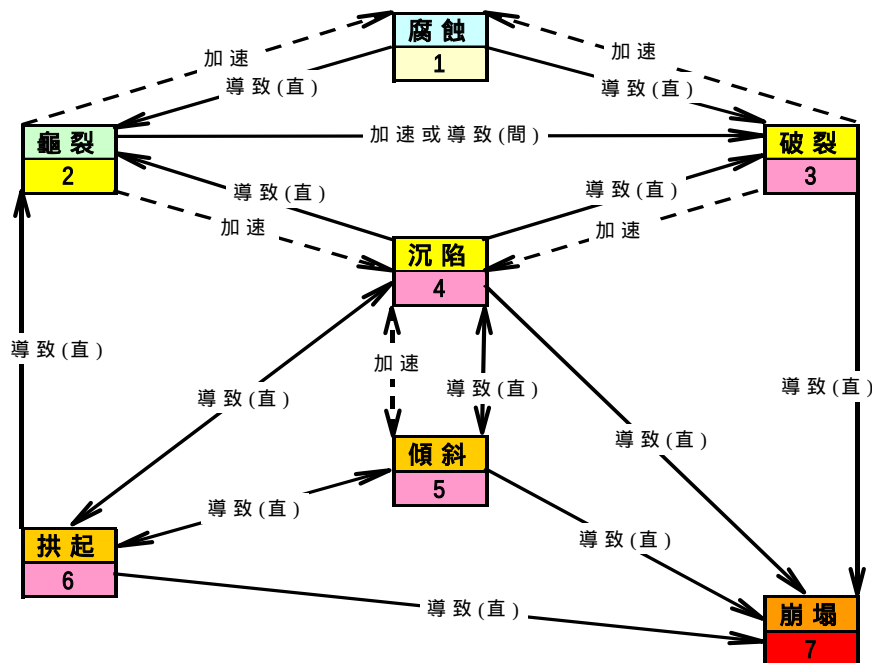


圖 5-1 碼頭外部異象 3 大特性之關聯圖^[38]

5.2.8 碼頭異象之成因與常現行為分佈狀況

重新檢討分析蘇，1998 之研究結果；導致各種碼頭異象行為之可能主要因素及常現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)：

A. 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。

常現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。

B. 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。

常現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。

C. 破裂

同龜裂。

D. 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。

常現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。

E. 拱起

同沉陷。

F. 傾斜

可能主要因素包括；沉陷及導致沉陷之原因。

常現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。

G. 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。

常現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。

外視異象整體觀念之描述亦可以圖 5-1 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。

5.2.9 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。

5.2.10 碼頭本體設施定義與分類

碼頭本體設施與相關之名詞，本研究基本上採用侯等(1996)編製而由交通部運輸研究所出版之"港灣工程專有名詞"書中之定義^[36]。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。依侯等(1996)所編『港灣工程專有名詞』一書之定義，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。

5.2.11 導致重力式碼頭外部異象基本機制之標定

本研究於重力式碼頭結構，乃延用蘇(2002)^[44]所繪製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，加以重新檢討整合。圖 5-2 為重新檢討整合後所建立之導致重

力式方碼頭結構異象之主要機制示意圖。

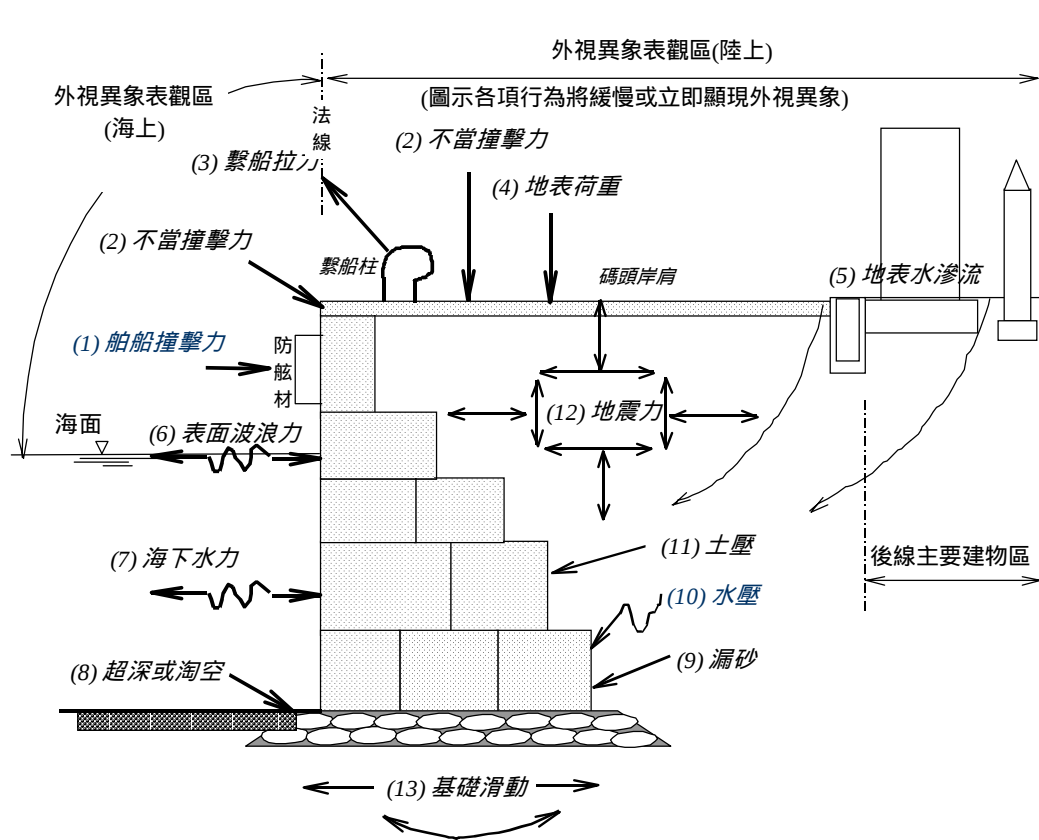


圖 5-2 導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

圖 5-3 為新建立之導致重力式沉箱碼頭結構異象之主要機制示意圖。圖 5-2 與圖 5-3 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 2-2 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。

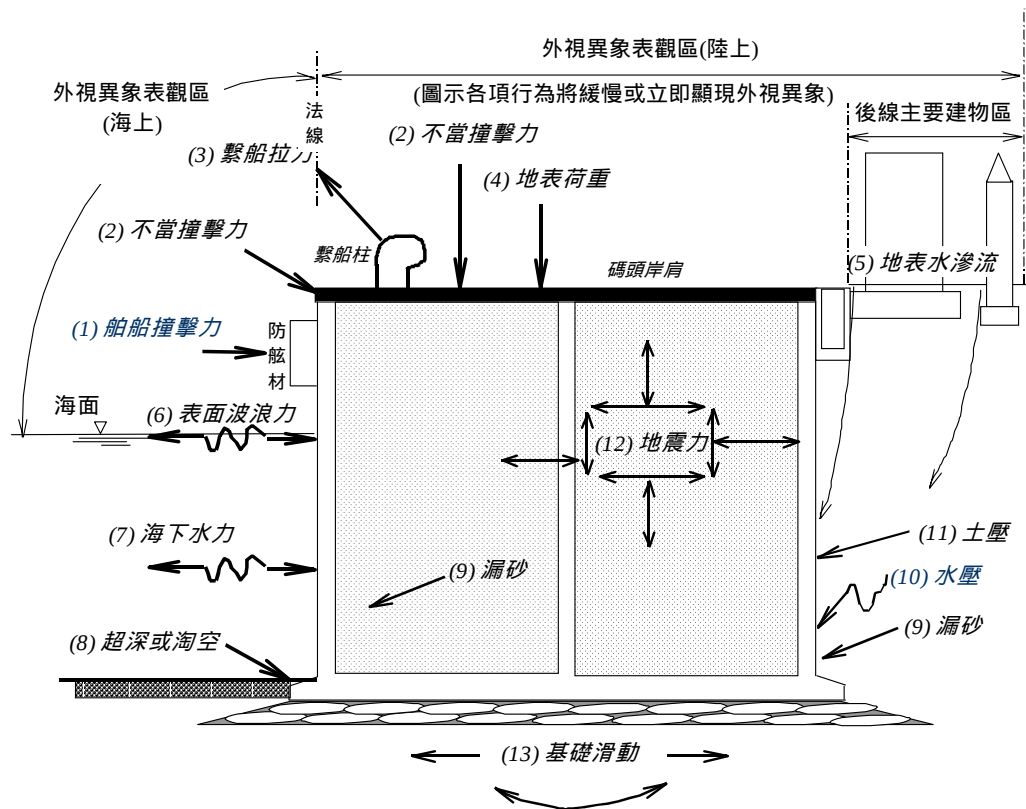


圖 5-3 導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

5.2.12 重力式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。

如圖 5-4 為經初步整合建置完成之重力式方塊碼頭檢測部位標稱示意圖,如圖 5-5 為重力式沉箱碼頭檢測部位標稱示意圖,圖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,亦明確標定標準圖示中。

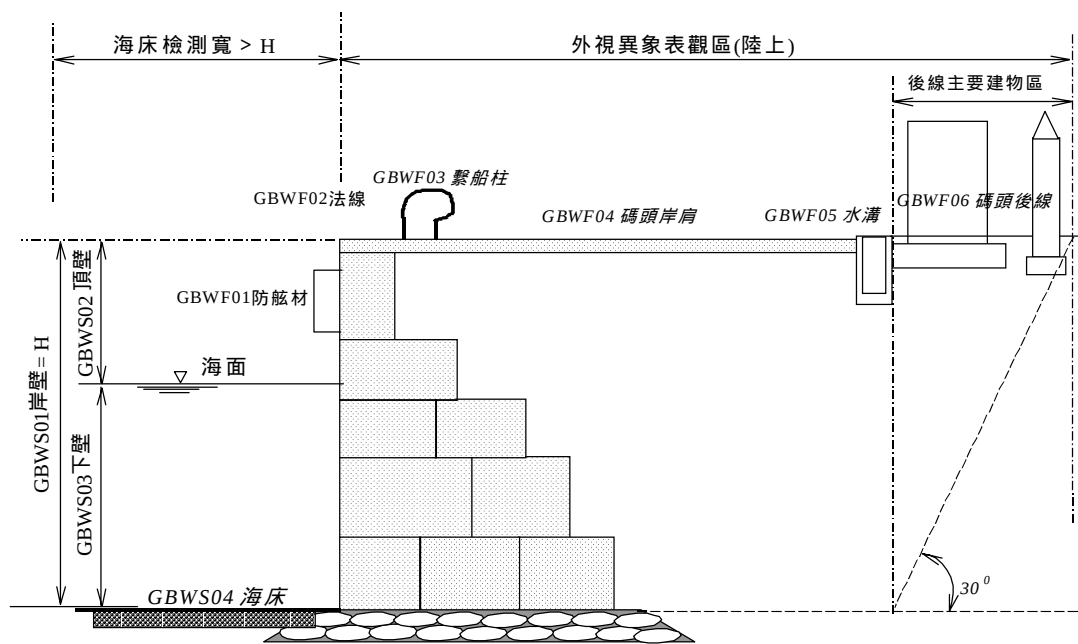


圖 5-4 重力式方塊碼頭檢測部位標稱示意圖

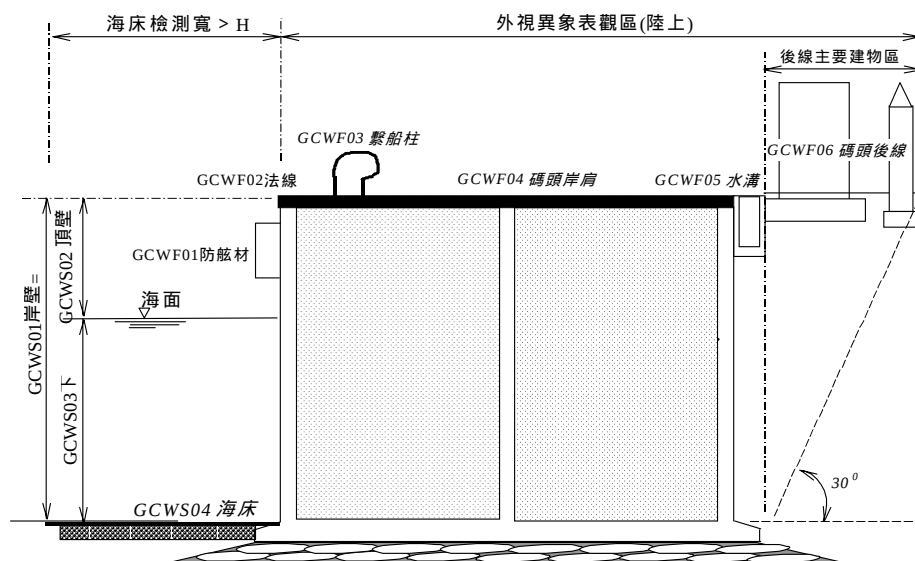


圖 5-5 重力式沉箱碼頭檢測部位標稱示意圖

5.3 系統之建構

本研究階段所稱之系統，係指碼頭本體設施之安全檢測系統。

系統係由一系列之表格所組成，整體安全檢測評估系統表，係依內容與作業目的分別建立，並依作業程序與性質予以編號。

5.3.1 系統研建之淵源

系統表建構之基本構思，係源自李等 1998 至蘇 2002 等相關研究，期間並參酌公路局之橋梁檢測系統與李賢華 2002 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 2002 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。

5.3.2 系統研建之特點

本系統之建構與展現，亦利用 Windows 作業視窗及 Microsoft Excell 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 Excell 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。

本系統所強調之特點如下：

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

5.3.3 系統之組成

本研究所稱之系統，係指碼頭本體設施之安全檢測系統。

系統係由一系列之表格所組成。整體安全檢測評估系統表，係依內容與作業目的分別建立，並依作業程序與性質予以編號（系統整體組成架構如圖 5-6）。為達本系統所強調之標準化、統一化以及自動化之特點，與簡單實用之目的，本研究首先利用 Microsoft Excell 作業軟體之特性，建置一系列之系統表，如圖 5-6 中之各表。

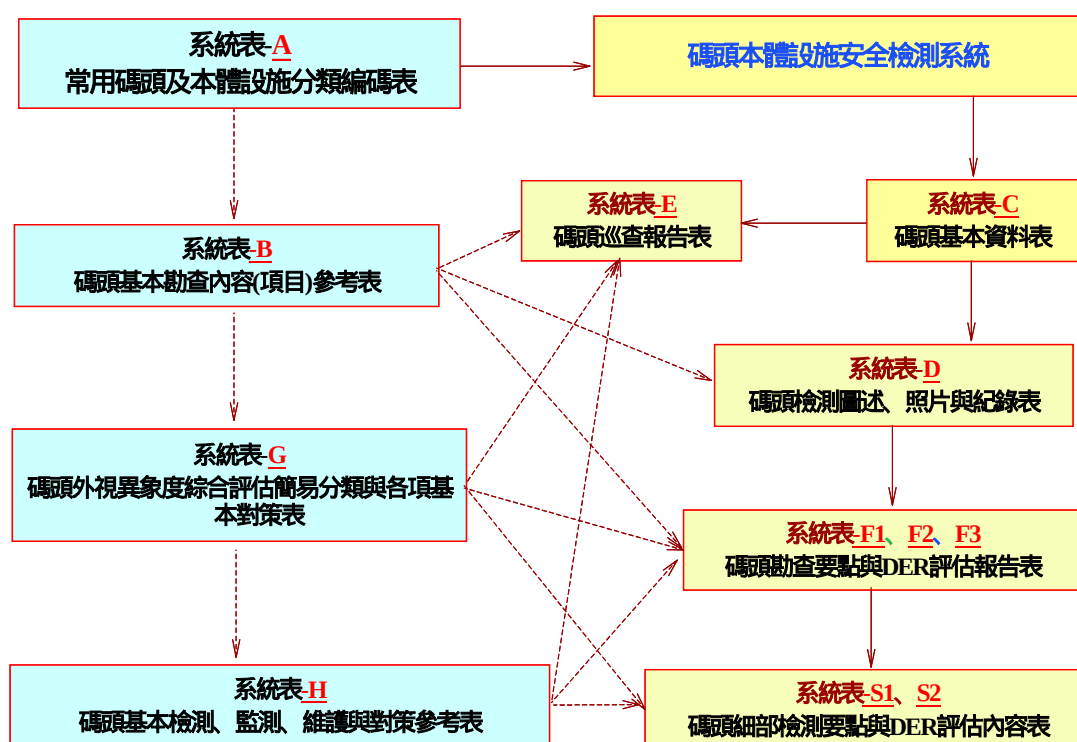


圖 5-6 檢測系統組成架構示意圖

系統表分為資料參考表與檢測評估表兩大類，如圖 5-6 中左半部之 A、B、G、H 為資料參考表，提供檢測評估與決策之參考。圖 5-6 中右半部之 C、D、E、F、S 則為檢測評估表。

5.3.4 系統表之編碼與分類

本階段系統表之分類與編號狀況如表 5-2。各系統表之建構內容依序分述於下列各節。

表 5-2 系統表之編碼與分類狀況

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
A					常用碼頭及本體設施分類編碼表
B					碼頭基本勘查內容(項目)參考表
C	SSSW	OF	0001	01	碼頭基本資料表
D	SSSW	OF	0001	01	碼頭檢測圖述、照片與紀錄表
E	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
G					碼頭外視異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表
H					碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表
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

設施編碼	
SSSW	
SSS	系統
W	碼頭
GBBW	重力式方塊碼頭
GCCW	重力式沉箱碼頭
餘詳系統表A	

檢測性質編碼	
OD	基本對策參考資料
OC	平時巡查
OF	平時初勘
OS	平時細勘
FF	例行初勘
FS	例行細勘
SF	災害初勘
SS	災害細勘

編碼設計為 14 欄位，1-2 欄為系統表編碼，3-6 欄為設施編碼，設施編碼除 W 表示碼頭、SSS 表示系統共通性外，其它詳如表 5-3。7-8 欄為檢測性質編碼，OD 為基本對策參考資料，OC 為平時巡查，OF 為平時初勘，OS 為平時細勘，FF 為例行初勘，FS 為例行細勘，SF 為災害初勘，SS 為災害細勘。9-12 欄為檢測次數編碼，12-14 欄為檢測表單編碼。

5.3.5 系統表 A-常用碼頭及本體設施分類編碼表之建構

系統表 A-為常用碼頭及本體設施分類編碼表，分類及編碼詳如表 5-3。

表 5-3 港灣設施安全檢測評估系統表-A

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	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	版樁式鉚碇版碼頭	BC	輸送設施	C	水溝
SAIW	版樁式鉚碇樁碼頭	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				
TPBW	棧橋式PC斜樁碼頭				

5.3.6 系統表 B-碼頭基本勘查內容(項目)參考表之建構

系統表 B-為目前已標定之碼頭基本勘查內容(項目)參考表,其標定內容與代號詳如表 5-4。

表 5-4 港灣設施安全檢測評估系統表-B

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)
W F 01-3	防 舷 材 破 裂	W F 06-1	岸 肩 腐 蝕
W F 01-7	防 舷 材 崩 塌	W F 06-2	岸 肩 龜 縫
W F 02-50	法 線 外 拱	W F 06-3	岸 肩 破 縫
W F 02-51	法 線 內 拱	W F 06-4	岸 肩 沉 陷
W F 03-1	冠 牆 腐 蝕	W F 06-5	岸 肩 拱 起
W F 03-2	冠 牆 龜 縫	W F 06-6	岸 肩 傾 斜
W F 03-3	冠 牆 破 縫	W F 06-7	岸 肩 崩 塌
W F 03-4	冠 牆 沉 陷	W F 07-3	水 溝 破 裂
W F 03-6	冠 牆 傾 斜	W F 07-4	水 溝 沉 陷
W F 03-7	冠 牆 崩 塌	W F 07-7	水 溝 崩 塌
W F 04-1	繫 船 柱 腐 蝕	W F 08-3	後 線 地 面 破 裂
W F 04-3	繫 船 柱 破 裂	W F 08-4	後 線 地 面 沉 陷
W F 05-3	繫 船 柱 基 面 破 裂	W F 08-7	後 線 地 面 崩 塌
W F 05-6	繫 船 柱 基 傾 斜	W F 09-4	後 線 建 物 沉 陷
W F 05-7	繫 船 柱 基 崩 塌	W F 09-6	後 線 建 物 傾 斜
		W F 09-7	後 線 建 物 崩 塌

5.3.7 系統表 C-碼頭基本資料表之建構

系統表 C-為目前檢討整合修建完成之碼頭基本資料表，其整合修建完成之表單格式與內容詳如表 5-5。

表 5-5 港灣設施安全檢測評估系統表-C

基本資料表SSSW-OF-0001-01																					
檢測資料屬性	區域		既有		改建		翻修		年份		月份										
	平時		特定		災害		特定														
	巡查		初勘		細勘		監測		研究												
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		平板樁基式		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		回填料		其他										
岸肩面板	RC		PC		AC		卵石級配		碎石級配		其他										
碼頭起造日期		年	月	碼頭完工日期		年	月	碼頭啟用日期		年	月										
設計標高：		EL+m		基本設計圖(電子檔)																	
設計海床：		EL-m		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
				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：		港灣技數研究所						檢測人員：													
檢測日期：		年		月		日															

5.3.8 系統表 D-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之建構

系統表 D-為目前檢討整合修建完成之碼頭檢測圖述、照片與紀錄表，其整合修建置完成之表單格式與內容詳如表 5-6。

表 5-6 港灣設施安全檢測評估系統表-D

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表SSSW-OF-0001-01													
檢測資料屬性	區域		既有		改建		翻修		年份		月份		
	平時		特定		災害		特定						
	巡查		初勘		細勘		監測		研究				
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		回填料		其他		
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													
法線、防舷材照片	繫船柱、冠牆照片			岸肩照片			水溝、後線地面、建物照片						
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			水溝、後線地面、建物照片						
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			水溝、後線地面、建物照片						
照片編號	照片編號			照片編號			照片編號						
檢測單位：	港灣技數研究所					檢測人員：							
檢測日期：	年 月 日					第 1 頁 共 頁							

5.3.9 系統表 E-碼頭巡查報告表之建構

系統表 E-為目前檢討整合新建完成之巡查報告表，其建置完成之表單格式與內容詳如表 5-7。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，意維繫不檢測之參考依據。

表 5-7 港灣設施安全檢測評估系統表-E

碼頭巡查報告表-SSSW-OC-0001-01																					
檢測資料屬性		區域	既有	改建	翻修	年份	月份														
		平時	特定	災害	特定																
		巡查	初勘	細勘	監測	研究															
碼頭名稱																					
碼頭用途屬性		軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港動	客	其它									
碼頭型式		重力式	✓	版樁式	棧橋式	平板樁基式			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		鋼管樁		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	回填料		其他												
岸肩面板		RC		PC	AC	卵石級配	碎石級配		其他												
巡查部位		外視異象							各項巡查評估結果												
		1 腐蝕	2 龜裂	3 破裂	4 沉陷	5 拱起	6 傾斜	7 崩塌													
編號	項目	外視異象等級																			
		A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O
		等級分劃請參閱系統表08(主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃)																			
		分佈範圍分劃：100~45%為A、44~25%為B、24~5%為C、<5%為O													1~3項	4~7項					
SSSWF01	防舷材	免評	免評		免評	免評	免評	免評													
SSSWF02	法線	免評	免評	免評																	
說明																					
SSSWF03	冠牆									免評										0	0
說明																					
SSSWF04	繫船柱							免評	免評	免評	免評									0	免評
SSSWF05	繫船柱基									免評										0	0
說明																					
SSSWF06	岸肩									免評											0
說明																					
SSSWF07	岸肩水溝	免評								免評										0	0
說明																					
SSSWF08	後緣地面	免評								免評										0	0
SSSWF09	後緣建物	免評								免評										0	0
巡查綜合評估	整體警示度	腐蝕	龜裂	破裂	沉陷	拱起	傾斜	崩塌	綜合警示												
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	建議因應措施	整體	正常																		
		個項	防舷材		繫船柱		繫船柱基		岸肩												
			無		無		無		無												
			岸肩水溝		後緣地面		後緣建物														
			無		無		無														
檢、監測	法線	裂縫	沉陷	水下	強度	地質															
	否	否	否	否	否	否															
檢測單位：		港灣技數研究所																			
檢測人員：		蘇吉立																			
檢測日期：		年 月 日																			
		第 頁 共 頁																			

5.3.10 系統表 F1-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之建構

系統表 F1-為目前檢討整合修建完成之碼頭勘查要點與 DER 評估報告表，其整合修建置完成之表單格式與內容詳如表 5-8。

表 5-8 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																													
檢測資料屬性	區域		既有		改建		翻修		年份		月份																		
	平時		特定		災害	✓																							
	巡查		初勘		細勘		監測		研究	✓																			
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																													
護岸 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 回填料 其他																													
岸肩面板 RC PC AC 卵石級配 碎石級配 其他																													
安檢部位與內容																													
D目視異象度 E分佈範圍% R安全影響 檢測照 檢測圖 警示度																													
A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)																													
A B C O N A B C O N A B C O N 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 1 2 3 ABCO ID(%)																													
如各項分劃 45 25 5 0 高 中 低 無																													
ID%=((D+E)*R)/(18)*100																													
警示度ID之分劃：100~45%為高度警示(A)、44~25%為中度警示(B)、24~5%為低度警示(C)、4~0%為正常(O)																													
D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0																													
E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																													
SSSWF01	防舷材					2																							
1~3 勘查結果 正常																													
(D分劃：無作用、崩塌或崩落時權重3，破裂時權重2，龜裂時權重1)																													
SSSWF02	法線					3																							
1~3 勘查結果 正常																													
(D分劃：外移量>=30cm或內移量>5cm時權重3，外移量11~29cm或內移量5~2cm時權重2，外移量<=10cm或內移量<=2cm時權重1)																													
SSSWF03-1	冠牆腐蝕					2																							
(D分劃：破、拱時權重3，裂時權重2，銹水時權重1)																													
SSSWF03-2	冠牆龜裂					2																							
(D分劃：冠牆變形、裂縫貫穿權重3，冠牆未變形、裂縫貫穿權重2，冠牆未變形、裂縫未貫穿時權重1)																													
SSSWF03-3	冠牆破裂					2																							
(D分劃：冠牆變形、裂縫貫穿權重3，冠牆未變形、裂縫貫穿權重2，冠牆未變形、裂縫未貫穿時權重1)																													
1~3 勘查結果 正常																													
SSSWF03-4	冠牆沉陷					3																							
(D分劃：沉陷量>15cm時權重3，15~5cm時權重2，<5cm時權重1)																													
SSSWF03-6	冠牆傾斜					3																							
(D分劃：傾斜量>2%時權重3，1.9~1%時權重2，<1%時權重1)																													
SSSWF03-7	冠牆崩塌					3																							
(D分劃：崩塌時權重3，>傾崩或崩陷時權重2，>崩破時權重1)																													
4~7 勘查結果 正常																													
SSSWF04-1	繫船柱腐蝕					1																							
(D分劃：表面腐蝕剝落時權重2，腐蝕脫漆時權重1)																													
SSSWF04-3	繫船柱破裂					2																							
(D分劃：破斷、破孔時權重3，破龜裂時權重2)																													
1~3 勘查結果 正常																													
檢測單位：																													
檢測人員：																													
檢測日期： 年 月 日 第 頁 共 頁																													

5.3.11 系統表 F2-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之建構

系統表 F2-為目前檢討整合修建完成之碼頭勘查要點與 DER 評估報告表，其整合修建置完成之表單格式與內容詳如表 5-9。

表 5-9 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																																																											
檢測資料屬性		區域	既有	改建	翻修	年份	月份																																																				
		平時	特定	災害	✓																																																						
		巡查	初勘	細勘	監測	研究	✓																																																				
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	鋼管	鋼管直樁	鋼管斜樁	PC版樁	PC圓樁	PC斜樁	PC直樁	其他																																															
岸壁結構		方塊	沉箱	鋼板																																																							
岸肩結構		方塊	沉箱	鋼管直樁	鋼管斜樁	PC圓樁	PC版樁	無	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	回填料	碎石級配	其他																																																			
岸肩面板		RC	PC	AC	卵石級配	碎石級配	其他																																																				
安檢部位與內容		D目視異象度												E分佈範圍%												R安全影響												檢測照										檢測圖										警示度	
		A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)												A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)												A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)												1 2 3 4 5 6 7 8 9 10										1 2 3 4 5 6 7 8 9 10										ABC O ID(%)	
		如各項分劃												如各項分劃												如各項分劃												ID%(((D+E)*R)/18)*100																					
界限分劃權重分配0、1、2、3四級		3 2 1 0												3 2 1 0												3 2 1 0																																	
警示度ID之分劃：100~45%為高度警示(A)、44~25%為中度警示(B)、24~5%為低度警示(C)、4~0%為正常(O) D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0 E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																																																											
SSSWF05-3	繫船柱基面裂縫													2																																												O 0	
(D分劃：45°全長拉裂時權重分配2，龜裂時權重分配1)																																																											
GBBWF05-6	繫船柱基傾斜													3																																												O 0	
(D分劃：傾斜量>2%時權重分配3，1~1.9%時權重分配2，<1%時權重分配1)																																																											
GBBWF05-7	繫船柱基崩塌													3																																												O 0	
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																																																											
勘查結果		正常																																																									
GBBWF06-1	岸肩腐蝕													2																																												O 0	
(D分劃：破、拱時權重分配3，裂時權重分配2，銹水時權重分配1)																																																											
GBBWF06-2	岸肩龜裂													2																																												O 0	
(D分劃：朝法線方向或平行法線全長龜裂時權重分配3，局部龜裂時權重分配2，腐蝕龜裂時權重分配1)																																																											
GBBWF06-3	岸肩破裂													2																																												O 0	
(D分劃：朝法線方向或平行法線全長破裂時權重分配3，局部破裂時權重分配2，腐蝕破裂時權重分配1)																																																											
1~3 勘查結果		正常																																																									
GBBWF06-4	岸肩沉陷													3																																												O 0	
(D分劃：沉陷量>20cm時權重分配3，20~10cm時權重分配2，<10cm時權重分配1)																																																											
勘查結果		正常																																																									
GBBWF06-5	岸肩拱起													3																																												O 0	
(D分劃：拱起量>10cm時權重分配3，10~5cm時權重分配2，<5cm時權重分配1)																																																											
GBBWF06-6	岸肩傾斜													3																																												O 0	
(D分劃：傾斜量>3%時權重分配3，>2%時權重分配2，>1%時權重分配1)																																																											
GBBWF06-7	岸肩崩塌													3																																												O 0	
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																																																											
5~7 勘查結果		正常																																																									
檢測單位：																																																											
檢測人員：																																																											
檢測日期：		年 月 日																																																									

第 頁共 頁

5.3.12 系統表 F3-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之建構

系統表 F3-為目前檢討整合修建完成之碼頭勘查要點與 DER 評估報告表，其整合修建置完成之表單格式與內容詳如表 5-10。

表 5-10 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																													
檢測資料屬性	區域	既有	改建	翻修	年份	月份																							
	平時	特定	災害	✓																									
	巡查	初勘	細勘		監測	研究	✓																						
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 其它 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐																													
岸肩結構																													
方塊 沉箱 鋼管直樁 鋼管斜樁 PC斜樁 PC直樁 其它 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐																													
錨碇結構																													
鋼版樁 鋼管樁 PC圓樁 PC版樁 無 其它 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐																													
岸肩或背填料																													
砂 砂石級配 碎石級配 卵石級配 回填料 其它 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐																													
岸肩面板																													
RC PC AC 卵石級配 碎石級配 其它 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐																													
安檢部位與內容																													
D目視異象度 E分佈範圍% R安全影響 檢測照 檢測圖 警示度 A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 1 2 3 ABCO ID(%) 如各項分劃 45 25 5 0 高中低無 3 2 1 0 3 2 1 0 3 2 1 0 ID%(((D+E)*R)/18)*100 警示度ID之分劃：100~45%為高度警示(A)、44~25%為中度警示(B)、24~5%為低度警示(C)、4~0%為正常(O) D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0 E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																													
GBBWF07-3 水溝破裂 2 0 0																													
(D分劃：大量滲水時權重3，>輕微滲水時權重2，>看不出滲水時權重1)																													
GBBWF07-4 水溝沉陷 2 0 0																													
(D分劃：沉陷量>20cm時權重分配3，20~10cm時權重分配2，<10cm時權重分配1)																													
GBBWF07-7 水溝崩塌 2 0 0																													
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																													
勘查結果 正常																													
GBBWF08-3 後線地面破裂 2 0 0																													
(D分劃：因地面沉陷或基土流失時權重3，不明時2)																													
GBBWF08-4 後線地面沉陷 2 0 0																													
(D分劃：沉陷量>20cm時權重3，20~10cm時權重2，<10cm時權重1)																													
GBBWF08-7 後線地面崩塌 3 0 0																													
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																													
勘查結果 正常																													
GBBWF09-4 後線建物沉陷 2 0 0																													
(D分劃：沉陷量>20cm時權重3，20~10cm時權重2，<10cm時權重1)																													
GBBWF09-6 後線建物傾斜 2 0 0																													
(D分劃：傾斜量>2%時權重3，2~1.5%時權重2，<1%時權重1)																													
GBBWF09-7 後線建物崩塌 3 0 0																													
(D分劃：因地面沉陷或基土流失時權重3)																													
勘查結果 正常																													
檢測單位：																													
檢測人員：																													
檢測日期： 年 月 日 第 頁共 3 頁																													

5.3.13 系統表 G-碼頭外部異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表之建構

系統表 G-為目前檢討整合修建完成之碼頭外部異象度綜合評估簡易分類與各項基本對策表，其整合修建置完成之表單格式與內容詳如表 5-11。

表 5-11 港灣設施安全檢測評估系統表-G

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	D 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	C01~C04	C01~C04	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	S02、C01~C05、SS02	S02、C01~C05、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	S02、C01~C05、SS02	S02、C01~C05、SS02	S02、C01~C05、SS02	S02、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	S01~S03、C06~C08、SS01、SS03	S01~S03、C06~C08、SS01、SS03	S01~S03、C06~C08、SS01、SS03	
	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	S01~S04、C06~C08、SS01~SS04	S01~S04、C06~C08、SS01~SS04		
	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	S01~S05、C06~C08、SS01~SS05	S01~S05、C06~C08、SS01~SS05	S01~S05、C06~C08、SS01~SS05	
	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	崩塌	傾崩	崩陷	崩破
	檢、監測	S01~S06、C06~C08、SS01~SS06	S01~S06、C06~C08、SS01~SS06	S01~S06、C06~C08、SS01~SS06	S01~S06、C06~C08、SS01~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	D 表示正常

蘇吉立200506更修1

5.3.14 系統表 H-碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表之建構

系統表 H-為目前檢討整合修建完成之碼頭基本檢測、監測、維護與對策參考表，其整合修建置完成之表單格式與內容詳如表 5-12。

表 5-12 港灣設施安全檢測評估系統表-H

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
S01	法線檢測	C01	腐蝕檢測	SS01	法線監測	G01	阻絕外部滲流水源
S02	裂縫檢測	C02	保護層厚度檢測	SS02	裂縫監測	G02	整治排水系統
S03	沉陷檢測	C03	強度檢測	SS03	沉陷監測	G03	裂縫填補
S04	拱起檢測	C04	劣化檢測	SS04	拱起監測	G04	面層清理補修
S05	傾斜檢測	C05	裂縫深度檢測	SS05	傾斜監測	G05	面層全面整修
S06	崩塌檢測	C06	孔洞檢測			G06	漏砂填補
		C07	地質補充調查			G07	部份管制
		C08	海下檢測			G08	部份補強
		C08-1	水深檢測			G09	岸肩警示
		C08-2	壁體破裂檢測			G10	岸肩交通管制
		C08-3	壁體漏沙檢測			G11	岸肩工作管制
		C08-4	壁體傾斜檢測			G12	海上警示
		C08-5	海床掏刷檢測			G13	全面管制
		C08-6	海床拱起檢測			G14	全面評估
		C08-7	鋼板腐蝕電位檢測			G14-1	結構設計校核
		C08-8	鋼板厚度檢測			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

蘇吉立200506更修

5.3.15 系統表 S1-碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表之建構

系統表 S1-為目前檢討整合修建完成之碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表，其整合修建完成之表單格式與內容詳如表 5-13。

表 5-13 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																				
檢測資料屬性		區域	既有	改建	翻修	年份	月份													
		平時 巡查	特定 初勘	災害 細勘	✓	監測	研究	✓												
碼頭名稱																				
碼頭用途屬性		軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港動	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		回填料		其他									
岸肩面板		RC	PC		AC		卵石級配		碎石級配		其他									
安檢部位與內容		D目視異象度				E分佈範圍%				R安全影響				ID%=[((D+E)*R)/18]*100						
		A	B	C	O	N	A	B	C	O	A	B	C	O	R分劃權重分配分0、1、2、3四級					
		如各項分劃				45	25	5	0	高				中	低	無	警示度分劃：A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)			
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0							
		D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0																		
		E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																		
		目視異象度權重								檢測、監測說明或紀錄						ID等級				
GCCWS01	防舷材									2								O		
細檢結果		正常																		
檢測重點說明		岸壁嚴重傾斜防舷材失去作用																		
		(細檢D分劃：無作用、崩塌或崩落時權重3，破裂時權重2，龜裂時權重1)																		
GCCWS02	法線									3								O		
細檢結果		正常																		
檢測重點說明		實測結果法線全線外移20~137cm																		
監測重點說明		無																		
		(細檢D分劃：持續外移>10cm或內移2cm時權重3，持續外移<=10cm或內移量<=2cm時權重2，非持續外移<10cm或內移<=2cm時權重1)																		
GCCWS03-1-3	冠牆A									2								O		
細檢結果		正常																		
檢測重點說明		檢測結果冠牆有5道1~20mm貫穿岸肩之裂縫																		
監測重點說明		無																		
		(細檢D分劃：變位破裂、變形破裂權重3，非腐蝕破裂、腐蝕破裂、腐蝕龜裂權重2，非腐蝕龜裂權重1)																		
GCCWS03-4-7	冠牆B									3								O		
細檢結果		正常																		
檢測重點說明		實測結果全線外移20~137cm、沉陷9cm~53cm、傾斜0.5%~3.5%																		
監測重點說明		無																		
		(細檢D分劃：崩塌、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，、傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2，傾斜<1%、沉陷<5cm時權重配1)																		
GCCWS04	繫船柱									2								O		
細檢結果		正常																		
檢測重點說明		檢測結果法全線有使用危險之虞																		
		(細檢D分劃：破斷、破孔、有使用危險之虞時權重3，破裂、龜裂、表面嚴重腐蝕剝落時權重2，腐蝕脫漆時權重1)																		
GCCWS05	繫船柱基									3								O		
細檢結果		正常																		
檢測重點說明		實測結果外移20~137cm、沉陷9cm~53cm、傾斜0.5%~3.5%、有使用危險之虞																		
監測重點說明		無																		
		(細檢D分劃：崩塌、傾斜>2%、沉陷>15cm、有使用危險之虞時權重3，傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2，傾斜<1%、沉陷<5cm時權重配1)																		
檢測單位：		港灣技術研究所																		
檢測人員：		蘇吉立																		
檢測日期：		年 月 日																		

評估表頁數(第 1 頁共 4 頁)

5.3.16 系統表 S2-碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表之建構

系統表 S2-為目前檢討整合修建完成之碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表，其整合修建完成之表單格式與內容詳如表 5-14。

表 5-14 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SSSW-OS-0001-01																									
檢測資料屬性		區域		既有		改建		翻修		年份		月份													
		平時		特定		災害		✓																	
		巡查		初勘		細勘				監測		研究		✓											
碼頭名稱																									
碼頭用途屬性		軍用		貨櫃		散雜		水泥		穀		油		化		漁		港動		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		回填料		其他													
岸肩面板		RC		PC		AC		卵石級配		碎石級配		其他													
安檢部位與內容		D目視異象度					E分佈範圍%					R安全影響					ID%=[(D+E)*R]/18)*100								
		A	B	C	O	N	A	B	C	O	A	B	C	O	R分劃權重分配0、1、2、3四級										
		如各項分劃					45	25	5	0	高	中	低	無	警示度分劃：A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)										
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0												
		D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0																							
		E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																							
目視異象度權重										檢測、監測說明或紀錄					ID等級										
GBBWS06-1-3		岸肩A							3										O					0	
細檢結果		正常																							
檢測重點說明		檢測結果有5道1~20mm貫穿岸肩之裂縫、岸肩已傾斜及沉陷																							
監測重點說明		無																							
(細勘D分劃：變位破裂、變形破裂權重3，非腐蝕破裂、腐蝕破裂、腐蝕龜裂權重2，非腐蝕龜裂權重1)																									
GCCWS06-4-7		岸肩B							3										O					0	
細檢結果		正常																							
檢測重點說明		實測結果碼頭全線外移20~137cm、沉陷9cm~53cm、傾斜0.5%~3.5%、海床拱起、壁體傾斜、漏砂																							
監測重點說明		水下檢測結果海床拱起、壁體傾斜、漏砂																							
(細勘D分劃：岸肩沉陷、傾斜或崩塌對應於海床淘刷超深、海床拱起、壁體拱起、壁體傾斜、漏砂時權重3)																									
(細勘D分劃：岸肩沉陷對應於海床拱起、壁體拱起或漏砂時權重2，岸肩沉陷對應於海床或壁體無異象時權重1)																									
GCCWS07		水溝							2										O					0	
細檢結果		正常																							
檢測重點說明		檢測結果全面嚴重後傾崩塌，與岸肩落差達10~90cm																							
(細勘D分劃：崩塌漏砂、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，漏砂、傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2)																									
(細勘D分劃：傾斜<1%、沉陷<5cm、龜裂時權重配1)																									
GCCWS08		後線地面							2										O					0	
細檢結果		正常																							
檢測重點說明		檢測結果前半部嚴重崩塌漏砂及滲流、後半部嚴重液化噴砂崩塌與沉陷、全區沉陷達30cm~120cm																							
(細勘D分劃：崩塌漏砂、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，漏砂、傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2)																									
(細勘D分劃：傾斜<1%、沉陷<5cm、龜裂時權重配1)																									
GCCWS09		後線建物							2										O					0	
細檢結果		正常																							
檢測重點說明		檢測結構運輸設備及倉庫出現嚴重崩塌、傾斜、沉陷，已嚴重損壞																							
監測重點說明		無																							
(細勘D分劃：崩塌、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2，傾斜<1%、沉陷<5cm、龜裂時權重配1)																									
檢測單位：		港灣技術研究所																							
檢測人員：		蘇吉立																							
檢測日期：		年 月 日																							
評估表頁數(第 1 頁共 4 頁)																									

5.4 系統之驗證與應用

為達系統之實用性與可行性,系統之應用初期先以臺中港歷史案例為驗證案例,再以高雄港之現地調查案例作為系統之應用案例。

5.4.1 臺中港 1 號碼頭案例概述

本案例係臺中港 1 號碼頭於西元 1999 年(民國 88 年)9 月 21 日車龍埔大地震後受損之現地調查狀況與套用於本系統之結果。

A. 現地災象基本調查之要領、順序、內容與處置概述

- A-1 擬定調查標的與範圍:從碼頭法線至後線所有有外視受災異象之地表與建物為範圍。
- A-2 進行初步外視災象勘查:目視初勘係以現場照相與快速手繪描述記錄。
- A-3 搜集相關資料:包括設計、當日潮汐、當日震度、當日鄰近災況、地下水及地質等資料。
- A-4 進行細部災象勘查:綜合 A-2、A-3 項資料,繪製成災象草圖後再度進行現場比對、確認與修正,並進行裂縫、沉陷、拱起、崩塌、漏砂與相關變位之詳細檢測。
- A-5 進行地質補充調查。
- A-6 調查結果綜合評估分析與擬提修復方法。

B. 調查後現地狀況之概述

- B-1 沉箱變位(傾斜、法線偏移與震陷) 狀況:碼頭傾斜、法線偏移(由傾斜與滑移產生)、震陷等為沉箱主要外視位移異象。因沉箱絕對變位無法測得,故本案當初設定 00 至 44 號繫船柱為基線,並測得相對基線之相關變位,再勘查判斷比對外視位移異象與檢測估算結果。00 號繫船柱基線頭可外視判得基線約有 20 公分之外視總外移量,基線計算基線頭 00 傾移 10cm,故基線頭應有整體滑移約 10 公分之嫌。44 號繫船柱基線尾亦可外視判得基線約有 10 公分之外視總外移量,但基線計算基線尾 44 傾移 30cm,故應無滑移之嫌,且實際總外移量應為傾移 30cm。沉箱偏移之趨勢則與後線地面之土壤

流失、崩塌、液化、滑動趨勢相對應。故計算各點相對基線之位移量，應依位置比例加入基線之位移量，即 00 之 20 cm 與 44 之 30cm 方為各點之總位移量，而各點之總位移量減傾移量即為各點之滑移量。各碼頭之沉箱側傾量，可依測得之碼頭面坡度與碼頭高度計算得知。

B-2 液化、大孔洞分佈、滲漏與附屬建物損壞狀況：全區表觀液化區約於距法線 40 至 100 m 範圍，此範圍內之附屬建物除裝車棚外均已嚴重傾斜、崩陷、斷裂或倒塌。鐵道呈現沉陷、拱起或彎曲。碼頭後線地面則呈現多處液化噴砂孔，並造成 2 大崩塌坑，此 2 大崩塌坑於漲退潮之時可見明顯滲漏之現象，靠西面之大崩塌坑並以 60 度方向往後線延伸至鐵道與圓庫邊，並於該方向鐵道北面 50 米深 120 米寬之區域，呈 5 至 15 公分之下陷區，且有地震液化之噴砂、滑移、破裂帶等異象。

B-3 裂縫分佈狀況：主要裂縫方向碼頭岸肩以南北向為主，後線地面則以東西向為主，故整體外視位移則有向港池南滑之趨勢。全區距碼頭法線約 40M 至鐵道範圍，地面成波浪狀凹凸起伏，且成龜裂或破裂塊狀，並伴隨較淺小之崩塌孔洞，除為大孔洞之延伸外，多為地震液化之噴砂孔與崩陷孔。

B-4 下陷、崩塌狀況與分佈趨勢：全區距碼頭法線約 50 公尺範圍內，均以 1%至 3.5%之坡度往法線方向下陷。距法線約 18 米處，相對於緊鄰碼頭面之下陷深度約為 35-115 公分。崩塌孔洞則於距碼頭法線約 26M 帶較為密佈，崩塌孔洞坡度除繫船柱邊外多呈 30 至 45 度。倉庫基礎土壤幾乎掏空，倉庫岌岌可危不堪使用。經現地綜合研判震陷、液化、沉箱傾移及滑移、滲漏等為崩陷之原因。

5.4.2 臺中港 1 號碼頭案例系統表 C 之驗證

系統表 C-基本資料表之驗證結果如表 5-15。

因各港口早先均無依套完善之管理資料庫，且原始資料均不易取得，故無法完全應用驗證，有待日後再予進一步驗證與改進。

表 5-15 臺中港一號碼頭安全檢測評估系統表-C

基本資料表GCCW-OF-0001-01																									
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9													
	平時		特定		災害		特定																		
	巡查		初勘		細勘		監測		研究																
碼頭名稱		台中港一號碼頭																							
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		平板樁基式		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	✓	回填料		其他														
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他														
碼頭起造日期		年	65	月		碼頭完工日期		年		月		碼頭啟用日期		年		月									
設計標高：		EL+m	6.2		基本設計圖(電子檔)																				
設計海床：		EL-m	13		平面	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
設計坡度：		%	1		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)	50000DWT		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(g)	0.15g		施工照片	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
					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：		港灣技數研究所						檢測人員：																	
檢測日期：		年		月		日																			

5.4.3 臺中港 1 號碼頭案例系統表 D 之驗證

因屬歷史災害案例之完整調查，故系統表 D1-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之實際應用結果共含：檢測圖述、檢測紀錄表與檢測照片等紀錄，如表 5-16 為初勘至細勘之完整檢測圖述紀錄表 D1。

表 5-16 臺中港 1 號碼頭安全檢測評估系統表-D1												
碼頭檢測圖述、照片與紀錄表GCCW-OF-0001-01												
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9
	平時		特定		災害		特定					
	巡查		初勘		細勘		監測		研究			
碼頭名稱	台中港一號碼頭											
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	✓	回填料		其他	
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配	碎石級配		其他		
外視異象平面描繪記錄圖												
檢測單位：	港灣技數研究所					檢測人員：						
檢測日期：	1999 年 9 月 23 日					第 1 頁 共 5 頁						

表 5-17 為細部檢測之實測與分析結果之紀錄表 D2。

表 5-17 臺中港 1 號碼頭安全檢測評估系統表-D2

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表GCCW-OF-0001-02													
檢測資料 屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9	
	平時		特定		災害		特定						
	巡查		初勘		細勘		監測		研究				
碼頭名稱	台中港一號碼頭												
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	✓	回填料		其他		
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他		
外視異象檢測記錄													
1999年10月5日 檢測者：蘇吉立													
外視位移檢測基線	以繫船柱 44 號及 00 號為基線頭尾 兩端連線為檢測基線檢測各點之往港池之位移量												
繫船柱 44 號基線尾	由基點後線近似同平面之外視裂縫判得外視位移至少約 10 cm												
繫船柱 00 號基線頭	由基點後線近似同平面之外視裂縫判得外視位移至少約 20 cm												
距繫船柱之位置	44	41-40	39-38	35	30	28-27	09-08	06-05	03-02	01	00		
碼頭之位置	4A 號 4 號 3 號 1 號												
碼頭面檢測傾斜度	3%	3%	2%	1.2%	2%	4.5%	4%	3.5%	2.5%	2%	1.5%		
碼頭面設計傾斜度	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%		
海床至碼頭面設計高度 m	15.4	15.4	15.4	17.2	17.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2		
檢測海床至碼頭面高度 m	9.6	14.3	16.3			18.5	18.3	18.3	18.4	17.8	18.0		
研判外視基線位移量	0.1										0.20		
推算基線總位移分配 m	0.31	0.30	0.28	0.28	0.27	0.26	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20		
相對於基線之偏移 m	0	0	0	0.10	0.55	1.60	1.15	0.85	0.25	0.05	0		
相對於基線之傾移 m	0.31	0.31	0.15	0.03	0.17	0.67	0.58	0.48	0.29	0.19	0.10		
推算相對於基線之滑移 m	0			0.10	0.65	1.19	0.79	0.58	0.17	0.06	0.10		
各點研判實際總位移 m	0.31	0.31	0.15	0.38	0.82	1.86	1.37	1.06	0.45	0.25	0.20		
檢測採用碼頭面寬度	17.60m												
設計法線水準高程 m	EL+6.20m												
檢測法線水準高程 m										5.80	5.79		
法線傾陷 m	0.35	0.35	0.18	0.04	0.18	0.62	0.53	0.44	0.26	0.18	0.09		
法線震陷 m									0.14	0.23			
淤積 m													
檢測單位：	港灣技數研究所					檢測人員：							
檢測日期：	1999 年 9 月 23 日												
第 2 頁 共 5 頁													

表 5-18 為檢測之照片紀錄與細部檢測之地質調查與斷面分析結果之紀錄表 D3。

表 5-18 臺中港 1 號碼頭安全檢測評估系統表-D3													
碼頭檢測圖述、照片與紀錄表GCCW-OF-0001-03													
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9	
	平時		特定		災害		特定						
	巡查		初勘		細勘		監測		研究				
碼頭名稱	台中港一號碼頭												
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	✓	回填料		其他		
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他		
外視異象描繪斷面圖													
1999/10 蘇吉立													
19990921TH001GCCWF02-01				19990921TH001GCCWF02-02				19990921TH001GCCWF02-03				19990921TH001GCCWF02-04	
檢測單位：	港灣技數研究所						檢測人員：						
檢測日期：	1999 年 9 月 23 日						第 3 頁 共 5 頁						

表 5-19 為檢測之照片紀錄表 D4。

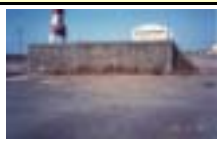
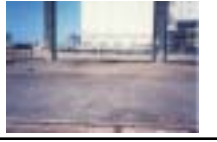
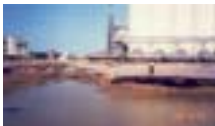
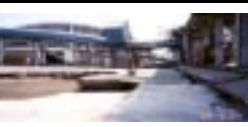
表 5-19 臺中港 1 號碼頭安全檢測評估系統表-D4													
碼頭檢測圖述、照片與紀錄表GCCW-OF-0001-04													
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9	
	平時		特定		災害		特定						
	巡查		初勘		細勘		監測		研究				
碼頭名稱	台中港一號碼頭												
碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港勤	客	其它		
			✓		✓								
碼頭型式	重力式	✓	版樁式		棧橋式		平版樁基式		護岸		其它		
岸壁結構	方塊		沉箱	✓	鋼板		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	✓	回填料	其他			
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配	碎石級配		其他			
外視異象檢測照片													
													
19990921TH001GCCWF06-01		19990921TH001GCCWF06-02		19990921TH001GCCWF06-03		19990921TH001GCCWF06-04							
													
19990921TH001GCCWF06-05		19990921TH001GCCWF06-06		19990921TH001GCCWF06-07		19990921TH001GCCWF06-08							
													
19990921TH001GCCWF06-09		19990921TH001GCCWF06-10		19990921TH001GCCWF06-11		19990921TH001GCCWF07-01							
													
19990921TH001GCCWF07-02		19990921TH001GCCWF07-03		19990921TH001GCCWF07-04		19990921TH001GCCWF07-05							
檢測單位：	港灣技數研究所						檢測人員：						
檢測日期：	1999 年 9 月 23 日						第 4 頁 共 5 頁						

表 5-20 為檢測之照片紀錄表 D5。

表 5-20 臺中港 1 號碼頭安全檢測評估系統表-D5													
碼頭檢測圖述、照片與紀錄表GCCW-OF-0001-05													
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9	
	平時		特定		災害		特定						
	巡查		初勘		細勘		監測		研究				
碼頭名稱	台中港一號碼頭												
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	✓	回填料		其他		
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配	碎石級配		其他			
外視異象檢測照片													
													
19990921TH001GCCWF08-01		19990921TH001GCCWF08-02		19990921TH001GCCWF08-03		19990921TH001GCCWF08-04							
													
19990921TH001GCCWF08-05		19990921TH001GCCWF08-06		19990921TH001GCCWF08-07		19990921TH001GCCWF08-08							
													
19990921TH001GCCWF08-09		19990921TH001GCCWF08-10		19990921TH001GCCWF08-11		19990921TH001GCCWF08-12							
													
19990921TH001GCCWF08-13		19990921TH001GCCWF08-14											
檢測單位：	港灣技數研究所					檢測人員：							
檢測日期：	1999 年 9 月 23 日					第 5 頁 共 5 頁							

5.4.4 臺中港 1 號碼頭案例系統表 E-之驗證

系統表 E-碼頭巡查報告表之應用結果如表 5-21。其驗證之結果如綜合評估內容，整體評估結果與當時之實際狀況與處置措施極盡相同。

表 5-21 臺中港 1 號碼頭安全檢測評估系統表-E

碼頭巡查報告表-GCCW-OC-0001-01																
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	2005	月份	5				
	平時		特定		災害	✓										
	巡查		初勘	✓	細勘	✓	監測		研究	✓						
碼頭名稱	台中港一號碼頭															
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		回填料		其他					
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他					
巡查部位	外視異象							各項巡查評估結果								
	1	2	3	4	5	6	7									
	腐蝕	龜裂	破裂	沉陷	拱起	傾斜	崩塌									
編號	外視異象等級							綜合等級								
項目	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O
等級分劃請參閱系統表08(主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃)																
分佈範圍分劃：100~45%為A、44~25%為B、24~5%為C、<5%為O																
1-3項																
4-7項																
SSSWF01	防舷材	免評	免評	100	免評	免評	免評	100	A							
SSSWF02	法線	免評	免評	免評	80	100	免評	0	免評	A						
說明																
SSSWF03	冠牆	0	30	30	80	免評	100	0	C	A						
說明																
SSSWF04	繫船柱	100	100	100	免評	免評	免評	免評	A	免評						
SSSWF05	繫船柱基	100	100	100	100	免評	100	100	A	A						
說明																
SSSWF06	岸肩	0	30	30	80	免評	100	2	B							
說明																
SSSWF07	岸肩水溝	免評	100	100	100	免評	100	100	A	A						
說明																
SSSWF08	後線地面	免評	100	100	100	免評	100	100	A	A						
SSSWF09	後線建物	免評	100	100	100	免評	100	100	A	A						
巡查綜合評估	整體警示度	0	65	65	90	100	100	51	綜合警示							
		O	A	A	A	A	A	A	B	A						
	整體	暫停使用、全面檢測與修護評估														
	建議因應措施	防舷材	繫船柱			繫船柱基			岸肩							
		全面或部份更換	全面或部份翻修			全面或部份翻修或補強			部份或全面翻修							
		岸肩水溝	後線地面			後線建物										
檢、監測	全面翻修	全面翻修			全面翻修											
	法線	裂縫	沉陷	水下	強度	地質										
	是	是	是	是	是	是										
檢測單位：	港灣技數研究所															
檢測人員：	蘇吉立															
檢測日期：	1999 年 9 月 23 日															
第 頁 共 頁																

5.4.5 臺中港 1 號碼頭案例系統表 S 之驗證

系統表 S1-碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表之應用結果如表 5-22。其驗證之結果如各項評語內容，各項評語內容與當時之實際狀況與處置極為吻合。

表 5-22 臺中港 1 號碼頭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GCCW-OS-0001-01																			
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9							
	平時		特定		災害	✓													
	巡查		初勘	✓	細勘	✓	監測		研究	✓									
碼頭名稱	台中港一號碼頭																		
碼頭用途屬性	軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港動	客	其它								
			✓		✓														
碼頭型式	重力式	✓	版樁式		棧橋式		平板樁基式				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		✓	回填料		其他							
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配			碎石級配		其他							
安檢部位與內容	D目視異象度			E分佈範圍%			R安全影響			ID%(((D+E)*R)/18)*100									
	A	B	C	O	N	A	B	C	O		A	B	C	O	R分劃權重分配分0、1、2、3四級				
	如各項分劃			45	25	5	0	高	中	低	無	警示度分劃：A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)							
	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0						
													E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0						
													目視異象度權重						
GCCWS01	防舷材	3			3			2										A	67
評語	全面修護評估或更換																		
檢測重點說明	岸壁嚴重傾斜防舷材失去作用																		
(細檢D分劃：無作用、崩塌或崩落時權重3，破裂時權重2，龜裂時權重1)																			
GCCWS02	法線	3			3			3										A	100
評語	暫停使用全面評估																		
檢測重點說明	實測結果法線全線外移20~137cm																		
監測重點說明	無																		
(細檢D分劃：持續外移>10cm或內移2cm時權重3，持續外移<=10cm或內移量<=2cm時權重2，非持續外移<10cm或內移<=2cm時權重1)																			
GCCWS03-1-3	冠牆A	3			3			3										A	100
評語	暫停使用全面評估																		
檢測重點說明	檢測結果冠牆有5道1~20mm貫穿岸肩之裂縫																		
監測重點說明	無																		
(細檢D分劃：變位破裂、變形破裂權重3，非腐蝕破裂、腐蝕破裂、腐蝕龜裂權重2，非腐蝕龜裂權重1)																			
GCCWS03-4-7	冠牆B	3			3			3										A	100
評語	暫停使用全面評估																		
檢測重點說明	實測結果全線外移20~137cm、沉陷9cm~53cm、傾斜0.5%~3.5%																		
監測重點說明	無																		
(細檢D分劃：崩塌、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，、傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2，傾斜<1%、沉陷<5cm時權重配1)																			
GCCWS04	繫船柱	3			3			2										A	67
評語	暫停使用全面評估																		
檢測重點說明	檢測結果法全線有使用危險之虞																		
(細檢D分劃：破斷、破孔、有使用危險之虞時權重3，破裂、龜裂、表面嚴重腐蝕剝落時權重2，腐蝕脫漆時權重1)																			
GCCWS05	繫船柱基	3			3			3										A	100
評語	暫停使用全面評估																		
檢測重點說明	實測結果外移20~137cm、沉陷9cm~53cm、傾斜0.5%~3.5%、有使用危險之虞																		
監測重點說明	無																		
(細檢D分劃：崩塌、傾斜>2%、沉陷>15cm、有使用危險之虞時權重3，傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2，傾斜<1%、沉陷<5cm時權重配1)																			
檢測單位：	港灣技術研究所																		
檢測人員：	蘇吉立																		
檢測日期：	年	月	日	評估表頁數(第 1 頁共 4 頁)															

系統表 S2-碼頭細部檢測要點與 DER 評估內容表之應用結果如表 5-23。其驗證之結果如各項評語內容，各項評語內容與當時之實際狀況與處置極為吻合。

表 5-23 臺中港 1 號碼頭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GCCW-OS-0001-02																				
檢測資料屬性	區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	1999	月份	9								
	平時		特定		災害	✓														
	巡查		初勘	✓	細勘	✓	監測		研究	✓										
碼頭名稱	台中港一號碼頭																			
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	✓	回填料		其他									
岸肩面板	RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他									
安檢部位與內容	D目視異象度		E分佈範圍%				R安全影響				ID%=[(D+E)*R]/18*100									
	A	B	C	O	N	A	B	C	O	A	B	C	O	R分劃權重分配0、1、2、3四級						
	如各項分劃					45	25	5	0	高	中	低	無	警示度分劃：A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)						
	3	2	1	0		3	2	1	0	3	2	1	0	D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0						
	E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																			
	目視異象度權重													檢測、監測說明或紀錄						ID等級
GBBWS06-1-3	岸肩A		3		3		3												A	100
評語		暫停使用全面評估																		
檢測重點說明		檢測結果有5道1~20mm貫穿岸肩之裂縫、岸肩已傾斜及沉陷																		
監測重點說明		無																		
		(細勘D分劃：變形破裂、變形破裂權重3，非腐蝕破裂、腐蝕破裂權重2，非腐蝕龜裂權重1)																		
GCCWS06-4-7	岸肩B		3		3		3												A	100
評語		暫停使用全面評估																		
檢測重點說明		實測結果碼頭全線外移20~137cm、沉陷9cm~53cm、傾斜0.5%~3.5%、海床拱起、壁體傾斜、漏砂																		
監測重點說明		水下檢測結果海床拱起、壁體傾斜、漏砂																		
		(細勘D分劃：岸肩沉陷、傾斜或崩塌對應於海床刷超深、海床拱起、壁體拱起、壁體傾斜、漏砂時權重3)																		
		(細勘D分劃：岸肩沉陷對應於海床拱起、壁體拱起或漏砂時權重2，岸肩沉陷對應於海床或壁體無異象時權重1)																		
GCCWS07	水溝		3		3		2												A	67
評語		部份更換或補強																		
檢測重點說明		檢測結果全面嚴重後傾崩塌，與岸肩落差達10~90cm																		
		(細勘D分劃：崩塌漏砂、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，漏砂、傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2)																		
		(細勘D分劃：傾斜<1%、沉陷<5cm、龜裂時權重配1)																		
GCCWS08	後線地面		3		3		2												A	67
評語		加強監測與使用管制																		
檢測重點說明		檢測結果前半部嚴重崩塌漏砂及滲流、後半部嚴重液化噴砂崩塌與沉陷、全區沉陷達30cm~120cm																		
		(細勘D分劃：崩塌漏砂、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，漏砂、傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2)																		
		(細勘D分劃：傾斜<1%、沉陷<5cm、龜裂時權重配1)																		
GCCWS09	後線建物		3		3		2												A	67
評語		加強監測與使用管制																		
檢測重點說明		檢測結構傳輸設備及倉庫出現嚴重崩塌、傾斜、沉陷，已嚴重損壞																		
監測重點說明		無																		
		(細勘D分劃：崩塌、傾斜>2%、沉陷>15cm時權重3，傾斜1.9~1%、沉陷15~5cm時權重2，傾斜<1%、沉陷<5cm、龜裂時權重配1)																		
檢測單位：		港灣技術研究所																		
檢測人員：		蘇吉立																		
檢測日期：		年 月 日																		
評估表頁數 (第 1 頁 共 4 頁)																				

5.4.6 高雄港碼頭現地調查之應用

本年度選擇之案例係高雄港 1 號碼頭於西元 2005 年(民國 94 年)5 月 23 日之現地調查，1 碼頭因現地區分為兩部份，故將其分為 1-1 與 1-2 分別執行，以下為 1-1 號碼頭現地調查狀況與應用於本系統之結果。

5.4.7 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 C 之應用

系統表 C-基本資料表之應用結果如表 5-24，因屬極老舊碼頭基本資料不明確且不完整。

表 5-24 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-C

基本資料表 TSVW-OF-0001-01																							
檢測資料屬性	區域	KA	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5											
	平時	✓	特定		災害		特定		研究	✓													
	巡查		初勘		細勘		監測																
碼頭名稱	高雄港 (1-1) 號碼頭																						
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		版橋式		棧橋式	✓	平板橋基式		護岸		其它												
岸壁結構	方塊		沉箱		鋼板		鋼管		PC圓樁		PC版樁		其他	結構型式不明									
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	✓	回填料		其他												
岸肩面板	RC		PC	✓	AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他												
碼頭起造日期	年	39	月	5	碼頭完工日期	年	44	月	7	碼頭啟用日期	年		月										
設計標高：	EL+m	2.1~2.4			基本設計圖(電子檔)																		
設計海床：	EL-m	9			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)				橫部	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	
					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：	港灣技數研究所										檢測人員：												
檢測日期：	年 月 日										第 1 頁 共 頁												

5.4.8 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 D 之應用

系統表 D-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之應用結果如表 5-25。

表 5-25 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-D

碼頭檢測圖述、照片與紀錄表 TSVW-OF-0001-01													
檢測資料 屬性	區域	KA	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5	
	平時		特定		災害								
	巡查	✓	初勘		細勘		監測		研究	✓			
碼頭名稱	高雄港 (1-1) 號碼頭												
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	✓	平板樁基式		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	✓	回填料	其他			
岸肩面板	RC		PC	✓	AC	✓	卵石級配	碎石級配	其他				
外視異象描繪及照片記錄圖(初勘)													
20050523KA001TSVWF02-01				20050523KA001TSVWF05-01				20050523KA001TSVWF06-03				20050523KA001TSVWF07-02	
20050523KA001TSVWF02-02				20050523KA001TSVWF06-01				20050523KA001TSVWF06-04				20050523KA001TSVWF08-01	
20050523KA001TSVWF04-01				20050523KA001TSVWF06-02				20050523KA001TSVWF07-01				20050523KA001TSVWF08-02	
檢測單位：		港灣技數研究所						檢測人員：		蘇吉立			

檢測日期： 2005 年 5 月 23 日

第 1 頁 共 No 頁

5.4.9 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 E 之應用

系統表 E-碼頭巡查報告表之應用結果如表 5-26。其巡查結果之警
示度評級與初步建議之因應措施，如表中之巡查綜合評估各欄所示，
主要目的在提供管理階層進行整體因應措施、維護與細部檢測之決策
參考。

表 5-26 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-E

碼頭巡查報告表-TSVW-OC-0001-01																						
檢測資料屬性	區域	KA	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5										
	平時巡查	✓	特定		災害		細勘		監測		研究	✓										
碼頭名稱	高雄港(1-1)號碼頭																					
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	✓	平板樁基式		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		回填料		其他											
岸肩面板	RC		PC	✓	AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他											
巡查部位	外視異象																					
	1	2	3	4	5	6	7	各項巡查評估結果														
編號	項目	外視異象等級																				
		A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	綜合等級
等級分劃請參閱系統表-G (主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃)																						
分佈範圍分劃：100~45%為A、44~25%為B、24~5%為C、<5%為O																						
																		1~3項	4~7項			
SSSWF01	防舷材	免評	免評	0	免評	免評	免評	免評	免評	0												
SSSWF02	法線	免評	免評	免評	0	20	0															
說明		1~2號繫船柱區間法線外視約外拱10cm																				
SSSWF03	冠牆	0	10	10	0	免評	0	0	C	O												
說明																						
SSSWF04	繫船柱	100	0	0	免評	免評	免評	免評	免評	B	免評											
SSSWF05	繫船柱基	0	0	0	0	免評	0	0	O	O												
說明		繫船柱表面已嚴重腐蝕剝落																				
SSSWF06	岸肩	0	90	90	40	免評	0	0	B													
說明		全區出現平行法線之全長裂縫1道、垂直法線之全長裂縫3道、1~3號繫船柱區間外視沉陷約4cm																				
SSSWF07	岸肩水溝	免評	0	0	0	免評	0	0	O	O												
說明																						
SSSWF08	後線地面	免評	0	0	0	免評	0	0	O	O												
SSSWF09	後線建物	免評	0	0	0	免評	0	0	O	O												
巡查綜合評估	整體警示度	腐蝕	龜裂	破裂	沉陷	拱起	傾斜	崩塌	綜合警示													
		0	25	25	10	20	0	0	C	C												
		O	B	B	C	C	O	O	C													
	建議因應措施	整體	一般維護、基本檢測																			
		個項	防舷材	無				繫船柱	加強巡檢、維護或補強				繫船柱基	加強巡檢、監測與維護				岸肩	部份或全面翻修			
			岸肩水溝	無				後線地面	無				後線建物	無								
			檢、監測	法線	裂縫	沉陷	水下	強度	地質													
			是	是	是	是	否	否														
	檢測單位：		港灣技數研究所																			
	檢測人員：		蘇吉立																			
檢測日期：		2005 年 5 月 23 日																				
		第 頁 共 頁																				

5.4.10 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 F1 之應用

系統表 F1-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之應用結果如表 5-27。系統表 F1 至 F3 之各勘查結果，主要目的在提供管理階層進行各項維護、細部檢測與整體決策之參考。

表 5-27 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-F1

碼頭勘查要點與DER評估報告表TSVW-OF-0001-01																															
檢測資料屬性		區域	KA	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5																		
		平時		特定		災害																									
		巡查	✓	初勘		細勘		監測		研究	✓																				
碼頭名稱		高雄港(1-1)號碼頭																													
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	✓	平板樁基式			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			回填料			其他																	
岸肩面板		RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配			碎石級配			其他																	
安檢部位與內容		D目視異象度				E分佈範圍%				R安全影響				檢測照										檢測圖		警示度					
A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)		A	B	C	O	N	A	B	C	O	N	A	B	C	O	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	ABCO	ID(%)
界限分劃權重分配0、1、2、3四級		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	ID%(((D+E)*R)/18)*100													
警示度ID之分劃：100~45%為高度警示(A)、44~25%為中度警示(B)、24~5%為低度警示(C)、4~0%為正常(O)																															
D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0																															
E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																															
TSVWF01	防眩材	1				1					2																		C	22	
勘查結果		加強巡查、一般維護																													
(D分劃：無作用、崩塌或崩落時權重3，破裂時權重2，龜裂時權重1)																															
TSVWF02	法線	1				1					3																		B	33	
勘查結果		進行細部檢測、監測與使用管制																													
(D分劃：外移量>=30cm或內移量5>cm時權重3，外移量11~29cm或內移量5~2cm時權重2，外移量<=10cm或內移量<=2cm時權重1)																															
TSVWF03-1	冠牆腐蝕	0				0					1																		O	0	
(D分劃：破、拱時權重3，裂時權重2，銹水時權重1)																															
TSVWF03-2	冠牆龜裂	1				3					1																		C	22	
(D分劃：未變形但裂縫貫穿冠牆時權重2，未變形且裂縫未貫穿冠牆時權重1)																															
TSVWF03-3	冠牆破裂	0				0					2																		O	0	
(D分劃：冠牆變形、裂縫貫穿權重3，冠牆未變形、裂縫貫穿權重2，冠牆未變形、裂縫未貫穿時權重1)																															
1~3 勘查結果		正常																													
TSVWF03-4	冠牆沉陷	0				0					3																		O	0	
(D分劃：沉陷量>15cm時權重3，15~5cm時權重2，<5cm時權重1)																															
TSVWF03-6	冠牆傾斜	0				0					3																		O	0	
(D分劃：傾斜量>2%時權重3，1.9~1%時權重2，<1%時權重1)																															
TSVWF03-7	冠牆崩塌	0				0					3																		O	0	
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾陷或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																															
4~7 勘查結果		正常																													
TSVWF04-1	繫船柱腐蝕	2				3					1																		B	28	
(D分劃：表面腐蝕剝落時權重2，府蝕脫漆時權重1)																															
TSVWF04-3	繫船柱破裂	0				0					2																		O	0	
(D分劃：破斷、破孔時權重3，破龜裂時權重2)																															
1~3 勘查結果		進行細部檢測一般維護																													
檢測單位：		港灣技術研究所																													
檢測人員：		蘇吉立																													
檢測日期：		2005 年 5 月 23 日																													

5.4.11 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 F2 之應用

系統表 F2-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之應用結果如表 5-28

表 5-28 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-F2																																				
碼頭勘查要點與DER評估報告表TSVW-OF-0001-02																																				
檢測資料屬性	區域	KA	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5																								
	平時		特定		災害																															
	巡查	✓	初勘		細勘		監測		研究	✓																										
碼頭名稱		高雄港(1-1)號碼頭																																		
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	✓	平板樁基式		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		回填料		其他																								
岸肩面板		RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他																								
安檢部位與內容		D目視異象度				E分佈範圍%				R安全影響				檢測照										檢測圖		警示度										
A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)		A	B	C	O	N	A	B	C	O	N	A	B	C	O	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	ABCO	ID(%)					
界限分劃權重分配0、1、2、3四級		3	2	1	0		45	25	5	0		高	中	低	無		ID%(((D+E)*R)/18)*100																			
警示度ID之分劃：100~45%為高度警示(A)、44~25%為中度警示(B)、24~5%為低度警示(C)、4~0%為正常(O)																																				
D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0																																				
E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																																				
TSVWF05-3	繫船柱基面 裂縫	2				3				2																				A	56					
(D分劃：45°全長拉裂時權重分配2，龜裂時權重分配1)																																				
TSVWF05-6	繫船柱基面 傾斜	0				0				3																				O	0					
(D分劃：傾斜量>2%、有使用危險之處時權重分配3，1~1.9%時權重分配2，<1%時權重分配1)																																				
TSVWF05-7	繫船柱基面 崩塌	0				0				3																				O	0					
(D分劃：崩塌、有使用危險之處時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																																				
1~3 勘查結果		進行細部檢測、監測與一般維護																																		
TSVWF06-1	岸肩腐蝕	0				0				2																				O	0					
(D分劃：破、拱時權重分配3，裂時權重分配2，銹水時權重分配1)																																				
TSVWF06-2	岸肩龜裂	3				3				2																				A	67					
(D分劃：朝法線方向或平行法線全長龜裂時權重分配3，局部龜裂時權重分配2，腐蝕龜裂時權重分配1)																																				
TSVWF06-3	岸肩破裂	0				0				2																				O	0					
(D分劃：朝法線方向或平行法線全長破裂時權重分配3，局部破裂時權重分配2，腐蝕破裂時權重分配1)																																				
1~3 勘查結果		進行細部檢測、監測與一般維護																																		
TSVWF06-4	岸肩沉陷	1				2				3																				A	50					
(D分劃：沉陷量>20cm時權重分配3，20~10cm時權重分配2，<10cm時權重分配1)																																				
勘查結果		進行細部檢測、監測、一般維護與使用管制																																		
TSVWF06-5	岸肩拱起	0				0				3																				O	0					
(D分劃：拱起量>10cm時權重分配3，10~5cm時權重分配2，<5cm時權重分配1)																																				
TSVWF06-6	岸肩傾斜	0				0				3																				O	0					
(D分劃：傾斜量>3%時權重分配3，>2%時權重分配2，>1%時權重分配1)																																				
TSVWF06-7	岸肩崩塌	0				0				3																				O	0					
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																																				
5~7 勘查結果		正常																																		
檢測單位：		港灣技術研究所																																		
檢測人員：		蘇吉立																																		
檢測日期：		2005 年 5 月 23 日																																		
第 2 頁 共 3 頁																																				

5.4.12 高雄港 1-1 號碼頭現地調查系統表 F3 之應用

系統表 F3-碼頭勘查要點與 DER 評估報告表之應用結果如表 5-29

表 5-29 高雄港 1-1 號碼頭安全檢測評估系統表-F3																															
碼頭勘查要點與DER評估報告表TSVW-OF-0001-03																															
檢測資料屬性	區域	KA	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5																			
	平時		特定		災害																										
	巡查	✓	初勘		細勘		監測		研究	✓																					
碼頭名稱		高雄港(1-1)號碼頭																													
碼頭用途屬性		軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港動	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	碼頭結構型式不明																
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		回填料		其他																			
岸肩面板		RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他																			
安檢部位與內容		D目視異象度				E分佈範圍%				R安全影響				檢測照										檢測圖			警示度				
A(高)、B(中)、C(低)、O(正常)、N(不明)		A	B	C	O	N	A	B	C	O	N	A	B	C	O	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	ABCO	ID(%)
界限分劃權重分配0、1、2、3四級		如各項分劃				45	25	5	0	高	中	低	無	ID%(((D+E)*R)/18)*100																	
警示度ID之分劃：100~45%為高度警示(A)、44~25%為中度警示(B)、24~5%為低度警示(C)、4~0%為正常(O)																															
D目視異象度之分劃：極嚴重為3、中等嚴重為2、輕微為1、無為0																															
E分佈範圍%之分劃：100~45%為3、44~25%為2、24~5%為1、4~0%為0																															
TSVWF07-3	水溝破裂	0				0					2																	0	0		
(D分劃：大量滲水時權重3，>輕微滲水時權重2，>看不出滲水時權重1)																															
TSVWF07-4	水溝沉陷	0				0					2																	0	0		
(D分劃：沉陷量>20cm時權重分配3，20~10cm時權重分配2，<10cm時權重分配1)																															
TSVWF07-7	水溝崩塌	0				0					2																	0	0		
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																															
勘查結果		正常																													
GBWF08-3	後線地面破裂	0				0					2																	0	0		
(D分劃：因地面沉陷或基土流失時權重3，不明時2)																															
GBWF08-4	後線地面沉陷	0				0					2																	0	0		
(D分劃：沉陷量>20cm時權重3，20~10cm時權重2，<10cm時權重1)																															
GBWF08-7	後線地面崩塌	0				0					3																	0	0		
(D分劃：崩塌時權重分配3，>傾崩或崩陷時權重分配2，>崩破時權重分配1)																															
勘查結果		正常																													
GBWF09-4	後線建物沉陷	0				0					3																	0	0		
(D分劃：沉陷量>20cm時權重3，20~10cm時權重2，<10cm時權重1)																															
GBWF09-6	後線建物傾斜	0				0					3																	0	0		
(D分劃：傾斜量>2%時權重3，2~1.5%時權重2，<1%時權重1)																															
GBWF09-7	後線建物崩塌	0				0					3																	0	0		
(D分劃：因地面沉陷或基土流失時權重3)																															
勘查結果		正常																													
檢測單位：		港灣技術研究所																													
檢測人員：		蘇吉立																													
檢測日期：		2005 年 5 月 23 日																													
第 3 頁 共 3 頁																															

5.5 結論與建議

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，可適當因應這些問題。

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。

目前整體研究已完成相關基本觀念之整合與基本界定，並重新整合建置完成重力式碼頭檢測系統。

已完成之重力式碼頭檢測系統，首先引用臺中港 1 號碼頭之歷史破壞與重建案例作為系統評估結果之驗證，驗證結果與當時之處置狀況尚為吻合。

於系統之實用性上，日後可再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，如此必可使系統更務實而完整。

第六章 活性粉混凝土補強 R.C.構件與耐久性之研究(1/2)

6.1 前言

一般而言，在良好設計及妥善施工管理條件下，結合高抗壓強度混凝土及高抗張強度鋼筋所組合而成的鋼筋混凝土構造物，應具有相當可靠的耐久性及強度，足以抵抗外在環境變化或設計時之各種假設載重作用下所造成之體積變化，維持其體積穩定性，不受齡期老化影響。此外，鋼筋混凝土因為具有易塑、材料取得方便、耐火及經濟等特性，因此，是世界各國構造物被應用最廣泛之營建材料。

臺灣屬於海島型氣候，鋼筋混凝土構造物除須承受惡劣的海洋環境外，更需面對颱風侵襲所挾帶之強風和豪雨，且位處菲律賓板塊，及歐亞板塊交接交會處，大小規模之地震頻繁發生，會因斷層釋放儲存能量，引發大小不同的內陸地震，加速鋼筋混凝土構造物之劣化毀損速率。

鋼筋混凝土結構物維修補強的方法有很多種，國內工程界常用的既有鋼筋混凝土結構物補強方法包括：(1)鋼板補強工法；(2)混凝土裂縫灌注工法；(3)纖維強化高分子複合材料(Fiber Reinforced Polymer, FRP)補強工法；(4)結構系統補強工法；(5)鋼索圍束補強工法等^[47]；本研究計畫主要係以活性粉混凝土(Reactive Powder Concrete, RPC)作為補強材料，探討對於補強既有鋼筋混凝土構件相關行為與其耐久性成效評估，以 RPC 作為修補材料之工法在國內工程界上屬首例。

6.1.1 研究動機及目的

活性粉混凝土(RPC)係法國 Bouygues 公司於 1990 年代初期開始研發，並獲得良好的成果，1994 年在舊金山的美國混凝土學會(ACI)首次公開其研究成果^[48]，1995 年在期刊發表 RPC 製作方式及材料特性後^[7]，包括臺灣等國家相繼投入此新中、超高性能混凝土之研發。活性粉

混凝土不但具有超高的抗壓強度，亦具有超高的韌性及耐久性，可應用於特殊形狀之混凝土結構物。雖然文獻顯示 RPC 具有這些優異的材料特性^[51]，但是否能作為國內既有損傷鋼筋混凝土構件的補強材料，及其衍生之材料力學行為、耐久性成效評估等議題，迄今仍少有研究報告及實際補強應用案例，因此，瞭解 RPC 材料應用在修補時所衍生尚未被探討或材料特性及耐久性成效，為本計畫的動機與目的。

6.1.2 研究項目與流程

本計畫第一年主要工作項目包括：

- (1)補強材料之配比設計與力學性質探討。
- (2)補強材料之基本性能及耐久性試驗。
- (3)碳纖維貼片(CFRP)與活性粉混凝土(RPC)補強成效試驗。
- (4)建立各項理論模式與分析法。

6.2 文獻回顧

6.2.1 活性粉混凝土源起與設計理念

Richard 等人在 1994 年於舊金山的美國混凝土學會(ACI)首次公開其研究活性粉混凝土成果後，包括臺灣等國家均相繼投入此種新型混凝土材料的製作與材料特性研發行列。

Richard 於 1995 年提到活性粉混凝土設計理念基於五大原則^[49]：

- 1.去除粗粒料以增加材料均勻性。
- 2.最佳化粒狀堆積方式設計配比，並在凝結過程中施予壓力增進材料緻密性。
- 3.高溫養護方式改善材料微結構。
- 4.添加鋼纖維提高材料延展性。
- 5.維持一貫的拌和與澆灌作業方式。

6.2.2 活性粉混凝土性質

1. 新拌性質

一般而言，混凝土工作性會受到粒料形狀、用水量、含氣量、添加摻料、添加纖維與水泥種類等因素影響^[17]。活性粉混凝土的工作性係採用流度試驗來進行量測，由於為求材料均勻性，在配比中除去粗粒料，RPC 混凝土本質上即是一種水泥砂漿或是水泥漿，因此為使稠度增加，通常必須藉由添加摻料來改變其工作性。

2. 硬固性質

Richard 等人(1995)發表 RPC-200 和 RPC-800 兩種活性粉混凝土配比與力學性質試驗結果，顯示活性粉混凝土抗壓強度高達 200 MPa (29,000 psi)，經特殊預鑄製程後更可高達 810 MPa (117, 500 psi)，另外，其抗彎強度也相當高，約為 45 MPa (6,500 psi)，經特殊預鑄製程後更可達到 140 MPa (20,300 psi)^[48, 49]。

6.2.3 活性粉混凝土之應用

RPC 在加拿大之應用為位於 Sherbrooke 的世界第一座專供行人與腳踏車通行之實驗 RPC 橋^[53~55]；美國應用主要是耐壓水管，法國應用則包括水管、板材構材、核廠冷卻塔和核廢料貯藏桶等^[56~58]；其中 Matte 與 Torrenti 等人曾發表關於以 RPC 材料製造核廢料高完整性貯藏桶 (High Integrity Container, HIC) 適用性的測試實驗文章，結論顯示 RPC 具有相當優異之緻密性，為適合製作 HIC 的優良材料。

我國在 1996 年開始進行此材料之研發工作在實用方面，國內使用超高強度混凝土包括製作無鋼筋覆工版、核廢料貯藏桶及其包封容器、金融機構保險庫、公車站剛性路面等。

6.2.4 混凝土結構物之補強

混凝土結構物因為設計不當、施工品質控制不良、受到衝擊載重、

火害或化學侵害等因素，使混凝土劣化且強度衰減，導致結構承載力不足，有危害安全之虞，若此時欲增加結構物之使用年限，便需進行結構補強，選擇混凝土結構補強所需之修補材料，必須考量混凝土底材與修補材料相容性，包括熱膨脹係數、彈性模數、乾縮量、潛變及化學相容性等。

Wall(1988)以斜剪試驗測試新舊混凝土之黏結性，發現當修補材料之彈性模數與混凝土之彈性模數相近時，黏結效果最佳^[59]。Cabrera 等人(1997)認為材料黏結強度與溫度及濕度有很大的關係，並且藉由斜剪試驗結果得知，在相同載重之下，當修補材料與混凝土之彈性模數不同時，兩者將產生相對應力，此時低彈性模數之材料將產生較大之變形，顯示混凝土結構補強不僅考量修補材料之強度，修補材料與舊有底材之相容性亦非常重要^[60]。

6.2.4.1 混凝土結構之補強材料^[61]

鋼筋混凝土結構物依其受損行為不同，所使用的補強材料及修復工法也不盡相同，目前工程界常用的修復補強材料，依其用途約可分為下列三種：

- 1.填補用修復補強材料：主要用於填充鋼筋混凝土結構物有裂縫及大塊混凝土或保護層剝落，常用的填補用修復補強材料針對裂縫部分主要有低粘滯性環氧樹脂，針對大塊混凝土或保護層剝落部分，則有樹脂砂漿系列之修補材料。
- 2.黏結用修復補強材料：將原有鋼筋混凝土與補強外加受力構件間作一有效的黏結，以達成力量有效傳遞之目的，黏結用修復補強材料有：黏著外加貼片(鋼板、FRP)的環氧樹脂、黏著植入鋼筋的化學膠結劑及黏著植入螺栓專用的化學螺栓固結劑。
- 3.主要受力用修復補強材料：著重於分擔原有鋼筋混凝土結構的力量，以達到結構補強之目的；所有新建的結構工程用材料，均可

在修復補強工程中使用，如型鋼、鋼板、鋼筋、混凝土及纖維複合材料(CFRP、GFRP)。

6.2.4.2 RPC修補混凝土結構物

活性粉混凝土具有超高強度及高韌性，具備了混凝土結構物修復補強材料之特性，但以 RPC 作為 RC 構件修補或補強材料的國內研究並不多見，此方面的研究成果發表很少，部份類似研究也還在進行中。

6.3 活性粉混凝土配比設計邏輯及理論

本研究計劃利用 RPC 補強傳統鋼筋混凝土(RC)構件，因此，必須考量 RPC 耐久性問題，以及瞭解被修補材料(RC)本身及修補材料(RPC)的性質。修補工作應先由確認問題、修補評估到驗證修補效果，建立標準作業程序，以保證耐久性品質，當鋼筋混凝土結構物位處在離海岸線 1 公里左右以內的港灣地區時，很容易造成相當嚴重的構造物鋼筋腐蝕問題，所以，修補材料本身也必須符合耐蝕的原則。

6.3.1 修補材料的選材原則

選擇修補材料須考慮其與底材間之相容性，在一定時間內，能承受因體積改變、化學及電化學影響所產生應力改變，不致於有力量鬆弛，或劣化現象，並能保持原設計要求的物理性、化學性、電化學性及體積穩定性等，才能獲致較好的耐久性品質，此乃修補作業最主要的「材料相容性」問題。

6.3.2 RPC 修補材的基本特性要求

根據以上之原則及資訊，修補之 RPC 須有下列設計準則。

- 1.體積穩定性：必須控制水量 $<170 \text{ kg/m}^3$ ，控制乾縮量小於 $500\mu\text{m}$ ，水灰比 > 0.42 ，儘量愈大愈佳，以防自生乾縮 (Autogenous shrinkage)。

- 2.化學及電化學相容性：材料以原來水泥基為素材，可達相容性質。
- 3.滲透一致性：採用 RPC 具有絕佳的阻滲功能，對滲透性將有不良影響，然而 RPC 內含大量卜作嵐材料，一旦介面結露，將刺激卜作嵐材料與 RC 構件表面之 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 結合成為低密度 C-S-H 膠體，有利界面穩定性。
- 4.介面鍵性質：RPC 材料與 RC 同質材，只要 RC 構件表面清洗乾淨，修補之 RPC 強度不要過高，以防產生界面應力集中而弱者產生脫膠現象即可。
- 5.環境諧和性：RPC 水量過多時，環境造成之侵蝕通路將增大；水泥過多，則 C_3A 在海域下的劣化將加速，所以水量及水泥量採用低量將是明智之舉。

6.3.3 RPC 配比設計方法

6.3.3.1 RPC 設計理論

在國內，傳統 RPC 的設計均參考 1990 年代法國的配方加以修改，缺乏理論依據，考諸國內 HPC 之設計主要依據日本、ACI 或台科大緻密配比的方法，然而這些混凝土配比設計理論方法不適合於粒徑甚小的水泥漿 (paste) 設計，所以必須採用 Fuller's Curve 來尋求達到緻密特性的配比設計。但由於最大粒徑為 30 號篩徑 ($600\ \mu\text{m}$)，RPC 本質並非混凝土及砂漿，只是一種類似義大利麵(pasta)的漿體，所以設計前必須先將不同粒徑的粒料組合成一體，再控制水量來調整工作性。但是為了使 RPC 可用範圍擴大，本研究涵蓋至 HPC 的範圍，使修補材料的適用性提高，施工者有更大的選擇性。

6.3.3.2 Fuller'緻密配比設計

原有緻密配比設計的精神^[52, 62, 63]，主要在縮減水泥漿量，達到混凝土工程所需特性，其主要理論發展係由飛灰、砂及石三種粒料推演而來，在求出 α 、 β 後，由空隙放大 n 倍來涵蓋 $S \cdot S_t$ 之包裹漿量，此種

配比方法的缺點是不易將個別的組成材料數目延伸至 3 項以上，而且將漿量放大 n 倍，也無法看出粒料表面包裹漿體之厚度變化及相對應之影響，必須以試誤法尋求較佳漿量，為尋求解決方案，原先考慮最佳顆粒級配時所使用的 Fuller 曲線可提供一可能解答，使用此理論時，先由 Fuller 曲線決定各固態材料之比例，再依此比率及量測出 V_v 孔隙率及計算出各材料之累積表面積，先以三種裹漿厚度作為初步的設計考量，計算 $V_p = V_v + S \cdot S_t$ ，再以『矩陣分析』數值法反推出混凝土配比。

6.3.3.4 RPC 材料粒徑分析

本研究所使用之材料如下：

1. 石英砂及石英粉：取自三義地區之石英砂礦，石英粉粒徑在 $2.41 \mu\text{m} \sim 15.02 \mu\text{m}$ 之間。
2. 矽灰：採用澳大利亞濃縮矽灰，粒徑範圍為 $0.67 \mu\text{m} \sim 5.02 \mu\text{m}$ 。
3. 水泥：台灣水泥第 I 型水泥。
4. 爐石：中聯爐石特細爐石粉；#6,000 及 #8,000 二種。
5. 飛灰：台電興達火力電廠 F 級飛灰。

6.3.3.5 RPC 配比設計流程

1. 由實驗求得材料基本性質(比重、吸水率、篩分析...)。
2. 由 Fuller's curve： $P = \left(\frac{d}{D}\right)^h$ ，選定最大篩號(D)與 Fuller's curve 次方數(h)後，求到骨材使用比率($P_{v,1}$ 、 $P_{v,2} \dots P_{v,n}$)。
3. 依比例混合不同粒徑骨材，進行乾搗單位重試驗，由實驗可得堆積單位並依之計算剩餘空隙率。
4. 選擇適宜之骨材架構，以相同裹漿厚度與水膠比進行配比試拌量測混凝土工作性，比較混凝土流動性質，選擇最佳骨材架構所對應之 Fuller's curve，作為實驗配比使用之理論曲線。

5. 選定實驗變數進行配比試算，求得粗和細骨材、飛灰、爐石、矽灰、水泥、水及強塑劑用量，依實驗性質選擇合適配比。
6. 試拌調整配比強塑劑用量。
7. 依據強塑劑用量調整混凝土拌合水量，大量拌合澆置試驗所需試體。
8. 量測混凝土之硬固與耐久性質。
9. 進行資料分析。

6.4 試驗計畫

本研究計畫試驗首先採用一般國內外之 RPC 配比設計，進行試體製作、基本性能、耐久性試驗及補強成效試驗，之後再以 RPC 緻密配比設計理論重新設計多組 RPC 配比，並挑選其中一組較佳者，進行相同之試體製作、基本性能、耐久性試驗及補強成效試驗，兩者成果可做綜合性討論。另外，也將同時施作碳纖維貼片(CFRP)補強成效試驗，以了解 CFRP 與 RPC 兩種材料之補強成效特性，以作為工程實務上之參考。

6.4.1 試驗材料及 RPC 理論配比參數

1. 水泥：使用卜特蘭Ⅱ型水泥，粒徑在 10~16 μm 之間，具有中度水化熱及中度抗硫性，由於含有較少之 C_3A ，使水化熱降低，因此流變性質有所提升，其抗硫特性有助材料之耐久性。
2. 石英砂：為增加整體材料均勻性，RPC 製作時以石英砂(矽砂)替代粒料。由於水泥粒徑在 RPC 中僅次於砂，為避免其與砂互相干擾，粒徑限制在 150 μm ~600 μm 之間。
3. 矽灰：矽灰之比表面積約為 20,000 m^2/kg ，粒徑約為 0.67 μm ~5.02 μm ，為高反應性卜作嵐材料。

4. 石英粉：石英粉其粒徑分佈為 2.41~15.02 μm ，其顆粒大小與水泥顆粒相當，屬於相同的堆積層級。
5. 飛灰：採用台電興達廠之 F 級飛灰(平均粒徑為 23 μm)。
6. 爐石粉：採用中鋼生產之 #6000 (平均粒徑為 7.03 μm)及 #8000 (平均粒徑為 4.43 μm)二種特細爐石粉。
7. 鋼纖維：採用長為 16 mm，直徑 0.2 mm 之鋼纖維，其表面光滑並經鍍銅處理呈金黃色。
8. 強塑劑：使用多元有機酸流動化第一型塑化劑，成分為羧酸系強塑劑，具有良好坍度維持功能，能提高強度及耐久性。
9. 消泡劑：消泡劑建議用量為強塑劑溶液重量的 0.2%；本研究因使用 DMDA 配比，添加飛灰與爐石粉填充孔隙，因此消泡劑不為必需，可不使用。
10. 鋼筋：採用 CNS 560 所規定之 #3 竹節鋼筋。
11. 碳纖維強化複合材料(CFRP)：採用國內生產之 UCP-200 CFRP 貼片之碳纖維貼片。CFRP 貼片黏貼於混凝土圓柱試體需依靠底漆及積層樹脂等黏結劑黏結。
12. RPC 理論配比參數：
 - (1) 針對水泥漿的「質」：使用水膠比 0.20、0.17 進行設計，固定水泥漿的「厚度」為 0.4 μm 。
 - (2) 最大粒徑 D：#16 與 #20。
 - (3) 富勒曲線次方數 h：1/3、2/5 及 1/2。

6.4.2 混凝土試體製作與規劃

本研究主要將試驗分別針對活性粉混凝土之基本力學性質、耐久性性質、修補成效及微觀結構等四個部分，進行相關試驗，另外也會進行普通混凝土之基本力學試驗與耐久性試驗的部份，以方便比較兩種材料之優劣。

6.4.2.1 活性粉混凝土試體製作

活性粉混凝土在經過材料基本試驗得知其基本性質，於試拌階段完成後，將所有材料備齊，以進行各項試體製作，其步驟如下：

1. 依照配比表，秤其所需材料之重量。
2. 將水泥、矽砂、矽灰及石英粉同時加入攪拌鍋中，並以低速攪拌至顏色均勻。
3. 再將拌和水、強塑劑及消泡劑於拌和前混合，並全部加入乾拌均勻後的膠結料中。
4. 等待至有流動性出現後，再以分散之方式加入所需的鋼纖維。
5. 於所有材料加入拌和後，再以中速拌和 2 分鐘即拌和完成，接下來進行流度試驗。
6. 將拌和完成的活性粉混凝土分別澆入模中，待其硬化後即可拆模。
7. 拆模後之試體經過高溫養護後，即放置於飽和石灰水中養護至達各齡期時，取出進行各項試驗。

6.4.2.2 CFRP 貼片補強混凝土試體製作

抗彎試體製作方面，先以普通混凝土灌製 $150 \times 150 \times 500 \text{ mm}$ 之抗彎試體，拆模後在水中養護 28 天，養護完畢將試體置於空氣中 24 小時以上，待試體乾燥後，先上一層底漆，再靜置 24 小時，方可包覆 CFRP 貼片；抗彎試體包覆 CFRP 貼片，分為一層與二層補強，各試體斷面示意圖如圖 6.1 所示，試體測試齡期為貼覆完成後 3 天。

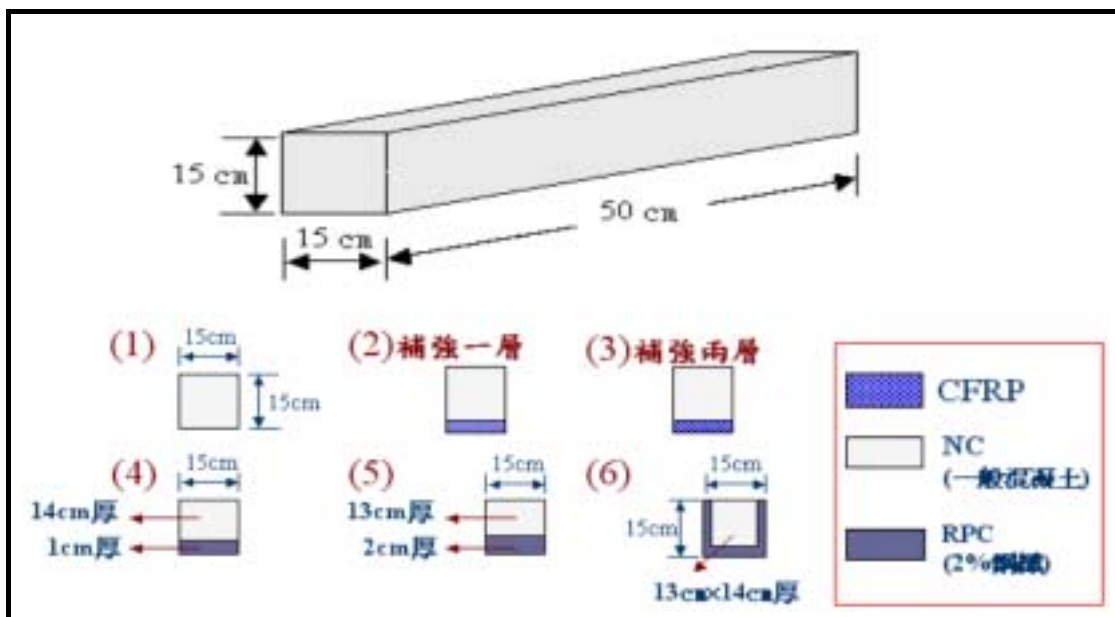


圖 6.1 抗彎補強試體尺寸與斷面示意圖

6.4.2.3 RPC 補強混凝土試體製作

RPC 補強混凝土試體分為抗彎及抗壓兩種。抗彎補強試體之普通混凝土製作與養護，與前述 CFRP 貼片補強混凝土相同，尺寸為 $150 \times 140 \times 500 \text{ mm}$ 、 $150 \times 130 \times 500 \text{ mm}$ 及 $130 \times 140 \times 500 \text{ mm}$ ，同時間也灌製 $150 \times 10 \times 500 \text{ mm}$ 、 $150 \times 20 \times 500 \text{ mm}$ 厚之 RPC 薄版，待 7 天或 28 天齡期一到，即進行 RPC 薄板之黏貼；另外，將 $130 \times 140 \times 500 \text{ mm}$ 的普通混凝土試體放置在 $150 \times 150 \times 500 \text{ mm}$ 的木模中央，外圍澆灌 RPC 直到填滿模子為止，所有製作完成之試體尺寸皆為 $150 \times 150 \times 500 \text{ mm}$ ，各試體斷面示意圖如圖 6.1 所示，試體測試齡期為貼覆完成後 3 天。

圓柱抗壓補強試體之普通混凝土製作，係將 $\phi 100 \times 20 \text{ mm}$ 試體模外圍分別以 5 mm、10 mm 及 15 mm 之橡膠墊填塞，再灌入普通混凝土，拆模後再放置在相同尺寸的試體模中央，外圍澆灌 RPC，直到填滿模子為止，所有製作完成之試體尺寸仍然為 $\phi 100 \times 20 \text{ mm}$ ，試體斷面示意圖如圖 6.2 所示，試體測試齡期為製作完成後 7 天。

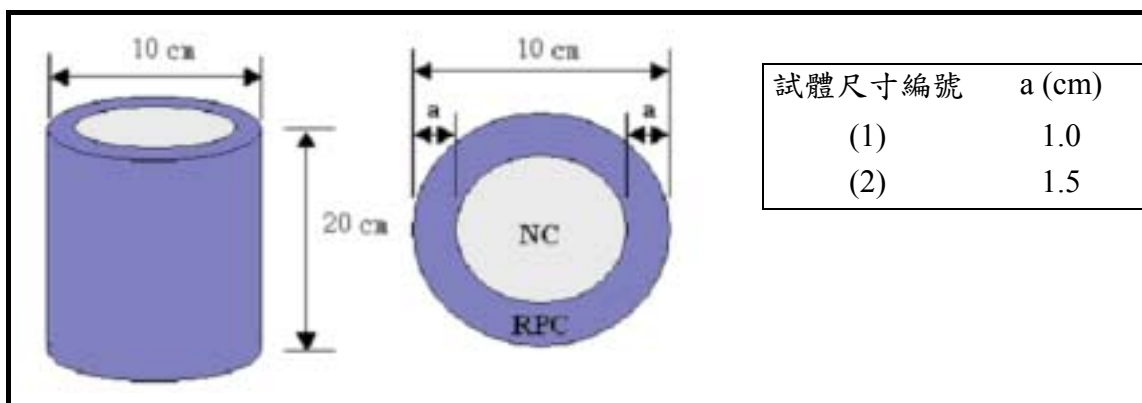


圖 6.2 圓柱抗壓補強試體尺寸與斷面示意圖

斜剪試體根據 ASTM C882 製作 $\phi 50 \times 100$ mm 之圓柱試體模，製作傾斜面為 60° 之圓柱試體，如圖 6.3 所示。

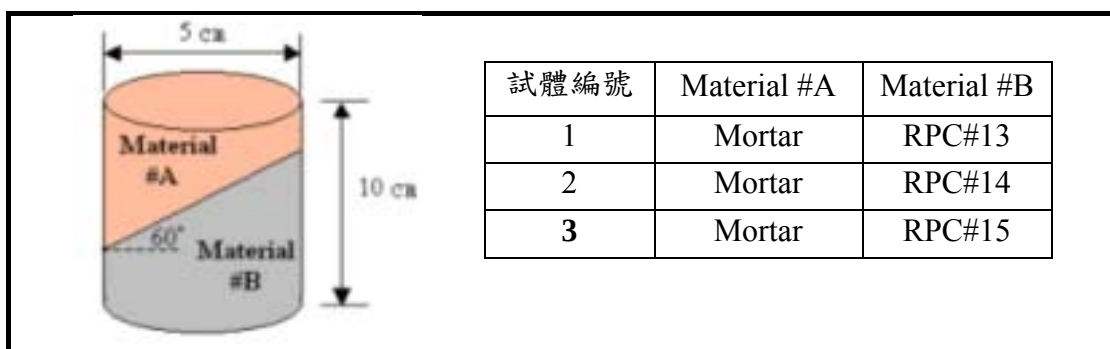


圖 6.3 斜剪試驗試體示意圖

6.4.2.4 養護流程

由於活性粉混凝土試體有緩凝現象，因此待灌漿後 48 小時才拆模，並送入蒸氣養護機中 72 小時($T=85^\circ\text{C}$ ， $RH=90\%$)，冷卻後再放置於水中養護。

6.4.3 試驗方法與試驗儀器(材料基本性能與耐久性質)

6.4.3.1 基本性能試驗

本研究所有 RPC 基本性能試驗，將依現有的相關 CNS 或 ASTM 等標準規範進行試驗，如相關標準規範不適用時，將依期刊文獻或研

討會發表之試驗方式進行，所擬進行之試驗計畫項目計如下：

- 1.水泥、爐石、石英粉、矽灰及飛灰比重試驗：依 ASTM C188 規定。
- 2.石英砂之比重與吸水率試驗：依 ASTM C127 或 CNS 488 及 ASTM C128 或 CNS 487 規定。
- 3.石英粉篩分析試驗：依 ASTM C33 之規定。
- 4.骨材乾搗單位重試驗：依 ASTM C29 或 CNS 1166 及 CNS 1163 之規定。
- 5.流度試驗：依據 ASTM C230M-03 進行水泥砂漿流度試驗。
- 6.抗壓強度：本研究抗壓試驗之加載速率為每秒 4.5~7.14 kgf/cm²，每組三個圓柱試體，依據 ASTM C31、C192、C617 之規定，試體尺寸為 $\phi 50 \times 100$ mm。
- 7.圓柱試體抗彎強度：混凝土抗彎試驗依 CNS 1233 規定，採三分點載重方式進行，試體尺寸大小為 150 $\times$ 150 $\times$ 500 mm，以每分鐘 8.79 ~ 12.31 kgf/cm² 之加載速率加壓於試體，直至試體破壞。
- 8.劈裂強度：藉由劈張試驗可間接求取混凝土之抗拉強度。試體分為普通混凝土（尺寸： $\phi 100 \times 200$ mm）與 RPC（尺寸： $\phi 50 \times 100$ mm）兩種，根據 ASMT C469-96 或 CNS 3801 進行試驗。
- 9.動彈/剪性模數量測試驗：利用英國 C.N.S 公司所生產之共振頻率測定儀（ERUDITE）。依據 CNS123 及 ASTM C215 規定進行量測混凝土試體之縱向及扭曲共振頻率。

6.4.3.2 補強試驗

- 1.樑試體平板抗彎補強試驗：混凝土抗彎試驗依 CNS 1233 規定，採三分點載重方式進行。試體尺寸為 150 $\times$ 150 $\times$ 500 mm。

- 2.圓柱補強抗壓試驗：試體尺寸為 $\phi 100 \times 200$ mm，先以普通混凝土製作 $\phi 70 \times 200$ mm、 $\phi 80 \times 200$ mm、 $\phi 90 \times 200$ mm 三種試體，再分別於外圍灌製 5 mm、10 mm 及 15 mm 厚之 RPC。試體測試齡期為 28 天，並與無補強之普通混凝土相比較。
- 3.鋼筋握裹強度：試體尺寸為 $100 \times 100 \times 100$ mm 之方型試體，並於其中埋入#3 竹節鋼筋（埋入深度：10 cm）。分別灌製普通混凝土與活性粉混凝土，測試二種材料在 28 天之握裹強度。
- 4.斜剪試驗：根據 ASTM C882 製作 $\phi 50 \times 100$ mm 之圓柱試體模，製作傾斜面為 60° 之混凝土半圓柱試體。本研究計畫採用之上層材料為水泥砂漿，底層材料則為 RPC，本試驗可作為未來混凝土結構修補之參考。

6.4.3.3 耐久性試驗

水泥質材料耐久性可由有不同的材料性質加以探討，例加：孔隙結構及分佈性質、氣體滲透性性質、水份吸收散佈性質、氯離子滲透擴散性質、表面碳化性質、鋼筋腐蝕情況、表面磨耗損失情況、表面或內部材料電阻性質及其它可使用的材料性質(如以更精細化學或電學分析所得的材料性質)本研究計畫所採用的 RPC 耐久性試驗將包括下列各項：

- 1.孔隙壓汞試驗(MIP)：試體尺寸為 $\phi 10 \times 10$ mm，試驗前須放在 105°C 烤箱中乾燥至少 24 小時進行前處理。處理後，試體應存放在密封設備儘量避免與空氣接觸。開始進行分析前，試體再置於 150°C 烤箱中乾燥至少 1 小時；減少低壓槽抽真空步驟的時間。
- 2.超音波波速量測：依據 ASTM C597 之方法。其原理是利用音波在不同物質中傳遞速度之不同以量測物體內狀況。隨著混凝土齡期越長，內部緻密性越佳，使超音波波速跟著成長，藉此瞭解活性粉混凝土緻密程度。

- 3.氣體滲透試驗：比照參考文獻[64]所採用之方式進行試驗，試體尺寸為 $\phi 100 \times 200$ mm，試體澆置完後 24 小時拆模，放入飽和石灰水中養護至試驗齡期(7 天、14 天、28 天、56 天)取出。以砂輪切割機將試體切成厚度 10 mm 之試片，並用烘箱以 105℃烘乾 24 小時。
- 4.水份吸收擴散試驗(含吸水率)：參照 BS1881：122 規定進行。將烘乾試體先行秤重，將試體完全浸入水中三十分鐘後取出，以濕布擦拭底部與側面多餘水分，紀錄試體吸水後之重量。試體所吸收的水量除以試體烘乾的重量即為吸水率。
- 5.氯離子滲透擴散性質：依據 ASTM C1202-97 利用混凝土本身電流通通的難易及大小，判斷氯離子滲透的可能性。。
- 6.表面碳化試驗：以水中養護 28 天後的混凝土試體進行加速試驗。將試體放入中性化加壓筒中，以加壓(15 atm)的方式，加速試體中性化，參考 RILEM CPC-18 提議之方式進行。
- 7.表面磨耗試驗：依 ASTM C779-89a：「水平混凝土表面耐磨標準試驗法」利用旋轉板磨耗試驗機進行測試。
- 8.表面或內部材料電阻試驗：採用 C.N.S Electronics LTD 之 Concrete Resistivity Meter 量測活性粉混凝土之表面電阻係數。
- 9.顯微觀測(SEM/EDS，XRD)

(1)SEM(Scanning Electron Microscope) 掃瞄式電子顯微鏡

利用高能量的電子聚焦光束，掃瞄試體表面。利用正偏訊號收集器將二次電子產生之低能量，轉換成可顯示於陰極管之訊號，如此便能產生影像而加以觀測。

(2)X 光繞射分析

是將 X 光源入射進規則排列之晶格，因入射光之波長和晶面間距有 $n\lambda = 2d \sin \theta$ 之關係，將由晶體平面產生繞射，利用不同角度收集到的繞射波強度，二者間之關係可繪成 Intensity

和 20 之圖，由圖形可清楚分析晶體結構之成分變化。

6.5 試驗結果與討論

本研究共使用十二組膠結砂漿配比(均未含鋼纖維)與三組活性粉混凝土(RPC)配比進行關的試體試驗工作，此 15 組配比之詳細配比資料如表 6.1 所示，其中組號 #1 ~ #4 之水膠比 (W/B) 均為 0.2，組號 #5 ~ #8 之水膠比 (W/B) 均為 0.17，此 8 組配比均未使用飛灰與爐石粉，組號 #9 ~ #12 之水膠比 (W/B) 亦均為 0.2，但此 4 組使用飛灰與爐石粉取部份水泥，以減少水泥用量。以此 12 組膠結砂漿先進行第一階段的材料基本力學性質及耐久性質探討，完成後，選出第 #1 組膠結砂漿配比再添加鋼纖維作為活性粉混凝土(RPC)第 #13 組配比(未含飛灰與爐石粉) (RPC #13)，選出第 #10 組膠結砂漿配比再添加鋼纖維作為活性粉混凝土(RPC)第 #15 組配比(含有飛灰與爐石粉) (RPC #15)，此外，並參考國內一般常用的活性粉混凝土(RPC)配比後，另試拌出第 #14 組活性粉混凝土(RPC) (未使用飛灰與爐石粉) (RPC #14)，15 組配比組號所對應之試體編號如表 6.2 所示。

表 6.1 十二組膠結砂漿及三組活性粉混凝土(RPC)配比材料 (kg/m³)

組號	石英砂				飛灰	石英粉	矽灰	爐石粉	水泥	水	強塑劑	鋼纖維
	#30	#50	#100	#200								
#1	283	217	162	123	0	192	175	0	910	243	13	0
#2	417	298	208	147	0	207	138	0	729	204	11	0
#3	144	236	177	134	0	209	190	0	941	255	13	0
#4	192	301	210	148	0	209	139	0	886	234	12	0
#5	283	217	162	123	0	192	175	0	989	203	27	0
#6	417	298	208	147	0	207	138	0	795	171	23	0
#7	144	236	177	134	0	209	190	0	1024	214	29	0
#8	192	301	210	148	0	209	139	0	962	197	26	0
#9	314	241	180	136	173	84	125	199	597	224	12	0
#10	413	296	206	146	166	70	79	184	553	200	11	0
#11	157	258	193	146	185	90	134	212	635	239	13	0
#12	212	332	232	164	186	79	88	194	583	215	11	0
#13	278	213	159	120	0	188	171	0	892	238	13	156
#14	1143				0	222	191	0	635	146	56	160
#15	413	296	206	146	166	70	79	184	553	165	41	156

表 6.2 十五組配比新拌漿體流度試驗值

配比組號	試體編號	流度(mm)	備註
#1	1604-2004	190	利用黃氏粒料裹漿厚度緻密配比法計算而得
#2	1605-2004	180	
#3	2004-2004	180	
#4	2005-2004	180	
#5	1604-1704	190	
#6	1605-1704	180	
#7	2004-1704	180	
#8	2004-1704	180	
#9	FS-1604-2004	200	
#10	FS-1605-2004	155	
#11	FS-2004-2004	180	
#12	FS2004-2004	190	
#13	1604-2004-2% (RPC #13)	170	
#14	M18-2% (RPC #14)	155	參考國內常用 RPC 配比
#15	FS1605-2004-2% (RPC #15)	210	

6.5.1 RPC 及材料力學基本性質

6.5.1.1 工作性

RPC 配比的漿體及粉體材料較多，且未含有粗粒材，用傳統坍度試驗量測 RPC 的工作性略嫌不妥，因此，本研究以自充填混凝土(SCC)量測坍流度模式進行 RPC 工作性探討，可以有效地看出其流度值變化，做為施工修補澆置時的參考依據。圖 6.4 和表 6.2 表示 15 組 RPC 的坍流度值量測結果，圖中顯示第 13 組有 170 mm 坍流度，第 14 組坍流度值為 155 mm，第 15 組則有 210 mm 的良好坍流度，三種配比內均有添加 2% 的鋼纖維值，但坍流度均算良好，一般而言，添加鋼纖維會產生阻礙 RPC 漿體流動的阻力，纖維量愈多，流度損失愈大^[17]，其他 12 組配比也有 170~190 mm 間之坍流度，呈現良好的工作性。

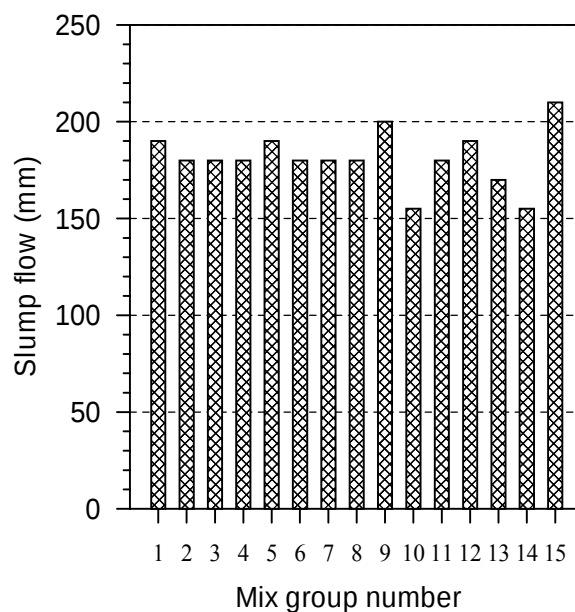


圖 6.4 膠結砂漿及 RPC 新拌性質坍流度試驗值 (15 組)

6.5.1.2 抗壓強度

抗壓強度是混凝土品質及性能的一項重要指標，表 6.3 及圖 6.5 至圖 6.8 為各組配比之抗壓強度試驗結果。3 天齡期時，第 5 組配比，編號 2,004~1,704 的強度最高為 74.9 MPa (10,907psi)；7 天齡期時，

2,004~1,704 組抗壓強度為 87.5 MPa (12,942psi)；14 天齡期時，2,004~2,004 組為 89.5 MPa (13,033psi)；28 天齡期時，FS2,004~2,004 之第 11 組強度為 113.5 MPa (16,528psi)。因配比內沒有添加纖維及沒有高溫養護，強度發展不如 200 及 800 RPC 系列來得高，表 6.3 第 1 組到第 8 組在超過 7 天至 14 天時，除了第 2、3、4 組強度有提升外，其它各組均有下滑的現象，顯示強度可能受到遲滯沒有辦法發揮晚期強度，換言之，可能受到低水灰比導致水化熱所產生的熱應力，延緩並降低強度的發展，此可從配比 7，編號 2,004~1,704 可看出，配比內水泥用量為 $1,024 \text{ kg/m}^3$ ，水灰比為 0.24，即使配比內使用波特蘭第 II 型水泥，但過高的水泥量，所產生的水化熱轉換成熱應力，破壞微觀結構的完整性，參考 SEM 圖，導致 7 天強度由 87.5 MPa 降至 14 天的 58.7 MPa，使用高水泥用量的 RPC 應特別注意此項微觀方面的缺陷。

第 9 至第 12 配比，3 天的初始強度會低於第 1~8 組；在 14 天齡期仍然低於第 1 至第 8 組；28 天齡期時，則因有添加飛灰及爐石粉，強度發展的度至少有 12 至 20 MPa 之間，遠較 1~8 組成長幅度約只有 5 MPa，這是 28 天齡期後飛灰的卜作嵐反應和爐石粉的膠結反應造成強度成長結果。因此，本研究應用 RPC 修補既有損害混凝土結構物，在配比內添加飛灰及爐石粉，三天齡期時，即可達 50 MPa (7,281 psi) 以上；28 天齡期時，可達 82.5 MPa (11,948 psi) 以上，這些強度值是本研究拌製傳統混凝土 28 天齡期 28 MPa (4,000 psi) 的 1.8 至 3 倍，OPC 及 RPC 的差異不會相差太懸殊，也不會產生不諧和的現象。

表 6.3 膠結砂漿及 PRC 之抗壓強度

配比編號	試體編號	抗壓強度(MPa)			
		3 天	7 天	14 天	28 天
#1	1604-2004	65.6	89.9	81.4	75.2
#2	1605-2004	56.8	81.7	78.7	92.6
#3	2004-2004	68.4	93.9	89.5	84.8
#4	2005-2004	58.8	87.7	87.2	88.0
#5	1604-1704	79.8	83.8	78.4	78.9
#6	1605-1704	68.9	82.2	79.4	90.9
#7	2004-1704	78.9	87.6	61.2	89.4
#8	2005-1704	72.8	77.1	76.0	76.8
#9	FS1604-2004	64.0	67.0	71.5	91.5
#10	FS1605-2004	56.0	62.5	67.5	88.0
#11	FS2004-2004	52.0	55.0	65.0	113.5
#12	FS2005-2004	53.0	61.0	70.0	82.5
#13	1604-2004-2%	57.8	105.8	111.0	106.5
#14	M18-2%	77.3	124.7	130.0	124.7

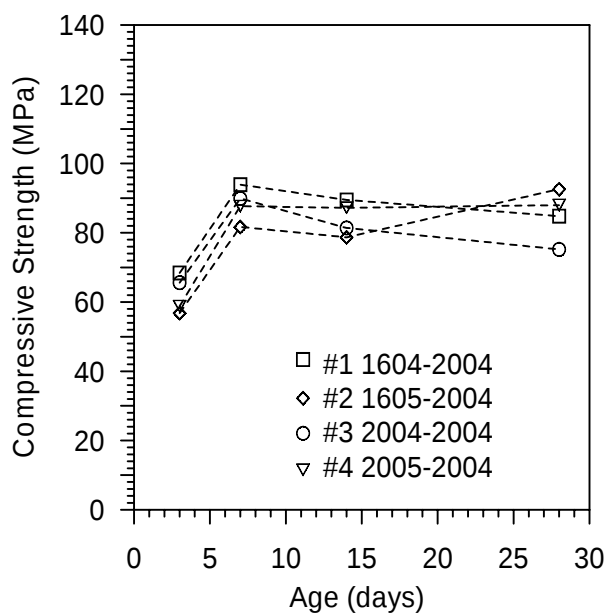


圖 6.5 膠結砂漿在不同齡期抗壓強度發展
(W/B = 0.2，不含飛灰或爐石粉)

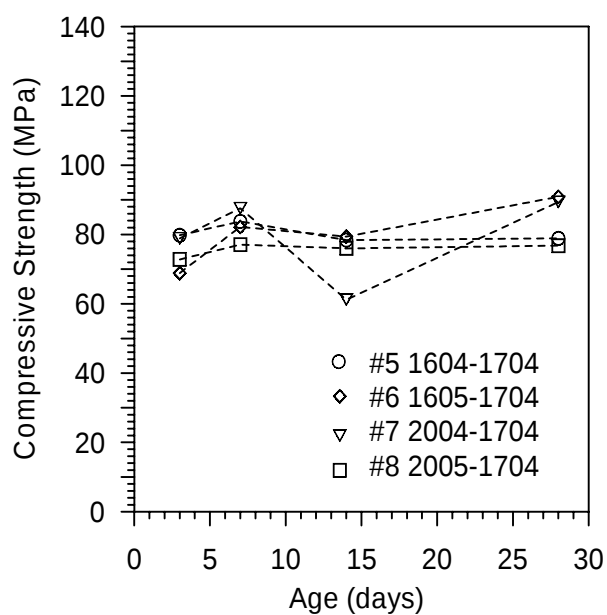


圖 6.6 膠結砂漿在不同齡期抗壓強度發展
(W/B = 0.17，不含飛灰或爐石粉)

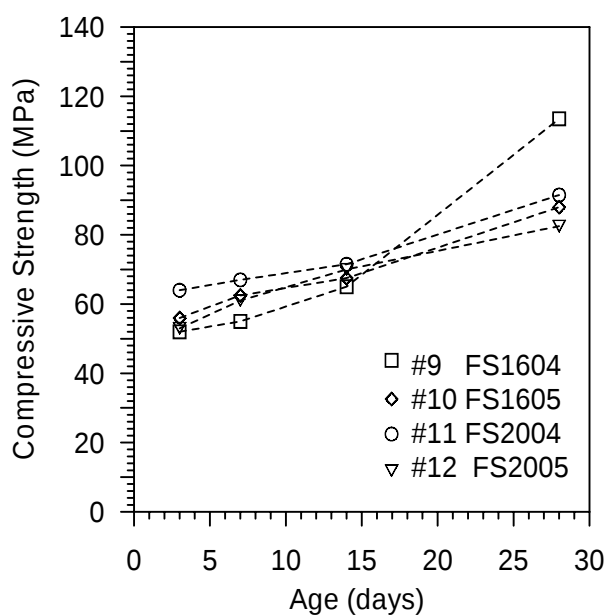


圖 6.7 膠結砂漿在不同齡期抗壓強度發展
(W/B=0.20 添加飛灰與爐石)

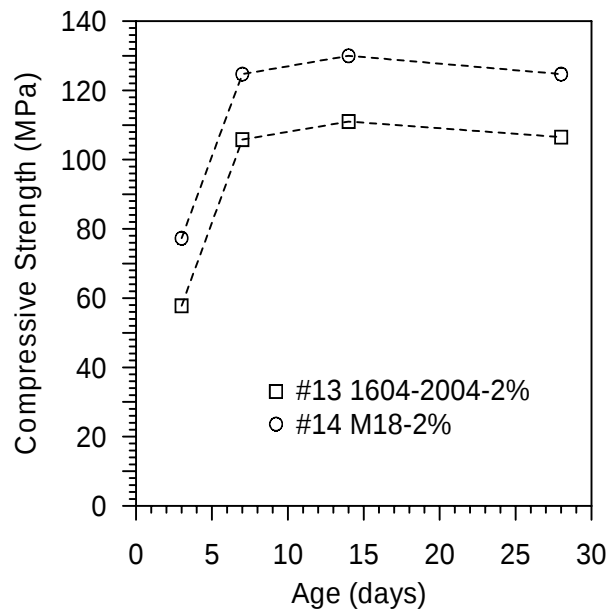


圖 6.8 RPC 抗壓強度 (第#13 及#14 組)

6.5.1.3 劈裂試驗

劈裂強度大小之變化與混凝土內是否含纖維有極大的關連性，由圖 6.9 及圖 6.10 和表 6.4 為各組配比不同齡期之劈裂強度試驗結果，除了第 8 組 14 天齡期時，第 6 組 (1,605-1,704) 為 7.5 MPa，屬於最大值，與 HPC 進行比較，RPC 劈裂強度均大於 HPC 的 5.32 MPa，若再加上纖維，劈裂強度一定比 HPC 更高，對於 RPC 抗裂性圍束性能有十分重要的助益。

表 6.4 膠結砂漿及 RPC 之劈裂強度

配比編號	試體編號	劈裂強度(MPa)			
		3 天	7 天	14 天	28 天
#1	1604-2004	5.2	5.9	6.0	5.1
#2	1605-2004	3.9	5.6	6.1	7.5
#3	2004-2004	5.0	4.8	7.3	7.2
#4	2005-2004	4.7	5.5	7.2	7.7
#5	1604-1704	4.8	5.9	7.3	6.9
#6	1605-1704	4.2	8.0	7.5	7.1
#7	2004-1704	4.8	7.1	6.5	8.2
#8	2005-1704	6.4	6.2	5.4	8.9
#13	1604-2004-2%	16.2	20.5	18.5	19.5
#14	M18-2%	13.4	21.4	18.1	20.3

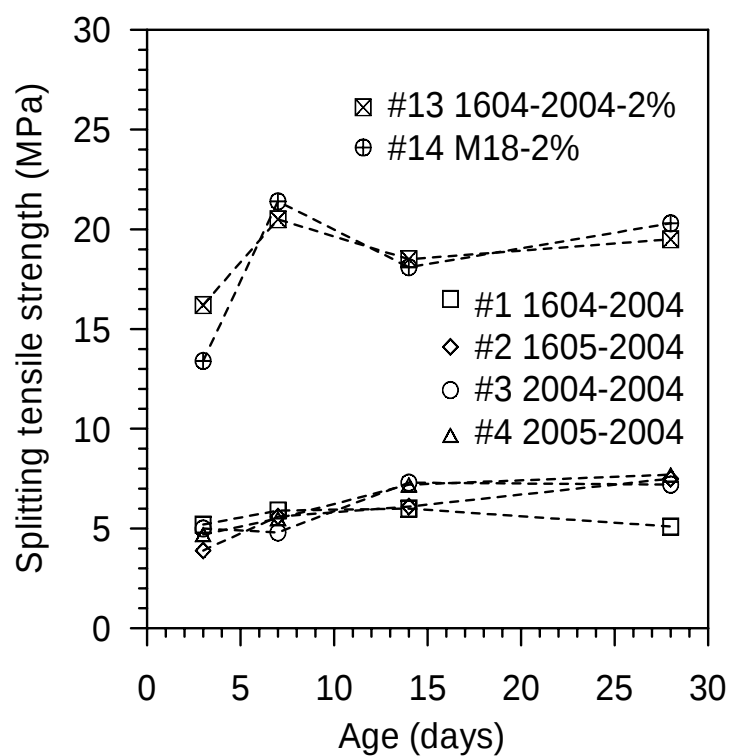


圖 6.9 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期劈裂強度發展 (W/B=0.2)

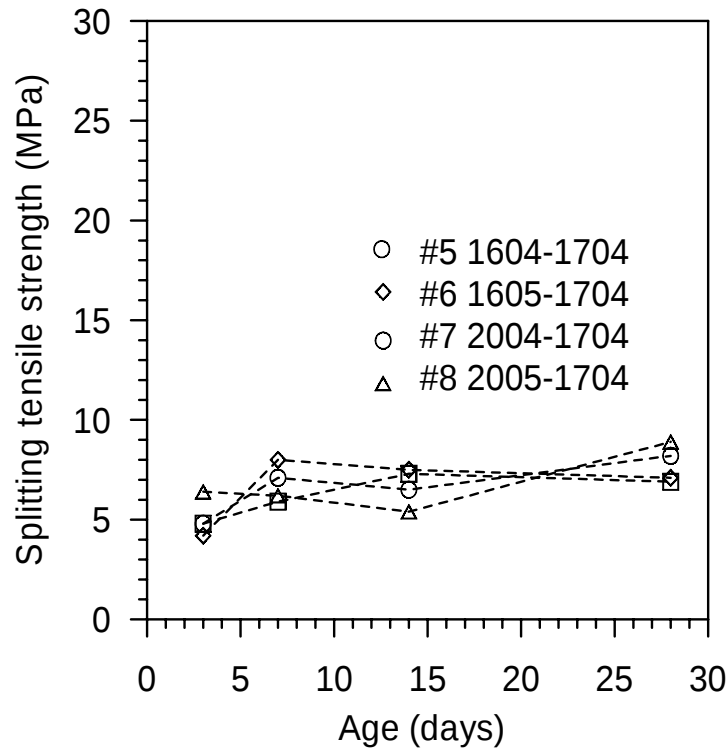


圖 6.10 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期劈裂強度發展(W/B=0.17)

6.5.1.4 抗彎試驗

圖 6.11 至圖 6.12 和表 6.5 為 10 組配比不同試體編號 7 天的抗彎強度，第 1 組至第 8 組 RPC 配比內沒有添加纖維時的抗彎強度，抗彎值約接近 10 到 13 MPa 之間，變化不大。第 13 組及第 14 組在配比內添加 2%水泥重鋼纖維，7 天的抗彎強度分別為 21.4 及 16.6 MPa，特別是 1604-2004 組，有無添加纖維的抗彎值分別為 12.7 及 21.4 MPa 約為 HPC 抗彎強度 5-7 MPa 的 3-4 倍，約為一般混凝土的抗壓強度。

添加纖維可提昇抗彎強度約為 68%，且增加變曲變形能力是最重要的附加價值。RPC 材料性能加上細鋼纖維的組合，可充分表現出複合材料的高強度及高韌性的特殊效果。RPC 用於修補材料上，所組合而成的修補系統是屬於同一系列水泥質的材質，除了可增加同質系相容性的需求外，RPC 更可提供強度及韌性，營造修補系統受力變形的諧合性，強化修補系統的耐久性及服務壽命。

表 6.5 膠結砂漿與 RPC 之抗彎強度

配比編號	試體編號	抗彎強度 (MPa)	
		7 天	28 天
#1	1604-2004	12.7	18.6
#2	1605-2004	11.1	20.0
#3	2004-2004	13.9	16.4
#4	2005-2004	11.8	17.8
#5	1604-1704	9.5	9.0
#6	1605-1704	9.6	18.6
#7	2004-1704	12.2	24.6
#8	2005-1704	12.1	22.3
#13	1604-2004-2%	21.4	24.6
#14	M18-2%	16.6	20.3

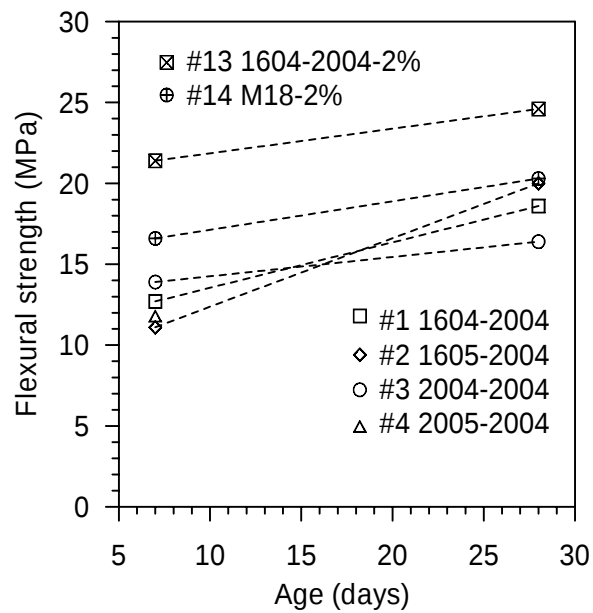


圖 6.11 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期抗彎強度發展(W/B=0.2)

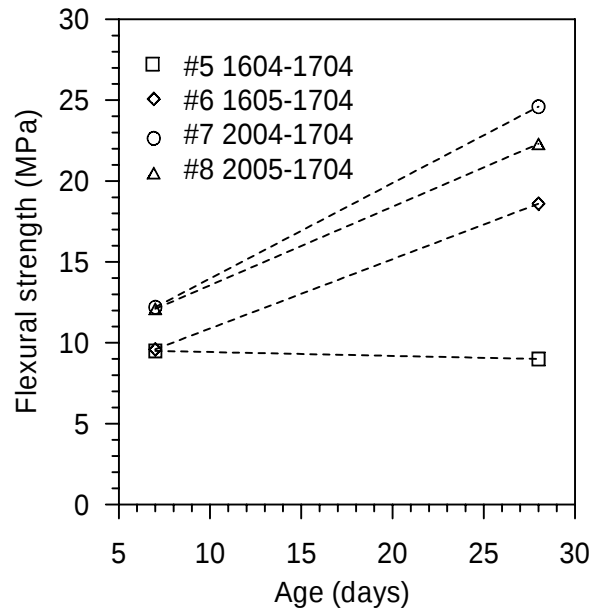


圖 6.12 膠結砂漿在不同齡期抗彎強度發展(W/B=0.17)

6.5.1.5 拉拔試驗

表 6.6、圖 6.13 為各組配比之拉拔試驗結果，除了水泥砂漿試體為鋼筋拉脫情形之外，其他試體皆為鋼筋稍有拉出約 0.1~0.2 cm 不等之情形，但隨即降伏並發生頸縮拉長之後斷裂，主要係因當鋼筋拉力強度大於握裹強度時即為拉脫破壞，反之則為鋼筋拉斷，結果顯示 RPC 之握裹強度較一般水泥砂漿高，此一現象與表 6.6 之計算結果一致。

RPC 較一般水泥砂漿具有握裹力，推測原因應為 RPC 組成材料較水泥砂漿細緻，而緻密粉體結構包裹住鋼筋，在鋼筋介面處形成良好的黏著效果，使其具有較佳的握裹性能。另外，RPC #15 的鋼筋握裹強度較其它兩組 RPC 配比 (RPC #13、RPC #14) 高，主要是因為 RPC #15 多添加了爐石和飛灰，這兩種卜作嵐材料粒徑較細，且會將內部多餘的水份進行卜作嵐反應產生 C-S-H 膠體，不但使試體組構更為緻密，也改善漿體與鋼筋介面間泌水的情形，故其鋼筋握裹強度最高。

表 6.6 拉拔試驗結果

握裹材料	拉拔力量 (kg)	拉拔強度 (MPa)	平均拉拔強度 (MPa)	強度提升率 (%)
Mortar	1581	4.89	4.78	—
	1564	4.84		
	1496	4.63		
RPC #13	3445	10.65	10.08	110.75
	3129	9.67		
	3207	9.92		
RPC #14	3502	10.83	10.55	120.56
	3345	10.34		
	3389	10.48		
RPC #15	4052	12.53	11.57	141.84
	3555	10.99		
	3617	11.18		

註：本試驗採用#3 鋼筋，標稱直徑 10.1 mm，握裹深度為 10 cm
握裹面積 = $\pi(1.01)\times 10 = 31.73\text{cm}^2$

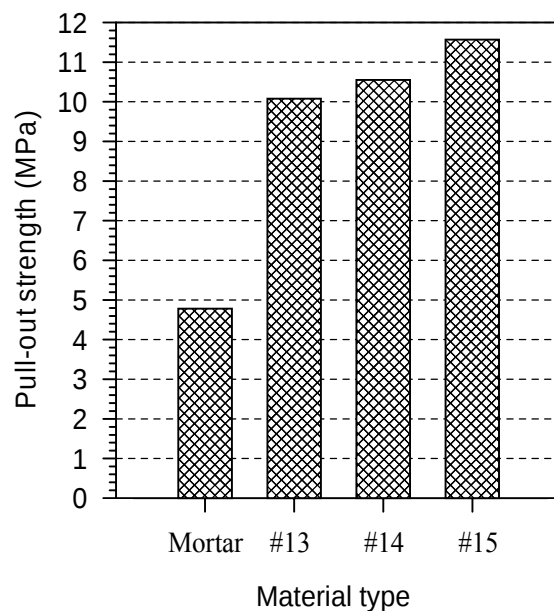


圖 6.13 RPC 及水泥砂漿拉拔試驗結果

6.5.1.6 斜剪試驗

試驗結果如表 6.7、圖 6.14 所示，所有試體破壞面都很接近修補材料與底材之交介面，由相片中可清楚看到底材（水泥砂漿）介面上留有薄薄一層 RPC 粉體，但未有任何鋼纖維，顯示在試驗過程中，此修補介面倚靠的是兩材料粉體之黏著力，鋼纖維無任何效用。RPC #15 與水泥砂漿介面之間具有較高剪力強度，主要是因為 RPC #15 多添加了爐石和飛灰，這兩種卜作嵐材料粒徑較細，與內部多餘的水份進行卜作嵐反應產生 C-S-H 膠體，填塞與底材之間的細微孔隙，改善介面品質，提高修補材料的黏著力。

表 6.7 斜剪試驗結果

試體種類 (維修材料／底材)	施加力量 (kg)	剪力強度 (MPa)	平均剪力強度 (MPa)
RPC #13／Mortar	840	2.10	2.88
	1175	2.94	
	1445	3.61	
RPC #14／Mortar	840	2.10	2.73
	1130	2.82	
	1305	3.26	
RPC #15／Mortar	1780	4.45	4.47
	1640	4.10	
	1950	4.87	

註：本試驗採用直徑 5 cm 圓柱試體，斜剪角度 60°，

受剪面積 = $\frac{\pi}{4}(5)^2$

$\div \cos 60^\circ = 39.27cm^2$

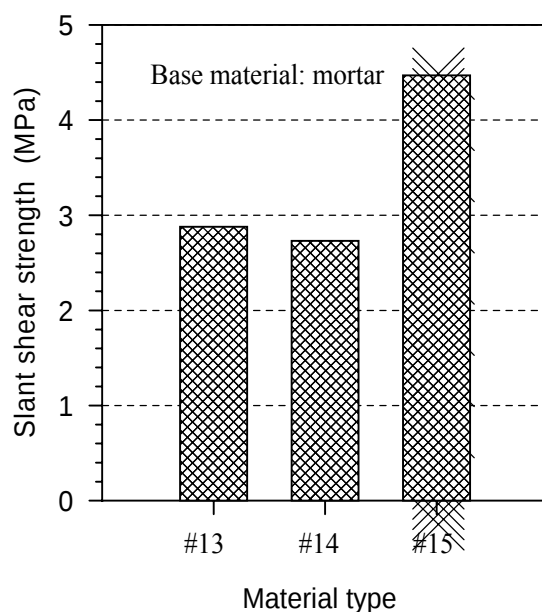


圖 6.14 RPC 斜剪試驗結果

6.5.2 RPC 耐久性試驗

6.5.2.1 氯離子電滲量量測 (ASTM C1202-97)

試體達 28 天齡期取出處理，量測 6 個小時通過的電流量，結果如表 6.8 及圖 6.15 至圖 6.16 所示，其中 4 個配比的 Q 值，均低於 100 coulombs，屬於可忽略等級，6 組數據界於 100~1,000 庫侖，屬於非常低(Very Low)的範圍。所有不含鋼纖維之 RPC 試體其電滲量都小於 1,000 庫侖，顯示俱有極佳的耐久性能。

編號 1604-2004 的試體拌和時分成兩組，一組不加纖維，另一組則加入 2% 的纖維量，在 28 天齡期時測試電滲量，見表 6.8。不加纖維者電滲量為 43.2 庫侖加入纖維者或 501.3 庫侖，顯示鋼纖維因具導電性而增加通過的電量，從可忽略提升至 Very Low，仍然是非常低範圍內，顯示加入纖維對電滲量影響輕微。#15 的本研究電滲試體電滲量 7 天為 657 庫侖，且有加入纖維處於 Very Low 的等級，顯示修補材料是合宜的。

表 6.8 膠結砂漿與 RPC 之電滲量

配比編號	試體編號	電滲量(庫倫)
#1	1604-2004	43.2
#2	1605-2004	108.0
#3	2004-2004	118.8
#4	2005-2004	172.8
#5	1604-1704	70.2
#6	1605-1704	43.2
#7	2004-1704	63
#8	2005-1704	236.7
RPC #13	1604-2004-2%	501.3
RPC #14	M18-2%	378.9
控制組	Mortar	>40000

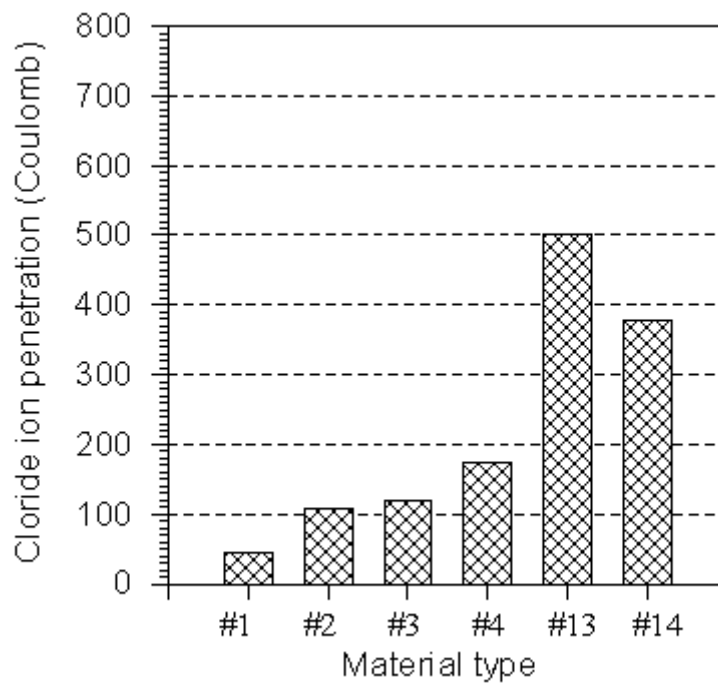


圖 6.15 膠結砂漿及 RPC 電滲量
(控制組 Mortar > 40000 庫倫) (W/C=0.20)

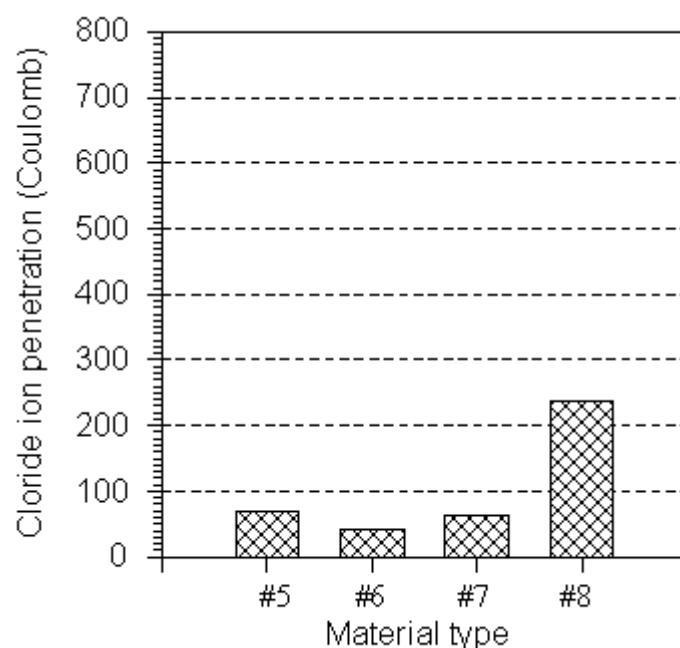


圖 6.16 膠結砂漿電滲量(控制組 Mortar > 40000 庫倫)
(W/C=0.17)

6.5.2.2 表面電阻 (Surface Resistivity)

混凝土的電化學性質是產生腐蝕的重要因素，簡易的防蝕觀念是混凝土在面乾內飽和的情況下，呈高度的絕緣性，也就是如果表面電阻值非常高，表示很難導電及通電，此時的高電阻值才具有意義。表面電阻值在面乾內飽和的情況下，其值的高低表示修補區域或結構物是否仍在因腐蝕效應引致的膨脹效應，初期形成孔洞或裂縫導致水滲透至界面或結構體內部產生腐蝕效應。電阻試驗是一種簡易而且快速的非破壞性檢測方法。

表面電阻值測結果如表 6.9 及圖 6.17 至圖 6.18 顯示配比編號 1 (1604-2004)至編號 10 (2004-1704)不同齡期中電阻的發展。在 3 天齡期時，編號 4 (2005-2004)的電阻值已達到 20 kΩ-cm；7 天齡期時，達到 98 kΩ-cm，到達 28 天齡期時，大於 244 kΩ-cm 的高電阻值，其它配比比配比第 4 組更高，配比 6 (2004-1704)及配比 15 組達 1,500 kΩ-cm，突顯 RPC 配比的高電阻性，探討原因為 RPC 在配比內加入大量的砂

灰，有助提升電阻值，呈現高防蝕的特徵，比 20 kΩ-cm 高出甚多，這也是 RPC 的特徵之一。

表 6.9 膠結砂漿與 RPC 之表面電阻

配比編號	試體編號	表面電阻(kΩ-cm)			
		3 天	7 天	14 天	28 天
#1	1604-2004	36	150	326	653
#2	1605-2004	24	176	444	659
#3	2004-2004	22	105	246	501
#4	2005-2004	20	98	244	491
#5	1604-1704	49	248	596	1269
#6	1605-1704	38	293	708	1621
#7	2004-1704	33	195	480	992
#8	2005-1704	49	220	519	988
RPC #13	1604-2004-2%	187	194	199	186
RPC #14	M18-2%	265	310	407	440

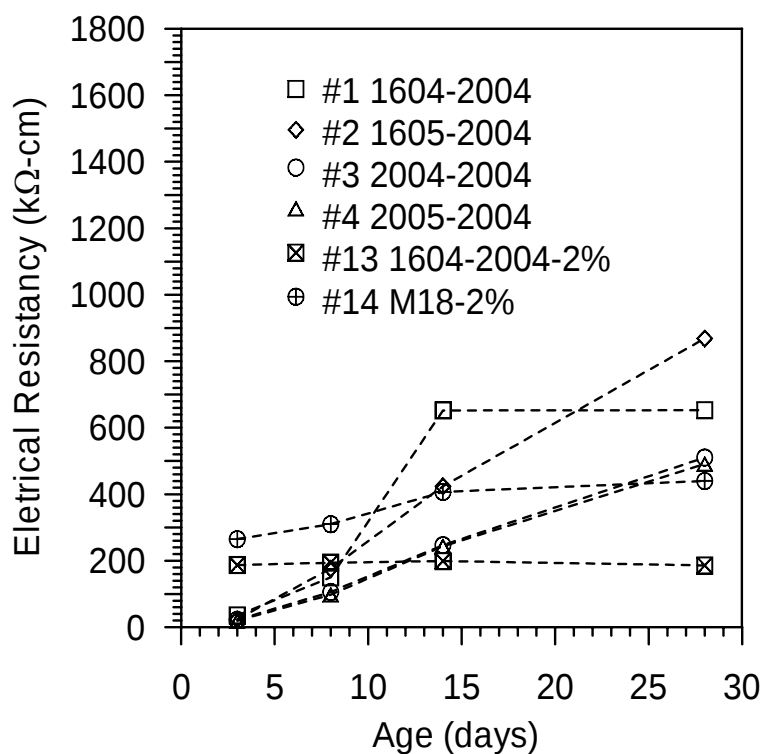


圖 6.17 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期之表面電阻(W/C=0.20)

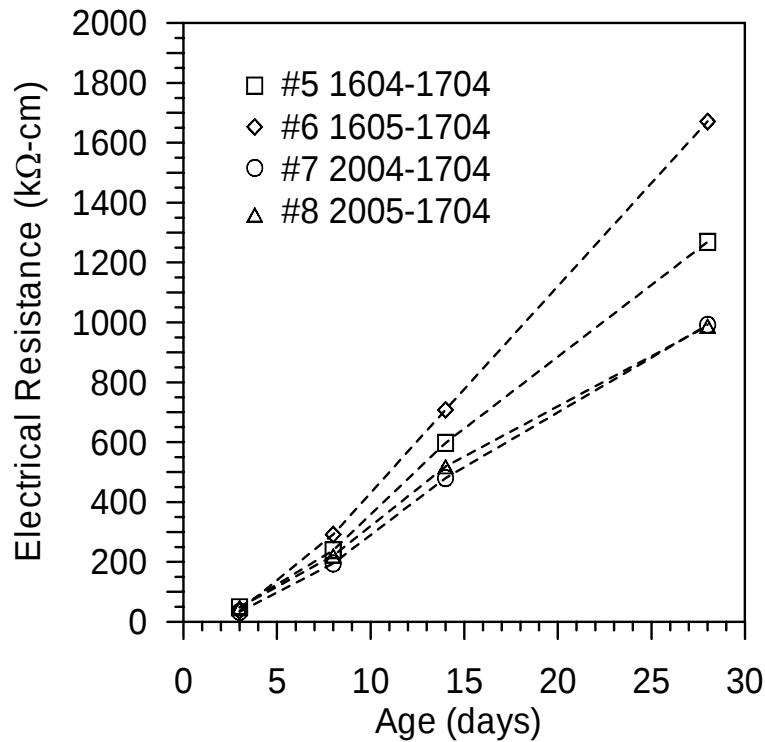


圖 6.18 膠結砂漿在不同齡期之表面電阻(W/C=0.17)

6.5.2.3 超音波試驗 (ASTM C 597)

RPC 超音波速試驗結果如表 6.10 及圖 6.19 至圖 6.21 所示。表中 12 組 RPC 的配比，3 天齡期時，配比 1 至配比 8 的波速均在 4,200 m/s 以上；到達 28 天齡期時，第 9 至第 12 組配比已達到約 4,500 m/s 以上，呈現 RPC 是一種高品質的材料。

圖 6.19 及圖 6.20 為 RPC 各配比的發展趨勢，圖中可看出在 14 天齡期時，RPC 的 12 組配比均在 4,300~4,600 m/s 間，而 28 天齡期則在 4,500 至 4,600 m/s 間，顯示波速差異性小，顯現出各組 RPC 品質變異性不大。至於在齡期 56 天甚至 91 天時，混凝土波速可達 4,900 至 5,000 m/s 以上^[58]，此結果尚待觀察。圖 6.19 及圖 6.20 可以看出部分超音波發展曲線，如圖 6.19 的第 2 組(1,604-2,004、第 2 組 (1,605-2,004 組) 及圖 6.20 (2,004-1,704)組別，28 天時，波速有微幅下降的現象，原因可能為 RPC 的配內水泥用量均在 500 kg/m³ 甚到超過 1000 kg/m³ 以上，水泥水化熱所產生的熱應力，遠較一般混凝土高。

表 6.10 膠結砂漿與 PRC 之超音波波速

配比編號	試體編號	超音波波速(m/s)			
		3 天	7 天	14 天	28 天
#1	1604-2004	4371	4448	4485	4438
#2	1605-2004	4434	4527	4585	4543
#3	2004-2004	4287	4372	4427	4478
#4	2005-2004	4282	4390	4456	4493
#5	1604-1704	4429	4566	4549	4610
#6	1605-1704	4429	4614	4625	4597
#7	2004-1704	4360	4463	4494	4462
#8	2005-1704	4409	4508	4513	4556
#9	FS1604-2004	4371	4304	4352	4498
#10	FS1605-2004	4434	4304	4469	4543
#11	FS2004-2004	-	3787	4299	4571
#12	FS2005-2004	-	4194	4468	4563
#13	1604-2004-2%	4382	4423	4461	4465
#14	M18-2%	4479	4490	4497	4503

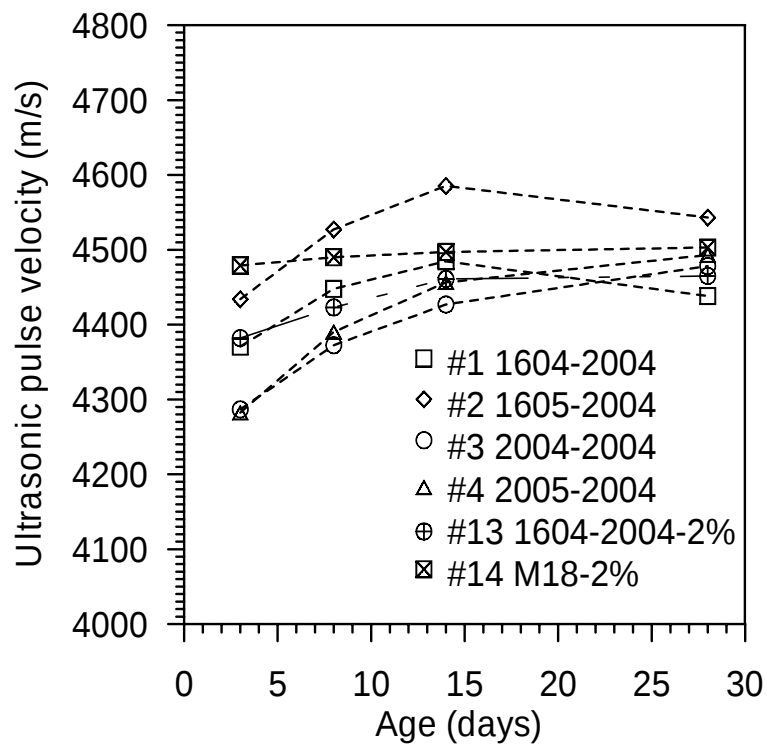


圖 6.19 膠結砂漿及 RPC 在不同齡期超音波波速發展(W/B=0.20)

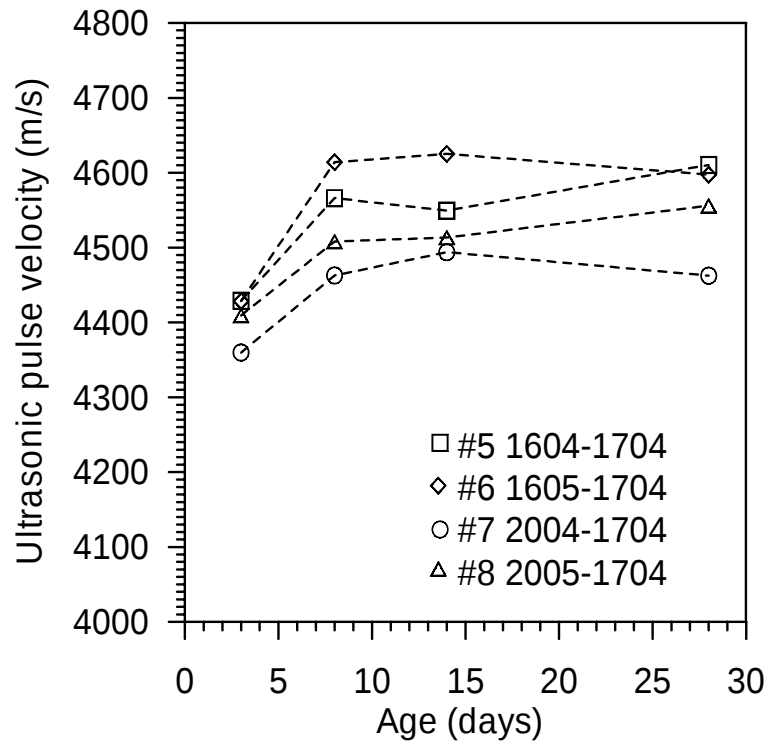


圖 6.20 膠結砂漿在不同齡期超音波波速發展(W/B=0.17)

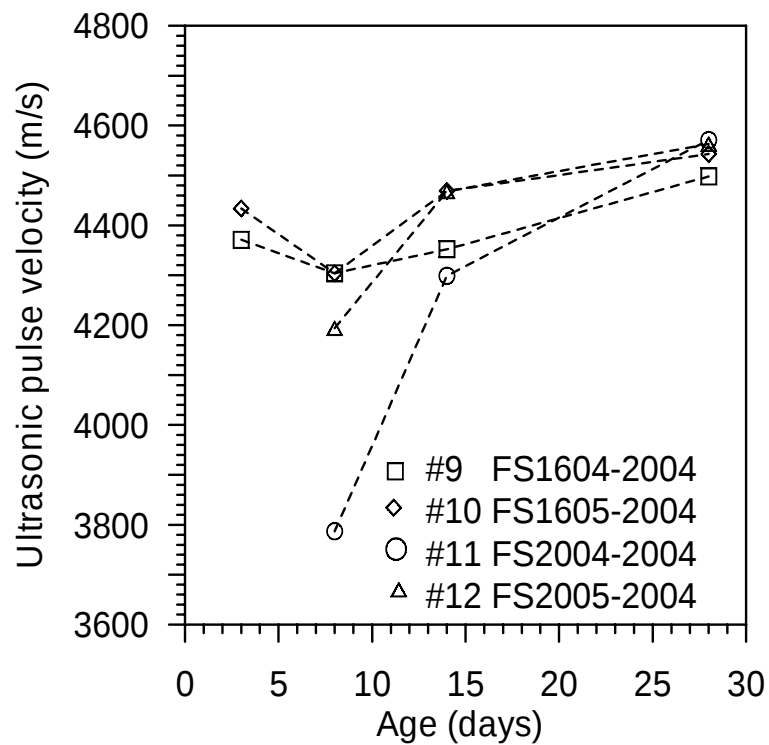


圖 6.21 膠結砂漿添加飛灰與爐石在不同齡期超音波波速發展
(W/B=0.20)

6.5.2.4 碳化試驗(Carbonation)

表 6.11 碳化試驗結果。顯示無論是普通混凝土(OPC)或是水泥砂漿(MOR)，在 7 天暴露於二氧化碳的環境中，都有 2 mm 的碳化深度，而 RPC 卻沒有碳化的痕跡。

RPC 比一般混凝土和水泥砂漿漿的滲透率小很多，從 SEM 微觀中得知 RPC 由微細的裂縫，但是都獨立的裂縫，此可從電滲量試驗得知，試驗值為非常低至可忽略得到印證，即使使用氣體與離子滲透試驗方式並不盡相同，但兩者所代表的趨勢卻是類似的；OPC 及水泥砂漿(MOR)的拌和水量較高，孔隙量多且具有開放性，對於二氧化碳侵蝕因沒有屏障而導致有碳化現象。RPC 則品質好，強度、高滲透率低，阻礙二氧化碳侵入，自成一種屏障系統的功能，抗二氧化碳性能相對的提高，在修補系統上，須特別注意強化系統界面上，預防對既有混凝土(OPC)的侵蝕。

表 6.11 不同材料碳化試驗結果

試體	碳化深度(mm)		
	7 天齡期	14 天齡期	28 天齡期
RPC	0	0	0
Mortar	2.1	2.3	6.3
OPC	2.2	2.3	3.2

6.5.2.5 表面磨耗試驗

表 6.12 及圖 6.22 為表面磨耗試驗結果。其中，RPC 磨損深度為 0.13 mm，OPC 的磨損深度為 0.49 mm，水泥砂漿則為 0.59 mm， OPC 及水泥砂漿之磨耗量各為 RPC 的 3.77 及 4.5 倍，可印證，磨損的深度受混凝土的抗壓強度影響甚大，與混凝土的骨材緻密性和骨材強度有密切關係。

表 6.12 本研究各類混凝土磨耗深度

配比	500 轉車輪磨耗深度 mm
RPC #15	0.13 mm
OPC	0.49 mm
Mortar	0.59 mm

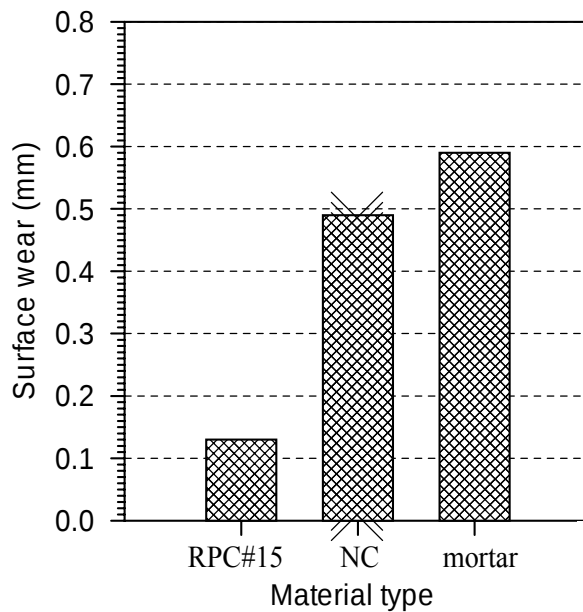


圖 6.22 表面磨耗試驗結果

6.5.2.6 SEM 觀測

本研究在抗壓試驗完成後，取樣浸入甲醇中中止水化並烘乾後照相，委請國科會貴儀中心及明新科技大學貴重儀器中心照相分析，顯示不同放大比例的微觀特徵，RPC 表面的構造仍然是多孔且不粗造，這種表面特徵恰可為修補界面上最重要的粗糙面，可增加鏈結力。

6.5.2.7 EDS 試驗

圖 6.23 至圖 6.25 的 EDS 分析中可以看出，最主要的峰突顯出 Ca 及 Si 二種主要 RPC 反應成果的元素物質，包括水泥水化產物的 C-S-H、CH、AFt 及 AFm 和卜作嵐材料水化反應生成物 C-S-H、C-A-H，

以砂灰反應最為快速，其次是爐石，最後是飛灰，從 EDS 可以得到水泥水化產物的生成物，在 RPC 內反應最為快速，其次是砂灰的卜作嵐化應，其它的成分會 28 天之後才會有反應的結果出現。不過於 90℃ 以上高溫養護時，水泥的水化反應及砂灰、爐石和飛灰的卜作嵐反應，可以提供快速的 C-S-H 及轉換 CH 變 C-S-H 及 C-A-H 晶體，在 EDS 可清楚地看出來它的反應足跡。細砂及石英粉則主要為 Si 的成份，綜觀 RPC 主要反應元素及生成物種類是 Ca 及 Si 系統，主要參與反應的成份是 Ca 及 SiO_2 和水，生成物主要則是 C-S-H 及 C-A-H 等水化產物，反應成果與反應物的種類、數量、及溫度有關；生成物則是以產生穩定鈣—矽結構系統為主。

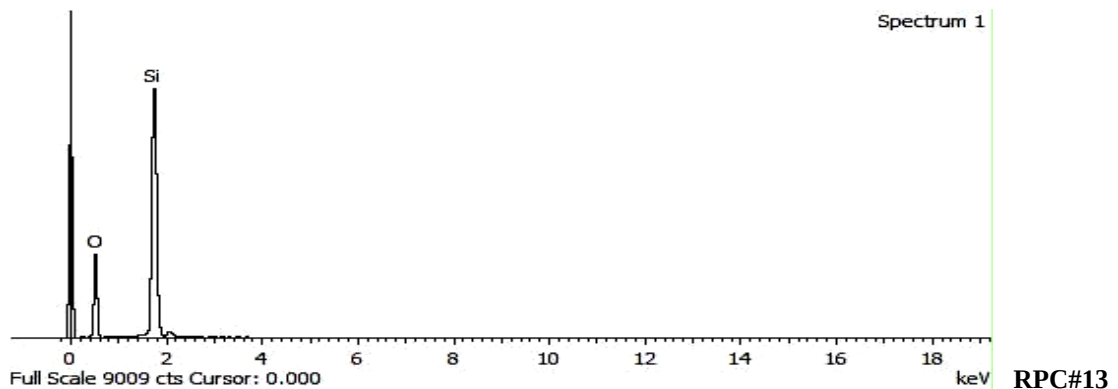


圖 6.23 EDS 圖 (RPC #13)

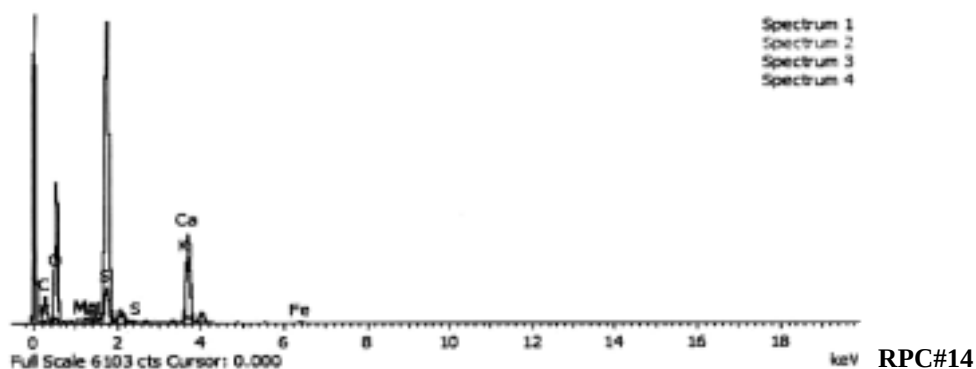


圖 6.24 EDS 圖 (RPC #14)

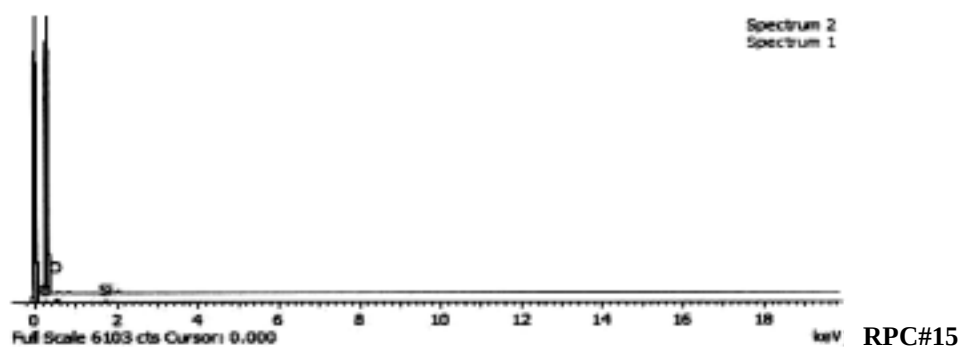


圖 6.25 EDS 圖 (RPC #15)

6.5.2.8 XRD 試驗

XRD 成份分析主要目的在觀察水泥、混凝土系統內水化生成物的化合物種類。本研究主要採用第 15 組 RPC 配比做分析，圖 6.26 為 XRD 分析結果，由圖形上可以看主要水化生成物裡面的主要成份分別是 SiO_2 及 C-S-H，這兩種成份反應最明顯， SiO_2 是配比內材料內所使用的石英粉等原料，佔有一半以上的比例，因此反應的尖峰強度最為明顯，而 C-S-H 的繞射峰，表示水泥水化產物和水化產物 CH 與卜作嵐材料所形成 $\text{S} + \text{CH} \rightarrow \text{C-S-H}$ 膠體，由使用高量矽灰，反應速度也會加快，形成緻密的微結構，所形成的峰勢也特別尖銳，因此，可推論 RPC 裡的主要水化生產物即以 C-S-H 為主。

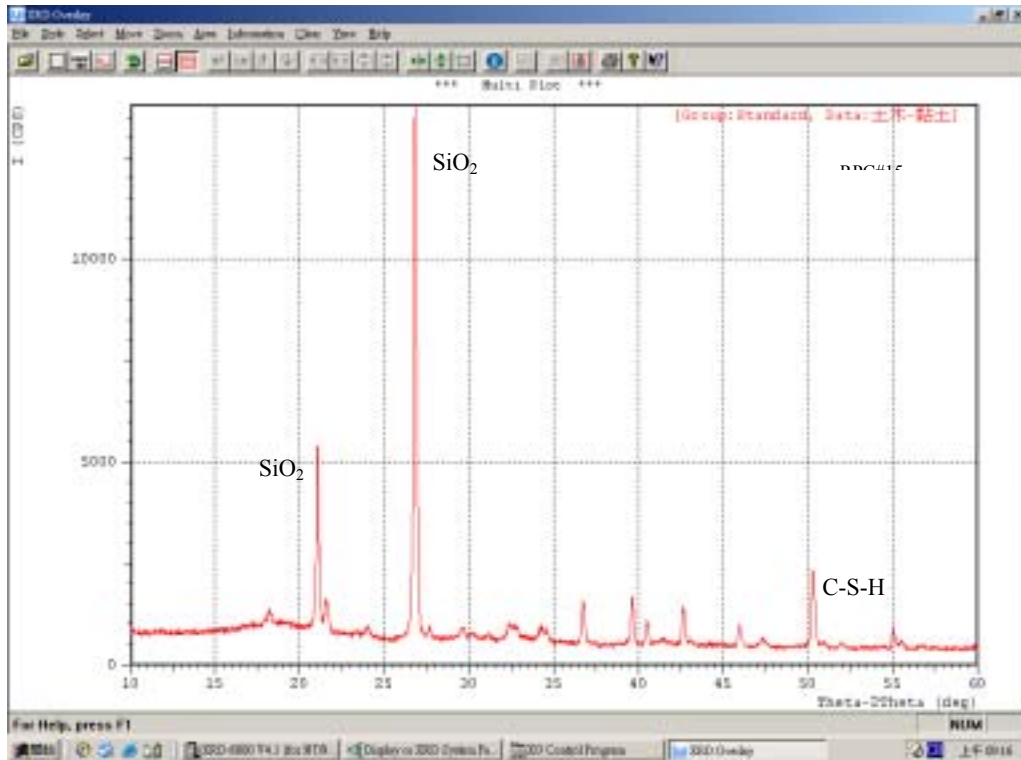


圖 6.26 RPC #15 配比的 XRD 分析

6.5.2.9 MIP 試驗

RPC 是屬多漿系統，漿體用量約佔整體體積的二分之一，RPC 試體的乾縮量可能會因孔隙系統的細緻化及低水灰比的影響而異於一般混凝土試體。

表 6.13 及圖 6.27 至圖 6.30 顯示 RPC 的 MIP 量測結果，無論配比內有無添加纖維，似乎較不影響毛隙管孔隙及膠體孔隙的體積，以 #14 及 #15 RPC 配比而言，從圖中可得知各配比內的毛細管孔隙的量約佔有 40 至 70% 之間，可能原因是試驗齡期為 7 天時，內部微觀生成物尚未塞住孔隙，形成毛細管孔較多，待 28 天量測時，會像 #13 的結果，膠孔比毛細管孔多，因此毛細管孔隙係支配是可透水孔隙及抗壓強度的最主要因素。#13 組試體毛細管孔隙的量不多，換言之，RPC 在透水-透氣及有害物質侵蝕管道比較少，此也可從電阻、氯離子電滲、氣體滲透性、吸水性試驗等得到證實，對 RPC 的自體收縮及乾燥收縮引

致微裂縫增加的現象，可從 SEM 圖形得到證實。RPC 的孔隙系統傾向微小細緻化，較難避免對日後的乾縮及潛變可能產生較大影響性。

表 6.13 MIP 孔隙分佈試驗值 (RPC)

試體編號	<25Å	25Å~100Å	100Å~500Å	>500Å	Total Volume	膠體/孔隙比%
RPC #13	0.001	0.0437	0.0083	0.006	0.059	75.76
RPC #14	0.001	0.0204	0.0042	0.0128	0.0384	55.73
RPC #15-1	0.001	0.0200	0.027	0.012	0.060	35.00
RPC #15-2	0.001	0.0320	0.040	0.01	0.084	32.53

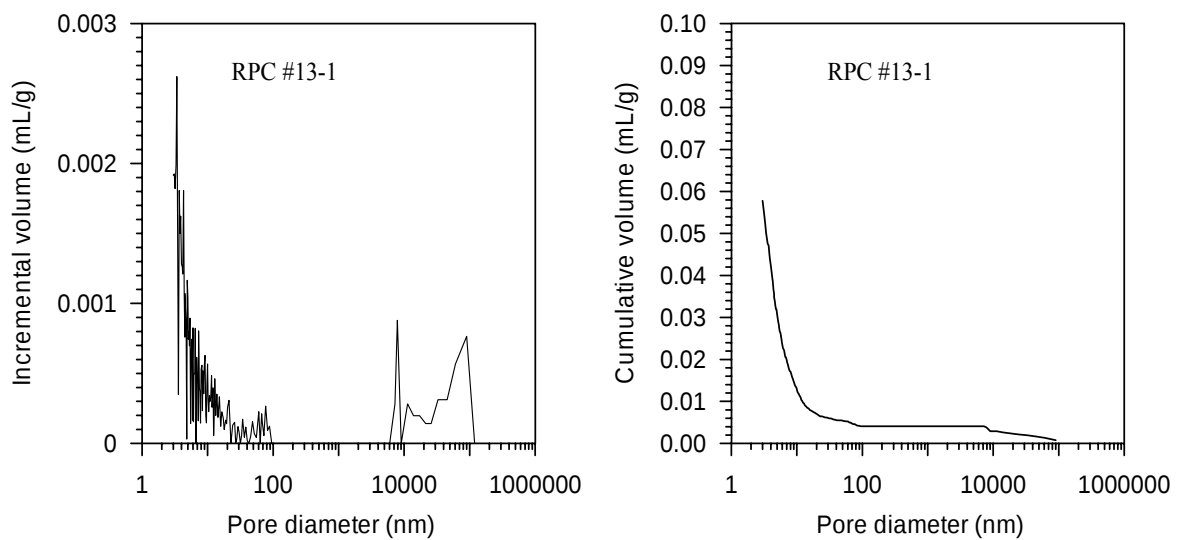


圖 6.27 典型#13-1 試體 MIP 孔隙量測結果

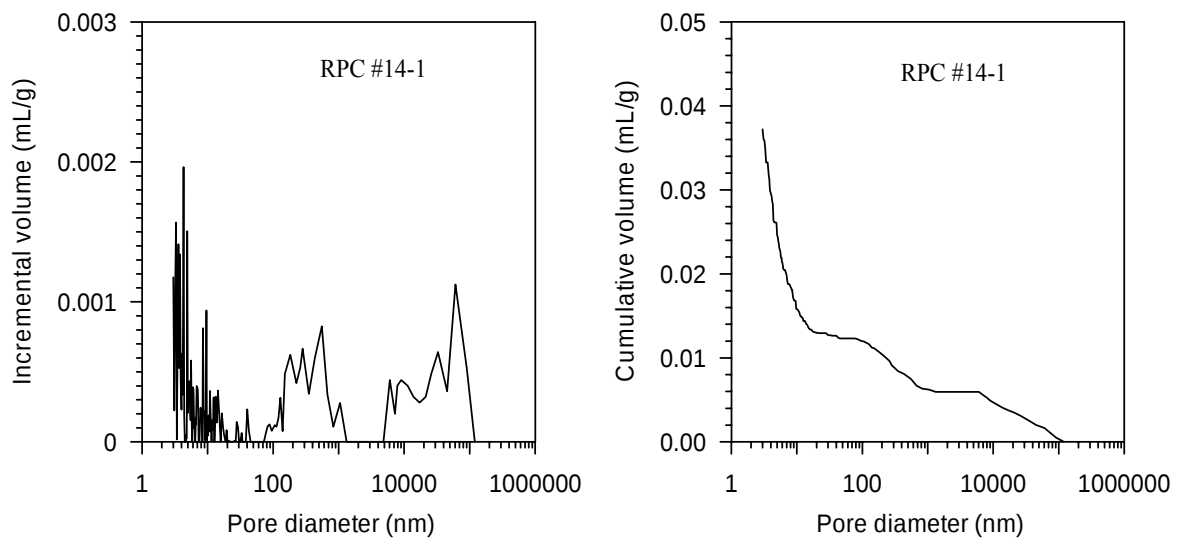


圖 6.28 典型#14-1 MIP 孔隙量測結果

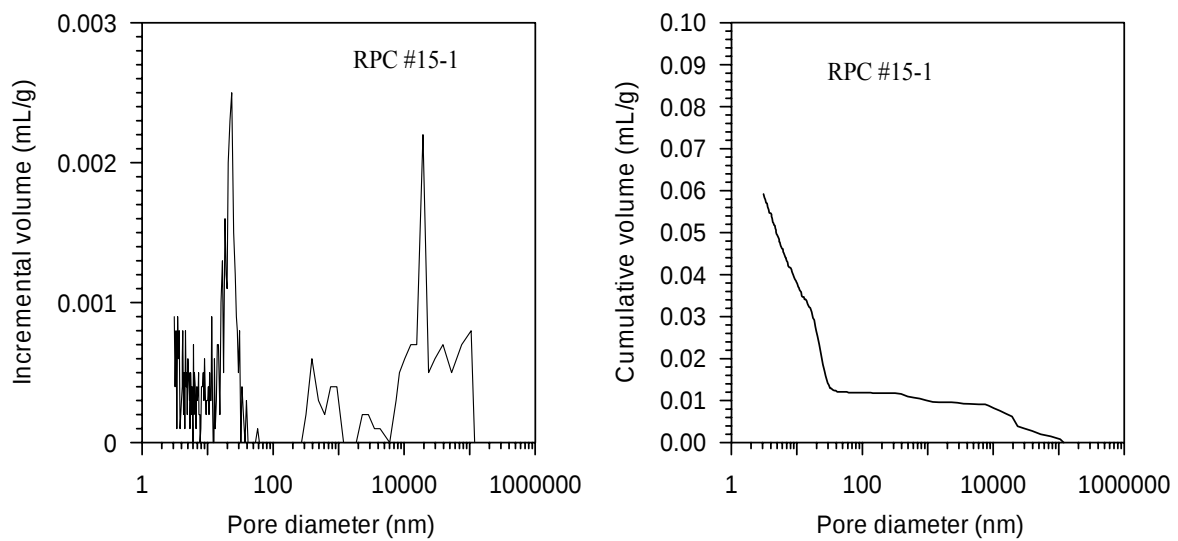


圖 6.29 典型#15-1 MIP 孔隙量測結果

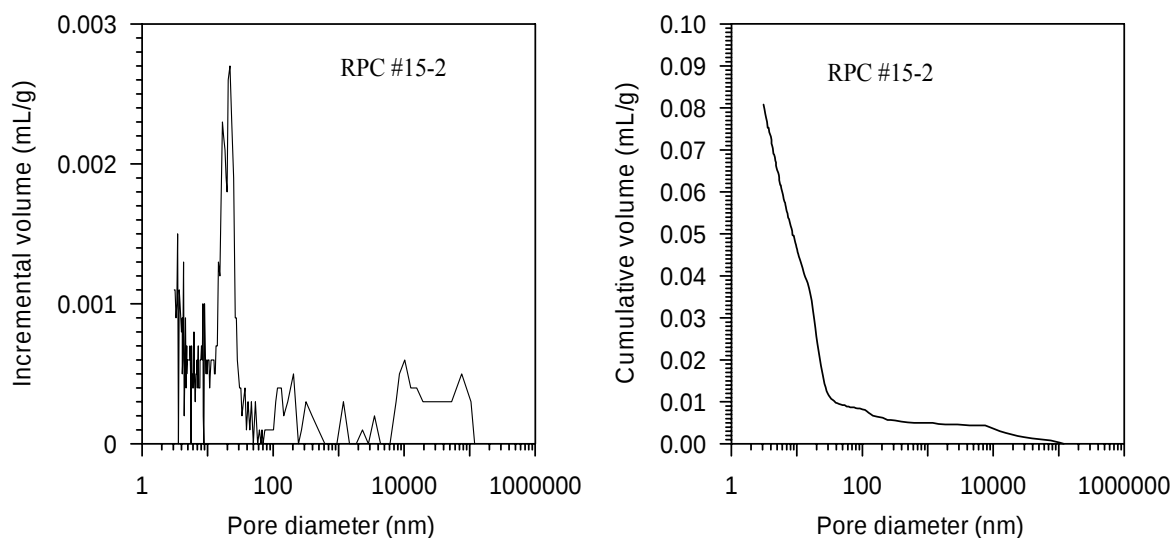


圖 6.30 典型#15-2 MIP 孔隙量測結果

6.5.2.10 氣體滲透試驗

表 6.14 及圖 6.31 為氣體滲透試驗測試結果。試體分成 RPC 及 OPC 兩種，8 組膠結砂漿（#1~#8）的氣體滲透係數在 1.23×10^{-17} 至 $2.74 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ 之間，RPC 因添加鋼纖維增加孔隙，其氣體滲透係數在 1.71×10^{-17} 至 $14 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ 之間，均屬良好的低孔隙系統。可以印證 RPC 的巨觀是緻密系統，微觀部份則為緊密結構不連續的膠體孔隙。

表 5.14 不同材料之氣體滲透係數

試片編號	$K(\text{m}^2) \times 10^{-17}$	備註
1604-2004 (#1)	1.531	
1605-2004 (#2)	1.613	
2004-2004 (#3)	1.852	
2005-2004 (#4)	2.741	
1604-1704 (#5)	1.821	
1605-1704 (#6)	2.279	
2004-1704 (#7)	2.193	
2005-1704 (#8)	1.230	
RPC #13	1.706	S/C = 0.86
RPC #14	1.824	S/C = 1.8
RPC #15	1.982	
OPC	8.289	

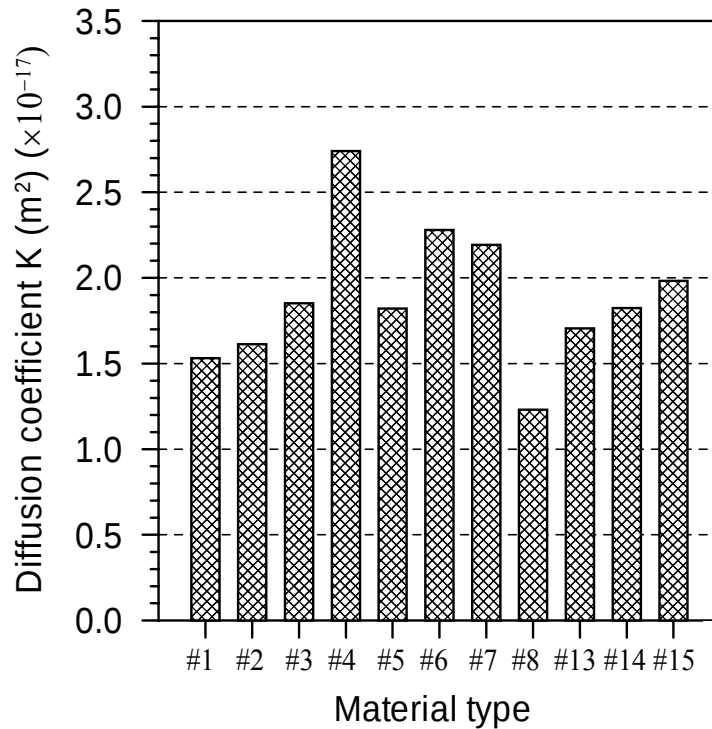


圖 6.31 氣體滲透試驗結果

6.5.2.11 水份吸收試驗

觀察混凝土吸水率的變化，評估各種不同水泥素材的吸水性質的系統，判斷在修補材料及修補系統內保有含水量(s)的多寡，可簡易的判斷系統的良窳。表 6.15 及圖 6.32 為 RPC、OPC 及 Mortar 的水份吸收試驗結果，顯示 RPC 的吸水能量，在 72 小時之吸水率，較其它兩種材料之吸水率低。由文獻^[10]所做的 RPC 浸泡海水試驗，在 100 次海水循環所做的 RPC 吸 PC 的磨損試驗，RPC 性能優於 PC。試驗結果顯示，OPC 及 Mortar，在 1 天時，吸水率達 1.5% 以上，Mortar 更高達 3.5% 以上，顯示使用做為修補材料及構成的修補系統易遭受水份及有害離子侵入而劣化或破壞，尤其是有害離子滲入界面上，造成腐蝕效應而分離，系統即宣告失敗，RPC 的吸水率只有 0.76%，一般高性能混凝土用骨材的 24 小時吸率僅 0.8~1.0%，顯現出 RPC 性質堅硬及密實程度有如天然石頭或機碎石子般堅硬。因此，RPC 的低水份吸收性，也是營造耐久性修補系統的重要方法。

表 6.15 不同材料之水份吸收試驗值 (%)

試體編號	一小時(%)	一天 (%)	三天 (%)
1604-2004	0.39%	0.81%	0.90%
1605-2004	0.34%	0.57%	0.62%
2004-2004	0.42%	0.72%	0.80%
2005-2004	0.53%	0.84%	0.91%
1604-1704	0.39%	0.64%	0.69%
1605-1704	0.33%	0.47%	0.50%
2004-1704	0.44%	0.69%	0.76%
2005-1704	0.48%	0.73%	0.79%
RPC #13	0.33%	0.63%	0.76%
RPC #14	0.37%	0.72%	0.86%
RPC #15	0.47%	0.73%	0.76%
OPC	1.02%	1.60%	1.66%
Mortar	2.74%	3.88%	3.95%

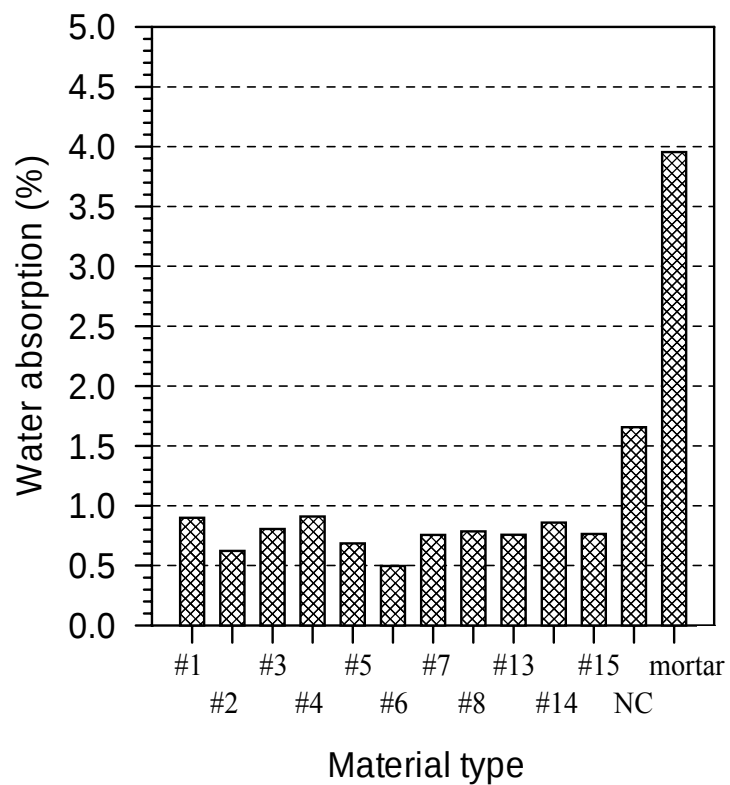


圖 6.32 不同材料 3 天水份吸收率試驗結果

6.5.3 RPC 補強成效試驗

本研究中用為補強用的 RPC 材料計有兩種配比：#14 與#15 配比，其中 RPC #14 組配比的材料力學性質與耐久性質試驗結果已於 6-3 節中述明，RPC #15 組配比的材料力學性質與耐久性質試驗結果如表 6-16 及表 6-17 所示。

表 616 RPC #15 基本力學性質(7 天)(含動彈、動剪)

項目	抗壓強度 (MPa)			劈裂強度 (MPa)			抗彎強度 (MPa)		
試體 編號	1	2	3	1	2	3	1	2	3
試驗值	72.9	76.5	78.2	11.2	11.7	11.6	16.9	20.4	22.2
平均值	75.9			11.5			19.8		
項目	動彈性模數 (GPa)			動剛性模數 (GPa)			動卜松比		
試體 編號	1	2	3	1	2	3	1	2	3
試驗值	41.37	42.07	41.76	16.36	16.39	16.34	0.26	0.28	0.28
平均值	41.73			16.36			0.27		

表 6.17 RPC #15 耐久性質(7 天)

項目	超音波速 (m/s)			表面電阻 (kΩ)			磨耗 (mm)		
試體 編號	1	2	3	1	2	3	1	2	3
試驗值	4620	4611.46	4607.45	1561	1567	1567	0.15	0.1	0.126
平均值	4612.97			1565			0.1254		
項目	流度 (mm)			電滲 (庫倫)			碳化 (mm)		
試體 編號	1			1			1	2	3
試驗值	210			643.5			0.0	0.0	0.0
平均值	—			—			0.0		

6.5.3.1 圓柱抗壓貼片補強試驗

本項試驗總計進行兩次，每次皆同時製作常重混凝土未補強試體及 RPC 圓柱補強試體，RPC 材料於第一次試驗採用#14 配比，試驗結果如表 6.18、圖 6.33 所示；第二次試驗 RPC 材料則採用#15 配比，試驗結果如表 6.19、圖 6.34 所示。

試驗結果顯示，經 RPC 補強後能有效提升混凝土之抗壓強度，設計強度為 $280\sim350\text{ kgf/cm}^2$ 之常重混凝土，當 RPC 補強厚度為 10 mm 時，能提升抗壓強度約 9~28%；當 RPC 補強厚度為 15 mm 時，則能提升抗壓強度達 40%。

抗壓強度之所以提升，主要是因為使用之補強 RPC 材料其抗壓強度與彈性模數皆高於常重混凝土，使得常重混凝土猶如被放置於圍束的容器中抗壓，試驗過程中，持續受到 RPC 給予之側向壓力作用，故提升了整體的抗壓強度。

經 RPC 補強 10 mm 之抗壓試體表面裂縫較補強 15 mm 者明顯，不同補強厚度之試體於破壞後皆不會有剝落的情形，主要是因為 RPC 摻有不同方向排列之鋼纖維，將已破壞之 RPC 牢繫在一起，而內部常重混凝土受到外部 RPC 圍束也未見剝落。

表 6.18 RPC #14 圓柱補強

	抗壓強度 (MPa)	平均抗壓強度 (MPa)	強度提升率 (%)
未補強	26.75	27.47	—
	28.23		
	27.43		
補強 10 mm	36.09	35.36	28.72
	33.99		
	36.00		
補強 15 mm	40.13	38.46	40.01
	40.74		
	34.51		

表 6.19 RPC #15 組圓柱補強

	抗壓強度 (MPa)	平均抗壓強度 (MPa)	強度提升率 (%)
未補強	37.27	36.09	—
	36.25		
	34.75		
補強 10 mm	38.83	39.51	9.49
	37.62		
	42.09		
補強 15 mm	51.72	49.80	38.00
	50.21		
	47.48		

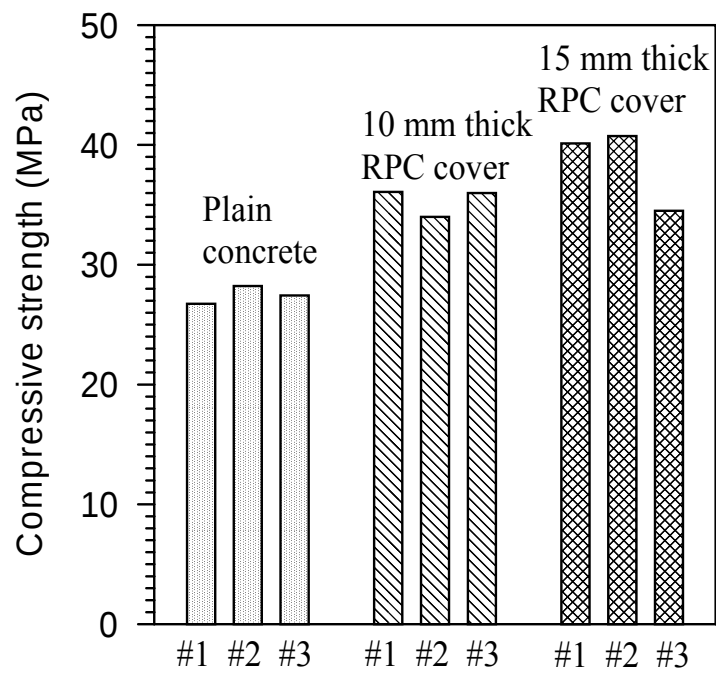


圖 6.33 RPC #14 圓柱補強抗壓試驗結果

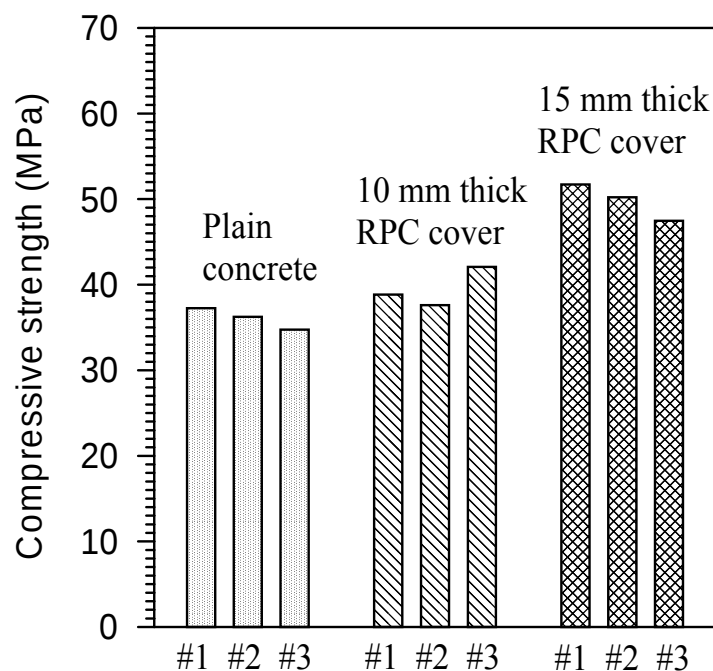


圖 6.34 RPC #15 圓柱補強抗壓試驗結果

6.5.3.2 抗彎貼片補強試驗

本項試驗總共進行兩次，每次皆同時製作常重混凝土未補強試體、CFRP 補強一層、CFRP 補強兩層及 RPC 之 10 mm、20 mm 及 U 型補強試體，RPC 材料於第一次試驗採用#14 配比，試驗結果如表 6.20，未補強 RC 試驗結果如圖 6.35，CFRP 補強一及二層試驗結果如圖 6.36，圖 6.37 所示，RPC 補強 10 mm 及 20 mm 試驗結果如圖 6.38 及圖 6.39，U 型補強試體試驗結果如圖 6.40 所示。

第二次試驗 RPC 材料則採用#15 配比，試驗結果如表 6.21，未補強 RC 試驗結果如圖 6.41，CFRP 補強一及二層試驗結果如圖 6.42，圖 6.43 所示，RPC 補強 10 mm 及 20 mm 試驗結果如圖 6.44 及圖 6.45，U 型補強試體試驗結果如圖 6.46 所示。

CFRP 補強結果顯示，CFRP 貼片補強能大幅提升常重混凝土的抗彎強度，綜合兩次試驗結果，如表 6.20 及表 6.21 所示，貼覆一層 CFRP 貼片可將原本抗彎強度 8.50~11.73 MPa 提升至 81.82~141.10 MPa，強度提升率高達十倍，而貼覆兩層 CFRP 貼片之抗彎強度則較貼覆一

層 CFRP 略高，但提升有限。

試驗過程中也發現介面黏貼品質的確是影響補強性能之因素，在第一次施作時，受到天候較為潮濕及混凝土表面未刻意磨平處理，即進行 CFRP 黏貼及試驗，由圖 6.34 及圖 6.35 中可以看到，在試體達到抗彎降伏強度後，CFRP 開始發揮作用，使混凝土試體持續變形，裂縫循兩材料之交介面延伸，最後脫落破壞。有了前次經驗，在第二次施作試體前，將常重混凝土表面做清潔磨平處理後再進行 CFRP 黏貼及試驗，由圖 6.41 及圖 6.42 中可發現，當混凝土試體發生裂縫，致使抗彎強度降，但 CFRP 迅速發揮其抗拉强度高之特性，不但使試體持續變形，抗彎強度亦不斷提高，最後雖仍循底部之材料交介面破壞，但抗彎降伏強度及極限變形量已較前次試驗提升許多，故 CFRP 黏貼品質為影響其補強性能主要因素之一。

在 RPC 貼片補強方面，同樣也能增加混凝土試體之抗彎強度，由表 6.20、6.21 中發現隨著 RPC 補強厚度增加，其抗彎強度提升有限，RPC 補強 20 mm 之強度提升率僅較補強 10 mm 約 10%，而採 U 型補強之抗彎強度提升率也與補強 10 mm、20 mm 相近。

從試驗中可明顯看出裂縫因有鋼纖維繫牢而減緩裂縫寬度延伸，因此在試驗過程中，雖然混凝土達到抗彎降伏強度，但試體仍不會斷裂，故試驗於載重下降至 10%降伏載重時即停止施作。並同時定義 RPC 補強試體之極限抗彎載重為 10%降伏抗彎載重，其對應之變形量則為極限抗彎變形 δ_f ，而降伏抗彎載重對應之變形量為降伏抗彎變形 δ_y 。

綜合比較兩種補強抗彎材料特性，以 RPC#15 配比及 CFRP 為，例如表 6.21 所示，RPC 補強抗彎結果之 δ_f/δ_y 較 CFRP 補強高，顯示 RPC 材料在抗彎補強上具有較高的延展性，主要是因為 RPC 添有 2%的鋼纖維，能有效延緩裂縫發展。

若將載重變形曲線下方之面積視為變形能量，計算結果發現，以 CFRP 材料補強後試體變形能量較 RPC 補強者高，即以 CFRP 補強後之試體較不易變形，若欲達到與 RPC 補強試體同樣變形量，需要更大

的載重。

另外，由表 6.21 中也發現 RPC 之 U 型補強試體其 δ_f / δ_y 皆較底部補強 10 mm、20 mm 高，推測原因為試體受力底部產生張力裂縫後，裂縫隨之由表面向上及向內延伸，但因試體外部為 RPC 材料包裹，其所含之鋼纖維抑止裂縫伸展速度，致使其延展性較底部補強為佳。

根據以上試驗結果與討論顯示，由於兩種材料應用於抗彎補強上具有不同之特性，於工程實務應用時，若採 CFRP 貼片進行抗彎構件補強時，建議採用一層；若欲使用 RPC 材料，則應採取 U 型補強方式，可同時提升抗彎構件之強度與延展性。

表 6.20 RPC #14 貼片抗彎補強

	最大載重 (kg)	最大變形量 (mm)	抗彎強度 (MPa)	平均 抗彎強度 (MPa)	強度 提升率 (%)	平均 變形量 (mm)
未補強	2790	0.62	8.50	8.76	—	0.61
	3150	0.61	9.16			
	2970	0.60	8.63			
CFRP 補強一層	3730	1.34	81.82	83.98	858.67	1.19
	4030	1.07	88.29			
	3730	1.15	81.82			
CFRP 補強兩層	4460	1.39	92.12	91.33	942.58	1.28
	4510	1.30	93.00			
	4310	1.14	88.88			
RPC 補強 10 mm	4360	5.10	12.90	15.25	74.09	3.63
	5240	2.90	17.60			
	4380	2.90	—			
RPC 補強 20 mm	5310	3.70	16.02	17.00	94.10	5.61
	6270	4.21	18.91			
	5530	8.93	16.08			
RPC U 型 包裹補強	4750	4.80	14.20	15.27	74.32	4.67
	4900	4.00	14.66			
	5670	5.20	16.96			

表 6.21 RPC #15 貼片抗彎補強

	降伏 載重 (kgf)	降伏 變形量 δ_y (mm)	極限 變形量 δ_f (mm)	δ_f / δ_y	Energy (ton · mm)	抗彎 強度 (MPa)	平均 抗彎強度 (MPa)	強度 提升率 (%)
未補強	3928	0.40	0.43	1.08	0.92	11.73	11.24	—
	3640	0.49	0.50	1.03	0.70	11.42		
	4036	0.47	0.51	1.11	0.69	10.58		
CFRP 補強一層	6196	1.71	1.78	1.04	7.82	117.73	133.25	1085.50
	7416	1.30	1.44	1.10	6.80	140.91		
	7026	1.48	1.50	1.02	6.67	141.10		
CFRP 補強兩層	7446	3.02	3.19	1.06	14.01	134.23	139.51	1141.19
	7820	3.21	3.86	1.20	20.92	140.97		
	7956	3.12	3.18	1.02	15.27	143.32		
RPC 補強 10 mm	4254	0.64	5.50	8.66	8.41	12.44	11.85	5.43
	3622	0.62	3.40	5.48	4.60	10.59		
	4284	1.20	5.07	4.24	6.27	12.53		
RPC 補強 20 mm	5000	0.53	7.24*	13.65	15.59	17.24	14.83	31.94
	4324	0.58	3.65	6.35	6.09	14.91		
	3584	0.54	3.83	7.16	5.04	12.35		
RPC U 型 包裹補強	4996	0.585	6.05	10.34	10.09	14.16	14.82	31.85
	4870	0.4	5.23	13.24	9.30	13.80		
	5826	0.56	5.57	10.03	13.58	16.51		

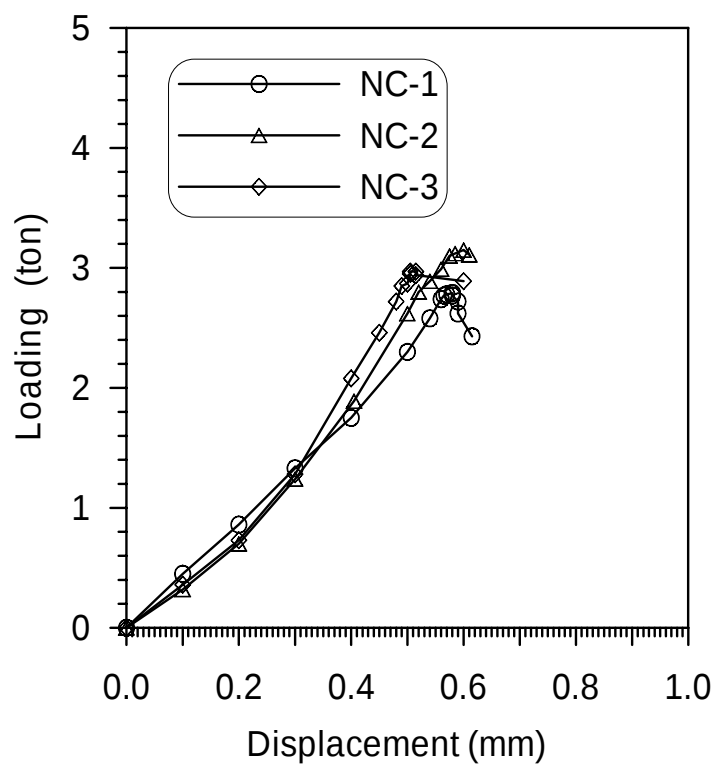


圖 6.35 OPC 未補強(第一次)

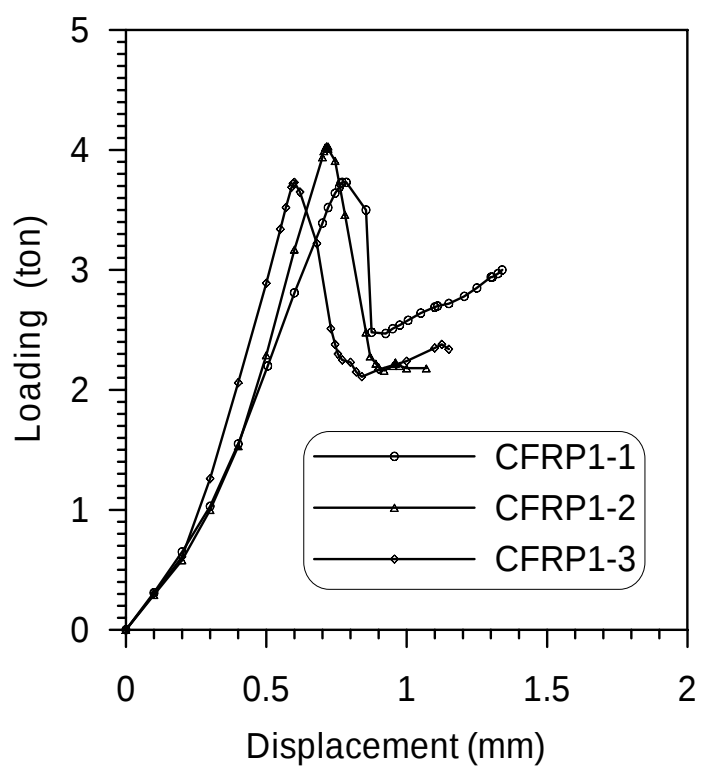


圖 6.36 CFRP 補強一層 (第一次)

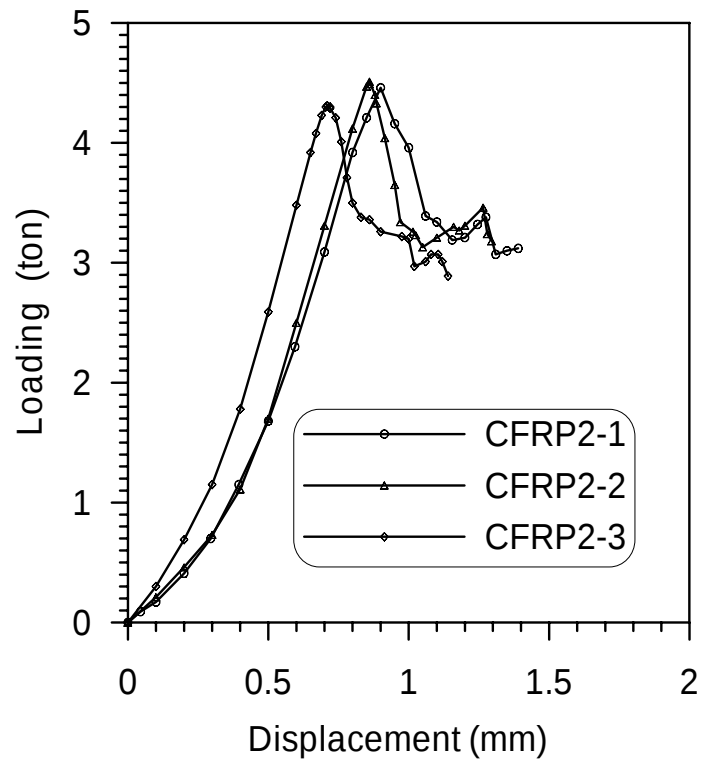


圖 6.37 CFRP 補強兩層 (第一次)

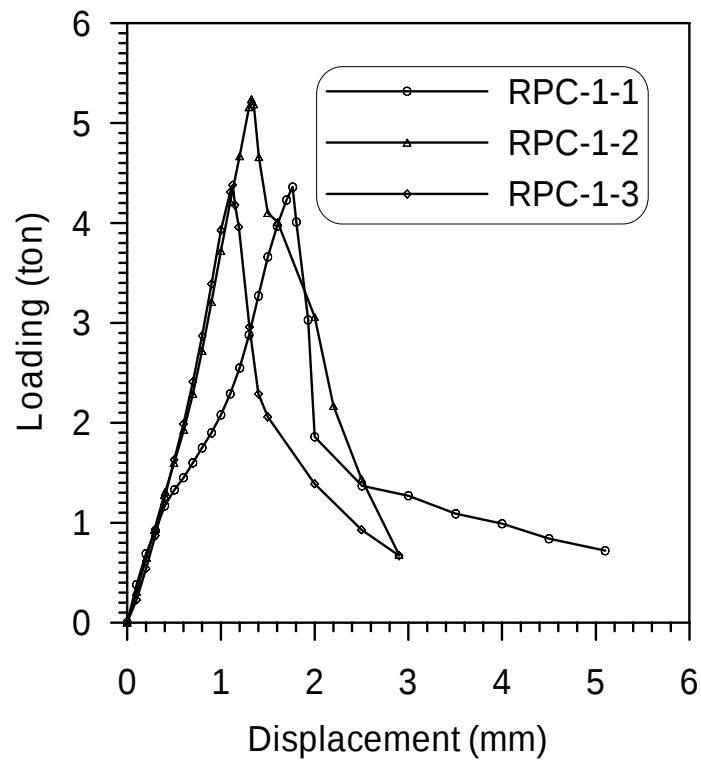


圖 6.38 RPC#14 補強 10 mm

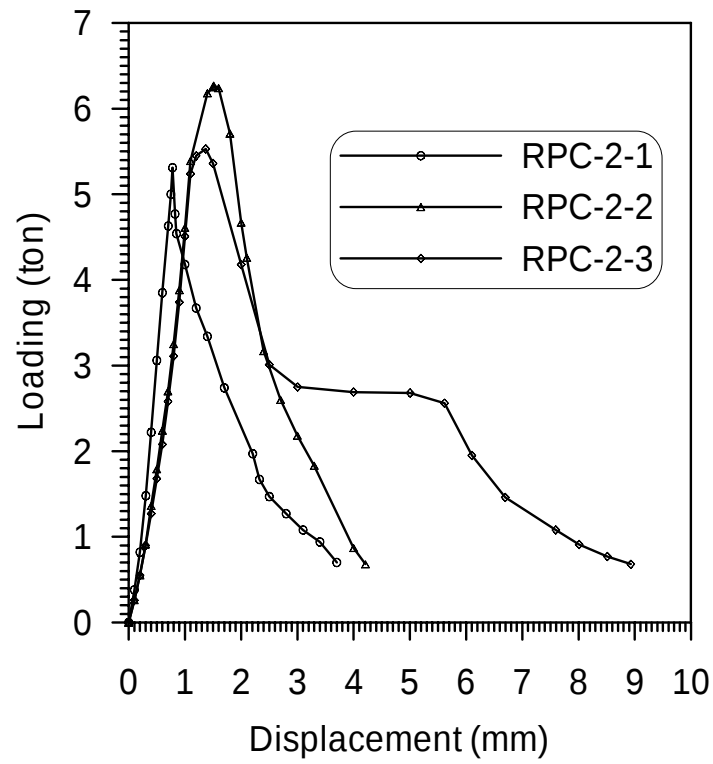


圖 6.39 RPC#14 補強 20 mm

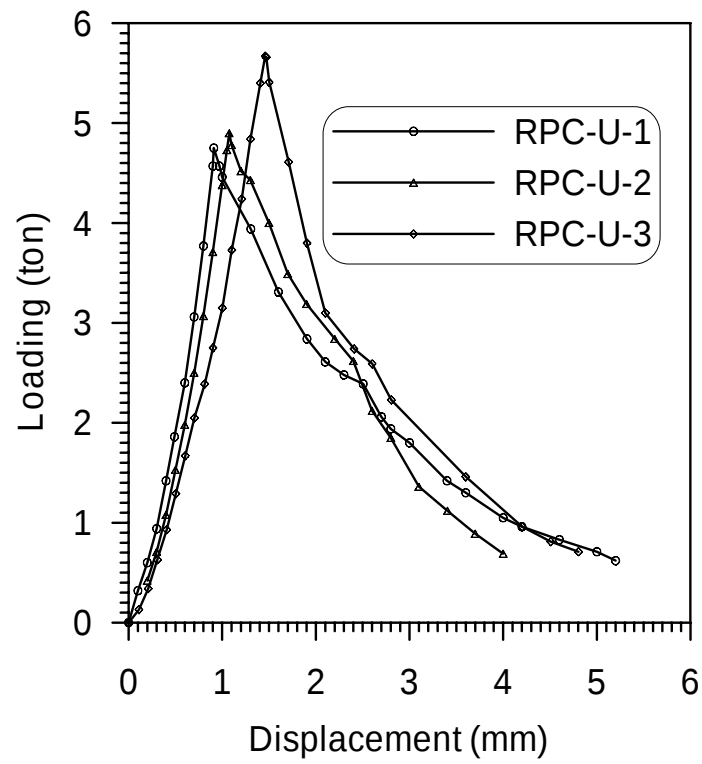


圖 6.40 RPC#14 U 型補強

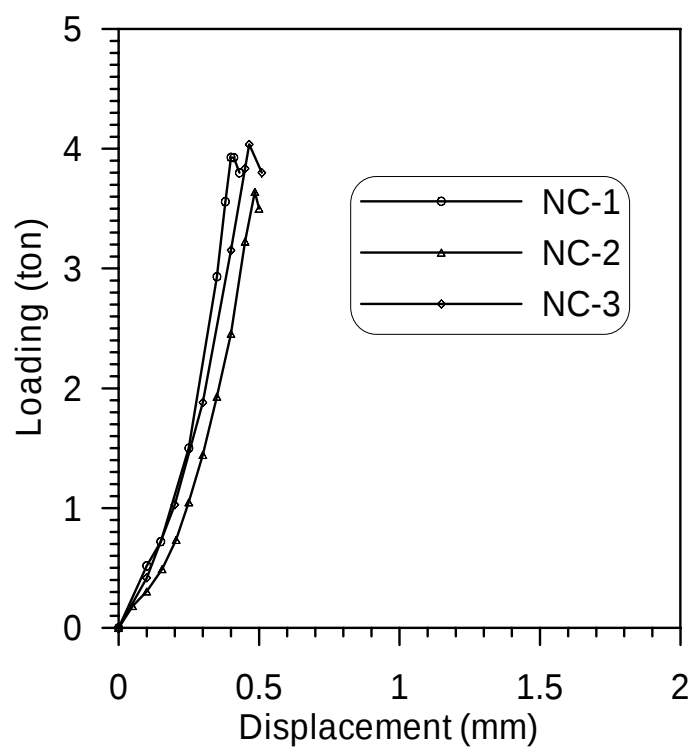


圖 6.41 OPC 未補強 (第二次)

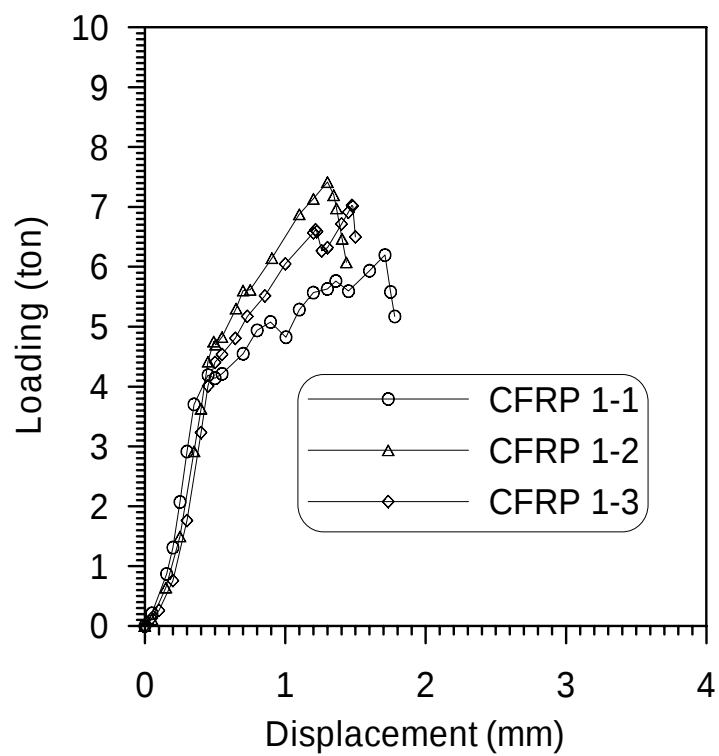


圖 6.42 CFRP 補強一層 (第二次)

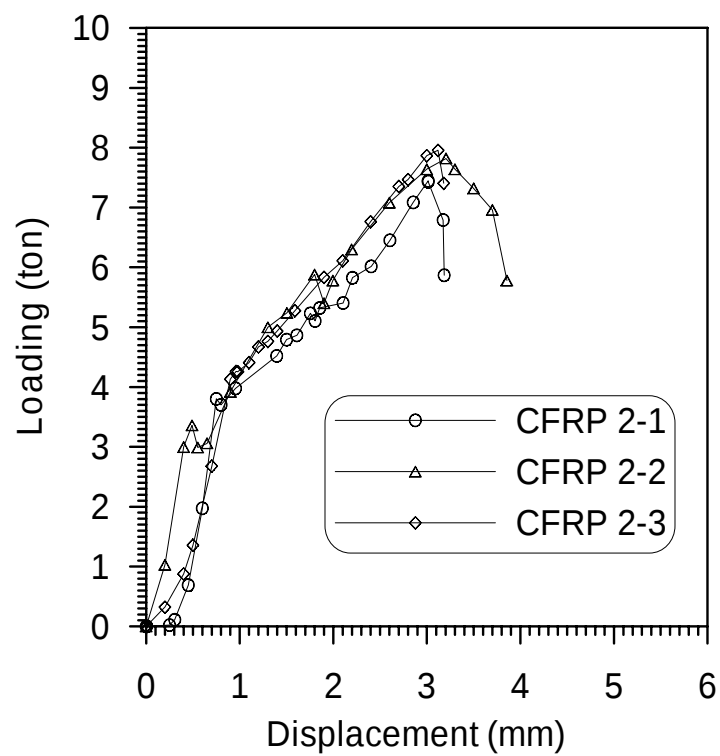


圖 6.43 CFRP 補強兩層 (第二次)

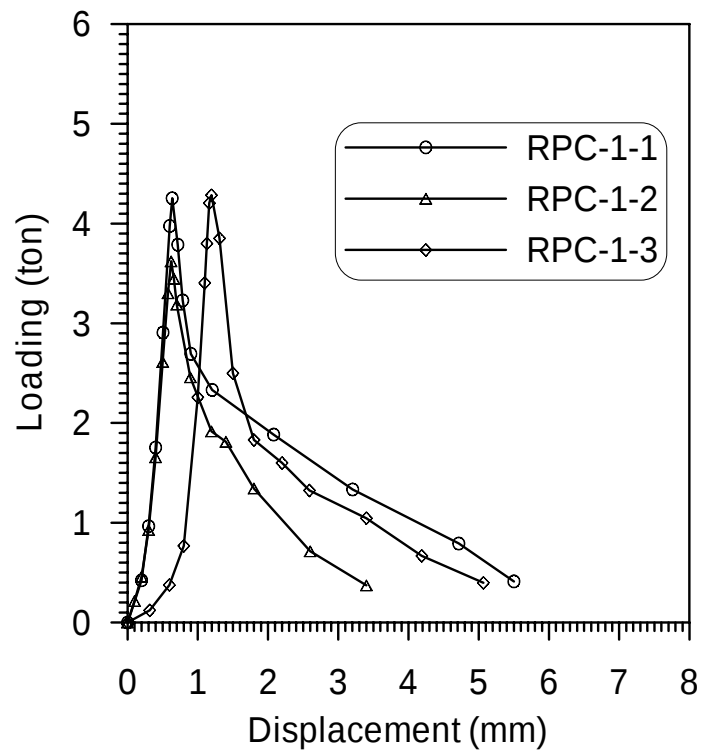


圖 6.44 RPC#15 補強 10 mm

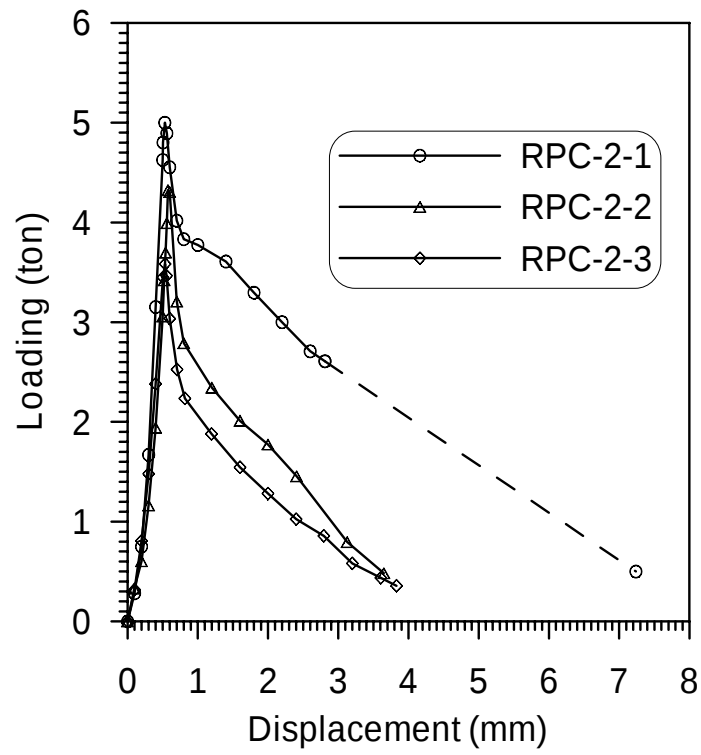


圖 6.45 RPC#15 補強 20 mm

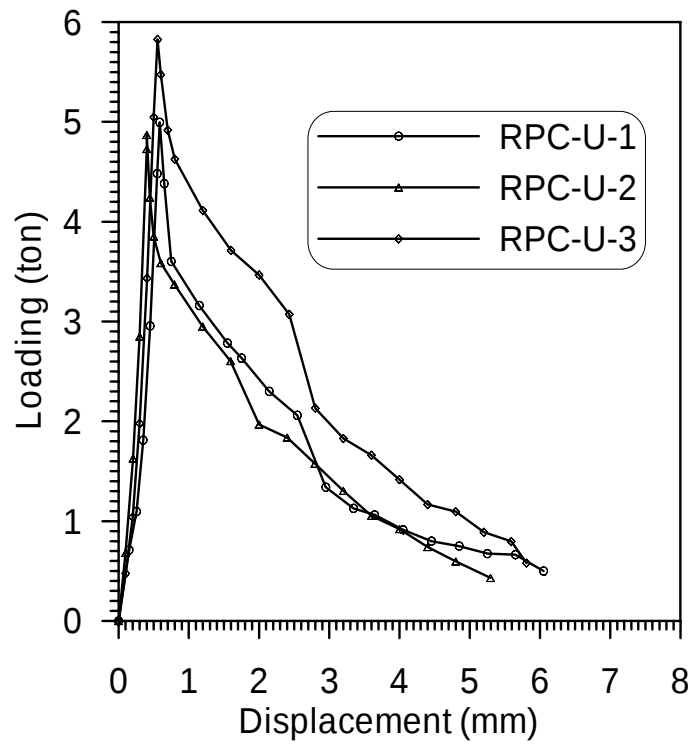


圖 6.46 RPC#15 U 型補強

6.6 結論

6.6.1 基本材料性質與力學性質

1. 12 組膠結砂漿及兩種添加鋼纖維後的 RPC 之坍流度均高於國內一般 RPC 配比所得之第 3 組 RPC 者，可作為國內日後進行本土化 RPC 配比設計參考及建立以 RPC 為修補材料之修補系統。
2. 一般 RPC 配比使用過高之水泥及矽灰，7~14 天齡期後抗壓強度會有降低的情形。但#15 RPC 以添加飛灰及爐石粉作為膠結材料，7 天抗壓強度可達 75.9 MPa，且可減低修護面上的新舊混凝土應變不諧和的現象，可適用於鋼筋混凝土構造物修補材料。
3. #15 RPC 在添加飛灰及爐石粉取代部份水泥及矽灰用量後，仍具有良好的材料性質，其發生機制可能與這些卜作嵐材料與矽灰急速反應交互作用時所產生之 C-S-H 膠體，本研究使用之 RPC 在無粗粒料下的粒料緊密堆體中，產生一種很特殊的膠結作用與及填塞作用，填充了 RPC 內各組成材料間的細微孔隙，增加材料緻密性，用於鋼筋混凝土構造物維修，可有效改善 RPC 與鋼筋界面泌水情形，提高鋼筋握裹強度及改善修補界面品質，增加界面黏著力。
4. 添加鋼纖維可提高 RPC 抗裂性及抗彎性能，劈裂強度最高可達 7.5 MPa，約為普通混凝土之 1.4 倍，抗彎強度則可提高原來強度之 68%。

6.6.2 耐久性質

1. 氯離子電滲試驗顯示各 RPC 之電滲量均在規範中非常低之範圍；碳化試驗亦未發現碳化痕跡，顯示其表面與內部結構相當緻密，滲透率低，具有優良的抗蝕性質。
2. 三種 RPC 之超音波速約介於 4,300~4,600 m/s，水泥用量較高的 RPC 配比試體在 28 天齡期之超音波速略有下降，但添加飛灰及爐石粉取代部份水泥用量的 RPC 配比試體則無此現象，也顯示使用卜作嵐材料有助於加強 RPC 的材料性質。

3. 三種 RPC 氣體滲透係數均低，能有效抵抗外界有害物質入侵，具有良好的耐久性。
4. 磨損試驗結果顯示，RPC 磨損深度僅為水泥砂漿與普通混凝土之 $1/4 \sim 1/5$ ，顯示 RPC 粒料結構緻密，可提高其表面抗磨損能力。
5. 從 SEM 微觀及 MIP 量測結果發現，RPC 內部存在著不連續之孔隙系統及些許微裂縫，這些微裂縫主要是因水泥用量過高產生的熱應力破壞微觀結構及低水灰比所導致之自生體積收縮，為減少微裂縫產生，應改變 RPC 配比，添加適量飛灰及爐石粉取代部份水泥。
6. EDS 分析中發現 Ca 及 Si 為 RPC 主要反應成果之元素物質，即參與反應的是 Ca、SiO₂ 及水，生成物則以 C-S-H 及 C-A-H 等水化產物，XRD 結果也以 SiO₂ 及 C-S-H 成份反應最明顯，顯示 RPC 內部係以穩定之鈣—矽結構系統為主。

6.6.3 修補性能與評估

1. 以 RPC 進行圓柱補強時，因具有圍束效果，故能提高其抗壓強度，補強厚度為 10 mm 時，能提升抗壓強度約 9~28%；當修補強厚度為 15 mm 時，則能提升抗壓強度達 40%，且因添加鋼纖維之作用，試體破壞後僅出現裂紋，不會有嚴重剝落的情況。
2. 以 RPC 進行抗彎構件補強時，抗彎強可明顯地提升度，但底層修補厚度對於抗彎強度提升率增加有限，若採 U 型補強方式，不但可得到良好的抗彎強度，且延展性也大幅增加，故本研究建議若以 RPC 作為補強材料，應以 U 型補強方式為最理想。
3. 抗彎構件經 CFRP 補強後，整體構件變形較不易，能承受較大之荷重，大幅提升抗彎強度，貼覆一層 CFRP 貼片可提升抗彎強度高達十倍，遠超過 RPC 之補強結果，但延展性較差，其脫落破壞型式近似於脆性材料，其貼覆介面處理狀況也會影響補強效果，貼覆層數增加對於抗彎強度則提升有限。

第七章 結論

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，構造物極易發生劣化、腐蝕、損壞、崩塌等問題，對構造物之耐久性與安全及港埠營運影響至鉅。臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港灣設施扮演重要關鍵角色，因此，如何提升設施之建設、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。本年度各子計畫執行所得初步結果，簡略歸納如下：

1. 本次調查各碼頭鋼樁由目視檢視及現有厚度與保護電位量測結果顯示，安裝陽極塊可達到對鋼樁防蝕保護之目的。
2. 鋼樁腐蝕速率均小於 0.02mm/yr. 之設計允許值。
3. 高性能混凝土比一般混凝土有較佳之耐久性。
4. 混凝土摻用波索蘭材料混拌，可提升鋼筋混凝土構造物之品質與耐久性能。
5. 花蓮、臺東之瀕海地區部份混凝土構造物，諸如商漁港之防波堤、護岸設施、建物、消波塊等，發現有疑似鹼質與粒料反應之癥候。
6. 在重力式碼頭檢測系統建置之研究中，已完成之重力式碼頭檢測系統，首先引用臺中港 1 號碼頭之歷史破壞與重建案例作為系統評估結果之驗證，驗證結果與當時之處置狀況尚為吻合。
7. 本研究採用之 12 組配比及添加鋼纖維後製作之活性粉混凝土，其工作性、強度等基本材料力學性質與耐久性質均優於普通混凝土，可適用為鋼筋混凝土構造物修補材料。
8. 活性粉混凝土用於混 R.C. 構件補強時，能提高其抗壓強度，且因添加鋼纖維之作用，試體破壞後僅出現裂紋，不會有嚴重剝落的情況。

抗彎構件補強時，抗彎強可明顯地提升度，補強方式以 U 型貼覆於試體底部最為理想。

9-+. R.C.抗彎構件經 CFRP 補強後，能大幅提升抗彎強度；貼覆一層 CFRP 貼片可提升抗彎強度高達十倍，遠超過 RPC 之補強結果，但延展性較差，其脫落破壞型式近似於脆性材料，其貼覆介面處理狀況也會影響補強效果，貼覆層數增加對於抗彎強度則提升有限。

參考文獻

- [1] 台灣省政府交通處港灣技術研究所，「基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究」港灣技術研究所專刊第 59 號，1990。
- [2] 台灣省政府交通處港灣技術研究所，「基隆港碼頭鋼板樁檢測及其維護改善方案研究」，港灣技術研究所專刊第 81 號，1993。
- [3] 交通部運輸研究所，「碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究」，MOTC-IOT-IHMT-MA9011，2002。
- [4] 交通部運輸研究所，「花蓮港外港防波堤及碼頭鋼板樁監測 - 碼頭鋼板樁岸壁調查檢測」，IHMT-9001，2002。
- [5] 交通部運輸研究所，「港灣構造物檢測與耐久性試驗研究」，MOTC-IOT-91-HA04，民國 91 年 3 月，2002）。
- [6] 交通部運輸研究所，「港灣構造物檢測與耐久性試驗研究（2/3）」，MOTC-IOT-92-H1BA04，民國 91 年 3 月，2002）。
- [7] 交通部，「港灣構造物安全檢測與評估之研究」，民國 89 年 9 月。
- [8] 交通部運輸研究所，「港灣構造物陰極防蝕準則(草案)」，MOTC-IOT-92-H1BB02，2003。
- [9] 台灣省政府交通處港灣技術研究所，「港灣及海岸構造物設計基準」，專刊第 123 號，p3-26，民國 86 年 1 月。
- [10] 日本運輸省港灣技術研究所，「港灣構造物腐蝕評價手法」，港灣技術資料，No.501，p11，1984。
- [11] 石黑健、白石基雄、海輪博之，"鋼矢板工法"，p571，日本，山海堂，1982。
- [12] Samuel A. Bradford, "Corrosion Control", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A., 1993.

- [13] Lg. Hlasamichi Kowara , "Metal Corrosion Damage and Protection Technology", Allerton Press INC, 1989.
- [14] F. W. Fink and W. K. Boyd, "The Corrosion of Metals in Marine Environment", DMIC Report 245, 1970.
- [15] "Splash Zone Maintenance Systems for Maine Steel Structures ", NACE International Task Group T-1G-27, 1994.
- [16] H. Uhlig, D. Triadis, and M. Stern, J. Electrochem. Soc., 102, 59, 1955.
- [17] R. E. Lye, "Splash Zone Protection on Offshore Platforms- A Norwegian Operator's Experience", Materials Performance, Vol. 40, No. 4, April 2001.
- [18] G . wranglen , " An Introduction to corrosion and Protection of Metals" , Chapman and Hall , NewYork , 1985.
- [19] Mars G. Fontana, : "Corrosion Engineering", 3rd ed ,. McGRaw-Hill Book company, U.S.A., 1986.
- [20] Francis, L. LAQUE, "Marine Corrosion Cause and Prevention , pp95-163.", Joho Wiley and Sons, INC., U.S.A. 1975.
- [21] "Swain Meter", William H. Swain Co., 1989.
- [22] 日本港灣協會-運輸省港灣局監修,「港灣設施之技術基準·同解說(改訂版)」, 1989。
- [23] 日本建設省土木研究所,「海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說」, 1991。
- [24] Det norske Veritas, DNV RP-B401,Cathodic Protection Design,1993。
- [25] British Standard,BSI-BS 7361,Cathodic Protection, Part1. Code of practice for land and marine applications,1991.
- [26] NACE International,NACE- RP0176,Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production,1994.
- [27] 「港灣鋼構造物防蝕、補修手冊(改訂版)」, 日本沿岸開發技術研究中心, 1997。

- [28] 陰極防蝕用犧牲陽極性能檢驗法，CNS 13521，經濟部中央標準局，1995。
- [29] “Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures”，NACE Standard RP0290-2000, NACE international, Houston, TX, 2000.
- [30] Cathodic Protection of Concrete Bridgws：A Manual of Practice, Strategic Highway Research Program, SHRP-S-372，1993.
- [31] 陳振川，「高性能混凝土研發及推廣研討論會文輯」，台北市台灣工業技術學院，P.2, 民國 86 年 6 月。
- [32] ASTM C876-91，” Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete ”。
- [33] 黃兆龍、湛淵源、廖東昇、楊偉奇，「污水處理防漏混凝土設計及施工驗證」，高性能混凝土設計及應用，p66，民國 88 年 5 月。
- [34] 蘇吉立 (1996) "高雄港老舊碼頭調查研究系列報告"，港灣報導，第 38 期，41 頁至 43 頁。
- [35] 李延恭、謝明志、蘇吉立 (1996) "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，799 頁至 810 頁。
- [36] 侯和雄、林美霞、陳吉紀、王志成、張吉雄、陳森河、胡聰明(1996) "港灣工程專有名詞"，交通部運輸研究所與宇泰工程顧問公司之(85 年)合作辦理計畫，交通部運輸研究所出版。
- [37] 李延恭、蘇吉立、謝明志、陳圭璋 (1998) "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)，2 頁至 152 頁。
- [38] 蘇吉立 (1998) "重力式碼頭安全檢測與維修研究，港灣報導"，第 46 期，43 頁至 53 頁。

- [39] 李延恭、蘇吉立 (1999) "老舊碼頭調查及評估", 地工技術, 第 74 期, 93 頁至 104 頁。
- [40] 蘇吉立、李延恭 (2000) "921 集集地震後台中港北碼頭災象調查分析", 地工技術, 第 77 期, 65 頁至 76 頁。
- [41] 交通部運輸研究所編著 (2002) "橋樑檢測評估與維修人員訓練講習講義"。
- [42] 蘇吉立 (2002) "碼頭維護管理草案之初步建議", 港灣報導, 第 59 期, 49 頁至 57 頁。
- [43] 李賢華 (2002) "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, 5-24 頁。
- [44] 蘇吉立 (2002) "碼頭結構安全檢測系統之研建", 中華民國第二十四屆海洋工程研討會論文集, 719 頁至 726 頁。
- [45] 陳宗禮、張大鵬等 (2003) "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, 1 頁至 13 頁。
- [46] 曾志煌、王慶福、林美霞、簡連貴、蕭松山、張景鐘、楊文衡、鍾兆君、陳森河、林輝雄、胡聰明、紀志昌、方惠民、張上君、蔡宜狄、黃泓翔、江大齊、李昭平等(2003) "港灣構造物維護管理準則之研究", 交通部運輸研究所與海洋大學河海工程學系之 (93 年)合作辦理計畫, 交通部運輸研究所出版。
- [47] 中國土木水利工程學會, "既有混凝土結構物之維修及補強技術手冊草案", 既有混凝土結構物之維修及補強研討會, 民國 92 年 11 月, 台北。
- [48] 李有豐, "國內既有鋼筋混凝土結構物補強之現況檢討", 既有混凝土結構物之維修及補強研討會, 民國 92 年 11 月, 台北。

- [49] Richard, P. and M. Cheyrezy., “Reactive Powder Concretes with High Ductility and 200-800 MPa Compressive Strength.”, ACI Spring Convention, San Francisco, April 1994.
- [50] 何曜宇, 「活性粉混凝土破壞行為之研究」, 碩士論文, 國立台灣大學, 民國 89 年。(陳振川教授指導)
- [51] A. S. Dili, “Investigations on reactive powder concrete : A developing ultra high-strength technology”, Indian Concrete Journal, Vol. 78, No. 4, pp 33-38, 2004.
- [52] Yao, Z. X. and J. Zhou, “Study on fracture energy of reactive powder concrete reinforced by steel-polypropylene hybrid fiber”, Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials, Vol. 8, No. 4, pp 356-360, 2005.
- [53] 楊錦懷、陳振川, 「纖維與混凝土界面握裹力研究及纖維混凝土應用於預鑄接頭」, 纖維混凝土發展與應用, 台北, 第 77-121 頁, 1997。
- [54] Adeline, R., M.Lachemi, and P. Blais, “Design and Behaviour of the Sherbrooke Footbridge,” International Symposium on High-Performance and Reactive Powder Concretes, Sherbrooke, Canada, pp 89-97, August 16-20, 1998.
- [55] Dallaire, P.-C. Aitcin, and M. Lachemi, “The Sherbrooke Reactive Powder Concrete Footbridge,” ACI 1997 International Conference on High-Performance Concrete, Kuala Lumpur, Malaysia, December 2-5, 1997.
- [56] Aitcin, P.-C. and P. Richard, “The Pedestrian/Bikeway Bridge of Sherbrooke,” 4th International Symposium on Utilization International Symposium on Utilization of High-Performance Concrete, pp 1399-1406, Paris, May 29-31, 1996.
- [57] Birelli, G., J. Dugat, and A. Bekaert, “The Use of RPC in Cross Flow Cooling Towers, International Symposium on High-Performance and Reactive Powder Concretes,” Sherbrooke, Canada, pp 59-73, August 16-20, 1998.

- [58] Matte, V., C. Richet, and M. Moranville, "Characterization of Reactive Powder Concrete as a Candidate for the Storage of Nuclear Wastes", Internaional Symposium on High- Performance and Reactive Powder Concretes, Sherbrooke, Canada, pp 75-88, August 16-20, 1998.
- [59] 朱書賢, 「鋼纖維與活性粉混凝土間界面性質研究」, 碩士論文, 國立台灣大學, 民國 89 年。(詹穎雯教授指導)
- [60] Wall, J. S. and N. G. Shrive, "Factors Affecting Bond between New and Old Concrete," ACI Materials Journal, Vol. 85, No. 2, pp 117-125, 1988.
- [61] Pareek, S. N., Y. Ohama, and K. Demura, "Evaluation Method for Adhesion Test Results of Bonded Mortars to Concrete Substrates by Square Optimization Method," ACI Materials Journal, Vol. 92, No. 4, pp 355-360, 1995.
- [62] Ma, J. and J. Dietz, "Ultra High Performance Self Compacting Concrete", The LEIPZIG ANNUAL CIVIL ENGINEERING REPORT, LACER No. 7 – 2002, civil engineering at the University of Leipzig, 2002, Republic of Germany, ISSN 1432-6590.
- [63] 方裕欽, 「緻密混凝土工程性質之研究」, 國立台灣科技大學碩士論文, 2000, pp 81-88。(黃兆龍教授指導)
- [64] 葉叔通, 「以理想級配曲線估算粒料緻密混合比及飛灰水泥漿包裹厚度評混凝土性質之探討」, 碩士論文, 國立台灣科技大學營建工程研究所, 台北, 2005。(黃兆龍教授指導)

附錄

自辦計畫簡報

簡報

港灣構造物耐久性與維護機制之研究(1/4)

計劃主持人：陳桂清

研究人員：饒正、蘇吉立、柯正龍、張道光
羅建明、李昭明、何木火



報告人：柯正龍

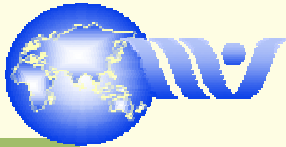
民國95年01月24



緒論(1/2)

- 台灣四面環海，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。





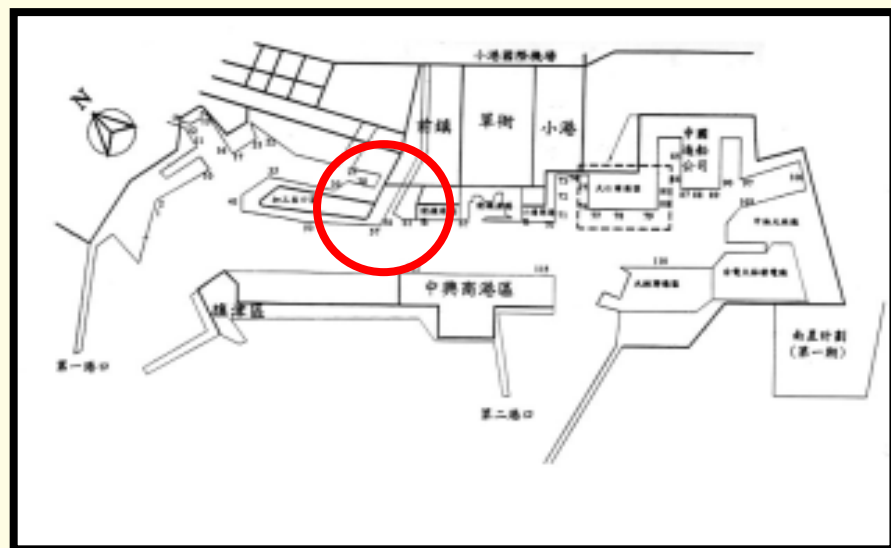
緒 論(2/2)

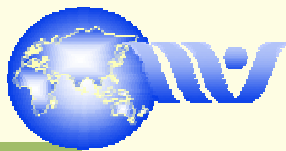
- 本年度為執行之第一年，計執行四個子計畫
- 子計畫一：碼頭構造物之現況調查研究，以澎湖馬公港及高雄港之鋼樁碼頭腐蝕現況為調查重點。
- 子計畫二：港灣鋼筋混凝土耐久性之研究，探討應用新材料、新工法於港灣土建工程，藉以提升結構物之品質與耐久性。
- 子計畫三：碼頭維護管理系統建置之研究。
- 子計畫四：活性粉混凝土補強R.C.構件與耐久性之研究(與國立台灣科技大學共同合作研究)。



子計劃一：碼頭構造物現況調查之研究

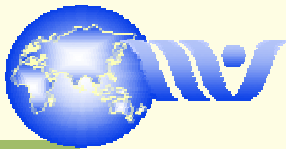
調查範圍：高雄港54-57號碼頭
馬公港 6- 8號碼頭



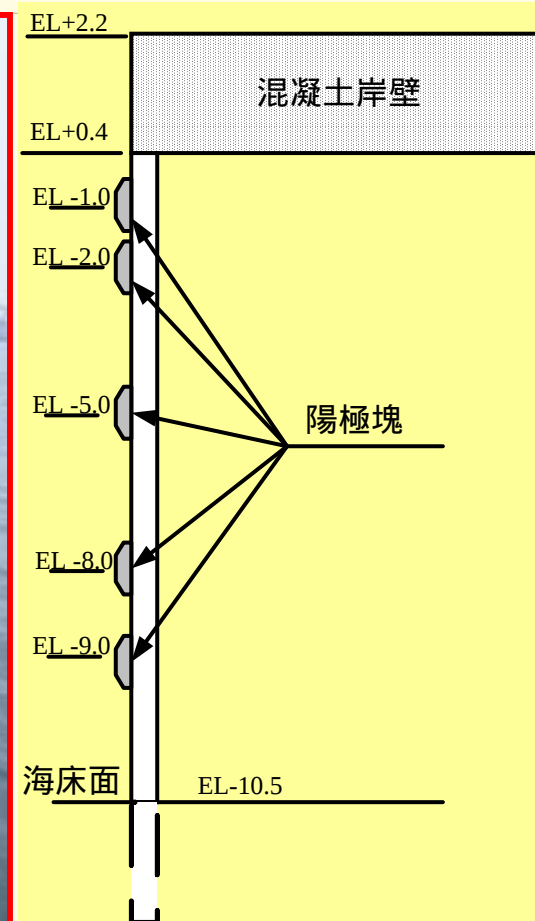


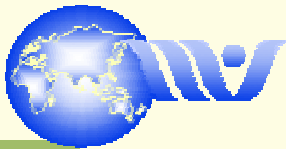
構造物基本資料

碼頭 名稱	長度 (m)	水深 (m)	鋼板(管)樁 型 式	原始厚度 (mm)	完工日期 (年)	防蝕處理
高雄港54號	200	-10.5	FSP IV _A U型	16.1	68	犧牲陽極
高雄港55號	200	-10.5	FSP IV _A U型	16.1	68	犧牲陽極
高雄港56號	200	-10.5	FSP IV _A U型	16.1	68	犧牲陽極
高雄港57號	183	-10.5	FSP IV _A U型	16.1	68	犧牲陽極
馬公港6號	103	-7.5	鋼管樁	12.0	81	犧牲陽極
馬公港7號	56	-7.5	鋼管樁	12.0	81	犧牲陽極
馬公港8號	140	-7.5	鋼管樁	12.0	81	犧牲陽極

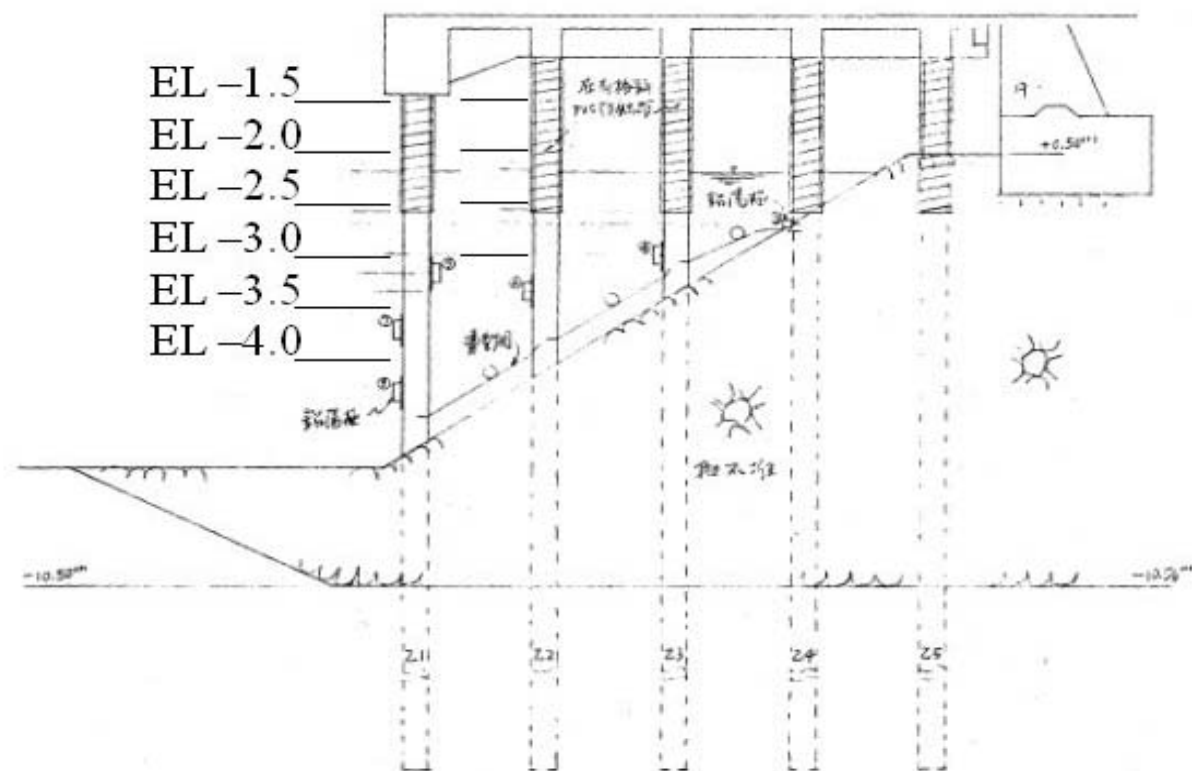


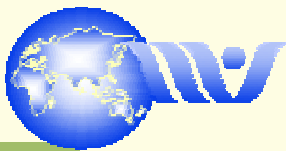
高雄港54至57號碼頭鋼板樁結構





馬公港6至8號碼頭鋼管樁結構示意

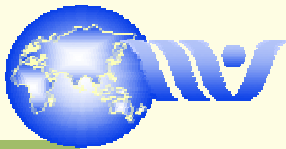




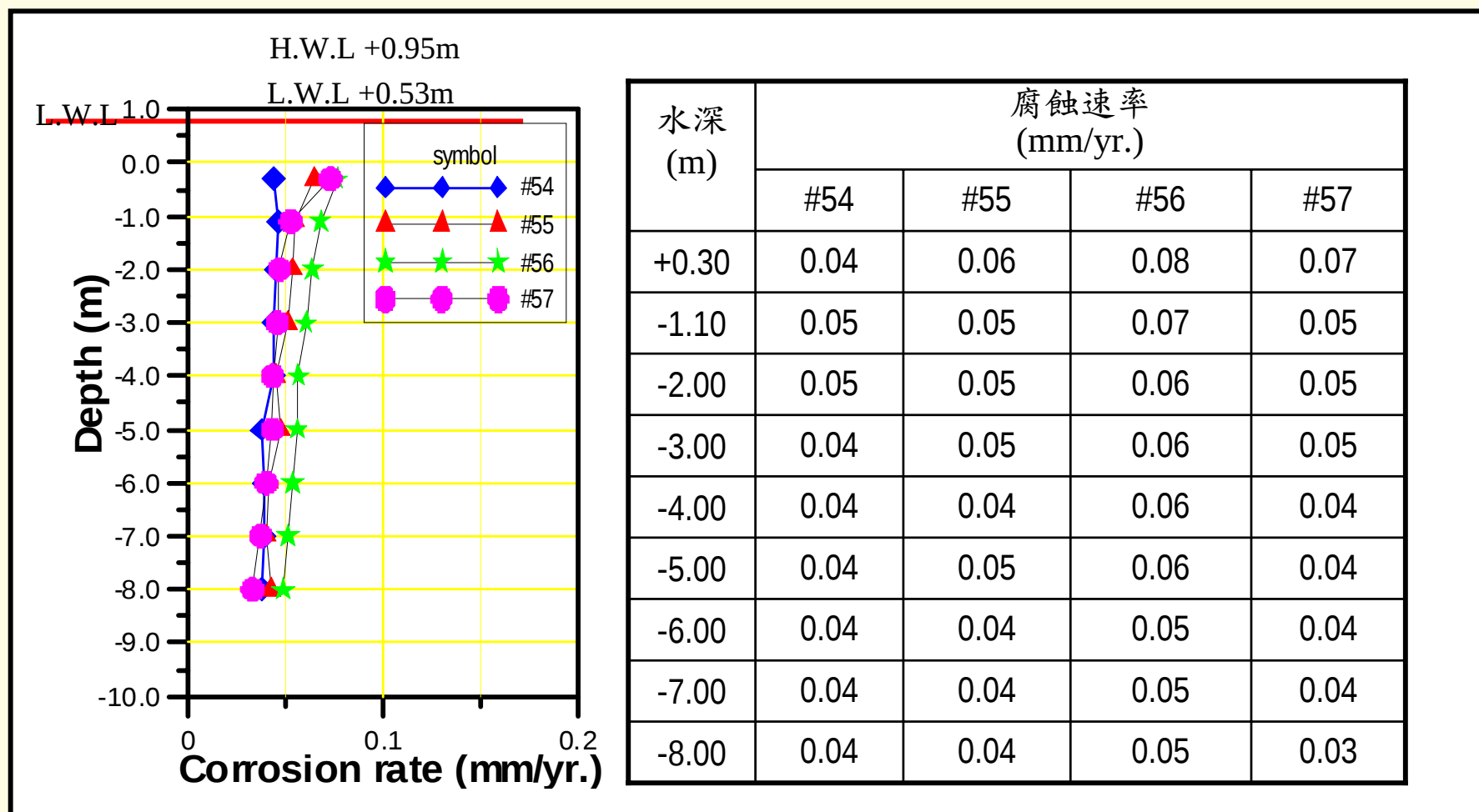
鋼樁現況調查結果

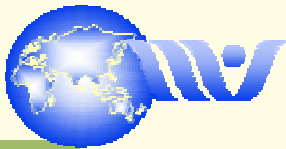
碼頭名稱	鋼樁外觀	平均腐蝕速率(mm/yr.)	最大腐蝕速率(mm/yr.)	鋼樁保護電位 (mV)	備註
高雄港54號	完整，未發現穿孔破洞等破損現象	0.04~0.05	0.10	-1113~-1038	採犧牲陽極法防蝕，舊有陽極塊已消耗殆盡，54號碼頭已於民國90年重新設計安裝。
高雄港55號		0.02~0.07	0.08	-795~-591	
高雄港56號		0.03~0.10	0.10	-699~-635	
高雄港57號		0.03~0.08	0.08	-935~-808	
馬公港6號	完整，未發現穿孔破洞等破損現象	0.03~0.05	0.06	-1101~-993	潮間帶採PVC防蝕帶，海中帶採犧牲陽極法防蝕。
馬公港7號		0.04~0.05	0.07	-1100~-1002	
馬公港8號		0.04~0.05	0.06	-1113~-990	

*設計規範允許最大速率0.20mm/yr.使用年限20年

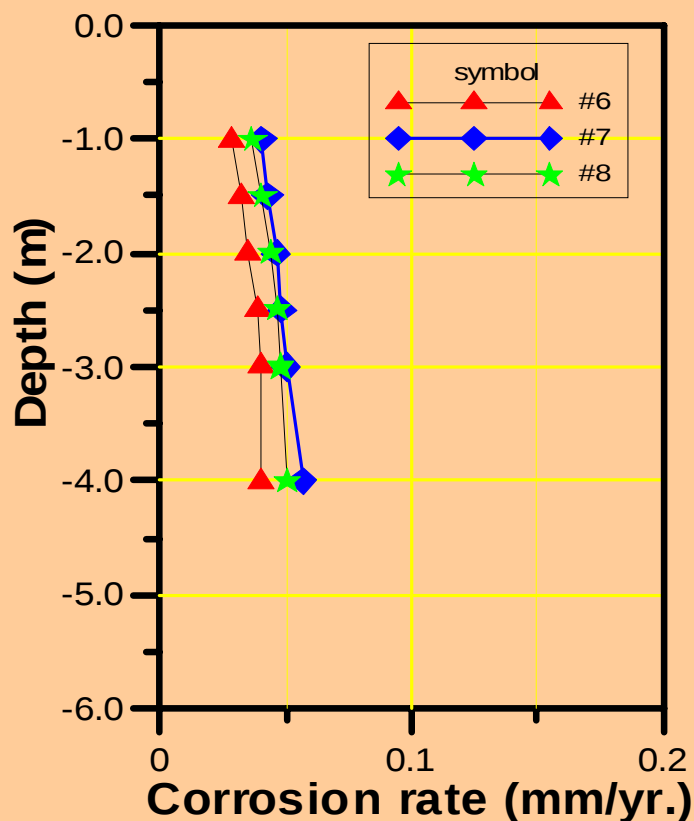


高雄港54至57號碼頭鋼板樁之腐蝕速率

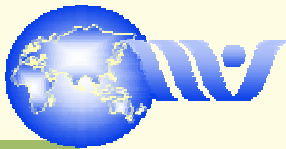




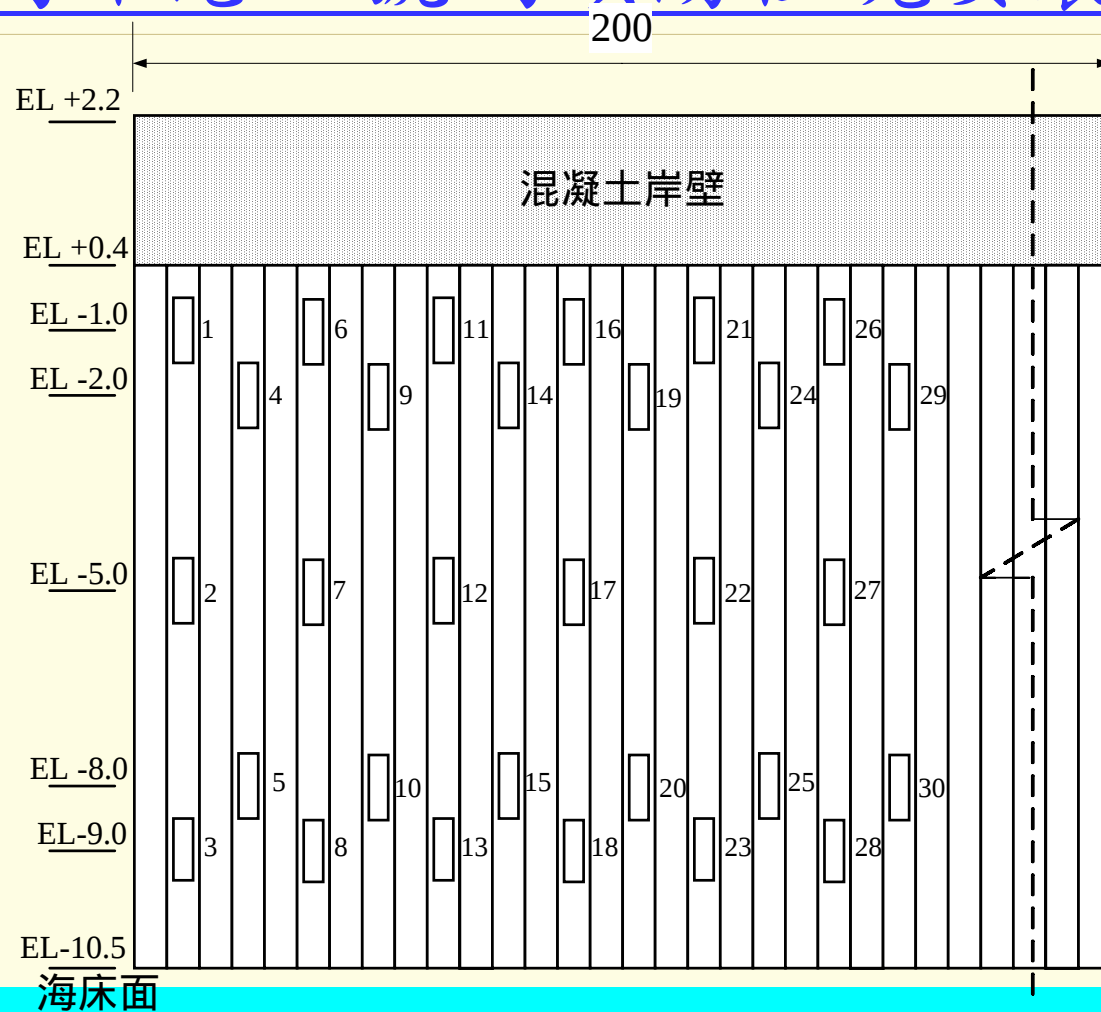
馬公港6至8號碼頭鋼板樁之腐蝕速率

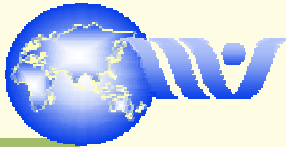


水深 (m)	腐蝕速率(mm/yr.)		
	#6	#7	#8
-1.0	0.028	0.040	0.037
-1.5	0.033	0.043	0.041
-2.0	0.035	0.046	0.044
-2.5	0.039	0.048	0.047
-3.0	0.040	0.050	0.048
-4.0	0.041	0.057	0.050

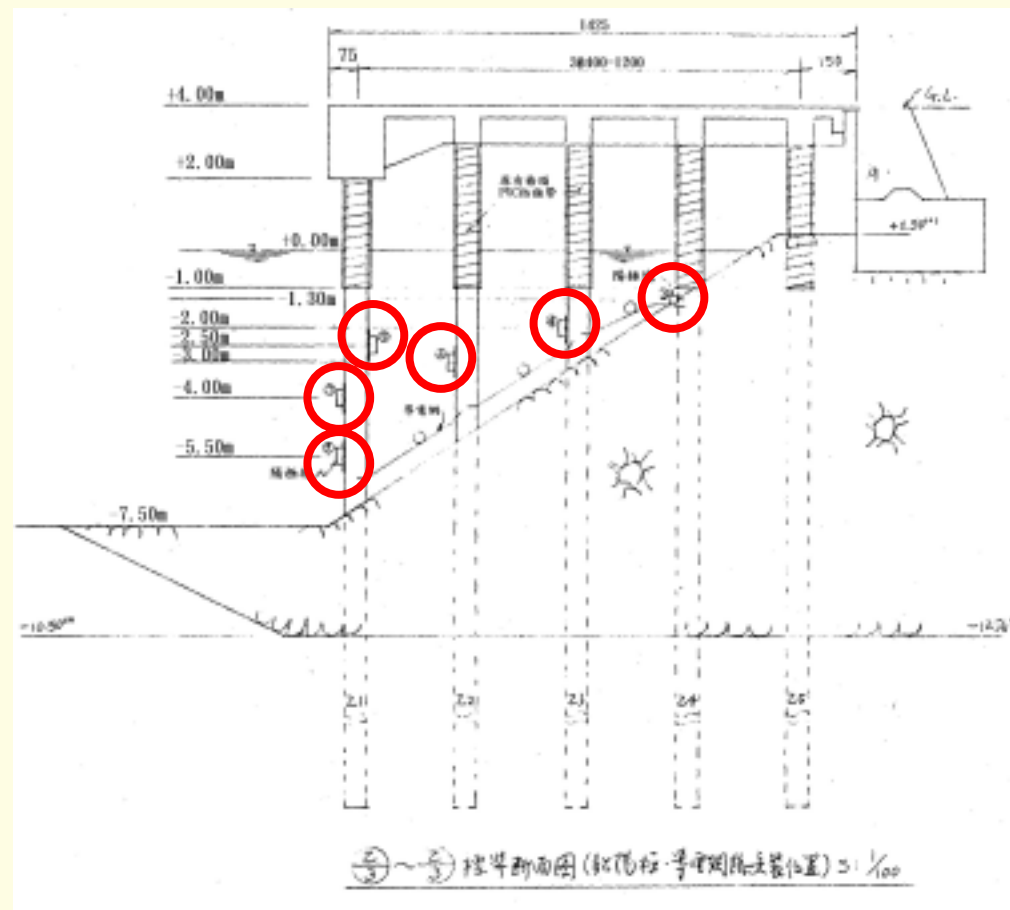


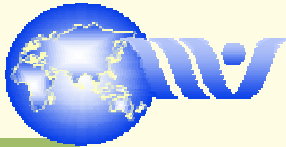
高雄港54號碼頭陽極塊安裝位置





馬公港6-8號碼頭陽極塊安裝位置

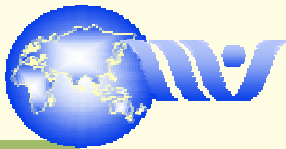




陽極塊調查--目視檢測



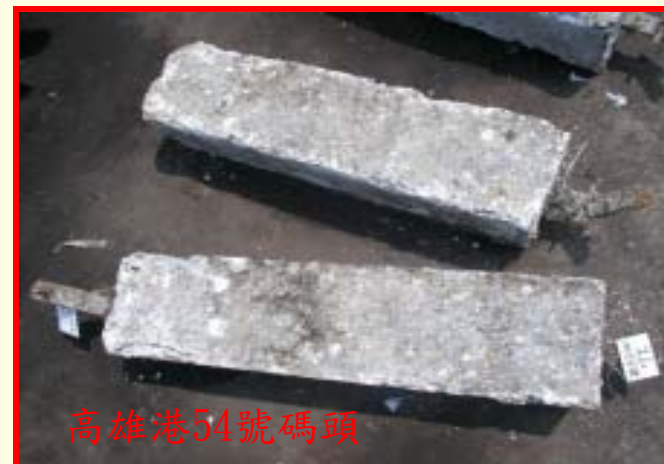
- 表面附著藤壺管蟲苔蘚蟲海葵海鞘等許多海生物
- 海生物敲除後，發現許多反應產物
- 反應產物為白色之氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 外觀仍然十分完整



陽極塊調查—外觀



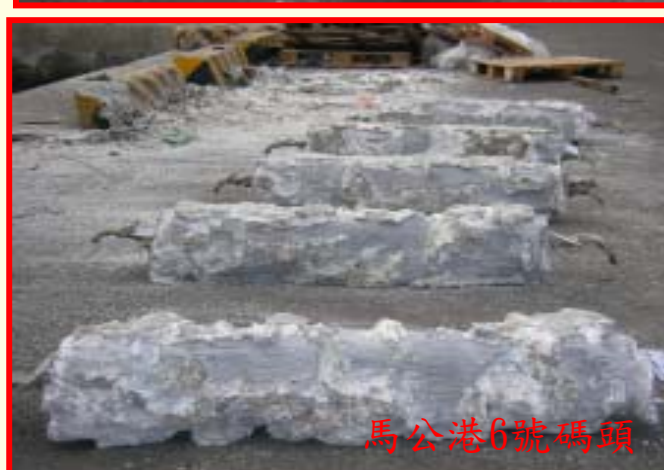
高雄港54號碼頭



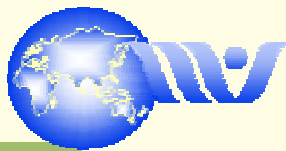
高雄港54號碼頭



馬公港6號碼頭

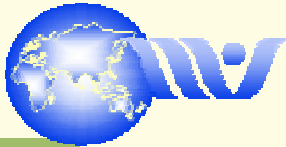


馬公港6號碼頭



陽極塊調查--尺寸與重量量測

檢測範圍	消耗速率 (kg/yr.)	發生電位 (mV)	釋出電流 (A)	備 註
高雄港54號碼頭	0.5~1.5	-1121~-1052	0.25~0.80	陽極塊尺寸： 高雄港 (210+250) × 240× 1000 馬公港 (190+230) × 200× 1000
馬公港6號碼頭	2.2~3.9	-1059~-1037	0.00~1.00	
馬公港7號碼頭	2.2~3.9	-1061~-1054	0.01~1.00	
馬公港8號碼頭	0.2~3.7	-1141~-1027	0.12~1.00	



結 論

-  碼頭鋼樁之腐蝕速率均小於設計允許值，安裝犧牲陽極塊可達到鋼樁防蝕保護之目的。
-  高雄港鋼板樁在潮位線下方約1公尺處附近其腐蝕速率最大，馬公港鋼管樁各檢測水深與腐蝕速率較無明顯差異。
-  高雄港鋼板樁腐蝕速率稍大於馬公港鋼管樁。



建議



鋼材在採用足夠防蝕措施之前提下，可適度延長其使用年限。



碼頭平時巡查時，可將鋼樁保護電位量測列為必須實施項目。



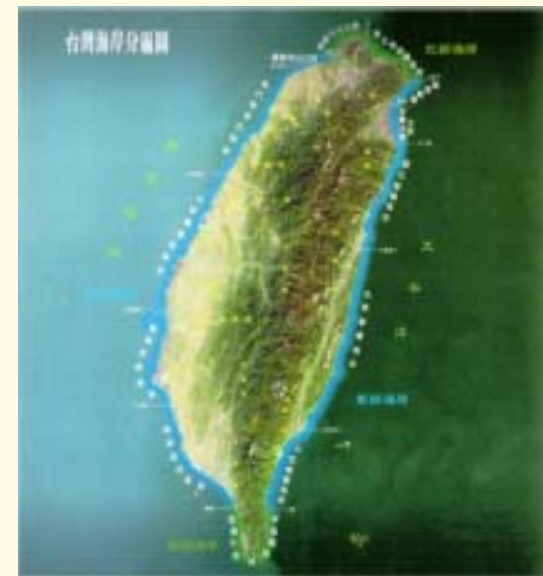
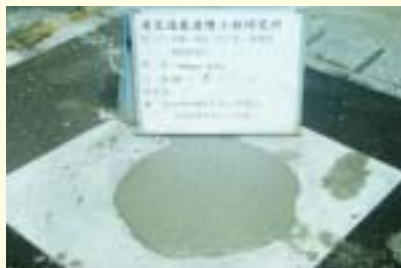
碼頭使用時間超過二十年以上者，應加強碼頭安全巡查頻率。



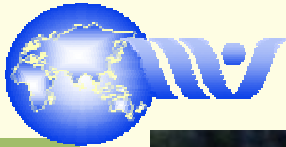
各維護單位可參酌相關規範及準則，研訂一套標準化可因地制宜之措施。



子計畫二：港灣鋼筋混凝土耐久性之研究



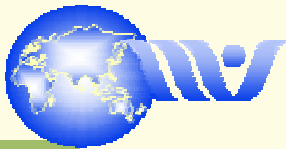
港灣構造物耐久性與維護機制之研究



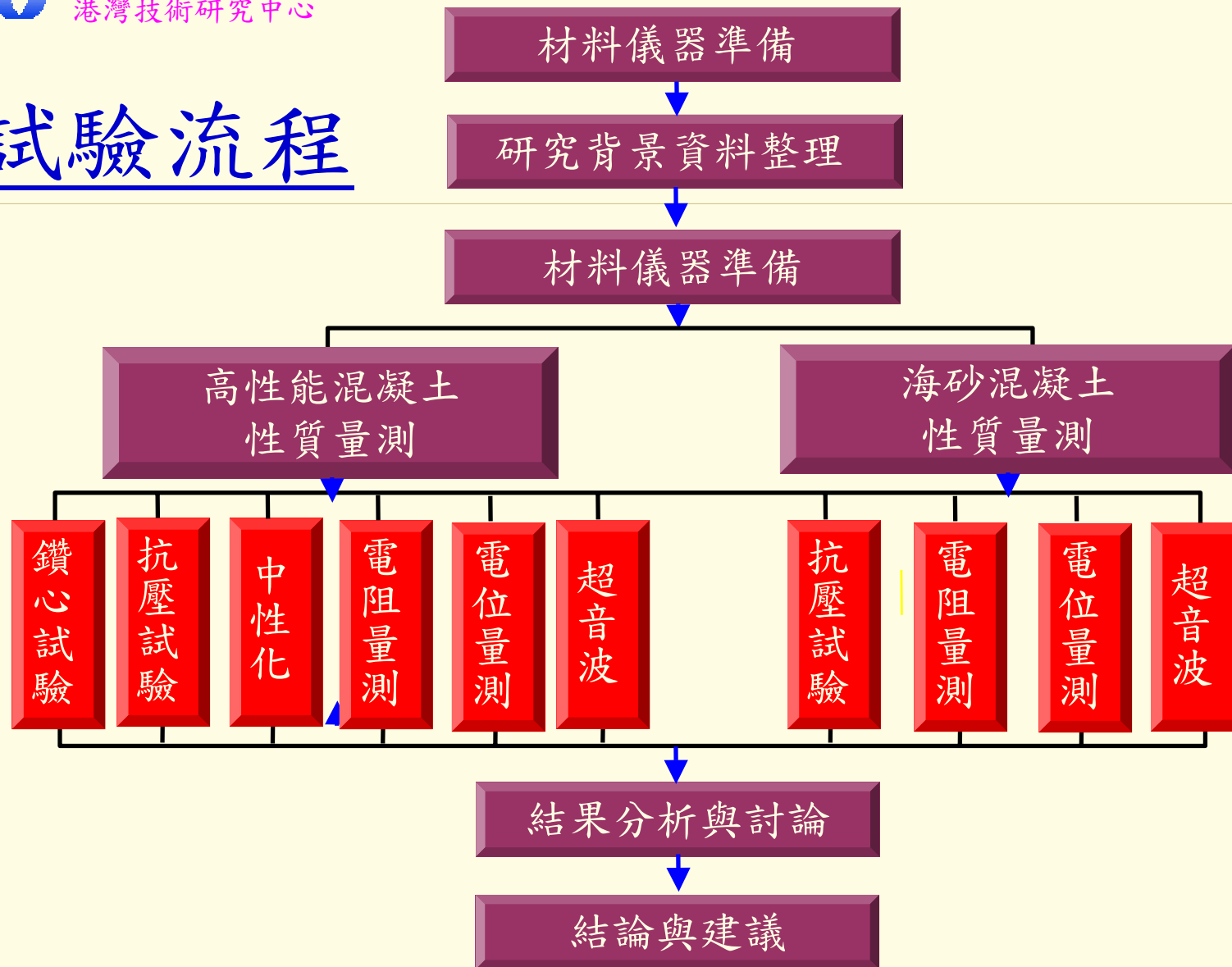
Part 1：港灣環境下高性能混凝土結構之性質研究

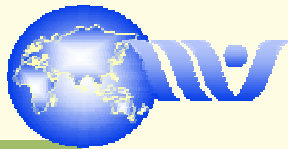
Part 2：摻用爐石對海砂混凝土之影響





試驗流程





Part 1：港灣環境下高性能混凝土 結構體之性質研究

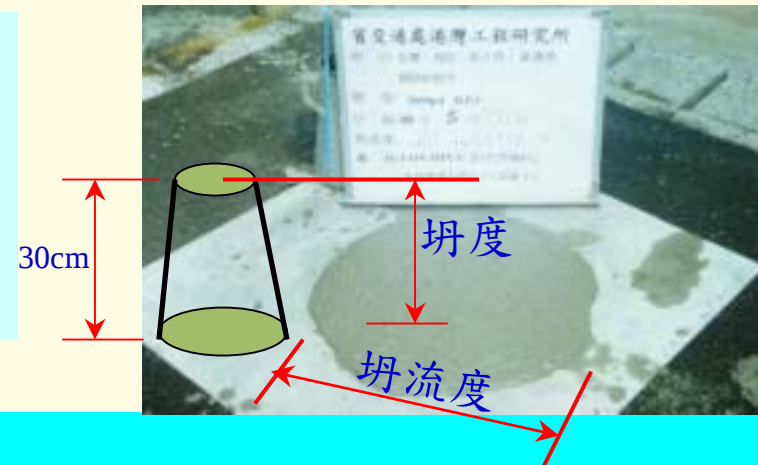


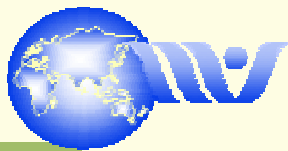
高性能混凝土之定義

國科會HPC研究群民國85年12月8日

1. HPC之特性為 $f_c' = 4000 \sim 5000$ psi
2. 水泥應有每公斤15 psi強度以上之效益
3. 初期坍度為 220 ± 20 mm，坍流度為 500 ± 100 mm
4. 45分鐘後坍度應大於200 mm，坍流度在400 mm以上
5. 水灰比 ≥ 0.42
6. 波索蘭材料 $\leq 30\%$ 為原則之免搗實混凝土

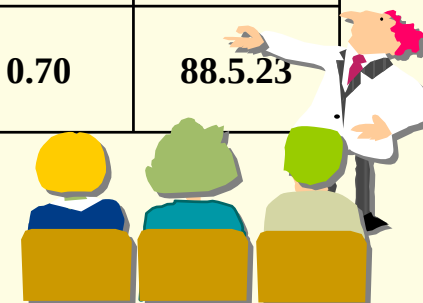
美國混凝土學會對「高性能混凝土」之定義，指稱「高性能混凝土」為性質優於傳統混凝土。

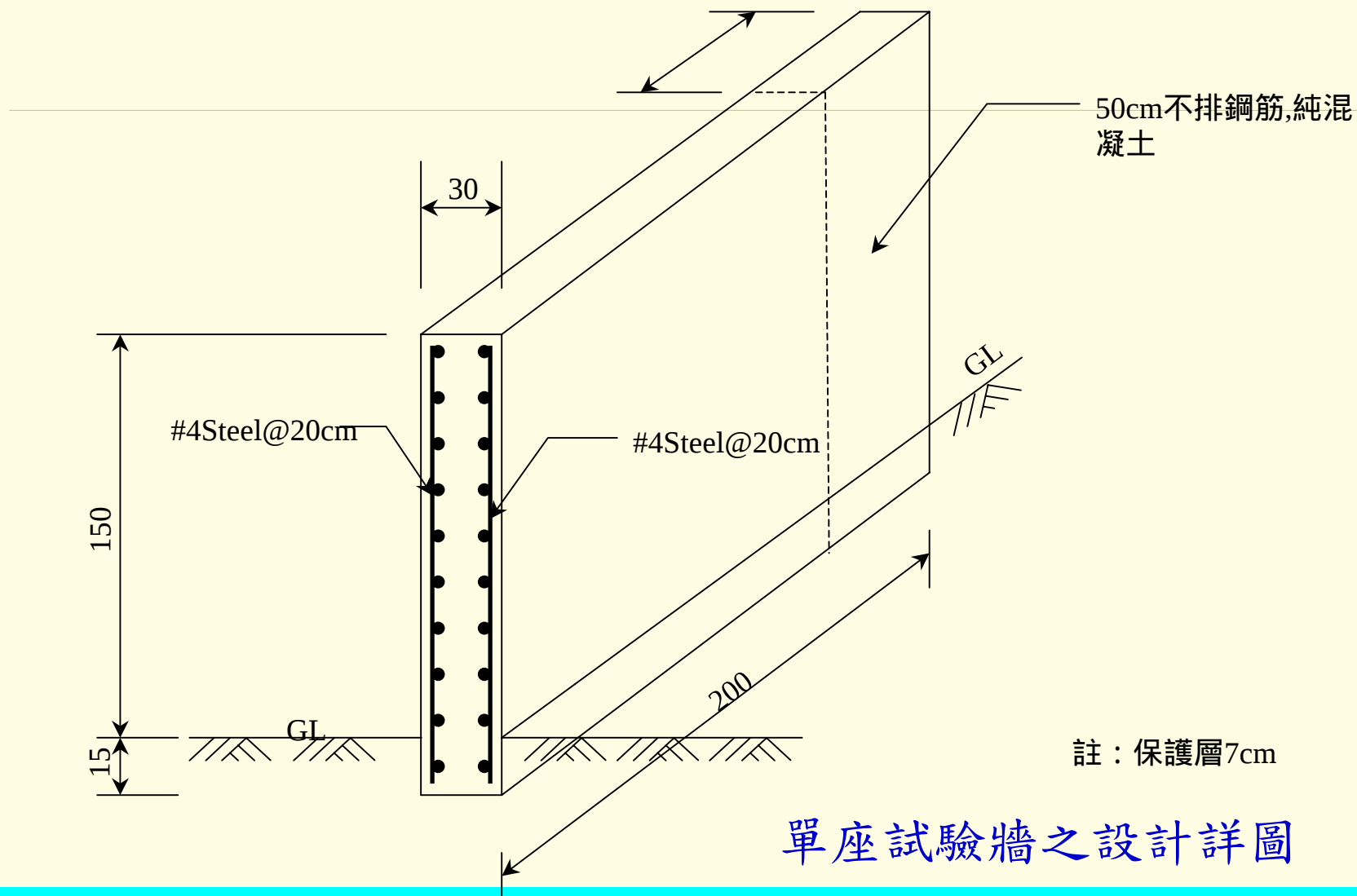
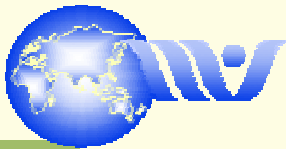


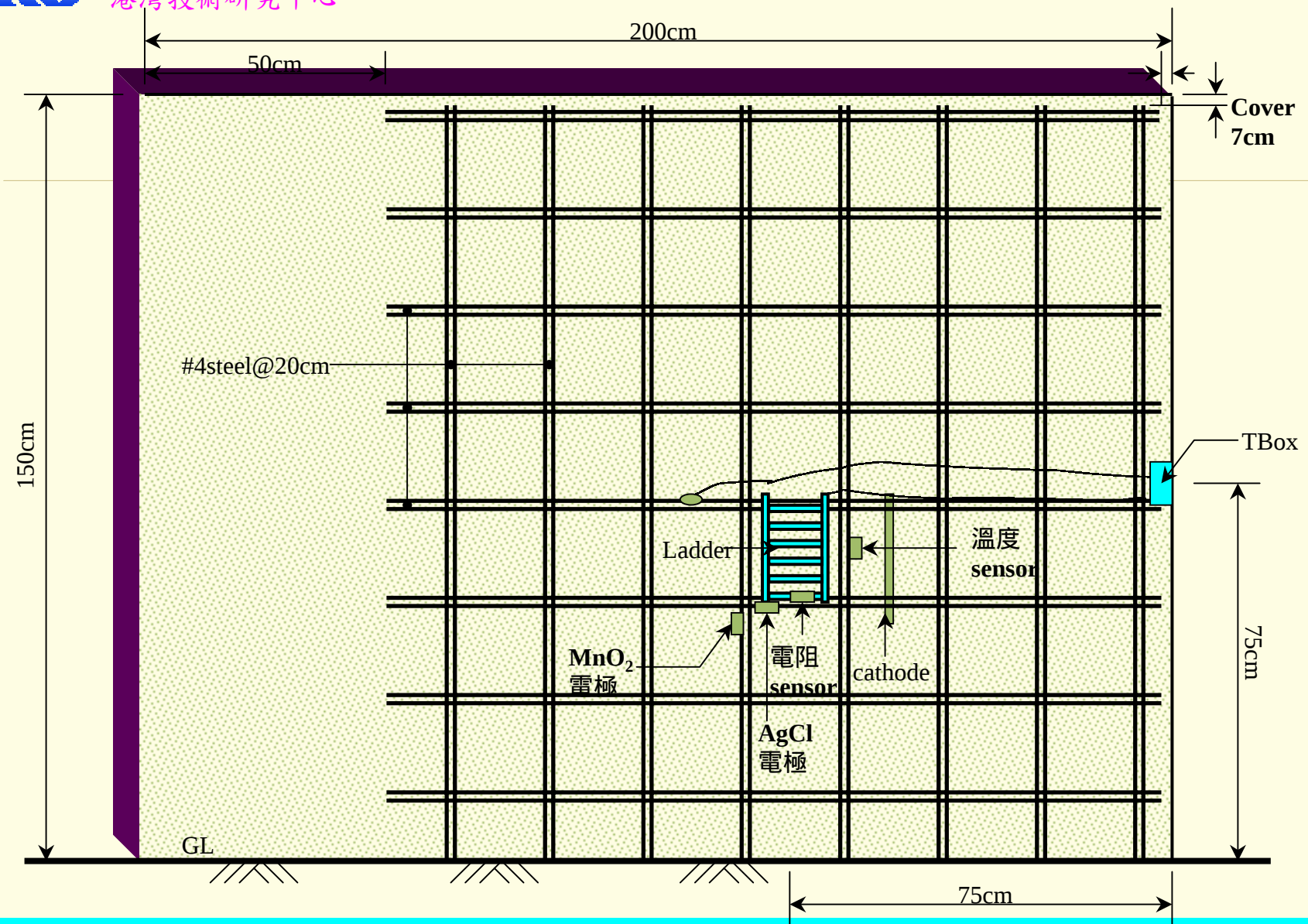
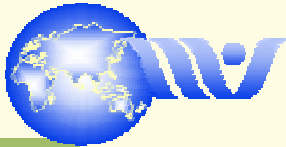


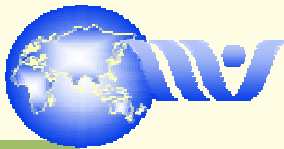
高性能混凝土之配比

性質 配比	設計強度 (Kgf/cm ²)	混凝土 種類	重量(kg/cm ³)						水灰比 (W/C)	灌製日期
			粗骨材	細骨材	水泥	飛灰 爐石	水	強塑 劑		
A	280 (4000psi)	HPC	990	780	250	200	140	10	0.56	88.5.6
B	280 (4000psi)	OPC	894	834	387	—	205	—	0.53	88.5.13
C	350 (5000psi)	HPC	1000	710	300	200	140	11	0.47	88.5.20
D	210 (3000psi)	HPC	980	880	200	220	140	9.5	0.70	88.5.23

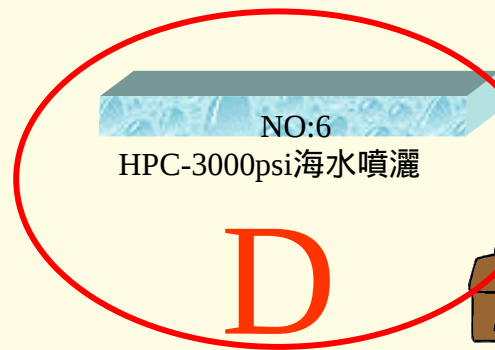
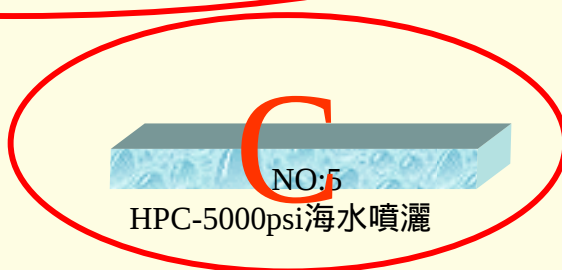
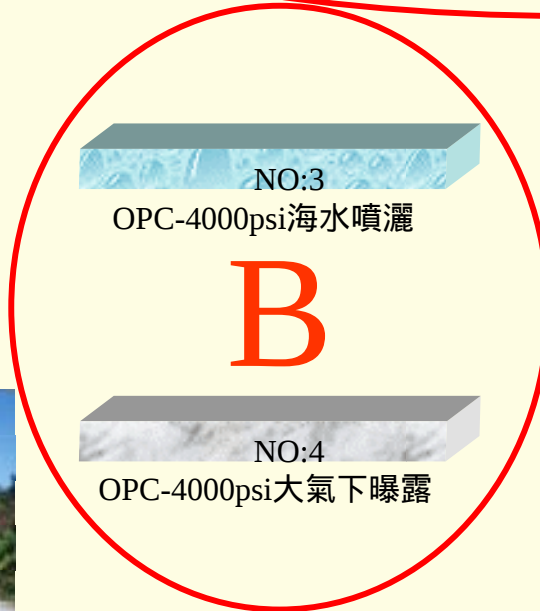
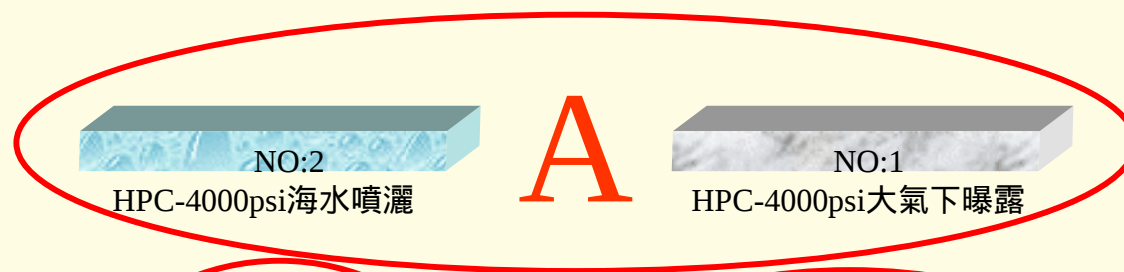






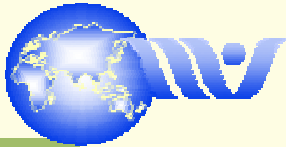


第二海水循環水槽



第一海水循環水槽

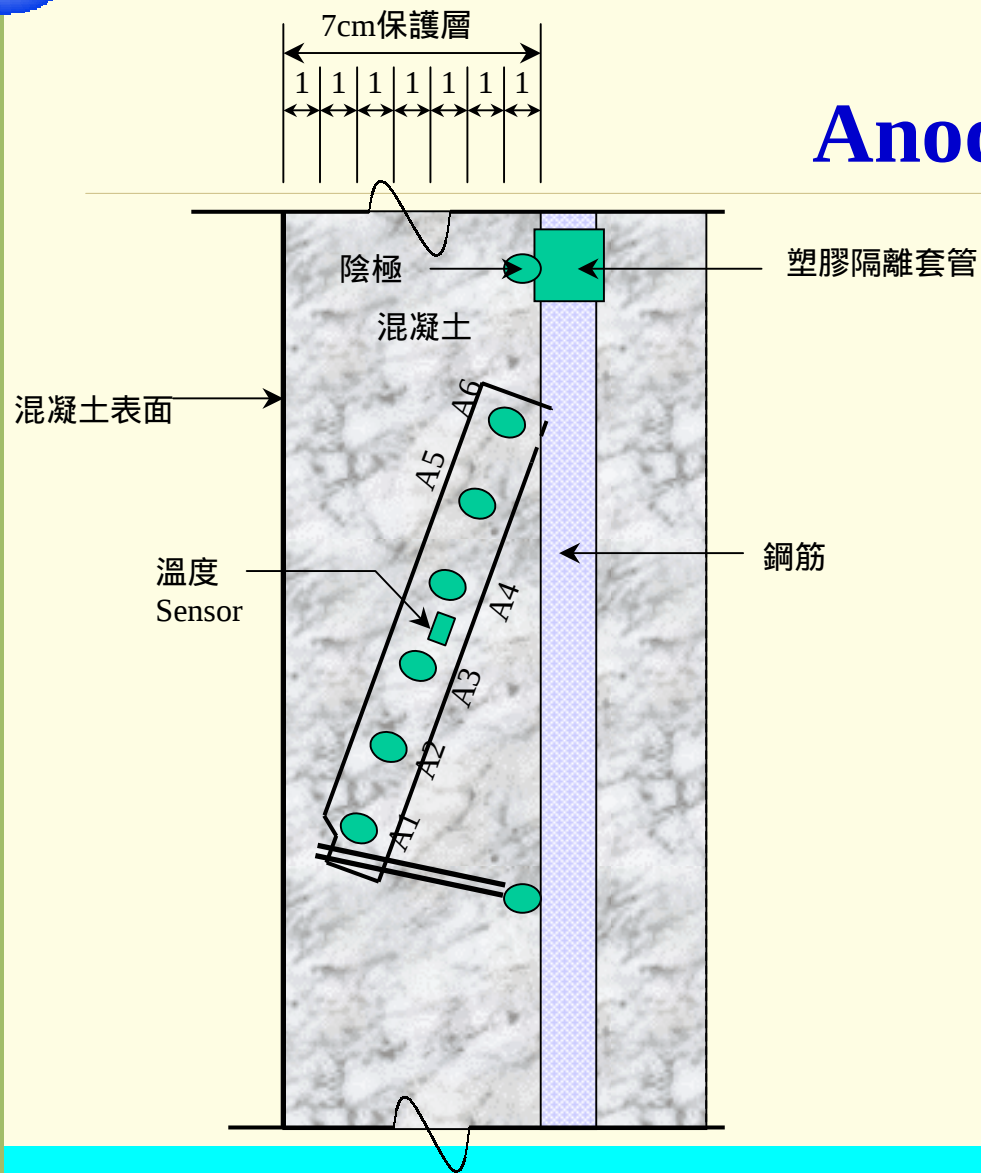
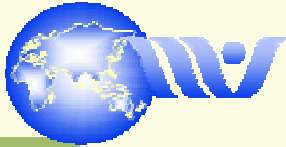




混凝土試驗牆暴露位置現場配置圖



試驗牆內 Sensor 埋設情形



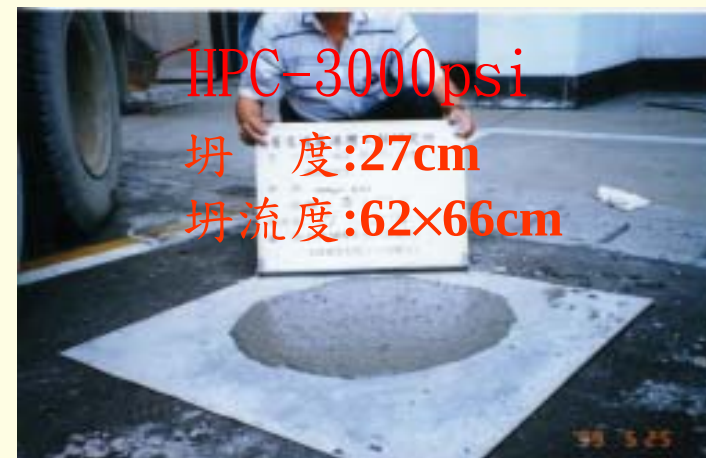
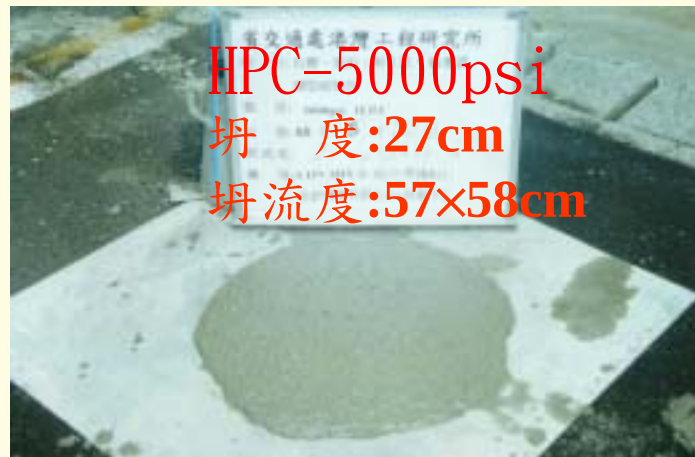
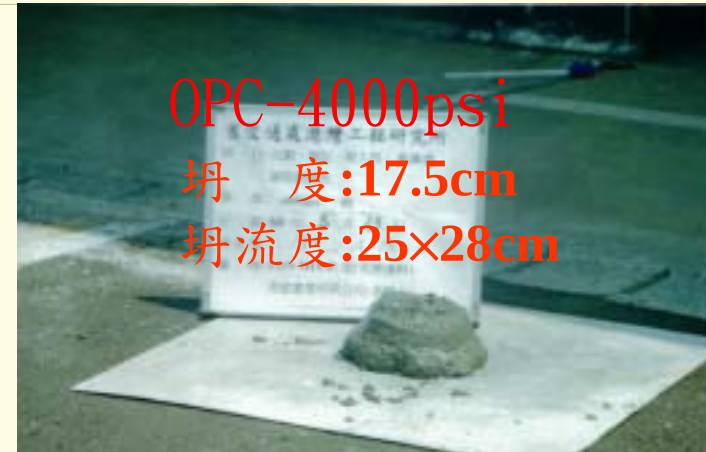
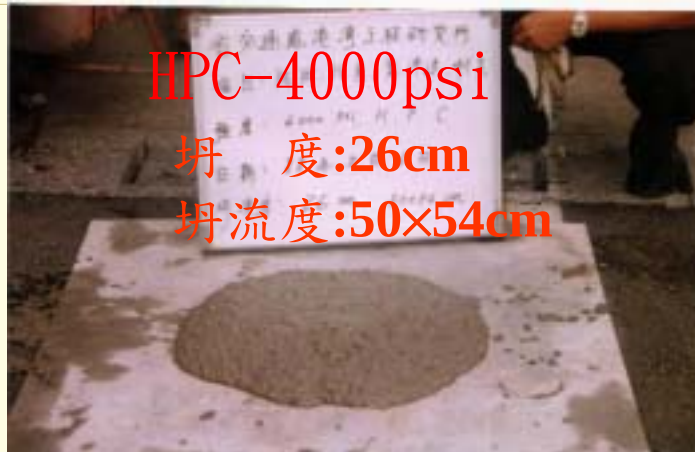
Anode Ladder System 量測

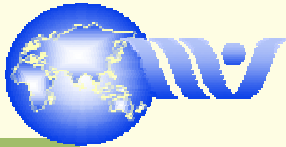
本試驗的目的：

試驗量測為A1~A6與陰極之電位、電流及各陽極間之電阻作為判斷A1~A6之陽極（亦就是在模擬不同混凝土保護層厚度下）腐蝕現況。如果此系統能正確評估內部鋼筋之腐蝕現況，即可應用於新建工程之結構體內，以便隨時監控混凝土及其內部鋼筋之現況。



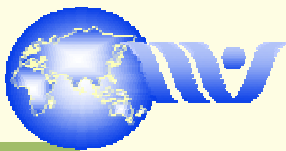
工作性（坍度與坍流度）





現地試驗

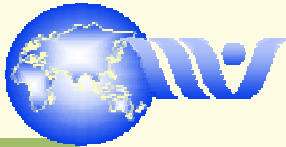




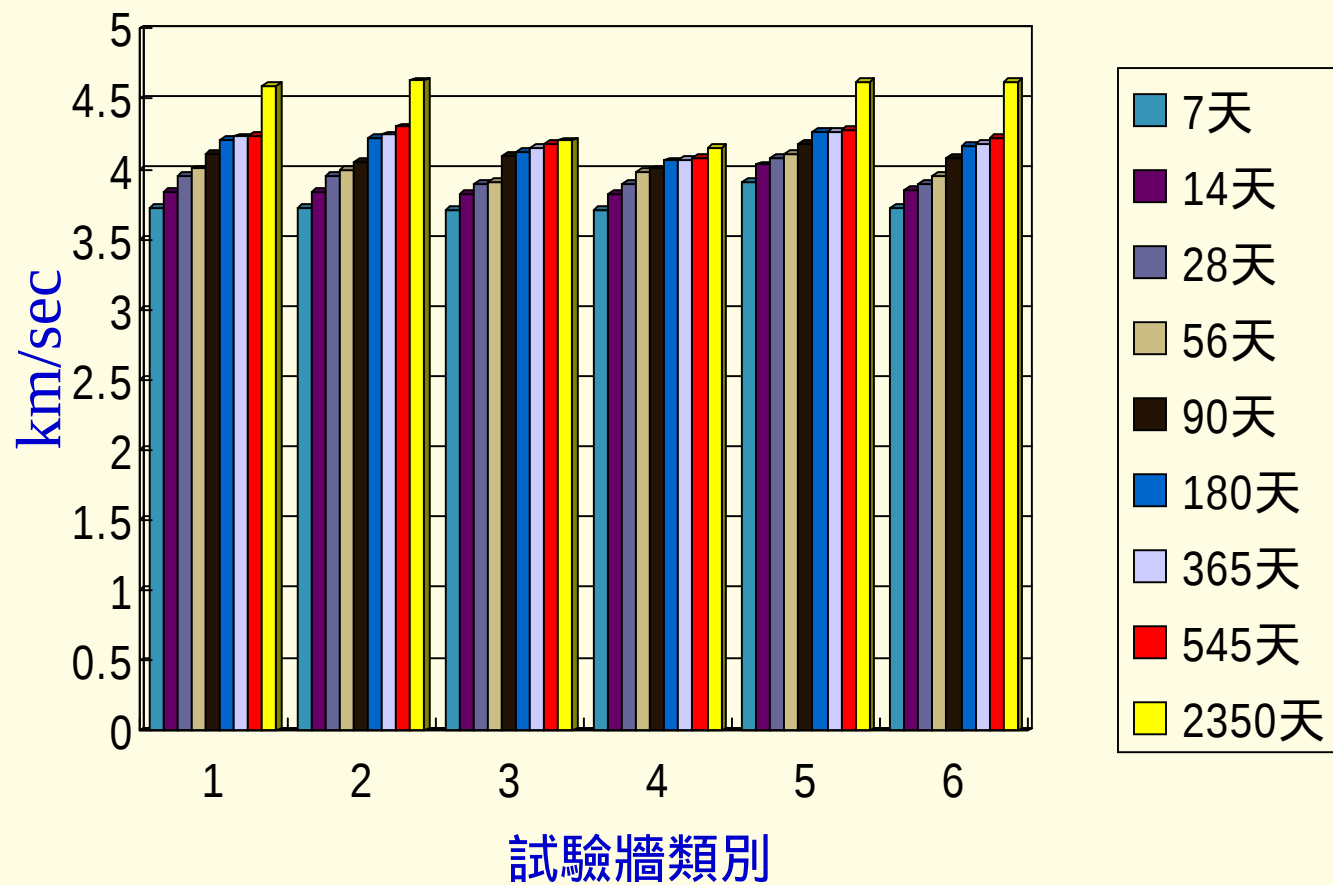
混凝土中性化與電阻係數

混凝土配比	暴露環境	電阻係數 KΩ cm	深度 (cm)
HPC 4000psi	AIR	42.9	0.2
HPC 4000psi	SEA	44.4	0
OPC 4000psi	SEA	30.8	0.5
OPC 4000psi	AIR	34.2	1.5
HPC 5000psi	SEA	41.4	0
HPC 3000psi	SEA	51.8	0



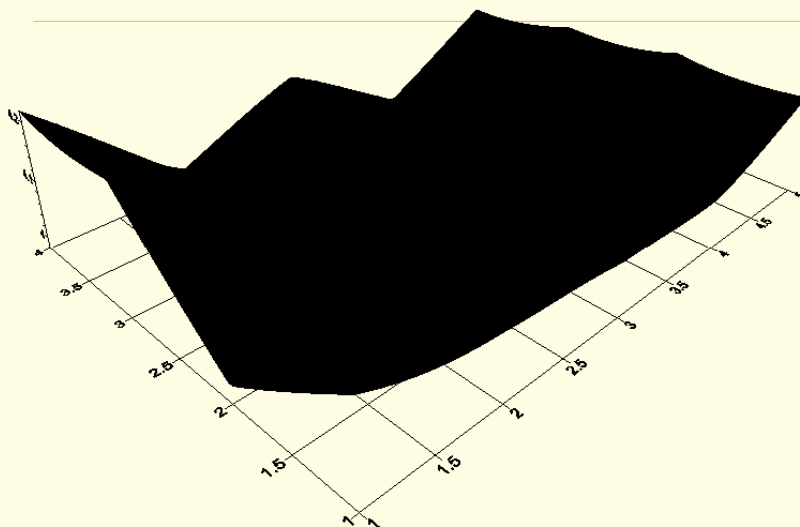


超音波量測



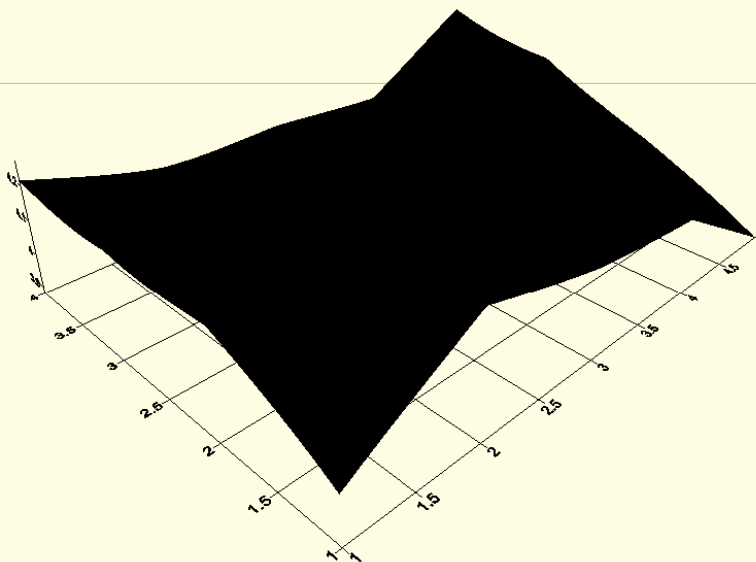
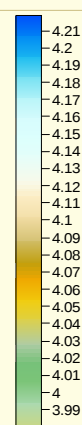


試驗牆超音波量測



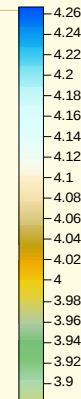
	1	2	3	4	5
1	4.155	4.098	4.076	4.071	4.155
2	4.011	4.038	4.138	4.000	4.155
3	4.208	4.071	4.149	4.021	4.132
4	4.219	4.016	4.110	3.979	4.100

OPC-4000psi(sea) Km/sec



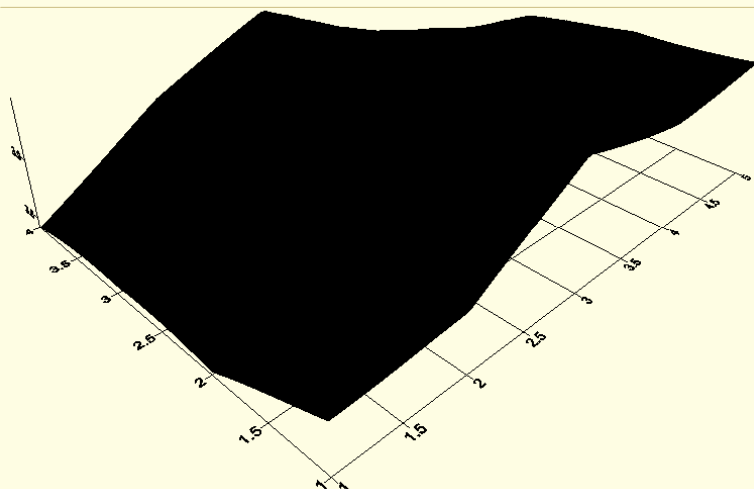
	1	2	3	4	5
1	4.021	4.237	4.144	4.104	3.881
2	4.190	4.138	4.121	4.065	4.054
3	4.190	3.995	4.110	4.049	4.202
4	4.213	4.140	4.098	4.065	4.267

OPC-4000psi(air) Km/sec



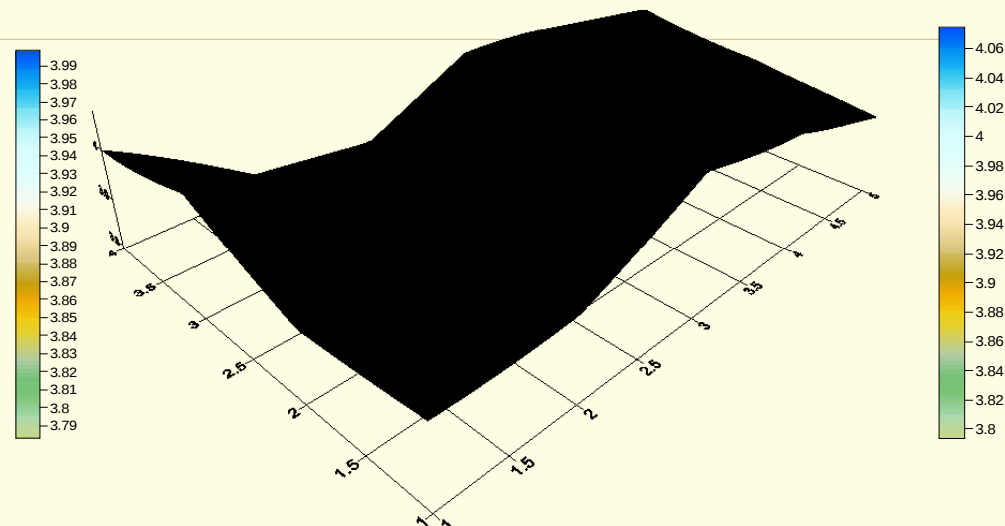


試驗牆超音波量測



	1	2	3	4	5
1	3.866	3.881	4.000	3.958	3.979
2	3.788	3.916	3.927	3.916	3.963
3	3.797	3.906	3.979	3.968	3.927
4	3.783	3.916	4.000	3.881	3.812

OPC-4000psi(sea) Km/sec

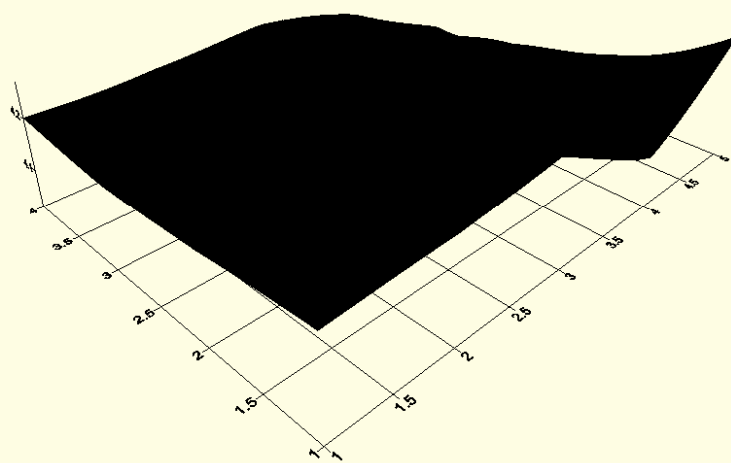


	1	2	3	4	5
1	3.958	3.963	4.076	4.032	3.958
2	3.937	3.927	3.974	3.932	3.989
3	4.038	3.922	3.876	3.932	4.016
4	4.0	3.831	3.793	3.911	3.886

OPC-4000psi(air) Km/sec

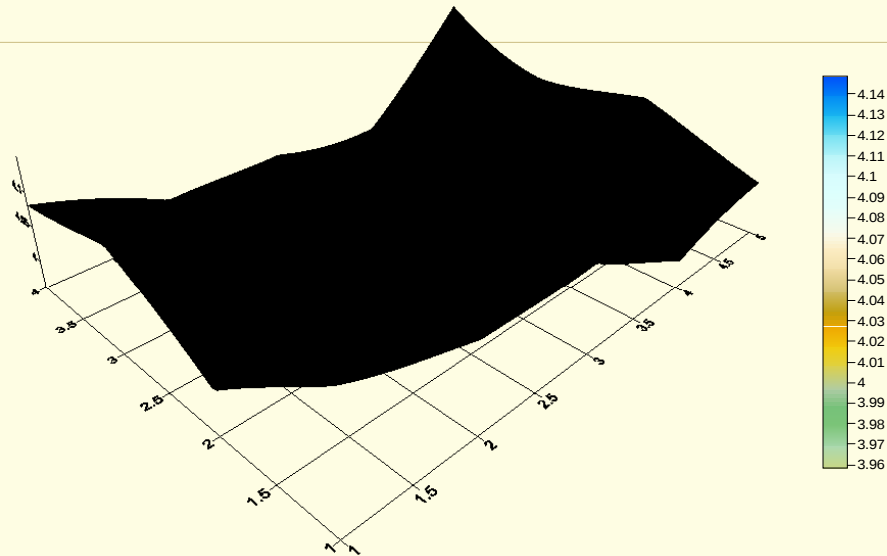


試驗牆超音波量測



	1	2	3	4	5
1	4.261	4.225	4.249	4.127	4.267
2	4.196	4.213	4.132	4.038	4.150
3	4.184	4.161	4.219	4.208	4.093
4	4.202	4.202	4.213	4.161	4.027

OPC-4000psi(sea) Km/sec

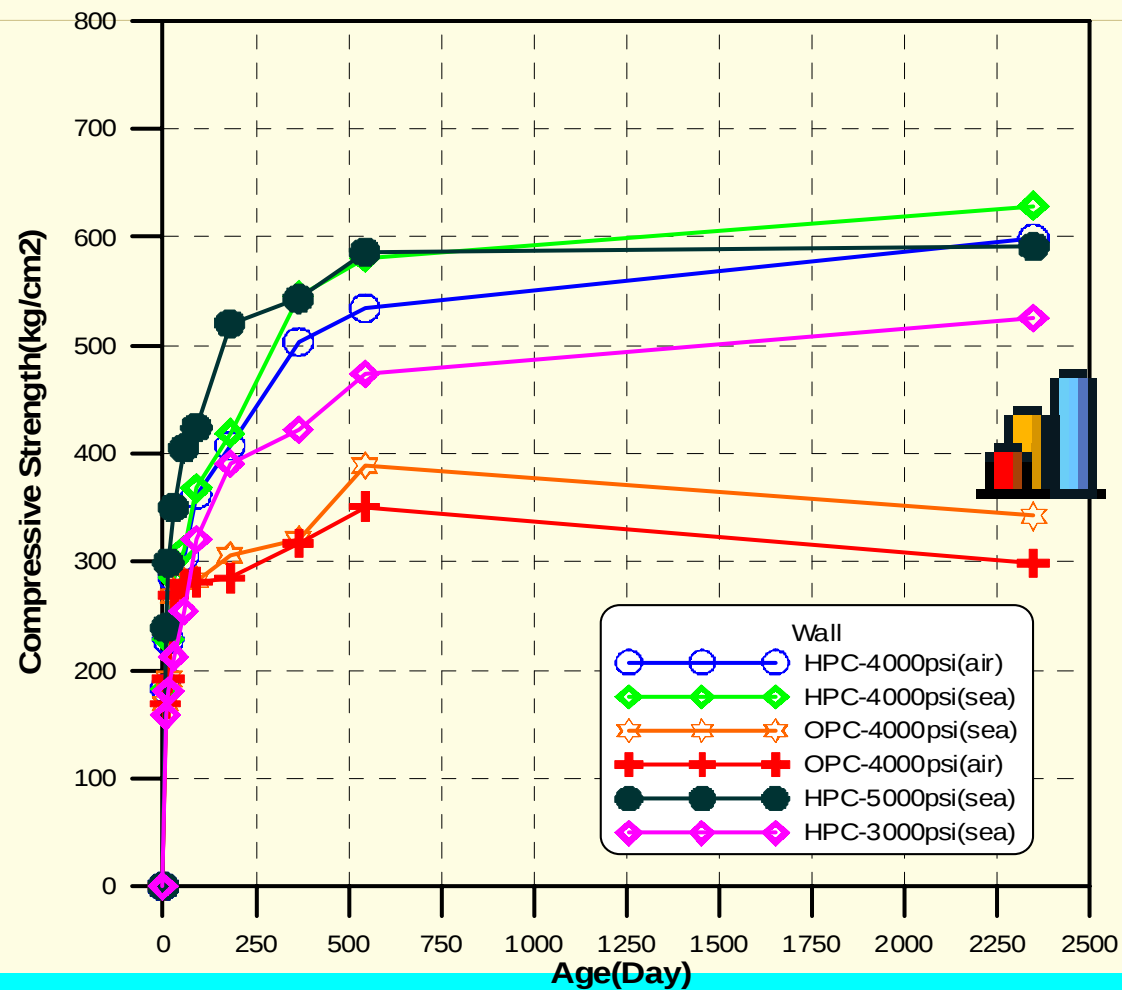


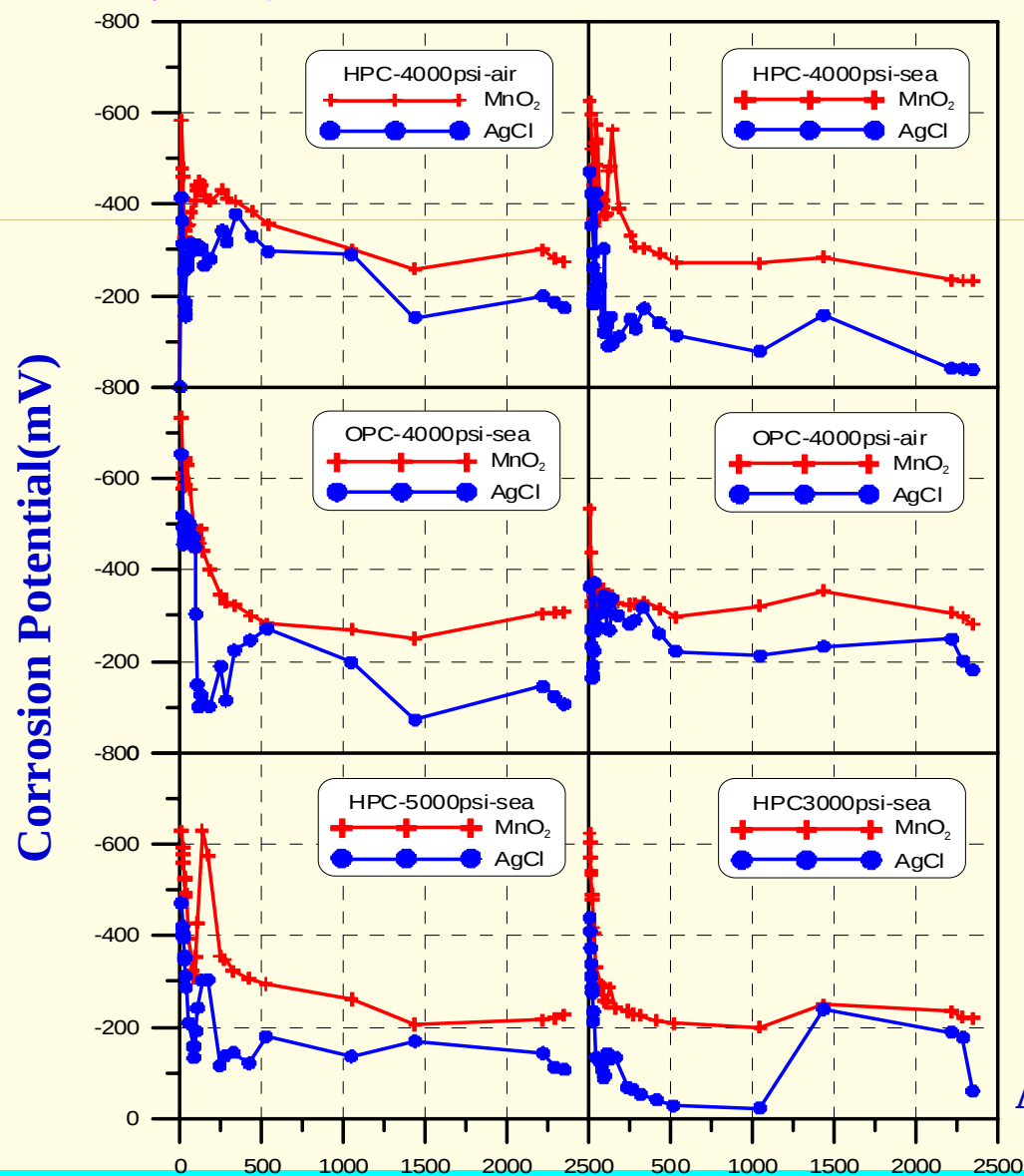
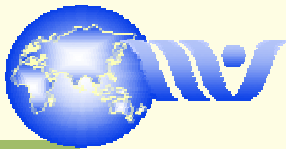
	1	2	3	4	5
1	4.144	4.087	4.087	4.000	4.038
2	4.021	4.098	4.000	4.082	4.104
3	4.110	4.082	3.968	3.958	4.076
4	4.082	4.011	4.011	3.989	4.149

OPC-4000psi(air) Km/sec



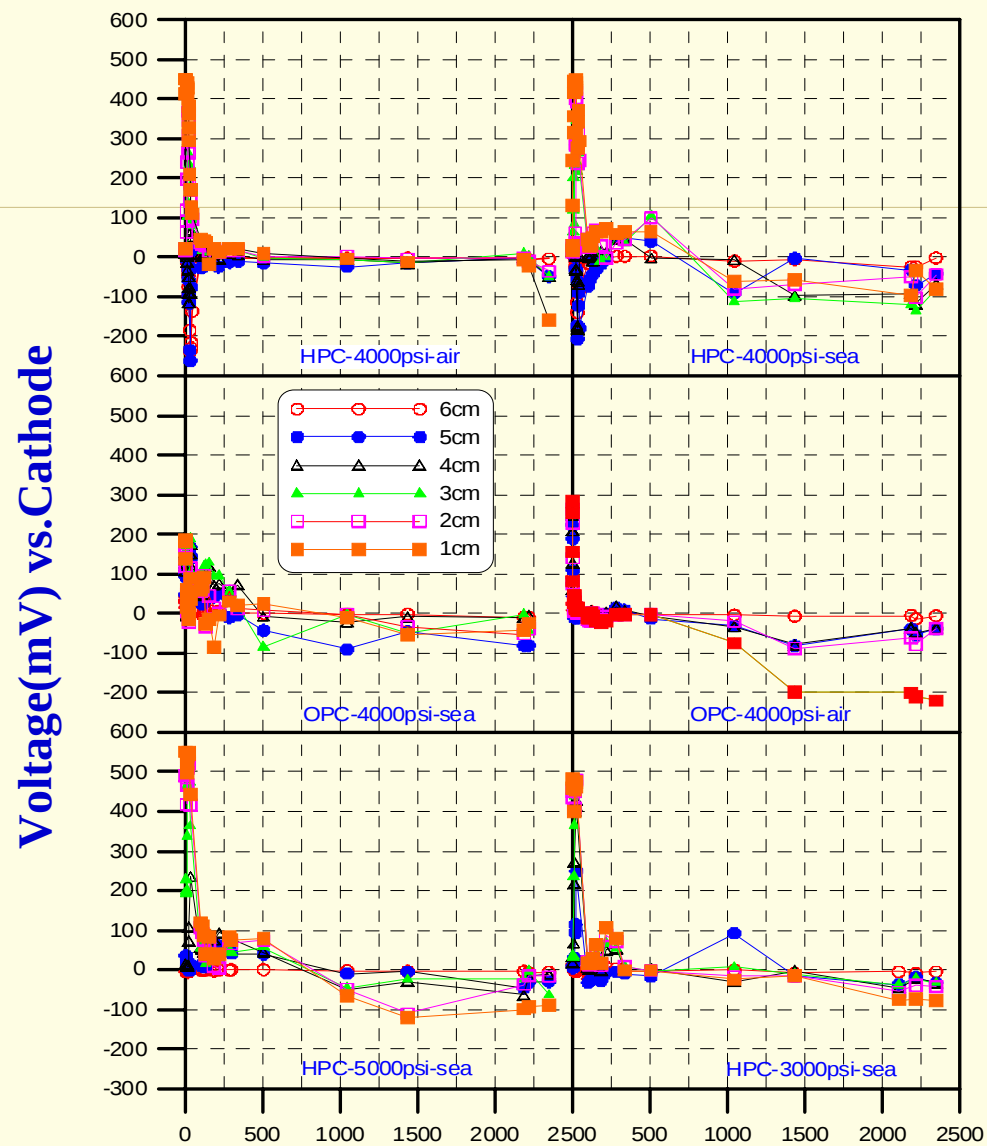
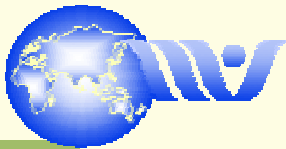
混凝土抗壓強度





腐蝕電位與
齡期關係圖

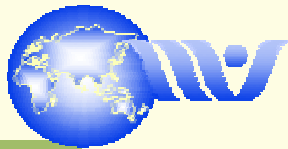




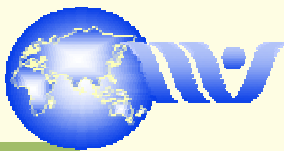
Ladder System

各陽極對陰之電
位與齡期關係





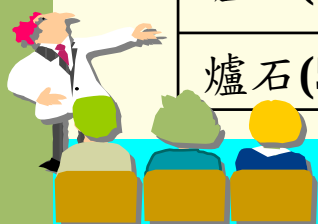
Part 2：摻用爐石對海砂混凝土之影響

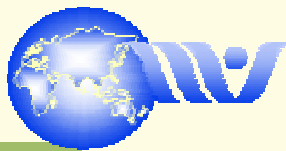


配比設計A水灰比($W/C=0.45$)

爐石取代 水泥量	編號	粗骨材 (kg/m^3)	細骨材-河砂 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	爐石 (kg/m^3)
爐石(0%)	A-R0	863	718	218	484	0
爐石(30%)	A - R 3 0	863	718	218	339	145
爐石(50%)	A - R 5 0	863	718	218	242	242

爐石取代 水泥量	編號	粗骨材 (kg/m^3)	細骨材-海砂 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	爐石 (kg/m^3)
爐石(0%)	A-D0	807	789	218	484	0
爐石(30%)	A - D 3 0	807	789	218	339	145
爐石(50%)	A - D 5 0	807	789	218	242	242

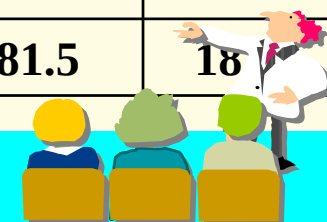




配比設計B水灰比($W/C = 0.60$)

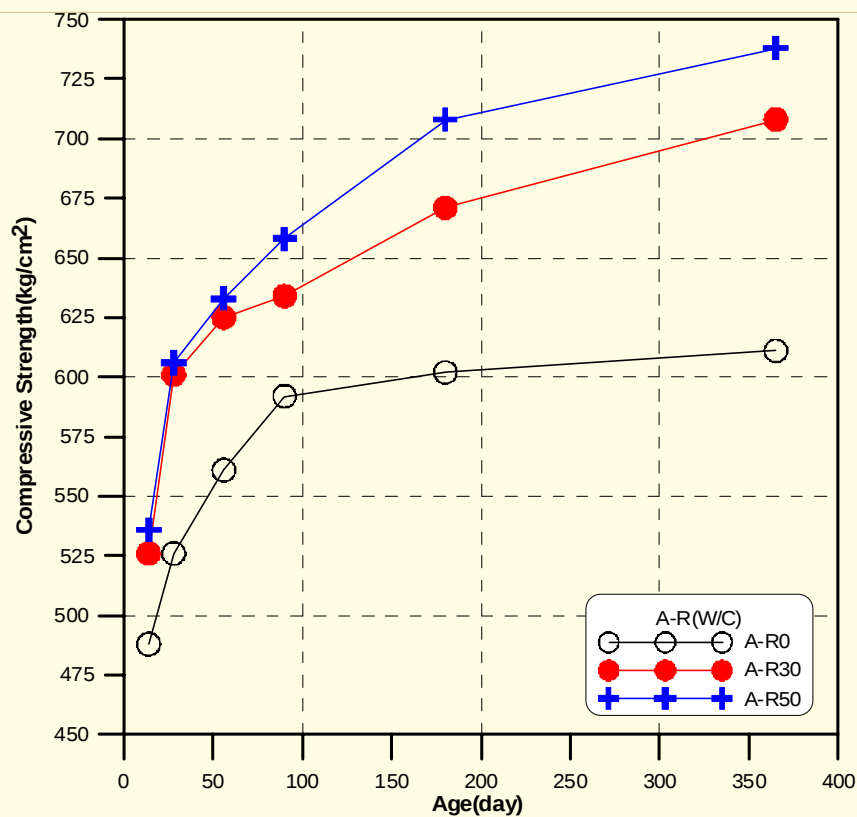
爐石取代 水泥量	編號	粗骨材 (kg/m^3)	細骨材-河砂 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	爐石 (kg/m^3)
爐石(0%)	B-R0	863	819	218	363	0
爐石(30%)	B - R 3 0	863	819	218	254	109
爐石(50%)	B - R 5 0	863	819	218	181.5	181.5

爐石取代 水泥量	編號	粗骨材 (kg/m^3)	細骨材-海砂 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	爐石 (kg/m^3)
爐石(0%)	B-D0	807	892	218	363	0
爐石(30%)	B - D 3 0	807	892	218	254	109
爐石(50%)	B - D 5 0	807	892	218	181.5	181.5

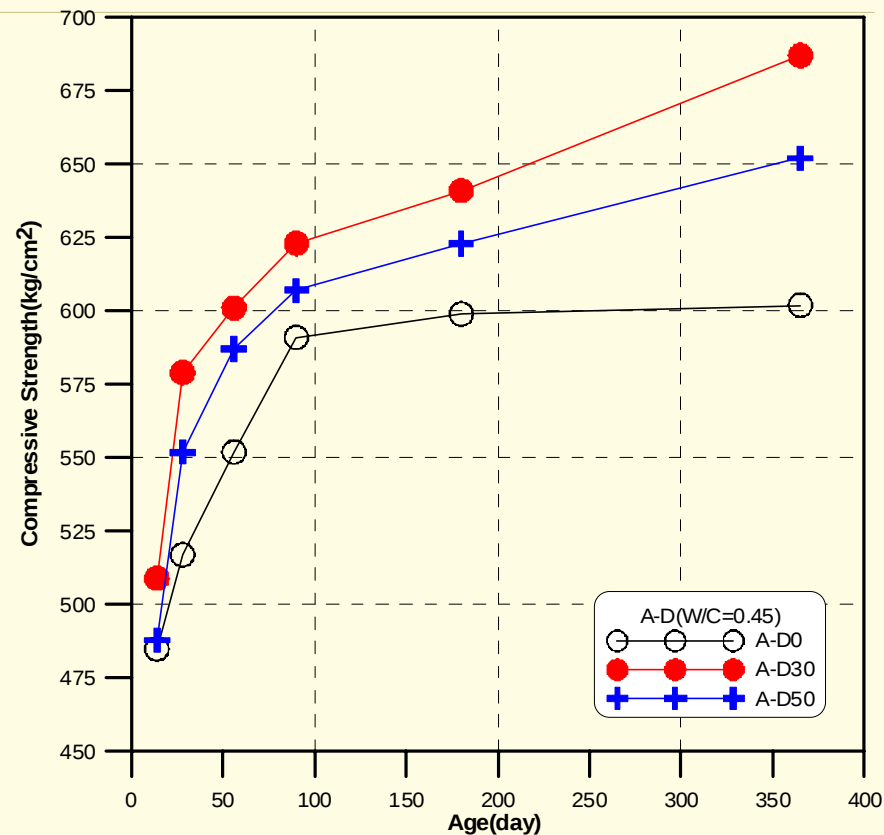




1. 抗壓強度 $A(W/C=0.45)$



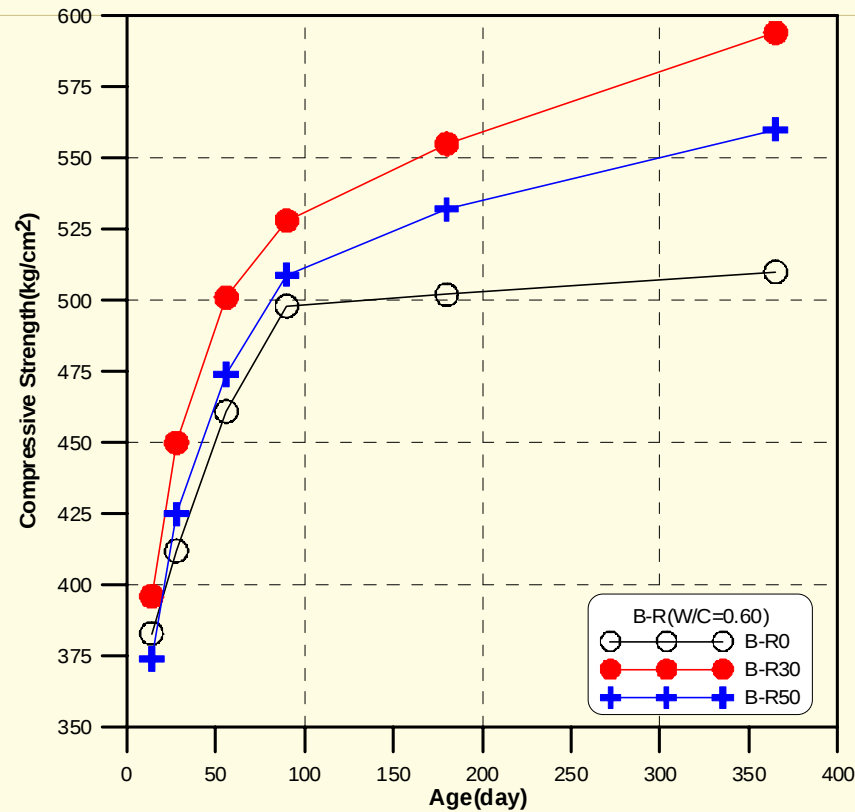
河砂與爐石之抗壓強度發展與齡期之關係



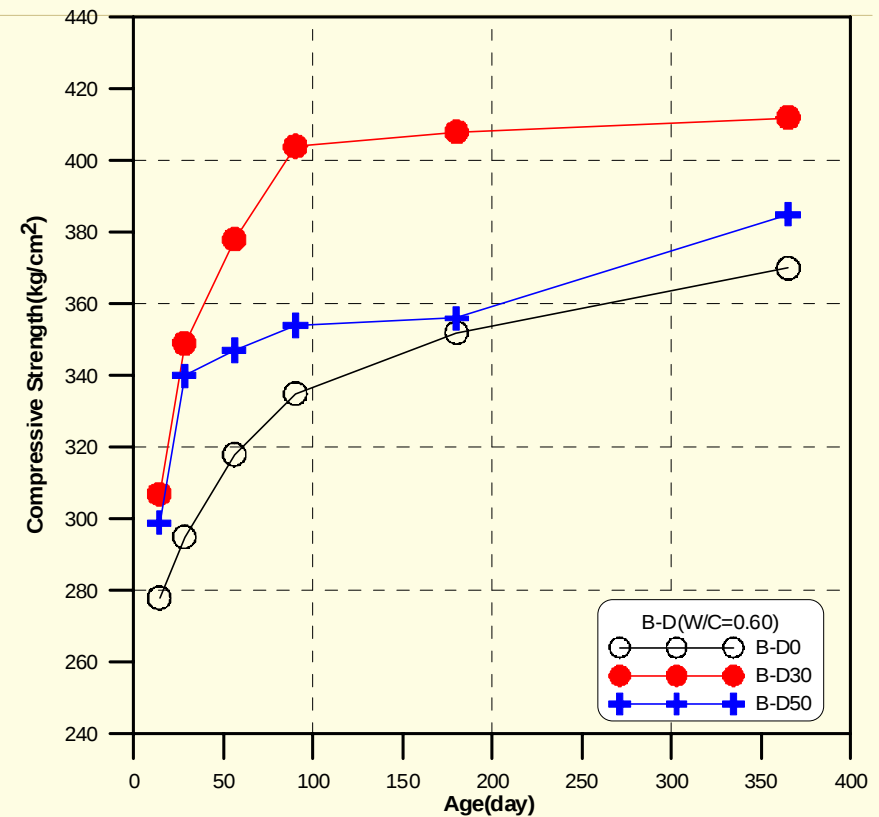
海砂與爐石之抗壓強度發展與齡期之關係



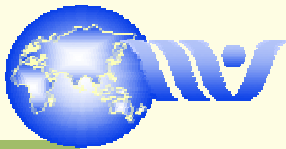
1. 抗壓強度 B(W/C=0.60)



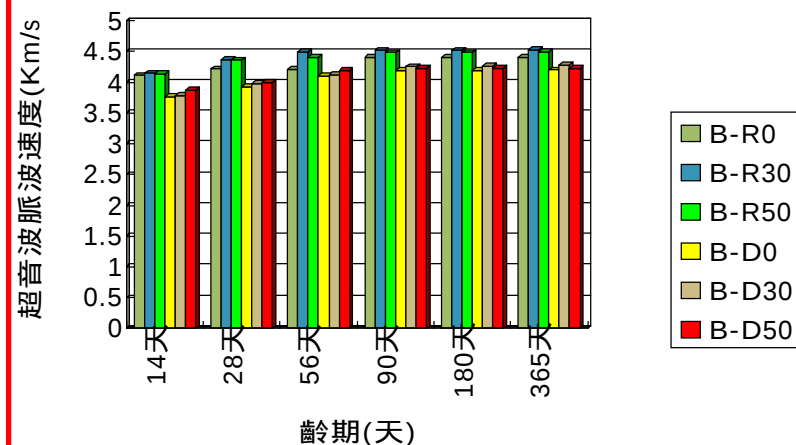
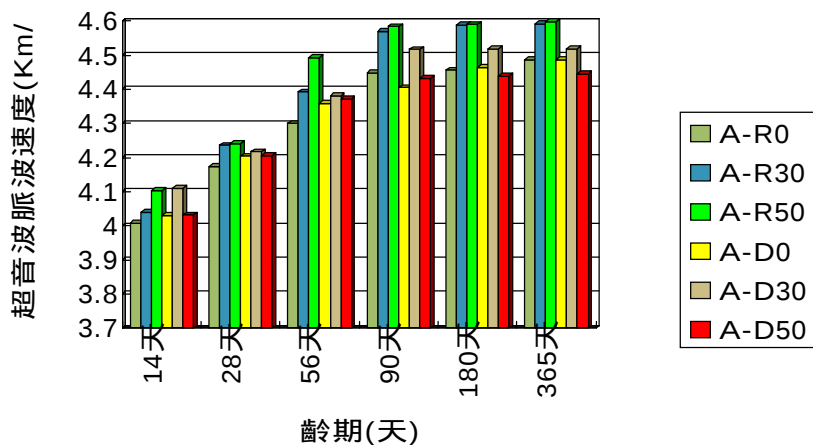
河砂與爐石之抗壓強度發展與齡期之關係



海砂與爐石之抗壓強度發展與齡期之關係



2. 超音波量測



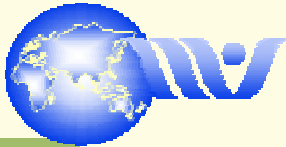
水灰比0.45時超音波速與齡期的關係

水灰比0.60時超音波速與齡期的關係

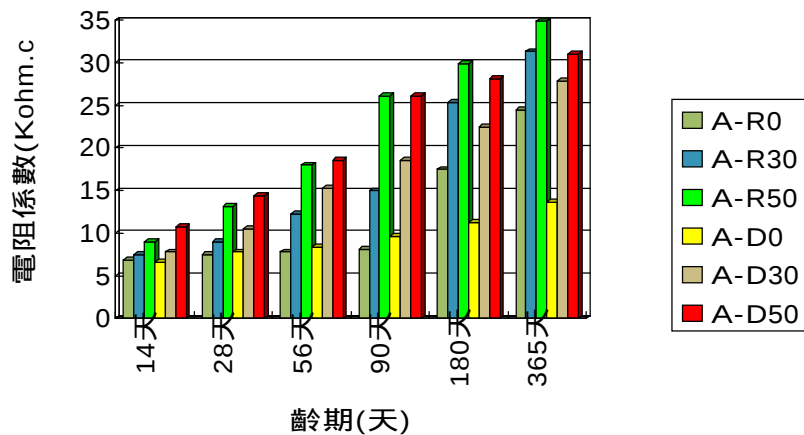
脈波速度 (m / s e c)	混凝土品質
< 2500	不良
2500~3000	中等
> 3000	優良

超音波脈波速與混凝土品質之關係

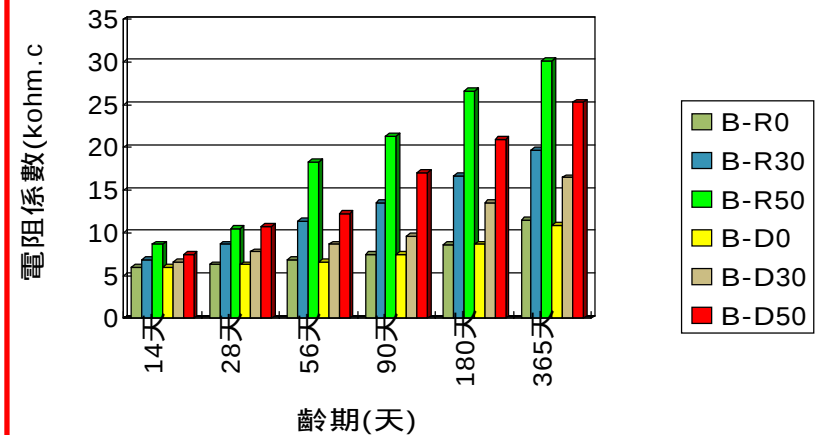




3. 電阻量測



水灰比0.45時電阻係數與齡期的關係

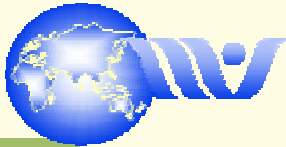


水灰比0.60時電阻係數與齡期的關係

電阻係數 (K Ω c m)	鋼筋腐蝕活性程度
<5	非常高
5~10	高
10~20	低/中等
>20	低

混凝土電阻與鋼筋腐蝕活性之關係





結論與建議

- ❑ 本研究的中性化試驗,可看出部分**OPC**混凝土的中性化深度達**1.5cm**，而**HPC**則幾乎不受影響。
- ❑ 本研究之**HPC**,其抗壓強度在齡期**6.5**年有持續增加,而**OPC** 混凝土的強度已下降折減，其折減原因乃混凝土老化之正常現象。
- ❑ 在**Anode Ladder System**之量測結果顯示,其腐蝕電位後隨齡期之增加而趨於緩和,**HPC**之電位在**-5~-100mV**,而**OPC**之電位在**-5~-220mV**。
- ❑ 海砂爐石混凝土與高性能混凝土試驗部分數據仍在整理中。

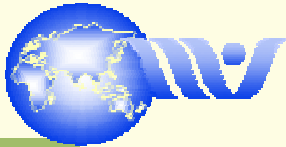


子計畫三

碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(1/4)

(重力式碼頭檢測系統之建置)

研究人員：蘇吉立、陳桂清、饒正



一、前言

□研究動機

□計畫目的

□研究方法、時程與目標

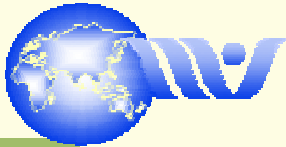




研究動機

□ 迎合潮流、配合政策與因應基本環境

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，本計畫即為因應這些問題而進行相關問題之研究。



計畫目的

1. 迎合潮流、配合政策與因應基本環境
如前述
2. 解決臺灣現今碼頭維護面臨的重要課題：
 - 2-1. 維護理念之建立與改革。
 - 2-2. 完善可行的維護系統與制度。
 - 2-3. 維護技術的發展。
 - 2-4. 維護人員之培訓。

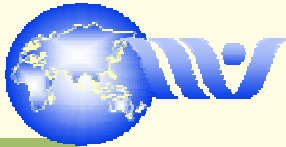


研究方法

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。



研究時程與目標

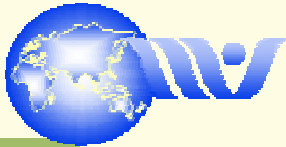
□ 時程

分四年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，最後再整合建置成碼頭本體設施維護管理系統。

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. 碼頭本體設施維護管理系統之建置—(97年)

□ 目標

使檢測與維護管理作業系統化、簡易化。
並以可行與實用為最終之目標。



二、系統之基本界定

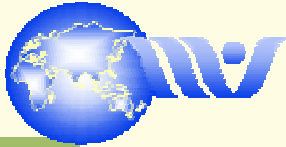
系統基本界定之目的

1. 明確瞭解導致碼頭外視異象之基本機制。
2. 預先導正調查者對可能異象行為之研判方向。
3. 提昇調查者之研判力
4. 同一異象原因之研判，避免因調查者不同而產生太大之差異。



本年度目前已完成之相關項目

1. 界定檢測標的。
2. 界定適用人員。
3. 界定檢測時機。
4. 界定檢測作業階段。
5. 統合碼頭異象分類。
6. 標定重力式碼頭結構外視異象之基本機制。
7. 標定重力式碼頭結構基本檢測部位。



檢測標的之界定

以碼頭主體結構為主，分為：

1. 重力式碼頭
2. 版樁式碼頭
3. 棧橋式碼頭
4. 防波堤

(防波堤暫不納入。)



適用人員之界定

居於下列因素與理念而界定：

1. 建物使用單位或管理單位均缺乏工程專業人才。
2. 碼頭初勘 = 人類醫學之初診。
3. 碼頭細勘 = 人類醫學之細診(或精診)。

初勘階段適用於一般具專業知識或碼頭安全檢測經驗者。
細勘階段適用於較為高階或更有經驗之專業人員。



檢測時機之界定

檢測時機分為三類：

1. 平時檢測

屬隨機性或一般性檢測，可為定期與不定期檢測。

2. 例行檢測

定期監測、定期檢測與特殊項目監測與檢測。

3. 災害檢測

工程、營運或天然災害檢測。



檢測作業階段之界定

□ 檢測作業標準化，並區分為五個階段：

1. 先期準備作業
2. 初勘作業
3. 初勘綜合評估作業
4. 細部檢測作業
5. 細部檢測綜合評估作業



碼頭異象之統合與分類

1. 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

2. 碼頭異象統合分類之目的：

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。

3. 碼頭異象分類之統合：

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

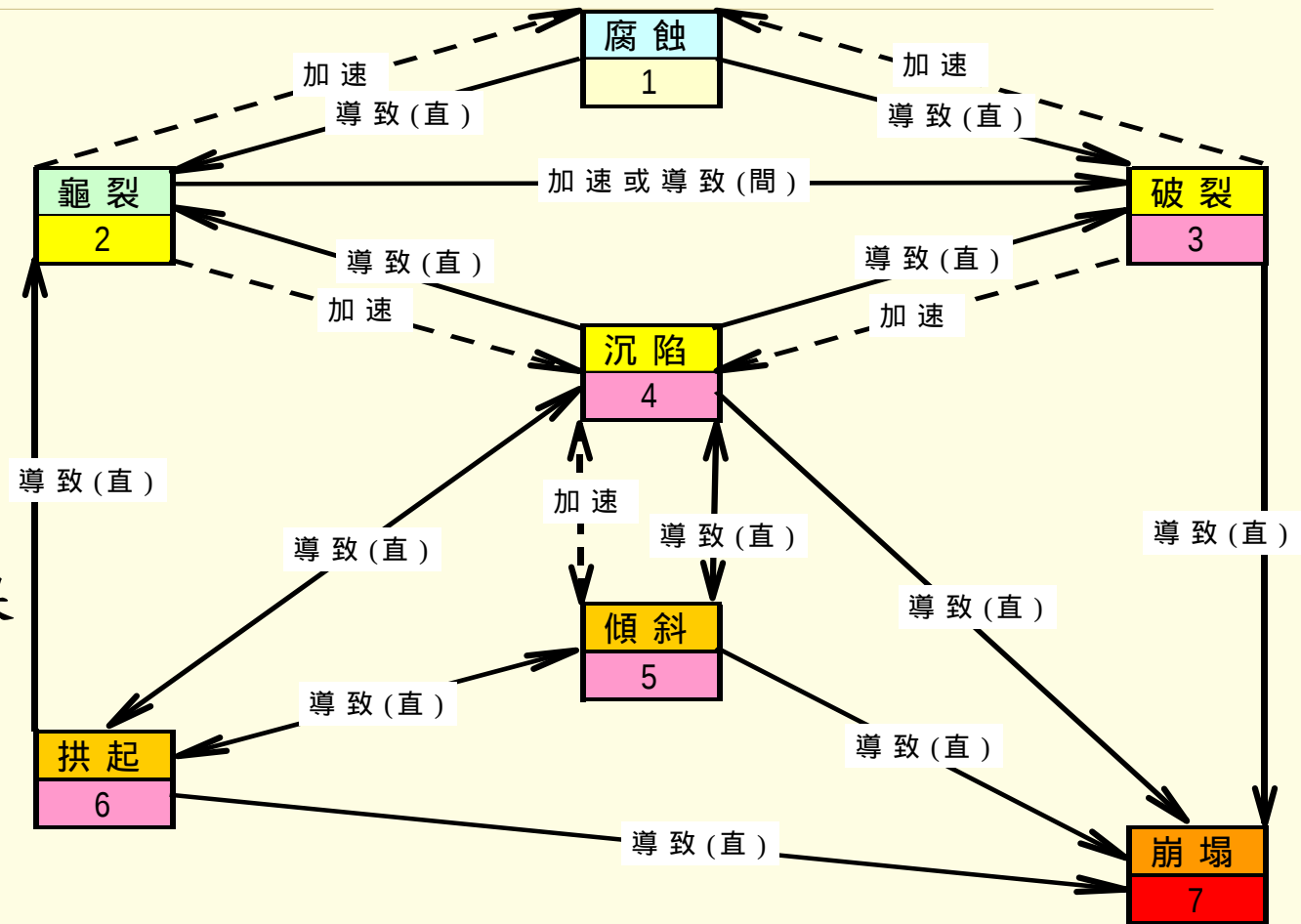
。



碼頭異象行為特性觀念之統合

碼頭外視異象
彼此之間的行為
常具下列特性：

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)





碼頭本體設施結構之相關標定

1. 相關名詞定義與分類引用標準

採用侯和雄等(1996)編製由運輸研所出版之“**港灣工程專有名詞**”

2. 設施定義

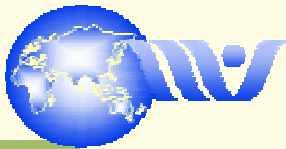
為精簡研究範圍，簡化系統之相關處理作業
本研究項目僅限於碼頭本體設施之
重力式碼頭、板樁式碼頭與棧橋式碼頭三項

3. 設施分類

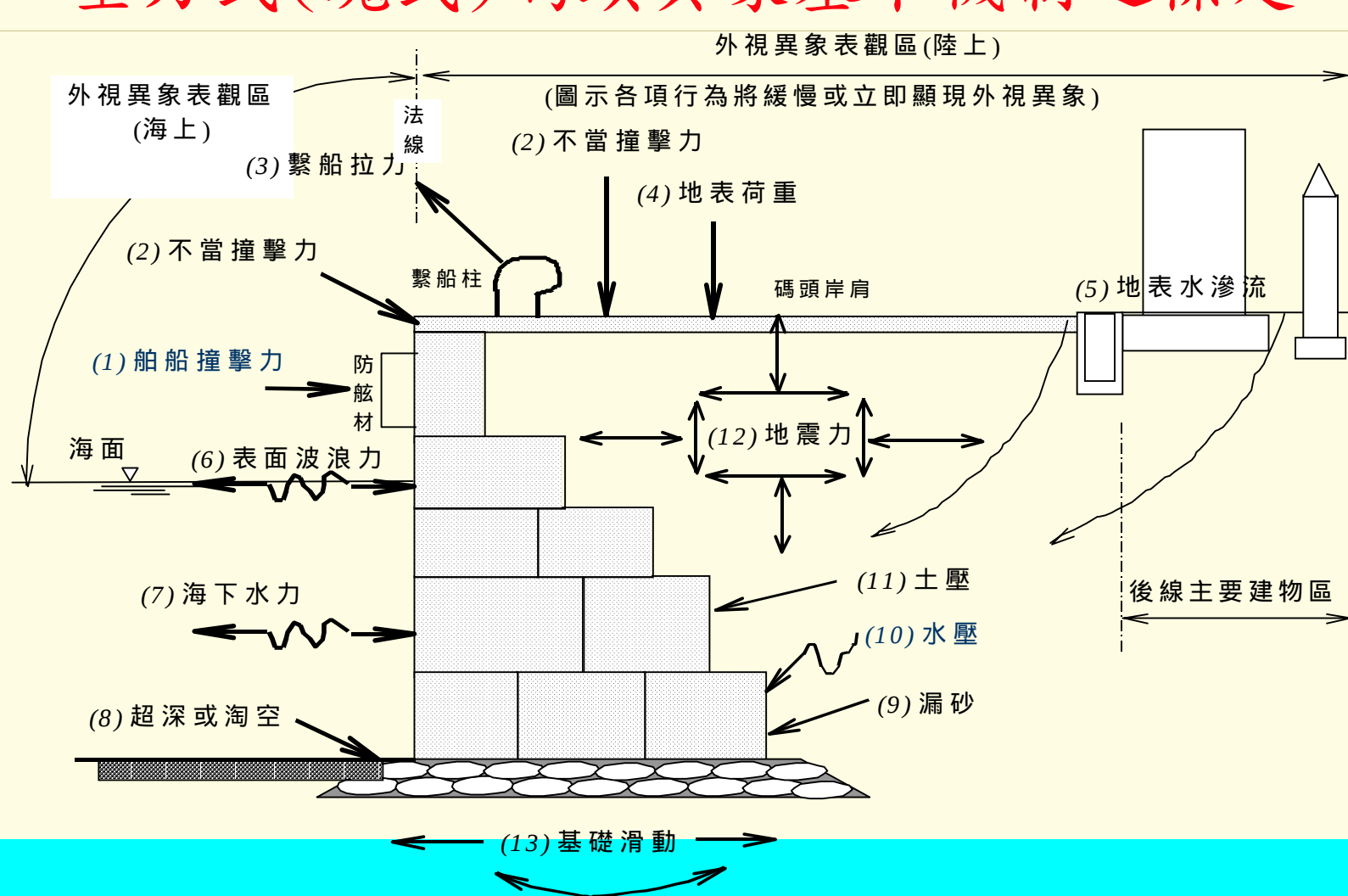
重力式碼頭分為：

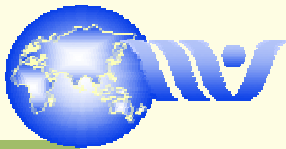
沉箱式碼頭、L型塊式碼頭、方塊式碼頭、空心方塊式碼頭
與整塊式碼頭

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。

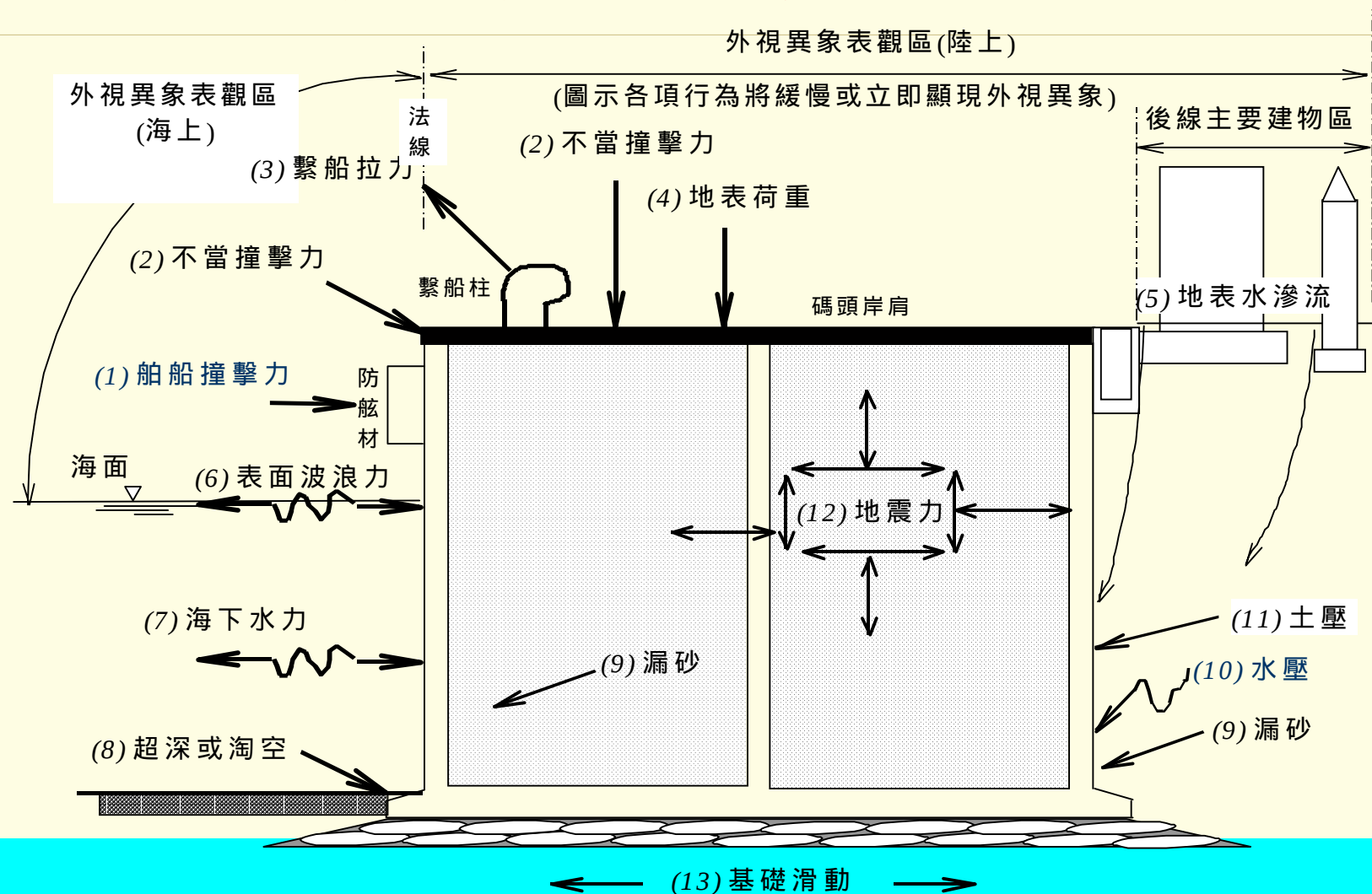


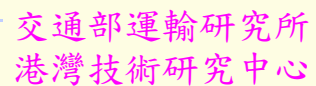
重力式(塊式)碼頭異象基本機制之標定

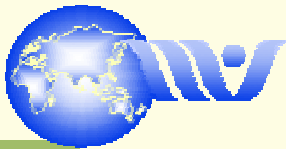




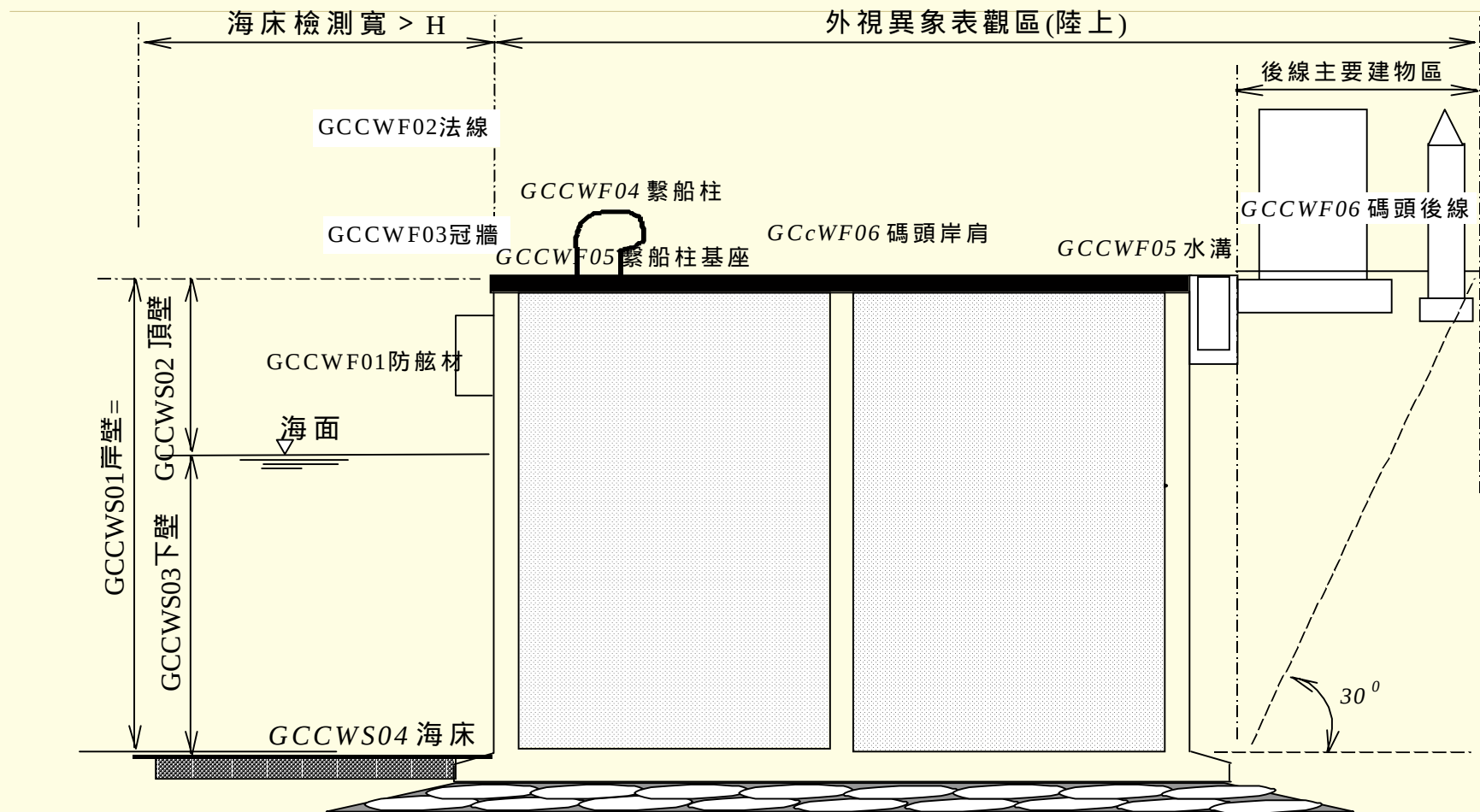
重力式(沉箱)碼頭異象基本機制之標定

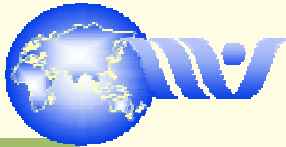




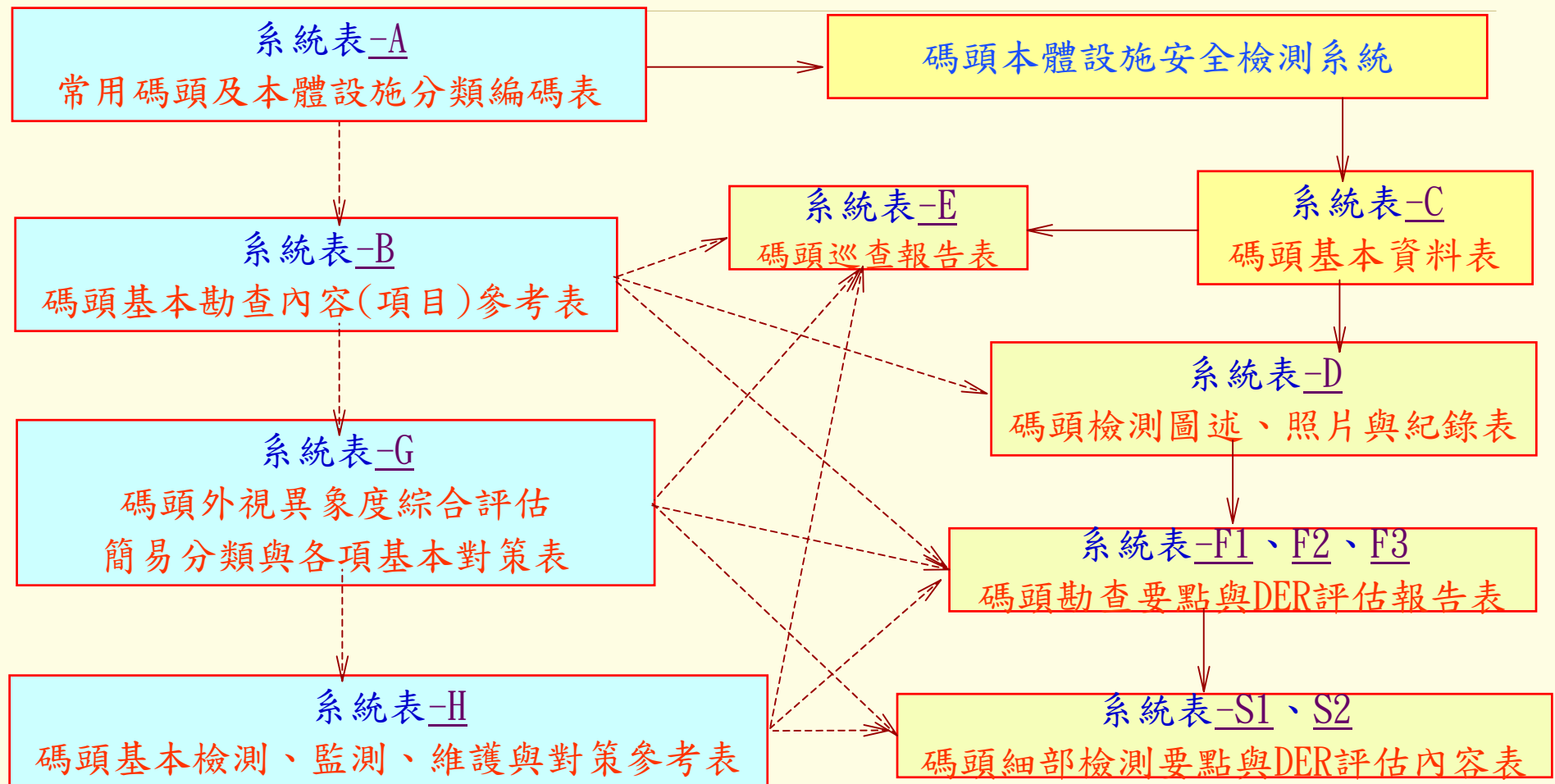


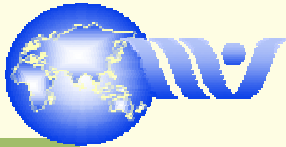
重力式(沉箱)碼頭基本檢測部位之標定





三. 系統之建構



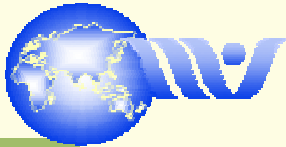


四、系統之驗證與應用

4.1 台中港1號碼頭歷史案例之驗證

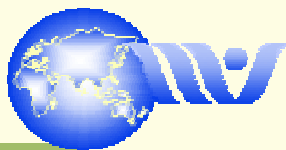
4.2 高雄港1-1號碼頭現地調查之應用

4.3 高雄港1-2號碼頭現地調查之應用



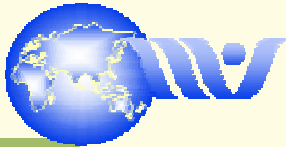
4.1 台中港1號碼頭歷史案例之驗證

- 系統表C-基本資料表之驗證
- 系統表D1、D2、D3、D4、D5-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之驗證
- 系統表E-碼頭巡查報告表之驗證
- 系統表S1、S2-碼頭細部檢測要點與DER評估內容表之驗證



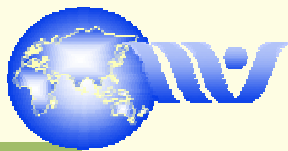
台中港1號碼頭歷史案例系統表E之驗證結果

碼頭巡查報告表-GCCW-OC-0001-01																									
檢測資料屬性		區域	TH	既有	O	改建		翻修		年份	2005	月份	5												
碼頭名稱		台中港一號碼頭																							
碼頭用途屬性		軍用	貨棧	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港動	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				無	✓														
岸肩或背填料		砂	✓	砂石級配		碎石級配	✓	卵石級配		回填料		其他													
岸肩面板		RC	✓	PC		AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他													
巡查部位		外視異象																							
編號		項目		外視異象等級											各項巡查評估結果										
		A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	綜合等級			
		等級分劃請參閱系統表08(主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃)																				1~3項		4~7項	
		分佈範圍分劃：100~45%為A、44~25%為B、24~5%為C、<5%為O																							
SSSW F01 防舷材		免評				免評				100				免評				免評				100	A		
SSSW F02 法線		免評				免評				免評				80				100				免評	0	免評	A
說明																									
SSSW F03 冠牆		0				30				30				80				免評			100	0	C	A	
說明																									
SSSW F04 繫船柱		100				100				100				免評				免評			免評	免評	A	免評	
SSSW F05 繫船柱基		100				100				100				100				免評			100	100	A	A	
說明																									
SSSW F06 岸肩		0				30				30				80				免評			100	2	B		
說明																									
SSSW F07 岸肩水溝		免評				100				100				100				免評			100	100	A	A	
說明																									
SSSW F08 後線地面		免評				100				100				100				免評			100	100	A	A	
SSSW F09 後線建物		免評				100				100				100				免評			100	100	A	A	
巡查綜合評估		腐蝕 龜裂 破裂 沉陷 拱起 傾斜 崩塌 綜合警示																							
整體警示度		0				65				65				90				100			100	51	B	A	
		0				A				A				A				A			A	A	A		
建議因應措施		暫停使用、全面檢測與修護評估																							
		防舷材 繫船柱 繫船柱基 岸肩																							
		全面或部份更換 全面或部份翻修 全面或部份翻修或補強 部份或全面翻修																							
		岸肩水溝 後線地面 後線建物																							
		全面翻修 全面翻修																							
檢、監測		法線 裂縫 沉陷 水下 強度 地質																							
		是 是 是 是 是 是																							
檢測單位：		港灣技數研究所																							
檢測人員：		蘇吉立																							
檢測日期：		1999年9月23日																							



4.2 高雄港1-1號碼頭現地調查之應用

- 系統表C-基本資料表之驗證
- 系統表D-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之驗證
- 系統表E-碼頭巡查報告表之驗證
- 系統表F1、F2、F3-碼頭勘查要點與DER評估報告表之應用



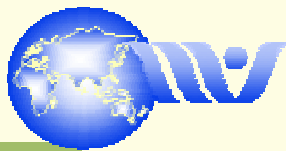
高雄港1-1號碼頭現地案例系統表E之應用證結果

碼頭巡查報告表-TSVW-OC-0001-01																		
檢測資料屬性	區域	K A	既有	✓	改建		翻修	✓	年份	2005	月份	5						
	平時巡查	✓	特定初勘		災害細勘		監測		研究	✓								
碼頭名稱	高雄港(1-1)號碼頭																	
碼頭用途屬性	軍用		貨櫃		散雜		水泥		穀		油		化					
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		回填料		其他							
岸肩面板	RC		PC	✓	AC	✓	卵石級配		碎石級配		其他							
巡查部位	外視異象																	
	1	2	3	4	5	6	7											
編號	項目	外視異象等級												各項巡查評估結果				
		A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	C	O	綜合等級
等級分劃請參閱系統表-G (主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃)																		
分佈範圍分劃：100~45%為A、44~25%為B、24~5%為C、<5%為O																		
SSSW F01	防舷材	免評	免評	0		免評	免評	免評	免評	0				1-3項	4-7項			
SSSW F02	法線	免評	免評	免評	0	20		免評	0				免評	C				
說明：1~2號繫船柱區間法線外視約外拱10cm																		
SSSW F03	冠牆	0	10	10	0	免評	0	0	0				C	O				
說明：繫船柱表面已嚴重腐蝕剝落																		
SSSW F04	繫船柱	100	0	0		免評	免評	免評	免評				B	免評				
SSSW F05	繫船柱基	0	0	0	0	免評	0	0	0				O	O				
說明：全區出現平行法線之全長裂縫1道、垂直法線之全長裂縫3道、1~3號繫船柱區間外視沉陷約4cm																		
SSSW F06	岸肩	0	90	90	40	免評	0	0					B					
說明：岸肩水溝																		
SSSW F07	岸肩水溝	免評	0	0	0	免評	0	0	0				O	O				
說明：後線地面																		
SSSW F08	後線地面	免評	0	0	0	免評	0	0	0				O	O				
SSSW F09	後線建物	免評	0	0	0	免評	0	0	0				O	O				
巡查綜合評估	整體警示度	腐蝕	龜裂	破裂	沉陷	拱起	傾斜	崩塌	綜合警示									
		0	25	25	10	20	0	0	C	C								
	建議因應措施	整體	一般維護、基本檢測															
		個項	防舷材	無		加強巡檢、維護或補強	繫船柱	加強巡檢、監測與維護		繫船柱基	部份或全面翻修							
			岸肩水溝	無		後線地面	無		後線建物	無								
檢、監測	法線	裂縫		沉陷	水下	強度	地質											
檢測單位：		臺灣技數研究所																
檢測人員：		蘇吉立																
檢測日期：		2005年5月23日																
		第 頁 共 頁																



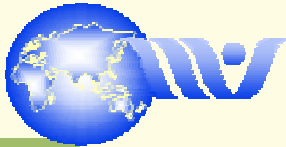
4.3 高雄港1-2號碼頭現地調查之應用

- ☐ 系統表C-基本資料表之驗證
- ☐ 系統表D-碼頭檢測圖述、照片與紀錄表之驗證
- ☐ 系統表E-碼頭巡查報告表之驗證
- ☐ 系統表F1、F2、F3-碼頭勘查要點與DER評估報告表之應用



高雄港1-2號碼頭現地案例系統表E之應用證結果

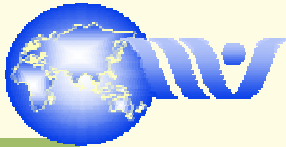
碼頭巡查報告表-T S V W - O C - 0 0 0 1 - 0 1															
檢測資料屬性		區域	K A	既有	✓	改建	翻修	✓	年份	2 0 0 5	月份	5			
		平時		特定		災害									
		巡查	✓	初勘		細勘		監測		研究	✓				
碼頭名稱		高雄港(1-2)號碼頭													
碼頭用途屬性		軍用	貨櫃	散雜	水泥	穀	油	化	漁	港動	客	其它			
碼頭型式		重力式	✓	版橋式	✓	棧橋式	✓	平版橋基式		護岸	✓	其它			
岸壁結構		方塊		沉箱		鋼板		鋼管		PC版橋		PC圍橋		其他	
岸肩結構		方塊		沉箱		鋼管直橋		鋼管斜橋		PC斜橋		PC直橋		其他	
錨碇結構		鋼版橋		鋼管橋		PC圍橋		無		✓		其他			
岸肩或背填料		砂		砂石級配		碎石級配		卵石級配		回填料		其他			
岸肩面板		R C		P C	✓	A C	✓	卵石級配		碎石級配		其他			
巡查部位		外視異象													
		1		2		3		4		5		6		7	
		腐蝕		龜裂		破裂		沉陷		拱起		傾斜		崩塌	
編號		A		B		C		O		A		B		C	
項目		A		B		C		O		A		B		C	
		外視異象等級													
		每級分劃請參閱系統表G(主要以一般外視異象及其分佈範圍為分劃)													
		分佈範圍分劃：100~45%為A、44~25%為B、24~5%為C、<5%為O													
		1~3項													
		4~7項													
SSSW F01	防舷材	免評		免評		0		免評		免評		0		O	
SSSW F02	法線	免評		免評		免評		0		0		免評		0	
說明															
SSSW F03	冠牆	0		10		10		0		免評		0		0	
說明															
SSSW F04	繫船柱	100		0		0		免評		免評		免評		免評	
SSSW F05	繫船柱基	0		80		0		0		免評		0		0	
說明		繫船柱表面已嚴重腐蝕剝落													
SSSW F06	岸肩	0		100		100		45		免評		0		0	
說明		全區出現平行法線之全長裂縫1道、垂直法線之全長裂縫3道、與繫船柱基座程約45度角之全長裂縫7道、1~3號繫船柱區													
SSSW F07	岸肩水溝	免評		0		0		0		免評		0		0	
說明															
SSSW F08	後線地面	免評		0		0		0		免評		0		0	
SSSW F09	後線建物	免評		0		0		0		免評		0		0	
巡查綜合評估	整體警示度	腐蝕		龜裂		破裂		沉陷		拱起		傾斜		崩塌	
		0		28		28		11		0		0		0	
		O		B		B		C		O		O		O	
	建議因應措施	整體	一般維護、基本檢測												
	個項	防舷材	無			繫船柱	加強巡檢、維護或補			繫船柱基	加強巡檢、監測與維			岸肩	部份或全面翻修
	岸肩水溝	無			後線地面	無			後線建物	無					
	檢、監測	法線		裂縫		沉陷		水下		強度		地質			
		否		是		是		是		否		是			
檢測單位：		港灣技數研究所													
檢測人員：		蘇吉立													
檢測日期：		2005年5月23日													



五、結論(1/3)

本計畫之研究成果，可適當因應下列問題：

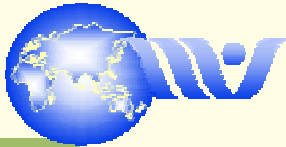
1. 配合世界之潮流與我國之交通政策。
2. 加強碼頭維護管理之工作與理念。
3. 因應我國碼頭之環境。



五、結論(2/3)

本計畫相關之研究成果可適當解決下列問題：

1. 檢測系統化、各類檢測作業標準化。
2. 未來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。
3. 提昇碼頭維護管理之功效，維護碼頭安全，減低災損，促進港埠管理現代化，提昇港埠功能與營運效率，達成自動化目標。



五、結論(3/3)

目前整體研究已完成

1. 初步之相關基本觀念之整合與基本界定。
2. 重新整合建置完成重力式碼頭檢測系統。
3. 檢測系統經臺中港1號碼頭歷史破壞與重建案例
驗證之結果與當時之處置狀況尚為吻合。

系統實用性建議

1. 可再加強歷史驗證與現地應用測試案例。
2. 為使系統更完整務實，需藉助歷史案例驗證與現地
應用不斷加以檢討修正。

A photograph of a blue and red ship docked at a pier. The ship has a yellow crane on its deck. The text "簡報完畢 敬請指教" is overlaid in the center in a stylized orange font. The ship is moored with ropes, and the pier has some equipment and containers visible in the background.

簡報完畢
敬請指教