

92-71-750
MOTC-IOT-91-HA04

港灣構造物檢測與耐久性試驗研究



交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

92-71-750
MOTC-IOT-91-HA04

港灣構造物檢測與耐久性試驗研究

著 者：陳桂清、饒 正、柯正龍、張道光、羅建明

交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

港灣構造物檢測與耐久性試驗研究

著 者：陳桂清、饒 正、柯正龍、張道光、羅建明

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十二年六月

印 刷 者：全能辦公事務用品有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：港灣構造物檢測與耐久性試驗研究			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 1009202101	運輸研究所出版品編號 92-71-750	計畫編號 91-HA04
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、張道光、羅建明 聯絡電話： 04-26587118 傳真號碼： 04-26564418			研究期間 自 91 年 01 月 至 91 年 12 月
關鍵詞：非破壞性檢測、耐久性、腐蝕			
摘要： <p>港灣構造物(設施)依建造材料區分，大致可分成鋼鐵(材)構造物與(鋼筋)混凝土構造物兩大類，由於常年處於海洋惡劣環境下，各類結構物極易發生腐蝕、劣化、損壞，對設施之安全日益受到重視。基於實務面之需求，本研究特以鋼材及混凝土材料之構造物為探討重點，進行相關試驗研究。</p> <p>第一年之研究成果簡述如下；完成基隆、蘇澳、台中、花蓮港之碼頭鋼板樁腐蝕檢測，大致上腐蝕狀況輕微。僅花蓮港五、六號碼頭於飛沫帶之鋼板樁有腐蝕穿孔現象。混凝土之新材料，新工法之應用開發研究，添加微晶粉末為摻料拌製之試體，混凝土硬固後之各項性能均有正面之提升效果。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
92 年 6 月	164	100	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： 限閱 機密 極機密 絕對機密 （解密【限】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: Field Inspection on Harbor Facilities and Its Material Durable Testing			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009202101	IOT SERIAL NUMBER 92-71-750	PROJECT NUMBER 91 – HA04
DIVISION: CENTER OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY DIVISION CHIEF: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen Kuei-Ching PROJECT STAFF: Rau-cheng , Ko Jeng-Long , Chang Tao-Kung, Lo Chien-Ming PHONE:04-26587118 FAX:04-26564418			PROJECT PERIOD FROM 01/2002 TO 12/2002
KEY WORDS: Electrochemical technique, Non-destructive test, Durability, Cathodic protection			
ABSTRACT: <p>Harbor facilities are generally classified as steel-structured and reinforced concrete according to constructing materials. Because of exposure to marine aggressive environment all year long, facilities are easily corroded, deteriorated and damaged. Their deterioration and safety have been much concerned than ever. Based on physical requirement, this study is especially focused on the durability on steel- structured and the reinforced concrete structures.</p> <p>The results in the first-year study indicated that wharf steel-piles at Kee-Lung, Taichung, Suo-Au and Hwa-liang Ports generally have lower corrosion rates if cathodic protection system were applied to steel-piles. However, a few sheet-piles exposed at atmospheric area, at wharf #5 and #6 of Hwa-Liang, have been severely corroded and holed. As to concrete, applying microsilite as mixture in concrete-mixing enhanced durability.</p>			
DATE OF PUBLICATION June 2003	NUMBER OF PAGES 164	PRICE 100	CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL 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	-----
圖目錄	-----
照片目錄	-----
第一章 前言	----- 1-1
第二章 研究計畫概述	----- 2-1
2.1 計畫時程	----- 2-1
2.2 計畫內容與研究方法	----- 2-1
2.2.1 子計畫(一)：碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防制方法研究	2-1
2.2.1.1 研究內容	----- 2-1
2.2.1.2 實施方法與步驟	----- 2-2
2.2.2 子計畫(二)：港灣混凝土結構物耐久性試驗研究	----- 2-3
2.2.2.1 研究內容	----- 2-3
2.2.2.2 實施方法與步驟	----- 2-4
第三章 碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防制方法研究	----- 3-1
3.1 前言	----- 3-1
3.2 研究規劃	----- 3-1
3.2.1 規劃流程	----- 3-1
3.2.2 資料蒐集與分析	----- 3-3

3.2.3 海水水質檢測 -----	3-3
3.2.4 檢測範圍 -----	3-3
3.2.5 鋼板樁檢測 -----	3-3
3.2.5.1 目視檢測 -----	3-3
3.2.5.2 厚度量測 -----	3-3
3.2.5.3 保護電位量測 -----	3-8
3.2.6 陽極塊調查 -----	3-8
3.2.6.1 選定陽極塊 -----	3-8
3.2.6.2 陽極塊發生電位量測 -----	3-9
3.2.6.3 陽極塊外觀檢查 -----	3-9
3.2.6.4 陽極塊重量量測 -----	3-9
3.3 結果與討論 -----	3-9
3.3.1 碼頭構造物背景資料搜集與分析 -----	3-9
3.2.2 海水水質分析 -----	3-12
3.3.3 鋼板樁現況檢測 -----	3-14
3.3.3.1 花蓮港 5 號碼頭 -----	3-14
3.3.3.2 花蓮港 6 號碼頭 -----	3-23
3.3.3.3 航道岸壁 -----	3-28
3.3.3.4 基隆港西 21 號碼頭 -----	3-30
3.3.3.5 基隆港西 22 號碼頭 -----	3-37
3.3.3.6 蘇澳港駁船碼頭 -----	3-42

3.3.3.7 蘇澳港 7 號碼頭	3-51
3.3.3.8 台中港 30 號碼頭	3-56
3.3.4 陽極塊調查	3-62
3.3.4.1 陽極塊發生電位量測	3.62
3.3.4.2 陽極塊外觀檢查及重量量測	3.67
3.4 結論	3-78
3.4.1 花蓮港 5 號碼頭	3-78
3.4.2 花蓮港 6 號碼頭	3-78
3.4.3 航道岸壁	3-78
3.4.4 基隆港西 21 號碼頭	3-78
3.4.5 基隆港西 22 號碼頭	3-79
3.4.6 蘇澳港駁船碼頭	3-79
3.4.7 蘇澳港 7 號碼頭	3-79
3.4.8 台中港 30 號碼頭	3-79
第四章 港灣混凝土結構物耐久性試驗研究	4-1
4.1 前言	4-1
4.1.1 研究動機	4-1
4.1.2 研究目的	4-1
4.2 文獻回顧	4-1
4.2.1 混凝土之發展	4-1
4.2.1.1 高性能混凝土	4-2

4.2.1.2	自充填混凝土	4-3
4.2.1.3	活性粉混凝土	4-3
4.2.2	氯化物滲透與透水性之探討	4-4
4.2.2.1	Cl ⁻ 之來源	4-4
4.2.2.2	對鋼筋之侵蝕	4-4
4.2.2.3	混凝土材料中氯化物的容許含量	4-5
4.2.2.4	氯離子在混凝土中之擴散模式及電滲試驗	4-8
4.2.2.5	透水性	4-9
4.2.3	混凝土之耐久性指標	4-11
4.2.4	化學性侵蝕	4-12
4.2.4.1	硫酸鹽侵蝕	4-12
4.2.4.2	酸及鹼之侵蝕	4-13
4.3	研究方法與步驟	4-13
4.3.1	研究規劃	4-13
4.3.2	試驗材料	4-15
4.3.3	試體配比	4-18
4.3.4	試驗參數及試體編號	4-19
4.3.4.1	試驗參數	4-19
4.3.4.2	試體編號	4-19
4.3.5	試體製作	4-20
4.3.6	試驗方法與設備	4-20

4.3.6.1 工作性試驗	4-20
4.3.6.2 硬固混凝土性能試驗	4-23
4.4 試驗結果與討論	4-30
4.4.1 漿體之工作性	4-30
4.4.2 硬固混凝土性質	4-32
4.4.2.1 抗壓強度	4-32
4.4.2.2 超音波脈波速度	4-35
4.4.2.3 抗彎強度	4-38
4.4.2.4 電滲(流)量試驗	4-40
4.4.2.5 透水試驗	4-41
4.4.2.6 抗化學性侵蝕(浸泡試驗)	4-42
第五章 結論與建議	5-1
第六章 參考文獻	6-1

表目錄

表 3.1 防蝕率與海水浸水率之關係 -----	3-8
表 3.2 鋼板（管）樁碼頭構造物背景資料 -----	3-10
表 3.3 海水水質分析結果 -----	3-13
表 3.4 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率-----	3-21
表 3.5 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-26
表 3.6 Z-38 鋼版樁斷面性能 -----	3-30
表 3.7 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-32
表 3.8 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 -----	3-36
表 3.9 基隆港西 22 碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-39
表 3.10 基隆港西 22 碼頭鋼板鋼板樁保護電位量測結果-----	3-41
表 3.11 蘇澳港駁船碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 -----	3-46
表 3.12 蘇澳港駁船碼頭 A 段鋼板樁保護電位量測結果 -----	3-49
表 3.13 蘇澳港駁船碼頭 B 段鋼板樁保護電位量測結果-----	3-50
表 3.14 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁平均腐蝕速率與水深之關係 -----	3-53
表 3.15 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁保護電位量測結果 -----	3-55
表 3.16 台中港 30 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 -----	3-59
表 3.17 台中港 30 號碼頭鋼管樁保護電位量測結果-----	3-61
表 3.18 基隆港西 21 號碼頭陽極塊發生電位量測結果-----	3-63
表 3.19 基隆港西 22 號碼頭陽極塊發生電位量測結果-----	3-64
表 3.20 蘇澳港駁船碼頭陽極塊發生電位量測結果 -----	3-65

表 3.21 蘇澳港 7 號碼頭陽極塊發生電位量測結果	3-65
表 3.22 台中港 30 號碼頭陽極塊發生電位量測結果	3-66
表 3.23 基隆港西 21 號碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果	3-69
表 3.24 基隆港西 22 號碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果	3-69
表 3.25 蘇澳港駁船碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果	3-70
表 3.26 蘇澳港 7 號碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果	3-70
表 3.27 台中港 30 碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果	3-71
表 4.1 各國對鋼筋混凝土構造物氯化物含量之規定	4-7
表 4.2 Cl-含量與鋼筋腐蝕之關係	4-6
表 4.3 氯離子擴散係數與混凝土滲透性之關係	4-9
表 4.4 ASTM C1202 電量規定值	4-11
表 4.5 混凝土之相關試驗內容	4-15
表 4.6 粗粒料之級配	4-16
表 4.7 細粒料之級配	4-17
表 4.8 粒料之相關物理性質	4-17
表 4.9 配比 A(W/C=0.45)之設計數據	4-18
表 4.10 配比 B(W/C=0.55)之設計數據	4-18
表 4.11 配比 C(W/C=0.7)之設計數據	4-19
表 4.12 試驗參數	4-19
表 4.13 超音波脈波速度與混凝土品質之關係	4-24
表 4.14 各配比之坍度試驗結果	4-30

表 4.15	抗壓強度試驗結果	-----4-33
表 4.16	超音波脈波速度試驗結果	-----4-37
表 4.17	各配比試體之抗彎強度結果	-----4-38
表 4.18	電滲量試驗結果	-----4-41
表 4.19	透水係數試驗結果	-----4-42

圖目錄

圖 3.1 調查規劃流程圖	3-2
圖 3.2 水面下超音波量測鋼板樁厚度之情形	3-5
圖 3.3 超音波測厚儀量測之示意圖	3-5
圖 3.4 渦電流檢測設備	3-6
圖 3.5 水面下渦電流量測鋼板樁厚度之情形	3-6
圖 3.6 花蓮港航道及 5、6 號碼頭位置圖	3-10
圖 3.7 基隆港西 21、西 226 號碼頭位置圖	3-11
圖 3.8 蘇澳港駁船及 7 號碼頭位置圖	3-11
圖 3.9 台中港 30 號碼頭位置圖	3-12
圖 3.10 花蓮港 5 號碼頭結構斷面圖	3-14
圖 3.11 z 型鋼板樁型式圖	3-14
圖 3.12 花蓮港 5 號碼頭低潮位線上鋼板樁正視圖	3-16
圖 3.13 花蓮港 5 號碼頭低潮位線上鋼板樁 1	3-16
圖 3.14 花蓮港 5 號碼頭低潮位線上鋼板樁 2	3-16
圖 3.15 花蓮港 5 號碼頭低潮位線上鋼板樁表面現況 1	3-16
圖 3.16 花蓮港 5 號碼頭低潮位線上鋼板樁表面現況 2	3-16
圖 3.17 花蓮港 5 號碼頭 121.5 m 鋼板樁開裂彎曲示意圖	3-17
圖 3.18 花蓮港 5 號碼頭 55.4 m 鋼板樁開裂彎曲示意圖	3-17
圖 3.19 花蓮港 5 號碼頭 66.2 m 鋼板樁開裂彎曲示意圖	3-17
圖 3.20 花蓮港 5 號碼頭 81.8 m 鋼板樁開裂彎曲示意圖	3-18

圖 3.21	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁海床處開裂之情形	3-18
圖 3.22	花蓮港 4 號碼頭鋼板樁陸側破洞之情形	3-18
圖 3.23	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁陸側開挖現場之情形	3-18
圖 3.24	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁陸側開挖後情形	3-19
圖 3.25	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁陸側鐵銹	3-19
圖 3.26	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁陸側破洞 (1)	3-19
圖 3.27	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁陸側破洞 (2)	3-19
圖 3.28	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁檢測情形 (渦電流法)	3-19
圖 3.29	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁檢測情形 (超音波法)	3-19
圖 3.30	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖	3-20
圖 3.31	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係	3-21
圖 3.32	花蓮港 5 號碼各檢測樁腐蝕速率與水深之關係	3-22
圖 3.33	花蓮港 6 號碼頭結構斷面圖	3-23
圖 3.34	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁開孔示意圖	3-24
圖 3.35	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁 6 m 處開孔之情形	3-24
圖 3.36	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁 7 m 處開孔之情形	3-24
圖 3.37	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁厚度量測位置圖	3-25
圖 3.38	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係	3-26
圖 3.39	花蓮港 6 號碼頭各檢測樁腐蝕速率與水深之關係	3-27
圖 3.40	花蓮港航道岸壁結構斷面圖	3-28
圖 3.41	花蓮港航道岸壁鋼板樁陸側開挖情形	3-29

圖 3.42	花蓮港航道岸壁開挖後背填土情形	-----3-29
圖 3.43	花蓮港航道岸壁後方 10 m 處開挖後情形	-----3-29
圖 3.44	花蓮港航道岸壁後方 10 m 處拉桿厚度量測	-----3-29
圖 3.45	基隆港西 21 號碼頭斷面圖	-----3-30
圖 3.46	基隆港西 21 號基隆港碼頭鋼板樁厚度檢測位置示意圖	----3-31
圖 3.47	基隆港西 21 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係	----3-33
圖 3.48	基隆港西 21 號碼頭各檢測樁腐蝕速率與水深之關係	-----3-34
圖 3.49	基隆港西 21 號碼頭鋼板樁保護電位量測位置圖	-----3-35
圖 3.50	基隆港西 22 號碼頭斷面圖	-----3-37
圖 3.51	基隆港西 22 號碼頭鋼板樁檢測位置示意圖	-----3-38
圖 3.52	基隆港西 22 碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係	-----3-39
圖 3.53	基隆港西 22 碼頭各檢測樁腐蝕速率與水深之關係	-----3-40
圖 3.54	蘇澳港駁船碼頭檢測位置及鋼板樁型式圖	-----3-42
圖 3.55	蘇澳港駁船碼頭斷面圖	-----3-43
圖 3.56	蘇澳港駁船碼頭斷面防蝕措施	-----3-43
圖 3.57	蘇澳港駁船碼頭 A 段鋼板樁厚度檢測位置圖	-----3-45
圖 3.58	蘇澳港駁船碼頭 B 段鋼板樁厚度檢測位置圖	-----3-45
圖 3.59	蘇澳港駁船碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係	-----3-46
圖 3.60	蘇澳港駁船碼頭 A 段各檢測樁腐蝕速率與水深之關係	----3-47
圖 3.61	蘇澳港駁船碼頭 B 段各檢測樁腐蝕速率與水深之關係	-----3-48
圖 3.62	蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁斷面圖	-----3-52

圖 3.63 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁犧牲陽極焊接圖	3-52
圖 3.64 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係	3-54
圖 3.65 台中港 30 號碼頭鋼管樁斷面圖	3-57
圖 3.66 台中港 30 號碼頭潮汐帶防蝕措施	3-57
圖 3.67 台中港 30 號碼頭與犧牲陽極安裝	3-58
圖 3.68 台中港 30 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係	3-60
圖 3.69 基隆港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形 (1)	3-72
圖 3.70 基隆港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形 (2)	3-73
圖 3.71 蘇澳港陽極塊現場切割後置於陸上之情形 (1)	3-74
圖 3.72 蘇澳港陽極塊現場切割後置於陸上之情形 (2)	3-75
圖 3.73 台中港陽極塊現場切割後置於陸上之情形 (1)	3-76
圖 3.74 台中港陽極塊現場切割後置於陸上之情形 (2)	3-77
圖 4.1 混凝土 pH 質與 Cl^- 濃度對鋼筋腐蝕之關係	4-6
圖 4.2 試驗流程	4-14
圖 4.3 抗彎強度示意圖	4-23
圖 4.4 配比 A 之抗壓強度發展	4-34
圖 4.5 配比 B 之抗壓強度發展	4-34
圖 4.6 配比 C 之抗壓強度發展	4-35
圖 4.7 配比 A 之超音波脈波速度與齡期關係圖	4-36
圖 4.8 配比 B 之超音波脈波速度與齡期關係圖	4-36
圖 4.9 配比 C 之超音波脈波速度與齡期關係圖	4-37

圖 4.10 配比 A 之抗彎強度發展與齡期之關係	-----4-39
圖 4.11 配比 B 之抗彎強度發展與齡期之關係	-----4-39
圖 4.12 配比 C 之抗彎強度發展與齡期之關係	-----4-40

照片目錄

照片 4.1 混凝土拌合機拌合情形	4-21
照片 4.2 混凝土之試體模	4-21
照片 4.3 試體灌製情形	4-22
照片 4.4 混凝土養生室養護	4-22
照片 4.5 ELE 2000KN 抗壓機	4-26
照片 4.6 100 噸萬能材料試驗機	4-26
照片 4.7 超音波測定儀	4-27
照片 4.8 透水試驗儀	4-27
照片 4.9 電滲量試驗儀器（一）-試體前處理	4-28
照片 4.10 電滲量試驗儀器（二）-量測電流量	4-28
照片 4.11 抗化學性侵蝕試驗	4-29
照片 4.12 配比 A-0 之坍度	4-31
照片 4.13 配比 A-5 之坍度	4-31
照片 4.14 配比 A-12 之坍度	4-31
照片 4.15 配比 A1-3 之坍度	4-31
照片 4.16 配比 B-0 之坍度	4-31
照片 4.17 配比 B-5 之坍度	4-31
照片 4.18 配比 B-12 之坍度	4-31
照片 4.19 配比 B1-3 之坍度	4-31
照片 4.20 配比 C-0 之坍度	4-32

照片 4.21 配比 C-5 之坍度 -----	4-32
照片 4.22 配比 C-12 之坍度 -----	4-32
照片 4.23 配比 C1-3 之坍度 -----	4-32
照片 4.24 配比 A 浸泡 H_2SO_4 前後之情形 -----	4-44
照片 4.25 配比 B 浸泡 H_2SO_4 前後之情形 -----	4-45
照片 4.26 配比 C 浸泡 H_2SO_4 前後之情形 -----	4-46
照片 4.27 配比 A 及 B 浸泡 HCl 後之情形 -----	4-47
照片 4.28 配比 C 浸泡 HCl 及配比 A 浸泡海水後之情形 -----	4-48
照片 4.29 配比 B 及 C 浸泡海水後之情形 -----	4-49
照片 4.30 試體浸泡 H_2SO_4 後之乳白色溶液 -----	4-50
照片 4.31 試體浸泡 H_2SO_4 後未處理之情形 -----	4-50

第一章 前言

港灣構造物依建造材料可簡單分成混凝土(鋼筋混凝土)及鋼材(鐵)構造物等兩大類。混凝土構造物包括有碼頭、防波堤、消波塊、沉箱、碼頭 PC 樁、RC 樁、各型構件及港區建物等。鋼(鐵)構造物主要為碼頭鋼板(管)樁、固定結構之拉桿、鋼纜線以及排放(流)管線等等。由於台灣四面環海，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，構造物極易發生劣化、腐蝕、損壞、崩塌等現象，對結構物之耐久性與安全性威脅甚巨。

海水對鋼(鐵)材料為一容易腐蝕的環境，鋼構造物常年浸泡於海水環境下，甚難倖免於腐蝕損壞的威脅。近年來，台灣地區新建之港灣設施，諸如高雄港區第五貨櫃中心、雲林麥寮工業港及台北港等之開發，均已大量採用鋼板樁碼頭之方式建造，加上各港區早期興建之鋼板樁碼頭，總計數量龐大。為此，鋼板樁之腐蝕現況對碼頭設施之安全與港口營運影響甚鉅。

港灣混凝土構造物甚易受到海水或海風挾帶高量鹽份之侵入，造成鋼筋混凝土構造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，因此 R.C.結構物耐久性與安全，已面臨考驗與亟需改善。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，不但提升混凝土材料之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。又國內天災頻傳，許多工程設施一夕之間，不是損壞倒塌，就是安全堪慮，因此，構造物之現況是否安全堪用，必需明確瞭解與確保。為建立安全預警功能，

構造物現況之調查、檢測與日常維護必需落實，且日益突顯其重要性與必要性。

第二章 研究計畫概述

本研究分為兩個子計畫執行，子計畫(一)碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防制方法研究，子計畫(二)港灣混凝土結構物耐久性試驗研究。計畫執行期間視實際需求，研究內容將做適當的增減或修正，以符合因時制宜。

2.1 計畫時程

本計畫研究時程規劃為四年，自民國 91 年 1 月起至民國 94 年 12 月止，研究期間依實際狀況與需要，適當調整各階段之研究重點，並逐一執行完成，相關之研究內容、實施方法簡述於后。

2.2 計畫內容與研究方法

2.2.1 子計畫(一)：碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防制方法研究

本計畫擬調查基隆、台中、高雄、花蓮、蘇澳等五大港口之碼頭鋼板樁腐蝕現況。視經費及人力狀況，適時擴大調查範圍至安平新港、台北港、布袋商港或其它港口之碼頭鋼板樁，期待能建立完整之台灣四周海域海水水質特性，整理歸納影響鋼板樁腐蝕行為因素，進而探討適用於本土鋼構造物腐蝕防治方法。

2.2.1.1 研究內容

1. 調查港區海水水質變化
2. 調查鋼板樁腐蝕現況
3. 量測鋼板樁現有厚度
4. 分析鋼板樁腐蝕速率

5. 研討腐蝕防治機制
6. 鋼板樁碼頭結構安全分析

2.2.1.2 實施方法與步驟

1. 資料蒐集

蒐集港區鋼板(管)樁碼頭建造基本資料(如建造時間、板樁型式、碼頭結構斷面、板樁材料化學成份、防蝕措施等)。

2. 調查港區海水水質變化

分析海水之溫度、比電阻、溶氧量、pH 值、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、COD 等變化，建立港區環境腐蝕因子。

3. 調查現有鋼板樁碼頭之腐蝕情形

由潛水人員以目視方式觀察並攝影，紀錄水面下鋼板樁表面腐蝕狀況，供研究人員分析。

4. 量測鋼板樁之腐蝕電位值

以半電池電位儀(高電阻係數之三用電錶儀)，搭配銅/硫酸銅(Cu/CuSO_4)之參考電極，檢測鋼板樁之腐蝕電位值。

5. 量測犧牲陽極材料(塊)之放電效應與材料消耗情形

以感應電流計檢測陽極塊所釋放出之保護電流大小，並量測陽極塊耗損之重量。

6. 檢測碼頭鋼板樁現有之厚度

每 5 公尺(或適當間距)選定一檢測樁，全面檢測碼頭鋼板樁厚度。

7. 分析碼頭鋼板樁之腐蝕速率

建立每一碼頭鋼板樁之腐蝕速率。

8. 腐蝕防治方法之探討

- (1) 防蝕塗覆
- (2) 防蝕帶包覆
- (3) 安裝犧牲陽極塊之保護
- (4) 其它防蝕設計、防蝕材料之評估

9. 鋼板樁碼頭結構安全分析

評估鋼板樁碼頭結構之安全性。

2.2.2 子計畫(二)：港灣混凝土結構物耐久性試驗研究

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。台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。

2.2.2.1 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。

2.2.2.2 實施方法與步驟

1. 相關研究文獻之蒐集及研析

2. 新材料之基本物性、化性之試驗

(1) 水泥漿相關性質試驗

(2) 硬固混凝土相關物理性質試驗(抗壓強度、透水係數、電阻係數、電滲量、彈性模數等)

3. 自充填混凝土之相關試驗探討

(1) 配比設計、試拌、基本性質試驗(包括抗壓、透水、電阻、電滲、彈性係數等)

(2) 自充填混凝土試驗牆耐久性試驗

量測試驗牆混凝土之抗壓強度、電阻係數、超音波波速、中性化深度、鋼筋腐蝕電位、鋼筋腐蝕電流等變化。

4. 港灣棧橋碼頭 R.C.面板底面陰極防蝕安裝實作與監測

選定蘇澳港區之棧橋碼頭腐蝕嚴重之 R.C.面板，進行陰極防蝕之安裝實作與監測，施做面積約 10m x 9m。

5. 混凝土「鹼質與粒料反應」之檢測與防治研究

(1) 進行「鹼質與粒料反應」現地調查

(2) 建立現地調查之快速檢測、診斷技術、活性粒料試驗

(3) 防治方法之研究(表面塗覆、添加波索蘭材料、電化學抑制法)

第三章 鋼板樁碼頭現況調查與腐蝕防制研究

3.1 前言

海水對大多數金屬材料而言，為一極容易發生腐蝕的環境，港灣鋼結構物諸如鋼板（管）樁、棧橋、管線、拉桿等構件，常年浸泡於海水嚴酷的環境下，鋼結構物甚難倖免於腐蝕損壞的威脅。

港研中心民國 79 年至 89 年間，曾在國內五大港口港區碼頭之鋼板(管)樁進行全面調查，發現部分港區碼頭之鋼板(管)樁腐蝕問題嚴重，不僅發生穿孔、破洞等情形，甚至曾發生碼頭岸壁後方級配砂石流失、掏空、岸肩沉陷或靠海床處鋼板發生開裂及彎曲等重大損壞^{[1][2]}^[3]。為確保碼頭作業安全，民國 90 年再次調查腐蝕狀況較為嚴重之基隆港東 2 至東 4 號碼頭，結果顯示採用犧牲陽極塊作為防蝕工法，可確實達到降低鋼板樁腐蝕速率之效果。本年度(91 年)將對碼頭鋼板(管)樁曾發生穿孔破洞等損壞之碼頭構造物繼續進行調查，調查選定對象為花蓮港：航道岸壁、5 號及 6 號鋼板樁；基隆港西 21、西 22 號碼頭鋼板樁；蘇澳港：駁船碼頭鋼板樁、7 號碼頭鋼管樁，台中港 30 號鋼管樁，除台中港 30 號鋼管樁為首次進行調查外，其餘碼頭之調查結果後續將與歷年調查資料進行分析比較。

3.2 研究規劃

3.2.1 規畫流程

本研究參考國內外相關文獻與調查報告後^{[4]-[9]}，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。

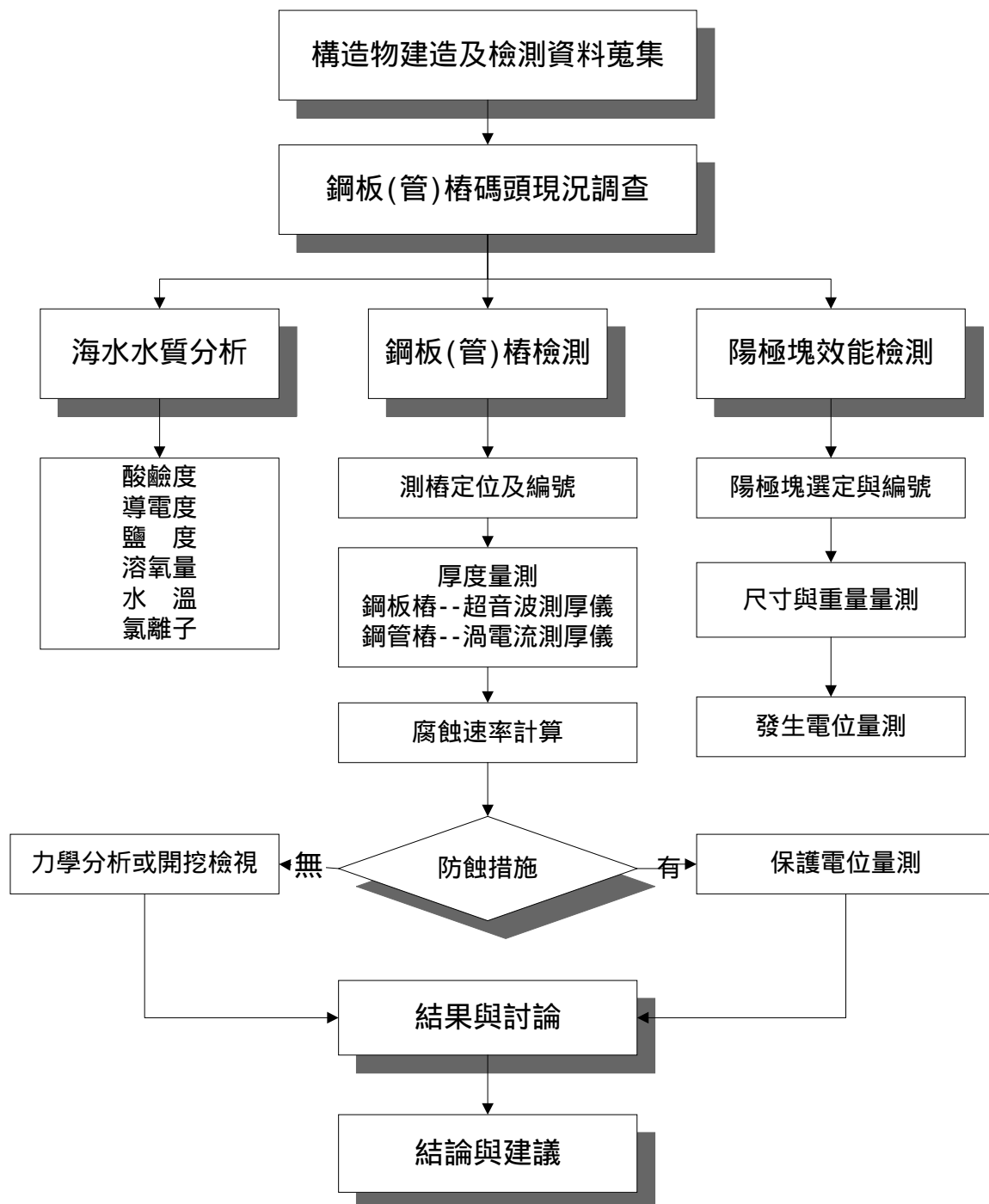


圖 3.1 調查規劃流程圖

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。

3.2.3 海水水質檢測

海水水質與海生物的生長及其分泌物有密切的關係，對鋼板樁之腐蝕亦密不可分。本研究使用德國 WTW 水質測儀，在各檢測之每一碼頭水域不同水深處，檢測海水之氯離子濃度、水溫、溶氧量、酸鹼度.....等。

3.2.4 檢測範圍

檢測範圍包括花蓮港 5 號、6 號碼頭及航道岸壁鋼板樁、基隆港西 21 號 西 22 號碼頭鋼板樁 蘇澳港駁船碼頭鋼板樁及 7 號碼頭鋼管樁 台中港 30 號碼頭鋼管樁。

3.2.5 鋼板樁檢測

3.2.5.1 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。

3.2.5.2 厚度量測

1. 選定檢測樁

花蓮港 5 號、6 號碼頭各選定 20 支測樁檢測厚度，於航道岸壁及

5 號號碼頭鋼板樁陸側進行開挖，瞭解拉桿等附屬設施之腐蝕現況；基隆港西 21 號、西 22 號號碼頭鋼板樁亦各選定 20 支測樁；蘇澳港駁船碼頭選定 34 支測樁及 7 號碼頭選定 8 排共 36 支鋼管樁檢測；台中港 30 號碼頭選定 6 排共 39 支鋼管樁。

2. 選定水深與量測位置

依各港碼頭構造物腐蝕可能狀況，每支鋼板（管）樁選定三至五點水深作為鋼板樁厚度量測點，每一測樁之測點選定以潮汐帶至少一點，水中帶至少兩點為原則。鋼板樁檢測凸、凹、側等三面之厚度，鋼管樁則依圓周四等分取四點量測其厚度。

3. 厚度量測與步驟

a. 超音波測厚法

(1) 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 5 cm × 5 cm 左右。

(2) 厚度量測[10]

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板表面，即可讀取鋼板樁厚度，鋼板樁每面於每一水深測點，量取兩次厚度數據，平均後即為現有厚度。圖 3.2 為潛水人員於海中量測鋼板（管）樁厚度之情形。

(3) 厚度量測之原理

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 ± 0.1 mm，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 3.3。



圖 3.2 水面下超音波量測鋼板樁厚度之情形

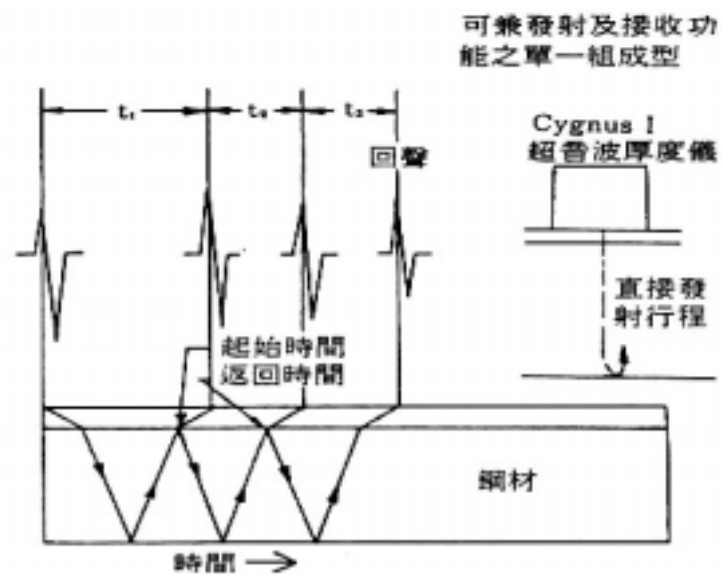


圖 3.3 超音波測厚儀量測之示意圖

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times 1/2 (t_{i+1} - t_i). \quad (\text{公式 3.1})$$

式中 V ：超音波在鋼板樁中之傳播速度 (5920 m/sec)

S_i ：現有鋼板樁厚度讀數(mm)

t_{i+1} , t_i ：探頭接受回聲及初始傳播的時間

b. 渦電流檢測法

（1） 檢測設備

檢測設備包括筆記型電腦、訊號處理器、探頭及電池等四個元件。
（如圖 3.4）探頭激發和接收渦電流訊號後，透過訊號處理器平衡、放大等過程，並在筆記型電腦上得到一時間訊號曲線。其利用時間訊號曲線之轉折點，判斷鋼材平均腐蝕情況。本研究使用之海底探頭，為特殊處理之防水探頭，能穿過 50 mm 之被覆厚度，檢測時不需先清除鋼板樁表面覆著海生物，即可直接量測鋼材現有厚度。圖 3.5 水面下渦電流量測鋼板樁厚度之情形。



圖 3.4 渦電流檢測設備



圖 3.5 水面下渦電流量測鋼板樁厚度之情形

（2） 檢測原理

渦電流檢測主要是利用電磁感應原理，在鋼材中生成感應渦電流。渦電流會因鋼材內之瑕疵或物理差異而有所改變，藉此改變可得知缺陷所在，而達到檢測的目的。渦電流檢測除應用於圓柱、管件、薄板等表面及近表面缺陷之檢測外，並可用於檢測材質特性，如塗膜厚度、導電率、導磁率及電阻等。但檢測僅限於導電材料，且受鋼材厚度及形狀之限制，內部缺陷不易檢測及訊號判定困難，需賴具豐富經驗之檢測者實施等缺點。

脈衝式渦電流檢測之渦電流產生位置與時間有關，感應產生渦電流之落後時間與穿透深度有關，距離越遠其落後時間越長。其利用時間差的變化來反應檢測物的狀況。因此藉由時間訊號曲線之轉折點 (Bending Point)，可評估檢測物之腐蝕情況。

脈衝式渦電流檢測時可得到一時間訊號曲線，經由統計理論作迴歸分析，以計算判定係數並藉此衡量板樁現有厚度。判定係數之優劣直接影響檢測數值，因此，檢測前必須先設定板樁最大厚度、包覆厚度、溫度範圍等參數，以得到最佳訊號曲線，提高檢測之準確性。

4. 腐蝕速率計算

將各測點所測得之厚度數據平均之，可得鋼板樁現有厚度，再以鋼板樁原有厚度減去現有厚度，即可得出鋼板樁實際減少之厚度(亦即腐蝕厚度)。將減少之厚度再除以鋼板樁使用之年期，可計算鋼板樁之實際腐蝕速率。腐蝕速率換算公式如下：

$$\begin{aligned}\text{腐蝕速率} &= \text{腐蝕量} / \text{使用年期} \\ &= (\text{原始厚度}-\text{現有厚度}) / \text{使用年期} \quad (\text{公式 3.2})\end{aligned}$$

基隆港西 21、西 22 碼頭與蘇澳港駁船碼頭鋼板樁均於使用一段期間後再安裝犧牲陽極作為防蝕方法，因此其腐蝕速率又可分為兩種：

(1) 未作防蝕措施前之腐蝕速率 ; (2) 採用防蝕措施後之腐蝕速率 , 其公式如下^[13] :

$$V_c = \frac{C}{Y_c + (1 - P)Y_p} \quad (\text{公式 3.3})$$

$$V_p = \frac{C - V_c \times Y_c}{Y_p} \quad (\text{公式 3.4})$$

式中 V_c = 無防蝕措施之腐蝕速率 (mm/yr.)

V_p = 有防蝕措施之腐蝕速率 (mm/yr.)

Y_c = 無防蝕措施之年期 (yr)

Y_p = 有防蝕措施之年期 (yr)

C = 腐蝕量 (mm)

P = 防蝕率 , 防蝕率與海水浸水率之關係示如表 3.1。

表 3.1 防蝕率與海水浸水率之關係^[13]

海水浸水率 (%)	防蝕率 (%)
0 40	40 以下
41 80	41 60
81 99	61 90

3.2.5.3 鋼板樁保護電位量測

以銅/硫酸銅電極為準 , 量測時電錶一端搭接於與鋼板樁連結之不銹鋼電位測試棒上 , 另一端則置於欲量測之鋼板樁旁。

3.2.6 陽極塊調查

3.2.6.1 選定陽極塊

基隆港陽極塊調查於西 21 號碼頭抽檢 8 支，西 22 號碼頭抽檢 7 支，合計 15 支。蘇澳港則於駁船碼頭 A、B 兩段各隨機抽檢陽極塊 2 支共 4 支，於 7 號碼頭抽檢鋼管樁一排共 11 支陽極塊，合計 15 塊。於台中港 30 碼頭則抽檢二排鋼管樁，抽檢陽極塊之數量為 15 支。

3.2.6.2 陽極塊發生電位之量測

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。

3.2.6.3 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。

3.2.6.4 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。

3.3 結果與討論

3.3.1 碼頭構造物背景資料搜集與分析

本次調查範圍包括花蓮港 5 號、6 號碼頭、航道岸壁，基隆港西 21 號、西 22 號碼頭，蘇澳駁船碼頭之鋼板樁及蘇澳港 7 號碼頭與台中港 30 號碼頭鋼管樁等鋼板樁構造物，背景資料如表 3.2 所示，各碼頭檢測位置如圖 3.6 至圖 3.9 所示。

表 3.2 鋼板（管）樁碼頭構造物背景資料

構造物名稱	長度 (m)	水深 (m)	版樁型式	原始厚度 (mm)	完工日期 (年.月)	防蝕處理	防蝕完工 日期(年)	調查日期 (年、月)
花蓮港5號碼頭	160	8.5	Belvol-Z	凸凹：15.2 側：10.2	50	無	-----	91.5
花蓮港6號碼頭	150	8.5	Z-25	凸凹：13.0 側：9.6	60	無	-----	91.5
花蓮航道岸壁	527	9.5	FSP VL	24.3	67.7	無	-----	90.7
基隆港西21號碼頭	160	8.5	Z-38	凸凹：17.2 側：11.4	50	無	80	91.6
基隆港西22號碼頭	160	8.5	Z-38	凸凹：17.2 側：11.4	50	無	80	91.6
蘇澳港駁船碼頭	338	-4.5	Z-14	凸凹：9.4 側：8.2	67.6	防蝕帶 犧牲陽極	82	91.7
蘇澳港7號碼頭	236	-13	鋼管樁	16	72.3	防蝕帶 犧牲陽極	67，82-	91.7
台中港30號碼頭	236	-13	鋼管樁	12	84.7	防蝕帶 犧牲陽極	---	91.9

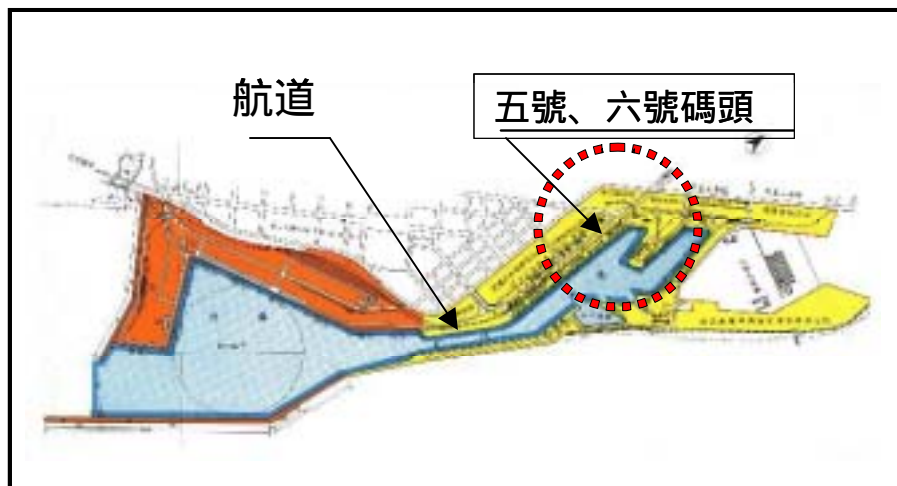


圖 3.6 花蓮港航道 5 號 6 號碼頭位置圖

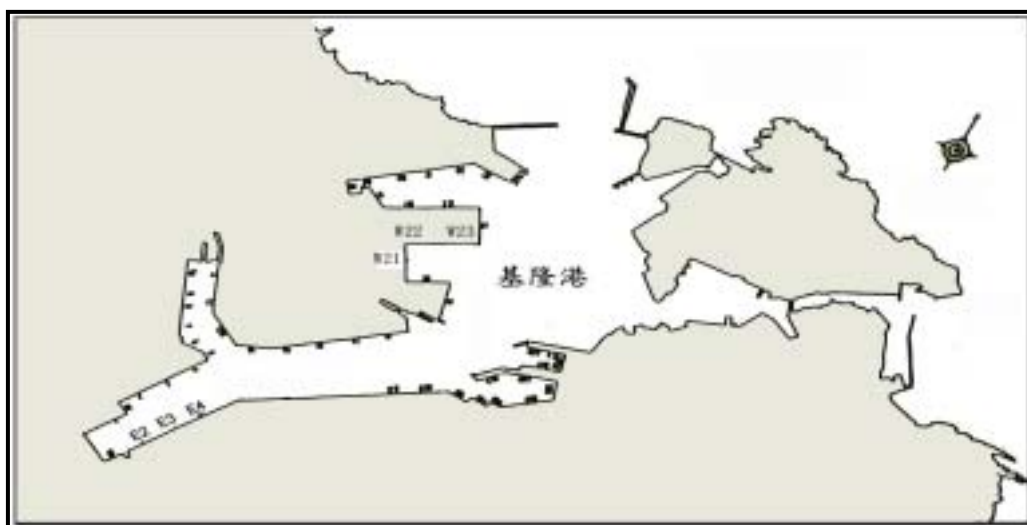


圖 3.7 基隆港西 21、西 22 號碼頭位置圖

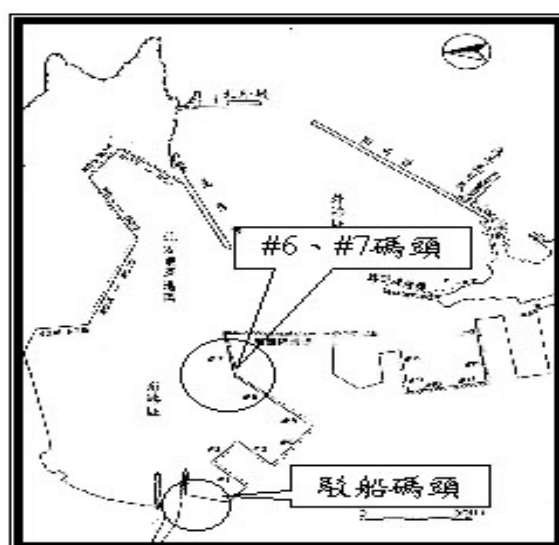


圖 3.8 蘇澳港駁船及 7 號碼頭位置圖

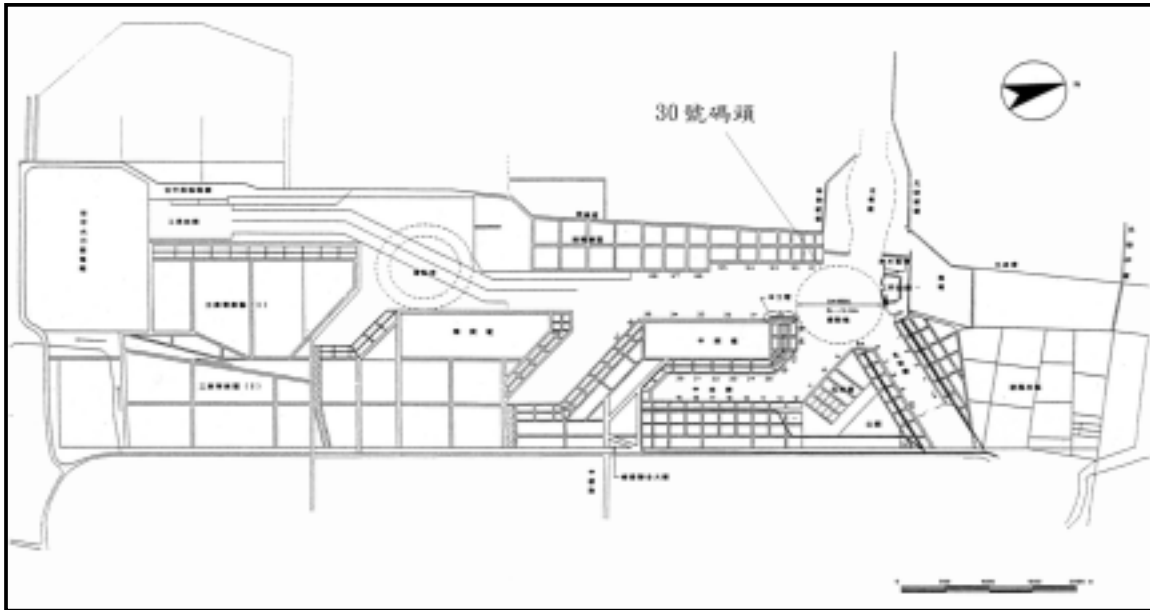


圖 3.9 台中港 30 號碼頭位置圖

3.3.2 海水水質分析

海水取樣地點分別為花蓮港航道、5 號及 6 號碼頭；基隆港西 21 及西 22 號碼頭；蘇澳港駁船碼頭與 7 號碼頭；台中港 30、31 號碼頭。由海水水面觀察，花蓮及蘇澳港域內之海水較其它港口清澈，受污染程度較小，可能原因為港口瀕臨太平洋，船隻進出港內較其它港口少，且港區附近並無大型化工廠或工業區之廢水排放。

調查水域之海水其分析結果如表 3.3 所示，各碼頭水域之水質差異不大，鹽度介於 30.9 ~ 34.7 ‰ 間，且西岸台中港之平均值大於東岸之花蓮與蘇澳港。電導度值介於 43.2 ~ 52.7 mmho/cm，以台中港 30 號碼頭最大，花蓮港 6 號碼頭最小，以月份區分則 11 月最大，2 月最小。比電阻值介於 19.0 ~ 23.2 Ω /cm，以花蓮港 6 號碼頭最大，台中港 30、31 號碼頭最小。

溶氧量以花蓮港 6 號碼頭 2 月份之 8.3 mg/L 最高，台中港 30 及 31 號碼頭 5 月份之 5.2 mg/L 最低。整體之溶氧量，以花蓮港及蘇澳港較高，顯示此兩港區水質污染較不嚴重。平均介於 7.5 ~ 8.6 間。氯離子平均濃度在 16,500~24,000 ppm。

相關研究報告指出，鋼材在海水中之腐蝕速率會隨著溶氧量、鹽度及導電度等增加而遞增，海水酸鹼度介於 4~10 間，對腐蝕速率變化差異不大。本次調查各港口碼頭水域之水質差異不大，對腐蝕速率影響較大之因子可能為污染程度及海生物附著等。

表 3.3 海水水質分析結果

<div>檢測項目</div> <div>季節碼頭代號</div>			鹽度	導電度	比電阻	溶氧量	酸鹼度	水溫	氯離子
			sal (‰)	TDS(A) (mmho/cm)	(B) (  /cm)	DO (mg/L)	pH	Temp ( )	CL ⁻ (ppm)
02	花蓮港	航道	32.4	43.9	22.8	8.3	8.59	22.7	17935
		# 5	32.1	43.6	22.6	8.0	8.55	22.7	17750
		# 6	31.4	43.2	23.2	8.0	8.55	22.6	17363
05		航道	33.6	47.5	21.1	6.8	7.77	25.9	17226
		# 5	32.9	46.8	21.4	6.6	7.74	25.8	17456
		# 6	33.4	46.9	21.3	6.4	7.85	25.7	16951
08		航道	32.0	49.6	20.2	7.2	8.09	29.8	18298
		# 5	31.8	49.1	20.4	7.1	8.07	29.3	18718
		# 6	32.0	49.1	20.4	7.0	8.07	29.4	17252
11		航道	33.2	50.6	19.8	7.3	8.13	25.0	19966
		# 5	33.0	50.3	19.9	7.2	8.11	24.6	23943
		# 6	33.2	50.6	19.8	7.3	8.10	24.7	21370
02	基隆港	W21	33.2	47.5	21.1	7.7	8.60	18.5	18378
		W22	33.7	47.5	21.0	8.0	8.62	18.4	18728
05		W21	33.0	46.0	21.6	6.0	7.68	24.4	17613
		W22	33.2	46.1	21.7	6.1	7.65	24.5	18357
08		W21	33.0	51.4	19.5	6.1	8.05	27.7	19102
		W22	33.0	51.3	19.5	6.1	8.07	27.6	19947
11		W21	33.5	51.2	19.5	7.3	8.05	22.3	24721
		W22	33.5	51.1	19.6	7.3	8.09	22.6	21488
02	蘇澳港	W22-1	33.5	51.1	19.6	7.0	8.04	22.4	23919
		駁船	33.4	44.0	22.7	7.9	8.28	22.1	18322
# 7		32.8	43.9	22.8	8.1	8.41	22.1	18156	
05		駁船	30.9	45.3	22.1	6.5	7.50	25.0	16487
		# 7	32.1	46.3	21.6	6.5	7.56	24.8	17060
08		駁船	32.8	48.3	20.7	7.5	7.86	28.0	19143
		# 7	33.2	48.8	20.5	7.2	7.93	27.9	19527
11		駁船	33.3	50.6	19.8	6.9	7.90	25.4	20898
	# 7	32.8	50.0	20.0	7.0	7.93	25.0	22951	
02	台中港	30	34.3	47.6	21.0	7.5	8.46	23.4	18976
		31	34.4	47.6	21.0	7.4	8.46	23.4	19031
05		30	33.6	51.6	19.4	5.2	7.87	30.0	18270
		31	33.6	51.8	19.3	5.2	7.87	30.0	18294
08		30	34.1	51.7	19.4	7.4	8.11	26.6	19131
		31	33.6	51.8	19.3	5.2	7.87	30.0	18294
11		30	34.6	52.7	19.0	7.6	8.19	24.4	18729
		31	34.7	52.6	19.0	7.6	8.17	24.3	20880

3.3.3 鋼板樁現況檢測

3.3.3.1 花蓮港 5 號碼頭

五號碼頭於民國 50 年完工,水深 -9.50 公尺,碼頭全長 260 公尺,採用盧森堡製之 Belvol Z 型鋼板樁建造,使用迄今約 40 年,無任何防蝕措施。在高潮位線時,仍有一截鋼板樁約 80~120 公分之深度,全年裸露於大氣中,與國內其它港區碼頭鋼板樁完全浸入海水中略有不同。碼頭結構斷面如圖 3.10,使用鋼板樁型式如圖 3.11。

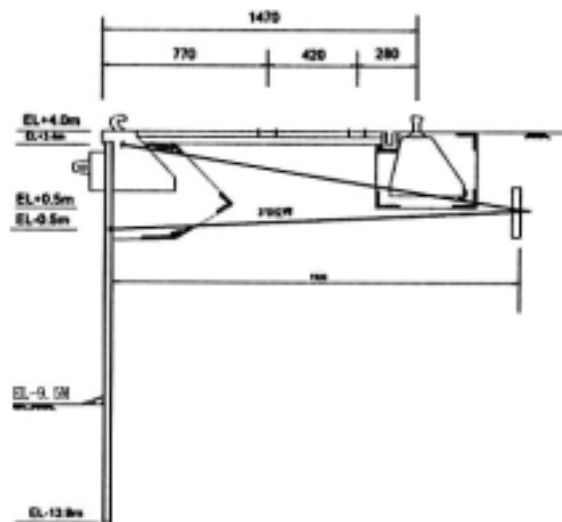


圖 3.10 花蓮港 5 號碼頭結構斷面圖

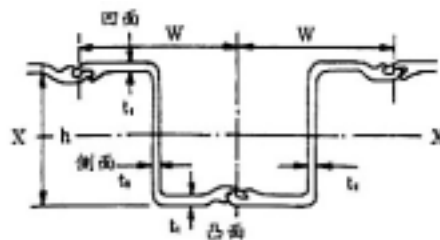


圖 3.11 Z 型鋼板樁型式圖

1. 目視檢測

圖 3.12 為 5 號碼頭正視面景,岸壁下方 (+3.5m) 至潮汐帶上方之

鋼板樁，港務局每年均定期進行維護，鋼板樁表面採防蝕塗料塗覆保護，外觀無嚴重腐蝕，但全區鋼板樁表面有明顯銹蝕斑點及凹凸不平現象，顯示潮汐帶之鋼板樁呈不均勻腐蝕（如圖 3.13 圖 3.16 所示），檢測人員從海側近距離目視觀察未發現穿孔或破洞等。又港研中心於民國 89 年曾對 5 號碼頭調查結果顯示，腐蝕速率約 0.07 mm/yr。小於 0.2 mm/yr. 之規範值，腐蝕程度屬輕微。

本次（91 年）調查，鋼板樁水下部分外觀未發現有孔蝕或穿孔破洞等情形，距起點 55.4 公尺、66.2 公尺、81.8 公尺處凹面及 121.5 公尺處凸面之鋼板樁，於海床處則有開裂及彎曲現象發生，其開裂最大寬度從 15 至 25 公分，高度約 1 至 2 公尺（如圖 3.17 圖 3.21 所示），研判應為地震作用導致動土壓力推擠鋼板樁，致發生三角錐形開裂並使部分開裂處鋼板彎曲，與鋼板樁腐蝕行為應無直接關係。

5 號碼頭位於潮汐帶之鋼板樁，因背填土壤可能加速板樁腐蝕速率，且 4 號碼頭近期在開挖維修地下管線時，曾發現鋼板樁陸側部分有明顯銹蝕及穿孔破洞（如圖 3.22 所示），加上鋼板樁使用時間已超過 30 年以上，因此本次調查特選定 5 號、6 號碼頭交接處之鋼板樁陸側，僱請挖土機進行岸肩開挖（如圖 3.23、圖 3.24 所示），開挖結果發現鋼板樁陸側表面有一層厚重鐵銹，敲除後有多處破洞，破洞尺寸最大長約 5 公分，寬約 3 公分（如圖 3.25 圖 3.27 所示），顯示背填土之土壤對腐蝕影響相當值得重視，由於鐵銹未與鋼板樁脫離且其體積較正常鋼材膨脹數倍，利用超音波測厚計從海側量測，因超音波傳遞時間受到鐵銹影響而延遲，所得鋼板樁厚度會較實際厚度大，無法顯示實際腐蝕狀況，此一問題值得探討，另採用脈衝式渦電流法檢測，因受限於板樁外部形狀，儀器軟體設定參數需另修正，因此未取得合理數據（如圖 3.28、圖 3.29 所示）。



圖 3.12 花蓮港 5 號碼頭低潮位線上鋼板樁正視圖



圖3.13 花蓮港5號碼頭低潮位線上鋼板樁1



圖3.14 花蓮港5號碼頭低潮位線上鋼板樁2



圖3.15 花蓮港5號碼頭低潮位線上
鋼板樁表面現況1



圖3.16 花蓮港5號碼頭低潮位線上
鋼板樁表面現況2

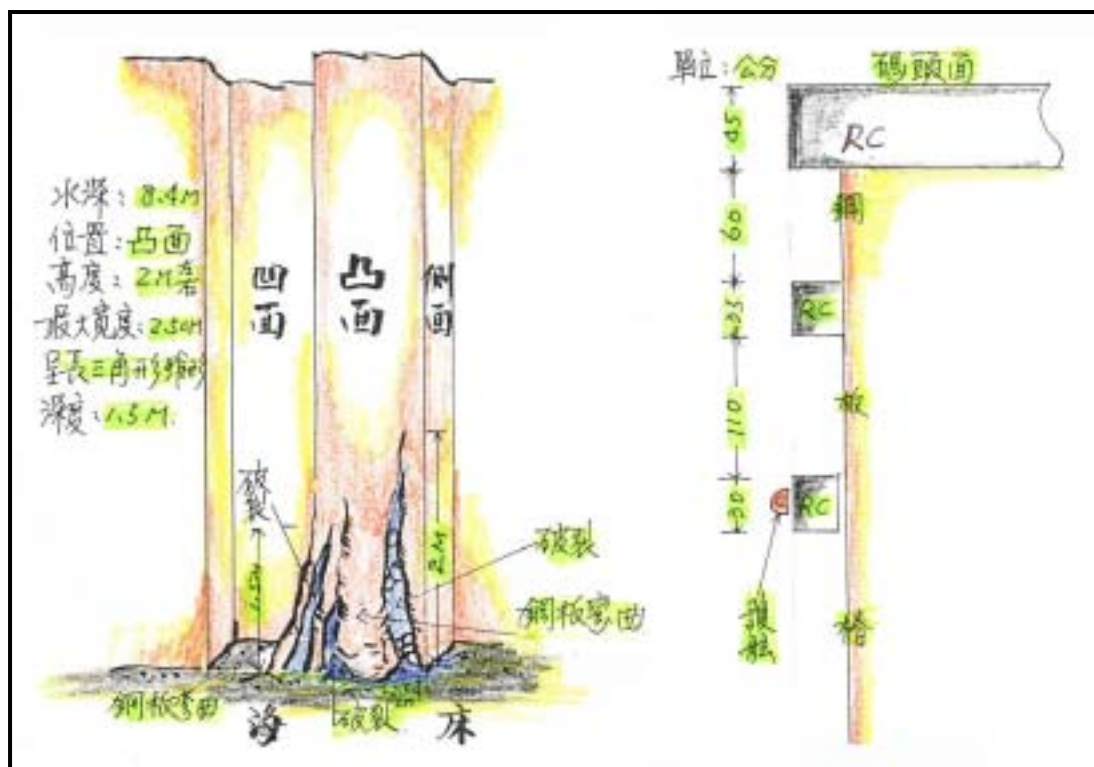


圖3.17 花蓮港5號碼頭121.5 m 處鋼板樁彎曲開裂示意圖

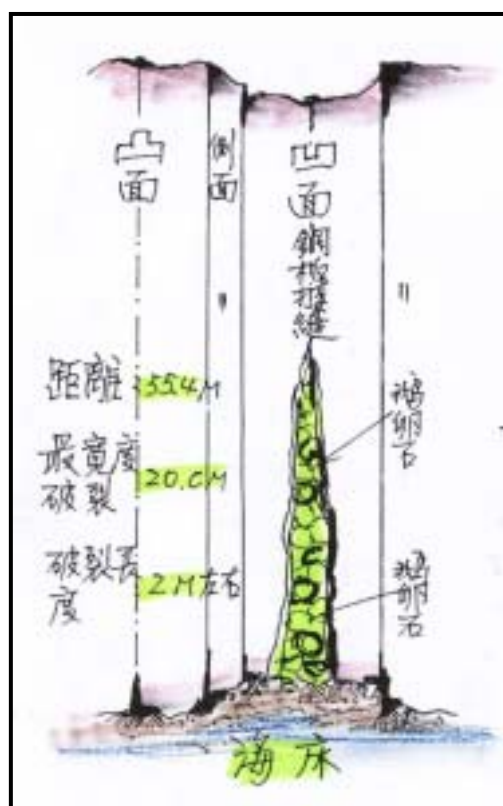


圖3.18 花蓮港5號碼頭55.4 m 處鋼板樁彎曲開裂示意圖

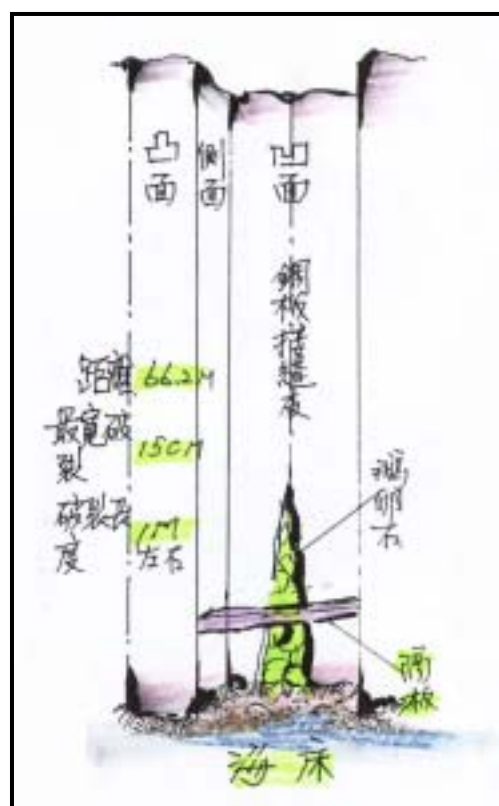


圖3.19 花蓮港5號碼頭66.2 m 處鋼板樁彎曲開裂示意圖

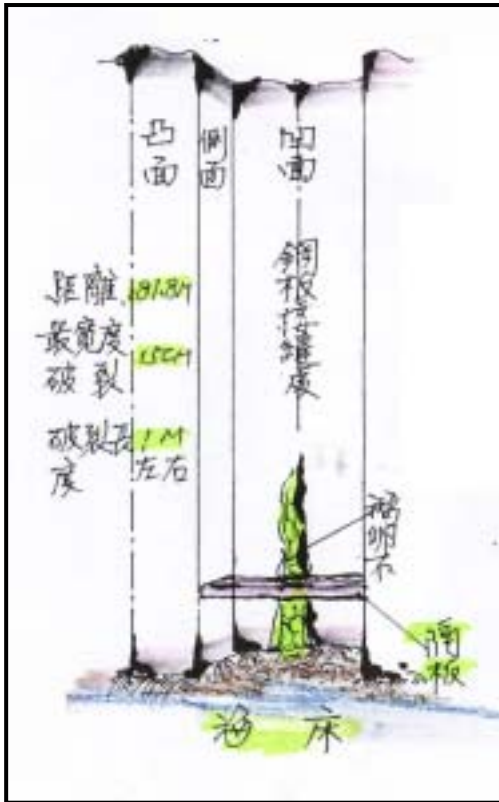


圖3.20 花蓮港5號碼頭81.8 m處鋼板樁彎曲開裂示意圖



圖3.21 花蓮港5號碼頭鋼板樁海床處開裂之情形



圖3.22 花蓮港4號碼頭鋼板樁陸側破洞之情形



圖3.23 花蓮港5號碼頭鋼板樁陸側開挖現場之情形



圖3.24 花蓮港5號碼頭鋼板樁
陸側開挖後情形



圖3.25 花蓮港5號碼頭鋼板樁
陸側生銹情形



圖3.26 花蓮港5號碼頭鋼板樁
陸側破洞（1）



圖3.27 花蓮港5號碼頭鋼板樁
陸側破洞（2）



圖3.28 花蓮港鋼板樁陸側檢測情形
（渦電流法）



圖3.29 花蓮港鋼板樁陸側檢測情形
（超音波法）

2.鋼板樁厚度量測

圖 3.30 為 5 號碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖，自 5 號、6 號碼頭交接處起選取 20 支測樁，每支測樁量測凹、側、凸三面，檢測水深(高程)分別為 +3.3 m、 +2.6 m、 +1.8 m、 +0.5 m、 -1.0 m、 -1.5 m、 -2.0 m、 -2.5 m、 -3.0 m 與 -3.5 m，計 10 個深度測點，檢測點共計 600 點。

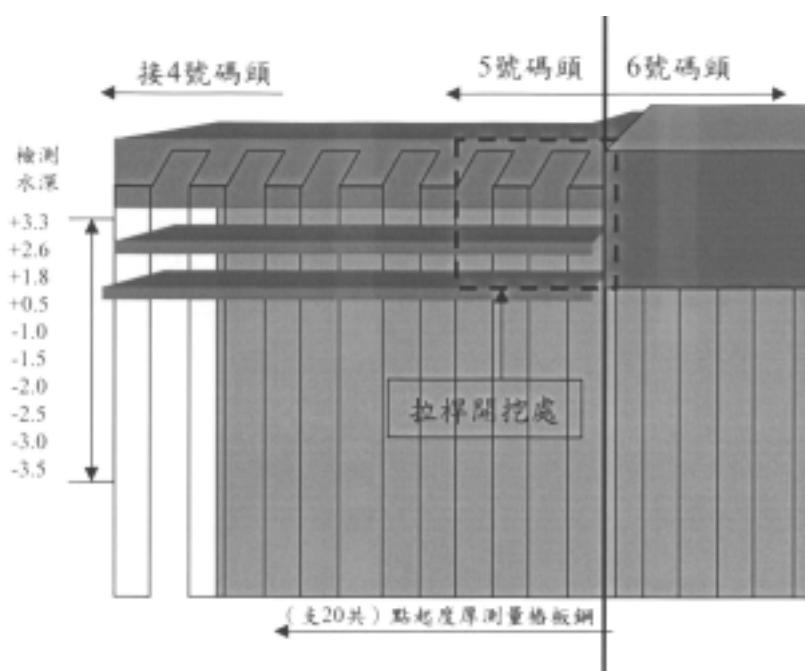


圖 3.30 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖

表 3.4 及圖 3.31 為 5 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率檢測結果，在水深-1.00 m 處凸面、凹面、側面均為 0.08 mm/yr.，全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

由檢測水深觀察，在水深+0.50 m 處及水深-2.00 m 處之平均腐蝕速率最大僅 0.08 mm/yr.，暴露於潮汐帶上方之鋼板樁其平均腐蝕速率最小（約在 0.04 ~ 0.05 mm/yr.間），但鋼板樁陸側在潮汐帶上方會受到土壤對腐蝕影響，超音波測厚計從海側量測鋼板樁厚度，因表面鐵銹體積發生膨脹且尚未脫離鋼板樁，致量測結果大於現有厚度，無法顯示現有腐蝕狀況。各檢測樁腐蝕速率與水深關係如圖 3.32 所示。

各檢測樁之腐蝕速率都不大於 0.10 mm/yr.，低於 0.2 mm/yr. 之規範值，凸、凹、側面減少厚度大於 3.00 mm 之測點甚多，顯示腐蝕速率雖低但減少厚度很多超過原有厚度 20 % 以上。由於碼頭鋼板樁建造迄今已超過三十年，參酌開挖後發現，潮汐帶鋼板樁陸側上已有穿孔破洞情形，靠近海床部份又出現鋼板樁開裂與彎曲現象，因此腐蝕速率雖未超過規範值，但為碼頭作業安全，仍需未雨綢繆及早補強改善或考慮予以改建。

表 3.4 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁腐蝕速率 (mm/yr.)

水深(m) \ 測定位置	凸面	側面	凹面	水深(m) \ 測定位置	凸面	側面	凹面
+3.3	0.04	0.05	0.04	-1.5	0.07	0.07	0.08
+2.6	0.04	0.05	0.04	-2.0	0.07	0.07	0.08
+1.8	0.04	0.05	0.04	-2.5	0.07	0.07	0.07
+0.5	0.08	0.08	0.07	-3.0	0.07	0.07	0.07
-1.0	0.08	0.08	0.08	-3.5	0.07	0.07	0.07

(依公式 3.2 計算)

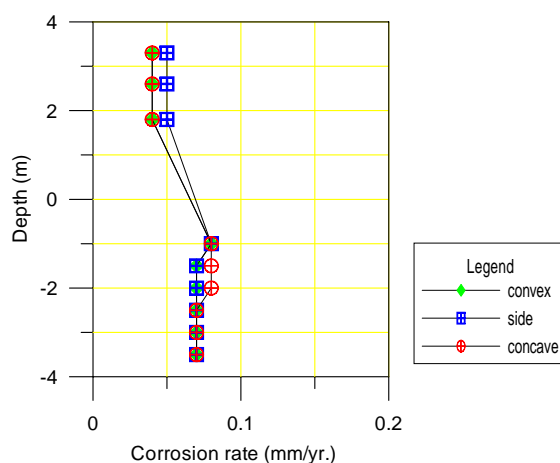


圖 3.31 花蓮港 5 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

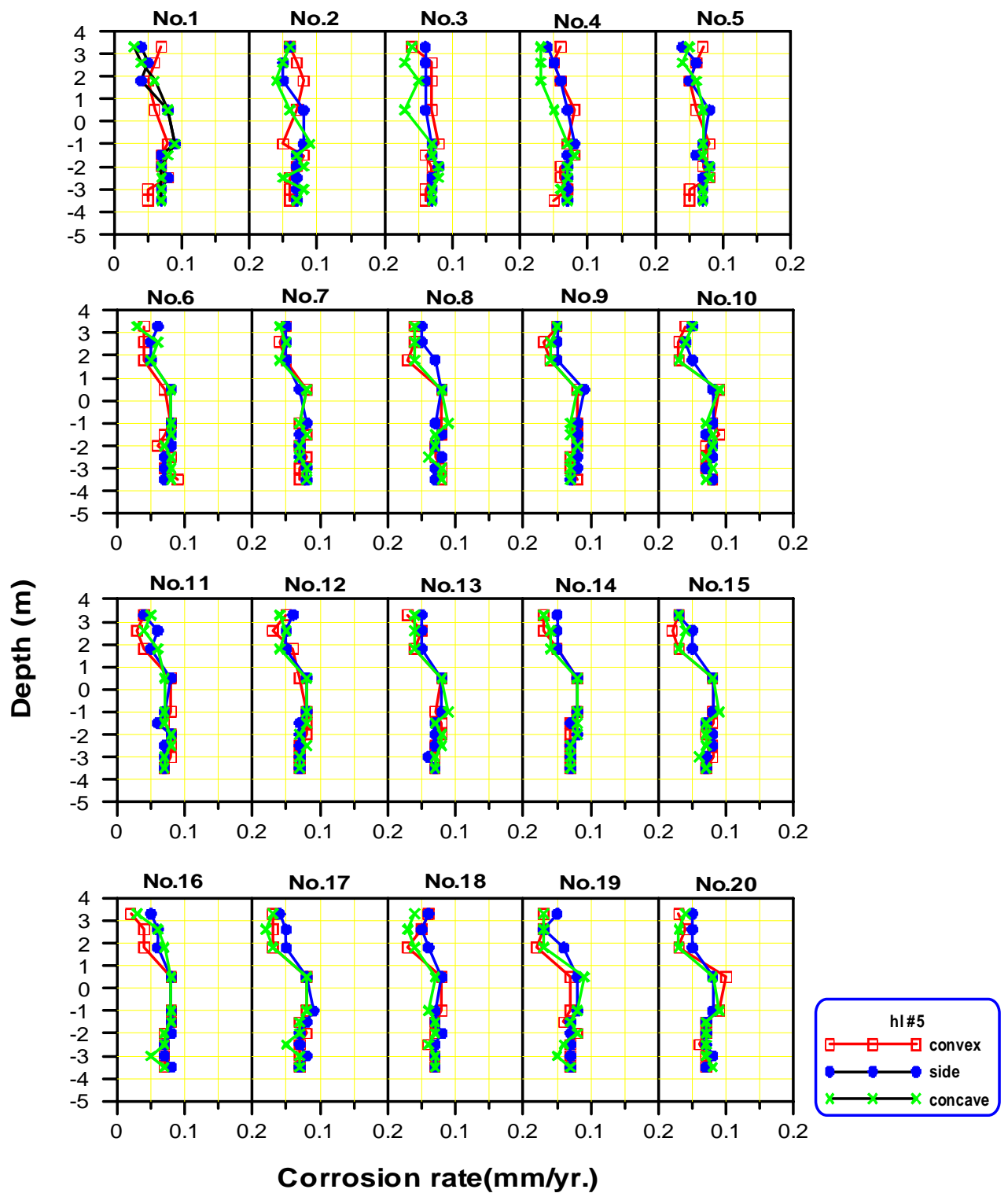


圖 3.32 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係

3.3.3.2 花蓮港 6 號碼頭

本碼頭於民國 60 年完工，水深 -9.50 公尺，全長 150 公尺，採用日本製 Z-25 型鋼板樁建造，建造時碼頭混凝土冠牆灌注至低潮位線下 0.75 公尺，因此，鋼板樁完全浸入於海水面下，使用迄今約 30 年，無任何防蝕措施。碼頭結構斷面如圖 3.33 所示。

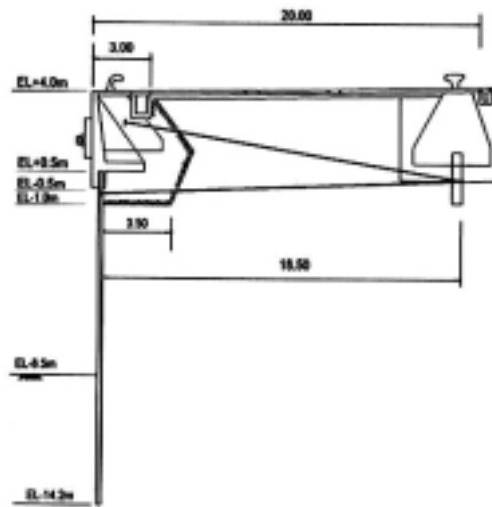


圖 3.33 花蓮港 6 號碼頭結構斷面圖

1. 目視檢測

港研中心於民國 88 年曾對 6 號碼頭進行調查結果顯示，鋼板樁表面外觀並無嚴重腐蝕情況，厚度減少約 1 ~ 3 mm，腐蝕速率均小於 0.10 mm/yr.（未超過規範 0.20 mm/yr. 或 4.0 mm），腐蝕程度屬於輕微。

鋼板樁水下部分外觀未發現孔蝕或穿孔破洞等現象，但民國 88 年調查時，於距起點 112 公尺處鋼樁凹面或凸面發現有開裂現象，開裂寬度約 25 公分，高度長約 2 公尺，研判應為地震作用產生動土壓力推擠鋼板樁，使鋼板發生三角錐形開裂，部分開裂處並同時出現彎曲現象，港務局已採鋼板焊接方式補強修護。本次（91 年）調查距起點 6.0、7.0、7.8 公尺處，發現三個長約 15 至 20 公分，寬約 15 公分之孔洞（如圖 3.34 至圖 3.36 所示），由外觀判斷，孔洞原因應為人工切割所致，對結構安全無直接危害。

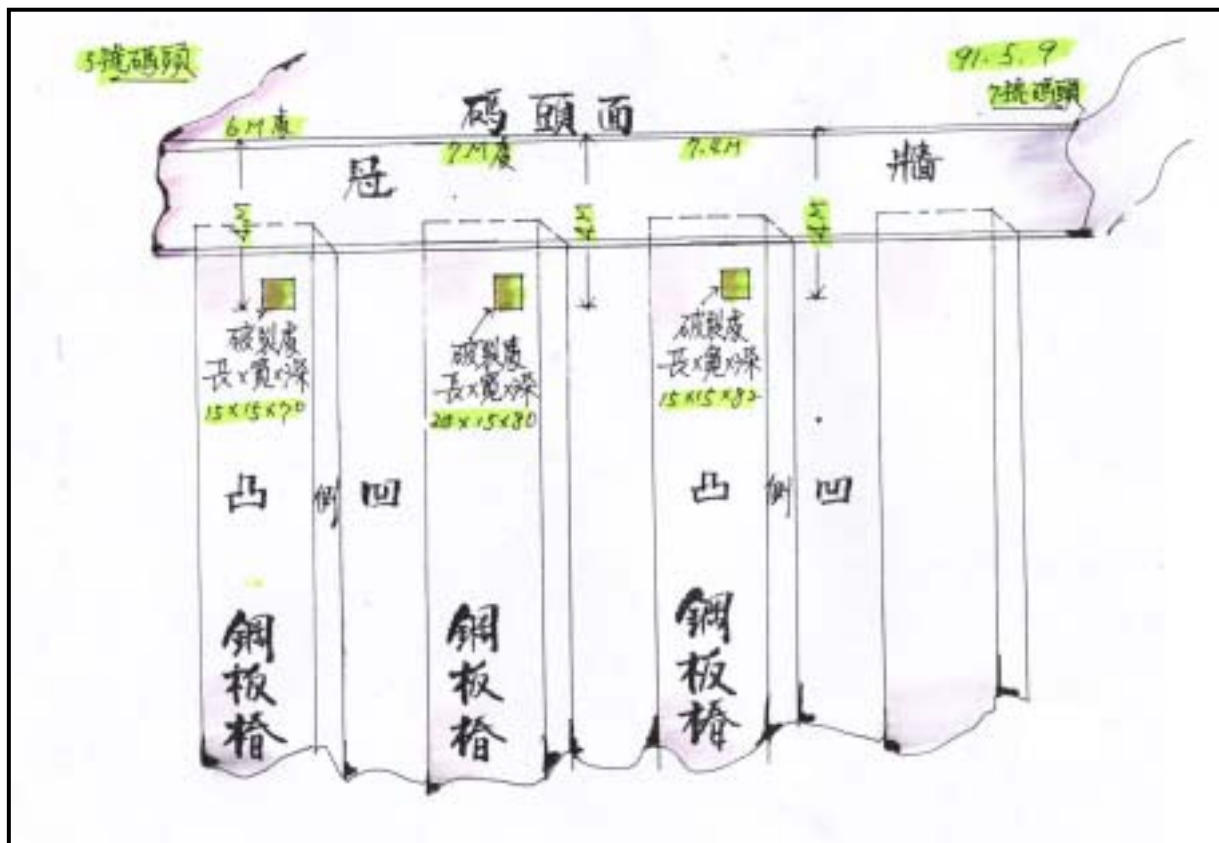


圖 3.34 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁開孔示意圖



圖3.35 花蓮港6號碼頭鋼板樁6 m處開孔之情形



圖3.36 花蓮港6號碼頭鋼板樁7 m處開孔之情形

2. 鋼板樁厚度量測

鋼板樁厚度量測位置(水深)如圖 3.37。自 5 號、6 號碼頭交接處選取連續 20 支測樁，每支測樁量測凹、側、凸三面，檢測水深(高程)分別為 -0.2 m、-0.4 m、-0.6 m、-0.8 m、-1.0 m、-1.5 m、-2.0 m、-2.5 m、-3.0 m 與 -3.5 m，總計 10 個深度測點。

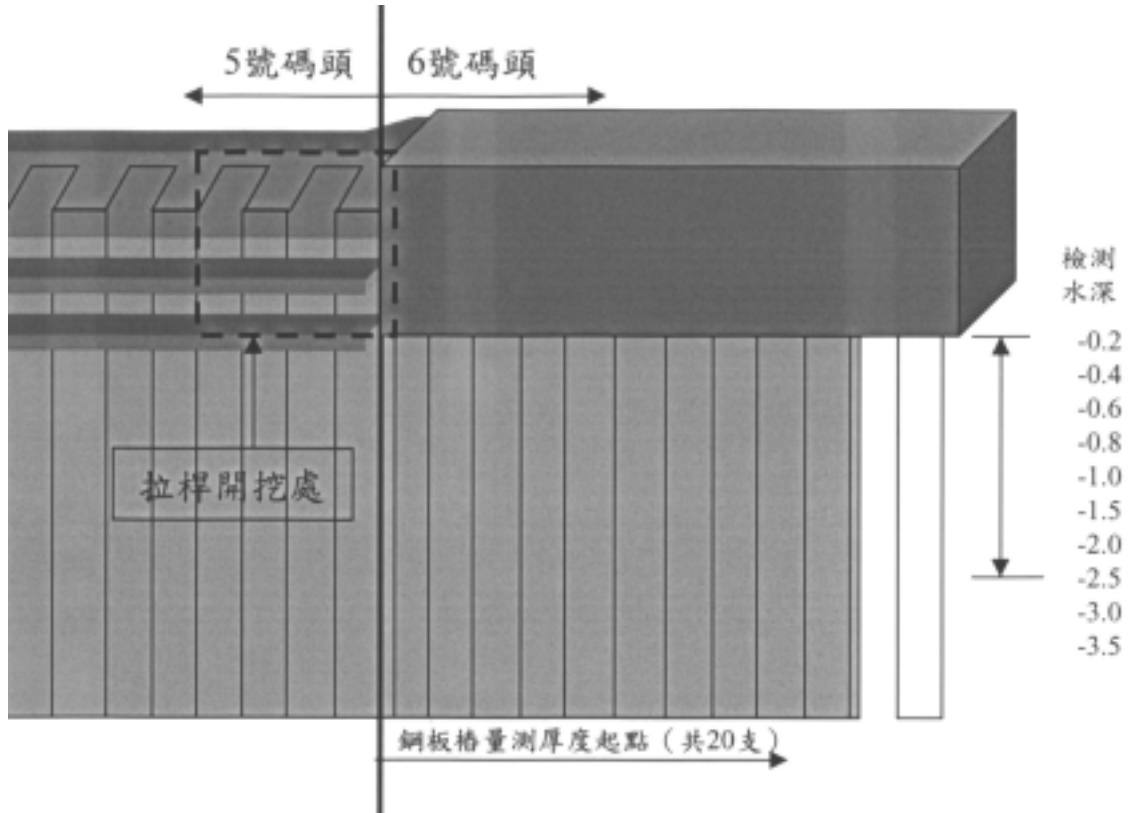


圖 3.37 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖

表 3.5 及圖 3.38 為平均腐蝕速率計算結果，在水深-1.00 m 處之凸、凹、側面之腐蝕速率為 0.08 mm/yr.，低於 0.20 mm/yr.。各檢測樁平均腐蝕速率以側面較大，凸、凹面較小。

由檢測水深觀察，平均腐蝕速率在水深-1.00 m 處及水深-1.50 m 處之最大僅 0.08 mm/yr.，水深-2.00 m 以下最小(約在 0.02 ~ 0.07 mm/yr. 間)。各檢測樁腐蝕速率與水深關係詳如圖 3.39。

檢測樁腐蝕速率最大僅為 0.10 mm/yr.，小於 0.20 mm/yr.之規範值，鋼板樁減少厚度以側面（3.55 mm），凹面（3.55 mm）凸面（3.50 mm），並未超過由規範值與設計年限 20 年換算出之 4.0 mm，但已超過原有厚度之 20 %。由於鋼板樁建造迄今已超過 20 年之設計年限，且鋼板樁靠近海床底部曾發生開裂與彎曲，腐蝕速率雖低於規範值，仍應規劃補強改善措施或建立實施定期檢修制度。

表 3.5 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

水深(m) \ 測定位置	凸面	側面	凹面	水深(m) \ 測定位置	凸面	側面	凹面
-0.2	0.06	0.08	0.05	-1.5	0.07	0.07	0.08
-0.4	0.05	0.08	0.06	-2.0	0.03	0.06	0.02
-0.6	0.05	0.08	0.04	-2.5	0.02	0.06	0.02
-0.8	0.04	0.07	0.04	-3.0	0.02	0.06	0.02
-1.0	0.08	0.08	0.08	-3.5	0.03	0.07	0.03

（依公式 3.2 計算）

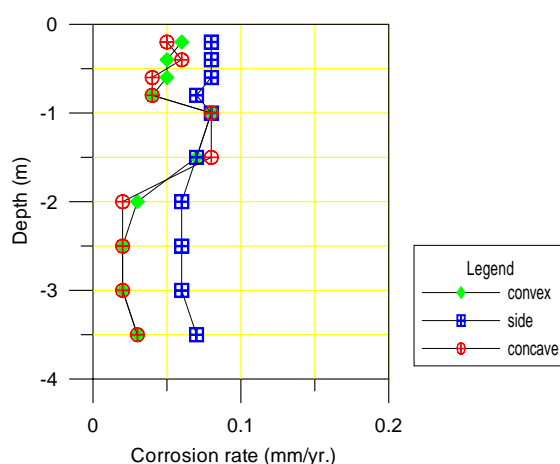


圖 3.38 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係

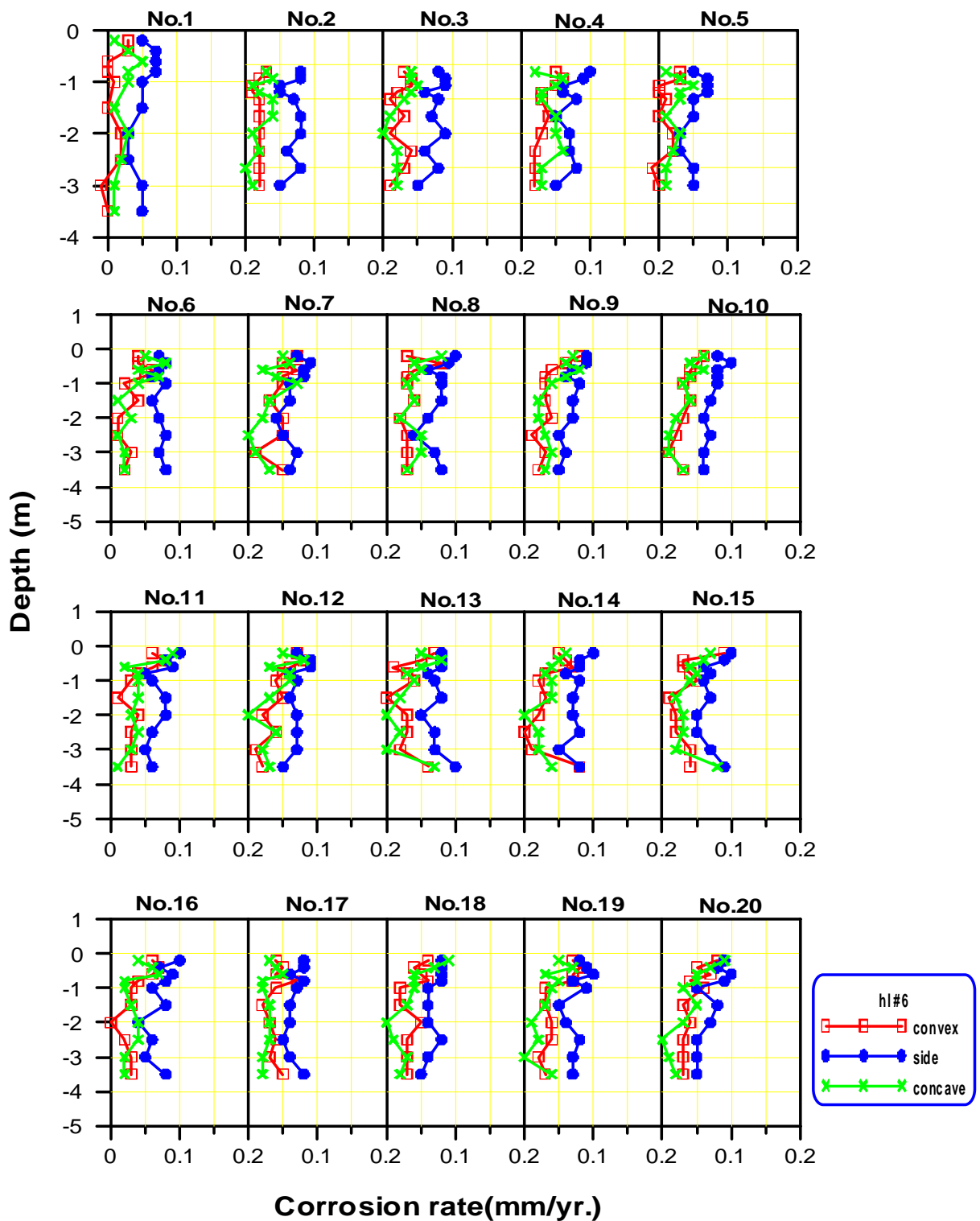


圖 3.39 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與檢測水深之關係

3.3.3.3 航道岸壁

航道岸壁(西側)結構於民國 67 年完工，水深 -9.5 公尺，岸壁全長 527 公尺，採用日本製 FSP VL U-型鋼板樁建造，原始厚度為 24.3 mm，使用迄今約 23 年。圖 3.40 為航道岸壁結構斷面圖。

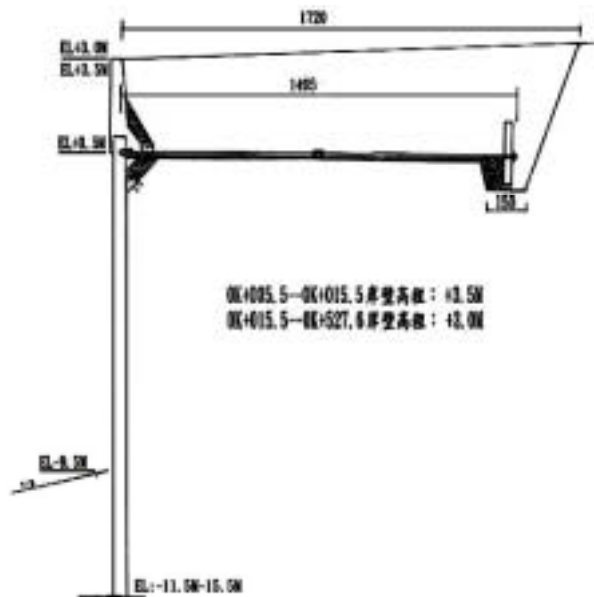


圖 3.40 航道岸壁結構斷面圖

1. 目視檢測

港研中心於民國 89、90 年之曾調查結果顯示，鋼板樁外觀並無嚴重腐蝕，腐蝕速率均小於 0.20 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微。

鋼板樁水下部分外觀並未發現影響結構安全之孔蝕或穿孔破洞等，由於航道狹窄，港務局基於該構造物使用迄今已超過 20 年之設計年限，如有損壞將直接影響船隻進出港口之安全，又因地震發生頻繁，為確保鋼板樁及其附屬設施（拉桿、錨碇版等....）等使用安全無虞，本次（91 年）調查選定自航道起點 450 公尺處之岸壁陸側及距岸壁後方 10 公尺兩處進行開挖，調查結果顯示拉桿外觀未發現生銹腐蝕，以游標卡尺量測拉桿現有厚度亦無減小，顯示拉桿狀況良好（如圖 3.41 至圖 3.44 所示）。

2. 鋼板樁厚度量測

港研中心民國 90 年調查顯示，航道岸壁鋼板樁現有厚度在 22.0 至 23.8 mm 間，減少厚度約 2 ~ 3 mm，岸壁使用時間以 23 年計算，腐蝕速率在 0.09 mm/yr. 左右，低於 0.20 mm/yr. 之規範值或由設計年限 20 年換算之 4.0 mm 允許腐蝕量，顯示鋼板樁腐蝕應屬輕微。



圖3.41 花蓮港航道岸壁鋼板樁陸側開挖情形



圖3.42 花蓮港航道岸壁開挖後背填土情形



圖3.43 花蓮港航道岸壁後方10 m處開挖後情形



圖3.44 花蓮港航道岸壁後方10 m處拉桿厚度量測

3.3.3.4 基隆港西 21 號碼頭

基隆港西 21 號碼頭於民國 59 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 236 公尺，水深 -10.0 公尺，至今已使用了 32 年，使用初期未採用防蝕措施，港研中心民國 79 年調查發現，碼頭鋼板樁在低潮為線附近有多處發生穿孔及破洞。民國 80 年施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法。碼頭斷面如圖 3.45，Z-38 鋼板樁斷面性能如表 3.6 所示。

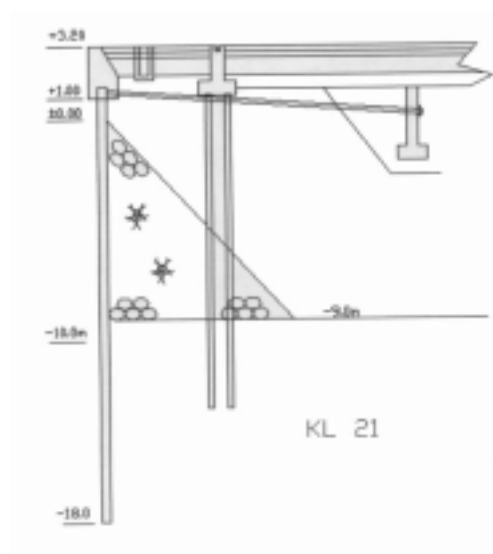


圖 3.45 基隆港西 21 號碼頭斷面圖

表 3.6 Z-38 鋼版樁斷面性能

尺寸			鋼板樁單支時						壁長 1 公尺時			
有效寬	高度	厚度	斷面積	單位重	斷面二次矩	斷面係數	斷面二次半徑	表面積	單位重	表面積	斷面二次矩	斷面係數
b mm	h mm	t ₁ t ₂ mm	A cm ²	W kg/m	I _x cm ⁴	Z _x cm ³	Z _w cm ³	m ² /m	W kg/m	m ² /m	I _x cm ⁴ /m	Z _x cm ³ /m
400	364	17.2、11.4	122.2	96	27720	1520	5.21	1.71	240	2.16	69200	3800

1. 目視檢測

西 21 號碼頭鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象，自起點 28 m 範圍碼頭下方為鋼管樁構造，其餘為鋼板樁，本次（91 年）調查範圍以鋼板樁為主要標的。

2. 鋼板樁厚度量測

圖 3.46 為西 21 號碼頭檢測位置示意圖，檢測時因碼頭已停靠貨櫃船隻作業中，為安全考量選定自起點 200 m 處起共 20 支鋼板樁，每支檢測樁測厚水深為 +0.7 m、+0.2 m、-0.3 m、-4.3 m 及 -5.3 m 五個水深測點，每點檢測凹、側、凸三面，共計 600 個檢測點。

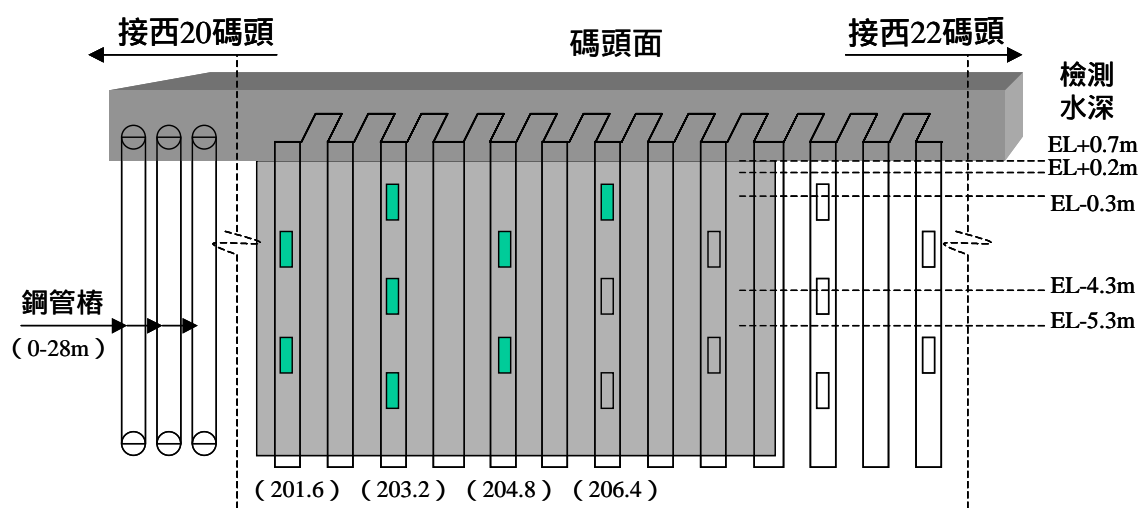


圖 3.46 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁測位置示意圖

表 3.7 及圖 3.47 為西 21 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率檢測結果，在水深-0.05m 處凸面之平均腐蝕速率(0.09 mm/yr.)最大，凹面(0.08 mm/yr.)次之，側面(0.06 mm/yr.)最小，全座碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

由檢測水深觀察，在水深 +0.20 m 及水深 -0.30 m 處之平均腐蝕速率最大（0.04 ~ 0.11 mm/yr. 間），水深-1.50 m 以下其平均腐蝕速率最小（0.04 ~ 0.06 mm/yr. 間），但水深 +0.20 m 及 -0.30 m 處仍有少數測點其凸面腐蝕速率大於或接近 0.20 mm/yr. 之規範值；減少厚度

超過原設計允許之 4.0 mm 者，在水深 +0.70m 、 +0.20 m 及 -0.30 m 處都有發現，必須多加注意。各檢測樁水深與腐蝕速率關係如圖 3.48 所示。

第 17 支測樁凸面在檢測水深 +0.20 m 處之腐蝕速率最大為 0.23 mm/yr.，已大於 0.2 mm/yr. 之規範值，平均腐蝕量以凸面最大（3.68 mm），凹面次之（1.90 mm）側面最小（1.39 mm），腐蝕情況並非全區都很嚴重，惟部分測點最大腐蝕量凸面高達 5.40 ~ 7.40 mm，超過原有厚度之 20 %，由於鋼板樁使用時間已超過三十年，雖然平均腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意。

港研所於民國 79 年之調查結果，發現如按公式 3.3 及公式 3.4 計算，在未作防蝕工程前，即在民國 79 年時，已有多處之鋼板樁在低潮位線附近水深發現穿孔破洞，腐蝕速率超過 0.20 mm/yr.。完成防蝕措施後，本次(91 年)調查結果如以公式 3.4 計算，其腐蝕速率較低(0.01 ~ 0.04 mm/yr.)。考量採用防蝕工法之時間（11 年）遠少於採用時間（21 年），且公式中 P 值（防蝕率）係參考國外調查資料所得之推估數據，不全然適用於國內港灣鋼結構物，故腐蝕速率直接採用公式 3.2 計算（鋼板樁腐蝕速率 = 腐蝕量 / 使用年期），鋼板樁腐蝕速率調查結果均小於 0.20 mm/yr.，低於 79 年之檢測結果，顯示防蝕工法已達到預期效益。

表 3.7 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

水深(m) \ 測定位置	凸面	側面	凹面
+0.7	0.07	0.04	0.04
+0.2	0.11	0.06	0.04
-0.3	0.07	0.05	0.05
-4.3	0.06	0.04	0.04
-5.3	0.05	0.03	0.03

（依公式 3.2 計算）

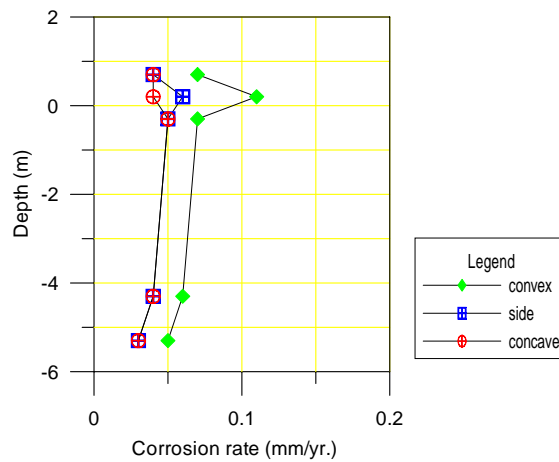


圖 3.47 基隆港西 21 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位量測

鋼板樁保護電位量測位置如圖 3.49，量測結果列於表 3.8。保護電位最大值為 -924 mV ，最小值為 -1209 mV 。由於陰極防蝕是以降低金屬之電位，來減緩金屬的溶解反應，進而達到降低或抑制腐蝕速率之目的，美國 NACE 於 1972 年曾訂定防蝕電位之標準為將結構物之電位控制至 -850 mV (以 Cu/CuSO_4 電極量測) 以下，本座碼頭陽極塊保護電位均小於 -850 mV ，已達保護鋼板樁之目的。

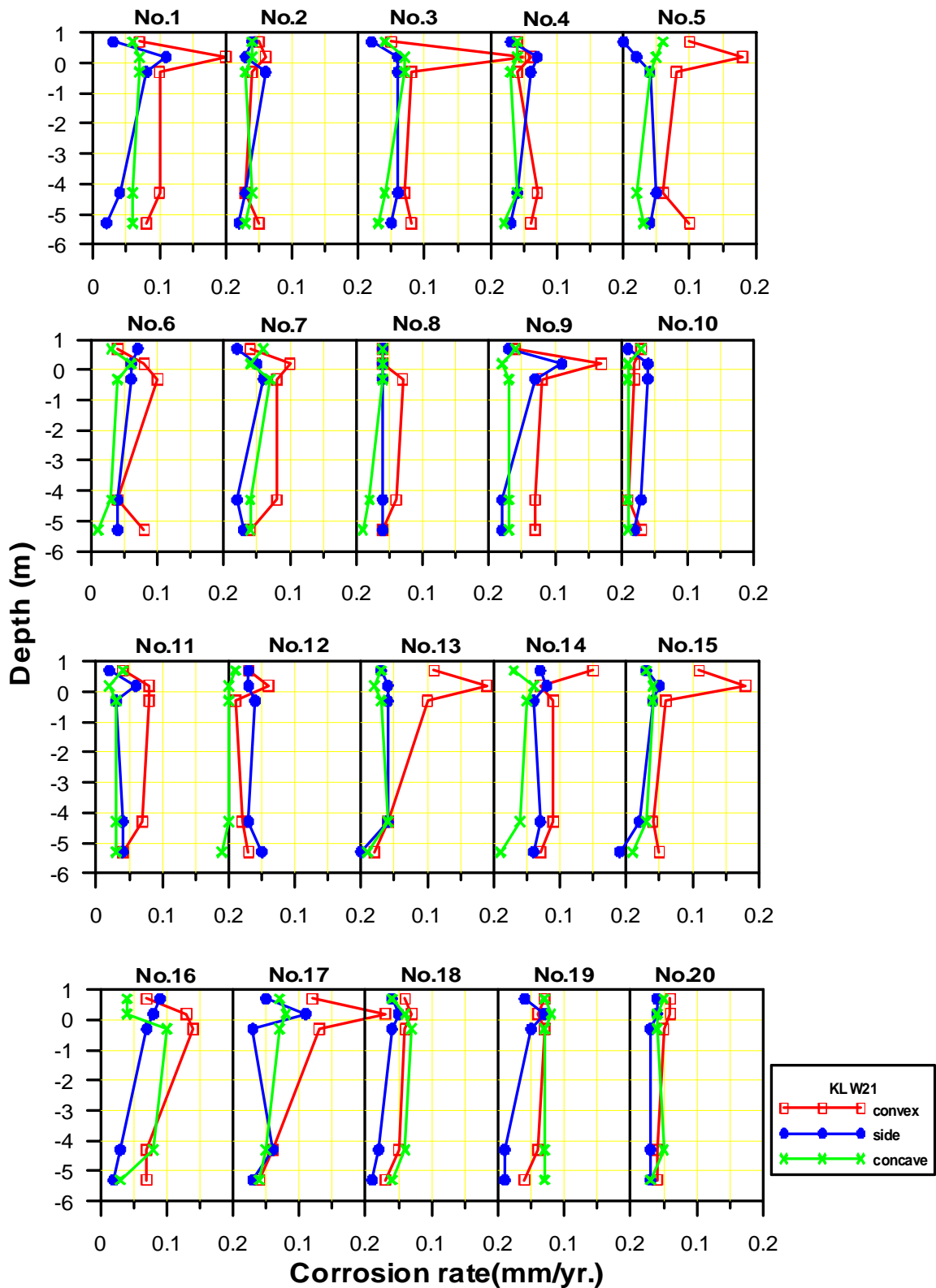


圖 3.48 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與檢測水深之關係

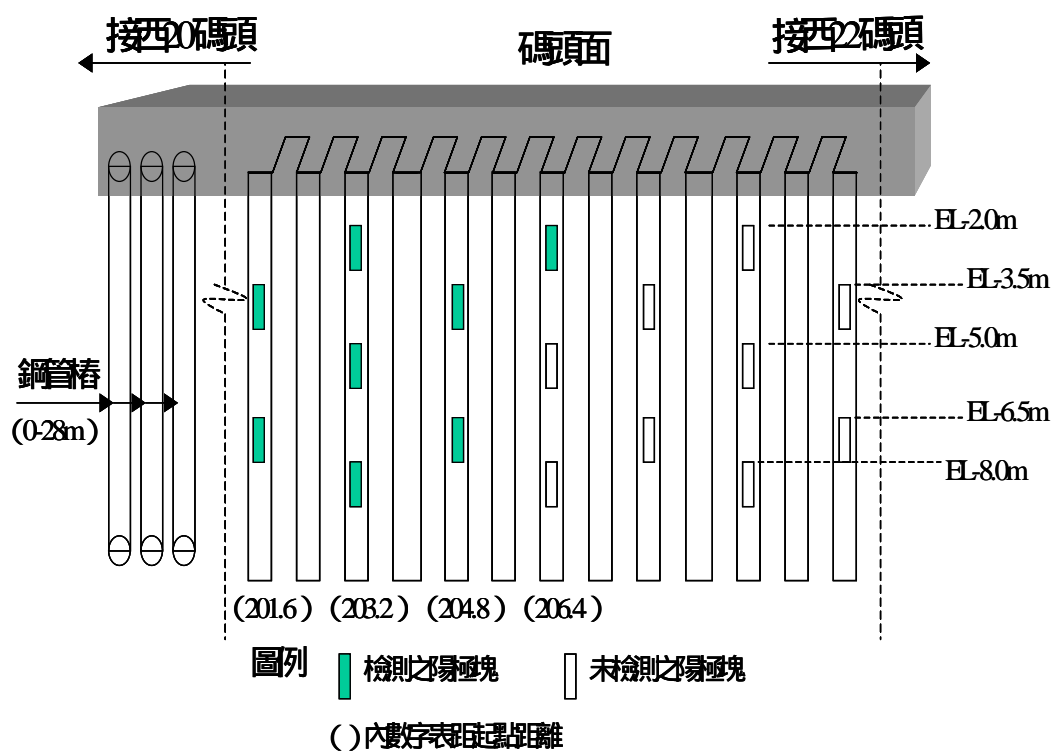


圖 3.49 基隆港西 21 號鋼板樁保護電位量測位置示意圖

表 3.8 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 (-mV)

	陽極塊切割前						陽極塊焊接後1天						陽極塊切割前						陽極塊焊接後1天					
編號	1						2						3											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1087	1087	1085	940	931	926	1108	1107	1168	928	931	937	1128	1123	1121	936	926	924						
-4	1162	1122	1160	1020	1022	1019	1164	1161	1166	1019	1026	1064	1177	1177	1177	1079	1062	1055						
-7	1157	1160	1155	1026	1027	1025	1168	1160	1165	1026	1030	1052	1176	1177	1175	1046	1038	1042						
編號	4						5						6											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1143	1143	1145	918	910	943	1152	1153	1153	950	946	942	995	993	991	943	947	953						
-4	1187	1188	1188	1040	1046	1036	1209	1211	1208	1022	1012	1008	1034	1035	1038	1007	1008	1016						
-7	1182	1180	1177	1066	1066	1045	1177	1171	1170	1031	1020	1016	1030	1032	1040	1017	1018	1024						
編號	7						8						9											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	992	993	997	940	937	933	997	994	992	934	934	943	993	991	989	945	942	938						
-4	1038	1038	1040	1030	1027	1023	1067	1069	1059	1024	1024	1028	1038	1040	1038	1029	1030	1024						
-7	1030	1037	1046	1031	1031	1033	1052	1054	1046	1034	1034	1032	1022	1022	1040	1032	1037	1069						
編號	10						11						12											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	987	988	997	944	944	936	994	989	980	935	936	946	993	989	985	947	945	939						
-4	1038	1038	1037	1091	1077	1062	1036	1036	1035	1061	1065	1045	1036	1035	1035	1034	1028	1026						
-7	1038	1034	1033	1027	1073	1073	1031	1030	1029	1074	1075	1048	1034	1030	1029	1033	1023	1021						
編號	13						14						15											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	987	989	994	940	938	948	996	994	992	950	946	946	997	995	993	947	951	951						
-4	1035	1035	1036	1026	1026	1024	1037	1038	1037	1023	1019	1018	1038	1039	1038	1022	1019	1018						
-7	1030	1030	1033	1020	1021	1020	1034	1032	1036	1016	1016	1017	1026	1012	1010	1015	1016	1014						
編號	16						17						18											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	993	994	997	980	975	972	998	995	993	996	993	992	988	990	991	976	977	991						
-4	1039	1040	1052	1010	1010	1008	1057	1051	1046	1023	1024	1023	1036	1036	1027	1009	1010	1000						
-7	1009	1052	1013	1009	1007	1010	1011	1004	1001	1034	1030	1030	1007	1008	1011	980	1010	1004						
編號	19						20						21											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	991	990	988	978	980	983	987	988	991	982	978	976	983	981	979	971	968	967						
-4	1021	1016	1015	1006	1007	1011	1015	1016	1017	1011	1011	1010	1010	1007	1005	990	988	988						
-7	1014	1015	1013	1003	1004	1005	1015	1019	1034	1003	999	997	1008	1004	1003	1008	1015	1016						
編號	22						23						24											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	978	980	983				982	978	976	996	993	992	976	977	991									
-4	1006	1007	1011				1011	1011	1010	1023	1024	1023	1009	1010	1000									
-7	1003	1004	1005				1003	999	997	1034	1030	1030	980	1010	1004									
編號	25						26						27											
水深	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	980	975	972				996	993	991				993	989	987									
-4	1010	1010	1008				1029	1018	1032				1024	1022	1021									
-7	1009	1007	1010				1041	1041	1050				1020	1017	1016									

3.3.3.5 基隆港西 22 號碼頭

西 22 號碼頭於民國 63 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 190 公尺，水深-11.0 公尺，至今已使用了 28 年，使用初期未採用防蝕措施，民國 79 年港研所調查發現，碼頭鋼板樁在低潮為線附近有多處發生穿孔及破洞。民國 80 年施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法。碼頭斷面如圖 3.50。

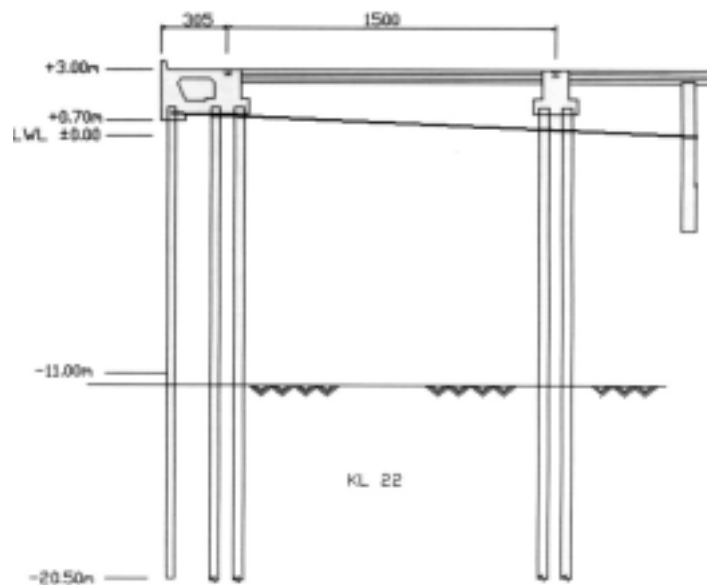


圖 3.50 基隆港西 22 號碼頭斷面圖

1. 目視檢測

全座碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象，自起點 28 公尺處碼頭岸壁下方有一排水孔。

2. 鋼板樁厚度量測

圖 3.51 為西 22 號碼頭鋼板樁厚度與保護電位檢測位置示意圖。表 3.9 及圖 3.52 為西 22 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率檢測結果，在水深 +0.20 m 處凸面之平均腐蝕速率(0.07 ~ 0.14 mm/yr.)最大，凹面(0.05 ~ 0.09 mm/yr.)次之，側面(0.06 mm/yr.)最小，全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

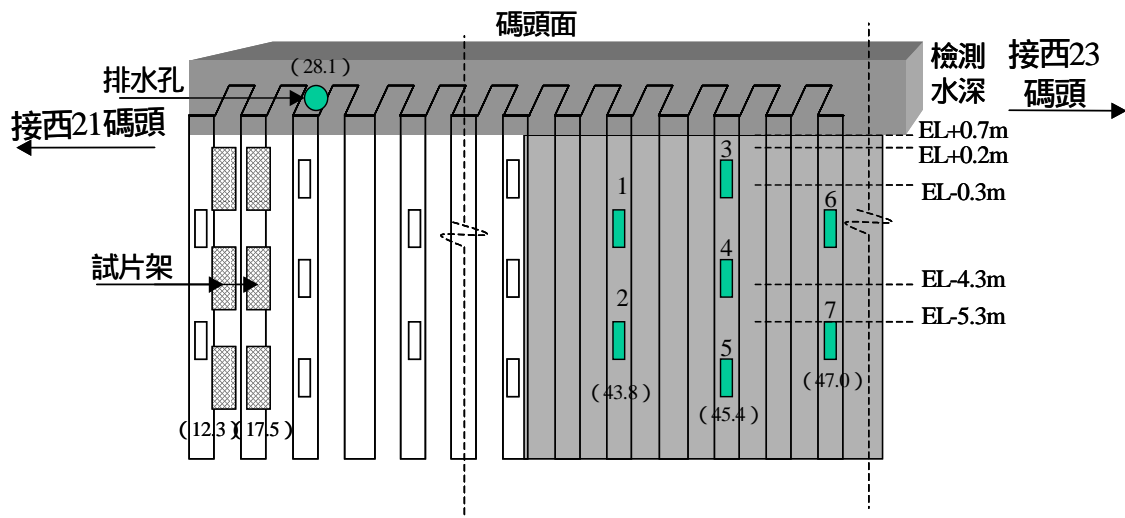


圖 3.51 基隆港西 22 號碼頭鋼板樁檢測位置示意圖

由檢測水深觀察，在水深 $+0.20\text{ m}$ 之平均腐蝕速率最大約在 $0.07\text{--}0.14\text{ mm/yr.}$ 間，水深 -4.3 m 以下，平均腐蝕速率最小約在 $0.04\text{--}0.06\text{ mm/yr.}$ 間。各檢測樁水深與腐蝕速率關係如圖 3.53 所示。

第 5 支測樁凸面在檢測水深 $+0.20\text{ m}$ 及 -0.30 m 之腐蝕速率最大為 0.18 mm/yr. ，仍小於 0.20 mm/yr. 之規範值，平均腐蝕量以凸面最大（ 2.71 mm ），側面次之（ 1.68 mm ）凹面最小（ 1.58 mm ），腐蝕情況並不嚴重，部分測點鋼板樁最大減少厚度凸面已達 5.07 mm ，已超過原有厚度之 20% ，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意。

港研所於民國 79 年之調查結果如按公式 3.3 及公式 3.4 計算，在未作防蝕工程前，即在民國 79 年時，已有多處地點之鋼板樁在低潮位線附近水深發現穿孔破洞，腐蝕速率超過 0.2 mm/yr. 之規範。完成防蝕措施後，本次（91 年）調查如以公式 3.4 計算，其腐蝕速率較低約為 $0.01\text{--}0.04\text{ mm/yr.}$ 。考量採用防蝕工法時間（10 年）遠少於採用時間（18 年），且公式中 P 值（防蝕率）係參考國外調查資料所得之推估數據，不全然適用於國內港灣鋼結構物，故腐蝕速率直接採用公式 3.2 計算（鋼板樁腐蝕速率 = 腐蝕量 / 使用年期），鋼板樁腐蝕速率

調查結果均小於 0.2 mm/yr.，低於 79 年之檢測結果，顯示防蝕工法已達到預期效益。

3. 鋼板樁保護電位量測

鋼板樁保護電位量測位置如圖 3.51，量測結果列於表 3.9。保護電位最大值為 -928 mV，最小值為 -1025 mV，本座碼頭陽極塊保護電位均小於-850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護鋼板樁免於腐蝕之目的。

表 3.9 基隆港西 22 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 (mm/yr.)

水深(m) \ 測定位置	凸面	側面	凹面
+0.7	0.06	0.04	0.05
+0.2	0.10	0.06	0.06
-0.3	0.08	0.05	0.05
-4.3	0.05	0.08	0.04
-5.3	0.06	0.05	0.04

(依公式 3.2 計算)

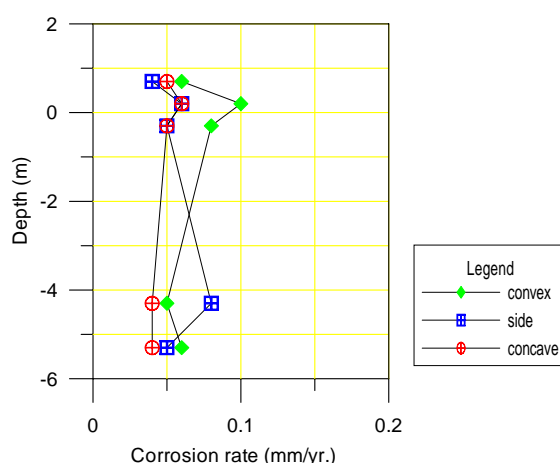


圖 3.52 基隆港西 22 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係

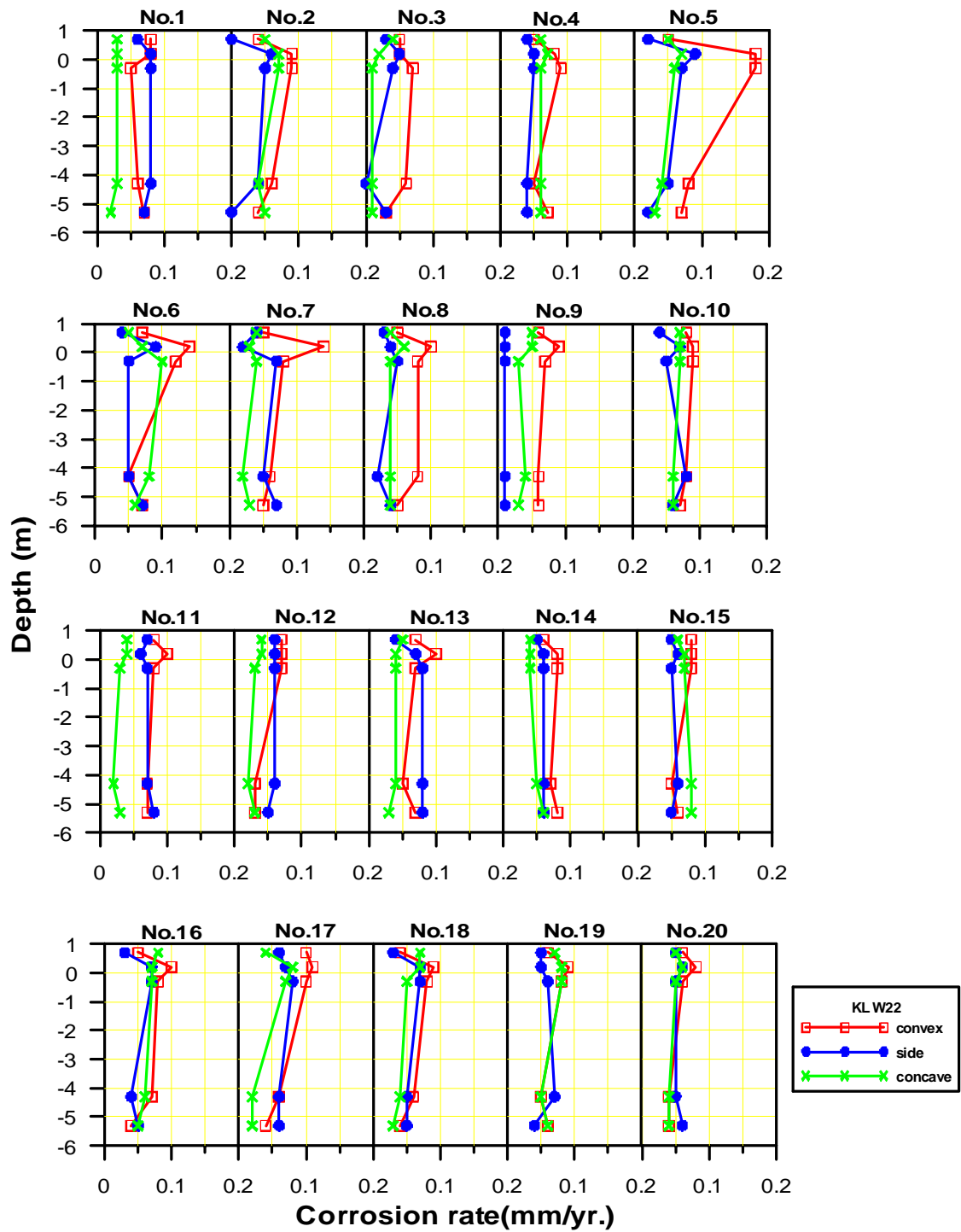


圖 3.53 基隆港西 22 號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深之關係

表 3.10 基隆港西 22 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 (-mV)

編號	1			2			3			4			5		
水深	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸
-1	970	967	966	966	967	970	970	969	968	968	969	972	972	971	972
-4	1010	1004	1003	1003	1004	1005	1004	1002	1001	1004	1005	1004	1003	1003	1002
-7	1005	1008	1007	1008	1009	1023	1025	1015	1013	1009	1010	1006	1001	997	996
編號	6			7			8			9			10		
水深	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸
-1	969	970	974	969	967	966	966	967	969	970	968	967	965	966	968
-4	1002	1003	1015	1001	1000	1001	1001	1002	1002	998	996	994	994	995	997
-7	996	997	998	992	990	989	990	990	991	990	990	989	991	991	994
編號	11			12			13			14			15		
水深	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸
-1	969	967	967	966	967	969	968	965	964	964	965	968	968	966	965
-4	998	998	997	997	998	997	997	997	996	996	998	1007	1007	1000	1001
-7	995	997	997	997	998	1000	997	997	997	998	999	1005	1002	1003	1002
編號	16			17			18			19			20		
水深	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸
-1	962	964	965	967	965	965	965	967	966	965	964	962	962	962	964
-4	1003	1002	999	997	997	997	997	997	1002	999	999	999	999	999	999
-7	1025	1025	1016	1010	1005	1004	1004	1005	1004	1004	1002	1002	1001	1001	1002
編號	21			22			23			24			25		
水深	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸
-1	964	960	960	958	960	962	963	961	960	960	960	962	957	955	954
-4	1000	1002	1001	997	998	998	1004	1003	1002	1000	999	1000	996	993	993
-7	1003	1005	1004	996	997	1000	1000	1002	1002	1001	1002	1001	999	998	997
編號	26			27			28			29			30		
水深	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸	凹	側	凸
-1	964	953	954	954	949	950	944	944	944	939	936	936	935	936	928
-4	1000	992	995	994	993	994	992	992	991	991	992	991	991	992	992
-7	1003	997	998	998	998	998	1000	1000	1002	1003	1005	1004	1005	1006	1020

3.3.3.6 蘇澳港駁船碼頭

本港駁船碼頭於民國 67 年完工，全長 338 公尺，水深 -4.50 公尺，共分成 A、B、C 及 D 四段，碼頭岸壁係以 Z-14 鋼板樁垂直打入土中，以其自身彎力檔土，並於低水位 +1.0 公尺處裝設錨碇拉桿及高耐索，錨碇於冠牆後側 15.4 公尺處，共有 835 支鋼板樁，使用迄今約 22 年。碼頭在低水位下 -0.30 公尺至低水位上 +0.70 公尺處為乾濕循環之潮間帶，鋼板樁初期並未施以特別之防蝕措施。民國 79 年檢測發現部份鋼板樁腐蝕速率已超出 0.20 mm/yr. 之規範限制，港務局即採取防蝕帶保護，同時於海中帶加裝犧牲陽極塊保護。

本次（91）年調查在低潮位上因已加裝防蝕帶保護，檢測則以海中帶之鋼板樁為主，檢測地點為 A 及 B 段，檢測位置及鋼板樁型式如圖 3.54 所示。碼頭斷面及防蝕措施如圖 3.55 與圖 3.56 所示。

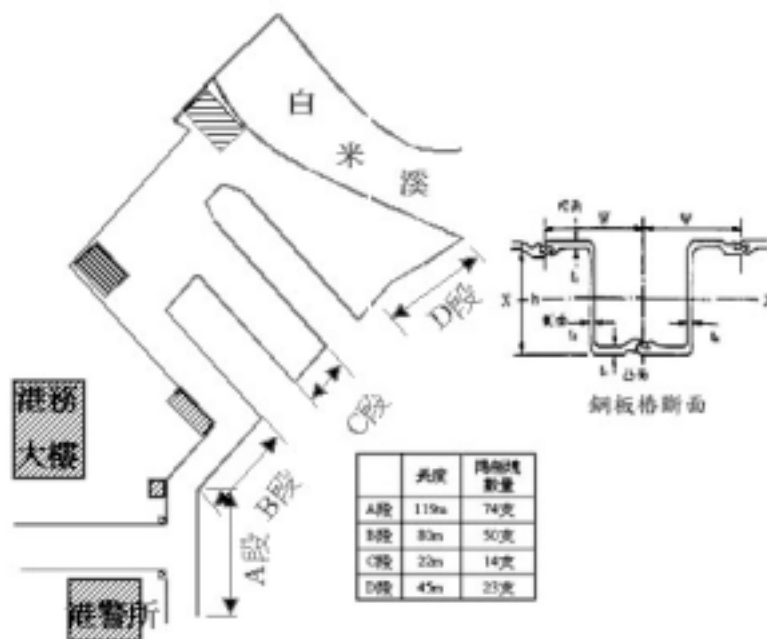


圖 3.54 駁船碼頭檢測位置及鋼板樁型式圖

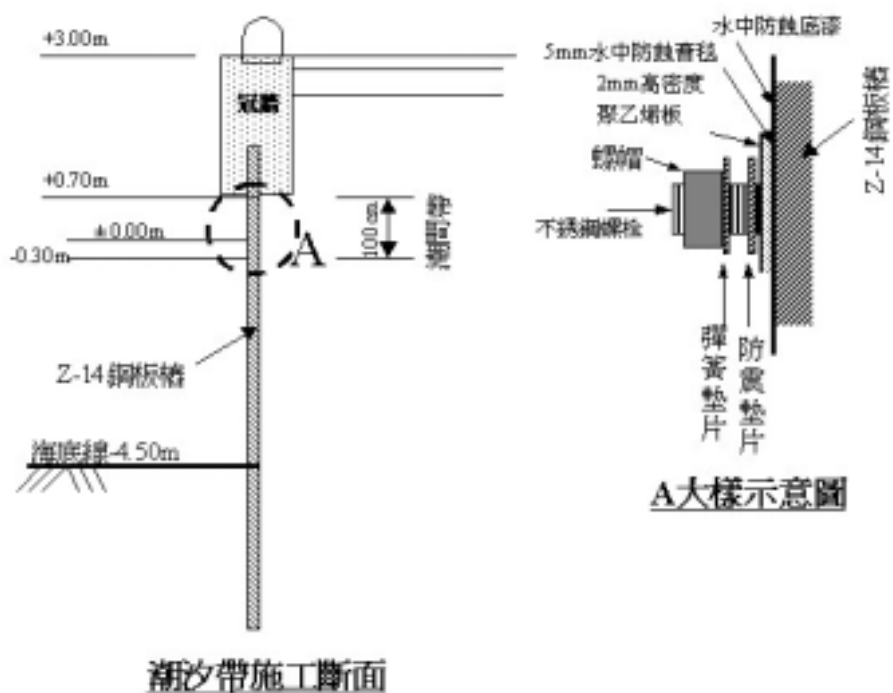


圖 3.55 駁船碼頭潮汐帶鋼板樁防蝕帶施工示意圖

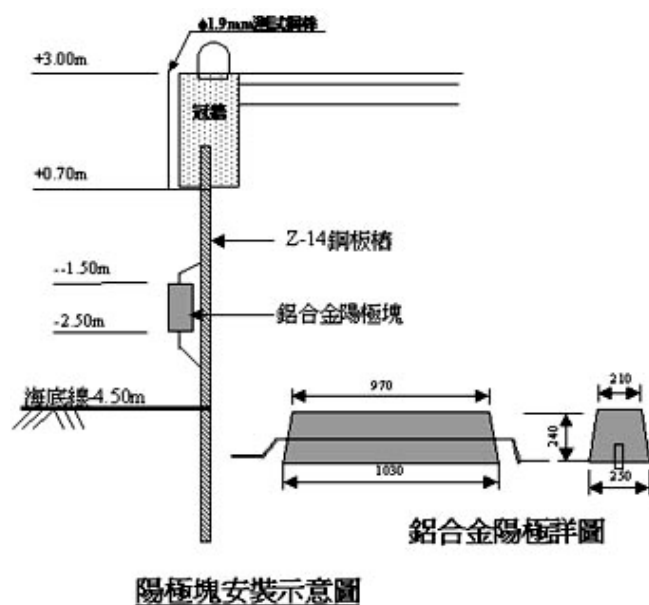


圖 3.56 駁船碼頭鋼板樁犧牲陽極安裝示意圖

1. 目視檢測

港研所於民國 79 年之調查結果顯示，在低潮位上方 ($\pm 0.0\text{m}$) 至碼頭岸壁下方 ($+0.7\text{m}$) 之鋼板樁表面腐蝕情況嚴重，部份已超過 0.20 mm/yr. 之設計規範值，其後並有穿孔破洞的狀況發生，港務局曾以水中防蝕塗漆、防蝕膏毯和高密度聚乙烯板進行維護，海中帶之鋼板樁並無腐蝕穿孔或破洞現象，腐蝕速率多小於 0.10 mm/yr. ，腐蝕程度屬輕微至無，則用犧牲陽極塊保護之。

本次 (91 年) 調查，潮汐帶之鋼板樁表面，並未發現孔蝕或穿孔破洞等現象。水面下之鋼板樁表面附著許多海生物，種類甚多有藤壺、蚵類、管虫、腔腸動物、藻類、珊瑚等，這些海生物之附著對鋼板之腐蝕有一定程度之關連性，值得深入探討，海中帶檢測並未發現有嚴重的腐蝕狀況。

2. 鋼板樁厚度量測

厚度量測選取 A、B 兩段各 17 支測樁，檢測水深(高程)分別為 -1.0 m 、 -1.7 m 與 -3.2 m ，檢測位置如圖 3.57 及圖 3.58 所示。

表 3.11 及圖 3.59 為 A、B 兩段鋼板樁之平均腐蝕速率與水深關係，如以各深度測點比較之，腐蝕速率在水深 -1.00 m 處稍高，最大約為 0.09 mm/yr. ，水深 -1.50 m 及 -3.20 m 次之，小於或在 0.10 mm/yr. 左右。鋼板樁凹、凸面現有厚度約 $7.6\text{--}8.6\text{ mm}$ ，側面約 $5.97\text{--}6.94\text{ mm}$ ，與原有厚度比較，凹、凸面最大減少量為 2 mm ，側面最大減少量 2.2 mm ，減少厚度大於或接近原有厚度之 20% 。圖 3.60 及圖 3.61 分別為 A、B 兩段各鋼板樁腐蝕速率與深度之關係。

3. 鋼板樁保護電位量測

A、B 兩段鋼板樁保護電位之量測位置如圖 3.57 及圖 3.58，量測結果列於表 3.12 及表 3.13。A 段最大值為 -1048 mV ，最小值為 -1083 mV ；B 段最大值為 -1047 mV ，最小值為 -1220 mV 。本座碼頭之保護

電位均小於 -850 mV (以 Cu/CuSO_4 電極量測), 已達鋼板樁防蝕之目的。

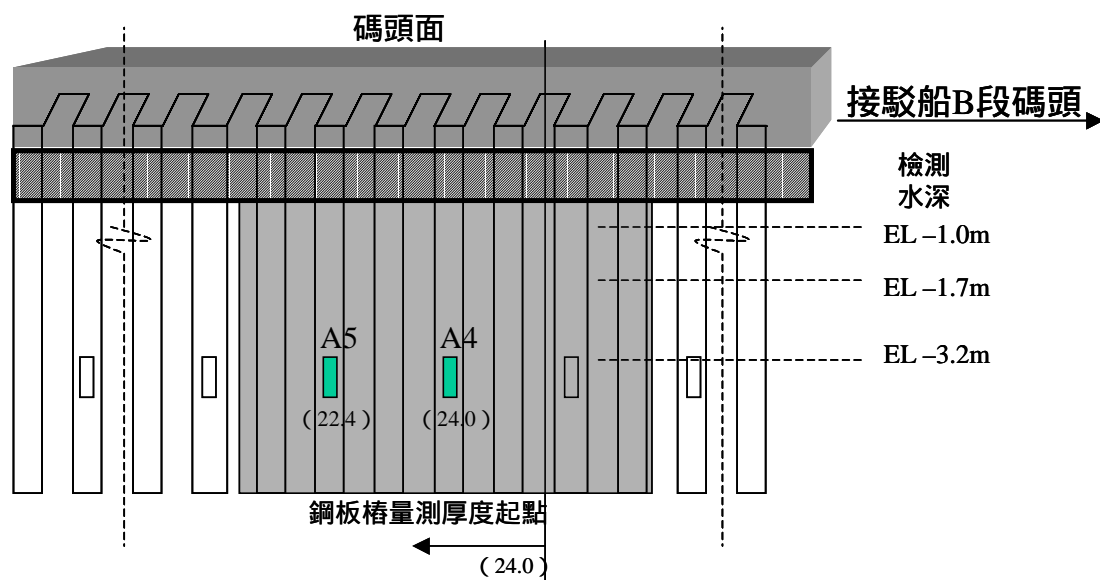


圖 3.57 駁船碼頭鋼板樁 A 段檢測位置圖

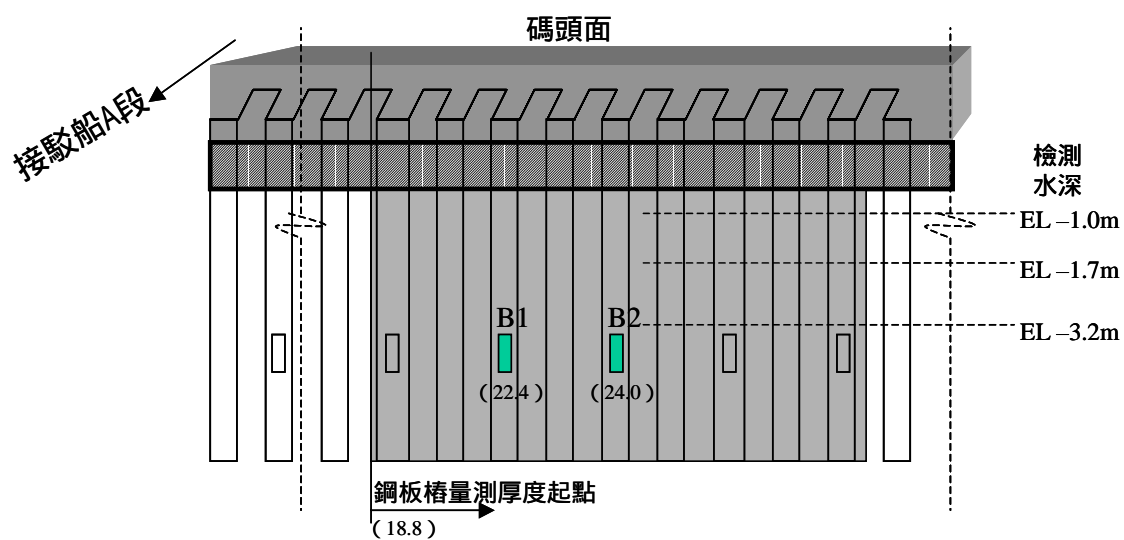


圖 3.58 駁船碼頭鋼板樁 B 段檢測位置圖

表 3.11 蘇澳港駁船碼頭鋼板樁腐蝕速率 (mm/yr.)

測定位置	水深 (m)	凸面	側面	凹面	測定位置	水深 (m)	凸面	側面	凹面
駁船碼頭 A 段	-1.0	0.07	0.07	0.05	駁船碼頭 B 段	-1.0	0.07	0.09	0.05
	-1.7	0.06	0.07	0.05		-1.7	0.05	0.06	0.04
	-3.2	0.02	0.04	0.02		-3.2	0.04	0.05	0.03

(依公式 3.2 計算)

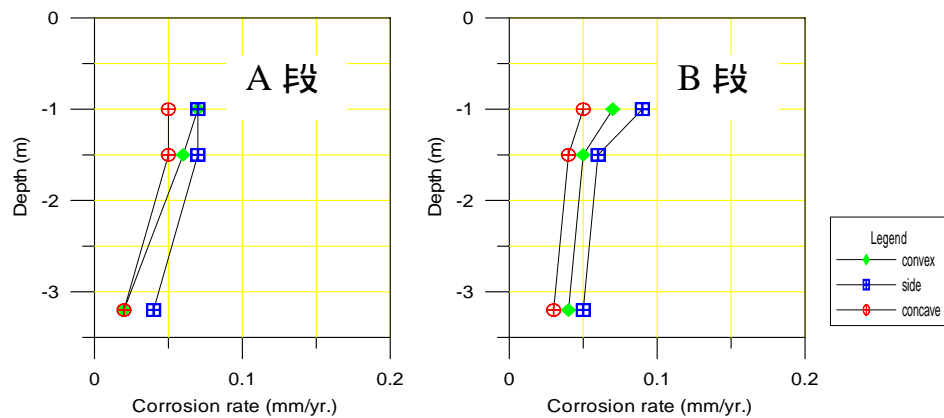


圖 3.59 蘇澳港駁船碼頭鋼板樁平均腐蝕速率與水深之關係

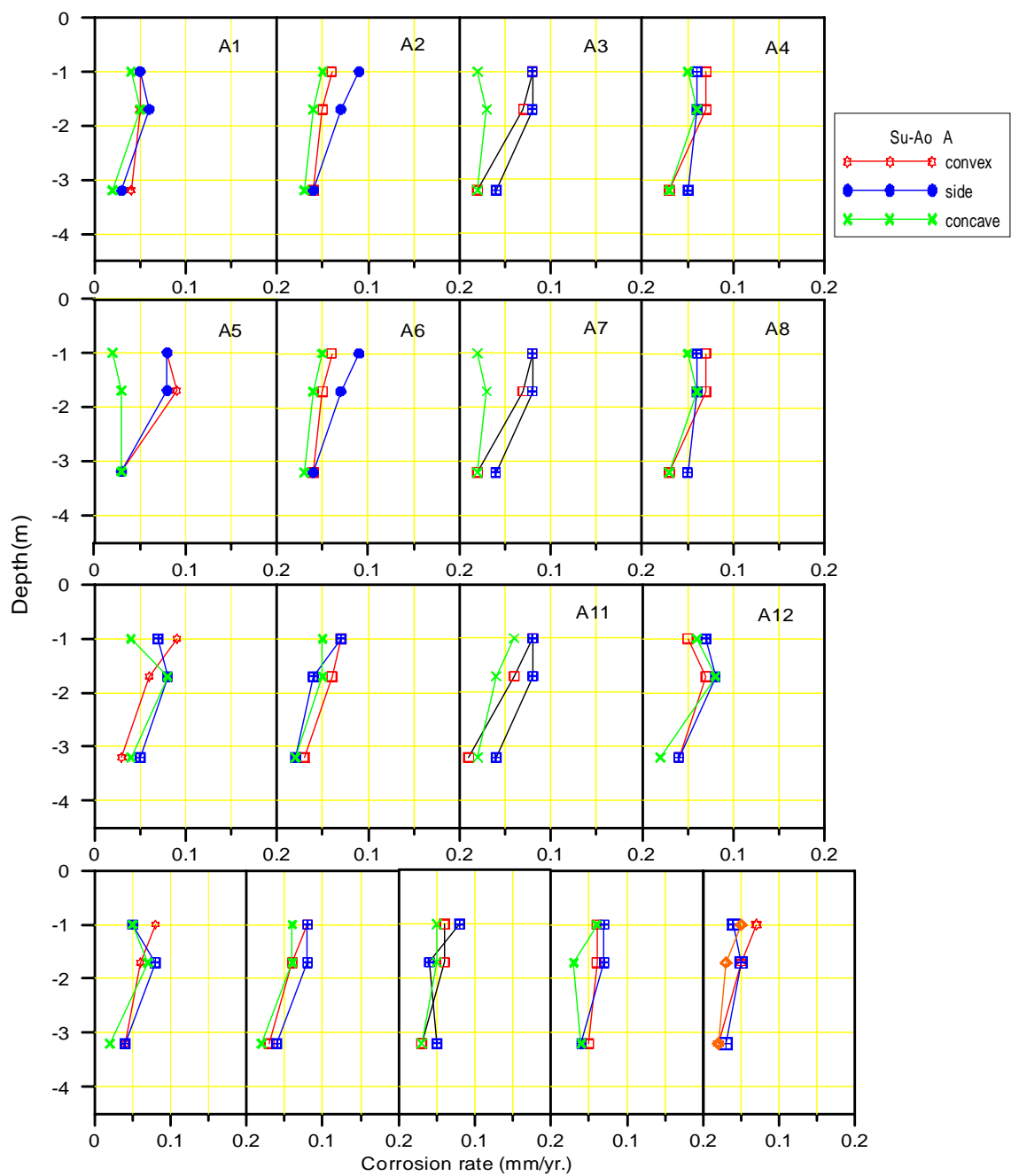


圖 3.60 蘇澳港駁船碼頭 A 段鋼板樁腐蝕速率與水深之關係

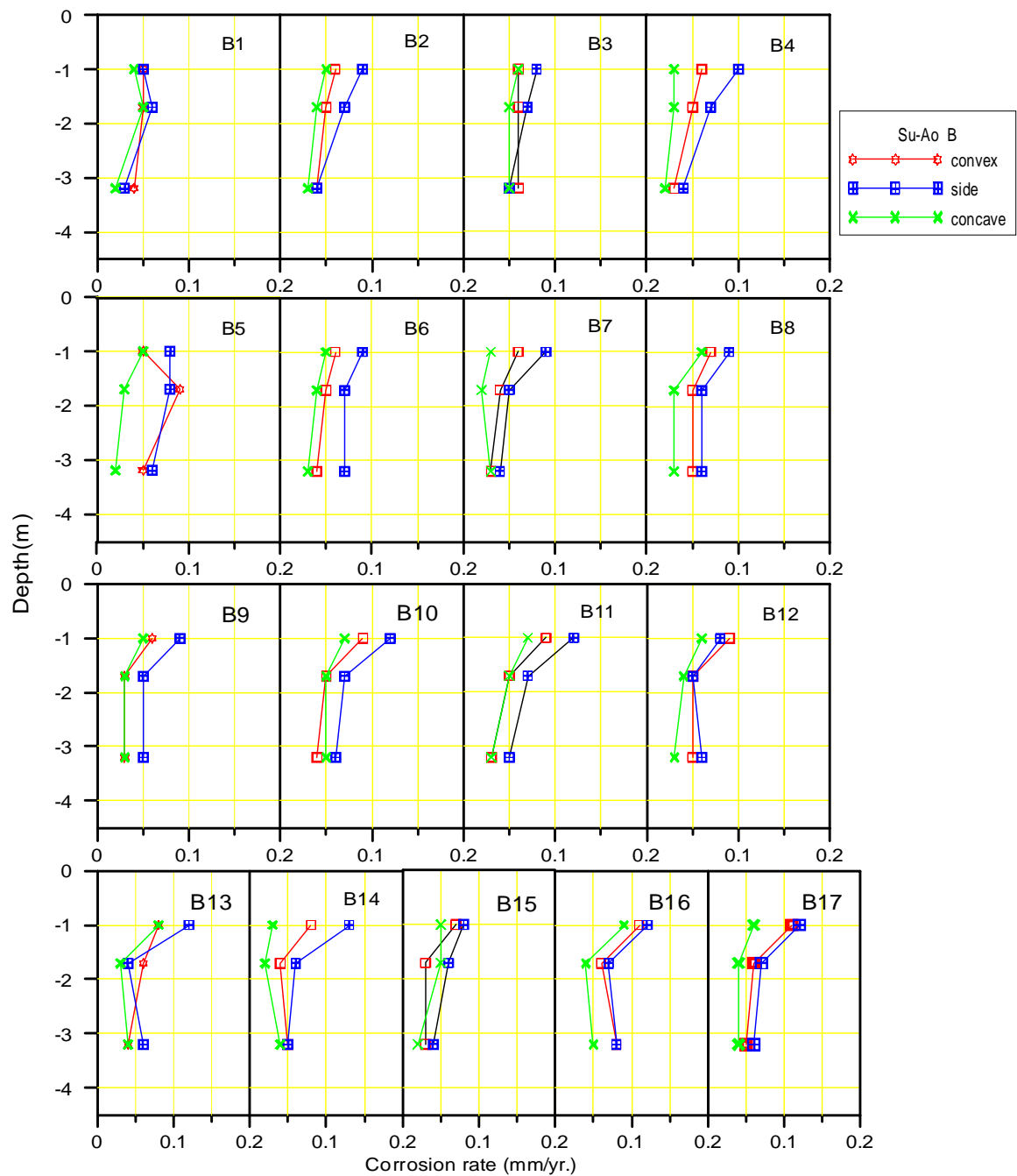


圖 3.61 蘇澳港駁船碼頭 B 段鋼板樁腐蝕速率與水深之關係

表 3.12 蘇澳港駁船碼頭 A 段鋼板樁保護電位量測結果 (-mV)

檢測位置	1			2			3		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1051	1048	1048	1047	1048	1051	1052	1050	1049
-2.5	1083	1079	1078	1077	1076	1074	1073	1075	1074
-3.5	1047	1047	1048	1048	1048	1050	1050	1050	1050
檢測位置	4			5			6		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1049	1049	1052	1053	1051	1049	1050	1051	1054
-2.5	1076	1076	1083	1082	1079	1077	1077	1077	1076
-3.5	1049	1050	1053	1053	1052	1052	1052	1052	1053
檢測位置	7			8			9		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1052	1050	1054	1055	1055	1055	1057	1057	1054
-2.5	1074	1075	1074	1074	1075	1078	1076	1075	1075
-3.5	1053	1052	1052	1052	1054	1054	1052	1052	1052
檢測位置	10			11			12		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1054	1055	1057	1058	1059	1059	1059	1059	1060
-2.5	1074	1074	1073	1072	1073	1073	1073	1074	1074
-3.5	1053	1054	1054	1054	1053	1053	1053	1054	1054
檢測位置	13			14			15		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1063	1063	1063	1063	1063	1063	1065	1066	1065
-2.5	1078	1076	1076	1076	1076	1075	1074	1073	1074
-3.5	1054	1054	1054	1055	1056	1055	1056	1056	1057
檢測位置	16			17			18		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1065	1066	1066	1067	1068	1068	1068	1068	1070
-2.5	1073	1073	1072	1075	1074	1074	1074	1074	1075
-3.5	1057	1056	1055	1057	1056	1057	1057	1057	1056
檢測位置	19			20			21		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1072	1072	1072	1072	1072	1072	--	--	--
-2.5	1075	1075	1074	1074	1074	1074	--	--	--
-3.5	1056	1056	1057	1058	1058	1058	--	--	--
檢測位置	22			23			24		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1065	1066	1066	1067	1068	1068	1068	1068	1070
-2.5	1073	1073	1072	1075	1074	1074	1074	1074	1075
-3.5	1057	1056	1055	1057	1056	1057	1057	1057	1056
檢測位置	25			26			27		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1065	1066	1066	1067	1068	1068	1068	1068	1070
-2.5	1073	1073	1072	1075	1074	1074	1074	1074	1075
-3.5	1057	1056	1055	1057	1056	1057	1057	1057	1056

表 3.13 蘇澳港駁船碼頭 B 段鋼板樁保護電位量測結果 (-mV)

檢測位置	1			2			3		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1059	1057	1057	1057	1058	1060	1062	1063	1063
-2.5	1064	1068	1068	1067	1068	1068	1076	1085	1080
-3.5	1048	1048	1046	1046	1047	1053	1056	1062	1061
檢測位置	4			5			6		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1064	1066	1067	1069	1072	1073	1071	1072	1074
-2.5	1191	1194	1208	1220	1207	1203	1200	1198	1189
-3.5	1058	1050	1066	1067	1069	1069	1067	1066	1068
檢測位置	7			8			9		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1073	1072	1073	1074	1075	1075	1075	1074	1074
-2.5	1186	1187	1186	1187	1189	1201	1193	1187	1186
-3.5	1069	1068	1067	1067	1067	1069	1069	1068	1067
檢測位置	10			11			12		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1073	1074	1073	1074	1069	1069	1069	1070	1068
-2.5	1182	1181	1173	1164	1158	1157	1158	1159	1163
-3.5	1067	1067	1063	1057	1057	1054	1053	1054	1057
檢測位置	13			14			15		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1067	1063	1062	1061	1062	1062	1061	1060	1060
-2.5	1161	1161	1160	1159	1159	1158	1158	1159	1159
-3.5	1057	1059	1057	1055	1055	1055	1057	1057	1054
檢測位置	16			17			18		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1060	1060	1060	1060	1059	1058	1059	1059	1059
-2.5	1160	1161	1167	1166	1163	1162	1160	1160	1158
-3.5	1053	1053	1053	1056	1056	1055	1054	1053	1054
檢測位置	19			20			21		
水深 (m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
-1	1059	1059	1059	1059	1059	1059	--	--	--
-2.5	1156	1155	1155	1155	1158	1162	--	--	--
-3.5	1055	1057	1055	1055	1054	1055	--	--	--

3.3.3.7 蘇澳港 7 號碼頭

本碼頭採鋼管樁橋墩式結構建造，全長 236.25 公尺，水深 14 公尺，可泊靠五萬噸級貨櫃輪。建造初期選取兩區以犧牲陽極法為防蝕措施，於民國 72 年 3 月完工。在低潮位時，鋼管樁約有 70 公分之長度（已塗環氧樹脂柏油漆防蝕），裸露於大氣中。鋼管樁斷面如圖 3.62 所示，犧牲陽極塊之焊接如圖 3.63 所示。

1. 目視檢測

目視檢測，鋼管樁並無孔蝕或破洞等腐蝕現象，但表面附著許多海生物。

2. 鋼管樁厚度量測

本座碼頭鋼管樁厚度量測以渦電流測厚儀量測，共選定 8 排 36 支測樁進行檢測（自碎波堤端算起第 5、6、25~30 排），檢測深度為 +0.70 m、+0.20 m、-0.30 m、-1.70 m、-5.70 m，將鋼管樁分成四等份量測其厚度，共計 600 量測點。量測結果列於表 3.14 中，各排鋼管樁之腐蝕速率與水深關係如圖 3.64 所示。

3. 鋼管樁保護電位量測

保護電位量測結果如表 3.15，最大值為 -913 mV，最小值為 -1051 mV，平均為 -963 mV。電位均小於 -850 mV，已達保護防蝕之目的。



表 3.14 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (mm/yr.)

<div> <div>檢測位置</div> <div></div> </div>	第 5 排樁					第 6 排樁				
	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5
水深0.70	0.05	0.03	0.01			0.07	0.05	0.05		
+0.20	0.04	0.05	0.01			0.07	0.05	0.05		
-0.30	0.03	0.03	0.03			0.10	0.02	0.06		
-1.70	0.05	0.05	0.04			0.06	0.09	0.03		
-5.70	0.04	0.02	0.08			0.09	0.08	0.03		
<div> <div>檢測位置</div> <div></div> </div>	第 25 排樁					第 26 排樁				
	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5
+0.70	0.02	0.07	0.07	0.05	0.06	0.02	0.06	0.10	0.08	0.04
+0.20	0.02	0.09	0.05	0.06	0.06	0.01	0.06	0.06	0.07	0.01
-0.30	0.01	0.04	0.05	0.08	0.09	0.02	0.05	0.11	0.05	0.06
-1.70	0.03	0.06	0.05	0.09	0.00	0.02	0.07	0.09	0.05	0.09
-5.70	0.01	0.04	0.00	0.08	0.00	0.03	0.33	0.07	0.06	0.00
<div> <div>檢測位置</div> <div></div> </div>	第 27 排樁					第 28 排樁				
	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5
+0.70	0.05	0.06	0.08	0.08	0.05	0.04	0.08	0.09	0.05	0.05
+0.20	0.06	0.08	0.08	0.09	0.10	0.03	0.09	0.09	0.03	0.10
-0.30	0.07	0.07	0.09	0.10	0.11	0.04	0.08	0.12	0.05	0.11
-1.70	0.08	0.08	0.05	0.09	0.12	0.10	0.08	0.10	0.09	0.12
-5.70	0.05	0.07	0.07	0.09	0.00	0.06	0.05	0.06	0.00	0.00
<div> <div>檢測位置</div> <div></div> </div>	第 29 排樁					第 30 排樁				
	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5
水深0.70	0.05	0.09	0.05	0.05	0.01	0.04	0.08	0.07	0.07	0.06
+0.20	0.04	0.09	0.07	0.05	0.01	0.03	0.08	0.05	0.10	0.05
-0.30	0.06	0.10	0.06	0.06	0.03	0.04	0.10	0.09	0.10	0.06
-1.70	0.11	0.08	0.05	0.03	0.04	0.09	0.08	0.06	0.06	0.10
-5.70	0.09	0.08	0.01	0.03	0.00	0.11	0.06	0.07	0.12	0.00

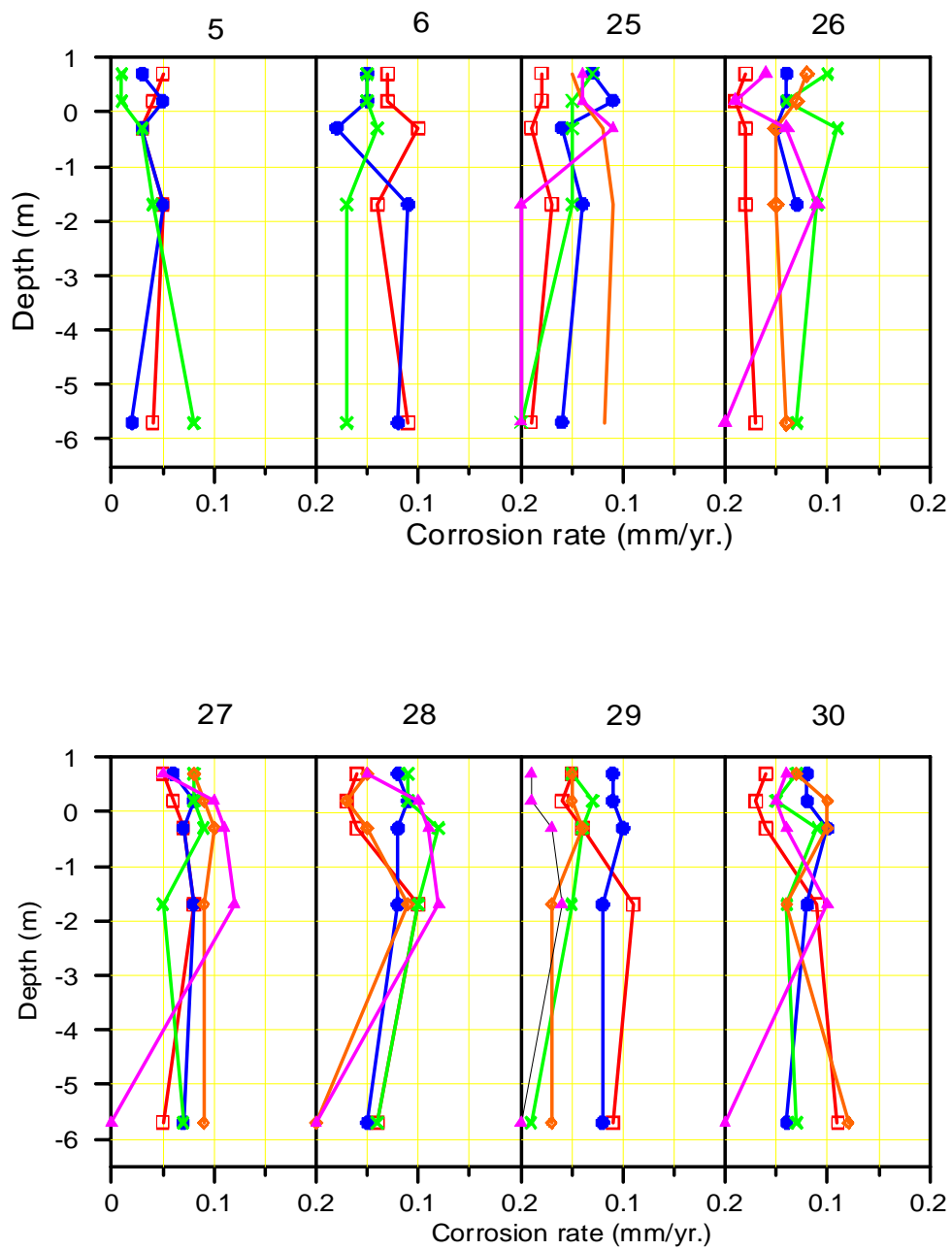


圖 3.64 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

表 3.15 蘇澳港 7 號碼頭鋼管樁保護電位檢測結果 (-mV)

檢測位置	25-L1				25-L2				25-L3				25-L4				25-L5			
	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面
水深 (m)																				
-1	1073	1076	1045	1043	1060	1056	1067	1070	1226	1216	1215	1218	1035	1023	1020	1027	981	1098	1094	1100
-4	1038	1036	1036	1046	1077	1048	1023	1005	1217	1210	1207	1209								
-7	1067	1068	1079	1077	1060	1064	1134	1072												
檢測位置	26-L1				26-L2				26-L3				26-L4				26-L5			
水深 (m)																				
-1	1072	1081	1079	1081	1074	1074	1071	1072	1067	1063	1080	1062								
-4	1071	1072	1074	1075	1075	1077	1072	1073	1068	1075	1061	1062								
-7	1067	1069	1070	1071	1067	1064	1060	1062												
檢測位置	27-L1				27-L2				27-L3				27-L4				27-L5			
水深 (m)																				
-1	1025	1028	974	969	970	973	970	972	969	965	960	962								
-2.5	954	959	960	961	970	972	969	975	963	962	960	964								
-3.5	960	967	962	977	963	966	964	966	958	959	956	952								
檢測位置	28-L1				28-L2				28-L3				28-L4				28-L5			
水深 (m)																				
-1	909	916	916	918	904	914	907	914	899	898	893	892								
-2.5	908	912	892	888	904	905	904	905	906	926	902	897								
-3.5	883	897	888	901	898	899	898	899	892	891	886	886								
檢測位置	29-L1				29-L2				29-L3				29-L4				29-L5			
水深 (m)																				
-1	1073	1076	1045	1043	1060	1056	1067	1070	1226	1216	1215	1218	1035	1023	1020	1027	981	1098	1094	1100
-4	1038	1036	1036	1046	1077	1048	1023	1005	1217	1210	1207	1209								
-7	1067	1068	1079	1077	1060	1064	1134	1072												

3.3.3.8 台中港 30 號碼頭

本碼頭採鋼管樁橋墩式結構建造，全長 320 公尺，水深 14 公尺。碼頭上部結構區分成八個單元，其中第一單元緊靠 29 號碼，鋼管樁直徑有 700 mm、800 mm 及 900 mm 三種尺寸，鋼管樁管壁厚度均為 12 mm。港區因為潮汐落差高達 4.5 公尺左右，本座碼頭建造時在混凝土面版下方 30 公分至 520 公分部位（潮汐帶），除以防蝕膏作為鋼管樁之防蝕外，並以 PE 及 PVC 和固定箍保護，水中帶在水深 -1.00 公尺或 -3.00 公尺和海底處，則以安裝犧牲陽極塊之陰極防蝕工法保護，陽極塊又分 a、b 兩型。本工程於民國 84 年 7 月完成安裝，迄今約 7 年左右。鋼管樁斷面排列、潮汐帶防蝕措施與犧牲陽極安裝如圖 3.65 至 3.67 所示。

1. 目視檢測

台中港 30 號碼頭之目視檢測，鋼管樁並無發現鋼板樁有孔蝕或破洞等嚴重之腐蝕現象，表面附著之海生物較本研究其他調查碼頭者亦少。

2. 鋼管樁厚度量測

本座碼頭鋼管樁厚度量測以渦電流測厚儀量測，選定自第一單元算起第 5、7、9、11、13、14 排樁作為檢測樁，每排測樁之檢測深度為 +4.5 m、+3.0 m、+1.0 m、-1.0 m、-3.0 m 及 -7.0 m 共 6 個深度測點。表 3.16 及圖 3.68 為各檢測樁之腐蝕速率與水深之關係。

3. 鋼管樁保護電位量測

鋼管樁保護電位量測結果列於表 3.17。保護電位最大值為 -913 mV，最小值為 -981 mV，平均為 -1100 mV。本座碼頭陽極塊保護電位均小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護防蝕之目的。

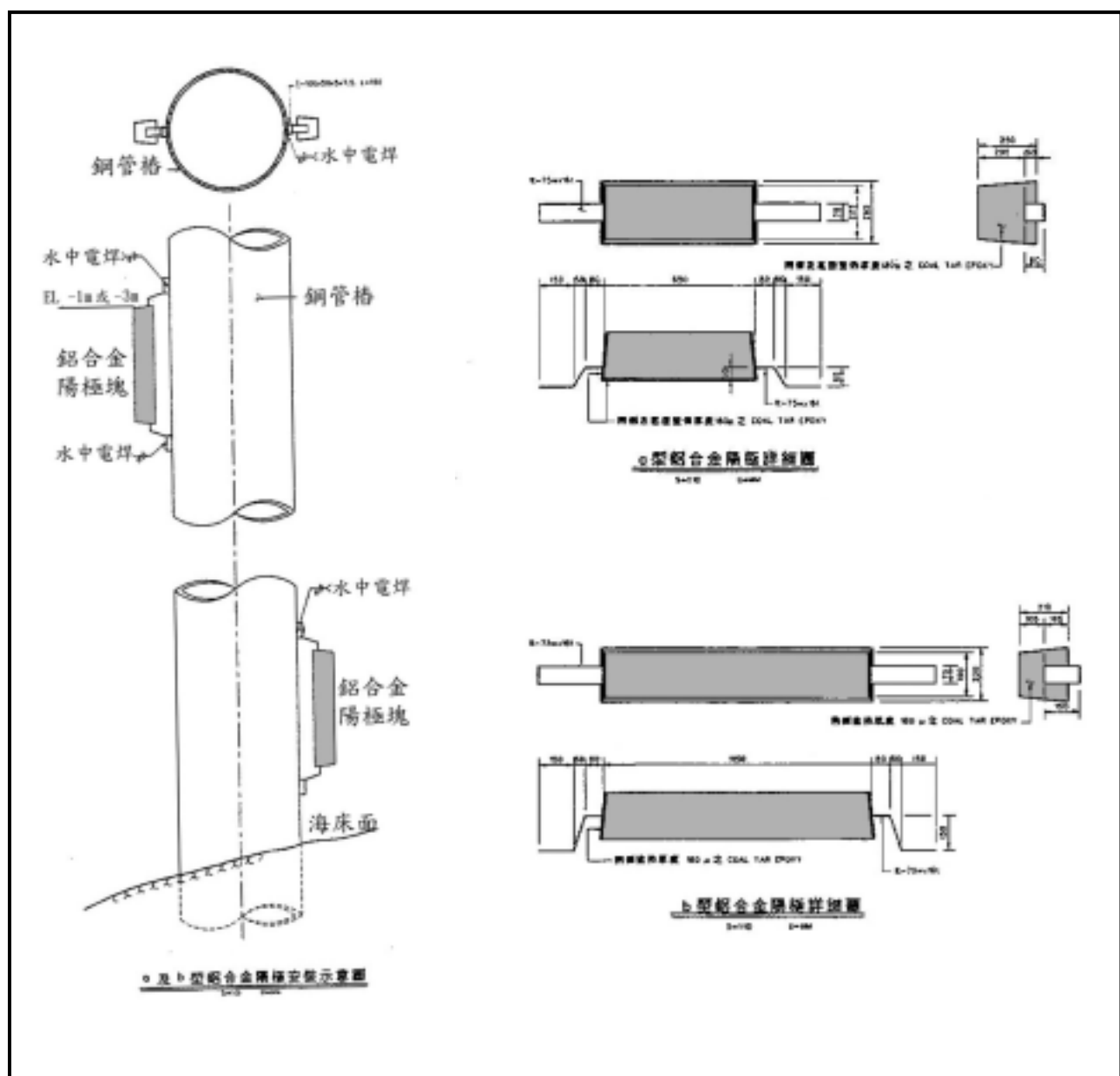


圖 3.67 台中港鋼管樁犧牲陽極安裝示意圖

表 3.16 台中港 30 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (mm/yr.)

<div> <div>檢測位置</div> <div>水深(m)</div> </div>	第 5 排樁							第 7 排樁						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
+4.5	0.06	0.05	0.02	0.06	0.08	0.08	0.05	0.09	0.04	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10
+3.0	0.07	0.03	0.06	0.03	0.07	0.04	0.01	0.11	0.05	0.04	0.06	0.09	0.09	0.09
+1.0	0.05	0.04	0.09	0.04	0.09	0.02	--	0.11	0.05	0.03	0.08	0.09	0.09	
-1.0	0.11	0.06	0.07	0.01	0.05			0.08	0.05	0.03	0.09	0.10		
-3.0	0.10	0.06	0.05					0.11	0.04	0.03				
-7.0	0.04	0.06						0.10	0.03					
<div> <div>檢測位置</div> <div>水深(m)</div> </div>	第 9 排樁							第 11 排樁						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
+4.5	0.06	0.03	0.06	0.08	0.07	0.05		0.07	0.08	0.08	0.06			
+3.0	0.05	0.06	0.09	0.11	0.11	0.10	0.02	0.04	0.08	0.08	0.02	0.02	0.04	0.06
+1.0	0.07	0.05	0.09	0.07	0.10	0.10		0.05	0.07	0.08	0.05	0.03	0.04	
-1.0	0.08	0.12	0.13	0.10	0.09			0.06	0.03	0.08	0.11	0.12		
-3.0	0.08	0.12	0.11					0.06	0.05	0.07				
-7.0	0.09	0.11						0.06	0.04					
<div> <div>檢測位置</div> <div>水深(m)</div> </div>	第 13 排樁							第 14 排樁						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
+4.5	0.06	0.03	0.06	0.08	0.07	0.05		0.07	0.08	0.08	0.06			
+3.0	0.09	0.06	0.04	0.09	0.09	0.09		0.09	0.06	0.09	0.11			
+1.0	0.08	0.05	0.06	0.14	0.10	0.04		0.11	0.07	0.10	0.11			
-1.0	0.09	0.08	0.07	0.13	0.14			0.13	0.07	0.09	0.11			
-3.0	0.12	0.09	0.06					0.11	0.11	0.09				
-7.0	0.08	0.10						0.10	0.12					

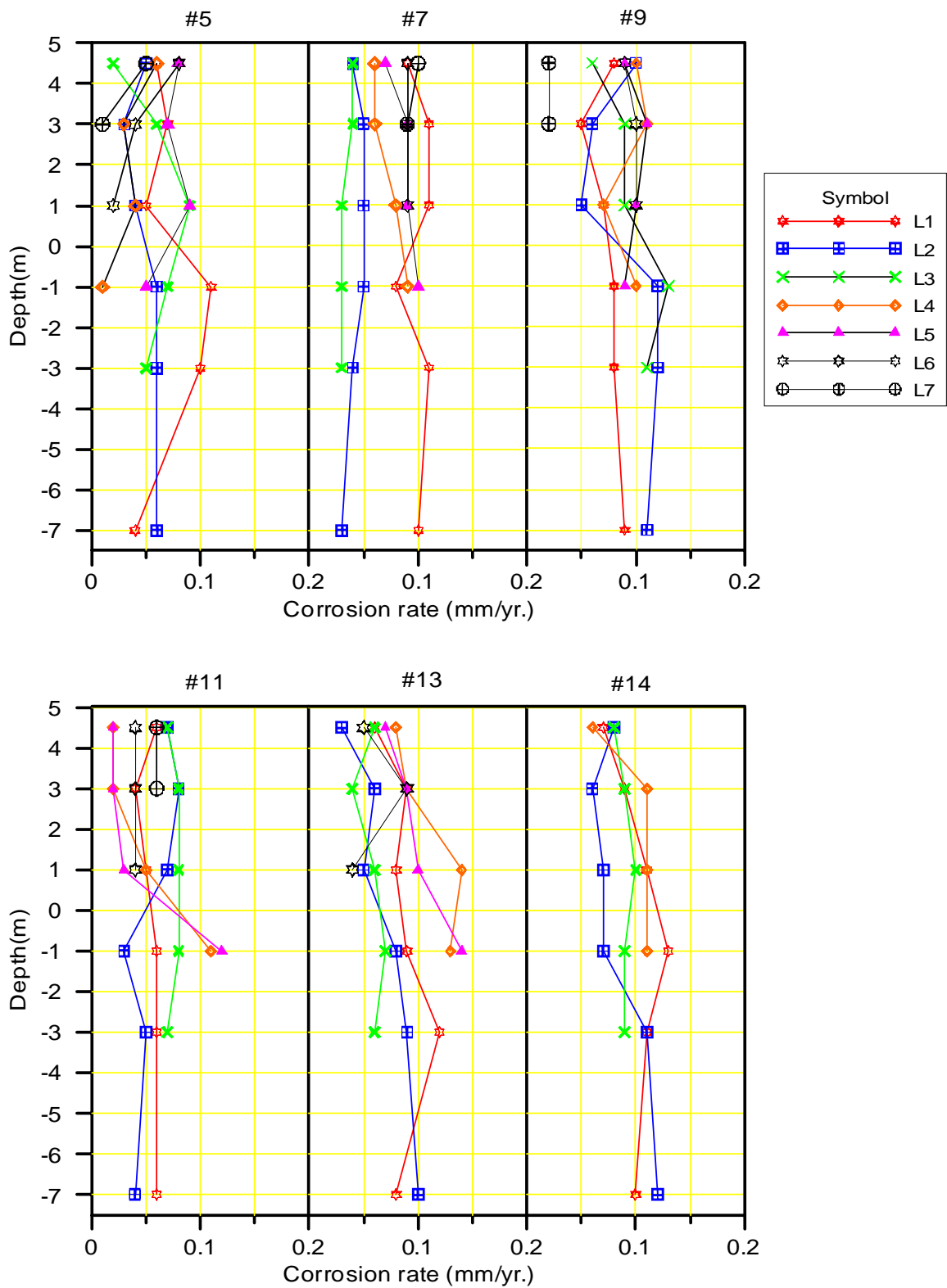


圖 3.68 台中港 30 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

表 3-17 台中港 30 號碼頭鋼管樁保護電位檢測結果 (-mV)

检测位置：#7																													
水深	L1				L2				L3				L4				L5				L6				L7				
	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	
m	-1	1051	1051	1054	1054	1048	1048	1049	1050	1047	1047	1045	1046	1045	1044	1045	1050	1056	1098	1094	1100	1081	1098	1094	1090	998	1008	1004	1001
	-4	1057	1063	1065	1060	1053	1051	1058	1056	1048	1047	1051	1058	1056	1047	1047	1046	1048	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	-7	1050	1050	1053	1053	1049	1047	1047	1048	1058	1049	1045	1045	1045	1044	1047	1041	1045	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		1057	1067	1067	1049	1042	1041	1042	1043	1041	1042	1043	1046	1039	1037	1042	1045	1050	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
检测位置：#28																													
水深	L1				L2				L3				L4				L5				L6				L7				
	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	
m	-1	1059	1053	1055	1057	1049	1057	1057	1057	1046	1043	1062	1065	1053	1055	1057	1056	1043	1046	1046	1062	996	1005	1054	1015	1002	1025	1016	1022
	-4	1071	1071	1071	1071	1050	1057	1054	1059	1043	1046	1071	1050	1057	1054	1046	1043	1038	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	-7	1065	1065	1062	1065	1053	1055	1057	1056	1038	1046	1065	1053	1055	1057	1043	1046	1046	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		1076	1071	1071	1050	1057	1054	1046	1043	1038	1062	1071	1071	1071	1046	1048	1046	1046	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
检测位置：#29																													
水深	L1				L2				L3				L4				L5				L6				L7				
	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	
m	-1	1076	1070	1090	1087	1057	1057	1055	1076	1074	1074	1071	1071	1071	1057	1055	1071	1062	1050	1060	1048	1005	1023	1024	1025	981	1005	1014	1010
	-2.5	1071	1062	1074	1068	1087	1085	1057	1059	1070	1068	1065	1065	1065	1062	1054	1057	1046	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	-3.5	1071	1065	1071	1065	1086	1086	1046	1043	1050	1057	1054	1059	1043	1046	1043	1048	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		1050	1053	1071	1065	1086	1090	1043	1046	1053	1055	1057	1056	1038	1043	1046	1046	1060	1056	1057	1054	--	--	--	--	--	--	--	
检测位置：#30																													
水深	L1				L2				L3				L4				L5				L6				L7				
	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	
m	-1	1057	1054	1057	1046	1043	1048	1050	1050	1060	1058	1071	1062	1071	1065	1071	1065	1086	1086	1050	1050	1021	1028	1024	1023	1018	1025	1025	1024
	-2.5	1057	1059	1056	1043	1046	1046	1060	1056	1057	1054	1071	1065	1050	1053	1071	1065	1086	1090	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	-3.5	1046	1043	1038	1038	1046	1046	1058	1058	1055	1052	1050	1053	1057	1055	1071	1062	1050	1060	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		1043	1046	1046	1062	1065	1053	1055	1059	1056	1063	1057	1055	1054	1057	1046	1043	1048	1050	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
检测位置：#32																													
水深	L1				L2				L3				L4				L5				L6				L7				
	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	A面	B面	C面	D面	
m	-1	1071	1071	1050	1057	1054	1046	1043	1038	1087	1086	1086	1050	1048	1050	1056	1058	1059	1050	1060	1058	1012	1012	1014	1012	1025	1014	1017	1018
	-4	1062	1065	1053	1055	1057	1043	1046	1046	1065	1086	1090	1060	1050	1054	1057	1046	1048	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	-7	1074	1071	1071	1071	1046	1048	1046	1046	1053	1046	1043	1048	1050	1046	1043	1048	1050	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		1068	1065	1065	1062	1043	1050	1060	1058	1055	1043	1046	1046	1060	1060	1043	1046	1050	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

3.3.4 陽極塊調查

陽極塊調查範圍包括基隆港西 21、西 22 號碼頭，蘇澳港駁船碼頭、7 號碼頭及台中港 30 號碼頭，每港均檢測 15 支陽極塊，總計 45 塊。

基隆港西 21、西 22 號碼頭之陽極塊係於民國 80 年安裝，陽極塊焊接於鋼板樁之凸面，一排安裝於水深為 -2.0、-5.0、-8.0 公尺處，次一排則安裝於水深為 -3.5、-6.5 公尺處，相互間接排列。

駁船碼頭鋼板樁係於民國 82 年安裝陽極塊，全區分成 A、B、C、D 四段，各段安裝數量分別為 74、50、14 及 23 支，陽極塊安裝於水深 -1.5 m 處；六號、七號碼頭在建造初期即已各選取兩區之鋼管樁設置陽極塊作為防蝕，民國 82 年後，港務局又逐年編列預算，兩座碼頭共 545 支樁至今已全部安裝陽極塊保護，鋼管樁以五支為一排，陽極塊安裝水深分別為 L1：-1.3 公尺處兩支，-8.5 公尺處兩支，L2：-1.3 公尺處一支，-6.0 公尺處兩支，L3：-3.0 公尺處兩支，L4：-1.3 公尺處兩支，每排安裝陽極共 11 支（詳如圖 4.7 所示）。

台中港 30 號碼頭每支鋼管樁安裝兩支陽極塊，安裝位置為水深 -1.0 或 -3.0 公尺處及靠近海床部位，陽極塊尺寸選用 a、b 兩型。

3.3.4.1 陽極塊電位量測

1. 基隆港西 21 號碼頭

本座碼頭本次（91 年）調查共 8 塊陽極塊（如圖 3.49 所示），電位量測係以銅/硫酸銅電極為準，量測時電錶一端搭接於與陽極塊連結之不銹鋼電位測試棒上，另一端則置於欲量測位置旁，量測位置選在陽極塊上中下三等份處或其與鄰近陽極塊之相對水深處。

電位量測結果如表 3.18，最大值為 -1013 mV，最小值為 -1089 mV，由於陰極防蝕是以降低金屬之電位來減緩金屬的溶解反應，進而

達到降低或抑制腐蝕速率之目的。美國 NACE 於 1972 年曾訂定防蝕電位之標準為將結構物之電位控制至 -850 mV (以 $\text{Cu} / \text{CuSO}_4$ 電極量測)以下,本座碼頭陽極塊發生電位均小於 -850 mV ,已達防蝕之目的。

表 3.18 基隆港西 21 號碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	電位 (-mV)					
	切除前			焊接後		
	上	中	下	上	中	下
W21-1	1016	1016	1013	1065	1084	1089
W21-2	1016	1018	1018	1022	1024	1024
W21-3	1026	1031	1025	1035	1033	1036
W21-4	1019	1022	1026	1025	1028	1028
W21-5	1036	1037	1022	1038	1038	1030
W21-6	1021	1027	1026	1025	1030	1030
W21-7	1029	1027	1021	1032	1036	1030
W21-8	1042	1036	1036	1045	1040	1041

2. 基隆港西 22 號碼頭

本座碼頭本次 (91 年) 調查 7 支陽極塊 (如圖 3.51), 電位量測係以銅/硫酸銅電極為準,量測時電錶一端搭接於與陽極塊連結之不銹鋼電位測試棒上,另一端則置於欲量測位置旁,量測位置選在陽極塊上中下三等份處或其與鄰近陽極塊之相對水深處。

電位檢測結果如表 3.19, 最大值為 -967 mV , 最小值為 -1047 mV , 發生電位均小於 -850 mV ,已達防蝕之目的。

表 3.19 基隆港西 22 號碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	電位 (-mV)					
	切除前			焊接後		
	上	中	下	上	中	下
W22-1	1022	1034	1017	1025	1040	1025
W22-2	1037	1040	1041	1040	1041	1041
W22-3	1015	1019	1024	1022	1023	1039
W22-4	1030	1028	1040	1032	1030	1045
W22-5	1027	1029	1026	1030	1035	1035
W22-6	1018	1016	1016	1024	1024	1024
W22-7	1029	1039	1031	1033	1035	1035

3. 蘇澳港駁船碼頭

本次 (91 年) 調查 4 支陽極塊 (如圖 3.57、圖 3.58 所示) , 電位量測係以銅/硫酸銅電極為準 , 量測時電錶一端搭接於與陽極塊連結之不銹鋼電位測試棒上 , 另一端則置於欲量測位置旁 , 量測位置選在陽極塊上中下三等份處或其與鄰近陽極塊之相對水深處。

電位量測結果如表 3.20 , 最大值為 -990 mV , 最小值為 -1036 mV , 已達防蝕之目的。

表 3.20 蘇澳港駁船碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	電位 (-mV)					
	切除前			焊接後		
	上	中	下	上	中	下
A4	1004	1011	995	990	1018	998
A5	1008	1012	997	1007	1023	1004
B1	997	1014	998	1008	1036	996
B2	1015	1029	1005	1002	1036	997

4. 蘇澳港 7 號碼頭

本次 (91 年) 調查位置於自 7 號碼頭起點 102 公尺處 (自碎波堤算起第 27 排樁) 共 11 支陽極塊 , 量測結果如表 3.21 , 最大值為 -1084 mV , 最小值為 -1185 mV , 已達防蝕之目的。

表 3.21 蘇澳港 7 號碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊編號	電位 (-mV)					
	切除前			焊接後		
	上	中	下	上	中	下
7-1	1155	1157	1185	1115	1122	1117
7-2	1142	1138	1130	1117	1115	1120
7-3	1101	1100	1094	1118	1124	1118
7-4	1096	1097	1095	1113	1112	1114
7-5	1099	1100	1097	1115	1125	1117
7-6	1098	1098	1099	1108	1105	1110
7-7	1095	1097	1095	1106	1108	1115
7-8	1101	1101	1094	1126	1131	1122
7-9	1089	1093	1090	1125	1128	1128
7-10	1088	1087	1086	1097	1107	1099
7-11	1086	1089	1084	1105	1124	1116

5. 台中港 30 號碼頭

本次(91年)調查自第一單元算起第5、6兩排,共15支陽極塊,電位量測結果如表3.22,最大值為-1036 mV,最小值為-1118 mV,已達防蝕之目的。

表 3.22 台中港 30 號碼頭陽極塊發生電位量測結果

陽極塊 編號	電位 (-mV)					
	切除前			焊接後		
	上	中	下	上	中	下
5-L1-1	1040	1040	1036	1076	1074	1074
5-L1-2	1046	1043	1038	1070	1070	1068
5-L2-1	1056	1056	1055	1095	1095	1099
5-L2-2	1057	1057	1059	1108	1107	1105
5-L3-1	1049	1050	1053	1090	1087	1092
5-L3-2	1057	1057	1055	1094	1090	1090
5-L4-1	1057	1054	1057	1110	1113	1115
5-L4-2	1057	1059	1056	1116	1117	1118
6-L1-1	1046	1043	1038	1107	1103	1107
6-L1-2	1043	1046	1046	1090	1090	1089
6-L2-1	1048	1046	1046	1087	1087	1088
6-L2-2	1050	1060	1058	1107	1105	1104
6-L3-1	1056	1057	1054	1115	1112	1113
6-L3-2	1058	1055	1052	1108	1110	1110
6-L4-1	1059	1056	1063	1111	1116	1110

3.3.4.2 陽極塊外觀檢查及重量量測

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，先觀察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，在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。調查完成後，再焊回原處。

1. 基隆港西 21 號碼頭

本座碼頭切割之 8 支陽極塊，表面附著許多海生物，且外觀仍然十分完整，但除去附著海生物後，其表面反應產物明顯增多，反應產物主要為白色之氫氧化鋁（ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ），係鋁合金陽極塊因鋁之溶解後與海水中之氫氧離子（ OH^- ）作用所生成。除去反應產物後，有多處表面出現孔洞，其形狀類似孔蝕狀之凹陷現象。陽極塊現有尺寸量取距兩端端點個 10 公分及中央三處周長，量測結果如表 3.23 所示，陽極塊除去附著海生物後剩餘重量約為 112.6 ~ 133.6 kg，消耗重量僅約 15.9 ~ 36.9 kg 左右，如以安裝時間為民國 80 年至今計算，損耗率約為 1.6 ~ 3.7 kg/yr.，陽極塊周長約介於 86 ~ 96 cm 間，減少量不多。如陽極塊設計使用為二十年，估計應可繼續保護鋼板樁至陽極塊設計年限，圖 3.69 及圖 3.70 為陽極塊作業及現場切割後置於陸上之情形。

2. 基隆港西 22 號碼頭

本座碼頭切割之 7 支陽極塊，其外觀與西 21 號碼頭相似，除去反應產物後，表面亦有多處凹陷孔洞。重量量測結果如表 3.24 所示，陽極塊除去附著海生物後剩餘重量，約在 114.5 ~ 121.4 kg 間，消耗重量僅約 28.2 ~ 34.5 kg 左右，如以安裝時間為民國 80 年至今計算，消耗率約為 2.8 ~ 3.5 kg/yr.，陽極塊周長約介於 86 ~ 90 cm 間，減少量不多。如陽極塊設計使用為二十年，估計應可繼續保護鋼板樁至設計年限。

3. 蘇澳港駁船碼頭

本座碼頭切割 4 支陽極塊，其外觀與基隆港西 21、西 22 號碼頭相似，除去反應產物後，表面亦有多處凹陷孔洞，但數量較少且凹陷深度不深。陽極塊重量量測結果如表 3.25，除去附著海生物後剩餘重量約在 132.8 ~ 137.5 kg，消耗量僅約 12.1 ~ 16.8 kg 左右，如以安裝時間為民國 82 年至今計算，消耗率約為 1.2 ~ 1.7 kg/yr.，陽極塊周長約介於 88 ~ 92 cm 間，減少量輕微。如陽極塊設計使用為二十年，估計應可繼續保護鋼板樁至設計年限，陽極塊現場切割後置於陸上之情形如圖 3.71 至圖 3.72 所示。

4. 蘇澳 7 號碼頭

本座碼頭檢測數量共切割一排計 11 支，其外觀與基隆港西 21、西 22 號碼頭相似，除去反應產物後，表面亦有多處凹陷孔洞。陽極塊重量量測結果如表 3.26，陽極塊剩餘重量約在 119.5 ~ 145.7 kg 間，消耗量約 3.8 ~ 30.0 kg 左右，如以安裝時間為民國 82 年至今計算，消耗率各別差異較大，約為 0.4 ~ 3.0 kg/yr. 左右，陽極塊周長約介於 91 ~ 97 cm 間，減少量輕微。估計應可繼續保護鋼管樁至設計年限，陽極塊現場切割後置於陸上之情形如圖 3.73 至圖 3.74 所示。

5. 台中港 30 號碼頭

本座碼頭陽極塊檢測數量共切割二排計 15 支，陽極塊表面附著海生物數量明顯少於其他港口，外觀仍然十分完整，除去附著海生物後，表面有些凹陷之孔洞。陽極塊重量量測結果如表 3.27 所示，a 型陽極塊剩餘重量 119.5 ~ 145.7 kg 間，消耗量約 8.2 ~ 15.0 kg 左右。b 型陽極塊剩餘重量 92.5 ~ 98.4 kg 間，消耗量約 12.8 ~ 18.0 kg 左右。a 型陽極塊周長約介於 72 ~ 81 cm 間，b 型約介於 88 ~ 96 cm 間，如以安裝時間為民國 82 年至今計算，消耗率 a 型約為 1.8 ~ 2.6 kg/yr.，b 型約為 1.2 ~ 2.1 kg/yr. 左右，估計應可繼續保護鋼管樁至設計年限，陽極塊現場切割後置於陸上之情形如圖 3.71 所示。

表 3.23 基隆港西 21 號碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果

陽極塊編號	尺寸 (cm)				剩餘重量 (kg)	剩餘重量 (kg)	消耗重量 (kg)
	上	中	下上	平均			
W21-1	91	92	84	89.0	149.6	119.8	29.8
W21-2	96	92	93	93.7	149.6	130.4	19.2
W21-3	87	90	89	88.7	149.6	114.3	35.3
W21-4	96	98	95	96.3	149.6	136.3	13.3
W21-5	91	86	87	88.0	149.6	112.6	37.0
W21-6	86	92	94	90.7	149.6	120.8	28.8
W21-7	95	95	97	95.7	149.6	133.6	16.0
W21-8	83	90	86	86.3	149.6	114.2	35.4

表 3.24 基隆港西 22 號碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果

陽極塊編號	尺寸 (cm)				剩餘重量 (kg)	剩餘重量 (kg)	消耗重量 (kg)
	上	中	下上	平均			
W22-1	87	87	86	86.7	149.6	117.4	32.2
W22-2	90	90	90	90.0	149.6	115.1	34.5
W22-3	85	90	83	86.0	149.6	119.3	30.3
W22-4	90	90	92	90.7	149.6	121.4	28.2
W22-5	89	90	87	88.7	149.6	114.5	35.1
W22-6	88	88	87	87.7	149.6	118.8	30.8
W22-7	89	87	90	88.7	149.6	119.9	29.7

表 3.25 蘇澳港駁船碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果

陽極塊編號	尺寸 (cm)				剩餘重量 (kg)	剩餘重量 (kg)	消耗重量 (kg)
	上	中	下	平均			
A-4	88	94	89	90.3	149.6	136.1	13.5
A-5	86	90	89	88.3	149.6	132.8	16.8
B-1	90	94	91	92.0	149.6	137.5	12.1
B-2	88	91	86	89.5	149.6	133.1	16.5

表 3.26 蘇澳港 7 號碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果

陽極塊編號	尺寸 (cm)				剩餘重量 (kg)	剩餘重量 (kg)	消耗重量 (kg)
	上	中	下	平均			
7-1	90	90	95	91.7	149.6	137.9	11.7
7-2	95	96	96	95.7	149.6	145.7	3.9
7-3	94	94	93	93.7	149.6	128.4	21.2
7-4	94	93	93	93.3	149.6	136.7	12.9
7-5	96	96	94	95.3	149.6	136.6	13.0
7-6	95	98	96	96.3	149.6	145.6	4.0
7-7	91	92	91	91.3	149.6	130.5	19.1
7-8	94	94	94	94.0	149.6	136.3	13.3
7-9	97	92	91	93.3	149.6	122.3	27.3
7-10	96	99	96	97.0	149.6	144.5	5.1
7-11	91	91	92	91.3	149.6	119.5	30.1

表 3.27 台中港 30 碼頭陽極塊尺寸與重量量測結果

陽極塊編號	尺寸 (cm)				剩餘重量 (kg)	剩餘重量 (kg)	消耗重量 (kg)
	上	中	下上	平均			
5-L1-1	74	80	75	76.3	137.6	127.0	10.6
5-L1-2	75	79	78	77.3	137.6	126.5	11.1
5-L2-1	80	80	77	79.0	137.6	128.7	8.9
5-L2-2	75	80	76	77.0	137.6	125.1	12.5
5-L3-1	75	80	76	77.0	137.6	129.1	8.5
5-L3-2	77	81	74	77.3	137.6	124.3	13.3
5-L4-1	89	87	90	88.7	110.5	98.4	12.1
5-L4-2	92	94	93	93.0	110.5	92.5	18.0
6-L1-1	75	80	73	76.0	137.6	123.3	14.3
6-L1-2	77	79	75	77.0	137.6	129.4	8.2
6-L2-1	77	80	73	76.7	137.6	128.7	8.9
6-L2-2	73	79	74	75.3	137.6	122.6	15.0
6-L3-1	78	79	72	76.3	137.6	126.0	11.6
6-L3-2	88	92	88	89.3	110.5	95.0	15.5
6-L4-1	95	96	91	94.0	110.5	97.7	12.8

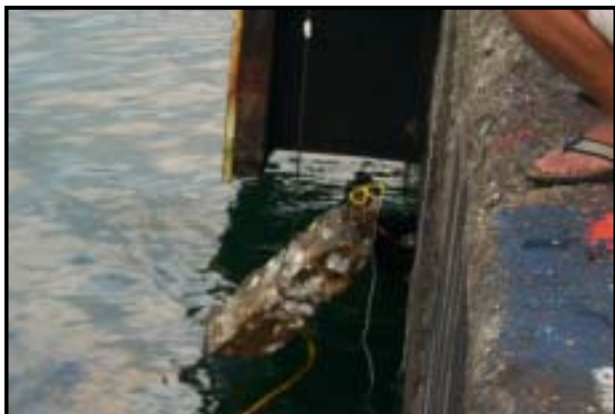


圖 3.69 基隆港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形（1）



圖 3.70 基隆港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形（2）



駁船 A4



駁船 A5



駁船 B1



駁船 B2



#7-1



#7-2



#7-3



#7-4

圖 3.71 蘇澳港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形 (1)



#7-5



#7-6



#7-7



#7-8



#7-9



#7-10



#7-11

蘇澳港駁船
及 7 號碼頭

圖 3.72 蘇澳港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形 (2)



5-L1-1



5-L1-2



5-L2-1



5-L2-2



5-L3-1



5-L3-2



5-L4-1



5-L4-2

圖 3.73 台中港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形 (1)



6-L1-1



6-L1-2



6-L1-1



6-L1-2



6-L3-1



6-L3-2



6-L4-1

台中港
30號碼頭

圖 3.74 台中港陽極塊現場作業及切割後置於陸上之情形 (2)

3.4 結論

3.4.1 花蓮港 5 號碼頭

鋼板樁水下部分外觀未發現有孔蝕或穿孔破洞等破損情形，距起點 55.4 m、66.2 m、81.8 m 處凹面及 121.5 m 處凸面之鋼板樁靠海床附近發現有開裂及彎曲現象，平均腐蝕速率最大約 0.08 mm/yr.，但低潮位線上鋼板樁陸側開挖發現表面生銹腐蝕嚴重，敲除後有多處破洞，顯示背填土對鋼板樁腐蝕影響嚴重。

3.4.2 花蓮港 6 號碼頭

鋼板樁水下部分外觀未發現有孔蝕或穿孔破洞等破損情形，但 89 年調查曾發現靠海床附近之鋼板樁有開裂及彎曲現象，平均腐蝕速率最大約 0.08 mm/yr.，腐蝕情形尚不嚴重。

3.4.3 花蓮港航道岸壁

鋼板樁腐蝕速率在 0.09 mm/yr. 左右，低於 0.20 mm/yr. 之規範值或由設計年限 20 年換算之 4.0 mm 允許腐蝕量，顯示鋼板樁腐蝕應屬輕微。

開挖岸壁陸側及距岸壁後方 10 m，發現拉桿外觀未發現生銹腐蝕，以游標卡尺量測拉桿現有厚度亦無減小，顯示拉桿狀況良好

3.4.4 基隆港西 21 號碼頭

全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象，水深 +0.20 m 及 -0.30 m 處仍有少數測點其凸面腐蝕速率大於或接近 0.20mm/yr.之規範值；減少厚度超過原設計允許之 4.0 mm 者，在水深 +0.70 m、+0.20 m 及 -0.30 m 處都有發現，必須多加注意。

鋼板樁保護電位均小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護鋼板樁之目的

3.4.5 基隆港西 22 號碼頭

鋼板樁平均腐蝕速率檢測結果，在高程 -0.05 m 處凸面之平均腐蝕速率(0.09 mm/yr.)最大，凹面(0.08 mm/yr.)次之，側面(0.06 mm/yr.)最小，全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

鋼板樁保護電位均小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護鋼板樁之目的。

3.4.6 蘇澳港駁船碼頭

鋼板樁平均腐蝕速率均小於 0.10 mm/yr.，全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

鋼板樁保護電位均小於-850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護鋼板樁之目的。

3.4.7 蘇澳港 7 號碼頭

鋼管樁平均腐蝕速率約 0.01 ~ 0.09 mm/yr.，全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

鋼板樁保護電位均小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護鋼板樁之目的。

3.4.8 台中港 30 號碼頭

鋼板樁平均腐蝕速率少數約 0.11 mm/yr.，全區碼頭之鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破洞等現象。

鋼板樁保護電位均小於 -850 mV (以 Cu/CuSO₄ 電極量測)，已達保護鋼板樁之目的。

第四章 港灣混凝土結構物耐久性試驗研究

4.1 前言

4.1.1 研究動機

混凝土為土木工程應用最廣泛且用量極大之營建材料，原因乃是混凝土具有耐壓性、可塑性、耐久性、經濟性。但是無可否認的是混凝土本身也有其缺點，如抗拉、抗剪、抗彎及延展性差、體積不穩定等缺陷，因此才有各種改良混凝土之方法產生，譬如為了改良抗張抗彎，可添加纖維或鋼材，為了改善體積穩定性可降低水泥漿量為策略，為了增加工作性及耐久性可以混合應用添加礦粉摻料、強塑劑等等。這些缺點之改良方法都是混凝土技術界一直努力改進之重大目標。

臺灣地區混凝土之耐久性為一首要之重視課題，台灣長年處於海洋環境，混凝土結構體極易受鹽害、酸害及體積穩定性等耐久性的問題，必須特別加以重視，以減少發生劣化之機率。其次，混凝土之抗彎抗拉能力差亦為其主要缺點，如何改善並提升其能力，是未來研究之重點。基於為提昇港灣工程混凝土科技的研發與應用水準，如何徹底改善混凝土之缺陷，尤其是在灣環境下所應具有之耐久性特性，因此決定執行本研究計畫。

4.1.2 研究目的

本研究之主要目的乃擬以微晶粉末顆粒(microsil)之摻料，添加於新拌混凝土漿體，探討混凝土硬固後之基本性質變化，評估新材料對混凝土品質改善與耐久性提昇之效應為何？

4.2 文獻回顧

4.2.1 混凝土之發展

混凝土為目前土木工程應用最廣泛且用量極大之營建材料。近年來，混凝土在不同領域與材料科技之整合下，許多發展日新月異，其發展概述如下：

4.2.1.1 高性能混凝土

高性能混凝土 (High Performance Concrete , 簡稱 HPC) 名稱為世界各國所共用，並為最重要之研究領域與課題，惟其名稱之定義在世界各地均稍有不同，惟一相似者，即各國之定義均著重耐久性。在歐美國家，以強調高強度與高坍度，並達到耐久使用之目標來發展高性能混凝土。日本經過多年之整合，將高性能混凝土區分為三類，即(1)高強度高性能混凝土(2)高流動高性能混凝土與(3)特殊功能高性能混凝土。其中之第(2)項即為自填充高性能混凝土，不須搗實即可達到均勻填充第(3)項則包括耐磨低熱、早強等特殊功能之混凝土^[15]。

國內國科會對高性能混凝土之要求為具高工作性、高流動性(坍度 $> 250\text{ mm}$)之高強度混凝土($f_c' > 8000\text{ psi}$)，並且混凝土澆置 45 分鐘後仍具坍度 235 mm 之性質。然而，侷限於設計規範之強度限制，國內工程建設仍偏重使用一般強度(中低強度)之混凝土，為達全面提升國內混凝土材料品質與施工技術，國科會 HPC 研究群於民國 85 年 12 月提出推動本土化中強度高流動高性能混凝土研發之決議。規劃 HPC 之特性為 $f_c' = 4000\sim 5000\text{ psi}$ 並具有以下之性質：(1)水泥應有每公斤 15 psi 強度以上之效益，(2)水泥用量低於 300 kg/m^3 ，(3)初期坍度為 $220 \pm 20\text{ mm}$ ，坍流度為 $500 \pm 100\text{ mm}$ ，(4)45 分鐘後坍度應大於 200 mm 且坍流度在 400 mm 以上，(5)水灰比 0.42 ，波索蘭材料 30% 為原則之免搗實混凝土^[15]。

中華民國結構工程學會之『高性能混凝土特別條款^[16]』中，定義高性能混凝土係混凝土經過品質保證技術，確保品質一致性及穩定性，滿足營建工程優良品質之需求。其特別條款乃依據美國混凝土學會 ACI 318 -95 「結構混凝土」精神及內涵所補充，使混凝土由規劃設計及配比時能考量有耐久性及能確保最終結構體混凝土品質。目的在

確保 HPC 澆鑄之結構物品質，免除蜂窩泌水及析離等問題，使達到「安全性、耐久性、經濟性、工作性及生態性」之準則。

4.2.1.2 自充填混凝土

自充填混凝土 (Self-Compacting Concrete , 簡稱 SCC) 係指澆置過程中不需施加任何振動搗實，完全藉由其自身之充填能力而充填至鋼筋間隙及模版各角落之特殊混凝土。

日本發展自充填混凝土之初，曾以高性能混凝土 (HPC) 來指稱這種混凝土。「高性能」一詞，在語意上較不明確，近 10 年來，美、加、歐洲等地區亦積極發展 HPC，所不同的是這些區域所發展的 HPC 主要著重在耐久性，對工作性之需求只是些微提昇其坍度以方便施工，並沒達到「自充填」的程度，因此 HPC 的施工過程中，振動、搗實仍是必要的^[17]。由此可知，日本的 HPC 與歐美的 HPC 顯然指的不是同一種材料，同樣的情形亦可見於國內。目前日本產官學界針對免振動高性能混凝土或高流動混凝土採用了 SCC (Self-compacting) 之正式名稱⁽¹⁸⁾，用以和 HPC 作一區隔，使得 SCC 在名稱上，不易生混淆。數年前，國內學術界 HPC 研究群所提出的 TAICON 概念，其精神亦是在於使所欲強調的混凝土性質更加明確。基本上，TAICON，概念已經是極為接近 SCC 的定義。其實，對照前述有關高性能混凝土的定義，所謂 HPC 與 SCC 間之歧異就顯得很清楚了，這一個議題可以如此來解釋，那就是--SCC 其實也是 HPC，而其所要求的「高性能」，便是其「自動充填、免振動的施工便利性」。更明確來說，SCC 應該是 HPC 的一種。SCC 之充填性能需藉由適當的配比設計，並配合特殊化學摻料的使用所達成。自充填混凝土施工，可有效避免因施工人員素質、訓練或管理之不良，所造成的施工瑕疵及品質落差，大幅提昇構件的可靠度 (Reliability)，故以 SCC 施工的 RC 構造物咸信有更接近設計值之承載力與耐震力^[19]。

4.2.1.3 活性粉末混凝土

活性粉末混凝土(Reactive Powder Concrete, 簡稱 RPC), 是混凝土中繼 HPC 後新發展出來的超高強高性能混凝土--不單具有超高的抗壓、抗彎強度及韌性(添加了鋼纖維), 在耐久性上對抗各種侵蝕也明顯優越--在許多試驗數據上已屬金屬材料的範圍, 在國外研究多年已經達到可以應用在工程上的地步。

4.2.2 氯化物滲透與透水性之探討

4.2.2.1 Cl^- 之來源

混凝土內 Cl^- 之來源甚多, 大致可分為內含與外來兩方面; 內含之 Cl^- 是在混凝土拌合的過程過中, 經由拌合材料進入混凝土。另一來源則是自外界經由裂縫、孔隙滲入混凝土中^[20]。

新拌混凝土之 Cl^- 之來源, 最可能由下列幾種材料, 受到污染而進入: (1)拌合水(2)骨材(3)摻料。

混凝土原本為一多孔隙材料, 除了上述在混凝土拌合時即已存在的 Cl^- 來源外, 亦可能由外在環境的污染而滲入混凝土中。一般而言, Cl^- 經由外在環境滲入混凝土內的方式, 有下列幾種^[21,22]:

1. 經由混凝土裂縫侵入。
2. 於混凝土潮溼時, 藉由擴散作用, 緩慢滲透進入混凝土孔隙溶液中。
3. 混凝土乾燥時, 藉由毛細管的虹吸作用將含有 Cl^- 的水溶液以虹吸作用吸入混凝土中。

通常, 處於海岸區、飛沫帶、工業污染區以及去冰鹽使用地區的混凝土構造物, 特別容易遭受外在 Cl^- 的侵入, 經過日積月累之後將會造成嚴重的鋼筋腐蝕問題^[20]。

4.2.2.2 對鋼筋之侵蝕

氯化物乃是公認會致使鋼筋發生腐蝕的主要有害物質, 幾乎所有

的研究學者都認為，在鋼材的腐蝕反應過程中， Cl^- 是扮演一個重要的催化作用。當 Cl^- 含量高時， Cl^- 會破壞鐵材表層之鈍態氧化膜，並造成金屬離子的溶解。 Cl^- 對於混凝土內鋼筋腐蝕的影響，還得考慮到混凝土的性質。如果混凝土品質佳，水份與氧氣不易滲入，則鋼筋產生腐蝕的機會較小。此外，若混凝土的鹼性高，則可以容忍較高的氯離子含量，而不致產生鋼筋腐蝕^[23]。當混凝土內 pH 值較高時，則產生氧化鐵保護膜的反應較強勢，所以可以容忍較高 Cl^- 含量的存在。反之，若混凝土因為中性化等作用使其 pH 降低時，則 Cl^- 破壞氧化鐵保護膜的作用較為強勢，因此僅低含量的 Cl^- 存在時，便能導致鋼筋腐蝕的產生。混凝土內 pH 值和 Cl^- 濃度對鋼筋腐蝕的影響如圖 4.1^[24,25]所示。

4.2.2.3 混凝土材料中氯化物的容許含量

依據日本建築學會 1977 年的建築規範 JASS 中，曾修訂在混凝土材料中細骨材的氯化鈉(NaCl)含量，以 0.1% 為其上限(以絕對乾燥砂重為基準)，超過此值鋼筋開始有生銹的威脅，而生銹的量將隨時間的增長而增加，若氯化鈉含量在 0.3% 以上，鋼筋將全面的生銹，至於混凝土內氯化物之含量亦訂定有規定^[26]。表 4.1^[20]簡列歐、美、日等國與中國國家標準(CNS)對氯化物含量之相關規定。

又一般 pH 值為 12.5 至 13.2 的鹼性環境，氯含量規定不得超過 $0.2 \sim 2.8 \text{ kg/m}^3$ 混凝土^[25,26,27]。氯離子含量與鋼筋腐蝕程度之關係如表 4.2^[21,28]。

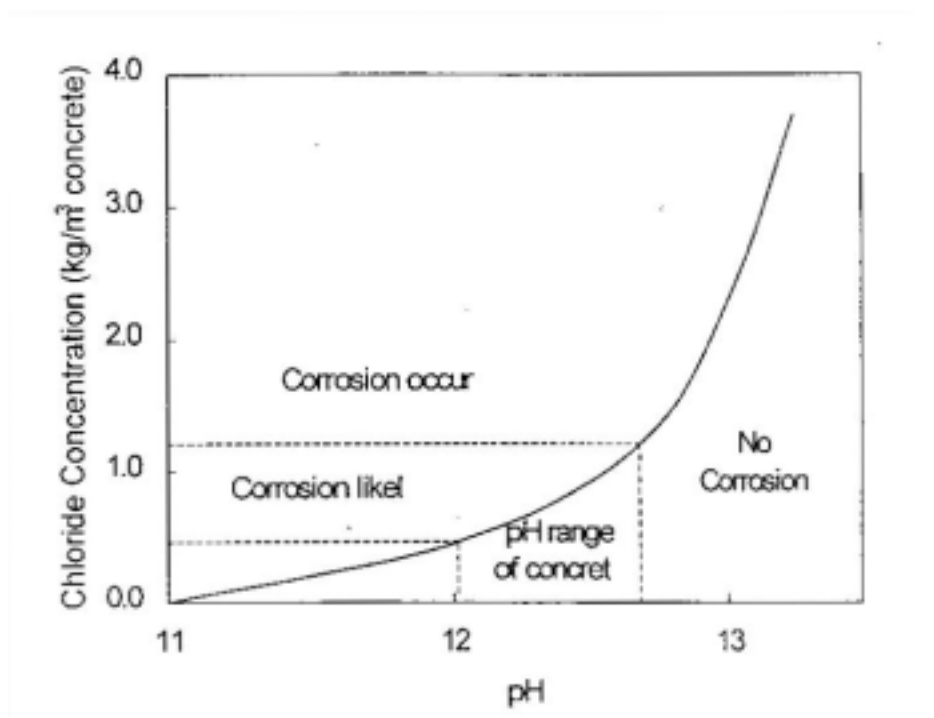


圖 4.1 混凝土 pH 值與 Cl⁻濃度對鋼筋腐蝕之關係^[24,25]

表 4.2 Cl⁻含量與鋼筋腐蝕之關係^[21,28]

Cl ⁻ 含量(佔水泥量之%)	鋼筋腐蝕狀態
<0.4	忽略
0.4-1.0	可能腐蝕
1.0-2.0	或有腐蝕
>2.0	一定腐蝕

表 4.1 各國對鋼筋混凝土構造物氯化物含量之規定^[20]

國 家	規 範	構件型態及環境下	Cl ⁻ 重量 (kg/m ³ 混凝土)	Cl ⁻ , (%) (佔水泥用量)
美 國	ACI 318-89	1.R.C. 曝露於氯化物下	0.45	0.15
		2.R.C.在一般環境下	0.90	0.30
		3.R.C.在乾燥環境下	3.00	1.00
		4.預力混凝土	0.18	0.06
英 國	BS 1880 BS8110-85	1.一般 R.C.結構物	0.60	0.20
		2.骨材	1.92	0.64
		3.骨材(含 CaCl ₂)	2.87	0.95
日 本	JASS 5 土木協會	1.細骨材(I 級)	0.10	---
		2.混凝土	0.30	0.10
		3.一般 R.C.結構物	0.49	0.16
中 華 民 國 (台灣)	CNS 12891	硬固混凝土		
		1.預力混凝土	0.15	
		2.R.C.結構物(需耐久性 考慮者)	0.30	
		3.一般 R.C.結構物	0.60	
	CNS 3090	預拌混凝土		
		1.預力混凝土	0.15	
		2.R.C.結構物(需耐久性 考慮者)	0.30	
	ANS 1240	3.一般 R.C.結構物	0.60	
		混凝土粒料(細)於：		
		預力混凝土中	0.012%	
		其它混凝土中	0.024%	

4.2.2.4 氯離子在混凝土中之擴散模式及電滲試驗

鋼筋混凝土中之鋼筋發生腐蝕主要是由於受到侵蝕性的鹽類破壞其周界之混凝土所能提供之鹼性保護所致，其中以氯離子作用最為強烈，氯離子侵入混凝土之程度會依結構物所處位置不同而異，一般而言，當結構物曝露於飛沫地區，則氯離子之侵入狀況最為嚴重，主因為飛沫帶具有海水乾濕反覆作用在潮濕狀況下，因毛細管作用，大量的氯離子和水會侵入混凝土結構體中，然而當乾燥時則水分被蒸發掉，只剩氯離子留在混凝土中，而造成混凝土表面或內部存留大量的氯離子。混凝土中氯離子滲透之研究顯示，實際侵入之氯離子濃度與其滲透程度之關係，可以 Fick 第二擴散定律表示之^[29]；

$$C_{(X,t)} = C_0 \left[1 - \operatorname{Erf} \left(\frac{X}{2\sqrt{Dt}} \right) \right]$$

式中：Erf 為誤差函數(Error function)，其定義為

$$\operatorname{Erf}(X) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^X \exp(-y^2/2) dy$$

C_0 ：混凝土表面起始之氯離子濃度(ppm)

$C_{(xt)}$ ：任何時間任何深度下之氯離子濃度(ppm)

X ：深度(cm)

t ：時間(sec)

D ：氯離子擴散係數(cm^2/sec)

根據英國混凝土學會所做之研究指出，氯離子之擴散係數與混凝土滲透性之關係如表 4.3 所示^[30]。

表 4.3 氯離子擴散係數與混凝土滲透性之關係^[30]

氯離子之擴散係數(cm^2/sec)	混凝土之滲透能力
$<1 \times 10^{-8}$ $(1 \sim 5) \times 10^{-8}$ $>5 \times 10^{-8}$	低 中等 高

混凝土滲透性支配耐久性質，低滲透表示水分子或其它有害離子不易進入混凝土內。傳統測試混凝土滲透性是以水的滲透試驗為主，滲透係數可顯示傳達水的難易程度。

AASHTO T-277 建議使用電滲法，評估混凝土受氯離子滲入的抵抗能力。ACI 318-95 第四章（耐久性專章）中，對於混凝土曝露於氯離子環境中之抗蝕能力，建議採用 AASHTO T-277 方法評估混凝土的適用性，此法已規範成 ASTM C 1202-93。電滲法雖然無法測出氯離子滲透(或擴散)係數，但由於具方便、快速且通電量可供判斷混凝土做防蝕考量時之配比設計考量。影響混凝土電滲性質包含水化程度、膠結料、毛細孔隙量、電阻係數及電解質多寡等^[31]。

4.2.2.5 透水性^[32]

1. 混凝土的孔隙結構

以肉眼看混凝土，覺得相當結實，但若以顯微鏡觀察，則發現有極多的孔隙存在且互相連通，可視為多孔結構。混凝土剛澆置後比重較大者往下沉，水份被迫上升，其所經過的路徑即形成毛細管孔，升至混凝土表面者為浮水(bleeding)。這些毛細管孔(capillary pores 大於 100 \AA)體積是視水灰比而定。因水份充滿新拌水泥漿體之空間，這些空間隨著水化作用程度逐漸被 C-S-H 膠體所填充，而部份空間未被水化膠結物所填者形成膠體孔隙，該膠體孔隙(膠孔 gel pores 小於 100 \AA)之體積比將視水化程度而定。由此可見，混凝土孔隙之形成與水灰比

及水化程度(齡期)關係相當大。水灰比愈大，則形成之毛細孔愈大，當水灰比小於 0.7 時，經適當養護，水泥漿體水化充分，則毛細孔會受適當的阻隔。當水灰比太大時(大於 0.7)，則將造成孔隙的連通性。

混凝土添加波索蘭材料後，由於具有波索蘭反應之特性，能減少用水量，降低水灰比且顆粒能填充膠體孔隙和毛細管孔，以致改變硬化混凝土整體孔隙結構，因此使得混凝土毛細管孔相對減少，且孔隙亦趨微細，整個結構更為緻密而不易透水，且其透水率亦隨水泥中所含爐石量之增加而降低，因此對混凝土的水密性、強度、及耐久性之改善具有很大幫助。

2. 影響水密性主之主要原因

混凝土具有極多孔隙且互相連通，因此無法完全緊密。影響水密性的因素有下列幾項：

(1) 材料

水泥、骨材及添加劑的性質對混凝土之水密性有很大關係。

水泥：當水灰比一定時，使用水化較快之水泥，則混凝土之水密性較好，水泥細度較高的混凝土，水密性較差。

骨材：混凝土骨材的最大粒徑較大，級配良好、有足夠細粒料，則混凝土的水密性較高。

添加劑：添加輸氣劑可增加混凝土的輸氣含量，改善混凝土的工作度，減少浮水現象，且輸氣後可形成不連續的氣泡，或添加減水劑、強塑劑等都可降低水灰比及增加工作度因而增加水密性。

(2) 配比

在良好施工狀況下水灰比愈低，則水密性愈佳，水灰比超過 0.65 時，透水性增加很快，例如水灰比為 0.8 的透水性約為 0.4 者的 100 倍。若因水灰比太低，致使施工不良而形成之滲漏(孔隙)，則較水

灰比大之透水性更嚴重，因此欲得最佳水密性，宜採用工作性良好之最低水灰比較為理想。

(3) 施工

混凝土之拌合、澆置、搗實與養護等施工嚴格控制對水密性均有很大的影響。正確之拌合、澆置與充分搗實可增加混凝土均勻性，避免材料分離並排除氣泡及消除蜂窩現象，而充分的養護可以減少龜裂，並使水泥完全水化，增加混凝土中之不連續孔隙之產生而增加水密性。

4.2.3 混凝土之耐久性指標

中華民國結構工程學會將電阻、電滲放進耐久性設計中及並列入於「高性能混凝土特別條款中」^[33]。美國 ACI 318-95，一改過去保守心態將卜作嵐材料視為膠結材料，且將耐久性問題列入專章(第四章)，對於可能受氯離子侵蝕的結構物，最嚴格者不僅限制水膠比(W/B)應小於 0.40，且設計強度應大於 5000 psi，此對於臨海或海洋結構物設計有相當重要的意義，而且建議使用 AASHTO T-277(ASTM C1202-97)的氯離子電滲法評估混凝土配比的合宜性^[31]，表 4.4 為 ASTM C1202 電滲規範值。

表 4.4 ASTM C1202 電量規定值

電流量(庫侖)	氯離子滲透性
> 4000	高
2000~4000	中
1000~2000	低
100~1000	非常低
<100	可忽略

4.2.4 化學性侵蝕^[34]

4.2.4.1 硫酸鹽侵蝕

化學性侵蝕中，要屬硫酸鹽侵蝕最常見且最廣泛，硫酸鹽常存於地下水中，尤其是土壤中含有大量之粘土時，此外，硫酸鹽亦為海水的主要成份。鄰近工業廢物如礦渣、爐渣堆及碎石堆等的地下水中，也可能含有局部性高濃度的硫酸鹽；由於空氣污染存於雨水中或是生物生長過程中所製造的硫酸鹽，對於地表面以上之混凝土，也可能產生緩慢之惡化作用。硫酸鹽侵蝕與波特蘭水泥中鋁酸三鈣之含量的關係及其敏感，其化學反應將伴隨著固體體積的大量增加，使的水泥漿體體積膨脹，形成內應力，導致混凝土體龜裂。

海水對混凝土之作用，由於氫氧化鎂的保護作用，使的海水的侵蝕性不若其所預期來的大；另一個原因為石膏及 Ettringite 在含有氯離子的溶液中較易溶解，而海水中正含有大量之氯離子，因此可減少產生惡化之膨脹，故混凝土在海水中，雖然其強度會因溶解作用而逐漸減少，但仍能維持其完整。而在海水中，混凝土惡化最劇烈的場所，是在潮水與混凝土交會區上，因為那兒可能由於波浪力，產生額外的破壞作用；若一個地域經常的潮濕或是乾燥，將加劇硫酸鹽侵蝕之效果。當海鹽在混凝土中由於蒸發形成之結晶時，也可能產生膨脹力，加速混凝土之惡化。

4.2.4.2 酸及鹼之侵蝕

水化後之水泥漿為一種鹼性物質，在正常之情況下不致遭遇由鹼性物質所產生的侵蝕現象，混凝土在處理過程中，如果曾與高濃度的鹼性物質接觸過，將導致混凝土之惡化，但此惡化並非由於混凝土直接與氫氧根離子反應而產生，其情況與酸性溶液間之作用情形完全不同；酸性溶液很容易侵蝕如混凝土般的鹼性物質。

通常，酸性的地下水並不常見，較強之酸性水則存於農業或工業之廢水中，特別是食品加工業及動物處理業。酸性水中所存在的氫離

子能加速氫氧化鈣的溶解。如果氫離子的濃度很高時，C-S-H 也將受到侵蝕，形成矽化物膠體。水中與氫離子同時存在的陰離子的性質，也可能加劇其侵蝕作用，硫酸及碳酸為酸性地下水中最常見之成份，而硫酸鹽離子，顯然會產生硫酸鹽侵蝕，因此硫酸對混凝土特別具有侵蝕性；碳酸由於可與混凝土形成可溶性之碳酸鈣，故其侵蝕性也是非常強烈的。

4.3 研究方法與步驟

4.3.1 研究規劃

本研究乃探討新材料 微晶粉末(microsil)摻拌於混凝土製作之相關性質。以 ACI 混凝土配比設計法，設計三種水灰比 (0.45、0.55、0.70)，添加不等比例之摻料(取代水泥量)，進行漿體拌製之基本性質試驗，拌製之混凝土試體，在養護一定齡期後，進行硬固後之各項試驗，試驗流程如圖 4.2，相關試驗內容與敘述如表 4.5 所示。

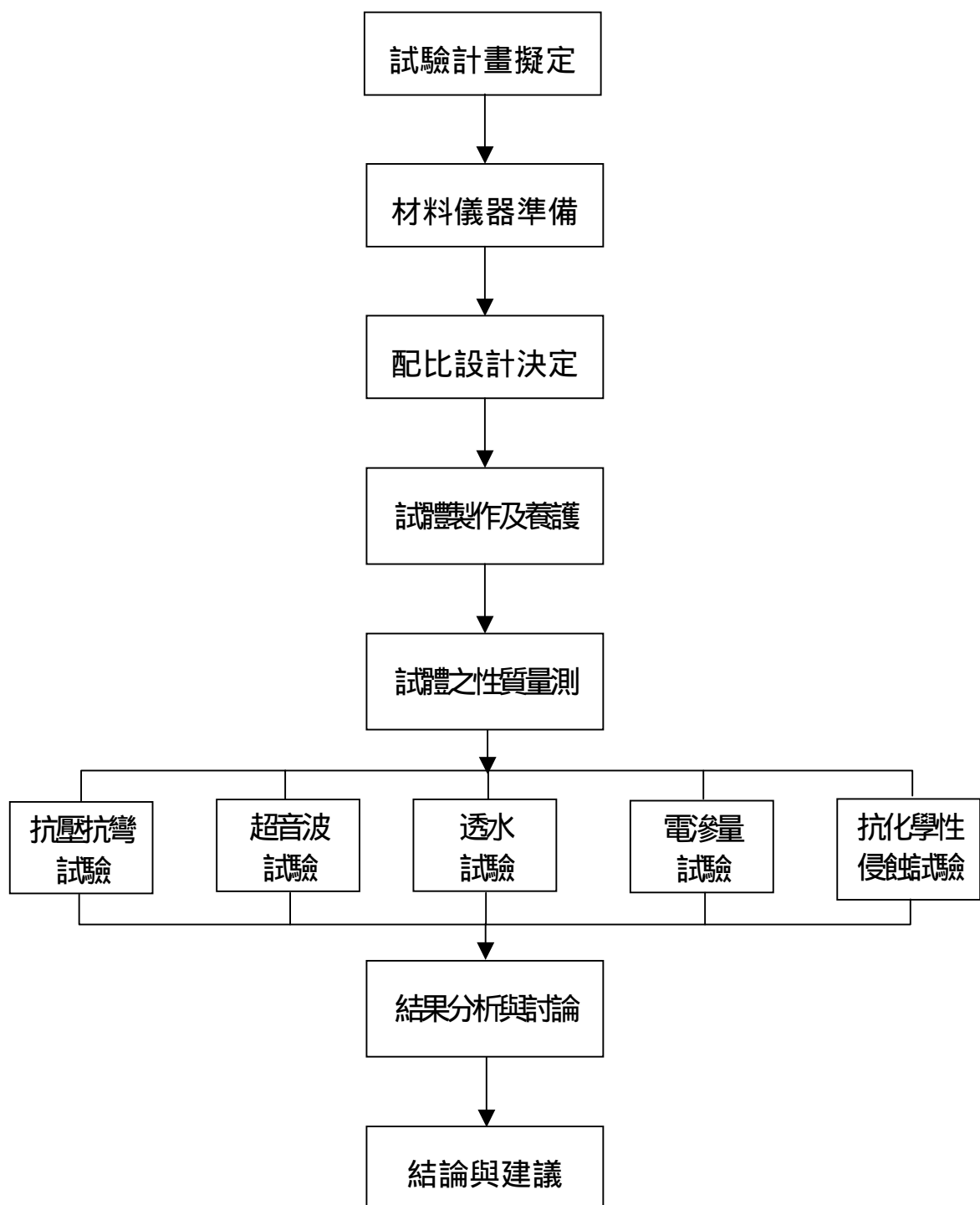


圖 4.2 試驗流程

表 4.5 混凝土之相關試驗內容

項目 試體種數		養護條件	試驗項目	試驗齡期(天)
圓 柱 試 體	15×30 cm	試體拆模後，置入養生室進行養護到所需之齡期	抗壓強度、超音波	7、14、28 56、90
	10×20 cm	試體拆模後，置入養生室進行養護到所需之齡期	氯離子電滲	56
	10×20 cm	試體拆模後，置入養生室進行養護到所需之齡期	透水(特製試體)	28、56
	10×20 cm	試體拆模後，置入養生室養護 28 天	浸泡試驗 (HCl、 H ₂ SO ₄ 、 Sea)	90
抗 彎 試 體	10×10×36 cm	試體拆模後，置入養生室進行養護到所需之齡期	抗彎強度	28、56、90

4.3.2 試驗材料

1. 水泥：採用 Type Ⅰ 特蘭水泥。
2. 水：自來水。
3. 摻料：

(1) 微晶粉末（顆粒）：為一種混拌美國 AKZO Nobel 出品之混凝土添加物，比重約為 0.3 ± 0.1 ，顆粒粒徑甚為微細(小於 0.0075 mm 甚多)，顆粒內部微觀呈蜂巢結構，細度約為 $15000 \text{ m}^2/\text{g}$ 左右，具有特殊之吸附效應。化學成份主要為 Al_2SiO_5 （約為 60~70%）及少量之 MgO 、 CaO 、 K_2O 等無機物材料。

(2) 強塑劑：使用高性能減水劑，為 ASTM 規範之 Type F 或 Type G 型。

4. 粒料：粗細粒料取自混凝土拌合廠，粒料之級配及物理性質如表 4.6、表 4.7、表 4.8 所示。

表 4.6 粗粒料之級配

篩號	累積通過率 (%)	ASTM C33 規範
1"	100	100
3/4"	98.35	90~100
1/2"	70.66	-
3/8"	29.44	20~55
NO.4	0.44	0~10
NO.8	0	0~5

表 4.7 細粒料之級配

篩號	累積通過率 (%)	ASTM C33 規範
NO.4	96.0	95~100
NO.8	88.0	80~100
NO.16	66.0	50~85
NO.30	34.0	25~60
NO.50	24.0	10~30
NO.100	9.0	2~10

表 4.8 粒料之相關物理性質

物理性質	粗粒料	細粒料
乾比重	2.65	2.63
吸水率 (%)	0.8	1.0
總含水率 (%)	2.0	2.0
細度模數	-	2.82
乾單位重 (kg/m ³)	1605	-
最大粒徑 (cm)	1.25	-

4.3.3 試體配比

以三種水灰比(0.45、0.55、0.70)，利用 ACI 混凝土配比設計法，求得漿體拌製所需之用料量，詳細之各種材料用量如表 4.9~4.11 所示。

表 4.9 配比 A(W/C=0.45)之設計數據

項目 配比	編號	水泥 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	摻料(kg/m ³) (取代水泥 %)	強塑劑 (kg/m ³)	備註
配 比 A	A-0	482	217	856	742	0	0	-
	A-5	458	217	856	742	24 (5%)	0.138	粉
	A-12	403	217	856	742	55 (12%)	0.121	粉
	Al-3	467	217	856	742	15 (3%)	0.140	液
備 註	粉：粉末摻料 液：液態摻料 強塑劑：劑量為使用水泥量之 0.03%							

表 4.10 配比 B(W/C=0.55)之設計數據

項目 配比	編號	水泥 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	摻料(kg/m ³) (取代水泥 %)	強塑劑 (kg/m ³)	備註
配 比 B	B-0	395	217	856	815	0	0	-
	B-5	375	217	856	815	20 (5%)	0.113	粉
	B-12	348	217	856	815	47 (12%)	0.104	粉
	Bl-3	383	217	856	815	12 (3%)	0.115	液
備 註	粉：粉末摻料 液：液態摻料 強塑劑：劑量為使用水泥量之 0.03%							

表 4.11 配比 C(W/C=0.7)之設計數據

項目 配比	編號	水泥 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	摻料(kg/m ³) (取代水泥 %)	強塑劑 (kg/m ³)	備註
配 比 C	C-0	310	217	856	886	0	0	-
	C-5	294	217	856	886	16 (5%)	0.088	粉
	C-12	273	217	856	886	37 (12%)	0.082	粉
	Cl-3	301	217	856	886	9 (3%)	0.090	液
備 註	粉：粉末摻料 液：液態摻料 強塑劑：劑量為使用水泥量之 0.03%							

4.3.4 試驗參數及試體編號

4.3.4.1 試驗參數

表 4.12 為拌製混凝土漿體之相關試驗參數。

表 4.12 試驗參數

混凝土配比	A 型、B 型、C 型
摻料(Microsil)	5 % 與 12 % (粉末)
取代水泥%	3 % (液體)
浸泡環境	海水、5 % HCl 溶液、2.1 % H ₂ SO ₄ 溶液

4.3.4.2 試體編號

試驗共有三個控制組之配比，配比 A 為水灰比 0.45，配比 B 為水灰比 0.55，配比 C 為水灰比 0.70，試體編號分別以 A-0、B-0 及 C-0 表示之。試驗組試體編號為 A-x、B-x 及 C-x 表示之，如添加之摻料為液態(體)者，添加摻料之試體編號為 Al-x、Bl-x、Cl-x，x 代表摻料取代水泥量(%)。試體編號說明如下：

1. A-5

A：配比 A

5：摻料(粉末狀)，取代水泥量 5 %

2. C1-3

C：配比 C

1：摻料為液(體)

3：取代水泥量 3 %

4.3.5 試體製作

混凝土材料包括水泥、砂石、水、強塑劑及 microcil 摻料等，依設計配比以拌合機拌合後，以 $\phi 15\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 、 $\phi 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 圓柱試體及 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 36\text{ cm}$ 之矩型試體模分三層澆注，每層以 $3/8''$ 圓棒搗實 25 下並以木槌敲擊試體模四周。於澆置 24 小時後拆模，隨即將試體置入養生室進行養護，其澆置情形入照片 4.1~4.4 所示。

4.3.6 試驗方法與設備

4.3.6.1 工作性試驗

混凝土之工作性影響施工之難易與品質控制，通常以坍度及流坍度來評估其工作度。坍度試驗是公認的簡易試驗方法，CNS 1176 有明確的規定。量測的器具主要為一圓錐體之坍度模，頂端直徑 10 cm、底端直徑 20 cm、高度 30 cm，加上一支直徑 16 mm，長度 60 cm 之半圓球頂之鋼棒。其試驗方法為將混凝土漿體分三層填入坍度模內，一層以搗棒均勻搗實 25 次後，立即將坍度模向上垂直拔起，量測錐頂面至坍下混凝土之垂直高度，即為坍度值。用坍度來表示混凝土之工作性，不足以表現流動的特有性質，因而有「坍流度試驗」，其方法係在坍度試驗之後，量測新拌混凝土擴散之直徑。



照片 4.1 混凝土拌合機拌合情形



照片 4.2 混凝土之試體模



照片 4.3 試體灌製情形



照片 4.4 混凝土養生室養護

4.3.6.2 硬固混凝土性能試驗

1. 抗壓強度試驗

本試驗採用 ELE2000KN 之抗壓試驗機（如照片 4.5 所示），實驗方法依據中國國家標準 CNS 1232。

2. 抗彎強度試驗

本試驗依 CNS 1234 之規定進行，試體尺寸為 10cm×10cm×36cm，以中心點載重法求其抗彎強度，試驗採用 100 噸萬能材料試驗機(如照片 4.6)，量測簡示圖如圖 4.3 所示。量測之應力公式式如下：

$$= \frac{3PL}{2bh^2}$$

式中； ：抗彎強度， P：外力， L：支稱點間距

 b：試體寬度， h：試體厚度

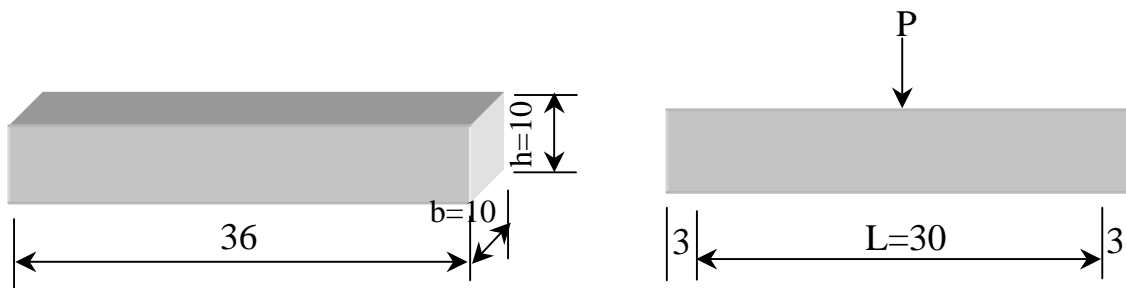


圖 4.3 抗彎強度示意圖

3. 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)超音波測定儀（如照片 4.7

所示)，量測超音波速在硬固混凝土材質內之傳遞，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 4.13 所示，可作初步研判^[35]。

表 4.13 超音波脈波速度與混凝土品質之關係^[35]

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

4. 透水試驗

本試驗採用日製之內壓式透水試驗儀，如照片 4.8 所示，可供四組直徑 10×20 cm 試體，同時進行試驗。儀器之壓力來源來自高壓氮氣，氮氣瓶配備高壓(300 kg/cm^2)及低壓(70 kg/cm^2)錶各一個，具有調壓之功能，在四聯式透水試驗容器及給水容器上方皆按裝壓力錶 50 kg/cm^2 各一個。試驗時間為 7 日，每日定時記錄量筒之水位變化及時間，將記錄之數據代入達西公式(Darcy Formula)，便可量出試體之透水係數；

$$k = \frac{\log_e \frac{r_0}{r_i}}{2 h} \cdot \frac{Q}{P_0} \quad (\text{達西公式})$$

式中；

k：透水係數 (cm/sec) : 水單位重 (kg/cm³)

r₀：試體半徑 (cm) r_i：試體中心孔半徑 (cm)

Q：流量 (cm³/sec) P₀：壓力 (kgf/cm²)

5. 電滲量試驗

參考 ASTM C1202 作氯離子滲透性量測，利用外加直流電壓(60V)，使電解液(NaCl, NaOH)解離產生，帶電的陰離子，並加速其對混凝土的滲透，量取隨時間變化其通過混凝土電流的大小，再計算其電量(庫倫=安培×秒)作為氯離子滲透性的指標。實驗儀器如照片 4.9 及照片 4.10。

6. 抗化學性侵蝕試驗

為了瞭解添加微晶材料之混凝土，暴露在不同的環境下，對抗化學性物質侵蝕之能力為何？特將各類配比之試體於養生 28 天後，分別置入海水、5 % HCl、2.1 % H₂SO₄ 的溶液中，進行浸泡試驗（如照片 4.11 所示）。試體於浸泡 90 天後，取出進行表面之形狀觀察，以評估其抵抗化學性之能力。



照片 4.5 ELE 2000KN 抗壓機



照片 4.6 100 噸萬能材料試驗機



照片 4.7 超音波測定儀



照片 4.8 透水試驗儀



照片 4.9 電滲量試驗儀器（一）-試體前處理



照片 4.10 電滲量試驗儀器（二）-量測電流量



照片 4.11 抗化學性侵蝕試驗

4.4 試驗結果與討論

4.4.1 漿體之工作性

工作性表示新拌混凝土施工難易及抵抗材料分離之程度。良好之工作度可易於漿體之澆置與搗實，進而提升混凝土之品質，但過大之工作度需較多之用水量，將增大水灰比而降低混凝土強度。故混凝土之工作度以在適宜施工範圍內，採用最小坍度為原則，則其混凝土之品質越好^[17]。工作性之量測最常使用的方法是坍度試驗，本試驗之三種配比其坍度設計均為 10 公分，漿體之坍度試驗過程如照片 4.12~照片 4.23 所示，坍度試驗結果列於表 4.14。

表 4.14 顯示坍度試驗結果，除了控制組配比(無添加摻料者，編號 A-0、B-0、C-0)之坍度值，均達到原設計值(10 公分)，添加液態(體)摻料之配比(編號 A1-3、B1-3、C1-3)，以及 C 配比(C-5、C-12，有添加摻料者)，亦達到預期或更佳之坍度值。配比 A(水灰比 0.45)與配比 B(水灰比 0.55)，屬於較低之水灰比，漿體較為黏稠其工作性相對亦較差，添加摻料(粉末型)後並以適量之強塑劑拌合，其漿體之坍度仍未達到設計之坍度值。顯然，強塑劑添加之劑量或拌合之速度(轉速，rpm)，須適當的調整修正。

表 4.14 各配比之坍度試驗結果

配比 坍度	A-0	A-5	A-12	A1-3	B-0	B-5	B-12	B1-3	C-0	C-5	C-12	C1-3
坍度 (cm)	10	5	2	11	9	6	5	14	11	10	9	13



照片 4.12 配比 A-0 之坍度



照片 4.13 配比 A-5 之坍度



照片 4.14 配比 A-12 之坍度



照片 4.15 配比 AI-3 之坍度



照片 4.16 配比 B-0 之坍度



照片 4.17 配比之 B-5 坍度



照片 4.18 配比 B-12 之坍度



照片 4.19 配比 BI-3 之坍度



照片 4.20 配比 C-0 之坍度



照片 4.21 配比 C-5 之坍度



照片 4.22 配比 C-12 之坍度



照片 4.23 配比 CI-3 之坍度

4.4.2 硬固混凝土性質

4.4.2.1 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，由單軸抗壓除了可知道混凝土抗壓能力外，亦可評估其他性質。例如抗壓强度高，相對其彈性模數、抗拉強度、水密性及耐久性亦均較為理想^[36]。

表 4.15 為不同配比之抗壓強度與齡期之試驗結果，其強度發展之趨勢如圖 4.4 圖 4.6。由表 4.15 分析得之，控制組(A-0、B-0、C-0，未加摻料者)之抗壓強度，隨著水灰比之降低而增高(A-0 > B-0 > C-0)，顯示水灰比為控制強度之重要因素，且於 28 天養護後抗壓強度

已趨於穩定。而有添加摻料之配比，抗壓強度在 28 天後仍有繼續發展之現象，顯然，添加摻料有提高晚期強度之趨勢。配比 A 與配比 C 中，以 5 % 摻料量取代水泥用量，可得較大之抗壓強度值，配比 B 則以 12 % 摻料之試體，其抗壓強度為最大。

表 4.15 抗壓強度試驗結果 (kg/cm²)

齡期 配比		7 天	14 天	28 天	56 天	90 天
A	A-0	238	299	495	501	509
	A-5	285	400	569	572	580
	A-12	271	323	459	474	493
	A1-3	305	408	528	531	553
B	B-0	213	228	438	480	482
	B-5	247	253	485	503	520
	B-12	258	275	530	537	567
	B1-3	215	224	420	450	452
C	C-0	155	266	310	311	315
	C-5	186	318	344	359	379
	C-12	183	311	358	361	372
	C1-3	145	253	287	301	307

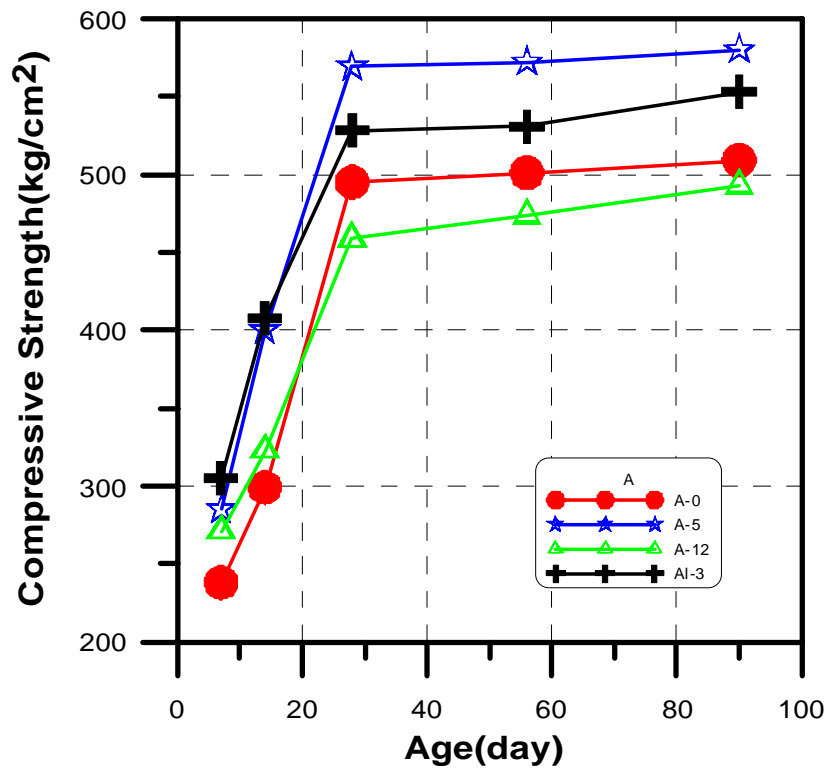


圖 4.4 配比 A 之抗壓強度發展

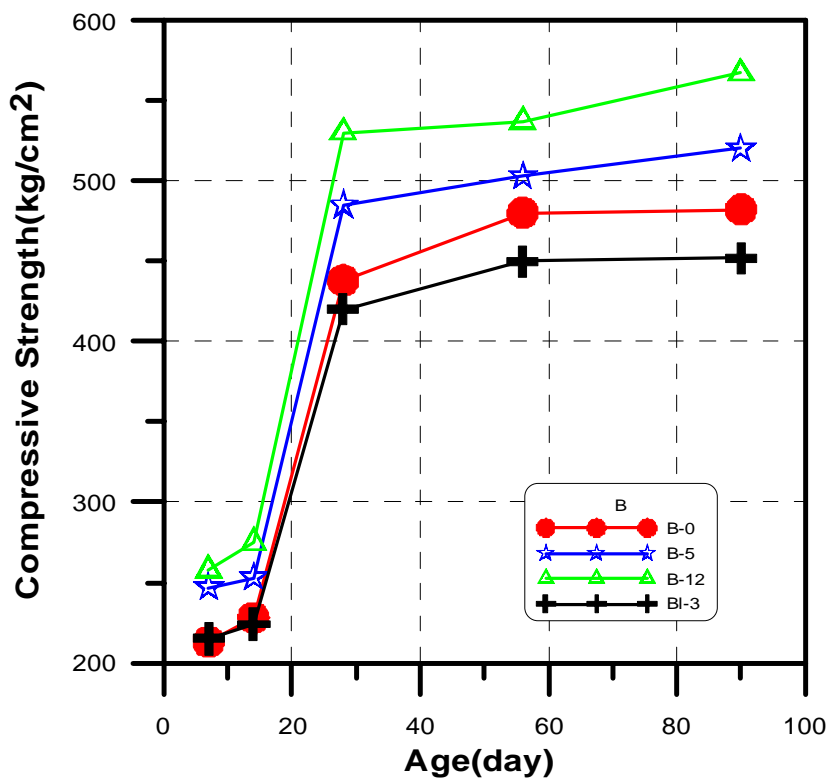


圖 4.5 配比 B 之抗壓強度發展

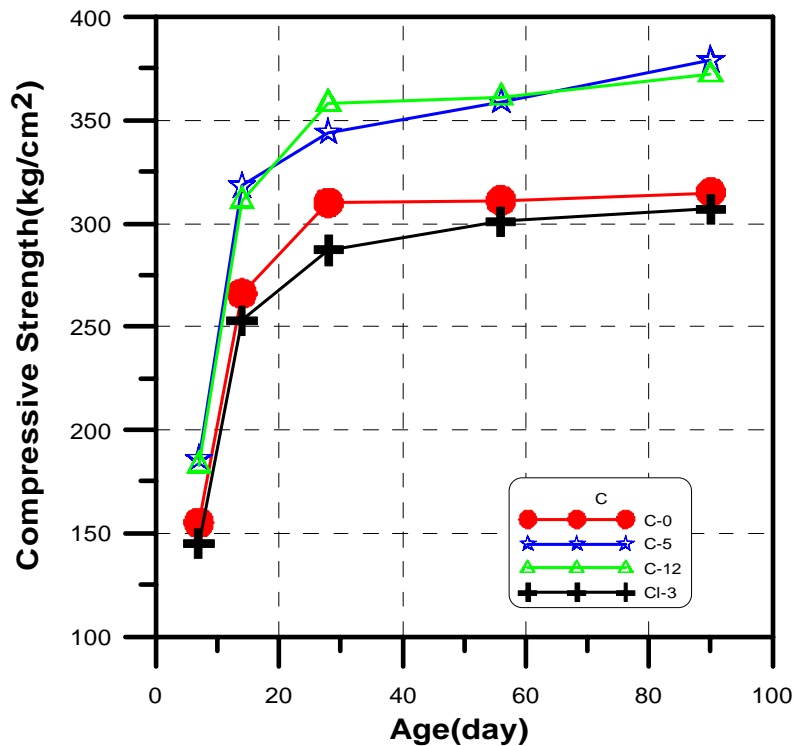


圖 4.6 配比 C 之抗壓強度發展

4.4.2.2 超音波脈波速度

超音波脈波速度測定，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？當介質較緻密則脈波速度較快，若介質內部有孔隙或裂縫存在時，則其脈波速度顯著變慢。

圖 4.7~圖 4.9 分別為配比 A、配比 B 與配比 C 試體之超音波脈波速度與養護齡期之統計關係圖，詳細之試驗數據列於表 4.16。表 4.16 中，各種配比之間之摻料取代量及養護齡期雖有不同，但是所測得之脈波速度差異不大，脈波速度均為 4.0 km/sec 以上，如依據表 4.13 之關係判定，各配比之混凝土品質，均屬於優良等級。

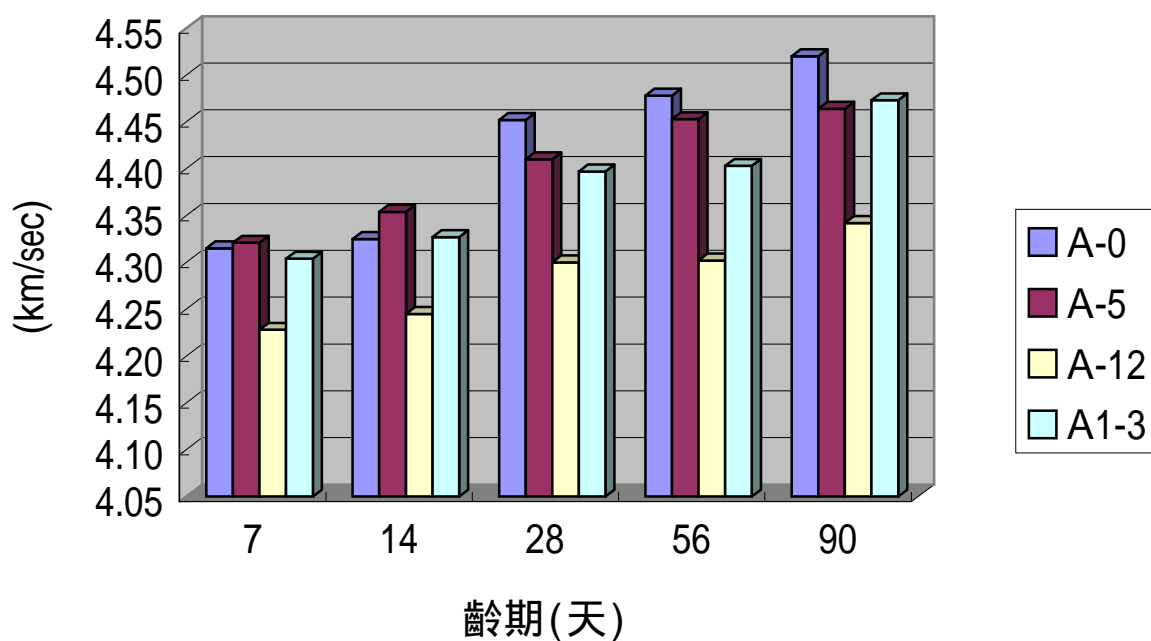


圖 4.7 配比 A 之超音波脈波速度與齡期關係圖

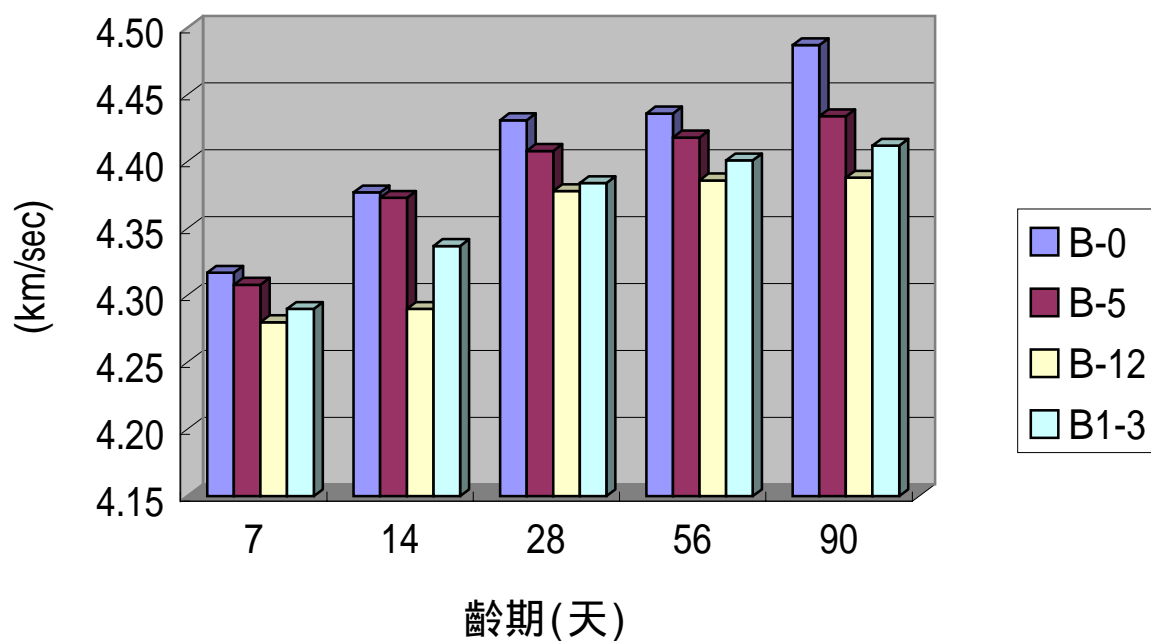


圖 4.8 配比 B 之超音波脈波速度與齡期關係圖

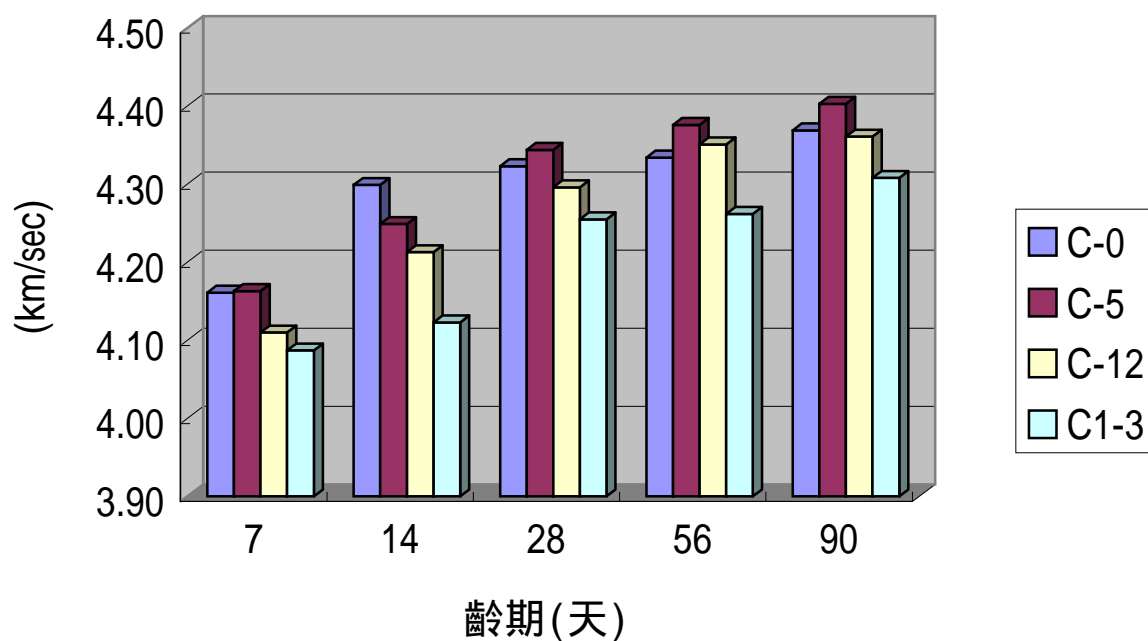


圖 4.9 配比 C 之超音波脈波速度與齡期關係圖

表 4.16 超音波脈波速度試驗結果 (km/sec)

齡 期 配 比		7 天	14 天	28 天	56 天	90 天
A	A-0	4.315	4.325	4.452	4.478	4.520
	A-5	4.321	4.354	4.410	4.453	4.464
	A-12	4.228	4.245	4.300	4.302	4.342
	A1-3	4.304	4.327	4.397	4.403	4.473
B	B-0	4.317	4.377	4.431	4.436	4.487
	B-5	4.308	4.373	4.408	4.418	4.434
	B-12	4.280	4.290	4.378	4.386	4.388
	B1-3	4.290	4.337	4.384	4.401	4.412
C	C-0	4.161	4.299	4.323	4.334	4.369
	C-5	4.163	4.249	4.344	4.376	4.403
	C-12	4.110	4.213	4.296	4.351	4.361
	C1-3	4.087	4.123	4.255	4.262	4.308

4.4.2.3 抗彎強度

抗彎強度亦稱為撓曲強度，為混凝土之抗拉強度表示方法之一。表 4.17 為各配比試體之抗彎強度與齡期之試驗結果，其發展趨勢如圖 4.10~圖 4.12。上述圖表中顯示，試體之抗彎強度隨著養護齡期之增加而增大。每一配比試體之抗彎強度與摻料(粉末)添加量之多寡，並無明顯的差異。各配比試體所測得之抗彎強度，約為其試體抗壓強度之十分之一或少，兩者間呈一定之關連性。

表 4.17 各配比試體之抗彎強度結果 (kg/cm²)

齡期 配比		28 天	56 天	90 天
A	A-0	43	67	73
	A-5	46	61	67
	A-12	39	45	61
	A1-3	40	48	52
B	B-0	49	51	52
	B-5	48	50	52
	B-12	43	45	49
	B1-3	50	59	63
C	C-0	52	58	62
	C-5	54	60	65
	C-12	56	62	64
	C1-3	52	54	56

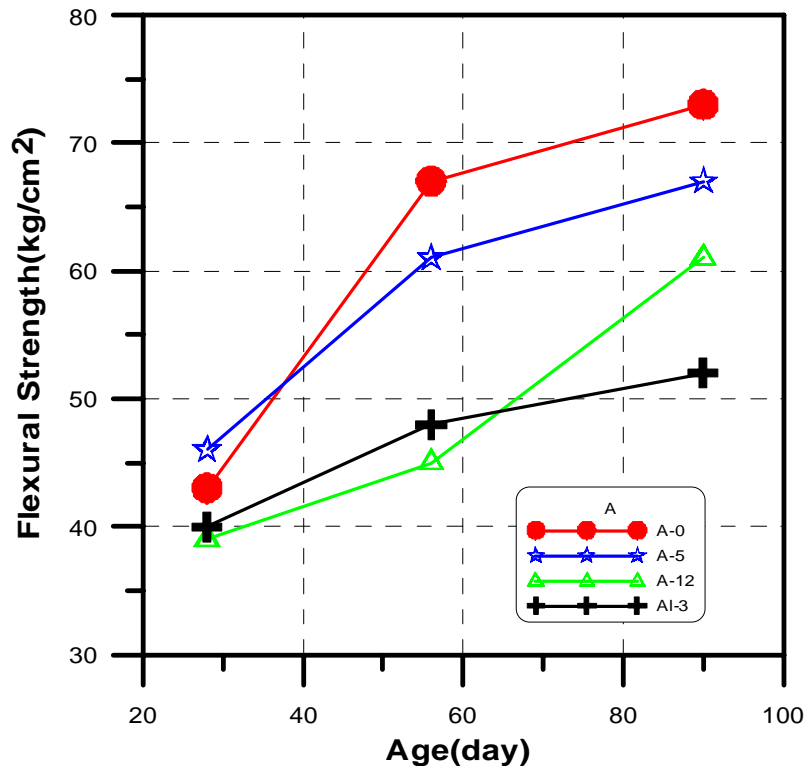


圖 4.10 配比 A 之抗彎強度發展與齡期之關係

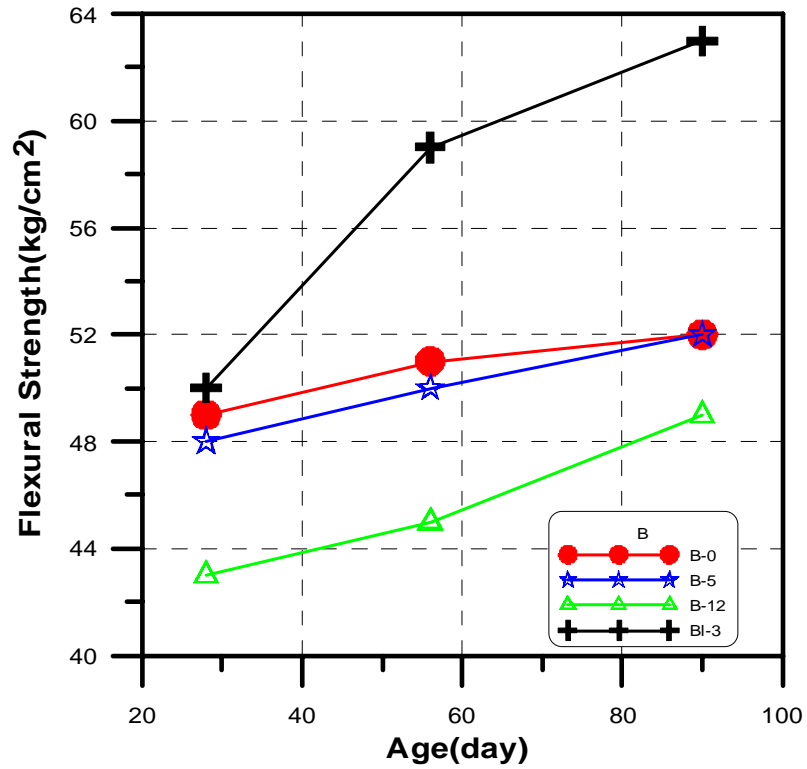


圖 4.11 配比 B 之抗彎強度發展與齡期之關係

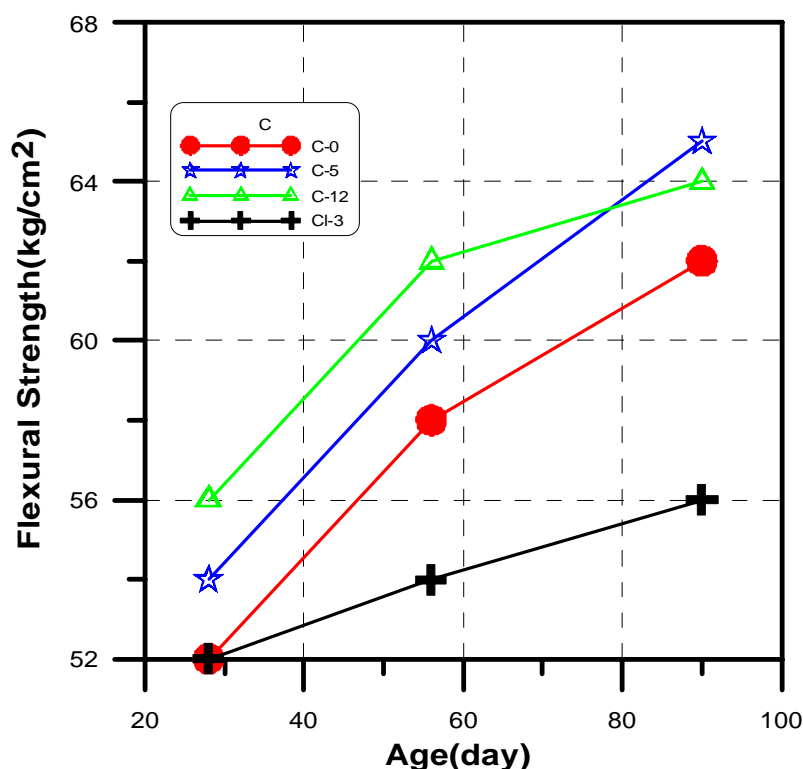


圖 4.12 配比 C 之抗彎強度發展與齡期之關係

4.4.2.4 電滲(流)量試驗

電滲量試驗可視為另一快速氯離子滲透難易之指標，亦可做為混凝土品質良窳之參考，為評估耐久性之重要指標之一。本試驗以 ASTM C1202 規範，對各配比試體進行電流量(庫倫量)之量測，其結果如表 4.8 所示。

表 4.18 中，控制組（無添加微晶粉末）之試體，其通過之電滲量大小順序為 A-0 < B-0 < C-0，以低水灰比試體所得之電滲量最小，顯示，低水灰比試體之緻密性較佳，漿體孔徑微細，孔隙溶液中之離子不易流通，致使能通過之電荷量相對較少。至於添加摻料（不論是粉末或液態）之試體，其電荷量變化並無明顯趨勢可循，亦即電滲量之變化沒有受到試體之配比、摻料等試驗參數之影響。上述現象，推究其原因可能乃摻料（微晶粉末）之顆粒甚為微細，顆粒內部呈蜂巢結構，有大量吸附水分之效應，因此漿體孔隙溶液充滿水分，形成電荷

甚易流通，致無法正確判別離子滲透之狀況。

表 4.18 電滲量試驗結果

項 目 配 比		電滲量（庫侖）	Cl 滲透能力之等級
A	A-0	1114	低
	A-5	2593	中
	A-12	1396	低
	A1-3	3408	中
B	B-0	3071	中
	B-5	2888	中
	B-12	1616	低
	B1-3	4402	高
C	C-0	3753	中
	C-5	1840	低
	C-12	796	非常低
	C1-3	2127	中

4.4.2.5 透水試驗

表 4.19 為各配比試體之透水係數試驗結果。表中，養護 56 天之試體，其透水係數均較養護 28 天者為低，且隨摻料量之增加亦呈降低趨勢。各配比間其透水係數之順序為配比 A < 配比 B < 配比 C，亦即低水灰比者其漿體緻密性較佳。

表 4.19 透水係數試驗結果 ($1 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$)

齡 期 配 比		28 天	56 天
A	A-0	9.13	8.24
	A-5	10.89	9.36
	A-12	7.87	6.89
	A1-3	12.51	10.77
B	B-0	17.38	17.01
	B-5	15.23	13.73
	B-12	10.28	9.17
	B1-3	19.25	18.23
C	C-0	18.96	17.28
	C-5	17.16	15.23
	C-12	9.03	8.10
	C1-3	13.54	13.52

4.4.2.6 抗化學性侵蝕(浸泡試驗)

各配比試體浸泡於硫酸(H_2SO_4)、鹽酸(HCl)及海水溶液 90 天後，其抵抗化學物質侵蝕之能力，由試體表面層之外觀變化，如照片 4.24 至照片 4.31 所示，可初步了解其抵抗化學性侵襲之狀況。

上述照片(照片 4.24~4.26)，為各型配比之試體受硫酸溶液之侵蝕之程度，配比 A 最為嚴重。例如試體於浸泡數天後，各類型混凝土試

體之表面，均已出現被酸液溶解之現象，表層開始溶解、剝離。桶內硫酸溶液原為無色，試體一浸泡後，浸泡溶液開始變為白色，浸泡愈久最後溶液變為乳白混濁色，如照片 4.30 所示，此現象應是混凝土之水化產物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 被溶解析出，再與空氣中之 CO_2 接觸，產生白色 CaCO_3 之沉澱物。隨浸泡時間愈久，表層被侵蝕愈深(愈嚴重)，試體重量極速減少，90 天後試體之外觀如照 4.31。照片 4.27~照片 4.29 為浸泡於鹽酸及海水溶液之試驗結果，抵抗侵蝕之效果良好。

4.5 結論與建議

4.5.1 結論

1. 添加微晶材料(摻料)拌製混凝土時，以添加液態摻料及高水灰比(配比 C)之試體，其漿體坍度可達到設計坍度要求。
2. 添加粉末狀摻料或低水灰比(配比 A 與配比 B)試體，其漿體甚為黏稠，坍度均低於設計要求，影響漿體之工作性甚大，須再調整強塑劑之使用劑量。
3. 添加摻料之硬固混凝土其抗壓強度比未添加摻料者高，且後期強度有持續發展之趨勢。
4. 超音波脈波速度為 4.0 km/sec 以上，混凝土品質屬於良好狀況。
5. 各類配比試體均無抵抗硫酸之化學性侵蝕能力，但對抵抗鹽酸及海水之侵蝕時，以添加摻料之試體其表現最佳。
6. 添加摻料與低水灰比之試體，其透水係數較低(佳)。

4.5.2 建議

1. 摻料(微晶材料)之顆粒粒徑甚為微小(小於 $75\mu\text{m}$ 甚多)，細度約為 $15000 \text{ m}^2/\text{g}$ 左右，不易均勻拌合於漿體中，拌合機之轉速應提高至 45~60 rpm。
2. 添加摻料之試體欲使漿體達到良好之工作性，應適當調整強塑劑之劑量。



浸泡前 浸泡後
照片 4.24 配比 A 浸泡 H_2SO_4 前後之情形



浸泡前

浸泡後

照片 4.25 配比 B 浸泡 H_2SO_4 前後之情形



浸泡前
 浸泡後
 照片 4.26 配比 C 浸泡 H_2SO_4 前後之情形



配比 A

配比 B

照片 4.27 配比 A 及 B 浸泡 HCl 後之情形



配比 C

配比 A

照片 4.28 配比 C 浸泡 HCl 及配比 A 浸泡海水後之情形



配比 B
 照片 4.29 配比 B 及 C 浸泡海水後之情形
 配比 C



照片 4.30 試體浸泡 H_2SO_4 後之乳白色溶液



照片 4.31 試體浸泡 H_2SO_4 後未處理之情形

第五章 結論與建議

台灣對外經貿運輸主要以海運為主，港灣工程之建造、維護與安全極為重要，對民生影響甚巨。基於耐久性、經濟效應及使用安全考量，在鋼構物(碼頭鋼板樁)必需定期進行腐蝕狀況檢測與結構安全之評估，對新建之鋼構造物需做適當之防蝕處理，提高耐久性並確保碼頭之正常營運。對於混凝土構造物，應開發新材料或新工法以應用於港灣設施之建造，諸如大量使用高性能(自充填)混凝土或於普通混凝土中添加波索蘭材料或採用 II 型水泥等材料建造，以提升結構物之耐久性。

第六章 參考文獻

- [1] 林維明、饒 正，「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] 陳桂清、饒 正、柯正龍等，「港灣鋼構造物耐久性研究第三年報告」，港灣技術研究所，81 研(十二)，1992。
- [3] 饒 正、陳桂清、柯正龍，「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。
- [4] Samuel A. Bradford, “ Corrosion Control ”, Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. , 1993.
- [5] Edwards,Willard,E.,“ Marine Corrosion :Its Cause and Cure”,Proceedings of the Eighth Annual Appalachian Underground Short Course,Technical Bulletin No.69,West Virginia University Bulletin, 1963.
- [6] K.O.Gray,“Enviroment of Deep Ocean Test Site ,U.S.Navel Civil Engineering Laboratory,Technical Note ,N-657”,p41,1965.
- [7] W. Whitman,R.Russll, V. Altieri,“Industrial Engineering Chemistry”,Vol.16,P665,1924.
- [8] Fink F.W.,“ Corrosion of Metals in Seawater ”,U.S. Department of the Interior,Office of Saline Water,Research and Development Progress Report,No.46,1960.
- [9] Uhlig H.H.,“The Corrosion Handbook” ,p387-388. (La Que),John Wiley and Sons,Inc.,New York,1948.
- [10] “Operation Manual“,Cyguns Instruments Ltd.,U.K,1989.
- [11] 「港灣構造物腐蝕評價手法」,日本運輸省港灣技術研究所，港灣技術資料 No.501,p11 , 1984。

- [12] 交通部運輸研究所，「港灣構造物設計基準研究-碼頭設計基準研訂及說明草案」，p3-14，1997。
- [13] 石黑健、白石基雄、海輪博之，「鋼矢板工法」，p571，山海堂，日本，1982。
- [14] “Swain Meter”，William H. Swain Co, 1989.
- [15] 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。
- [16] 中華民國結構工程學會，「高性能混凝土施工規範（草案）」，1994。
- [17] 陳振川，「國科會高性能混凝土群體研發現況」，高性能混凝土研發與推廣研討會論文集，pp.1-21，台北市，1997。
- [18] Okamura, H, " Self-compacting High Performance Concrete " , ACI Concrete International,pp.50-54 , July , 1997。
- [19] 詹穎雯，「SCC 均勻性與鋼筋握裹性質之研究」，自充填混凝土工程性質及其應用研討會，台灣營建研究院，pp.22-24,2000.
- [20] A.Bentur,S.Diamond and N.S.Berke,"Steel Corrosion in Concrete", E&FN SPON ,London, 1st.ed., 1997.
- [21] N.B.Berke ,et al.,"Corrosion of steel in Cracked Concrete",Corrosion Engineering , Vol.49, No.11,PP.934~943,Nov.,1993.
- [22] M.N.Haque and O.A.Kayyali ,"Free and Water Soluble Chloride in Concrete", Cement and Concrete Research,Vol.25,No.25,PP.531-542, 1995.
- [23] Mehta,p.k.,"Concrete-Structure,Properties and Materials",PP.151~154, Prentice-Hall, Inc.N.J.,1986.
- [24] Mindess,S.and J.F.,Young ,"Concrete,Prentice Hall", Englewood Cliffs, N.J., 1981.

- [25] 陳建成、黃兆龍，「海洋混凝土構造物耐久性之考量」，海洋工程品質與施工技術研討會論文集，港灣技術研究所，民國 84 年 4 月。
- [26] Anik Delagrave, Michel Pigeon , Jacques Marchand and Eliane Revertgat,"Influence of Chloride Ions and pH Level on the Durability of High Performance Cement Pastes (Part)", Cement and Concrete Research , Vol.26,No.5 , PP.749-760, 1996.
- [27] J.P.Broomfield,"Corrosion of Steel in Concrete" , E&FN SPON,London ,1st.ed.,1997.
- [28] Taylor Woodrow Research Laboratories ,,"Concrete in the Oceans-Marine Durability Survey of Tonqul Sands Tower", Tech. Report No.5 CIRIA/LEG Cement and Concrete Association , Department of Energy London, 1980.
- [29] The Concrete Society ,,"Permeability of Concrete and Its Control" , Technical Report, PP.56.,1985.
- [30] 黃兆龍、湛淵源，「高性能混凝土的電阻與電滲設計及分析」，高性能鋼筋混凝土防蝕策略研討會論文輯，P21~31，民國 88 年 4 月。
- [31] 林維明、陳桂清、饒正、吳信昇、柯正龍、黃永光，「高爐水泥對港灣混凝土結構物耐久性及其抑制鋼筋腐蝕效應研討計畫」，P21-22，民國 80 年 3 月。
- [32] Buenfeld,N.R.,J.B.Newman and C.L.Page,"The Resistivity of Mortar Immersed in Sea-Water", Cement and Concrete Research, Vol.16,PP.511-524,1986.
- [33] 黃和源、黃兆龍，「高性能混凝土的耐久性設計策略高性能鋼筋混凝土防蝕策略研討會論文輯」，P7-9。民國 88 年 4 月。
- [34] 常正之，「混凝土施工」，P61-68。

- [35] ASTM C876-91 , ”Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”。
- [36] 黃兆龍 , 「高性能混凝土之優生設計法」 , 高性能混凝土研發及推廣研討會論文輯 p91~121,台北,1997。

港灣構造物檢測與耐久性試驗研究

交通部運輸研究所

GPN：1009202101

定價 100 元