

99-80-7489

MOTC-IOT-98-H1DA003-2

港灣地區碼頭腐蝕資料及設施 結構資料更新建置(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

99-80-7489

MOTC-IOT-98-H1DA003-2

港灣地區碼頭腐蝕資料及設施 結構資料更新建置(1/2)

著 者：張道光、謝明志、柯正龍、單誠基

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣地區碼頭腐蝕資料及設施結構資料更新建置

. (1/2) / 張道光等著.-- 初版.-- 臺北市：

交通部運研所， 民 99. 05

面； 公分

參考書目：面

ISBN 978-986-02-3714-6 (平裝)

1. 港灣工程 2. 鋼結構 3. 地理資訊系統

443.2029

99009923

臺灣地區碼頭腐蝕資料及設施結構資料更新建置(1/2)

著 者：張道光、謝明志、柯正龍、單誠基

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.lhmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 99 年 5 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009901807

ISBN：978-986-02-3714-6 (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分內容者，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：港灣地區碼頭腐蝕資料及設施結構資料更新建置(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-3714-6（平裝）	政府出版品統一編號 1009901807	運輸研究所出版品編號 99-80-7489	計畫編號 98-H1DA003-2
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 研究人員：謝明志、柯正龍、單誠基 聯絡電話：04-26587119 傳真號碼：04-265713297 & 04-26564418			研究期間 自 98 年 01 月 至 98 年 12 月
關鍵詞：腐蝕調查、地理資訊系統、鋼板樁			
摘要： 本中心曾多次分批對臺灣各大港口碼頭鋼板樁腐蝕及設施結構進行全面性的調查檢測。由於資料眾多，查詢及調閱甚為不便，有鑑於此本計畫就利用現有之資料以MapInfo地理資訊系統著手加以整合架構成一適當之查詢系統。然而查詢系統及資料庫建檔工作為一永久性的計畫，需要不斷的更新與補充，今年將以更新建置馬公港調查之檢測資料為主要之建置基礎，並將系統架構在本中心所開發的「港區工程基本資料查詢展示系統」之下，提供給後續之資料庫建立，給使用者更方便的及最新的使用系統。 本研究之成果與效益包括：1.更新查詢系統，有利提昇港工材料之維護管理效能，延展港灣之服務年限。2.本研究研發建立之港灣地區腐蝕資料及查詢系統可提供港務局及相關單位在港灣工程規劃、設計及施工之參考與應用。3.本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 5 月	80	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： ☐ 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: Renewal and Establishing a Corrosion Database in Harbor Areas (1/2)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-3714-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901807	IOT SERIAL NUMBER 99-80-7489	PROJECT NUMBER 98- H1DA003-2
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Tao-kuang PROJECT STAFF: Hsieh Ming-jyh, Ko Jeng-long, Shan Chen-chi PHONE: 04 -26587119 FAX: 04 -26571329 & 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2009 TO December 2009
KEY WORDS: Corrosion Inspection, GIS, Sheet-piles			
ABSTRACT: We have done several comprehensive investigations and tests regarding steel-pile corrosion and breakwater damage around harbors. After acquiring a lot of documents, they became very un-convenient to inquire and checkout, so as to establish a database and store in GIS. A consulting system and establishing database are a permanent plan, it requires continually renewing and filling in data. This year we renewed Makong Harbor and developed "the Harbor Engineering Fundamental Information Inquiring and Displaying System" on the website of the Center. We hope this GIS database is able to perform in various interfaces and give users a convenient way to use it. Achievements and benefits are as follows: 1. Renewal of the consulting system to upgrade the maintenance effect of the harbor engineering material and extend the harbor service life; 2. The corrosion data and consulting system in the harbor areas can offer harbor authorities and related units references regarding harbor planning, designing and construction; 3. The project conducting experiences and results can supply related studies for the Institute of Transportation to continue.			
DATE OF PUBLICATION May 2010	NUMBER OF PAGES 80	PRICE 100	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	I
英文摘要	II
表目錄	V
圖目錄	VII
第一章 計畫緣起及目的	1-1
1.1 計畫源起	1-1
1.2 研究目的	1-1
1.3 研究範圍	1-2
1.4 研究流程	1-2
第二章 碼頭鋼板樁腐蝕資料收集彙整	2-1
2.1 前言	2-1
2.2.1 鋼材之腐蝕機理	2-1
2.1.2 影響鋼板樁腐蝕之因子	2-2
2.1.3 鋼構造物在海洋環境中的防蝕方法	2-7
2.1.4 陰極防蝕	2-10
2.2 鋼板樁檢測步驟	2-11
2.2.1 目視檢測	2-11
2.2.2 厚度量測	2-11
2.2.3 鋼板樁保護電位量測	2-17
2.2.4 陽極塊調查	2-17

2.3 馬公港碼頭背景資料搜集與分析.....	2-20
2.3.1 馬公港 6 號碼頭鋼板樁現況檢測	2-20
2.3.2 馬公港 7 號碼頭鋼板樁現況檢測	2-28
2.3.3 馬公港 8 號碼頭鋼板樁現況檢測	2-33
2.4 陽極塊調查彙整.....	2-38
2.4.1 陽極塊發生電位	2-40
2.4.2 陽極塊外觀檢視及重量耗損	2-42
2.4.3 陽極塊釋出電流	2-50
第三章 腐蝕資料更新建置及分析模組系統展示.....	3-1
3.1 碼頭鋼板樁腐蝕資料更新建置概況.....	3-1
3.2 系統操作程序.....	3-2
3.3 馬公港鋼板樁檢測資料查詢展示.....	3-4
第四章 結論與建議.....	4-1
4.1 結論.....	4-1
4.2 建議.....	4-1
參考文獻.....	參-1

表目錄

表 2-1 外加電流法與犧牲陽極法之特性比較	2-11
表 2-2 防蝕率與海水浸水率之關係	2-16
表 2-3 海水中鋼構造物之防蝕保護電位標準	2-17
表 2-4 鋼板（管）樁碼頭構造物背景資料	2-20
表 2-5 馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率	2-22
表 2-6 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係	2-24
表 2-7 馬公港 6 號碼頭鋼管樁保護電位值	2-27
表 2-8 馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率	2-28
表 2-9 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係	2-30
表 2-10 馬公港 7 號碼頭鋼管樁保護電位值	2-33
表 2-11 馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率	2-34
表 2-12 馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係	2-35
表 2-13 馬公港 8 號碼頭鋼管樁保護電位值	2-37
表 2-14 馬公港 6 碼頭陽極塊發生電位量測結果	2-40
表 2-15 馬公港 7 碼頭陽極塊發生電位量測結果	2-41
表 2-16 馬公港 8 碼頭陽極塊發生電位量測結果	2-42
表 2-17 馬公港 6 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果	2-45
表 2-18 馬公港 7 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果	2-47
表 2-19 馬公港 8 號碼頭陽極塊尺寸及重量量測結果	2-49
表 2-20 馬公港 6 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果	2-51

表 2-22 馬公港 8 號碼頭陽極塊釋出電流量測結果	2-52
-----------------------------------	------

圖目錄

圖 1.1 研究流程.....	1-2
圖 2.1 檢測水深標示方式.....	2-12
圖 2.2 水面下超音波量測鋼板樁厚度之情形.....	2-13
圖 2.3 超音波測厚儀量測之示意圖.....	2-13
圖 2.4 渦電流檢測設備.....	2-14
圖 2.5 海水中渦電流量測鋼板樁厚度之情形.....	2-15
圖 2.6 陽極塊尺寸量測位置.....	2-18
圖 2.7 陽極塊輸出電流量測.....	2-19
圖 2.8 電流計、感應環構造及量測原理.....	2-19
圖 2.9 馬公港碼頭平面佈置圖.....	2-21
圖 2.10 馬公港碼頭鋼管樁結構斷面.....	2-21
圖 2.11 馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係	2-23
圖 2.12 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	2-25
圖 2.13 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	2-26
圖 2.14 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (3)	2-27
圖 2.15 馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係	2-29
圖 2.16 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)	2-31
圖 2.17 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)	2-32
圖 2.18 馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係	2-34
圖 2.19 馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係.....	2-36

圖 2.20 馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊安裝位置.....	2-39
圖 2.21 馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊斷面型式.....	2-39
圖 2.22 馬公港 6 號碼頭現況.....	2-43
圖 2.23 馬公港 6 號碼頭海生物清除前後之情形.....	2-44
圖 2.24 馬公港 7 號碼頭海生物清除前後之情形.....	2-46
圖 2.25 馬公港 8 號碼頭海生物清除前後之情形.....	2-48
圖 3.1 馬公港鋼管樁腐蝕調查分佈位置(紅色區域).....	3-2
圖 3.2 馬公港碼頭資料選單下拉及碼頭位置分佈圖.....	3-6
圖 3.3 馬公港腐蝕調查碼頭位置分佈圖.....	3-6
圖 3.4 檢測位置輸入對話框.....	3-7
圖 3.5 馬公港腐蝕速率調查成果展繪圖.....	3-7
圖 3.6 馬公港鋼板厚度調查成果展繪圖.....	3-8

第一章 計畫緣起及目的

1.1 計畫源起

本所港研中心於民國 79 年開始，曾多次分批對臺灣五大港口及其附屬港口之碼頭鋼板樁腐蝕及防波堤破損情形進行全面性的調查檢測。由於資料眾多，查詢及調閱甚為不便，有鑑於此本計畫就利用現有之資料以 MapInfo 地理資訊系統著手加以整合架構成一適當之查詢系統。又港灣之港工材料資料庫之建立，常需投入大量之人力、物力、財力及時間，民國 92 年起已對基隆港、花蓮港、高雄港、臺中港及蘇澳港碼頭調查之檢測資料建置在本中心所開發的「港區工程基本資料查詢展示系統」之下。由於碼頭檢測資料每年都在更新，且查詢系統及資料庫建檔工作為一永久性的計畫，需要不斷的更新與補充，故本計畫則繼續延續資料建置之基礎，更新與補充原有的資料庫。

1.2 研究目的

電腦化之建檔方式能做大量而有系統的資料儲存工作，並可提供快速且有效之查詢作業服務，真正達到資料共用共享的益處，且未來新的資料又可迅速之補充，使資訊的流通更為便捷。相關資料及查詢系統建置完成後可達到下列目的：

- 1.以數位化形式收集港埠空間及港灣工程基本資料。
- 2.有效率的存取所收集及建置的資料。
- 3.開發撰寫腐蝕資料分析之模組。
- 4.查詢程式撰寫，並提供中文下拉式選單供使用者使用，展示港區各項調查資料。
- 5.提供工程依據：提供給港務局進行工程上之研判。

6.提供學術資料：可供各學術單位從事研究、分析所需的基本資料。

1.3 研究範圍

本研究的資料來源是以本中心曾對臺灣各碼頭的調查檢測資料為主要依據，今年更新建檔及查詢展示的對象與範圍為馬公港碼頭。

1.4 研究流程

本計畫之研究流程如圖 1.1 所示。

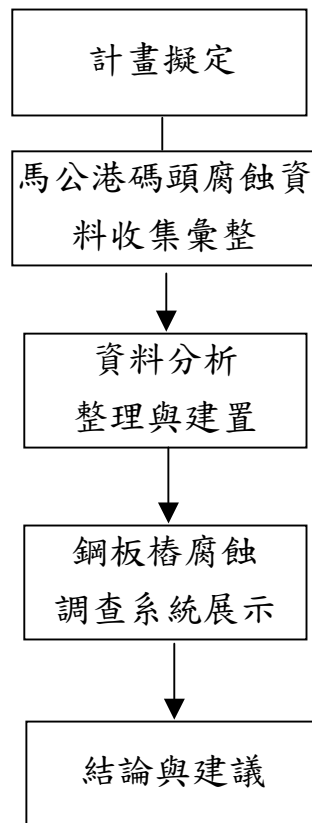


圖 1.1 研究流程

第二章 碼頭鋼板樁腐蝕資料收集彙整

2.1 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。

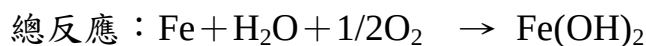
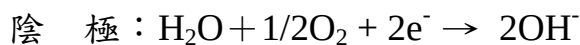
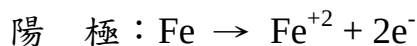
國內鋼板（管）樁之腐蝕速率，早期多沿襲日本之設計準則，以 0.20 mm/yr. 為設計允許值，由於不同海域環境，其腐蝕速率亦有差異，使用上述之準則設計，是否合適，值得研究。本所港研中心於民國 79 年至 94 年間，曾在國內五大港口港區碼頭之鋼板(管)樁進行全面調查，發現部分港區碼頭之鋼板(管)樁腐蝕問題嚴重，不僅腐蝕速率大於允許設計值，並發生穿孔、破洞等情形，甚至曾發生碼頭岸壁後方級配砂石流失、掏空、岸肩沉陷或靠海床處鋼板發生開裂及彎曲等重大損壞。

2.1.1 鋼材之腐蝕機理

金屬發生腐蝕為一自然的反應程序，大多數的金屬材料曝露於大氣環境下，都會自然發生物質退化，逐漸被腐蝕的現象，尤其是在酸、

鹼或海水等環境下，腐蝕更趨嚴重。腐蝕是電化學反應之行為，其間涉及電子的轉移，如金屬由原子狀態因放出電子而變成金屬離子，或金屬離子因獲得電子而成為金屬，因而構成氧化(陽極)及還原(陰極)反應之發生。因此，任何腐蝕的發生，必須具有陽極反應和陰極反應以及能使電子或離子流動轉移之導電途徑(亦即電解質)，形成一封閉的導電迴路。

海水中之鋼材如鋼板樁之表面，因同時具有許多高活性區域(陽極反應)與鈍化區域(陰極反應)所形成之許多小腐蝕電池(corrosion cell)系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。鋼材在海水中發生腐蝕之電化學反應程序如下：



Fe(OH)_2 並繼續反應，生成紅銹 Fe(OH)_3 或黑銹 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 產物。

2.1.2 影響鋼板樁腐蝕之因子

1. 曝露區域

從許多調查研究發現，海洋結構物腐蝕的部位及速率有很明顯的差異。由於彼此接觸(曝露)環境不同，其腐蝕形態亦不同，一般將海洋環境區分成五個曝露區域。

(1) 大氣帶

此區域之鋼結構物不接觸海水，表面完全曝露接觸大氣中之各種介質，諸如氣體、日照……等大自然介質，由於海洋大氣中含有較高濃度之海鹽粒子，加上濕度大、日照、溫度之變化，鋼材外表很容易受到侵蝕，其腐蝕速率為一般內陸地區大氣腐蝕的 2~5 倍。

(2)飛沫帶

自平均高潮位以上至海面大氣帶下端，屬於海洋大氣與海水交界面。鋼材曝露於此範圍內時，由於不斷反覆地受到海浪的潑濺以及日曬乾燥，產生乾濕循環作用，致使附著鋼材表面之鹽份及氧氣濃度不斷增濃，腐蝕最為嚴重，為五個曝露區域中，腐蝕最嚴重的部位。一般低碳鋼如沒有任何防蝕處理時，其腐蝕速率可達 0.5~1.0 mm/yr.，約為海中帶的 5~10 倍。

(3)潮汐帶

此區域介於高低潮位之間，由於受到海水漲退潮之變化，鋼材表面週期性的接觸海水浸泡及曝露於大氣中，猶如進行乾濕循環作用。由於空氣與海水波浪之交夾作用，致使海水中之溶氧濃度高，因而在潮汐帶下方緊鄰海中帶之部份，形成一個氧氣濃淡電池作用之現象。溶氧量高之潮汐帶中之鋼材，可視為一陰極反應面積，腐蝕速率低，而低潮位下約 1 米處(亦即海中帶部份)，因溶氧量低，故可將海中帶內之鋼材當成陽極反應部位，因此腐蝕量較大。由於受到氧氣濃淡電池作用，潮汐帶中之腐蝕速率為五個曝露區域中最低者。

(4)海中帶

自低潮位下端至海泥(床)帶間，在此範圍內整個結構體完全浸泡於海水中。此區域之上端邊緣與最低潮位緊鄰的部位，因氧氣濃淡電池之作用，曝露於海中帶之鋼材則可視為一陽極反應區域，因此鋼材位於海中帶上端部份之腐蝕速率很大，極需做適當的防蝕保護措施。在此區域中，海生物之附著問題，海流之沖擊、水溫及溶氧量等因素，亦會影響腐蝕速率。海水中鋼鐵之腐蝕速率一般為 0.1~0.2 mm/yr.。

(5)海泥(床)帶

鋼材埋入於海底土層之部份，由於與海水接觸面較小，其腐蝕速率相對很小。但在污染海域中，如有硫化氫 (H_2S) 或海泥中有硫酸還原細菌存在的話，則鋼材的腐蝕性會增加，腐蝕速率變大。

2. 海水的性質

海水是一個極複雜的水溶液，為大自然環境下一個包容性非常大的緩衝溶液，碼頭鋼板(管)樁絕大部份(約 80%)都浸泡於海水溶液下，其間金屬材料發生腐蝕之變化很大，因此有關海水之化性、物性及相關影響因素都必須深入探討之。

(1)含鹽量

海水因含有很高的鹽份(以氯離子濃度或鹽度表示之)，為鋼材最易發生電化學腐蝕反應之環境。在廣闊的大海中，海水中約含有 3.5%(重量百分比)之氯入鈉或鹽度約介於 32~36 之間。在封閉的海灣水域，由於蒸發作用致使海水鹽度較高，例如紅海其鹽度約為 41。而在有河川流入之海口附近，因受陸地淡水溪流之稀釋，則鹽度較低。

海水中之 Cl^- 能穿透破壞鋼材表面之鈍化性質或阻止鈍態保護膜之生成，因而使鋼材表面發生腐蝕。含鹽量之多寡與溶氧量、pH 值、溫度、水深等均有相互關係。

(2)溫度

海水之表面溫度，常因地球緯度之影響而有所變化。其範圍從極地 $-2^{\circ}C$ 至赤道 $35^{\circ}C$ 之間。依據動力學理論，溫度每上升 $10^{\circ}K$ ，腐蝕速率將增加一倍。當海水溫度升高時，致使鋼材變成為較不高貴電位之金屬，此時鋼材之腐蝕電位開始移向電位更負之方向，亦即鋼材更容易進行腐蝕反應。港灣結構物等開放系統，隨溫度上升，溶氧量減少，鋼鐵之腐蝕速率為最大，而如海水管線

等密閉系統，沒有溶氧量減少之發生，故腐蝕速率隨溫度之上升而遞增。

(3)pH 值

海水之 pH 值在正常情況下介於 8.1 至 8.3 之間。但在停滯不流動之港灣海域中或海水中含有大量有機物體，可能使海水變成較酸性，海水之 pH 值降低至 7.0 以下。pH 值之變化隨著海水之深度、溫度、溶氧量…等因素之不同而異。

鋼材在海水中極易發生腐蝕，金屬表面生成一層阻礙氧氣擴散之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 膜，隨著腐蝕之進行，此膜不斷的更新滋長，並與鹼性海水接觸，因此鐵表面之 pH 值約為 9.5。當海水 pH 值低於 4 時，鋼材表面之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 鈍態保護膜被溶解，鐵表面之 pH 值降低。鐵材之次表面層不斷地析出且更能直接與海水接觸，腐蝕速率增大約等於氫氣生成與氧氣去極化作用所產生之腐蝕速率。而 pH 值大於 10 時，增加環境之鹼性，亦增加鋼材表面之 pH 值，因此鐵表面之鈍態保護膜不易溶解，腐蝕速率大幅降低。

(4)溶氧量

氧是海水中金屬發生腐蝕最主要的催化劑。海水中鋼材之腐蝕速率依其表面之溶氧量而定，若海水之溶氧量增加時，則接觸鋼材表面之氧量增加，其腐蝕速率增大。在正常的大氣壓下，海水之溶氧量隨著溫度及鹽度之變化，維持一平衡關係。

溶氧量亦隨海水深度而有所差異，主要受到海中植物進行光合作用或有機生物體之分解作用，而致使溶氧量有所消長，在深海處溶氧量低，對大多數之金屬而言，其腐蝕速率相對亦低。溶氧量亦受海水流速之增大而增濃，亦受某些好氧細菌之作用(消耗)而降低濃度。

(5)比導電度

海水之比導電度(conductivity)是決定金屬腐蝕量多寡之一個重要因素，尤其是在有伽凡尼偶合作用(Galvanic coupling)及金屬表面局部有間隙存在的地方。海水較其它水溶液比具有很高的比導電度，約比一般水溶液高 250 倍以上。海水之高比導電度容易造成鋼材表面大面積的發生腐蝕反應，尤其是鋼材表面之陽極面積小而陰極面積大時，腐蝕更是嚴重，最後形成局部孔蝕或間隙腐蝕。比導電度之倒數稱謂之比電阻(resistivity)。

(6)深度

美國海軍試驗站研究人員於 1966 年，曾在太平洋的試驗站所做的深海腐蝕試驗，結果顯示，腐蝕速率隨著深度之增加而呈遞減趨勢，但如深至海床泥土時，若有硫化化合物存在時，更能助長厭氧性之硫酸還原菌之滋長，可能加速金屬之腐蝕反應速率。

(7)流速

海水流速對金屬腐蝕速率有多方面的影響。它不但能造成增加較易到達接觸金屬表面之溶氧量，又能因海流衝擊之機械效應，去除金屬表面鈍態保護膜，更促使氧氣較易對金屬表面進行擴散及濃度極化，造成金屬發生腐蝕。

(8)迷失電流

迷失電流乃指不沿正規路徑，而走其它路徑流通之電流謂之。一旦這種迷失電流進入金屬結構物時，在離開結構物之處，會發生電蝕現象並加速腐蝕速率。海洋結構物諸如碼頭鋼板樁、油井平台，船舶停泊港口卸貨或進行電焊維修工程時或安裝防蝕系統(外加電流)時，其供電設備，可能發生斷路或漏電，這些電流可能經由船殼或直接流入海水中，由於海水是良好之電解質，更容易將這些電流傳導至鋼板樁等金屬結構物，迷失電流一旦進入結構物，則會加速腐蝕速率。

(9)海生物附著

海水中包含有許多各種不同的有機生物體等，這些有機生物體有微污生物諸如細菌等，及巨污生物諸如海藻、藤壺、貝類等。由於海生物所排放之黏液(slime)容易附著於結構物表面上，接著形成生物黏液膜，萌芽的固著微生物體持久大量的附著，最後繁殖形成巨大的附著生物體，造成結構體局部的腐蝕劣化及荷重增加。

2.1.3 鋼構造物在海洋環境中的防蝕方法

依據鋼構造物在海洋環境曝露的區域，所使用的防蝕方法概述如下：

1. 海洋大氣帶

鋼結構在海洋大氣帶的防蝕多採用有機重塗塗料，如油性塗料、氯化橡膠、環氧瀝青、乙烯塗料等，特別是在無機鋅底漆上再刷塗厚膜型的塗料；此外，使用常溫金屬鋁熔射、鋅熔射或鋅鋁熔射後再加上表面塗裝的防蝕方式，亦常為日本及歐美國家使用。

2. 飛沫帶

由於碳鋼在飛沫帶的腐蝕速率最大，國內外採取的防蝕方法為（1）塗料，如無機鋅底漆+ Coating coal-Tar Epoxy 面漆，（2）有機被覆，如多元酯樹脂 PE、聚氨酯 PU 或環氧樹脂 Epoxy，（3）無機被覆，如混凝土包覆、FRP 包覆或中性石油脂防蝕帶包覆，（4）金屬包覆法，如不銹鋼包覆或低合金抗蝕鋼鐵(如 monel)。對於塗料，一般與海洋大氣帶所使用的塗料相同，但在此環境中耐久性較差且使用週期短；而有機被覆層則具有耐衝擊性且易於修補的特性；混凝土包覆其厚度增加則重量增加，一旦龜裂，修補困難；monel 金屬包覆的防蝕效果良好，但價格昂貴；至於陰極防蝕法，鋼樁在飛沫帶與潮汐帶的防蝕方法若僅採用陰極防蝕系統，會因鋼樁表面歇性乾燥的結果，造成陰極保護在潮間帶無顯著的防蝕功效。

美國腐蝕工程師學會(NACE International)曾於其技術報告 #1G194，針對飛沫帶鋼鐵結構之防蝕材料、工法，建議如下：

(1)圍堰塗裝

圍堰塗裝(Cofferdam and Coat, C & C)於現場施工時，需利用鐵製的圍堰將被塗的結構物圍起，並將圍堰與結構物間的海水抽乾，乾燥後，將傳統飛沫帶新結構物使用之有機重塗塗料，如無機鋅粉底漆+環氧樹脂中層漆+壓克力或 PU 面漆)塗佈於結構物表面。因施工時需要圍堰措施，故此系統僅能供鋼管樁之直線區域施工。

(2)中硬化環氧樹脂

水中硬化環氧樹脂(Underwater-Curing Epoxy, UCE)為 100% 固化的樹脂，可在潮濕的環境或水中施工，並於空氣或水下硬化。一般而言，此類環氧樹脂於潮間帶使用時，其乾膜厚度應在 0.5 至 2.0 mm 之間。該塗料技術發展至今已 20 多年，其有相當好的抗蝕性與抗陰極剝離能力，且當樹脂硬化後，可承受波高 1m 的衝擊。再者，因其有可在水下施工的特性，所以被塗裝之鋼板(管)樁無幾何形狀的限制，即任何型式之鋼樁，均可用此水中硬化環氧樹脂施工。

(3)水中硬化環氧複合樹脂

水中硬化環氧複合樹脂(Underwater-Curing Epoxy-Based Composite, UCEC, Systems)與水中硬化環氧樹脂相類似，僅於樹脂中添加玻璃纖維，以增加塗料的強度與穩定性。其有相當好的抗蝕性與機械特性，但在波高 0.6 m 時就無法施工。使用對象僅為鋼管樁，無法在直線型或 Z 型的鋼樁上使用。

(4)石油脂防蝕帶包覆

石油脂防蝕帶包覆(Petrolatum/Wax-Based Composite, PBC, System)係以耐腐蝕合成纖維為襯材，兩面塗覆中性石油脂防蝕劑並被覆一層高密度聚乙烯膠膜；防蝕劑中添加惰性劑、祛水劑等成份，以增進適合水下使用與抑制銹蝕之功能。但其機械性能不

佳，若暴露於大氣或海水中，可能受外界環境之機械衝擊(如波浪衝擊)，須另加一機械夾層補強，夾層材質如 PE、PVC、或 FRP 等。一般而言，防蝕帶包覆系統僅能在波高 0.6 m 下施工，施工完成後可抵抗波高 1m 的衝擊，但其保護對象僅限於鋼管樁之直線部份。

(5)矽膏防蝕帶包覆

矽膏防蝕帶包覆系統(Silicone Gel-Based Composite, SGBC, System)可分兩部份：矽膏內襯與 urethane 外襯。矽膏內襯的主要功用為在鋼鐵表面形成防水機制，而 urethane 外襯則提供機械性的保護，避免矽膏內襯受到波浪作用或其他機械原因而破壞。與石油脂防蝕帶包覆系統相似，矽膏防蝕帶包覆系統僅能在波高 0.6 m 下施工，施工完成後可抵抗波高 1m 的衝擊；其保護對象仍限於鋼管樁，無法使用於直線型或 Z 型的鋼板樁上。

(6)混凝土複合包覆

混凝土複合包覆(Concrete Composite System)乃是利用 PE 或 FRP 作為外部夾層，而夾層與被保護結構物間預留 9.5 至 32 mm，內注混凝土將水排出，固化後即形成包覆。其施工在波高 1.2 m 時仍可進行，且混凝土固化凝結後可抵抗波高 1m 以上的衝擊；但因包覆形狀的限制，此系統僅能在鋼管樁之直線部份施工。

(7)金屬包覆(Alloy Sheathing)

金屬包覆的方式是將 1-5 mm 厚的銅鎳合金，如 Nickel-Copper Alloy 400 (UNS N04400)、90/10 Copper-Nickel (UNS C70600)焊接到碳鋼組件，再將碳鋼組件組合至結構體。由於焊接施工的困難，金屬包覆系統在波高 0.6 m 時就無法施工，但一旦完成，可抵抗波高 1m 以上的衝擊。其施工對象包含鋼管樁及直線型或 Z 型板樁。

3. 潮汐帶

雖然碳鋼在潮汐帶的腐蝕速率較低，但其上部緊鄰腐蝕最為嚴

重的飛沫帶，隨著潮水的漲落，潮汐帶與飛沫帶並無明顯的界限，因此位於潮汐帶鋼鐵結構物之防蝕方法與飛沫帶相同。

4. 海中帶

一般採用陰極防蝕或外加保護塗層、被覆或兩者結合之工法，即將鋼鐵極化，使鋼鐵的保護電位達到-800 mV ~ -1100 mV (vs. Ag/AgCl [sw]，海水氯化銀參考電極)。

5. 海泥帶

一般採用與海中帶相同的防蝕方法。如採用陰極防蝕設計時，該區帶所需的保護電流密度約為海中帶的五分之一^[5]。

2.1.4 陰極防蝕

陰極防蝕的方法有兩種，一為外加電流法，一為犧牲陽極法。外加電流法主要是利用一外部電源來提供陰極與陽極之間的電位差。陽極必須接於電源之正端，而被保護金屬則接於電源的負端。

犧牲陽極法主要是利用電位較負之金屬(如鎂、鋁、鋅)為陽極，與被保護金屬於介質(如土壤、水、混凝土等)中聯結，形成一電化學電池，由於異類金屬相接觸，活性較大(active)之金屬(陽極)會在反應中被消耗，而鈍性(noble)的鋼板管樁(陰極)會因此而被保護。

一般而言，外加電流法較犧牲陽極法複雜，且外加直流電之費用也比安裝犧牲陽極高。然前者可使用可變電源，來保護較大面積之裸鋼或良好被覆的結構物；後者則可應用於結構物之保護電流量需求較少，或介質之比電阻較低的環境。表 2-1 為兩者的特性比較。

表 2-1 外加電流法與犧牲陽極法之特性比較

外加電流法	犧牲陽極法
裝置複雜 需要定期維護 可使用於低導電性環境 初期成本較高 會造成以下若干問題： 雜散電流腐蝕 氫脆化 塗層剝落	裝置簡單、施工容易 維護需求少 適用於導電性好之環境 成本較低

2.2 鋼板樁檢測步驟

2.2.1 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。

2.2.2 厚度量測

1. 選定檢測樁

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）樁選定五至九點水深作為量測點，每支測樁之測點以潮汐帶至少一點，水中帶至少兩點為選定原則。U 型鋼板樁檢測其凸面或凹面之厚度，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 2.1 所示。

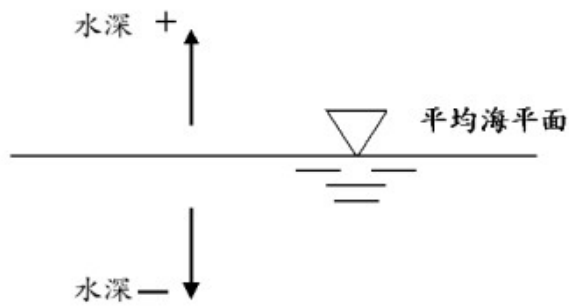


圖 2.1 檢測水深標示方式

3. 厚度量測與步驟

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 20 cm × 20 cm 左右。

(2) 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材表面，即可讀取鋼材厚度。於每一水深測點量取兩次鋼板樁厚度，平均後即為其現有厚度。圖 2.2 為潛水人員於海中量測鋼板（管）樁厚度之情形。

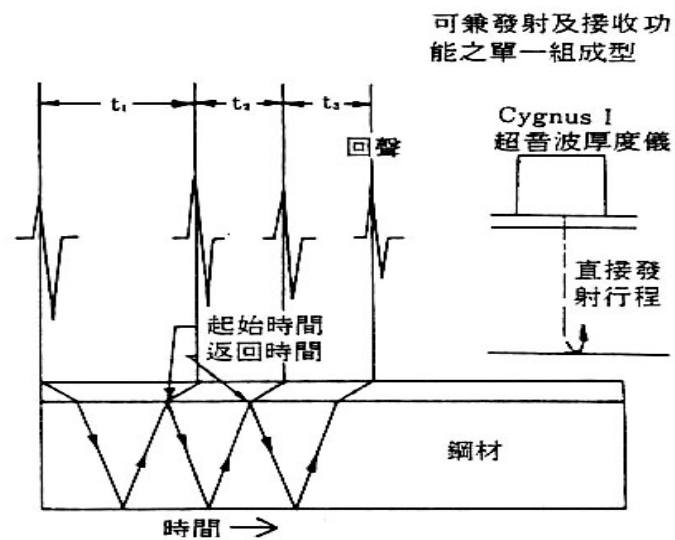
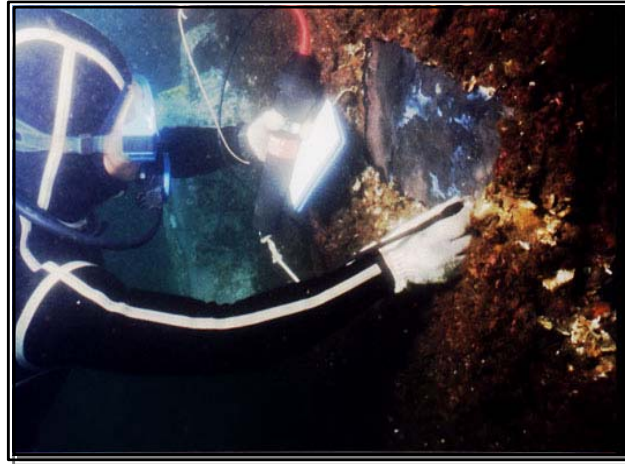
(3) 測厚原理

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 ± 0.1 mm，可由接收器直接讀取厚度，其原理簡示於圖 2.3。

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times 1/2 (t_{i+1} - t_i). \quad (\text{公式 2.1})$$

式中 V：超音波在鋼材中之傳播速度 (5920 m/sec)

t_{i+1} , t_i : 探頭接受回聲及初始傳播的時間

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 2.4 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，在筆記型電腦上得一時間訊號曲線，利用時間訊號曲線之轉折點，判斷鋼材平均腐蝕情況。本次調查使用經特殊處理之防水探頭，可直接穿透厚度小於 50 mm 之被覆物質。以渦電流進行鋼材現有厚度量測，可不需先清除鋼材表面之覆著海生物。



圖 2.4 渦電流檢測設備

b. 檢測原理

渦電流檢測係應用電磁感應原理，於鋼材內部生成感應渦電流。渦電流會因鋼材內之瑕疵或物理差異而有所改變，藉此改變測知其缺陷，達到檢測目的。除可檢測圓柱、管件、薄板等表面及近表面之缺陷外，並可檢測受測材料之材質特性，如塗膜厚度、導電率、導磁率及電阻等，惟僅適用於導電材料。檢測鋼材時，因鋼材厚度及形狀之限制，其內部缺陷不易測出且訊號判定困難，需賴具豐富經驗之檢測者實施。

渦電流檢測與渦電流產生位置及時間有關。產生渦電流感應之落後時間與其受測材料之穿透深度有關，距離越遠其落後時間越久。可利用時間差的變化推估受測物質之狀況。一般藉

由時間訊號曲線之轉折點(Bending Point)，可評估檢測物之腐蝕情況。

渦電流檢測時所得到之時間訊號曲線，經由統計理論作迴歸分析，計算判定係數而推估鋼材現有厚度。判定係數正確與否直接影響檢測結果，因此，檢測前需先設定參數，如鋼材最大厚度、附著物包覆厚度、環境溫度範圍等，方能得到最佳訊號曲線，提高檢測之準確性，圖 2.5 海水中渦電流量測鋼板樁厚度之情形。。



圖 2.5 海水中渦電流量測鋼板樁厚度之情形

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。以鋼板樁原有厚度減去現有厚度，得出鋼板樁實際減少之厚度(即腐蝕厚度)。減少之厚度除以鋼板樁使用之年期，即為其實際腐蝕速率。其計算公式如下；

$$\begin{aligned} \text{腐蝕速率} &= \text{腐蝕量} / \text{使用年期} \\ &= (\text{原始厚度} - \text{現有厚度}) / \text{使用年期} \quad (\text{公式 2.2}) \end{aligned}$$

碼頭鋼板（管）樁初期如未採用任何防蝕措施，使用一段期間後再安裝犧牲陽極作為防蝕工法，其腐蝕速率又分為未作防蝕措施前與採用防蝕措施後之腐蝕速率兩種，計算公式如下：

$$V_C = \frac{C}{Y_C + (1-P)Y_P} \quad (\text{公式 2.3})$$

$$V_P = \frac{C - V_C \times Y_C}{Y_P} \quad (\text{公式 2.4})$$

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 2-2。

表 2-2 防蝕率與海水浸水率之關係

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

（註）海水浸水率：鋼材浸於海水之時間與鋼材使用全部時間之比

2.2.3 鋼板樁保護電位量測

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。

防蝕效果的判斷標準如表 2-3 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，鋼鐵結構物是為保護狀態，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 -800 mV 為"正"，則表示保護不足或防蝕效果不佳。

表 2-3 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 vs. SCE	飽和甘汞電極
-800 mV vs. Ag/AgCl/seawater	海水氯化銀電極
-750 mV vs. Ag/AgCl/sat'd KCl	飽和氯化銀電極
-850 mV vs. Cu/CuSO ₄	飽和硫酸銅電極

2.2.4 陽極塊調查

1. 選定陽極塊

馬公港 6 至 8 號共 39 支。

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. 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 2.6 所示。

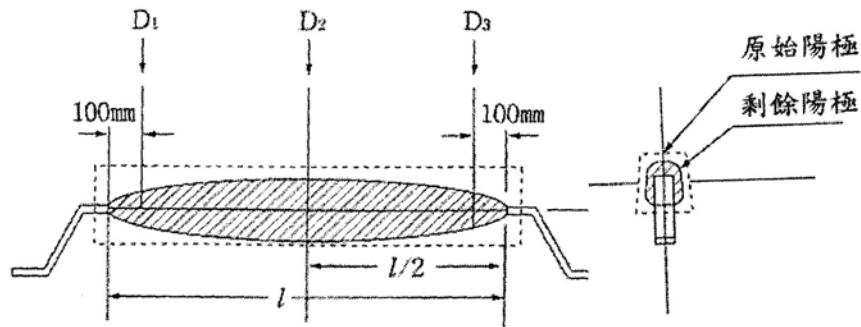


圖 2.6 陽極塊尺寸量測位置

4. 陽極塊重量量測

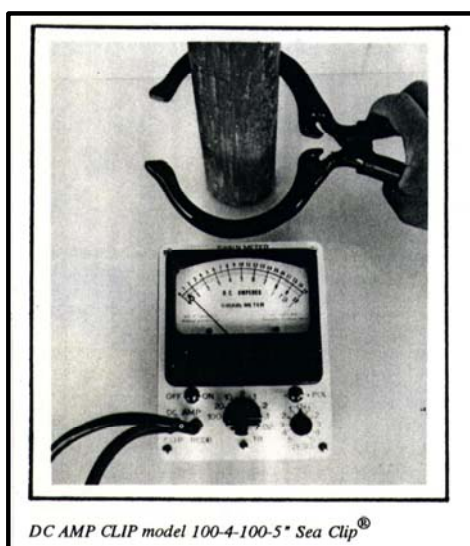
陽極塊完成外觀檢查記錄後，再將其稱重之（最小讀數至 0.1 公斤，陽極塊實際重量應另扣除鐵蕊之重量）。完成殘留重量之量測後，切下之陽極塊必需再焊接回原來之鋼板樁上，切割前後與焊接後均須拍照記錄。

5. 陽極塊輸出電流量測

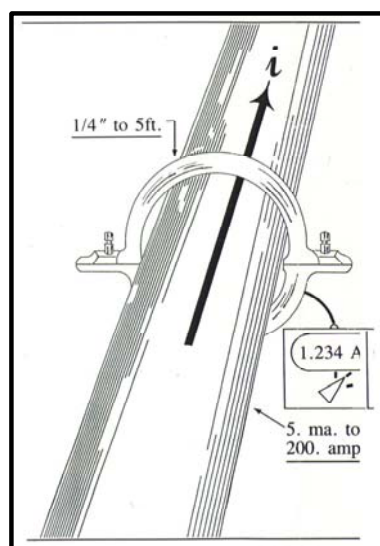
量測時，由潛水人員以電流計之感應環套於陽極塊上方或下方鐵蕊，再由岸上人員直接於電流計讀取電流值。圖 2.7 為潛水人員於海中量測陽極塊輸出電流之情形，電流計及感應環構造示如圖 2.8 (a)，量測原理示如圖 2.8 (b)。



圖 2.7 陽極塊輸出電流量測



(a)



(b)

圖 2.8 電流計、感應環構造及量測原理

2.3 馬公港碼頭背景資料搜集與分析

本次更新資料為建置馬公港 6 至 8 號碼頭（鋼管樁）等構造物，其背景資料如表 2-4 所示。

表 2-4 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
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

2.3.1 馬公港 6 號碼頭鋼板樁現況檢測

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 2.9 至圖 2.10。

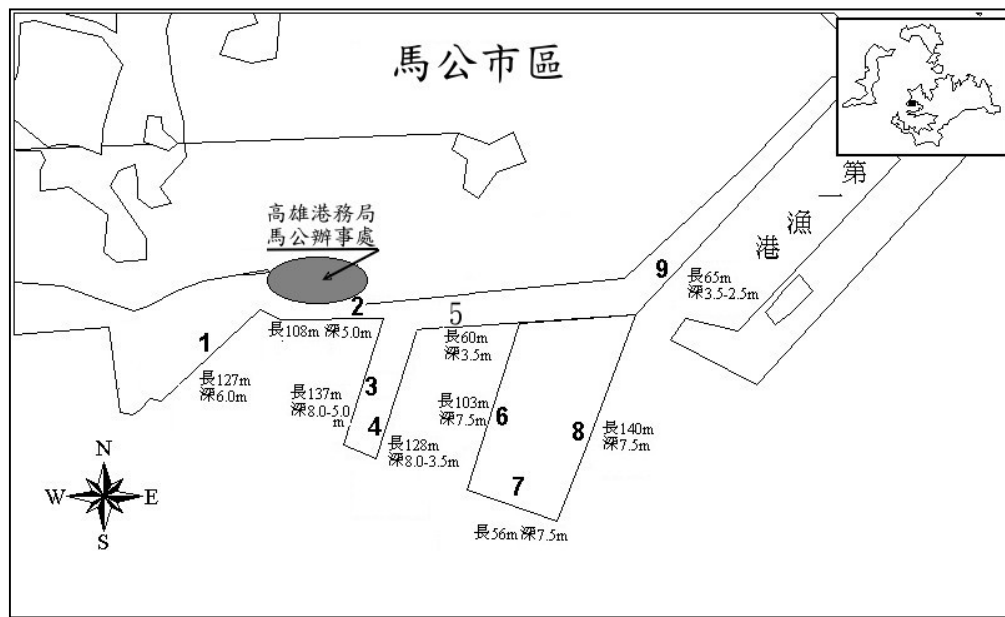


圖 2.9 馬公港碼頭平面佈置圖

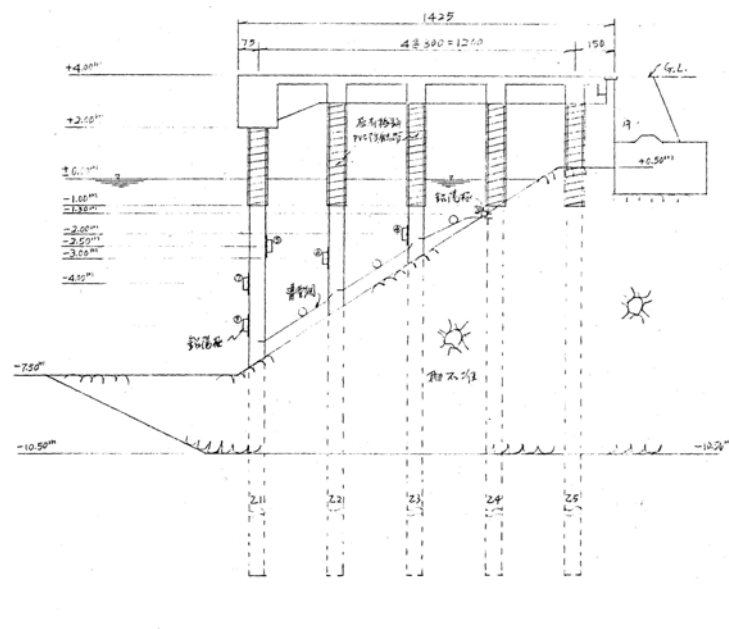


圖 2.10 馬公港碼頭鋼管樁結構斷面

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、藤壺等大型海生物。

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。

6 號碼頭鋼管樁厚度檢測結果示如表 2-5 及圖 2.11 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 2-6 圖 2.12 至圖 2.14 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 2-5 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

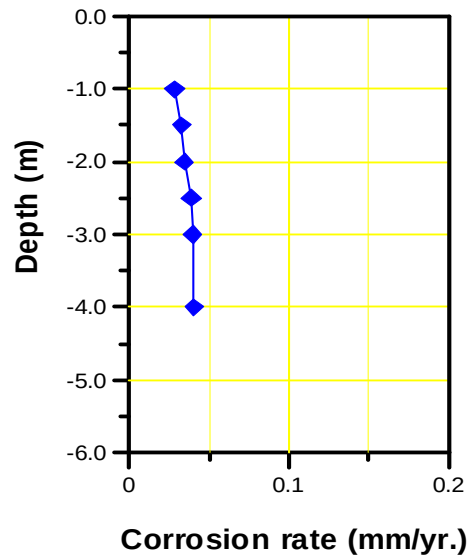


圖 2.11 馬公港 6 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係

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 2-7。保護電位最大值為 -993mV，最小值為 -1101 mV，小於標準防蝕電位值，管樁處於防蝕保護狀態。

表 2-6 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	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
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

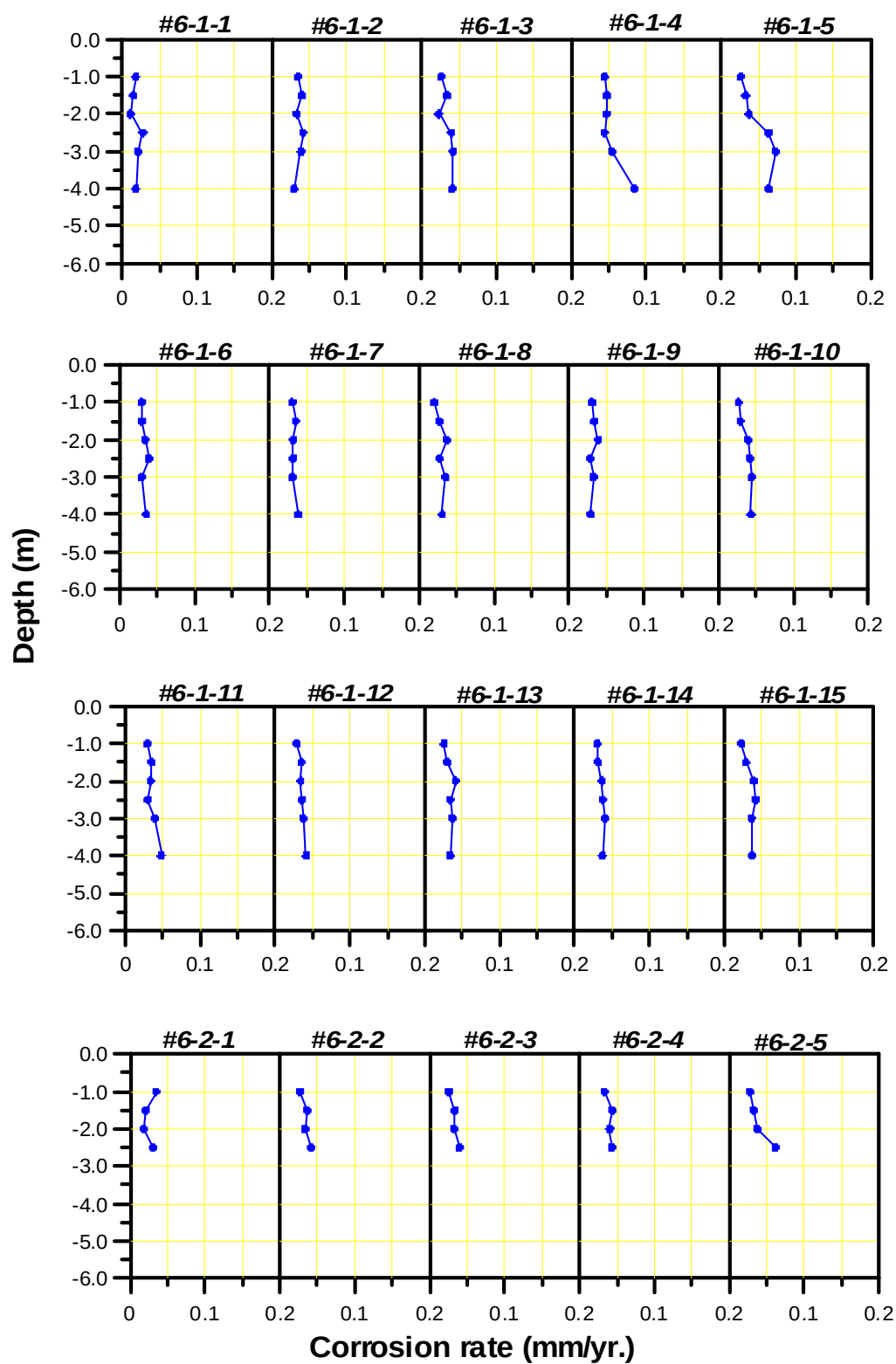


圖 2.12 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

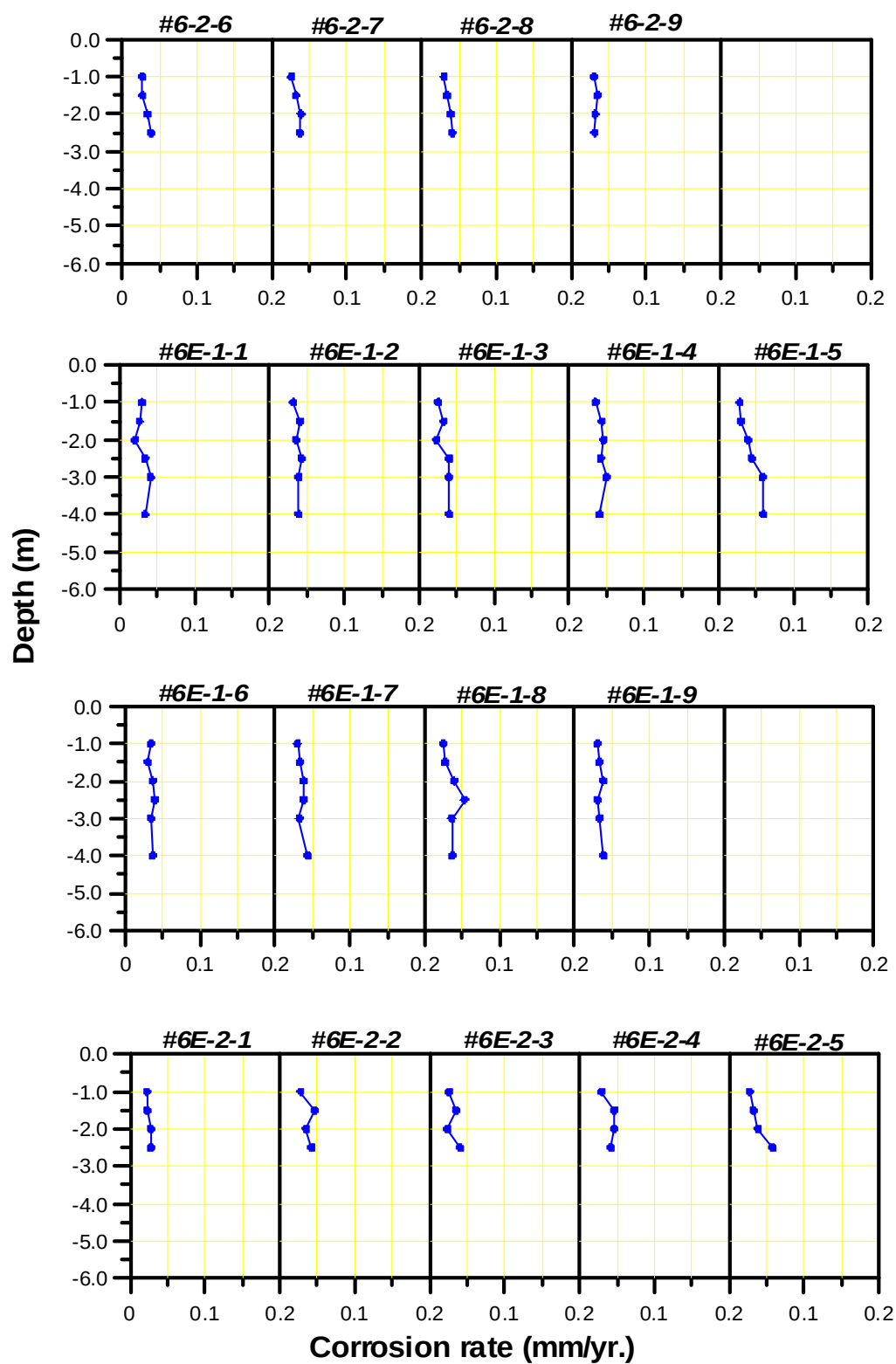


圖 2.13 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

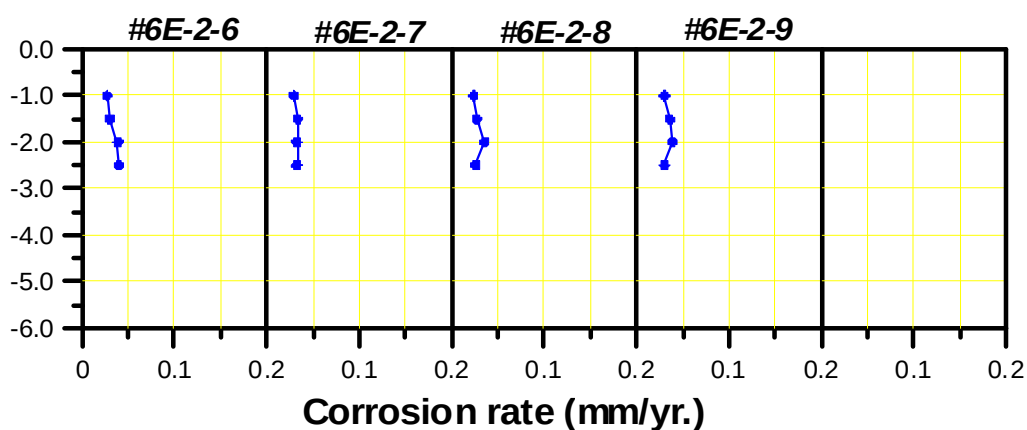


圖 2.14 馬公港 6 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (3)

表 2-7 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

2.3.2 馬公港 7 號碼頭鋼板樁現況檢測

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 2.9 及圖 2.10。

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、藤壺等大型海生物。

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。

本座碼頭鋼管樁厚度檢測。表 2-8 及圖 2.15 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 2-9 及圖 2.16 至圖 2.17 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 2-8 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

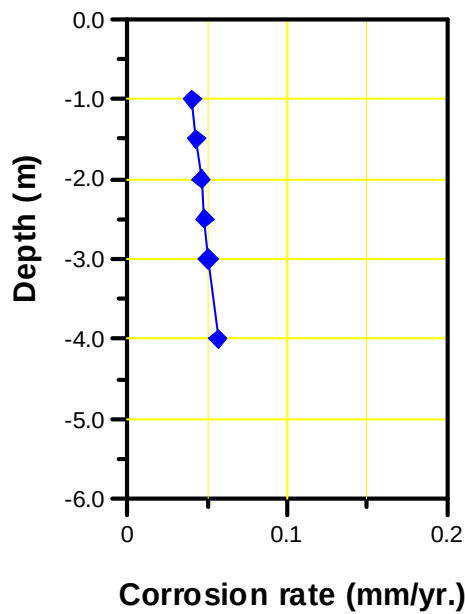


圖 2.15 馬公港 7 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係

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 2-10。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 2-9 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

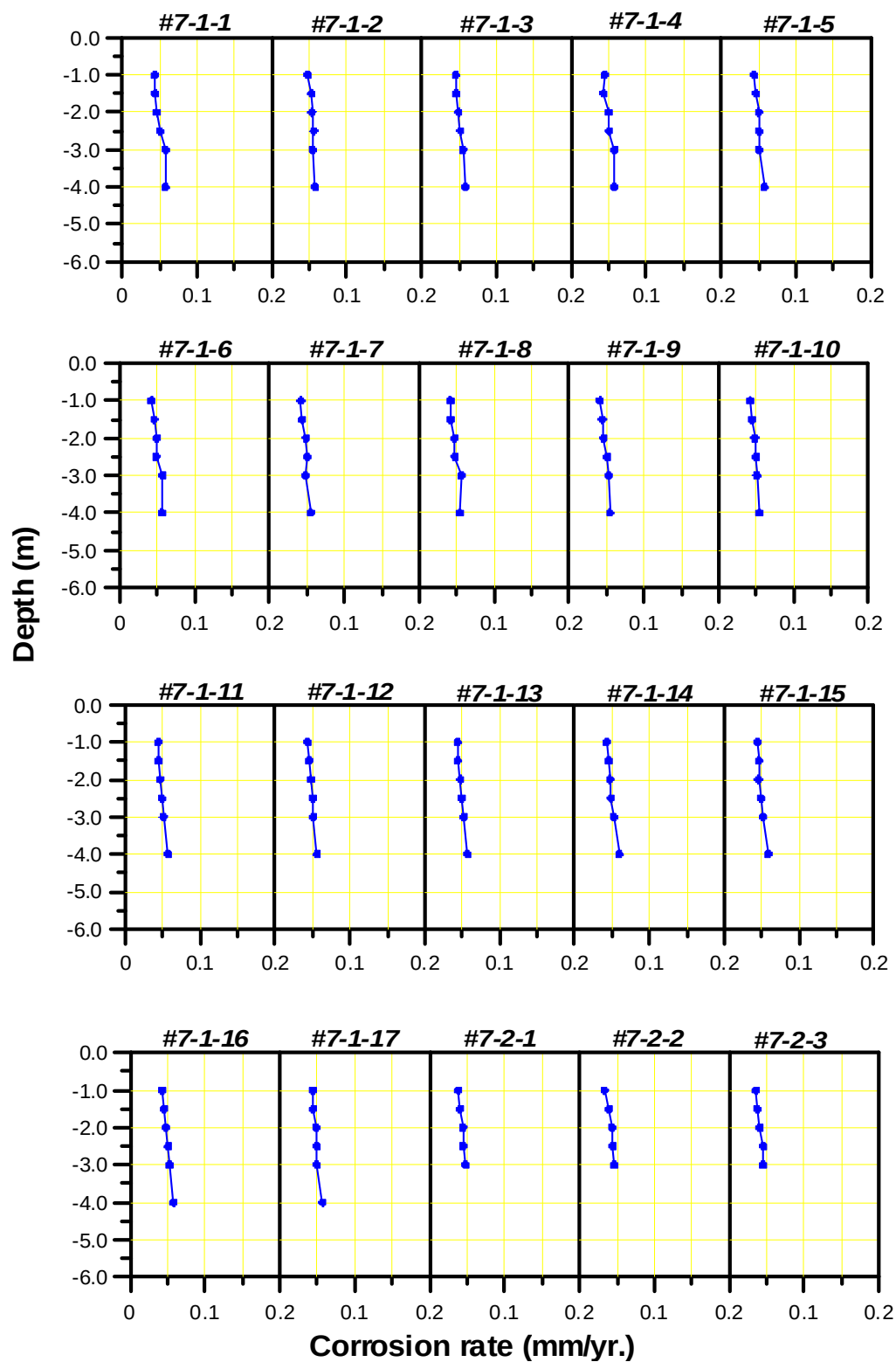


圖 2.16 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (1)

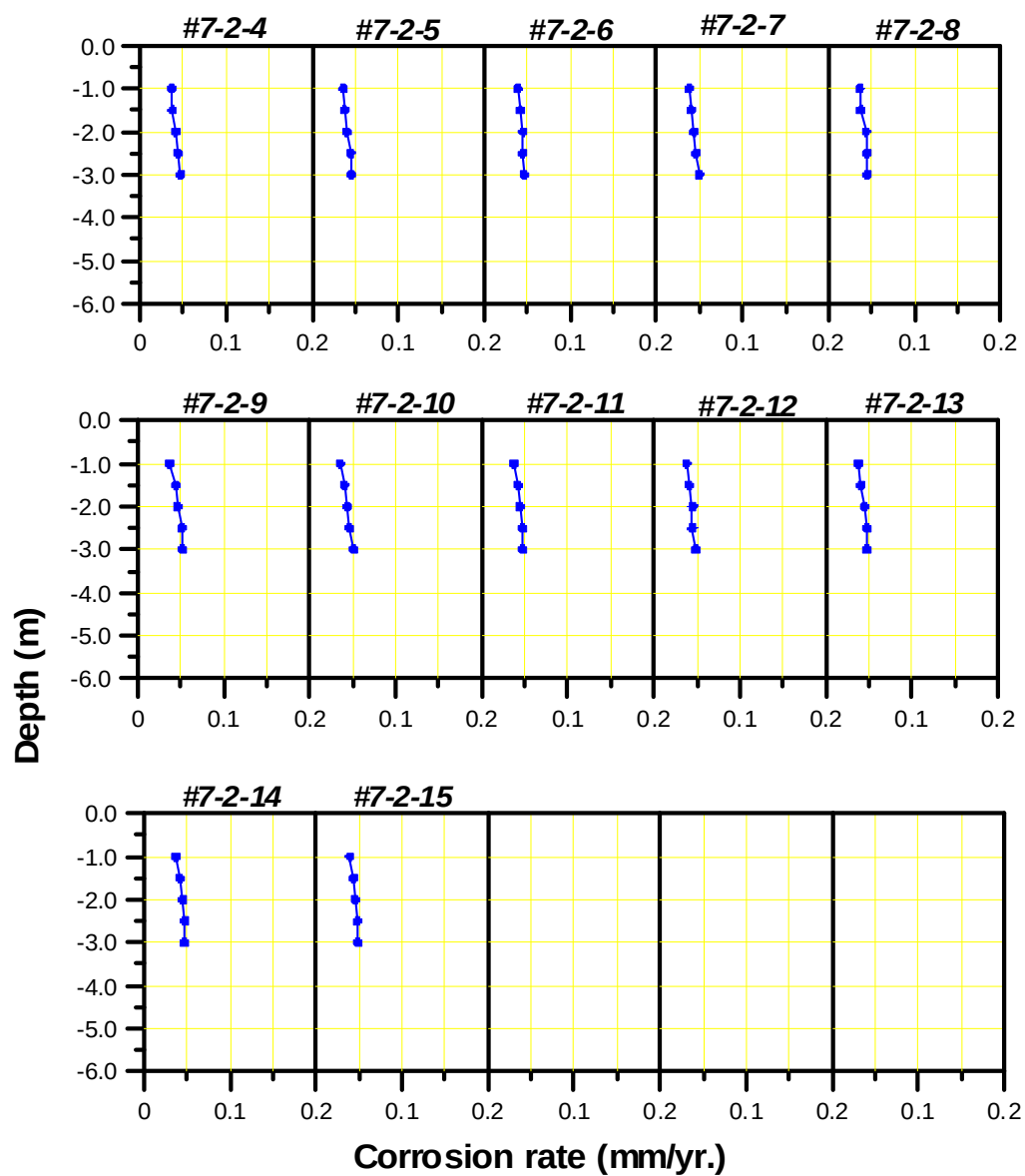


圖 2.17 馬公港 7 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係 (2)

表 2-10 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					

2.3.3 馬公港 8 號碼頭鋼板樁現況檢測

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 2.9 及圖 2.10。

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、藤壺等大型海生物。

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。

本座碼頭鋼管樁厚度檢測。表 2-11 及圖 2.18 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 2-12 及圖 2.19 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 2-11 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

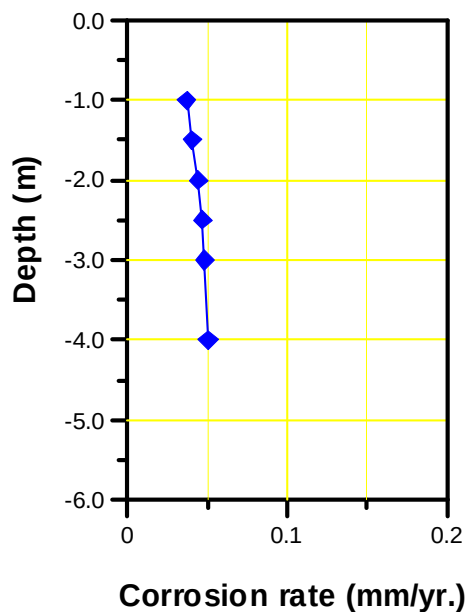


圖 2.18 馬公港 8 號碼頭鋼管樁之平均腐蝕速率與水深之關係

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 2-13。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 2-12 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

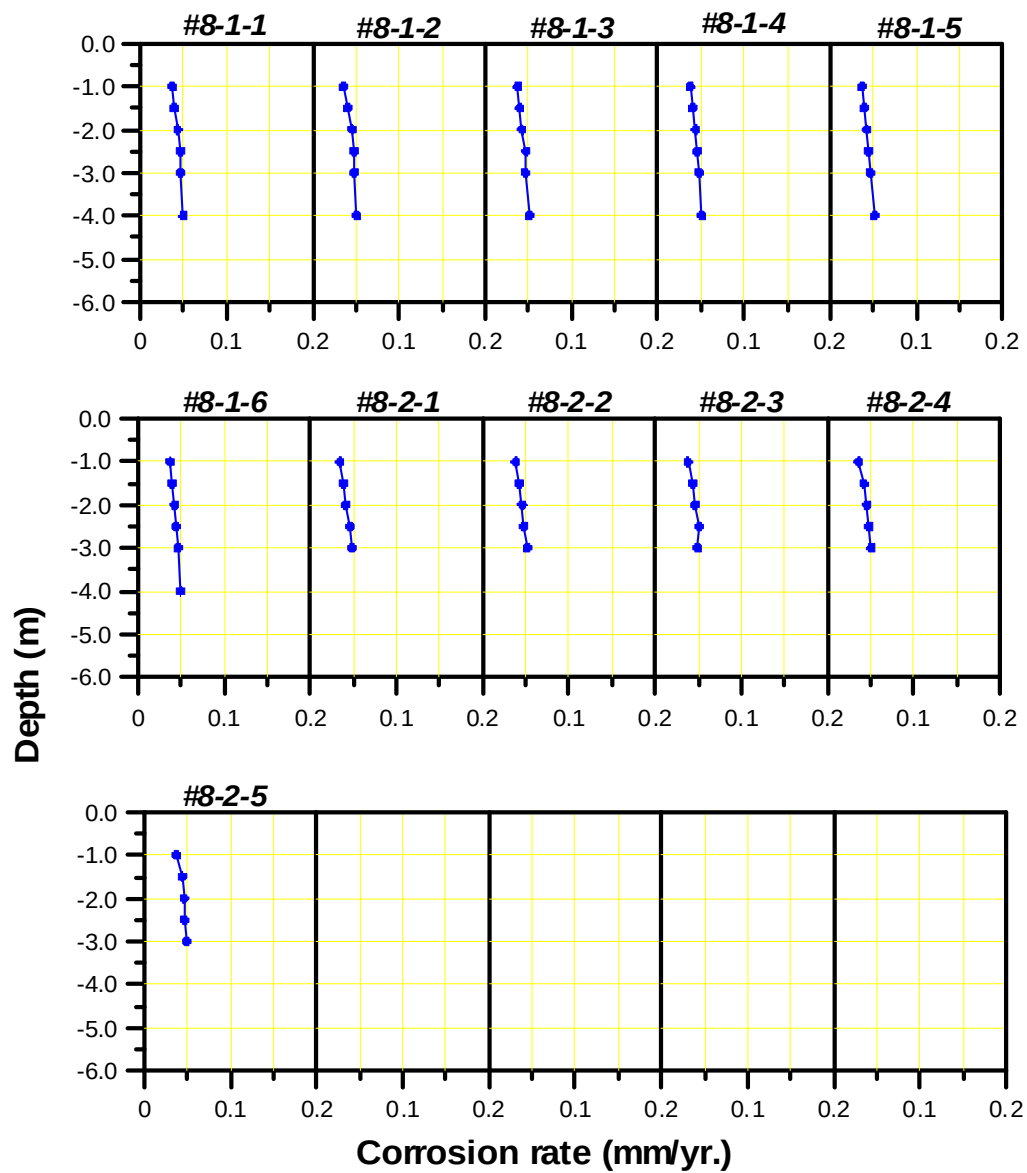


圖 2.19 馬公港 8 號碼頭鋼管樁腐蝕速率與水深之關係

表 2-13 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

2.4 陽極塊調查彙整

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 2.20 及圖 2.21 所示。陽極塊尺寸為（190+230）×200×1000 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。

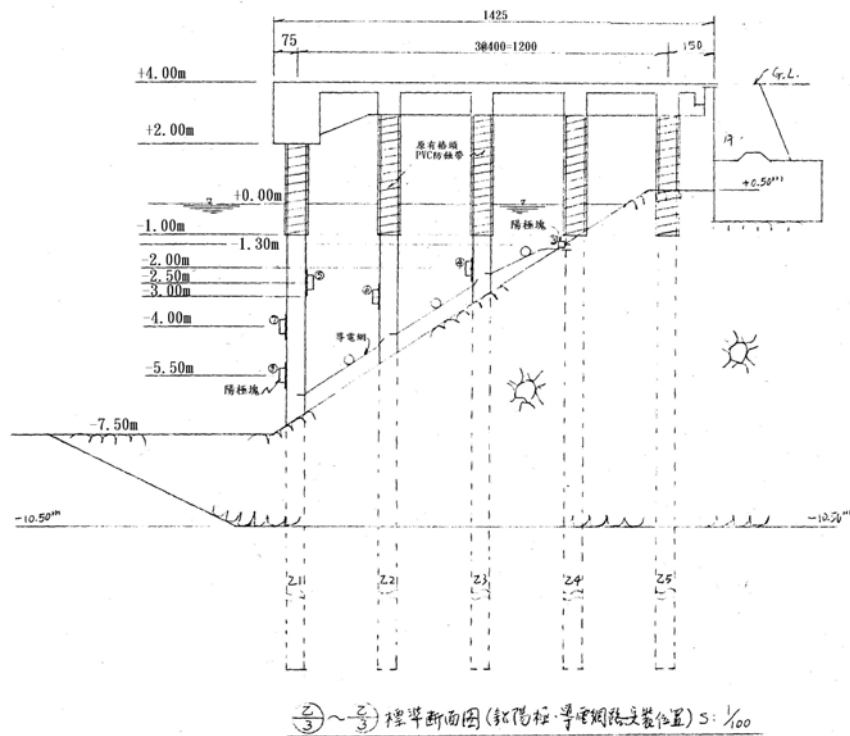


圖 2.20 馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊安裝位置

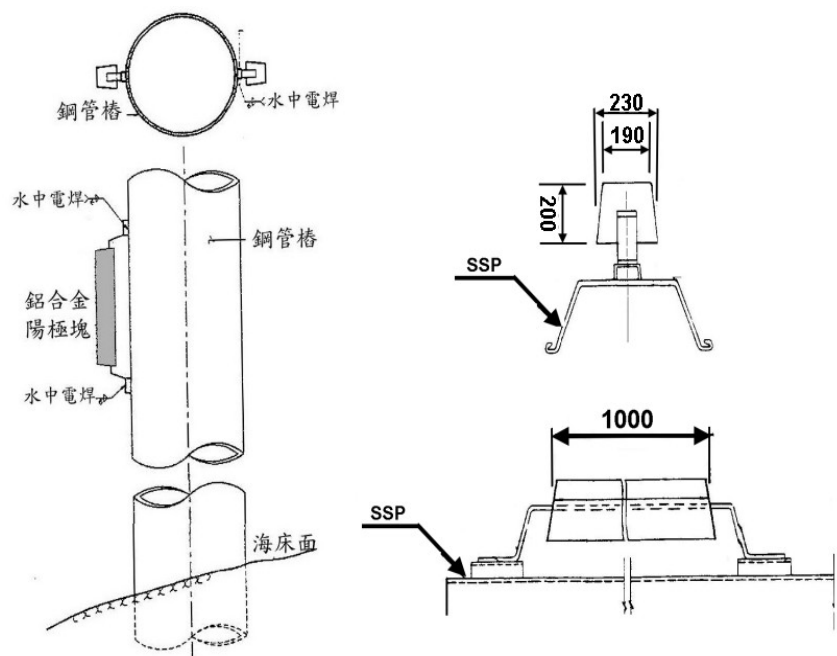


圖 2.21 馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊斷面型式

2.4.1 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. 馬公港 6 碼頭

本座碼頭陽極塊發生電位量測結果如表 2-14 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 2-14 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			

2. 馬公港 7 碼頭

本座碼頭陽極塊發生電位量測結果如表 2-15 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 2-15 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			

3. 馬公港 8 碼頭

本座碼頭陽極塊發生電位量測結果如表 2-16 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 2-16 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			

2.4.2 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. 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 (Al(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 2.22 為 6 號碼頭之現況，圖 2.23 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 2-17 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。



6 號碼頭(轉角處)



6 號碼頭(直線段)

圖 2.22 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 2.23 馬公港 6 號碼頭海生物清除前後之情形

表 2-17 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

2. 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 2.24 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 2-18 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 2.24 馬公港 7 號碼頭海生物清除前後之情形

表 2-18 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

3. 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 2.25 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 2-19 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 ~ 3.7kg/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 2.25 馬公港 8 號碼頭海生物清除前後之情形

表 2-19 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

2.4.3 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. 馬公港 6 號碼頭

本座碼頭釋出電流量測結果列於表 2-20：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。

2. 馬公港 7 號碼頭

本座碼頭釋出電流量測結果列於表 2-21：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。

3. 馬公港 8 號碼頭

本座碼頭釋出電流量測結果列於表 2-22：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 2-20 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 2-21 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 2-22 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	

第三章 腐蝕資料更新建置及分析模組系統展示

3.1 碼頭鋼板樁腐蝕資料更新建置概況

本研究彙整本所港灣研究中心於民 94 年 5 至 6 月所調查的澎湖馬公港碼頭鋼板樁腐蝕資料，將調查所得資料加以數化，建製成資料表單，再匯入資料庫中。調查範圍涵蓋馬公港 6 號、7 號、8 號等三座碼頭，分佈位置如圖 3.1 所示之紅色區域。

馬公港 6、7、8 號碼頭原屬為長 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 8,800 平方公尺之新生地，改建為棧橋式鋼管樁碼頭，設計水深為 -7.5 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，每列打設 4 至 5 排鋼管樁，管壁原始厚度為 12mm。幾乎靠陸側之 4 排鋼管樁都以導電線焊接連通，以使陽極塊提供之保護電流能互相支援。因靠陸處之鋼管樁安裝導電網，故只能在靠海側水深較深的前兩排施作檢測，每支測樁依其所處實際水深，檢測水下深度 -1.5 m、-2.0 m、-2.5 m、-3.0 m、-3.5 m、-4.0 m 等位置，各測樁也依其海床高低各取 4 至 6 個不同水深測點。

6 號碼頭包含轉角(與 5 號碼頭銜接段)全長約 120 公尺，分四個調查區(轉角及北中南四區)共選取 42 支樁為測樁，各檢測水深之平均腐蝕速率在 0.03 至 0.05 mm/yr. 之間。7 號碼頭全長約 56 公尺，分兩個調查區(東區及西區)共選取 42 支樁為測樁，各檢測水深之平均腐蝕速率在 0.04 至 0.05 mm/yr. 之間。8 號碼頭全長約 140 公尺，分兩個調查區(南區及北區)共選取 10 支樁為測樁，各檢測水深之平均腐蝕速率在 0.04 至 0.05 mm/yr. 之間。本研究將此 94 支測樁調查資料數化建檔，匯入資料庫中，再利用程式語言撰寫查詢展示功能，於系統上提供使用者調閱查詢。

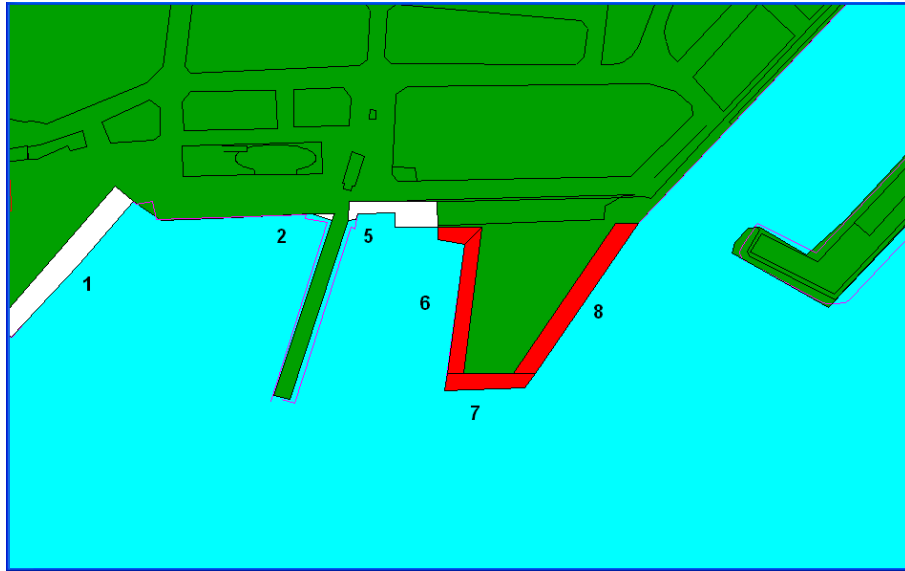


圖 3.1 馬公港鋼管樁腐蝕調查分佈位置(紅色區域)

3.2 系統操作程序

本研究所建置的港區鋼板樁檢測資料及新開發的查詢模組，係架構在本中心所開發的「港區工程基本資料查詢展示系統」之下，該系統的查詢界面設計成下拉式選單方式。主選單共有六大項，分別為(1)港埠規劃(2)鑽探資料(3)碼頭設計及調查資料(4)堤防設計資料(5)海氣象現地調查等。由 MapInfo 進入此查詢系統，點選進入所欲查詢的港區，該港區地圖即展示在螢幕上，且原有的 MapInfo 內定選單也同時全部更換成新設計的選單，供使用者點取需用功能。

系統之查詢設計，係以下拉式選單配合物件選項的操作方式為主。使用者可在螢幕上選取所欲查詢的物件，再利用下拉式選單來展示各項文件資料或繪製相關成果。港區碼頭鋼板樁檢測資料查詢展示之操作程序如下：

1. 在視窗作業環境下，執行 MapInfo 系統，進入該系統內。
2. 點取選單 File\Run MapBasic Program，選擇 d:\harbor-1 內的執行檔 Harbor_2007.mbx，按 OK 選鈕，即進入港區工程基本資料查詢展示系統。

3. 此時螢幕會展繪出臺灣全島地圖，並標示基隆、臺北、臺中、高雄、花蓮、蘇澳、馬公等港區的分佈位置。
4. 利用滑鼠，點選所欲查詢的港區，則螢幕展繪出該港區的向量地圖，地圖以綠色標示陸面區域位置，以水藍色標示海面區域位置。此時可點選「碼頭設計及調查資料」主選單下之第一選項「顯示碼頭位置圖」，系統則載入該港區之碼頭位置分佈圖。
5. 再點選「碼頭設計及調查資料」主選單下之第十二選項「顯示腐蝕調查碼頭」，則有腐蝕調查的碼頭區塊會由白色轉變成紅色，可得知那些碼頭為鋼材所構建且有施做腐蝕調查。
6. 利用工具箱內的放大、縮小、平移等工具，可作地圖縮放，以更精細地查詢目標位置及鄰近地形。
7. 選用工具箱內的點選工具，再點選所欲查詢之碼頭，此時主選單的第三功能項(即「碼頭設計及調查資料」功能項)底下所附屬的幾個次選項(即「碼頭設計斷面圖」、「碼頭斷面文字資料」、「關閉腐蝕調查碼頭」、「鋼板腐蝕速率展繪」、「鋼板凸側凹三面腐蝕速率比較」、「海水水質分析成果展示」等功能項等)，會由啟始的無效狀態轉變為有效狀態。
8. 當點選到碼頭物件時，該碼頭區會被異色斜紋所遮罩，此時可在第三主選單下點選「鋼板腐蝕速率展繪」選項，系統會開啟「檢測位置輸入對話框」。輸入檢測位置後，若所點取的碼頭為 Z 型板樁所構築，因該型板樁具有凸側凹三個面，系統會再開啟一個「凸側凹面點取對話框」。使用者可依框內收音機鈕(Radio Button)選項點取某一面來繪圖，隨後系統即呼叫 surfer 程式，展繪該檢測段之腐蝕速率，圖中上半部設計為三維立體圖，下半部設計為等值分佈圖。
9. 接續在第三主選單下點選「鋼板凸側凹三面腐蝕速率比較」選項，系統會先開啟「鋼板凸側凹三面腐蝕速率比較」選項，系統會先開

啟「檢測位置輸入對話框」。選取任一檢測位置，系統隨即展繪該位置之凸側凹三腐蝕速率比較圖。

10. 「鋼板厚度調查成果展繪選項」，其操作如步驟 8 所示。
11. 「鋼板凸側凹三面厚度比較」選項，其操作如步驟 9 所示。
12. 若要查詢另一港區的碼頭資料，可點選第一主選單「港埠規劃」下的倒數第二選項「選擇港區」，則系統會跳回主畫面顯示港區位置分佈圖。再依循步驟 4 至 11，可繼續查詢所需港區之相關資料。
13. 結束查詢，可在功能表的第一個主選單「港埠規劃」下，拉出最後一個選項「離開系統」，點選後則可停止本程式的執行。

3.3 馬公港鋼板樁檢測資料查詢展示

馬公港區碼頭鋼板樁檢測資料查詢展示之操作程序如下：

1. 按照 3.2 節程式操作程序 1 至 3，使用者可進入查詢系統的主畫面，此時螢幕視窗會展繪出臺灣全島地圖與主要港區（如基隆、臺北、臺中、高雄、花蓮、蘇澳、馬公等港區）的分佈位置。
2. 將滑鼠遊標移至馬公港標示文字區內，按滑鼠左鍵，可叫出馬公港區基本地圖圖層，地圖以綠色標示陸面區域位置，以水藍色標示海面區域位置。此時可點選「碼頭設計及調查資料」主選單下之第一選項「顯示碼頭位置圖」，系統則載入該港區之碼頭位置分佈圖，如圖 3.2 所示為馬公港碼頭位置分佈情形。
3. 再點選「碼頭設計及調查資料」主選單下之第十二選項「顯示腐蝕調查碼頭」，則有腐蝕調查的碼頭區塊會由白色轉變成紅色，如圖 3.3 所示為馬公港腐蝕調查碼頭分佈位置。
4. 選用工具箱內的點選工具，再點選所欲查詢之碼頭，此時選單列的第三主選單（即「碼頭設計及調查資料」選單）底下所附屬的幾個選項（即「碼頭設計斷面圖」、「碼頭斷面文字資料」、「關閉腐

蝕調查碼頭」、「鋼板腐蝕速率展繪」、「鋼板凸測凹三面腐蝕速率比較」、「海水水質分析成果展示」等功能項等)，會由啟始的無效狀態轉變為可點選的有效狀態。

5. 當點選到碼頭物件時，該碼頭區會被異色斜紋所遮罩，此時可在第三主選單下點選「鋼板腐蝕速率展繪」選項，系統會開啟「檢測位置輸入對話框」，如圖 3.4 所示。輸入檢測位置後，系統即呼叫 surfer 程式，展繪該檢測段之腐蝕速率，成果如圖 3.5 所示，圖中上方為三維立體圖，下方為等值分佈圖。
6. 「鋼板厚度調查成果展繪選項」，其操作如步驟 5 所示。展繪成果如圖 3.6 所示。
7. 若要查詢另一港區的碼頭資料，可點選第一主選單「港埠規劃」下的倒數第二選項「選擇港區」，則系統會跳回主畫面顯示港區位置分佈圖。再依循步驟 2 至 8，可繼續查詢所需港區之相關資料。
8. 結束查詢，可在功能表的第一個主選單「港埠規劃」下，拉出最後一個選項「離開系統」，點選後則可停止本程式的執行。

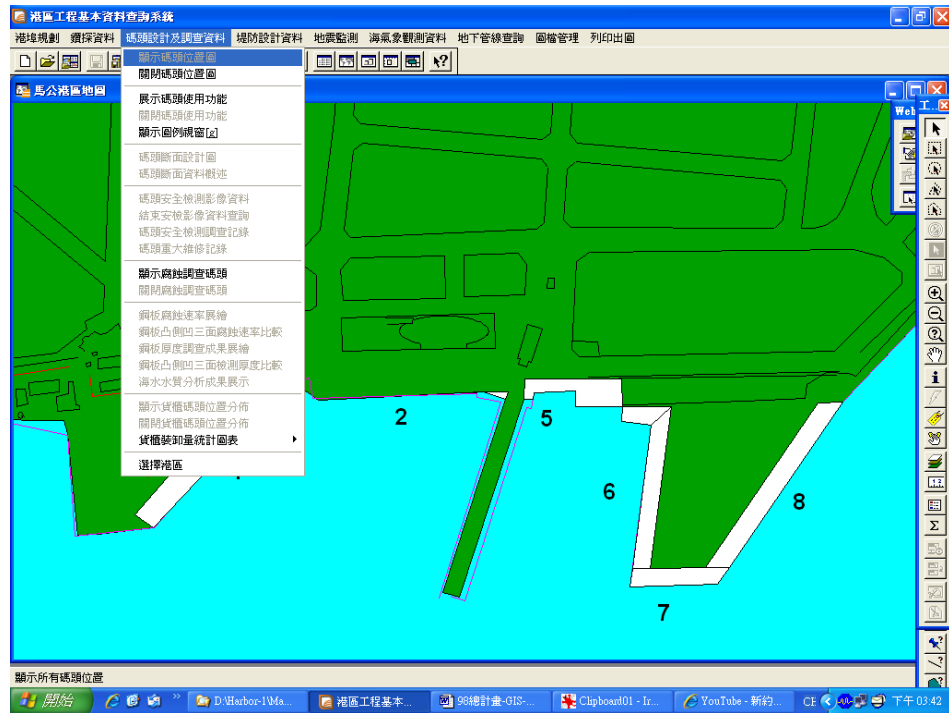


圖 3.2 馬公港碼頭資料選單下拉及碼頭位置分佈圖

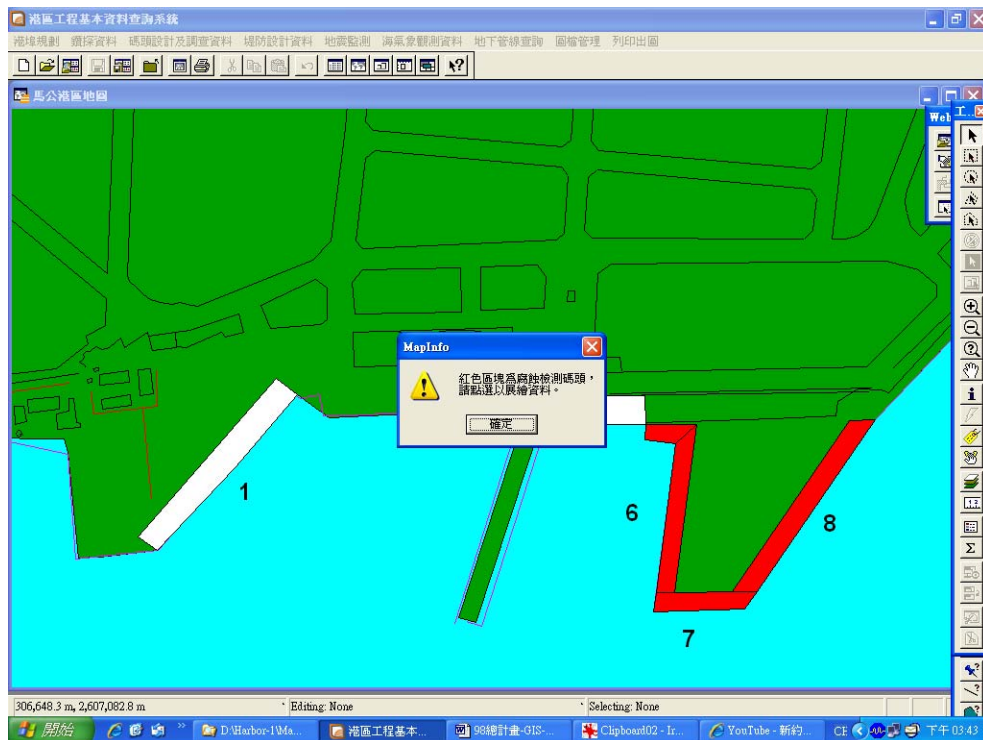


圖 3.3 馬公港腐蝕調查碼頭位置分佈圖

腐蝕調查位置點取對話框

本碼頭由南到北分三區檢測鋼管樁：
 (1)南區：由距#7轉角21m處第一個伸縮縫起，沿岸線向北檢測8根，隨後第二排檢測7根。
 (2)中區：由第三個伸縮縫起，沿岸線向北檢測5根，隨後第二排檢測4根。
 (3)北區：由第四個伸縮縫起，沿岸線向北檢測3根，隨後第二、第三排各檢測3根。
 請點取檢測點：

腐蝕調查位置

- ☒ 南區第一排8根
- ☐ 南區第二排7根
- ☐ 中區第一排5根
- ☐ 中區第二排4根
- ☐ 北區第一排3根
- ☐ 北區第二排3根
- ☐ 北區第三排3根

確定 取消

圖 3.4 檢測位置輸入對話框

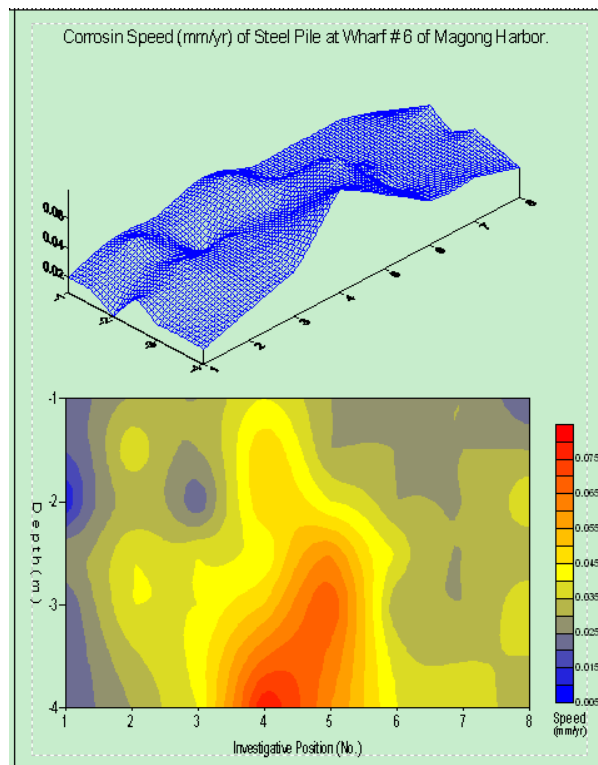


圖 3.5 馬公港腐蝕速率調查成果展繪圖

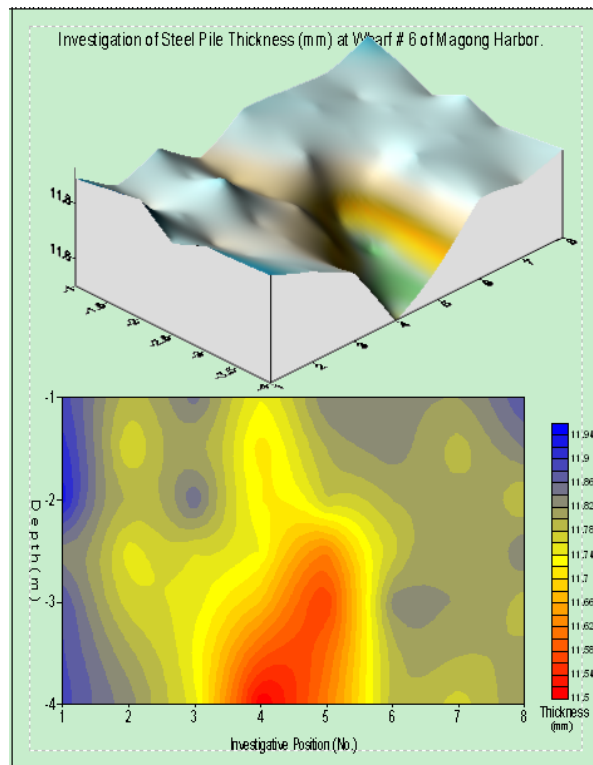


圖 3.6 馬公港鋼板厚度調查成果展繪圖

第四章 結論與建議

本研究已陸續對臺灣的五大港口及其輔助港碼頭進行碼頭構造物之腐蝕資料之蒐集與建置，同時並將腐蝕資料建置在本中心所開發的「港區工程基本資料查詢展示系統」之下。由於碼頭檢測資料每年都在更新，且查詢系統及資料庫建檔工作為一永久性的計畫，需要不斷的更新與補充，故本計畫的目的則繼續延續資料建置之基礎，更新與補充原有的資料庫，以多樣化表現方式呈現，提供給後續之資料庫建立，給使用者更方便的使用查詢系統。然而港灣工程之資料眾多，常需投入大量之人力、物力、財力及時間，而本中心之資源有限，希於往後能繼續收集各大港口之檢測資料,以充實資料庫。

4-1 結論

- 1.地理資訊系統不僅能查詢快速，更可撰寫應用模組進行資料分析，且一旦模組建立後，後續之新增資料則更方便分析與建置。
- 2.港灣工程資料之取得常需耗費大量之人力及經費，得之不易，這些珍貴資料值得有系統加以收集與整理，除了可避免資料之遺失且可做為港灣工程之維修與參考依據。
- 3.本研究提供一適當查詢系統，以多樣化表現方式呈現，建立友善介面供使用者使用。
- 4.本研究利用 MapInfo 地理資訊系統及 MapBasic 程式語言撰寫查詢分析系統，以提升資料之使用價值。

4-2 建議

- 1.查詢系統及資料庫之建置為一持續的工作，需不斷的更新，使港工資料更為完備。

2.港灣之港工材料資料庫之建立，常需投入大量之人力、物力、財力及時間，而本中心之資源有限，希於往後能繼續收集各大港口之檢測資料,以充實資料庫。

本研究之成果與效益包括：1. 更新查詢系統查詢系統，有利提昇港工材料之維護管理效能，延展港灣之服務年限。2.本研究研發建立之港灣地區腐蝕資料及查詢系統可提供港務局及相關單位在港灣工程規劃、設計及施工之參考與應用。3.本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。

參考文獻

- [1] 臺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] 臺灣省政府交通處港灣技術研究所，「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] 臺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。
- [4] 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)。
- [5] 交通部運輸研究所，「花蓮港外港防波堤及碼頭鋼板樁監測－碼頭鋼板樁暗必調查檢測」，IHMT-9001，民國 91 年 5 月。
- [6] 石黑健、白石基雄、海輪博之，"鋼矢板工法"， p571，日本，山海堂，1982。
- [7] 臺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。
- [8] 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-93-H1BA04，2004。
- [9] 交通部運輸研究所，「碼頭結構物現況調查研究」，MOTC-IOT-94-H1DA001-1，2006。