100-87-7556
MOTC-IOT-99-H1DA001

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月

100-87-7556
MOTC-IOT-99-H1DA001

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)

著 者：陳桂清、柯正龍、羅建明、張道光

交 通 部 運 輸 研 究 所
中 華 民 國 100 年 5 月

100

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)

交通部運輸研究所

GPN：1010000946
定價：500 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)
/陳桂清等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 100.05
面 ； 公分
ISBN 978-986-02-7789-0 (平裝)
1. 港埠工程 2. 港埠管理
443.2 100007768

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)

著　　者：陳桂清、柯正龍、羅建明、張道光
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587176
出版年月：中華民國 100 年 5 月
印 刷 者：良機事務機器有限公司
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港灣技術研究中心網站
定　　價： 500 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：1010000946　　ISBN：978-986-02-7789-0（平裝）
著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7789-0（平裝）	政府出版品統一編號 1010000946	運輸研究所出版品編號 100-87-7556	計畫編號 99-H1DA001

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

研究期間

自 99 年 01 月
至 99 年 12 月

關鍵詞：耐久性、腐蝕、港灣設施、維護管理系統

摘要：

臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。臺灣地區漁業興盛發達，對於國內經濟發展，亦有重大貢獻。因此，商港及漁港設施現況是否安全堪用，以確保港埠設施必正常營運與安全，降低經濟損失。由於港灣構造物大多浸入於海水下，平時檢測不易且困難，常有被忽略，安全甚為疑慮與危險。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。此外，棧橋式碼頭施工技術容易且工期較短，碼頭新建及改建常採用之，本計畫將另針對五大國際商港現有之棧橋式碼頭進行現地檢測及基本建造資料、維修工法蒐集，提供碼頭維護管理系統建置，以利於日後現地人員檢測及維護管理。

臺灣為高溫、高溼與高鹽份的環境，極易造成金屬在大氣中腐蝕劣化。本研究將承續過去已建置之試驗位址，在腐蝕嚴重的鹽害區、工業區以及腐蝕較輕微的鄉村區3處，規劃為期10年的現地暴露試驗，進行金屬腐蝕速率調查，以驗證ISO 9224規範在臺灣本島之適用性。依據NACE No.12/AWS C2.23M/ SSPC-CS 23.00、ISO 2063、ISO 14922規範，研擬無機塗裝熔射防蝕規範草案，並檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之完整性，期能供鋼構造物耐久性與防蝕設計之參考。

本計畫共包括3個子計畫：1)子計畫一：臺灣地區商港及魚港設施現況調查之研究，2) 子計畫二：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損與維護之研究，3) 構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究。

本計畫執行時間為兩年，本年度為計畫執行之第二年期，已完成：1.新竹漁港、臺中梧棲漁港、高雄前鎮漁港、屏東縣東港及鹽埔漁港碼頭設施之現況調查及評估；2. 棧橋式碼頭面版腐蝕、劣損資料蒐集與維護系統建置、基隆港西14至西18號及東2至東7號碼頭、臺中港西3號及高雄港54至58號碼頭現況調查與評估；3.完成「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究」，內容包含大氣腐蝕現地金屬試片暴露試驗、塗裝防蝕規範草擬與檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案、臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫更新與維護等。

本計畫之研究效益，除研究成果可提供港務局等做維護策略參考外，研究過程中採用或建置完成之相關檢測方法與實施流程，均可提供國內各港務局應用於相關碼頭設施維護管理作業需要與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。此外，金屬材料大氣腐蝕成果並可提供公路局、港務局及相關單位作為金屬材料選用依據，達到符合各地

區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
100 年 5 月	582	500	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: Harbor structures life cycle and maintenance (2/2)

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-02-7789-0 (pbk)	1010000946	100-87-7556	99-H1DA001

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuei-Ching Chen
PROJECT STAFF: Jeng-Long Ko, Chien-Ming Lo,Tao-Kuang Chang
PROJECT TECHNICIAN: Y. Q. Chen, Y. S. Chen, C. R. Lee, Z. M. Lee, M. H. He
PHONE: 04-26587188
FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD

FROM January 2010
TO December 2010

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

ABSTRACT：

Marine transportation plays a major role in international trade and shipment in Taiwan. Facilities in good condition, normal operation and safety of port will positively influence import-export stuff circulation and national economic development. In the meanwhile, fishery also contributes hugely to domestic development. Therefore, physical condition of commercial and fishing ports facilities and its safety must be comprehensively supervised in order to assure ports in normal operation, security and cutting down loss. Thus, field surveying, environmental factors, and maintenance strategy were the main focus of this study.

A ten-year exposure test will be continuously implemented in the present study. Corrosion rate data of three test locations, where classified as marine environment, industrial environment, and rural environment individually, will be collected to verify the guiding corrosion rate values for the corrosivity categories in ISO 9224. In addition, guidelines of “Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems and Thermal Spray Systems” were drafted based on ISO 12944 and ISO 2063, ISO 14922, and NACE No. 12/ AWS C2.23M/ SSPC-CS 23.00.

For above aspects, three subjects were executed in the study. They were as follows: (1) sub-project 1: Study of Field Survey on commercial and fishing port facilities in Taiwan, (2) sub-project 2: Study of Corrosion deterioration and maintenance on trestle type wharf deck,(3) sub-project 3: Study of environmental corrosivity classification for structures.

The study is a two-year period of research. Many jobs had been done in this year, the second year of study. They were included as follows: (1) physical surveying and evaluation of fishery ports at Shinchu, Wuchi, Chenjhen, Donkong and Yenpu, (2) collecting corrosion situations & deteriorated information of trestle type wharves in Taiwan and establishing its maintenance system, and completing wharves physical inspection and evaluation of No. 14 to No. 18 at west side & No. 2 to No. 7 at east side of Keelung Harbor, No. 3 at west side of Taichung Harbor, and No. 54 to No. 58 of Kaohsiung Harbor, (3) completing the task of potential analysis of structures corrosion environmental classification, which including atmospheric metal exposure test, draft of anti-corrosion painting criteria and revising existed system of corrosion information data and its environmental classification of Taiwan area.

The research results will provide maintenance strategies for harbor bureaus. The relative inspecting methods and procedures can be applied in harbor-facilities management system, and will lead to further study in the future. In addition, results obtained from atmospheric corrosion tests could also provide appropriate metals & alloys applied in construction material and meet

local corrosion environmental requirements. Thus, it could assure all public engineering constructions such as bridge, wharf structures to meet the life-service design or even longer, and avoid or reduce engineering tragedies happening. It would also reduce social cost and enhance economic efficiency.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
May 2011	582	500	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

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

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)

目　錄

中文摘要 I

英文摘要 III

表目錄 XI

圖目錄 XVII

第一章 緒論 1-1

1.1 生命週期維護管理定義 1-3

1.2 生命週期維護管理特性 1-8

1.3 生命週期維護管理流程 1-11

1.4 生命週期維護管理角色扮演 1-13

1.5 設施資產管理 1-15

第二章 研究計畫概述 2-1

2.1 研究時程 2-1

2.2 計畫摘要與研究內容 2-1

2.2.1 子計畫(一)：臺灣地區商港及漁港設施現況調查 2-1

2.2.2 子計畫(二)：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護 2-2

2.2.3 子計畫(三)：構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究 2-3

第三章 臺灣地區商港及漁港設施現況調查 3-1

3.1 前言 3-1

3.1.1 研究動機 3-1

3.1.2 研究目的 3-2
3.1.3 研究範圍 3-2
3.2 文獻回顧 3-2
3.2.1 碼頭結構型式 3-3
3.2.2 港灣 R.C.結構物安全檢測項目 3-13
3.2.3 檢測及評估實施時機 3-15
3.2.4 結構物安全檢測評估 3-18
3.3 研究方法與進行步驟 3-22
3.3.1 調查範圍 3-23
3.3.2 構造物基本資料蒐集 3-24
3.3.3 檢測及維修歷史 3-24
3.3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測 3-24
3.3.5 鋼筋混凝土材料劣化檢測 3-26
3.3.6 鋼構造物儀器檢測 3-32
3.3.7 非主結構體檢測 3-35
3.3.8 構造物初步檢測評估 3-36
3.3.9 完成檢測或進行細部評估 3-38
3.4 結果與討論 3-39
3.4.1 基隆港西 14 號碼頭 3-39
3.4.2 基隆港西 15 號碼頭 3-48
3.4.3 基隆港西 16 號碼頭 3-55
3.4.4 基隆港西 17 號碼頭 3-61
3.4.5 基隆港西 18 號碼頭 3-66

3.4.6 臺中港西 3 號碼頭 3-71
3.4.7 基隆港東 2 號碼頭 3-76
3.4.8 基隆港東 3 號碼頭 3-81
3.4.9 基隆港東 4 號碼頭 3-84
3.4.10 基隆港東 5 號碼頭 3-87
3.4.11 基隆港東 6 號碼頭 3-90
3.4.12 基隆港東 7 號碼頭 3-94
3.4.13 高雄港 54 號碼頭 3-96
3.4.14 高雄港 55 號碼頭 3-101
3.4.15 高雄港 56 號碼頭 3-104
3.4.16 高雄港 57 號碼頭 3-107
3.4.17 高雄港 58 號碼頭 3-110
3.4.18 新竹市新竹漁港 3-113
3.4.19 臺中縣梧棲漁港 3-121
3.4.20 高雄市前鎮漁港 3-127
3.4.21 屏東縣東港鹽埔漁港 3-133
3.5 碼頭維護管理系統與檢測評估與維護手冊 3-146
3.6 小結 3-147
第四章 棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護 4-1
4.1 緒論 4-1
4.1.1 研究計畫背景與目的 4-1
4.1.2 研究範圍與對象 4-3
4.2 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化相關檢測方法 4-4

4.2.1 碼頭面板鋼筋腐蝕及混凝土劣化機制 4-4
4.2.2 鋼筋混凝土腐蝕原因 4-7
4.2.3 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測 4-11
4.3 碼頭現場檢測實施成果 4-11
4.3.1 港灣結構安全檢測項目 4-13
4.3.2 受測碼頭及檢測單元區分 4-14
4.4 港灣結構安全檢測評估 4-46
4.4.1 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估方式及理論基礎 4-46
4.4.2 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估分類 4-52
4.4.3 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估實例分析 4-55
4.5 小結 4-57
第五章 構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究 5-1
5.1 計畫背景分析 5-1
5.1.1 計畫目的 5-1
5.1.2 計畫之重要性 5-1
5.1.3 國內外有關本計畫之研究情況 5-2
5.2 研究範圍、目的與方法 5-6
5.2.1 研究內容與工作項目 5-6
5.2.2 研究方法及進行步驟 5-6
5.3 文獻回顧 5-12
5.3.1「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究 (1/2)」研究成果 5-12
5.3.2 金屬熱噴覆 5-18

5.4 現地金屬試片暴露試驗 5-26
5.4.1 金屬試片 5-26
5.4.2 試片現場安裝 5-27
5.4.3 試片腐蝕生成物清除與測試 5-33
5.4.4 腐蝕速率計算與調查結果比較 5-35
5.5 無機塗裝防蝕規範草案研擬 5-40
5.5.1 ISO 2063 5-40
5.5.2 NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 5-41
5.5.3 ISO 14922 5-43
5.6 港灣構造物陰極防蝕準則草案增修 5-48
5.6.1 鋼筋混凝土外加電流式陰極防蝕陽極系統介紹 5-48
5.6.2「港灣構造物陰極防蝕設計規範（草案）」檢討與增修 5-60
5.7 大氣腐蝕因子資料庫功能維護與擴充 5-66
5.7.1 系統功能規劃 5-66
5.7.2 新增數據與資料上架 5-66
5.7.3 資料庫資料結構擴充與程式調整 5-70
5.7.4 Goolgle Map 整合 5-71
5.7.5 系統功能展望 5-74
5.8 小結與建議 5-76
5.8.1 小結 5-76
5.8.2 建議 5-77
第六章 結論 6-1
參考文獻 參-1

附錄一 鋼板樁厚度檢測紀錄..... 附錄 1-1
附錄二 碼頭維護管理系統..... 附錄 2-1
附錄三 碼頭設施檢測評估與維護手冊..... 附錄 3-1
附錄四 期末審查意見及辦理情形說明表..... 附錄 4-1
附錄五 期末報告簡報資料..... 附錄 5-1

表 目 錄

表 1-1 維護策略比較表 1-8

表 1-2 資產管理之各國定義 1-15

表 1-3 設施管理與營運方法過去與現在差異比較表 1-18

表 3-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表 3-10

表 3-2 板樁式碼頭各構件產生異狀列表 3-12

表 3-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀列表 3-13

表 3-4 港灣構造物細部構材檢測建議項目 3-14

表 3-5 碼頭構造物初步檢測評估表 3-25

表 3-6 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係 3-28

表 3-7 圓柱試體長度直徑比 3-31

表 3-8 超音波脈波速度與混凝土品質之關係 3-31

表 3-9 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係-1 3-37

表 3-9(續) 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係-2 3-38

表 3-10 基隆港西 14 號碼頭結構資料 3-39

表 3-11 基隆港西 14 號碼頭電阻係數等試驗結果 3-44

表 3-12 基隆港西 14 號碼頭鑽心試體抗壓強度等試驗結果 3-44

表 3-13 基隆港西 14 號碼頭鑽心試體之超音波脈波速度 3-45

表 3-14 基隆港西 14 號碼頭氯離子檢測結果 3-45

表 3-15 基隆港西 14 號碼頭初步檢測表 3-47

表 3-16 基隆港 15 號碼頭結構資料 3-48
表 3-17 基隆港西 15 號碼頭電阻係數等試驗結果 3-51
表 3-18 基隆港西 15 號碼頭鑽心試體之抗壓強度等試驗結果 3-51
表 3-19 基隆港西 15 號碼頭鑽心試體之超音波脈波速度 3-52
表 3-20 基隆港西 15 號碼頭氯離子檢測 3-52
表 3-21 基隆港西 15 號碼頭初步檢測表 3-54
表 3-22 基隆港西 16 號碼頭鋼管樁保護電位量測結果 3-58
表 3-23 基隆港西 16 號碼頭初步檢測表 3-60
表 3-24 基隆港西 17 號碼頭岸壁混凝土試錘試驗結果 3-63
表 3-25 基隆港西 17 號碼頭初步檢測表 3-65
表 3-26 基隆港西 18 號碼頭岸壁混凝土試錘試驗結果 3-68
表 3-27 基隆港西 18 號碼頭初步檢測表 3-70
表 3-28 臺中港西 3 號碼頭初步檢測表 3-75
表 3-29 Z-38 鋼版樁斷面性能 3-77
表 3-30 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-78
表 3-31 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 3-79
表 3-32 基隆港東 2 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-81
表 3-33 基隆港東 3 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-82
表 3-34 基隆港東 3 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 3-83
表 3-35 基隆港東 3 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-84
表 3-36 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-85

表 3-37 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 3-86
表 3-38 基隆港東 4 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-87
表 3-39 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-88
表 3-40 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 3-89
表 3-41 基隆港東 5 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-90
表 3-42 基隆港東 6 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-91
表 3-43 基隆港東 6 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 3-92
表 3-44 基隆港東 6 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-93
表 3-45 基隆港東 7 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-94
表 3-46 基隆港東 7 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果 3-95
表 3-47 基隆港東 7 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-96
表 3-48 高雄港 54 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-99
表 3-49 高雄港 54 號碼頭鋼板樁保護電位值 3-100
表 3-50 高雄港 54 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-101
表 3-51 高雄港 55 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-102
表 3-52 高雄港 55 號碼頭鋼板樁保護電位值 3-103
表 3-53 高雄港 55 號碼頭陽極塊發生電位值 3-104
表 3-54 高雄港 56 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-105
表 3-55 高雄港 56 號碼頭鋼板樁保護電位值 3-106
表 3-56 高雄港 56 號碼頭陽極塊電位量測結果 3-107
表 3-57 高雄港 57 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-108

表 3-58 高雄港 57 號碼頭鋼板樁保護電位值 3-109
表 3-59 高雄港 57 號碼頭陽極塊發生電位值 3-110
表 3-60 高雄港 58 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率 3-111
表 3-61 高雄港 58 號碼頭鋼板樁保護電位值 3-112
表 3-62 高雄港 58 號碼頭陽極塊發生電位值 3-113
表 3-63 新竹漁港現有主要設施 3-114
表 3-64 梧棲漁港現有主要設施 3-122
表 3-65 前鎮漁港現有主要設施 3-128
表 3-66 東港鹽埔漁港現有主要設施 3-134
表 3-67 應用 DER 法評估結果彙整表 3-145
表 3-68 鋼板樁腐蝕速率檢測結果彙整表 3-145
表 3-69 鋼板樁保護電位檢測結果彙整表 3-146
表 3-70 陽極塊發生電位檢測結果彙整表 3-146
表 4-1 美國 ACI Committee 224 規範 4-10
表 4-2 日本對海洋混凝土結構物之裂縫限制 4-11
表 4-3 歐洲地區混凝土結構物裂縫寬度之限制 4-11
表 4-4 混凝土反彈錘試驗(有磨耗層強度測試) 4-28
表 4-5 混凝土反彈錘試驗(無磨耗層強度測試) 4-32
表 4-6 混凝土鑽心試體抗壓強度試驗結果 4-34
表 4-7 混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較 4-35
表 4-8 混凝土中性化試驗 4-35

表 4-9　碼頭面板氯離子濃度試驗 4-36

表 4-10 各面板氯離子含量平均值 4-38

表 4-11 車檔護欄氯離子含量 4-38

表 4-12 裂縫寬度及深度試驗 4-39

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗 4-40

表 4-14 整體結構破壞指標相關之係數 4-51

表 4-15 棧橋式碼頭檢測表(B1 表) 4-54

表 4-16 各構件破壞指數計算表4-10 表 5.1　大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分 4-55

表 4-17 整體破指標所需參數值 4-56

表 5-1 大氣腐蝕環境分類—比各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分 5-13

表 5-2　暴露一年期各金屬之腐蝕速率與腐蝕環境分類 5-14

表 5-3　金屬熱噴覆在防蝕工程上的應用-美國 5-25

表 5-4　美國各州 DOT 使用金屬熱噴覆之案例 5-25

表 5-5　金屬熱噴覆在海洋環境之防蝕研究 5-26

表 5-6　英國 BS Standard 6593 及 2569 建議之熱噴覆防蝕 5-26

表 5-7　現地暴露試驗 2009.06.10 試片遺失明細表 5-29

表 5-8　化學清洗使用的化學藥品及各項條件 5-33

表 5-9　暴露一年期各金屬之腐蝕速率與腐蝕環境分類 5-37

表 5-10 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分 5-38

表 5-11 暴露二年期各金屬之腐蝕速率 5-39

表 5-12 各種陽極的應用 5-49

表 5-13 鋼筋混凝土陰極保護各式 MMO 鈦基材陽極之比較 5-57

表 5-14 Access 資料庫資料表欄位擴充說明 5-70

圖 目 錄

圖 1.1　升級式維護管理示意圖 1-4
圖 1.2　預防式維護管理示意圖 1-6
圖 1.3　積極式維護管理示意圖 1-7
圖 1.4　設施生命週期維護管理流程圖 1-13
圖 1.5　設施資產維護管理系統架構圖 1-19
圖 1.6　重要的資產管理架構必要條件 1-19
圖 3.1　沈箱式碼頭 3-4
圖 3.2　方塊式碼頭 3-4
圖 3.3　L 型塊式碼頭 3-4
圖 3.4　錨碇板式碼頭 3-5
圖 3.5　直樁棧橋式碼頭 3-6
圖 3.6　斜樁棧橋式碼頭 3-7
圖 3.7　導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 3-8
圖 3.8　導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖 3-9
圖 3.9　重力式方塊碼頭構件標示 3-9
圖 3.10 重力式沉箱碼頭構件標示 3-10
圖 3.11 版樁式碼頭結構產生外部異象之主要機制示意圖 3-11
圖 3.12 港灣結構安全檢測實施流程圖 3-17
圖 3.13 構造物現況調查流程 3-23

圖 3.14 鋼筋腐蝕電位量測示意圖 3-28
圖 3.15 測厚儀量測之示意圖 3-32
圖 3.16 防蝕效果的判定方法 3-34
圖 3.17 電位測定示意圖 3-34
圖 3.18 陽極尺寸測定示意圖 3-35
圖 3.19 基隆港碼頭位置示意圖 3-39
圖 3.20 基樁式碼頭正剖面示意圖 3-40
圖 3.21 擁壁式碼頭正剖面示意圖 3-41
圖 3.22 基隆港西 14 號碼頭上部結構現況 3-41
圖 3.23 基隆港西 14 號碼頭非破壞性檢測位置示意圖 3-44
圖 3.24 基隆港西 14 號碼頭非破壞檢測位置示意圖 3-45
圖 3.25 基隆港西 14 號碼頭基樁式面版調查照片 3-46
圖 3.26 基隆港西 15 號碼頭上部結構現況 3-48
圖 3.27 基隆港西 14 號碼頭非破壞檢測位置示意圖 3-51
圖 3.28 基隆港西 15 號碼頭非破壞檢測位置示意圖 3-52
圖 3.29 基隆港西 15 號碼頭基樁式面版調查照片 3-53
圖 3.30 基隆港西 16 至西 18 號碼頭結構型式 3-55
圖 3.31 基隆港西 16 號碼頭上部結構現況 3-55
圖 3.32 基隆港西 16 號碼頭新舊交接處現況調查照片 3-59
圖 3.33 基隆港西 17 號碼頭碼頭上部結構現況 3-61
圖 3.34 基隆港西 17 號碼頭新舊交接處調查照片 3-64

圖 3.35 基隆港西 18 號碼頭上部結構現況.....3-66
圖 3.36 基隆港西 18 號碼頭新舊交接處調查照片.....3-69
圖 3.37 臺中港西 3 號碼頭位置示意圖.....3-71
圖 3.38 臺中港西 3 號碼頭結構型式.....3-72
圖 3.39 臺中港西 3 號碼頭上部結構現況照片.....3-72
圖 3.40 基隆港東 2 至東 4 號碼頭斷面.....3-76
圖 3.41 Z-38 鋼板樁型式.....3-76
圖 3.42 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係3-78
圖 3.43 陽極塊型式及安裝位置.....3-80
圖 3.44 基隆港東 3 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係3-82
圖 3.45 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係3-85
圖 3.46 基隆港東 5 至東 7 號碼頭斷面示意圖.....3-87
圖 3.47 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係3-89
圖 3.48 基隆港東 6 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係3-92
圖 3.49 基隆港東 7 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係3-95
圖 3.50 高雄港 54 至 57 號碼頭平面佈置.....3-97
圖 3.51 高雄港 54 至 57 號碼頭結構斷面.....3-97
圖 3.52 高雄港 54 至 57 號碼頭 FSP ⅣA U 型鋼板樁 BOX 型式...3-98
圖 3.53 高雄港 54 碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖.....3-98
圖 3.54 高雄港 54 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係 3-99
圖 3.55 高雄港 55 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係 3-102

圖 3.56 高雄港 56 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係 3-105
圖 3.57 高雄港 57 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係 3-108
圖 3.58 高雄港 58 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係 3-111
圖 3.59 新竹漁港平面配置圖.....3-115
圖 3.60 新竹漁港碼頭配置示意圖.....3-116
圖 3.61 新竹漁港北防波堤結構型式.....3-116
圖 3.62 新竹漁港北防砂堤結構型式.....3-117
圖 3.63 新竹漁港內泊地碼頭結構型式.....3-117
圖 3.64 新竹漁港北突堤碼頭（直立部）結構型式.....3-118
圖 3.65 新竹漁港南突堤碼頭（直立部）結構型式.....3-118
圖 3.66 新竹漁港維護南、北突堤結構型式.....3-119
圖 3.67 新竹漁港南防波堤（一）結構型式.....3-119
圖 3.68 新竹漁港南防波堤（二）結構型式.....3-119
圖 3.69 新竹漁港碼頭現況.....3-120
圖 3.70 梧棲漁港平面配置圖.....3-123
圖 3.71 梧棲漁港碼頭配置示意圖.....3-124
圖 3.72 梧棲漁港-4.5M 碼頭結構型式.....3-124
圖 3.73 梧棲漁港浮動碼頭結構型式.....3-125
圖 3.74 梧棲漁港浮動碼頭平台結構型式.....3-125
圖 3.75 梧棲漁港-3.5M 碼頭結構型式.....3-125
圖 3.76 梧棲漁港碼頭現況.....3-126

圖 3.77 前鎮漁港平面配置圖 3-129
圖 3.78 前鎮漁港碼頭配置示意圖 3-130
圖 3.79 前鎮漁港深水碼頭結構型式 3-130
圖 3.80 前鎮漁港西南碼頭結構型式 3-130
圖 3.81 前鎮漁港內突提碼頭結構型式 3-131
圖 3.82 前鎮漁港公務碼頭結構型式 3-131
圖 3.83 前鎮漁港護岸結構型式 3-131
圖 3.84 前鎮漁港碼頭現況 3-132
圖 3.85 東港漁港平面配置圖 3-135
圖 3.86 東港漁港碼頭配置示意圖 3-136
圖 3.87 東港漁港南防波堤結構型式 3-136
圖 3.88 東港漁港南側深水碼頭結構型式 3-137
圖 3.89 東港漁港內突堤碼頭結構型式 3-137
圖 3.90 東港漁港加油碼頭結構型式 3-138
圖 3.91 東港漁港北側深水碼頭結構型式 3-138
圖 3.92 東港漁港北岸突堤結構型式 3-139
圖 3.93 東港漁港導流堤碼頭結構型式 3-139
圖 3.94 東港漁港導流堤突堤碼頭結構型式 3-139
圖 3.95 東港漁港碼頭現況 3-140
圖 3.96 鹽埔漁港平面配置圖 3-141
圖 3.97 鹽埔漁港碼頭配置示意圖 3-142

圖 3.98 鹽埔漁港南防波堤結構型式.....3-142
圖 3.99 鹽埔漁港西海堤結構型式.....3-142
圖 3.100 鹽埔漁港、東南碼頭結構型式.....3-143
圖 3.101 鹽埔漁港北碼頭結構型式.....3-143
圖 3.102 鹽埔漁港突堤碼頭結構型式.....3-143
圖 3.103 鹽埔漁港碼頭現況.....3-144
圖 4.1 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖.....4-12
圖 4.2 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖.....4-13
圖 4.3 高雄港 118 號碼頭斷面示意圖.....4-16
圖 4.4 碼頭平面單元區分示意圖.....4-17
圖 4.5 碼頭面版樑版平面圖.....4-18
圖 4.6 反彈錘測試儀.....4-20
圖 4.7 現地強度量測.....4-20
圖 4.8 現場鑽心取樣情形.....4-21
圖 4.9 鑽心試體切割蓋平.....4-22
圖 4.10 SUMMIT 抗壓試驗機.....4-22
圖 4.11 試體抗壓試驗及破裂狀態.....4-22
圖 4.12 鑽心試體中性化情形.....4-23
圖 4.13 混凝土粉末浸泡於蒸餾水.....4-24
圖 4.14 鹽份濃度量測.....4-24
圖 4.15 超音波探測儀面板示意圖.....4-25

圖 4.16 碼頭量測情形 4-26
圖 4.17 護欄裂縫量測情形 4-26
圖 4.18 面版縱斷面鋼筋配置圖 4-27
圖 4.19 面版縱斷面鋼筋位置圖 4-27
圖 4.20 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖 4-49
圖 5.1 ISO 大氣腐蝕環境分類 5-3
圖 5.2 計畫作業流程圖 5-7
圖 5.3 鋼鐵結構金屬熱噴覆作業流程 5-24
圖 5.4 2010 年 9 月 15 日港研究中心現場試片外觀，碳鋼、鋅、鋁暴露約 2 年，銅暴露約 1 年 3 個月 5-30
圖 5.5 2010 年 9 月 15 日麥寮工業區現場試片(暴露約 2 年)之外觀 5-31
圖 5.6 2010 年 9 月 15 日溪頭森林區現場試片(暴露約 2 年)之外觀 5-32
圖 5.7 腐蝕生成物清除法作業流程圖 5-34
圖 5.8 MMO 鈦網陽極 5-58
圖 5.9 MMO 鈦網陽極安裝 5-58
圖 5.10 MMO 鈦網陽極表面以噴漿覆蓋 5-58
圖 5.11 MMO 鈦網條狀陽極 5-58
圖 5.12 溝槽切割 5-58
圖 5.13 MMO 鈦網條狀陽極安裝 5-58
圖 5.14 溝槽以混凝土填實 5-59

圖 5.15 MMO 鈦柱陽極 5-59
圖 5.16 鑽孔 5-59
圖 5.17 陽極安裝孔洞 5-59
圖 5.18 陽極安裝完成 5-59
圖 5.19 MMO 鈦帶陽極 5-59
圖 5.20 MMO 鈦帶陽極安裝 5-60
圖 5.21 陽極安裝完成 5-60
圖 5.22 濕潤時間新增資料顯示 5-67
圖 5.23 2009 年金屬現地試驗相片資訊 5-67
圖 5.24 氯離子新增資料顯示 5-68
圖 5.25 氯離子新增資料顯示(詳細) 5-68
圖 5.26 碳鋼(Fe)新增資料顯示 5-69
圖 5.27 碳鋼(Fe)新增資料顯示(詳細) 5-69
圖 5.28 Access 資料庫資料表(view_totaldata 的擴增結果) 5-71
圖 5.29 GoogleMap 整合操作觀察試驗點 5-72
圖 5.30 GoogleMap 整合衛星地圖觀察試驗點 5-73
圖 5.31 單一試驗點整合資訊視窗 5-73
圖 5.32 GoogleMap 觀察試驗點街景(StreetView)效果 5-74

第一章　緒論

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

臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。此外，臺灣地區漁業興盛發達，對於國內經濟發展，亦有重大貢獻，其碼頭、防波堤等設施均需建立安全檢測與維護機制，以確保能安全營運。

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

目前國外一些先進國家如美國、加拿大等，其維護管理均採生命週期維護管理之觀念，依據工程結構營運目標的訂定，藉由安全性及服務性的提昇，配合設施的現況評估及其危害度評估與風險分析，決定各結構物施予維護管理之優先序及維護方式，再根據優先序及維護方式，進行結構物之維護管理規劃，並以成本－效益分析為基礎，編列合理化之維護管理經費，之後，透過公聽會讓結構物維護管理經費之取得與分配程式透明化。

隨著國內重大公共建設陸續完成，以及 70 年代大量興建的十大建設，十二項建設等公共工程進入「中年期」，維護管理問題將成為國內工程界未來的首要挑戰。在臺灣，既有的設施構造由於過度的使用、頻仍的天然災害，以及材料的老劣化，使得結構體普遍在邁入原設計服務年限的「中年期」，亦即約 25 至 30 年，即出現服務功能折損或不敷現況需求的現象。而國內以往維護管理工程的層級，仍多停留在消極的目視巡查與一般的清理養護，而對於設施的功能折損，也多是採取被動的「壞了再修」策略。面對數量逐漸成長的設施，為了恢復其原有功能，達到永續經營的目的，如何研擬妥適的維護管理對策必將成為未來工程界的重要工作。除了既有設施構造以外，針對較大型且系統龐雜的新建工程，更應在規劃設計階段便備妥適當的維護管理計畫，除了能有效地確保設施系統的正常運作之外，更希望能延長設施系統的服務年限，達成資源永續的目標。

綜上所述，積極性的維護工程在質與量上都與傳統的養護工作有極大的差異，傳統的養護工作僅止於消極地維持設施功能，且較偏重於清理、打掃及小型的零星修補工程，而積極性的維護工程則是以結構設施的生命週期為基本考量，維持設施服務水準與操作的穩定，甚至延長其服務年限。積極性的維護工程包含了養護、維修、補強、管理，甚至防災等傳統養護工作沒有的工程項目，而維護工程的成效紀錄更可以回饋至規劃、設計甚或投資面的檢討，涵蓋了設施的全生命週期。在量的方面，維護工程將取代原有的新建工程成為主軸工程項目，包括設施養護、維修、補強、功能擴充以及災時搶修、災後復建等維護工程需求勢必大量成長；而在質的方面，以往新建工程較單純的施工程式與技術需求，也將轉變為施工程式複雜而且技術整合要求需因時、因地制宜的維護工程。

歐、美、日等先進國家於 90 年代後期即已發覺維護工程的重要性，且陸續投入大量的人力、物力進行相關的政策與技術研究，然而國內對此議題之研究起步較晚。有鑑於此，本章彙整國外相關文獻，並檢討國內目前公共工程維護管理架構，以生命週期維護工程(Life Cycle

Maintenance Engineering, LCME)的概念從介紹維護工程的定義、特性，到詳述說明生命週期維護工程的內容，並提出生命週期維護工程指標以及工程界各單位元針對維護工程之參與角色定位，冀能提升工程界對維護工程的瞭解與重視，並提供政府政策執行與產業轉型升級的推動方向。

1.1 生命週期維護管理定義〔1-20〕

港灣設施在使用期間，因受種種外在條件之影響而產生劣化損壞，為了維持設施應有功能及延長其使用壽命，必須對結構進行經常性之養護維修作業。當結構物無法滿足承載能力(如荷載標準提高、原結構嚴重損傷從而承載能力降低)及正常營運功能等要求時，則需對港灣設施進行必要之維修補強。

早期國內之維護管理措施為依據巡查或檢測資料，分析現況及其功能性，並依巡查或檢測後之結果進行定期養護或修復補強措施。然而，由國外近年之維護管理相關參考文獻可知，此舉已無法符合日漸繁複之維護管理需求。因此，本計畫參考國外近年之維護管理相關文獻，建議將維護等級訂定為(1)定期維護(routine)，(2)預防維護(preventive)，(3)反應維護(breakdown)，(4)升級維護(upgrade)等四級之維護等級。

依據維護等級，可將維護管理策略可分為下列四種方式。

1.升級式維護管理

升級式維護管理為「升級維護」等級所採取之策略，其係指由於法令規章之修正、運輸功能不敷使用等因素，致使設施需經由補強、改建等措施以提升其服務水準，如圖 1.1 所示，功能指數為設施服務水準指標，其將因老劣化等因素隨時間之增加而逐漸降低，一般而言，維護管理人員於設施損壞時(即其功能指數降低至不敷使用時)執行維護管理措施，以再次提升其功能指數達最佳服務水準狀

態；升級式維護管理除了因上述因素而提高其功能指數外，可於改善工程執行之同時，綜合檢討設施現況、功能、危害度等並加以改善，使劣化曲線較為和緩，且降低其日後執行維護管理所需之能量(即 $df_7 < df_0$)。

2.反應式維護管理(Breakdown Maintenance)

反應式維護管理為「反應維護」等級所採取之策略，其係指設施經由一般目視檢測或通報系統發現破壞發生，因其破壞程度、範圍可能對碼頭產生安全或使用之影響，而採取之維護管理措施，如圖 1.1 所示，反應式維護管理表示功能指數到達破壞點時才進行維修措施，以致維修時需要相當之干擾時間(T_0)及功能提升所需能量(df_0)。

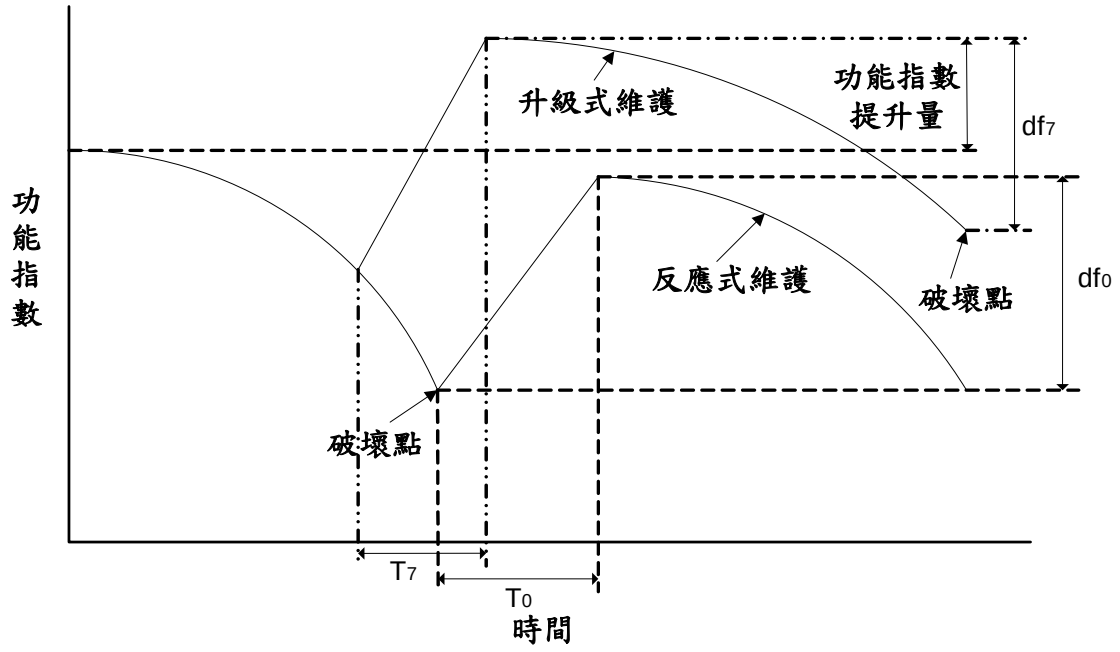
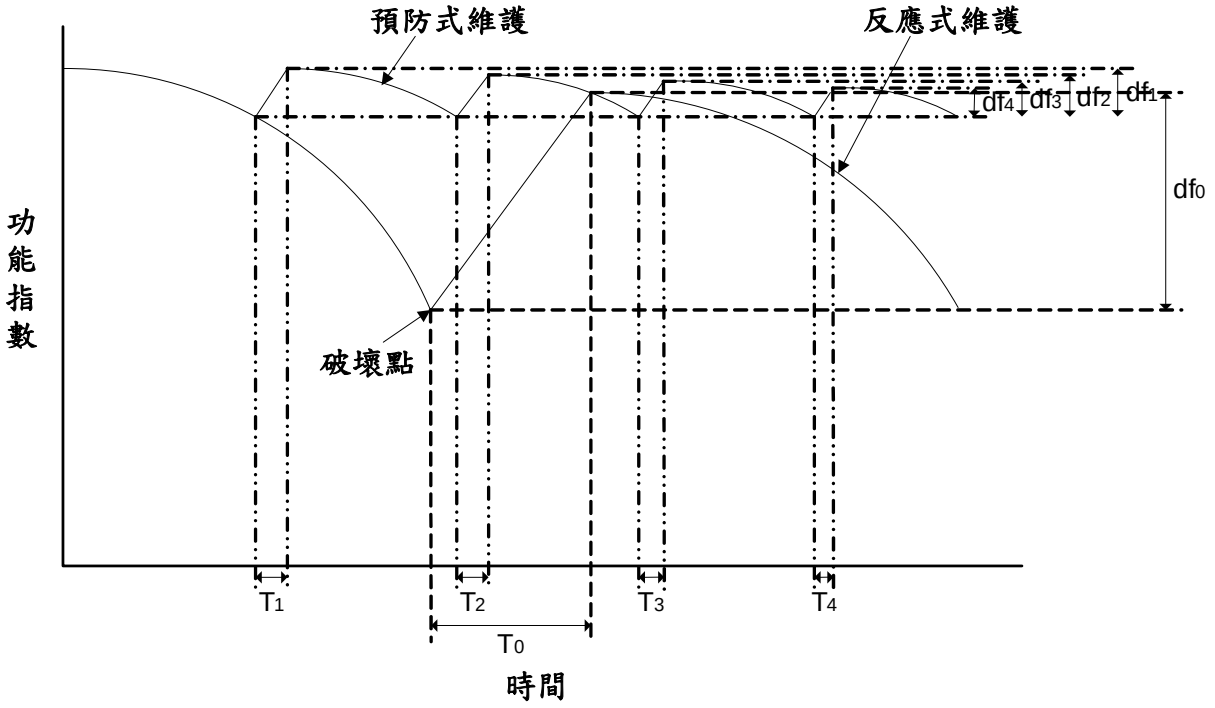


圖 1.1 升級式維護管理示意圖

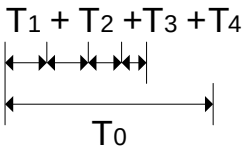
3.預防式維護管理(Preventive Maintenance)

預防式維護管理為「預防維護」等級所採取之策略，其係指透過維護管理歷史資訊，來訂定維修或養護策略，此種維修方式之維修時機位於破壞開始發生時間點之前，其以較短之干擾時間(T_1~T_4)及較少之功能昇所需能量(df_1~df_4)對設施進行維護管理，如圖 1.2 所示。從圖 1.2 可看出預防式維護管理與反應式維護管理間之差異，其中 T_0 及 df_0 分別為反應式維護管理之干擾時間及功能提昇至原設計所需之能量；T_1~T_4 及 df_1~df_4 分別為預防式維護管理之干擾時間及功能提昇至原設計所需之能量，雖然預防式維護之管理干擾次數較為頻繁，一般而言，反應式維護管理干擾時間(T_0)及功能提昇所需之能量(df_0)會比預防式維護管理生命週期內之總干擾時間($T_1+T_2+T_3+T_4$)及功能提昇所需之總能量($df_1+df_2+df_3+df_4$)為高。

積極式維護管理(Proactive Maintenance)為預防式維護管理的一種，其係指透過監測資料與破壞原因探討，及生命週期維護管理進行破壞原因之根除及維修，使設施結構之生命週期內維修所需總能量達到最小($df_5+df_6<df_1+df_2+df_3+df_4<df_0$)，且維修之總干擾時間最短($T_5+T_6<T_1+T_2+T_3+T_4<T_0$)，如圖 1.3 所示。從圖 1.2 與圖 1.3 之比較，可看出預防式維護管理由於未根治設施破壞原因，因此修護完成後之功能劣化趨勢與原設施相同；積極式維護管理對於破壞原因加以根絕，因此修護後之設施功能劣化趨勢將更為緩和。比較積極式維護管理與預防式維護管理，雖然積極式維護每一干擾期之干擾時間較長，因對破壞發生原因探討及修護，若長期比較其干擾頻率將減少許多，干擾時間之加總亦降低不少。

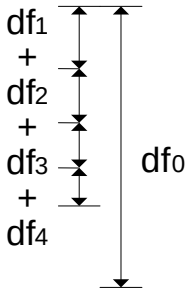


(a)預防式維護管理及反應式維護管理比較



$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 < T_0$

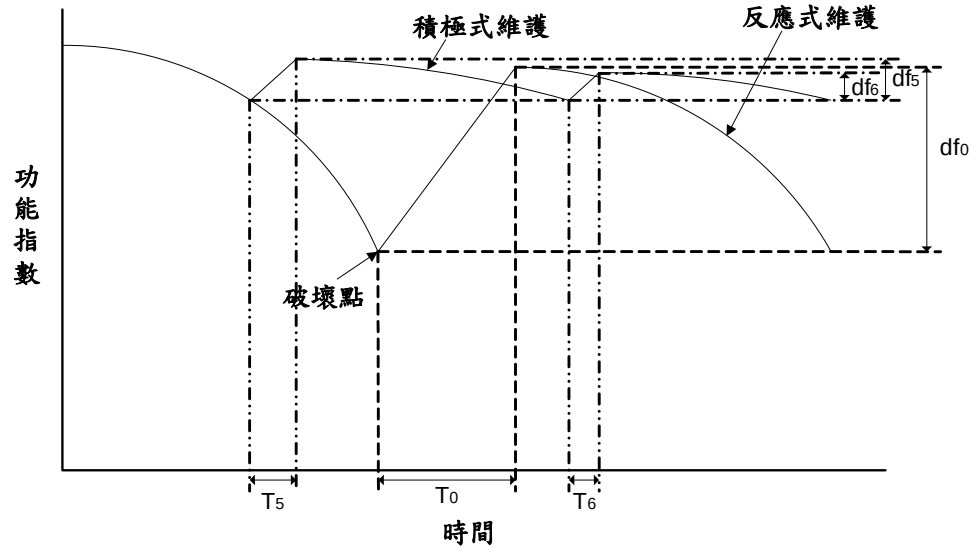
(b)維修干擾時間比較



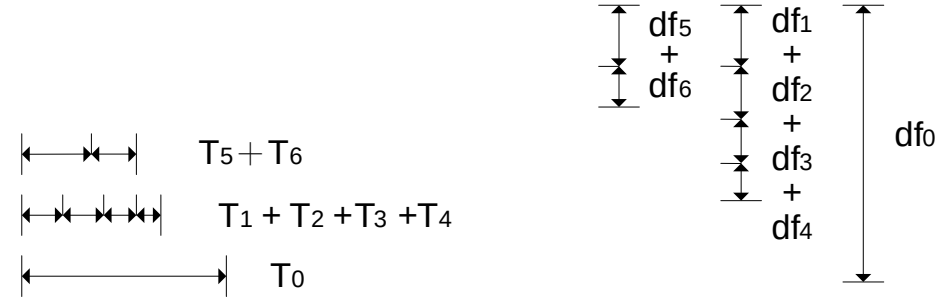
$df_1 + df_2 + df_3 + df_4 < df_0$

(c)維修所需能量比較

圖 1.2 預防式維護管理示意圖



(a) 積極式維護管理及反應式維護管理比較



$T_5 + T_6 < T_1 + T_2 + T_3 + T_4 < T_0$　　$df_5 + df_6 < df_1 + df_2 + df_3 + df_4 < df_0$

(b)維修干擾時間比較　　(c)維修所需能量比較

圖 1.3 積極式維護管理示意圖

4.定期式維護管理(Routine Maintenance)

定期式維護管理係指針對「定期維護」等級所採取之維護管理策略，如岸肩、防舷材等針對碼頭設施所施行之定期措施，此定期式維護管理措施之主要功能為維持其功能性。

設施之干擾程度及干擾時間即為使用者成本計算之依據，設施需較大程度之功能提昇意謂其維護作業執行期間之干擾程度亦較大，因此同樣干擾時間，干擾程度大其使用者成本亦較大。表 1-1 為上述各維護策略比較表，設施採積極式維護策略於短期間內管理成本及使用者成本雖均較預防式維護策略為高，但長時間比較積極式維護策略之總成本則較預防式維護策略減少甚多，因此積極式維護策略應為工程設施永續經營所需採用之維護策略。

表 1-1 維護策略比較表

維護策略	維護時期干擾程度	維護時期干擾時間	干擾頻率	使用者成本(長期)	管理成本(長期)
升級式維護管	極大	極大	—	小	大
反應式維護管	極大	極大	小	大	大
預防式維護管理	小(短期) 中(長期)	小(短期) 中(長期)	大	中	中
積極式維護管	中	中	小	小	小
定期式維護管	小	小	大	大	小

1.2 生命週期維護管理特性

臺灣地區因地理位置及自然環境特殊，天然災害頻仍，碼頭設施有可能因災害而損毀，甚至無法發揮其功能，造成社會經濟環境之衝擊，因而產生反應式維護管理之需求，碼頭設施常因船舶停靠時產生之碰撞造成岸壁的損壞，雖有設置防舷材作為緩衝，但當衝擊力過大，難免會造成主體結構之損傷；碼頭設施皆位於臨海側，易受海水侵蝕之影響，且由於海水潮汐之影響，其材料所受之環境更為惡劣。因此，平時減災、災前備災、災中應變及災後復建等工程皆屬維護管理工程之一環。

碼頭維護管理相較於傳統的新建工程，維護工程因具有下列特性，使得既有結構物之維護管理策略益形重要。

1.強調功能評估的重要

維護工程主要為針對既有結構物所進行之維修、補強工程，因此既有結構物在維護管理過程中的功能評估就顯得十分重要。工程人員必須透過檢、監測技術與模擬分析方法的輔助，於維護工程規劃設計前先行分析、瞭解結構物之功能狀況，以擬定維修補強的對策，亦即所謂「對症下藥」；而在維護工程執行過程中，結構行為的監測結果需回饋分析原始設計的妥適性，甚至進行必要的調整；最後，維護工程完成後之成效更須藉檢、監測技術進行驗證。因此，功能評估是維護工程中最重要的一項工作，其包括合理的檢、監測技術與正確的模擬分析模式，是維護工程規劃、設計、施工，甚至驗效的關鍵。而相對於傳統新建工程，維護工程所需之檢、監測技術與模擬分析方法，必須能滿足既有結構物且適合整個複雜系統的所在環境，其技術水準與分析理論必然遠高於傳統工程。

2.強調介面與多元技術的整合

傳統的新建工程屬線型操作，通常由基礎開始，然後下部、上部結構依續施工，各個技術環節獨立分工、介面單純。而維護工程則是針對既有結構物所進行之工程行為，不同的工程技術，包括地工、材料、結構等必須同時進行且互相搭配，以求最佳維護成效。由於維護工程之介面複雜且互相牽制，因此，維護工程特別強調介面與各類工程技術的整合，工程人員不再各行其事，而必須一起合作協商，這將是對現有設計、施工程式與管理制度之一重大改變，亦是一大挑戰。除此之外，許多新技術、新材料、新工法也勢必因應維護工程的需求而出現，如何正確的引用、設計，或驗證其效能，也將會是工程人員的艱鉅任務。

3.考量防災與抗災需求

由前述可知，環境與規範的改變為維護需求的發生原因之一，舉例來說，臺灣地區之地形與地貌在 921 地震之後有了許多改變，造成許多既有結構物之所在環境與設計當時差異甚多，因此有重新

評估其安全性與補修需求的必要；除了環境的改變外，921 地震後，國內的耐震規範也為因應 921 地震中強震的特性而作修正，此舉亦造成許多既有結構物之抗災能力因而不足，而有補修或功能提昇等需求。然而上述考量防災或抗災需求的維護工程主要對象為既有結構物，因此，如何評估維護需求，如何設計，以及施工可行性等都必需謹慎考量。

4.預算規劃與經濟效益評估模式的改變

有別於傳統新建工程以單一計畫作預算規劃，且經濟效益是以投資所衍生的經濟成長與產值等作為評估依據。相對而言，維護工程的預算規劃是全面性的，涵蓋較多的工程數量，且跨越較長的執行期程，因此，為評估維護工程的量與規劃執行期程，國家建設或更新計畫是先進國家較常採用的方式。此外，維護工程的經濟效益評估，通常是以估算既有結構物功能喪失所衍生的經濟損失與社會成本，並考量設施的生命週期成本後所建立的分析模式進行。

5.採購與契約方式的改變

傳統新建工程一般以成品的採購與驗收為契約主體；而維護工程卻經常是以既有結構物的功能為採購對象，而以功能評估結果作為驗收依據，因此，傳統新建工程的契約將無法適用於維護工程，而必須重新研擬，以滿足維護工程採購過程的特殊要求。

6.功能規範與系統驗證制度的應用

如前所述，維護工程所使用之工法技術常因特殊目的而涉及專利，或者，達成同一目的可使用的工法技術可能有許多種，因此，可預見的，功能性規範將被大量採用，然而為防止可能的岐見或弊端，國外先進國家大多以第三者或公正團體對新材料、新工法、新技術進行效能驗證，甚至包括專業廠商與人員資格的驗證，以輔助功能性規範的使用。

7.資料與資訊管理系統的應用

另一項維護工程的重要工作即為資料的累積與管理，維護工程不僅需要既有結構物原有的設計資料及使用狀況記錄，更重要的是，維護工程需要有一套完備的結構物維護管理系統，以記錄、查詢、展示、輸出維護工程之執行成果。而現有之生命週期成本分析、GIS、GPS、MIS 等資訊技術對於建立相關之維護管理系統，可提供極為便利且有效的協助。

8.教育訓練的重要

以上所述七項維護工程的特性，對國內工程界而言，幾乎全為新的知識與概念，如何於短時間內教育、培訓足夠的工程師、施工人員，甚至採購管理人員等，亦為維護工程之一項重要工作。

綜上所述，維護管理工程從工程的規劃、設計到施工階段，皆有別於傳統的新建工程。就規劃而言，維護工程經費的取得與分配，更需考量複雜的經濟面、環境面、管理面以及技術面，甚至政治面等各個環節；就設計而言，維護工程不僅需對現有結構物進行功能評估，檢視原結構物之設計及施工品質，並需分析結構物之營運現況及外在環境，同時亦需考量施工技術之可行性，以達成其所需功能，並降低可能對社會、經濟、環境等各方面造成之衝擊；最後，就施工而言，維護工程的進行除需考量對工程之進度、成本、品質及安全衝擊外，對於用使用者的安全性與服務性，以及外在環境的影響，包括污染等皆需加以考慮，並考量工程之品質確保、品質確認方式，及完工後之驗收模式等。

1.3 生命週期維護管理流程

目前國外一些先進國家如美國、加拿大、英法、澳洲與日本等，其維護管理均採生命週期維護管理之觀念，依據工程結構營運目標的訂定，藉由安全性及服務性的提昇，配合設施的現況評估及其危害度評估與風險分析，決定各結構物施予維護管理之優先序及維護方式，

再根據優先序及維護方式，進行結構物之維護管理規劃，並以成本－效益分析為基礎，編列合理化之維護管理經費，之後，透過公聽會讓結構物維護管理經費之取得與分配程式透明化。

目前美加地區維護管理之經費編列流程，均已納入「取之於民，用之於民」之觀念，然國內維護管理經費採此固定經費預算模式的決定與國外作法迥異。此種由預算決定後才進行維護管理策略規劃之維護管理制度與美、加交通廳之作法大相逕庭等(根據美國 NCHRP 於 2004 年對 26 個美國州交通廳及加拿大省交通廳調查其交通策略規劃與經費預算間之關係，發現目前無任何一個交通廳以此方式運作)。分析目前國內外維護策略及經費決定過程之差異，可知其主因為國內目前缺乏一套完備之生命週期維護管理制度。為設施工程生週期維護管理之流程，此流程由資料建檔、目標訂定、序選分析、策略規劃、執行驗收五個主要步驟，組成一迴路式之作業流程，茲簡述此五個主要步驟如下：

- 資料建檔：設施基本資料及營運維護資料建檔。
- 目標訂定：設施預期營運目標訂定。
- 序選分析：由設施現況資料及設施預期目標決定維護作業優先序。
- 策略規劃：由序選分析結合成本－效益分析，訂定維護管理策略。
- 執行驗效：實際執行生命週期維護管理作業，並進行成效評估。

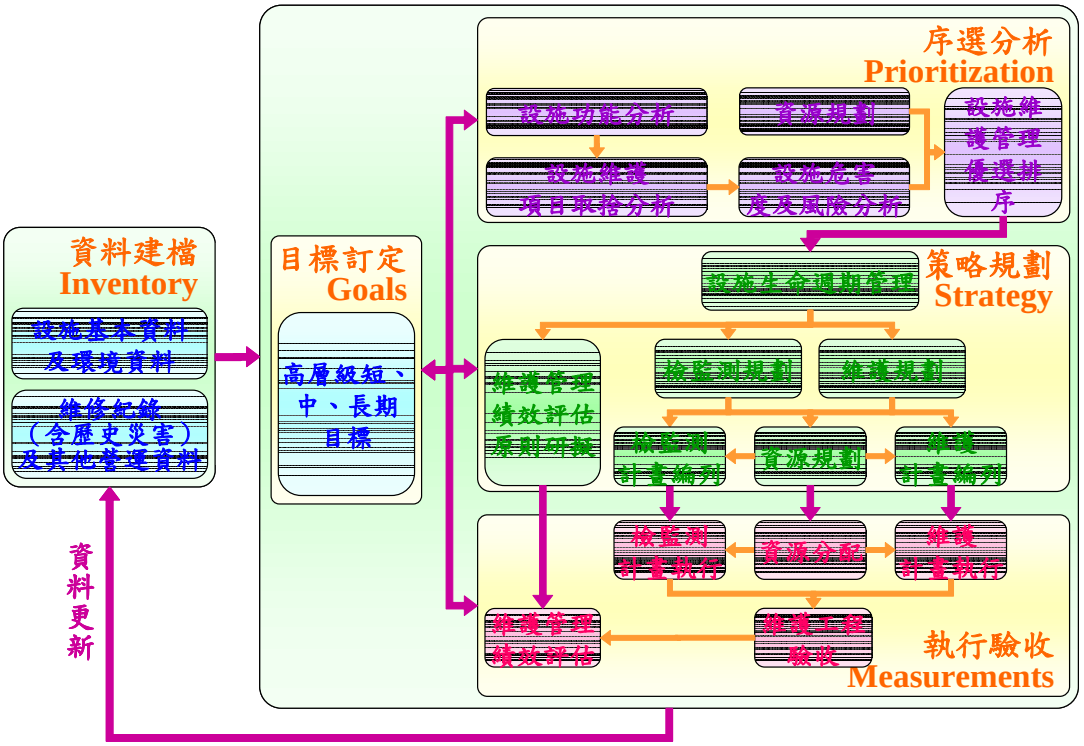


圖 1.4 設施生命週期維護管理流程圖

1.4 生命週期維護管理角色扮演

釐清角色分工是推動維護管理工程過程中之一項重要工作，從前述案例說明中顯示，不僅先進國家已針對維護工程進行研究規劃，連世界貿易組織(WTO)等國際組織都特別針對此一重要課題進行研究，以釐清資源取得方法與參與人員的角色扮演。由於資源的規劃取得需視各國政府內部體制與財政狀況而定，本文僅就參與角色之扮演說明如後。

1.政府建設主管機關

應正視國內維護管理工程之需求，包括既有結構物高齡化對國家發展之影響，執行維護管理工程所需之財政負擔，與公、私有資源分配，並儘速研擬、推動維護管理工程策略，以及配套之預算規劃等措施；甚至若因維護管理工程與傳統新建工程差異，

而有採購或技術法規修正之需求時，也應儘速推動相關法規的研修工作。

2.既有結構物管理單位

應儘速建立既有結構物基本資料庫，掌握其現況，進而評估未來維護管理工程執行所需之經費、人力、甚至物力需求，提供建設主管機關參酌。此外，管理單位也應積極進行內部人員正確維護工程之觀念認知，及專業技能的再教育訓練，以因應逐年成長的維護工程需求。

3.工程顧問

除應自我充實維護工程的專業智慧以外，更重要的是，各工程顧問單位元應具備功能設計(Function Design)的觀念，亦即先評估結構物現況功能，再進行設計，而且保留設計彈性，以利施工或後續維護時之回饋分析。

4.施工廠商

由於維護工程大多針對既有結構物進行維修與補強工程，因此施工廠商的專業能力要求與技術門檻也較傳統新建工程為高。國內現有工程承攬的多次轉包作業方式將不適合管控廠商的專業能力，有意轉型的優良廠商應儘速提昇自我專業技術層次，包括專業人力培訓、機具整備，以及資訊或實績的累積等。

5.學校教育單位

由於維護工程為針對既有結構物進行維修與補強工程，其與傳統新建工程之差異甚大，為使國人從政府建設主管機關、既有結構物管理單位元，到工程顧問公司、施工廠商都能具備設施生命週期維護管理之觀念，並應用至工程實務上，因此，學校教育單位除應準備相關課程、訓練儲備相關師資外，應致力於內部研

究資源之整合，並加強與產業合作，以使國人皆對維護工程有一基本認識與瞭解。

1.5 設施資產管理

設施資產管理被逐漸強調之發展背景，乃肇因於設施飽和及老化之同時，無論中央或地方政府皆需在相當嚴峻之財務狀況下，一面進行必要之建設，一面維持設施應提供之服務水準。因此，有效率地進行為數眾多之設施之維護管理確有其必要性，特別是，雖尚未針對設施維護管理費用本益分析要求其說明責任，但伴隨著公共行政經營手法導入，對於政府支出之所有相關評估已逐漸時興成為一種社會要求。因此藉由設施資產管理所需費用相關之資產評估與政策評估間之關係加以明確化，以期建構一得使行政系統更適切地經營設施之系統。目前有關設施資產管理尚無一統一性之定義，本計畫參考其他國家行政機關之構想(如表 1-2 所示)，整理出以下之設施資產管理定義與內容。

表 1-2 資產管理之各國定義

出處		定義
美國	聯邦運務局「資產管理入門」	所謂資產管理乃是從成本觀點，就如何有效維持，提昇機能及運作之系統流程
	公共業務會資產管理專業外觀	持不足資金得以有效分配因應需求之手法
澳洲	AUSTROAD「資產管理改善戰略」	為提供有效率地應有效果地公共服務所進行長期資產管理(營運)之系統手法
	AUSTROAD「針對路網系統之整合型資產管理導引」	所謂整合資產管理乃指道路局或道路利用者，資產持有者所要求能明確被理解，此外，能使上述事項能夠在資產管理之架構中被納入之評估流程
英國	運輸地方自治體，地域省「資產管理計畫及共通資本戰略之實踐－基礎報告」	服務水準及財務利益觀點而言，能使資產利用最佳化之流程(處所謂資產，乃包括土地和建物)

1.設施資產管理定義

(1)資產管理之狹義定義(即維護管理之觀點)：為維持基礎設施之健全狀態及提供使用者具穩定性之服務水準，透過定期檢測等方法以

確認其健全性之同時，透過 Life-cycle Cost(生命週期成本)等管理手法，有效地進行維護管理(註：本定義乃參考美國聯邦運輸局「資產管理入門書」)。

(2)資產管理之廣義定義：對於有限之預算，在分配給各基礎建設時，得所依據之最佳化組合及針對包括預備進行之基礎建設，得以維持所要求之價值及服務水準或達成所要求之成果，所謂資產管理系統即是為達成前述目的，對於預算及資產價值加以進行管理之系統。

2.設施資產管理內容

(1)定期檢測制度：一般而言，關於結構體或構件之異狀多屬設定可確認之內容或檢測頻率，今後有必要針對為確認評估結構物或構件老化後之安全性與服務性，來確立涵括設施之資產管理系統。

(2)安全性與服務性評估系統：依據定期檢測所得資料以評估結構物之安全性與服務性，若發現異常時，應即進行詳細檢測，以建立詳細調查結果。期間針對安全性與服務性應將(a)服務水準，(b)危及第三者之可能排除性，(c)承載力水準，(d)耐久性影響等，皆予以確認配合既有之規範加以判斷。

(3)利用 LCC 進行修繕計畫之預算管理：為進行預測結構物或構件未來之安全性與服務性，或維持長期安全性與服務性，希望能運用 LCC 最佳化來進行修繕計畫之管理，對於有年度預算限制，多年預算皆未上調等情形以致未能有機會進行全體設施之修繕時，乃屬根據設施或構件群所計算之最佳化 LCC 進行個別結構體或構件之修繕計畫，透過這樣手法，能發揮作為設施(有時應可涵括新建工程投資)複數年度預算管理系統之功能。

(4)資產價值管理：除具有預算管理之特性外，設施之資產價值管理亦為重要之機能，資產價值常因劣化而減少，當然亦會依據所投入修繕費用之多寡而維持或上昇，此外，因資產價值與服務水準有

相關性，亦可將資產價值管理視為服務水準管理。

(5)政策評估：將資產價值與服務水準等相關因素加以定量評估，即能進行與設施相關之政策評估，利用成果指標或社會效益等加以定量評估，在作為提供政策相關經營判斷之補助系統之同時，亦能針對如何獲得預算或如何發揮社會說明責任有所對應。

資產管理一般需配合先進之功能評估技術，因此，主管機關應發展一套效能評估基準，以評估不同型態資產之價值與現況，而當執行資產管理時，資料庫於計畫成本分析、生命週期分析、取捨分析及財務成本分析之應用愈形重要。

關於資產管理，AASHTO 和 FHWA 確信資產管理是做商業管理很好的一種方式。資產管理概念集中於投資的利潤，就像是成本和交通運輸資源之間的投資組合。資產管理是促進實施商業行為，且能反應增加系統需求、老化的基礎設施和有限的資源。資產管理要有新資訊和分析工具、新方法來對組織做訊息傳遞和實踐新的管理。AASHTO 和 FHWA 兩個合夥努力致力於確認知識之間的間隙、發展和資助長期的研究議程和協助新工具、技術的實施和改善資產管理的管理方法和商業慣例，以提升公共建設之資產價值。

目前設施營運維護管理方式，已與過去有所不同，其比較如表 1-3 所示。過去，維護管理系統只考量工程本身及其所花費的成本，而未考量資產管理的過程，例如資金取得與分配、行政上的強制執行與使用管理等。相較之下，資產維護管理系統之範疇較過去之維護管理系統更為寬廣，其整合內容包含各階段工程設計、施工、營運使用、資源管理(不單指成本)、財務、行銷與系統操作，因此，歐美等先進國家(包含紐西蘭)已將商業經營管理的作法帶到公路及橋梁等公部門單位，以充分有效地運用其維護管理資金，並使用資產維護管理方法來提升效率、生產力，及使用者之服務水準。

表 1-3 設施管理與營運方法過去與現在差異比較表

	過去的方法	目前的方法
預算準備	以首要支出為主，整體而言，包含橋梁、路權及其他構件成本估算。	依據需求、具體興建方案與詳細的方案資訊。
成本估算	估計每單位面積之成本。	各構件單位面積之成本。
方案選擇	依據主觀判斷、民眾抱怨與過去的經驗。	依據客觀資料(鋪面情況、估計成本排序方案)。
目前設施情況	未使用設施狀況指標、幾何及歷史資料。	使用當前的設施狀況指標、幾何及歷史資料。
設施評估	未評估。	依據客觀資訊評估方案，描述目前的條件能力以決定維護行為。
設施規劃	未有預算計畫。	快速分析計畫、排程、資源分配與預算等客觀資料。

資產維護管理系統主要有三大項目，分別為政府政策目標、系統規劃與評估，及系統執行，其各項目之細項如圖 1.5 所示。資產管理之工作流程包含(1)預期成果、目標一致性、可用預算、組織政策等建立可使用之分析流程，如決策系統架構；(2)蒐集分析存貨與工作資訊；(3)分析工具的使用及實行成本效益的策略再造流程，以利分配預算，藉此方式來評估與滿足相關單位之要求與使用者需求。

科技賦予資產管理之系統功能，而資產管理仰賴科技之支援有以下二個範圍，(1)資料的蒐集、儲存及分析，使得資料使用上更具時效性與品質，(2)將分析結果之描述與訊息傳遞予內部決策者及外部相關單位。資產管理決策架構描述如圖 1.6 所示。

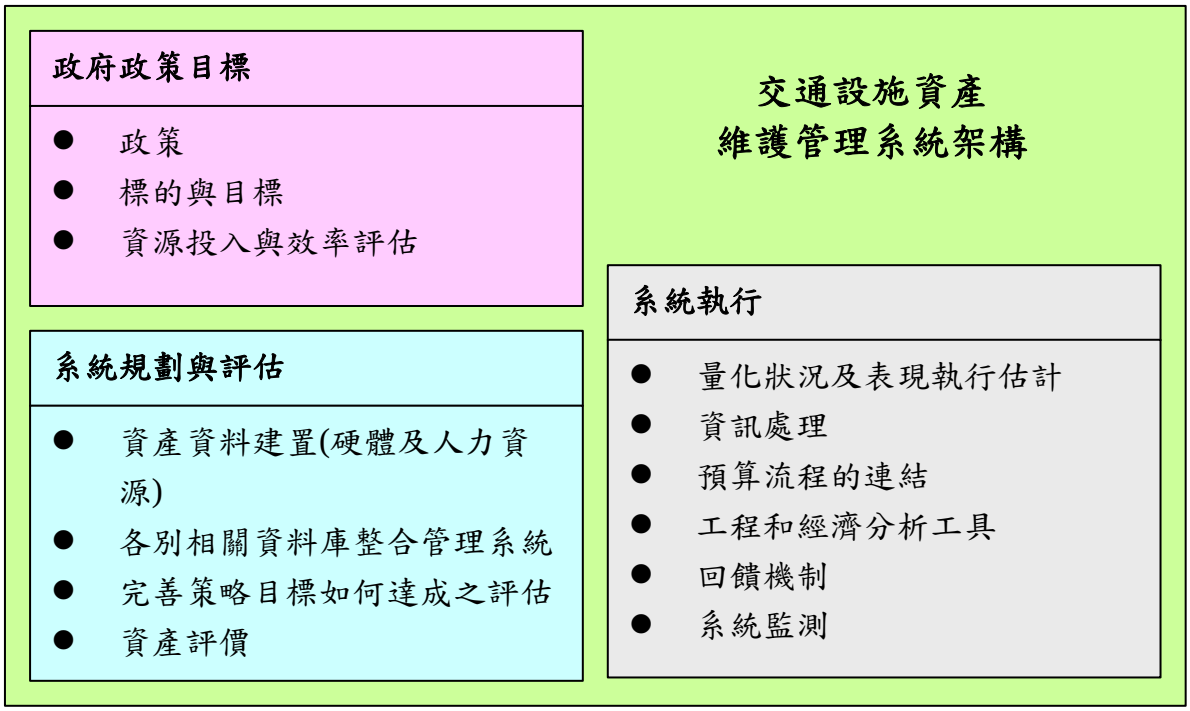


圖 1.5 設施資產維護管理系統架構圖

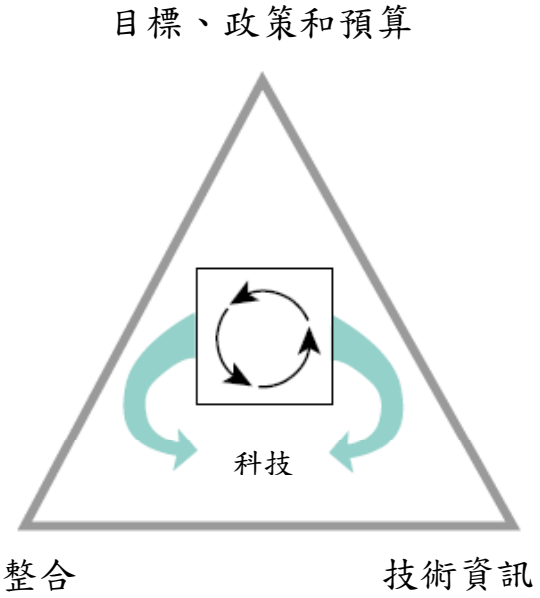


圖 1.6 重要的資產管理架構必要條件

據上述對設施全生命週期維護管理之目標，在管理面與技術面上能建置評估技術與制度、在技術面與資料面上能研擬異狀指標、在資料面與管理面上能建置生命週期維護管理系統，希望藉由此三個面向的發展，作為港灣設施維護管理之目標，因此本計畫之執行內容有評估技術與制度、目視檢測與儀器檢測所產出異狀指標與碼頭生命週期維護管理系統，以期達成碼頭設施「永續發展」。

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

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

自 1971 年起，國內各研究單位曾陸續以試片腐蝕速率的量測方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類，但因試驗場址維護不易，各地區鮮少有持續 10 年以上的腐蝕數據，且大部份的研究亦止於 1995。隨著氣候變遷與工業的發展，為達到結構物耐久性防蝕設計的目的，目前若仍引用過去腐蝕因子之調查數據，腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；然而臺灣近 10 年來並無任何單位進行全國之大氣腐蝕因子的調查與研究。有鑑於此，本計畫擬以兩年時間針對臺灣全島區域進行大氣腐蝕劣化因子調查，完成臺灣大氣腐蝕環境的分類工作，並根據調查

結果建立電腦查詢資料庫，規劃一適合國內環境「本土化」需求的大氣腐蝕劣化因子查詢系統，以作為日後新建與既有金屬及鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

本研究 98 年度已完成之工作內容如下；

1. 蘇澳港及臺中港及一類漁港碼頭設施及檢測與維護機制相關文獻之蒐集；基隆八斗子漁港、正濱漁港、宜蘭南方澳漁港、烏石漁港碼頭設施之現況調查及評估。
2. 國內各港棧橋式碼頭面版腐蝕劣損與維修資料蒐集及蘇澳港 6-7、10-13 號、臺中港 5A 至 35 號及高雄港 71 號等共 31 座棧橋式碼頭之現地調查與評估。
3. 完成「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究」，內容包含大氣腐蝕現地金屬試片暴露板片試驗、研擬有機塗裝防蝕規範草案、臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫更新與維護等。

本（99）年度已完成之工作內容如下；

1. 基隆港西 14 至西 18 號、臺中港西 3 號等棧橋碼頭之現地調查與評估。
2. 基隆港東 2 至東 7 號碼頭及高雄港 54 至 58 號碼頭現況調查作業。
3. 新竹縣新竹漁港、臺中市梧棲漁港、高雄市前鎮漁港、屏東縣東港及鹽埔漁港碼頭設施之現況調查及評估。
4. 完成「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究」，內容包含大氣腐蝕現地金屬試片暴露板片試驗、研擬無機塗裝防蝕規範草案與檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案、臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫更新與維護等。

第二章　研究計畫概述

2.1 研究時程

本計畫研究期程為兩年，規劃為三個子計畫進行，自民國 98 年 1 月起至民國 99 年 12 月止。各子計畫之研究內容分別簡述於 2.2 節中。

2.2 計畫摘要與研究內容

2.2.1 子計畫(一)：臺灣地區商港及漁港設施現況調查

1.計畫摘要

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

臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。此外，臺灣地區漁業興盛發達，對於國內經濟發展，亦有重大貢獻，其碼頭、防波堤等設施均需建立安全檢測與維護機制，以確保能安全營運。因此，港埠工程及漁港設施現況是否安全堪用，必需明確瞭解，俾採必要之防範措施。

本計畫針對國內五大商港及其附屬港口與中央相關管轄之 8 處一等漁港，進行碼頭、防波堤等設施之現況調查。

2. 研究內容

第一年工作內容：(民國 98 年)

(1)臺中港及八斗子、正濱漁港、蘇澳港、南方澳與烏石漁港碼頭

與防波堤等設施之現況調查。

(2)現地非破壞性檢測與劣損評估。

(3)檢測機制之實地操作與驗證。

第二年工作內容：（民國 99 年）

(1)基隆港、花蓮港及新竹、梧棲漁港、高雄港、前鎮與屏東鹽埔漁港碼頭與防波堤等設施現況調查。

(2)現地非破壞性檢測與劣損評估。

(3)檢測機制之實地操作與驗證。

2.2.2 子計畫(二)：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護

1. 計畫摘要

港灣棧橋式碼頭由於適用在軟弱地盤，加上具不妨礙水流，反射波小，對港池靜穩度大有幫助，可建造水深較深之碼頭等優點，目前國內商港新建及改建常採用之。以基隆港及臺中港為例，近年即有多座碼頭均選用此結構型式碼頭，但其缺點為 R.C.面(底)版，因長年遭受海水波浪之衝擊浸漬，海水中之氯離子甚易侵入底版，造成內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。本所港研中心歷年曾針對國際商港設施調查結果顯示，高雄港區及蘇澳港區有部份棧橋碼頭曾發現上述之損壞情形。

本計畫主要以五大國際商港現有之棧橋式碼頭進行腐蝕劣化現地檢測並蒐集及研擬維修工法，提供碼頭本體設施維護管理系統建置資料庫，以利於日後現地人員檢測及管理自動化作業。

2. 研究內容

第一年工作內容：

(1)臺中港及蘇澳港棧橋式碼頭面版底版現況調查。

(2)臺中港及蘇澳港棧橋式碼頭樁頭現況調查。

(3)現地非破壞性檢測與劣損評估。

(4)檢測機制之實地操作與驗證。

第二年工作內容：

(1)基隆港、高雄港、澎湖馬公港及金門料羅灣港棧橋式碼頭面版底版調查。

(2)基隆港、高雄港、澎湖馬公港及金門料羅灣港棧橋式碼頭樁頭調查。

(3)現地非破壞性檢測與劣損評估。

(4)檢測機制之實地操作與驗證。

2.2.3 子計畫(三)：構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究

1. 計畫摘要

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高溼與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，構造物所處腐蝕環境之調查與掌握，尤其是對路上土建物之金屬結構物防蝕設計需求，更有其重要性。

臺灣缺乏完整的本土大氣腐蝕因子資料庫。自 1971 年起，國內許多研究單位曾陸續以金屬試片做為腐蝕速率的量測方式，進行臺灣大氣腐蝕環境分類，然而因試驗場址維護不易，各地區均無持續 10 年以上的腐蝕數據，且相關研究止於 1995 年。隨著時空、全球氣候變遷與國內工業持續高度發展，為達到構造物耐久性與防蝕設計須求，若仍引用過時且不完整之調查數據，對構造物之耐久性與腐蝕速率的估算

恐會產生過與不及的虞慮；為此，本所港研中心於 2007 年起開始進行兩年期之「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」，已初步完成大氣腐蝕之試驗站（點）及建立部份大氣環境腐蝕因子資料庫，但因調查時間僅為兩年，仍需持續進行長期調查與試驗分析。

本計畫持續進行調查並選擇數處腐蝕較為嚴重地點，實施不同金屬試片採用各種防蝕材料及技術，進行更詳盡之腐蝕速率調查與防蝕效能試驗，期能建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫，提供其耐久性與防蝕設計須求使用。

2. 研究內容

第一年工作內容：

(1)國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

(2)大氣腐蝕因子調查建置：持續現地取樣與試驗調查，內容包含（1）氣象資料蒐集分析：氣溫、相對溼度、風速、風向等資料，並針對歷年資料進行分析。（2）腐蝕因子調查項目：包括相對溼度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)附著量之調查。

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

(4)現地金屬試片暴露試驗：選擇數處腐蝕速率較大之地點，進一步實施多年期之金屬試片試驗，金屬試片採用各種不同防蝕材料及技術，評估其適用於臺灣地區各種腐蝕環境之可行性。

(5)大氣腐蝕因子資料庫建立：依上述研究成果，增建並持續修正於本所港研中心之大氣腐蝕因子資料庫內。

(6)構造物塗裝防蝕手冊撰寫。

第二年工作內容：

(1)國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

(2)大氣腐蝕因子調查建置：持續現地取樣與試驗調查。

(3)現地暴露試驗：針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，持續進行現地暴露試驗。

(4)現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬試片試驗，金屬試片採用各種不同防蝕材料及技術，評估其適用於臺灣地區各種腐蝕環境之可行性。

(5)資料蒐集與分析：持續現地取樣與試驗調查，分析歷年累計成果與趨勢。

(6)大氣腐蝕因子資料庫建立：依歷年各項研究成果，增建並持續修正於本所港研中心之大氣腐蝕因子資料庫內。

(7)大氣腐蝕因子資料年報撰寫，提供產官學研各界參考應用。

(8)檢討與修訂港灣構造物陰極防蝕準則草案。

第三章 臺灣地區商港及漁港設施現況調查

3.1 前言

3.1.1 研究動機

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

臺灣地區目前主要商港及其附屬港包括基隆、蘇澳、臺北、花蓮、臺中、高雄、安平、布袋及馬公港等，漁港屬中央漁政機關主管之第一類漁港有八斗子、正濱、前鎮、南方澳、烏石、新竹、梧棲、東港鹽埔等共計 8 處。

以交通部相關單位而言，包括部本部、運輸研究所及國內五大商港之港務局，對於港灣構造物現況調查安全檢測及評估工作，除交通部於民國 89 年起開始進行相關研究外，各港務局亦有港灣設施實施維護管理之相關作業規定，為能早日統一建立適用於國內本土環境之港灣構造物檢測評估制度，本研究將參照「港灣構造物安全檢測與評估

之工作手冊（草案）」內容選定數處國內商港及一等漁港之不同型式之碼頭構造物進行現況調查，期能藉以建立碼頭維護資料庫並提供相關管理單位參酌。

3.1.2 研究目的

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

3.1.3 研究範圍

本研究將以兩年時間，針對國內主要商港及其附屬港與第一類漁港。包括基隆、蘇澳、臺北、花蓮、臺中、高雄、安平、布袋及馬公等商港，以及八斗子、正濱、前鎮、南方澳、烏石、新竹、梧棲、東港鹽埔等 8 個第一類漁港，選定不同型式之碼頭構造物等鋼筋混凝土或鋼板樁結構進行探討。

3.2 文獻回顧

港灣構造物大致可分為水域設施結構及岸上結構兩大類，水域設施包括碼頭、防波堤等主要結構和碼頭防舷材、繫纜設施、附屬防蝕材料等附屬結構設施。岸上結構主要為倉庫、廠房、儲存槽及相關機具設備。依使用材料分類，主要有鋼筋混凝土及鋼材兩種。其中又以鋼筋混凝土使用最為廣泛。

港灣構造物一般由混凝土(P.C.)或鋼筋混凝土(R.C.)、鋼材、砂石級配及土石方等材料所構成，其中以鋼筋混凝土材料被最廣泛使用。港灣 R.C.構造物又以碼頭及防波堤結構為主。碼頭為船舶停靠、裝卸物資時，最重要的繫靠設備。防波堤屬於港灣構造中之外廓工程，用以

防止海洋波浪傳遞至港池內，維持港灣內水域之靜穩。其他岸上設施包含繫靠設備必要之碼頭附屬設施。由於港灣構造物在海洋環境下，經過波浪及上部荷重等外力長期作用，材料產生變形損壞或位移，甚至材料變質影響整個結構安全，因此必須定期實施安全檢測，俾利結構物之使用安全及維修加固，防止地震或颱風等災害造成更嚴重的損壞。

3.2.1 碼頭結構型式

碼頭結構物可概分為重力式、板樁式、棧橋式與其他等四類碼頭，以下將國內各港常見前三類碼頭簡略概述及說明維護管理重點如下：

1. 重力式碼頭

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

(1)堤體本身用混凝土做成，較為堅固且較耐久，水深較淺時多採用。

(2)水深較深時，由土壓及水壓所造成之外力增大，所需牆體之重量急遽增加，除岩層及基礎良好之處外，非為經濟之設計。

(3)作為耐震結構時，與牆體重量比例之地震力作用於牆體，較為不利。

(4)沈箱及混凝土塊之製造需廣大場地與起重船、拖船等船隊，因此，如為短期及少量工程配合上述設備時，較不經濟。

(5)與規劃水深相比，如現有地層較淺，亦較不利。

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

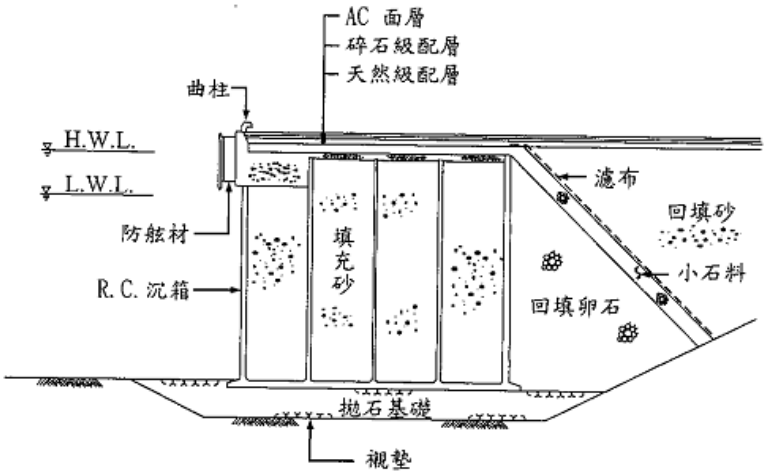


圖 3.1 沈箱式碼頭

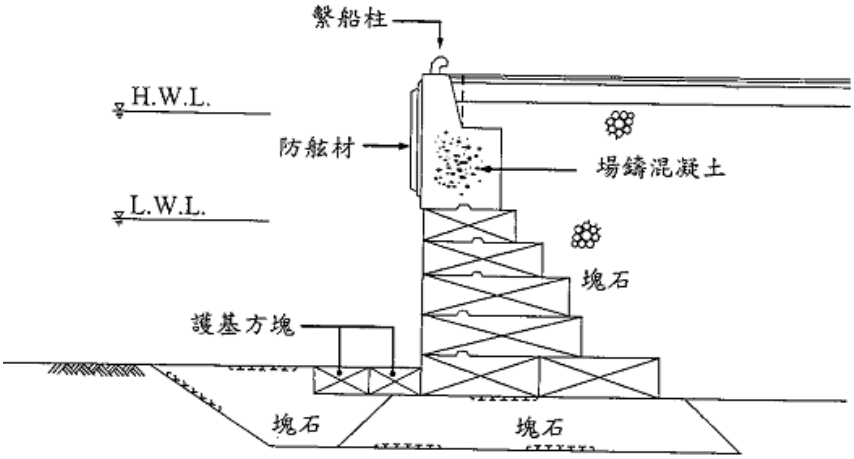


圖 3.2 方塊式碼頭

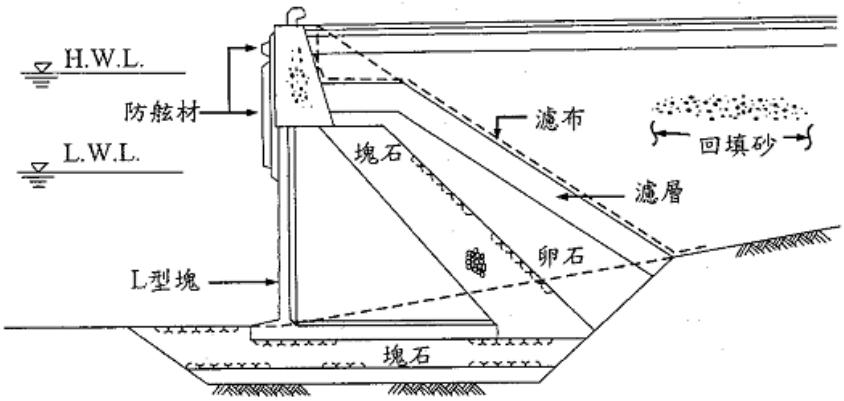


圖 3.3 L 型塊式碼頭

2. 板樁式碼頭

板樁式碼頭係打設板樁及回填土築成，主要利用海側之被動土壓力及拉桿來抵抗陸側之主動土壓力及殘留水壓力。板樁之材料為鋼材、鋼筋混凝土、預力混凝土、木材等。由於鋼板樁之容許應力較大、成品亦可得較大之斷面係數，可用於水深較深之碼頭，因此目前鋼板樁較為常用。板樁式碼頭之特性如下：

(1)施工設備比較簡單，工程費較省。

(2)多數場合不需作水下基礎工程，因此施工迅速。

(3)牆體極輕，富彈性，耐震性強，可容許適當之不均勻沈陷。

(4)原地層水深較深時，板樁打設後，如未回填及錨碇設施未放妥時，波浪來襲容易損壞。

(5)鋼板樁於水中易腐蝕，耐久性較重力式差，所以宜採用陰極防蝕法，或依腐蝕程度採用較大斷面。

(6)板樁式碼頭按型式，可分為自立式、錨碇式，臺灣地區各港之板樁碼頭中，以錨碇是板樁最為常見，其結構型式如圖 3.4 所示。

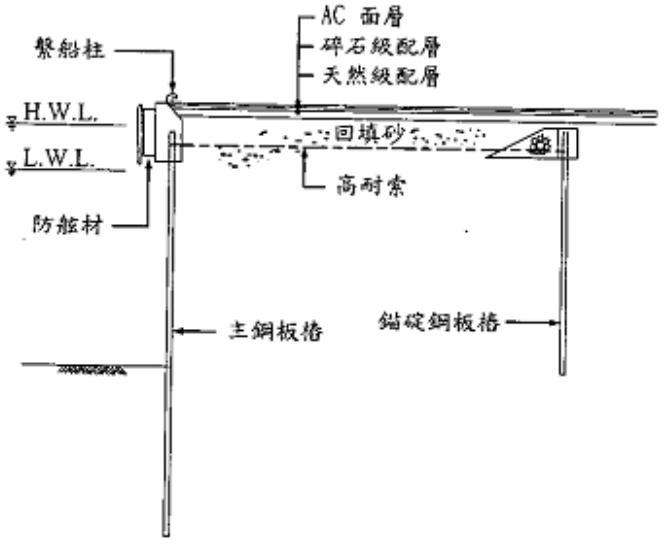


圖 3.4 錨碇板式碼頭

3. 棧橋式碼頭

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

(1)結構較其他型式為輕，地層軟弱之處無法構築重力式或板樁式時，可採此法。

(2)不妨礙水流、漂砂，波浪潮流激烈之處亦不致影響自然條件之平衡。

(3)不需新填土。

(4)對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。

(5)碼頭寬大時工程費亦增。

(6)對水平力之抵抗較弱。

(7)水流影響船舶之靠岸。

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

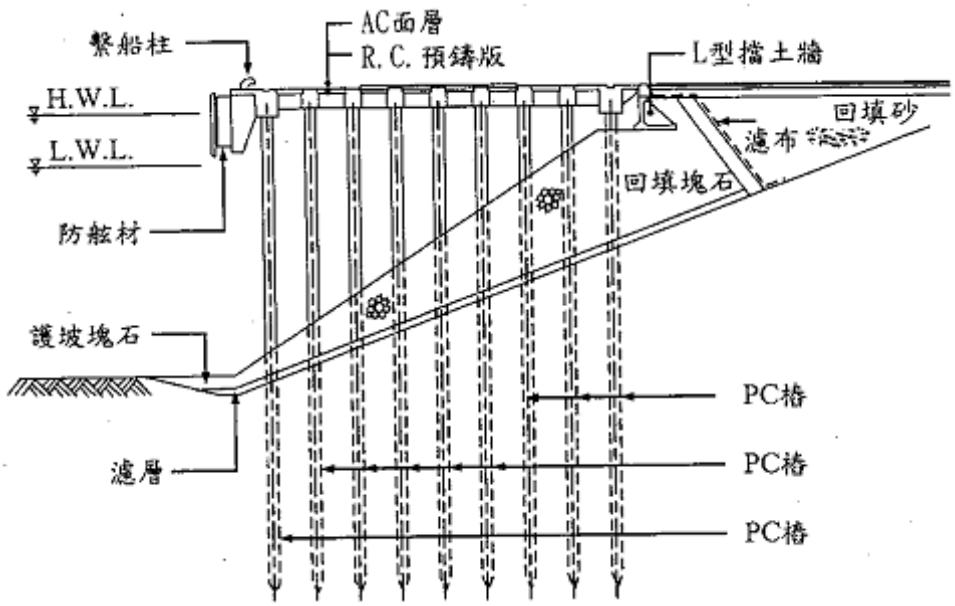


圖 3.5 直樁棧橋式碼頭

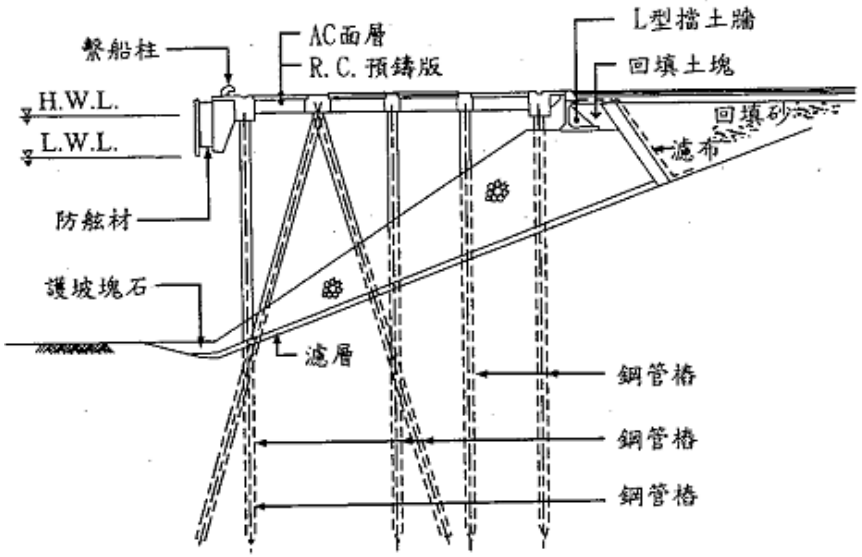


圖 3.6 斜樁棧橋式碼頭

4. 重力式碼頭破壞原因探討

重力式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

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

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

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

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

圖 3.7 至圖 3.8 為重力式碼頭產生外部異狀之示意，各示意圖中所標示之 13 項行為，均為可能導致該類式碼頭外部異狀之基本機制，其所發生之部位並非圖示中之單一點或部位，而是相關之整體或單元，如圖 3.7 中所示機制(12)地震力之影響範圍為碼頭整體，機制(2)不當撞擊力若指船舶未依規定靠岸，其可能產生範圍為岸壁任何部位，若指岸肩任何物體未依規定拋置吊放，其可能產生範圍為岸肩任何部位，機制(5)地表水滲流之可能產生範圍為整個岸肩及後線。由各項或多項合成之基本機制所產生之外部異狀，將不是單一之異狀，異狀所產生之部位與範圍亦將是多處與多面。

據此，可針對重力式碼頭產生異狀之構件位置進行標註，如圖 3.9 至圖 3.10 所示，並針對此些構件其發生之異狀進行表列，如表 3-1 所示。

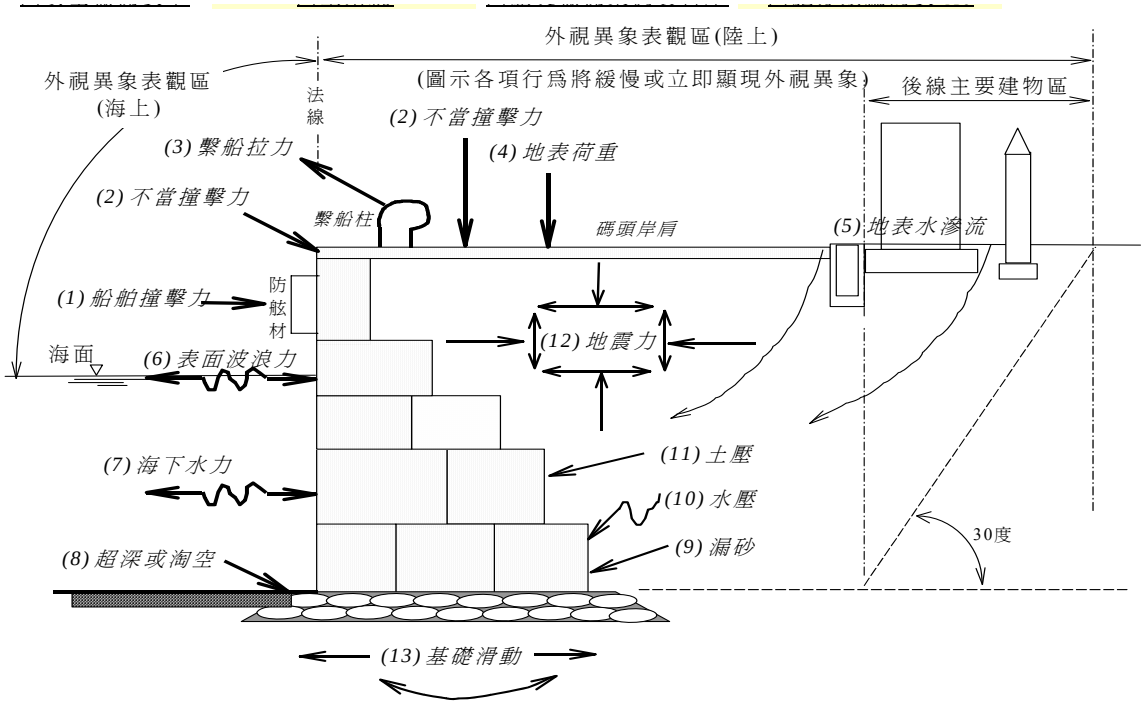


圖 3.7　導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

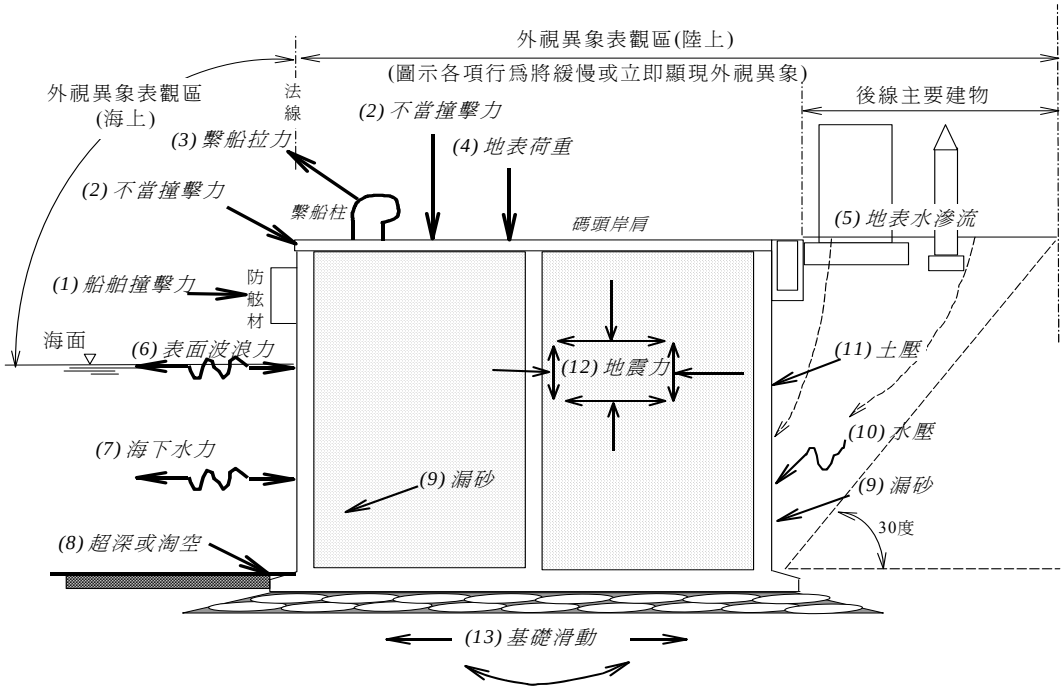


圖 3.8　導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

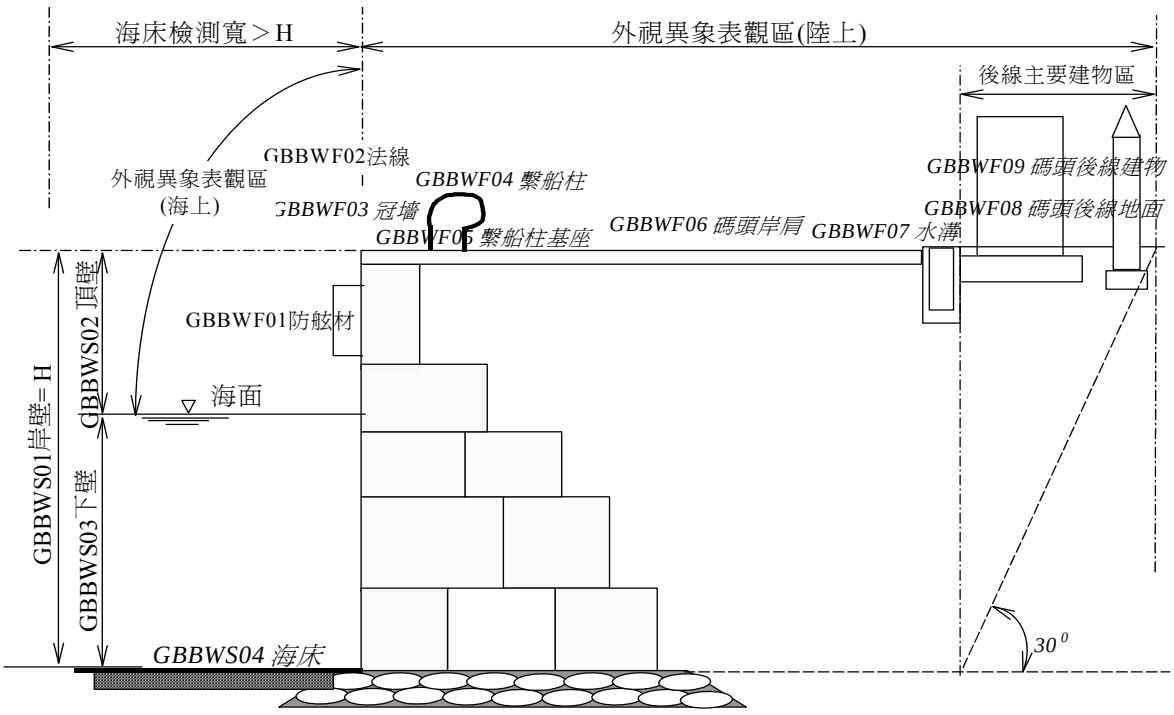


圖 3.9　重力式方塊碼頭構件標示

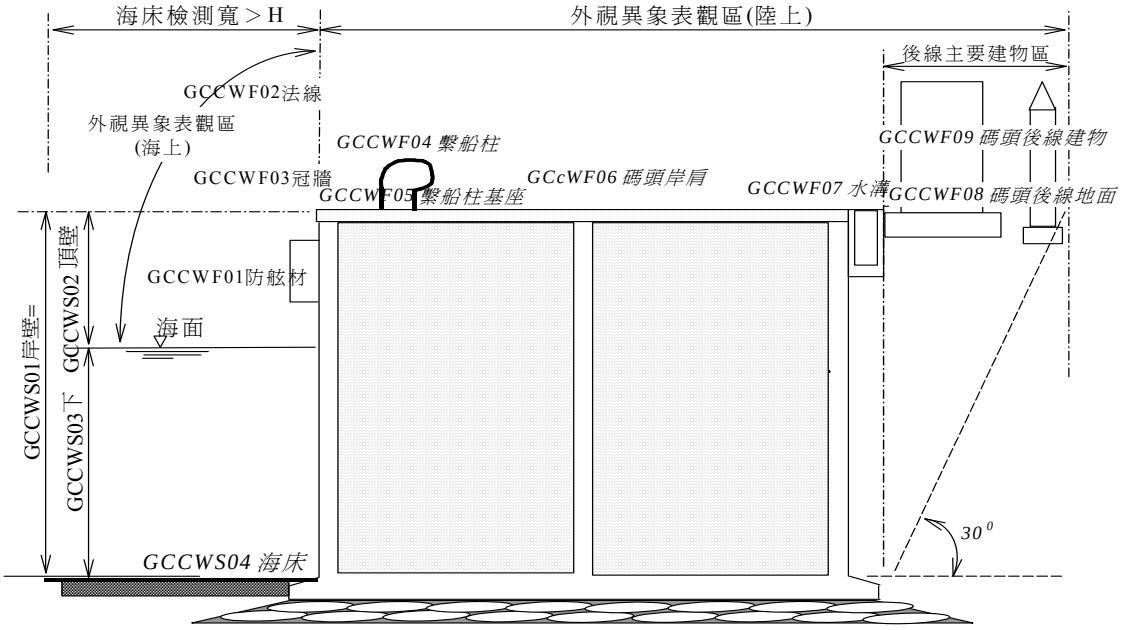


圖 3.10　重力式沉箱碼頭構件標示

表 3-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表

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

5. 板樁式碼頭破壞原因探討

板樁式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

(1)板樁結構：因經年累積腐蝕造成板樁的破壞，或因地震所產生額外土壓力及水壓力，超過結構原有之設計強度、大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成結構岸壁產生裂縫、破損、拱起及下陷；或板樁沿法線方向產生位移及側傾。

(2)岸肩：因持續的背填料壓密下陷造成岸肩破壞、因過度的荷重作業使得板樁鋪面產生破損而致使岸肩下陷，因地震力產生破壞或變位造成岸肩破壞；或因背填土砂液化產生岸肩下陷、破壞。

(3)背填土砂：其可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因鋼板樁的破損產生背填土砂發生漏砂及淘空的現象。

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

據此，板樁式碼頭產生異狀之主要機制及構件位置進行標註，如圖 3.11 所示，各構件項目之異狀表列於表 3-2。

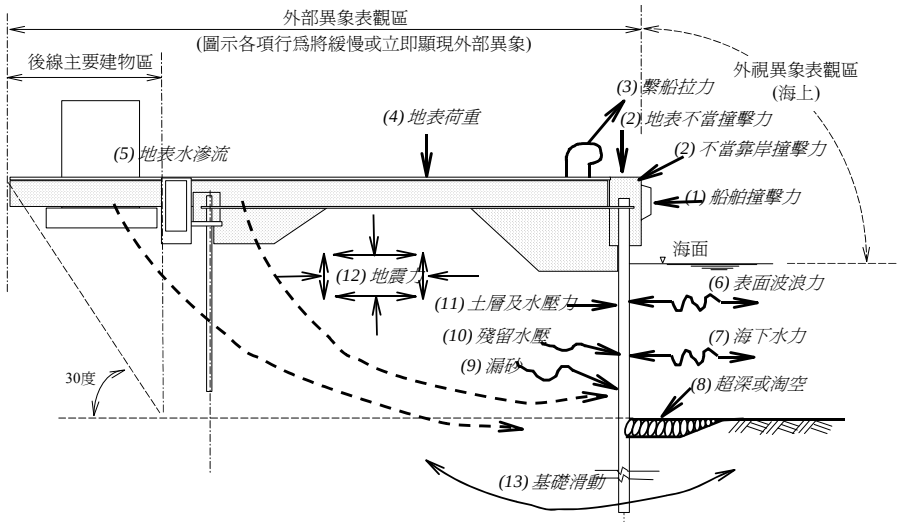


圖 3.11 導致版樁式錨錠樁碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

表 3-2 板樁式碼頭各構件產生異狀列表

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

6. 棧橋式碼頭破壞原因探討

棧橋式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

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

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

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

棧橋式碼頭構件發生之異狀列表於表 3-3。

表 3-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀列表

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

3.2.2 港灣 R.C.結構物安全檢測項目

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

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

1. 整體結構變形檢測

整體結構變形檢測項目包括 R.C.結構物(碼頭或防波堤)不均勻沈陷、岸肩伸縮縫破損、壁體傾斜、法線位移檢測等。當這些檢測

結果顯示出 R.C.結構物有沈陷或位移或傾斜時，則其他部位的結構，如基礎結構或護基拋石必須做進一步的檢測。

2. 細部構材檢測

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

基礎結構檢測則與 R.C.結構物型式關係密切，但檢測不易實施，一般需借助精密儀器配合。各種型式之港灣構造物施測項目建議如表 3-4 所示。

表 3-4 港灣構造物細部構材檢測建議項目

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

3. 基礎地盤調查

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

4. 碼頭附屬設施之檢測

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

3.2.3 檢測及評估實施時機

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

1. 一般性安全檢測

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

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

2. 緊急災變檢測

重大災害如颱風或地震發生後必須立即進行緊急檢測，其中颱風過後，應針對防止波浪侵襲之構造物如防波堤、消波設施等進行緊急檢測；地震發生時，則針對地表加速度及動力作用較敏感的港灣構造物，如重力式結構或為固定在與海床接觸處之結構等，亦應

進行緊急檢測，根據以往之地震記錄顯示，可能造成破壞之地震大多為 4 級以上，因此建議 4 級以上地震發生時，應對所有港灣構造物進行全面性檢測；當震央位於港區鄰近地區且震度達 6 級以上之大地震發生時，更應儘速於 72 小時內完成緊急檢測並確認構造物受損情形，評估應否進行進一步之防護措施。此外，碼頭結構常因大型船隻碰撞，導致安全受損，或施工時因故造成之結構破壞等事故時，應針對個別構造物及其周遭之港灣構造亦應進行緊急檢測。

3. 分階段檢測及評估

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

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

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

(1)結構安全是否有問題

(2)構造之功能性是否有問題。

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

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

第二階段檢測工作完成後，則進入檢測結果終評階段。

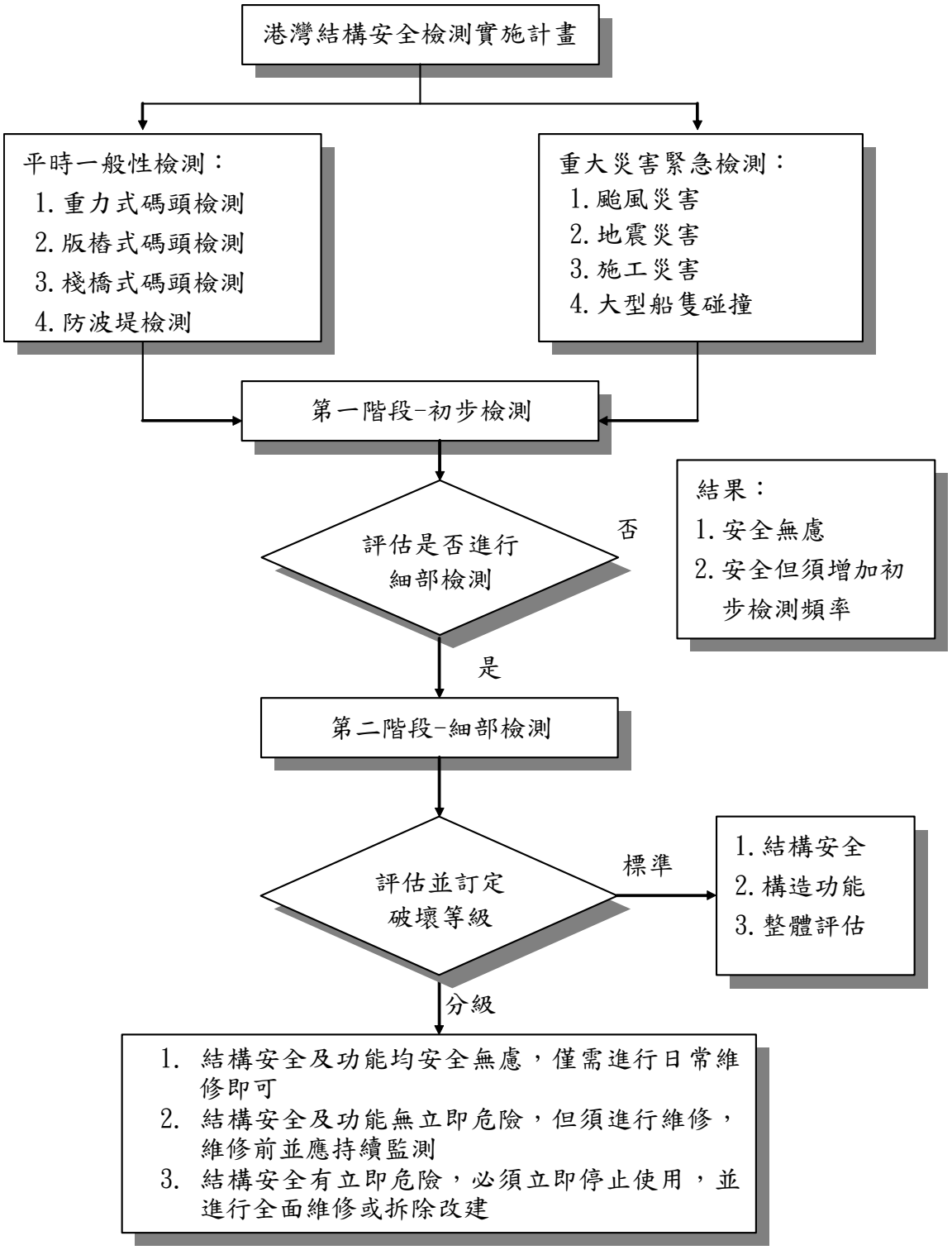


圖 3.12 港灣結構安全檢測實施流程圖

3.2.4 結構物安全檢測評估

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

港灣結構物安全檢測及其評估過程，可分為以下四個階段：(1)初步安全檢測；(2)細部安全檢測；(3)檢測結果安全評估；(4)港灣結構整體評估。

1. 初步安全檢測

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

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

整體檢測結果之判定及評估之標準主要分為：

(1)結構安全是否有問題。

(2)構造功能性是否有問題。

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

$$ID_1 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i} \quad \text{.....(3-1)}$$

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

初步安全檢測階段判定結果分為以下三個等級：

(1) $0 \leqq ID_1 < 2$：安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

(2) $2 \leqq ID_1 < 4$：安全無虞，無須進行細部檢測，但於未來必須增加檢測頻率。

(3)非主體結構之 ID≧4，但其他主結構體之 ID＜4：為功能堪虞，小型立即性維修可改善功能狀況者者應立即進行，如主結構體或整體檢測值之 ID≧4，必須進行第二階段之細部檢測以進一步了解構造物破壞狀況。

2. 細部安全檢測

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

細部安全檢測適用於：

(1)目視檢測無法判定或檢測對象不易進行者。

(2)經初步檢測結果判定必須進行細部檢測者。

(3)為重大災害或事故發生後之緊急檢測。

(4)工程維修進行中有特殊需求者。

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

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

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

細部檢測評估包括結構安全性，構造功能性，整體考量等三項原則，說明如下：

1. 結構安全性原則

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

2. 構造功能性原則

港灣構造物均有其應用上之不同功能。構造物功能性無法發揮時並不代表結構之安全有問題，但結構如屬無法完全發揮功能，又未維修恐將進一步造成破壞而危及安全。構造物主要或附屬設施，不論合併評估或單獨評估，如評定等級屬於為安全堪虞的第三等級時（非主體結構之 $ID_A \geqq 4$，但其他主結構體之 $ID_1 < 4$ 時，小型立

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

3. 整體性評估原則

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

4. 結構整體評估等級

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

(1)第一階段檢測分級

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

(2)第二階段檢測分級

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

$$ID_2 = \frac{\sum_{i}^{N}(D_i + E_i)R_i}{\sum_{i}^{N} R_i} \quad \text{.....(3-2)}$$

式中 ID_2 為細部檢測危險度指標，D_i、E_i、R_i 分別為各檢測中檢測人員填寫之檢測值，N 則代表檢測項目之總數，包括細部檢測及初步檢測主結構體之受測項目(若進行重新檢測，以較新的數據為

準)。ID 值越高則代表危險度越高，數值分配範圍為 0 到 10 間，其與判定結果關係，與初步檢測階段類似分成三個等級並條列如下：

(1) $1.0 \leqq ID_2 < 3$：輕微受損、結構安全及構造功能無虞，僅需進行日常維修即可，但於未來必須增加初步檢測之頻率。

(2) $3 \leqq ID_2 < 6$：構造損壞，但結構安全及構造功能均無立即危險、應進行維修；若無法立即實施維修，則必須在維修前進行同步監測工作。

(3) $ID_2 \geqq 6$：嚴重損壞，結構安全有立即危險，且構造功能無法發揮，必須立即停用並進行大部維修或拆除重建。

3.3 研究方法與進行步驟

本研究參考交通部港灣構造物安全評估之工作手冊（草案）及相關港務局檢測工作規則等，本年度選定基隆港西 14-西 18 號及臺中港西 3 號碼頭、新竹市新竹漁港、臺中縣梧棲漁港、高雄市前鎮漁港及屏東縣東港鹽埔漁港等之碼頭與防波堤設施進行現況調查，調查流程如圖 3.13 所示。此外，另選定基隆港東 2 至東 7 號碼頭及高雄港 54 至 58 號進行鋼板樁現況目視及陽極塊防蝕效能檢測等水下檢查與評估。

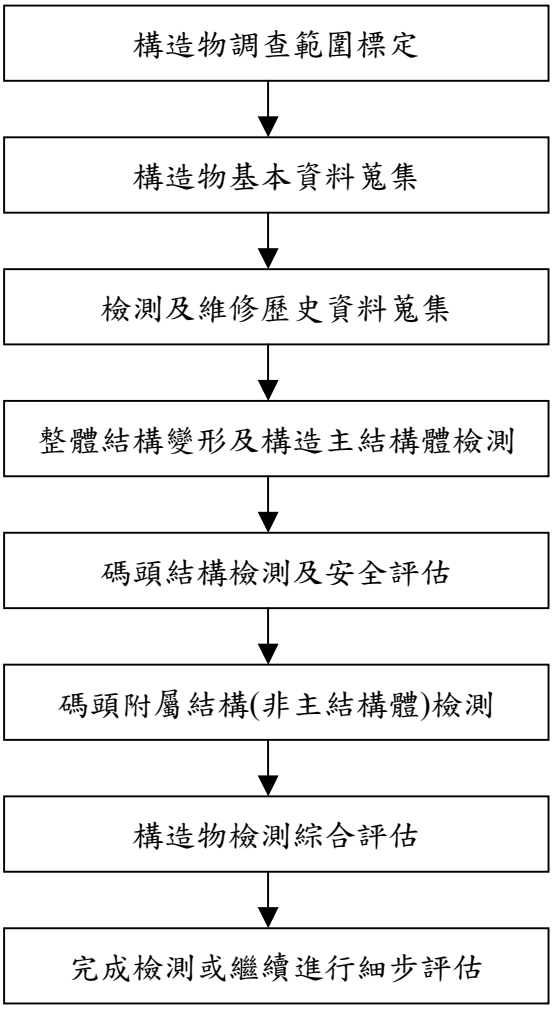


圖 3.13 構造物現況調查流程

3.3.1 調查範圍

本年度調查範圍包括：基隆港西 14 至西 18 號及臺中港西 3 號碼頭；新竹市新竹漁港、臺中縣梧棲漁港、高雄市前鎮漁港及屏東縣東港鹽埔漁港（沉箱重力式、板樁式）；基隆港東 2 至東 7 號及高雄港 54 至 58 號（板樁式）碼頭，依初步檢測規定項目進行調查，調查結果將作為後續相關研究之結構安全評估及建置維護管理資料庫之重要數據。

3.3.2 構造物基本資料蒐集

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

3.3.3 檢測及維修歷史

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

3.3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測

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

由於港灣構造物主體結構的主要部份均位於水下，初步檢測檢測項目包括：碼頭面之裂縫檢測、鋼筋外露程度，鋼筋腐蝕探測；混凝土強度劣化檢測，混凝土保護層厚度檢測等；構造伸縮縫檢測則包括有岸肩伸縮縫，及面版伸縮縫等，檢測項目詳如表 3-5。

表 3-5 碼頭構造物初步檢測評估表

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

3.3.5 鋼筋混凝土材料劣化檢測

1. 非破壞性試驗

(1)反彈錘法

反彈鎚的構造主要構件有四部份：a.外殼；b.衝擊桿；c.鎚塊；及 d.彈簧。實際檢測強度時，將突出儀器外面的衝擊桿與混凝土表面接觸，當衝擊桿還是突出儀器外面時，其內部的鎚塊將會被卡損固定在桿頂端，此時把儀器外殼推向混凝土表面，使連接儀器外殼與鎚塊的彈簧伸長，當外殼推到與桿頂接觸時，卡損將放開鎚塊，使其衝向混凝土，而撞擊到衝擊桿上的突肩部分，並反彈回去。反彈鎚塊將會帶動指針，以顯示反彈的距離。反彈距離的刻度數字由 10 到 100 之間，稱為反彈值。

在反彈鎚法的檢測中，只有與衝桿接觸的混凝土部分影響反彈值，例如若接觸到硬石塊，會產生較高的反彈值；相反地，若接觸到空洞或較軟石塊將會產生較低的反彈值。所以同一塊混凝土會因取樣點的不同而有不同的數據。依 ASTM C 805 的規定，每次檢測時取 10 個值來平均之，假如其中有一個值超過平均值達 7 個單位以上時，此數值必須捨棄，然後再將剩餘的數值平均之；假若有二個值以上都是大於平均值 7 個單位時，則此 10 個值必須全部捨棄。

因為反彈鎚法只檢測到混凝土表面層附近的強度，所以並不能代表就是混凝土內部的強度。若表面有碳化現象存在，會導致測得的表面強度大於內部的強度；同樣地，表面乾燥時測得強度會比內部潮溼的混凝土強度高。而鑄模的種類也會影響表面強度，如木範本支撐而成的混凝土表面強度將比鋼範本支撐而成的混凝土表面強度高。只有表面數英吋的厚度情況會對強度有較大的影響而已。當表面較粗糙時，所測得的強度會比實際值低，故測粗糙表面情況的混凝土必須先磨平。如果表面有用墁刀處理

過，其表面會較堅硬，而可以得到較高之反彈值。另外，檢測時儀器與表面的角度也會影響反彈值。

綜合以上而言，反彈鎚法是一種非常簡單的檢測方法，但是影響混凝土表面強度的因素很多種，所得結果只能當作參考用，這是使用者必須事先認知的。雖然儀器製造商提供了反彈值和抗壓強度間的關係圖，但是由於混凝土本身有太多的變異及因數影響，所以使用者仍應自行建立適用材料的關係表，以提高預估強度的準確度及可信度。

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

(2)鋼筋電阻係數量測

由於混凝土構造物內部含水量增加或離子濃度增加時，電阻係數將會隨之降低；而微細裂縫的存在與否及其多寡、深度範圍等也將對電阻係數造成影響，因此本項試驗結果僅供參考。量測時係於混凝土表面鑽取定距離之兩孔(約 5 公分)，吹出孔內因鑽孔而產生之粉塵顆粒後，注入凡士林做為介質，接著利用具兩個探針(頭)之電阻量測儀進行試驗。

(3)鋼筋電位值量測

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

鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能量測儀器連接成一通路，

將導線與電錶連接後，移動參考電極即可量測出整個結構物內半電池腐蝕電位(Half Cell)，如圖 3.14 所示。電極棒內之硫酸銅溶液應在飽和狀態，電極移動時溶液與內部銅棒須完全接觸同時電極前面須用海綿填充。測定前導線應檢查內部銅線是否腐蝕或電阻過大，才能讀出正確的腐蝕電位，結構物表面在量測前應潑水使成面乾內飽和狀態。

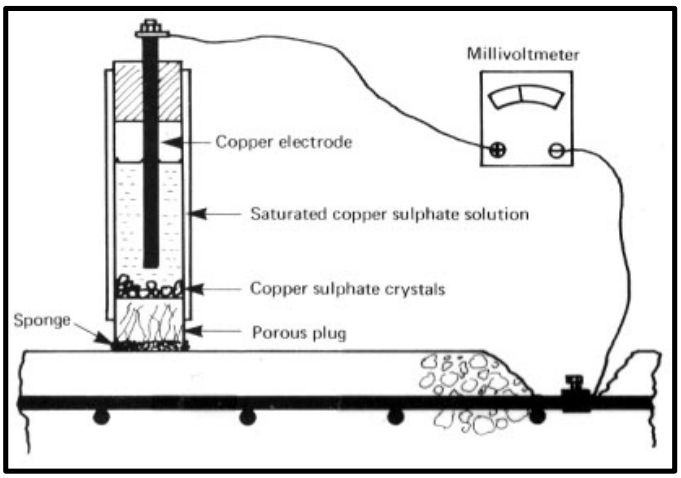


圖 3.14 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

腐蝕電位與鋼筋腐蝕關係，依據 ASTM C-876 及 Van Daveer 建議電位在－200mV CSE(飽和硫酸銅電極) 時腐蝕機率各為小於 10%和 5%電位在－200mV 至－350mV CSE 時腐蝕機率為大於 50%，電位若小於-350mV CSE 時，腐蝕機率則提高至大於 90%和 95%。如表 3-6 所示。

表 3-6 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係

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

利用鋼筋電位推估鋼筋腐蝕相當簡便，但其缺點為：

a.數據只能研判鋼筋是否可能發生腐蝕，無法測知鋼筋之腐蝕速率。

b.不適用於中性化的結構或海砂結構體，理由是中性化所引起的介面電位元差，可能高達-200 mV，容易造成誤判。

c.無法用於海水下方之構造物。

2. 局部破壞性試驗

此試驗的主要目的是在決定結構體中部份區域之抗壓強度，同時取出之試體可做中性化試驗與超音波檢測。鑽心試驗是依據 CNS 規範中之規定，其取樣之試驗抗壓強度之圓柱試體，其試體直徑至少為最大粗粒料粒經之 3 倍。鑽小試體長度最好為其直徑之 2 倍，或者不得小於其直徑。

(1)中性化試驗

混凝土中的氫氧化鈣遇水後，會解離為鈣離子及氫氧離子，所以混凝土的 pH 值一般為 12～14，在此酸鹼度下鋼筋表面會形成一層具有保護性之鈍化膜。然而空氣中的酸性物質(如二氧化碳、二氧化硫等)會降低混凝土的鹼度，其原先的 pH 值會降到 7～9 左右，此即混凝土之中性化。中性化不僅使混凝土失去保護鋼筋的作用，且破壞鋼筋表面的鈍化膜，使鋼筋在低鹼的環境下產生鏽蝕；中性化的另一作用會加速混凝土的收縮，產生拉裂與結構破壞，對港灣構造物之影響更值得注意與防範。

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

觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度，該試劑在 pH 值在 8.5 以上之鹼性環境中會變為紅色，而 pH 值在小於 8.5

的環境下則為無色，實際測定則以剖面的分界點來判定未中性化程度。一般在維修時，即以此方法來判定應敲除混凝土劣化區域與決定修復範圍。中性化深度量測時最容易產生誤差有兩個：第一是指示劑不能放太久，否則混凝土變色不易；第二是混凝土試體取出後不能和空氣接觸太久，否則試體表面混凝土均已中性化就無從判斷混凝土中性化的深度。

(2)抗壓試驗

鑽心試體進行抗壓試驗時應依以下之步驟進行：

a.兩端平整處理：

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

b.潮濕狀況：

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

c.蓋平：

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

d.度量：

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

e.試驗：

可依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

f.計算及報告：

試體受力方向，與原結構物內受力方向之關係，需在報告內註明。試體之抗壓強度，可根據其平均直徑，算出每平方公分所受壓力。如試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以表 3-7 之更正因數(表中未列入之值，可由內差法求知)。

表 3-7 圓柱試體長度直徑比

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

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

(3)超音波脈波速度量測

使用英國 CNS 儀器公司出品之 PUNDIT(Portable Uitrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester)超音波脈波速度測定儀，量測在硬固混凝土材質內超音波脈波之傳遞速度，瞭解混凝土之品質狀況。脈波速度與混凝土品質關係如表 3-8 所示，可作初步研判。

表 3-8 超音波脈波速度與混凝土品質之關係

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

(4)氯離子檢測

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

3.3.6 鋼構造物檢測

1. 鋼板（管）樁料厚度檢測

以超音波厚度儀之探頭，接觸已敲除清理乾淨之鋼板（管）樁表面，讀取鋼板樁厚度，鋼板（管）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。

(1)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，由探頭傳送出之一彈性波，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+/- 0.1mm，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 3.15。

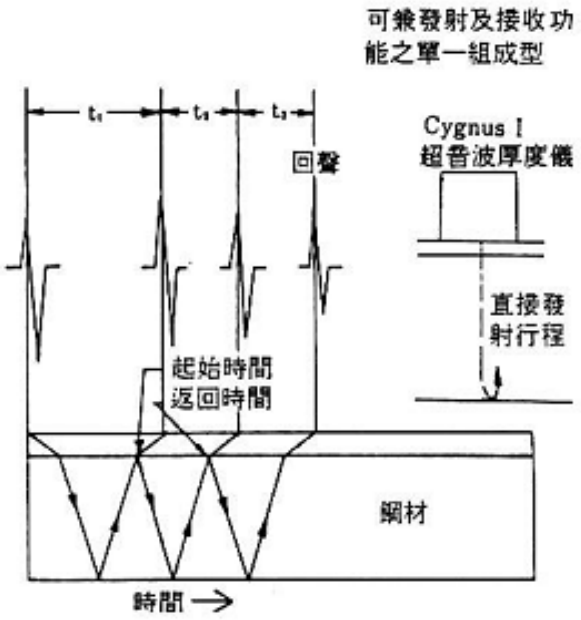


圖 3.15 測厚儀量測之示意圖[8]

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times \frac{1}{2}(T_{i+1} - T_i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3\text{-}3)$$

式中 V：超音波在鋼板樁中之傳播速度(5920m/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。

(2)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：

腐蝕速率=腐蝕量/使用年期

=(原始厚度-現有厚度)/使用年期……..(3-4)

2. 防蝕系統檢測

(1)腐蝕電位測定：電氣防蝕效果的檢測通常是以電位的測定來進行，透過高電阻電壓計與檢驗電極來測定鋼質構造物的電位，掌握防蝕設施的電位分佈狀況進而得知防蝕狀態。如圖 3.16 所示，使用海水氯化銀電極進行電位測定，數值假如比-780 mV(腐蝕電位)低的話，就表示處在防蝕狀態。電位測定示意圖，如圖 3.17 所示，測定儀器包含高電阻電壓計、電極及電位測定儀。實施電位測定的地點通常是在測定裝置設置地點與其相鄰的中間點。但是若在這些測定地點不包括陽極中間點的場合，為了掌握整個防蝕設施電位分佈狀況，則可在距離陽極最遠的地點進行電位測定。在構造物的深度方向的測定是以 1 m 間隔在進行，另外在棧橋式鋼管樁未安裝陽極的場合，必須選定前列樁進行測定。

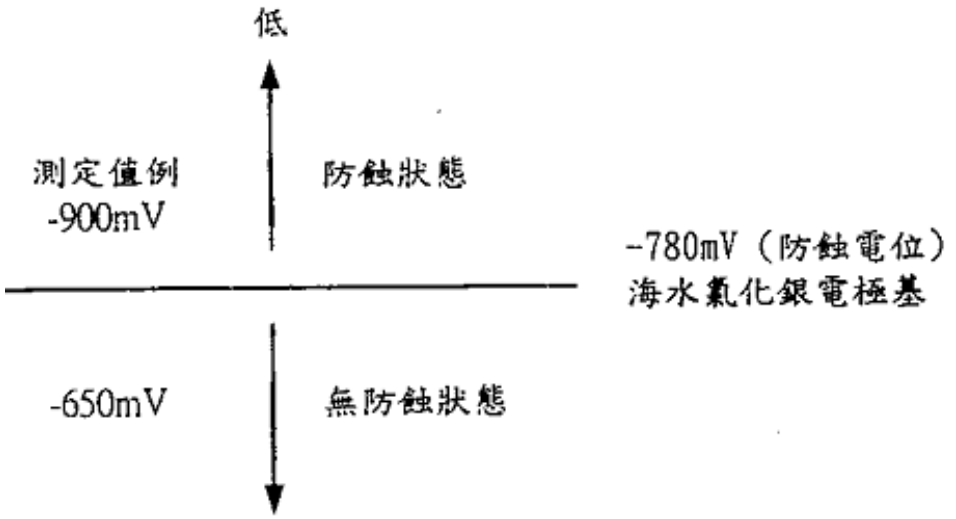


圖 3.16 防蝕效果的判定方法

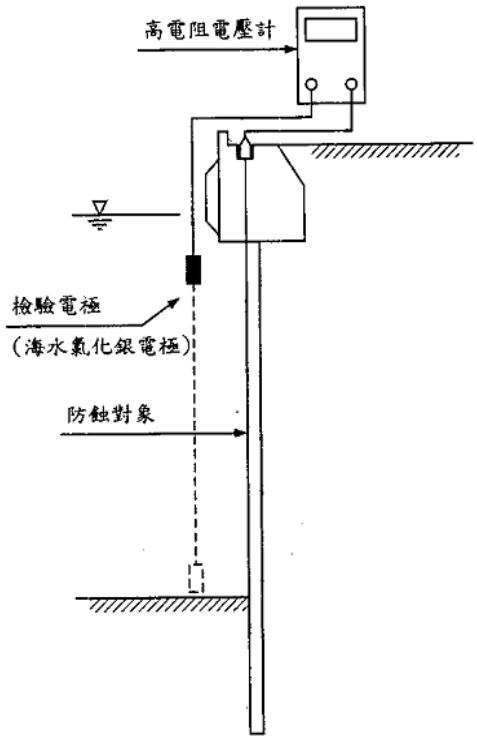


圖 3.17 電位測定示意圖

(2)陽極塊測定

a.利用陽極形狀尺寸的殘量計算：利用水中作業除去附在陽極表面的腐蝕生成物，依圖 3.18 所示的要領進行計測。此時必要的話，也需進行攝影。陽極殘量=[(D/4)^2×L-蕊棒體積]×陽極密度，在此 D 為平均周長(D_1+D_2+D_3)/3，D_1 與 D_3 為距殘存洋極端頭約 10 cm 的位置的外周長，D_2 為殘存陽極中央不為的外周長，L 為殘存陽極長度。

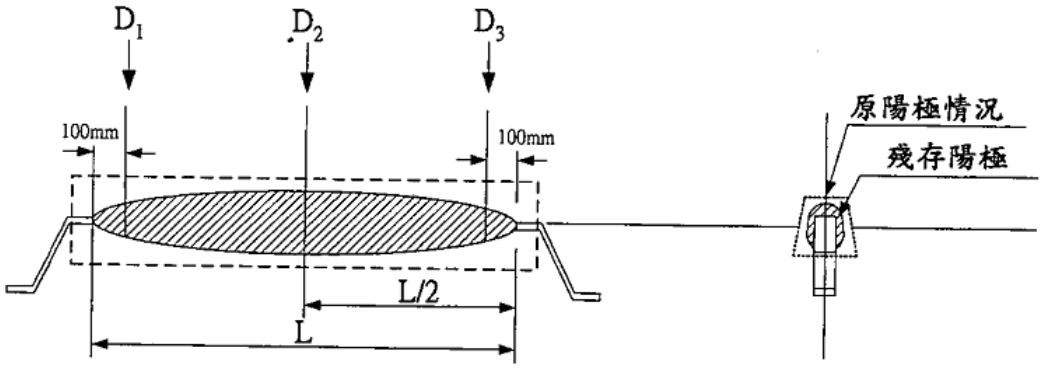


圖 3.18 陽極尺寸測定示意圖

b.陽極秤重：切斷陽極蕊棒部位拉上按秤重，扣除蕊棒部份求取陽極的殘量。

c.陽極殘存壽命計算：陽極的殘存壽命是從消耗的殘存重量及經過數年計算出。

陽極年平均消耗量=(陽極初期重量-陽極殘存重量)/經過年數

殘存壽命=陽極殘存量/陽極年平均消耗量

另外，也可從陽極平均發生電流求取殘存壽命

殘存壽命=(陽極殘存量×陽極有效電氣量)/陽極平均發生電流

3.3.7 非主結構體檢測

非主結構體檢測項目包括：護舷材破損、劣化及裂縫檢測；繫船

柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測；其他附屬設施如擋車墻，給水排水設備，照明設備，供電供油相關之管線、管路等。

3.3.8 構造物初步檢測評估

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

其中損壞程度(D)分為 0 到 5 級六等，級別為 1 級到 4 級時分別代表檢測對象之損壞程度，隨級別之增加其損壞程度亦隨之提高，級別為“0“級時則代表該檢測項目不存在。級別為“5“級時則代表該檢測項目之受測構件已嚴重損壞，致無法判定或無法檢測，必須立即進行下一步之細部檢測，故等級為“5“時代表損壞程度高於“4“。E 值為構件破壞範圍或破壞構件參數，以構件破壞數與受測構件數的百分比，或破壞面積與受測面積的百分比為參考，依其所座落範圍訂出“1“到“5“的等級，以百分比乘以十後，捨棄小數點為 E 值，大於“5“之值均以 5 填入表格。R 值為受測項目對碼頭整體設施結構安全之影響程度，分為“1“（可忽略）、“2“（輕微）、“3“（小）、“4“（中）及“5“（大）等 5 個等級，其大小之決定與碼頭型式相關，有賴現地檢測人員之經驗及專業訓練判定。

碼頭檢測項目之 D 值示如表 3-9，依據檢測結果，檢測值經下列公式 3-1 或公式 3-2 換算後決定最後等級。

表 3-9 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係-1

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

表 3-9(續) 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係-2

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

3.3.9 完成檢測或進行細部評估

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

3.4 結果與討論

3.4.1 基隆港西 14 號碼頭

1. 碼頭基本資料

本座碼頭以靠泊雜貨輪為主，全長 172.4 m，寬 12.4m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 2.0 t/m^2，結構型式分為基樁式（每排 9 隻直樁支撐面版）與混凝土方塊擁壁式兩種（如表 3-10 所示）。碼頭位置及結構型式分別如圖 3.19 至圖 3.21 所示。

表 3-10 基隆港西 14 號碼頭結構資料

碼頭編號	用途	長度 (m)	寬度 (m)	深度 (m)	碼頭結構	結構型式長度 (m)	設計載重 (T/m^2)
西 14	貨	172.40	12.4	-9.0	基樁式 擁壁式 基樁式 擁壁式 基樁式	35.8 17.2 42.6 26.4 47.8	2.0

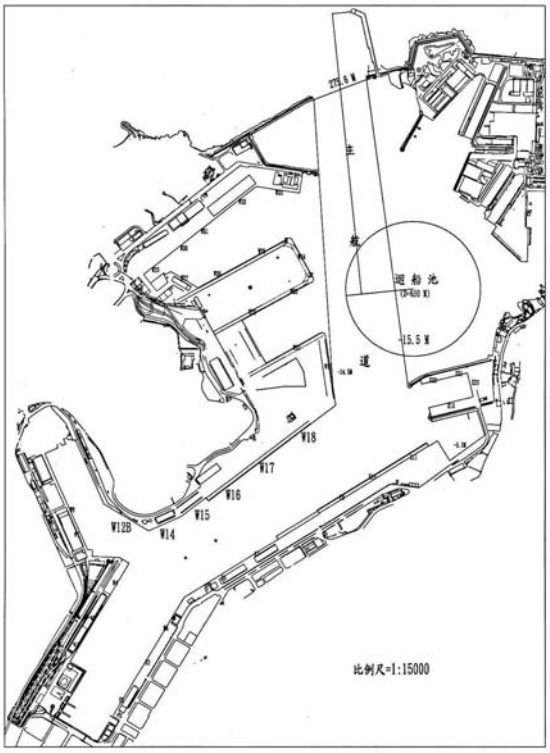
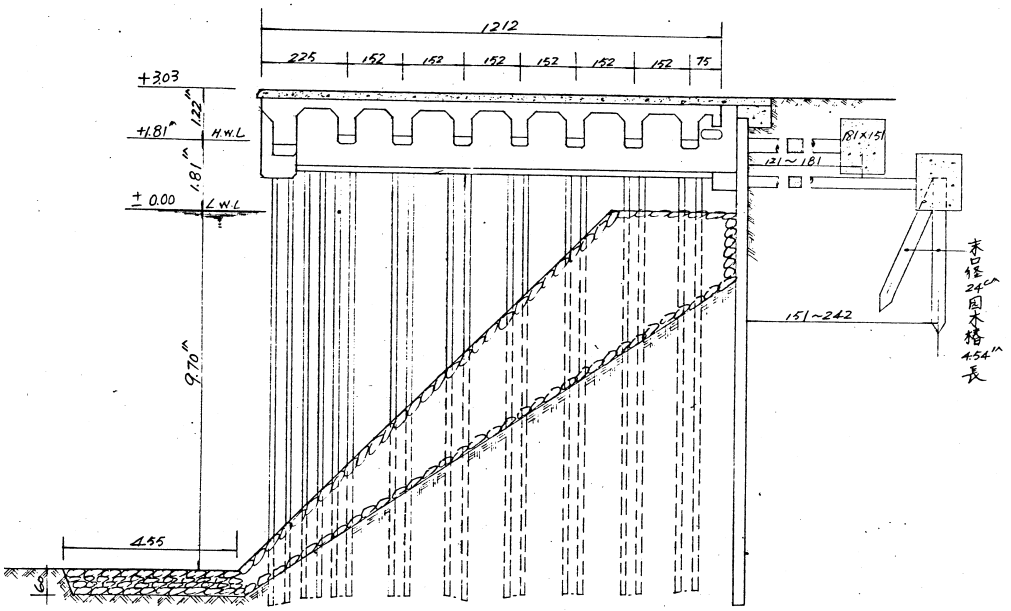
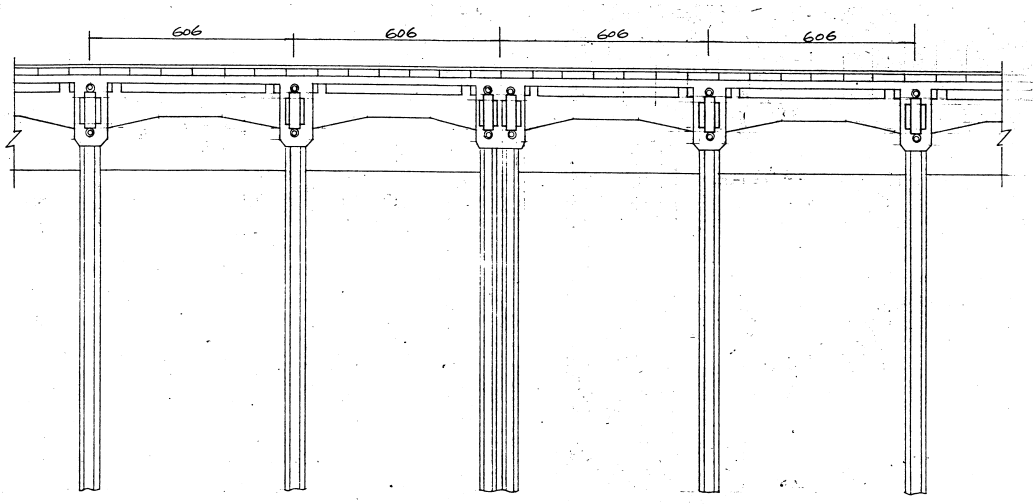


圖 3.19 基隆港碼頭位置示意圖



(a)剖面圖



(b)正面圖

圖 3.20 基樁式碼頭正剖面示意圖

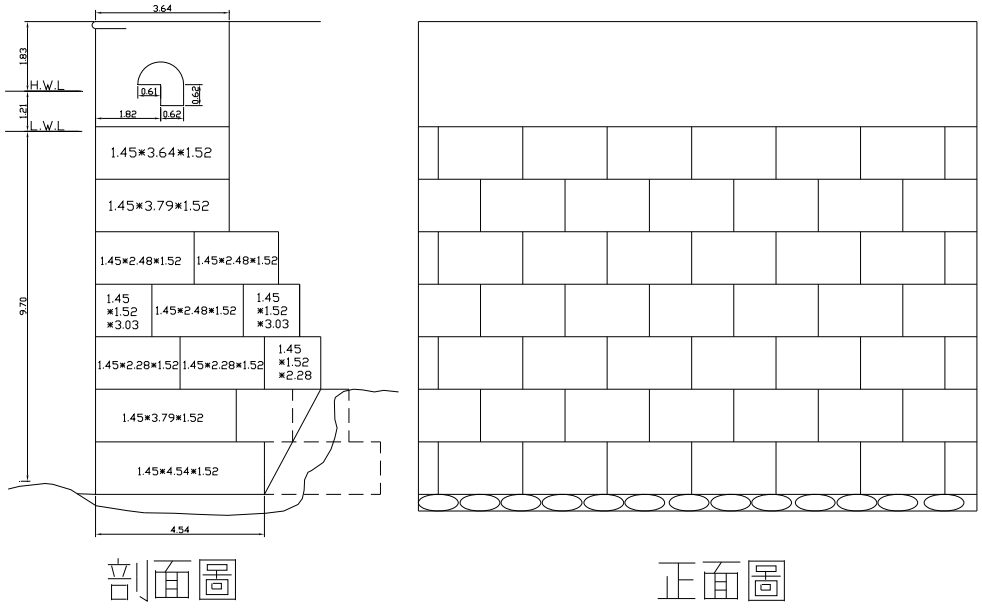


圖 3.21 擁壁式碼頭正剖面示意圖

2010 年 5 月調查時之碼頭情形如圖 3.22 所示。

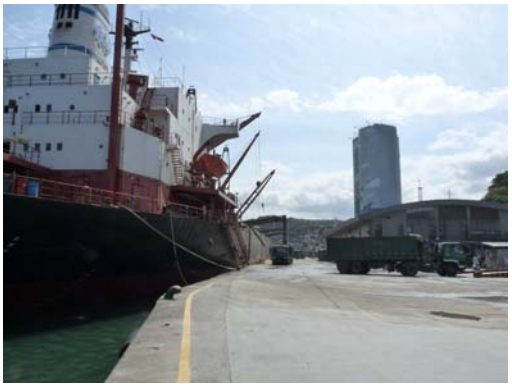


圖 3.22 基隆港西 14 號碼頭上部結構現況

2. 整體結構變形及構造主結構體檢測

本次檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：檢測重點包含是否傾斜、破損、位移等。本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

(2)碼頭面法線檢測：檢測重點包含是否扭曲、變形等。本座碼頭面

法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版以目視觀測，未發現明顯沉陷及舖面劣化等現象。故 D 值=0，E=0，R=3。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭針對岸壁進行混凝土試錘試驗，藉由反彈值推估混凝土表面硬度，並將表面硬度推算為混凝土強度，試驗結果混凝土強度約為 152～365 kgf/cm^2（如表 3-11、3-12），多大於設計強度之 210 kgf/cm^2，強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=3。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭結構陸上部份，鋼筋混凝土未發現腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故未實施此檢測項目。

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

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫，未發現結構體間有明顯相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-15 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

3. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱

位於碼頭上部份，柱體完整，未出現鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

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

(4)給水排水設備：本座碼頭未進行評估本檢測項目。

(5)照明設備：本座碼頭未進行評估本檢測項目。

(6)油電管路檢測：本座碼頭未進行評估本檢測項目。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-15 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

4. 碼頭整體結構體初步檢測評估

本座碼頭整體結構之初步檢測之破壞指標為 0.0（表 3-15），小於 2.0 之值，顯示碼頭整體設施結構安全無虞，功能性完整良好。

5. 碼頭非破壞性檢測及水下調查

為確實明瞭本座碼頭整體結構現況，本研究另選定 3 處測點進行混凝土材料之之非破壞性檢測，並由潛水人員實施基樁式結構面版底部水下調查，檢測位置及結果分別示於圖 3.23 至圖 3.25 及表 3-11 至表 3-14。調查結果發現，基樁式結構面版底部與樑均有多處混凝土剝落劣化及鋼筋腐蝕生銹現象，應予及時補修。

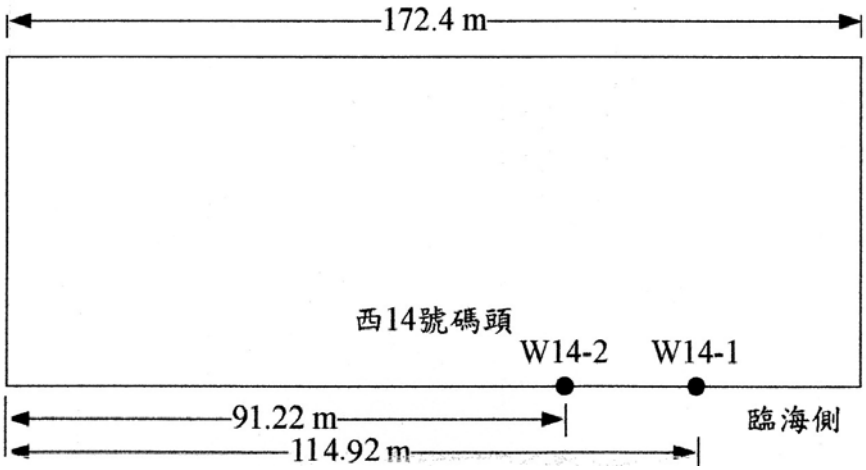


圖 3.23 基隆港西 14 號碼頭非破壞性檢測位置示意圖

表 3-11 基隆港西 14 號碼頭電阻係數等試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	腐蝕電位 (mV 硫酸銅電極)	電阻係數 (KΩ)
14-1(基樁式)	32.3(238)	-568～-412	18.0～22.1
14-2(擁壁式)	28.5(185)	-272～-131	31.2～47.3

表 3-12 基隆港西 14 號碼頭鑽心試體抗壓強度等試驗結果

試體編號	抗壓強度(kgf/cm^2)	中性化深度(cm)
W14-1-1	152*	0.1
W14-1-2	211	0.2
W14-1-3	239	0.1
W14-1-4	243	0.2
W14-2-1	326	0.2
W14-2-3	365	0.2
W14-2-4	362	0.3

表 3-13 基隆港西 14 號碼頭鑽心試體之超音波脈波速度

試體編號	超音波速(m/sec)	試體編號	超音波速(m/sec)
W14-1-1	3959	W14-2-1	4349
W14-1-2	4597	W14-2-3	4363
W14-1-3	4254	W14-2-4	4321
W14-1-4	4184	---	---

表 3-14 基隆港西 14 號碼頭氯離子檢測結果(單位：kg/m^3)

深度 / 試體編號	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
W14-1	1.15	1.27	1.28	1.28	1.03	0.71	0.82
W14-2	2.07	1.36	1.34	1.11	0.42	0.54	0.71

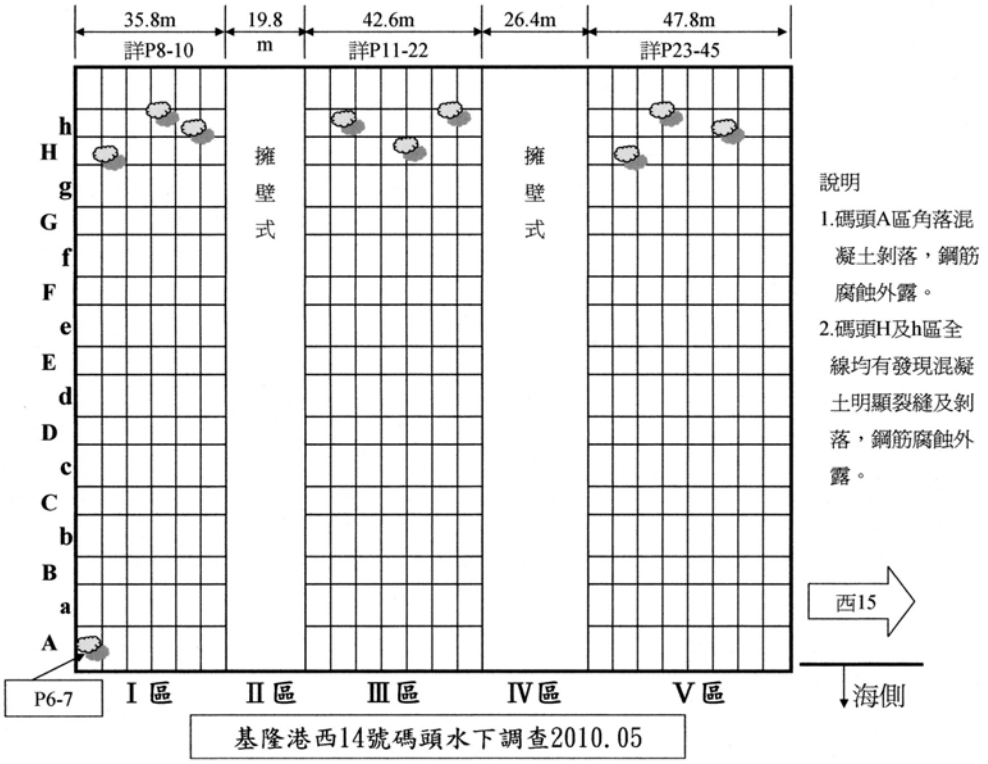


圖 3.24 基隆港西 14 號碼頭面版底部目視檢測結果

照片編號 P6

照片編號 P12

照片編號 P14

照片編號 P22

照片編號 P26

照片編號 P33

照片編號 P37

照片編號 P44

圖 3.25 基隆港西 14 號碼頭基樁式面版調查照片

表 3-15 基隆港西 14 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 14 號		
	建造日期：日據時期		啟用日期：日據時期		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：172.4 m 縱深：12.4 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪（穀類）　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式（擁壁式）　☐板樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ = 0/19=0.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	----	----	----	----
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ =0/7= 0.0			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ =0/（19+7）= 0.0			
檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍、何木火、李昭明　檢測時間：2010 年 5 月					

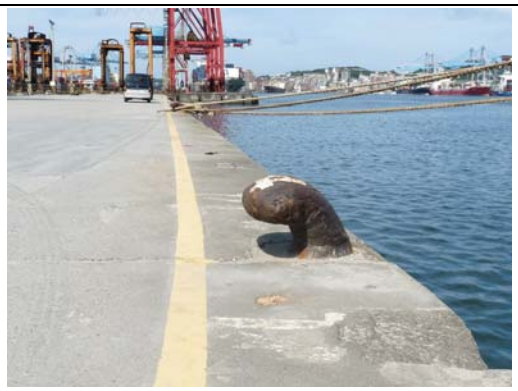
3.4.2 基隆港西 15 號碼頭

1. 碼頭基本資料

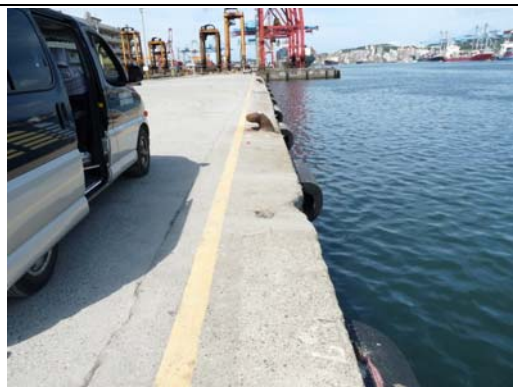
本座碼頭以靠泊雜貨輪為主，全長 148.4 m，寬 12.4m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 2.0 t/m^2，主要結構型式分為基樁式與混凝土方塊擁壁式兩種（如表 3-16 所示）。碼頭位置及結構型式如圖 3.19 及圖 3.20 至圖 3.21 所示。碼頭上部結構現況如圖 3.26 所示。

表 3-16 基隆港 15 號碼頭結構資料

碼頭編號	用途	長度 (m)	寬度 (m)	深度 (m)	碼頭結構	結構型式長度 (m)	設計載重 (T/m^2)
西 15	貨	148.43	12.4	-9.0	基樁式 擁壁式	115.00 33.43	2.0



碼頭上部現況(靠西 14 號碼頭海側)



碼頭法線現況

繫船柱與防舷材現況

碼頭伸縮縫現況

圖 3.26 基隆港西 15 號碼頭上部結構現況

2. 整體結構變形及構造主結構體檢測

本次檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：檢測重點包含是否傾斜、破損、位移等。本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版以目視觀測，未發現明顯沉陷及舖面劣化等現象。故 D 值=0，E=0，R=3。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭針對岸壁進行混凝土試錘試驗，藉由反彈值推估混凝土表面硬度，並將表面硬度推算為混凝土強度，試驗結果混凝土強度約為 208～336 kgf/cm^2（如表 3-17、表 3-18），大於設計強度之 210 kgf/cm^2，強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=3。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故未實施此檢測項目。

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

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫部份，未發現結構體間有明顯相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-21 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

3. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，未出現鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

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

(4)給水排水設備：本座碼頭未進行評估本檢測項目。

(5)照明設備：本座碼頭未進行評估本檢測項目。

(6)油電管路檢測：本座碼頭未進行評估本檢測項目。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-21 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

4. 碼頭整體結構體初步檢測評估

本座碼頭整體結構之初步檢測之破壞指標為 0.0（表 3-21），小於 2.0 之值，顯示碼頭整體設施結構安全無虞，功能性完整良好。

5. 碼頭非破壞性檢測及水下調查

為確實明瞭本座碼頭整體結構現況，本研究另選定 3 處測點進行混凝土材料之非破壞性檢測，並由潛水人員實施基樁式結構面版底部水下調查,檢測位置及結果分別示於圖 3.27 至圖 3.29 及表 3-17 至表 3-20。調查結果發現，基樁式結構底部之面版與樑均有多處混凝土剝落劣化及鋼筋腐蝕生銹現象，應予及時補修。

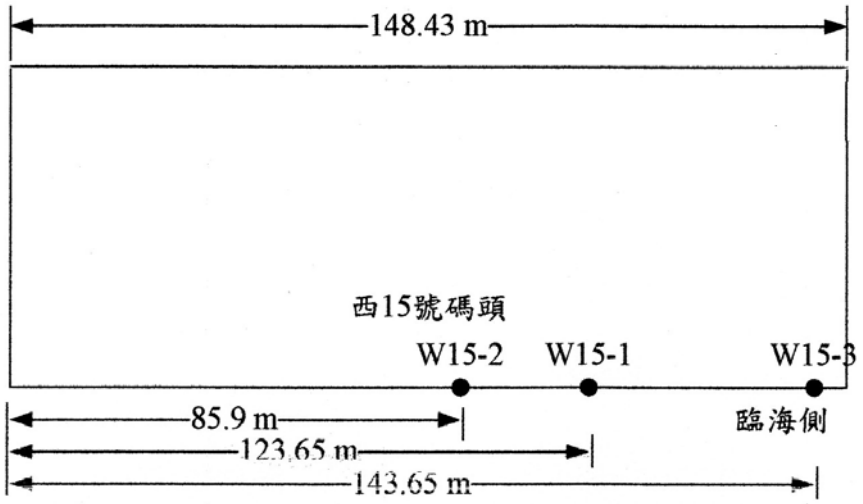


圖 3.27 基隆港西 14 號碼頭非破壞檢測位置示意圖

表 3-17 西 15 號碼頭電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	腐蝕電位 (mV 硫酸銅電極)	電阻係數 (KΩ)
15-1(基樁式)	33.4(254)	-432～-256	47.3～52.7
15-2(擁壁式)	35.4(282)	-824～-720	21.8～46.1
15-3(基樁式)	30.6(214)	-495～-318	47.1～56.2

表 3-18 西 15 號碼頭鑽心試體之抗壓強度、中性化試驗結果

試體編號	抗壓強度(kgf/cm^2)	中性化深度(cm)
W15-1-1	269	0.2
W15-1-2	336	0.1
W15-1-3	310	0.2
W15-2-1	288	0.2
W15-2-2	208	0.3
W15-2-3	266	0.1
W15-2-4	263	0.2
W15-3-1	305	0.2
W15-3-3	255	0.2

表 3-19 基隆港西 15 號碼頭鑽心試體之超音波脈波速度

試體編號	超音波速(m/sec)	試體編號	超音波速(m/sec)
W15-1-1	4321	W15-2-3	4724
W15-1-2	4448	W15-2-4	4335
W15-1-3	4448	W15-3-1	4294
W15-2-1	4011	W15-3-3	4096
W15-2-2	4236		

表 3-20 基隆港西 15 號碼頭氯離子檢測(單位：kg/m^3)

深度 / 試體編號	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
W15-1	2.96	1.48	1.04	0.85	0.41	0.52	0.49
W15-2	1.38	0.71	0.83	0.67	0.27	0.17	0.37

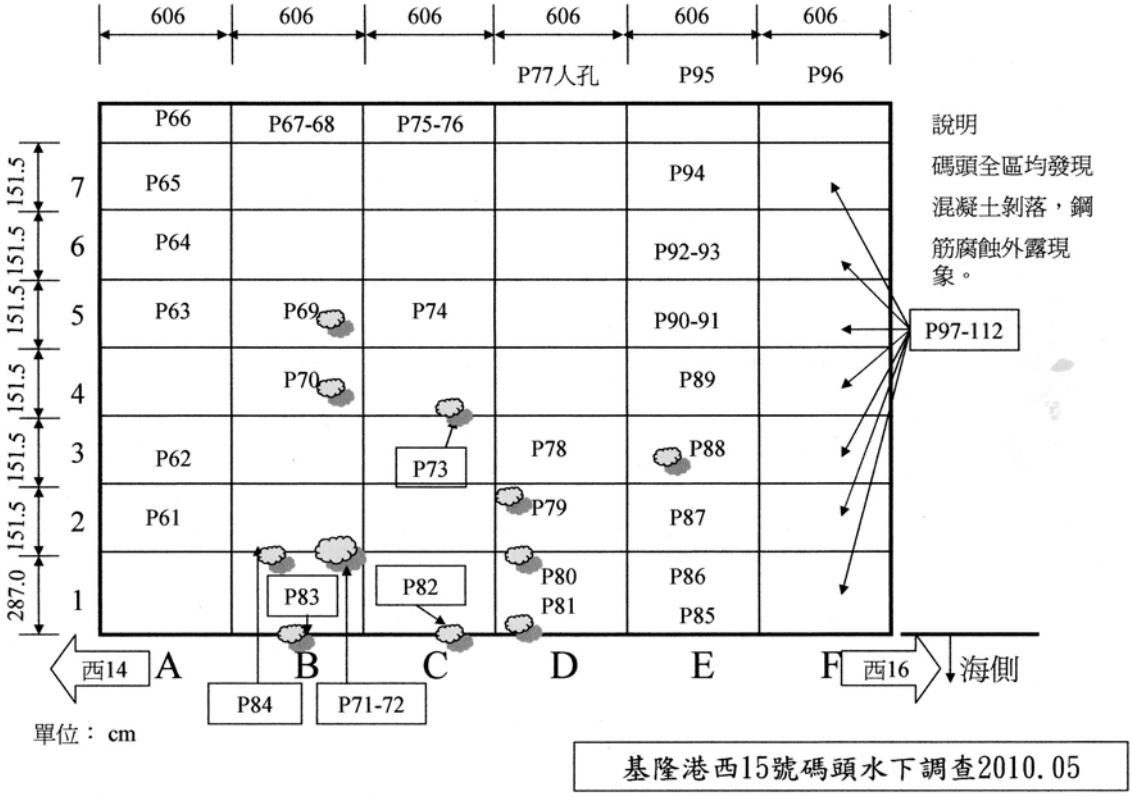


圖 3.28 基隆港西 15 號碼頭面版底部目視檢測結果

圖 3.29 基隆港西 15 號碼頭基樁式面版調查照片

表 3-21 基隆港西 15 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 15 號		
	建造日期：日據時代		啟用日期：日據時代		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：148.43 m 縱深：12.4 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪（穀類）　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式（擁壁式）　☐板樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ = 0/19=1.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	----	----	----	----
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ =0/7= 0.0			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ =0/（19+7）= 0.0			
檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2010 年 5 月					

3.4.3 基隆港西 16 號碼頭

1. 碼頭基本資料

本座碼頭結構型式原與西 15 號碼頭相同，以靠泊貨櫃船隻為主，為營運需要，於民國 78 年完成擴建，向海側延伸 20 m 之棧橋式鋼管樁碼頭，全長 148.4 m，寬 34m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 2.0 t/m^2，主要結構型式係以 7 隻直樁及 3 隻斜樁支撐面版。碼頭位置如圖 3.19 所示，結構型式如圖 3.30 所示，碼頭現況情形如圖 3.31 所示。

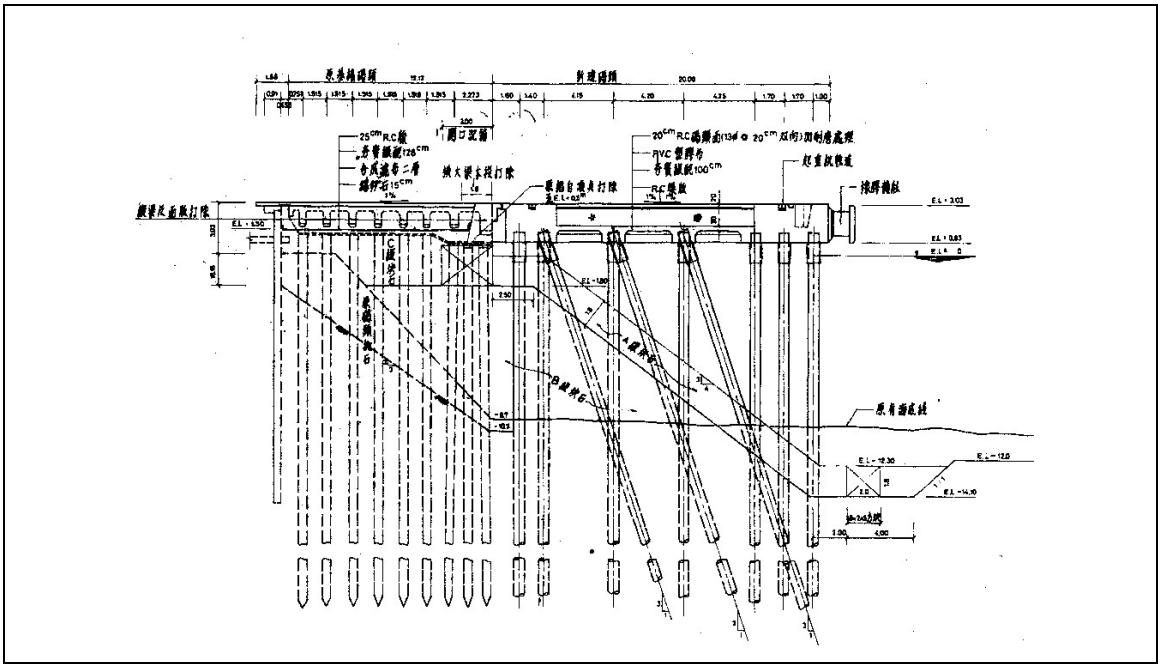
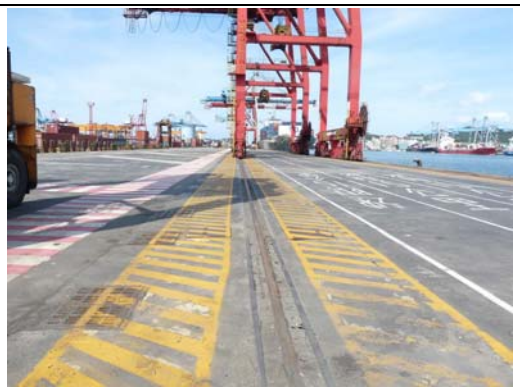


圖 3.30 基隆港西 16 至西 18 號碼頭結構型式

碼頭上部現況(靠西 15 號碼頭側)



碼頭貨櫃起重機軌道現況

圖 3.31 基隆港西 16 號碼頭上部結構現況

2. 整體結構變形及構造主結構體檢測

本次檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版以目視觀測，未發現明顯沉陷及舖面劣化等現象。故 D 值=0，E=0，R=3。

(4)混凝土強度檢測：構造物當無重大明顯的破壞發生時，或重大明顯的破壞發生原因不明確時，一般混凝土強度可先視為與設計強度相當，即強度損失不大或可忽略，本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略。，故 D 值=0，E=0，R=3。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對碼頭岸壁進行保護層厚度檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未實施此檢測項目。

(7)鋼管腐蝕檢測：本座碼頭鋼管樁保護電位量測結果如表 3-22 所示，其值均小於-780 mV（氯化銀參考電位），故故 D 值=0，E=0，R=3。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-23 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

3. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，未發現鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車墻調查時，無劣損龜裂及破壞情形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(5)照明設備：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(6)油電管路檢測：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(7)貨櫃起重機軌道：本座碼頭靠海側軌道無金屬片扭曲及變形，軌道旁混凝土面有凹陷現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-23 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，大於 2.0 但小於 4.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整

4. 碼頭整體結構體初步檢測評估

本座碼頭整體結構之初步檢測之破壞指標為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭整體設施結構安全無虞，功能性完整良好。

5. 碼頭底版目視檢測及水下調查

為確實明瞭碼頭整體結構現況，本研究由潛水人員進行碼頭面版底版目視檢測及鋼管樁保護電位量測等，結果如表 3-22 及圖 3.32 所示。調查結果發現，舊碼頭與新碼頭交接處有多處混凝土剝落劣化及鋼筋腐蝕生銹現象，但不影響延伸擴建部份之結構安全。

表 3-22 基隆港西 16 號碼頭鋼管樁保護電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

鋼管樁編號	水深		
	-1m	-4m	-7m
1	-872	-876	-890
2	-844	-874	-872
3	-839	-875	-896
4	-840	-868	-890
5	-841	-870	-872
6	-838	-869	-866
7	-844	-862	-862
8	-847	-872	-866
9	-843	-862	-860
10	-840	-862	-863

圖 3.32 基隆港西 16 號碼頭新舊交接處現況調查照片

表 3-23 基隆港西 16 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 16 號		
	建造日期：民國 78 年		啟用日期：民國 78 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：156.5m 縱深：34 m	水域深度	原設計：-13 m 目　前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃 ☐化學(油)品 ☐雜貨輪 ☐其他			
	碼頭構造型式	☐重力式　☐版樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼板腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ = 0/19=0.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	----	----	----	----
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	貨櫃起重機軌道	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ = 0/10=0.0			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ = 0/（19+10）=0.0			
檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2010 年 5 月					

3.4.4 基隆港西 17 號碼頭

1. 碼頭基本資料

本座碼頭結構型式原與西 15 號碼頭相同，以靠泊貨櫃船隻為主。為營運需要於民國 78 年擴建，向海側延伸 20 m 之棧橋式鋼管樁碼頭，全長 207 m，寬 34m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 2.0 t/m^2，主要結構型式係以 7 隻直樁及 3 隻斜樁支撐面版。碼頭位置如圖 3.19 所示，結構型式同基隆港西 16 號碼頭（如圖 3.30），碼頭現況情形如圖 3.32 所示。

圖 3.33 基隆港西 17 號碼頭碼頭上部結構現況

2. 整體結構變形及構造主結構體檢測

本次檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版以目視觀測，未發現明顯沉陷及舖面劣化等現象。故 D 值=0，E=0，R=3。

(4)混凝土強度檢測：構造物當無重大明顯的破壞發生時，或重大明顯的破壞發生原因不明確時，一般混凝土強度可先視為與設計強度相當，即強度損失不大或可忽略，本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略。，故 D 值=0，E=0，R=3。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對碼頭岸壁進行保護層厚度檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(7)鋼管腐蝕檢測：鋼管樁保護電位量測結果如表 3-24 所示，其值均小於-780 mV（氯化銀參考電極），故故 D 值=0，E=0，R=3。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-25 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

3. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，無鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

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

(4)給水排水設備：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(5)照明設備：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(6)油電管路檢測：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(7)貨櫃起重機軌道：本座碼頭靠海側軌道，未發現金屬片扭曲及變形，軌道旁混凝土面無明顯凹陷現象，初檢評估結果為：D 值=01，E=0，R=3。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-25 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

4. 碼頭整體結構體初步檢測評估

本座碼頭整體結構之初步檢測之破壞指標為 0.0（表 3-25），小於 2.0 之值，顯示碼頭整體設施結構安全無虞，功能性完整良好。

5. 碼頭底版目視檢測及水下調查

為確實明瞭碼頭整體結構現況，本研究由潛水人員進行碼頭面版底版目視檢測及鋼管樁保護電位量測等，結果如表 3-24 及圖 3.34 所示。調查結果發現，舊碼頭與新碼頭交接處有多處混凝土剝落劣化及鋼筋腐蝕生銹現象，但不影響延伸擴建部份之結構安全。

表 3-24 基隆港西 17 號碼頭鋼管樁保護電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

鋼管樁編號	水深		
	-1m	-4m	-7m
1	-872	-876	-890
2	-844	-874	-872
3	-839	-875	-896
4	-840	-868	-890
5	-841	-870	-872
6	-838	-869	-866
7	-844	-862	-862
8	-847	-872	-866
9	-843	-862	-860
10	-840	-862	-863

圖 3.34 基隆港西 17 號碼頭新舊交接處調查照片

表 3-25 基隆港西 17 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 17 號		
	建造日期：民國 78 年		啟用日期：民國 78 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：207 m 縱深：34 m	水域深度	原設計：-13 m 目　前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃 ☐化學(油)品 ☐雜貨輪 ☐其他			
	碼頭構造型式	☐重力式　☐版樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ =0/19=0.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	----	----	----	----
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	貨櫃起重機軌道	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ =0/10=0.0			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ =0/（19+10）=0.0			
檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2010 年 5 月					

3.4.5 基隆港西 18 號碼頭

1. 碼頭基本資料

本座碼頭結構型式原與西 15 號碼頭相同，以靠泊貨櫃船隻為主。為營運需要於民國 78 年擴建，向海側延伸 20 m 之棧橋式鋼管樁碼頭，全長 215.5 m，寬 34m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 2.0 t/m^2，主要結構型式係以 7 隻直樁及 3 隻斜樁支撐面版。結構型式同基隆港西 16 號碼頭（如圖 3.30），碼頭上部結構現況如圖 3.35 所示。

圖 3.35 基隆港西 18 號碼頭上部結構現況

2. 整體結構變形及構造主結構體檢測

本次檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版以目視觀測，未發現明顯沉陷及舖面劣化等現象。故 D 值=0，E=0，R=3。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=3。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

(7)鋼管腐蝕檢測：鋼管樁保護電位量測結果如表 3-26 所示，其值均小於-780 mV（氯化銀參考電位），故 D 值=0，E=0，R=3。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-27 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

3. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，無鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車墻材質表面，無撞損龜裂或變形現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

(5)照明設備：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(6)油電管路檢測：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(7)貨櫃起重機軌道：本座碼頭靠海側軌道，未發現金屬片扭曲及變形，軌道旁混凝土面無凹陷現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=3。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-27 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

4. 碼頭整體結構體初步檢測評估

本座碼頭整體結構之初步檢測之破壞指標為 0.0（表 3-27），小於 2.0 之值，顯示碼頭整體設施結構安全無虞，功能性完整良好。

5. 碼頭底版目視檢測及水下調查

為確實明瞭本座碼頭整體結構現況，本研究由潛水人員針對碼頭面版底版進行目視檢測及鋼管樁保護電位量測等水下調查，檢測結果如表 3-26 及圖 3.36 所示。調查結果發現，舊碼頭部份與新碼頭交接處有多處混凝土剝落劣化及鋼筋腐蝕生銹現象，但不影響延伸擴建部份之結構安全。

表 3-26 基隆港西 18 號碼頭鋼管樁保護電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

鋼管樁編號	水深		
	-1m	-4m	-7m
1	-872	-876	-890
2	-844	-874	-872
3	-839	-875	-896
4	-840	-868	-890
5	-841	-870	-872
6	-838	-869	-866
7	-844	-862	-862
8	-847	-872	-866
9	-843	-862	-860
10	-840	-862	-863

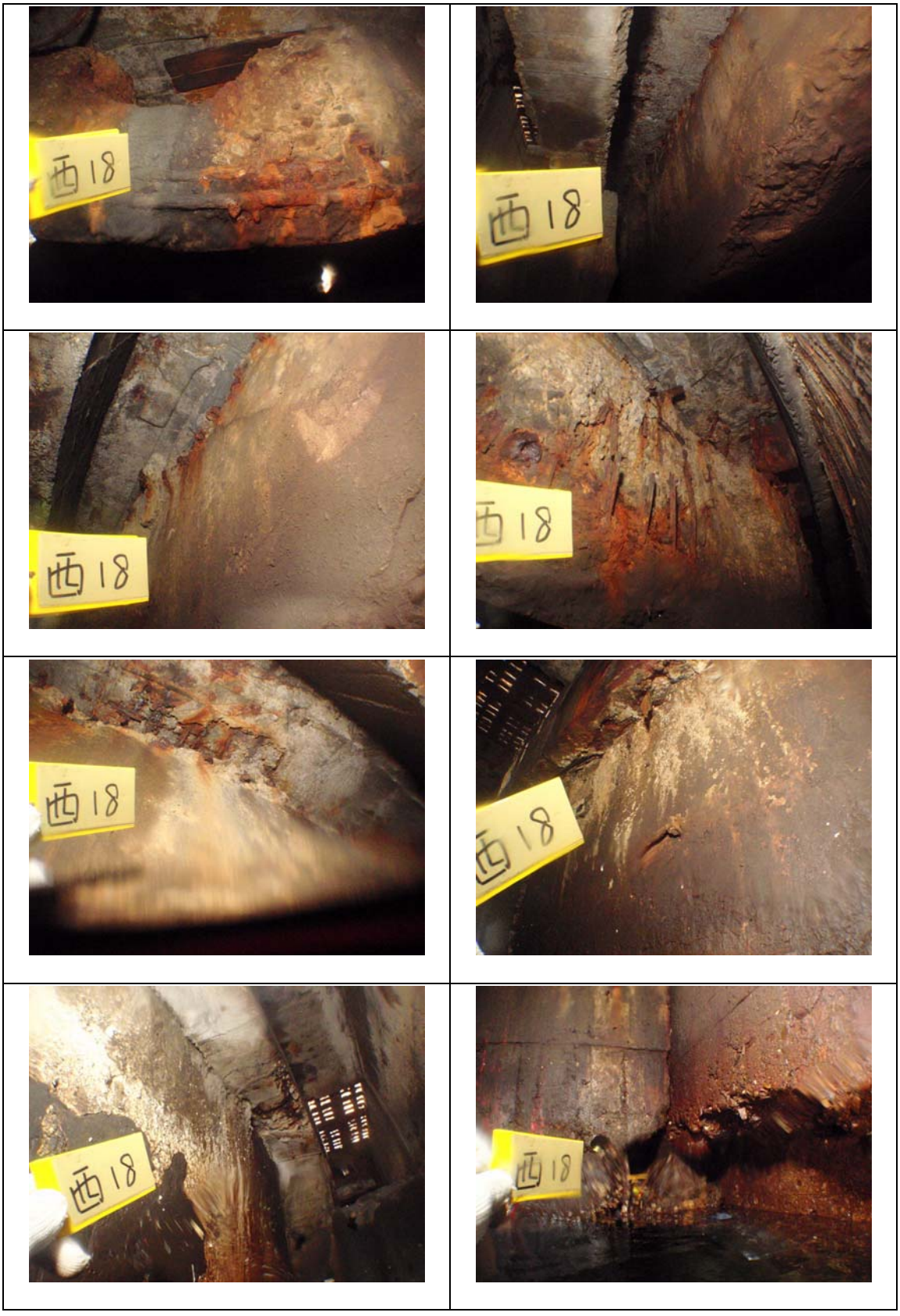


圖 3.36 基隆港西 18 號碼頭新舊交接處調查照片

表 3-27 基隆港西 18 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 18 號		
	建造日期：民國 78 年		啟用日期：民國 78 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：215.5 m 縱深：34 m	水域深度	原設計：-13 m 目　前：-13m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃 ☐化學(油)品 ☐雜貨輪 ☐其他			
	碼頭構造型式	☐重力式　☐版樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ =0/19=0.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	6
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	貨櫃起重機軌道	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ =0/10=0.0			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ =0/(19+10)= 0.0			
檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍、何木火　檢測時間：2010 年 5 月					

3.4.6 臺中港西 3 號碼頭

1. 碼頭基本資料

本座碼頭全長 250 m，寬 27.0m，設計水深為-14.0 m，主要結構型式係以每排 6 隻直樁及 4 隻斜樁支撐碼頭面版之棧橋式結構，設計載重為 3.0 T/m^2。碼頭位置及結構型式如圖 3.37 及圖 3.38 所示。本座碼頭係由臺灣中國石油公司向港務局承租使用，靠泊貨輪以載運油品為主。本座碼頭於民國 99 年 4 月 14 日，因遭輪船撞擊，造成第 8 至第 9 號碰墊間之碼頭面及車擋嚴重損壞，兩組吸油機中，1 組因撞擊導致傾倒，基座受損毀壞而無法發揮運送油品功能，經由臺灣中國石油公司委請潛水人員進行水下檢查，發現部份基樁彎曲變形、樁頭與面版接合處脫落、第 8 號碰墊護舷材受損，調查時碼頭現況情形示如圖 3.39 所示。

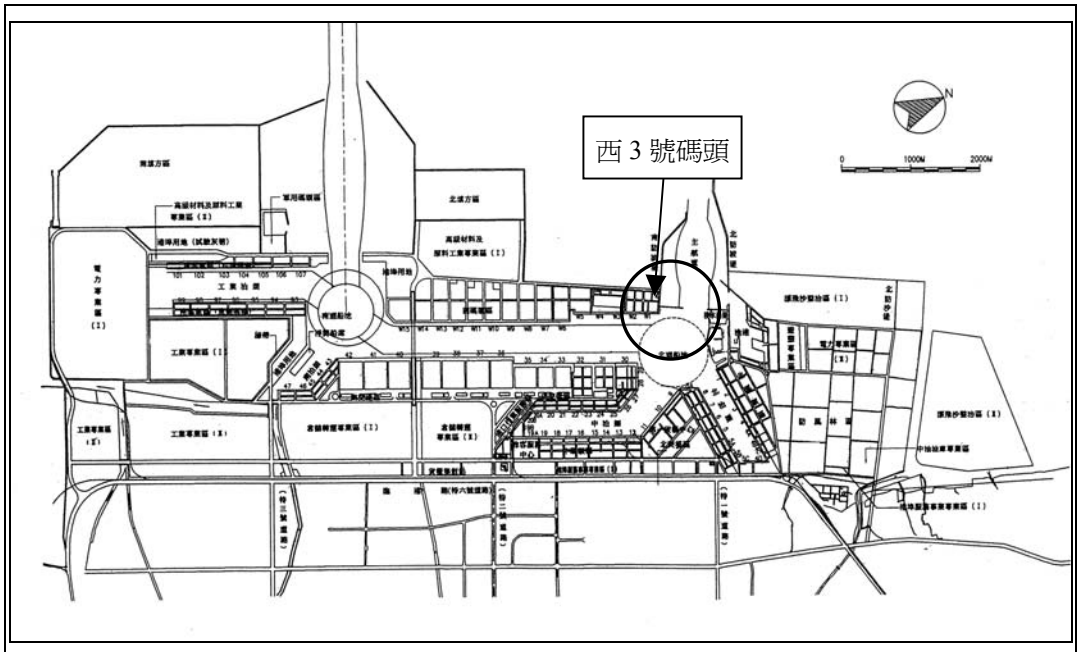


圖 3.37 臺中港西 3 號碼頭位置示意圖

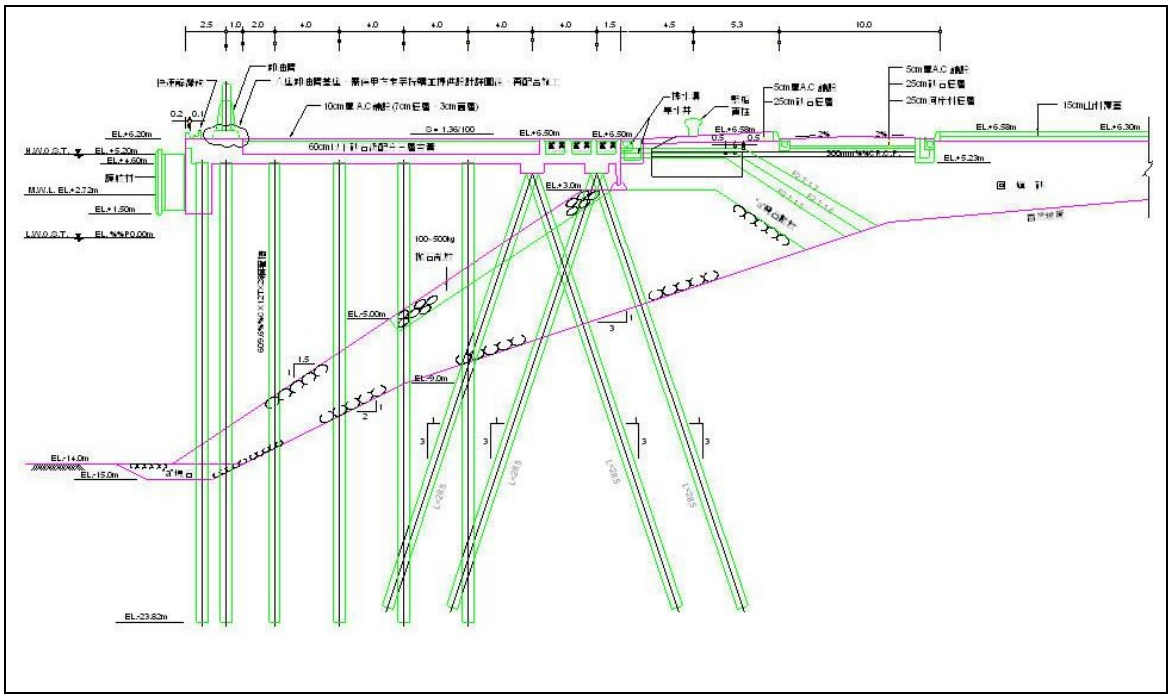


圖 3.38 臺中港西 3 號碼頭結構型式

圖 3.39 臺中港西 3 號碼頭上部結構現況照片

2. 整體結構變形及構造主結構體檢測

本次檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭雖遭輪船撞擊，但由陸上觀測未發現明顯位移，碼頭功能除吸油機 1 組受損無法操作，停靠船隻功能仍可部份發揮，故 D 值=2，E=1，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面，除第 8 至第 9 號碰墊間之碼頭面及車擋嚴重損壞外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=2，E=1，R=3。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭岸混凝土強度推估大於設計強度之 210 kgf/cm^2，強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=3。

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

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

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=1，E=1，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-28 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，但因碼頭面及基樁遭受強大外力撞擊，部份損壞無法以初步檢測方式查出，故建議仍應針對結構安全進行詳細之細部檢測。

3. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(3)擋車墻破損或變形情形檢測：本座碼頭第 8 至第 9 號碰墊間之車墻損壞嚴重，初檢評估結果為：D 值=2，E=1，R=3。。

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

(5)照明設備：本座碼頭未進行評估此檢測項目。

(6)油電管路檢測：本座碼頭吸油機 1 組因撞擊導致傾倒，基座受損毀壞而無法發揮運送油品功能，初步檢測評估結果為：D 值=3，E=3，R=3。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-28 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 2.3，大於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能部份遭受損壞，將影響主結構體正常運作，應及早進行必要之細部檢測或維護作業。

4. 碼頭整體結構體初步檢測評估

本座碼頭整體結構之初步檢測之破壞指標為 1.8，小於 2.0 之值，顯示碼頭整體結構體仍屬安全無虞範圍內，但因碼頭面及基樁遭受強大外力撞擊，部份損壞無法以初步檢測方式清楚顯現，故建議仍應針對整體結構安全進行詳細之細部檢測與評估。

表 3-28 臺中港西 3 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：西 3 號		
	建造日期：民國 75 年		啟用日期：民國 75 年		
	靠泊船級	原設計：油品輸送　　實際使用：油品輸送			
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：250 m 縱深：27 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃 ☑化學(油)品 ☐雜貨輪（水泥等）☐其他			
	碼頭構造型式	☐重力式　☐板樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	2	1	4	12
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	2	1	3	9
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼板腐蝕檢測	----	----	----	----
	岸肩伸縮縫	1	1	3	6
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ = 27/19=1.4			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	1	1	2	4
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	2	1	2	6
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	3	3	3	18
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ =28/12=2.3			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ = (27+28)/(19+12)=1.8			
檢測單位：港研中心　　檢測人：柯正龍　檢測時間：2010 年 4 月					

3.4.7 基隆港東 2 號碼頭

東 2 號碼頭於民國 57 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 200 公尺，水深-9.00 公尺，至今已使用了 33 年，在民國 66 年曾施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法，民國 82 年因接近防蝕設計年限且陽極塊大都消耗殆盡，因此重新加裝陰極防蝕，民國 96 年又再次加裝。碼頭斷面如圖 3.40，Z-38 鋼板樁型式及斷面性能分別如圖 3.41 及表 3-29。

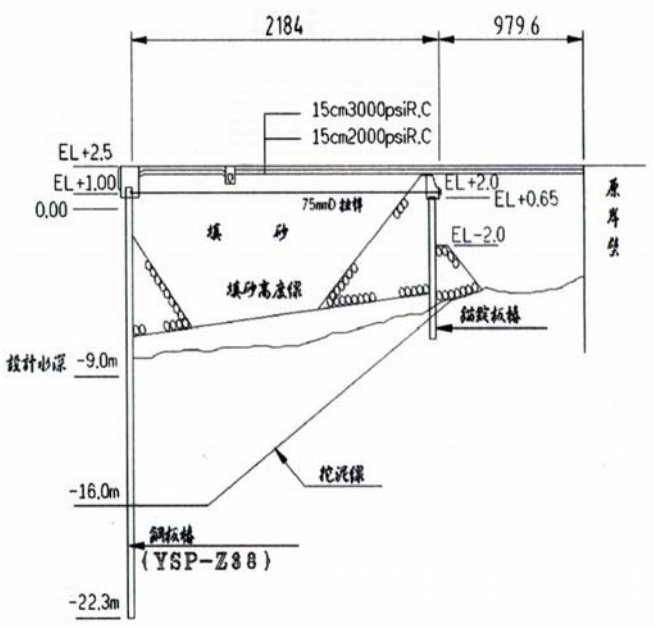


圖 3.40　基隆港東 2 至東 4 號碼頭斷面

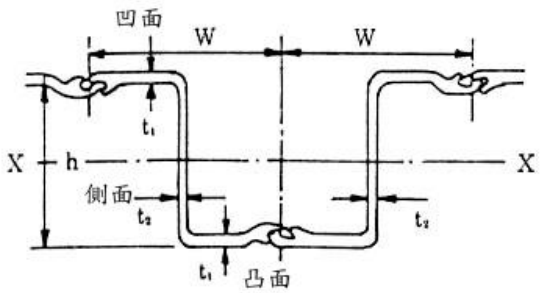


圖 3.41　Z-38 鋼板樁型式

表 3-29　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	Ix cm^4	Zx cm^3	Zw cm^3	m^2/m	W Kg/m	m^2/m	Ix cm^4/m	Zx 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

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

表 3-30 及圖 3.42 為東 2 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率檢測結果，在高程-0.05m 處凸面之平均腐蝕速率(0.09mm/yr.)最大，凹面(0.08mm/yr.)次之，側面(0.06mm/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，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-1。

由檢測高程觀察，在高程＋0.35m 處及高程-0.05m 處之平均腐蝕速率最大約在 0.05～0.06mm/yr.間，高程-1.50m 處以下其平均腐蝕速率最小（約在 0.03～0.07mm/yr.間，其腐蝕速率與趨勢和本所曾民國 90 年進行之檢測相近且均小於規範允許值（0.2mm/yr.），顯示採用鋁合金犧牲陽極塊防蝕工法已達到預期效益。由於鋼板樁使用時間已超過 40 年，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意。

表 3-30 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

高程(m)	凸面	側面	凹面
+0.35	0.05	0.06	0.05
-0.05	0.05	0.06	0.06
-0.50	0.06	0.05	0.05
-1.00	0.04	0.05	0.05
-1.50	0.04	0.04	0.05
-2.00	0.04	0.05	0.04
-4.00	0.04	0.03	0.07
-6.00	0.04	0.06	0.04

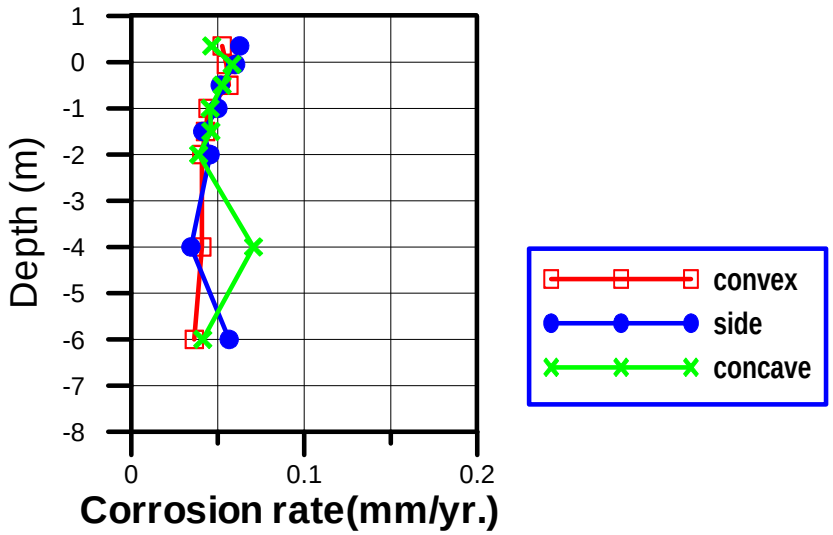


圖 3.42 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 15 隻鋼板樁進行保護電位量測，量測結果列於表 3-31：保護電位最大值為 -892 mV，最小值為 -994 mV，平均為 -963 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 –780 mV (以 Ag/AgCL 電極量測)以下，本座碼頭陽極塊保護電位均小於–780 mV (以 Ag/AgCL 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-31 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	**-4.0**	**-7.0**		**-1.0**	**-4.0**	**-7.0**
1	-897	-967	-971	16	-894	-975	-979
2	-897	-973	-971	17	-901	-978	-976
3	-901	-978	-975	18	-897	-981	-978
4	-897	-968	-980	19	-906	-976	-979
5	-901	-971	-985	20	-900	-974	-977
6	-891	-966	-992	21	-904	-969	-983
7	-898	-965	-994	22	-896	-969	987
8	-897	-958	-976	23	-902	-968	-976
9	-907	-965	-976	24	-893	-968	-974
10	-904	-973	-974	25	-868	-956	-956
11	-909	-976	-979	26	-873	-964	-969
12	-903	-979	-983	27	-896	-971	-976
13	-915	-986	-990	28	-890	-975	-980
14	-906	-980	-992	29	-902	-975	-980
15	-903	-976	-988	30	-892	-977	-982

4. 陽極塊目視檢測及電位量測

陽極塊型式及安裝位置示如圖 3.43。目視檢測陽極塊表面附著許多海生物，外觀仍然十分完整。除去附著海生物後，剩餘表面有

一層厚實之白色之氫氧化鋁（Al（OH）$_3$）反應產物，係鋁合金陽極塊中之鋁溶解後，與海水中之氫氧離子（OH^-）作用所生成。

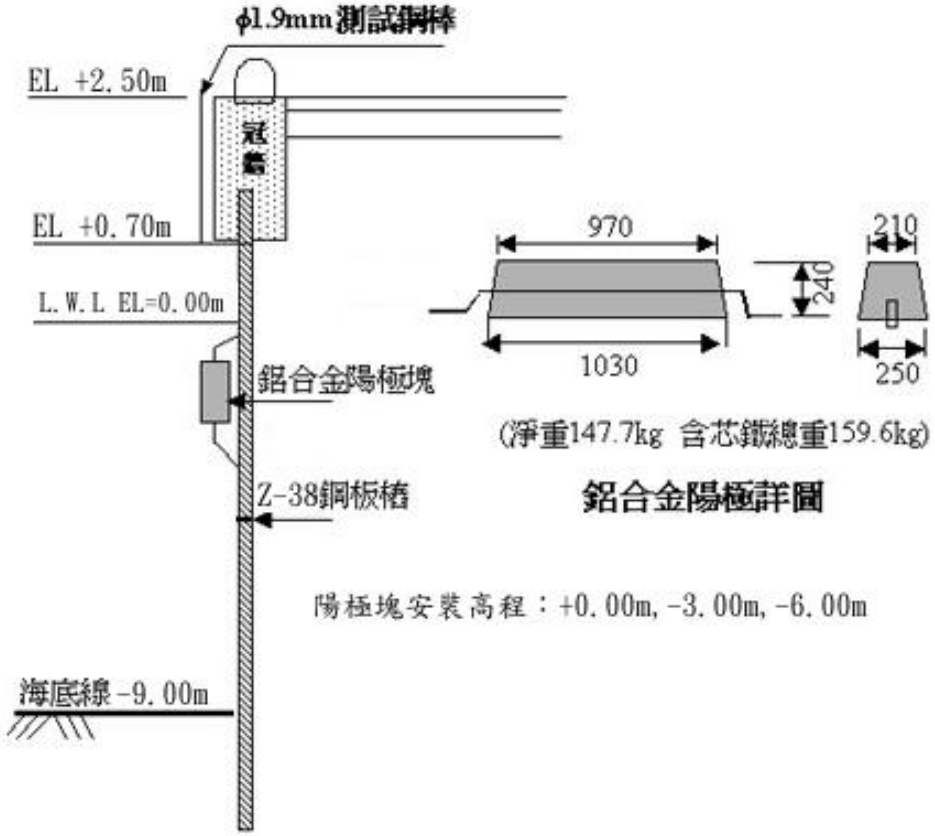


圖 3.43 陽極塊型式及安裝位置

本座碼頭共抽選 12 支陽極塊進行電位量測，量測結果列於表 3-32。陽極塊表面海生物清除前最大值為 -942 mV，最小值為 -1004 mV，平均為 -976 mV；海生物清除後最大值為 -949mV，最小值為 -1013 mV，平均為 -983 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 –780 mV (以 Ag/AgCl 電極量測)以下，本座碼頭陽極塊電位均小於–780 mV，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-32 基隆港東 2 號碼頭陽極塊電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-942	-947	-956	-955	-949	-965
2	-971	-978	-982	-977	-987	-986
3	-987	-983	-987	-987	-993	-1000
4	-948	-951	-966	-953	-955	-967
5	-988	-984	-991	-1004	-994	-1002
6	-989	-989	-985	-998	-997	-991
7	-968	-968	-980	-975	-980	-985
8	-980	-986	-989	-983	-992	-993
9	-947	-951	-958	-955	-958	-966
10	-976	-985	-980	-980	-985	-987
11	-965	-975	-998	-982	-986	-995
12	-993	-1004	-994	-999	-1013	-1006
平均	-971	-975	-981	-979	-982	-987
平均	-976			-983		

3.4.8 基隆港東 3 號碼頭

東 3 號碼頭於民國 57 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 170 公尺，水深-9.00M，至今已使用了 33 年，在民國 68 年曾施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法，民國 82 年因接近防蝕設計年限且陽極塊大都消耗殆盡，因此重新加裝陰極防蝕，民國 96 年又再次加裝。碼頭斷面如圖 3.40，Z-38 鋼板樁型式及斷面性能分別如圖 3.41 及表 3-29。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

表 3-33 及圖 3.44 為東 3 號碼頭鋼板樁之平均腐蝕速率檢測結果，在高程＋0.35m 處凸面之平均腐蝕速率(0.07mm/yr.)最大，凹面及側面(0.05mm/yr.)最小，碼頭全區鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿

孔破洞等現象，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-2。

由檢測高程觀察，在高程＋0.35m 處及高程-0.05m 處之平均腐蝕速率最大約在 0.05～0.07mm/yr.間，高程-1.50m 處以下其平均腐蝕速率最小（約在 0.03～0.05mm/yr.間），其腐蝕速率與趨勢和本所曾民國 90 年進行之檢測相近且均小於規範允許值（0.2mm/yr.），顯示採用鋁合金犧牲陽極塊防蝕工法已達到預期效益。由於鋼板樁使用時間已超過 40 年，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意。

表 3-33 基隆港東 3 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

高程(m)	凸面	側面	凹面
+0.35	0.07	0.05	0.05
-0.05	0.06	0.05	0.05
-0.50	0.05	0.05	0.05
-1.00	0.04	0.05	0.04
-1.50	0.04	0.05	0.04
-2.00	0.03	0.04	0.04
-4.00	0.03	0.04	0.04
-6.00	0.03	0.04	0.04

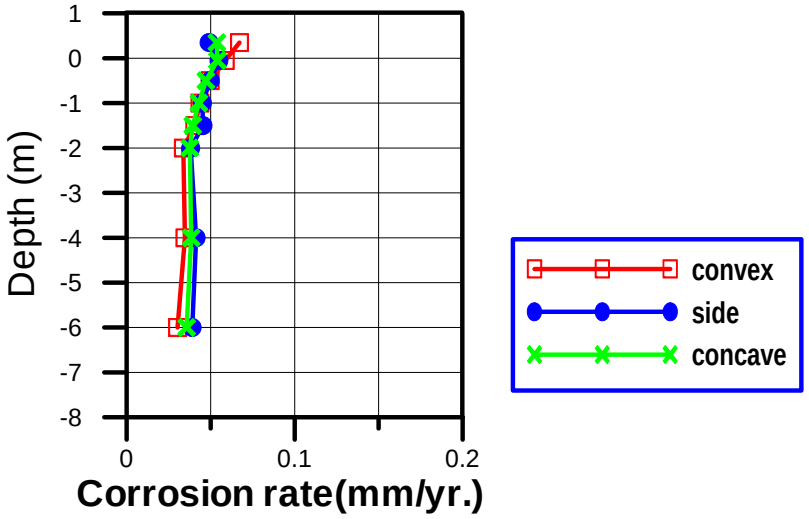


圖 3.44 基隆港東 3 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係

3. 鋼板樁防蝕電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，量測結果列於表 3-34：最大值為 -875 mV，最小值為 -1012 mV，保護電位均小於–780 mV (以 Ag/AgCl 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-34 基隆港東 3 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-920	-962	-973	16	-898	-969	-972
2	-916	-961	-967	17	-886	-964	-962
3	-910	-965	-969	18	-898	-953	-962
4	-899	-968	-971	19	-896	-957	-964
5	-903	-981	-978	20	-904	-950	-968
6	-895	-986	-989	21	-893	-954	-964
7	-896	-1002	-991	22	-901	-952	-968
8	-902	-1012	-988	23	-895	-958	-973
9	-900	-990	-981	24	-903	962	-973
10	-908	-977	-980	25	-875	-903	-946
11	-896	973	-983	26	-878	-911	-954
12	-902	-968	-992	27	-891	-926	-956
13	-898	-972	-984	28	-884	-929	-956
14	-897	-973	-986	29	-894	-921	-960
15	-899	-972	-975	30	-885	-923	-965

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 12 支陽極塊進行電位量測，量測結果列於表 3-35。陽極塊表面海生物清除前最大值為 -945 mV，最小值為 -1004 mV，平均為 -977mV；海生物清除後最大值為 -949 mV，最小值為 -1019 mV，平均為 -932 mV，本座碼頭陽極塊電位均小於–780 mV(以 Ag/AgCl 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-35 基隆港東 3 號碼頭陽極塊電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-970	-970	-983	-979	-979	-1006
2	-1000	-1004	-1000	-1012	-1019	-1009
3	-979	-982	-979	-992	-994	-990
4	-993	-995	-996	-1002	-1001	-1000
5	-986	-986	-998	-1000	-999	-1015
6	-945	-951	-953	-949	-954	-957
7	-984	-983	-984	-985	-989	-993
8	-977	-981	-983	-992	-987	-979
9	-955	-964	-968	-969	-978	-979
10	-965	-973	-973	-970	-977	977
11	-981	-992	-993	-982	-1006	-1010
12	-974	-978	-980	-982	-987	-827
平均	-970	-970	-983	-979	-979	-1006
平均	-977			-932		

3.4.9 基隆港東 4 號碼頭

東 4 號碼頭於民國 57 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 180 公尺，水深-9.00m，至今已使用了 33 年，在民國 69 年完成陰極防蝕工程，採犧牲陽極法，民國 82 年因接近防蝕設計年限且陽極塊大都消耗殆盡，因此重新加裝陰極防蝕，民國 96 年又再次加裝。碼頭斷面如圖 3.40，Z-38 鋼板樁型式及斷面性能分別如圖 3.41 及表 3-29。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

表 3-36 及圖 3.45 為東 4 號碼頭鋼板樁腐蝕速率檢測結果，在高程-0.05m 處側面之平均腐蝕速率(0.07mm/yr.)最大，凹面(0.05mmm/yr.)最小，全區碼頭鋼板樁外觀並未發現有孔蝕或穿孔破

洞等現象，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-3。

由水深觀察，在高程＋0.35m、-0.05m、-0.50m 處之平均腐蝕速率最大約在 0.05～0.07mm/yr.間，高程-1.00m 處以下，腐蝕速率約在 0.03～0.05mm/yr.間，趨勢和本所曾民國 90 年進行之檢測相近且均小於規範允許值（0.2mm/yr.），顯示採用鋁合金犧牲陽極塊防蝕工法已達到預期效益。由於鋼板樁使用時間已超過三十年，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意。

表 3-36 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

高程(m)	凸面	側面	凹面
+0.35	0.05	0.06	0.05
-0.05	0.06	0.07	0.05
-0.50	0.05	0.05	0.05
-1.00	0.04	0.05	0.04
-1.50	0.04	0.05	0.04
-2.00	0.04	0.05	0.04
-4.00	0.03	0.04	0.04
-6.00	0.04	0.04	0.04

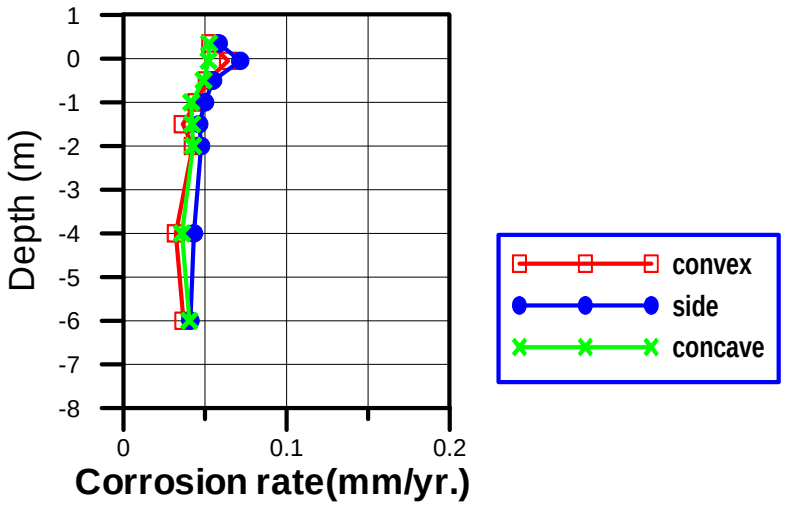


圖 3.45 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，量測結果列於表平均為 -961 mV，保護電位均小於–780 mV (以 Ag/AgCl 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-37 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-895	-909	-909	16	-902	-910	-906
2	-908	-905	-911	17	-906	-910	-906
3	-912	-897	-918	18	-911	-908	-907
4	-909	-904	-910	19	-910	-912	-907
5	-892	-906	-907	20	-908	-909	-909
6	-895	-905	-907	21	-911	-908	-909
7	-904	-893	-907	22	-913	-909	-910
8	-906	-905	-907	23	-913	-910	-911
9	-896	-908	-907	24	-844	-895	-916
10	-901	-897	-905	25	-857	-889	-918
11	-906	-903	-910	26	-855	-895	-937
12	-901	-898	-911	27	-876	-891	-928
13	-902	-905	-905	28	-863	-904	-930
14	-901	-905	-911	29	-867	-906	-930
15	-903	-900	-913	30	-890	-920	-930

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 12 支陽極塊進行電位量測，量測結果列於表 3-38。陽極塊表面海生物清除前最大值為 -908 mV，最小值為 -991 mV，平均為 -962 mV；海生物清除後最大值為 -954 mV，最小值為 -1010 mV，平均為 -9678 mV，本座碼頭陽極塊電位均小於–780 mV(以 Ag/AgCl 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-38 基隆港東 4 號碼頭陽極塊電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-948	-962	-965	-959	-969	-972
2	-954	-958	-963	-959	-962	-972
3	-967	-966	-964	-966	-962	-961
4	-981	-991	-988	-990	-996	-1010
5	-963	-963	-965	-969	-970	-971
6	-944	-943	-943	-958	-961	-963
7	-945	-948	-947	-956	-954	-955
8	-952	-951	-951	-961	-960	-960
9	-957	-961	-965	-961	-966	-967
10	-908	-928	-947	-936	-940	-988
11	-954	-966	-973	-969	-974	-982
12	-959	-968	-971	-967	-975	-974
平均	-953	-959	-797	-963	-966	-973
平均	-962			-967		

3.4.10 基隆港東 5 號碼頭

東 5 號碼頭於民國 58 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 260 公尺，水深-9.00m，至今已使用了 42 年，由港務局提供資料顯示，並無採用防蝕工法，但實際調查發現，靠近東 4 號碼頭約 120 公尺範圍之鋼板樁，有安裝犧牲陽極，研判應為民國 82 年完成。民國 95 年碼頭因鋼板樁穿孔破洞導致內部及配料流失，碼頭面發生塌陷，故而全面補修鋼板樁破洞及加裝旅合金犧牲陽極塊作為防蝕措施。Z-38 鋼板樁型式及斷面性能如圖 3.41 及表 3-29 所示，碼頭斷面如圖 3.46 所示。

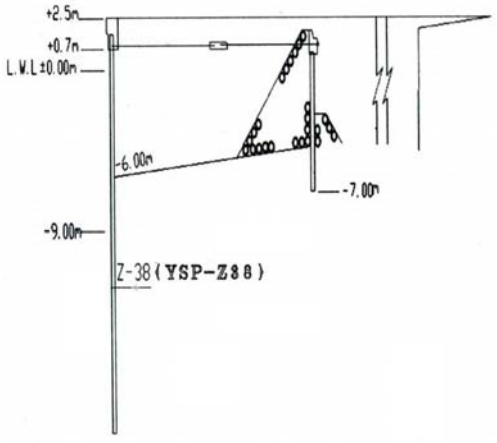


圖 3.46　東 5 號至東 7 號碼頭斷面示意圖

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

表 3-39 及圖 3.47 為東 5 號碼頭鋼板樁腐蝕速率檢測結果，在高程+0.35m 處凸面之平均腐蝕速率(0.11mm/yr.)最大，高程-0.05 及-0.50m 之凹面(0.10mmm/yr.)次之，其餘腐蝕速率介於 0.04～0.07 間，趨勢與本所民國 90 年進行之檢測相近且均小於規範允許值（0.2mm/yr.），顯示採用鋁合金犧牲陽極塊防蝕工法已達到預期效益。由於鋼板樁使用時間已超過三十年，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-4。

表 3-39 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

高程(m)	凸面	側面	凹面
+0.35	0.11	0.06	0.06
-0.05	0.10	0.06	0.06
-0.50	0.10	0.06	0.06
-1.00	0.07	0.06	0.05
-1.50	0.06	0.05	0.05
-2.00	0.04	0.05	0.05
-4.00	0.04	0.05	0.04
-6.00	0.04	0.05	0.04

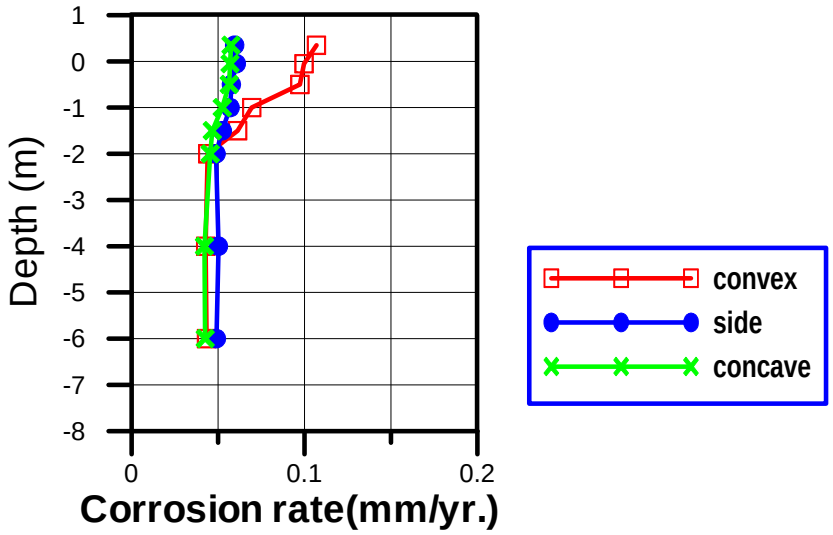


圖 3.47 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，鋼板樁保護電位量測結果列於表 3-40：最大值為 –865 mV，最小值為 –983 mV，保護電位均小於-780 mV，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-40 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-877	-983	-959	16	-870	-934	-925
2	-882	-966	-957	17	-865	-935	-930
3	-870	-966	-95	18	-878	-927	-925
4	-880	-970	-947	19	-872	-925	-923
5	-870	-973	-944	20	-878	-926	-922
6	-880	-950	-940	21	-872	-927	-920
7	-871	-947	-938	22	-876	-915	-918
8	-879	-949	-939	23	-881	-917	-917
9	-873	-952	-936	24	-913	-912	-912
10	-891	-935	-930	25	-920	-912	-912
11	-873	-932	-927	26	-925	-916	-913
12	-879	-933	-924	27	-920	-919	-913
13	-871	-934	-925	28	-914	-918	-915
14	-877	-925	-923	29	-916	-916	-916
15	-866	-929	-925	30	-917	-972	-917

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 12 支陽極塊進行電位量測，量測結果列於表 3-41。陽極塊表面海生物清除前最大值為 -942 mV，最小值為 -983 mV，平均為 -968 mV；海生物清除後最大值為 -945 mV，最小值為 -992mV，平均為 -969 mV，本座碼頭陽極塊電位均小於–780 mV，因此已達保護鋼板樁之目的。

表 3-41 基隆港東 5 號碼頭陽極塊電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
E5-01	-942	-947	-951	-956	-958	-971
E5-02	-973	-974	-974	-961	-962	-966
E5-03	-946	-959	-957	-945	-950	-960
E5-04	-970	-974	-974	-948	-961	-964
E5-05	-957	-961	-964	-962	-971	-976
E5-06	-952	-961	-967	-958	-970	-974
E5-07	-968	-972	-973	-968	-974	-976
E5-08	-973	-957	-964	-957	-965	-972
E5-09	-968	-974	-982	-978	-978	-985
E5-10	-982	-964	-975	-989	-971	-986
E5-11	-967	-969	-971	-986	-992	-990
E5-12	-964	-973	-978	-974	-977	-991
E5-13	-975	-978	-979	-962	-964	-973
E5-14	-962	-964	-973	-967	-978	-986
E5-15	-976	-983	-981	-952	-953	-961
平均	-965	-967	-971	-964	-968	-975
平均	-968			-969		

3.4.11 基隆港東 6 號碼頭

東 6 號碼頭於民國 59 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 180 公尺，水深-9.0 公尺，整座碼頭未作任何防蝕措施，在使用 23 年後，於民國 82 年完成陰極防蝕工程，採犧牲陽極法，民國 96 年又再

次加裝。碼頭斷面如圖 3.46，Z-38 鋼板樁型式及斷面性能如圖 3.41 及表 3-29。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

表 3-42 及圖 3.48 為東 6 號碼頭鋼板樁腐蝕速率檢測結果，可看出鋼板樁在檢測高程+0.35 至-0.50m 處凸面之平均腐蝕速率(0.09mm/yr)最大，其餘介於 0.05～0.07 mm/yr 間，高程-1.00 以下之腐蝕速率介於 0.04～0.08 mm/yr 間。腐蝕速率與趨勢和本所曾民國 90 年進行之檢測相近且均小於規範允許值（0.2mm/yr.），顯示採用鋁合金犧牲陽極塊防蝕工法已達到預期效益。由於鋼板樁使用時間已超過 40 年，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-5。

表 3-42 基隆港東 6 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

高程(m)	凸面	側面	凹面
+0.35	0.09	0.06	0.06
-0.05	0.09	0.06	0.07
-0.50	0.09	0.09	0.05
-1.00	0.08	0.06	0.05
-1.50	0.05	0.05	0.04
-2.00	0.04	0.05	0.04
-4.00	0.04	0.05	0.04
-6.00	0.04	0.05	0.04

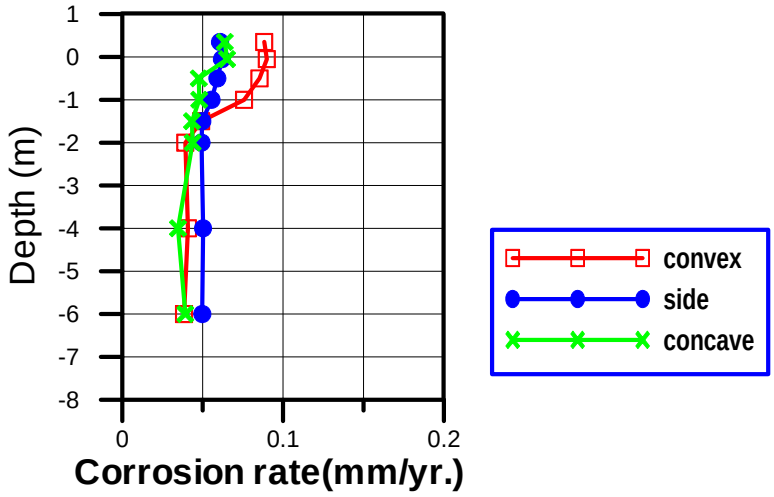


圖 3.48 基隆港東 6 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，量測結果列於表 3-43：最大值為 -892 mV，最小值為 -972 mV，保護電位大部份均小於–780 mV (以 Ag/AgCl 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-43 基隆港東 6 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-895	-909	-909	16	-902	-910	-906
2	-908	-905	-911	17	-906	-910	-906
3	-912	-897	-918	18	-911	-908	-907
4	-909	-904	-910	19	-910	-912	-907
5	-892	-906	-907	20	-908	-909	-909
6	-895	-905	-907	21	-911	-908	-909
7	-904	-893	-907	22	-913	-909	-910
8	-906	-905	-907	23	-913	-910	-911
9	-896	-908	-907	24	-913	-912	-912
10	-901	-897	-905	25	-920	-912	-912
11	-906	-903	-910	26	-925	-916	-913
12	-901	-898	-911	27	-920	-919	-913
13	-902	-905	-905	28	-914	-918	-915
14	-901	-905	-911	29	-916	-916	-916
15	-903	-900	-913	30	-917	-972	-917

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 12 支陽極塊進行電位量測，量測結果列於表 3-44。陽極塊表面海生物清除前最大值為 -948 mV，最小值為 -1001 mV，平均為 -978 mV，海生物清除後最大值為 -940 mV，最小值為 -1007 mV，平均為 -975 mV，本座碼頭陽極塊電位均小於–780 mV(以 Ag/AgCl 電位)，因此已達保護鋼板樁之目的。

表 3-44 基隆港東 6 號碼頭陽極塊電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-949	-948	-963	-944	-948	-940
2	-996	-1001	-998	-944	-947	-955
3	-986	-993	-983	-1007	-1001	-961
4	-984	-981	-979	-989	-988	-964
5	-975	-974	-979	-983	-981	-976
6	-964	-975	-971	-968	-970	-979
7	-970	-971	-972	-968	-974	-976
8	-985	-978	-972	-957	-965	-972
9	-986	-985	-982	-978	-978	-985
10	-980	-989	-985	-989	-971	-986
11	-996	-985	-985	-998	-995	-987
12	-993	-991	-986	-996	-996	-996
13	-947	-939	-945	-951	-942	-945
14	-989	-987	-983	-987	-991	-990
15	-972	-970	-972	-985	-979	-981
平均	-978	-978	-977	-976	-975	-973
平均	-978			-975		

3.4.12 基隆港東 7 號碼頭

東 7 號碼頭於民國 59 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 178 公尺，水深-9.00M，整座碼頭未作任何防蝕措施，在使用 23 年後，於民國 82 年完成陰極防蝕工程，採犧牲陽極法，民國 96 年又再次加裝。碼頭斷面如圖 3.46，Z-38 鋼板樁型式及斷面性能如圖 3.41 及表 3-29。

1.目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2.鋼板樁厚度

表 3-45 及圖 3.49 為東 7 號碼頭鋼板樁腐蝕速率檢測結果，可看出鋼板樁在檢測高程+0.35 至-0.50m 處凸面之平均腐蝕速率(0.139mm/yr)最大，其餘介於 0.07～0.10 mm/yr 間，高程-1.00 以下之腐蝕速率介於 0.04～0.09 mm/yr 間。腐蝕速率與趨勢和本所曾民國 90 年進行之檢測相近且均小於規範允許值（0.2mm/yr.），顯示採用鋁合金犧牲陽極塊防蝕工法已達到預期效益。由於鋼板樁使用時間已超過 40 年，雖然腐蝕速率並未超過規範值，但仍需多加注意，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-6。

表 3-45 基隆港東 7 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率（mm/yr.）

高程(m)	凸面	側面	凹面
+0.35	0.13	0.07	0.09
-0.05	0.13	0.07	0.10
-0.50	0.09	0.06	0.07
-1.00	0.08	0.06	0.06
-1.50	0.05	0.06	0.04
-2.00	0.04	0.05	0.05
-4.00	0.04	0.06	0.05
-6.00	0.04	0.05	0.04

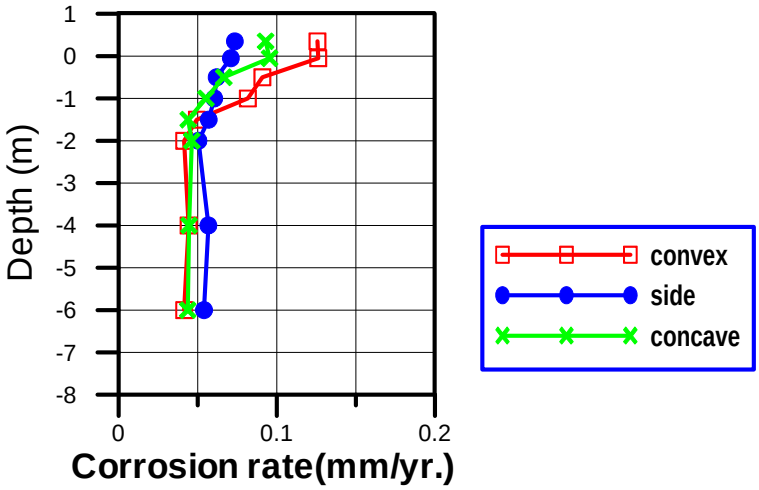


圖 3.49 基隆港東 7 號碼頭鋼板樁檢測高程與平均腐蝕速率之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，量測結果列於表 3-46：最大值為 -892 mV，最小值為 -972 mV，保護電位均小於–780 mV (以 Ag/AgCl 電極量測)，因此，已達保護鋼板樁之目的。

表 3-46 基隆港東 7 號碼頭鋼板樁保護電位量測結果(mV，Ag/AgCl 電位)

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-895	-909	-909	16	-902	-910	-906
2	-908	-905	-911	17	-906	-910	-906
3	-912	-897	-918	18	-911	-908	-907
4	-909	-904	-910	19	-910	-912	-907
5	-892	-906	-907	20	-908	-909	-909
6	-895	-905	-907	21	-911	-908	-909
7	-904	-893	-907	22	-913	-909	-910
8	-906	-905	-907	23	-913	-910	-911
9	-896	-908	-907	24	-913	-912	-912
10	-901	-897	-905	25	-920	-912	-912
11	-906	-903	-910	26	-925	-916	-913
12	-901	-898	-911	27	-920	-919	-913
13	-902	-905	-905	28	-914	-918	-915
14	-901	-905	-911	29	-916	-916	-916
15	-903	-900	-913	30	-917	-972	-917

4. 陽極塊目視檢測及發生電位量測

本座碼頭共抽選 12 支陽極塊進行電位量測，量測結果列於表 3-47。目視檢測陽極塊表面附著許多海生物，外觀仍然十分完整，除去附著海生物後，剩餘表面有一層厚實之白色之氫氧化鋁（Al（OH）$_3$）反應產物。

陽極塊表面海生物清除前最大值為 -895 mV，最小值為 -928mV，平均為 -9136 mV；海生物清除後最大值為 -904 mV，最小值為 -975 mV，平均為 -922 mV，本座碼頭陽極塊電位均小於–780 mV(以 Ag/AgCl 電極量測)，因此已達保護鋼板樁之目的。

表 3-47 基隆港東 7 號碼頭陽極塊電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-899	-909	-913	-911	-915	-931
2	-919	-919	-925	-935	-934	-953
3	-890	-896	-895	-904	-912	-904
4	-906	-902	-908	-919	-909	-914
5	-899	-902	-913	-908	-911	-920
6	-920	-904	-906	-910	-909	-908
7	-903	-906	-908	-916	-915	-922
8	-923	-917	-913	-940	-936	-931
9	-920	-915	-928	-975	-933	-942
10	-908	-908	-918	-914	-913	-919
平均	-909	-908	-913	-923	-919	-924
平均	-913			-922		

3.4.13 高雄港 54 號碼頭

本座碼頭於民國 65 年完工，水深 10.5 公尺，碼頭全長 200 公尺，採用 FSP IV_A U 型組合之鋼板樁建造，鋼板樁於完工後即安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施，整支鋼板樁均位於海水中。碼頭平面位置、結構斷面、使用鋼板樁型式分別如圖 3.50 至圖 3.52。

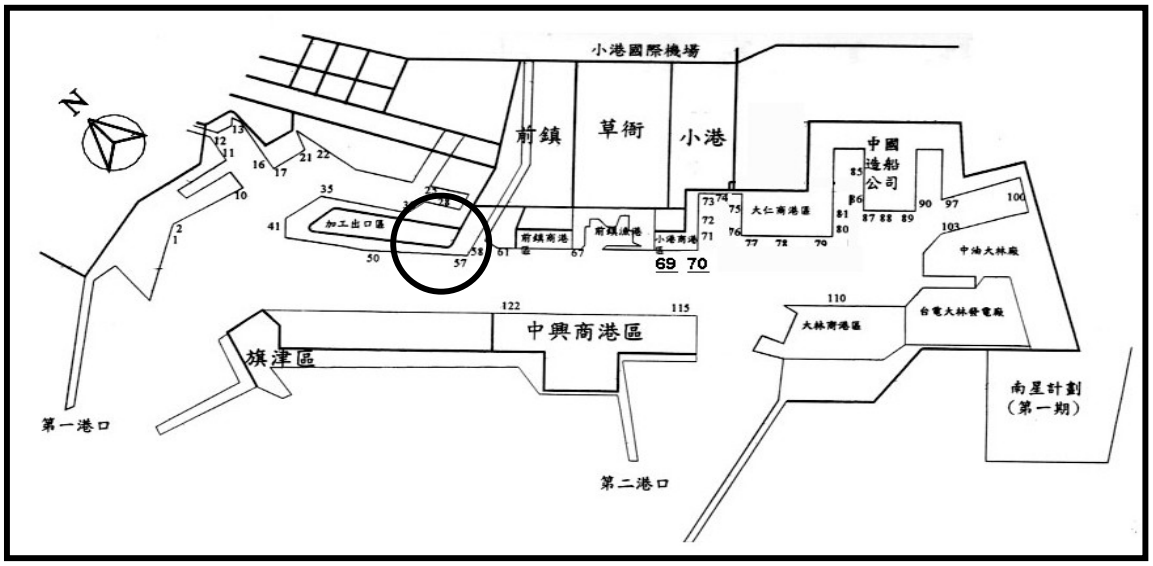


圖 3.50 高雄港 54-58 號碼頭位置圖

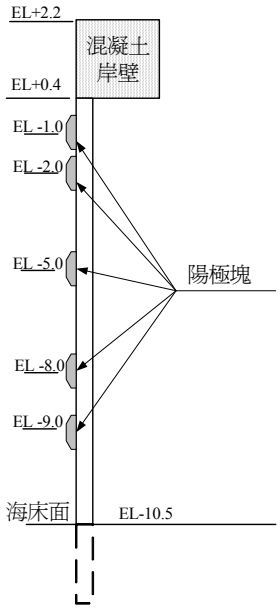


圖 3.51 高雄港 54 至 57 號碼頭結構斷面

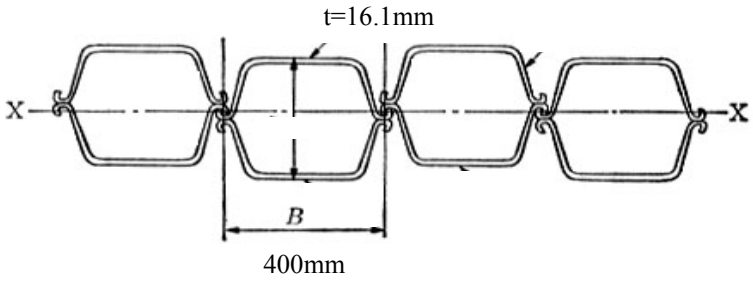


圖 3.52　高雄港 54 至 57 號碼頭 FSP ⅣA U 型鋼板樁 BOX 型式

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

本座碼頭共抽選 12 支鋼板樁進行厚度量測，每支測樁檢測水深分別為 +0.3m、-1.0 m、-2.0 m、-4.0 m、-6.0 m、-8.0 m，計 6 個深度測點，如圖 3.53 所示，檢測點共計 90 點。

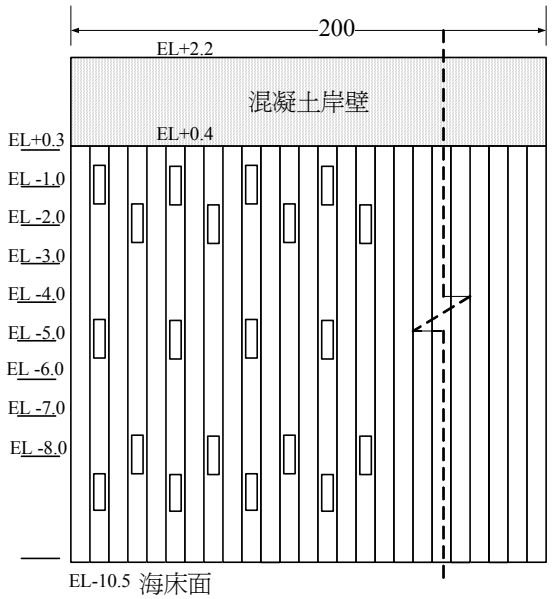


圖 3.53 高雄港 54 碼頭鋼板樁厚度量測水深示意圖

表 3.48 及圖 3.54 為鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率為 0.02～0.04 mm/yr. mm/yr.左右，遠小於設計允許值（0.20 mm/yr.），鋼板樁使用時間雖已超過 35 年，現有厚度僅少數測點為 14.0 mm，最大減少厚度約 2.1 mm，換算為腐蝕速率約 0.06 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧牲陽極塊已達到防蝕之目的，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-7。

表 3-48 高雄港 54 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0
腐蝕速率（mm/yr.）	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02

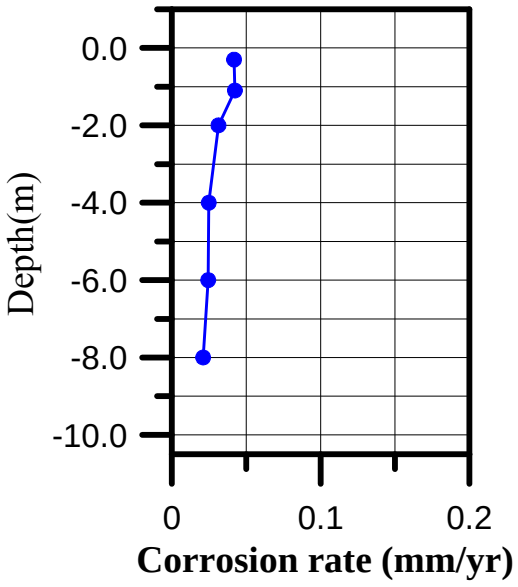


圖 3.54 高雄港 54 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，每隻鋼板樁量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m 共 3 處，量測結果列於表 3-49。保護電位最大值為 －933 mV，最小值為 －1012 mV， (以 Ag/AgCl 電極量測)，鋼板樁處於防蝕保護狀態。

表 3-49 高雄港 54 號碼頭鋼板樁保護電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-938	-939	-940	16	-1009	-1011	-1003
2	-950	-949	-949	17	-1012	-1004	-1003
3	-951	-948	-963	18	-1007	-1003	-1003
4	-941	-943	-962	19	-1007	-999	-1000
5	-950	-949	-957	20	-1007	-1001	-999
6	-953	-949	-963	21	-1003	-1007	-998
7	-950	-949	-963	22	-1002	-1001	-997
8	-955	-950	-955	23	-997	-997	-996
9	-940	-951	-963	24	-990	-1001	-995
10	-950	-952	-965	25	-990	-1006	-996
11	-952	-951	-965	26	-991	-1000	-995
12	-956	-950	-958	27	-991	-995	-995
13	-964	-950	-964	28	-989	-997	-995
14	-948	-934	-964	29	-984	-999	-993
15	-952	-933	-951	30	-983	-996	-993

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 15 支陽極塊進行電位量測，量測結果如表 3-50 所示，海生物清除前發生電位最大值為 –999 mV，最小值為 –1019 mV，海生物清除後最大值為 –1003 mV，最小值為 –1038 mV，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3-50 高雄港 54 號碼頭陽極塊電位量測結果（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-1010	-1012	-1013	-1011	-1012	-1016
2	-1012	-1015	-1017	-1016	-1018	-1024
3	-1010	-1010	-1011	-1013	-1012	-1014
4	-1004	-1003	-1004	-1009	-1010	-1016
5	-1004	-1005	-1007	-1010	-1008	-1008
6	-1013	-1017	-1016	-1022	-1022	-1022
7	-1017	-1017	-1015	-1022	-1022	-1016
8	-1011	-1020	-1016	-1020	-1038	-1032
9	-1014	-1015	-1015	-1022	-1020	-1024
10	-1010	-1012	-1014	-1016	-1017	-1019
11	-1014	-1016	-1019	-1023	-1023	-1025
12	-1007	-1006	-1005	-1011	-1013	-1010
13	-1009	-1010	-1013	-1015	-1019	-1017
14	-1001	-1005	-1001	-1006	-1008	-1003
15	-999	-1004	-1001	-1005	-1011	-1014
平均	-1009	-1011	-1011	-1015	-1017	-1017
平均	-1010			-1016		

3.4.14 高雄港 55 號碼頭

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

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

本座碼頭共抽選 15 支鋼板樁進行厚度量測，每支測樁檢測水深分別為 +0.3m、-1.0 m、-2.0 m、-4.0 m、-6.0 m、-8.0 m，計 6 個深度測點，檢測點共計 90 點。

表 3-51 及圖 3.55 為鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率為 0.02～0.04 mm/yr. mm/yr.左右，遠小於設計允許值（0.20 mm/yr.），鋼板樁使用時間雖已超過 35 年，現有厚度僅少數測點為 13.9 mm，最大減少厚度約 2.2 mm，換算為腐蝕速率約 0.06 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧陽極塊已達到防蝕之目的，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-8。

表 3-51 高雄港 55 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率牲

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0
腐蝕速率（mm/yr.）	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02

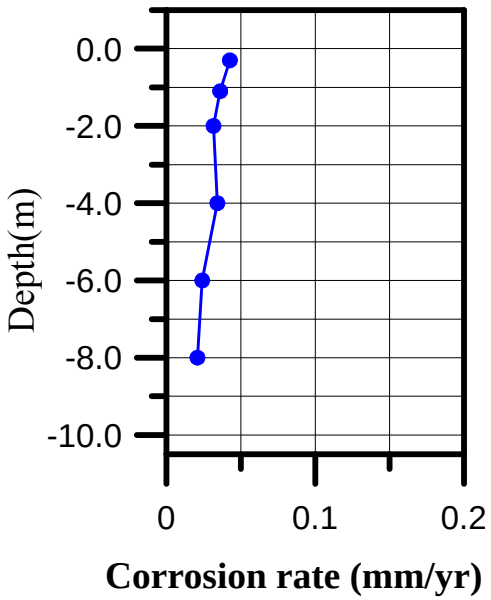


圖 3.55 高雄港 55 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，每隻鋼板樁量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m 共 3 處，量測結果列於表 3-52。保護電位最大值為 －892 mV，最小值為 －9712 mV， (以 Ag/AgCl 電極量測)，鋼板樁處於防蝕保護狀態。

表 3-52 高雄港 55 號碼頭鋼板樁保護電位值（mV，Ag/AgClL 電位）

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-895	-909	-909	16	-902	-910	-906
2	-908	-905	-911	17	-906	-910	-906
3	-912	-897	-918	18	-911	-908	-907
4	-909	-904	-910	19	-910	-912	-907
5	-892	-906	-907	20	-908	-909	-909
6	-895	-905	-907	21	-911	-908	-909
7	-904	-893	-907	22	-913	-909	-910
8	-906	-905	-907	23	-913	-910	-911
9	-896	-908	-907	24	-913	-912	-912
10	-901	-897	-905	25	-920	-912	-912
11	-906	-903	-910	26	-925	-916	-913
12	-901	-898	-911	27	-920	-919	-913
13	-902	-905	-905	28	-914	-918	-915
14	-901	-905	-911	29	-916	-916	-916
15	-903	-900	-913	30	-917	-972	-917

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 15 支陽極塊進行電位量測，量測結果如表 3-53 所示，海生物清除前發生電位最大值為 –914 mV，最小值為 –951 mV，海生物清除後最大值為 –922 mV，最小值為 –9589 mV，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3-53 高雄港 55 號碼頭陽極塊發生電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-936	-940	-945	-939	-945	-952
2	-951	-949	-951	-957	-949	-950
3	-935	-931	-936	-939	-934	-940
4	-942	-940	-939	-950	-940	-950
5	-918	-918	-922	-927	-925	-931
6	-920	-919	-925	-925	-927	-932
7	-924	-927	-932	-931	-941	-942
8	-930	-935	-935	-935	-946	-945
9	-931	-930	-932	-940	-943	-946
10	-922	-921	-926	-923	-922	-930
11	-945	-942	-947	-957	-955	-958
12	-926	-928	-931	-933	-937	-940
13	-928	-930	-934	-931	-933	-943
14	-914	-915	-915	-918	-919	-923
15	-918	-922	-925	-922	-926	-929
平均	-929	-930	-933	-935	-936	-941
平均	-931			-937		

3.4.15 高雄港 56 號碼頭

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

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. **鋼板樁厚度**

本座碼頭共抽選 12 支鋼板樁進行厚度量測，每支測樁檢測水深分別為 +0.3m、-1.0 m、-2.0 m、-4.0 m、-6.0 m、-8.0 m，計 6 個深度測點，檢測點共計 90 點。

表 3-54 及圖 3.56 為鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率為 0.05～0.06 mm/yr. mm/yr.左右，遠小於設計允許值（0.20 mm/yr.），鋼板樁使用時間雖已超過 35 年，現有厚度僅少數測點為 13.6 mm，最大減少厚度約 2.5 mm，換算為腐蝕速率約 0.07 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧陽極塊已達到防蝕之目的，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-9。

表 3-54 高雄港 56 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0
腐蝕速率（mm/yr.）	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05

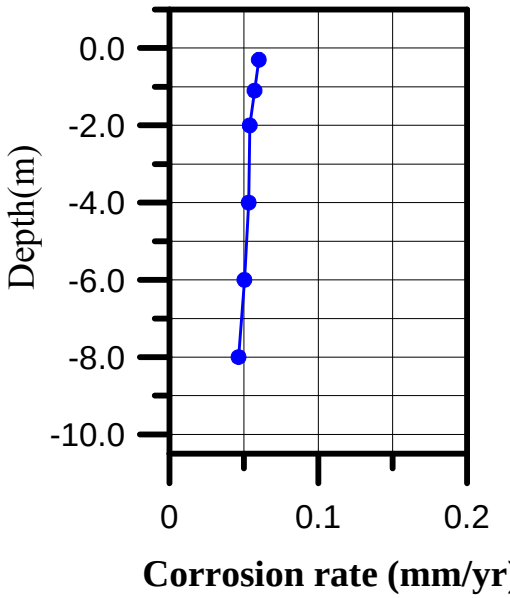


圖 3.56 高雄港 56 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，每隻鋼板樁量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m 共 3 處，量測結果列於表 3-55。保護電位最大值為 －903 mV，最小值為 －1010 mV， (以 Ag/AgCl 電極量測)，鋼板樁處於防蝕保護狀態。

表 3-55 高雄港 56 號碼頭鋼板樁保護電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-909	-911	-909	16	-970	-988	-987
2	-915	-916	-909	17	-997	-976	-987
3	-905	-910	-909	18	-1010	-984	-985
4	-909	-911	-909	19	-994	-984	-979
5	-922	-915	-909	20	-993	-980	-989
6	-914	-921	-910	21	-996	-987	-989
7	-906	-920	-911	22	-994	-987	-982
8	-912	-919	-911	23	-999	-984	-986
9	-912	-920	-911	24	-991	-985	-982
10	-909	-915	-911	25	-989	-982	-980
11	-903	-911	-910	26	-994	-978	-980
12	-909	-909	-910	27	-1000	-988	-981
13	-916	-915	-910	28	-998	-993	-980
14	-912	-922	-911	29	-994	-996	-979
15	-906	-923	-912	30	-992	-981	-987

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 15 支陽極塊進行電位量測，量測結果如表 3-56 所示，海生物清除前發生電位最大值為 –911 mV，最小值為 –943 mV，海生物清除後最大值為 –918 mV，最小值為 –949 mV，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3-56 高雄港 56 號碼頭陽極塊發生電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-915	-911	-914	-918	-919	-925
2	-926	-922	-931	-931	-930	-949
3	-932	-935	-939	-943	-952	-953
4	-933	-931	-935	-942	-941	-948
5	-937	-939	-943	-943	-948	-950
6	-930	-935	-942	-943	-944	-953
7	-931	-931	-934	-938	-941	-949
8	-921	-923	-931	-928	-933	-945
9	-925	-927	-930	-935	-940	-947
10	-926	-924	-930	-932	-932	-940
11	-920	-923	-928	-928	-933	-937
12	-920	-925	-929	-931	-936	-945
13	-918	-923	-926	-921	-927	-927
14	-914	-919	-927	-920	-933	-936
15	-917	-919	-929	-927	-924	-939
平均	-924	-926	-931	-932	-936	-943
平均	-927			-937		

3.4.16 高雄港 57 號碼頭

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

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

本座碼頭共抽選 15 支鋼板樁進行厚度量測，每支測樁檢測水深分別為 +0.3m、-1.0 m、-2.0 m、-4.0 m、-6.0 m、-8.0 m，計 6 個深度測點，檢測點共計 90 點。

表 3-57 及圖 3.57 為鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率為 0.02～0.04 mm/yr. mm/yr.左右，遠小於設計允許值（0.20 mm/yr.），鋼板樁使用時間雖已超過 35 年，現有厚度僅少數測點為 12.5 mm，最大減少厚度約 3.6 mm，換算為腐蝕速率約 0.10 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧陽極塊已達到防蝕之目的，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-10。

表 3-57 高雄港 57 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0
腐蝕速率（mm/yr.）	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02

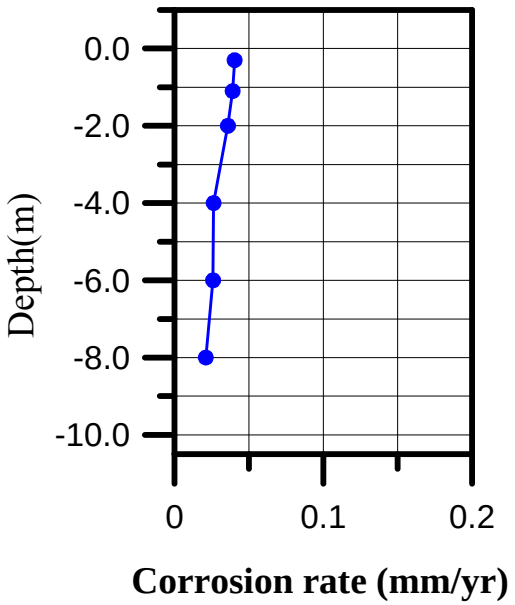


圖 3.57 高雄港 57 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，每隻鋼板樁量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m 共 3 處，量測結果列於表 3-58。保護電位最大值為 －880 mV，最小值為 －914 mV， (以 Ag/AgCl 電極量測)，鋼板樁處於防蝕保護狀態。

表 3-58 高雄港 57 號碼頭鋼板樁保護電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-883	-887	-893	16	-907	-914	-902
2	-889	-880	-893	17	-909	-899	-901
3	-895	-887	-883	18	-905	-897	-901
4	-881	-888	-891	19	-892	-901	-901
5	-885	-886	-893	20	-892	-900	-902
6	-887	-890	-888	21	-898	-895	-902
7	-886	-891	-906	22	-911	-891	-900
8	-902	-892	-912	23	-898	-890	-895
9	-898	-892	-896	24	-892	-888	-894
10	-883	-893	-903	25	-889	-888	-893
11	-891	-893	-906	26	-894	-889	-892
12	-899	-882	-903	27	-898	-890	-892
13	-904	-885	-899	28	-894	-890	-893
14	-896	-894	-903	29	-893	-887	-892
15	-891	-893	-904	30	-896	-887	-892

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 15 支陽極塊進行電位量測，量測結果如表 3-59 所示，海生物清除前發生電位最大值為 902 mV，最小值為 –936 mV，海生物清除後最大值為 –903 mV，最小值為 –948 mV，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3-59 高雄港 57 號碼頭陽極塊發生電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-918	-925	-936	-924	-936	-948
2	-919	-921	-924	-930	-928	-932
3	-921	-921	-931	-932	-933	-944
4	-915	-918	-927	-922	-925	-941
5	-922	-921	-915	-924	-945	-919
6	-915	-918	-926	-918	-919	-928
7	-915	-923	-922	-916	-923	-923
8	-917	-922	-913	-925	-925	-919
9	-905	-908	-907	-909	-911	-913
10	-906	-904	-908	-910	-910	-914
11	-927	-918	-921	-939	-931	-930
12	-910	-908	-903	-937	-917	-919
13	-904	-903	-903	-907	-908	-910
14	-900	-902	-904	-903	-907	-908
15	-904	-906	-907	-909	-911	-915
平均	-913	-915	-916	-920	-922	-924
平均	-915			-922		

3.4.17 高雄港 58 號碼頭

本座碼頭於民國 90 年完成擴建，水深 10.5 公尺，碼頭全長 200 公尺，採用 Z 型鋼板樁建造，鋼板樁於完工後即安裝犧牲陽極塊作為防蝕措施，整支鋼板樁均位於海水中。碼頭結構斷面及使用鋼板樁型式亦同 54 號碼頭。

1. 目視檢測

本座碼頭鋼板樁均位於海水中，表面附著許多海生物，無明顯銹蝕現象。

2. 鋼板樁厚度

本座碼頭共抽選 10 支鋼板樁進行厚度量測，每支測樁檢測水深

分別為 +0.3m、-1.0 m、-2.0 m、-4.0 m、-6.0 m、-8.0 m，計 6 個深度測點，檢測點共計 60 點。

表 3-60 及圖 3.58 為鋼板樁平均腐蝕速率與檢測水深之關係。各檢測水深平均腐蝕速率為 0.07～0.11 mm/yr. mm/yr.左右，遠小於設計允許值（0.20 mm/yr.），鋼板樁使用時間僅約 10 年，現有厚度僅少數測點為 7.8 mm，最大減少厚度約 1.3 mm，換算為腐蝕速率約 0.14 mm/yr.，腐蝕程度屬輕微，顯然安裝犧陽極塊已達到防蝕之目的，鋼板樁厚度檢測紀錄詳如附錄一-11。

表 3-60 高雄港 58 號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

水深(m)	+0.3	-1.0	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0
腐蝕速率（mm/yr.）	0.11	0.09	0.10	0.08	0.08	0.07

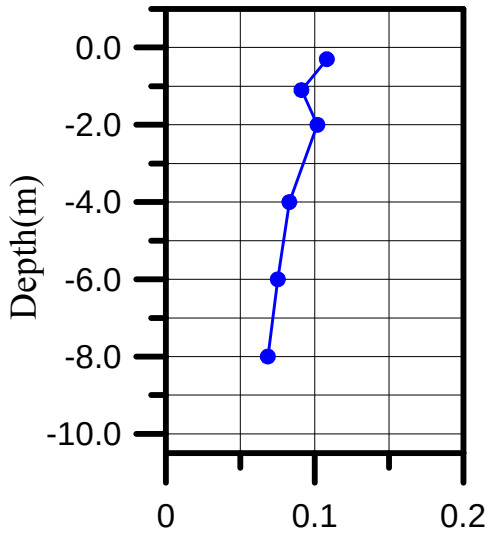


圖 3.58 高雄港 58 號碼頭平均腐蝕速率與檢測水深之關係

3. 鋼板樁保護電位

本座碼頭共選取 30 隻鋼板樁進行保護電位量測，每隻鋼板樁量測水深為 -1.0 m、-4.0 m 及 -7.0 m 共 3 處，量測結果列於表 3-61。

保護電位最大值為 －840 mV，最小值為 －896 mV， (以 Ag/AgCl 電極量測)，鋼板樁處於防蝕保護狀態。

表 3-61 高雄港 58 號碼頭鋼板樁保護電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	水深（m）			編號	水深（m）		
	-1.0	-4.0	-7.0		-1.0	-4.0	-7.0
1	-872	-876	-890	11	-848	-895	-863
2	-844	-874	-872	12	-846	-871	-862
3	-839	-875	-896	13	-840	-865	-858
4	-840	-868	-890	14	-846	-867	-870
5	-841	-870	-872	15	-855	-870	-900
6	-838	-869	-866	16	-859	-874	-885
7	-844	-862	-862	17	-854	-872	-870
8	-847	-872	-866	18	-853	-862	-875
9	-843	-862	-860	19	-850	-857	-895
10	-840	-862	-863	20	-860	-862	-882

4. 陽極塊發生電位

本座碼頭共抽選 10 支陽極塊進行電位量測，量測結果如表 3-62 所示，海生物清除前發生電位最大值為 –885 mV，最小值為 –951 mV，海生物清除後最大值為 –895 mV，最小值為 –975 mV，均釋出足夠之防蝕保護電位。

表 3-62 高雄港 58 號碼頭陽極塊發生電位值（mV，Ag/AgCl 電位）

編號	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
1	-930	-932	-936	-937	-938	-941
2	-935	-942	-941	-937	-944	-952
3	-940	-944	-947	-943	-953	-948
4	-935	-951	-948	-938	-954	-954
5	-945	-949	-949	-975	-965	-956
6	-888	-892	-902	-895	-909	-913
7	-900	-887	-894	-906	-901	-902
8	-889	-895	-898	-898	-910	-925
9	-892	-899	-901	-895	-905	-909
10	885	-893	-901	-899	-921	-924
平均	-914	-918	-922	-922	-930	-932
平均	-918			-928		

3.4.18 新竹市新竹漁港

新竹市原本僅有位於頭前溪口之南寮漁港，1952 年起，始於頭前溪口南岸之南寮里勘定港址，興建港口一處、碼頭 423 公尺、倉庫及辦公室等，嗣後自 1954～1959 年繼續興建完成泊地面積 3.5 公頃。1974 年及 1975 年度於港口興建閘門，適時啟閉，以維持泊地水深，阻止大量漂砂進入港內，1975 年再興建突堤。

由於該港位於頭前溪口，為河口岸，每當洪水時期，洪流挾帶大量泥砂，造成泊地淤積，致使水深無法維持，漁船須候潮進出，非常不便。1980 年，選定於頭前溪口南邊約二公里海岸，開闢能全天候使用之南寮新漁港。1981 年 4 月完成規劃，並正式定名為「新竹漁港」，同年 10 月底開工興建，至 1991 年 6 月完成及啟用。漁港泊地水深為低潮位以下 3 公尺，漁船可以全天候進出而無須候潮，泊地分為內外兩部分，內泊地面積約 14.6 公頃，外泊地面積約 8.06 公頃，碼頭總長約 2,450 公尺；另外建港時更填築約 52 公頃之新生地，除漁港公共設

施外，更可提供漁業相關工業、商業及住宅社區發展之用。新竹漁港腹地廣大，已朝休閒等多功能漁港發展，生鮮魚市、海鮮熟食、綠地、停車場等俱全，已成為大新竹地區居民休閒生活的好去處。漁港主要設施如表 3-63 所示。港區平面及碼頭結構型式如圖 3.59 至圖 3.68 所示。

本次調查結果顯示，漁港碼頭之設計水深為-5.5m，由於漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式與板樁式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且本漁港碼頭靠泊之漁船筏噸數均小於 200 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.69 為調查時之碼頭現況。

由歷年記錄顯示，漁港維護仍以泊地及碼頭水深浚挖為主，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。

表 3-63 新竹漁港現有主要設施

設施名稱		數量
碼頭	水深-5.5m（低潮-3.0 m）	2372 m
泊地	水深-5.5m（低潮-3.0 m）	22.9 公頃
外廓設施	北防波堤	1135 m
	南防波堤	919 m
	北海堤	1010 m
	南海堤	756 m
	防砂堤	800 m
	南北突堤	325 m
	內堤	323 m
陸上公共設施	魚市場、漁會辦公室、魚貨直銷中心、加油站、修船廠、檢查站、漁具倉庫、整備站、管理站、停車場、港區道路、漁業電台	

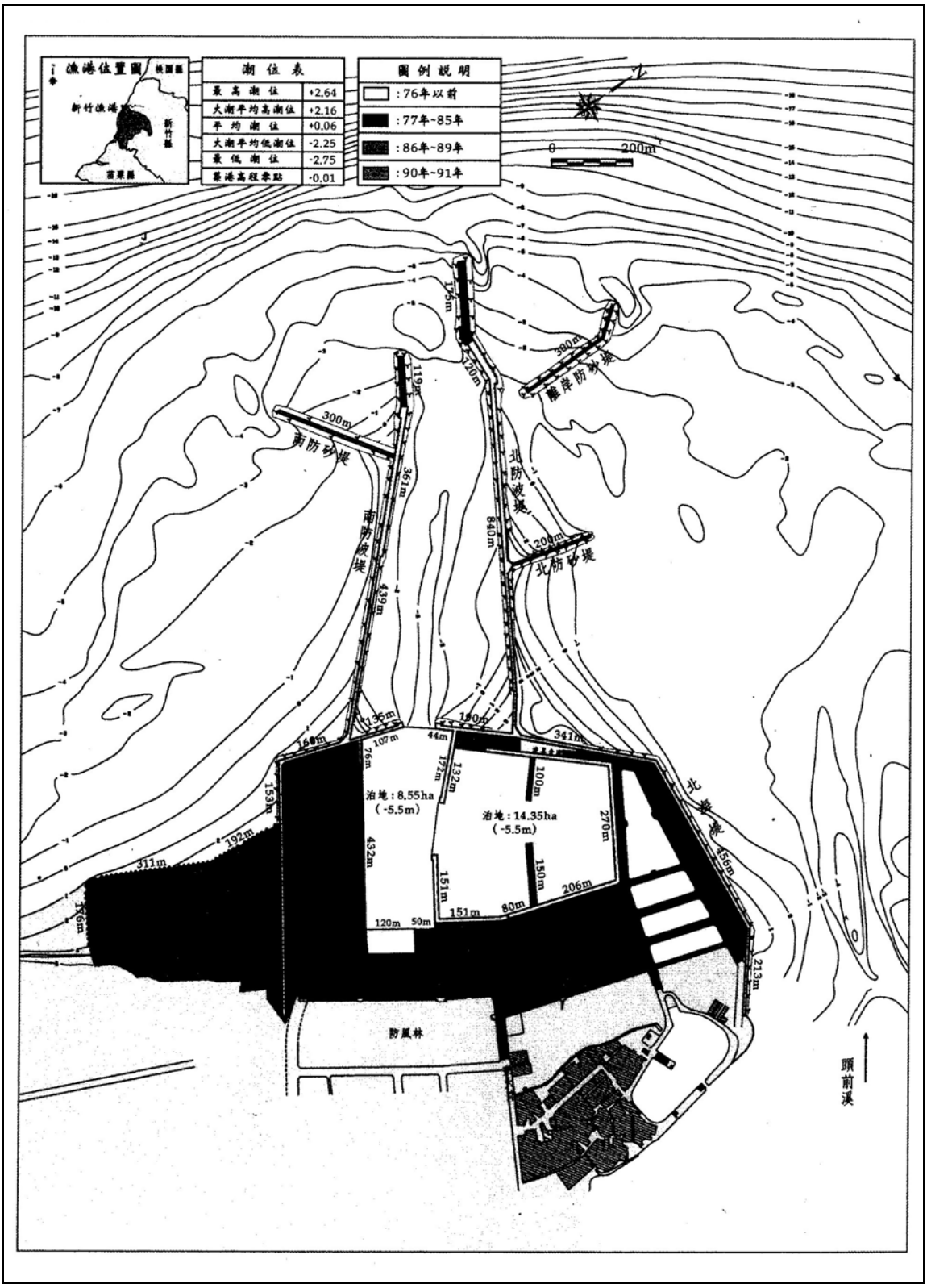


圖 3.59 新竹漁港平面配置圖

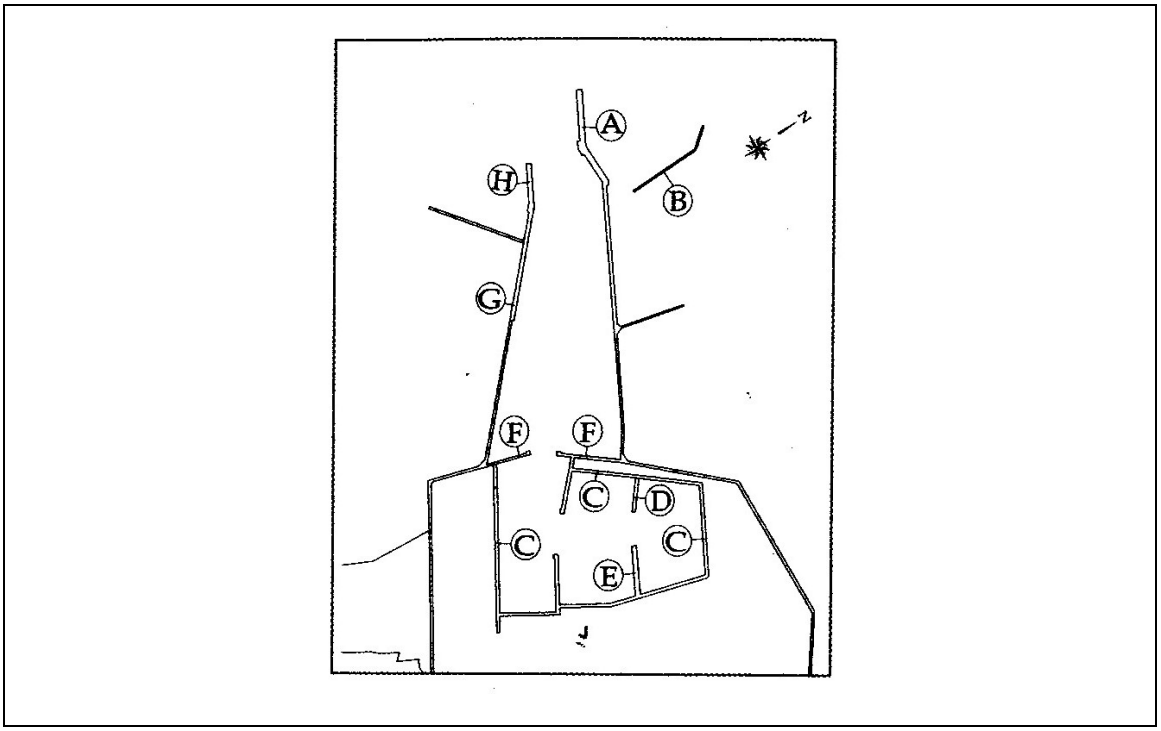


圖 3.60 新竹漁港碼頭配置示意圖

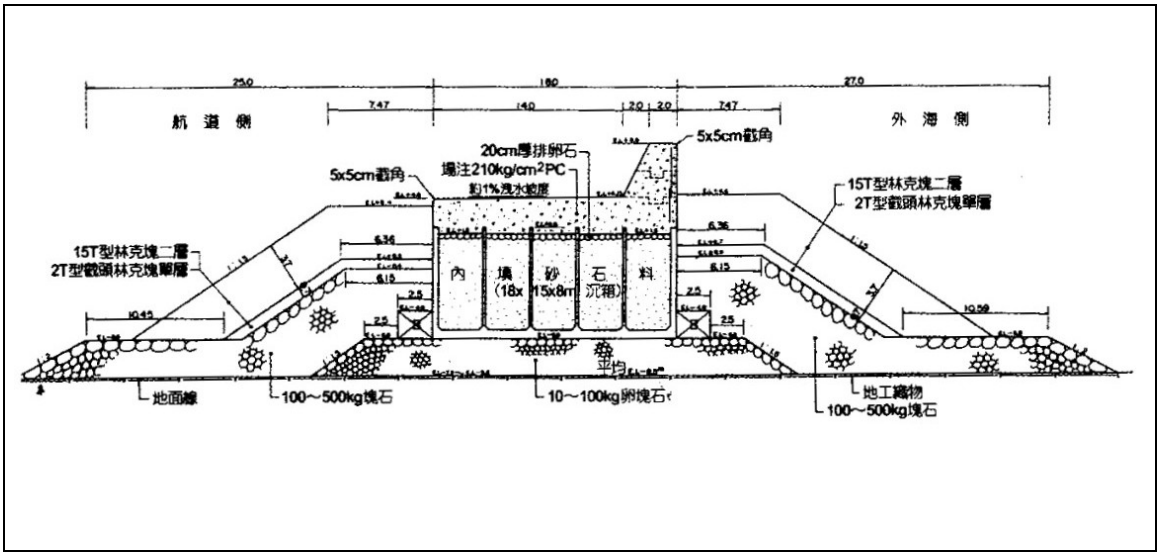


圖 3.61 新竹漁港北防波堤結構型式 代號:A

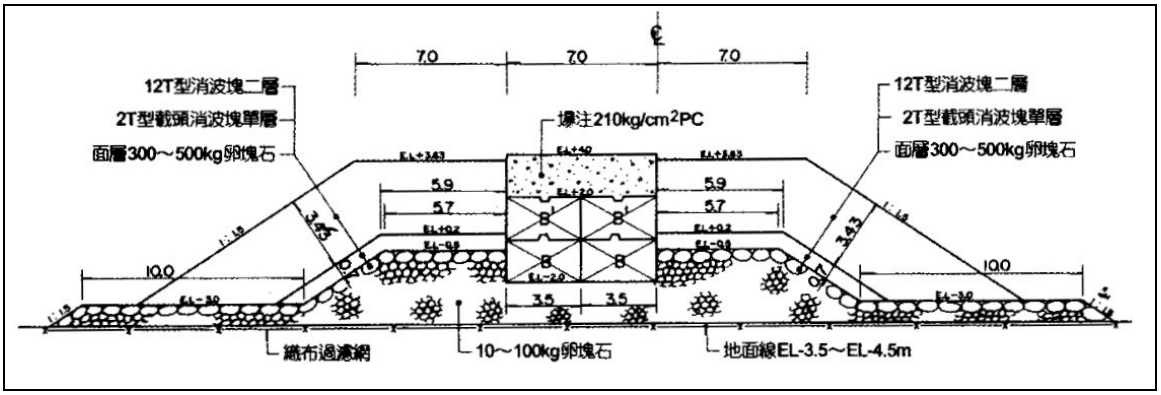


圖 3.62 新竹漁港北防砂堤結構型式 代號:B

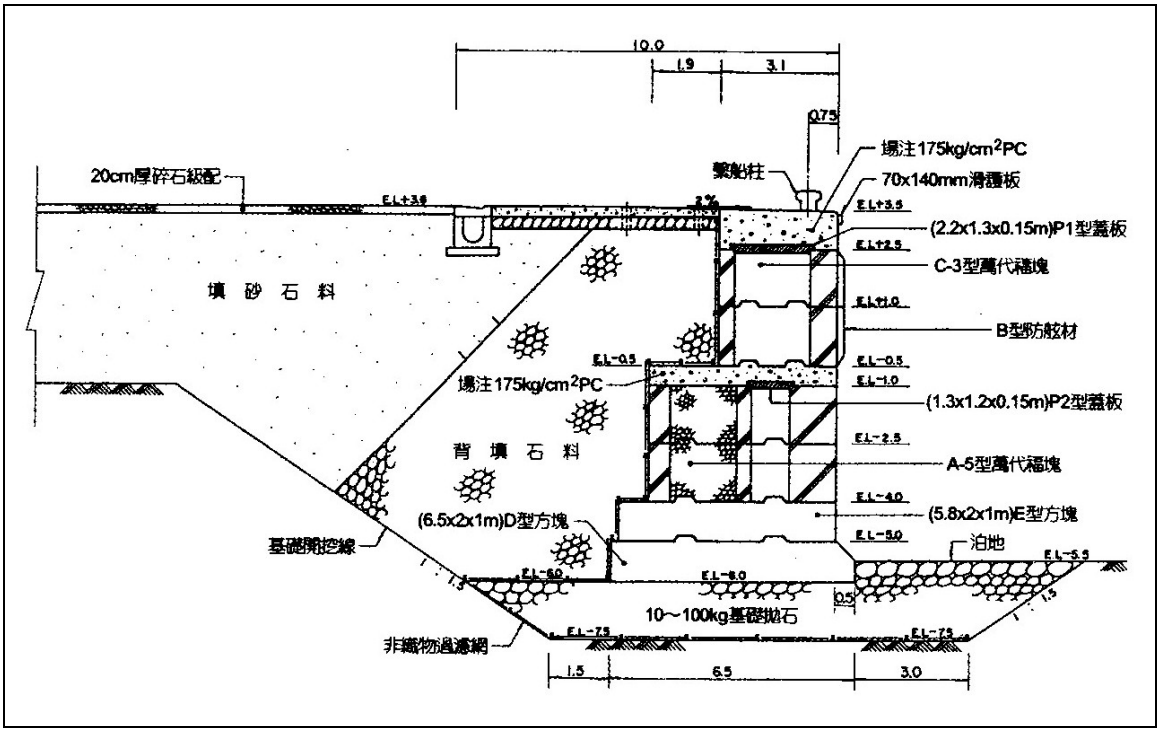


圖 3.63 新竹漁港內泊地碼頭結構型式 代號:C

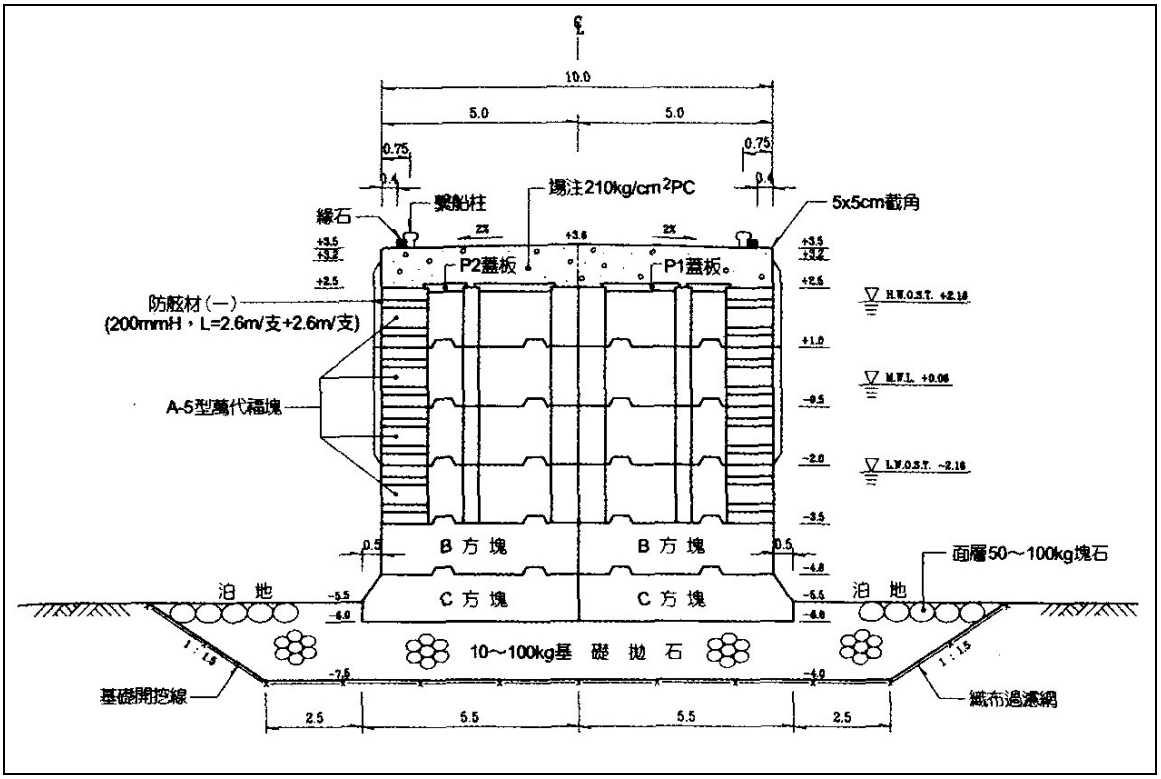


圖 3.64 新竹漁港北突堤碼頭（直立部）結構型式 代號:D

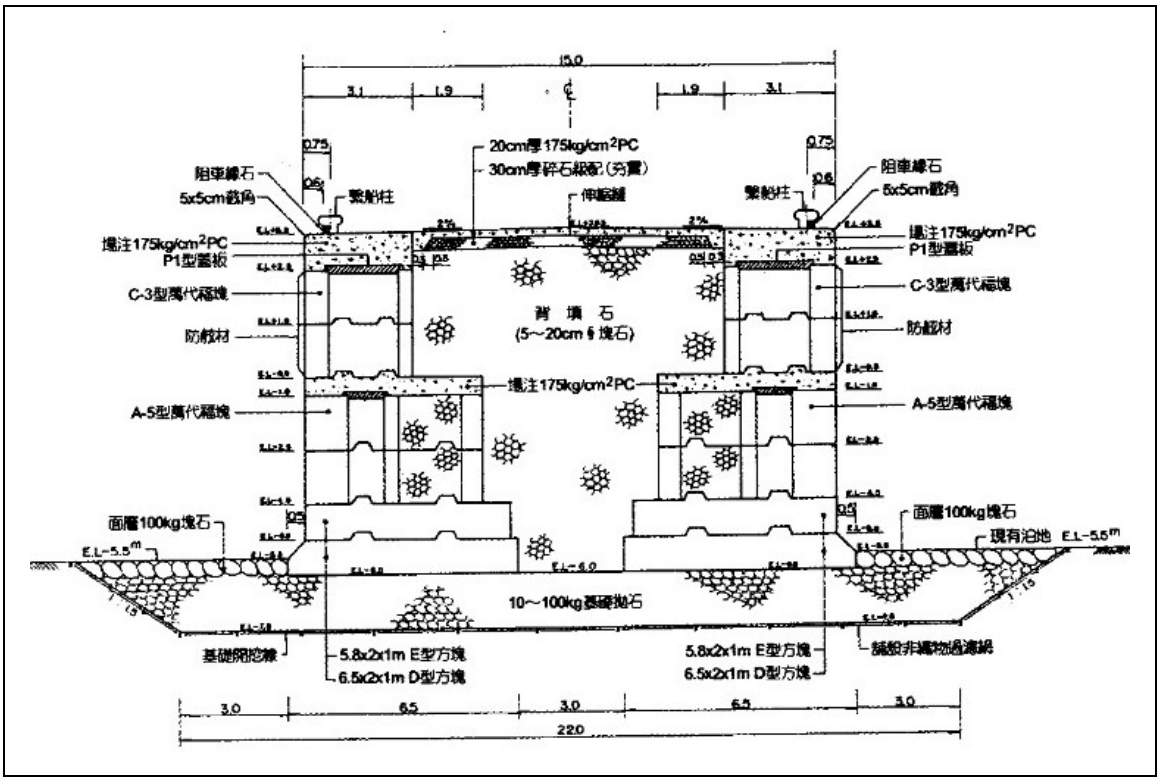


圖 3.65 新竹漁港南突堤碼頭（直立部）結構型式 代號:E

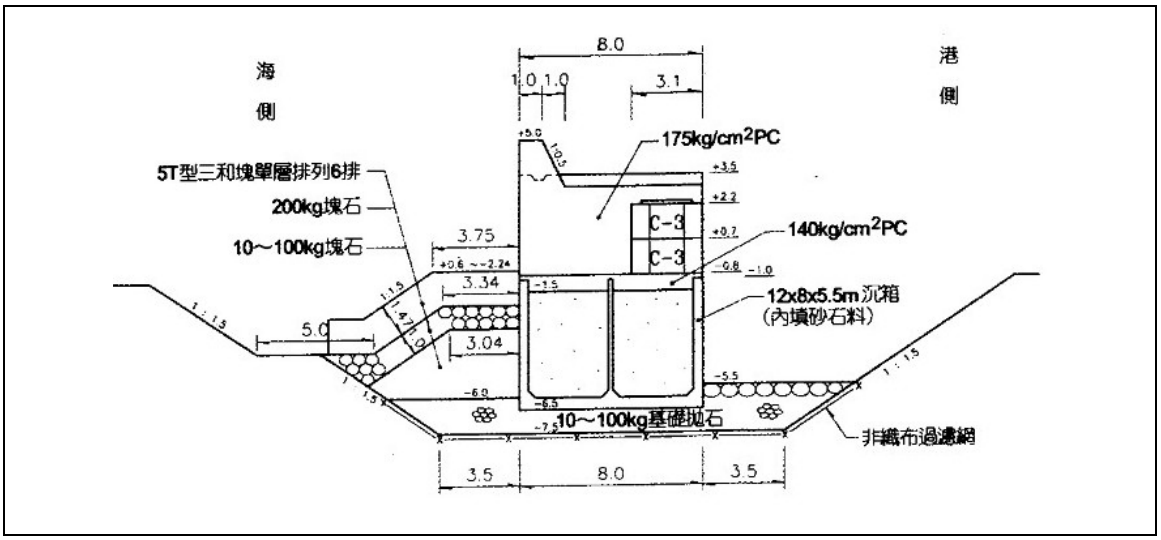


圖 3.66 新竹漁港維護南、北突堤結構型式 代號:F

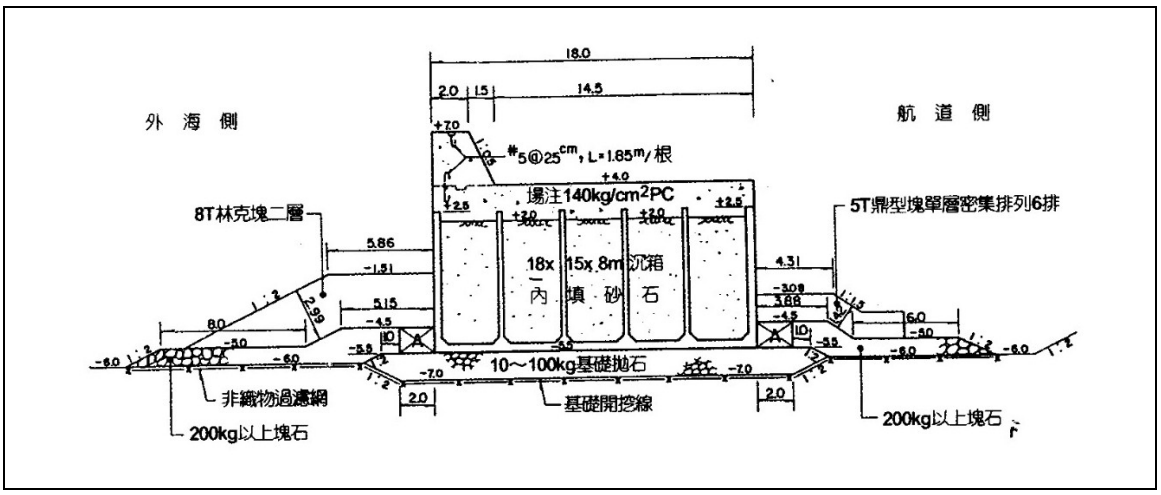


圖 3.67 新竹漁港南防波堤（一）結構型式 代號:G

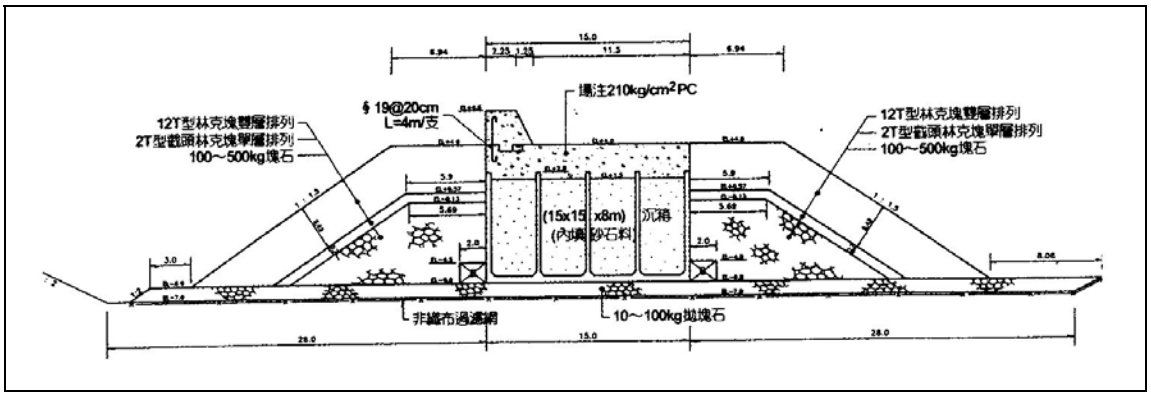


圖 3.68 新竹漁港南防波堤（二）結構型式 代號:H

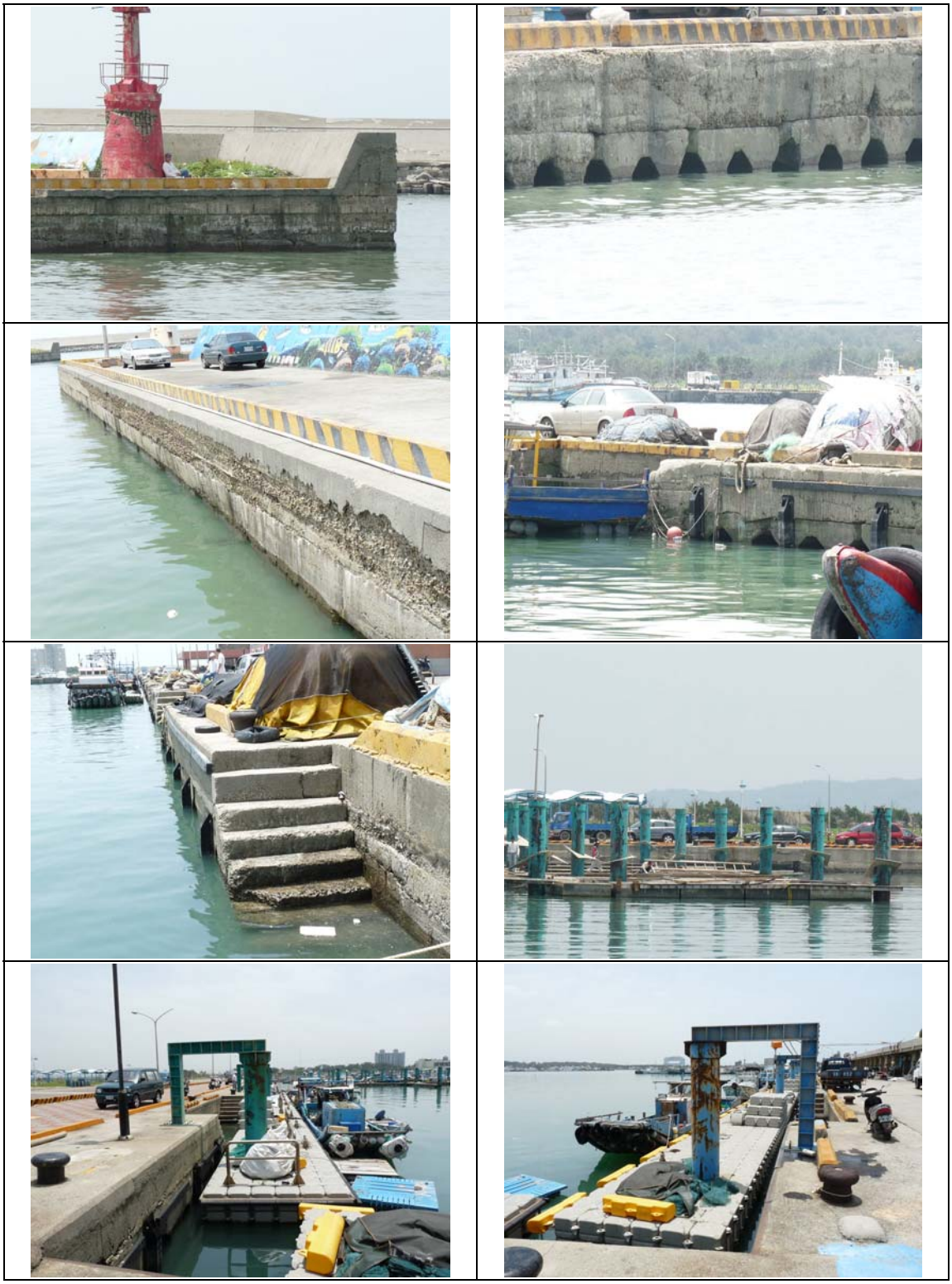


圖 3.69 新竹漁港碼頭現況(2010 年 5 月)

3.4.19 臺中縣梧棲漁港

梧棲漁港之建港，可回溯至日據時期之「新高港」，由於第二次世界大戰末期遭轟炸破壞，又缺乏維修，原有航道泊地漸被漂砂淤塞，功能漸失。1984 年，臺中港務局將漁港泊地及碼頭沿線 12 公尺以內之土地，移交台中縣政府接管，1989 年增建檢查碼頭 100 公尺及疏浚航道，目前有泊地面積 16 公頃，碼頭長 1,600 公尺，水深-3.0 公尺至-4.5 公尺，陸地面積 27 公頃，陸上公共設施魚市場包括拍賣場、污水處理廠、管制室、受電室、給排水等俱全，漁港主要設施如表 3-25 所示。

梧棲漁港魚貨直銷中心，為本省最早規模最大之魚產直銷中心（假日魚市），市場達面積千坪 130 餘攤位，魚貨種類眾多，另有熟食區、乾貨區及遊港、海釣等休閒設施，已經成為大台中地區民眾休閒旅遊的重要地點，也為各地漁港直銷魚市的示範。漁港主要設施如表 3-64 所示。港區平面及碼頭結構型式如圖 3.709 至圖 3.75 所示。

本次調查結果顯示，漁港碼頭之設計水深為-3.0m～-4.5m 之間，多小於由於漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式與板樁式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且各漁港碼頭靠泊船隻之噸數多為 100 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮，但靠修船廠附近碼頭面版發現有鋼筋腐蝕及混凝土劣化現象，港區部分區域（停二、停三、漁二及漁三等），路面多處出現沉陷，應予維修及改善。圖 3.76 為調查時之碼頭現況。

由歷年記錄顯示，漁港維護仍以泊地及碼頭水深浚挖為主，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。

表 3-64 梧棲漁港現有主要設施

設施名稱		數量
碼頭	水深-3.0m	1124 m
	水深-3.5m	360 m
	水深-4.5m	110 m
	浮動碼頭	79 m
	小計	1673 m
泊地	水深-3.0m	7.85 公頃
	水深-3.5m	4.35 公頃
	水深-4.5m	13.90 公頃
	小計	26.10 公頃
陸上公共設施	魚市場、魚貨直銷中心、停車場.漁民活動中心、曳船道、整備場、港檢站、管理站、加油站、修船廠、公園	

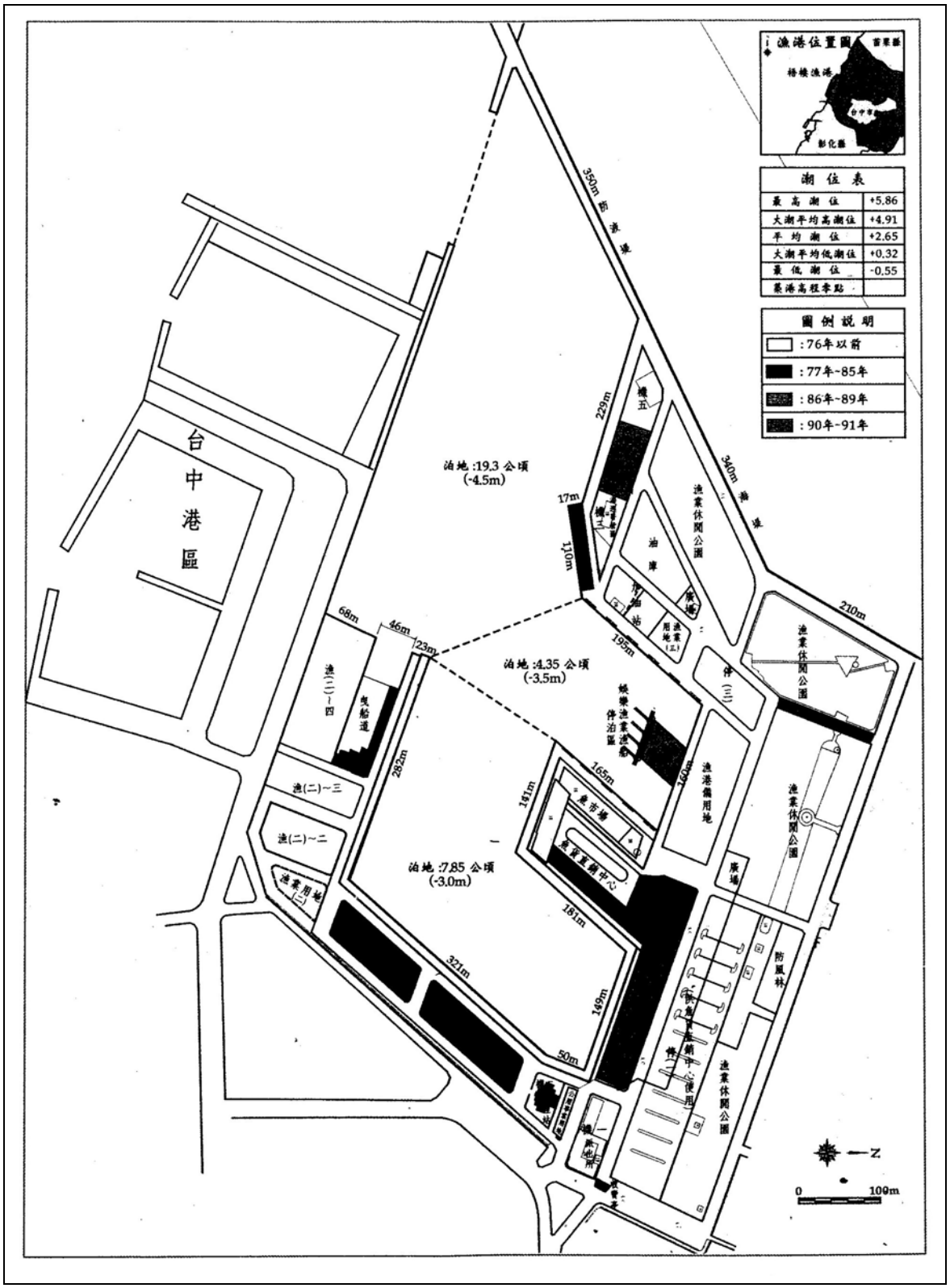


圖 3.70 梧棲漁港平面配置圖

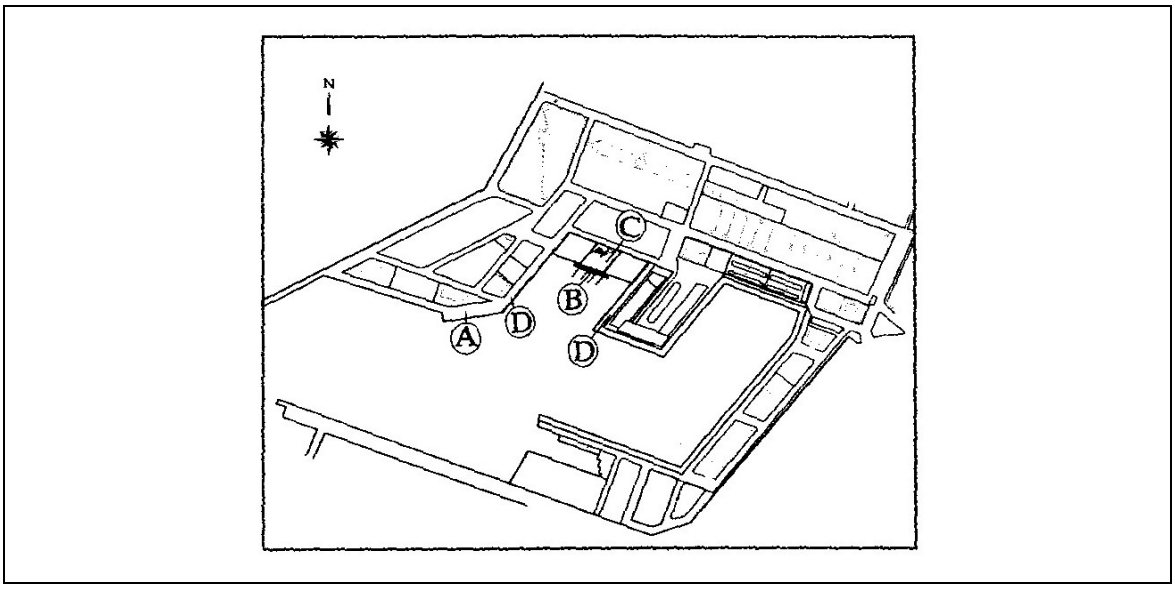


圖 3.71 梧棲漁港碼頭配置示意圖

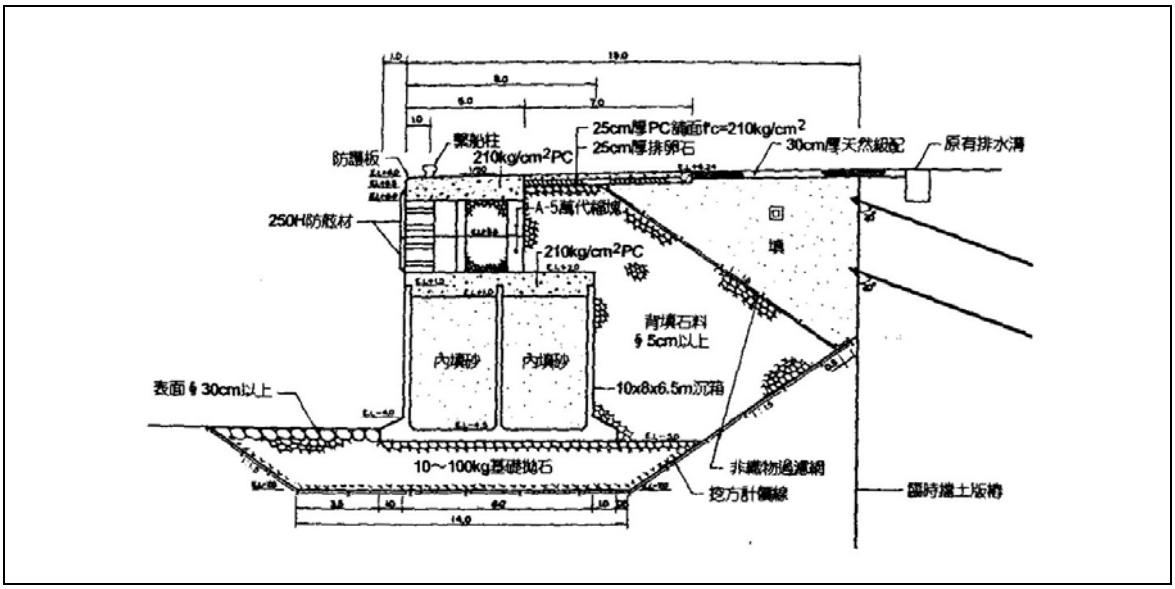


圖 3.72 梧棲漁港-4.5M 碼頭結構型式 代號:A

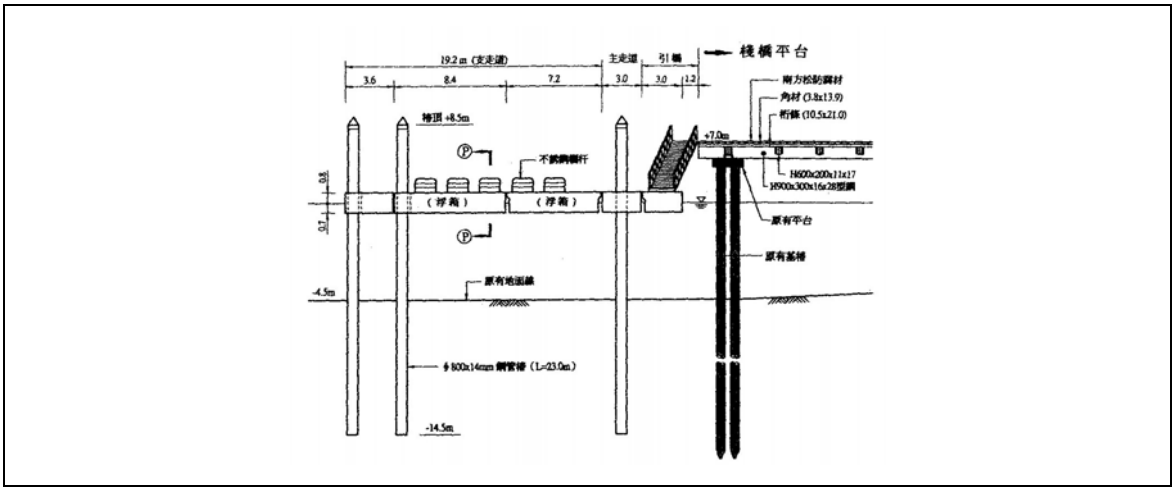


圖 3.73 梧棲漁港浮動碼頭結構型式 代號:B

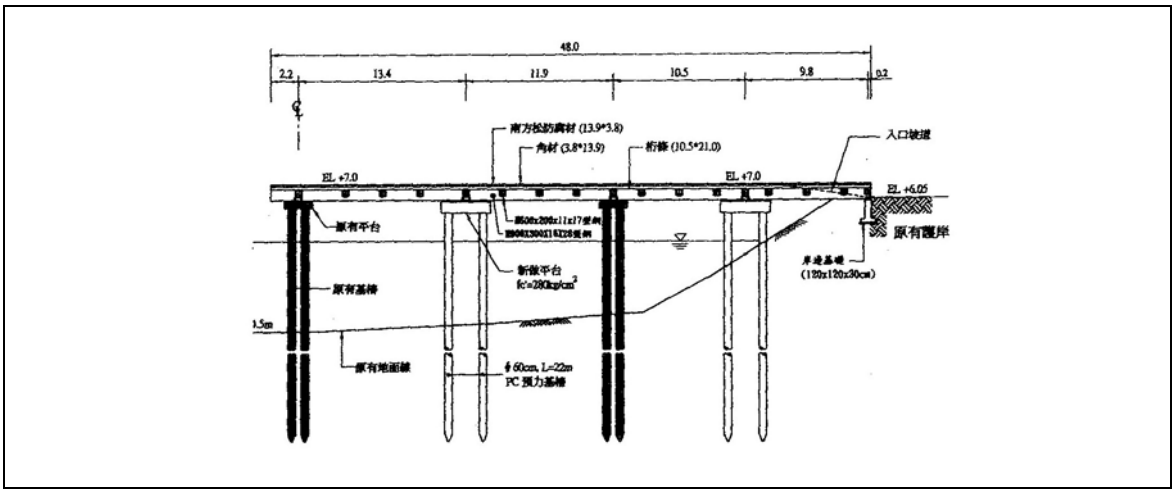


圖 3.74 梧棲漁港浮動碼頭平台結構型式 代號:C

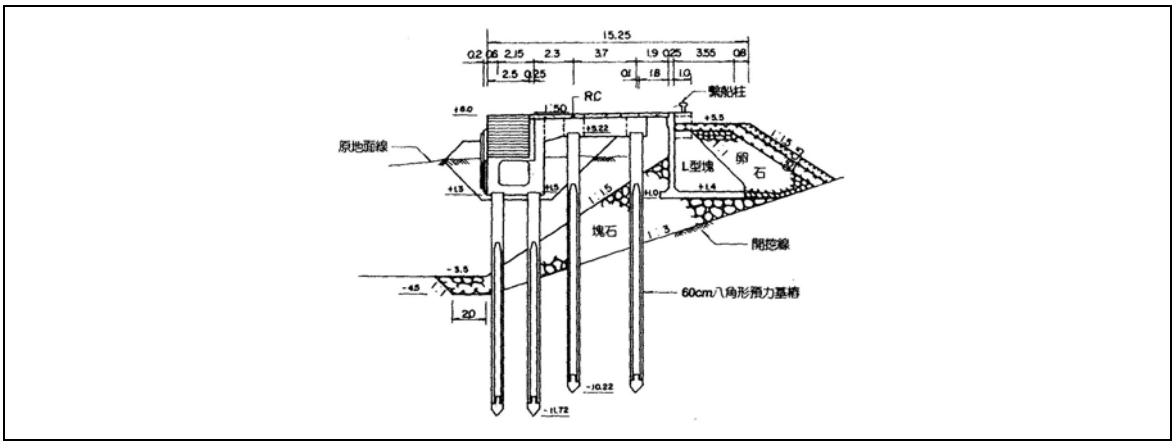


圖 3.75 梧棲漁港-3.5M 碼頭結構型式 代號:D

碼頭現況（一）

碼頭現況（二）

停（二）區域路面沉陷情形 1

漁（二）路面沉陷情形 2

停（三）、漁（三）路面沉陷情形

修船廠旁碼頭面版損壞情形

修船廠旁碼頭面版腐蝕劣化情形

鋼構造物腐蝕情形

圖 3.76 梧棲漁港碼頭現況(2010 年 12 月)

3.4.20 高雄市前鎮漁港

前鎮漁港位於高雄市前鎮區，係高雄港內港，其東、南、北側分別與港埠用地、工業區、學校、住宅區等相鄰，西側則瀕臨高雄港主航道。該港原係灘地，自 1964 年起開始興建。為因應漁船數量之增加及遠洋漁船大型化之演進，1986 年，先就原有前鎮漁港防波堤內側水域開發闢建水深-4.5 公尺之碼頭，闢建水深-7.5 公尺，碼頭 428 公尺，填築新生地面積 3.4 公頃，可供 3,000 噸級以下漁船使用，並於 1989 年 8 月完工啟用。並於 1993 年 11 月完成興建水深-10.0 公尺碼頭 603.6 公尺，填築新生地 1.5 公頃，可供 5,000 噸級以下漁船使用。1994 年 7 月完成興建水深-7.5 公尺之碼頭 180 公尺。前鎮漁港興建迄今，港區鄰近漁業相關設施林立，並提供漁船卸魚、加油、加水、加冰及補給等各項服務。

前鎮漁港陸上設施非常完善，可供 5,000 噸以下漁船安全避風停靠，前鎮漁港以停泊鮪釣、魷釣及拖網等遠洋漁船為主，港區設施充分使用。此外，漁港區內漁業相關的公務、產業單位眾多，目前係台灣地區停泊漁船噸級最大，漁獲量最多之漁港，居台灣地區漁業龍頭地位。漁港主要設施如表 3-65 所示。港區平面及碼頭結構型式如圖 3.77 至圖 3.83 所示。

本次調查結果顯示，由於漁港碼頭之設計水深部份達-7.5～10.0 m 之深水碼頭，應可參考商港管理模式，建置完善之管理系統。其他設計水深較淺之碼頭其後線長度如小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式與板樁式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且本漁港碼頭如靠泊船隻之噸數小於 500 公噸部份，因無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮，可不急需採用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。圖 3.84 為調查時之碼頭現況。

表 3-65 前鎮漁港現有主要設施

設施名稱		數量
碼頭	水深-4.5m	1058 m
	水深-6.0m	814 m
	水深-7.5m	713 m
	水深-10.0m	604 m
	小計	3189 m
泊地	水深-4.5～-7.5m	27.07 公頃
陸上公共設施	1.魚市場 2.漁業中心大樓 3.高雄區漁會 4.漁民服務中心大樓 5.漁業廣播電台 6.漁業署南部辦公室 7.漁業署遠洋漁業開發中心	8.魚貨直銷中心 9.加油站 10.製冰冷凍廠 11.漁網具加工廠 12.機械修理廠 13.漁產品加工廠 14.氣象站

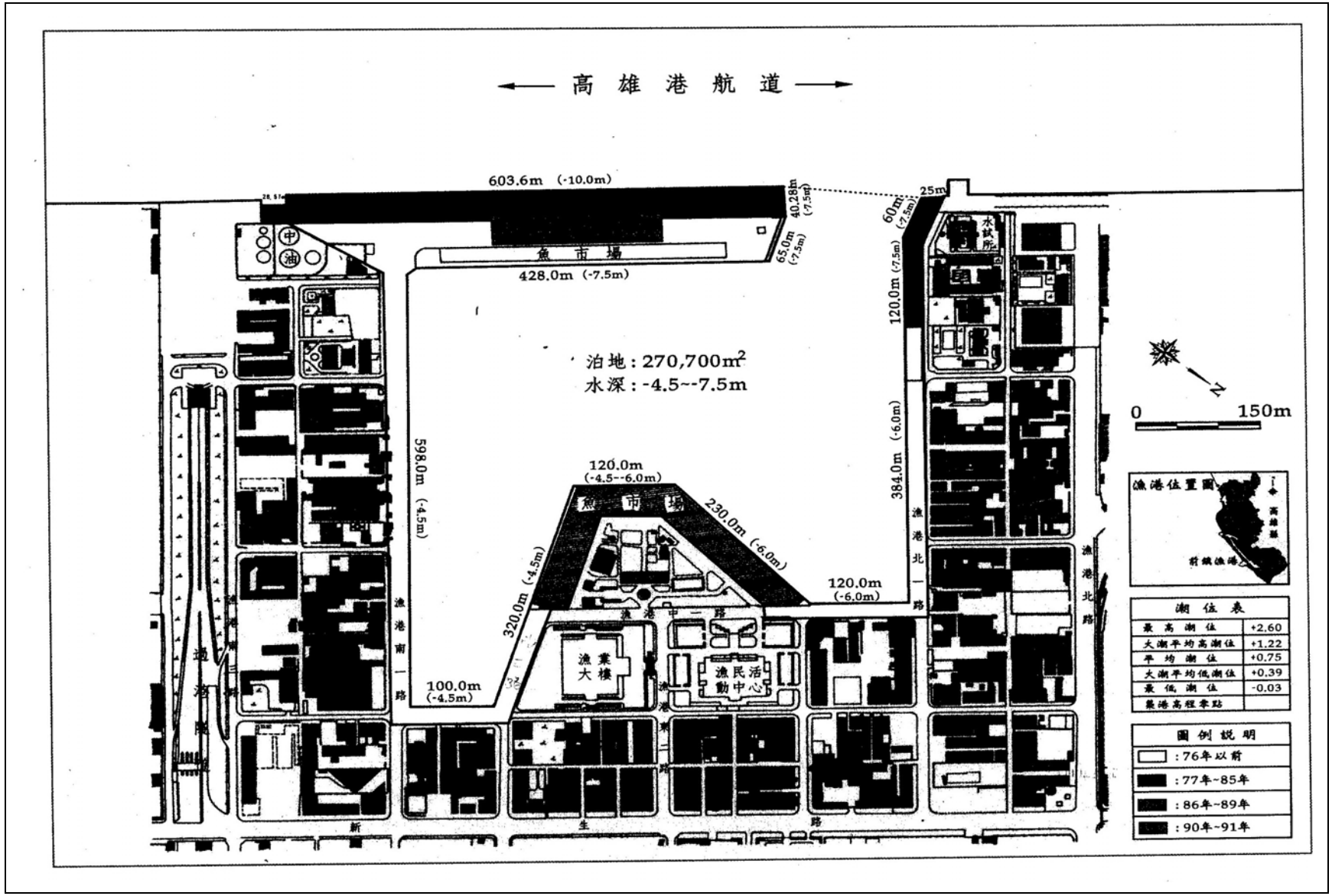


圖 3.77 前鎮漁港平面配置圖

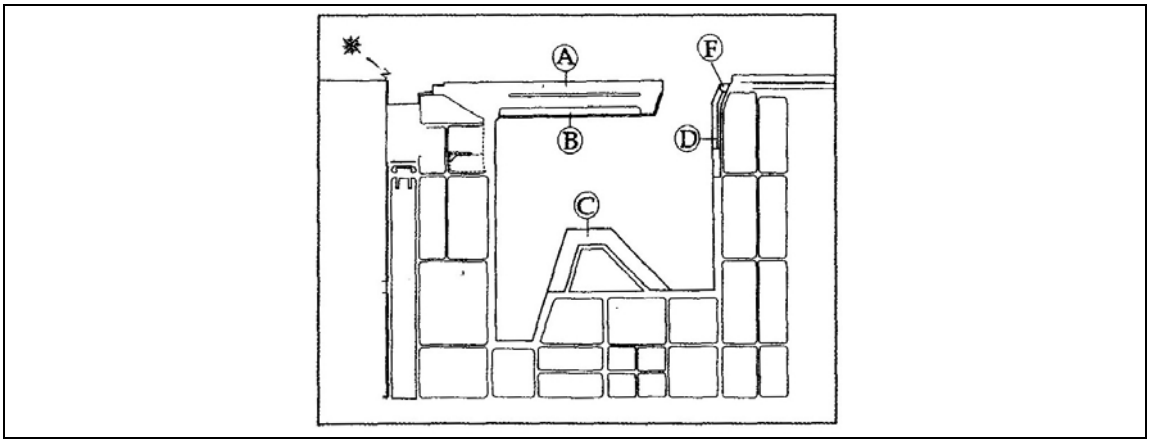


圖 3.78 前鎮漁港碼頭配置示意圖

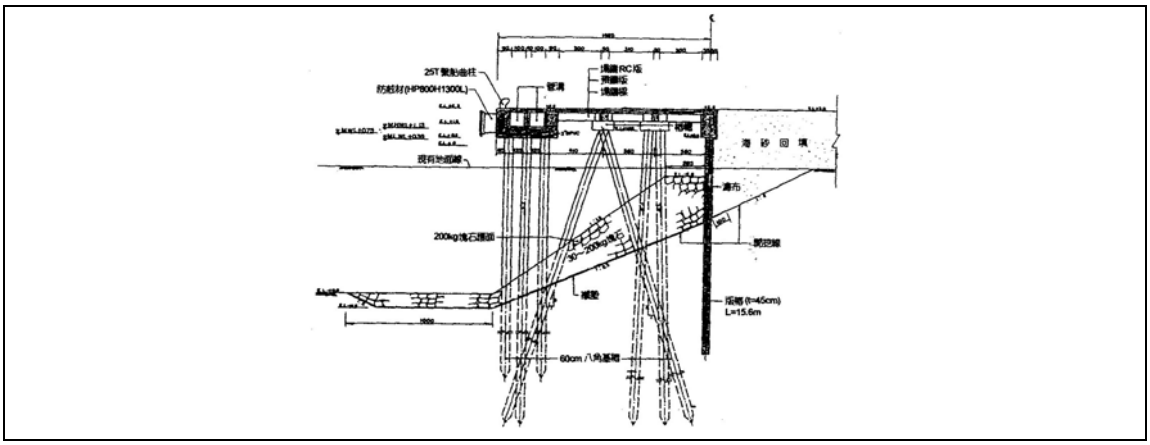


圖 3.79 前鎮漁港深水碼頭結構型式 代號：A

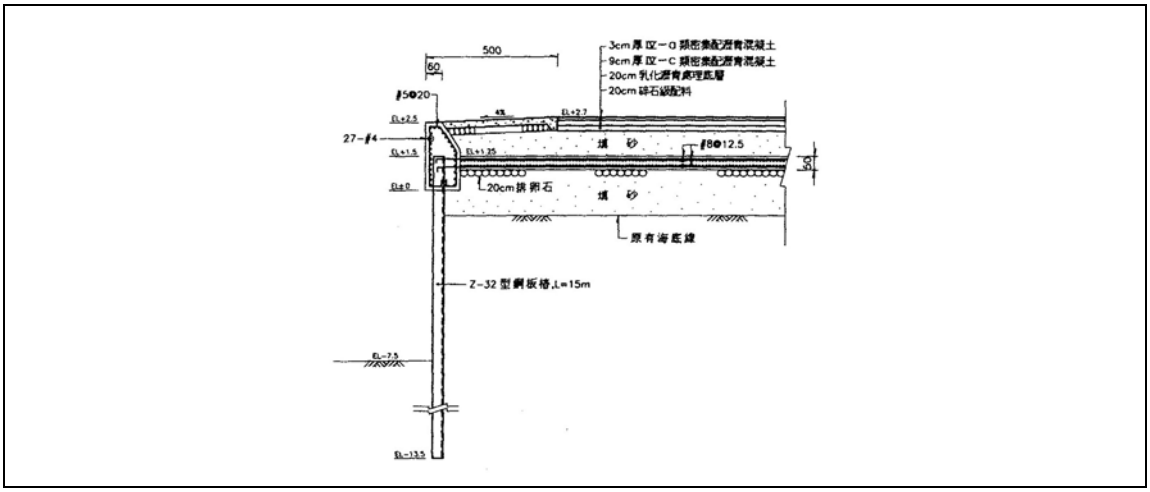


圖 3.80 前鎮漁港西南碼頭結構型式 代號：B

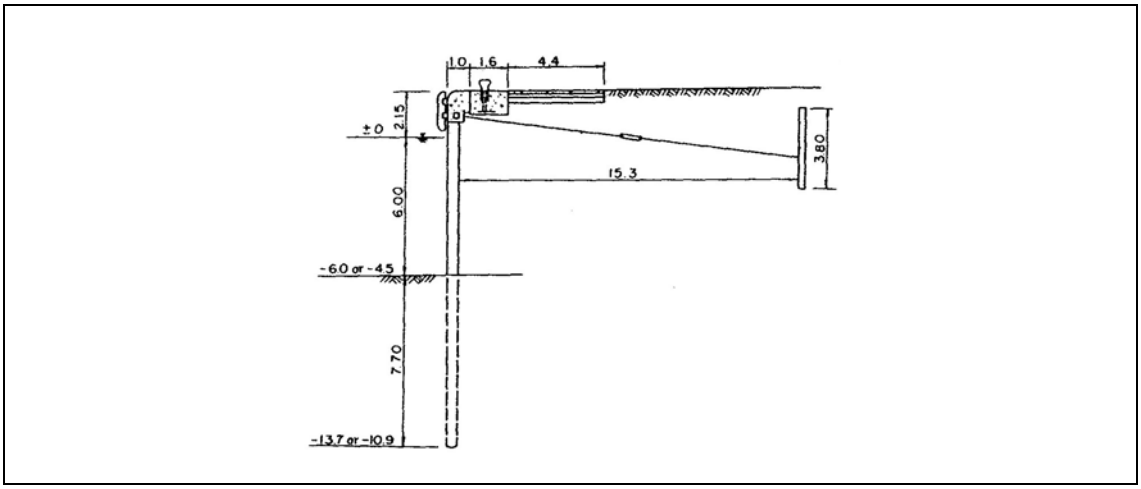


圖 3.81 前鎮漁港內突提碼頭結構型式 代號：C

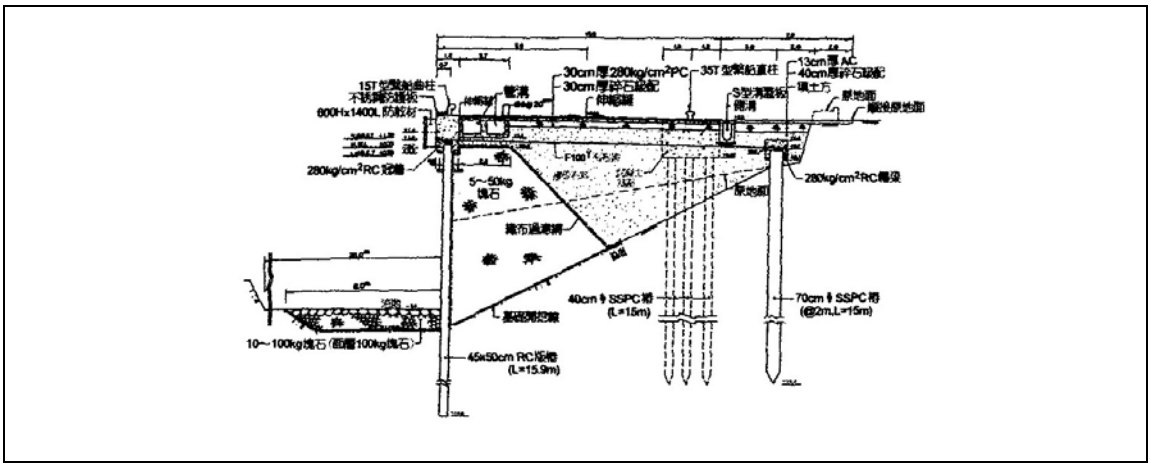


圖 3.82 前鎮漁港公務碼頭結構型式 代號：D

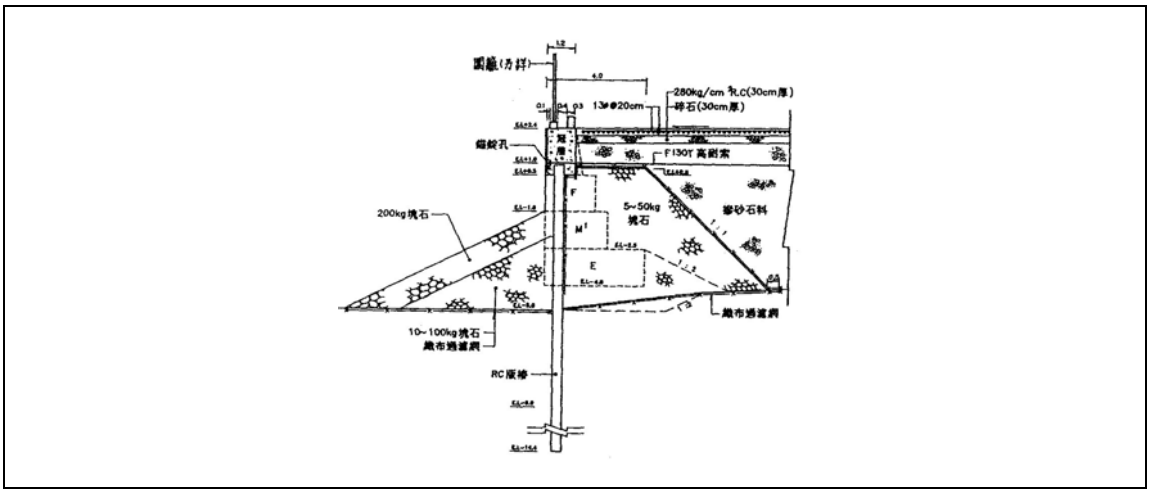


圖 3.83 前鎮漁港護岸結構型式 代號：E

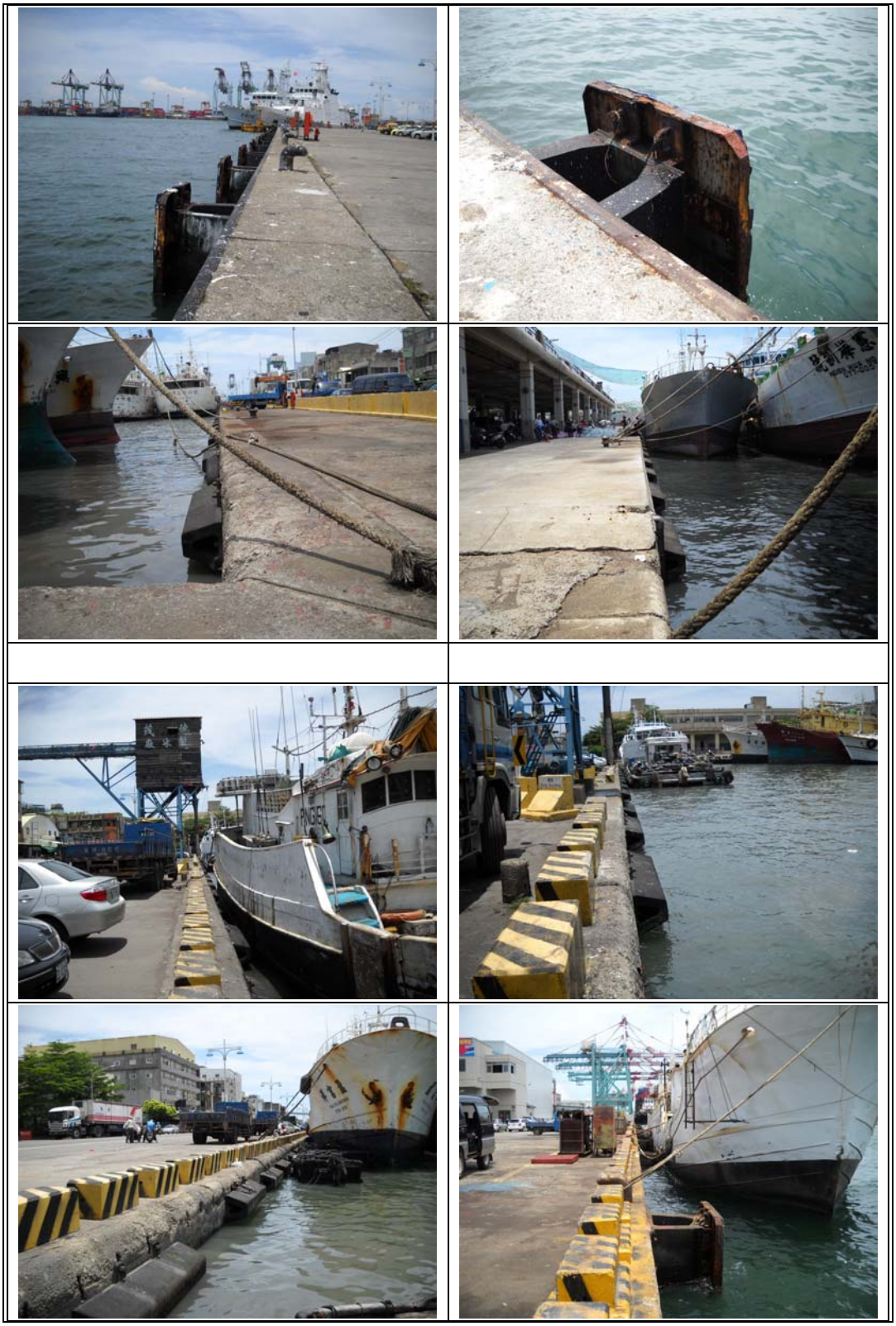


圖 3.84 前鎮漁港碼頭現況(2010 年 5 月)

3.4.21 東港鹽埔漁港

東港鹽埔漁港，共有東港及鹽埔兩泊區，分駐東港溪東西兩岸，東港泊區首於 1951 年底動工興建防波堤、導流堤、碼頭、泊地等設施，至 1960 年底已粗具規模。1968 年到 1979 年間，陸續延建防波堤、碼頭、新建南防砂堤、浚深泊地等，各項設施益見完善。此期間，東港漁業快速成長，原有泊地碼頭設施已不敷使用，經由第一期漁港建設方案，完成防波堤-233 公尺、增建碼頭 2,245 公尺、護岸 100 公尺、泊地面積 2 公頃等。1989、1990 兩年度延建南防波堤 120 公尺，並且加高南防波堤胸牆 315 公尺。另外，1996 年於魚市場南側及東港職校北側與西側，修建深水碼頭 778 公尺(水深-4.5 公尺)。目前計有碼頭 3,543 公尺，泊地面積共 14.26 公頃（其中包括內泊地 10.8 公頃，中央突堤北岸突堤一至五之間外泊地面積 3.98 公頃)，為台灣南部地區設施最完善之漁港。東港泊區因受限於地形及腹地無法擴充，乃選定其對岸之新園鄉鹽埔村興建鹽埔泊地，共計完成碼頭 1634 公尺，泊地面積共 11.8 公頃，但因航道易遭淤淺，停泊船隻偏小且陸上相關設施缺乏。漁港主要設施如表 3-66 所示。港區平面及碼頭結構型式如圖 3.85 至圖 3.102 所示。

本次調查結果顯示，漁港碼頭之設計水深多小於-4.5m。由於漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式與板樁式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 500 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.95 及圖 3.103 為兩泊區調查時之碼頭現況。

由歷年記錄顯示，漁港維護仍以泊地及碼頭水深浚挖為主，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。

表 3-66 東港鹽埔漁港現有主要設施

區分	東港泊區	鹽埔泊區
外廓設施	南防波堤：415 m	南防波堤： 278 m
	北防波堤：302 m	西南防波堤： 60 m
	內　　堤： 80 m	消波突堤： 80 m
	護　　岸：100 m	海　　堤： 418 m
		護　　岸： 1058 m
泊地	消波水域： 4.84 公頃	11.8 公頃
	內 泊 地： 10.28 公頃	
	後寮溪泊地：3.64 公頃	
	小　　計： 18.56 公頃	
碼頭	內 泊 地： 2090 m	1135 m
	東港溪側： 1523 m	919 m
	小　　計： 3613 m	1010 m
陸上公共設施	加油站、漁港管理站、拍賣場、港區道路、漁業大樓、候船室、製冰廠、港檢站、冷凍廠、停車場、魚市場、廣場、老人活動中心、公園、漁業文化展示中心	廣場、綠地、港區道路、活動中心

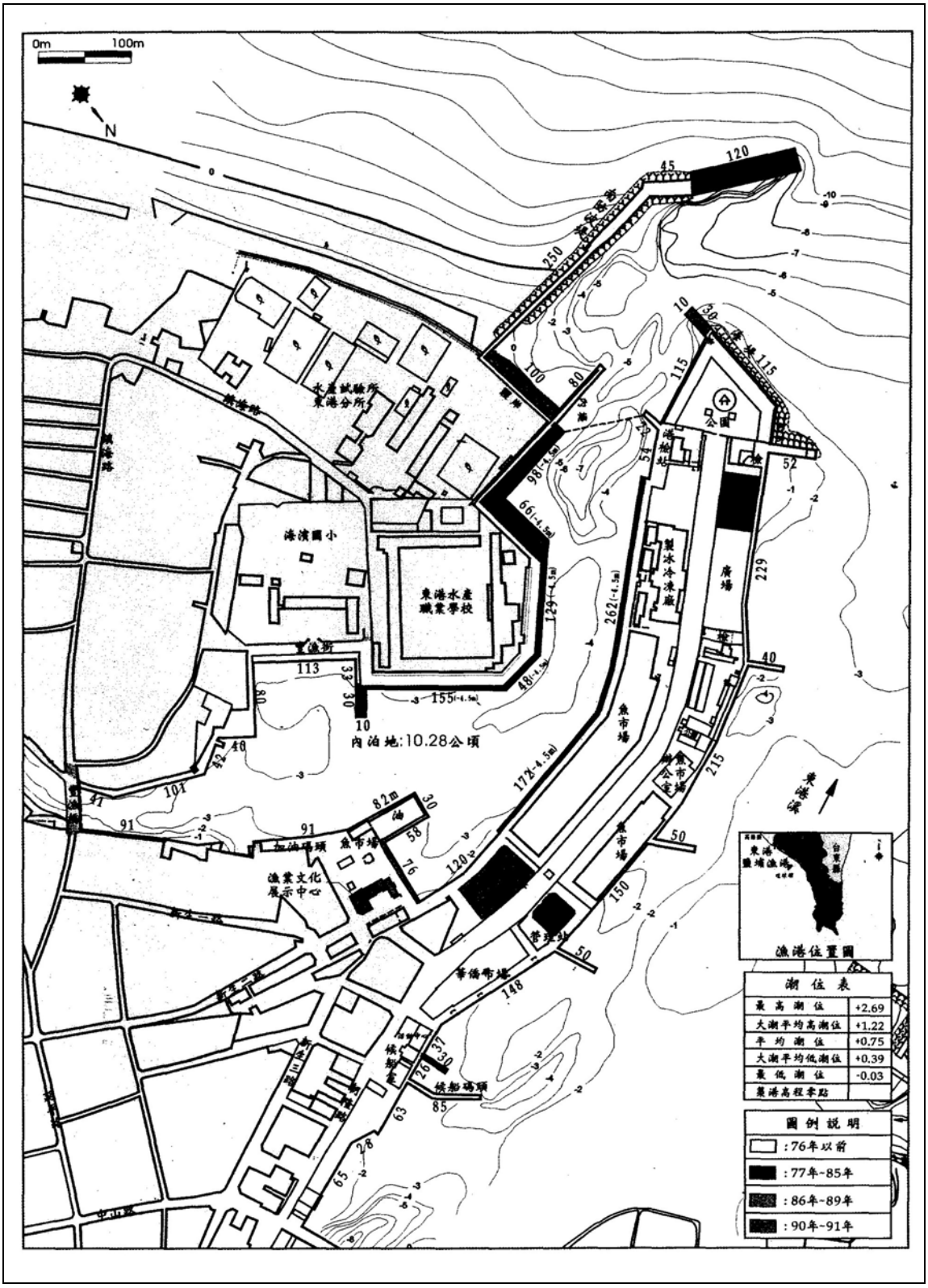


圖 3.85 東港漁港平面配置圖

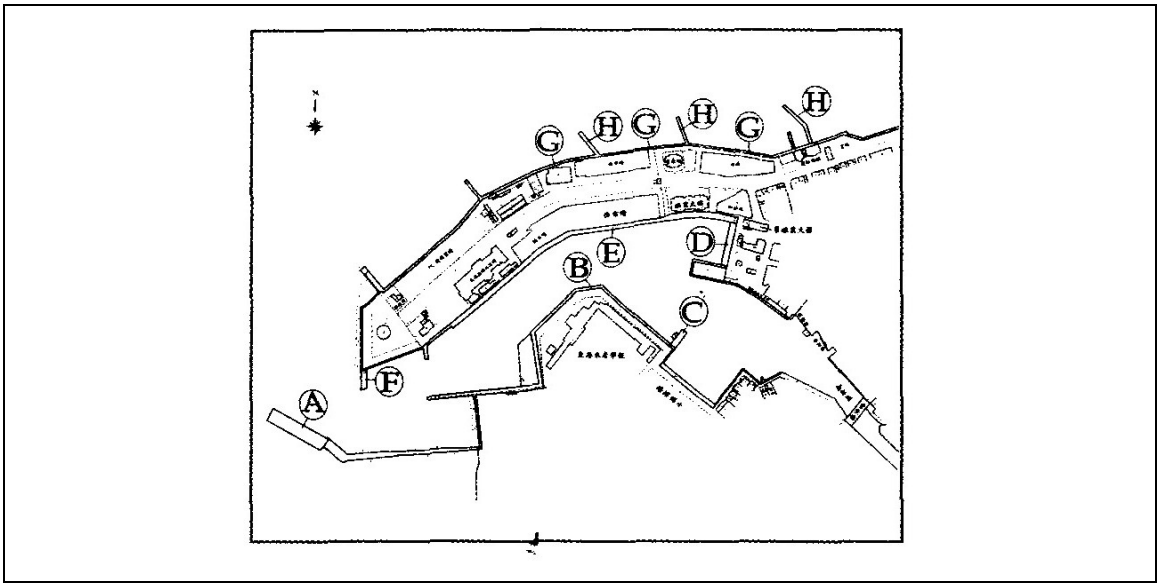


圖 3.86 東港漁港碼頭配置示意圖

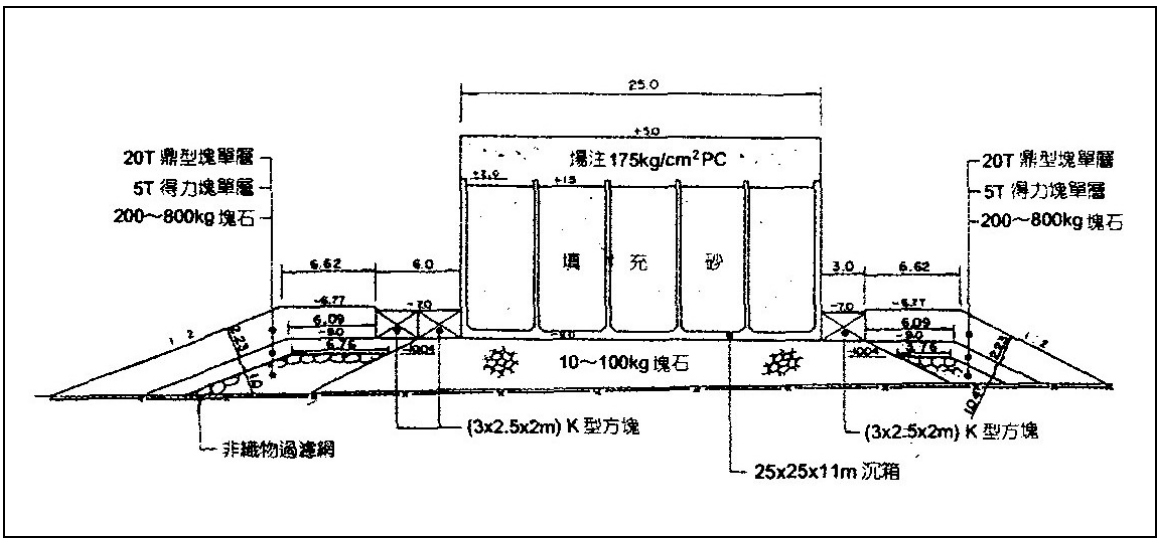


圖 3.87 東港漁港南防波堤結構型式 代號:A

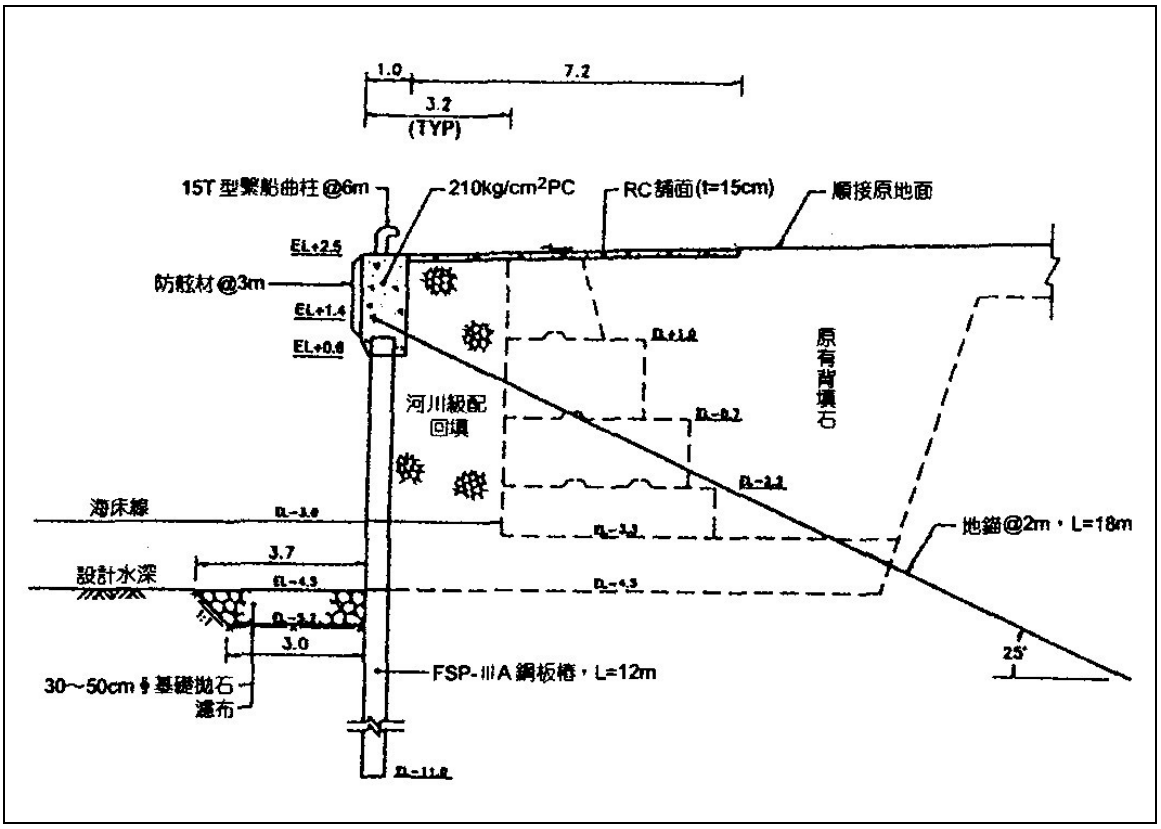


圖 3.88 東港漁港南側深水碼頭結構型式 代號:B

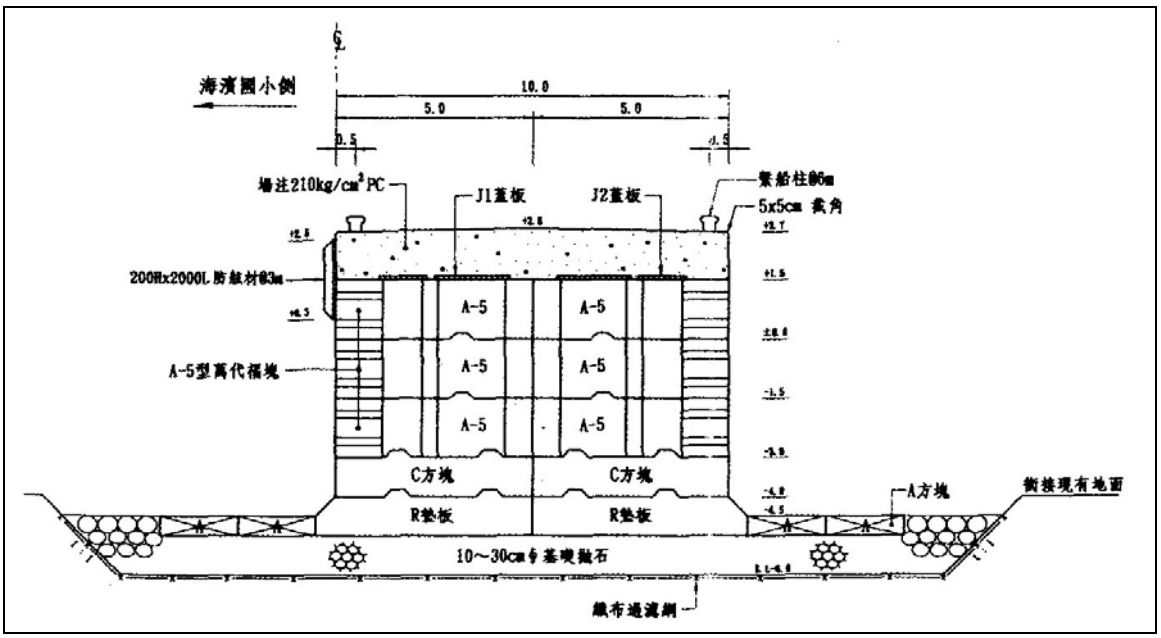


圖 3.89 東港漁港內突堤碼頭結構型式 代號:C

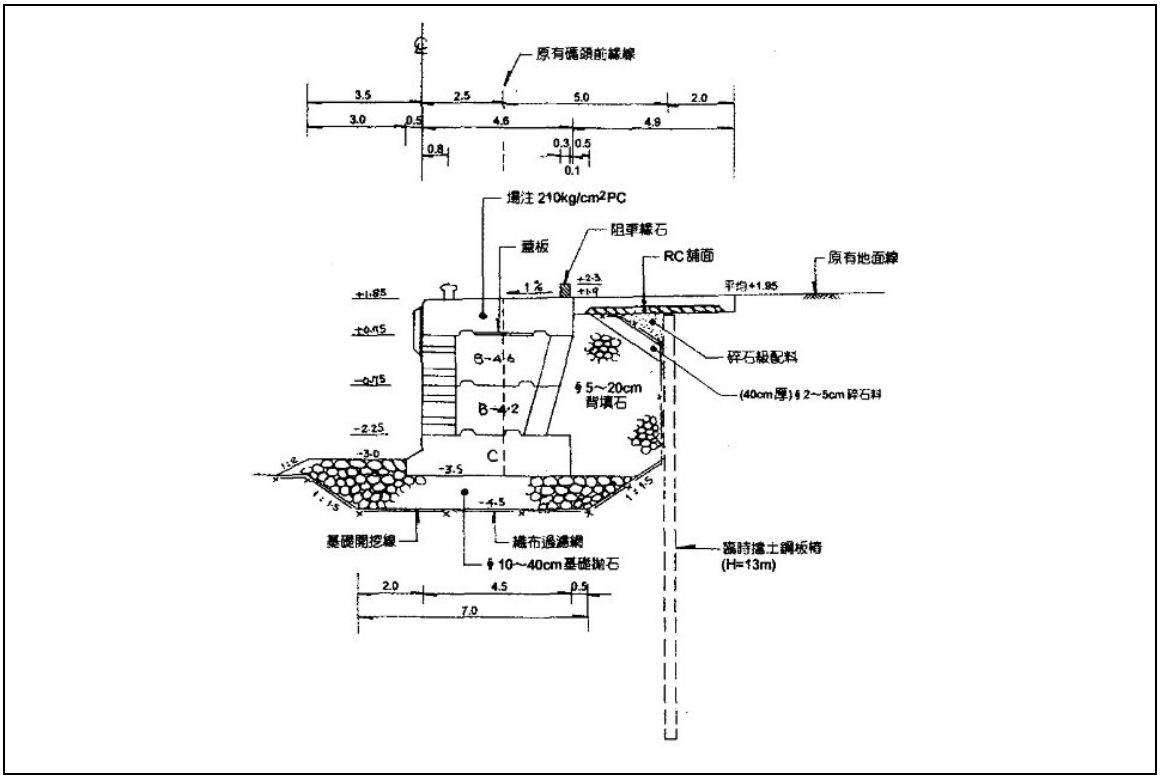


圖 3.90 東港漁港加油碼頭結構型式 代號:D

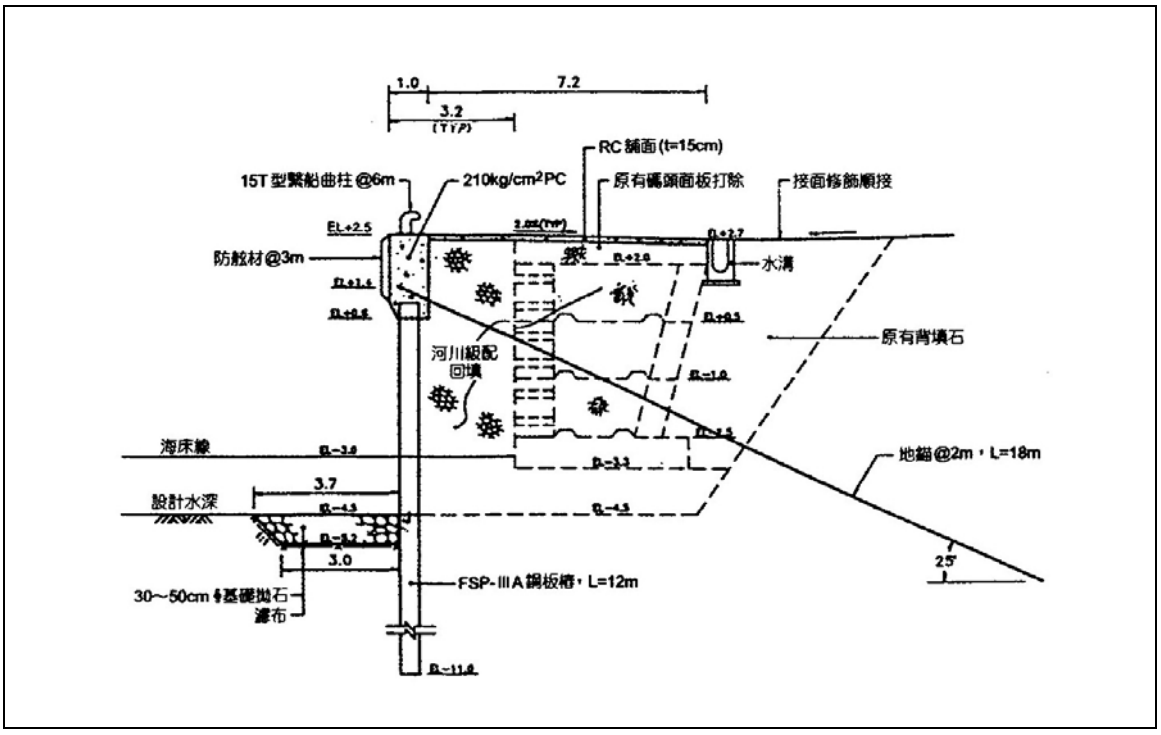


圖 3.91 東港漁港北側深水碼頭結構型式 代號:E

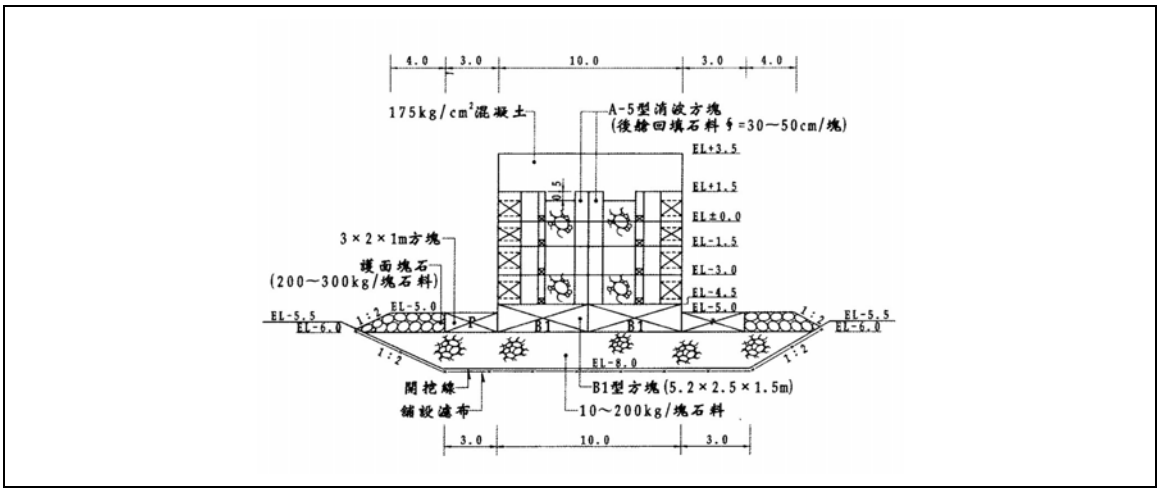


圖 3.92 東港漁港北岸突堤結構型式 代號:F

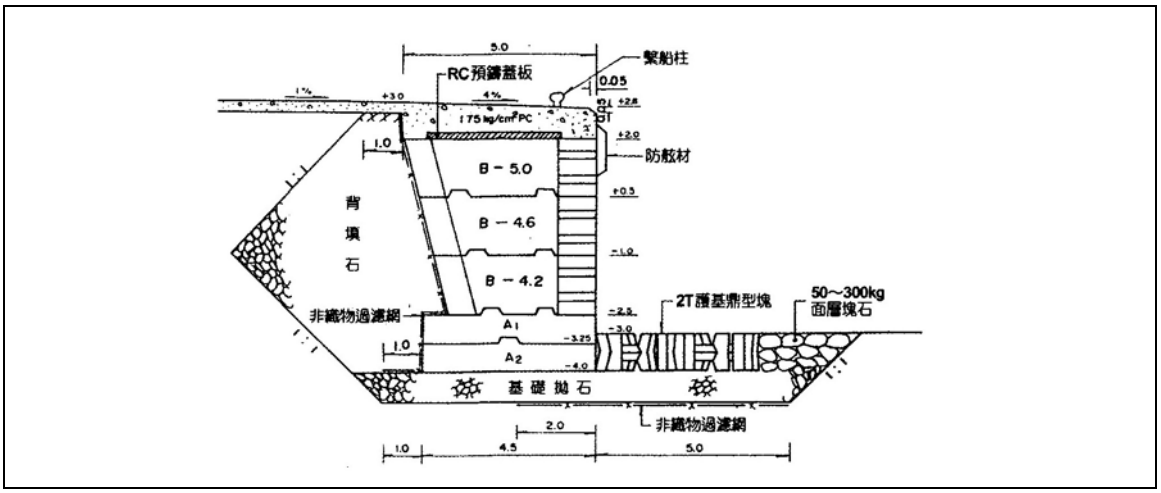


圖 3.93 東港漁港導流堤碼頭結構型式 代號:G

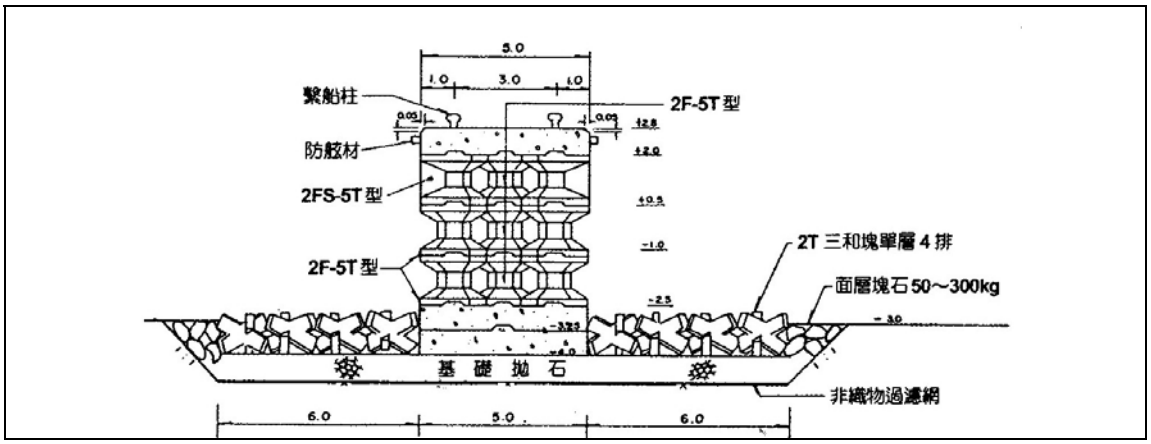


圖 3.94 東港漁港導流堤突堤碼頭結構型式 代號:H

圖 3.95 東港漁港碼頭現況

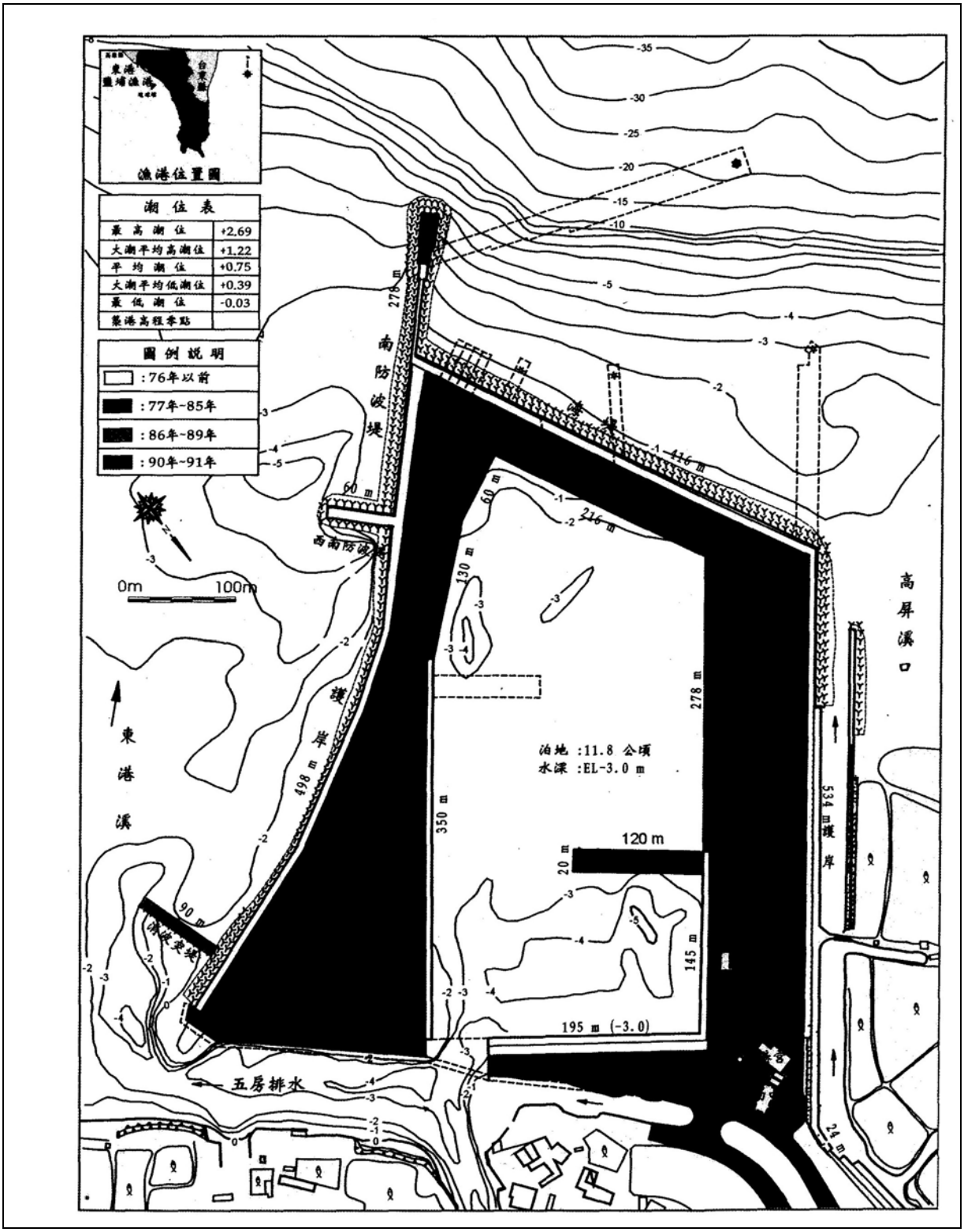


圖 3.96 鹽埔漁港平面配置圖

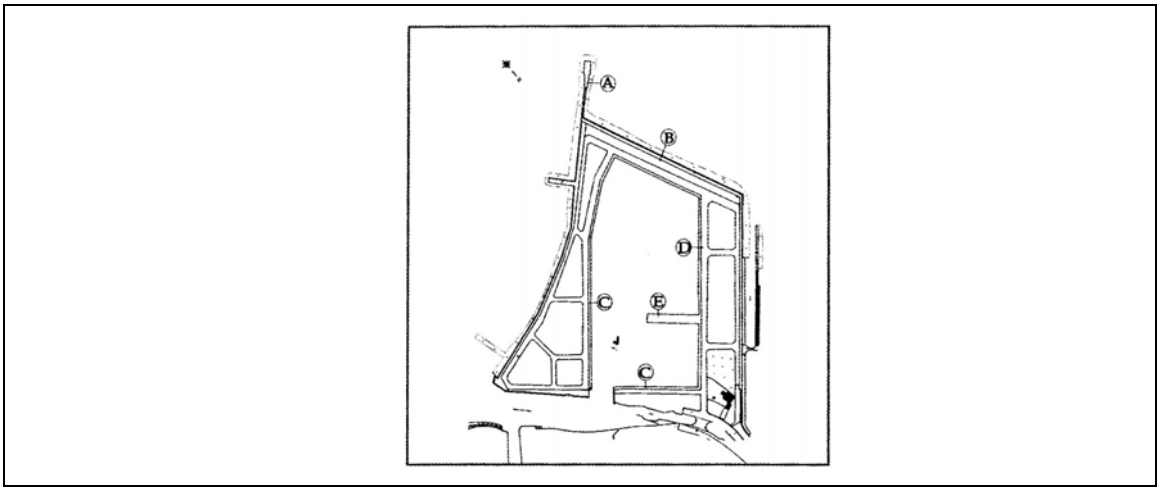


圖 3.97 鹽埔漁港碼頭配置示意圖

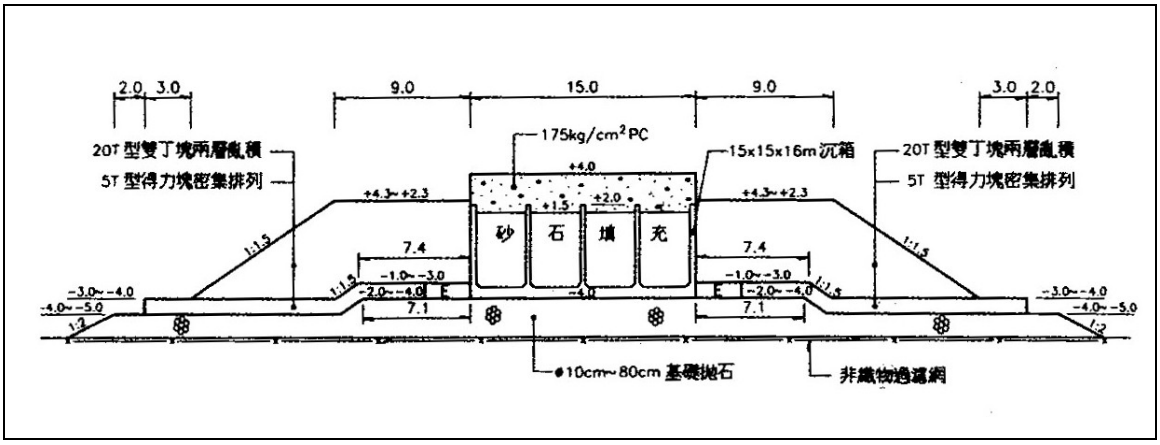


圖 3.98 鹽埔漁港南防波堤結構型式 代號:A

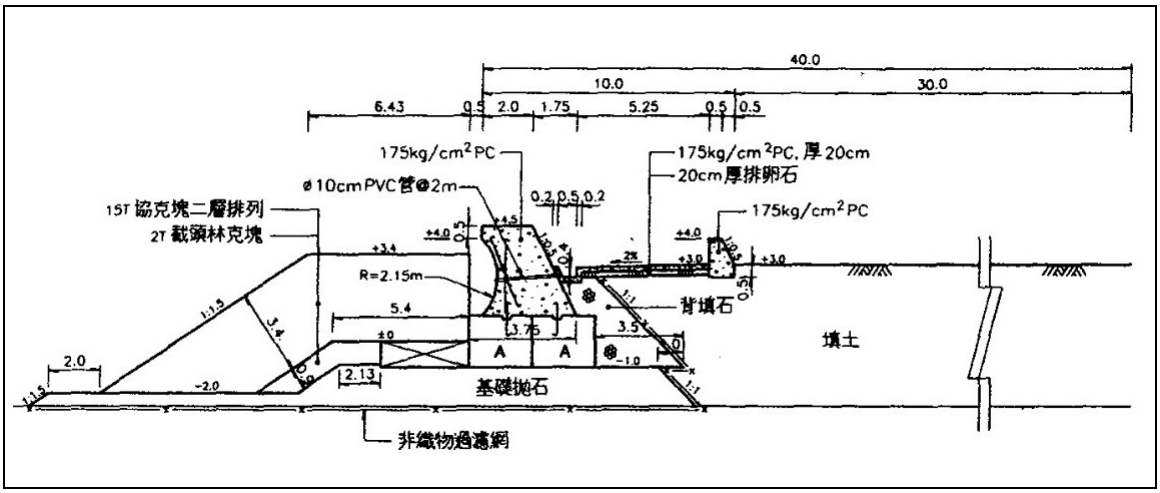


圖 3.99 鹽埔漁港西海堤結構型式 代號:B

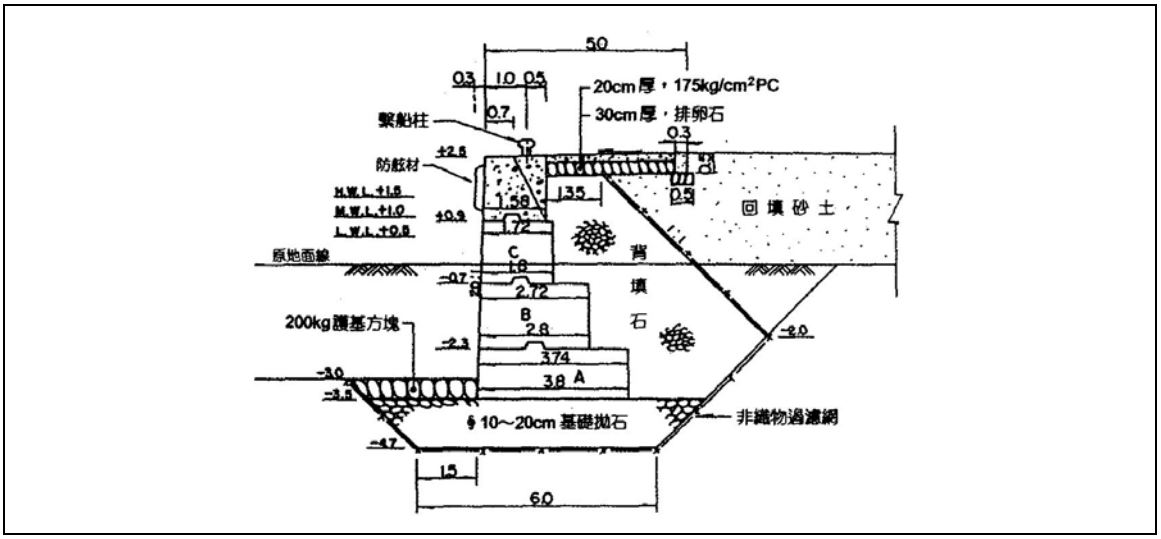


圖 3.100 鹽埔漁港、東南碼頭結構型式 代號:C

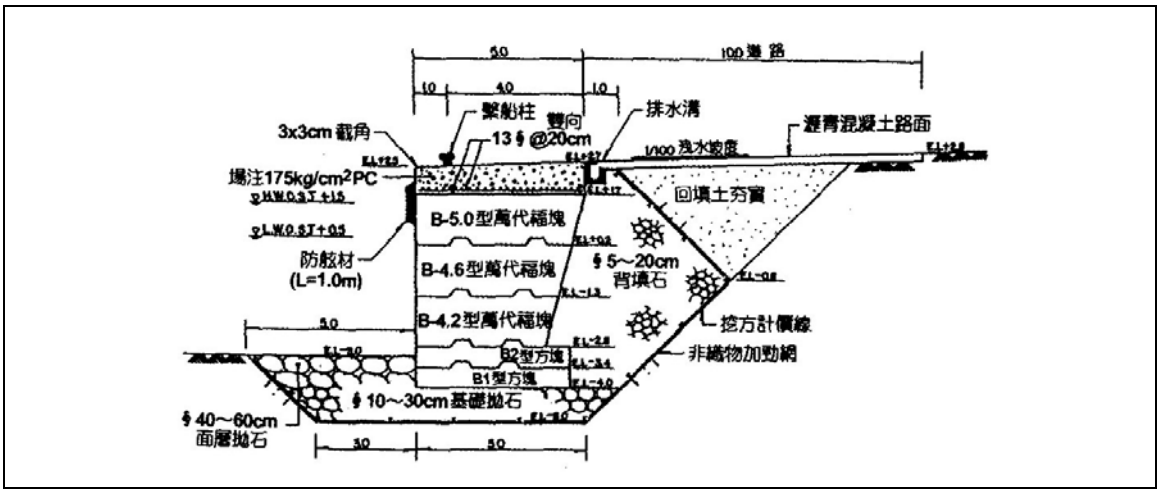


圖 3.101 鹽埔漁港北碼頭結構型式 代號:D

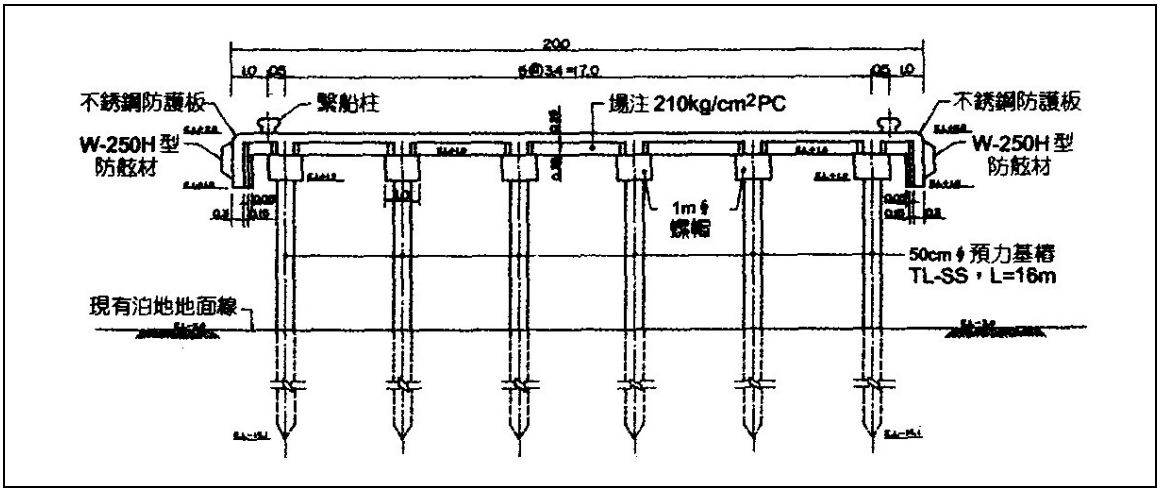


圖 3.102 鹽埔漁港突堤碼頭結構型式 代號:E

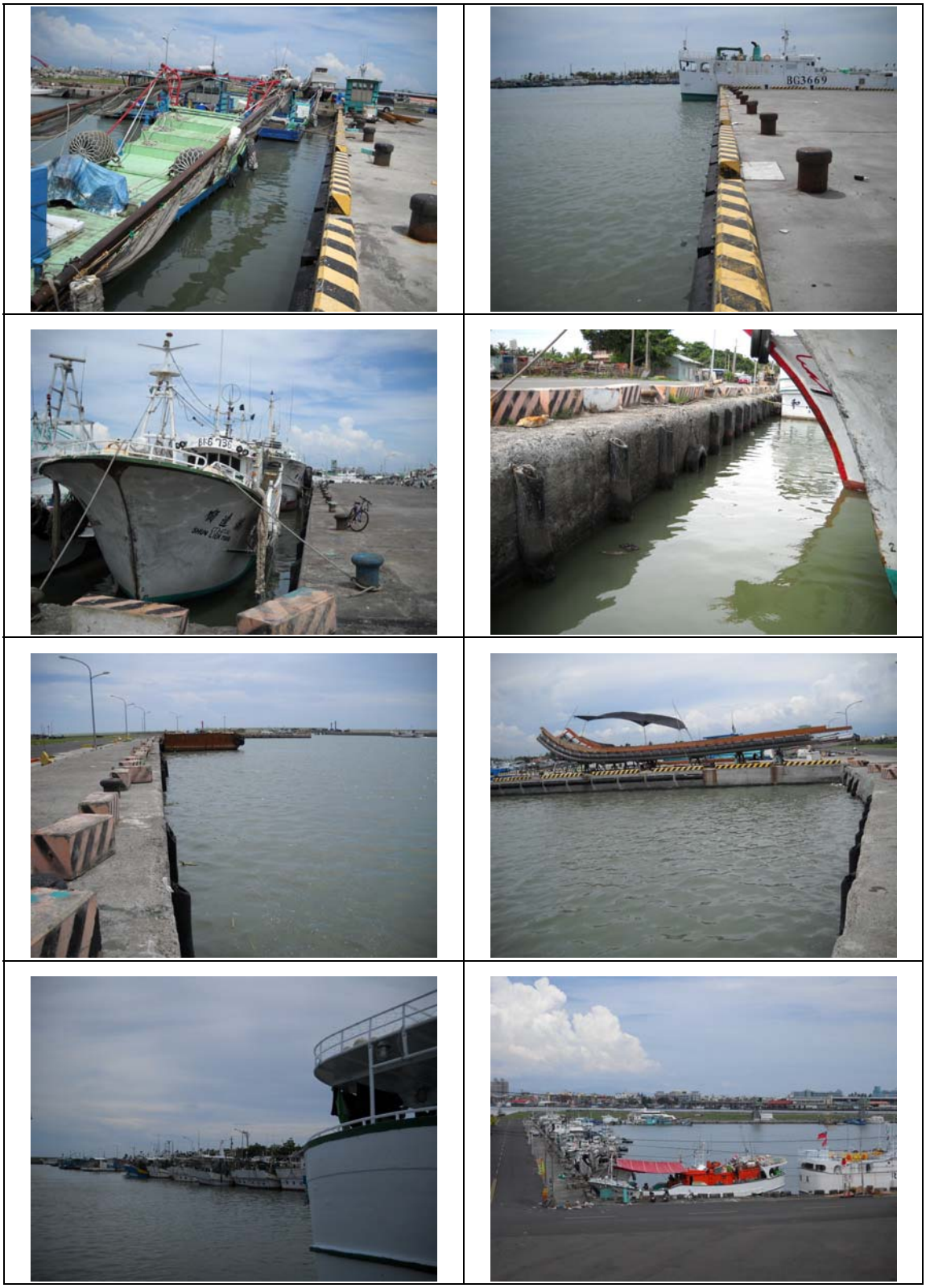


圖 3.103 鹽埔漁港碼頭現況

綜合彙整本年度調查碼頭現況，將應用 D.E.R.法評估、鋼板樁腐蝕速率、保護電位與陽極塊發生電位等結果，表列如表 3-67 至表 3-70 所示。

表 3-67 應用 DER 法評估結果彙整表

調查位置 / 評估值	基隆港					臺中港
	西 14 碼 頭	西 15 碼 頭	西 16 碼 頭	西 17 碼 頭	西 18 碼 頭	西 3 碼頭
主體結構破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
附屬設施破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
整體破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8

備註：本年度調查一等碼頭現況（包含新竹、梧棲、前鎮即東港鹽埔等漁港）暫不應用 DER 法評估。

表 3-68 鋼板樁腐蝕速率檢測結果彙整表（mm/yr.）

基隆港																		
水深	東 2 號碼頭			東 3 號碼頭			東 4 號碼頭			東 5 號碼頭			東 6 號碼頭			東 7 號碼頭		
(m)	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+0.35	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.11	0.11	0.11	0.09	0.09	0.09	0.13	0.13	0.13
-0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
-0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09
-1.00	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.13	0.13	0.13
-1.50	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
-2.00	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.10	0.10	0.10
-4.00	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
-6.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09	0.06	0.06	0.06

高雄港					
水深(m)	54 號碼頭	55 號碼頭	56 號碼頭	57 號碼頭	58 號碼頭
+0.30	0.04	0.04	0.06	0.04	0.11
-1.00	0.04	0.04	0.06	0.04	0.09
-2.00	0.03	0.03	0.05	0.04	0.10
-4.00	0.02	0.03	0.05	0.03	0.08
-6.00	0.02	0.02	0.05	0.03	0.08
-8.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.07

表 3-69 鋼板樁保護電位檢測結果彙整表（mV，Ag/AgCl 電位）

位置	鋼板樁保護電位	位置	鋼板樁保護電位
基隆港東 2 號碼頭	-994 ～ -892	高雄港 54 號碼頭	-1012 ～ -933
基隆港東 3 號碼頭	-1012 ～ -875	高雄港 55 號碼頭	-925 ～ -892
基隆港東 4 號碼頭	-937～ -844	高雄港 56 號碼頭	-1010～ -903
基隆港東 5 號碼頭	-983 ～ -865	高雄港 57 號碼頭	-912 ～ -880
基隆港東 6 號碼頭	-972 ～ -892	高雄港 58 號碼頭	-900 ～ -839
基隆港東 7 號碼頭	-972 ～ -892		

備註：保護電位均小於－780 mV，達保護鋼板樁之目的。

表 3-70 陽極塊發生電位檢測結果彙整表（mV，Ag/AgCl 電位）

位置		海生物清除前			海生物清除後		
港口	碼頭	上	中	下	上	中	下
基隆港	東 2	-971	-975	-981	-979	-982	-987
	東 3	-970	-970	-983	-979	-979	-1006
	東 4	-953	-959	-957	-963	-966	-973
	東 5	-965	-967	-971	-964	-968	-975
	東 6	-978	-978	-977	-976	-975	-973
	東 7	-909	-908	-913	-923	-919	-924
高雄港	54	-1009	-1011	-1011	-1015	-1017	-1017
	55	-929	-930	-933	-935	-936	-941
	56	-924	-926	-931	-932	-936	-943
	57	-913	-915	-916	-920	-922	-924
	58	-914	-918	-922	-922	-930	-932

備註：陽極塊發生電位均小於－780 mV，達保護鋼板樁之目的。

3.5 碼頭維護管理系統與檢測評估與維護手冊

為掌握碼頭結構型式、使用現況及後續作為修繕、補強或改建計畫之依據，安全檢測與評估等結果須建置碼頭資料庫內，以利碼頭設施維護管理之進行，本研究已初步建置碼頭維護管理系統及草擬碼頭設施檢測評估與維護手冊，其內容分別詳如附錄二、附錄三。

3.6 小結

1. 本年度調查商港碼頭結果，基隆港西 14 至西 18 號其現況由應用目視與使用非破壞性檢測，經 D.E.R 法進行結構體安全性評估，其主整體結構評估指數（ID_1）均小於 2.0，顯示結構體功能完整安全無虞，但西 14 至西 15 號碼頭面版底部腐蝕劣化情形仍需藉由人員水下目視檢測，方能掌握實際狀況。臺中港西 3 號碼頭，其主整體結構評估指數（ID_1）小於 2.0、但附屬設施評估指數（ID_2）則大於 2.0，且水下部份基樁損壞或與面版接合處脫落，必須及時修復方能確保碼頭設施營運安全。

2. 上述碼頭應用 D.E.R 法，檢測結果雖均為整體結構安全無虞，惟西 14 至西 15 號碼頭使用時間均已超過 40 年以上，為確保碼頭營運安全，建議必需加強平時巡查頻率，確保營運正常。

3. 上述碼頭結構型式均為棧橋式，其劣損位置常出現於面版底部及梁，劣損情形並無法依初步檢測項目中直接發現，故建議應定期派遣潛水人員，以目視近距離觀察面版底部及梁或基樁之鋼筋混凝土是否發生混凝土剝落或內部鋼筋銹蝕，或於受到不正常外力（如規模 5.0 以上地震或海嘯之侵襲、輪船撞擊等），應有即時檢查之作為，以維護碼頭構造安全。

4. 本年度調查基隆港東 2 至東 7 號碼頭及高雄港 54 至 58 號碼頭鋼板樁極防蝕措施現況，其腐蝕速率皆小於規範允許值（0.20 mm/yr），採用鋁合金犧牲陽極塊已達到保護鋼板樁之目的，惟部份碼頭使用時間多已超過 30-40 年，為確保碼頭營運安全，必須定期加強檢測。

5. 本年度調查第一類漁港包括新竹漁港、梧棲漁港、前鎮漁港及屏東鹽埔漁港，結果顯示，各漁港之碼頭及防波堤其設計水深均小於 -8.0m ，碼頭除前鎮漁港部份設計水深達到-10.0m 外，其餘多小於 -4.5m。由於漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式與板

樁式碼頭承受之土壓力和水壓力推估,應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且各漁港碼頭靠泊船隻之噸數多為 500 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。

6. 由於臺灣地區漁港規模普遍較小，目前漁港均以多功能發展為目標，碼頭功能除傳統停靠漁船裝卸魚貨外，趨向以發展遊艇碼頭或娛樂賞魚等為主，陸上設施部分更研擬或已設置釣魚平台步道親水公園(階梯)展示中心餐廳等設施，且由歷年記錄顯示，漁港維護仍以泊地及碼頭水深浚挖為主，故建議可不直接應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔，如擬採用 D.E.R 法，則應將目前之漁港設施依據其型式、長度...等予以編號，以利應用檢測評估及建檔所需。

第四章 棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

4.1 緒論

4.1.1 研究計畫背景與目的

港灣棧橋式碼頭由於施工技術容易且工期較短，目前國內商港新建及改建常採用之。以基隆港及臺中港為例，近年即有多座碼頭均選用此結構型式碼頭，但其缺點為 R.C.面(底)版，因長年遭受海水波浪之衝擊浸漬，海水中之氯離子甚易侵入底版，造成內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。本所港灣技術研究中心歷年曾針對國際商港設施進行相關的調查，結果顯示，高雄港區及蘇澳港區有部份棧橋碼頭曾發現上述之損壞情形。以往棧橋式碼頭 R.C.底版及樑柱腐蝕損壞之修護，多採取將底版剝落處之混凝土或風化表面先行鑿除，鋼筋表面進行銹蝕除銹，斷裂鋼筋處以新品鋼筋搭接後，再以 II 型水泥或含壓克力樹脂或樹脂石英砂及速凝劑等之混凝土材料，分層噴漿覆蓋處理之，維修效果有限，且每隔 3~5 年需再進行修護。如面版內之鋼筋已嚴重腐蝕、斷裂，結構安全有疑慮時，則必須將碼頭面版打掉並重新鋪設，對港口之營運影響甚巨。因此、棧橋式碼頭的鋼筋腐蝕檢測、保護及維修等，成為港灣營運管理及安全維護之重要課題。

現今碼頭 R.C.面版面臨惡劣的環境條件，受到波浪的作用、颱風浪、甚至船舶靠岸時的撞擊而破壞，其破壞的現象非常多，就巨觀的角度來看，包括沉箱傾倒及位移、岸壁被撞擊而破裂、碼頭 R.C.面版崩塌、防波堤塌陷及鋼版樁的破裂損壞等。若以非巨觀的角度而言，則包括了鋼版樁的腐蝕穿孔、R.C.面版斷面變薄裂損、基樁斷裂以及一些碼頭防舷材的破損、劣化等等。

而造成碼頭 R.C.面版破壞的原因很多，機制也相當複雜，主要可分為外力的作用及材質強度不足或結構構件損壞所導致。因此在探討

上可區分成：外力的作用分析、材料性能改變分析及整體結構影響分析等，以下就此三大項分別陳述之。

1.外力的作用分析

碼頭 R.C.面版在設計時即須考慮到外力的作用，除功能性考量外，則以抵擋一定時間週期內之外力，為面版使用材料及斷面大小之設計原則，因此外力作用與面版之破壞情形實息息相關。而港灣及海域中最主要的外力即為波浪作用，其次如地震力亦可能造成嚴重破壞，再則為船舶的碰撞、裝卸作業不當，或基樁的不均勻沈陷等均為造成損壞之原因。小型碰撞或發生於重力式碼頭之碰撞，可能只造成局部性的毀壞；大型碰撞或發生於棧橋式碼頭的碰撞，其破壞則可能難以事後補救。

2.材料性能改變分析

在材料性能改變的影響上，有混凝土材料的劣化、鋼筋的腐蝕、波浪外力產生之振動疲乏，以及其他原因所造成之材料性能改變等。材料性質的改變常是緩慢、漸進的，與結構行為息息相關的材料力學性質，將隨材料組成的改變而退化或喪失。但材料性質的改變卻不易及時察覺，除了材料變化緩慢而易被忽略之外，更由於碼頭 R.C.底版位於水面下，除非使用適當機具或以潛水方式進行檢測，否則無法及時發現，再者由於碼頭結構物較為巨大，微細的材質變化也不容易觀測出來。

而目前所使用的檢測方法仍偏重於人力施測，因此人員的訓練及素質對檢測結果的影響佔相當大的比重，更甚者其結果往往無法有效評估。因此，檢測技術的改進、檢測制度的建立，在提升港埠營運效率、提高碼頭使用安全上實為當務之急。

3.整體結構影響分析

碼頭 R.C.面版在材料破壞後之影響，通常可由結構受力後之行為改變觀察出來。故整體結構的影響分析，除了提供檢測前之參考，如

儀器施放位置、施放密度及使用儀器之範圍功能等；於檢測後，經過相關資料之分析及影響評估，更能對碼頭面版之安全與否，給予整體的概念。

在結構物之影響分析上，除了傳統上應用於港灣構造之設計方法之外，港灣構造物長期所處之環境為波浪作用之動態環境，振動所造成之影響實不可忽略，因此必須進一步採用動力分析的方法、或利用動力分析之原理推測結構之相關特性，以求檢測數據之判讀更具精確性。

由以上的敘述中可知，針對碼頭 R.C.面版進行系統性的安全檢測及分析，充分了解碼頭面版的破壞原因，並與所觀測之現象做相關性整理，進一步建立完整的檢測方法與分級制度，將有助於維護港區內港工設施的安全性。於平時即進行有系統地檢測，則能防範未然，延長結構物使用年限外，透過成本之節省，更能提升港灣營運之效率。

本研究主要以國內主要國際商港現有之棧橋式碼頭，進行腐蝕劣化現地檢測並蒐集及研擬維修工法，目的為提供碼頭本體設施維護管理系統建置資料庫，以利於日後現地人員檢測及管理自動化作業。此外，為維護港灣構造物使用時健全之功能性，及進一步保障港灣構造物使用者、機具及裝載貨物之安全性，在考慮管理維護之方便、工程經濟及安全的前提下，提供港灣設計者全方位的設計思考。本研究將同時針對重力式、板樁式及棧橋式碼頭等港灣構造物研提安全檢測評估方式和維護手冊，並探討其檢測適用之儀器。在棧橋式碼頭之破壞檢測案例中，包括面版鋼筋腐蝕造成保護層剝落、鋼筋外露，鋼管樁腐蝕後，厚度損失，及陰極保護防蝕塊之使用、損耗等相關案例將一併做檢討分析。由分析結果之檢視，發現問題點做為未來鋼筋腐蝕及面版破壞檢測、評估工作及維護參考。

4.1.2 研究範圍與對象

整體計畫之研究範圍為基隆港、蘇澳港、臺中港、花蓮港及高雄港為實施之範圍，檢測評估對象則為各種棧橋式碼頭，本年度將先選

定高雄港為研究對象。棧橋式碼頭構造中包含了版構造、樑構造、版樑式結，以下則為本計畫中主要執行的工作項目：

1. 國內外棧橋式碼頭面版等鋼筋混凝土構件腐蝕劣化相關文件收集。
2. 棧橋式碼頭面版或梁等腐蝕劣化調查及結構安全評估：選定高雄港 118 號棧橋式碼頭來進行。
3. 棧橋式碼頭面版或梁等維護工法資料庫建置。
4. 棧橋式碼頭面版或梁等維護資料與系統建置：建置棧橋式碼頭面板維護資料並與現行系統之資料庫做適當連結。
5. 碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊研擬：研提碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊並建置於運研所港研中心現有之碼頭管理維護系統內。
6. 碼頭結構物檢測方式與應用儀器之適用性探討。

本研究在現場調查及案例分析中，選定高雄港 118 號棧橋式碼頭，來做碼頭面版或梁等腐蝕劣化調查及結構安全評估，針對碼頭面板鋼筋混凝土的劣化檢測為重點分析及探討。除此之外，並將蒐集有關單位之棧橋式碼頭調查資料，進一步實施案例分析及彙整，其中包括：碼頭面版或梁等維護工法、碼頭面版或梁等之維護資料，以及過去檢測成果之分析等。

4.2 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化相關檢測方法

4.2.1 碼頭面板鋼筋腐蝕及混凝土劣化機制

一般而言，正常的 RC 結構物會因為暴露環境的不同而遭受各種類型物理或化學性質的侵蝕，使結構體產生劣化或是破壞等現象。

混凝土在設計時，必須考慮到強度以及耐久性，但是強度高的混凝土，耐久性未必較佳，混凝土的耐久性定義為：混凝土抵抗風化作

用、化學侵蝕、磨損及其他劣化過程的能力，亦即具有耐久性的混凝土，在不同暴露環境下仍然能夠保持本身的幾何尺寸、物理力學性質與服務性。

RC 結構物的耐久性判斷，可以分為混凝土材料的劣化與鋼筋材料的腐蝕兩個部分，以下將針對兩者分別說明。

1.混凝土材料之劣化

混凝土的劣化是指混凝土受到外力或內在因素影響，導致其化學與物理性質發生變化，進而造成混凝土材料的發生膨脹性開裂或產生可相互連接的大型孔隙等現象，探究其劣化原因可細分為兩類：

（a）物理侵蝕

主要是指受到風化作用造成混凝土劣化變質，因為波浪與海流作用使混凝土表面被沖刷造成磨耗與孔隙破壞，以及因結構物受衝擊、超負載、反覆過載等作用至使混凝土結構產生裂縫。

（b）化學侵蝕

化學侵蝕主要包括了侵蝕物質 (CO_2、Cl^-、SO_4^{2-}等) 與水泥漿體之水化作用產生了交互反應、與水化產物產生溶解與析晶反應、發生膨脹等。

2.鋼筋材料之腐蝕

造成混凝土結構中鋼筋腐蝕的主要原因為混凝土保護層的破壞，其中包括混凝土保護層厚度不足、厚度不均勻或混凝土本身品質不良，再加上環境條件惡劣而造成保護層的破壞。其原因包括物理性及化學性，或兩者間之交互作用而造成之影響居多。以港灣構造物而言，長期處於波浪及水氣交互作用下，結構表面非常容易受到氯離子之侵入，如為碼頭結構更易受到各種衝擊力之作用，作用在材料劣化嚴重處將導致混凝土保護層之剝離，使得鋼筋完全裸露在外。港灣構造物混凝土保護層受環境作用的破壞上，主要有鹽害與中性化兩大類，以

下分別說明之。

在鹽害方面，當混凝土中鋼筋表面的氯離子超過一定的量時，鋼筋表面的保護性鈍化膜開始破壞，接著鋼筋開始腐蝕膨脹造成混凝土龜裂或崩落。氯離子來源是海風或海水，由於臺灣四周環海，相當多的建設均集中在海邊，這些結構物很容易因海風或海水帶來鹽分滲入混凝土而造成鋼筋腐蝕進而影響結構安全，而港灣構造物因長期處於海域環境中，故其更易受到氯離子之侵入。另外結構物在興建期間亦可能受到氯離子之侵入，如早強劑的使用而隨著加入混凝土中，另一則是使用含氯離子的粒料如海砂及含鹽分的水。

混凝土中性化作用為混凝土構造所接觸之酸性物質，使得混凝土的 pH 值降低所造成。而當混凝土材料暴露於大氣中，尤其是工業污染的環境下，含有二氧化碳或二氧化硫等物質，接觸到混凝土構造物時，即容易形成混凝土之中性化。港灣構造物所處的海域中經常含有廢污水，故亦屬於中性化脆弱區。由於混凝土發生中性化時，是由最外層漸漸向內侵入，當中性化層到達鋼筋時，保護鋼筋銹蝕環境不再存在，腐蝕於是開始進行。所以混凝土中性化的結果，將會造成其內部之鋼筋開始腐蝕。

正常的混凝土在水化反應過程中，會產生含有 Na、K 的鹼性物質以及飽和的氫氧化鈣 ($Ca(OH)_2$) 溶液，使的水泥漿體之 pH 值維持在 13 左右。在此強鹼環境下，鋼筋的表面會自然產生一層鈍態氧化保護膜，厚度約為 20～60Å，此保護膜非常穩定、緊密的附著於鋼筋表面，能有效阻隔水分與離子的進入，進而避免腐蝕反應的產生。若是混凝土中氯離子含量過高，將會導致該層保護膜破壞，形成陽極區，此時鋼筋上的鐵 (Fe) 因氧化而轉為鐵離子 (Fe^{2+}) 並溶於孔隙溶液中，產生的電荷則經由鋼筋傳導置含有氧氣與水分的區域，發生陰極反應，稱為陰極區；當陽極區與陰極區同時形成時所出現的電位差，即稱為腐蝕電流，此時帶正電的 鐵離子向陰極移動，帶負電的 (OH^-) 向正極移動，兩者結合成不溶於水的氫氧化鐵 ($Fe(OH)_2$) 化合物，堆積在鋼筋表面。反應式如下：

陽極反應(氧化)：$2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^{-}$……（4-1）

陰極反應(還原)：$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4(OH)^{-}$……（4-2）

總反應：$Fe + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2$

$\rightarrow 2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \cdot nH_2O$……（4-3）

上述總反應式之生成物即所謂的鐵銹，可分為氧化鐵類 (FeO、Fe_3O_4、Fe_2O_3) 與氫氧化鐵類 ($Fe(OH)_2$、$Fe(OH)_3$、$Fe(OH)_3 3H_2O$)，這些因腐蝕而形成的產物無法緊密的附著在鋼筋表面，所以無法有效保護鋼筋。同時，氫氧化鐵類的鐵銹在經過不同程度的氧化後，會轉變成帶有結晶水的氫氧化鐵或氧化鐵，體積會膨脹成原來的 2～6 倍，造成混凝土材料被撐開破裂，更多的化學物質與鋼筋材料直接接觸，腐蝕作用將更為強烈。

4.2.2 鋼筋混凝土腐蝕原因

影響 RC 鋼筋混凝土腐蝕的原因相當繁複且彼此間具有相互影響關係，現將較具有代表性的原因描述如下：

1.混凝土的中性化

前段所述，在強鹼的環境下，鋼筋表面會生成一層鈍態保護膜。但是當大氣中的二氧化碳　進入混凝土結構的孔隙溶液之中，會與鹼性的水泥水化產物氫氧化鈣作用，生成具微酸性之碳酸鈣 ($CaCO_3$) 化合物，容易析出形成白華現象，並降低漿體內部的鹼性環境之 pH 值。當鋼筋周遭混凝土成為中性狀態時，鋼筋表面之鈍態膜將被破壞，致使鋼筋本身容易發生腐蝕行為。混凝土中性化導致的鋼筋腐蝕關係反應式如下：

(1)中性化過程：

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \quad \text{(4-4)}$$

$$H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O \quad \text{(4-5)}$$

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longleftrightarrow Ca(HCO_3)_2 \quad \text{(4-6)}$$

(2)鋼筋腐蝕過程：

陽極：

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^- \quad \text{(4-7)}$$

陰極

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \quad \text{(4-8)}$$

總反應

$$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_2$$

$$\rightarrow 2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \cdot nH_2O \quad \text{(4-9)}$$

混凝土的中性化因素與大氣中的二氧化碳濃度、溫度、濕度與水分接觸等有密切相關，其中，二氧化碳濃度與混凝土的滲透性則是影響中性化速度的最大原因，中性化的速率關係式如下：

$$D = k\sqrt{t} \quad \text{(4-10)}$$

式中，D=中性化深度，k=中性化係數，t=時間

混凝土層越厚，中性化速率越慢，混凝土層增加為 2 倍，則中性

化時間會增加為 4 倍。k 值則與二氧化碳滲透速度以及混凝土中的氫氧化鈣含量有關。

2.氯離子的侵蝕

氯離子的入侵被認為是主要影響鋼筋腐蝕的重要原因，其原因乃是由於氯離子會破壞混凝土中的鹼性環境，造成鋼筋表層鈍態膜的破壞，因此使鋼筋上的鐵離子溶出，生成會溶於水中的氯化鐵 ($FeCl_2$) 化合物。這些氯化鐵化合物　會離開鋼筋表層，與混凝土孔隙溶液中的氫氧化鈣　反應，生成 $Fe(OH)_2$，與水跟氧氣繼續反應生成鐵銹，反應同時又再繼續釋出氯離子 (Cl^-)，繼續重複破壞使鋼筋腐蝕，鐵元素也將繼續離開鋼筋。由於氯離子在此反應中將不斷反覆生成，形成一重複循環的破壞，因此一旦混凝土的氯離子含量達到會發生鋼筋腐蝕的濃度，腐蝕的發生將難以制止，其過程反應式如下：

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$$

$$\Downarrow$$

$$Fe^{2+} + Cl^- \rightarrow [FeCl]^+$$

$$\Downarrow$$

$$[FeCl]^+ + OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 + Cl^-$$

$$\Downarrow$$

$$O_2 + H_2O$$

$$\Downarrow$$

$$Fe_2O_3 \cdot nH_2O(\text{鐵銹})$$

氯離子本身具有良好的導電性，因此當混凝土中含有高量的氯離子時，會導致混凝土的電阻係數降低，而電荷在混凝土孔隙溶液中的流動能力也會變強，使鋼筋腐蝕速度更快。混凝土材料的品質是決定氯離子滲透能力的重要觀察指標，品質佳的混凝土較不易讓水分與氧

氯進入，鋼筋腐蝕機率較小，另外，在鹼性越強的混凝土環境下，鋼筋表面生成鈍態模的反應也會越快速，對氯離子的容忍能力也就越高。

3.鹼性粒料反應

鹼性粒料反應乃水泥中之鹼金屬如 Na^+、K^+等，與含活性之粒料發生化學作用，產生鹼-矽膠體，於有水的情況下，膠體因吸收水份而膨脹，致使混凝土產生內壓、龜裂，表面呈地圖狀之裂痕，最後造成混凝土強度降低而導致結構物崩毀。

4.結構物之龜裂

混凝土品質與施工技術水準及使用之材料有極大的關係，對於施工過程的監測與材料的品質管制是必要的。例如使用高活性骨料、含氯化物添加物、鋁酸三鈣(C_3A)含量較高的水泥時，均可能造成 RC 鋼筋混凝土結構物的劣化或腐蝕，對施工規範的引用與品管要求亦是決定混凝土品質的關鍵。

RC 鋼筋混凝土結構物由於施工品質、材料性質、載重情形、基礎沉陷導致外加剪應力提高等原因，常會造成結構物的破裂。根據裂縫的形狀、規模、方向、大小等因素，對鋼筋腐蝕所造成的影響也不同。可以肯定的是，混凝土一旦發生破裂，將導致鋼筋暴露在環境之中，與水分、氧氣、有害離子等物質直接接觸，將使得鋼筋腐蝕的危險性大幅提高。表 4-1 至表 4-3 為美國、日本及歐洲地區對裂縫寬度的限制規範：

表 4-1 美國 ACI Committee 224 規範

暴露環境	最大容許寬度(mm)
乾燥空氣或有薄膜保護層	0.4
潮濕或含水份之土壤	0.3
除冰用之化學藥劑	0.18
浸於海水或海水噴濺處	0.15
儲水結構體	0.10

表 4-2 日本對海洋混凝土結構物之裂縫限制

設計規範	暴露環境	最大容許寬度(mm)
海洋混凝土構造物施工指針 (1977)	大氣中、飛沫帶	0.15
	海水中	0.20
港灣設施之技術基準及解說 (1979)	海水接觸部位	0.15
	潮汐帶、飛沫帶	0.15
	其他位置	0.20

表 4-3 歐洲地區混凝土結構物裂縫寬度之限制

設計規範	荷重及環境	結構體類型	最大容許寬度
BSI. GPll0	一般環境 及正常荷重	RC PC	0.33 mm 0.l0 mm
	腐蝕性環境	RC PC	0.004 tc 0.l0 mm
BSI. DD55	一般環境 及正常荷重	RC RC PC	0.3 mm 0.004 tc 0.l0 mm
FIP	海洋結構	RC PC	0.30 mm 0.004 tc

註：tc(構件厚度)

4.2.3 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測

本文主要以棧橋式碼頭面板結構物為探討重點，將檢測方法初步分為目視、非破壞性及破壞性檢測技術，從混凝土材料的劣化機制及原因、鋼筋腐蝕等狀況，分析海洋環境下 R.C.結構物之腐蝕劣化情況，並收集及探討防蝕與維護工法相關技術，以建立碼頭面板構造物的檢測及評估系統，以提升結構物之耐久性與使用年限。鋼筋混凝土材料、鋼構材料等檢測方法，請參考第三章所述（3.5）。

4.3 碼頭現場檢測實施成果

現地結構檢測因環境不同其考量要點包括了實施範圍、實施項目、精確性、方便性與經濟性等。檢測方法的選定及建立中，除了理論分析之外，許多方法在應用上有環境、材料、構件型式上之差異，必要時須以現地或實驗室中試驗來加以驗證，篩選出最適用之方法，

因此首先必須對各種碼頭的結構型式及構造材料有所認識，然後再依照各種型式港灣結構及碼頭訂定檢測之實施步驟。

碼頭型式為棧橋式碼頭為利用樁或各種形狀的柱體支持碼頭面，成為與海岸線垂直或平行的半座橋樑，稱為棧橋或橫棧橋。如圖 4.1~圖 4.2 所示即棧橋式碼頭結構型式，碼頭面版可用鋼筋混凝土構造，基樁則以 PC、RC 或鋼管樁作為碼頭岸壁之支撐。

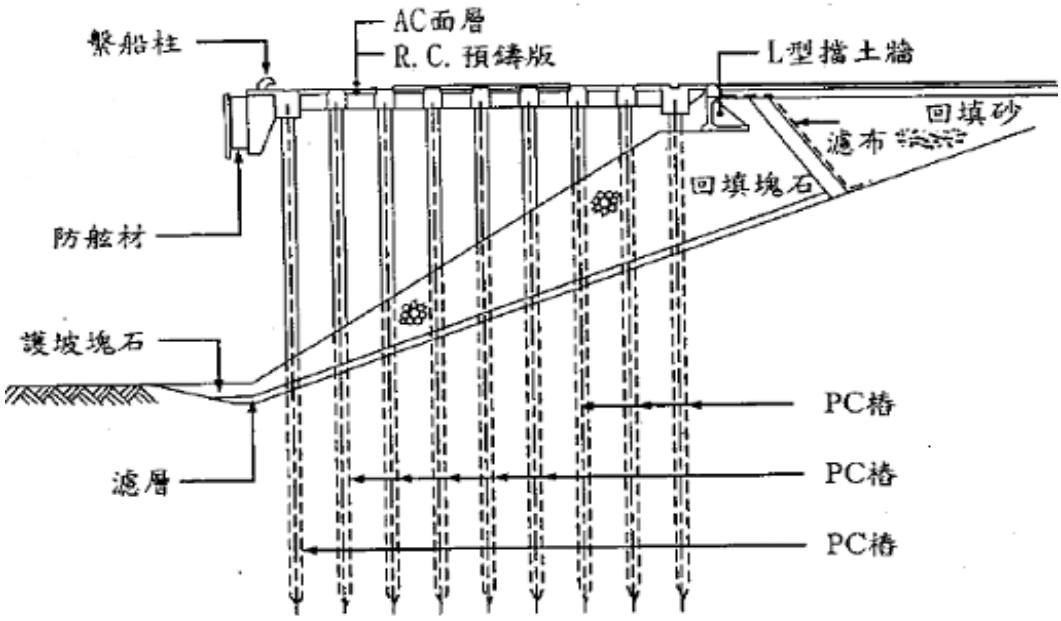


圖 4.1 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖

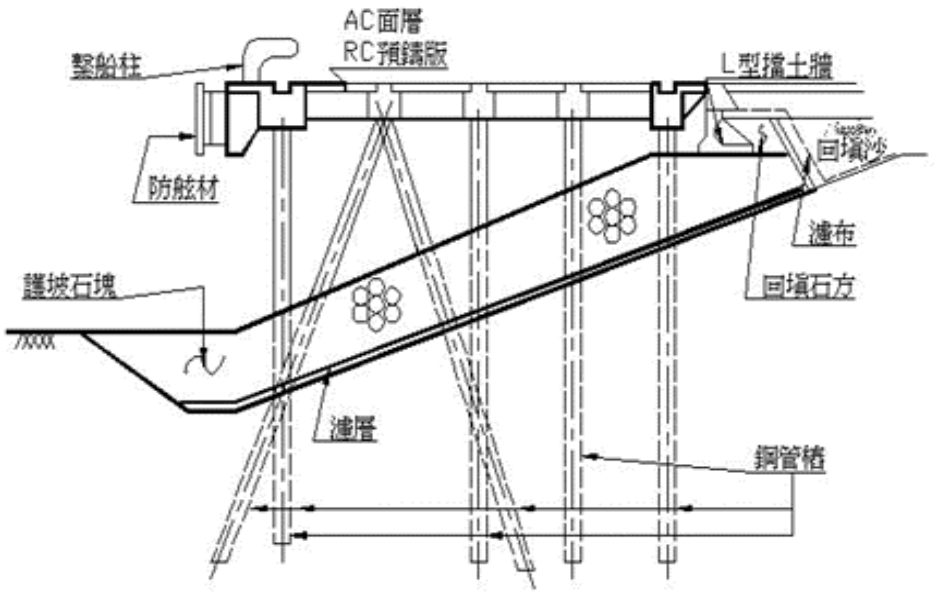


圖 4.2 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖

4.3.1 港灣結構安全檢測項目

碼頭結構安全檢測又可概分為整體結構變形檢測、細部結構材料檢測、基礎地盤檢測及碼頭附屬設施檢測，整體結構變形檢測為各種型式碼頭皆可能產生之大變形或位移檢測。細部構材檢測則屬與碼頭結構型式或構造材料關係較為密切之結構檢測，可再區分為上部結構及下部結構等兩大部分。碼頭上部結構同質性較大；而下部結構則必須以碼頭型式區分，其構造方式不同，受力行為不一，容易發生結構破壞處有所差異，細部安全檢測之項目上也有所區分。以下就整體結構變形檢測、細部構材檢測依照各種碼頭結構型式、基礎地盤檢測及碼頭附屬設施檢測等，則分別提出檢測項目建議。

1.整體結構變形檢測

整體結構變形檢測如前所述對象為各種型式碼頭皆可能產生之破壞現象，項目包括碼頭不均勻沈陷、岸肩伸縮縫破損、碼頭壁體傾斜、碼頭法線位移檢測等。當這些檢測結果顯示出碼頭結構有沈陷或位移或傾斜時，則表示其他部位的結構，如基礎結構或護基拋石必須做進

一步的檢測。

2.細部結構材料檢測

細部結構材料之檢測為整體結構變形檢測之外，進一步對不同型式碼頭進行之檢測，細部結構材料檢測將針對結構之材料性質做檢測分析，也與碼頭構造之型式有關，因此將以碼頭型式及結構材料性質分別討論之。其中包括碼頭上部結構破壞檢測及碼頭基礎結構破壞檢測，上部結構中如碼頭面版結構裂縫，裂縫位置、長度、寬度及深度，碼頭面版鋼筋腐蝕，混凝土強度變化及其他以目視或簡單測量儀器能觀察之破壞或損害現象等。而基礎結構檢測則與碼頭型式關係密切，檢測上的挑戰也更大，針對棧橋式碼頭檢測項目：碼頭面版強度及混凝土性質檢測、鋼管基樁潮間帶腐蝕及海下腐蝕、鋼管基樁基礎掏刷、陰極防蝕塊損耗檢測、碼頭靠船速度或撞擊振動監測等。本研究將針對碼頭上部面版結構腐蝕劣損破壞進行現地檢測及分析。

3.碼頭附屬設施之檢測

以檢測各種碼頭皆共有之附屬設施破壞現象為主，其中則包括有：防舷材破損及裂縫、繫船柱基礎裂縫及其他設置於岸上與泊船有關之設施等之破壞或損害等。

以上碼頭上部面版結構腐蝕劣損破壞，因配合現地施工進度，碼頭面版預計以七個單位為檢測目標，將針對各檢測重點：混凝土強度試驗、中性化檢驗、氯離子濃度測定、保護層厚度檢查、鋼筋腐蝕電位測定等項目進行一系列檢測及分析。

4.3.2 受測碼頭及檢測單元區分

本研究中選定作為檢測試驗之棧橋式碼頭為高雄港#118 號碼頭。118 號碼頭位於高雄港中興商港區，屬於高雄港第四貨櫃中心。第四貨櫃中心臨港水線 2,532m，縱深 450m，共有深水碼頭 8 座，編號 115~122，儲運場地 100 公頃，儲存能量 35,000TEU。

118 號碼頭屬基樁棧橋式構造，基樁型式分鋼管樁與 PC 樁兩種，

PC 樁約佔 10%(以樁長計算)，碼頭長度 320m，碼頭面寬度 30m，碼頭面設計高程+2.60m，設計水深-14.0m，主要標準結構斷面形式如圖 4.3 所示。碼頭面板最上層鋪設 5cm 瀝青混凝土，岸肩內側設置 RC 垛式擋土牆(L 型塊)，護坡拋填中鋼爐石(粒徑 5~10cm)，基樁樁頭以強度 210kg/cm^2 之膨脹混凝土包覆，鋼管樁樁徑分 711.2mm 與 812.8mm 兩種，PC 樁樁徑則為 800.0mm。

碼頭面板單元如圖 4.4 所示，區分成 11 個單元，各單元之大小並非完全一致。各單元有屬於 A 型面版(含大樑及小樑)型式或 B 類面板型式如圖 4.5 所示， 因此、在調查及分析時具有相當的複雜度。

本貨櫃碼頭於民國 74 年 4 月 1 日開工(117 號碼頭為同期新建工程)，78 年 8 月 11 日竣工，同年 12 月 15 日完成驗收，目前租予台灣快桅股份有限公司使用(總部位於丹麥哥本哈根，為全球第一大海運公司)。

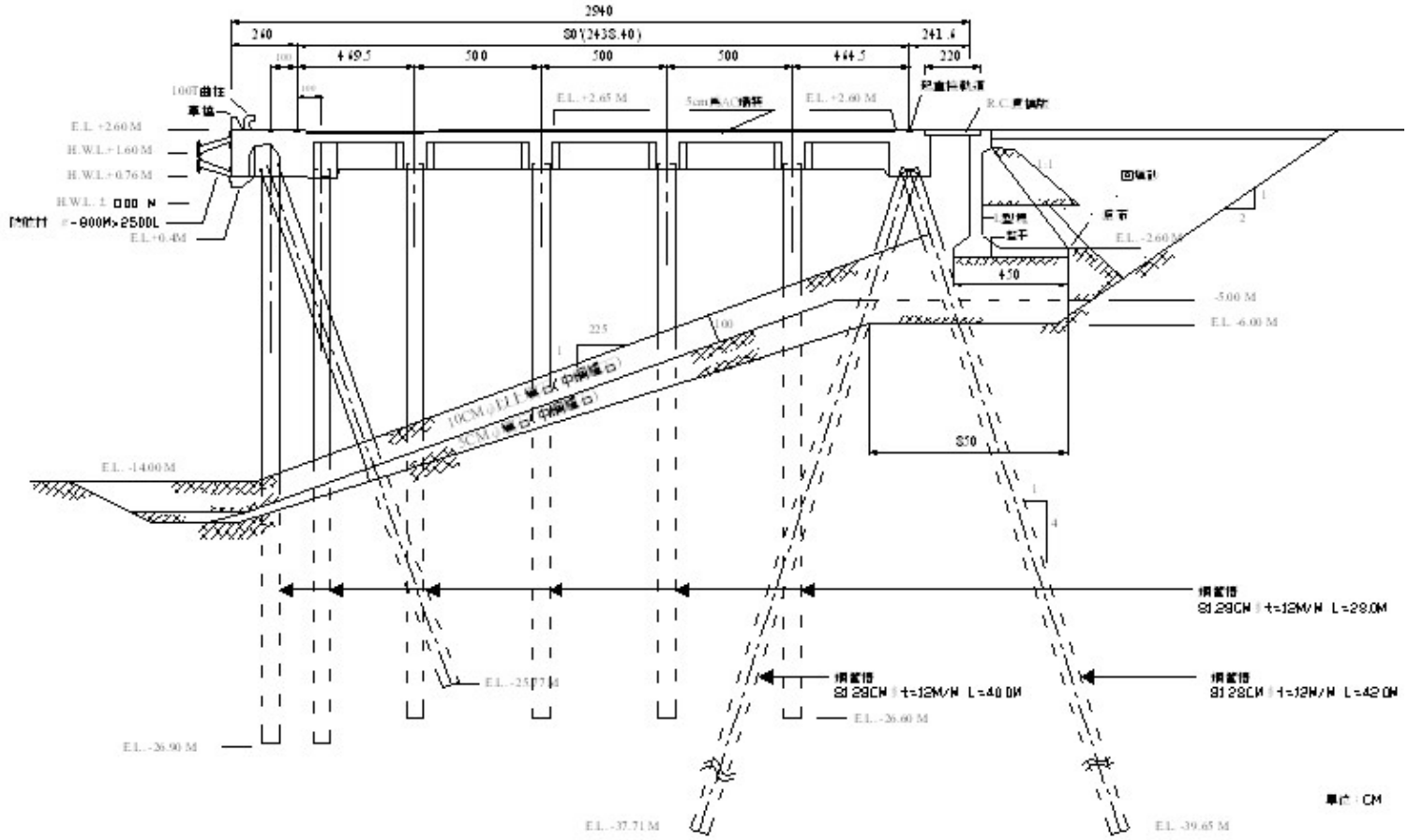


圖4.3 高雄港118號碼頭斷面示意圖(資料來源：交通部高雄港務局)

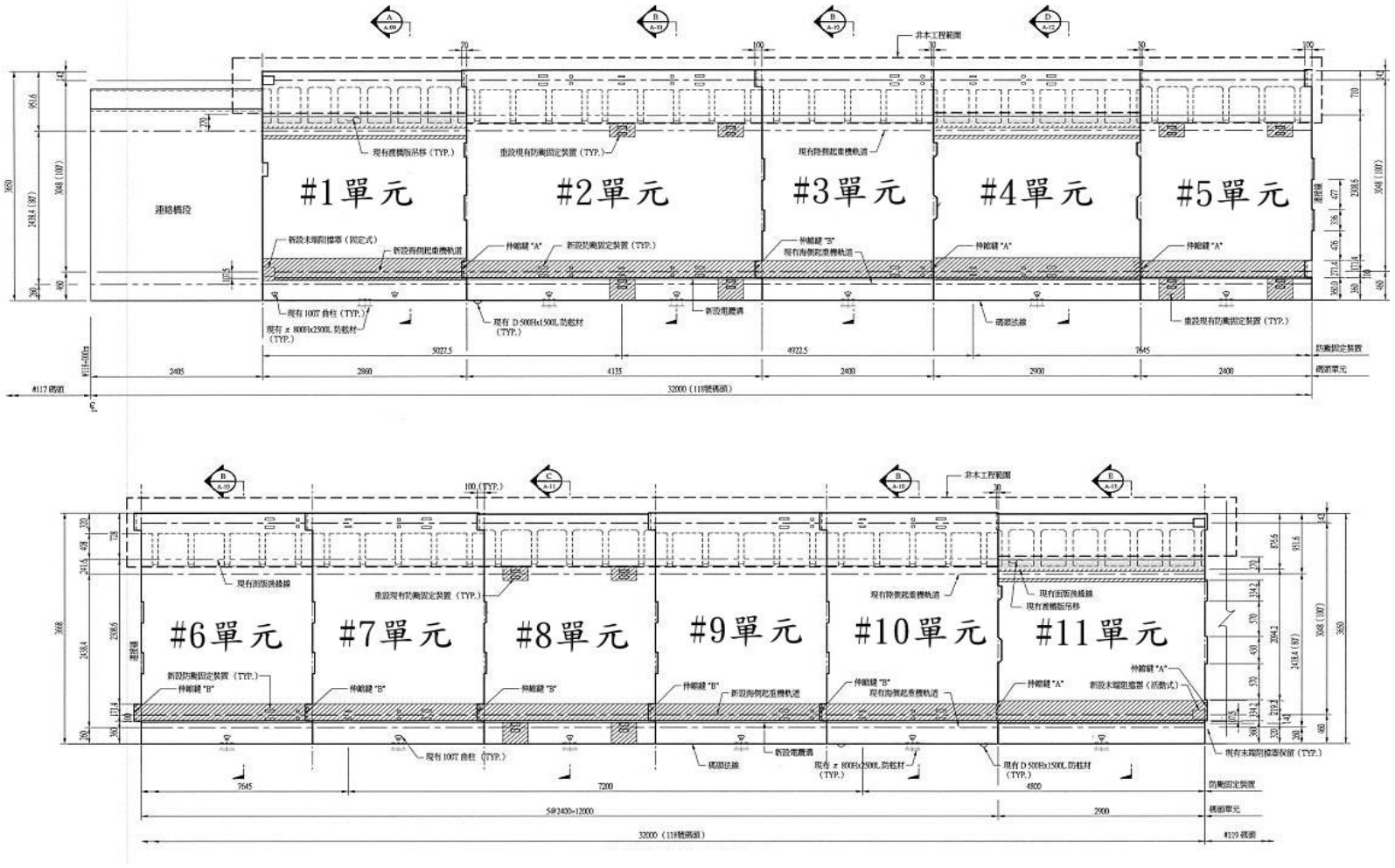
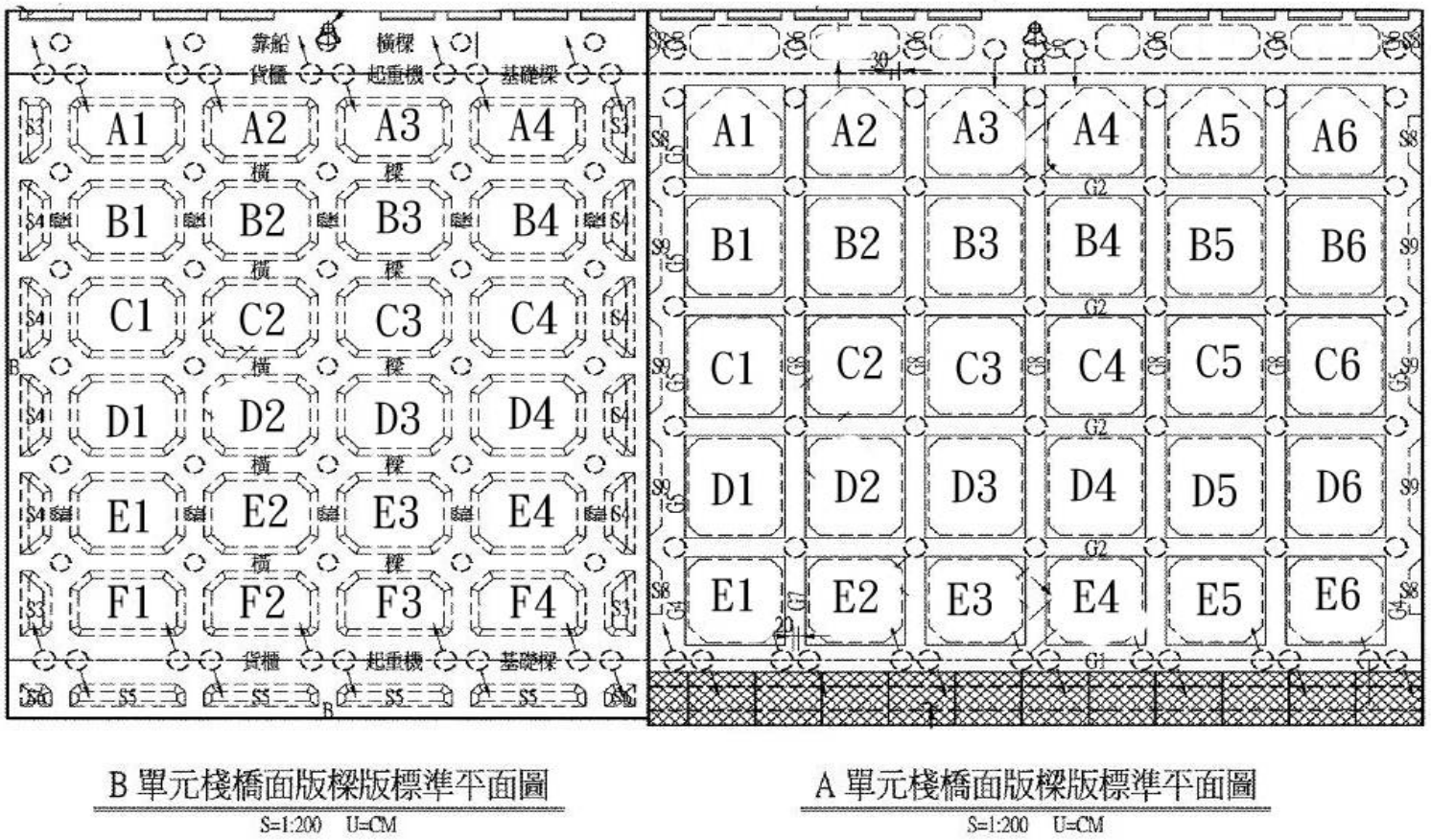


圖4.4碼頭平面單元區分示意圖(資料來源：交通部高雄港務局)



B 單元棧橋面版樑版標準平面圖
S=1:200 U=CM

A 單元棧橋面版樑版標準平面圖
S=1:200 U=CM

圖4.5碼頭面版樑版平面圖(資料來源：交通部高雄港務局)

由於本研究中之檢測方式包含了破壞性檢測如鑽心取樣、氯離子檢測分析及混凝土中性化等，故取樣數量不宜太多，各取樣位置亦受限制，另一方面為配合該碼頭正進行中的深水碼頭施工作業，因此、規劃的單元為 1~7，各單元進行之檢測取樣則視現場作業情況進行。針對各檢測重點檢測過程及檢測結果分別敘述如下：

1.混凝土反彈錘強度試驗

依據 ASTM C 805 的規定，每次檢測時取 10 個值來平均之，假如其中有一個值超過平均值達 7 個單位以上時，此數值必須捨棄，然後再將剩餘的數值平均之；假若有二個值以上都是大於平均值 7 個單位時，則此 10 個值必須全部捨棄。圖 4.6 為本研究所使用之 Schmit 反彈錘，圖 4.7 則為碼頭現場實地操作之情形。施測時各面板有磨耗層及無磨耗層均進行，量測之結果有磨耗層的數據如 表 4-4 所示，無磨耗層之檢測數據則列於表 4-5 中，其中無磨耗層之數據因不易取得故較少。數據中顯示包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。

圖 4.6 反彈錘測試儀 (資料來源：PROCEQ)

圖 4.7 現地強度量測

2.混凝土鑽心取樣強度試驗

鑽心試驗是依據 CNS 規範中取樣試體之規定，簡述如下：

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

圖 4.8 現場鑽心取樣情形

取樣後則進行抗壓試驗，抗壓試驗採用 SUMMIT 之抗壓試驗機，試驗方法依據中國國家標準 CNS 1232 規範，如圖 4.9~4.11 所示，鑽心試體進行抗壓試驗時應依規定步驟進行，抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230 混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求，試驗數據經換算後如表 4-6 所示。

試體受力方向，與原結構物內受力方向之關係，需在報告內註明。試體之抗壓強度，可根據其平均直徑，算出每平方公分所受壓力。如試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以圓柱試體長度直徑比修正因數之更正因數(表中未列入之值，可由內差法求知)，如表 4-7 所示。

圖 4.9 鑽心試體切割蓋平

圖 4.10 SUMMIT 抗壓試驗機

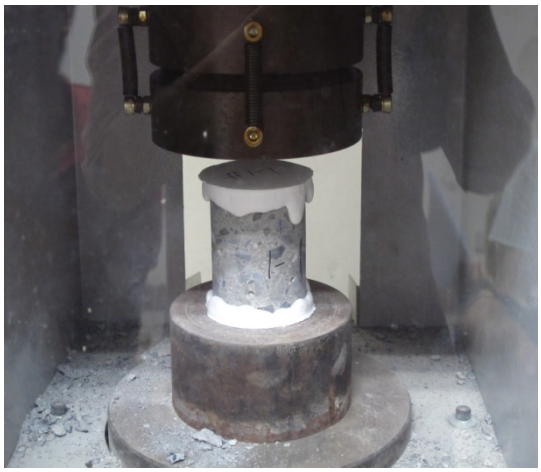


圖 4.11 試體抗壓試驗及破裂狀態

針對鑽心試體抗壓試驗之結果，由於其可靠度度較大，因此將反彈錘強度試驗之結果一併比較，無磨耗層之反彈錘試驗數據與鑽心試體抗壓試驗之結果比較情形如表 4-7 所示，表中顯示反彈錘強度試驗之平均值約較鑽心試體抗壓試驗之強度值大約 10%。

3.混凝土中性化及保護層厚度檢驗

測定混凝土中性化深度及中性化區域，最簡便也最常用之方法為酚酞指示劑，將現場所鑽取之混凝土試體或敲除之混凝土，放置在乾燥環境讓試體自然乾燥後，再將混凝土表面上噴灑酚汰指示劑。觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度，該試劑在 pH 值在 8.5 以上

之鹼性環境中會變為紅色，而 pH 值在小於 8.5 的環境下則為無色，實際測定則以剖面的分界點來判定未中性化程度。一般在維修時，即以此方法來判定應敲除混凝土劣化區域與決定修復範圍。中性化深度量測時最容易產生誤差有兩個：第一是指示劑不能放太久，否則混凝土變色不易；第二是混凝土試體取出後不能和空氣接觸太久，否則試體表面混凝土均已中性化就無從判斷混凝土中性化的深度。

本計畫中針對混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，取樣後之試體中性化情形如圖 4.12 所示，而檢測後之數據資料如表 4-8 所示，顯示其中性化之深度最大達 2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。

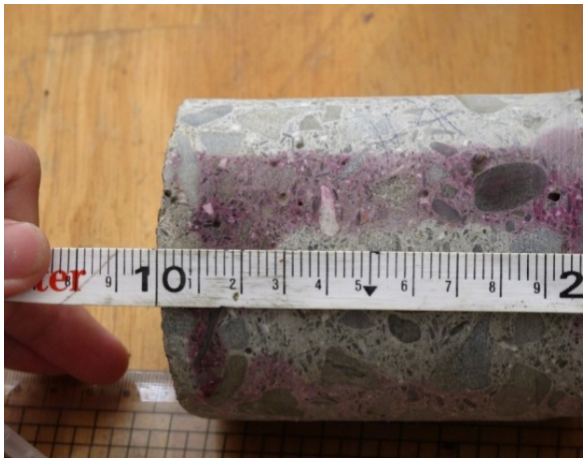


圖 4.12 鑽心試體中性化情形

4.混凝土氯離子濃度測定

本研究中有關氯離子濃度測定之方法，為參考 CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法，等規定做為氯離子含量濃度的評估，標準僅做為比較之參考，安全評估時暫不列入考慮。圖 4.13 及 4.14 為進行氯離子濃度量測之情形。

圖 4.13 混凝土粉末浸泡於蒸餾水　　**圖 4.14 鹽份濃度量測**

測試後之結果如表 4-9 中所示，其結果分為面板之上層及下層分別比較。非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。以 CNS 之規範，針對硬固 RC 結構物(需耐久性考慮者)其含量需低於 0.3 (kg/m^3)，各面板下層之氯離子含量約為 0.1~0.2(kg/m^3) ，尚符合規範之要求，各受測面板上下層之氯離子平均值顯示於表 4-10 中。

另外針對車檔護欄部分之氯離子檢測結果則列於表 4-11 中，其值明顯偏高，顯示接近岸邊之混凝土構造，較容易受氯離子侵襲(假設所有受測構造之混凝土原始含氯離子量均相同)。

5.碼頭面版裂縫寬度及深度檢查

運用瑞士 PROCEQ 研發之混凝土超音波探測儀（Ultrasonic Instrument），主要利用應力波動原理用以量測評估混凝土以下特性：混凝土均勻度、柱洞、裂縫深度、彈性模數、混凝土強度等功能。具三種音波傳送方式:直接傳送、半直接傳送及間接或表面傳送方式，其原理與施測方式符合 ASTM C597 標準(如第二章中所述)。

測量過程參考儀器之面板如圖 4.15 簡述如下：

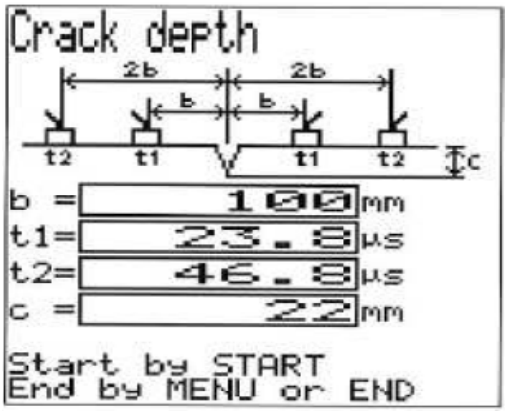


圖 4.15 超音波探測儀面板示意圖 (資料來源：PROCEQ)

1.聯接轉換器到主機上然後塗上耦合劑。

2.在測試物件上測量 b 和 2b 的距離並且標示它。

3.使用鍵在主機上輸入 b 距離。

4.按＜START＞鍵：在測量影像 b 下面顯示距離，然後同時發射音波脈衝。

5.壓轉換器緊靠物件並且執行測量 b 到 b；很快地 3 秒後測量值穩定，聽到嗶聲然後在 t1 下顯示傳輸時間。

6.按＜STORE＞鍵，儲存數值，然後主機切換至 t2 測量。

7.壓轉換器在距離 2b 上。3 秒後測量值穩定，聽到嗶聲，然後可以按＜＜STORE＞＞鍵。

8.現在在 c 上顯示裂縫深度。

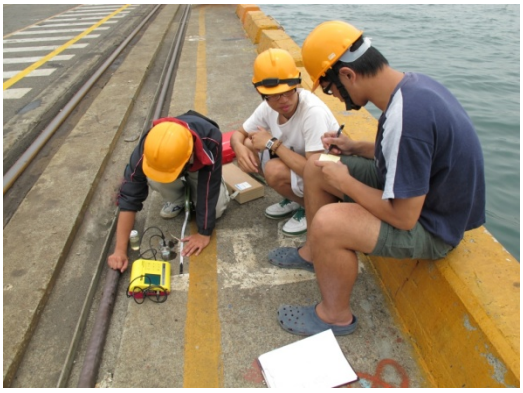


圖 4.16 碼頭量測情形

圖 4.17 護欄裂縫量測情形

碼頭面版裂縫寬度及深度量測之進行情形如圖 4.16 及圖 4.17 所示，而量測之結果經整理後如表 4-12 所示，依數據顯示其裂縫深度均未超過實測之保護層厚度。

6.鋼筋腐蝕電位測定

一般鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能量測儀器連接成一通路，將導線與電錶連接後，移動參考電極即可量測出整個結構物內半電池腐蝕電位(Half Cell)。本計畫進行時，利用該碼頭進行擴充施工時，配合剛打除挖開之混凝土內連通之鋼筋進行電位量測。受測碼頭版樑之鋼筋排列情形分別如圖 4.18 及 4.19 所示，圖 4.18 為版樑縱斷面鋼筋配置情形，圖 4.19 則為正面位置顯示圖。量測所得之電位值則整理如表 4-13 所示

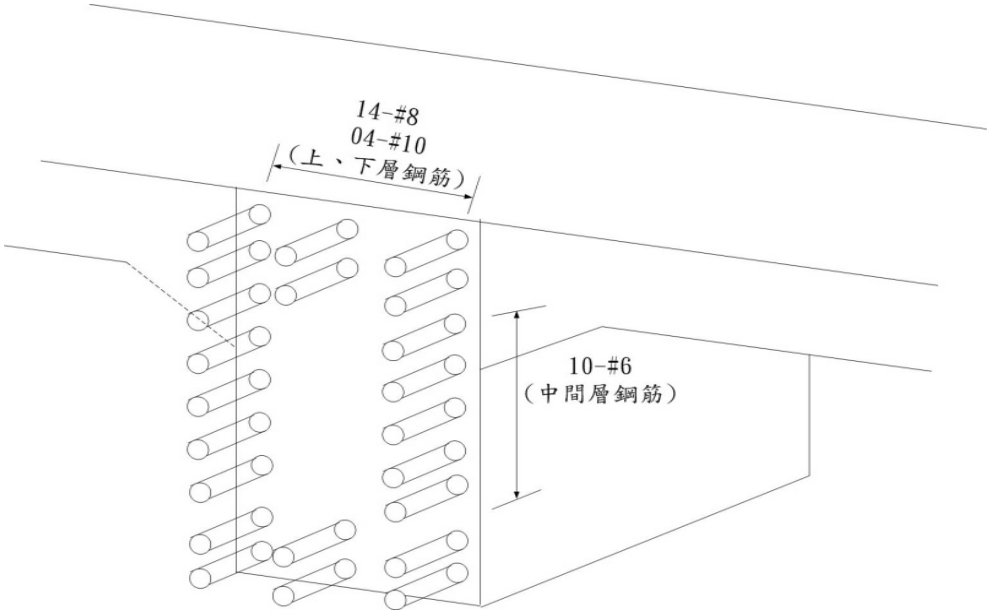


圖 4.18 面版縱斷面鋼筋配置圖

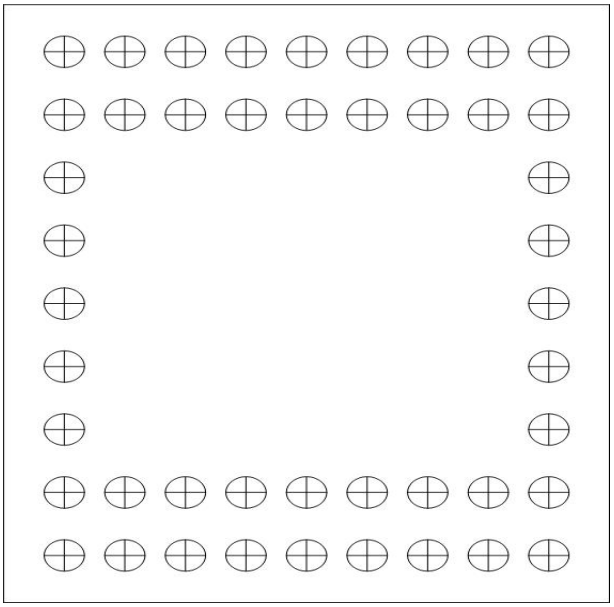


圖 4.19 面版縱斷面鋼筋位置圖

表 4-4 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試)

測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）	測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）
#1-A1	21.7	155	#2-A1	23.1	159
#1-A2	23.6	165	#2-A2	22.7	170
#1-A3	23.8	167	#2-A3	25.8	195
#1-A4	21.3	149	#2-A4	24.0	171
#1-A5	23.5	164	#2-A5	25.6	193
#1-A6	25.0	184	#2-A6	23.1	159
#1-B1	22.7	170	#2-A7	24.5	178
#1-B2	23.2	160	#2-A8	22.1	161
#1-B3	23.8	167	#2-B1	23.9	170
#1-B4	23.4	162	#2-B2	29.4	242
#1-B5	22.0	159	#2-B3	20.9	144
#1-B6	23.4	163	#2-B4	20.6	139
#1-C1	22.0	160	#2-B5	24.9	189
#1-C2	24.2	174	#2-B6	26.3	202
#1-C3	21.0	145	#2-B7	23.2	160
#1-C4	24.3	176	#2-B8	22.0	160
#1-C5	25.0	185	#2-C1	23.4	163
#1-C6	22.5	167	#2-C2	26.8	209
#1-D1	20.5	138	#2-C3	24.4	176
#1-D2	24.5	178	#2-C4	27.3	216
#1-D3	25.0	184	#2-C5	25.8	195
#1-D4	20.6	139	#2-C6	22.4	166
#1-D5	25.8	195	#2-C7	23.1	159
#1-D6	22.0	161	#2-C8	25.9	197
#1-E1	22.9	173	#2-D1	23.6	165
#1-E2	22.4	166	#2-D2	22.4	166
#1-E3	20.7	141	#2-D3	27.3	216
#1-E4	26.8	209	#2-D4	20.7	141
#1-E5	23.0	158	#2-D5	26.3	202
#1-E6	21.6	155	#2-D6	27.1	213

表 4-4 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試)（續 1）

測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）	測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）
#2-D7	24.5	178	#3-D1	27.2	215
#2-D8	22.8	172	#3-D2	27.0	212
#2-E1	23.5	164	#3-D2	21.3	150
#2-E2	25.6	193	#3-D4	26.3	202
#2-E3	22.8	172	#3-E1	25.1	186
#2-E4	24.4	176	#3-E2	22.4	166
#2-E5	23.0	165	#3-E3	25.0	184
#2-E6	21.9	158	#3-E4	27.0	212
#2-E7	28.0	222	#3-F1	29.3	240
#2-E8	25.0	184	#3-F2	26.8	209
#2-F1	21.7	155	#3-F3	26.5	205
#2-F2	22.4	166	#3-F4	29.7	246
#2-F3	26.5	205	#4-A1	26.0	198
#2-F4	22.0	160	#4-A2	22.8	172
#2-F5	20.7	141	#4-A3	22.0	160
#2-F6	27.4	218	#4-A4	21.7	155
#2-F7	20.7	141	#4-A5	25.8	195
#2-F8	28.3	226	#4-A6	27.2	215
#3-A1	24.4	176	#4-B1	25.2	187
#3-A2	28.4	228	#4-B2	24.5	178
#3-A3	24.0	171	#4-B3	27.3	216
#3-A4	26.1	199	#4-B4	23.0	165
#3-B1	26.6	206	#4-B5	26.5	205
#3-B2	22.1	161	#4-B6	22.4	166
#3-B3	24.8	182	#4-C1	27.1	213
#3-B4	27.2	215	#4-C2	23.6	165
#3-C1	25.6	193	#4-C3	26.9	211
#3-C2	27.9	225	#4-C4	25.3	188
#3-C3	24.4	176	#4-C5	21.3	149
#3-C4	25.2	187	#4-C6	23.5	164

表 4-4 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試)（續 2）

測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）	測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）
#4-D1	27.1	213	#5-E3	22.7	170
#4-D2	22.6	169	#5-E4	29.3	240
#4-D3	23.7	167	#5-F1	23.2	160
#4-D4	23.5	164	#5-F2	24.6	179
#4-D5	22.5	167	#5-F3	25.8	195
#4-D6	23.5	164	#5-F4	22.5	167
#4-E1	26.3	202	#6-A1	28.4	228
#4-E2	23.7	167	#6-A2	23.5	164
#4-E3	24.8	182	#6-A3	27.4	218
#4-E4	22.0	160	#6-A4	23.6	165
#4-E5	23.2	160	#6-B1	23.5	164
#4-E6	25.8	195	#6-B2	23.2	160
#5-A1	27.2	215	#6-B3	29.4	242
#5-A2	22.5	167	#6-B4	23.2	160
#5-A3	22.9	173	#6-C1	26.6	206
#5-A4	29.3	240	#6-C2	27.2	215
#5-B1	27.0	212	#6-C3	29.4	242
#5-B2	27.1	213	#6-C4	21.5	153
#5-B3	26.8	209	#6-D1	25.8	195
#5-B4	26.8	209	#6-D2	21.5	153
#5-C1	24.6	179	#6-D2	28.1	224
#5-C2	22.4	166	#6-D4	22.8	172
#5-C3	21.5	153	#6-E1	23.7	167
#5-C4	26.5	205	#6-E2	25.0	184
#5-D1	22.8	172	#6-E3	27.3	216
#5-D2	25.8	195	#6-E4	24.4	176
#5-D2	23.0	158	#6-F1	21.5	153
#5-D4	23.5	164	#6-F2	23.9	170
#5-E1	21.3	150	#6-F3	25.9	197
#5-E2	23.6	165	#6-F4	23.1	159

表 4-4 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試)（續 3）

測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）	測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）
#7-A1	22.8	172	#7-D1	24.3	175
#7-A2	27.1	213	#7-D2	26.1	199
#7-A3	24.3	175	#7-D2	25.0	184
#7-A4	30.1	266	#7-D4	29.3	240
#7-B1	22.3	164	#7-E1	22.2	163
#7-B2	30.2	253	#7-E2	23.9	170
#7-B3	24.9	183	#7-E3	25.3	188
#7-B4	25.8	195	#7-E4	27.1	213
#7-C1	24.7	180	#7-F1	23.8	167
#7-C2	26.7	208	#7-F2	25.8	195
#7-C3	26.8	209	#7-F3	29.6	245
#7-C4	29.2	239	#7-F4	27.0	212

表 4-5 混凝土反彈錘試驗 (無磨耗層強度測試)

測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）	測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）
#1-E1	42.5	481	#6-F3	48.7	606
#1-E2	51.3	659	#6-F4	43.3	497
#1-E3	47.7	586	#7-F1	46.8	568
#1-E4	46.9	570	#7-F2	47.0	572
#1-E5	44.0	511	#7-F3	45.5	541
#1-E6	42.5	481	#7-F4	47.7	586
#2-F1	48.2	596	#1-A1	45.3	537
#2-F2	40.0	430	#1-A2	49.7	626
#2-F3	44.8	527	#1-A3	44.2	515
#2-F4	47.7	586	#1-A4	43.7	505
#2-F5	42.3	477	#1-A5	50.6	645
#2-F6	46.2	555	#1-A6	47.8	588
#2-F7	39.7	424	#2-A1	43.6	503
#2-F8	42.5	481	#2-A2	51.3	659
#3-F1	49.4	620	#2-A3	46.4	560
#3-F2	44.3	517	#2-A4	42.8	487
#3-F3	43.1	493	#2-A5	45.8	547
#3-F4	41.3	456	#2-A6	51.2	657
#4-E1	48.3	598	#2-A7	45.3	537
#4-E2	51.3	659	#2-A8	48.2	596
#4-E3	51.3	659	#3-A1	43.5	501
#4-E4	51.6	665	#3-A2	43.7	505
#4-E5	50.2	636	#3-A3	46.8	568
#4-E6	47.1	574	#3-A4	44.7	525
#5-F1	50.7	646	#4-A1	47.6	584
#5-F2	48.3	598	#4-A2	45.5	541
#5-F3	47.6	584	#4-A3	51.3	659
#5-F4	50.9	651	#4-A4	47.1	574
#6-F1	48.4	600	#4-A5	44.8	527
#6-F2	43.1	493	#4-A6	46.7	566

表 4-5 混凝土反彈錘試驗 (無磨耗層強度測試)（續 1）

測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）	測試位置	反彈值	fc´值（kgf/cm^2）
#5-A1	49.4	620	#6-A3	50.3	639
#5-A2	43.2	495	#6-A4	46.9	570
#5-A3	48.5	602	#7-A1	43.8	507
#5-A4	44.6	523	#7-A2	49.7	626
#6-A1	42.8	487	#7-A3	44.3	517
#6-A2	47.2	576	#7-A4	45.5	541

表 4-6 混凝土鑽心試體抗壓強度試驗結果

試體編號	直徑 (cm)	平均直徑 (cm)	蓋平後高度 (cm)	蓋平後平均高度(cm)	最大荷重 (kgf)	抗壓強度 (kgf/cm²)	修正係數	修正後抗壓強度值 (kgf/cm²)
#1-E1-1	7.64 7.62	7.63	9.67 9.66	9.67	20929	457.741	0.93	426
#1-E1-2	7.63 7.62	7.63	9.72 9.70	9.71	20808	455.083	0.93	423
#1-E1-3	7.65 7.63	7.64	9.33 9.34	9.34	25058	546.603	0.92	503
#2-F1-1	7.64 7.64	7.64	9.65 9.63	9.64	27408	597.868	0.92	550
#2-F1-2	7.64 7.64	7.64	9.77 9.77	9.77	28204	615.231	0.93	572
#2-F1-3	7.63 7.63	7.63	9.90 9.88	9.89	27508	601.609	0.94	566
#3-F1-1	7.63 7.63	7.63	9.77 9.77	9.77	27823	608.516	0.93	566
#3-F1-2	7.63 7.63	7.63	9.94 9.94	9.94	29272	640.108	0.94	602
#3-F1-3	7.64 7.64	7.64	9.58 9.59	9.59	28906	630.540	0.93	586
#4-E1-1	7.63 7.64	7.64	8.91 8.92	8.92	23431	511.119	0.91	465
#4-E1-2	7.62 7.62	7.62	8.93 8.93	8.93	20807	456.258	0.91	415
#4-E1-3	7.63 7.63	7.63	9.65 9.64	9.65	28769	629.205	0.93	585
#5-F1-1	7.63 7.63	7.63	9.90 9.91	9.91	25759	563.367	0.94	530
#5-F1-2	7.64 7.63	7.64	9.92 9.93	9.93	24778	540.492	0.94	508
#5-F1-3	7.64 7.63	7.64	9.67 9.67	9.67	24936	543.934	0.93	506
#6-F1-1	7.64 7.64	7.64	9.62 9.65	9.64	27350	596.600	0.93	555
#6-F1-2	7.63 7.63	7.63	9.68 9.67	9.68	26999	588.939	0.93	548
#6-F1-3	7.63 7.63	7.63	9.93 9.92	9.93	22630	494.940	0.94	465
#7-F1-1	7.62 7.62	7.62	9.41 9.42	9.42	24835	544.576	0.93	506
#7-F1-2	7.64 7.63	7.64	9.77 9.79	9.78	23653	515.960	0.93	480
#7-F1-3	7.63 7.64	7.64	9.41 9.43	9.42	28331	618.005	0.93	575

表 4-7 混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較

面版	抗壓強度平均值	反彈錘平均值	抗壓強度/反彈錘
#1-E1	450	481	0.93
#2-F1	562	596	0.94
#3-F1	584	620	0.94
#4-E1	488	598	0.81
#5-F1	514	646	0.79
#6-F1	522	600	0.87
#7-F1	520	568	0.91

表 4-8 混凝土中性化試驗

編號	量試試體	中性化深度（cm）	設計保護層厚度（cm）	量測保護層平均厚度（cm）	是否超過保護層厚度
1	#1-E1-1	2	5	7.6	否
2	#1-E1-2	0.5	5	7.6	否
3	#1-E1-3	1	5	7.6	否
4	#2-F1-1	0.5	5	6.5	否
5	#2-F1-2	0.5	5	6.5	否
6	#2-F1-3	0	5	6.5	否
7	#3-F1-1	0	5	7.7	否
8	#3-F1-2	0	5	7.7	否
9	#3-F1-3	0	5	7.7	否
10	#4-E1-1	1	5	6.8	否
11	#4-E1-2	1	5	6.8	否
12	#4-E1-3	2	5	6.8	否
13	#5-F1-1	0	5	7.7	否
14	#5-F1-2	0.5	5	7.7	否
15	#5-F1-3	0	5	7.7	否
16	#6-F1-1	0	5	6.4	否
17	#6-F1-2	0	5	6.4	否
18	#6-F1-3	1	5	6.4	否
19	#7-F1-1	2	5	8.0	否
20	#7-F1-2	1	5	8.0	否
21	#7-F1-3	0	5	8.0	否

表 4-9 碼頭面板氯離子濃度試驗

面板位置	上層		下層	
	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m^3)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m^3)
#1 單元 #1-E2~E3	0.015	0.045	0.035	0.105
	0.019	0.057	0.041	0.123
	0.014	0.042	0.032	0.096
#1 單元 #1-E4~E5	0.022	0.066	0.031	0.093
	0.017	0.051	0.038	0.114
	0.020	0.060	0.032	0.096
#1 單元 #1-E5~E6	0.022	0.066	0.037	0.111
	0.020	0.060	0.035	0.105
	0.018	0.054	0.042	0.126
#2 單元 #2-F2~F3	0.020	0.060	0.043	0.129
	0.017	0.051	0.036	0.108
	0.015	0.045	0.031	0.093
#2 單元 #2-F4~F5	0.019	0.057	0.035	0.105
	0.021	0.063	0.045	0.135
	0.018	0.054	0.035	0.105
#2 單元 #2-F7~F8	0.019	0.057	0.042	0.126
	0.023	0.069	0.038	0.114
	0.023	0.069	0.037	0.111
#3 單元 #3-F1~F2	0.012	0.036	0.028	0.084
	0.021	0.063	0.023	0.069
	0.021	0.063	0.026	0.078
#3 單元 #3-F2~F3	0.029	0.087	0.038	0.114
	0.028	0.084	0.021	0.063
	0.019	0.057	0.023	0.069
#3 單元 #3-F3~F4	0.014	0.042	0.030	0.090
	0.019	0.057	0.032	0.096
	0.016	0.048	0.026	0.078
#4 單元 #4-E2~E3	0.016	0.048	0.031	0.093
	0.022	0.066	0.022	0.066
	0.021	0.063	0.032	0.096
#4 單元 #4-E3~E4	0.016	0.048	0.042	0.126
	0.017	0.051	0.048	0.144
	0.023	0.069	0.066	0.198

表 4-9 碼頭面板氯離子濃度試驗（續 1）

面板位置	上層		下層	
	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m^3)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m^3)
#4 單元 #4-E5~E6	0.023	0.069	0.045	0.135
	0.013	0.039	0.051	0.153
	0.015	0.045	0.039	0.117
#5-F1~F2	0.019	0.057	0.057	0.171
	0.020	0.060	0.071	0.213
	0.027	0.081	0.106	0.318
#5-F2~F3	0.043	0.129	0.051	0.153
	0.050	0.150	0.068	0.204
	0.038	0.114	0.062	0.186
#5-F3~F4	0.019	0.057	0.062	0.186
	0.033	0.099	0.073	0.219
	0.022	0.066	0.068	0.204
#6-F1~F2	0.021	0.063	0.090	0.270
	0.028	0.084	0.032	0.096
	0.034	0.102	0.041	0.123
#6-F2~F3	0.039	0.117	0.086	0.258
	0.044	0.132	0.095	0.285
	0.037	0.111	0.045	0.135
#6-F3~F4	0.020	0.060	0.105	0.315
	0.018	0.054	0.083	0.249
	0.027	0.081	0.089	0.267
#7-F1~F2	0.017	0.051	0.102	0.306
	0.013	0.039	0.063	0.189
	0.015	0.045	0.103	0.309
#7-F2~F3	0.013	0.039	0.049	0.147
	0.020	0.060	0.032	0.096
	0.015	0.045	0.053	0.159
#7-F3~F4	0.014	0.042	0.047	0.141
	0.023	0.069	0.066	0.198
	0.017	0.051	0.055	0.165

表 4-10 各面板氯離子含量平均值

各單元面板之平均氯離子含量				
試驗位置	上層		下層	
	$Cl^-(kg/m^3)$	是否超過標準	$Cl^-(kg/m^3)$	是否超過標準
#1 面板	0.054	否	0.105	否
#2 面板	0.057	否	0.114	否
#3 面板	0.057	否	0.081	否
#4 面板	0.054	否	0.123	否
#5 面板	0.090	否	0.204	否
#6 面板	0.087	否	0.222	否
#7 面板	0.048	否	0.189	否

注：鋼筋混凝土氯離子規定不得超過 0.3 (kg/m^3)。

表 4-11 車檔護欄氯離子含量

各單元面板之氯離子含量		
位置 / 面板	岸肩護欄	
	$Cl^-(\%)$	$Cl^-(kg/m^3)$
#3 護欄	0.066	0.198
#4 護欄	0.044	0.132
#5 護欄	0.081	0.243
#7 護欄	0.072	0.216

表 4-12 裂縫寬度及深度試驗

編號	位置	B cm	t1 us	t2 us	裂縫寬度 mm	裂縫深度 cm	是否超過保護層
1	#1-E3	2.5	56.9	70.9	2.643	5.3	否
2	#2-F4	2.5	34.4	56.6	1.011	2.2	否
3	#2-F7	2.5	42.9	65.4	0.785	2.8	否
4	#3-F2	2.5	37.5	53.8	2.833	3.4	否
5	#4-E5	2.5	45.3	60.4	3.110	4.2	否
6	#4-E6	2.5	40.8	56.9	0.516	3.7	否
7	#5-F1	2.5	41.7	56.7	1.457	4.0	否
8	#5-F4	2.5	47.8	82.9	0.981	1.8	否
9	#6-F2	2.5	42.2	67.8	0.320	2.4	否
10	#6-F3	2.5	58.2	85.1	0.981	3.2	否
11	#7-F3	2.5	42.2	65.2	0.320	2.7	否
12	#7-F4	2.5	40.3	54.3	1.685	4.1	否
13	#3 護欄	2.5	53.8	97.5	1.888	1.4	否
14	#4 護欄	2.5	52.7	70.9	1.610	4.1	否
15	#5 護欄	2.5	58.9	67.8	1.901	7.2	是
16	#7 護欄	2.5	34.8	55.7	1.048	2.4	否

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗

試驗位置	鋼筋電位值(mv)			平均鋼筋電位值(mv)	腐蝕機率
#1-E2~E3 單元上層面板	-287.2	-254.3	-234.6	-234.3	中
	-223.4	-208.8	-197.5		
#1-E2~E3 單元下層面板	-315.3	-283.1	-336.4	-350.1	高
	-333.6	-424.7	-407.5		
#1-E4~E5 單元上層面板	-293.2	-213.6	-233.3	-221.6	中
	-204.4	-196.8	-188.7		
#1-E4~E5 單元下層面板	-256.6	-301.2	-288.6	-336.3	中
	-373.5	-454.1	-344.3		
#1-E5~E6 單元上層面板	-263.4	-197.5	-244.1	-216.0	中
	-208.4	-182.6	-200.5		
#1-E5~E6 單元下層面板	-207.3	-311.7	-286.2	-312.4	中
	-320.6	-398.2	-350.6		
#2-F2~F3 單元下層面板	-296.3	-281.5	-247.2	-243.9	中
	-240.4	-194.8	-203.6		
#2-F2~F3 單元下層面板	-258.2	-345.8	-374.3	-379.0	高
	-405.6	-491.7	-398.5		

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗（續 1）

試驗位置	鋼筋電位值(mv)			平均鋼筋電位值(mv)	腐蝕機率
#2-F4~F5 單元上層面板	-315.8	-286.5	-232.8	-254.9	中
	-232.6	-217.5	-244.2		
#2-F4~F5 單元下層面板	-296.7	-279.6	-268.8	-342.2	中
	-377.5	-434.4	-396.5		
#2-F7~F8 單元上層面板	-303.6	-295.4	-267.3	-246.4	中
	-211.2	-202.7	-198.6		
#2-F7~F8 單元下層面板	-316.3	-364.8	-382.5	-380.2	高
	-349.6	-445.3	-423.2		
#3-F1~F2 單元上層面板	-356.2	-308.2	-278.5	-269.4	中
	-250.5	-224.8	-198.2		
#3-F1~F2 單元下層面板	-367.6	-333.6	-297.2	-378.9	高
	-412.4	-484.5	-378.5		
#3-F2~F3 單元上層面板	-337.4	-322.6	-296.3	-290.4	中
	-261.6	-242.1	-282.6		
#3-F2~F3 單元下層底樑	-365.7	-298.6	-316.8	-376.8	高
	-421.5	-473.5	-384.7		

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗（續 2）

試驗位置	鋼筋電位值(mv)			平均鋼筋電位值(mv)	腐蝕機率
#3-F3~F4 單元上層面板	-335.5	-315.7	-326.8	-300.6	中
	-309.4	-231.1	-285.6		
#3-F3~F4 單元下層底樑	-309.3	-314.6	-347.5	-362.2	高
	-311.7	-467.9	-422.5		
#3-E2~E3 單元上層面板	-285.4	-277.6	-296.2	-268.3	中
	-202.6	-334.3	-213.8		
#3-E2~E3 單元下層底樑	-335.2	-366.7	-338.1	-372.7	高
	-400.5	-384.6	-411.2		
#4-E3~E4 單元上層面板	-335.5	-302.3	-300.7	-309.6	中
	-316.2	-305.5	-297.4		
#4-E3~E4 單元下層底樑	-262.5	-315.8	-312.5	-326.3	中
	-306.3	-367.7	-393.4		
#4-E5~E6 單元上層面板	-326.2	-307.2	-268.6	-289.1	中
	-318.8	-291.3	-222.6		
#4-E5~E64 單元下層底樑	-286.2	-362.4	-346.8	-385.9	高
	-418.1	-478.5	-423.5		

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗（續 3）

試驗位置	鋼筋電位值(mv)			平均鋼筋電位值(mv)	腐蝕機率
#5-F1~F2 單元上層面板	-395.5	-342.3	-298.3	-317.5	中
	-278.2	-284.4	-306.5		
#5-F1~F2 單元下層底樑	-288.4	-302.6	-336.4	-345.8	中
	-367.8	-392.1	-387.5		
#5-F2~F3 單元上層面板	-299.9	-327.2	-316.8	-289.8	中
	-268.2	-282.5	-244.2		
#5-F2~F3 單元下層底樑	-240.1	-352.6	-270.5	-345.2	中
	-370.2	-429.3	-408.6		
#5-F3~F4 單元上層面板	-352.3	-322.8	-346.1	-318.3	中
	-310.1	-302.6	-276.3		
#5-F3~F4 單元下層底樑	-340.5	-332.8	-378.4	-374.7	高
	-394.2	-414.0	-388.5		
#6-F1~F2 單元上層面板	-319.7	-278.4	-302.7	-254.0	中
	-196.5	-193.1	-233.6		
#6-F1~F2 單元下層底樑	-291.2	-243.6	-228.4	-359.8	高
	-396.3	-532.2	-467.2		

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗（續 4）

試驗位置	鋼筋電位值(mv)			平均鋼筋電位值(mv)	腐蝕機率
#5-F1~F2 單元上層面板	-370.3	-321.3	-302.6	-302.4	中
	-310.5	-232.6	-277.3		
#5-F1~F2 單元下層底樑	-323.7	-309.5	-273.1	-383.8	高
	-487.6	-512.4	-396.8		
#6-F3~F4 單元上層面板	-323.4	-308.6	-334.5	-274.4	中
	-269.3	-212.5	-198.2		
#6-F3~F4 單元下層底樑	-264.7	-354.8	-288.4	-353.1	高
	-331.5	-497.9	-381.6		
#7-F1~F2 單元上層面板	-275.2	-267.5	-295.4	-257.1	中
	-272.4	-189.1	-243.2		
#7-F1~F2 單元下層底樑	-358.2	-386.4	-337.6	-413.7	高
	-447.6	-512.5	-440.1		
#7-F2~F3 單元上層面板	-348.2	-286.2	-293.7	-269.6	中
	-230.5	-251.6	-207.6		
#5-F1~F2 單元下層底樑	-348.6	-338.5	-387.4	-381.3	高
	-362.9	-410.2	-440.3		

表 4-13 鋼筋腐蝕電位試驗（續 5）

試驗位置	鋼筋電位值(mv)			平均鋼筋電位值(mv)	腐蝕機率
#7-F3~F4 單元上層面板	-299.2	-265.3	-285.6	-235.5	(中)
	-214.1	-160.4	-188.7		
#7-F3~F4 單元下層底樑	-378.2	-352.8	-323.8	-370.3	(高)
	-354.7	-398.8	-413.5		
#3 單元護岸岸肩護欄外露鋼筋	-526.3			-492.0	(高)
	-503.1				
	-446.7				
#4 單元護岸岸肩護欄外露鋼筋	-520.2			-532.5	(高)
	-521.9				
	-555.4				
#5 單元護岸外露鋼筋	-536.6			-508.9	(高)
	-541.4				
	-448.7				
#7 單元護岸外露鋼筋	-519.6			-510.9	(高)
	-486.7				
	-526.5				

4.4 港灣結構安全檢測評估

4.4.1 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估方式及理論基礎

1. 傳統評估方式

有關鋼筋混凝土工程結構破壞後其破壞指標或結構安全之評估方式，在研究上大致有兩個不同的方向來評估，一為使用材料之微觀理論(microscopic view)，二為使用巨觀理論(macroscopic view)，而在巨觀理論的應用上，在此則將其概分為：1.以試驗室力學數據為主之理論；2.以現場觀測數據為主之方法。

由於微觀力學中牽涉到材料較細微之力學行為，其牽涉之參數非一般工程構造物檢測過程中能取得，故對於大型工程結構較不適用，因此、本研究中將以巨觀理論之應用為主。以下則將目前較為普遍應用之巨觀理論加以介紹：

（1）以試驗室力學數據為主之評估理論

鋼筋混凝土受到地震、風力、波浪力或其他反覆作用力作用時，其破壞指標模式可以表示為結構受力最大變形量及其韌性變化之函數(Park and Wen, 1985)，如下式來表示：

$$D=\frac{\delta_M}{\delta_u}+\frac{\beta}{Q_y\delta_u}\int dE \qquad \text{..... (4-11)}$$

式中，δ_M = 外力作用下，結構物之最大變形量

δ_u = 靜力設計時，結構物之極限變形量

Q_y = 構件之降伏強度

dE = 結構物破壞前所吸收之能量

β = 非負值之試驗常數

上式中若欲得出某一結構物受力後其殘餘之受力能力，或稱為破壞指標(damage index *D*)，必須知道之變數包括外力作用下結構之最大變形量及結構物破壞前所吸收之能量，但這兩項參數若非將儀器裝置於結構物上即時監測，則數據無法獲得。也因此將此方法列為試驗室力學數據為主之理論。

(2) 以現場觀測數據為主之評估方法

此一方法所使用之數據，為現場檢測之破壞現象，以簡便之方法歸類及分級，然後以構件為單位加以統計，在應用上較為簡單。其中如目前在台灣廣被應用於橋樑破壞檢測之方法即為其之一，參考交通部國道高速公路局「高速公路橋樑管理系統」，該方法將目視檢測之要項分為：破壞程度(degree D)、破壞延伸範圍(extension E)及破壞處與主結構體之相關性 (relevance R)，然後將以統計成為數據化之破壞指標，故亦簡稱為 D.E.R.檢測法。

該方法中於各損壞分類中並將損壞程度加以分級，分成五等的判定標準中如前述 D.E.R.法中之分類，其中對於損壞程度（D）的分等如"1"表良好，"2"表尚可，"3"為差，"4"表示嚴重損壞。損壞範圍（E）的分等為 10%以下為"1"，10%至 30%中間等級為"2"，30%至 60%之間等級為"3"，大於 60%則為"4"。該構件損壞對整體結構之影響性(R)之分級亦類似。"0"則代表無此項目或無法判定。

2. 考慮力學理論與現場觀測數據之整合性評估方法

本方法為參考以上兩大類評估方式中各種方法後，綜合得出之方法，希望能結合以上兩種方法之優點，使結構破壞之評估方法具有簡便性，同時又具有充足之材料力學基礎，使得評估之結果具有更高之準確度。本方法分成個別構件之評估方式，及整體結構體之評估方式。整體結構體之評估方式為，在個別構件之破壞指標已知之情況下綜合得出之結果，將分別考慮各種不同構件之減強因子及載重因子之影響。

(1) 構件破壞指標（D_e）

個別構件之評估方式以破壞指標來敘述，表示如下：

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p \mathrm{E}_i^e \quad \text{..... (4-12)}$$

式中，δ_{Me} = 外力作用下，e 構件之最大變形量

δ_{ue} = 靜力設計時，e 構件之極限變形量

β_e = 非負值試驗常數，依構件型式而稍有不同(β_e=1)

Q_{ye} = 構件之降伏強度或實測平均強度

$\sum \mathrm{E}_i^e$ = 構件e破壞前累計吸收之應變能量

其中構件 e 破壞前累計吸收之能量，假設為由數個(p 個)斷面之破壞情形累積得出，單一斷面之破壞能量表示如下為：

$$\mathrm{E}_i^e = \sigma_{\max}\delta_{est.i} \cdot \exp\left((\sigma_{\max} - \sigma_{ri})/\sigma_{\max}\right) \quad \text{..... (4-13)}$$

式中 σ_{ri} = 實測所得斷面 i 之強度

$\sigma_{\max}$ = 實測所得之最大強度

$\delta_{est.i}$ = 估算之該斷面最大可能變形能力，其估算方式如以樑構件為例，若考慮主要變形為旋轉角時，則為可能作用之最大彎矩值，除以斷面損失下之殘餘剛度值除以中性軸深度(EI/y)。另外若有明顯裂縫之檢測資料時亦可參照Park及Paulay(1975)之方法參照圖 4.20 其旋轉角表示如下：

$$\delta_{est.i} = \theta = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{d - k_i d} \quad \text{..... (4-14)}$$

其中 S_i 為某量測段(i 段)鋼筋之伸長量。由於無法實際測出，可以樑斷面上裂縫寬（如圖 4.20）來替代；其餘參數如圖上所示。

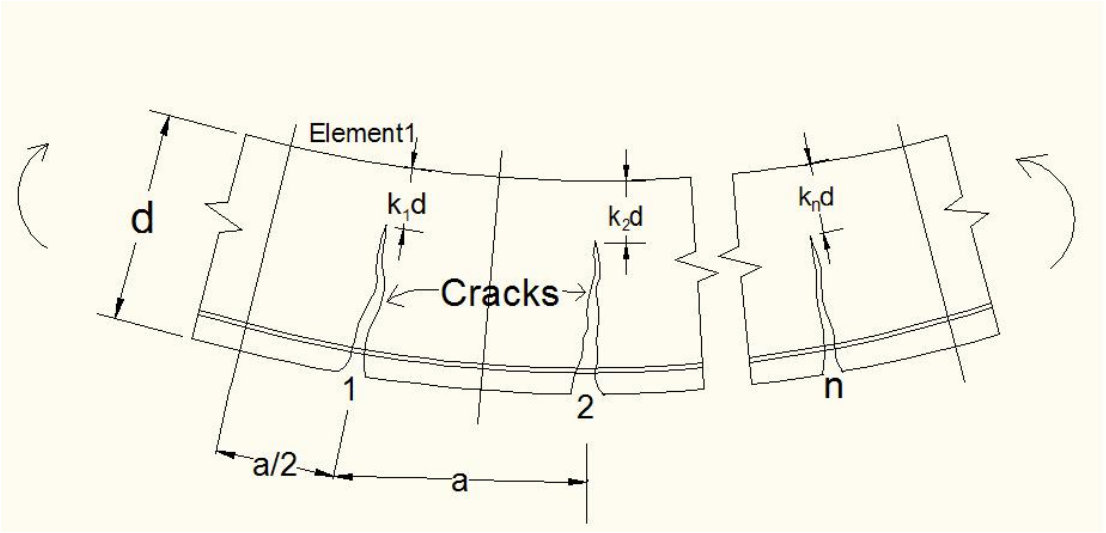


圖 4.20 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖

同樣的外力作用下，e 構件之最大變形量 δ_{Me}，若非即時監測系統並無法得知，必須利用力學原理加以推估，在推估斷面將包含最大可能變形斷面之條件下，可將其值設定為

$$\delta_{Me} = Max(\delta_{est.i}) \quad \text{..... (4-15)}$$

以上與構件破壞指標相關之係數將列於表 4.1 中，包括相關說明。

(2) 整體結構破壞指標（Φ）

整體結構破壞指標代表的意義為，該整體結構在持續性使用下之破壞狀態指標。構件現況破壞指標代表構件使用至今之破壞現況，主要以其材料強度損失及變形能力之變化為主要考量依據；而整體結構破壞指標則結合結構使用之功能性做整體之考慮，其表示如下：

$$\Phi = \frac{2}{M}\sum_{e}^{M}[(\phi_r/\phi_l)\cdot\exp(-\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3/100)]_e \quad \text{..... (4-16a)}$$

或如下式，若相互銜接之構件為同一型式之構件，如均屬版狀構件，或均為樑構件時

$$\Phi = \frac{1}{M}\sum_{e}^{M}[\exp(-\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3/100)]_e \quad \text{..... (4-16b)}$$

式中，M 為結構體中屬於主結構構件之總數

ϕ_l = 結構設計之荷載因子，由鋼筋混凝土之原設計資料得出

ϕ_r =結構設計時與構件型式相關之減強因子，同樣可由鋼筋混凝土之原設計資料得出

$\alpha_1 = D_e$ 現況破壞係數，為個別構件之現況破壞指標。

$\alpha_2 = 5.0/\alpha_\delta;\ \ \alpha_\delta = \beta_1\cdot\beta_2\cdot\beta_3\left(\frac{\delta_u}{\delta_e}\right)$ 延展性係數，為延展性相關係數，與延展性線材（鋼筋）斷面損失β_1、構件材料（混凝土）劣化情形β_2及延性及脆性材料間接合情形β_3有關；範圍為 1.0~5.0。其中：β_1= (1－線材斷面損失率)；β_2 ＝（d-劣化深度)/d，β_2 ＝ 1 當材料無劣化現象時；β_3=1 材料間結合良好時。β_1為鋼筋斷面損失係數，但一般來說鋼筋斷面損失不容易測出。本計畫中以腐蝕電位之數據及其與腐蝕機率之關係，推估其與斷面損失之關係式來計算。當腐蝕機率為中時、假設其斷面損失為 5%；當腐蝕機率為高（電位達-350mV 更負時)、則假設其斷面損失為 10%；若腐蝕機率為高且腐蝕電位達-450mV 以上時、假設每增加-10mV 之腐蝕電位則其斷面損失增加 1%。

α_3 = 現場實測數據變異係數，其值依變異數而定，為 1~4 之範圍。

以上與整體結構破壞指標相關之係數列於表 4.14。

表 4-14 整體結構破壞指標相關之係數

參數	範圍	定義	判斷依據
$\alpha_1 = D_e$	≥1.0	構件現況破壞係數	依檢測數據計算
$\alpha_2 = \frac{5}{\alpha_\delta}$	≥1.0	延展性係數	依檢測數據計算
α_3	1.0~4.0	實測數據變異係數	為 1,2,3,4 當變異值分別為 <10%；或介於 10%~20%之間；或介於 20%~30%之間；或＞30% 時
$\alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e}\right)$	1.0~5.0	延展性損失係數	$5 \geqq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e}\right) \geqq 1$
$\beta 1$	≦ 1	延展性線材（鋼筋）斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
$\beta 2$	≦ 1	構件材料（混凝土）劣化係數	(d－材料劣化深度)/d
$\beta 3$	≦ 1	材料間接合係數	(1－接合損失率)

(3) 整體結構安全評估指標（safety capability S_d）

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi \quad \text{.....(4-17)}$$

上式中 S_n 為設計時之標稱強度(nominal strength)，例如所使用之材料強度；S_d 則為設計時實際所用之強度(design strength)，如混凝土材料使用工作應力法設計時以 0.45 倍之標稱強度設計之，使用強度設計法時則以 0.85 倍之標稱強度設計之。若檢測之數據經過以上之過程運算後，能滿足整體結構安全評估指標，則結構在使用上為安全，僅需做日常維修即可，若否則必須做進一步較大規模之維修或更複雜之改建或重建等。

若單獨以Φ值作安全判定時，其與結構安全之相關性建議如下：

Level 1： Φ值≧0.85 時，結構基本為安全僅需日常檢測維修即可。

Level 2： 0.85＞Φ值≧0.68 時，結構安全有局部威脅，需進一步進行檢修，但仍可使用。

Level 3： 0.68＞Φ值≧0.50 時，結構安全有重大問題，應停止使用或做即時監測並進行大型檢修。

Level 4： Φ值＜0.50 時，結構已重大毀損為不堪用狀態，應立即停止使用並考慮重建計畫。

4.4.2 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估分類

棧橋式碼頭的主結構體主要包含碼頭岸壁、版結構、樑結構及基樁結構。其中碼頭岸壁視面板結構而定、一般棧橋式碼頭中與版結構為一體，其上則裝置避免船隻與碼頭產生激烈碰撞之防舷材。因此、主結構體將僅包含版、樑及基樁三大部分。

版結構之檢測包括上方之面板、底板及版樑連結處。樑則包括大樑(girder)、小樑(beam)、或其他型式如格子樑等構造，檢測時除了樑身本體之外、與其他構造之連結處亦必須注意。基樁則包含樁體及樁頭等。而在檢測時可區分為大部檢測及細部檢測兩個過程，其中大部檢測以構件及結構體是否產生明顯位移、傾斜、或變形或破壞為主，檢測時基本上為目視或佐以簡單之儀器進行之。細部檢測時除了大部檢測之相關項目之外（考慮目視檢測之準確性不足時必須以較精確之儀器進行之），則包含了材料劣化、構件斷面損失、構件間連結不足、或者環境及其他外力造成之損壞等。

結構在進行細部檢測時，依材料不同而有不同之檢測方法（在第二章中已介紹），由於台灣各港口中，大部分的碼頭結構物均以結構鋼及鋼筋混凝土為主要之工程材料，棧橋式碼頭亦同。因此、在細部檢測中，針對不同構件規劃出檢測點、檢測數量及項目後，所檢測之結果即納入分屬不同材料之評估方式，進行結構安全評估。

表 4-15 為依據交通部相關研究資料所修訂之棧橋式碼頭檢測表(B1 表，B 為 bridge type)。本修訂之表格有三項特點：1.為按照不同

型式之碼頭分別制訂檢測項目、2.為檢測分項中以構件進行分類、3.為材料及斷面等細部檢測之項目另定表格（為 B2 表）。

表 4-15 棧橋式碼頭檢測表(B1 表)

碼頭基本資料	隸屬港口：		碼頭編號:		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高：	長度： 縱深：	水域深度	原設計： 目　前：	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☐ 其他			
	基樁構造型式	☐ 鋼管樁 ☐ RC 樁 ☐ PC 樁 ☐ 其他			
	上次檢測	時間： 單位： 區分： 結果：			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	B01 碼頭基樁				
	B021 基樁頭				
	B022 基樁體				
	B02 碼頭法線				
	B021 平直度				
	B022 垂直面				
	B023 伸縮縫				
	B03 碼頭面版				
	B031 大樑				
	B032 底板				
	B033 面板				
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ =			
非主結構設施破壞檢測	B11 護舷材				
	B12 繫船柱				
	B13 擋車牆				
	B14 排水給水設備				
	B15 照明設施				
	B16 油電管路				
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ =			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ =			
檢測單位：		檢測人：		檢測時間： 月 年	

※式中 D 之評估值可參照第一節敘述填寫，E 為所佔範圍%×10 以整數 0 到 5 表示，R 值之影響則視構件重要性而訂定。

4.4.3 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估實例分析

在前一節中，無論單一構件或整體結構破壞指標中所使用之係數，大部分都必須經由檢測數據中而得出。目前 RC 結構之破壞情形檢測工作中，若以構件型式區分後，各種構件之檢測項目大致可歸納為三大部分：1.為混凝土強度相關檢測、2.為混凝土構件斷面相關檢測、3. 為鋼筋相關檢測包括腐蝕速率、斷面損失及腐蝕電位等。如何將這些檢測結果回歸至結構設計之理念，以便於對結構之現況針對其安全性或功能性進行評估，為本節之重點。

其計算方式依本計畫中高雄港#118 號碼頭之現場檢測資料做示範性之試算（如表 4-16），並說明如下：

1.構件破壞指標 (member damage index, D_e) 之試算

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p \mathrm{E}_i^e \qquad \text{..... (4-18)}$$

$\sum \mathrm{E}_i^e$ = 構件 e 破壞前累計吸收之應變能量

表 4-6 各構件破壞指數計算表

Members	d(cm)	(kd)(cm)	Si(cm)	θ_i	σ_i(kgf/cm^2)	Avg.E_i	D_e
#1-E3	25	5.3	0.2643	0.013416	450.6	2.871	3.87
#2-F4	25	2.2	0.1011	0.004434	550.0	0.800	--
#2-F7	25	2.8	0.0785	0.003536	572.2	0.615	1.71
#3-F2	25	3.4	0.2833	0.013116	584.7	2.232	3.23
#4-E5	25	4.2	0.311	0.014952	465.1	3.121	--
#4-E6	25	3.7	0.0516	0.002423	585.2	0.412	2.77
#5-F1	25	4	0.1457	0.006938	529.6	1.297	--
#5-F4	25	1.8	0.0981	0.004228	505.9	0.823	2.06
#6-F2	25	2.4	0.032	0.001416	554.8	0.253	--
#6-F3	25	3.2	0.0981	0.0045	465.2	0.939	1.59
#7-F3	25	2.7	0.032	0.001435	479.8	0.292	--
#7-F4	25	4.1	0.1685	0.008062	574.7	1.395	1.84
			Max.	0.014952	585.2		
			Avg	0.00654	536.5		

δ_{Me} = 外力作用下，e 構件之最大變形量

$\delta_{Me} = Max(\delta_{est.i})$ =0.014952

D_e 值計算

在δ_{ue}值無法事先得知時，可以相關材料之經驗值代入，或以實測所得之最大變位數據$\delta_{Me} = Max(\delta_{est.i})$代入之；$Q_{ye}$值之計算亦同以實測最大值。本試算例中暫以此方式行之，則 De 值之計算結果如表格中所示。

2.整體結構破壞指標 (structural damage index,Φ)

$$\Phi = \frac{2}{M}\sum_{e}^{M}[(\phi_r/\phi_l)\cdot\exp(-\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3/100)]_e \quad \text{..... (4-19)}$$

其中 β1 為鋼筋斷面損失係數，但一般來說鋼筋斷面損失不容易測出。本計畫中以腐蝕電位之數據及其與腐蝕機率之關係，推估其與斷面損失之關係式來計算。計算 Φ 值時，若均為同類型構件時，其式可簡化（如表 4-17），並得到計算結果如下：

$$\Phi = \frac{1}{M}\sum_{e}^{M}[1\cdot\exp(-\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3/100)]_e = 0.888 \text{ .....(4-20)}$$

表 4-17 整體破壞指標所需參數值

Member	β1	β2	β3	$\beta_1\cdot\beta_2\cdot\beta_3$	α1	α2	α_3
#1	0.9	0.92	1.0	0.828	3.87	2.013	3
#2	0.9	0.98	1.0	0.882	1.71	1.89	1
#3	0.9	1.0	1.0	0.9	3.23	1.852	2
#4	0.9	0.92	1.0	0.828	2.77	2.013	4
#5	0.95	0.98	1.0	0.931	2.06	1.79	1
#6	0.9	0.96	1.0	0.864	1.59	1.929	3
#7	0.9	0.92	1.0	0.828	1.84	2.013	3
Σ							

3.整體結構安全評估指標 (safety capability Sd)

$$S_d \le S_n\cdot\Phi \quad \text{..... (4-21)}$$

若為強度設計法、則 S_d 值為 0.85fc’ 。目前試算的結果（在相當有限的檢測數據及設計參數下），#118 號碼頭之 Φ 值經代入公式計算

後得出為 0.88。當 Φ 值為 0.88 時表示結構位於第一級之安全程度，亦即僅需進行日常檢測作業即可。

4.5 小結

1. 正常的 RC 結構物會因為暴露環境的不同而遭受各種類型物理或化學性質的侵蝕，使結構體產生劣化或是破壞等現象。而混凝土在設計時，必須考慮到強度以及耐久性，如混凝土抵抗風化作用、化學侵蝕、磨損及其他劣化過程的能力，在不同暴露環境下仍然能夠保持本身的幾合尺寸、物理力學性質與服務性。RC 結構物的耐久性判斷，可以分為混凝土材料的劣化與鋼筋材料的腐蝕兩個部分。

2. 本研究檢測方式包含非破壞性如反彈錘及破壞性檢測如鑽心取樣、氯離子檢測分析及混凝土中性化等。反彈錘試驗結果顯示，包含磨耗層之混凝土推估強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層部份則有較高之強度，無磨耗層之混凝土推估強度約為有磨耗層之兩倍。

3. 鑽心試體抗壓及反彈錘強度試驗之結果一併比較，無磨耗層之反反彈錘強度試驗之平均值約較鑽心試體抗壓試驗之強度值大約 10%。，本研究利用鑽心取樣的試體進行混凝土中性化試驗，結果顯示其中性化之深度最大達 2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。氯離子濃度檢測顯示，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。現場腐蝕電位量測結果顯示，上層面版平均電位值介於-216~-318(mv)，下層底樑平均電位值介於-312~-413(mv)，下層底樑比上層面版腐蝕機率相對較高。岸肩護欄外露鋼筋之腐蝕電位量測，平均電位值介於-492~-532(mv)，已超過高腐蝕機率許多。

4. 本研究研提與傳統 DER 不同之新安全評估方法，該方法結合了結構力學理論及混凝土材料之特性，得以將儀器檢測之數據做較系統性之應用，減少因目視檢測時人為產生之誤差，或觀測之現象與理論無法結合之現象。經所提出之安全評估公式分析後，若為強度設計法，則 S_d 值為 0.85fc'。目前試算的結果(在相當有限的檢測數據及設計參數下)，高雄港 118 號碼頭之 Φ 值經代入公式計算後得出為

0.88。當 Φ 值大於 0.85 時，表示結構之安全情形位於第一級之安全程度，亦即除了需進行日常檢測之外，結構應無破壞之安全顧慮。

5. 碼頭之現場檢測如採傳統檢測方法，通常需借由訓練有素之人力及耗費大量之經費，以及適當堪用之儀器方能達成。如何採用有效或較不耗費大量人力，即能獲知碼頭建造材料之腐蝕及劣化或構件破壞情形，應為未來從事碼頭新建時應予考慮之課題，故碼頭維護管理工作項目應在新建時即已納入設計考量，如此，將可避免未來檢測或維護出現困難之現象。

6. 本研究研提並推導了一與傳統之評估方法大為不同之新安全評估方式，其與實驗室中推估出來之破壞指標較為接近。由於係首度應用在港灣結構物之安全檢測評估，其正確性仍需賴後續在實驗室建立實際模型進行相關試驗，取得各破壞試驗過程中之真實數據，代入評估方法進行比較，並經參數校正後，方能進一步確定其應用性。此外，針對腐蝕相關參數之使用，除了腐蝕電位之外，亦可應用腐蝕電流作為參數，進一步修正本研究之新安全評估模式。

7. 有關安全檢測評估方法，建議未來可以目視檢測及適用於陸上之簡單儀器，配合 DER 評估法進行初步檢測；細部檢測、特別檢測或針對特別構件之檢測，則需依據碼頭型式，利用儀器並由潛水人員進行水下檢測實施。

第五章 構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究（2/2）

5.1 計畫背景分析

5.1.1 計畫目的

本研究計畫的主要目的為持續進行三處具有腐蝕特性地點的大氣腐蝕調查與研究，實施不同金屬試片的現地暴露試驗，研擬無機塗裝-熱噴覆防蝕規範草案(本報告將工程界常用之“熔射一詞依「CNS14513腐蝕及腐蝕試驗詞彙」規範統一為“熱噴覆”），提供構造物耐久性與防蝕設計的須要，完善臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫的建立。

5.1.2 計畫之重要性

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高溼與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。本所港灣技術研究中心於 2007 年起展開為期兩年之「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」計畫，已初步完成大氣腐蝕試驗點與大氣腐蝕資料庫的建立，但因調查時間僅為兩年，仍缺乏長期暴露之腐蝕速率數據與防蝕規範。因此，自 2009 年起於本計畫中規劃三處具有腐蝕特性的地點，進行為期 10 年的現地暴露試驗，以驗証 ISO 9224 規範在臺灣本島之適用性。此外，本計畫第一年度(2009 年)已依據國際標準組織 ISO 12944 規範，研擬有機塗裝的防蝕規範草案；本年度則將依據美國腐蝕工程師協會(National Association of Corrosion Engineering, NACE International)之規範” NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00”以及 ISO 相關規範研擬無機塗裝熱噴覆的防蝕規範草案，以提供構造物耐久性與防蝕設計的參考，完善臺灣地區構造物腐蝕環境分類資料庫的建立。

5.1.3 國內外有關本計畫之研究情況

1. ISO 大氣腐蝕測試規範與標準

(1) ISO 大氣腐蝕環境分類

大氣腐蝕測試工作有系統之進行，最早可溯及美國ASTM的D-1及A-1兩委員會自1906年起分別測試塗料塗裝及金屬被覆之鋼鐵產品，自此開始美國便陸續展開數個二十年計畫分別測試當時最新產品的大氣腐蝕耐蝕性及耐久性。國際標準化組織-ISO於1985年起於全球13國47處地點進行大氣腐蝕暴露試驗，根據這試驗工作成果，於1992年發佈ISO 9223[1](大氣腐蝕性分類)、ISO 9224[2] (各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225[3] (污染量量測方法)、及ISO 9226[4] (標準試片腐蝕率量測方法)四項標準規範，根據這四項規範，只要在欲工作地點從事一年期之標準試片腐蝕率量測或潤濕時間量測及總污染量量測，根據量測結果，即可定義該處的腐蝕環境區分，再根據對照表即可得到該腐蝕環境區分之腐蝕率指標值。換句話說，ISO 9223大氣腐蝕性分類標準是根據金屬標準試片在某環境中進行自然暴露試驗所得之腐蝕速率，或綜合某環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類，其中，潤濕時間(τ，Time of Wetness)是以全年中溫度高於0 ^{o}C，相對濕度大於80%之小時數或百分比來區分，環境中大氣污染物濃度的嚴重性則是以SO_2沉積速率或濃度與氯化物(海鹽)沉積速率分別進行區分，之後，將環境之腐蝕性依污染量或最初第一年之腐蝕率大小，分為C1, C2, C3, C4與C5五個等級，C1表示腐蝕性非常低(very low)，C2表示腐蝕性低(low)，C3表示腐蝕性中等(medium)，C4表示腐蝕性高(high)，C5表示腐蝕性非常高(very high)。整體流程如圖5.1所示。

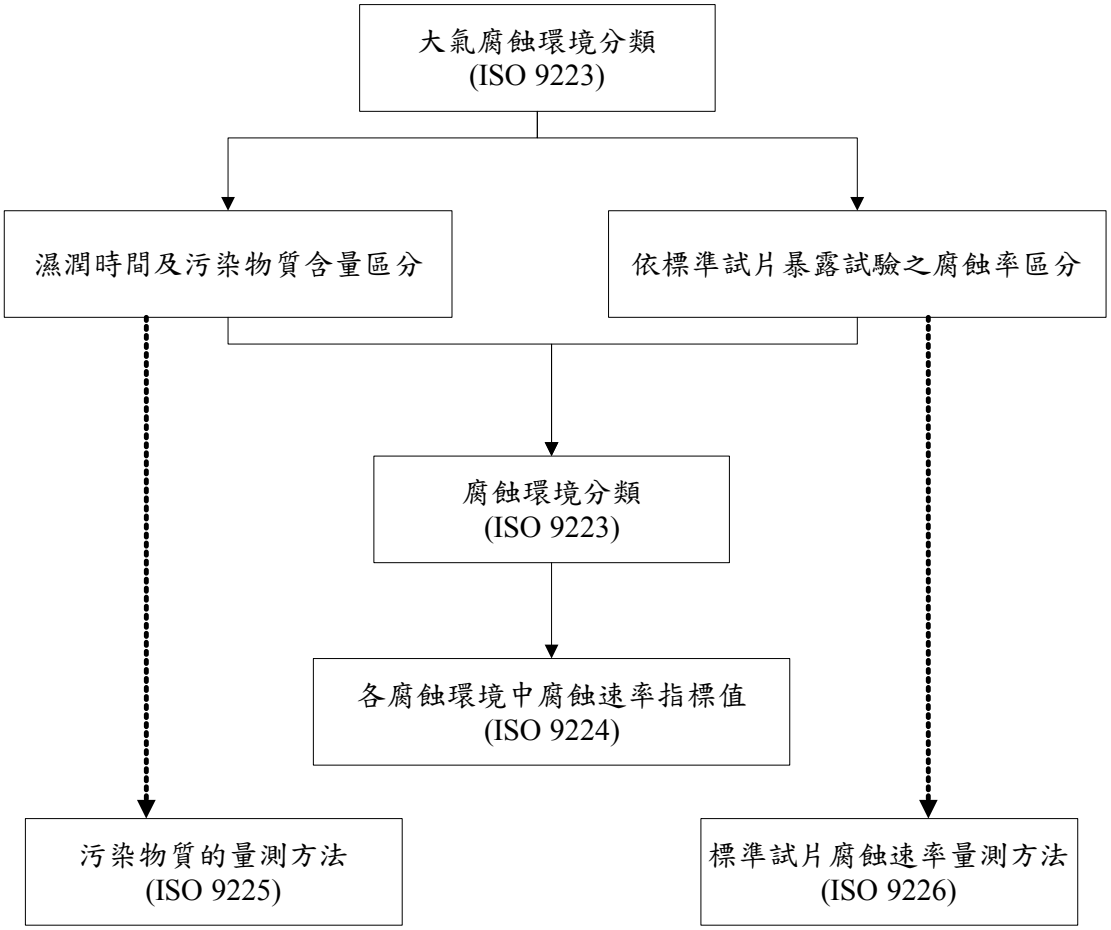


圖 5.1 ISO 大氣腐蝕環境分類

(2) 中華民國國家標準- CNS 標準

有鑑於大氣腐蝕測試的重要，經濟部標準檢驗局於民國83年起依據國際標準化組織-ISO規範(ISO 9223、ISO9224、ISO 9225、ISO 9226、ISO8565[5])，制定一系列之「金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性」國家(CNS)標準，包括CNS13401[6]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753[7]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，CNS13754[8]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122[9]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，CNS14123[10]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)等五項標準。其中針對大氣腐蝕劣化因子所須的環境資料，於

CNS14123中規定，須具備氣溫(^{o}C)、相對濕度(%)、降雨量(mm/day)、日照幅射的時間及強度、二氧化硫沉積量(CNS 13754，mg/m^2/day or mg/m^3)、與只適用於海邊測試場地之氯鹽沉積速率(CNS 13754，mg/m^2/day)等參數；其他因素，如降雨時間、濕潤時間、風速及風向、雨水pH值、氣體量及特殊的污染物等，皆可依測試條件的要求而加以蒐集量測。此外，在進行戶外暴露實驗時，因開始暴露的季節不同會造成腐蝕速率的不同，所以CNS14123中建議，長期或短期的暴露測試應在腐蝕速率最高的時期(如春、秋季)開始進行。

2. 國內大氣腐蝕研究概況

臺灣地區從事大氣腐蝕試驗的眾多研究單位中以臺灣電力公司最早，自1971年起先後於金山、鹽寮、七美風力發電廠址等地進行兩年期的金屬材料及塗料塗裝耐蝕性基本資料調查。金屬工業研究所(目前已併入工業技術研究院)在1971年左右亦曾在彰濱一帶從事塗裝耐蝕性暴露試驗調查，惟資料已流失。工業技術研究院工業材料研究所自1983年起與臺灣電力公司合作也開始在林口、澎湖、陽明山、大屯山及其它多處地點從事1~5年不等的金屬材料及塗裝系統之暴露試驗。臺灣大學自1987年起與臺灣電力公司合作探討腐蝕因子與金屬腐蝕率之關係。中華電信研究所在1984年曾進行為期二年之暴露試驗，探討保安盒外殼中密度聚丁烯、及鍍鋅、鍍鋁、55% 鍍鋁鋅鋼絞線的耐久性及耐蝕性。中國鋼鐵公司大約自1990年起配合鋼材開發需求，開始從事較有系統之鋼鐵材料大氣耐蝕性試驗，數據累積已有10年以上，但試驗地點偏少，尚難完全界定在各種腐蝕環境下之耐蝕性。中山科學研院於1987~1990年在台北市各區利用A.C.I、M.C.I、I.C.I 等三種腐蝕指標試驗裝置，廣泛調查台北市各地大氣腐蝕類性變化，惟試驗佈放密度不足，無法得一理想之等位線圖，僅能依行政區劃分標示其腐蝕類型。綜合言之，1990年以前各單位從事現地大氣腐蝕暴露試驗的研究頗多，可惜無系統性的調查，數據多為定性或半定量，且多無三年以上的試驗數據，以致在試驗結果上整合困難，難以轉化成基本資料。

2001年，工業技術研究院材料與化工研究所受內政部營建署委託

執行「臺灣地區結構物腐蝕潛勢分區研擬」計畫，主要工作內容為協助規劃全國大氣腐蝕試驗(含試驗項目、試驗場址選擇等)，惟一年後因經費問題而未執行相關試驗工作。2004至2005年，工研院材化所協助臺灣高鐵公司進行高鐵沿線大氣腐蝕調查工作，評估熱浸鍍鋅鋼材與軌道碳鋼扣件之大氣腐蝕狀況並進行服務壽命計算；有別於現地大氣腐蝕暴露試驗，工研院材化所於計畫執行期間首次採用 ISO 9223環境因子分類方法，依據中央氣象局公佈之相對濕度資料、環保署公佈之SO_2濃度與過去各單位調查研究之氯離子沉積速率，進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類，並比較過去現地暴露試驗之結果。惟估算時使用之氣象與空氣污染資料僅止於2000年，且無SO_2與氯鹽沉積量之實際量測數據，因此多數地區僅推估出一概括性的大氣腐蝕環境分類。2007年3月起迄今，工研院材化所執行交通部運研所港灣技術研究中心委託「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」計畫，針對臺灣全島地區進行大氣腐蝕劣化因子調查，建置氯鹽沉積量調查77個試驗點，二氧化硫沉積量調查54個試驗點，現地暴露試驗調查88個試驗點；目前已完成1年的調查與分析工作，探討季節與區域性之大氣腐蝕因子與金屬腐蝕速率變化的關係，並初步建立臺灣「本土化」之大氣腐蝕數據資料庫。2009年起，交通部運研所港灣技術研究中心除依循2007年建置的試驗方法持續在全國進行歷年的大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗外，更規劃為期10年的長期現地暴露試驗，即結合中華民國防蝕工程學會、中華民國鋼構協會、成功大學、臺灣科技大學與民間產業公司，在臺灣、澎湖與金門等地建置14個大氣腐蝕試驗站，針對碳鋼、鋅、銅與鋁四種金屬進行長期的現地暴露試驗。2009年3月，工研院材化所執行交通部運研所港灣技術研究中心委託「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究 (1/2)」計畫，除規劃臺中梧棲濱海地區、麥寮濱海與工業地區以及溪頭鄉村地區三處進行10年期的現地暴露試驗外，更依據國際標準組織ISO 12944規範，研擬有機塗裝防蝕規範草案，期能建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫及塗裝防蝕規範。

5.2 研究範圍、目的與方法

5.2.1 研究內容與工作項目

本計畫為期兩年，主要工作項目為進行長期大氣腐蝕速率研究與研擬有機塗裝防蝕規範草案，以提供構造物耐久性與防蝕設計的需要，完善臺灣地區構造物腐蝕環境分類資料庫的建立。本年度的工作項目如下：

1. 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。
2. 現地金屬試片暴露試驗：持續三處具有腐蝕特性的地點，依據 ISO 9223 之試片，實施 10 年期之現地暴露試驗，評估其長期腐蝕速率並驗證其與 ISO 9224 之適用性。
3. 資料蒐集與分析：依據現地取樣與試驗調查結果，進行第二年試驗之腐蝕分析探討。
4. 大氣腐蝕因子資料庫維護：將本年度各項研究成果，持續增建或修正於港研中心之大氣腐蝕因子資料庫內，且測點資料需可應用 Googl Map 網路工具顯示。
5. 無機塗裝防蝕規範草案研擬：依據 NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 或 ISO 相關規範，研擬無機塗裝熱噴覆防蝕規範草案。
6. 港灣構造物陰極防蝕準則草案增修：檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之現有內容，增修近年來國外新開發之陰極防蝕工法或材料，及檢討草案之完整性。

5.2.2 研究方法及進行步驟

計畫作業流程圖如圖 5.2 所示。

1. 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析

本年度將持續蒐集國內外大氣腐蝕測試與塗裝防蝕系統之相關規

範與文獻(包括 ISO 與 NACE International 等)，整理分析相關要點。

2. 現地金屬試片暴露試驗

(1) 金屬試片

(a) 試片種類：碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬，各金屬成份依據 CNS 13753 (ISO 9226)規範準備，即 1)碳鋼：非合金碳鋼(Cu=0.03~0.10%, P＜0.07%)，2)鋅：98.5%以上之純度，3)銅：99.5%以上之純度，4)鋁：99.5%以上之純度。

(b) 試片尺寸：依據 ASTM G 50-76，長度 150 mm、寬度 100 mm、厚度 5 mm 的試片。

(c) 試驗期程：10 年。

(d) 取樣頻率：6 次，即第 1、2、3、5、8、10 年每年一次。

(e) 試片數量：以重量損失法進行腐蝕速率量測，每一試驗點各金屬各需 24 片試片(每次取樣 3 片，重複取樣 6 次，5 片備用，1 片為對照) ，共 96 片試片。

(f) 試驗地點：選擇足以代表本島不同腐蝕環境之區域，如腐蝕嚴重的鹽害區、工業區，以及腐蝕較輕微的鄉村區(對照組)等 3 處。鹽害區原選定為臺中火力電廠，但於 2009 年 6 月 24 日更改至交通部運研所港灣技術研究中心(梧棲)設置，工業區選擇兼具鹽害影響的麥寮工業區，而鄉村區則為溪頭森林區。

(g) 大氣暴露試驗架設置：大氣暴露試驗架依據 ASTM G50-76 標規範設置；試驗架離地距離大於 760 mm，試片設置角度與垂直面成 30^{o} 角且面向南方，試片固定座採用絕緣材料。

(2) 腐蝕速率計算

碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬試片之大氣腐蝕速率量測將依據 CNS 14122 (ISO 8407)金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。腐蝕速率 R_{coor} 單位

是以 μm/y 表示，計算公式如下：

$$R_{coor} = \Delta m / (A \cdot \rho \cdot t) \quad \text{.....(5-1)}$$

式中， Δm=質量損失(g)

A=試片暴露面積(m^2)

t=暴露時間(year)

ρ=金屬材料之密度(g/cm^3)，各種金屬之密度值如下

鋼=7.86 g/cm^3

鋅=7.14 g/cm^3

銅=8.96 g/cm^3

鋁=2.70 g/cm^3

3. 資料蒐集與分析

依據現地取樣與試驗調查結果，進行第二年試驗之腐蝕數據分析探討。

4. 大氣腐蝕因子資料庫維護

結構材料大氣腐蝕是結構物工程設計的重要參考數據，本研究團隊在2007年至2009年執行「臺灣地區大氣腐蝕劣化因數調查研究」計畫期間已建立大氣腐蝕因子資料庫，架構如下：

(1) 關於本計畫：主要是介紹本計畫的背景，使用的規範、大氣腐蝕環境分類的量測方法。另外亦說明試片材料的選取製作及試片取樣頻率。

(2) 國內資料蒐集分析：主要是由氣象局與環保署之氣象資料與空氣監測資料為主，透過專業的分析判斷，以盒鬚圖的方式呈現，讓使用

者可以快速的了解臺灣過去 10 年的氣象與空氣概況。

(3) 現地試驗資料：包括季節性與一年期之腐蝕因子如濕潤時間、氯鹽沉積速率與二氧化硫沉積速率，以及碳鋼、鋅、銅、鋁金屬之腐蝕速率分析比較。

(4) 專家數據庫：此為會員專區，須輸入帳號跟密碼，才可進入該系統。將分析結果以圖資方式配合臺灣地圖導入，提供設計與維護管理人員快速查詢的功能，以擷取所需之本土化資訊。

因2009年資料庫完成的管理介面中，對於數據資料之後端管理介面已經具備雛形，但在前端部分的資料呈現，仍維持2008年設計的方式，此方式雖能提供資料顯示，但呈現的方式較為分散；且根據靜態的臺灣地圖圖片標示出監測點的位置，若無動態縮放的功能，會使密集的監測點無法有效地呈現，且監測點附近的地貌以及地區狀況亦無法有效展示。故本年度資料庫的發展目標，除依據本年度的研究成果，增建或修正已建立之大氣腐蝕因子資料庫外，並發展使用目前全球網路風行之Google Map，使大氣腐蝕系統資料庫得與Google Map工具有效整合，進而可將資料庫數據有效地呈現於使用者面前。

5. 無機塗裝防蝕規範草案研擬

依據 NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00[11]與 ISO 熱噴覆相關規範研擬無機塗裝熱噴覆防蝕規範草案。NACE No. 12/AWS C2.23M /SSPC-CS 23.00 之規範之主要內容包括：

1. General
2. Referenced Documents
3. Definitions
4. Summary of Practice
5. Surface Finish Requirements
6. TSC Requirements
7. TSC Application Procedure

8. TSCApplication

9. Application of Sealers and Topcoats

10. Records

11. Debris Containment and Control

12. Work Procedures and Safety

13. Documentation

14. Contract Pre-Award Evaluation, Demonstration, and Validation

15. TSC Applicator Warranty

ISO熱噴覆相關規範包括：

1. ISO 2063:2005[12], Thermal spraying- Metallic and other inorganic coatings- Zinc, aluminium and their alloys
2. ISO 14922-1:1999[13], Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 1: Guidance for selection and use
3. ISO 14922-2:1999[14], Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 2: Comprehensive quality requirements
4. ISO 14922-3:1999[15], Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 3: Standard quality requirements
5. ISO 14922-4:1999[16], Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 4: Elementary quality requirements

6. 港灣構造物陰極防蝕準則草案增修

檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之現有內容，增修近年來國外新開發之陰極防蝕工法或材料，並檢討草案之完整性。

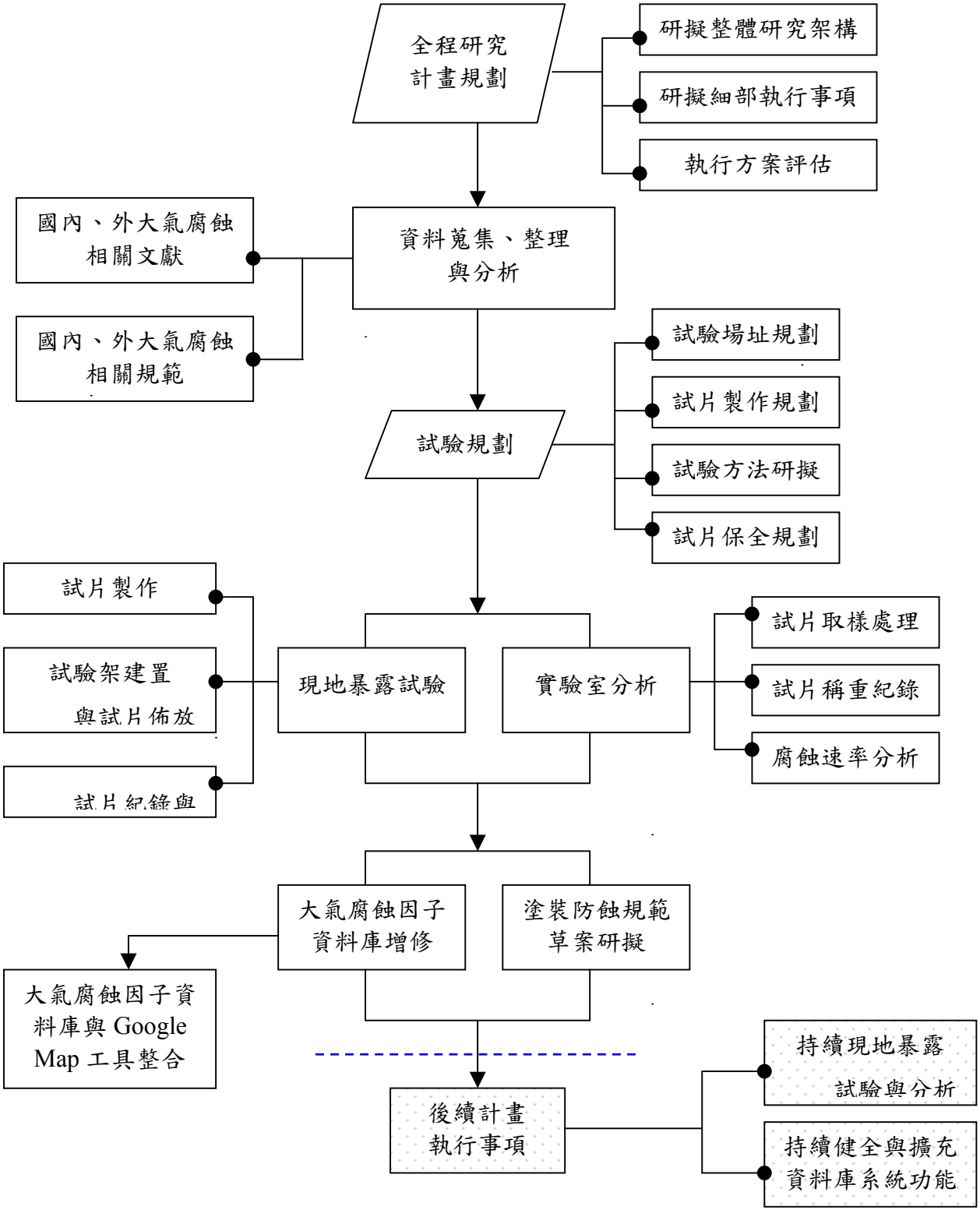

全程研究
計畫規劃
研擬整體研究架構
研擬細部執行事項
執行方案評估
國內、外大氣腐蝕
相關文獻
國內、外大氣腐蝕
相關規範
資料蒐集、整理
與分析
試驗場址規劃
試片製作規劃
試驗規劃
試驗方法研擬
試片保全規劃
試片製作
試驗架建置
與試片佈放
試片紀錄與
現地暴露試驗
實驗室分析
試片取樣處理
試片稱重紀錄
腐蝕速率分析
大氣腐蝕因子
資料庫增修
塗裝防蝕規範
草案研擬
大氣腐蝕因子資
料庫與 Google
Map 工具整合
後續計畫
執行事項
持續現地暴露
試驗與分析
持續健全與擴充
資料庫系統功能

圖 5.2 計畫作業流程圖

5.3 文獻回顧

5.3.1「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究 (1/2)」研究成果

1. 現地金屬試片暴露試驗

金屬的腐蝕速率在初期暴露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值；表 5-1 即為 CNS 13401 規範中以各金屬最初第一年之腐蝕速率來區分腐蝕環境，表中除鋁金屬外，碳鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率單位均可以 μm/yr 表示；主要原因是因碳鋼、鋅、銅金屬在大氣環境中的腐蝕現象為均勻腐蝕，但鋁金屬則為局部腐蝕，所以鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率可以 μm/yr 表示，但鋁的腐蝕速率須以 $g/m^2/yr$ 表示。現地暴露一年期之各金屬試片的腐蝕速率計算結果如表 5-2 所示。

檢視表中的數據，碳鋼試片在麥寮工業區的腐蝕速率有一片為 115.58 μm/yr，與同一位址其他試片的腐蝕速率(72.39μm/yr 與 72.71 μm/yr)相較有異常的現象，因此 2009.11.19 於現場再收取另一片試片進行腐蝕速率量測，其值為 79.93 μm/yr，與兩片試片量測所得之 72.39μm/yr 與 72.71 μm/yr 相近。檢視先前腐蝕速率量測為 115.58 μm/yr 的試片，發現該試片邊緣局部有被敲擊的現象，推論應是在試片收取時，為鬆脫試片而以鐵鎚敲打，以致試片有所損傷而造成腐蝕速率計算異常。日後收取試片時，將避免類似情形發生。若剔除異常數據，98 年度麥寮試驗場址碳鋼的平均腐蝕速率為 75.01 μm/yr。

綜言之，碳鋼金屬在麥寮工業區、溪頭森林區與梧棲港研中心一年的平均腐蝕速率分別約為 75.01 μm/yr、14.72 μm/yr 與 105.32 μm/yr；鋅金屬的平均腐蝕速率分別約為 4.91 μm/yr、1.76 μm/yr 與 9.03 μm/yr；鋁金屬的平均腐蝕速率分別約為 7.96 $g/m^2/yr$、3.88 $g/m^2/yr$ 與 7.43 $g/m^2/yr$；而銅金屬的平均腐蝕速率在麥寮工業區與溪頭森林區分別約為 5.55 μm/yr 與 1.16 μm/yr。換句話說，依據 ISO 9223，在腐蝕嚴重的麥寮工業區，碳鋼、鋅、銅、鋁之大氣腐蝕環境分類分別為 C4、C5、C5、C5；臺中火力電廠與梧棲港研中心鹽害區之碳鋼、鋅、鋁大氣腐蝕環境分類分別為 C5、C5+(腐蝕速率超過 ISO 9223 中 C5 等級所定義

之腐蝕速率)、C5；至於鄉村的溪頭森林區，碳鋼、鋅、銅、鋁之大氣腐蝕環境分類則分別為 C2、C3、C3、C4。各金屬之大氣腐蝕環境分類結果如表 5-2 所示。

表 5-1 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

腐蝕性分類	腐蝕速率 (γ_{corr})				
	單 位	碳 鋼	鋅	銅	鋁
C1	g/m^2 /yr μm/yr	$\gamma_{corr}\leq 10$ $\gamma_{corr}\leq 1.3$	$\gamma_{corr}\leq 0.7$ $\gamma_{corr}\leq 0.1$	$\gamma_{corr}\leq 0.9$ $\gamma_{corr}\leq 0.1$	可忽視 —
C2	g/ m^2 /yr μm/yr	$10<\gamma_{corr}\leq 200$ $1.3<\gamma_{corr}\leq 25$	$0.7<\gamma_{corr}\leq 5$ $0.1<\gamma_{corr}\leq 0.7$	$0.9<\gamma_{corr}\leq 5$ $0.1<\gamma_{corr}\leq 0.6$	$\gamma_{corr}\leq 0.6$ —
C3	g/ m^2 /yr μm/yr	$200<\gamma_{corr}\leq 400$ $25<\gamma_{corr}\leq 50$	$5<\gamma_{corr}\leq 15$ $0.7<\gamma_{corr}\leq 2.1$	$5<\gamma_{corr}\leq 12$ $0.6<\gamma_{corr}\leq 1.3$	$0.6<\gamma_{corr}\leq 2$ —
C4	g/ m2 /yr μm/yr	$400<\gamma corr\leq 650$ $50<\gamma corr\leq 80$	$15<\gamma corr\leq 30$ $2.1<\gamma corr\leq 4.2$	$12<\gamma corr\leq 25$ $1.3<$ $\gamma corr\leq 2.8$	$2<\gamma corr\leq 5$ —
C5	g/ m2 /yr μm/yr	$650<\gamma corr\leq 1500$ $80<\gamma corr\leq 200$	$30<\gamma corr\leq 60$ $4.2<\gamma corr\leq 8.4$	$25<\gamma corr\leq 50$ $2.8<$ $\gamma corr\leq 5.6$	$5<\gamma corr\leq 10$ —

資料來源：CNS 13401（ISO 9223）

表 5-.2　暴露一年期各金屬之腐蝕速率與腐蝕環境分類

佈放地點	碳鋼			鋅		
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類
麥寮工業區 120o13’23.2” 23o 48’18.9”	72.39	75.01 (剔除異常數據 115.58)	C4	4.69	4.91	C5
	115.58			5.18		
	72.71			4.87		
	79.93					
溪頭 120o 48’10” 23o 40’22”	15.38	14.72	C2	1.56	1.76	C3
	14.04			1.89		
	14.73			1.83		
港研中心 120o 31’46.4” 24o 16’15.2”	107.19	105.32	C5	8.07	9.03	C5+
	103.76			10.13		
	105.00			8.90		
佈放地點	銅			鋁		
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率(g/m2/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類
麥寮工業區 120o13’23.2” 23o 48’18.9”	5.39	5.55	C5	8.29	7.96	C5
	5.36			7.96		
	5.90			7.63		
溪頭 120o 48’10” 23o 40’22”	1.18	1.16	C3	2.66	3.88	C4
	1.07			3.33		
	1.23			5.66		
港研中心 120o 31’46.4” 24o 16’15.2”	-	-	-	4.73	7.43	C5
	-			8.44		
	-			9.11		

註： -表示試片遺失，重新佈放試片之暴露時間未滿一年

C5+表示腐蝕速率超過 ISO 9223 中 C5 等級所定義之腐蝕速率

2. 有機塗裝防蝕規範草案研擬

有機塗裝防蝕規範草案研擬為依據國際標準組織 ISO 12944 規範研擬，ISO 12944「塗料與清漆－鋼構造物防蝕塗料系統」[17]中總共包括以下部分內容：

第一部分 總則

第二部分 環境分類

第三部分 設計考量

第四部分 表面類型及表面處理

第五部分 保護塗料系統

第六部分 實驗室性能測試方法

第七部分 塗裝工程的施作與管理

第八部分 新建與維護作業說明書之制定

(1) ISO 12944-1，總則

ISO 12944 規範的第一部分為總則，介紹規範涵蓋的範圍、技術術語的定義、一般考慮與需求以及 ISO 12944 其他部份有關健康、安全與環境保護的資訊。塗裝系統適用於新建與既建鋼構造物，鋼構造物僅限於碳鋼或低合金鋼製造的構造物，功能僅針對腐蝕防治，不包含微生物、化學品、機械作用與火災影響的控制。一般而言，塗裝系統的種類為在環境溫度下乾燥和固化的塗料，但不包括粉末塗料，烘乾磁漆、熱固化塗料、乾膜厚度超過 2 mm 的塗層等、儲槽內襯以及表面化學處理的產品。值得注意的是，塗料系統的耐久性在 ISO 12944 規範中的定義為完工後到第一次維護要求的時間，可分為短期：2~5 年，中期：5~15 年與長期：15 年以上；而塗層的失效檢查與評估則是參考 ISO 4628-1 至 ISO 4628-5 來執行。

(2).ISO 12944-2，環境分類

ISO 12944 第 2 部分介紹腐蝕環境的分類，僅針對碳鋼與鋅金屬在大氣中以最初第一年之腐蝕率大小，區分為 C1, C2, C3, C4, C5-I, C5-M 六個等級，C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5-I 表示工業環境腐蝕性非常高(very high)，C5-M 表示海洋環境腐蝕性非常高(very high)。腐蝕環境分類於 ISO 9223 分為 C1-C5 五個等級，ISO 12944-2 分為 C1, C2, C3, C4, C5M 與 C5-I 六個等級，兩個規範中針對碳鋼、鋅、銅、鋁金屬於各等級內(C1-C5)的腐蝕速率完全相同，只是在 ISO 12944-2 中又針對碳鋼與鋅兩種金屬在 C5 等級中分為海洋環境 C5-M 與工業環境 C5-I，且 C5-M 與 C5-I 的腐蝕速率與 ISO 9223 中的 C5 完全相同。

此外，亦針對各腐蝕環境等級的區分介紹室內與室外環境，並給予定性的描述。而針對水與土壤環境的構造物，則以 Im1 表示淡水環境，Im2 表示海水或河海交界環境，Im3 表示土壤環境。

(3).ISO 12944-3，設計考量

ISO 12944 的第三部分為針對鋼結構構件的開口、間隙和裂縫、邊緣、焊縫等能夠達到理想的防蝕效果提出適當的設計考慮，並例舉適當與不適當的例子，利用圖例的方式說明結構元件和這些參數在塗料系統進行表面處理、塗漆、檢查和維修時容易產生的問題與保護方法；另外亦強調在設計階段時應考慮鋼結構在搬運、運輸與豎立的方式。

(4).ISO 12944-4，表面類型及表面處理

ISO 12944 的第四部分介紹被保護鋼結構物底材表面的類型與表面處理的方法(如機械、化學和熱處理)，包括表面處理級別、表面粗糙度、處理表面評定、鋼材的臨時保護、臨時或局部保護鋼材之表面處理、熱浸鍍鋅或電鍍鋅層的表面處理、金屬熱噴覆層的表面處理、其他塗層的表面處理以及影響環境因素等。此外，在噴砂、動力和手工工具處理等級方面，亦將 ISO 8501-1 與 NACE/SSPC 進行比較。

(5).ISO 12944-5，保護塗料系統

進行塗料系統設計時，必須考量結構物所處的腐蝕環境(ISO 12944-2)，是屬於新建結構物還是既建建結構物。ISO 12944-5 中針對使用塗料的種類有詳細的定義，附錄 A 表格 1-8 詳述在不同腐蝕環境(C2, C3, C4, C5-I, C5-M)塗裝系統選擇的建議，即根據粘結劑、primer 顏料、塗裝次數、乾膜厚度等參數，選擇配合使用的底漆、中間漆和面漆，進而構成所須的塗裝系統。2007 年已有更新的修正版。

(6).ISO 12944-6，實驗室性能測試方法

保護塗裝系統的性能需要在試驗室內進行測試評估後方能在鋼結構物上使用，尤其是鮮少使用經驗的塗裝系統。ISO 12944 第六部分包括了裸鋼與鍍鋅鋼材的塗裝系統測試，即在不同的大氣腐蝕環境和浸水環境(淡水、鹽水和海水)中，以 ISO 2812-1 化學品測試，ISO 2812-2 耐水浸泡試驗，ISO 6270 耐冷凝試驗與 ISO 7253 中性鹽霧試驗等方法進行；但對於水性塗料的性能，因須要使用循環試驗，並不包括在 ISO 12944-6 中。

(7).ISO 12944-7，塗裝工程的施作與管理

本部分描述塗裝工作是如何在工廠和現場進行，以及施工前塗料的搬運和貯存、塗料的施工方法、施工中的檢查與塗料系統的驗收等。

(8).ISO 12944-8，新建與維護作業說明書之制定

ISO 12944-8 介紹如何進行塗裝保護工作的規格書，討論鋼構防蝕在新建和維修時所須考慮的因素，有系統的介紹專案規格書、塗料系統規格書、塗裝規格書和檢查測試規格書，並在附錄中列舉參考、檢查以及有助於工作的表格樣式。

5.3.2 金屬熱噴覆

金屬熱噴覆是利用不同的熱源，如火燄、電弧或電漿等，將金屬粉末、線材或棒材熔融，再以熱源本身的速度或高壓空氣將熔融金屬

加速，撞擊至基材表面凝固而形成保護膜。基材的種類可以為金屬、混凝土、碳化物、陶瓷、塑膠、複合材料或高分子材料等。其發展及應用的過程如下：

- 1909 年瑞士 Schoop 發明熱噴覆技術並應用於工藝品製造。
- 1921 年發展出電弧式金屬熱噴覆。
- 1922 年將金屬熱噴覆應用至防蝕工程。
- 1962 年日本導入電漿(Plasma)熱噴覆。
- 1970 年代美國鋼鐵橋梁開始使用鋅鋁熱噴覆進行防蝕保護。
- 1977 年英國將鋅鋁熔設技術列入 British Standard Institute Code of Practice。
- 1989 年 FDOT 使用鋅熱噴覆進行鋼筋混凝土結構陰極保護。
- 1993 年，美國焊接學會(American Welding Society)制定 ANSI/AWS C2.18-93，規範鋅熱噴覆、鋁熱噴覆或鋅鋁熱噴覆之施工與檢驗標準。

1. 金屬熱噴覆方法

(1).火焰熱噴覆：火焰熱噴覆是利用可燃性氣體與氧氣混合燃燒所產生的熱量作為金屬熔融的熱源，再利用壓縮空氣高速將熔融金屬噴塗至基材表面；熱噴覆材料的型式有熔線式與粉末式。一般而言，火焰熱噴覆熔融金屬的顆粒速度較低，熱噴覆層中多含有 10 %以上的氣孔，以致噴塗物與基材間的鍵結強度較低。

(2).電弧熱噴覆：電弧熱噴覆不需要燃燒氣體的供應，乃是在兩條分別為正、負極的金屬線材上給予不同之電位，利用兩極間的電位差產生電弧而熔解金屬，再利用高壓空氣將熔融金屬霧化、被覆至基材表面。通常正負兩極所使用的線材為相同材料、尺寸之金屬線材；

若適當地調整線材的輸送速率，亦可使用不同材料的正、負電極，經電弧熱噴覆而形成複合熱噴覆層(如鋅鋁熱噴覆層)。與火焰熱噴覆相較，電弧熱源具有較高的熱量，噴塗物與基材間有較強的附著力。

(3).高速火焰熱噴覆(High Velocity of Oxy-Fuel, HVOF)：其原理為先將氧氣與可燃性氣體如丙烯、氫氣或天然氣以適當的比例混合，在水冷式熱噴覆槍內藉著爆燃的方式產生高壓火焰並將金屬粉末熔融傳送，撞擊至基材表面產生壓力而形成高密度的熱噴覆層。

(4).電漿熱噴覆：電漿熱噴覆層形成的步驟為(1)利用高週波脹衝點火，再以低壓、高直流電流在鎢陰極以及銅陽極間產生瞬間溫度30000 ^{o}C之電弧，(2)流經電弧的氣體如 Ar、He 或 H_2 被離子化而產生電漿火焰，(3)金屬粉末經送粉機送入電漿火焰中使其成為熔融狀態，(4)電漿火焰將熔融的粉末被覆至基材表面冷卻、凝固。電漿熱噴覆的特點為其可利用不同比例之電漿氣體混合，造成不同熱焓量的電漿火焰，因此針對不同熔點的金屬或陶瓷，可任意調整電漿火焰溫度來達成適當的粉末熔融狀態，避免粉末過熔或未熔而導至覆著效率過低或覆膜性質不良等缺點，但其設備成本較高。

2.金屬熱噴覆在防蝕工程上的應用

金屬熱噴覆在防蝕工程上的應用上可分為鋼鐵結構與鋼筋混凝土結構，鋼鐵結構的防蝕原理是應用熱噴覆層之陰極保護或/與阻絕腐蝕因子入侵的特性來進行基材保護，而鋼筋混凝土結構則是應用混凝土表面的熱噴覆層進行陰極保護。1995 年，美國統計金屬熱噴覆在防蝕工程上的應用[18]，如表 5-3 與表 5-4 所示。針對鋼結構金屬熱噴覆之應用，概述如下：

(1).金屬熱噴覆防蝕機理

早至 1920 年代起，熱噴覆技術已被應用於各式鋼結構物的防蝕處理，至今，主要的熱噴覆材料有鋅、鋁與鋅鋁合金等，其防蝕機理為：

(a) 鋅熱噴覆：鋅的電化學活性較高，在鋼材表面形成犧牲陽極，當腐蝕進行時，披覆在鋼材上的鋅會先腐蝕以保護基材，即所謂

之陰極保護。

(b) 鋁熱噴覆：鋁熱噴覆層的防蝕性來自於鋁表面所形成緻密的氧化膜，此氧化膜可以阻絕腐蝕因子的侵入，而達到長期防蝕的效果。

(c) 鋅鋁熱噴覆：鋅鋁熱噴覆層兼具鋅熱噴覆層與鋁熱噴覆層的優點，即不僅鋅形成犧牲陽極以保護基材，並且鋁可形成氧化膜，阻絕腐蝕因子的入侵。通常商業用的鋅鋁合金組成常為 95%鋅+5%鋁(重量比)、55%鋅+45%鋁及 85%鋅+15%鋁，但由於 95/5 的鋅鋁合金特性與純鋅相似，文獻報告多以 85/15 鋅鋁為主要研究對象。

(2) 金屬熱噴覆施工與檢驗

金屬熱噴覆防蝕施工分為表面處理、熱噴覆、封孔處理等三個步驟，其作業流程如圖 5.3 所示。根據 1993 年美國焊接學會(American Welding Society)制定 ANSI/AWS C2.18-93, “Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites[19]”，已規範了鋅熱噴覆、鋁熱噴覆或鋅鋁熱噴覆的施工與檢驗標準；2003 年，該規範再修定為 NACE No. 12/ AWS C2.23M/ SSPC-CS 23.00 之聯合規範，”Specification for the application of thermal spray coatings (metallizing) of aluminum, zinc, and their alloys and composites for the corrosion protection of steel[11]”，其相關檢測標準概述如下：

(a) 基材表面處理：由於熱噴覆層是以機械鍵結方式附著於基材表面，因此鋼構之表面處理為金屬熱噴覆防蝕施工中最關鍵的一環；即基材表面不得有油污或異物，必需使用高硬度之噴砂材料，如含矽少於 1 %的銅砂或氧化鋁砂(copper slag or Al_2O_3)進行噴砂處理。基材表面清潔度至少需符合 SSPC-SP10 (Near-white metal blast cleaning)標準，且粗糙度為 2.5~4 mils (63~102μm)，檢測依據為 ASTM D4417。此外，噴砂的高壓空氣亦不得含有油污、油脂、污物、水氣，空氣清潔度之檢驗依據為 ASTM

D4285。

(b) 熱噴覆環境：噴塗表面的鋼構與大氣的溫差不可超過 3 °C，且相對濕度超過 85 %時會產生露點效應，應禁止施工。若表層已生銹或噴砂已超過 6 小時，則不可進行熱噴覆。

(c) 熱噴覆層厚度與附著力檢驗：熱噴覆層厚度量測是以 3 m^2 為單位，每 3 m^2 內任何一處之 10 cm^2 範圍量取 5 個數值，將其平均並記錄之；膜厚計的使用是依據 ASTM D1186，於鋼鐵基材上進行非破壞性厚度量測。熱噴覆層與基材間的附著力檢測則是依據 ASTM D4541 拉拔試驗或 ASTM C633 附著力試驗進行之。其中 ASTM C633 試驗要求之測試熱噴覆層厚度為 375~500 μm，以避免試驗時膠水滲透至基材表面。

(d) 樣品試片檢驗：為驗証現場施工品質，於現場製作熱噴覆試片(10 cm x 15cm x 0.3 cm)進行厚度測試(ASTM 1186)、附著力測試(ASTM 4541)與彎曲測試(mechanical bend testing)。彎曲測試之依據為 ANSI/AWS C2.18-93，主要目的為可相對檢驗施工品質，其測試方法為將 50 mm x 100 mm to 200 mm x 1.25 mm 的碳鋼試片，熱噴覆厚度 200~250 μm，固定於直徑 13 mm 的彎板機滾軸上，慢慢施與壓力，將試片彎成 180° 後取出，觀察試片表面龜裂情形。龜裂程度之判斷可以刀片分割塗層為細小方格，以膠帶黏上後撕開，檢查熱噴覆層有無剝落情形。龜裂狀況分為 3 種型態，第一種為 smooth surface，屬於理想狀況；第二種為 cracks，屬勉強可接受狀況；第三種為 disbonding delamination，即熱噴覆層有剝落，為不合格之狀況。

(e) 封孔及表面塗裝：封孔處理的主要目的是使封孔劑滲入熱噴覆層的氣孔中，使熱噴覆層與封孔劑形成一複合皮膜，因此封孔劑應採流動性佳、滲透力強的樹脂，以隔絕鋼材與外界接觸。通常使用之封孔劑有環氧樹脂系，Silicone 樹脂系，PU 樹脂系等滲透性良好之封孔劑，以溶劑稀釋後使用。此外，為美化外觀、於嚴酷之腐蝕環境下保持長期的耐久性與在已劣化的熱噴覆構

件上進行防蝕修補，熱噴覆封孔後再進行表面塗裝之複合防蝕工法，將會使防蝕效果更佳。

綜合以上敘述，常溫金屬熱噴覆施工與檢驗之參考規範如下：

- ASTM D1186-93 ： Standard Test Method for Nondestructive Measurement of Dry Thickness Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base (Test Method B, Magnetic Flux Gages)
- ASTM D4285-83：Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air
- ASTM D4417-93：Standard Test Method for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel
- ASTM D4541：Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers
- ASTM C633-79：Standard Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings
- SSPC-SP10：Near-White Metal Blast Cleaning
- NACE TM-01-07：Visual Standard for Surfaces of New Steel Air blast Cleaned with Sand Abrasive
- ISO 2063-1973 ：Metallic coatings- Protection of iron and steel against corrosion – Metal spraying of zinc and aluminum
- ANSI/AWS C2.18-93：Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites

(3).金屬熱噴覆之防蝕年限

金屬熱噴覆可以提供鋼鐵材料於嚴苛腐蝕環境下長期的防蝕保護。根據美國焊接學會出版之「火焰熱噴覆層腐蝕測試-19 年研究報告[20]」與美國 LaQue 防蝕中心所進行的「熱噴覆層於海洋環境 34 年性能評估報告」中指出，只有鋅與鋁熱噴覆可以提供鋼鐵於海洋環境下長

期的防蝕保護，且其間無需維護。再者，Fischer[21]等亦將鋼材於海洋環境下之熱噴覆防蝕研究歸納如表 5-5 所示。

一般而言，熱噴覆層的材料、厚度選擇與鋼結構物所在的環境有關，鄉村地區可採用鋅熱噴覆，工業地區可採用鋁熱噴覆，而鋅鋁熱噴覆則兼具兩者的需求；英國國家標準 BS Standard 6593 及 2569 針對不同環境下之熱噴覆標準如表 5-6 所示。

3. ISO 2063 與 NACE No. 12 熱噴覆規範比較

ISO 2063 與 NACE No. 12/ AWS C2.23M/ SSPC-CS 23.00 均規範了熱噴覆的施工流程與檢驗標準，其間的差異敘述如下：

(1). 基材表面處理：

ISO 2063 規定基材表面應處理至符合 EN ISO 8501-1 之 Sa3 (White metal)白金屬表面；而 NACE No. 12 規定用於海洋環境和浸漬區時，應處理至 NACE No. 1/SSPC-SP 5/ Sa3 之白金屬表面，若應用於其他環境時應至少處理至 NACE No. 2/SSPC-SP 10/ Sa2-1/2 (Near-white metal)近白金屬的表面。

(2). 熱噴覆層厚度檢測

ISO 2063 規定熱噴覆面積介於 $1cm^2$~$1m^2$ 範圍時，每一點的局部熱噴覆層膜厚是指在 $1cm^2$ 面積內量測三點的平均數，如果組成的幾何形狀不允許前述的作法，則買賣雙方應協議同意以適當的參考試樣取代，並利用金屬結構學的或機械的平均方式測量，其試樣之熱噴覆層應在同時間、同條件下進行；但若熱噴覆面積大於 $1m^2$ 範圍時，每一點的局部熱噴覆層膜厚是指在約 $1dm^2$ 面積內量測十點的平均數。而 NACE No. 12 規定，熱噴覆施作面積的每 10~20 m^2 (100-200 ft^2) 必須進行一次直線檢查或區域量測，對於平坦的表面使用直線檢查，在檢查範圍內(10~20 m^2)畫一條 5 inch 的直線，然後在此直線上每隔 1 inch 量測膜厚，共測 5 點，若其中有一點的膜厚未達要求標準，則該區域為不合格；對於複雜的幾何構件和幾何過度構件，應使用測量區域，測量區域的面積約為 10 mm^2 (1.6 ft^2)，即在此區域內量測 5 點，若其中

有一點的膜厚未達要求標準，則該區域為不合格。

(3). 附著力檢驗

ISO 2063 規定熱噴覆層的附著力可以方格試驗與拉拔試驗進行，而 NACE No. 12 僅規定依照 ASTM D4541 標準進行拉拔試驗。

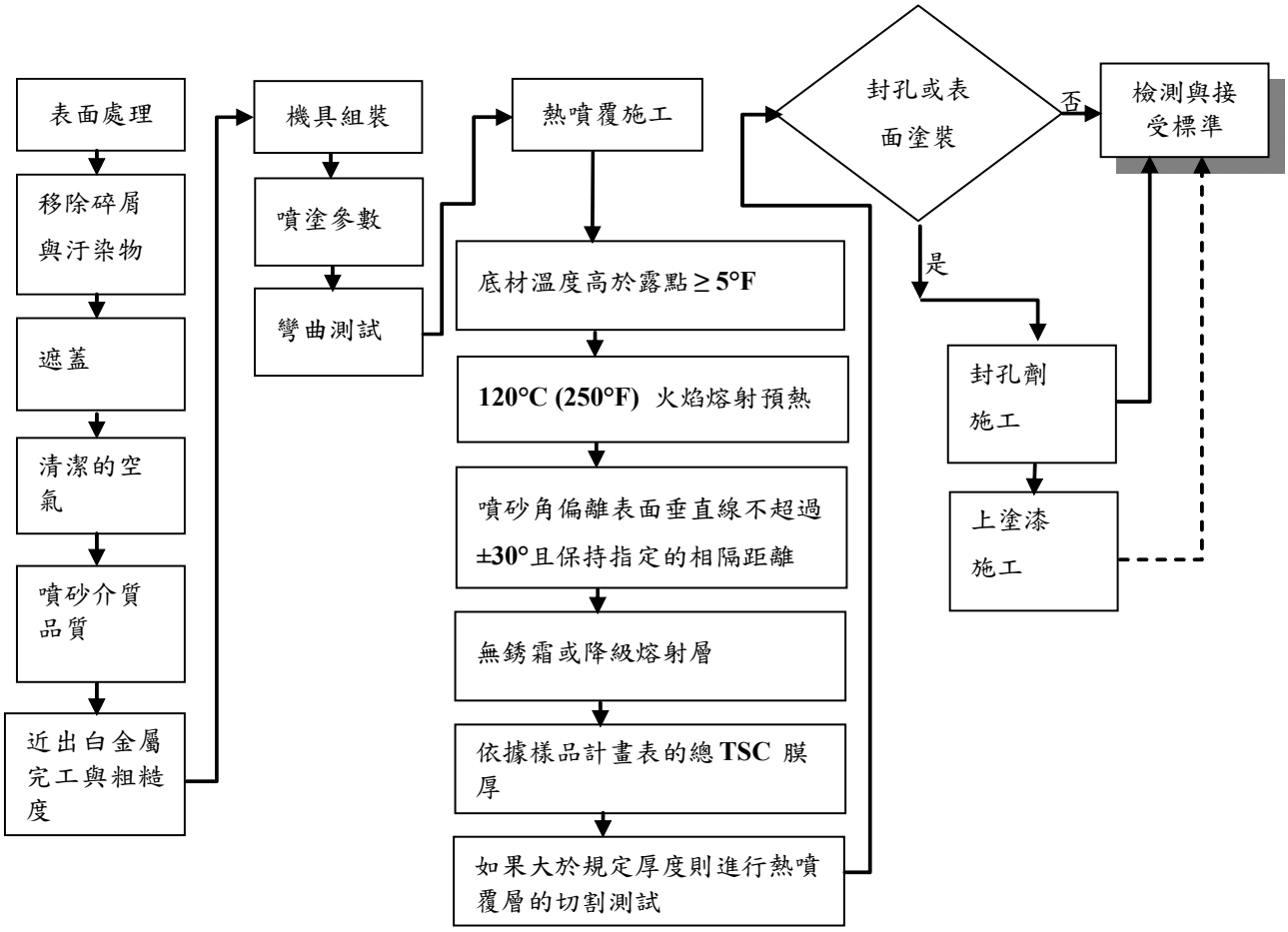


圖 5.3 鋼鐵結構金屬熱噴覆作業流程

表 5-3 金屬熱噴覆在防蝕工程上的應用-美國

結構物	使用單位
鋼構橋梁的樑結構	州交通局與聯邦公路總局
鋼筋混凝土停車場	市政府與私人公司
鋼筋混凝橋梁之鋼筋	州交通局與聯邦公路總局
水庫、水門	軍方與水管理單位
鑽油平台	石油公司
水塔與水槽	市政府
港灣與碼頭結構	州交通局
火車與鐵路橋梁	鐵路公司
鋼鐵結構	建築物與工廠
蒸氣鍋爐	發電廠與造紙工廠

(資料來源：SSPC International Conference, 1995)

表 5-4 美國各州交通局使用金屬熱噴覆之案例

州名	結構物	熱噴覆層	功用	面積(≈ K ft^2)
維吉尼亞州 (VA)	6 Steel 1 Concrete	Zn^3 Zn	腐蝕控制	35 1
俄亥俄州(OH)	3 Steel 3 Steel	Zn 85/15 Zn/Al	腐蝕控制	80
賓州(PA)	1 Steel	Zn	腐蝕控制	2
康乃迪克州(CT)	5 Steel	85/15 Zn/Al^3	腐蝕控制	80
佛羅里達州(FL)	6 Concrete	Zn (15-20 mil)	陰極保護	140
奧瑞岡州 (OR)	3 Concrete	Zn^1 (18-22 mil)	陰極保護	102 190 80
羅德島州(RI)		85/15 Zn/Al		4

註： 1. 奧瑞岡州以外加電流式陰極保護進行。

2. 除奧瑞岡州外，各州以犧牲陽極式陰極保護進行。

3.維吉尼亞州與康乃迪克州兩州還進行其他鋼構橋梁之金屬熱噴覆。

(資料來源：SSPC International Conference, 1995)

表 5-5 金屬熱噴覆在海洋環境之防蝕研究

環境	熱噴覆材料	厚度(μm)	防蝕年限	測試地點與單位
海洋大氣帶	Al	80 150	34	LaQue Center (Kure Beach, North Carolina, USA)
海洋大氣帶	Zn/Al Zn/Al	- -	15 25	距海岸 25m 處, LaQue Center 距海岸 250m 處, LaQue Center
海洋飛沫帶	Al	160	14.5	Tanager, Norway
海水浸漬區	Al	120	20~25	Soviet Union

(資料來源：Materials Performance, April, 1995)

表 5-6 英國 BS Standard 6593 及 2569 建議之熱噴覆防蝕

環　境	熱噴覆規範	第一次再作補修之年限
不受污染之內陸	Zn 或 Al (150 μm)+封孔處理	20 年以上
受污染內陸	Zn 或 Al (150 μm)+封孔處理	20 年以上
不受污染之海岸地帶	Zn 或 Al (150 μm)+封孔處理	20 年以上
普通乾燥場所	Zn 或 Al (100 μm)	20 年以上
建築物內潮溼的地方	Zn 或 Al (100 μm)+封孔處理	20 年以上
淡水環境	Zn 或 Al (150 μm)+封孔處理	20 年以上
海水飛沫區	Zn (200 μm)或 Al (150 μm) +封孔處理	20 年以上

(資料來源：BS Standard 6593 & 2569)

5.4 現地金屬試片暴露試驗

5.4.1 金屬試片

依據 CNS 13753，量測大氣腐蝕速率的試片有兩種，一種為螺旋狀試片而另一種為板狀試片；為避免螺旋狀試片在長期(一年期以上)暴露後因腐蝕而消耗殆盡，今參考 ASTM G 50-76 “Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals”規範製作板狀試片，藉以瞭解金屬長期(一年期以上)的腐蝕速率。試片準備如下：

1.試片種類：碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬，各金屬成份依據 CNS 13753 (ISO 9226)規範準備，即 1)碳鋼：非合金碳鋼(Cu=0.03~0.10%, P < 0.07%)，2)鋅：98.5%以上之純度，3)銅：99.5%以上之純度，4)鋁：99.5%以上之純度。

2.試片尺寸：依據 ASTM G 50-76，長度 150 mm、寬度 100 mm、厚度 5 mm 的試片。

3.試驗期程：10 年。

4.取樣頻率：6 次，即第 1、2、3、5、8、10 年每年一次。

5.試片數量：以重量損失法進行腐蝕速率量測，每一試驗點各金屬各須 24 片試片(每次取樣 3 片，重複取樣 6 次，5 片備用，1 片為對照) ，共 96 片試片。

6.試驗地點：選擇足以代表本島不同腐蝕環境之區域，如腐蝕嚴重的鹽害區、工業區，以及腐蝕較輕微的鄉村區(對照組)等 3 處。鹽害區選定為臺中火力電廠，工業區選擇兼具鹽害影響的麥寮工業區，而鄉村區則為溪頭森林區。

7.大氣暴露試驗架設置：大氣暴露試驗架依據 ASTM G50-76 標規範設置；試驗架離地距離大於 760 mm，試片設置角度與垂直面成 30^{o} 角且面向南方，試片固定座採用絕緣材料。

5.4.2 試片現場安裝

板狀試片現地暴露試驗於 2008 年 10 月中旬設置完成，相片如下：

臺中火力電廠

臺中火力電廠

麥寮工業區

麥寮工業區

溪頭森林區

溪頭森林區

在 2009 年 6 月 10 日赴現場檢視試驗時發現臺中火力電廠與麥寮工業區位址的試片有遺失的情況，即臺中火力電廠的銅片(24 片)全部遺失，鋁片遺失 1 片(編號#68)；麥寮工業區的銅片遺失 4 片(編號#01, #11, #12, #21)，鋁片遺失 2 片(編號#10, #21)，鋅片遺失 7 片(編號#11, #12, #13, #21, #22, #23, #24)；共計 38 片，遺失明細如表 5-7 所示。

表 5-7 現地暴露試驗 2009.06.10 試片遺失明細表

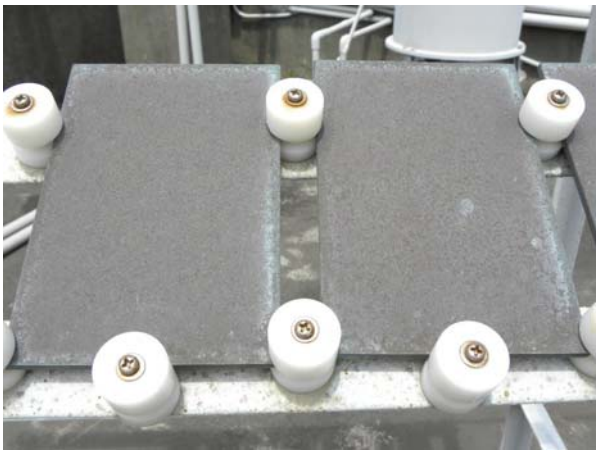
	碳鋼	鋅	銅	鋁
臺中火力電廠	0	0	24	1
麥寮工業區	0	7	4	2
溪頭森林區	0	0	0	0

有鑑於臺中火力電廠的試片遺失情況嚴重，因此決定將試驗場址由臺中火力電廠遷移至交通部運研所港灣技術研究中心(梧棲)設置，並將遺失的試片重新佈放，於 2009 年 6 月 24 日安裝完畢。

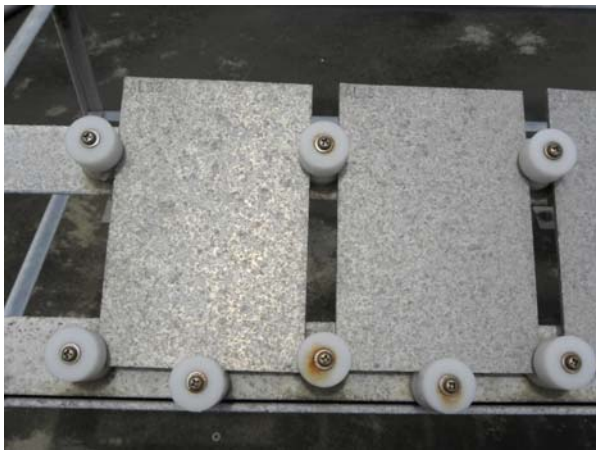
2009 年 9 月 28 日進行第一年取樣，2010 年 9 月 15 日進行第二年取樣，取樣後進行重量損失量測與腐蝕速率計算。第二年取樣時各試驗點之現場試片外觀如圖 5.4 至圖 5.6 所示。

港灣技術研究中心銅、鋁材試片

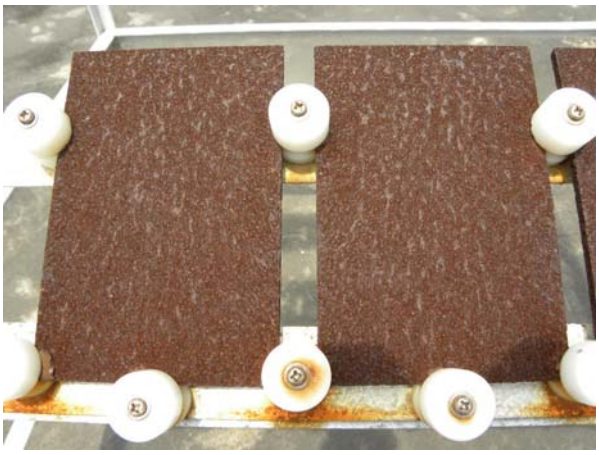
港灣技術研究中心鋅材、碳鋼試片



銅片-表面為棕色表面，邊緣有綠色粉末狀之腐蝕生成物



鋁片-表面為灰白與黑色點狀粉末之腐蝕生成物



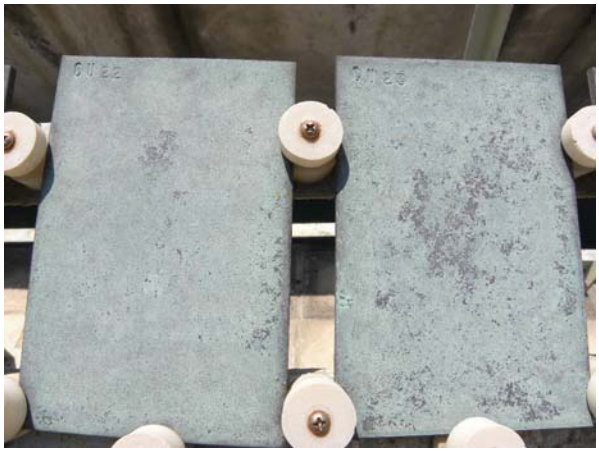
碳鋼-呈暗紅色顆粒狀鬆散之腐蝕產物

鋅片-表面為白色粉末狀鬆散之腐蝕生成物

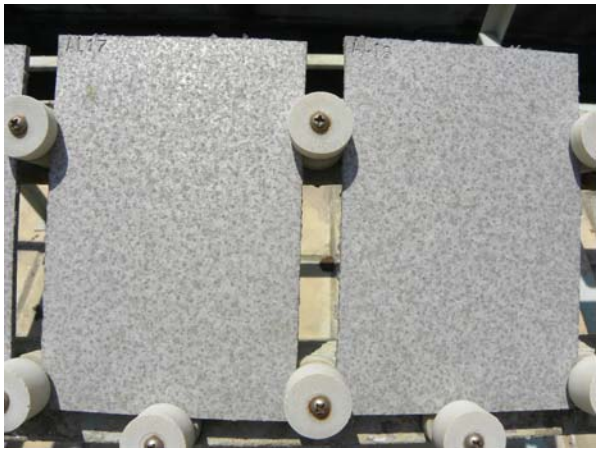
圖 5.4　2010 年 9 月 15 日港研究中心現場試片外觀，碳鋼、鋅、鋁暴露約 2 年，銅暴露約 1 年 3 個月

麥寮工業區銅、鋁材試片

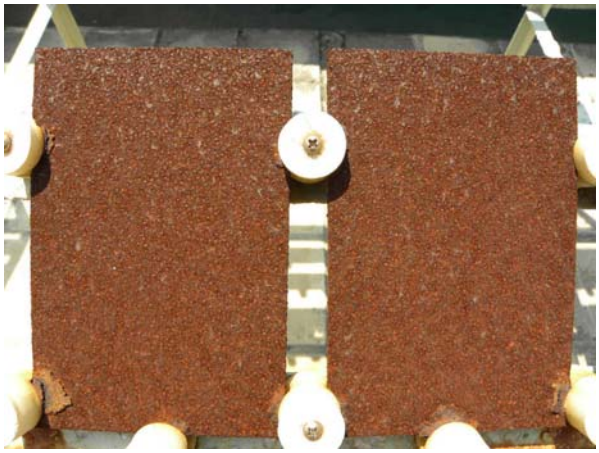
麥寮工業區鋅材、碳鋼試片



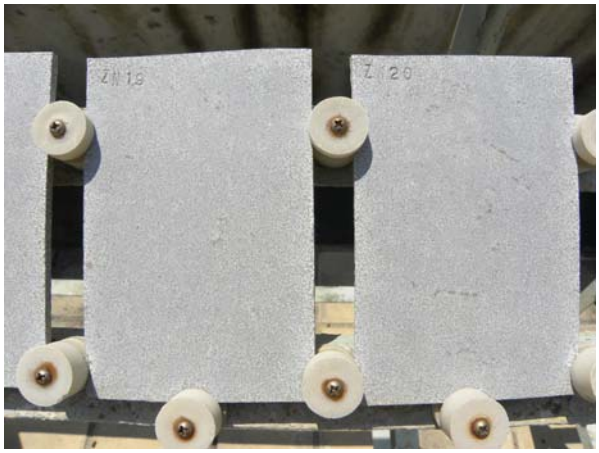
銅片-表面佈滿綠色粉末狀之腐蝕生成物



鋁片-表面為灰白色點狀粉末之腐蝕生成物



碳鋼-表面為暗紅色顆粒狀鬆散的腐蝕生成物，邊緣並有分層剝離的現象



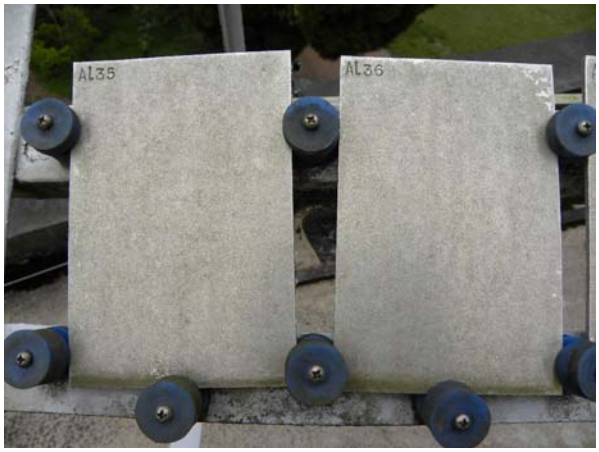
鋅片-表面為白色粉末狀鬆散的腐蝕生成物

圖 5.5 2010 年 9 月 15 日麥寮工業區現場試片(暴露約 2 年)之外觀

溪頭森林區銅、鋁材試片

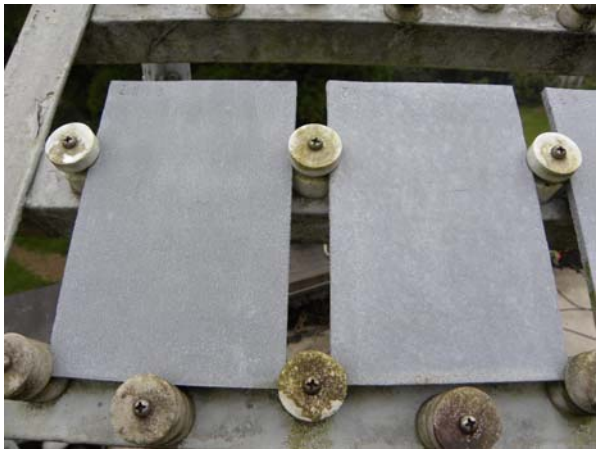
溪頭森林區鋅材、碳鋼試片

銅片-表面為黑灰色表面



鋁片-表面接近金屬色，有少部分白色點狀的腐蝕現象

碳鋼-表面呈暗紅色顆粒狀腐蝕產物



鋅片-表面為密實粗糙的表面

圖 5.6 2010 年 9 月 15 日溪頭森林區現場試片(暴露約 2 年)之外觀

5.4.3 試片腐蝕生成物清除與測試

各試驗點取樣後的試片均進行腐蝕速率量測。碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬試片之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS 14122 (ISO 8407)金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失。為確保除去腐蝕生成物的化學清洗方法不會損壞底材金屬，先依照 CNS 14122 規範，使用腐蝕試片進行重複清洗，以制定檢量標準，作業流程如圖 5.7 所示。針對不同金屬，化學清洗法使用的化學藥品及各項條件如表 5-8 所示。

表 5-8 化學清洗使用的化學藥品及各項條件

材料	化學藥品	時間（min）	溫度（°C）	備註
碳鋼	以 500mL HCl（ρ=1.19g/mL）與 3.5g 六甲基四胺（Hexamethylene tetramine），加入蒸餾水配成 1000mL	10	室溫 (23.5)	—
鋅	100g 氯化銨（NH_4Cl），加入蒸餾水配成 1000mL	2~5	70	—
銅	以 100mL 硫酸（H_2SO_4，ρ=1.84 g/mL），加蒸餾水至 1000mL	1~3	室溫 (23.5)	在處理之前，先移除表面的塊狀腐蝕生成物，可使銅的二次沉積產物量減到最少
鋁	硝酸（HNO3，ρ=1.42 g/mL）	1~5	室溫 (23.5)	去除額外之沉積物及塊狀之腐蝕生成物，以免造成基底金屬過度流失

各個試片浸泡之時間，碳鋼試片為 10 分鐘，鋅試片為 4 分鐘，銅試片為 2 分鐘，鋁試片為 6 分鐘。

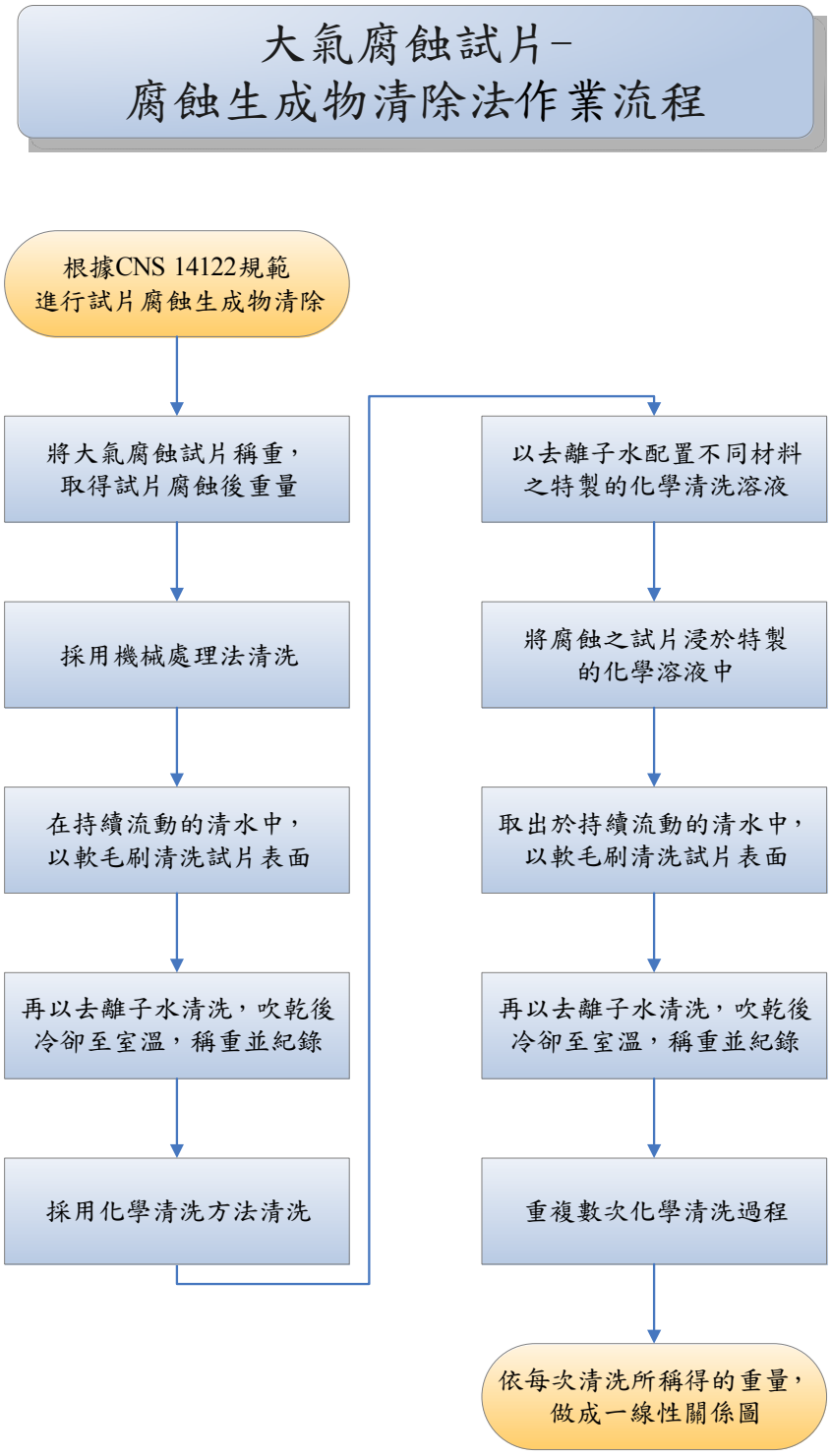


圖 5.7 腐蝕生成物清除法作業流程圖

5.4.4 腐蝕速率計算與調查結果比較

板狀試片的腐蝕速率(R_{corr})單位以 μm/y 表示，計算公式如下：

$$Rcorr = (\Delta m / A \cdot \rho \cdot t) \quad \text{.....(5-2)}$$

式中， Δm=質量損失(g)

A=試片暴露面積(m^2)

t=暴露時間，年(year)

ρ=金屬材料之密度 (g/cm^3)

板狀試片的腐蝕速率單位以 $g/m^2/y$ 表示，計算公式如下：

$$Rcorr = \Delta m /(A \cdot t) \quad \text{.....(5-3)}$$

式中， Δm =質量損失(g)

A=試片表面積(m^2)

t=暴露時間，年(y)

表 5-9 為現地暴露一年期各金屬試片的腐蝕速率計算結果。表中除鋁金屬外，碳鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率單位均可以 μm/yr 表示；主要原因是因碳鋼、鋅、銅金屬在大氣環境中的腐蝕現象為均勻腐蝕，但鋁金屬則為局部腐蝕，所以鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率可以 μm/yr 表示，但鋁的腐蝕速率須以 $g/m^2/yr$ 表示。檢視表中數據，鋁金屬在溪頭試驗點的腐蝕速率在上一年度的報告中因計算錯誤而得到 0.48 $g/m^2/yr$，但重新計算結果，正確的腐蝕速率應為 3.88 $g/m^2/yr$。依據 CNS 13401 規範(表 5-10)，以金屬最初第一年之腐蝕速率來進行腐蝕環境區分時，各試驗點金屬試片的腐蝕環境分類如下：

在腐蝕嚴重的麥寮工業區，碳鋼、鋅、銅、鋁之大氣腐蝕環境分類分別為 C4、C5、C5、C5；臺中火力電廠與梧棲港研中心鹽害區之碳鋼、鋅、銅、鋁大氣腐蝕環境分類分別為 C5、C5+、C5、C5；至於鄉村的溪頭森林區，碳鋼、鋅、銅、鋁之大氣腐蝕環境分類則分別為 C2、C3、C3、C4。值得注意的是，在無氯鹽與 SO_2 污染的溪頭森林區鋁金屬的腐蝕環境分類可達 C4 等級，主要原因推論應是相對溼度較高所致。參考 ISO 9223 以環境因子進行大氣腐蝕環境分類[2]，當每年相對溼度大於 80%的小時數大於 5500 小時以上或溼潤時間百分比大於 60%以上時，即使氯鹽沉積速率小於 3 mg/m^2/day 且二氧化硫沉積速率小於 10 mg/m^2/day，鋁金屬的腐蝕環境仍屬於 C4 等級；因此在高溼度的溪頭森林區(溼潤時間百分比大於 80%)，鋁金屬的腐蝕環境分類是為 C4 等級。考慮 2007 年至 2008 年間以螺旋狀試片(金屬線)在北橫巴陵、阿里山與南橫天池地區進行一年現地暴露試驗的結果，得到山區環境鋁金屬的腐蝕環境分類為 C2 等級，可能是因螺旋狀試片的暴露面積(0.0075 m^2)相對於板狀試片(0.03 m^2)為小，以致於使用重量損失法來量測微量重量損失而產生誤差。因此建議若須以重量損失法來決定鋁金屬的腐蝕速率時，應採用暴露面積較大的試片進行。

表 5-11 為現地暴露試驗兩年後各金屬試片的腐蝕速率計算結果。一般而言，金屬的腐蝕速率在初期暴露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值。兩年期的暴露結果顯示，除了溪頭森林區銅試片外，其他試片均符合上述趨勢；至於溪頭森林區的銅試片，第二年的腐蝕速率(1.44 μm/yr)與第一年的腐蝕速率(1.16 μm/yr)相差僅 0.28 μm/yr 左右，推論應是量測誤差所致，有待第三年的數據進行驗証。此外，鋁金屬在梧棲港研中心第二年的腐蝕速率(1.61 μm/yr)小於溪頭森林區的腐蝕速率(2.15 μm/yr)，其原因可能是因溪頭森林區的溼潤時間百分比較大，常年處於高溼度的環境中；而梧棲港研中心雖位於濱海地區，但因年平均風速較大(以玉山測站最高 6.1m/s、梧棲測站次之 4.9m/s、恆春測站再次之 4.0m/s、成功測站為 3.3m/s，鞍部為測站 3.2m/s、基隆為測站 3.0m/s、新竹為測站 2.8m/s，其餘各氣象站皆在 2.8m/s 以下)，在不容易常時維持溼潤時間的情況下，即使有鹽害侵襲，該地區鋁金

屬的第二年的腐蝕速率可能仍小於溪頭森林區。

表 5-9 暴露一年期各金屬之腐蝕速率與腐蝕環境分類

佈放地點	碳鋼			鋅		
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類
麥寮工業區 120o13’ 23.2” 23o 48’ 18.9”	72.39	75.01	C4	4069	4.91	C5
	72.71			5.18		
	79.93			4.87		
溪頭 120o 48’ 10” 23o 40’ 22”	15.38	14.72	C2	1.56	1.76	C3
	14.04			1.89		
	14.73			1.83		
港研中心 120o 31’ 46.4” 24o 16’ 15.2”	107.19	105.32	C5	8.07	9.03	C5+
	103.76			10.13		
	105.00			8.90		
佈放地點	銅			鋁		
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (g/m2/yr)	平均腐蝕速率 (g/m2/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類
麥寮工業區 120o13’ 23.2” 23o 48’ 18.9”	5.39	5.55	C5	8.29	7.96	C5
	5.36			7.96		
	5.90			7.63		
溪頭 120o 48’ 10” 23o 40’ 22”	1.18	1.16	C3	2.66	3.88	C4
	1.07			3.33		
	1.23			5.66		
港研中心 120^{o} 31’46.4” 24^{o} 16’15.2”	3.63	3.57	C5	4.73	7.43	C5
	3.63			8.44		
	3.45			9.11		

表 5-10 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

腐蝕性分類	腐蝕速率 (γ_{corr})				
	單 位	碳 鋼	鋅	銅	鋁
C1	g/m^2 /yr μm/yr	$\gamma_{corr}\leq 10$ $\gamma_{corr}\leq 1.3$	$\gamma_{corr}\leq 0.7$ $\gamma_{corr}\leq 0.1$	$\gamma_{corr}\leq 0.9$ $\gamma_{corr}\leq 0.1$	可忽視 —
C2	g/ m^2 /yr μm/yr	$10<\gamma_{corr}\leq 200$ $1.3<\gamma_{corr}\leq 25$	$0.7<\gamma_{corr}\leq 5$ $0.1<\gamma_{corr}\leq 0.7$	$0.9<\gamma_{corr}\leq 5$ $0.1<\gamma_{corr}\leq 0.6$	$\gamma_{corr}\leq 0.6$ —
C3	g/ m^2 /yr μm/yr	$200<\gamma_{corr}\leq 400$ $25<\gamma_{corr}\leq 50$	$5<\gamma_{corr}\leq 15$ $0.7<\gamma_{corr}\leq 2.1$	$5<\gamma_{corr}\leq 12$ $0.6<\gamma_{corr}\leq 1.3$	$0.6<\gamma_{corr}\leq 2$ —
C4	g/ m2 /yr μm/yr	$400<\gamma corr\leq 650$ $50<\gamma corr\leq 80$	$15<\gamma corr\leq 30$ $2.1<\gamma corr\leq 4.2$	$12<\gamma corr\leq 25$ $1.3<\gamma corr\leq 2.8$	$2<\gamma corr\leq 5$ —
C5	g/ m2 /yr μm/yr	$650<\gamma corr\leq 1500$ $80<\gamma corr\leq 200$	$30<\gamma corr\leq 60$ $4.2<\gamma corr\leq 8.4$	$25<\gamma corr\leq 50$ $2.8<\gamma corr\leq 5.6$	$5<\gamma corr\leq 10$ —

資料來源：CNS 13401 (ISO 9223)

表 5-11 暴露二年期各金屬之腐蝕速率

佈放地點	碳鋼		鋅	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
麥寮工業區 120°13'23.2" 23° 48'18.9"	57.37	56.10	2.45	2.43
	55.16		2.54	
	55.77		2.29	
溪頭 120° 48'10" 23° 40'22"	11.68	11.22	1.22	1.23
	10.93		1.19	
	11.05		1.28	
港研中心 120o 31'46.4" 24o 16'15.2"	56.09	55.77	4.44	4.75
	56.54		5.23	
	54.68		4.59	
佈放地點	銅		鋁	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (g/m2/yr)	平均腐蝕速率 (g/m2/yr)
麥寮工業區 120o13'23.2" 23o 48'18.9"	3.61	3.51	4.30	4.47
	3.51		4.80	
	3.40		4.30	
溪頭 120o 48'10" 23o 40'22"	1.69	1.44	2.32	2.15
	1.31		1.82	
	1.33		2.32	
港研中心 120o 31'46.4" 24o 16'15.2"	-	-	2.33	1.61
	-		1.50	
	-		1.00	

註：-表示重新佈放試片之暴露時間未滿二年

5.5 無機塗裝防蝕規範草案研擬

在大氣中、水中或土壤中未受保護的鋼鐵構件會有腐蝕情況產生，為避免腐蝕，通常會在此構件要求的保固期限內加以防蝕保護。

鋼材防蝕的方法很多，ISO 12944 中規範各種有機塗裝系統及被覆的防蝕方法，ISO 2063、ISO 14922 與 NACE No. 12/ AWS C2.23M/ SSPC-CS 23.00 中提供無機塗裝熱噴覆系統及被覆的防蝕方法，其皆能鋼材達到適當的保護。

為了確保鋼材的防蝕效果，所有人員包括業主、設計者、承包商，以及相關公司皆需一同進行防蝕工作；塗裝檢驗師以及塗料公司亦須提供簡單易懂的相關塗裝系統文件，此文件必須是完整的、無爭議性的並且淺顯易懂，以免廠商於施作塗裝作業時產生不必要的錯誤或誤會。今參考 ISO 2063 與 NACE No. 12/ AWS C2.23M/ SSPC-CS 23.00、ISO 14922 研擬無機塗裝熱噴覆防蝕規範草案，內容概述如下：

5.5.1 ISO 2063

ISO 2063 Thermal spraying- Metallic and other inorganic coatings- Zinc, aluminium and their alloys 規範熱噴覆金屬層於鋼鐵上的腐蝕防治。金屬層係利用鋅、鋁或其合金熱噴覆於無任何塗裝之鋼鐵表面並予以保護。本標準討論鋅、鋁及其合金熱噴覆層之特性與熱噴覆層的測試方法。首先說明熱噴覆層的定義、分類與符號，然後說明鋼鐵表面的前處理方法，再敘述熱噴覆施作後熱噴覆層的特性，也就是熱噴覆層的厚度、外觀與附著性，最後說明測試方法以檢驗熱噴覆層是否合於要求。

其規範內容包括：

1. 範圍
2. 參考標準
3. 專有名詞與定義

4. 規定要求的方式

5. 種類等級

6. 熱噴覆加工

   - 熱噴覆前之表面處理
   - 熱噴覆用材料
   - 熱噴覆
   - 封孔處理
   - 油漆

7. 品質要求

   - 熱噴覆層膜厚
   - 外觀
   - 附著性

8. 測試方法

   - 膜厚量測
   - 附著性試驗

5.5.2 NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00

本標準是為鋼鐵提供鋁、鋅及其合金熱噴覆(TSC)施工的一個程序，它規定了要求的設備、施工程序和過程中的品質控制(QC)檢查點。

其規範內容包括：

1. 總則

2. 參考文獻

3. 定義

4. 實用做法概述

- 熱噴覆施作程序

5. 表面處理要求

- 表面處理
- 有角粗糙度深度
- 有角粗糙度深度測量

6. 熱噴覆要求

- 熱噴覆使用材料及 TSC 膜厚
- 熱噴覆膜厚
- TSC 膜厚測量
- 熱噴覆層附著力測試
- 彎曲測試
- 熱噴覆後表面外觀
- 熱噴覆層細孔率
- 熱噴覆品質控制測量程序與使用儀器

7. 熱噴覆施工程序

- 熱噴覆設備設置
- 噴砂後底材狀態與熱噴覆的間隔時間
- 熱噴覆短暫覆層

8. 熱噴覆施工

- 預熱
- 熱噴覆

9. 封孔和上塗的施工

- 封孔處理
- 上塗漆

- 油漆施工

10. 紀錄

11. 廢棄物收納和控制

12. 工作程序和安全

13. 文件紀錄

14. 合約評估、實地示範和生效

15. TSC 施工人員品質

5.5.3 ISO 14922

ISO 14922, Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures（熱噴覆結構的品質要求），為了正確應用熱噴覆層及避免生產操作時產生錯誤，控管和監督是必須的；這包括構件的狀態、材料的選擇、生產過程和後續的測試程序。本規範提供了熱噴覆廠商管理應有的品質管理說明，以確保完善的熱噴覆過程與瞭解問題產生的根源。

本規範包括四大部分，分別為：

ISO 14922-1 選擇和使用指南

ISO 14922-2 全面品質要求

ISO 14922-3 品質要求標準

ISO 14922-4 基本品質要求

1. ISO 14922-1 選擇和使用指南

本標準規定了描述熱噴覆品質要求的準則，這些品質要求適用於採用熱噴覆技術噴塗之新零件、進行修補或維護的製造商。這些品質要求可以普遍適用於要熱噴覆的任何類型結構。這些準則僅與要熱噴覆的構件品質外觀有關，這些品質外觀可能影響熱噴覆及其相關的製程(前處理和後處理等)。

該準則規定了達到熱噴覆品質要求的各種方法，包括在廠內和在現場進行的熱噴覆，還提供了描述製造商熱噴覆能力與生產規定品質之各種方法。這些準則也可成為買賣各方評估製造商的熱噴覆品質準備的基礎。

該準則的目的是指導編制規章制度或合約要求，與指導製造廠的管理者制定與熱噴覆構件類型有關之品質系統要求。

2. ISO 14922-2 全面品質要求

本標準規定內容如下:

(1).合約和設計的評審

製造商應該對買方提供的合約要求和設計資料或製造商設計的構件內部資料進行評審。確保在工作開始之前，獲得工程進行所必需的資料。製造商應該確認其有能力滿足熱噴覆合約的所有要求，並落實所有與品質有關活動的完善計畫。

(2).分包

當製造商要採用分包服務(例如檢查、非破壞檢測、後處理)時，製造商應提供分包商所有有關的技術條件和要求。分包商應提供製造商指定的分包商實績文件和記錄。

(3).熱噴覆人員

製造商應按規定的要求，安排足夠有資格的人員進行熱噴覆生產的計畫、實施、監督和檢查。

(4).品質測試人員

製造商應按照規定的要求，具備足夠資格的人員進行熱噴覆生產的計畫與實施、監督與檢查、測試與驗收。

(5).設備

包含設備的描述、設備的適用性、新設備功能試驗、維修及健康、安全和環境問題進行規範。

(6).熱噴覆的實施

包含生產計畫、熱噴覆程序規範、工作說明、前處理和後處理、品質文件控管規範。

(7).熱噴覆耗材

熱噴覆耗材控管中的責任與程序規定。

(8).熱噴覆材料的儲存和搬運

儲存之控管與標示。

(9).與熱噴覆相關的檢查和試驗

規範合約和(或)採用的標準、熱噴覆的方法以及構件的類型來確定檢查和(或)試驗的位置與頻率。

(10).不合格與矯正措施

(11).校正

(12).標示和可追溯性

(13).品質記錄

3. ISO 14922-3 標準品質要求

本標準規定內容如下:

(1).合約和設計的評審

製造商應該對買方提供的合約要求和設計資料或製造商設計的構件內部資料進行評審。確保在工作開始之前，獲得工程進行所必需的資料。製造商應該確認其有能力滿足熱噴覆合約的所有要求，並落實所有與品質有關活動的完善計畫。

(2).分包

當製造商要採用分包服務(例如檢查、非破壞檢測、後處理)時，製造商應提供分包商所有有關的技術條件和要求。分包商應提供製造商指定的分包商實績文件和記錄。

(3).熱噴覆人員

製造商應按規定的要求，安排足夠有資格的人員進行熱噴覆生產的計畫、實施、監督和檢查。

(4).品質測試人員

製造商應按照規定的要求，具備足夠資格的人員對熱噴覆生產進行計畫和實施、監督和檢查、測試和驗收。

(5).設備

包含設備的描述、設備的適用性、維修及健康、安全和環境問題進行規範。

(6).熱噴覆的實施

包含生產計畫、熱噴覆程序規範、工作說明、前處理和後處理、文件依據等進行規範。

(7).熱噴覆耗材

熱噴覆耗材控管中的責任和程序規定。

(8).熱噴覆材料的儲存和搬運

儲存之控管與標示。

(9).與熱噴覆相關的檢查和試驗

規範在熱噴覆開始之前應進行之查驗、熱噴覆中的檢查和試驗、熱噴覆後的檢查和試驗。

(10).不合格與矯正措施

(11).校正

(12).標示和可追溯性

(13).品質記錄

4. ISO 14922-4 基本品質要求

本標準規定內容如下:

(1).合約和設計的評審

製造商應該對買方提供的合約要求和設計資料或製造商設計的構件內部資料進行評審。確保在工作開始之前，獲得工程進行所必需的資料。製造商應該確認其有能力滿足熱噴覆合約的所有要求，並落實所有與品質有關活動的完善計畫。

(2).分包

規範任何分包商都應在製造商的指令和職責下工作，並應該完全滿足本標準的有關要求。

(3).熱噴覆人員

規範製造商應按規定的要求，安排足夠有資格的人員進行熱噴覆生產的計畫、實施、監督和檢查。

(4).品質測試人員

規範製造商應具備足夠資格的人員實施品質測試。

(5).設備

包含廠房、倉庫、生產過程相關設備及健康、安全和環境問題進行規範。

(6).熱噴覆的實施

規範熱噴覆應依照適當的熱噴覆程序來實施。

(7).熱噴覆耗材

規範熱噴覆耗材控管中的責任和程序規定。

(8).熱噴覆材料的儲存和搬運

儲存之控管與標示。

(9).與熱噴覆相關的檢查和試驗

規範熱噴覆前的檢查和試驗、熱噴覆後的檢查和試驗。

(10).不合格與矯正措施

規範管制不符合規定要求的項目，以防止它們被非有意地使用。

(11).校正

規範製造商應負責對檢查、測量和試驗儀器進行適當的校正。

(12).標示和可追溯性

在整個製造過程中，應適當標示和可追溯性。

(13).品質記錄

5.6 港灣構造物陰極防蝕準則草案增修

本所於民國 96 年 5 月制定「港灣構造物陰極防蝕設計規範（草案）」，由於鋼筋混凝土外加電流式陰極防蝕鈦基材陽極材料的選用早期僅限於含有混合金屬氧化層的鈦網陽極與鈦網條狀陽極，然而隨著經驗的累積與施工便利性的要求，近年來已發展出覆有混合金屬氧化層之鈦柱陽極與鈦帶陽極，施工技術上也隨著新材料的發展而有所突破，因此有必要檢討「港灣構造物陰極防蝕設計規範（草案）」之現有內容與完整性，並增修近年來新開發之陰極防蝕工法及材料之相關內容。

5.6.1 鋼筋混凝土外加電流式陰極防蝕陽極系統介紹

鋼筋混凝土結構外加電流式陰極保護所使用的陽極材料可分為三種：(1) 碳基材陽極 (carbon based anodes)，(2) 鈦基材陽極 (titanium based anodes)，(3) 熱噴覆金屬陽極(thermally sprayed metallic anodes)。以碳為基材的陽極包括導電性塗料與導電性橡膠，施工方法為先在混凝土表面挖一溝槽，嵌入鈦鍍白金線與導電性樹脂，作為導電用之主要陽極，然後在混凝土表面塗覆碳系(含 70%以上碳素)等導電性塗料或是在混凝土面鋪設導電性橡膠作為次要陽極的裝設。以鈦為基材的陽極其表面均有一層混合金屬氧化層(Mixed metal oxide, MMO)，此氧化層具有高導電性與低消耗率(小於 1mg/ Amp/ year)的特性，而陽極的型式則包括 MMO 鈦網陽極、MMO 鈦網條狀陽極、MMO 鈦柱陽極與 MMO 鈦帶陽極。至於熱噴覆金屬陽極則是將鋅或鈦以熱噴覆的方式噴塗在混凝土表面，以熱噴覆層作為外加電流式陰極保護的陽極使用。

各陽極的應用與其優缺點比較如表 5-12 所示[22]。顯然的，鈦基材陽極因具有高導電性與低消耗率的特性而常被設計使用，但早期僅限於 MMO 鈦網陽極與 MMO 鈦網條狀陽極兩種型式，隨著經驗的累積與施工便利性的要求，近年來國外已發展出 MMO 鈦柱陽極與 MMO 鈦帶陽極。臺灣過去僅有 MMO 鈦網陽極與 MMO 鈦網條狀陽極的使用經驗，因此針對 MMO 鈦柱陽極與 MMO 鈦帶陽極作一介紹，並比較各型 MMO

鈦陽極在使用上的優缺點。

表 5-12 各種陽極的應用

陽極的種類	適用於	不適用於
碳基材陽極	乾燥的環境 提供較低的保護電流 結構物的剩餘服務壽命較短的情況下	乾濕交替的環境 潮濕的環境 無法提供中等或較高的保護電流
鈦基材陽極	乾濕交替的環境 潮濕的環境 能提供由低至高所須各種程度的保護電流 結構物的剩餘服務壽命仍就很長的情況下	非常乾燥的環境
熱噴覆金屬陽極	結構物有複雜的幾何形狀 結構物所在環境的相對濕度較高的情況下	結構物的剩餘服務壽命仍舊很長的情況下 與水直接接觸的環境 人車通行的混凝土表面(No riding surface)

1. MMO 鈦網陽極(Mesh anode)

MMO 鈦網陽極(圖 6.1)於 1984 年開始使用，在陽極表面與混凝土界面間可提供 110 mA/m^2 的電流密度，安裝步驟(圖 5.9 至圖 5.10)如下：

(1). 安裝的位置參考設計圖。

(2). 安裝前必須清除混凝土表面殘餘污漬或雜物，且安裝位置的混凝土厚度必須量測，以確保混凝土厚度大於 15 mm，避免陽極與鋼筋間有接近短路(near-short)的現象。若混凝土厚度小於 15 mm，使用塑膠製的隔離器(spacer)隔開。

(3). MMO 鈦網必須完全平貼固定於乾淨混凝土表面，安裝方法為混凝土鑽孔後，以適當的塑膠固定釘(plastic fasteners)固定之，塑膠釘間距約為 1 m。

(4). MMO 鈦網之導電或搭接方式為使用導電條(MMO 鈦條)於每個搭接位置以點銲銲接，點銲機依陽極供應商的建議使用，銲接前須利

用導電條進行測試，以獲得最佳的電壓或電流輸出設定。

(5). 導電條安裝的位置參考設計圖為之。

(6). 導電條末端與陽極導線(anode header cable)必須於接線箱中接續。

(7). 以噴漿或灌漿方式在鈦網陽極上方以混凝土覆蓋。

根據國外使用經驗指出，MMO 鈦網陽極的優點為：

- 有多個電路通路可從整流器提供陰極保護電流。
- 提供的保護電流可均勻的分佈到被保護的鋼筋，因鈦網陽極為整個覆蓋於混凝土表面。

缺點為：

- 鈦網陽極須鋪設於整個被保護的混凝土表面。
- 鈦網陽極的上層表面須要再用混凝土覆蓋。
- 覆蓋的混凝土會增加結構物的負載(dead load)。
- 若鈦網陽極鋪設於鋼筋混凝土結構的上方，則陽極上方覆蓋的混凝土與既有混凝土間有很好的接著力；但若置於鋼筋混凝土結構的垂直面或下方(如大樑側面與底部或碼頭面板的底部)且新的混凝土是使用噴漿方式覆蓋，則新舊混凝土間接著困難，長期暴露的結果，新的混凝土有剝落的情況且保護系統有 99%的失敗率[22]。
- 因使用鈦基材的量較大，陽極材料的價格相對昂貴。

2. MMO 鈦網條狀陽極(Ribbon mesh anode)

MMO 鈦網條狀陽極如圖 5.11 所示，在陽極表面與混凝土界面間可提供 110 mA/m^2 的電流密度，其安裝的步驟(圖 5.12 至圖 5.14)如下：

(1). 安裝的位置參考設計圖。

(2). 針對既有鋼筋混凝土結構物，

a. 安裝前必須清除混凝土表面殘餘污漬或雜物，且安裝位置的混凝土厚度必須量測，以確保混凝土厚度大於 35 mm，避免陽極與鋼筋間有接近短路(near-short)的現象。

b. 混凝土表面以 saw-cutting 機具在陽極安裝位置切出溝槽。一般而言，13 mm 寬的鈦網條狀陽極其溝槽深度為 25 mm，而 19 mm 寬的陽極其溝槽深度須 32 mm。

c. 溝槽間的距離視被保護鋼筋的密度而定，一般為 20 cm ~ 40 cm 之間。

d. 將 MMO 鈦網條狀陽極固定於溝槽內。

e. 以水泥砂漿將開鑿之溝槽充實填滿。

(3). 針對新的鋼筋混凝土結構物，

a. 以塑膠製的扣夾(clips)將 MMO 鈦網條狀陽極固定於鋼筋上。

b. 以噴漿或灌漿方式進行混凝土覆蓋。

(4). MMO 鈦網條狀陽極導電或搭接方式為使用導電條(MMO 鈦條)於每個搭接位置以點銲銲接，點銲機依陽極供應商的建議使用，銲接前須利用導電條進行測試，以獲得最佳的電壓或電流輸出設定。

(5). 導電條安裝的位置須參考設計圖為之。

(6). 導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。

MMO 鈦網條狀陽極使用的優點為：

- 針對既有鋼筋混凝土結構物，不須要大量的混凝土覆蓋。
- 適用於新的鋼筋混凝土結構物。
- 材料價格較 MMO 鈦網陽極相對便宜。

缺點為：

- 與 MMO 鈦網陽極相較，保護電流較不均勻。
- 既有結構物的混凝土保護層厚度須大於 35 mm。

- 溝槽切割的價格昂貴。
- 很難將水泥砂漿完全充實填滿於寬度較小的溝槽內。
- 若溝槽內充填的水泥砂漿無法與既有混凝土保護層緊密結合，則水氣或氯離子容易由該處滲入，該位置溝槽內的陽極會局部的大量放電，於陽極表面產生氫離子與氯氣，造成鄰近混凝土的 pH 值降低。
- 若被保護的鋼筋密度較大且所須的保護電流較高時，MMO 鈦網條狀陽極可能須佈滿於整個混凝土表面。
- 若施工廠商無相當經驗，該陰極防蝕系統常會因陽極與鋼筋間的短路而失敗，因此在陽極安裝時須密集的進行陽極與鋼筋間的短路測試。

3. MMO 鈦柱陽極(Discrete anode)

MMO 鈦柱陽極為近年發展出的陽極系統，其使用 MMO 鈦線纏繞成柱狀的陽極(如圖 5.15 所示)，在陽極與混凝土界面間可提供高達 440 mA/m^2 的電流密度，針對結構物之大樑、墩柱、支架等鋼筋密度較高的構件，為一最經濟有效的陽極系統。安裝步驟(圖 5.16 至圖 5.18)如下：

(1). 安裝的位置參考設計圖。

(2). 安裝時首先要在混凝土上鑽孔，孔洞尺寸依設計圖為之，鑽孔間距則視現場鋼筋的位置而定。鑽孔時要避開鋼筋，即先以鋼筋探測器找出鋼筋所在位置後再行鑽孔。承包廠商須依現場鋼筋狀況決定實際鑽孔位置，並繪圖記錄之。

(3). 鑽孔後孔洞內的碎屑必須清除，檢視完畢後使用器具固定 MMO 鈦柱陽極並插入孔洞中，灌入無收縮性水泥砂漿。

(4). MMO 鈦柱陽極的導電條為 MMO 鈦條，安裝位置參考設計圖。導電條的安裝為在混凝土表面切割 30 mm 寬 x 30 mm 深的溝槽，將 MMO 鈦條置入，再使用點銲的方式將導電條與鈦柱陽極的接線相連接，完成後溝槽內以環氧樹脂填補。

(5). 導電條與鈦柱陽極銲接前，點銲機之最佳電壓或電流輸出設定須利用導電條的銲接進行試測。

(6). 導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。

(7). 鈦柱陽極安裝灌漿後必須進行陽極與鋼筋間的短路測試，以避免陽極與鋼筋間有短路現象；測試時間為灌漿完成後至少一日。

MMO 鈦柱陽極使用的優點為：

- 陽極可由結構物的任何一側安裝施工；安裝時僅須鑽孔，不須使用價格昂貴的溝槽切割，完工時亦不須使用大量的混凝土覆蓋，故安裝費用較鈦網條狀陽極與鈦網陽極便宜。
- 當鈦柱陽極所在的位置距被保護的鋼筋有相當的距離時，陽極可提供均勻的保護電流。
- 因鈦柱陽極所在的位置位於鋼筋混凝土結構較深的地方，該處混凝土的氯離子含量較低，鈦柱陽極可提供較大的保護電流密度。

缺點為：

- 若鋼筋密度太高時，不易鑽孔；若可鑽孔，鈦柱陽極僅能保護結構較深地方的內部鋼筋，無法保護結構外層易受腐蝕的鋼筋。
- 若陽極間距太大，部份鋼筋可能會有保護不足的現象。

4. MMO 鈦帶陽極(Tape anode)

MMO 鈦帶陽極為最近 5 年間發展出的陽極系統，為一膠帶式的陽極(如圖 5.19 所示)，以鈦為基材，一面為絕緣，另一面覆有 MMO 混合金屬氧化層與導電性黏著劑，厚度約為 0.05 mm，在陽極表面與混凝土界面間可提供 150 mA/m^2 的電流密度，適用於潮濕或乾濕交替的環境，因其可直接貼附於混凝土表面，不須進行溝槽切割或鑽孔，且不須要混凝土覆蓋，為各式 MMO 鈦陽極系統中安裝最為簡易的陽極系統。

安裝步驟(圖 5.20 至圖 5.21)如下：

(1). 安裝的位置參考設計圖。

(2). MMO 鈦帶陽極安裝前，安裝位置(約 50 mm 的寬度)須先標示出來，且安裝位置下的混凝土厚度必須量測，以確保混凝土厚度大於 15 mm，避免陽極與鋼筋間有接近短路的現象。若混凝土厚度小於 15 mm，混凝土表面可採用下列的方法進行改善：

a. 塗覆非導電性環氧樹脂於混凝土表面，但塗佈長度不得超過 50 mm。

b. 移動 MMO 鈦帶陽極之安裝位置，避開混凝土厚度小於 15mm 的區域，但離原安裝位置左右移動的最大距離為 50 mm。

c. 清除裸露的鋼筋或金屬構件。

d. 若混凝土厚度小於 15mm 的區域很大，則須進行混凝土開挖與修補的工作。

e. 承包廠商之陰極防蝕工程師或專業工程師亦可依現場狀況提出替代的改善建議與修復方法，經業主或業主委託之監造單位審核通過後執行之。

(3). MMO 鈦帶陽極安裝前必須目視檢查安裝位置之混凝土是否有裂縫；若發現裂縫，使用非導電性環氧樹脂修補。

(4). MMO 鈦帶陽極安裝位置的混凝土表面必須使用混凝土研磨機進行前處理，確保混凝土表面清潔與平整，以增加鈦帶陽極與混凝土間的黏著性；千萬不可使用砂輪機研磨，避免造成混凝土表面粗糙。

(5). MMO 鈦帶陽極的安裝為直接將陽極貼附在混凝土表面，貼附時鈦帶陽極不可扭結，若發現有扭曲現象，應立即更換。貼附後須使用表面平滑之金屬棒輕壓鈦帶陽極，以確保陽極緊密黏著於混凝土表面。

(6). 當 MMO 鈦帶陽極與混凝土間的黏著性不佳時可參考下列方式改善：

a. 黏著不良長度小於 5 mm 時，不作任何處置。

b. 黏著不良長度大於 5 mm 但小於 20 mm 時，使用非導電性環氧樹脂黏著鈦帶陽極於混凝土上。

c. 黏著不良長度大於 20 mm 時，切除黏著不良的部份，使用新的鈦帶陽極，並以點銲方式連接。

(7). MMO 鈦帶陽極的導電裝置為有黏著性的純鈦導電帶，尺寸約為 20 mm 寬 x 0.07 mm 厚，安裝位置參考設計圖。MMO 鈦帶陽極與導電帶的連接須使用 60 mm 長 x 20 mm 寬 x 0.07 mm 厚且無黏著性的鈦帶以點銲的方式連接。

(8). 導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。

(9). 在鈦帶陽極安裝過程中以及導電帶安裝後必須進行陽極與鋼筋間的短路測試，確保陽極與鋼筋間無短路現象。

(10).鈦帶陽極安裝後須使用耐酸性的環氧樹脂塗料塗覆於陽極表面，塗層厚度約 0.5 mm。塗覆後，立刻將 FRP 製成之纖維織布(纖維織布的寬度須大於鈦帶陽的寬度左右各約 15 mm)壓擠於濕的環氧樹脂塗料上，使環氧樹脂完全滲入 FRP 纖維織布內；完成 4 小時後，再使用耐酸性環氧樹脂塗料於 FRP 纖維織布上塗覆一道。

MMO 鈦帶陽極使用的優點為：

- 適用於新建與既有的鋼筋混凝土結構物上。
- 可安裝在保護層較小(> 10 mm)的鋼筋混凝土結構物上。
- 不須要任何混凝土覆蓋。
- 施工快速簡單且安裝費用低。
- 可容易的調整陽極間距以提供適當的保護電流。
- 陽極與鋼筋間發生短路的機率極小。
- 陽極材料的價格較鈦網陽極與鈦網條狀陽極相對便宜。

缺點為：

- 不若鈦網陽極可提供均勻的保護電流。
- 混凝土表面須清潔與平整。
- 鈦帶陽極與大氣的接觸面須使用耐酸性的環氧樹脂塗料與 FRP 製成之纖維織布覆蓋。

由於不同型式的 MMO 鈦陽極其所適用的環境不同，所以單一型式的 MMO 鈦陽極亦無法適用於所有的暴露環境與鋼筋混凝土構件，因此如何選擇經濟有效的陽極系統是為陰極保護設計最重要的考量因素。以碼頭鋼筋混凝土結構物為例，大面積的碼頭底版長期處於潮濕的環境，偶爾受到海水潑濺，可選用 MMO 鈦帶陽極；碼頭底版的大樑受潮汐的影響若部份時間會浸泡於海水中，則可考率使用 MMO 鈦柱陽極或 MMO 鈦網陽極外覆 FRP 夾克的系統；至於碼頭冠牆結構，也因鋼筋密度較高，可於水上部位採用 MMO 鈦柱陽極。

綜言之，各式 MMO 鈦基材陽極的使用壽命、電流分佈、安裝步驟、材料與安裝經費之比較如表 5-13 所示。

表 5-13 鋼筋混凝土陰極保護各式 MMO 鈦基材陽極之比較

	壽命	電流分佈	材料價格	安裝費用	耐久性	安裝難易度	優點	缺點
鈦網陽極	> 40 年	均勻(Excellent)	昂貴(High)	昂貴(High)，因為須要大量的混凝土覆蓋	好(Good durability)	複雜，須清除表層混凝土，陽極安裝後須要混凝土覆蓋	有長時間的使用實蹟	若安裝於結構物的垂直面或下方，長期暴露的結果，新舊混凝土間有剝落的情況，造成保護系統99%的失敗率
鈦網條狀陽極	> 40 年	適當(Adequate)	中等(Moderate)	昂貴(High)，因為須要溝槽切割	好(Good durability)	複雜，因為須要溝槽切割，陽極安裝後溝槽不易填實	有長時間的使用實蹟	● 混凝土保護層不足時無法安裝 ● 陽極與鋼筋間容易發生接近短路的現象，造成保護電流分配不均
鈦柱陽極	> 40 年	均勻(Excellent)，但須視安裝的間距而定	中等(Moderate)	中等(Moderate)	好(Good durability)	● 須要避開鋼筋進行鑽孔 ● 安裝快速	適當正確的設計可提供較大且均勻的保護電流	● 須要適當正確的設計 ● 無法使用於鋼筋密度分佈極高的區域
鈦帶陽極	> 40 年	適當至均勻(Adequate to Excellent)，端視鈦帶陽極的尺寸而定	中等(Moderate)	低(Low)	好(Good durability)	● 簡單、快速 ● 須要平整的混凝土表面	● 可在較薄的混凝土保護層上安裝 ● 安裝簡單、快速且價格較低	● 人車通行的混凝土表面 ● 安裝後須使用耐酸性的環氧樹脂塗料塗覆於陽極表面

圖 5.8 MMO 鈦網陽極

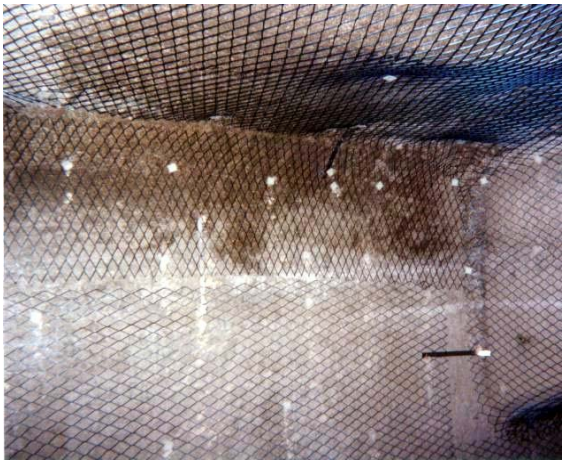


圖 5.9 MMO 鈦網陽極安裝

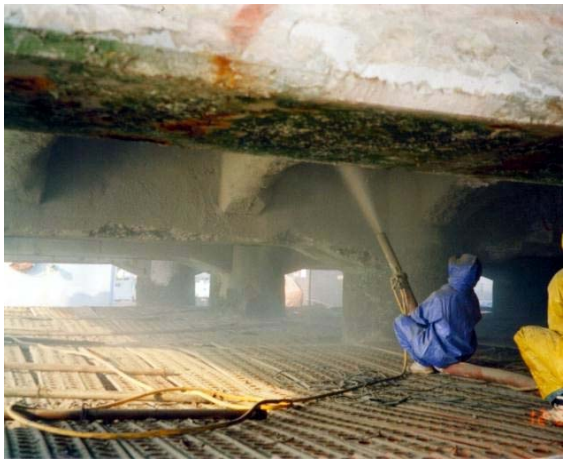


圖 5.10 鈦網陽極表面以噴漿覆蓋

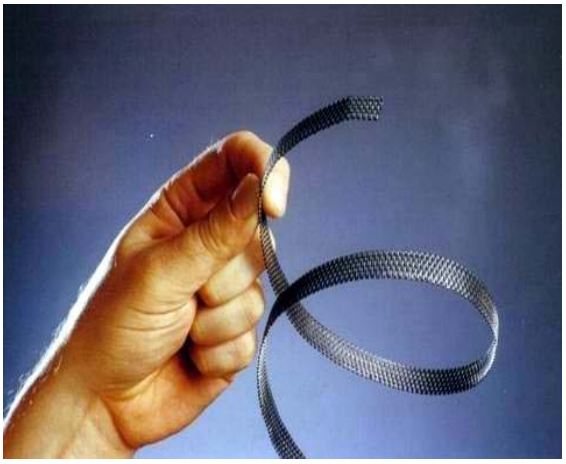


圖 5.11 MMO 鈦網條狀陽極

圖 5.12 溝槽切割

圖 5.13 MMO 鈦網條狀陽極安裝

圖 5.14 溝槽以混凝土填實

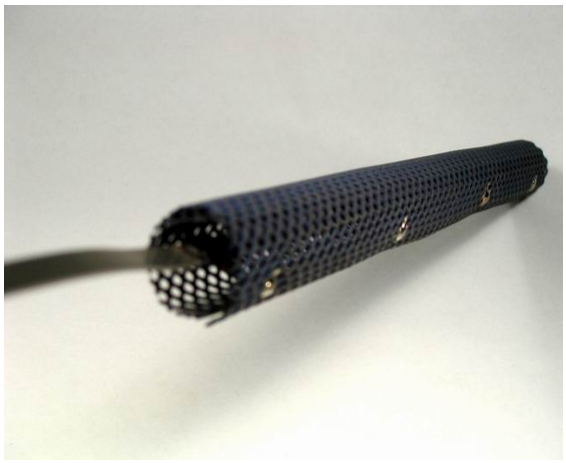


圖 5.15 MMO 鈦柱陽極

圖 5.16 鑽孔

圖 5.17 陽極安裝孔洞

圖 5.18 陽極安裝完成

圖 5.19 MMO 鈦帶陽極

圖 5.20 MMO 鈦帶陽極安裝

圖 5.21 陽極安裝完成

5.6.2「港灣構造物陰極防蝕設計規範（草案）」檢討與增修

因應鋼筋混凝土外加電流式陰極防蝕鈦基材陽極材料與施工技術的創新發展，建議將「港灣構造物陰極防蝕設計規範（草案）」「4.2 陽極材料」與「5.7 陽極安裝」之內容進行增修，增修內容對照如下：

「4.2 陽極材料」原條文與解說：

4.2 陽極材料 外加電流法或犧牲陽極法的陰極保護系統，均有不同陽極材料可以選用。陽極材料的選擇應考慮構造物的特性、環境的適用性與使用年限等因素，以達預期保護之功能。

解說：

1.鈦陽極

鈦陽極基材應符合ASTM B265 Titanium, Grade 1之規定。鋼筋混凝土構造物使用之形狀為網狀或條狀。

2.鋅陽極

鋅陽極(鋅網)使用之材料成分應符合ASTM B6或B69之規定。

ASTM B6-03 “Standard Specification for Zinc”

ASTM B69-01a(2005) “Standard Specification for Rolled Zinc”

3.鋅熱噴覆

鋅熱噴覆所使用的陽極材料依ASTM B8331或ANSI/AWS 5.33之規定(ANSI為美國國家標準局、AWS為美國銲接協會)。

4.其他陽極材料

上述材料外，如使用其它陽極材料時，材料供應商應提供相關技術性資料，以評估其替代之可行性。

「4.2 陽極材料」增修後條文與解說：（增修內容以粗體字加底線表現）

4.2 陽極材料 外加電流法或犧牲陽極法的陰極保護系統，均有不同陽極材料可以選用。陽極材料的選擇應考慮構造物的特性、環境的適用性與使用年限等因素，以達預期保護之功能。

解說：

1.鈦陽極

鈦陽極基材應符合ASTM B265 Titanium, Grade 1之規定。鋼筋混凝土構造物使用之形狀為**MMO鈦網陽極、MMO鈦網條狀陽極、MMO鈦柱陽極與MMO鈦帶陽極**。

2.鋅陽極

鋅陽極(鋅網)使用之材料成分應符合ASTM B6或B69之規定。

ASTM B6-03 “Standard Specification for Zinc”

ASTM B69-01a(2005) “Standard Specification for Rolled Zinc”

3.鋅熱噴覆

鋅熱噴覆所使用的陽極材料依ASTM B8331或ANSI/AWS 5.33之規定(ANSI為美國國家標準局、AWS為美國銲接協會)。

4.其他陽極材料

上述材料外，如使用其它陽極材料時，材料供應商應提供相關技術性資料，以評估其替代之可行性。

「5.7 陽極安裝」原條文與解說：

5.7 陽極安裝 所有陽極系統的安裝必須符合該陽極系統之規範要求。

解說：陽極系統安裝時，導電性塗料或被覆(overlay)材料必須無污染與雜質。使用導電性塗料、陽極及混凝土表面須乾燥；使用被覆材料，混凝土表面的粗糙度和潮溼程度，將視使用的被覆材料而定。

1.導電性塗料

構造物表面應以噴砂或其它適當方法處理，以去除油污(漬)、水份及粗糙的聚集物為主；處理後混凝土表面應保持乾燥，避免再污染。鋼筋如與導電性塗料間的接觸，將會導致系統短路、失效，或造成混凝土內其它部位鋼筋的腐蝕。

2.金屬熱噴覆

每次施工前需量測金屬熱噴覆材料重量，其重量誤差依設計規範為準，施工時以10-20平方公尺為一單位，採用金屬貼片法檢測施工厚度。以條狀或圓形貼片量測，條狀貼片為2.5公分

長2公分寬，並依2.5公分之等間距量測5點，圓形貼片直徑6公分任意量測5點，量測結果如有一點膜厚未達標準，則該區域為不合格。在膜厚不合格的情況下，若膜厚太薄，則繼續噴塗至要求膜厚。

3.MMO鈦網陽極

鈦網陽極安裝時，混凝土表面殘餘污漬或雜物必須清除，鈦網必須以塑膠釘依適當間距固定於乾淨混凝土表面。連接導電棒之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

「5.7 陽極安裝」增修後條文與解說：（增修內容以粗體字加底線表現）

5.7 陽極安裝 所有陽極系統的安裝必須符合該陽極系統之規範要求。

解說：陽極系統安裝時，導電性塗料或被覆(overlay)材料必須無污染與雜質。使用導電性塗料、陽極及混凝土表面須乾燥；使用被覆材料，混凝土表面的粗糙度和潮溼程度，將視使用的被覆材料而定。

1.導電性塗料

構造物表面應以噴砂或其它適當方法處理，以去除油污(漬)、水份及粗糙的聚集物為主；處理後混凝土表面應保持乾燥，避免再污染。鋼筋如與導電性塗料間的接觸，將會導致系統短路、失效，或造成混凝土內其它部位鋼筋的腐蝕。

2.金屬熱噴覆

每次施工前需量測金屬熱噴覆材料重量，其重量誤差依設計規

範為準，施工時以10-20平方公尺為一單位，採用金屬貼片法檢測施工厚度。以條狀或圓形貼片量測，條狀貼片為2.5公分長2公分寬，並依2.5公分之等間距量測5點，圓形貼片直徑6公分任意量測5點，量測結果如有一點膜厚未達標準，則該區域為不合格。在膜厚不合格的情況下，若膜厚太薄，則繼續噴塗至要求膜厚。

3. **MMO**鈦網陽極

鈦網陽極安裝時，混凝土表面殘餘污漬或雜物必須清除，鈦網必須以塑膠釘依適當間距固定於乾淨混凝土表面。連接導電棒之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

4. MMO 鈦網條狀陽極

針對既有鋼筋混凝土結構物：

鈦網條狀陽極安裝時，混凝土表面殘餘污漬或雜物必須清除，混凝土表面以saw-cutting機具在陽極安裝位置切出溝槽，將MMO鈦網條狀陽極固定於溝槽內，以水泥砂漿將開鑿之溝槽充實填滿。MMO鈦網條狀陽極導電或搭接方式為使用導電條(MMO鈦條)於每個搭接位置以點銲銲接，點銲機依陽極供應商的建議使用，銲接前須利用導電條進行測試，以獲得最佳的電壓或電流輸出設定。連接導電條之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

針對新的鋼筋混凝土結構物：

以塑膠製的扣夾(clips)將MMO鈦網條狀陽極固定於鋼筋上，以噴漿或灌漿方式進行混凝土覆蓋。MMO鈦網條狀陽極導電或搭接方式為使用導電條(MMO鈦條)於每個搭接位置以點銲銲接，點銲機依陽極供應商的建議使用，銲接前須利用導電條進行測試，以獲得最佳的電壓或電流輸出設定。連接導電條之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

5. MMO 鈦柱陽極

安裝時首先要在混凝土上鑽孔，孔洞尺寸依設計圖為之，鑽孔間距則視現場鋼筋的位置而定。鑽孔時要避開鋼筋，即先以鋼筋探測器找出鋼筋所在位置後再行鑽孔。將MMO鈦柱陽極插入孔洞中，灌入無收縮性水泥砂漿。MMO鈦柱陽極的導電條為MMO鈦條，安裝位置參考設計圖。導電條的安裝為在混凝土表面切割30 mm 寬 x 30 mm深的溝槽，將MMO鈦條置入，再使用點銲的方式將導電條與鈦柱陽極的接線相連接，完成後溝槽內以環氧樹脂填補。導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。

6. MMO 鈦帶陽極

MMO鈦帶陽極安裝前必須目視檢查安裝位置之混凝土是否有裂縫；若發現裂縫，使用非導電性環氧樹脂修補。MMO鈦帶陽極安裝位置的混凝土表面必須使用混凝土研磨機進行前處理，確保混凝土表面清潔與平整，以增加鈦帶陽極與混凝土間的黏著性。MMO鈦帶陽極的安裝為直接將陽極貼附在混凝土表面，貼附時鈦帶陽極不可扭結。MMO鈦帶陽極的導電裝置為有黏著性的純鈦導電帶，鈦帶陽極與導電帶的連接須使用無黏著性的鈦帶以點銲的方式連接。導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。鈦帶陽極安裝後須使用耐酸性的環氧樹脂塗料塗覆於陽極表面，立刻將FRP製成之纖維織布(纖維織布的寬度須大於鈦帶陽的寬度左右各約15 mm)壓擠於濕的環氧樹脂塗料上，使環氧樹脂完全滲入FRP纖維織布內；完成4小時後，再使用耐酸性環氧樹脂塗料於FRP纖維織布上塗覆一道。

5.7 大氣腐蝕因子資料庫功能維護與擴充

5.7.1 系統功能規劃

大氣腐蝕因子資料庫系統歷經兩年的功能規畫與製作，在 Web 網頁前端的資訊提供功能，以及後台的資料庫管理功能，均已達成需求。但系統的改善永無止境；因此，本年度的系統功能規畫上，除了持續擴充新增加的數據資料；主要的功能規畫便放在使用介面的整合部分，透過 GoogleMap 的整合，加強使用上的便利性。本年度在此資料庫系統中維護並擴充項目說明如下：

1. 新增數據與資料上架：根據需求，將 2009 年與 2010 年新增的數據資料加入資料庫。包含 2009 年第三季與 2009 年第四季腐蝕數據，2009 年各監測點之金屬腐蝕相片；使腐蝕數據的更新與完整性能持續保持。

2. 資料庫資料結構擴充與程式調整：為了提供前述新增的數據資料輸入並保存在資料庫，且考量到 2010 年度資料的擴充性。故在資料顧的資料結構方面，擴充了 2009 年~2010 年度的資料欄位，使未來的資料更新擴充性，在資料庫方面準備完整；在程式調整方面，為了搭配前述的資料庫結構擴充與資料新增，使資料的顯示與比較等功能正常顯示，因此系統相關的程式均做過調整，以搭配資料顯示與擴充。

3. Goolgle Map 整合: 為了讓使用者在使用本系統中，觀察數據的使用上更加方便，因此將目前全球通行之 GooleMap 整合進入本資料庫系統，讓使用介面朝更便利，更直覺化的方向發展。

5.7.2 新增數據與資料上架

本資料庫系統於 2010 年上架的資料，計有:

1. 相關試驗點 2009 年第三季數據
2. 相關試驗點 2009 年第四季數據

3. 相關試驗點 2009 年度金屬試驗相片

根據港灣技術研究中心的需求與指示，調整網站在資料顯示方面，增加 2009.07~2009.10 以及 2009.10~2010.01 的資料數據；此外，並新增了 2009 年金屬現地試驗相片的資料。如圖 5.22~5.27 所示:

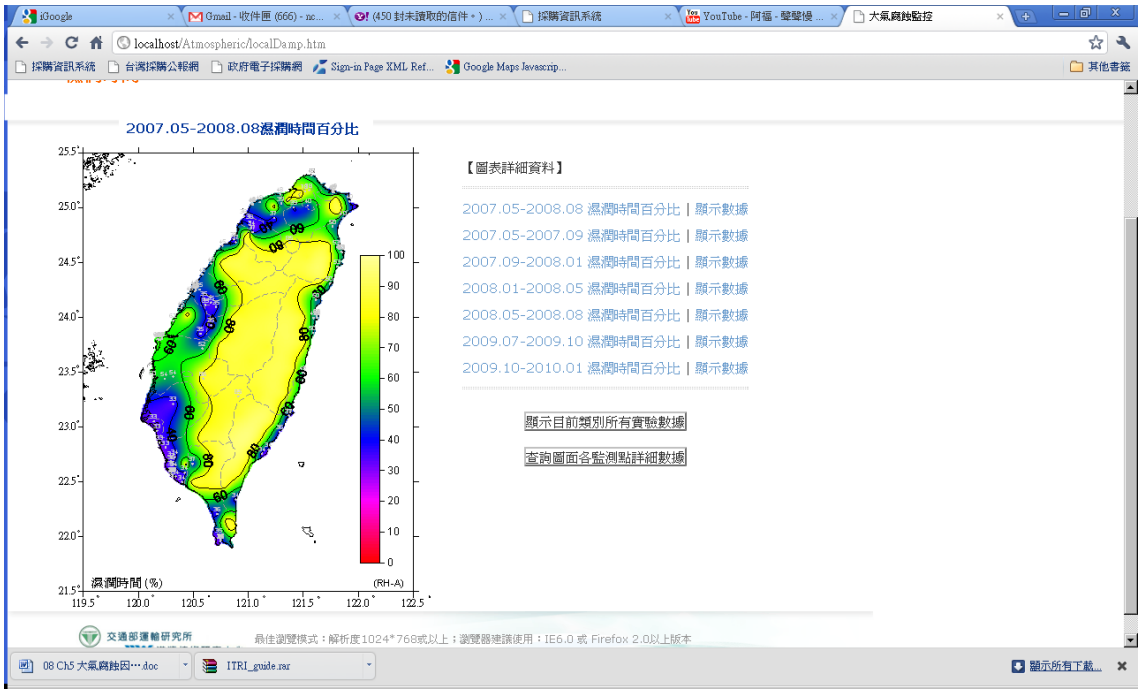


圖 5.22 濕潤時間新增資料顯示

圖 5.23　2009 年金屬現地試驗相片資訊

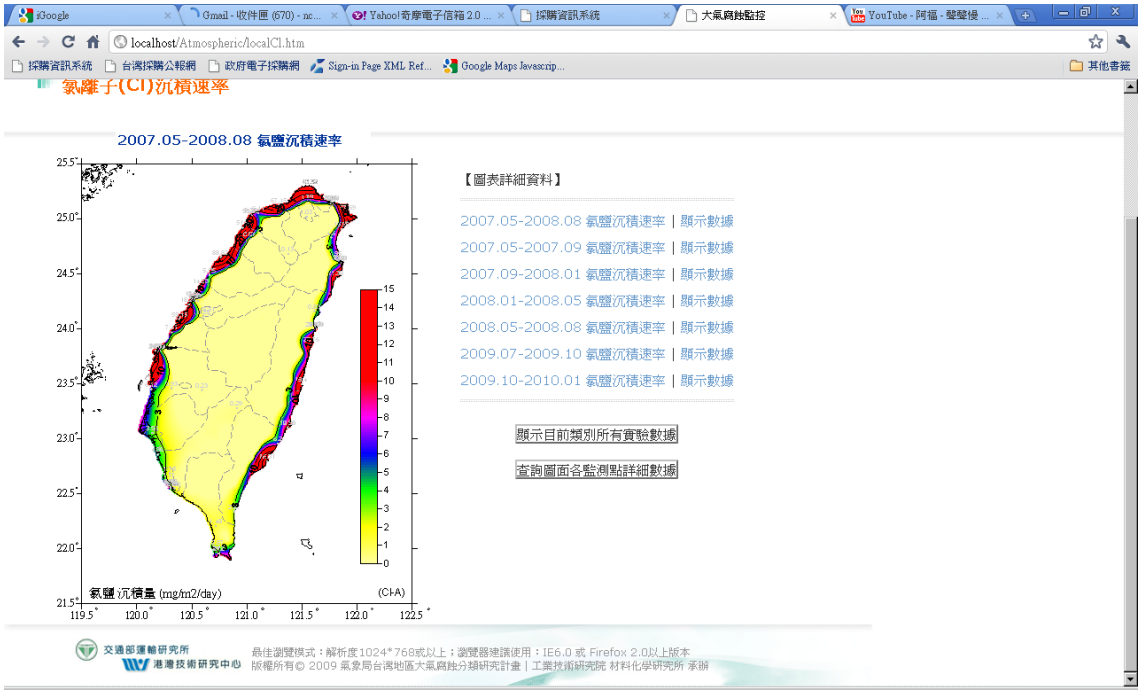


圖 5.24　氯離子新增資料顯示

05-09 /day)	2007.09-2008.01 (mg/m²/day)	2008.01-2008.05 (mg/m²/day)	2008.05-2008.08 (mg/m²/day)	2007.05-2008.08 (mg/m²/day)	全年期大氣腐蝕環境分類	2009.07-2009.10 (mg/m²/day)	2009.10-2010.01 (mg/m²/day)
-8	9.456	11.22	7.694	40.32	S1		
7	7.372	14.41	-	-	S1	4.0927	15.9437
4	0.382	10.84	4.671	20.61	S1	13.3076	20.0029
7	0.250	4.615	2.329	8.752	S1		
2	1.078	2.147	0.849	3.139	S1		
2	0.324	4.646	3.123	7.692	S1	12.2698	
5	-	23.75	48.96	97.68	S2		

圖 5.25 氯離子新增資料顯示(詳細)

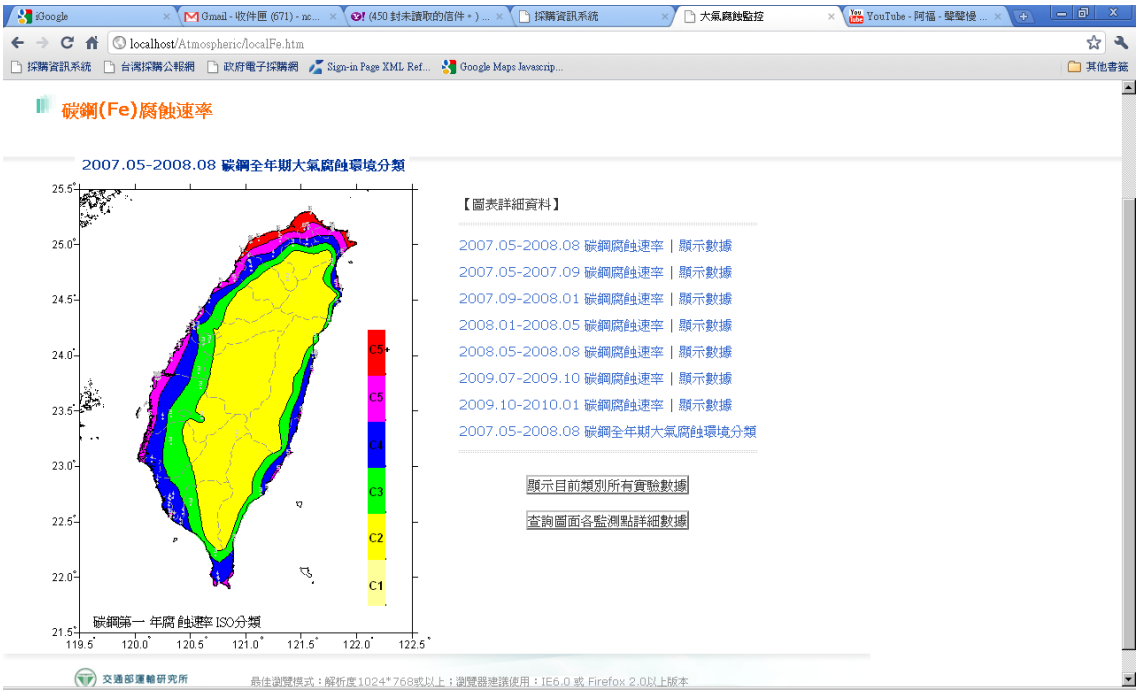


圖 5.26 碳鋼(Fe)新增資料顯示

Fe(鐵)試驗地點實驗數據

試驗地點	2007.05-2007.09 (μm/yr)	2007.09-2008.01 (μm/yr)	2008.01-2008.05 (μm/yr)	2008.05-2008.08 (μm/yr)	2007.05-2008.08 (μm/yr)	全年期大氣腐蝕環境分類	2009.07-2009.10 (μm/yr)	2009.10-2010.01 (μm/yr)
核一廠	226.6	388.1	230.7	350.9	290.9	C5+		
基隆試驗線0m	126.3	254.2	218.7	151.3	247.0	C5+	237.032	363.96
基隆試驗線100m	-	-	-	-	-	-	417.192	435.132
基隆試驗線300m	68.92	249.4	179.4	100.4	247.2	C5+		
基隆試驗線1Km	57.69	173.2	175.9	72.55	112.5	C5		
基隆試驗線3Km	58.72	205.7	148.3	69.30	113.4	C5	183.826	228.159
澳底安檢所	158.8	325.5	274.2	210.9	323.6	C5+		
梗枋安檢所	129.8	212.6	39.26	172.3	155.1	C5	289.133	165.335
礁溪火車站	24.44	58.24	54.96	63.58	27.28	C3		

圖 5.27 碳鋼(Fe)新增資料顯示(詳細)

其餘腐蝕因子的新增資料，其格式與呈現方式與上述的氯離子、碳鋼(Fe)等相同，故不再一一贅述。

5.7.3 資料庫資料結構擴充與程式調整

為了提供前述新增的數據資料輸入並保存在資料庫，且考量到2010 年資料的擴充性。故在資料顧的資料結構方面，擴充了 2009 年~99 年的資料欄位，使未來的資料更新擴充性，在資料庫方面準備完整。

在資料庫方面擴充的欄位，說明如表 5-14 所示

表 5-14　Access 資料庫資料表欄位擴充說明

資料表名稱	欄位名稱	中文說明	備註
view_totaldata	ac_98q3data	2009 年第三季資料	本年度使用
view_totaldata	ac_98q4data	2009 年第四季資料	本年度使用
view_totaldata	ac_99q1data	2010 年第一季資料	未來擴充
view_totaldata	ac_99q2data	2010 年第二季資料	未來擴充
view_totaldata	ac_9899data	2009~2010 年數據坪均	未來擴充
view_totaldata	ac_9899iso	2009~2010 年 ISO 值	未來擴充
ac_mpdata	ac_lat	監測點經度(google 單位)	googlemap 使用
ac_mpdata	ac_lng	監測點緯度(google 單位)	googlemap 使用

資料庫之資料表欄位擴充後，在管理介面如圖 5.28 所示

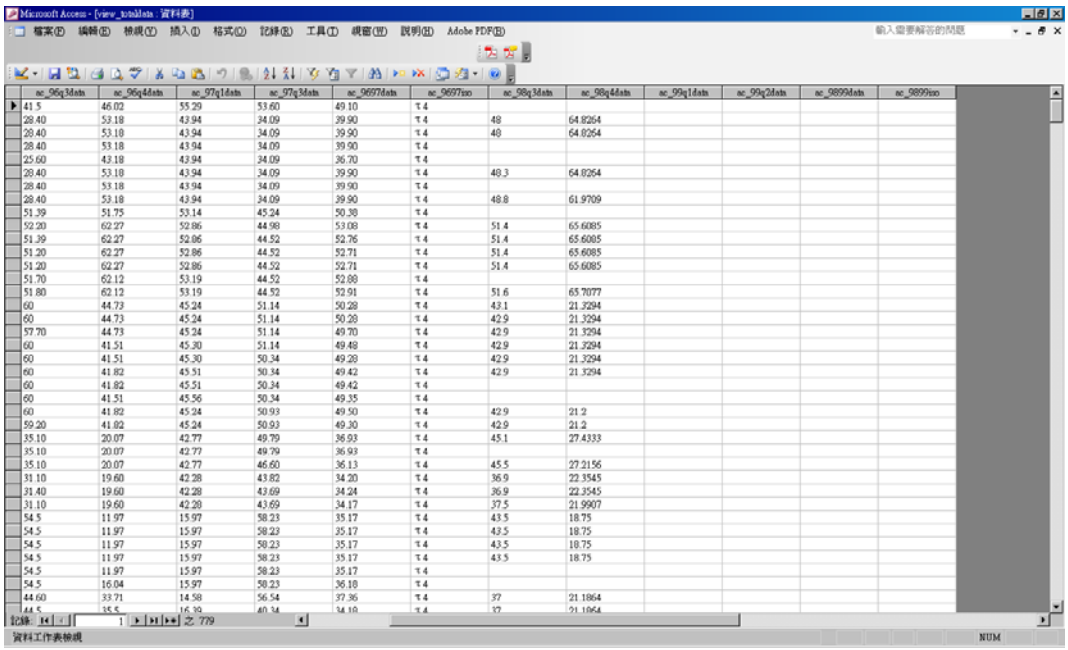


圖 5.28 Access 資料庫資料表(view_totaldata 的擴增結果)

在程式調整方面，為了搭配前述的資料庫結構擴充與資料新增，使資料的顯示與比較等功能正常顯示，因此系統相關的程式均做過調整，以搭配資料顯示與擴充。在調整過程中，以 GooleMap 搭配的經緯度座標為例，由於目前的實驗數據均採用 TWD97/WGS84 標準之經緯度(度分秒)的格式，但是 GoogleMap 並不接受此種數據；因此，必須在資料庫的監測點資料表(ac_mpdata)，先行增加兩個 GooleMap 專用的經緯度計算欄位，然後透過經緯度(度分秒)的格式轉換公式，轉換為經緯度(度)的格式，並存入資料欄位，才能提供 GoogleMap 正確定位試驗點的位置。轉換公式為

經緯度(度)= 經緯度(度)+ 經緯度(分)/60+經緯度(秒)/3600

5.7.4 Goolgle Map 整合

本部份為今年度的工作重點項目。在前兩年的系統功能中，僅提供固定的臺灣全島靜態圖形，並標註實驗點位置提供使用者做點選；但由於圖形解析度較小，且大小只能為固定式。在使用上雖可達到基本的功能要求，卻無法在操作尚讓人滿意。

為了讓使用者在使用本系統中，觀察數據的使用上更加方便，因此將目前全球通行之 GooleMap 整合進入本資料庫系統，讓使用介面朝更便利，更直覺化的方向發展。

目前，本功能已經取代了去年的『依地圖觀察試驗點』的功能。結合了 GooleMap 視覺化操作的試驗數據觀察系統，已經能夠完全利用 GoogleMap 的功能觀察數據資料，在操作上的基本功能大致有:

1. 自由縮放: 透過 GoogleMap 自由縮放全台(或包含臺灣之外監測點)地圖。
2. 街景瀏覽:在 GooleMap 提供街景瀏覽的區域，提供 StreetView 功能，讓使用者能夠觀察監測點附近的資料。

3. 混合地圖&地形圖: 混合了街道圖與地形圖的自由選項,使用者在觀察試驗點資訊時，可以同時觀察到試驗點附近的街道、地形等資訊，有利於綜合資訊判斷。

4. 試驗點資訊整合:點選任何一個資訊點，除了可以達到上述 GooleMap 提供的功能之外，並提供將試驗點基本資訊，以及各年度的各項試驗腐蝕因子數據，在一頁的範圍內全部呈現，提高資訊的可全面觀察性。

整合 GoogleMap 的操作畫面如圖 5.29~5.32 所示

圖 5.29 GoogleMap 整合操作觀察試驗點

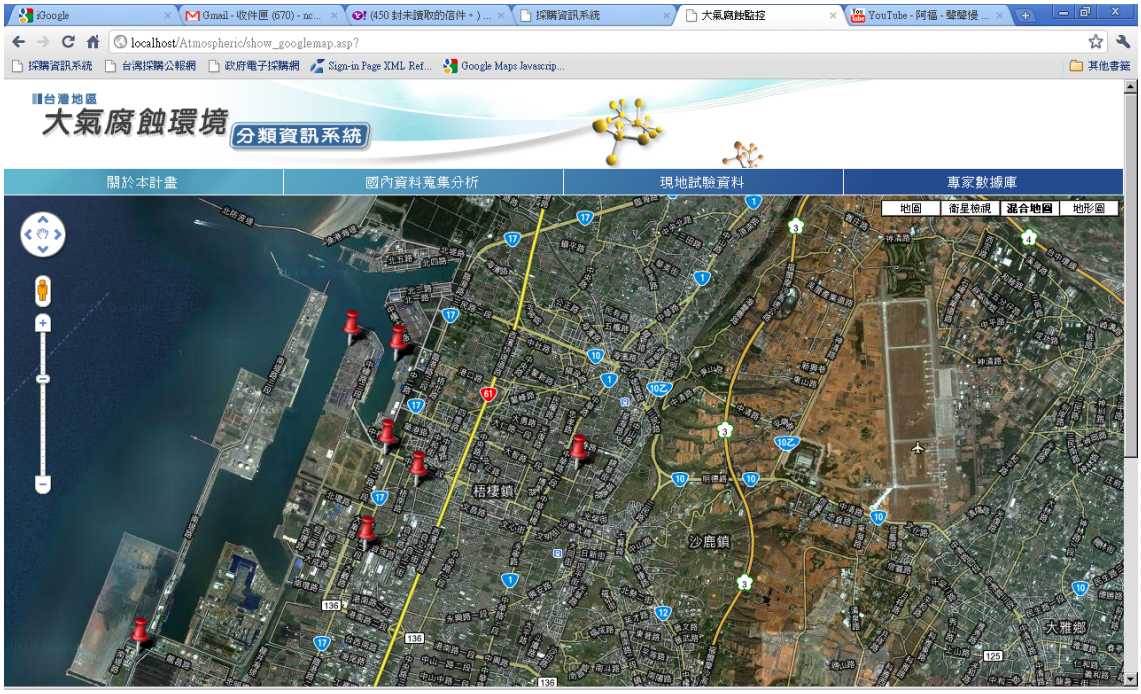


圖 5.30　GoogleMap 整合衛星地圖觀察試驗點

試驗地點基本資料

試驗地點名稱	座標(E)	座標(N)	高程(m)	離海岸線距離(KM)
台中港試驗線1Km	120°32'1.6"	24°14'55.2"	4	1.82

台中港試驗線1Km試驗地點實驗數據

腐蝕因子	2007.05-2007.09	2007.09-2008.01	2008.01-2008.05	2008.05-2008.08	2007.05-2008.08	全年期大氣腐蝕環境分類	2009.07-2009.10	2009.10-2010.01
RH(相對溼度)(%)	41.39	45.13	59.81	35.56	45.47	T4	9.3	39.3188
CL(氯)(mg/m^2/day)	0.755	12.14	2.064	0.948	1.683	S0	6.44087	5.91445
SO2(二氧化硫)(mg/m^2/day)	-	-	-	-	-	-		
Al(鋁)(g/m^2/yr)	2.487	12.19	9.788	2.947	1.655	C3	3.08998	4.41834
Cu(銅)(μm/yr)	3.909	4.694	8.324	6.422	4.555	C5	8.28459	10.1148

圖 5.31　單一試驗點整合資訊視窗

圖 5.32　GoogleMap 觀察試驗點街景(StreetView)效果

5.7.5 系統功能展望

本年度的大氣腐蝕因子資料庫系統，在實驗數據資料的更新、資料庫欄位擴充/程式調整，以及 GooleMap 的整合上，已經達到階段性的目的；但資訊系統的功能服務方面，仍有許多未來的可能性足已開發，茲將系統功能未來可能發展的方向一一做說明

1. 圖片整合資料: 目前的監測點資訊雖然已經完善，但仍然缺乏圖形與數據資料整合的介面。若要達到此點，必須將目前靜態的照片呈現方式，轉化為搭配圖片管理與上傳功能的新介面。透過監測點數據管理，將實驗資料與試體照片等整合管理，並整合顯示，可以達到資訊更全面且圖文並茂的效果。

2. 前端管理平台: 目前雖然有後台管理介面，但由於為 Access 資料庫格式。不僅在未來資料庫可能擴充為 SQL 時無法使用；目前的管理者也必須具備 Access 相關管理經驗，方能正常使用管理功能。因此，未來需增加 Web 化前端管理介面，透過管理者身分進入網站，

則可以針對監測點、實驗數據，以及上述之試體相關照片進行資料新增/刪除/修改/查詢等管理動作。其便利性與通用性將可大幅提升。

3. 監測資訊 GIS 整合系統:目前提供的監測點全面化的效果，仍只侷限於單點。而單一資訊點的資料其實已經夠豐富了；未來可能的走向，應該透過系統開發，將特定區域的監測點數據集中分析，透過分析結果，將趨勢預測(例如，碳鋼腐蝕速率在靠海區域與氯離子成正相關，並逐步向內陸平原區域發展)以及特殊區域特性報告(例如，前台 Top3 高銅離子侵蝕區域標訂)，透過 GoogleMap 的功能呈現出來，那麼本系統將不再只是單純的數據資料庫，而能夠提升為全台腐蝕因子的 GIS 地理資訊整合系統。

4. 具備權限管理的會員制網站: 目前本資料庫系統僅提供部分實驗數據的帳號密碼鎖定功能，仍然未具備會員制網站的雛形。在前面提到的系統功能展望裡，大部分的功能仍然必須有會員制的權限管理概念，才能夠真正落實推動。例如，管理者能夠進行所有的相關數據管理；一般會員能夠瀏覽所有的網站資料庫，並進行資料比對；而訪客則只供一般資訊流覽的功能。

5. 3D 立體操作: 目前資料庫系統已整合 GoogleMap 的輔助顯示功能；但若想在使用介面上提供更炫目新穎的效果，則必須考慮加入 3D 立體操作的效果。以目前的系統規劃考量，可以加入 Google Earth 3D，與 GoogleMap 的 2D 效果整合起來，則使用者在進入網站後的操作上，會更有令人印象深刻的操作效果。

6. Web2.0 功能: 當本資料庫系統相關數據資料均已完備上線時，為了使相關有興趣的會員/使用者們能夠更加深入互動，系統應朝向 Web2.0 的功能方向發展，例如

   - 建立大氣腐蝕討論區，使會員互動性增加
   - 建立新聞與研討會訊息，使資訊能夠透過單一平台公布
   - 建立檔案下載專區，使有價值的資訊，例如中文化的規範書，付費下載的數據資料庫等，可以被更有效的管理與提供。

7. 基礎架構改善: 目前，本資料庫系統係使用 ASP 平台，搭配 AccessDB 與 TeeChart 6.0 繪圖元件進行開發。功能雖然能滿足現階段的需求，但此開發架構已經略為過時；有鑑於資訊科技技術日新月異，為了在日後系統的功能提昇，網站效能改善，以及資訊安全的防護上，保持更好的效率以及資訊安全防護效果，系統的基礎平台架構應當考慮提昇為較新的平台架構(例如 Microsoft ASP.NET 3.5/4.0)，方能應付未來的需求以及可能出現的狀況。

以上為系統開發部分，針對未來開發的方向的展望。相信若能往這個方向進行系統的建置與開發，對腐蝕因子數據資料庫這個網站的發展，會更有意義；透過大量的數據資源集中，大批會員/使用者互動，期許使這個系統能在腐蝕研究這塊領域，成為一個新的指標性網站。

5.8 小結與建議

5.8.1 小結：

1. 碳鋼金屬在麥寮工業區、溪頭森林區與梧棲港研中心一年的平均腐蝕速率分別約為 75.01 μm/yr、14.72 μm/yr 與 105.32 μm/yr；鋅金屬的平均腐蝕速率分別約為 4.91 μm/yr、1.76 μm/yr 與 9.03 μm/yr；鋁金屬的平均腐蝕速率分別約為 7.96 g/m^2/yr、3.88 g/m^2/yr 與 7.43 g/m^2/yr；而銅金屬的平均腐蝕速分別約為 5.55 μm/yr、1.16 μm/yr 與 3.57 μm/yr。
2. 依據 ISO 9223，在麥寮工業區之碳鋼、鋅、銅、鋁的大氣腐蝕環境分類分別為 C4、C5、C5、C5；台中火力電廠與梧棲港研中心鹽害區之碳鋼、鋅、銅、鋁大氣腐蝕環境分類分別為 C5、C5+、C5、C5；至於鄉村的溪頭森林區，碳鋼、鋅、銅、鋁之大氣腐蝕環境分類則分別為 C2、C3、C3、C4。
3. 碳鋼金屬在麥寮工業區、溪頭森林區與梧棲港研中心二年的平均腐蝕速率分別約為 56.10 μm/yr、11.22 μm/yr 與 55.77 μm/yr；鋅金屬

的平均腐蝕速率分別約為 2.43 μm/yr、1.23 μm/yr 與 4.75 μm/yr；鋁金屬的平均腐蝕速率分別約為 4.47 g/m2/yr、2.15 g/m2/yr 與 1.61 g/m2/yr；而銅金屬在麥寮工業區、溪頭森林區的平均腐蝕速率分別約為 3.51 μm/yr、1.44 μm/yr。

4. 本年度在資料庫中擴充的功能除了持續擴充新增加的數據資料；主要的功能在使用介面的整合部分，透過 GoogleMap 的整合，加強使用上的便利性，增加大氣腐蝕因子資料庫的應用與推廣。。

5. 本年度已完成 NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 及 ISO 2063、ISO 14922 相關規範之中文化(如附冊)，對國內的防蝕工程應有很大的助益，可作為未來 CNS 標準的參考草案。

6. 完成檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之現有內容，增修近年來國外新開發之陰極防蝕工法及材料之相關內容。

5.8.2 建議：

1. 2007 年起本所港灣技術研究中心已累積相當多的大氣腐蝕數據並完成大氣腐蝕資料庫的建立；但依據 ISO 9223 規範，為達到大氣腐蝕環境分類的目的，相關的現地暴露試驗至少須進行一年以上。

2. 由於大氣腐蝕有其地域性的差異，若能藉由數值模擬或實驗室電化學的方法來推算某地區金屬的大氣腐蝕速率，不僅可以減少現地暴露所須的時間，更可配合工程建設發展的需要。

3. 數值模擬推算的參數至少應包括相對濕度、氯鹽沉積速率與二氧化硫沉積速率，之後可在擴充包含降雨量與日照時間兩項影響因子，而建立之預測方程式的準確性可用已有的大氣腐蝕數據進行驗証。

4. 至於電化學的方法，可採用交流電阻抗(Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)或伽凡尼電流(Galvanic Current)量測的方式，在乾濕交替的情況下，模擬大氣中暴露金屬表面的水膜狀況，以 Atmospheric Corrosion Monitor (ACM)試片進行腐蝕加速試驗，推算金屬的大氣腐蝕速率。

5. 此外，在資料庫的功能維護與擴充方面，建議事項請見報告第 5.7.5 節。

第六章　結 論

根據國家科技發展總目標、促進海洋永續發展，增強臺灣做為亞太地區商業及物流轉運中心的功能，港灣設施功能扮演重要關鍵角色。如何提升港灣設施之建設、工程品質與耐久性，以及維護、管理與安全等為本計畫之主要目標。此外，由於臺灣地區天然環境上空氣污染之結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本計畫亦針對本土化大氣腐蝕因子進行調查並建置資料庫，期能提供金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計參考。

本年度研究成果包括：(1)新竹漁港、臺中梧棲漁港、高雄前鎮漁港、屏東縣東港及鹽埔漁港碼頭設施之現況調查及評估。(2)棧橋式碼頭面版腐蝕、劣損資料蒐集與維護系統建置、基隆港西 14 至西 18 號及東 2 至東 7 號碼頭、臺中港西 3 號及高雄港 54 至 58 號碼頭現況調查與評估。(3)完成「構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究」，內容包含大氣腐蝕現地金屬試片暴露試驗、塗裝防蝕規範草擬、臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫更新與維護等。

本計畫之研究效益，除研究成果可提供港務局等維護港灣設施參考外，研究過程中採用或建置完成之相關檢測方法與實施流程與結果等成果，均可提供國內各港務局應用於相關碼頭設施維護管理作業需要與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。此外，並可提供公路局、港務局及相關單位作為金屬材料選用依據，達到符合各地區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。

本計畫各子計畫研究結論如下：

子計畫一：臺灣地區商港及魚港設施現況調查之研究

1. 本年度調查商港碼頭結果，基隆港西 14 至西 18 號其現況由應用目視與使用非破壞性檢測，經 D.E.R 法進行結構體安全性評估，其主整體結構評估指數（ID_1）均小於 2.0，顯示結構體功能完整安全無虞，但西 14 至西 15 號碼頭面版底部腐蝕劣化情形仍需藉由人員水下目視檢測，方能掌握實際狀況。臺中港西 3 號碼頭，其主整體結構評估指數（ID_1）小於 2.0、但附屬設施評估指數（ID_2）則大於 2.0，且水下部份基樁損壞或與面版接合處脫落，必須及時修復方能確保碼頭設施營運安全。

2. 上述碼頭應用 D.E.R 法，檢測結果雖均為整體結構安全無虞，惟西 14 至西 15 號碼頭使用時間均已超過 40 年以上，為確保碼頭營運安全，建議必需加強平時巡查頻率，確保營運正常。

3. 上述碼頭結構型式均為棧橋式，其劣損位置常出現於面版底部及梁，劣損情形並無法依初步檢測項目中直接發現，故建議應定期派遣潛水人員，以目視近距離觀察面版底部及梁或基樁之鋼筋混凝土是否發生混凝土剝落或內部鋼筋銹蝕，或於受到不正常外力（如規模 5.0 以上地震或海嘯之侵襲、輪船撞擊等），應有即時檢查之作為，以維護碼頭構造安全。

4. 本年度調查基隆港東 2 至東 7 號碼頭及高雄港 54 至 58 號碼頭鋼板樁極防蝕措施現況，其腐蝕速率皆小於規範允許值（0.20 mm/yr），採用鋁合金犧牲陽極塊已達到保護鋼板樁之目的，惟部份碼頭使用時間多已超過 30-40 年，為確保碼頭營運安全，必須定期加強檢測。

5. 本年度調查第一類漁港包括新竹漁港、梧棲漁港、前鎮漁港及屏東鹽埔漁港，結果顯示，各漁港之碼頭及防波堤其設計水深均小於 -8.0m ，碼頭除前鎮漁港部份設計水深達到-10.0m 外，其餘多小於 -4.5m。由於漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式與板

樁式碼頭承受之土壓力和水壓力推估,應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且各漁港碼頭靠泊船隻之噸數多為 500 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。

6. 由於臺灣地區漁港規模普遍較小，目前漁港均以多功能發展為目標，碼頭功能除傳統停靠漁船裝卸魚貨外，趨向以發展遊艇碼頭或娛樂賞魚等為主，陸上設施部分更研擬或已設置釣魚平台步道親水公園(階梯)展示中心餐廳等設施，且由歷年記錄顯示，漁港維護仍以泊地及碼頭水深浚挖為主，故建議可不直接應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔，如擬採用 D.E.R 法，則應將目前之漁港設施依據其型式、長度...等現況編號，以利應用檢測評估及建檔所需。

子計畫二：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損與維護之研究

1. 正常的 RC 結構物會因為暴露環境的不同而遭受各種類型物理或化學性質的侵蝕，使結構體產生劣化或是破壞等現象。而混凝土在設計時，必須考慮到強度以及耐久性，如混凝土抵抗風化作用、化學侵蝕、磨損及其他劣化過程的能力，在不同暴露環境下仍然能夠保持本身的幾合尺寸、物理力學性質與服務性。RC 結構物的耐久性判斷，可以分為混凝土材料的劣化與鋼筋材料的腐蝕兩個部分，而造成此兩種材料劣化及腐蝕之原因，在本報告中均有充分探討。

2. 由於本研究中之檢測方式包含了非破壞性如反彈錘及破壞性檢測如鑽心取樣、氯離子檢測分析及混凝土中性化等，故取樣數量不宜太多，各取樣位置亦受限制，另一方面為配合該碼頭正進行中的深水碼頭施工作業，因此、規劃的單元為 1~7，各單元進行之檢測取樣則視現場作業情況進行。在反彈錘之檢測數據中顯示，包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。

3. 針對鑽心試體抗壓試驗之結果及反彈錘強度試驗之結果一併比較，無磨耗層之反彈錘試驗數據與鑽心試體抗壓試驗之結果比較情形為，反彈錘強度試驗之平均值約較鑽心試體抗壓試驗之強度值大約10%。本計畫中針對混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，取樣後之試體中性化情形顯示其中性化之深度最大達2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。氯離子濃度檢測經濃度測試後顯示，非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。針對現場腐蝕電位量測之結果顯示，上層面版平均電位值介於-216~-318(mv)，下層底樑平均電位值介於-312~-413(mv)，下層底樑比上層面版腐蝕機率相對較高。另外對岸肩護欄外露鋼筋也施做腐蝕電位量測，平均電位值介於-492~-532(mv)，已超過高腐蝕機率許多。

4. 本研究案中研提了與傳統 DER 不同之新的安全評估方法，該方法結合了結構力學理論及混凝土材料之特性，得以將儀器檢測之數據做較系統性之應用，減少因目視檢測時人為產生之誤差，或觀測之現象與理論無法結合之現象。經本案所提出之安全評估公式分析後，若為強度設計法，則 Sd 值為 0.85fc'。目前試算的結果(在相當有限的檢測數據及設計參數下)，高雄港 118 號碼頭之 Φ 值經代入公式計算後得出為 0.88。當 Φ 值大於 0.85 時，表示結構之安全情形位於第一級之安全程度，亦即除了需進行日常檢測之外，結構應無破壞之安全顧慮。

5. 本案中研提了針對重力式、板樁式及棧橋式碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊。其中針對各型式碼頭之檢測程序：如編碼方式、檢測順序等配合目視檢測評估標準使現場檢測人員有所依循。而對於儀器檢測部分，本案亦收集各類型檢測技術，配合其適用性給予使用之建議。另外針對新發展之棧橋式碼頭結構之安全評估方法，亦建立了可在網路上進行數據輸入之系統，工作人員依授權等級在進行檢測工作時或取得數據後，可在相關表格上填入數據，系統將直接運算並獲得評估值，以評估值之安全等級給予維護之建議。

子計畫三：構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究

1. 碳鋼金屬在麥寮工業區、溪頭森林區與梧棲港研中心一年的平均腐蝕速率分別約為 75.01 μm/yr、14.72 μm/yr 與 105.32 μm/yr；鋅金屬的平均腐蝕速率分別約為 4.91 μm/yr、1.76 μm/yr 與 9.03 μm/yr；鋁金屬的平均腐蝕速率分別約為 7.96 $g/m^2/yr$、3.88 $g/m^2/yr$ 與 7.43 $g/m^2/yr$；而銅金屬的平均腐蝕速分別約為 5.55 μm/yr、1.16 μm/yr 與 3.57 μm/yr。

2. 依據 ISO 9223，在麥寮工業區之碳鋼、鋅、銅、鋁的大氣腐蝕環境分類分別為 C4、C5、C5、C5；台中火力電廠與梧棲港研中心鹽害區之碳鋼、鋅、銅、鋁大氣腐蝕環境分類分別為 C5、C5+、C5、C5；至於鄉村的溪頭森林區，碳鋼、鋅、銅、鋁之大氣腐蝕環境分類則分別為 C2、C3、C3、C4。

3. 碳鋼金屬在麥寮工業區、溪頭森林區與梧棲港研中心二年的平均腐蝕速率分別約為 56.10 μm/yr、11.22 μm/yr 與 55.77 μm/yr；鋅金屬的平均腐蝕速率分別約為 2.43 μm/yr、1.23 μm/yr 與 4.75 μm/yr；鋁金屬的平均腐蝕速率分別約為 4.47 g/m2/yr、2.15 $g/m^2/yr$ 與 1.61 $g/m^2/yr$；而銅金屬在麥寮工業區、溪頭森林區的平均腐蝕速率分別約為 3.51 μm/yr、1.44 μm/yr。

4. 本年度在資料庫中擴充的功能除了持續擴充新增加的數據資料；主要的功能在使用介面的整合部分，透過 GoogleMap 的整合，加強使用上的便利性，增加大氣腐蝕因子資料庫的應用與推廣。。

5. 本年度已完成 NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00 及 ISO 2063、ISO 14922 相關規範之中文化(如附冊)，對國內的防蝕工程應有很大的助益，可作為未來 CNS 標準的參考草案。

6. 完成檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之現有內容，增修近年來國外新開發之陰極防蝕工法及材料之相關內容。

參考文獻

1. 李維峰、張嘉峰、簡臣佑等，北部地區省道公路公共工程(含隧道、橋梁)維護管理制度之研究，交通部公路總局第一區養護工程處，2008。

2. 張嘉峰、簡臣佑等，交通設施生命週期評估技術整合與應用，交通部運輸研究所，2005。

3. 郭世榮、簡連貴、蕭松山等，港灣設施防災技術之研究(一)－港灣構造物維護管理準則之研究，交通部運輸研究所，2004。

4. 蘇吉立、陳桂清等，碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(1/4)，交通部運輸研究所，2007。

5. 蘇吉立、陳桂清等，碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2007。

6. 張嘉峰、簡臣佑等，基隆港西 2 至西 4 號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2008。

7. 饒正、陳桂清、柯正龍、張道光，碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究，交通部運輸研究所，2002。

8. 日本運輸省港灣技術研究所，港灣構造物腐蝕評價手法”No.501 ,P11，1984。

9. 湯麟武、徐忠猶、黃正欣，港灣及海域工程(中國工程師手冊水利類第十一篇)2nd，中國土木水利工程學會，1999。

10. 交通部基隆港務局，基隆港東防波堤延伸工程規劃評估，2005。

11. 交通部運輸研究所，海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材構造物陰極防蝕技術與應用研討會，2004。

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. 陳桂清，構造物之腐蝕劣化檢測與防蝕維護策略，海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材構造物陰極防蝕技術與應用研討會，2004。

14. 李賢華，港灣構造物安全檢測與評估，港灣構造物安全檢測與評估研習會論文集，交通部運輸研究所，2002。

15. 羅俊雄、黃克志、翁榮洲、陳新北，基隆港鋼板(管)樁安全檢測及評估，交通部基隆港務局，2002。

16. 李賢華，高雄港港灣構造物安全性評估及補強建議，高雄港委託計畫研究成果報告，2003。

17. 陳桂清、柯正龍、張道光，港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(1/2)，交通部運輸研究所，2007。

18. 李釗、陳桂清，混凝土材料劣化損壞評估與改善研究，港灣技術研究中心專刊第 137 號，交通部運研所港灣技術研究中心，1997。

19. 李賢華、薛憲文、陳桂清，港灣構造物安全檢測與評估之研究(2/2)，交通部科技顧問室委託計畫研究成果報告，2001。

24.李賢華、陳陽益、薛憲文、陳桂清，港灣構造物安全檢測與評估之研究(1/2)，交通部科技顧問室委託計畫研究成果報告，2000。

20. 陳桂清、饒正、柯正龍、張道光，港灣構造物耐久性與維護機制之研究(1/4)，交通部運輸研究所，2005。

21. 陳桂清、饒正、柯正龍，現有結構物安全評估及維護研究(IV)，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2000。

22. 郭世榮、陳吉紀、簡連貴、鍾兆君、張文欽、黃泓翔，港灣設施防災技術之研究(二) ─港灣設施防災對策之研究，交通部運輸研究所，2004。.

23. 李賢華，高雄港第五貨櫃中心#78-#81 碼頭版樁開裂補強後之安全性及耐久性分析，交通部港灣技術研究中心委託計劃研究成果報告，2000。

24. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華圖書，2000。

25. 高雄港港灣設施維護管理手冊，交通部高雄港務局，2006。

26. 港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究，交通部運輸研究所，2005。

27. 新竹市漁港，行政院農業委員會漁業署，2003。

28 臺中縣漁港，行政院農業委員會漁業署，2003。

29. 高雄市漁港，行政院農業委員會漁業署，2003。

30. 屏東縣漁港，行政院農業委員會漁業署，2003。

31. ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.

32. ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories

33. ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.

34. ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.

35. ISO 8565/1992: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.

36. 中華民國國家標準 CNS 13401 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，1994。

37. 中華民國國家標準CNS 13753金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，2005。

38. 中華民國國家標準CNS 13754金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，1996。

39. 中華民國國家標準 CNS 14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐蝕生成物清除法，1998。

40. 中華民國國家標準 CNS14123 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)，2006。

41. NACE No. 12 /AWS C2.23M /SSPC-CS 23.00, “Specification for the Application of Thermal Spray Coatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, and Their Alloys and Composites for the Corrosion Protection of Steel”, NACE International, Houston, TX, 2003.

42. ISO 2063/2005, Thermal spraying - Metallic and other inorganic coatings -- Zinc, aluminium and their alloys.

43. ISO 14922-1/1999, Thermal spraying - Quality requirements of thermally sprayed structures -- Part 1: Guidance for selection and use.

ISO 14922-2/1999, Thermal spraying - Quality requirements of thermally sprayed structures -- Part 2: Comprehensive quality requirements.

44. ISO 14922-3/1999, Thermal spraying - Quality requirements of thermally sprayed structures -- Part 3: Standard quality requirements.

45. ISO 14922-4/1999, Thermal spraying - Quality requirements of thermally sprayed structures - Part 4: Elementary quality requirements.

46. ISO 12944/1988: Paints and varnishes- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems, Part 1- Part 8.

47. T. Call and T. Neal, “Virginia’s Use of Metallized Bridge Structures”, Steel Structures Painting Council (SSPC) International Conference, Dallas, TX, Nov. 9-16, 1995.

48. “Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites”, ANSI/AWS C2.18-93, American Welding Society, Miami, FL, 1993.

49. “Corrosion Tests of Flame-Sprayed Coated Steel 19-Year Report”, American Welding Society, Miami, FL, 1974.

50. K. P. Fischer, W. H. Thomason, T. Rosbrook, and J. Murali, Material Performances, NACE international, Houston, TX, pp. 28, April, 1995.

51. M. Funahashi, “An Insight into Cathodic Protection Systems for Reinforced Concrete Structure”, Paper No. 07294, Proceeding of the Corrosion/2007 Conference, NACE International, Houston, Texas, 2007.

附錄一

鋼板樁厚度檢測記錄表系統

附錄一-1 基隆港東 2 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	量測厚度(mm)						平均厚度(mm)			減少厚度(mm)			腐蝕速率(mm/yr.)		
			凸		側		凹		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
1	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.6	15.1	8.9	8.8	15.7	15.5	15.4	8.9	15.6	1.9	2.6	1.6	0.05	0.06	0.04
	-0.05		14.9	15.0	8.9	8.6	14.9	15.1	15.0	8.8	15.0	2.3	2.7	2.2	0.06	0.07	0.06
	-0.50		14.9	14.7	9.0	8.8	15.3	15.1	14.8	8.9	15.2	2.4	2.5	2.0	0.06	0.06	0.05
	-1.00		15.3	15.5	9.3	9.5	15.1	14.8	15.4	9.4	15.0	1.8	2.0	2.3	0.05	0.05	0.06
	-1.50		15.3	15.0	10.0	9.5	15.7	15.4	15.2	9.8	15.6	2.1	1.7	1.7	0.05	0.04	0.04
	-2.00		15.7	15.2	9.5	9.9	15.8	16.0	15.5	9.7	15.9	1.8	1.7	1.3	0.04	0.04	0.03
	-4.00		15.9	15.6	10.3	10.4	1.7	15.5	15.8	10.4	8.6	1.5	1.1	8.6	0.04	0.03	0.22
	-6.00		15.6	15.6	10.4	10.0	15.3	15.6	15.6	10.2	15.5	1.6	1.2	1.8	0.04	0.03	0.04
2	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.0	14.9	8.3	8.5	14.9	15.1	15.0	8.4	15.0	2.3	3.0	2.2	0.06	0.08	0.06
	-0.05		14.7	15.0	8.5	9.0	147.0	13.8	14.9	8.8	80.4	2.4	2.7	-63.2	0.06	0.07	-1.58
	-0.50		15.0	15.2	10.3	8.9	14.5	15.1	15.1	9.6	14.8	2.1	1.8	2.4	0.05	0.05	0.06
	-1.00		14.7	15.0	9.5	9.5	15.3	15.5	14.9	9.5	15.4	2.4	1.9	1.8	0.06	0.05	0.05
	-1.50		15.3	15.3	10.0	10.0	15.0	14.8	15.3	10.0	14.9	1.9	1.4	2.3	0.05	0.04	0.06
	-2.00		15.7	15.1	10.0	9.3	15.3	15.7	15.4	9.7	15.5	1.8	1.8	1.7	0.05	0.04	0.04
	-4.00		15.5	16.1	10.4	10.1	15.5	15.5	15.8	10.3	15.5	1.4	1.2	1.7	0.04	0.03	0.04
	-6.00		15.5	15.7	10.2	10.2	15.4	15.5	15.6	10.2	15.5	1.6	1.2	1.8	0.04	0.03	0.04
3	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.9	15.1	8.8	9.0	15.1	15.0	15.0	8.9	15.1	2.2	2.5	2.2	0.06	0.06	0.05
	-0.05		15.1	14.9	9.1	9.3	14.7	14.0	15.0	9.2	14.4	2.2	2.2	2.9	0.06	0.06	0.07
	-0.50		14.7	14.9	10.3	8.9	15.0	15.3	14.8	9.6	15.2	2.4	1.8	2.1	0.06	0.05	0.05
	-1.00		15.7	15.5	9.3	9.5	15.0	15.3	15.6	9.4	15.2	1.6	2.0	2.1	0.04	0.05	0.05
	-1.50		16.3	15.8	10.0	9.7	15.3	14.9	16.1	9.9	15.1	1.2	1.6	2.1	0.03	0.04	0.05
	-2.00		15.7	15.4	9.7	9.7	15.5	15.5	15.6	9.7	15.5	1.7	1.7	1.7	0.04	0.04	0.04
	-4.00		15.3	14.7	9.3	9.5	15.7	15.5	15.0	9.4	15.6	2.2	2.0	1.6	0.06	0.05	0.04
	-6.00		15.6	15.5	10.2	9.9	15.4	15.1	15.6	10.1	15.3	1.7	1.4	2.0	0.04	0.03	0.05
4	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.0	14.3	8.3	8.5	15.0	15.3	14.7	8.4	15.2	2.6	3.0	2.1	0.06	0.08	0.05
	-0.05		15.0	14.3	8.3	8.5	15.0	15.3	14.7	8.4	15.2	2.6	3.0	2.1	0.06	0.08	0.05
	-0.50		14.7	13.8	8.4	8.8	14.9	14.5	14.3	8.6	14.7	3.0	2.8	2.5	0.07	0.07	0.06
	-1.00		15.3	15.1	9.0	9.0	15.3	15.4	15.2	9.0	15.4	2.0	2.4	1.9	0.05	0.06	0.05
	-1.50		14.9	15.1	9.4	9.1	15.5	14.8	15.0	9.3	15.2	2.2	2.2	2.1	0.06	0.05	0.05
	-2.00		15.3	15.3	9.2	9.2	15.5	16.1	15.3	9.2	15.8	1.9	2.2	1.4	0.05	0.06	0.04
	-4.00		15.4	15.3	9.7	10.0	15.7	15.7	15.4	9.9	15.7	1.9	1.6	1.5	0.05	0.04	0.04
	-6.00		15.5	15.7	9.4	9.5	15.5	15.6	15.6	9.5	15.6	1.6	2.0	1.7	0.04	0.05	0.04
5	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.7	15.0	9.1	9.1	15.3	15.3	14.9	9.1	15.3	2.4	2.3	1.9	0.06	0.06	0.05
	-0.05		14.8	14.9	8.8	9.3	15.0	14.7	14.9	9.1	14.9	2.4	2.4	2.4	0.06	0.06	0.06
	-0.50		15.3	14.8	9.3	9.4	14.9	15.0	15.1	9.4	15.0	2.2	2.1	2.3	0.05	0.05	0.06
	-1.00		15.5	15.5	9.1	9.0	15.4	15.5	15.5	9.1	15.5	1.7	2.4	1.8	0.04	0.06	0.04
	-1.50		15.3	15.4	9.4	9.3	15.7	15.3	15.4	9.4	15.5	1.9	2.1	1.7	0.05	0.05	0.04
	-2.00		15.8	15.4	9.0	9.1	15.1	14.9	15.6	9.1	15.0	1.6	2.4	2.2	0.04	0.06	0.06
	-4.00		15.3	15.5	10.2	9.4	15.4	15.7	15.4	9.8	15.6	1.8	1.6	1.7	0.05	0.04	0.04
	-6.00		16.1	15.7	9.8	9.3	15.5	15.5	15.9	9.6	15.5	1.3	1.9	1.7	0.03	0.05	0.04

附錄一-2 基隆港東3號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	量測厚度(mm)						平均厚度(mm)			減少厚度(mm)			腐蝕速率(mm/yr.)		
			凸		側		凹		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
1	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.0	14.3	10.0	9.1	15.3	15.0	14.2	9.6	15.2	3.1	1.9	2.1	0.08	0.05	0.05
	-0.05		14.4	15.0	9.0	8.9	14.9	15.3	14.7	9.0	15.1	2.5	2.5	2.1	0.06	0.06	0.05
	-0.50		15.0	14.3	8.9	9.3	15.1	16.0	14.7	9.1	15.6	2.6	2.3	1.7	0.06	0.06	0.04
	-1.00		15.1	15.1	10.1	10.1	15.3	15.5	15.1	10.1	15.4	2.1	1.3	1.8	0.05	0.03	0.05
	-1.50		14.9	15.5	9.4	9.4	15.4	15.3	15.2	9.4	15.4	2.0	2.0	1.9	0.05	0.05	0.05
	-2.00		15.6	15.8	10.3	10.1	15.0	15.7	15.7	10.2	15.4	1.5	1.2	1.9	0.04	0.03	0.05
	-4.00		16.1	15.8	10.2	10.5	15.7	15.7	16.0	10.4	15.7	1.3	1.1	1.5	0.03	0.03	0.04
	-6.00		16.0	15.9	9.5	10.0	15.3	15.9	16.0	9.8	15.6	1.3	1.7	1.6	0.03	0.04	0.04
2	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.1	15.0	9.2	8.8	14.7	15.0	14.6	9.0	14.9	2.7	2.4	2.4	0.07	0.06	0.06
	-0.05		14.7	15.0	8.7	9.0	15.2	14.7	14.9	8.9	15.0	2.4	2.6	2.3	0.06	0.06	0.06
	-0.50		15.7	14.9	9.4	9.5	15.3	15.3	15.3	9.5	15.3	1.9	2.0	1.9	0.05	0.05	0.05
	-1.00		15.3	15.0	10.0	9.5	15.4	15.4	15.2	9.8	15.4	2.1	1.7	1.8	0.05	0.04	0.05
	-1.50		15.5	15.7	9.7	8.9	15.5	16.0	15.6	9.3	15.8	1.6	2.1	1.5	0.04	0.05	0.04
	-2.00		15.8	15.7	10.2	9.5	15.3	15.6	15.8	9.9	15.5	1.5	1.6	1.8	0.04	0.04	0.04
	-4.00		15.9	15.7	9.3	9.3	15.5	15.5	15.8	9.3	15.5	1.4	2.1	1.7	0.04	0.05	0.04
	-6.00		15.9	16.0	9.6	9.8	15.7	15.7	16.0	9.7	15.7	1.3	1.7	1.5	0.03	0.04	0.04
3	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.3	14.1	9.0	10.3	15.0	14.5	14.2	9.7	14.8	3.0	1.8	2.5	0.08	0.04	0.06
	-0.05		14.5	15.0	9.3	9.3	14.7	14.7	14.8	9.3	14.7	2.5	2.1	2.5	0.06	0.05	0.06
	-0.50		14.9	15.2	9.5	9.7	15.0	15.0	15.1	9.6	15.0	2.2	1.8	2.2	0.05	0.05	0.06
	-1.00		15.4	15.2	9.0	9.2	14.9	15.5	15.3	9.1	15.2	1.9	2.3	2.0	0.05	0.06	0.05
	-1.50		15.3	15.5	9.4	9.4	15.8	15.4	15.4	9.4	15.6	1.8	2.0	1.6	0.05	0.05	0.04
	-2.00		15.9	16.1	9.6	9.4	15.7	15.7	16.0	9.5	15.7	1.2	1.9	1.5	0.03	0.05	0.04
	-4.00		15.4	15.7	9.3	9.5	15.8	15.3	15.6	9.4	15.6	1.7	2.0	1.7	0.04	0.05	0.04
	-6.00		16.2	15.7	9.7	9.7	15.7	16.0	16.0	9.7	15.9	1.3	1.7	1.4	0.03	0.04	0.03
4	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.7	14.7	9.3	9.2	15.0	15.1	14.7	9.3	15.1	2.5	2.2	2.2	0.06	0.05	0.05
	-0.05		15.0	14.7	9.0	9.0	15.0	14.7	14.9	9.0	14.9	2.4	2.4	2.4	0.06	0.06	0.06
	-0.50		15.3	15.3	9.2	9.0	14.9	15.1	15.3	9.1	15.0	1.9	2.3	2.2	0.05	0.06	0.06
	-1.00		15.5	15.7	9.4	9.0	15.3	15.8	15.6	9.2	15.6	1.6	2.2	1.7	0.04	0.06	0.04
	-1.50		15.7	15.7	10.0	9.5	15.4	15.4	15.7	9.8	15.4	1.5	1.7	1.8	0.04	0.04	0.05
	-2.00		15.5	15.7	9.6	9.5	15.7	16.1	15.6	9.6	15.9	1.6	1.9	1.3	0.04	0.05	0.03
	-4.00		15.3	15.9	9.7	9.3	15.5	15.5	15.6	9.5	15.5	1.6	1.9	1.7	0.04	0.05	0.04
	-6.00		15.6	16.0	9.5	10.1	15.6	15.5	15.8	9.8	15.6	1.4	1.6	1.7	0.04	0.04	0.04
5	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.1	14.1	8.9	9.3	15.3	14.2	14.1	9.1	14.8	3.1	2.3	2.5	0.08	0.06	0.06
	-0.05		14.7	14.0	9.2	9.2	15.0	14.8	14.4	9.2	14.9	2.9	2.2	2.3	0.07	0.06	0.06
	-0.50		15.1	15.1	9.3	9.0	14.9	15.3	15.1	9.2	15.1	2.1	2.3	2.1	0.05	0.06	0.05
	-1.00		15.4	15.7	9.0	9.5	15.3	15.3	15.6	9.3	15.3	1.7	2.2	1.9	0.04	0.05	0.05
	-1.50																
	-2.00																
	-4.00																
	-6.00																

附錄一-3 基隆港東4號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	量測厚度(mm)						平均厚度(mm)			減少厚度(mm)			腐蝕速率(mm/yr.)		
			凸		側		凹		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
1	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.9	15.2	9.0	8.7	15.1	15.1	15.1	8.9	15.1	2.2	2.6	2.1	0.05	0.06	0.05
	-0.05		13.7	14.2	8.2	8.8	14.9	15.0	14.0	8.5	15.0	3.3	2.9	2.3	0.08	0.07	0.06
	-0.50		15.0	14.9	9.1	9.1	15.3	14.7	15.0	9.1	15.0	2.3	2.3	2.2	0.06	0.06	0.06
	-1.00		15.5	15.3	9.3	9.0	15.2	15.2	15.4	9.2	15.2	1.8	2.3	2.0	0.05	0.06	0.05
	-1.50		15.2	15.7	10.1	9.5	15.0	15.0	15.5	9.8	15.0	1.8	1.6	2.2	0.04	0.04	0.06
	-2.00		15.4	15.4	9.5	9.4	15.4	14.8	15.4	9.5	15.1	1.8	2.0	2.1	0.05	0.05	0.05
	-4.00		15.6	15.5	9.4	9.4	15.6	15.6	15.6	9.4	15.6	1.7	2.0	1.6	0.04	0.05	0.04
	-6.00		15.6	15.6	9.6	10.2	15.7	15.3	15.6	9.9	15.5	1.6	1.5	1.7	0.04	0.04	0.04
2	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.1	14.9	8.8	9.0	14.6	14.9	15.0	8.9	14.8	2.2	2.5	2.5	0.06	0.06	0.06
	-0.05		14.7	15.0	7.8	8.5	15.1	15.5	14.9	8.2	15.3	2.4	3.3	1.9	0.06	0.08	0.05
	-0.50		15.3	15.0	9.3	9.3	15.3	15.3	15.2	9.3	15.3	2.1	2.1	1.9	0.05	0.05	0.05
	-1.00		15.0	14.9	9.3	9.5	15.5	15.5	15.0	9.4	15.5	2.3	2.0	1.7	0.06	0.05	0.04
	-1.50		16.1	15.6	8.7	9.3	15.5	15.7	15.9	9.0	15.6	1.4	2.4	1.6	0.03	0.06	0.04
	-2.00		15.3	14.8	9.4	9.4	15.9	15.7	15.1	9.4	15.8	2.2	2.0	1.4	0.05	0.05	0.04
	-4.00		15.7	15.8	10.1	10.0	15.8	16.3	15.8	10.1	16.1	1.5	1.4	1.2	0.04	0.03	0.03
	-6.00		16.0	16.3	9.4	9.4	15.5	15.8	16.2	9.4	15.7	1.1	2.0	1.6	0.03	0.05	0.04
3	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.3	14.5	9.0	9.0	15.1	15.3	14.9	9.0	15.2	2.3	2.4	2.0	0.06	0.06	0.05
	-0.05		14.4	14.8	7.9	8.5	14.9	15.3	14.6	8.2	15.1	2.6	3.2	2.1	0.06	0.08	0.05
	-0.50		15.4	15.0	8.5	9.3	15.1	14.7	15.2	8.9	14.9	2.0	2.5	2.3	0.05	0.06	0.06
	-1.00		14.9	15.4	9.1	9.1	15.5	15.3	15.2	9.1	15.4	2.1	2.3	1.8	0.05	0.06	0.05
	-1.50		15.4	15.9	9.3	9.3	15.4	15.4	15.7	9.3	15.4	1.6	2.1	1.8	0.04	0.05	0.05
	-2.00		15.9	15.3	9.4	9.0	14.8	15.3	15.6	9.2	15.1	1.6	2.2	2.2	0.04	0.06	0.05
	-4.00		16.3	15.3	8.8	9.4	15.5	15.5	15.8	9.1	15.5	1.4	2.3	1.7	0.04	0.06	0.04
	-6.00		15.8	15.4	9.7	9.5	15.3	15.3	15.6	9.6	15.3	1.6	1.8	1.9	0.04	0.05	0.05
4	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.3	14.9	9.0	8.7	15.4	14.7	14.6	8.9	15.1	2.6	2.6	2.2	0.06	0.06	0.05
	-0.05		13.7	15.0	8.3	8.8	15.0	14.7	14.4	8.6	14.9	2.9	2.9	2.4	0.07	0.07	0.06
	-0.50		14.6	14.6	9.2	8.9	14.9	15.5	14.6	9.1	15.2	2.6	2.4	2.0	0.07	0.06	0.05
	-1.00		15.4	15.3	9.4	9.5	15.2	15.2	15.4	9.5	15.2	1.9	2.0	2.0	0.05	0.05	0.05
	-1.50		15.5	16.0	9.1	9.1	15.4	15.1	15.8	9.1	15.3	1.5	2.3	2.0	0.04	0.06	0.05
	-2.00		15.7	15.7	9.3	9.5	15.6	15.7	15.7	9.4	15.7	1.5	2.0	1.6	0.04	0.05	0.04
	-4.00		15.7	16.1	10.2	10.0	15.5	15.5	15.9	10.1	15.5	1.3	1.3	1.7	0.03	0.03	0.04
	-6.00		15.5	15.3	9.6	9.7	15.5	15.2	15.4	9.7	15.4	1.8	1.8	1.9	0.05	0.04	0.05
5	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.2	15.0	9.0	8.9	14.3	15.1	15.1	9.0	14.7	2.1	2.5	2.5	0.05	0.06	0.06
	-0.05		14.3	14.9	8.2	8.5	14.7	14.7	14.6	8.4	14.7	2.6	3.1	2.5	0.06	0.08	0.06
	-0.50		15.0	15.4	9.0	8.9	15.3	15.0	15.2	9.0	15.2	2.0	2.5	2.1	0.05	0.06	0.05
	-1.00		15.6	15.6	9.5	9.0	15.4	16.3	15.6	9.3	15.9	1.6	2.2	1.4	0.04	0.05	0.03
	-1.50		15.4	15.7	10.1	9.7	15.8	15.8	15.6	9.9	15.8	1.7	1.5	1.4	0.04	0.04	0.04
	-2.00		15.2	15.2	9.4	9.4	15.4	15.2	15.2	9.4	15.3	2.0	2.0	1.9	0.05	0.05	0.05
	-4.00		15.9	16.4	9.4	8.9	15.7	15.7	16.2	9.2	15.7	1.1	2.3	1.5	0.03	0.06	0.04
	-6.00		15.3	15.5	9.5	9.9	15.4	15.8	15.4	9.7	15.6	1.8	1.7	1.6	0.05	0.04	0.04

附錄一-4 基隆港東5號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	量測厚度(mm)						平均厚度(mm)			減少厚度(mm)			腐蝕速率(mm/yr.)		
			凸		側		凹		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
1	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	10.8	11.2	8.9	9.1	15.3	14.9	11.0	9.0	15.1	6.2	2.4	2.1	0.16	0.06	0.05
	-0.05		10.2	10.7	9.3	9.4	14.9	14.7	10.5	9.4	14.8	6.8	2.1	2.4	0.17	0.05	0.06
	-0.50		10.9	10.5	9.0	8.5	14.8	14.5	10.7	8.8	14.7	6.5	2.7	2.6	0.16	0.07	0.06
	-1.00		10.8	10.6	9.3	9.0	15.1	15.3	10.7	9.2	15.2	6.5	2.3	2.0	0.16	0.06	0.05
	-1.50		12.3	12.3	9.0	9.3	15.5	14.9	12.3	9.2	15.2	4.9	2.3	2.0	0.12	0.06	0.05
	-2.00		15.5	15.4	9.4	8.8	15.0	15.5	15.5	9.1	15.3	1.8	2.3	2.0	0.04	0.06	0.05
	-4.00		15.4	15.5	9.0	9.5	15.7	15.7	15.5	9.3	15.7	1.8	2.2	1.5	0.04	0.05	0.04
	-6.00		15.4	15.4	9.7	9.5	15.5	15.3	15.4	9.6	15.4	1.8	1.8	1.8	0.05	0.05	0.05
2	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	13.9	14.3	9.0	8.7	14.8	13.3	14.1	8.9	14.1	3.1	2.6	3.2	0.08	0.06	0.08
	-0.05		14.5	14.5	8.5	7.9	15.0	14.8	14.5	8.2	14.9	2.7	3.2	2.3	0.07	0.08	0.06
	-0.50		14.2	13.6	9.3	9.3	15.1	15.1	13.9	9.3	15.1	3.3	2.1	2.1	0.08	0.05	0.05
	-1.00		15.0	15.5	8.9	9.0	14.6	14.6	15.3	9.0	14.6	2.0	2.5	2.6	0.05	0.06	0.07
	-1.50		15.3	15.1	9.3	9.3	15.3	15.3	15.2	9.3	15.3	2.0	2.1	1.9	0.05	0.05	0.05
	-2.00		14.7	15.5	9.0	9.5	15.4	15.0	15.1	9.3	15.2	2.1	2.2	2.0	0.05	0.05	0.05
	-4.00		15.6	15.6	9.5	9.2	15.4	15.4	15.6	9.4	15.4	1.6	2.1	1.8	0.04	0.05	0.05
	-6.00		15.3	15.5	9.4	9.4	15.4	16.1	15.4	9.4	15.8	1.8	2.0	1.5	0.05	0.05	0.04
3	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	13.3	14.2	8.7	8.5	15.1	15.0	13.8	8.6	15.1	3.5	2.8	2.2	0.09	0.07	0.05
	-0.05		14.4	15.1	9.1	9.0	14.6	14.6	14.8	9.1	14.6	2.5	2.4	2.6	0.06	0.06	0.07
	-0.50		14.9	15.0	8.8	9.1	15.3	14.7	15.0	9.0	15.0	2.3	2.5	2.2	0.06	0.06	0.05
	-1.00		15.3	15.7	9.3	9.0	15.2	15.2	15.5	9.2	15.2	1.7	2.3	2.0	0.04	0.06	0.05
	-1.50		15.8	15.3	9.4	8.9	15.4	15.4	15.6	9.2	15.4	1.7	2.3	1.8	0.04	0.06	0.05
	-2.00		15.3	15.6	10.0	9.4	15.3	15.8	15.5	9.7	15.6	1.8	1.7	1.7	0.04	0.04	0.04
	-4.00		15.7	15.7	9.4	9.6	15.6	15.7	15.7	9.5	15.7	1.5	1.9	1.6	0.04	0.05	0.04
	-6.00		15.7	15.5	9.6	9.6	15.5	15.5	15.6	9.6	15.5	1.6	1.8	1.7	0.04	0.05	0.04
4	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	10.0	10.4	9.3	8.9	14.4	15.1	10.2	9.1	14.8	7.0	2.3	2.5	0.18	0.06	0.06
	-0.05		10.4	10.8	8.7	9.0	15.0	15.0	10.6	8.9	15.0	6.6	2.6	2.2	0.17	0.06	0.06
	-0.50		11.0	10.8	8.8	8.8	13.9	14.5	10.9	8.8	14.2	6.3	2.6	3.0	0.16	0.07	0.08
	-1.00		15.2	14. 3	9.3	9.2	15.0	15.2	15.2	9.3	15.1	2.0	2.2	2.1	0.05	0.05	0.05
	-1.50		15.1	15.1	9.5	9.5	15.0	15.2	15.1	9.5	15.1	2.1	1.9	2.1	0.05	0.05	0.05
	-2.00		15.5	15.4	9.2	10.0	15.0	15.3	15.5	9.6	15.2	1.8	1.8	2.1	0.04	0.05	0.05
	-4.00		15.2	15.2	9.4	9.1	15.3	15.1	15.2	9.3	15.2	2.0	2.2	2.0	0.05	0.05	0.05
	-6.00		15.3	15.5	9.0	9.3	15.3	15.3	15.4	9.2	15.3	1.8	2.3	1.9	0.05	0.06	0.05
5	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.4	15.0	9.2	8.9	15.2	15.0	14.7	9.1	15.1	2.5	2.4	2.1	0.06	0.06	0.05
	-0.05		15.2	14.7	8.9	9.0	15.0	14.7	15.0	9.0	14.9	2.3	2.5	2.4	0.06	0.06	0.06
	-0.50		15. 3	15.3	9.2	9.2	15.3	15.3	15.3	9.2	15.3	1.9	2.2	1.9	0.05	0.06	0.05
	-1.00		15.0	14.8	8.8	8.5	14.9	15.1	14.9	8.7	15.0	2.3	2.8	2.2	0.06	0.07	0.06
	-1.50		14.9	15.3	9.0	9.0	15.3	15.3	15.1	9.0	15.3	2.1	2.4	1.9	0.05	0.06	0.05
	-2.00		15.4	15.4	9.1	9.3	15.3	15.5	15.4	9.2	15.4	1.8	2.2	1.8	0.05	0.06	0.05
	-4.00		15.2	15.1	9.3	9.1	15.1	15.5	15.2	9.2	15.3	2.1	2.2	1.9	0.05	0.06	0.05
	-6.00		15.0	15.4	9.0	9.1	15.2	15.2	15.2	9.1	15.2	2.0	2.4	2.0	0.05	0.06	0.05

附錄一-5 基隆港東6號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	量測厚度(mm)						平均厚度(mm)			減少厚度(mm)			腐蝕速率(mm/yr.)		
			凸		側		凹		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
1	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	9.0	8.3	8.5	8.5	13.1	13.2	8.7	8.5	13.2	8.6	2.9	4.1	0.21	0.07	0.10
	-0.05		8.8	8.5	9.1	9.0	14.0	13.7	8.7	9.1	13.9	8.6	2.4	3.4	0.21	0.06	0.08
	-0.50		8.6	8.6	8.8	9.2	15.4	15.0	8.6	9.0	15.2	8.6	2.4	2.0	0.22	0.06	0.05
	-1.00		9.3	9.4	9.1	9.1	14.7	14.5	9.4	9.1	14.6	7.9	2.3	2.6	0.20	0.06	0.07
	-1.50		13.5	14.3	9.3	9.5	14.7	15.2	13.9	9.4	15.0	3.3	2.0	2.3	0.08	0.05	0.06
	-2.00		15.2	15.2	9.0	9.3	15.3	15.6	15.2	9.2	15.5	2.0	2.3	1.8	0.05	0.06	0.04
	-4.00		15.0	14.9	9.3	9.1	15.2	15.6	15.0	9.2	15.4	2.3	2.2	1.8	0.06	0.06	0.05
	-6.00		15.9	15.5	9.4	9.4	15.5	15.5	15.7	9.4	15.5	1.5	2.0	1.7	0.04	0.05	0.04
2	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	13.9	14.3	9.2	8.8	14.7	15.1	14.1	9.0	14.9	3.1	2.4	2.3	0.08	0.06	0.06
	-0.05		14.8	15.0	8.7	8.7	13.3	14.5	14.9	8.7	13.9	2.3	2.7	3.3	0.06	0.07	0.08
	-0.50		15.0	15.0	9.2	8.9	15.3	15.6	15.0	9.1	15.5	2.2	2.4	1.8	0.06	0.06	0.04
	-1.00		15.2	15.8	9.0	9.0	15.2	15.2	15.5	9.0	15.2	1.7	2.4	2.0	0.04	0.06	0.05
	-1.50		15.4	14.9	9.0	9.2	15.4	15.8	15.2	9.1	15.6	2.1	2.3	1.6	0.05	0.06	0.04
	-2.00		15.3	15.5	9.3	8.9	15.4	15.2	15.4	9.1	15.3	1.8	2.3	1.9	0.05	0.06	0.05
	-4.00		15.8	16.1	9.4	10.1	15.8	15.8	16.0	9.8	15.8	1.3	1.7	1.4	0.03	0.04	0.04
	-6.00		15.3	15.4	9.3	9.3	15.5	15.6	15.4	9.3	15.6	1.9	2.1	1.7	0.05	0.05	0.04
3	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.3	15.2	9.1	9.0	15.0	14.6	14.8	9.1	14.8	2.5	2.4	2.4	0.06	0.06	0.06
	-0.05		15.2	15..2	8.6	9.0	14.6	14.8	15.2	8.8	14.7	2.0	2.6	2.5	0.05	0.07	0.06
	-0.50		14.9	14.9	8.4	8.5	15.3	16.0	14.9	8.5	15.7	2.3	3.0	1.6	0.06	0.07	0.04
	-1.00		15.3	15.0	9.3	9.2	15.5	15.4	15.2	9.3	15.5	2.1	2.2	1.8	0.05	0.05	0.04
	-1.50		15.0	15.7	9.4	9.0	15.2	15.2	15.4	9.2	15.2	1.9	2.2	2.0	0.05	0.06	0.05
	-2.00		15.6	15.6	10.1	9.5	15.3	15.5	15.6	9.8	15.4	1.6	1.6	1.8	0.04	0.04	0.05
	-4.00		15.4	15.0	9.3	9.0	16.1	15.9	15.2	9.2	16.0	2.0	2.3	1.2	0.05	0.06	0.03
	-6.00		15.7	15.4	9.5	9.5	15.8	15.5	15.6	9.5	15.7	1.7	1.9	1.6	0.04	0.05	0.04
4	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.5	15.1	9.0	9.0	15.1	14.7	15.3	9.0	14.9	1.9	2.4	2.3	0.05	0.06	0.06
	-0.05		14.3	14.6	9.1	8.8	15.0	14.7	14.5	9.0	14.9	2.8	2.5	2.4	0.07	0.06	0.06
	-0.50		15.0	14.3	9.1	9.1	14.7	13.9	14.7	9.1	14.3	2.6	2.3	2.9	0.06	0.06	0.07
	-1.00		15.3	14.3	8.7	9.4	15.2	15.6	14.8	9.1	15.4	2.4	2.4	1.8	0.06	0.06	0.05
	-1.50		15.9	15.5	9.5	9.9	15.4	15.4	15.7	9.7	15.4	1.5	1.7	1.8	0.04	0.04	0.05
	-2.00		15.6	15.6	9.4	9.5	15.5	15.2	15.6	9.5	15.4	1.6	2.0	1.9	0.04	0.05	0.05
	-4.00		15.8	15.4	9.0	9.3	15.5	15.7	15.6	9.2	15.6	1.6	2.3	1.6	0.04	0.06	0.04
	-6.00		15.6	16.1	9.3	9.3	15.6	15.7	15.9	9.3	15.7	1.4	2.1	1.6	0.03	0.05	0.04
5	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.6	15.1	8.5	9.1	15.1	14.9	14.9	8.8	15.0	2.4	2.6	2.2	0.06	0.07	0.06
	-0.05		13.7	14.5	8.4	8.8	15.3	15.0	14.1	8.6	15.2	3.1	2.8	2.1	0.08	0.07	0.05
	-0.50		14.9	15.3	9.0	9.2	15.5	15.5	15.1	9.1	15.5	2.1	2.3	1.7	0.05	0.06	0.04
	-1.00		15.2	15.7	8.8	9.3	15.3	15.5	15.5	9.1	15.4	1.8	2.4	1.8	0.04	0.06	0.05
	-1.50		15.5	15.9	9.4	9.1	15.7	16.0	15.7	9.3	15.9	1.5	2.2	1.4	0.04	0.05	0.03
	-2.00		16.2	15.9	9.4	9.1	15.4	15.4	16.1	9.3	15.4	1.2	2.2	1.8	0.03	0.05	0.05
	-4.00		15.8	15.8	9.5	9.1	15.9	16.1	15.8	9.3	16.0	1.4	2.1	1.2	0.04	0.05	0.03
	-6.00		15.6	15.5	9.0	9.3	15.3	15.7	15.6	9.2	15.5	1.7	2.3	1.7	0.04	0.06	0.04

附錄一-6 基隆港東7號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	量測厚度(mm)						平均厚度(mm)			減少厚度(mm)			腐蝕速率(mm/yr.)		
			凸		側		凹		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
1	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.2	14.7	7.2	6.8	14.3	14.3	14.5	7.0	14.3	2.8	4.4	2.9	0.07	0.11	0.07
	-0.05		13.9	14.5	8.5	8.0	15.1	14.3	14.2	8.3	14.7	3.0	3.2	2.5	0.08	0.08	0.06
	-0.50		15.0	14.8	9.1	8.6	15.0	15.0	14.9	8.9	15.0	2.3	2.6	2.2	0.06	0.06	0.06
	-1.00		15.2	15.2	9.2	9.2	15.1	15.1	15.2	9.2	15.1	2.0	2.2	2.1	0.05	0.06	0.05
	-1.50		15.5	15.3	9.0	9.1	15.1	15.3	15.4	9.1	15.2	1.8	2.4	2.0	0.05	0.06	0.05
	-2.00		16.2	15.7	8.9	9.3	15.5	15.4	16.0	9.1	15.5	1.3	2.3	1.8	0.03	0.06	0.04
	-4.00		15.3	15.5	9.1	9.1	15.8	15.5	15.4	9.1	15.7	1.8	2.3	1.6	0.05	0.06	0.04
	-6.00		15.5	15.5	9.3	9.2	15.4	15.4	15.5	9.3	15.4	1.7	2.2	1.8	0.04	0.05	0.05
2	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	8.8	8.5	8.9	8.5	14.3	14.2	8.7	8.7	14.3	8.6	2.7	3.0	0.21	0.07	0.07
	-0.05		8.8	8.8	8.7	8.5	14.1	14.1	8.8	8.6	14.1	8.4	2.8	3.1	0.21	0.07	0.08
	-0.50		8.5	8.4	8.5	8.5	13.3	14.7	8.5	8.5	14.0	8.8	2.9	3.2	0.22	0.07	0.08
	-1.00		8.4	8.4	8.6	8.5	14.3	14.7	8.4	8.6	14.5	8.8	2.9	2.7	0.22	0.07	0.07
	-1.50		14.7	15.0	9.1	8.8	15.1	15.7	14.9	9.0	15.4	2.4	2.5	1.8	0.06	0.06	0.05
	-2.00		15.3	15.1	9.3	9.4	15.3	15.3	15.2	9.4	15.3	2.0	2.1	1.9	0.05	0.05	0.05
	-4.00		15.6	15.7	9.4	9.1	15.5	15.1	15.7	9.3	15.3	1.6	2.2	1.9	0.04	0.05	0.05
	-6.00		15.5	15.7	9.4	9.2	15.4	15.0	15.6	9.3	15.2	1.6	2.1	2.0	0.04	0.05	0.05
3	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	15.1	14.8	9.2	9.0	15.0	15.3	15.0	9.1	15.2	2.3	2.3	2.1	0.06	0.06	0.05
	-0.05		14.6	14.6	8.7	9.0	14.9	15.1	14.6	8.9	15.0	2.6	2.6	2.2	0.07	0.06	0.06
	-0.50		15.3	14.9	9.1	9.0	14.7	15.0	15.1	9.1	14.9	2.1	2.4	2.4	0.05	0.06	0.06
	-1.00		15.5	16.0	8.8	9.1	15.4	15.4	15.8	9.0	15.4	1.5	2.5	1.8	0.04	0.06	0.05
	-1.50		15.7	15.2	9.2	9.2	16.1	15.7	15.5	9.2	15.9	1.8	2.2	1.3	0.04	0.06	0.03
	-2.00		15.5	15.7	9.3	9.0	15.6	15.6	15.6	9.2	15.6	1.6	2.3	1.6	0.04	0.06	0.04
	-4.00		14.9	15.3	9.1	9.3	15.7	15.3	15.1	9.2	15.5	2.1	2.2	1.7	0.05	0.06	0.04
	-6.00		15.9	15.8	9.2	9.2	15.7	15.9	15.9	9.2	15.8	1.4	2.2	1.4	0.03	0.06	0.04
4	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	14.1	14.5	9.0	8.7	15.0	14.6	14.3	8.9	14.8	2.9	2.6	2.4	0.07	0.06	0.06
	-0.05		14.3	15.1	8.3	8.7	14.7	14.7	14.7	8.5	14.7	2.5	2.9	2.5	0.06	0.07	0.06
	-0.50		15.2	15.2	9.0	9.2	15.5	15.1	15.2	9.1	15.3	2.0	2.3	1.9	0.05	0.06	0.05
	-1.00		15.0	15.2	8.9	9.2	14.9	15.3	15.1	9.1	15.1	2.1	2.4	2.1	0.05	0.06	0.05
	-1.50		15.6	15.5	9.4	9.4	15.3	15.5	15.6	9.4	15.4	1.7	2.0	1.8	0.04	0.05	0.05
	-2.00		15.8	16.3	10.1	9.7	15.6	15.6	16.1	9.9	15.6	1.2	1.5	1.6	0.03	0.04	0.04
	-4.00		15.4	15.8	9.5	9.5	15.7	15.0	15.6	9.5	15.4	1.6	1.9	1.9	0.04	0.05	0.05
	-6.00		15.4	15.5	9.3	9.5	15.6	15.6	15.5	9.4	15.6	1.8	2.0	1.6	0.04	0.05	0.04
5	0.35	凸：17.2 凸：17.2 側：11.4	8.5	8.5	8.9	8.4	8.9	8.9	8.5	8.7	8.9	8.7	2.8	8.3	0.22	0.07	0.21
	-0.05		8.5	8.4	8.5	8.7	8.3	8.5	8.5	8.6	8.4	8.8	2.8	8.8	0.22	0.07	0.22
	-0.50		14.3	14.0	9.2	9.0	13.2	13.9	14.2	9.1	13.6	3.1	2.3	3.7	0.08	0.06	0.09
	-1.00		15.2	15.2	9.0	9.3	15.1	14.6	15.2	9.2	14.9	2.0	2.3	2.4	0.05	0.06	0.06
	-1.50		15.0	14.7	9.0	9.0	15.3	15.3	14.9	9.0	15.3	2.4	2.4	1.9	0.06	0.06	0.05
	-2.00		15.1	14.7	9.3	9.5	14.7	14.9	14.9	9.4	14.8	2.3	2.0	2.4	0.06	0.05	0.06
	-4.00		15.3	15.5	8.7	8.5	15.5	15.1	15.4	8.6	15.3	1.8	2.8	1.9	0.05	0.07	0.05
	-6.00		15.3	15.3	9.1	9.0	15.3	15.2	15.3	9.1	15.3	1.9	2.4	2.0	0.05	0.06	0.05

附錄一-7 高雄港 54 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
54-1	-0.30	16.1	15.0	14.8	14.8	14.87	1.23	0.04
	-1.10		14.5	14.3	14.9	14.57	1.53	0.05
	-2.00		15.1	15.0	15.4	15.17	0.93	0.03
	-4.00		15.2	15.3	15.3	15.27	0.83	0.02
	-6.00		15.3	15.4	15.2	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.0	15.2	15.5	15.23	0.87	0.03
54-2	-0.30	16.1	14.5	14.3	15.1	14.63	1.47	0.04
	-1.10		14.5	14.2	14.9	14.53	1.57	0.05
	-2.00		14.8	15.0	14.9	14.90	1.20	0.04
	-4.00		14.9	15.2	15.2	15.10	1.00	0.03
	-6.00		15.0	15.5	15.3	15.27	0.83	0.02
	-8.00		15.3	15.6	15.6	15.50	0.60	0.02
54-3	-0.30	16.1	14.5	14.7	15.1	14.77	1.33	0.04
	-1.10		14.8	15.0	14.9	14.90	1.20	0.04
	-2.00		15.6	15.2	15.6	15.47	0.63	0.02
	-4.00		15.6	15.3	15.3	15.40	0.70	0.02
	-6.00		15.0	15.4	15.4	15.27	0.83	0.02
	-8.00		15.2	15.5	15.4	15.37	0.73	0.02
54-4	-0.30	16.1	14.5	14.5	14.9	14.63	1.47	0.04
	-1.10		14.5	15.1	14.8	14.80	1.30	0.04
	-2.00		14.6	14.6	14.9	14.70	1.40	0.04
	-4.00		14.5	15.0	14.9	14.80	1.30	0.04
	-6.00		14.6	14.6	14.6	14.60	1.50	0.04
	-8.00		14.8	14.8	15.2	14.93	1.17	0.03
54-5	-0.30	16.1	14.3	14.4	14.3	14.33	1.77	0.05
	-1.10		14.2	14.5	14.5	14.40	1.70	0.05
	-2.00		14.5	15.1	15.1	14.90	1.20	0.04
	-4.00		15.1	14.7	14.9	14.90	1.20	0.04
	-6.00		15.0	15.3	15.1	15.13	0.97	0.03
	-8.00		15.3	15.3	15.3	15.30	0.80	0.02
54-6	-0.30	16.1	14.5	14.4	14.5	14.47	1.63	0.05
	-1.10		14.3	14.6	15.0	14.63	1.47	0.04
	-2.00		14.6	15.1	15.1	14.93	1.17	0.03
	-4.00		15.3	15.4	15.3	15.33	0.77	0.02
	-6.00		15.2	15.4	15.5	15.37	0.73	0.02
	-8.00		15.5	15.5	15.6	15.53	0.57	0.02
54-7	-0.30	16.1	14.5	14.6	14.5	14.53	1.57	0.05
	-1.10		14.3	14.0	14.5	14.27	1.83	0.05
	-2.00		14.6	15.1	14.9	14.87	1.23	0.04
	-4.00		15.3	15.5	15.6	15.47	0.63	0.02
	-6.00		15.5	15.2	15.6	15.43	0.67	0.02
	-8.00		15.0	15.0	15.6	15.20	0.90	0.03
54-8	-0.30	16.1	14.8	15.1	14.7	14.87	1.23	0.04
	-1.10		14.5	14.3	14.3	14.37	1.73	0.05
	-2.00		15.0	14.9	15.1	15.00	1.10	0.03
	-4.00		15.5	15.4	15.5	15.47	0.63	0.02
	-6.00		15.8	15.6	15.6	15.67	0.43	0.01
	-8.00		15.6	15.4	15.6	15.53	0.57	0.02

附錄一-7 高雄港 54 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表（續）

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
54-9	-0.30	16.1	14.5	14.9	14.9	14.77	1.33	0.04
	-1.10		14.8	15.2	15.0	15.00	1.10	0.03
	-2.00		15.3	15.2	15.3	15.27	0.83	0.02
	-4.00		15.0	15.1	15.1	15.07	1.03	0.03
	-6.00		14.9	15.4	15.6	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.3	15.5	15.5	15.43	0.67	0.02
54-10	-0.30	16.1	15.0	14.6	14.5	14.70	1.40	0.04
	-1.10		14.5	14.2	14.9	14.53	1.57	0.05
	-2.00		15.2	15.0	15.0	15.07	1.03	0.03
	-4.00		15.6	15.6	15.2	15.47	0.63	0.02
	-6.00		15.3	15.5	15.4	15.40	0.70	0.02
	-8.00		15.4	15.4	15.4	15.40	0.70	0.02
54-11	-0.30	16.1	14.4	14.2	14.8	14.47	1.63	0.05
	-1.10		14.8	14.8	15.1	14.90	1.20	0.04
	-2.00		14.5	15.5	15.2	15.07	1.03	0.03
	-4.00		15.2	15.0	15.4	15.20	0.90	0.03
	-6.00		15.0	15.2	15.4	15.20	0.90	0.03
	-8.00		15.1	15.5	15.2	15.27	0.83	0.02
54-12	-0.30	16.1	15.0	14.7	14.9	14.87	1.23	0.04
	-1.10		14.8	14.9	15.0	14.90	1.20	0.04
	-2.00		14.5	15.0	14.9	14.80	1.30	0.04
	-4.00		15.3	15.6	15.2	15.37	0.73	0.02
	-6.00		15.6	15.4	15.6	15.53	0.57	0.02
	-8.00		15.6	15.4	15.6	15.53	0.57	0.02
54-13	-0.30	16.1	14.4	14.3	14.8	14.50	1.60	0.05
	-1.10		14.2	14.1	14.2	14.17	1.93	0.06
	-2.00		15.5	15.2	15.2	15.30	0.80	0.02
	-4.00		15.4	15.4	15.4	15.40	0.70	0.02
	-6.00		15.0	15.2	15.4	15.20	0.90	0.03
	-8.00		15.6	15.6	15.4	15.53	0.57	0.02
54-14	-0.30	16.1	15.1	14.6	15.0	14.90	1.20	0.04
	-1.10		14.7	15.2	14.7	14.87	1.23	0.04
	-2.00		15.2	15.0	15.0	15.07	1.03	0.03
	-4.00		15.2	15.6	15.2	15.33	0.77	0.02
	-6.00		15.3	15.4	15.0	15.23	0.87	0.03
	-8.00		15.3	15.6	15.6	15.50	0.60	0.02
54-15	-0.30	16.1	15.0	14.7	14.9	14.87	1.23	0.04
	-1.10		14.9	15.1	15.2	15.07	1.03	0.03
	-2.00		15.4	14.6	15.1	15.03	1.07	0.03
	-4.00		15.3	15.0	15.5	15.27	0.83	0.02
	-6.00		15.0	15.2	15.2	15.13	0.97	0.03
	-8.00		15.5	15.4	15.6	15.50	0.60	0.02

附錄一-8 高雄港 55 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率 (mm/yr.)
			1	2	3			
55-1	-0.30	16.1	14.1	15.0	14.9	14.67	1.43	0.04
	-1.10		15.2	15.0	15.2	15.13	0.97	0.03
	-2.00		15.6	15.2	15.2	15.33	0.77	0.02
	-4.00		15.1	15.4	15.2	15.23	0.87	0.03
	-6.00		14.6	15.0	15.4	15.00	1.10	0.03
	-8.00		14.9	15.6	15.2	15.23	0.87	0.03
55-2	-0.30	16.1	13.9	14.2	15.1	14.40	1.70	0.05
	-1.10		15.3	14.9	15.0	15.07	1.03	0.03
	-2.00		14.6	15.2	14.7	14.83	1.27	0.04
	-4.00		14.7	14.7	15.1	14.83	1.27	0.04
	-6.00		15.2	15.5	15.2	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.1	15.5	15.5	15.37	0.73	0.02
55-3	-0.30	16.1	14.2	14.2	14.8	14.40	1.70	0.05
	-1.10		14.6	15.0	14.7	14.77	1.33	0.04
	-2.00		14.7	14.7	15.1	14.83	1.27	0.04
	-4.00		15.1	15.0	15.1	15.07	1.03	0.03
	-6.00		15.2	15.4	15.6	15.40	0.70	0.02
	-8.00		15.1	15.3	15.3	15.23	0.87	0.03
55-4	-0.30	16.1	14.6	15.1	14.8	14.83	1.27	0.04
	-1.10		14.9	15.0	15.0	14.97	1.13	0.03
	-2.00		15.1	15.0	15.4	15.17	0.93	0.03
	-4.00		15.2	15.2	15.2	15.20	0.90	0.03
	-6.00		14.7	15.5	15.6	15.27	0.83	0.02
	-8.00		15.3	15.6	15.3	15.40	0.70	0.02
55-5	-0.30	16.1	14.2	14.1	14.9	14.40	1.70	0.05
	-1.10		15.1	14.7	15.0	14.93	1.17	0.03
	-2.00		15.3	15.0	15.2	15.17	0.93	0.03
	-4.00		15.2	15.4	15.2	15.27	0.83	0.02
	-6.00		15.4	15.6	15.5	15.50	0.60	0.02
	-8.00		15.2	15.1	15.5	15.27	0.83	0.02
55-6	-0.30	16.1	13.9	14.5	14.3	14.23	1.87	0.05
	-1.10		14.1	14.0	15.1	14.40	1.70	0.05
	-2.00		14.9	15.0	15.0	14.97	1.13	0.03
	-4.00		15.2	15.4	5.2	11.93	4.17	0.12
	-6.00		15.0	14.8	15.4	15.07	1.03	0.03
	-8.00		15.5	15.2	15.1	15.27	0.83	0.02
55-7	-0.30	16.1	14.3	14.8	14.5	14.53	1.57	0.05
	-1.10		14.2	14.4	14.9	14.50	1.60	0.05
	-2.00		14.5	14.5	15.0	14.67	1.43	0.04
	-4.00		15.4	15.2	15.2	15.27	0.83	0.02
	-6.00		15.0	15.5	15.4	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.3	15.5	15.5	15.43	0.67	0.02
55-8	-0.30	16.1	14.3	14.4	14.4	14.37	1.73	0.05
	-1.10		14.7	15.0	14.8	14.83	1.27	0.04
	-2.00		14.9	15.1	15.1	15.03	1.07	0.03
	-4.00		15.2	15.3	15.1	15.20	0.90	0.03
	-6.00		15.1	15.5	15.6	15.40	0.70	0.02
	-8.00		15.6	15.4	15.6	15.53	0.57	0.02

附錄一-8 高雄港 55 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表（續）

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
55-9	-0.30	16.1	14.9	15.1	14.6	14.87	1.23	0.04
	-1.10		15.1	14.9	15.0	15.00	1.10	0.03
	-2.00		15.0	15.1	15.1	15.07	1.03	0.03
	-4.00		15.3	15.3	15.3	15.30	0.80	0.02
	-6.00		15.5	15.6	15.5	15.53	0.57	0.02
	-8.00		15.6	15.6	15.6	15.60	0.50	0.01
55-10	-0.30	16.1	14.0	14.0	14.6	14.20	1.90	0.06
	-1.10		14.2	14.7	14.6	14.50	1.60	0.05
	-2.00		14.9	15.0	14.8	14.90	1.20	0.04
	-4.00		14.8	14.9	15.2	14.97	1.13	0.03
	-6.00		15.1	15.1	15.0	15.07	1.03	0.03
	-8.00		15.2	15.5	15.6	15.43	0.67	0.02
55-11	-0.30	16.1	15.0	14.8	15.1	14.97	1.13	0.03
	-1.10		14.8	14.8	15.2	14.93	1.17	0.03
	-2.00		14.6	14.6	15.0	14.73	1.37	0.04
	-4.00		15.1	15.0	15.4	15.17	0.93	0.03
	-6.00		15.0	15.2	15.2	15.13	0.97	0.03
	-8.00		15.3	15.4	15.4	15.37	0.73	0.02
55-12	-0.30	16.1	15.2	14.7	14.7	14.87	1.23	0.04
	-1.10		15.0	15.2	15.0	15.07	1.03	0.03
	-2.00		14.8	15.1	15.4	15.10	1.00	0.03
	-4.00		15.3	15.3	15.5	15.37	0.73	0.02
	-6.00		15.4	15.4	15.6	15.47	0.63	0.02
	-8.00		15.8	15.8	15.6	15.73	0.37	0.01
55-13	-0.30	16.1	14.9	14.8	14.9	14.87	1.23	0.04
	-1.10		14.7	14.8	15.1	14.87	1.23	0.04
	-2.00		15.0	15.2	14.9	15.03	1.07	0.03
	-4.00		15.3	15.5	15.3	15.37	0.73	0.02
	-6.00		15.4	15.5	15.6	15.50	0.60	0.02
	-8.00		15..6	15.4	15.4	15.40	0.70	0.02
55-14	-0.30	16.1	15.1	15.0	15.1	15.07	1.03	0.03
	-1.10		15.0	15.2	15.2	15.13	0.97	0.03
	-2.00		15.0	15.3	15.2	15.17	0.93	0.03
	-4.00		14.8	15.1	14.8	14.90	1.20	0.04
	-6.00		14.9	14.9	15.2	15.00	1.10	0.03
	-8.00		15.0	15.3	15.1	15.13	0.97	0.03
55-15	-0.30	16.1	15.2	15.0	15.1	15.10	1.00	0.03
	-1.10		15.0	14.9	15.1	15.00	1.10	0.03
	-2.00		15.5	15.3	15.4	15.40	0.70	0.02
	-4.00		14.9	14.9	15.2	15.00	1.10	0.03
	-6.00		15.3	15.3	15.3	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.5	15.6	15.4	15.50	0.60	0.02

附錄一-9 高雄港 56 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
56-1	-0.30	16.1	14.3	14.0	14.2	14.17	1.93	0.06
	-1.10		14.5	14.4	14.0	14.30	1.80	0.05
	-2.00		14.8	14.8	14.8	14.80	1.30	0.04
	-4.00		14.5	14.3	14.5	14.43	1.67	0.05
	-6.00		14.8	14.8	14.7	14.77	1.33	0.04
	-8.00		15.0	14.7	15.1	14.93	1.17	0.03
56-2	-0.30	16.1	14.2	14.2	14.3	14.23	1.87	0.05
	-1.10		14.5	14.6	14.5	14.53	1.57	0.05
	-2.00		14.7	14.7	14.6	14.67	1.43	0.04
	-4.00		14.0	14.5	14.5	14.33	1.77	0.05
	-6.00		14.2	14.3	14.6	14.37	1.73	0.05
	-8.00		14.5	14.8	14.5	14.60	1.50	0.04
56-3	-0.30	16.1	14.2	14.0	14.1	14.10	2.00	0.06
	-1.10		14.4	14.3	14.3	14.33	1.77	0.05
	-2.00		14.5	14.6	14.5	14.53	1.57	0.05
	-4.00		14.9	14.8	14.8	14.83	1.27	0.04
	-6.00		14.6	14.6	14.6	14.60	1.50	0.04
	-8.00		14.9	15.0	14.6	14.83	1.27	0.04
56-4	-0.30	16.1	14.2	14.2	14.4	14.27	1.83	0.05
	-1.10		14.5	14.5	14.5	14.50	1.60	0.05
	-2.00		14.4	14.1	14.5	14.33	1.77	0.05
	-4.00		14.1	14.2	14.2	14.17	1.93	0.06
	-6.00		14.3	14.3	14.6	14.40	1.70	0.05
	-8.00		14.6	14.6	14.4	14.53	1.57	0.05
56-5	-0.30	16.1	14.2	14.0	14.2	14.13	1.97	0.06
	-1.10		14.5	14.3	14.3	14.37	1.73	0.05
	-2.00		14.4	14.4	14.4	14.40	1.70	0.05
	-4.00		14.9	14.6	14.3	14.60	1.50	0.04
	-6.00		14.9	14.8	14.5	14.73	1.37	0.04
	-8.00		15.0	14.9	14.9	14.93	1.17	0.03
56-6	-0.30	16.1	13.9	14.1	14.0	14.00	2.10	0.06
	-1.10		14.2	14.4	14.5	14.37	1.73	0.05
	-2.00		14.4	14.6	14.8	14.60	1.50	0.04
	-4.00		14.5	14.4	14.3	14.40	1.70	0.05
	-6.00		14.5	14.8	14.6	14.63	1.47	0.04
	-8.00		15.0	14.4	14.5	14.63	1.47	0.04
56-7	-0.30	16.1	14.0	13.9	13.9	13.93	2.17	0.06
	-1.10		14.1	14.0	13.9	14.00	2.10	0.06
	-2.00		14.3	14.2	14.3	14.27	1.83	0.05
	-4.00		14.4	14.4	14.4	14.40	1.70	0.05
	-6.00		14.3	14.0	14.3	14.20	1.90	0.06
	-8.00		14.5	14.5	14.4	14.47	1.63	0.05
56-8	-0.30	16.1	13.8	14.0	13.9	13.90	2.20	0.06
	-1.10		13.8	13.8	14.0	13.87	2.23	0.07
	-2.00		13.6	13.8	14.0	13.80	2.30	0.07
	-4.00		14.1	14.0	14.1	14.07	2.03	0.06
	-6.00		14.0	14.3	14.3	14.20	1.90	0.06
	-8.00		14.2	14.2	14.2	14.20	1.90	0.06

附錄一-9 高雄港 56 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表（續）

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
56-9	-0.30	16.1	14.0	13.7	14.0	13.90	2.20	0.06
	-1.10		14.0	13.7	14.1	13.93	2.17	0.06
	-2.00		13.8	14.0	13.8	13.87	2.23	0.07
	-4.00		14.1	14.0	14.4	14.17	1.93	0.06
	-6.00		14.3	14.2	14.2	14.23	1.87	0.05
	-8.00		13.9	14.0	14.1	14.00	2.10	0.06
56-10	-0.30	16.1	13.8	13.7	13.7	13.73	2.37	0.07
	-1.10		13.9	14.0	14.0	13.97	2.13	0.06
	-2.00		14.1	14.3	14.4	14.27	1.83	0.05
	-4.00		14.0	14.0	14.1	14.03	2.07	0.06
	-6.00		14.2	14.2	14.4	14.27	1.83	0.05
	-8.00		14.2	13.9	14.0	14.03	2.07	0.06
56-11	-0.30	16.1	14.0	13.9	13.6	13.83	2.27	0.07
	-1.10		14.3	14.3	14.0	14.20	1.90	0.06
	-2.00		14.6	14.5	14.6	14.57	1.53	0.05
	-4.00		14.6	14.6	14.4	14.53	1.57	0.05
	-6.00		14.8	14.4	14.4	14.53	1.57	0.05
	-8.00		14.5	14.0	14.2	14.23	1.87	0.05
56-12	-0.30	16.1	14.3	14.3	14.3	14.30	1.80	0.05
	-1.10		14.4	14.4	14.2	14.33	1.77	0.05
	-2.00		14.2	14.4	14.2	14.27	1.83	0.05
	-4.00		14.5	14.5	14.6	14.53	1.57	0.05
	-6.00		14.5	14.6	14.6	14.57	1.53	0.05
	-8.00		14.2	14.1	14.3	14.20	1.90	0.06
56-13	-0.30	16.1	14.5	14.5	14.5	14.50	1.60	0.05
	-1.10		14.3	14.5	14.1	14.30	1.80	0.05
	-2.00		14.5	14.2	14.2	14.30	1.80	0.05
	-4.00		14.7	14.2	14.5	14.47	1.63	0.05
	-6.00		14.4	14.6	14.5	14.50	1.60	0.05
	-8.00		13.6	13.8	14.0	13.80	2.30	0.07
56-14	-0.30	16.1	13.8	14.0	13.8	13.87	2.23	0.07
	-1.10		13.7	13.8	14.0	13.83	2.27	0.07
	-2.00		13.9	14.1	13.9	13.97	2.13	0.06
	-4.00		14.2	14.0	14.0	14.07	2.03	0.06
	-6.00		14.0	14.3	14.1	14.13	1.97	0.06
	-8.00		13.9	14.1	14.0	14.00	2.10	0.06
56-15	-0.30	16.1	14.0	13.8	14.1	13.97	2.13	0.06
	-1.10		14.0	14.0	14.1	14.03	2.07	0.06
	-2.00		13.8	13.9	14.0	13.90	2.20	0.06
	-4.00		14.2	14.2	14.0	14.13	1.97	0.06
	-6.00		14.4	14.5	14.5	14.47	1.63	0.05
	-8.00		14.0	13.7	14.0	13.90	2.20	0.06

附錄一-10 高雄港 57 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
57-1	-0.30	16.1	15.1	15.0	14.9	15.00	1.10	0.03
	-1.10		15.4	15.0	14.9	15.10	1.00	0.03
	-2.00		14.8	15.1	14.8	14.90	1.20	0.04
	-4.00		15.5	15.3	15.3	15.37	0.73	0.02
	-6.00		15.0	15.5	15.4	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.1	15.1	15.5	15.23	0.87	0.03
57-2	-0.30	16.1	15.2	15.0	15.0	15.07	1.03	0.03
	-1.10		15.0	14.8	14.8	14.87	1.23	0.04
	-2.00		14.8	15.1	15.2	15.03	1.07	0.03
	-4.00		15.1	15.0	15.5	15.20	0.90	0.03
	-6.00		15.2	15.2	15.2	15.20	0.90	0.03
	-8.00		15.6	15.5	15.6	15.57	0.53	0.02
57-3	-0.30	16.1	15.2	15.0	15.0	15.07	1.03	0.03
	-1.10		15.0	14.6	14.9	14.83	1.27	0.04
	-2.00		14.7	15.1	14.9	14.90	1.20	0.04
	-4.00		15.2	15.2	15.5	15.30	0.80	0.02
	-6.00		15.0	15.3	15.4	15.23	0.87	0.03
	-8.00		16.1	15.5	15.7	15.77	0.33	0.01
57-4	-0.30	16.1	12.6	13.0	12.6	12.73	3.37	0.10
	-1.10		12.5	12.5	12.5	12.50	3.60	0.11
	-2.00		13.1	13.1	13.0	13.07	3.03	0.09
	-4.00		16.0	15.4	15.2	15.53	0.57	0.02
	-6.00		15.2	15.2	15.2	15.20	0.90	0.03
	-8.00		15.7	15.5	15.7	15.63	0.47	0.01
57-5	-0.30	16.1	14.5	15.0	14.5	14.67	1.43	0.04
	-1.10		14.9	14.9	15.0	14.93	1.17	0.03
	-2.00		14.8	14.7	14.8	14.77	1.33	0.04
	-4.00		14.9	14.9	15.1	14.97	1.13	0.03
	-6.00		14.9	14.9	14.9	14.90	1.20	0.04
	-8.00		15.3	15.2	15.3	15.27	0.83	0.02
57-6	-0.30	16.1	15.1	14.9	14.9	14.97	1.13	0.03
	-1.10		15.3	15.0	15.2	15.17	0.93	0.03
	-2.00		15.3	15.5	15.2	15.33	0.77	0.02
	-4.00		15.5	15.3	15.4	15.40	0.70	0.02
	-6.00		15.0	15.6	15.3	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.6	15.7	15.6	15.63	0.47	0.01
57-7	-0.30	16.1	14.8	14.9	15.0	14.90	1.20	0.04
	-1.10		14.9	14.7	15.1	14.90	1.20	0.04
	-2.00		15.0	15.0	15.3	15.10	1.00	0.03
	-4.00		14.8	14.8	15.0	14.87	1.23	0.04
	-6.00		15.0	15.0	15.2	15.07	1.03	0.03
	-8.00		15.1	15.3	15.1	15.17	0.93	0.03
57-8	-0.30	16.1	14.6	14.9	14.9	14.80	1.30	0.04
	-1.10		15.0	14.8	15.0	14.93	1.17	0.03
	-2.00		14.8	15.2	15.3	15.10	1.00	0.03
	-4.00		15.1	15.5	15.2	15.27	0.83	0.02
	-6.00		15.3	15.3	15.5	15.37	0.73	0.02
	-8.00		15.5	15.5	15.2	15.40	0.70	0.02

附錄一-10 高雄港 57 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表（續）

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
57-9	-0.30	16.1	15.0	14.8	15.1	14.97	1.13	0.03
	-1.10		14.9	15.0	15.1	15.00	1.10	0.03
	-2.00		14.9	14.9	15.3	15.03	1.07	0.03
	-4.00		15.2	15.0	15.2	15.13	0.97	0.03
	-6.00		15.1	15.4	15.2	15.23	0.87	0.03
	-8.00		15.4	15.4	15.4	15.40	0.70	0.02
57-10	-0.30	16.1	14.4	14.8	14.5	14.57	1.53	0.05
	-1.10		14.9	15.0	14.9	14.93	1.17	0.03
	-2.00		14.7	14.7	15.2	14.87	1.23	0.04
	-4.00		15.0	15.0	15.1	15.03	1.07	0.03
	-6.00		15.1	15.2	15.3	15.20	0.90	0.03
	-8.00		15.0	15.5	15.3	15.27	0.83	0.02
57-11	-0.30	16.1	14.8	14.8	15.0	14.87	1.23	0.04
	-1.10		15.0	15.0	15.5	15.17	0.93	0.03
	-2.00		15.1	15.0	14.9	15.00	1.10	0.03
	-4.00		15.0	15.2	15.0	15.07	1.03	0.03
	-6.00		15.2	15.2	15.5	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.3	15.3	15.5	15.37	0.73	0.02
57-12	-0.30	16.1	15.0	15.0	14.7	14.90	1.20	0.04
	-1.10		14.7	14.8	14.8	14.77	1.33	0.04
	-2.00		14.9	14.9	15.1	14.97	1.13	0.03
	-4.00		15.1	15.4	15.6	15.37	0.73	0.02
	-6.00		15.2	15.3	15.5	15.33	0.77	0.02
	-8.00		15.4	15.5	15.4	15.43	0.67	0.02
57-13	-0.30	16.1	15.0	15.0	14.8	14.93	1.17	0.03
	-1.10		14.8	14.8	15.1	14.90	1.20	0.04
	-2.00		15.1	15.3	15.3	15.23	0.87	0.03
	-4.00		15.0	15.5	15.4	15.30	0.80	0.02
	-6.00		15.3	15.3	15.3	15.30	0.80	0.02
	-8.00		15.2	15.0	15.5	15.23	0.87	0.03
57-14	-0.30	16.1	14.7	15.0	14.9	14.87	1.23	0.04
	-1.10		14.9	15.1	14.8	14.93	1.17	0.03
	-2.00		14.6	14.9	15.2	14.90	1.20	0.04
	-4.00		15.1	15.1	15.2	15.13	0.97	0.03
	-6.00		15.0	15.5	15.1	15.20	0.90	0.03
	-8.00		15.2	15.2	15.2	15.20	0.90	0.03
57-15	-0.30	16.1	14.5	14.8	14.5	14.60	1.50	0.04
	-1.10		14.7	14.8	14.4	14.63	1.47	0.04
	-2.00		14.9	15.0	15.1	15.00	1.10	0.03
	-4.00		15.3	15.2	15.0	15.17	0.93	0.03
	-6.00		14.9	15.3	15.3	15.17	0.93	0.03
	-8.00		15.1	15.4	15.1	15.20	0.90	0.03

附錄一-11 高雄港 58 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
58-1	-0.30	9.50	8.8	8.8	9.0	8.87	0.63	0.07
	-1.10		8.1	8.3	8.0	8.13	1.37	0.15
	-2.00		8.5	8.5	8.9	8.63	0.87	0.10
	-4.00		8.9	8.9	8.7	8.83	0.67	0.07
	-6.00		9.1	9.0	9.0	9.03	0.47	0.05
	-8.00		8.9	9.0	8.8	8.90	0.60	0.07
58-2	-0.30	9.50	8.8	8.5	8.5	8.60	0.90	0.10
	-1.10		8.9	8.8	8.5	8.73	0.77	0.09
	-2.00		8.5	8.6	8.5	8.53	0.97	0.11
	-4.00		9.0	9.0	8.6	8.87	0.63	0.07
	-6.00		8.8	8.4	8.7	8.63	0.87	0.10
	-8.00		9.0	9.0	9.0	9.00	0.50	0.06
58-3	-0.30	9.50	8.4	9.0	8.8	8.73	0.77	0.09
	-1.10		9.0	9.1	8.9	9.00	0.50	0.06
	-2.00		8.5	8.3	8.6	8.47	1.03	0.11
	-4.00		9.0	9.0	8.6	8.87	0.63	0.07
	-6.00		8.9	8.3	8.7	8.63	0.87	0.10
	-8.00		8.7	8.7	9.0	8.80	0.70	0.08
58-4	-0.30	9.50	8.4	8.0	8.1	8.17	1.33	0.15
	-1.10		9.0	9.1	8.9	9.00	0.50	0.06
	-2.00		8.4	8.4	8.5	8.43	1.07	0.12
	-4.00		8.5	8.5	8.9	8.63	0.87	0.10
	-6.00		8.4	8.4	8.4	8.40	1.10	0.12
	-8.00		9.0	8.7	8.7	8.80	0.70	0.08
58-5	-0.30	9.50	8.2	8.5	8.4	8.37	1.13	0.13
	-1.10		8.5	8.8	8.4	8.57	0.93	0.10
	-2.00		8.4	9.0	8.9	8.77	0.73	0.08
	-4.00		8.5	8.5	8.5	8.50	1.00	0.11
	-6.00		9.2	9.0	9.0	9.07	0.43	0.05
	-8.00		8.9	9.0	9.1	9.00	0.50	0.06
58-6	-0.30	9.50	7.8	8.0	8.3	8.03	1.47	0.16
	-1.10		9.1	8.5	8.5	8.70	0.80	0.09
	-2.00		7.8	8.0	8.3	8.03	1.47	0.16
	-4.00		8.0	8.3	8.5	8.27	1.23	0.14
	-6.00		9.2	8.7	8.7	8.87	0.63	0.07
	-8.00		9.0	8.8	8.5	8.77	0.73	0.08
58-7	-0.30	9.50	8.5	9.1	8.5	8.70	0.80	0.09
	-1.10		8.9	8.7	8.9	8.83	0.67	0.07
	-2.00		8.8	9.0	9.0	8.93	0.57	0.06
	-4.00		8.7	8.7	9.0	8.80	0.70	0.08
	-6.00		8.9	9.0	8.5	8.80	0.70	0.08
	-8.00		8.8	8.8	9.0	8.87	0.63	0.07
58-8	-0.30	9.50	8.9	8.5	8.9	8.77	0.73	0.08
	-1.10		8.6	8.6	8.7	8.63	0.87	0.10
	-2.00		8.8	8.8	9.0	8.87	0.63	0.07
	-4.00		9.0	9.0	9.0	9.00	0.50	0.06
	-6.00		8.9	8.8	8.9	8.87	0.63	0.07
	-8.00		8.9	8.7	8.7	8.77	0.73	0.08

附錄一-11 高雄港 58 號碼頭鋼板樁厚度檢測記錄表（續）

測定位置	水深(M)	原厚度(mm)	現有厚度（mm）			平均厚度(mm)	減少厚度(mm)	腐蝕速率(mm/yr.)
			1	2	3			
58-9	-0.30	9.50	8.5	8.3	8.5	8.43	1.07	0.12
	-1.10		8.7	8.7	8.7	8.70	0.80	0.09
	-2.00		8.6	8.5	8.5	8.53	0.97	0.11
	-4.00		8.8	9.0	8.7	8.83	0.67	0.07
	-6.00		9.1	9.0	8.9	9.00	0.50	0.06
	-8.00		8.9	9.0	8.9	8.93	0.57	0.06
58-10	-0.30	9.50	8.8	8.5	8.5	8.60	0.90	0.10
	-1.10		8.6	8.5	8.4	8.50	1.00	0.11
	-2.00		8.7	8.5	8.7	8.63	0.87	0.10
	-4.00		9.1	8.7	9.0	8.93	0.57	0.06
	-6.00		8.9	8.9	9.0	8.93	0.57	0.06
	-8.00		9.0	9.0	9.0	9.00	0.50	0.06

附錄二

碼頭維護管理系統

碼頭維護管理系統

第一章 系統整體規劃

1.1 系統簡介

港灣設施維護管理系統，以資訊管理系統為平臺，建立設施維護管理之資訊系統。其目的在於整合港務單位的檢測作業體系，研擬一套標準作業流程，並以科學化方法建置一套符合實際需求的港灣設施維護管理系統，預防災害發生，加速維護作業之流程，使損失降至最低。

1.2 系統架構

本研究之系統架構主要區分為基本資料模組、檢測資料模組、維修排序模組、維修紀錄模組等管理群組功能架構，進一步提供系統規劃設計及建置依據(如圖 1.1 所示)。

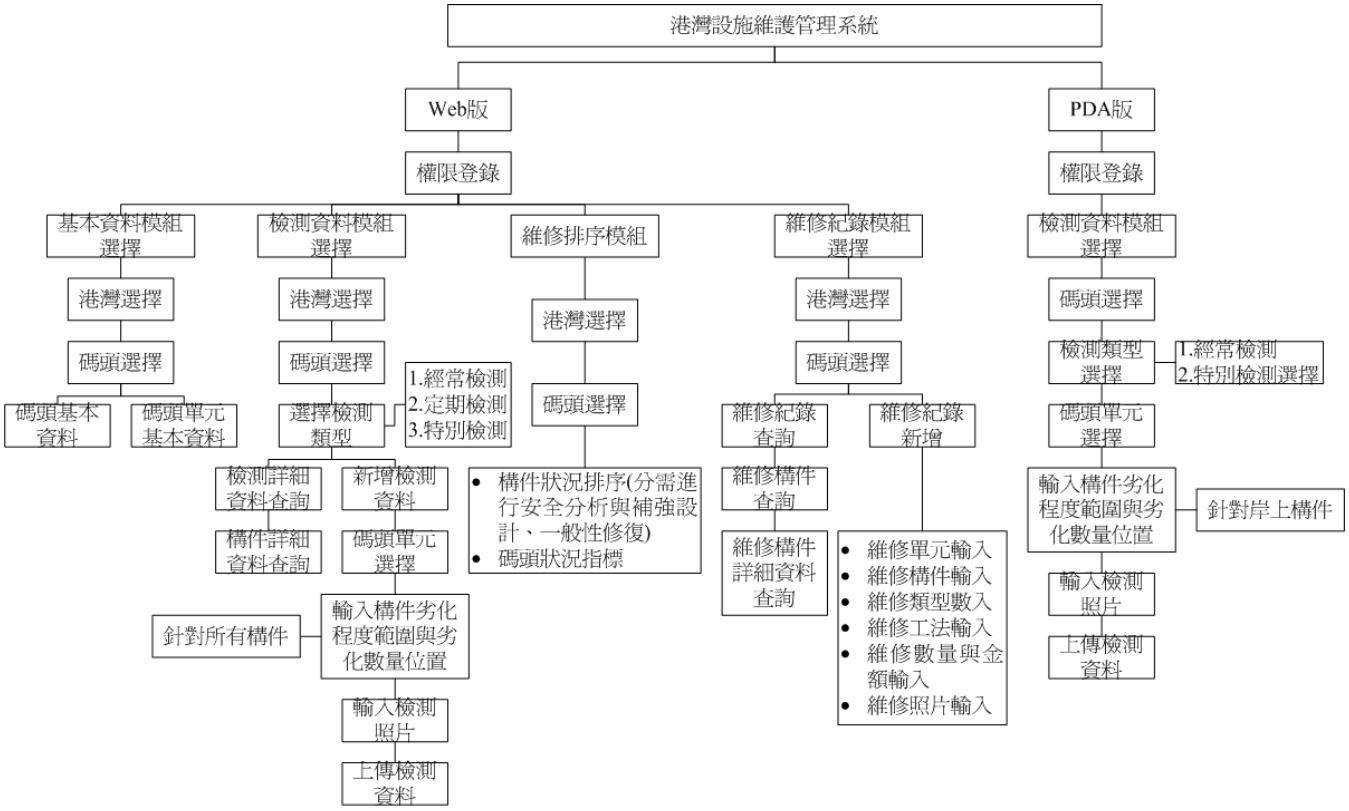


圖 1.1 系統架構圖

1.3 系統軟硬體規劃

本系統採兩層式架構來設計開發網路版系統，使用者端僅需在作業系統上安裝瀏覽器即可使用本系統，除簡化資訊人員之系統維護更新作業外，同時也讓使用者在安全機制保護下於任何時間或任何地點都能透過網際網路登入本系統，即時進行所需相關作業。由於網路版系統執行效能所牽涉的因素很多，除系統本身規劃或建置的因素外，還有伺服器等級、網路頻寬大小、使用者端軟、硬體等級等因素，故為實際有效的提昇本系統的執行效能，本研究針對系統之軟、硬體架構研擬設計如下：

1.軟體架構設計

本研究建構兩層式系統架構，分別為用戶端與伺服器端。伺服器端採用 Windows Server 2008 為伺服器作業系統，資料庫採用 Microsoft Office Access 2003 作為資料庫引擎。用戶端程式開發語言為.NET C#，並採用 Visual Studio.NET 2005 作為程式開發平台。

2.硬體架構設計

系統因檔案文件上傳負荷量不大，故採取網站伺服器(Web Server)及資料庫伺服器(Database Server)合而為一台，硬體設備架構設計上因考量檢測需求，需即時將相關資訊回傳中心，結合智慧型手機為平台之檢測查報系統，並結合內建數位相機之設備，再搭配 3.5G 傳輸設備，可於現地將即時影像及相關屬性資料回傳至中心。

1.4 系統資料庫設計

在資料庫架構的規劃方面，配合系統功能模組之需求，本研究依據基本資料、檢測資料、維修排序資料、維修紀錄資料以及權限管理資料，說明資料庫規劃架構，其資料庫架構設計之範例格式如表 1-1~表 1-8 所示。

表 1-1 港灣基本資料表

表格名稱	港灣基本資料	資料表類型	主要資料表
主鍵	id		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	港灣介紹	文字	
5	港灣照片	OLE 物件	
6	照片副檔名	文字	
7	碼頭數量	數字	

表 1-2 碼頭基本資料表

表格名稱	碼頭基本資料	資料表類型	主要資料表
主鍵	id		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	碼頭編號	文字	
5	碼頭名稱	OLE 物件	
6	碼頭型式	文字	
7	所在縣市	文字	
8	管理機關	文字	
9	碼頭管理者	文字	
10	竣工日期	日期/時間	
11	啟用日期	日期/時間	
12	工程經費	數字	
13	碼頭用途	文字	
14	碼頭長度	數字	
15	軌道長度	數字	
16	岸肩寬度	數字	
17	岸肩高程	數字	
18	繫船柱數量	數字	
19	自重	數字	
20	設計均佈載重	數字	
21	設計震度	數字	
22	設計水深	數字	
23	殘留水位	數字	

表 1-3 碼頭單元基本資料表

表格名稱	碼頭單元基本資料	資料表類型	主要資料表
主鍵	id		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	碼頭編號	文字	
5	碼頭名稱	文字	
6	結構型式	文字	
7	縱向墩柱數量	數字	
8	縱向墩柱間距	數字	
9	單元長度	數字	
10	冠牆深度	數字	
11	梁數量	數字	
12	梁深度	數字	
13	梁寬度	數字	
14	繫船柱數量	數字	
15	防舷材數量	數字	

表 1-4 單元檢測資料表

表格名稱	單元檢測資料	資料表類型	主要資料表
主鍵	id		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	碼頭編號	文字	
4	檢測日期	日期/時間	
5	天候狀況	文字	
6	檢測單位	文字	
7	填表人員	文字	
8	檢測類型	文字	
9	單元編號	文字	
10	結構型式	文字	
11	劣化構件	文字	
12	劣化類型	文字	
13	劣化程度	數字	
14	劣化範圍	數字	
15	劣化位置	文字	
16	劣化數值	數字	
17	單位	文字	
18	照片	OLE 物件	
19	副檔名	文字	

表 1-5 維修紀錄資料表

表格名稱	維修紀錄資料	資料表類型	主要資料表
主鍵	id		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	碼頭編號	文字	
4	維修日期	日期/時間	
5	天候狀況	文字	
6	維修單位	文字	
7	填表人員	文字	
8	單元編號	文字	
9	劣化構件	文字	
10	劣化類型	文字	
11	維修工法	文字	
12	維修數量	數字	
13	維修金額	數字	
14	照片	OLE 物件	
15	副檔名	文字	

表 1-6 權限管理資料表

表格名稱	user	資料表類型	主要資料表
主鍵	userid		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	userid	數字	
2	id	數字	
3	Type	文字	
4	Email	文字	
5	name	文字	
6	org	文字	
7	tel	文字	
8	AuthCode	文字	

表 1-7 構件拆解資料表

表格名稱	構件拆解	資料表類型	次要資料表
主鍵	無		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	結構型式	文字	
2	構件類型	文字	
3	劣化構件	文字	
4	劣化類型	文字	

表 1-8 維修工法資料表

表格名稱	維修工法	資料表類型	次要資料表
主鍵	無		
項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	結構型式	文字	
2	劣化構件	文字	
3	劣化類型	文字	
4	劣化程度	數字	
5	維修工法	文字	
6	維修單價	數字	

第二章 系統功能說明

本研究所建構之港灣設施維護管理系統，主要分為 PDA 介面及 Web 介面兩大部分，茲將各系統頁面選單及功能分述如下：

2.1 PDA 介面

首先使用者必須使用智慧型手機經由網際網路連線進入本系統 PDA 介面後，透過帳號密碼驗證的登入頁面（參考圖 2.1），方能進入使用其功能。

圖 2.1 登入頁面

進入後首先必須選擇港灣（參考圖 2.2 及圖 2.3）。

圖 2.2 選擇港灣頁面

圖 2.3 點選港灣

選擇港灣確定之後，便會進入碼頭選擇頁面(參考圖 2.4 及圖 2.5)。

圖 2.4 選擇碼頭頁面

圖 2.5 點選碼頭

選擇碼頭確定之後，便會進入檢測類型選擇頁面（參考圖 2.6），其共分為經常檢測、定期檢測、特別檢測，使用者可針對需求進行點選確認動作，便會進入檢測資料填寫頁面（參考圖 2.7）。

圖 2.6 選擇檢測類型頁面

圖 2.7 檢測資料填寫頁面

系統將依據使用者所登入之帳號，自動填入檢測單位、填表人員、檢測日期、港灣編號及碼頭編號資料（參考圖 2.7），使用者只需依序填寫天候狀況、單元編號、劣化構件、劣化類型及劣化位置等資料，簡化填寫檢測資料時程，另外系統會自動提供劣化程度說明表，方便使用者針對劣化構件進行判斷劣化程度（參考圖 2.8），並可上傳劣化構件缺失照片，所有資料填寫完畢，便可點選儲存完成 PDA 介面操作流程（參考圖 2.9）。

圖 2.8 劣化程度說明頁面

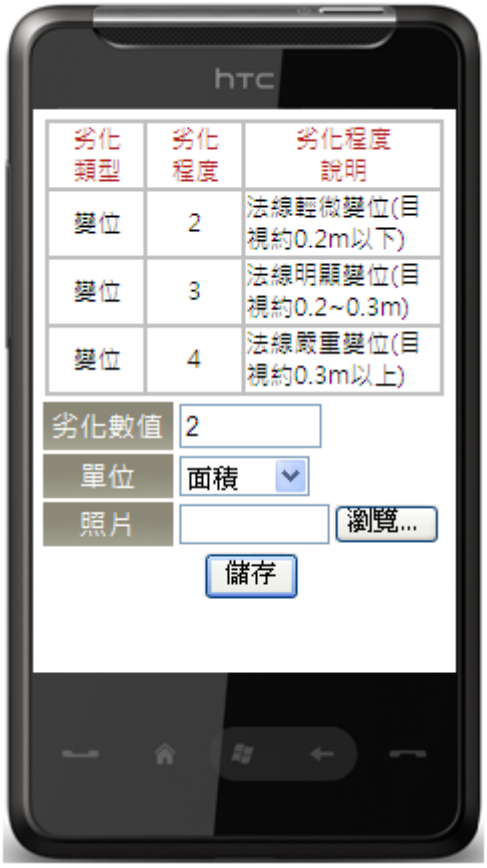


圖 2.9 照片上傳頁面

2.2 Web 介面

進入 Web 介面，必須先經由網際網路連線進入本系統，並透過帳號密碼驗證的登入頁面（參考圖 2.10），方能使用相關模組功能，其主要分為基本資料模組、檢測資料模組、狀況排序模組、維修資料模組及權限管理模組，其各模組之操作介面與功能分述如下：

圖 2.9 Web 登入頁面

一、首頁

登入確認後，便會進入本系統首頁，其主要介紹本系統執行流程。

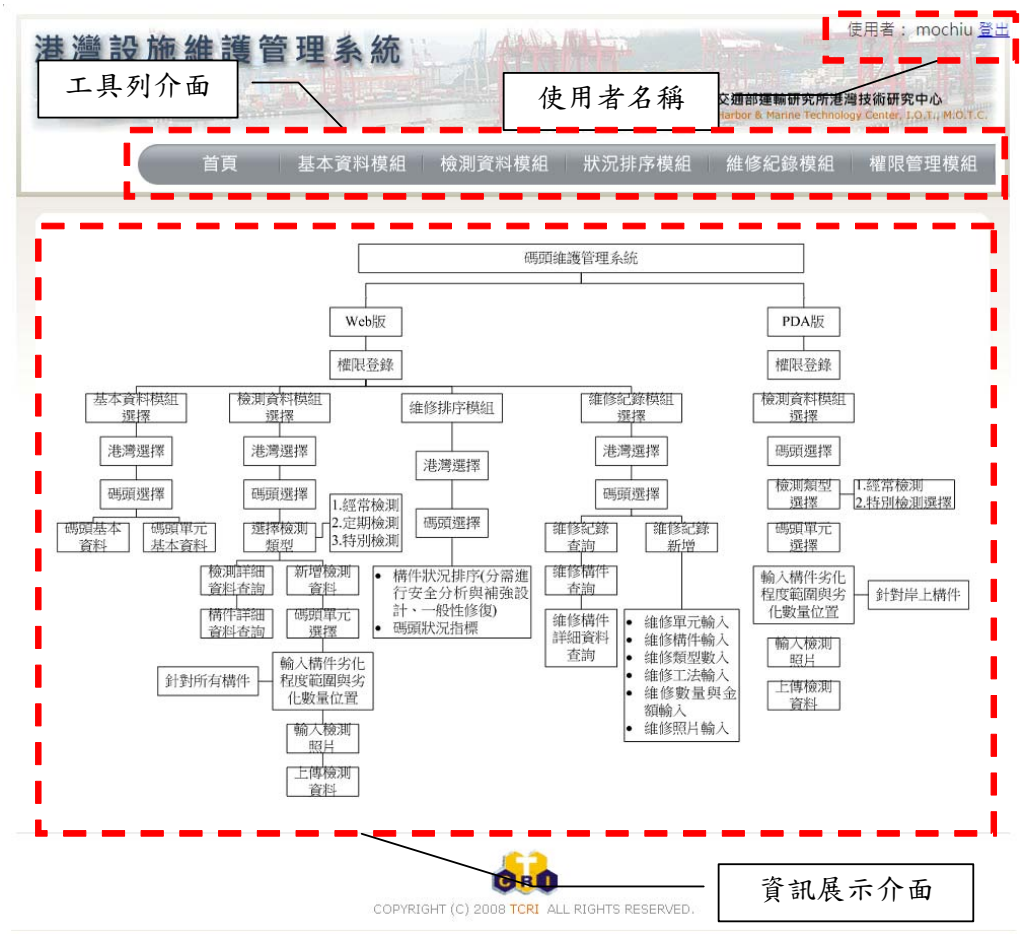


圖 2.10 首頁內容結構

二、基本資料模組

提供港灣、碼頭及單元基本資料之查詢，首先使用者必須選擇港灣（參考圖 2.11），便能查詢港灣基本資料（參考圖 2.12）。

圖 2.11 選擇港灣頁面

在港灣基本資料頁面可以選擇碼頭（參考圖 2.12），以便查詢碼頭基本資料及單元基本資料（參考圖 2.13）。

圖 2.12 港灣基本資料頁面

圖 2.13 碼頭基本資料及單元基本資料頁面

三、檢測資料模組

提供使用者進行經常檢測、定期檢測及特別檢測資料之查詢與新增，首先使用者必須選擇港灣與碼頭（參考圖 2.14~圖 2.15），便能進入檢測資料查詢頁面（參考圖 2.16），點選詳細資料，可以得知劣化種類及劣化狀況（參考圖 2.17~圖 2.18），並可針對檢測資料進行編輯修改。

圖 2.14 選擇港灣頁面

港灣設施維護管理系統
使用者： mochiu 登出
交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T., M.O.T.C.
首頁
基本資料模組
檢測資料模組
狀況排序模組
維修紀錄模組
權限管理模組
step 3.選擇港灣
地圖
衛星檢視
混合地圖
地形圖
基隆港西14碼頭
COPYRIGHT (C) 2008 TCRI ALL RIGHTS RESERVED.

圖 2.15 選擇碼頭頁面

圖 2.16 檢測資料查詢頁面

圖 2.17 劣化種類查詢頁面

圖 2.18 劣化狀況查詢頁面

點選新增檢測資料，可針對各種檢測類型進行資料新增的動作，使用者只需依序填寫資料，便可完成資料新增的流程(參考圖 2.19)。

圖 2.19 新增檢測資料頁面

四、狀況排序模組

提供使用者了解碼頭構件狀況排序及狀況指標，並提出相關建議維修工法，有效提升維修效率。其操作流程必須先選擇港灣及碼頭，系統便會自動計算出碼頭的狀況排序與指標(參考圖 2.20)。

圖 2.20 狀況排序資料頁面

五、維修資料模組

提供使用者查詢及新增維修資料(參考圖 2.21~圖 2.22)，其操作流程也必須先選擇港灣及碼頭，查詢及新增方式如同檢測資料模組。

圖 2.21 維修紀錄資料查詢頁面

圖 2.22 維修紀錄資料新增頁面

六、權限管理模組

系統管理者可管理登入帳號之權限，包含系統各模組查詢、新增等權限之設定。

圖 2.23 權限管理查詢頁面

圖 2.24 權限管理新增頁面

附錄三

碼頭設施檢測評估與維護手冊

碼頭設施檢測評估與維護手冊

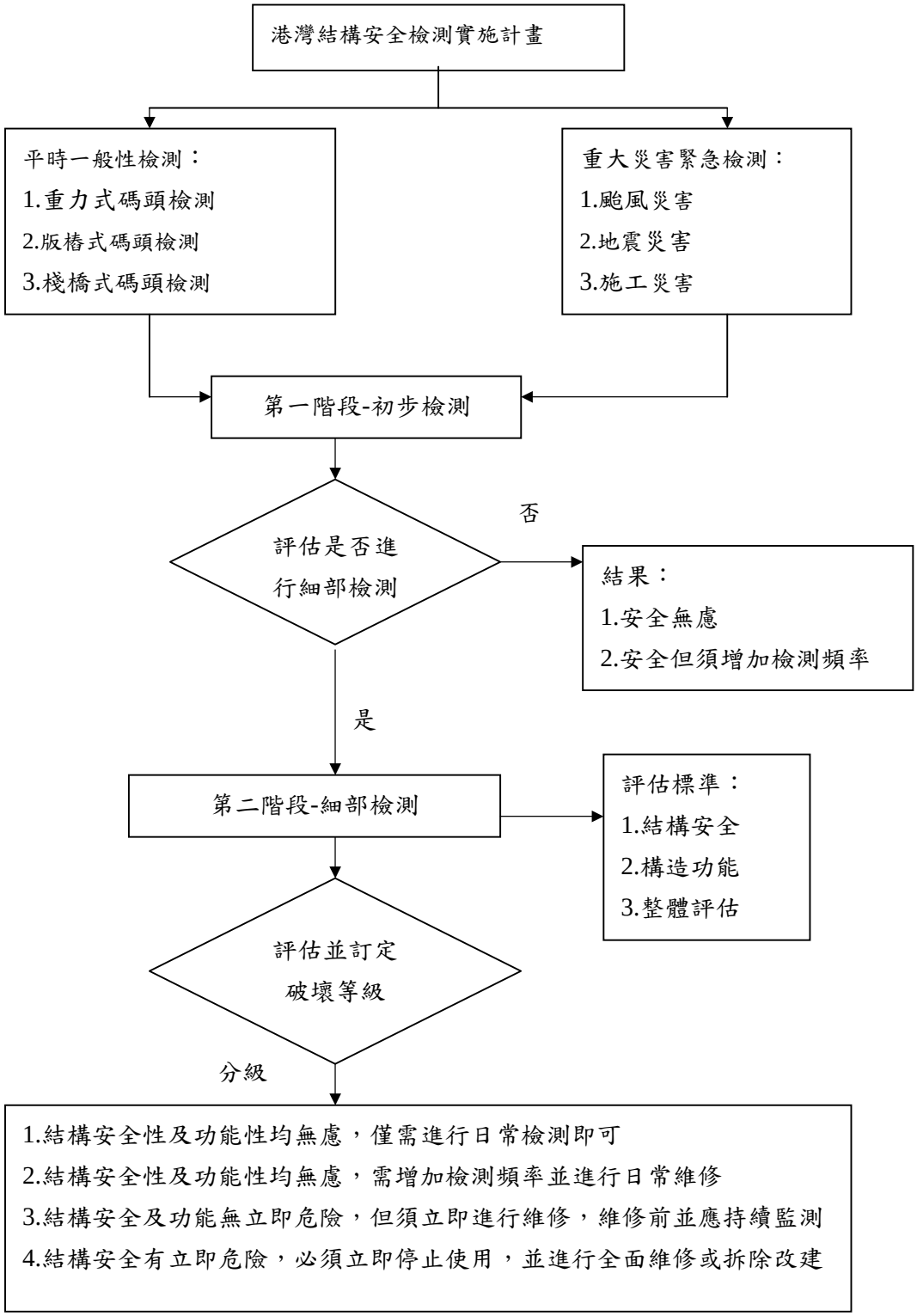
第一章 總　則

1.1 檢測要義

港灣構造物本身長年面臨惡劣的環境，如波浪作用、颱風，甚至船舶靠岸時的撞擊，都可能造成結構體不同程度的毀損。其中破壞現象若以巨觀的角度來看，包括沉箱傾倒及位移、岸壁被撞擊而破裂、碼頭崩塌、防波堤塌陷及鋼版樁的破裂損壞等；而以微觀角度而言，則包括了鋼版樁的腐蝕穿孔、混凝土塊斷面變薄、基樁斷裂以及防舷材的破損等不勝枚舉。

本檢測手冊以重力式、板樁式及棧橋式等碼頭為對象，將碼頭概分為主要結構及非主要結構進行安全檢測，並針對檢測時機、檢測程序、檢測數據填寫及安全評估等提出作業流程之建議。

1.2 檢測流程


港灣結構安全檢測實施計畫
平時一般性檢測：
1.重力式碼頭檢測
2.版樁式碼頭檢測
3.棧橋式碼頭檢測
重大災害緊急檢測：
1.颱風災害
2.地震災害
3.施工災害
第一階段-初步檢測
評估是否進
行細部檢測
否
結果：
1.安全無慮
2.安全但須增加檢測頻率
是
第二階段-細部檢測
評估標準：
1.結構安全
2.構造功能
3.整體評估
評估並訂定
破壞等級
分級
1.結構安全性及功能性均無慮，僅需進行日常檢測即可
2.結構安全性及功能性均無慮，需增加檢測頻率並進行日常維修
3.結構安全及功能無立即危險，但須立即進行維修，維修前並應持續監測
4.結構安全有立即危險，必須立即停止使用，並進行全面維修或拆除改建

1.3 檢測時機

1. 定期檢查

碼頭上部結構可目視部分：每年至少檢測 1 次；但當年度若有大型颱風過境時，無論是否有事故發生，宜增加檢測次數為 2 次，建議 4 月與 10 月（颱風季節前後）各實施 1 次。

2. 不定期檢查

遇突發狀況即行檢測，如地震、颱風等天然災害，或靠船碰撞等人為疏失。

1.4 檢測工作程序

1. 受測對象資料收集

港灣構造物中碼頭及堤防的種類形式眾多，檢測重點亦隨之不同，在進行檢測前必須先確定檢測對象之港工結構種類，檢測之範圍大小等，並事先取得相關之設計圖及應用資料，如靠泊船級、碼頭建造日期、設計水深、法線標高、船席長等，以及曾進行之檢測記錄、維修記錄等。針對取得之資料事先加以研讀，熟悉檢測之對象，並將相關資料填入檢測表的「碼頭基本資料」欄位中，針對相關檢測記錄，則列出檢測重點，以便在最短時間獲得最正確之檢測結果。

2. 檢測人員編組

常態性之檢測工作，應有常態性編制或專職編制之檢測人員編組，遇突發狀況之檢測工作則應有臨時性之任務編組。人員編組依工作性質、工作範圍大小、預估工作時程及整體工作量而加以編組，原則為檢測工作的執行能順暢進行，並能在預定時程內能完成既定工作。

3. 檢測工具準備與方法熟習

依據檢測工作之需要，備妥必要之檢測工具及儀器設備，若為目視檢測，平常及必須熟習各種破壞狀況之檢測要領，其中包括程序、步驟、數據填寫等各項操作。

4. 檢測流程規劃

(1)依檢測性質順序規劃

檢測性質指的是檢測對象之材料性質或破壞特性，在做檢測順序規劃時，考慮同性質的的檢測工作，例如、同是混凝土強度檢測，或同是混凝土裂縫檢測的工作，無論是屬於碼頭面板或屬於碼頭岸壁，均屬於同一階段的檢測工作，等該階段檢測工作結束後，再進行不同之材料性質或破壞特性之檢測工作，然後依此類推而完成最終的檢測工作。

(2)依檢測構件順序規劃

依檢測構件順序來規劃檢測工作，為將同種類構件的所有不同材料性質的檢測工作在同一檢測工作階段中完成，然後再進行其他構件的檢測工作，其進行順序以結構之構件型式區分，如碼頭面板上測完所有相關檢測項目後，再進行碼頭岸壁之檢測，依此類推直到完成所有規劃之檢測工作。

(3)依劃分區塊混合進行

當受檢測構件無法明顯區分，或部份構件之檢測工作需特殊裝備時，或檢測對象之範圍過於廣大時，亦可採取以上兩種方式混合進行，以編定區塊的順序來區分。

5. 檢測單元編定

檢測單元之編定主要依檢測構件分類編定之。故不同型式之碼頭構造，由於結構型式不同，部分構件亦有區分。檢測單元編定時以包含英文字母及阿拉伯數字之代碼表示，其原則如下：

重力式碼頭：HWxxx（分區號碼）

岸肩：HWSxxx（分段號碼）

後線：HWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（RC 或混凝土塊）：HWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及堤角：HWFxxx（分段或區塊號碼）

板樁式碼頭：PWxxx（分區號碼）

岸肩：PWSxxx（分段號碼）

後線：PWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（鋼板裝）：PWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及提腳：PWFxxx（分段或區塊號碼）

棧橋式碼頭：BWxxx（分區號碼）

岸肩：BWSxxx（分段號碼）

面板：BWDxxx（分段或區塊號碼）

基樁：BWPxxx（分段分支排列號碼）

樁基及底床：BWFxxx（分段或區塊號碼）

非主結構設施：ASxxx（分區號碼）

防舷材：ASFxxx（排列號碼）

繫船柱：ASCxxx（排列號碼）

檔車墻：ASBxxx（排列號碼）

起重機軌道：ASRxxx（分段或區塊號碼）

排給水設施：ASWxxx（分段或區塊號碼）

照明設施：ASLxxx（分段或區塊號碼）

油電管路：ASPxxx（分段或區塊號碼）

6. 執行檢測

第二章 D.E.R.評估值

2.1 D.E.R 定義

參考交通部國道高速公路局「高速公路橋樑一般目視檢測手冊」中對於高速公路橋樑檢測之損壞分類，評估時區分為損壞程度（D）、損壞範圍（E），及該構件損壞對整體結構之影響性（R），稱為 D.E.R. 評估法。

2.2 D.E.R.值之判讀

本手冊將構件損壞程度 D 值之檢測量化結果分為六等。級別為 1 級到 4 級時分別代表檢測對象之損壞程度隨級別之增加其損壞程度亦隨之提高；而級別為”0”時，則代表該檢測項目在受測碼頭或防波堤中並不存在（因初步檢測表之項目乃須包含所有碼頭與防波堤之結構體，然因構造形式之差異而使得該項目並不存在）；級別為”5”時則代表該檢測項目無法判定或無法檢測，通常代表進一步細部檢測之必要性。

以下表格則為 D 值填寫時所參考之現象描述及其損壞程度之分級：

1. 結構大部明顯可檢視現象 D 值評估

檢測位置	劣化現象	劣　化　程　度	D 值
碼頭壁體	傾斜、破損、混凝土剝離龜裂	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出	2
		混凝土龜裂，鋼筋完全露出	3
		可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出而且腐蝕預力管露出	4
碼頭法線	變形、扭曲	儀器檢測出法線偏移、扭曲	3
		可目視觀察出法線偏移、扭曲	4
碼頭面版	龜裂、沈陷、材質劣化	面版混凝土輕微剝落或龜裂開且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象	2
		儀器檢測出輕微沈陷，或面版鋼筋完全露出，無腐蝕現象	3
		可目視出沈陷、崩塌，或面版鋼筋完全露出而且有腐蝕現象	4

2. 混凝土結構性質檢測 D 值評估

檢測位置	劣化現象	劣　化　程　度	D 值
混凝土強度	劣化、不足	強度不足為 10%以內	1
		強度不足為 15%以內	2
		強度不足為 20%以內	3
		強度不足達 30%以上	4
混凝土中性化深度比較	深度比較	中性化達保護層厚度 50%以下	1
		中性化達保護層厚度 50%以上	2
		中性化達保護層厚度 100%時	3
混凝土氯離子濃度	超過	0.1 kg/m3 以內	1
		0.2 kg/m3 以內	2
		0.3 kg/m3 以內	3
		0.5 kg/m3 以上	4
保護層厚度	不　足	厚度不足為 20%以內	1
		厚度不足為 30%以內	2
		厚度不足為 40%以內	3
		厚度不足達 50%以上	4

3. 鋼筋、鋼管及鋼版結構性質檢測 D 值評估

鋼筋腐蝕探測	腐　蝕	無明顯的鏽蝕區域	1
		局部區域有鏽蝕集中	2
		帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現紅橙色成帶狀剝落	3
		一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色剝落達構件 1/3 的範圍	4
鋼版腐蝕檢測	鏽蝕位置	L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕	1
		平均低潮位附近起，於 L.W.L.附近可見紅橙色生銹或皆見不到	2
		於 L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布	3
		H.W.L.以上的飛沫帶及平均低潮位接近 L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	4

R 值為構件損壞對整體結構之影響性，亦可視為各檢測項目中之權值，其值之決定則有賴經驗及訓練，本研究中將主結構體與附屬設施分開，且將檢測分成兩階段進行，故暫不對 R 值提出參考建議。

檢測評估表之損壞評估採 D.E.R.評估法，即評估時除區分為損壞程度(D)、損壞範圍(E)，及該構件損壞對整體結構之影響性(R)。並由檢測人員依據劣化構件維修的急迫程度(Urgency)作為維修對策之建議。損壞範圍(E)的分等為 10%以下為"1"，10%至 30%中間等級為"2"，30%至 60%之間等級為"3"，大於 60%則為"4"，"0"則代表無此項目或無法判定。

2.3 評估分級

初步檢測工作完成後，即進行檢測結果評估階段。構造物整體檢測結果之判定及評估標準主要分為兩大部分：其一為結構安全性；其二為構造功能性。將檢測表結果即各項目之檢測值經下列公式換算

後，依據其值所在範圍而決定最後評估等級。

由港灣構造物檢測所得各構件的 D、E、R 值，可求得構造物的狀況指標 CI，定義如下：

$$CI = 100 - 12.5\frac{\sum_i (D_i + E_i)R_i}{\sum_i R_i}$$

式中下標 i 表示第 i 個構件。完工後的 CI 值應為 100，使用期間受到所處環境的影響，構造物因各種外力作用產生的損傷，及材料的劣化，CI 將會隨使用時間的增加而降低。而狀況指標 CI 僅針對構造物主體構件的 D、E、R 值進行統計，分成三個等級：

1. A 級：85≦CI≦100，為安全無虞。

2. B 級：70≦CI＜85，為結構物已受損傷，可進行詳細檢測，了解 構造物性能的劣化趨勢。分析其營運管理成本，在預算許可的條件下進行維修。

3. C 級：CI＜70，構造物已受較嚴重損傷，此時應分析其生命週期成本，編列預算進行必要的維修及補強的工作，或在適當時機拆除重建。

附屬設施則分別針對各項損壞之急迫程度(U)，作為維修與否之判斷。

第三章 初步檢測

3.1 碼頭初步檢測

3.1.1 碼頭初步檢測時機（頻率）

1. 定期檢查

目視檢測能執行之範圍每年至少檢查 1 次，當年度若有大型颱風侵襲，無論有無意外發生，宜酌予增加檢測次數，尤其在颱風過後，建議檢測時間為 3 月~4 月與 9 月~10 月各實施檢查一次。

2. 不定期檢查

發生重大災害時隨即施行檢測，如地震、颱風或靠船不慎之碰撞等。

3.1.2 碼頭初步檢測單元

依碼頭本身構造分段或適當長度（50m~100m）編定檢測單元，然後在各碼頭單元下，分別依碼頭及構件型式再依序編定相關檢測單元。檢測單元編定時以包含英文字母及阿拉伯數字之代碼表示，其原則如下：

重力式碼頭：HWxxx（分區號碼）

岸肩：HWSxxx（分段號碼）

後線：HWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（RC 或混凝土塊）：HWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及堤腳：HWFxxx（分段或區塊號碼）

板樁式碼頭：PWxxx（分區號碼）

岸肩：PWSxxx（分段號碼）

冠牆：PWCxxx（分段號碼）

後線：PWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（鋼板裝）：PWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及堤腳：PWFxxx（分段或區塊號碼）

棧橋式碼頭：BWxxx（分區號碼）

法線：BWSxxx（分段號碼）

面板：BWDxxx（分段或區塊號碼）

基樁：BWPxxx（分段分支排列號碼）

樁基及護坡：BWFxxx（分段或區塊號碼）

非主結構設施：ASxxx（分區號碼）

防舷材：ASFxxx（排列號碼）

繫船柱：ASCxxx（排列號碼）

檔車墻：ASBxxx（排列號碼）

起重機軌道：ASRxxx（分段或區塊號碼）

排給水設施：ASWxxx（分段或區塊號碼）

照明設施：ASLxxx（分段或區塊號碼）

油電管路：ASPxxx（分段或區塊號碼）

3.1.3 碼頭初步檢測項目及要領

碼頭初步檢測項目及要領，依碼頭型式之不同，針對主要結構體分別列表說明如下。

1. 重力式碼頭初步檢測項目及要領

項　　目	檢 查 重 點
基礎及堤腳	檢查基礎是否穩固，護基或護樁方塊、拋石是否掏刷、流失
岸壁結構	岸壁損壞、裂縫、混凝土腐蝕剝落
岸肩及法線	岸肩沈陷、法線是否平直、岸肩之完整性、龜裂、混凝土剝落等
碼頭後線	破洞、沈陷、裂縫

2. 板樁式碼頭初步檢測項目及要領

項　　目	檢 查 重 點
基礎及堤腳	檢查基礎是否穩固，基礎是否掏刷
板樁岸壁結構	版樁岸壁損壞、裂縫、板樁腐蝕、板樁穿孔、防蝕塊檢測等
冠牆結構	混凝土構造之完整性、龜裂、混凝土剝落、鋼筋鏽蝕等
岸肩及法線	岸肩沈陷、法線是否平直、岸肩之完整性、龜裂、混凝土剝落等
碼頭後線	破洞、沈陷、裂縫

3. 棧橋式碼頭初步檢測項目及要領

項　　目	檢 查 重 點
樁基及護坡	檢查護坡是否穩固，基礎是否掏刷
基樁結構	基樁損壞、裂縫、腐蝕、混凝土剝落
面板及底樑結構	面板龜裂、下陷，橫樑、底板及樑結構之完整性，鋼筋是否腐蝕、混凝土開裂、剝落等
法線	法線是否平整

4. 非主結構設施初步檢測項目及要領

項　　目	檢 查 重 點
護舷設備	材質劣化、龜裂，螺栓脫落
擋車牆	混凝土破損、鋼筋外露
繫船柱	腐蝕、底盤鬆動
起重機軌道	軌道是否平直、扭曲、軌距是否一致、沈陷等
其他附屬設施	排水設施暢通性、照明設施是否正常、油電管路之漏油

碼頭因構造形式、屬性功能互異，所以上表中僅以大項分類，而表中部分項目中之檢測單元均需潛水人員進行檢查，碼頭前掏刷檢測可由定期水深量測判斷，除基礎穩固與護基拋石之沖刷流失檢查外，沉箱或鋼版樁位於水下部分之破洞、腐蝕、傾斜，樑版結構之毀損、混凝土剝落（尤以棧橋式碼頭基樁為最）亦為檢查重點，水下檢查時亦應記錄與相片互相輔助，以臻詳實。

其餘水面上之主體檢查以整體損壞勘查為主，在初步檢測時主要以目視進行之外，必要時亦需進行簡單非破壞檢測如混凝土強度、鋼筋排設、保護層厚度、鋼筋腐蝕探測與裂縫量測等，堤面傾斜、沈陷或變位則以水準測量、地形測量方法施做。

附屬設施中則以繫船柱腐蝕程度與穩固、防舷材之劣化、損壞為檢測重點。

3.1.4 碼頭初步檢測評估表填寫

檢測依據總則檢測工作程序規定進行，依序為目標規劃、單元（範圍）編定、檢測操作即表格填寫、結果評估，以下則針對表格填寫進行說明。

1. 基本資料調查

碼頭基本資料	隸屬港口：		碼頭編號:	
	建造日期：		啟用日期：	
	靠泊船級	原設計：	實際使用：	
	碼頭法線 面版標高：	長度： 縱深：	水域深度	原設計： 目　前：
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☐ 其他		
	碼頭構造型式	☐ 重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他		
	上次檢測	時間： 單位： 區分： 結果：		

檢測工作首要前置作業即為受測者之資料調查，除依次填寫構造物之基本資料外，前次檢測記錄亦屬重要參考指標。

2. 檢測評估表填寫

(1)重力式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
岸壁	HPW01 岸壁傾斜				
	HPW02 層間位移				
	HPW03 混凝土性質				
岸肩法線	HPW01 岸肩下沈				
	HPW02 法線平整				
基礎	HPF01 基礎掏挖				
後線	PWB01 沈陷 孔洞				
主體結構破壞評估		$CI = 100 - 12.5\frac{\sum_i (D_i + E_i)R_i}{\sum_i R_i} =$			

(2)板樁式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
岸肩法線	PWS01 岸肩下陷				
	PWS02 法線平整				
冠牆	PWC01 冠牆混凝土檢視				
板樁岸壁	PWW01 鋼版傾斜				
	PWW02 板樁腐蝕穿孔				
	PWW03 板樁開裂				
	PWW04 防蝕塊檢測				
基礎	PWF01 堤腳淘刷				
後線	PWB01 沈陷 孔洞				
主體結構破壞評估		$CI = 100 - 12.5\frac{\sum_i (D_i + E_i)R_i}{\sum_i R_i} =$			

(3)棧橋式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
碼頭基樁	BWP01 基樁頭				
	BWP02 基樁體				
	BWP03 防蝕塊				
法線	BWS01 平直度				
	BWS02 垂直度				
	BWS03 伸縮縫				
面板及底樑版	BWD01 大樑				
	BWD01 底板				
	BWD01 面板				
樁基礎及護坡	BWF01 基礎				
	BWF02 護坡				
主體結構破壞評估		$CI = 100 - 12.5\frac{\sum_i (D_i + E_i)R_i}{\sum_i R_i} =$			

結構主體檢測工作進行以整體目視檢測優先於儀器檢測，而使用儀器檢測時又以相同性質項目為優先順序，如此依序完成單元檢查重點。D.E.R.值則依第二章中之判定法加以判讀。

(4)非主結構設施初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
非主結構設施破壞檢測	ASF 護舷材				
	ASC 繫船柱				
	ASB 擋車墻				
	ASR 起重機軌道				
	ASW 排給水設備				
	ASL 照明設施				
	ASP 油電管路				
	ASO 其他項目				
	附屬設施破壞評估	$CI = 100 - 12.5\frac{\sum_i (D_i + E_i)R_i}{\sum_i R_i} =$			

附屬結構設施亦依表列項目加以檢測並進行評估。

當結構體因形式差異而有檢測表中未涵括之項目時，則填寫於其他項目中，而檢測過程中遇有實際困難或建議時，則填寫「檢測困難度及建議表」（本表依實況及檢測人員心得另表填具，並未含於檢測評估表中）。

3. 整體破壞評估

整體破壞評估(初步檢測)	$CI = 100 - 12.5\frac{\sum_i (D_i + E_i)R_i}{\sum_i R_i} =$
檢測單位： 檢測人： 檢測時間：	

待檢測工作完成則依公式進行 CI 評估值計算，並依據 2.3 節中所述原則對受測結構單元或整體結構進行破壞評估。

3.2 檢測單元

港灣設施依檢測及維修作業的需要，碼頭及防波堤均應劃分若干檢測單元。而檢測單元主要以結構型式作為區分，碼頭及防波堤本身即有單元(棧橋式碼頭、沉箱式防波堤)，即以其作為檢測單元，如無則防波堤以胸牆及場鑄混凝土之伸縮縫作為單元之區分，以碼頭則以公尺為區分，每一單元以 50 公尺為原則，檢測項目如表 3-1 所示。

3.2.1 作業原則

1. 檢測人員應先熟悉各類檢查表格之填寫與應用，以及明瞭選定檢測之位置與範圍，便於現場迅速找出設施之缺點及正確描述於評估表之說明中，俾節省人力與時間。
2. 目視巡查見設施損壞部位時，應將損壞部位拍攝實況照片，可先在損壞部位以粉筆畫出其範圍，再將標準尺置於附近，同時納入攝影範圍內。損壞範圍過廣，無法清晰地納入同一鏡頭時，除應拍攝構造物全景外，其損壞部位可分段或於不同角度拍攝數幀，以了解損壞之實態。
3. 檢查構造物前應先以鋼刷等掃除工具，將構造物上之沉積物、銹、漆斑…等予以清除；如用電子儀器檢查時，尤需清潔乾淨，增加其準確性。
4. 檢查危險構材時，檢查人員應特別注意安全；遇到強風、大浪、驟雨…等天氣情況時，應考慮檢查工作是否需照常進行或改期。

3.3 特別檢測

特別檢測由定期檢測小組進行檢測，係於颱風、地震等災害後或

船舶碰撞等人為破壞之後，以及平時巡查發現構造物及設備有異常或損毀通報時進行。針對發生情形對碼頭及防波堤設施之特定項目進行重點式的了解，配合檢測評估表，辦理檢測評估，以作為後續維護管理之依據。

3.3.1 檢測項目及評估

各型式港灣設施特別檢測項目(詳表 3-2)，依發生災害之不同進行特定項目之檢測。平時巡查發現異常時，採定期檢測相同之檢測項目。損壞評估採 D.E.R&U 評估法，主要係依據劣化構件維修的急迫程度(Urgency)作為維修對策之建議。

3.3.2 檢測單元及作業原則

檢測單元及作業原則同定期檢測。

表 3-1 定期檢測項目表

型式	檢測位置		檢測項目	備註
板樁式碼頭	岸壁結構		冠牆腐蝕、裂縫、剝落	
			板樁傾斜(法線變位)	
			板樁腐蝕、穿孔	
	岸肩		岸肩舖面龜裂、岸肩下陷	
	碼頭基礎		基礎淘刷	
棧橋式碼頭	上部結構		碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	
			格梁裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	
	基礎護坡		基礎淘刷(法線前掏刷) 護坡塊石破壞	
			防蝕包覆破損、脫落	
			基樁腐蝕、變形	
碼頭附屬設施	繫船柱		鬆動、剝落、腐蝕	
	防舷材		龜裂、破損	
	車擋		龜裂、破損	
	起重機軌道		移位、差異沉陷、彎曲、腐蝕	
	陰極防蝕塊		厚度縮減(防蝕電位)	
沉箱式防波堤	上部及沈箱本體結構	胸牆	剝離、龜裂	
		堤面	龜裂損傷、沉陷	
		沈箱	龜裂損傷、鋼筋外露、變位	
		消波塊	沈陷、位移	
	水下結構	沈箱	龜裂損傷	
		護基方塊	位移、散落	
		基礎海床	沖刷	

表 3-2 特別檢測項目表

型式	檢測位置		檢測項目	備註
板樁式碼頭	岸壁結構		板樁接縫開裂	地震、颱風、船舶碰撞
			冠牆腐蝕、裂縫、剝落	船舶碰撞
			板樁傾斜(法線變位)	地震、船舶碰撞
	岸肩		岸肩舖面龜裂、岸肩下陷	地震、颱風
	碼頭基礎		基礎淘刷	颱風
棧橋式碼頭	上部結構		碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
			格梁裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
	基礎護坡		基礎淘刷(法線前掏刷) 護坡塊石破壞	地震、颱風、船舶碰撞
			基樁腐蝕、變形	船舶碰撞
碼頭附屬設施	繫船柱		鬆動、剝落、腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
	防舷材		龜裂、破損	地震、颱風、船舶碰撞
	車擋		龜裂、破損	地震、颱風、船舶碰撞
	起重機軌道		移位、差異沉陷、彎曲、腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
沉箱式防波堤	上部及沈箱本體結構	胸牆	剝離、龜裂	地震、颱風、船舶碰撞
		堤面	龜裂損傷、沉陷	地震、颱風、船舶碰撞
		沈箱	龜裂損傷、鋼筋外露、變位	地震、颱風、船舶碰撞
		消波塊	沈陷、位移	地震、颱風、船舶碰撞
	水下結構	沈箱	龜裂損傷	地震、颱風、船舶碰撞
		護基方塊	位移、散落	地震、颱風、船舶碰撞
		基礎海床	沖刷	地震、颱風、船舶碰撞

第四章 碼頭結構維護工法探討

碼頭構造物的維護工法主要係依據其損壞或變形而定，經常是由多種原因所共同造成的，但從要素間的關聯性的觀點來看，大致上可做以下的區別：

1. 構造物構成要素的變形有相互關連性，一個構成要素的變形會波及其他的要素，這種情形是其變形現象的進行過程，依據構造物的不同而有差異，而且變形的規模有變大的趨勢。

2. 另一種是鋼材的腐蝕、混凝土的龜裂、劣化等，這類型的變形幾乎與構造物的特性無關，主要是受到構成要素其特性的影響，此種材料的變形是相互獨立在進行，所以這類型的變形現象比較單純。

本節後續將依各型港灣構造物探討構成要素的損壞或變形之維護工法。其後則探討材料劣化的維護工法，並分節依序敘述碼頭構造物主要組成材料鋼鐵材料及鋼筋混凝土維護工法。

至於各型碼頭構造物的變形，經常是由多種原因所共同造成的，要查明結構物變形現象與其原因相當困難，因此，反映之維護工法亦較無一定。以下僅就「港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究」與高雄港務局「高雄港港灣設施維護管理手冊」整理歸納之各型碼頭構造物維護工法說明，主要分為下列三式：

4.1 沉箱式碼頭維護工法

沉箱式碼頭所受外力主要有上載荷重、背填土壓力、殘留水壓力、浮力、地震力及船舶外力等。其常見的破壞模式主要為沉箱的位移（滑動）、沉陷與傾倒，若基礎地層較軟弱時，則會發生向海側之位移、傾倒及沉陷等破壞。此外，操船不當導致船舶碰撞碼頭結構，亦會造成沉箱破裂、漏砂。

當沉箱因船舶碰撞或漂流物撞擊等外力發生破裂、漏砂的現象時，須立即進行相關的復建措施。首先須清除海生物，再以水中混凝土進行灌入破損處修補。由於早期碼頭後線多採水力回填，且無設置濾布，背填土經年累月受潮汐、波浪影響吸出，後線土壤已呈鬆散、空洞狀態，未避免持續擴大災損，沉箱間宜用水中混凝土澆製，後線面板開挖重新舖設濾布，再進行回填夯實。

為配合沉箱式碼頭檢測評估項目，茲將可能之維護管理工法依結構位置及劣化項目，概分為水上部份及水下部份，如**表 4-**1 所示：

表 4-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水上部份	胸牆	龜裂損傷	輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm）	「裂縫注入工法」
			明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm）	「充填增厚工法」
			胸牆斷落	「斷面修復工法」
		剝離與鋼筋外露	局部混凝土剝落	「充填增厚工法」
			胸牆損傷致高度不足	「斷面修復工法」
			混凝土剝落致鋼筋外露	「防蝕噴漿工法」
	堤面	龜裂損傷	輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm）	「裂縫注入工法」
			明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm）	「充填增厚工法」
			堤面混凝土斷裂	「舖面修復工法」
		沈陷	輕微不均勻沈陷（輕微積水）	「無筋頂面增厚工法」
			明顯不均勻沈陷（嚴重積水）	「斷面修復工法」
		鋼筋外露	局部混凝土剝落	「充填增厚工法」
			混凝土剝落致鋼筋外露	「防蝕噴漿工法」
			堤面混凝土斷裂	「斷面修復工法」
	沈箱	變位	堤體變位不明顯（變位量約 < 5cm）	「沉箱間隙改善工法」
			堤體變位明顯（變位量約量 > 5cm）	「沉箱間隙改善工法」
				「堤體穩固工法」
			堤體嚴重變位（變位量約 > 10cm）	「堤體穩固工法」
				「波壓消減工法」
		傾斜	輕微傾斜（傾斜率約< 3%）	「沉箱間隙改善工法」
			明顯傾斜（傾斜率約 3～5%）	「堤體穩固工法」
			嚴重傾斜（傾斜率約> 5%）	「堤體穩固工法」
				「堤體重置工法」
	沈箱	龜裂損傷	堤體輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm）	「裂縫注入工法」
			堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)	「充填增厚工法」
			堤體混凝土斷裂	「斷面修復工法」
		鋼筋外露	壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露	「充填增厚工法」
			壁體剝落致鋼筋外露	「防蝕灌漿工法」
			堤體混凝土破洞	「置換工法」
				「鋼支堡工法」

表 4-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表（續）

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水下部分	沈箱	龜裂損傷	堤體輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 堤體明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm） 壁體剝落致鋼筋外露 堤體混凝土斷裂(破洞)	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「防蝕灌漿工法」 「覆襯工法」 「鋼支堡工法」
	護基方塊	變位	部分發生下陷位移（變位量約<5cm） 小規模下陷位移（變位量約 5～10 cm） 大範圍下陷位移（變位量約>10 cm）	「方塊固結工法」 「重置改善工法」 「新製補強工法」
	消波塊	滑落與沈陷	部分消波塊移動或滾落 消波塊散落沈陷達一層，堤體滑動安全率有減低之虞 消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低	「加拋改善工法」 「新製加重工法」 「加寬補強工法」
	基礎海床	沖刷	輕微沖刷（沖刷坑深度約<50cm） 大量沖刷（沖刷坑深度約 50 ~ 100cm） 嚴重沖刷（沖刷坑深度約> 100cm）	「拋石護基工法」 「斷面修復工法」 「基礎加寬補強工法」

(資料來源：交通部高雄港務局)

4.1.1 水上部份維護管理工法與施作項目

4.1.1.1 胸牆維護

沉箱式防波堤之胸牆一般係以巨積混凝土澆置，並設置剪力榫與局部剪力筋，以利與場鑄混凝土結合，達到抵抗滑動與滾動之效能。因此，維護胸牆之項目可能為混凝土之龜裂損傷、剝離及鋼筋外露等兩項。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 胸牆龜裂損傷

(1)輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏝整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)胸牆斷落

A.維護工法：「斷面修復工法」

於斷落胸牆處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設胸牆，以恢復構材原有斷面。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

2. 胸牆剝離與鋼筋外露

(1)局部混凝土剝落

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(2)胸牆損傷致高度不足

A.維護工法：「斷面修復工法」

於斷落胸牆處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設胸牆，以恢復構材原有斷面高度。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

(3)混凝土剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕噴漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再以噴凝土分層噴漿，每層平均厚度不超過 1.5cm。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

4.1.1.2 堤面維護

沉箱式防波堤之堤面係由巨積場鑄混凝土澆置完成，可能面對之維護項目包括混凝土之龜裂損傷、堤面沉陷等，至於與胸牆銜接之剪力筋部分為堤面鋼筋外露之唯一可能。茲將其對應之可能工法列述如

下：

1. 堤面龜裂損傷

(1)輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏝整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)堤面混凝土斷裂

A.維護工法：「舖面修復工法」

於堤面混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

2. 堤面沉陷

(1)輕微不均勻沉陷(輕微積水)

A.維護工法：「無筋頂面增厚工法」

於堤面不均勻沉陷處進行打毛作業，再選用優質混凝土配合接著劑進行修補增厚，以提昇堤面高程。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土部份鑿除、接著劑、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

(2)明顯不均勻沉陷(嚴重積水)

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤面明顯不均勻沉陷處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

3. 堤面鋼筋外露

(1)局部混凝土剝落

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(2)混凝土剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕噴漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於

斷裂部份切除後置換，再以噴凝土分層噴漿，每層平均厚度不超過 1.5cm。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(3)堤面混凝土斷裂

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤面混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.1.1.3 沉箱水上維護

沉箱係以鋼筋混凝土製作，一般沉箱設計間隙為 10cm，並有間榫槽設計施工斷面(濾石層或水中混凝土)，但由於沉箱施工安放之許可差規定

為，法線方向±25cm，沉箱間隙 20cm 以內，四角不均勻沉陷之差度 30cm 以內。因此，沉箱水上部份可能面對之維護項目，包括變位、傾斜、龜裂損傷及鋼筋外露等四項。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 沉箱變位

(1)堤體變位不明顯(變位量約<5cm)

A.維護工法：「沉箱間隙改善工法」

於拋放濾石之榫槽內補拋石料或內填水中混凝土。

B.施工項目：

以濾石拋放或充填水中混凝土。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)堤體變位明顯(變位量約>5cm)

A.維護工法：

a.「沉箱間隙改善工法」：於拋放濾石之榫槽內補拋石料，或於施作水中混凝土之榫槽補作。

b.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

B.施工項目：

a.「沉箱間隙改善工法」：以濾石拋放或充填水中混凝土(或麻袋混凝土)。

b.「堤體穩固工法」：為堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

b.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)堤體嚴重變位(變位量約>10cm)

A.維護工法：

a.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

b.「波壓消減工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採堤體外側加拋消波塊、新設離岸潛堤等方式消減波壓。

B.施工項目：

a.「堤體穩固工法」：為堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

b.「波壓消減工法」：為基礎整平、襯墊舖設、堤心石拋放、消波塊海拋。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03390 章、第 03439 章。

2. 沉箱傾斜

(1)輕微傾斜(傾斜率約<3%)

A.維護工法：「沉箱間隙改善工法」

於拋放濾石之榫槽內補拋石料或內填水中混凝土。

B.施工項目：

以濾石拋放或充填水中混凝土。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)明顯傾斜(傾斜率約 3~5%)

A.維護工法：「堤體穩固工法」

係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換及增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

B.施工項目：

堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)嚴重傾斜(傾斜率約>5%)

A.維護工法：

a.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

b.「堤體重置工法」：係先進行堤體穩定分析，並將沉箱起浮

拖移後,若舊有沉箱尚能使用則依堤體穩固工法重新加固安放，若斷面安全不足時則需新製大斷面沉箱再行安置。

B.施工項目：

a.「堤體穩固工法」：堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

b.「堤體重置工法」：嚴重傾斜之沉箱起浮拖移、襯墊舖設、堤心石拋放、基礎整平、沉箱製作、沉箱安放、護基方塊吊放、消波塊吊放。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02395 章、第 03390 章、第 03439 章。

3. 沉箱龜裂損傷

(1)堤體輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏝整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)堤體混凝土斷裂

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤體混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤體原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4. 沉箱鋼筋外露

(1)壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(2)壁體剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕灌漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再封模澆築混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(3)堤體混凝土破洞

A.維護工法：

a.「置換工法」：係於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除後，檢

試沉箱孔中淘空情形，拋放卵石填充，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再封模澆築場鑄混凝土。

b.「鋼支堡工法」：係於堤體破損區內部設置縱橫 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模後澆鑄混凝土，藉以提昇恢復支承機能與安定結構剛性耐力。

B.施工項目：

a.「置換工法」：以混凝土鑿除、卵石充填、鋼筋除鏽或置換、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、混凝土澆鑄。

b.「鋼支堡工法」：採混凝土鑿除、鋼筋除鏽或置換 H 型鋼肋、錨栓施作、覆襯外部鋼模、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、混凝土澆鑄。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02353 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02354 章、第 02422 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.1.2 水下部份維護管理工法與施作項目

4.1.2.1 沉箱水下維護

沉箱水下部份之維護項目以探討龜裂損傷為主。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 沉箱龜裂損傷

(1)堤體輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂填塞裂縫。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、潛水伕施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處，以小型破碎機去除破損混凝土及打毛後,再以接著劑粘著新舊混凝土,達到充填增厚效果。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土局部鑿除、速凝劑、潛水伕噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)壁體剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕灌漿工法」

於混凝土剝落處去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕斷裂部分予以切除，再植筋電焊置換後，封模施作水中混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋切除、水下植筋電焊、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(4)堤體混凝土斷裂(破洞)

A.維護工法：

a.「覆襯工法」：係水下攝影破洞情形後，於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除後，檢試沉箱孔中淘空情形，拋放卵石填充，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，並於斷裂部份切除後置換,再以鋼模覆襯、壁虎錨定及鋼纜拉焊後澆築水中混凝土。

b.「鋼支堡工法」：係水下攝影破洞情形後，於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除，再檢試沉箱孔中淘空情形，堤體破損區內部設置縱橫 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模錨碇後以特密管施作水中混凝土，藉以提昇恢復支承機能與安定結構剛性耐力。

B.施工項目：

a.「覆襯工法」：為水下攝影、混凝土鑿除(潛水伕作業)、卵石充填、鋼筋除鏽或置換、鋼模錨碇、鋼纜拉焊、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

b.「鋼支堡工法」：為水下攝影、混凝土鑿除(潛水伕作業)、鋼筋切除、置換 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模、壁虎錨栓施作、鋼纜拉焊、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02353 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02354 章、第 02422 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.1.2.2 護基方塊維護

護基方塊為混凝土製作，主要功能為保護沉箱底趾免於淘刷，一般施工規定連接下一座沉箱側面進出偏差 5cm 以內。因此，可能面對之主要危害項目為變位。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 護基方塊變位

(1)部分發生下陷位移(變位量約<5cm)

A.維護工法：「方塊固結工法」

於局部下陷位移區以水中混凝土進行護基方塊固結作業。

B.施工項目：

水下攝影、水中混凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02357 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)小規模下陷位移(變位量約 5~10cm)

A.維護工法：「重置改善工法」

先以水下攝影確認下陷區位與規模，於吊移護基方塊後進

行堤心石加拋整平作業，再將原有護基方塊重置排整。

B.施工項目：

水下攝影、護基方塊吊移、堤心石加拋整平、護基方塊水下重置排整。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章。

(3)大範圍下陷位移(變位量約>10cm)

A.維護工法：「新製補強工法」

進行護基方塊安定性分析，並以水下攝影確認下陷區位與規模，於吊移護基方塊後進行堤心石加拋整平作業，新製護基方塊再水下排整施作。

B.施工項目：

水下攝影、原有護基方塊吊移、堤心石加拋整平、護基方塊澆製、護基方塊水下排整。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

4.1.2.3 消波塊維護

消波塊一般為巨積混凝土製作，主要功能為保護沉箱前趾免於淘刷。因此，可能面對之主要危害項目為滑落與沉陷。茲將其對應之可能工法列述如下：

1.消波塊滑落與沉陷

(1)部分消波塊移動或滾落

A.維護工法：「加拋改善工法」

先以水下攝影確認移動或滾落區位與規模，再進行消波塊加拋改善作業，以恢復原狀。

B.施工項目：

水下攝影勘測、加製原有消波塊、消波塊吊拋。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(2)消波塊散落沉陷達一層，堤體滑動安全率有減低之虞

A.維護工法：「新製加重工法」

先分析消波塊安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，於新製加重之消波塊後再進行消波塊補強作業。

B.施工項目：

水下攝影勘測、消波塊新製、消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低

A.維護工法：「加寬補強工法」

先分析消波塊安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規

模，再新製消波塊後於加大基礎寬度與拋放層數，後進行消波塊補強作業。

B.施工項目：

水下攝影勘測、襯墊鋪設、堤心石加寬拋放、消波塊新製、消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

4.1.2.4 基礎海床維護

由於沉箱式防波堤為剛性結構，設置於沙質海床上主要面臨基礎沖刷之風險，因此，有關之維護管理工法列述如下：

1. 基礎海床沖刷

(1)輕微沖刷(沖刷坑深度約<50cm)

A.維護工法：「拋石護基工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基。

B.施工項目：

水深地形勘測、卵塊石拋放。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章。

(2)大量沖刷(沖刷坑深度約 50~100cm)

A.維護工法：

a.「斷面修復工法」：先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再分析波潮流現況後，以恢復原斷面為原則，進行沖刷防護措施。

b.「濾層重置工法」：為防止海沙之吸出，必須設置濾層，若原設計之濾層已喪失功能(包括濾布老化破損、施工不確實或原設計未考量)，則必須加以重置，其補強方式應考量現場之海象條件，以高雄地區之海流狀況而言，流速並不強，故應選擇海象良好之季節(波浪小)進行濾布之重鋪。

B.施工項目：

a.「斷面修復工法」：水深地形勘測、襯墊鋪設、堤心石拋放、護基方塊及消波塊新製、護基方塊及消波塊吊拋。

b.「濾層重置工法」：可採用地工砂袋入填礫石拋放於堤腳區域，礫石之粒徑必須符合海沙不致透過之濾層設計標準，地工砂袋可採用 1～2 方之大小，以海拋船拖放，厚度至少 2 層，而砂袋上方再設置足夠重量之護面混凝土塊(為減少工程費，現地堤腳之消波塊或較大之塊石必須先行吊移後再利用)，圓型沉箱間隙，亦採用地工織物袋內填水中混凝土，並於尚未凝固前放設之沉箱間隙。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章。

(3)嚴重沖刷(沖刷坑深度約>100cm)

A.維護工法：「基礎加寬補強工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再分析波潮流現況及消波塊安定性，以加寬補強基礎承載為原則，進行沖刷防護措施。

B.施工項目：

水深地形勘測、襯墊舖設、堤心石加寬拋放、護基方塊及消波塊新製、護基方塊及消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

4.2 板樁式碼頭

板樁式碼頭的破壞主要受地震力、船舶外力、材料劣化及其他外力作用。而其主要破壞模式為地震力作用引起板樁開裂、拉桿破壞、或錨碇設施失去作用；材料劣化致使板樁開裂、拉桿應力降伏，或是錨碇設施斷裂；此外，操船不當而導致船舶撞擊碼頭，亦會造成板樁開裂、漏砂。前述之破壞模式皆會導致碼頭向海側傾斜或位移，最後使得岸肩產生下陷及傾斜。

板樁式碼頭的基樁，有混凝土板樁與鋼板樁兩類。混凝土板樁多用於早期之淺水漁港，因使用年限，遇強烈地震破壞時一般多拆除另以他型建造。鋼板樁碼頭可用於較深水域，單層時其後側採強力之個體基樁與拉索（或拉桿），雙層時以拉桿接合、中填砂石、頂層 R.C 碼頭面，多於砂土海床打設，亦具柔性，於地震時少災損，若災損嚴重則龜裂、變形與漏砂，須拆除重建。若為一般災損之局部龜裂，可以

水中電焊補救，其漏砂重填，嚴重時多以灌漿處理。

依據檢測項目及劣化程度，將可能之維護管理工法依結構位置分為岸壁結構、岸肩及碼頭基礎三部份，如表 4-2 所示，並分項探討如次：

表 4-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
岸壁結構	板樁接縫開裂	有輕微開裂（長度約達 30cm 以下） 有明顯開裂（長度約達 30~50cm） 明顯嚴重開裂（長度約達 50cm 以上）	新增鋼板焊補法 新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法 新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法+陸側減壓工法、鋼板樁一體化工法
	板樁腐蝕、穿孔	板樁局部區域有生鏽呈點狀膨脹。表層塗料的剝落龜裂呈點狀。（缺陷面積率約 0.1%以下） 相當大的生鏽成呈點狀膨脹（缺陷面積率約 0.1%以上 0.3%以下）、有局部小型穿孔現象 被認為有大範圍的生鏽與膨脹（缺陷面積率約 0.3%以上）、鋼板樁表面穿孔擴大且有漏砂現象	水中硬化環氧樹脂塗附法 新增鋼板焊補法+鋁合金陽極塊防蝕法 前端新設結構工法
	冠牆腐蝕、裂縫、剝落	局部可見到 2、3 個部位有裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、剝落、鏽水 可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、混凝土鬆動、剝落多（在 1 小區域面積的 4 成以下）、局部可見較多鏽水、鋼筋露出但未見腐蝕 混凝土裂縫擴散到整個冠牆、混凝土多處鬆動、剝落嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）、鋼筋已露出且已腐蝕、可見鏽水顯著	裂縫注射工法 填充工法 斷面修復工法
	法線變位	法線輕微變位（目視變位約 0.2 以下） 法線明顯變位（碼頭水深未達-7.5m 目視約 0.2~0.3m，碼頭水深-7.5m 以上目視約 0.2~0.5m） 法線嚴重變位（碼頭水深未達-7.5m 目視約 0.3m 以上，碼頭水深-7.5m 以上目視約 0.5m 以上）	- 陸側減壓工法、降低板樁應力法、液化防制工法 前端新設結構工法、減壓版工法
	板樁傾斜	輕微傾斜（1%＜傾斜度≦3%） 明顯傾斜（3%＜傾斜度≦5%） 嚴重傾斜（傾斜度＞5%）	- 陸側減壓工法、降低板樁應力法、液化防制工法 前端新設結構工法、減壓版工法

表 4-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表（續）

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
岸肩	岸肩舖面龜裂、岸肩下陷	舖面產生輕微龜裂 岸肩輕微下陷、舖面產生明顯龜裂 岸肩明顯下陷、舖面產生嚴重龜裂	混凝土面層修補法、瀝青面層修復法 回填料填補壓實法 回填料填補壓實法
碼頭基礎	基礎淘刷	基礎輕微淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 30~50cm） 基礎明顯淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 50~100cm） 基礎嚴重淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 100cm 以上）	拋石護基工法、濾層工法 拋放麻袋混凝土法 新增護基方塊法

（資料來源：交通部高雄港務局）

4.2.1 岸壁結構維護管理工法及施作項目

4.2.1.1 板樁接縫開裂

板樁接縫開裂原因主要為外力(船舶撞擊、地震、常時間超載使用等)所造成，開裂後一般皆採用鋼板補強修復，板樁陸側後線背填土需視情況予以減壓措施。現依開裂受損之三種程度說明處理方式。

1. 輕微開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法」

一般處理方法為裂縫周圍鋼板表面處理後，以水下電焊將新增之鋼 板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置，並於補焊鋼板表面塗裝水中硬化環氧樹脂。

(2)施工項目：

潛水伕清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

2. 明顯開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法」

先於開裂處之陸側進行開挖，預防開挖過程中產生土石崩塌危及人員及碼頭設施，於開挖工作進行前陸測需先行打設擋土板樁，開挖工作進行中避免損及高耐索(或拉桿)及碼頭其他相關設施或臨時支撐。海側於裂縫周圍鋼板表面處理後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置，並於補焊鋼板表面塗裝水中硬化環氧樹脂。陸側方亦可視需求加封一層鋼板，並於開裂處之陸側搭模打設水中混凝土。待混凝土完成養護後以原來開挖起之級配料運回進行填補壓實，最後進行基底層及碼頭面層舖設。

(2)施工項目：

擋土板樁打設、開挖土石方、潛水伕清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂、水中混凝土打設、級配填補壓實、碼頭面層舖設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02463 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章、第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

3. 明顯嚴重開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法+陸側減壓工法」

處理方法大致同「陸側水中混凝土填補法」，並於施工中在

陸側打設減壓設施，相關陸側減壓工法可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例 (如圖 4.1 所示)。

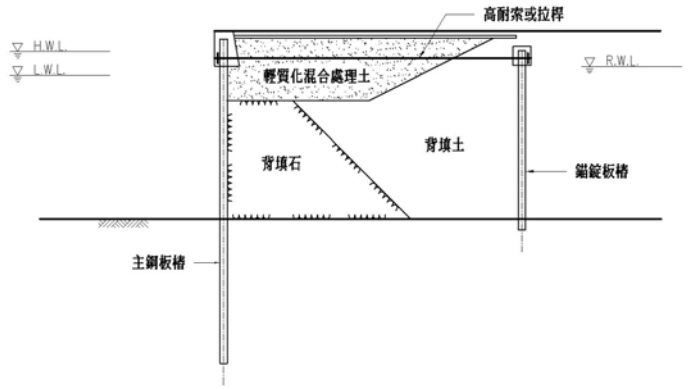
(2)施工項目：

擋土板樁打設、開挖土石方、潛水伕清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂、減壓設施施作、水中混凝土打設、級配填補壓實、碼頭面層舖設。

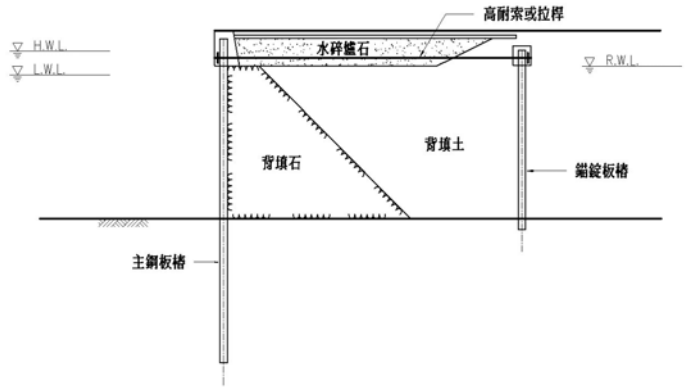
(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02463 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章、第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

ＹＡ２	背填料減輕置換工法
工法概要	移除回填石料,改以輕質化混合處理土回填,降低土壓



ＹＡ３	水碎爐石置換工法
工法概要	背填石料部分以水碎爐石替代,降低土壓



ＹＡ４	事前混合處理土置換工法
工法概要	背填石料部分以事前混合處理土置換,降低土壓

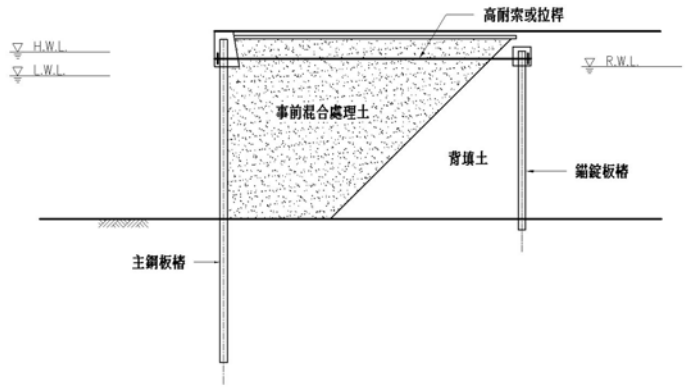
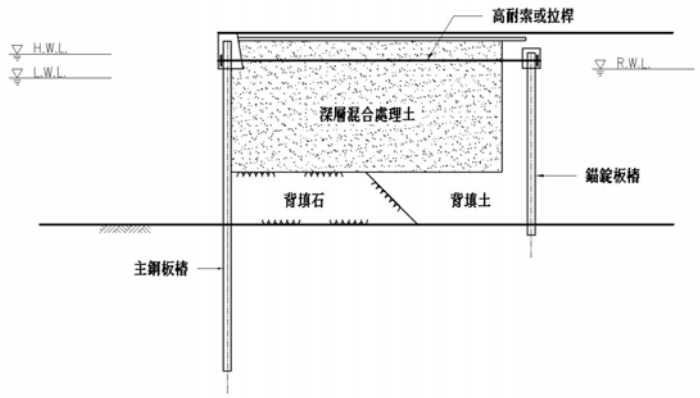


圖 4.1 陸側減壓工法

ＹＡ５	水泥系固化處理工法
工法概要	背填料以水泥系材料固化,降低土壓



ＹＡ６	減壓平版工法
工法概要	設減壓平版,降低土壓

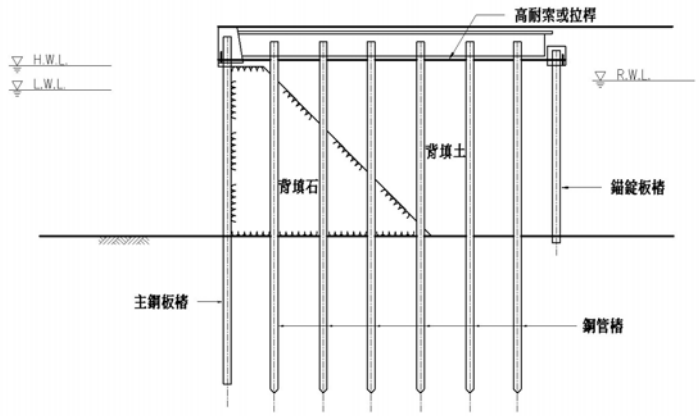


圖 4.2 陸側減壓工法(續)

4.2.1.2 板樁腐蝕、穿孔

1. 小型的生鏽呈點狀膨脹、表層塗料的剝落龜裂呈點狀

(1)維護工法：「水中硬化環氧樹脂塗附法」

一般處理方法為刮除鏽點及海生物後，鏽蝕位置分層塗附水中硬化環氧樹脂，阻絕持續腐蝕因子。

(2)施工項目：

板樁表面處理、水中硬化環氧樹脂塗裝。

(3)相關規範：

水中硬化劑塗裝工程(詳附錄二)。

2. 局部區域生鏽呈點狀膨脹、有小型穿孔現象

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+鋁合金陽極塊防蝕法」

一般處理方法為刮除腐蝕區鏽點及海生物後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置(如圖 4.3 所示)，並於補焊鋼板表面分層塗裝水中硬化環氧樹脂，並增加鋁合金陽極塊增加防蝕效果。

(2)施工項目：

板樁表面處理、水下電銲焊補鋼板樁、水中硬化環氧樹脂塗裝、鋁合金陽極塊增設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02392 章、第 05091 章，以及一般鋼料銲接(詳附錄二)。

3. 大範圍的生鏽與膨脹、鋼板樁表面穿孔擴大且有漏砂現象

鋼板樁大範圍的生鏽破損且穿孔，穿孔造成之漏砂現象將造成後線岸肩下陷等情形(岸肩下陷修補將由另外章節探討)。此時，由於鋼板樁鏽蝕，整體碼頭結構可能已出現影響，應先停止碼頭作業，並辦理專案檢測，委外(或自辦)量測板樁已腐蝕之厚度，並委外進行碼頭補強或大幅度修補之設計，再發包施工。主結構體之修補可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例，可採前端新設結構工法(如圖 4.4 所示)。

(1)維護工法：「新設結構工法」、「減壓版工法」

因前端新設結構物工法將造成原法線前移。在每一個港灣設施之情況不同下，可採用的方法不僅無統一之標準，且可選擇性非常多樣化，需視碼頭之情形而定。建議應請顧問公司或學者專家依最新規範及檢測結果評估該碼頭適用性及補強設計。如無法新設結構物，可採用減壓版工法，詳圖 4.6。減壓版工法係於胸牆後側適當深度設置一減壓混凝土版構造以降低版樁之主動土壓，可防止版樁繼續傾斜變位。

(2)施工項目：

需視採用之工法而定。減壓版工法需先開挖後再設置混凝土版構造物，必要時下方需打樁，施工時需留意不得損及高耐索，打設完成後再回填舖面材料。

(3)相關規範：

需視採用之工法而定。

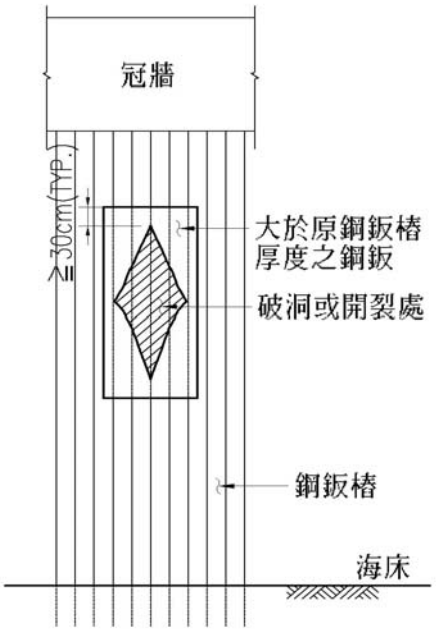
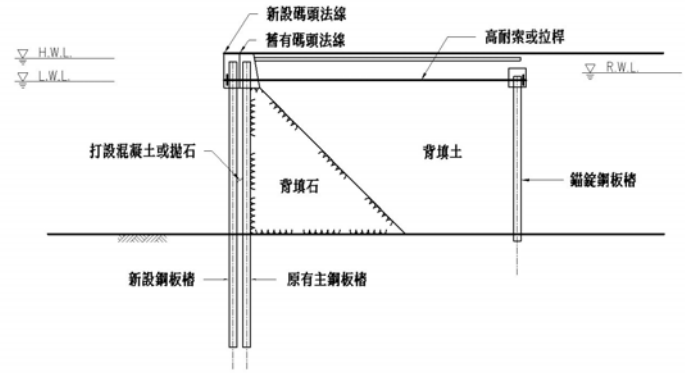
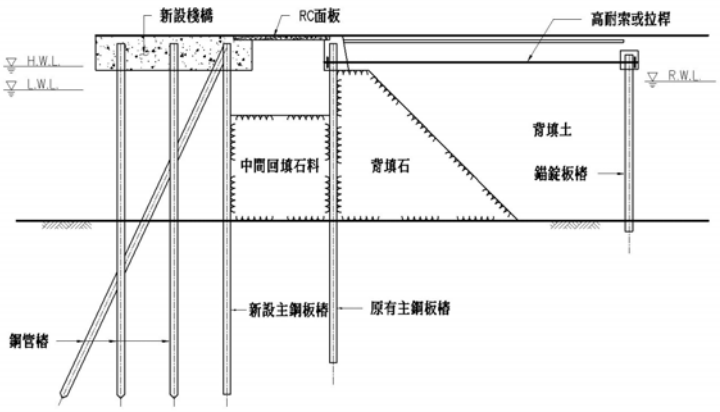


圖 4.3 新增鋼板焊補法示意圖

Ｙ Ｄ １	新設鋼板樁一體化工法
工法概要	原板樁前加設鋼板樁成一體化結構



Ｙ Ｅ １	新設棧橋碼頭工法
工法概要	新設棧橋碼頭及擋土版樁



Ｙ Ｅ ２	新設棧橋碼頭工法(沒有擋土版樁)
工法概要	新設棧橋碼頭

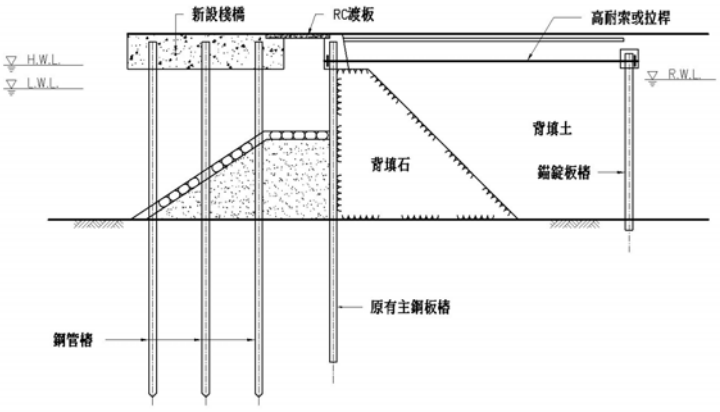
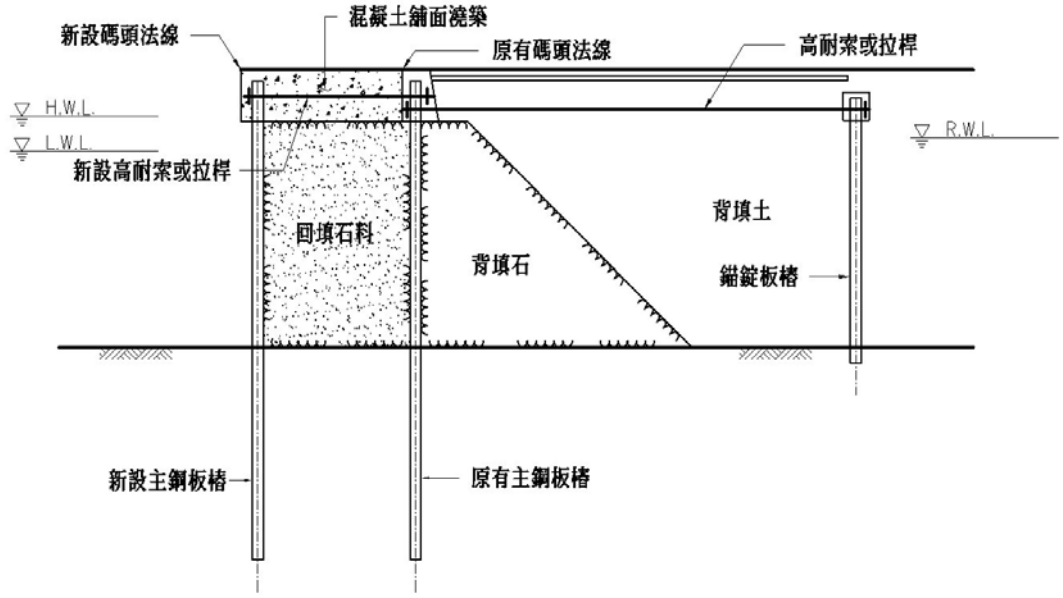


圖 4.4 前端新設結構工法

Ｙ Ｅ 3	雙重鋼板樁工法
工法概要	碼頭前設鋼板樁，並利用原鋼板樁錨碇



Ｙ Ｆ 1	桁架(Jacket)式工法
工法概要	碼頭前方新設桁架(Jacket)式結構

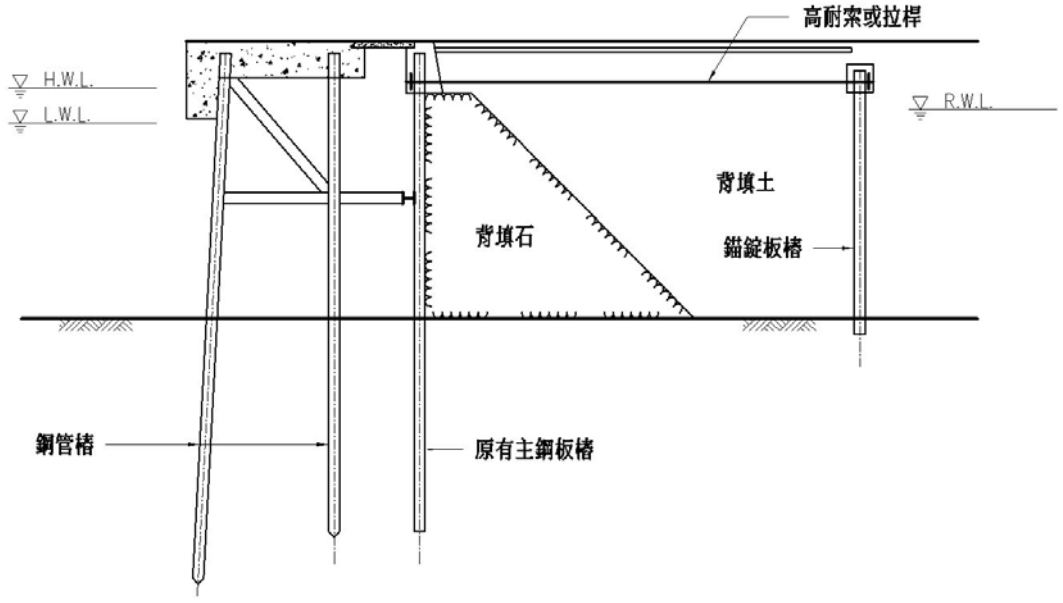


圖 4.5 前端新設結構工法(續)

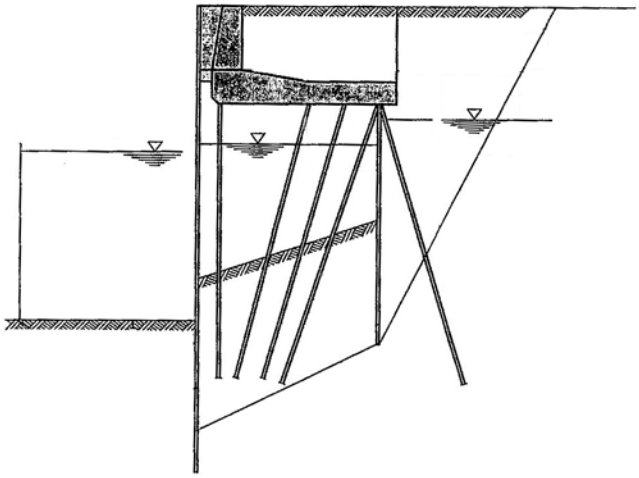


圖 4.6 減壓版工法

4.2.1.3 冠牆腐蝕、裂縫、剝落

1. 冠牆混凝土產生局部裂縫

(1)維護工法：「裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

(2)施工項目：

表面清洗、低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填縫、表面鏝整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

2. 冠牆混凝土產生局部開裂或鬆動

(1)維護工法：「填充工法」

將混凝土開裂或鬆動部分敲除，並以高壓空氣或水將混凝土表面確實清洗乾淨，塗敷接著劑，再以樹脂砂漿填補並抹平

(2)施工項目：

混凝土鑿除、表面清洗、樹脂砂漿填補、表面鏝整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

3. 冠牆混凝土多處裂縫、鏽水及剝落較多

(1)維護工法：「斷面修復工法」

將損壞之混凝土構件需敲除後，並清洗舊有混凝土表面並組模，再依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件。

(2)施工項目：

混凝土鑿除、表面清洗、模版組立、鋼筋植入、混凝土澆置、表面鏝整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.2.1.4 法線變位

法線變位原因主要為外力(船舶撞擊、地震等)所造成，產生錨碇板移動、錨碇板樁鬆垮、板樁鬆垮、板樁龜裂等情形，才有碼頭法線變位發生。故於檢測發現法線變位情形，應先釐清原因。而倘按時進行檢測，則藉由其他檢測先行確定是否為板樁龜裂或板樁材料劣化影響，該二項之維護工法已於先前章節說明，在此不再贅述。因其餘均屬板樁、拉桿(高耐索)及錨碇板之系統問題，以下即針對此板樁系統說明維護處理方式。

1.法線明顯變位：「陸側減壓工法」如 4.2.1.2 之說明；以下說明降低板樁應力法及地盤改良工法。

(1)維護工法：

A.「降低板樁應力法」：依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例(如圖 4.7 所示)，以新增地錨或拉桿(高耐索)及錨碇板之方式，降低原板樁系統承受之應力。

B.「液化防制工法」：常用且可行之工法如下：擠壓砂樁工法、礫石樁工法、土壤置換工法、降低地下水位工法、動力夯實壓密工法、深層振動工法、淺層振動工法、震爆工法、深層攪拌工法、特殊石灰樁工法、事前混合處理工法…等，惟須考量板樁碼頭之特性。以下以事前混合處理工法為例，該工法係將水泥系之改良材料加入回填用之砂土中，先行拌合後再予以回填。此一做法乃利用沒有液化顧慮之人工材料進行回填之工法，故施工後不須再採取其他之液化防治對策。

(2)施工項目：

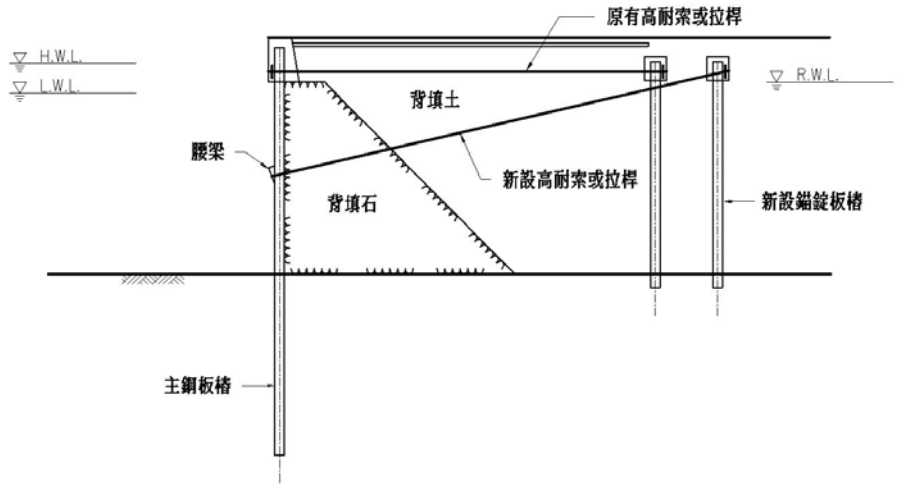
A.「降低板樁應力法」：需視採用之工法而定。

B.「液化防制工法」：土石方開挖、改良材拌合、背填料回填壓實、碼頭面層舖設。

(3)相關規範：

A.需視採用之工法而定。

ＹＣ１	二段拉桿工法
工法概要	新設拉桿以降低鋼板樁斷面應力



ＹＣ２	地錨工法
工法概要	新設地錨(水中設置)以降低鋼板樁斷面應力

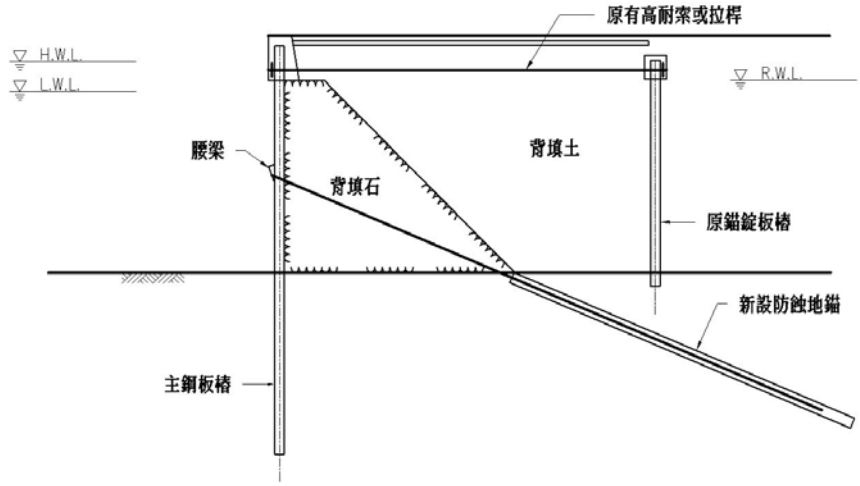


圖 4.7 降低板樁應力法

B. 公共工程施工綱要規範第 02240 章、第 02316 章、第 02317 章、第 02341 章、第 02357 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章。「液化防制工法」：土石方開挖、改良材拌合、背填料回填壓實、碼頭

面層舖設。

2. 法線嚴重變位：「前端新設結構工法」如 4.2.1.2 之說明。

3. 板樁傾斜：板樁傾斜與法線變位大抵相同，法線變位因其為水上檢測項目，可以簡便得知板樁上方之傾斜情形。

4.2.2 岸肩維護管理工法及施作項目

4.2.2.1 岸肩舖面龜裂、岸肩下陷

造成岸肩舖面龜裂、岸肩下陷原因除板樁龜裂造成回填料流失、碼頭上方外力(颱風波浪、上部長時間超載使用)造成舖面龜裂之外，即屬回填料因自然沉陷壓密及地震造成下陷之情形。板樁龜裂已於先前章節說明，在此不再贅述。因上方外力造成舖面龜裂，因無岸肩下陷之發生，可採混凝土面層修補法即可。而回填土之壓密沉陷(自然或地震)提出維護說明。

1. 舖面輕微開裂

(1)維護工法：

A.「瀝青面層修補法」：先以刨除機械刨除滑動、不正常鬆裂面層部份，刨路機若無法施工時可應改用人工清除，刨除後用壓力瀝青撒佈機或手壓瀝青撒佈器，將瀝青透層或黏層材料，均勻澆置於刨除後之路面上，再以鋪裝機鋪設地瀝青混合料，最後以壓路機進行滾壓。瀝青混凝土宜分層舖築與滾壓。滾壓時，應使整段路面得到均勻之壓實度。

B.「混凝土面層修補法」：原混凝土面層受損面層部份以油壓式破碎機或人工破除，破除時應儘量不損壞原設計鋼筋，破除後破除面應清潔乾淨。接著補放鋼筋於舖面受損區域後，澆置原設計強度以上之混凝土。最後需將澆置之混凝土表面與周圍混凝土抹平。

(2)施工項目：

A.「瀝青面層修補法」：受損瀝青面層刨除、瀝青透層或黏層材料澆置、瀝青混凝土分層舖築與滾壓。

B.「混凝土面層修補法」：受損混凝土破除、破除面清潔、鋼筋排放、混凝土面層鋪設、表面鏝整。

(3)相關規範：

A.公共工程施工綱要規範第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章。

B.公共工程施工綱要規範第 03210 章、第 03310 章、第 03350 章、第 03390 章。

2. 岸肩輕微下陷、鋪面明顯開裂

(1)維護工法：「回填料填補壓實法」

挖除原舖面及基底層，並壓實下層回填砂後，重新舖基底層及舖面。

(2)施工項目：

下陷區域混凝土挖除、回填料填補壓實、基底層鋪設、混凝土面層鋪設、表面鏝整。

(3)相關規範：

A.瀝青面層相關規範為公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章。

B.混凝土面層則為公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02722 章、第 02726 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03350 章、第 03390 章。

3. 岸肩明顯下陷、鋪面嚴重開裂：倘無伴隨其他板樁龜裂、傾斜之情形，仍以「回填料填補壓實法」維護。

4.2.3 碼頭基礎維護管理工法及施作項目

4.2.3.1 基礎掏刷

1. 輕微沖刷(沖刷坑深度約<50cm)

(1)維護工法：「拋石護基工法」

A.「拋石護基工法」：先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基，如圖 4.8 所示。

B.「濾層工法」：為防止海沙之吸出，必須設置濾層，以地工砂袋裝填礫石後，再拋放以護基。礫石之粒徑必須符合海沙不致透過之濾層設計標準，地工砂袋可採用 1～2 方之大小。

(2)施工項目：

A.「拋石護基工法」：水深地形勘測、卵塊石拋放。

B.「濾層工法」：水深地形勘測、地工砂袋填充礫石、地工砂袋拋放。

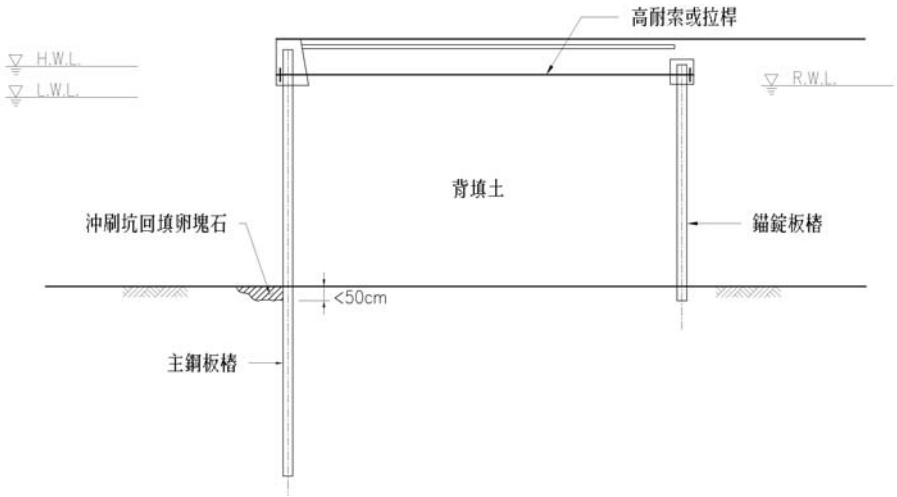


圖 4.8 拋石護基工法示意圖

(3)相關規範：

A.「拋石護基工法」:公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

B.「濾層工法」: 公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章。

2.大量沖刷(沖刷坑深度約 50~100cm)

(1)維護工法：「拋放麻袋混凝土法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行麻袋混凝土拋放 之沖刷防護措施，如圖 4.9 所示。

(2)施工項目：

水深地形勘測、麻袋混凝土拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3.嚴重沖刷(沖刷坑深度約>100cm)：

(1)維護工法：「新增護基方塊法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行新增護基方塊之沖刷防護措施，如圖 4.10 所示。

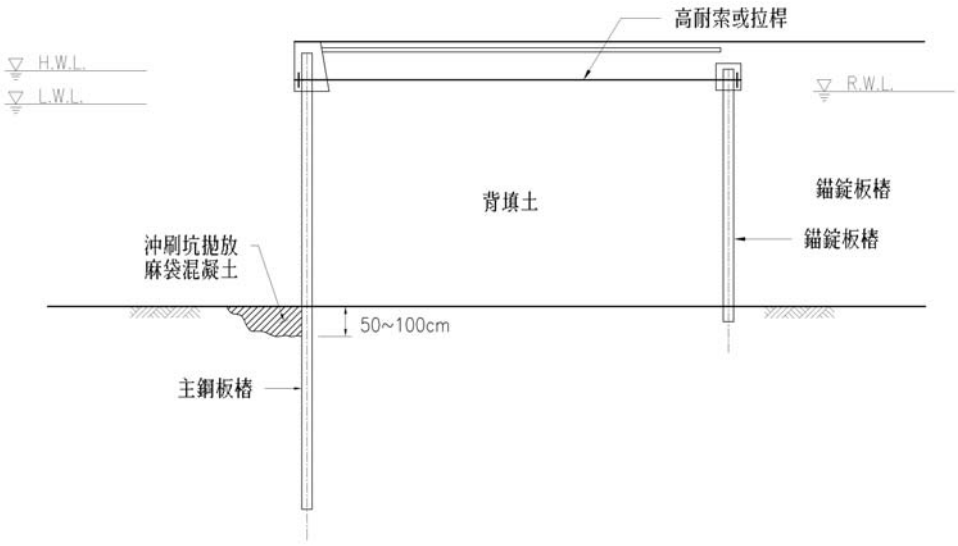


圖 4.9 拋放麻袋混凝土法示意圖

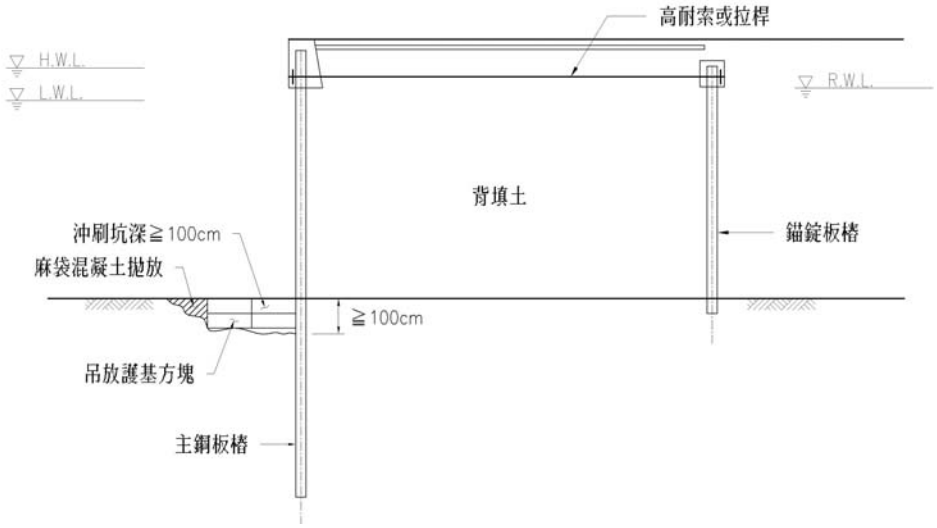


圖 4.10 新增護基方塊法示意圖

(2)施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、卵塊石拋放、護基方塊新製、護基方塊吊拋。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章。

4.3 棧橋式碼頭

棧橋式碼頭的破壞主要是受到地震力、船舶外力或其他外力之作用。其破壞模式主要為：地震太強烈使結構本身無法抵抗施加於其上之慣性力及其他土、水壓力之作用，造成基樁及碼頭面板破壞，或因背填土液化使得擋土設施向海側移動，導致基樁彎矩過大，形成塑性鉸，亦可能因地基含有較軟土層，在地震中發生位移導致基樁破壞。此外，地震發生後所產生之土壤液化，或船舶推進器對基礎土壤長期的淘刷，引致背填土向海側流失，將間接造成結構體的彎曲、斷裂、傾斜及下陷。

依據檢測項目及劣化程度，將可能之維護管理工法依檢測項目分為基礎掏刷、護坡破壞、法線變位三部份，如表 4-3 所示，並分項探討如次：

表 4-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
上部結構	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	表面處理工法 FRP 接合工法、脫鹽工法 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、混凝土剝落 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在 1 小區域面積的 4 成以下） 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）	裂縫注射工法 FRP 接合工法、電氣防蝕工法 斷面修復工法、預力工法
基礎、護坡	基礎淘刷	基礎輕微淘刷（沖刷坑深度約 50cm 以下） 基礎明顯淘刷（沖刷坑深度約 50~100cm） 基礎嚴重淘刷（沖刷坑深度約 100cm 以上）	拋石護基工法 拋放麻袋混凝土法 新增護基方塊法
	護坡破壞	護坡塊石輕微受損（破壞率約 5%以下） 護坡塊石明顯受損（破壞率約 5%~20%） 護坡塊石嚴重受損（破壞率約 20%以上）	加拋改善法 塊石加重法 加重加厚法
	法線變位	法線明顯變位（目視約 0.2~0.3m） 法線嚴重變位（目視約 0.3m 以上）	陸側減壓工法+增打基樁法、液化防制工法+增打基樁法 前端新設結構工法+陸側減壓工法
	防蝕包覆破損、脫落	防蝕包覆破損 防蝕包覆脫落	防蝕包覆修補法 防蝕包覆重鋪法
	基樁腐蝕及變形	基樁局部區域有鏽蝕集中 帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔現象 連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁可目視出非原設計之嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象	水中硬化環氧樹脂塗附法 鉚釘打設工法、鈦合金被覆工法 基樁斷面增強工法及增打基樁工法
	PC 或 RC 樁基樁破損及變形		

（資料來源：交通部高雄港務局）

表 4-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
基礎、護坡	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	表面處理工法 FRP 接合工法、脫鹽工法 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、混凝土剝落 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在 1 小區域面積的 4 成以下） 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）	裂縫注射工法 FRP 接合工法、電氣防蝕工法 斷面修復工法、預力工法

4.3.1 上部結構維護管理工法及施作項目

4.3.1.1 碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂

(1)維護工法：「表面處理工法」

塗刷砂漿、塗料或類似環氧樹脂等化學藥品於龜裂表層以塗封龜裂，以防止進一步之惡化而導致缺陷產生。

(2)施工項目：

環氧樹脂塗敷。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 09961 章。

2. 混凝土數個部位有龜裂、鋼筋露出未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷

(1)維護工法：

A.「FRP 接合工法」：混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材(如圖 4.11 所示)。

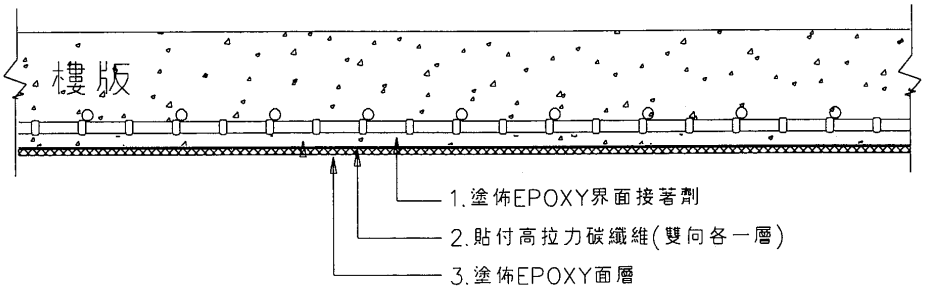


圖 4.11 「FRP 接合工法」示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

B. 「脫鹽工法」：係於混凝土外設置外部電極，使其與電源正極連接。混凝土內鋼筋則與電源負極連接，其間通入較大電流，密度約為 1A/㎡，通電期間約 1～2 個月，藉電化學將混凝土中之氯離子移出混凝土外而達到保護鋼筋之目的，其裝置示如圖 4.12。

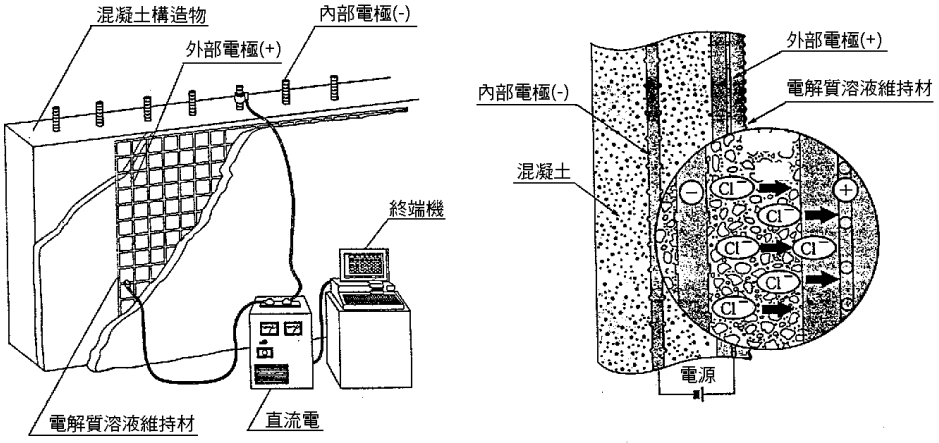


圖 4.12 「脫鹽工法」示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

(2)施工項目：

A.「FRP 接合工法」：表面清洗、塗敷接著劑、纖維強化複合材料黏貼、塗敷面層。

B.「脫鹽工法」：連接電源、通電。

(3)相關規範：

A.「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。

B.「脫鹽工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3.混凝土裂縫擴散到整個面板、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重

(1)維護工法：

A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：去除鋼筋周圍鬆託之混凝土，並對鋼筋除鏽，以及噴塗防蝕性材料或採用防蝕工法處理後，再以樹脂砂漿填補並抹平(如圖 4.13 所示)。

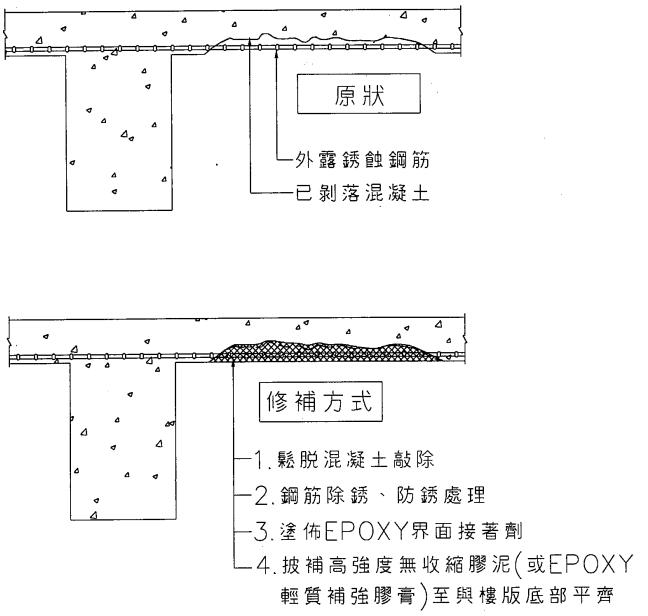


圖 4.13 「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

B.「打設工法」：係將舊有構材之一部份或全部予以鑿除，再重新打設新鋼筋混凝土。為確保構造物之承載力，必要時得採用預鑄方式。

(2)施工項目：

A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：混凝土鑿除、鋼筋除鏽、鋼筋防蝕、樹脂砂漿填補、表面鏝整。

B.「打設工法」：混凝土鑿除、打設新鋼筋混凝土。

(3)相關規範：

A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」:公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03210 章、第 03050 章及第 03350 章。

B.「打設工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03210 章、第 03050 章及第 03350 章、或第 03439 章。

4.3.1.2 格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕

1.局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫、混凝土剝落

(1)維護工法：「裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

(2)施工項目：

表面清洗、低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填縫、表面鏝整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03601 章及第 03350 章。

2.混凝土數個部位有裂縫、鋼筋露出未腐蝕、混凝土鬆動剝落

(1)維護工法：

A.「FRP 接合工法」：混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材。

B.「電氣防蝕工法」：係於混凝土表面設置陽極材，利用防蝕電流供給鋼筋，使其成為陰極材，而達到鋼筋腐蝕反應停止之工法。本工法計有外加電源法及犧牲陽極法二種方式，其電源正極連接陽極材，負極則與鋼筋連接。

(2)施工項目：

A.「FRP 接合工法」：表面清洗、塗敷接著劑、纖維強化複合材料黏貼、塗敷面層。

B.「電氣防蝕工法」：陽極材設置。

(3)相關規範：

A.「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。

B.「電氣防蝕工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3.混凝土裂縫擴散整個隔樑、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離

(1)維護工法：

A.「斷面修復工法」：將損壞之混凝土構件需敲除後，並清洗舊有混凝土表面並組模，再依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件，置入骨材，再注入低粘滯性之樹脂(如圖 4.14 所示)。

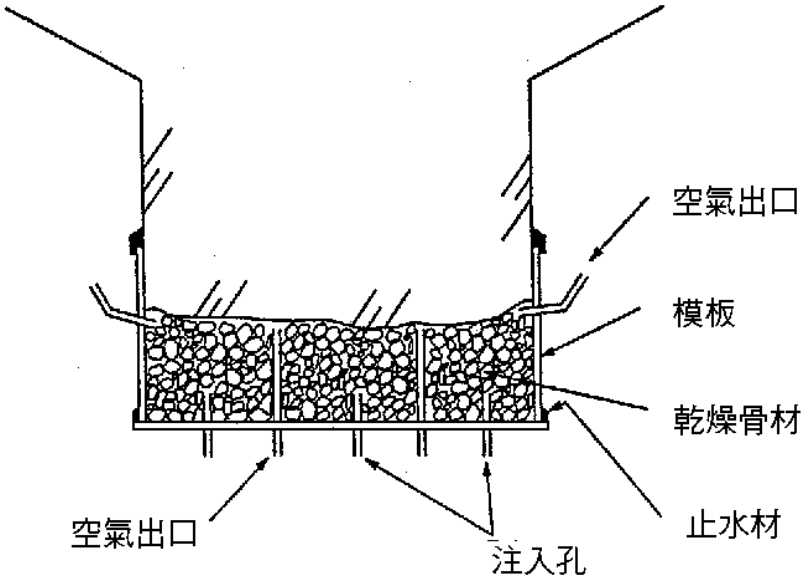


圖 4.14 隔樑斷面修復工法示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

B.「預力工法」：將原有混凝土鑿除後改以預力方式重新打設混凝土，或於混凝土斷面外側配置 PC 鋼材以預力方式補強。

(2)施工項目：

A.「斷面修復工法」：混凝土鑿除、表面清洗、模版組立、鋼筋植入、骨材安置、環氧樹脂注入。

B.「預力工法」：原有混凝土鑿除、混凝土斷面外側配置 PC 鋼材。

(3)相關規範：

A.「斷面修復工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章、第 03210 章及第 09622 章。

B.「預力工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章及第 03380 章。

4.3.2 基礎、護坡維護管理工法及施作項目

4.3.2.1 基礎掏刷

1. 基礎輕微淘刷

(1)維護工法：「拋石護基工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基。

(2)施工項目：

水深地形勘測、卵塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

2. 基礎明顯淘刷

(1)維護工法：「拋放麻袋混凝土法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行麻袋混凝土拋放之沖刷防護措施。

(2)施工項目：

水深地形勘測、麻袋混凝土拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 基礎嚴重沖刷

(1)維護工法：「新增護基方塊法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行新增護基方塊之沖刷防護措施。

(2)施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、卵塊石拋放、護基方塊新製、護基方塊吊拋。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章。

4.3.2.2 護坡破壞

1. 護坡塊石輕微受損

(1)維護工法：「加拋改善工法」

先以水下攝影確認移動或滾落區位與規模，再進行塊石加拋改善作業，以恢復原狀。

(2)施工項目：

水深地形勘測、塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

2.護坡塊石明顯受損

(1)維護工法：「塊石加重法」

先分析護坡塊石安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，以加重之塊石進行補強作業。

(2)施工項目：

水深地形勘測、加重塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 護坡塊石嚴重受損

(1)維護工法：「加重加厚補強法」

先分析護坡塊石安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，以加重之塊石採增加拋放層數之方式，進行補強作業。

(2)施工項目：

水深地形勘測、加重塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

4.3.2.3 法線變位

法線變位雖顯現於上部結構之位移，但主要卻是來自後方擋土設施或基樁之位移。故以下針對此二構件檢討維護措施。

1.法線明顯變位：擋土設施後方之岸肩可採用「陸側減壓工法」、「液化防制工法」，該二工法如 4.2.1 小節之介紹。以下介紹「增打基樁法」。

(1)維護工法：「增打基樁工法」

以增打基樁方式為例，其施作項目包括上部結構局部敲除、基樁打設、基礎拋石護坡整平、上部結構施作等。詳如圖 4.15 所示。

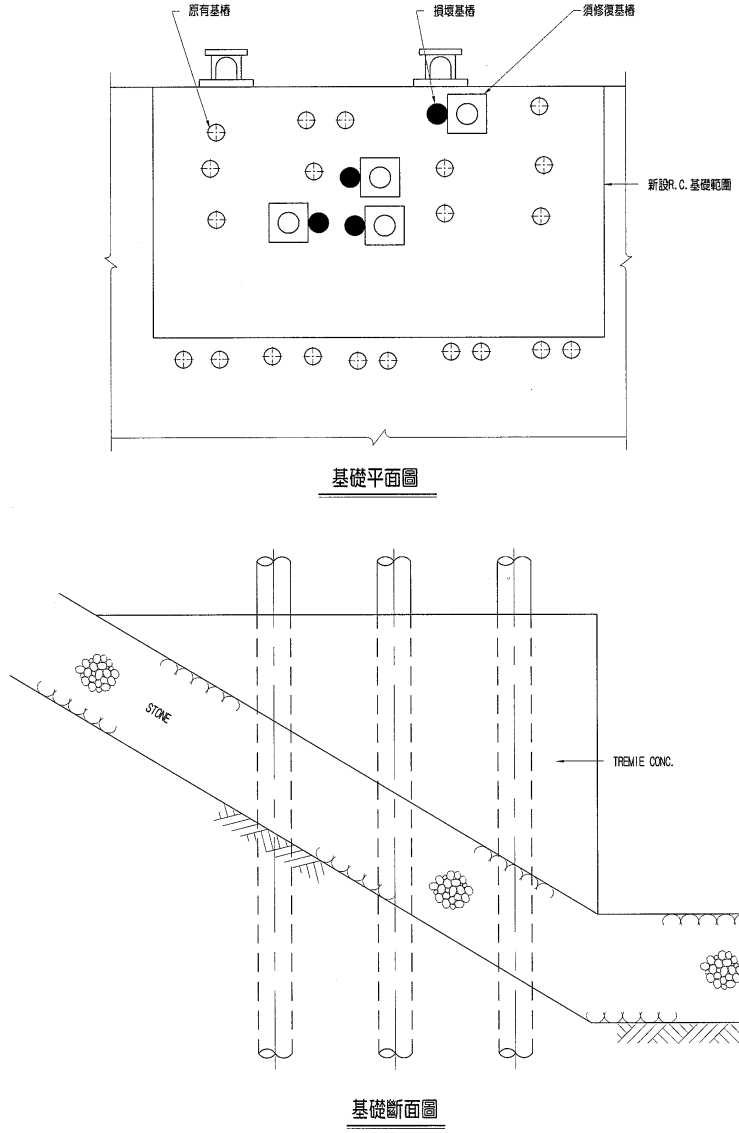


圖 4.15 增打基樁工法

（資料來源：交通部高雄港務局）

(2)施工項目：

上部結構局部敲除、基樁打設、基礎拋石護坡整平、上部結構施作。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章及第 02392 章。

2.法線嚴重變位：「前端新設結構工法+陸側減壓工法」，其中「陸側減

壓工法」如 4.1.1 小節之介紹。至於「前端新設結構工法」說明如下：

(1)維護工法：「前端新設結構工法」

因前端新設結構物工法將造成原法線前移。在每一個港灣設施之情況不同下，可採用的方法不僅無統一之標準，且可選擇性非常多樣化，需視碼頭之情形而定。建議應請顧問公司或學者專家依最新規範及檢測結果評估該碼頭適用性及補強設計。主結構體之修補可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)─港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例，可採前端新設結構工法(如圖 4.16 所示)。

(2)施工項目：

需視採用之工法而定。

(3)相關規範：

需視採用之工法而定。

4.3.2.4 防蝕包覆破損、脫落：

1. 防蝕包覆破損

(1)維護工法：「防蝕包覆修補法」

鋼管樁平滑處先固定剪力釘，其餘部位以重防蝕材被覆，以弧形鋼板壓住防蝕材並以螺栓固定於剪力釘上，弧形內空間注入漿材形成保護層，其補修斷面圖如圖 4.20 所示。

(2)施工項目：

剪力釘焊接、固定弧形鋼板、貫注漿材。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 05091 章、第 05123

章及一般鋼料銲接(詳附錄二)。

2. 防蝕包覆脫落

(1)維護工法：「防蝕包覆重鋪法」

重新施作包裹防蝕施工，並加強固定方式。

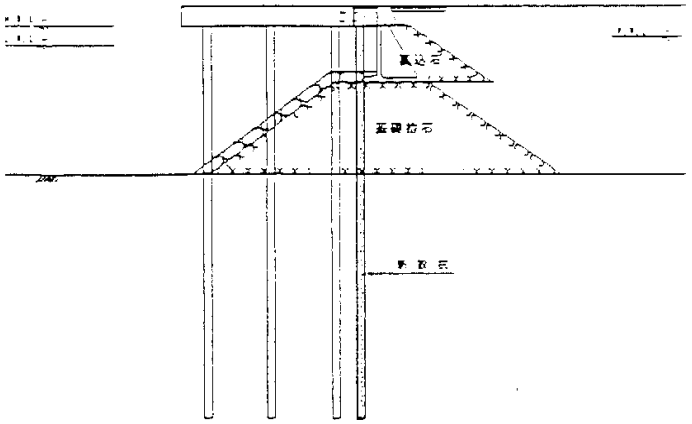
(2)施工項目：

表面清理、安設固定箍並確時鎖緊、包覆防蝕帶(應確保能緊貼鋼管表面)、保護套(FRP)組合及安裝等。

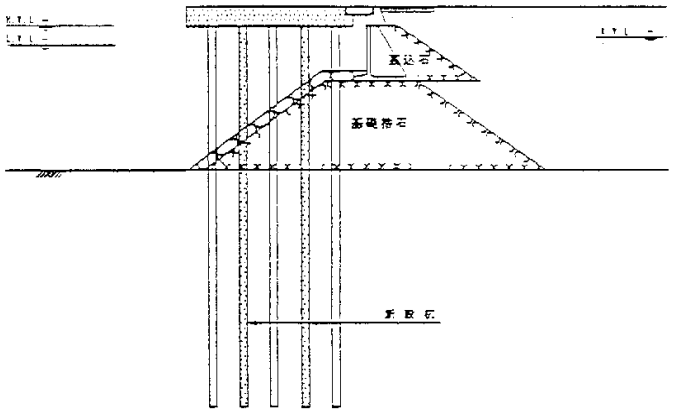
(3)相關規範：

鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

SA1	棧橋後方增設基樁工法
工法概要	棧橋後方增加打設基樁，並使上部結構一體化



SA2	棧橋中間增設基樁工法
工法概要	棧橋中間增加打設基樁，上部結構重新施作



SB1	基樁支撐(brace)工法
工法概要	原基樁加設支撐(brace)，增加抗力

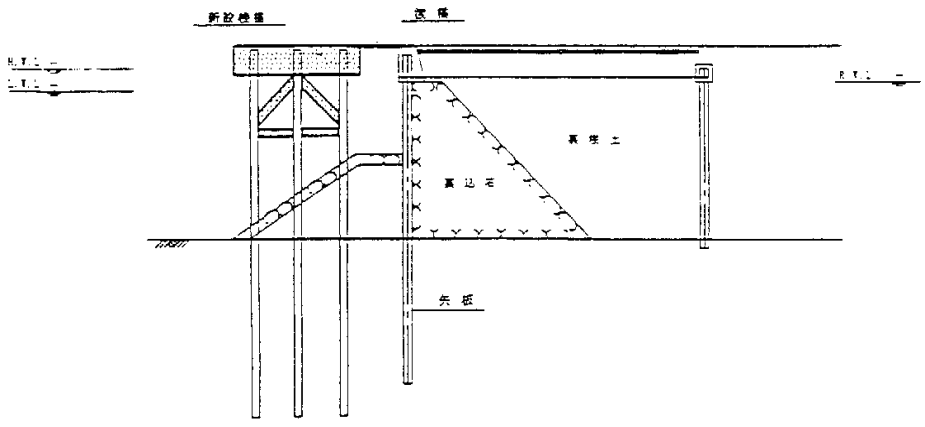
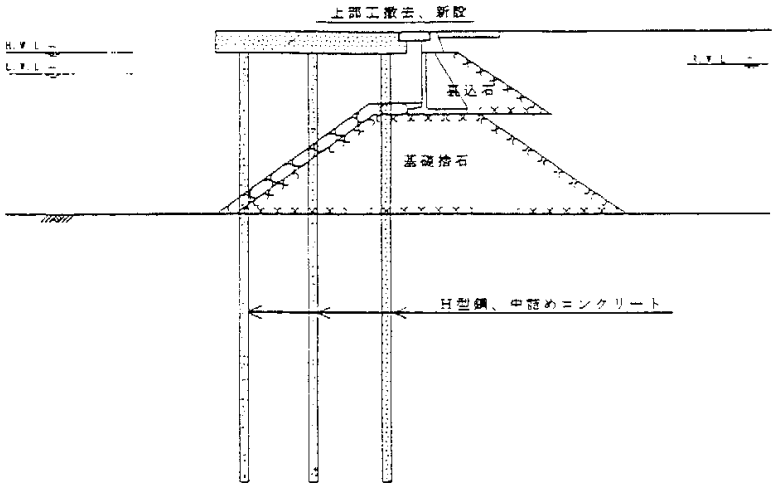


圖 4.16 前端新設結構工法(資料來源：交通部高雄港務局)

ＳＢ２	基樁斷面加強工法
工法概要	原有基樁以混凝土或雙重套管基樁方式加強，上部結構重新施作



ＳＢ３	加設地錨工法
工法概要	在基樁中間加設地錨，增加抗力

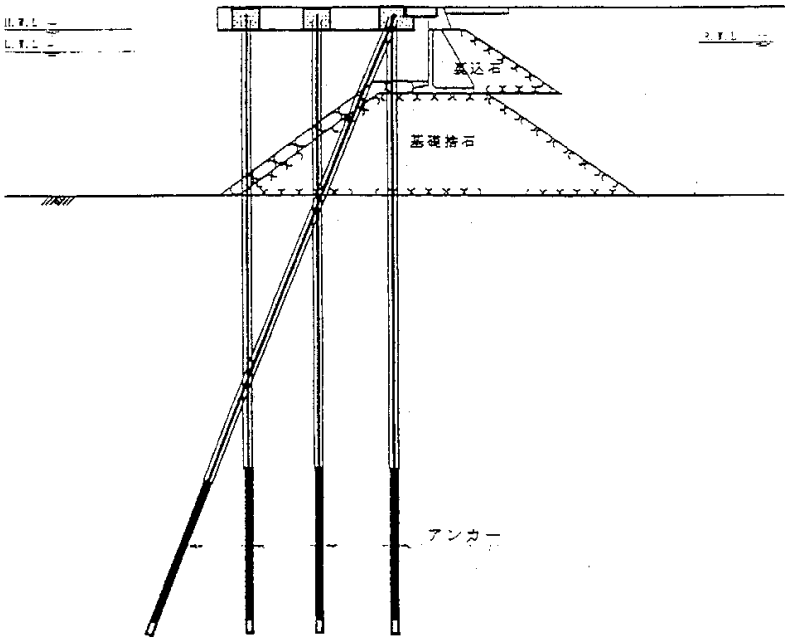


圖 4.17 前端新設結構工法(續一)

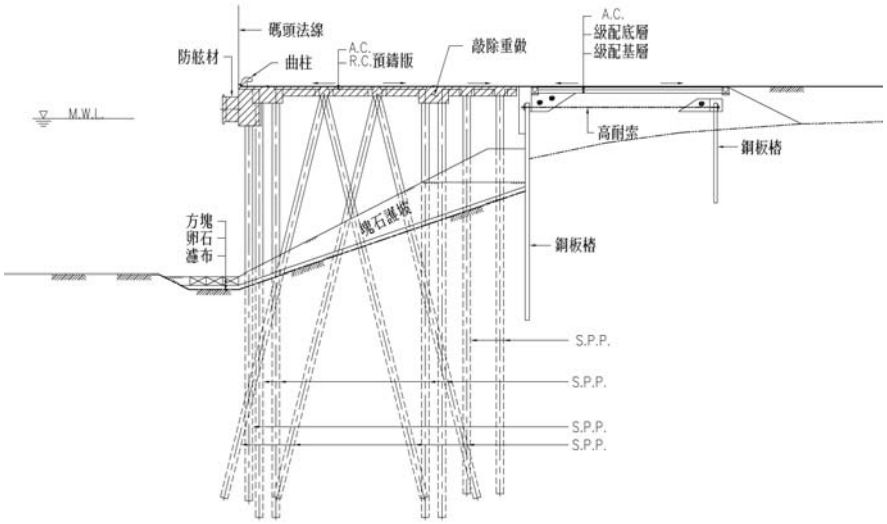
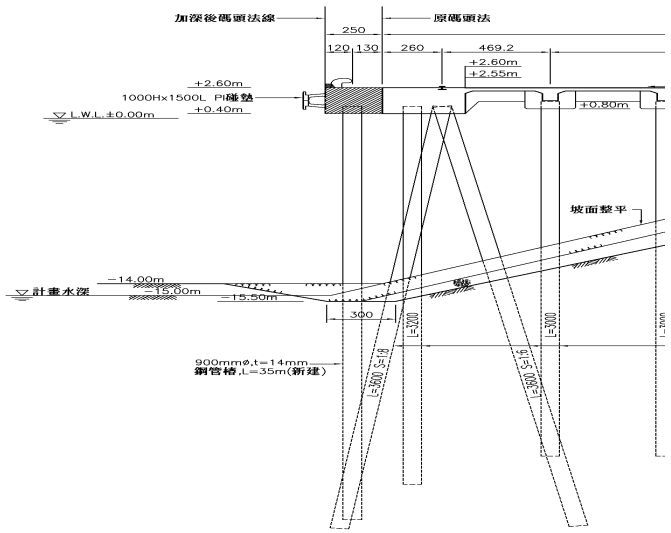
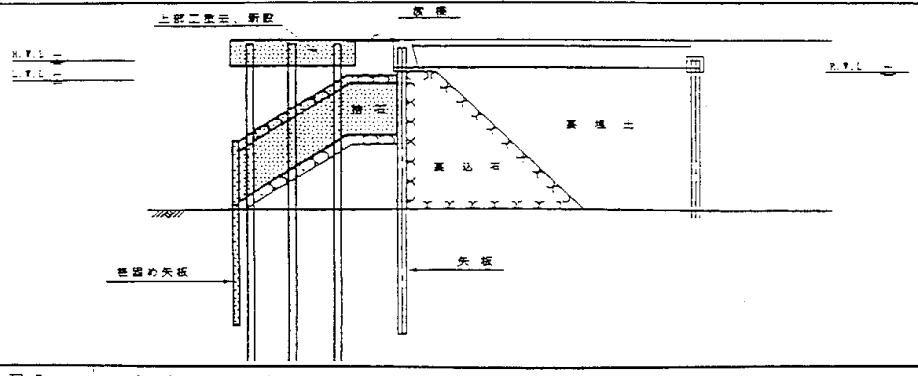
SC1	**拆除重設工法**
工法概要	**上部結構拆除重作(原基樁抗力足夠為前提)**
	
SD1	**前方加設基樁工法**
工法概要	**原碼頭前方加設基樁上部結構一體化處理**
	

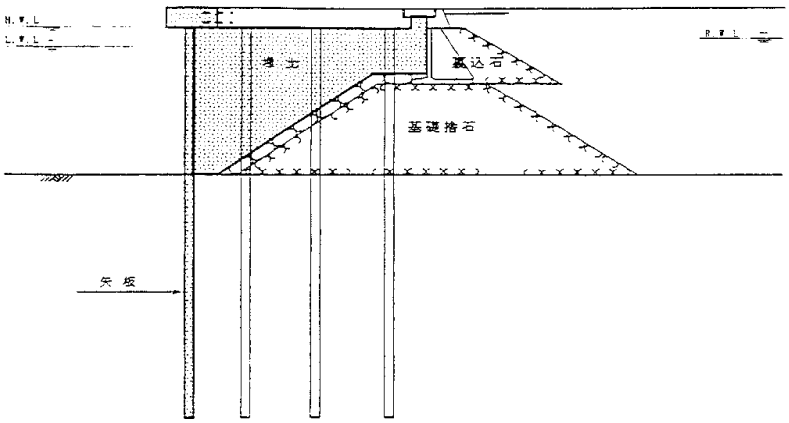
圖 4.18 前端新設結構工法(續二)

（資料來源：交通部高雄港務局）

ＳＥ１	前方設鋼板樁擋土工法
工法概要	前方設鋼板樁擋土，上部結構重作降低基樁應力。



ＳＦ１	棚式構造物改良工法
工法概要	前方新設鋼板樁上部結構一體化，降低基樁應力



ＳＦ２	新設鋼板樁工法
工法概要	前方新設鋼板樁，以原棧橋結構為錨碇設施

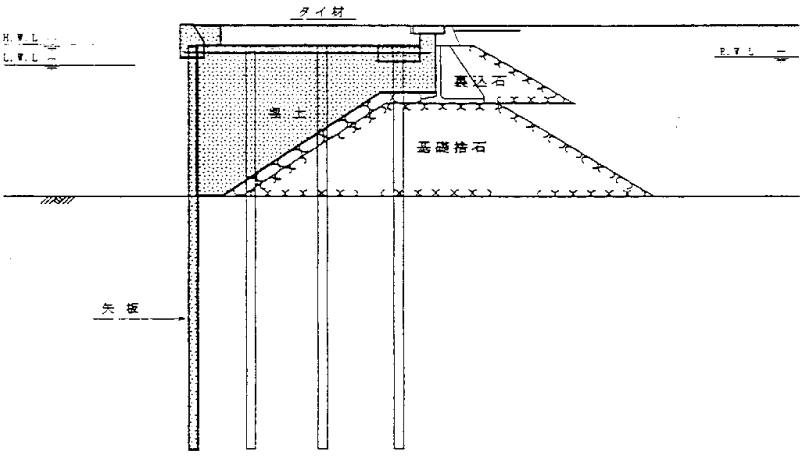


圖 4.19 前端新設結構工法(續三)

（資料來源：交通部高雄港務局）

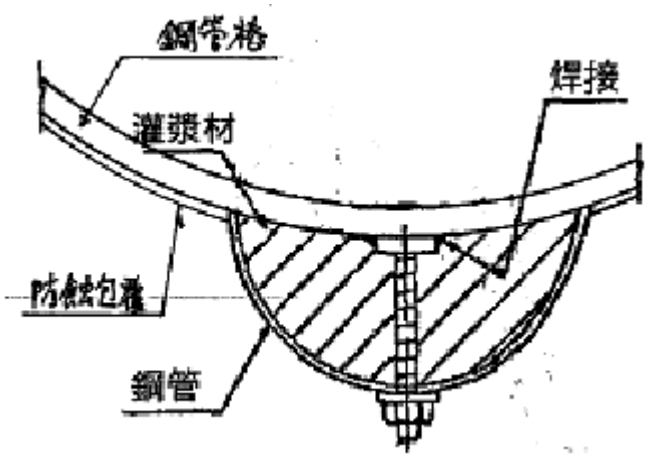


圖 4.20 防蝕包覆修補法

（資料來源：交通部高雄港務局）

4.3.2.5 基樁腐蝕及變形

1. 基樁局部區域有鏽蝕集中

(1)維護工法：「水中硬化環氧樹脂塗附法」

一般處理方法為刮除鏽點後，鏽蝕位置塗附水中硬化環氧樹脂，阻絕持續腐蝕因子。

(2)施工項目：

潛水伕清除板樁鏽點及海生物、分層塗裝水中硬化環氧樹脂。

(3)相關規範：

水中硬化劑塗裝工程(詳附錄二)。

2. 帶狀鏽蝕、局部穿孔。

(1)維護工法：

A.「鉚釘打設工法」：帶狀區域的鏽蝕部位噴砂處理完全後，先以防蝕帶覆蓋，其上再以 PE/PU 材被覆，並於兩邊用剛性高之

U型 FRP 壓條密貼，其上以攻牙鉚釘鑽入鋼管樁固定，鉚頭外部以黏土及保護套保護之，如圖 4.21 所示。

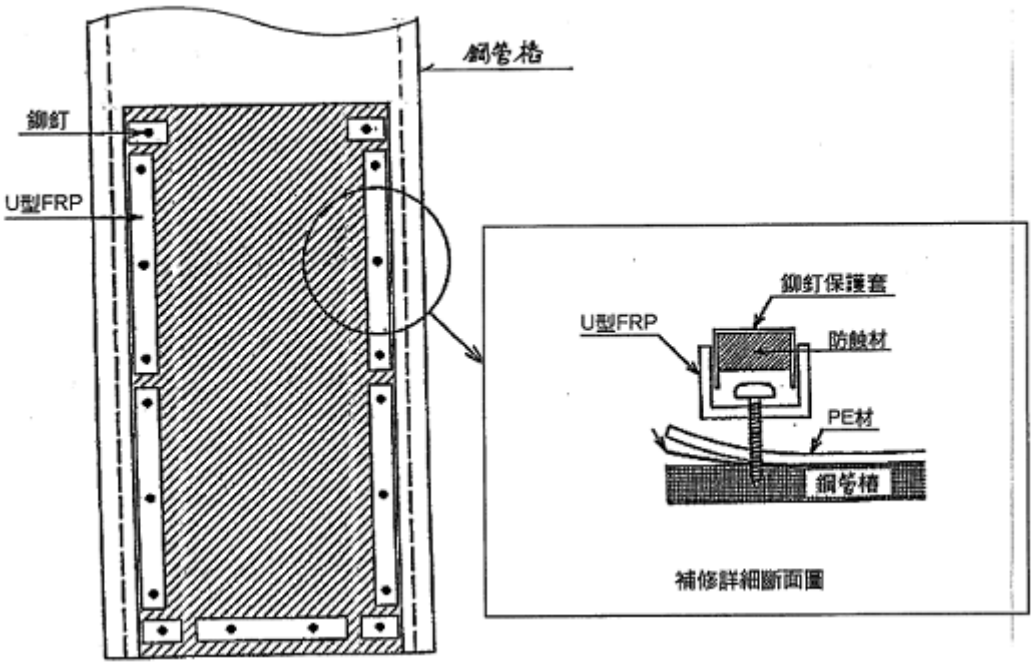


圖 4.21 鉚釘打設工法

（資料來源：交通部高雄港務局）

B.「鈦合金被覆工法」：係於鋼管樁樁身先固定高鎳合金鋼剪力釘，其餘部份以中性石油系防蝕帶貼付，其外再以鈦合金薄鋼板被覆，為防不同金屬間之接觸腐蝕，所有接合處以厚膜型環氧樹脂塗佈，以達防蝕補強之效果。

(2)施工項目：

A.「鉚釘打設工法」：表面噴砂處理、防蝕帶覆蓋、PE/PU 材被覆，U型 FRP 壓條以鉚釘固定。

B.「鈦合金被覆工法」：高鎳合金鋼剪力釘、防蝕帶貼付、鈦合金薄鋼板被覆、厚膜型環氧樹脂塗佈。

(3)相關規範：

鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

3.連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象。

鋼管樁大範圍的生鏽破損且穿孔，由於鋼管樁鏽蝕，整體碼頭結構可能已出現影響，港務局應先停止碼頭作業，辦理專案檢測，並委外進行碼頭補強或大幅度修補之設計，再發包施工。依實際鏽蝕程度可選基樁斷面增強方式、增打基樁方式。

(1)維護工法：「基樁斷面增強工法」

損傷部份周圍先以防蝕材貼附，外側再以半圓形鋼板或 FRP 包覆，於主樁與外套管間空隙填灌混凝土或砂漿，鋼構造外套管並用防蝕材塗佈，其斷面圖如圖 4.22 所示。

(2)施工項目：

防蝕材貼附、外套管包覆、水泥砂漿填灌，防蝕處理。

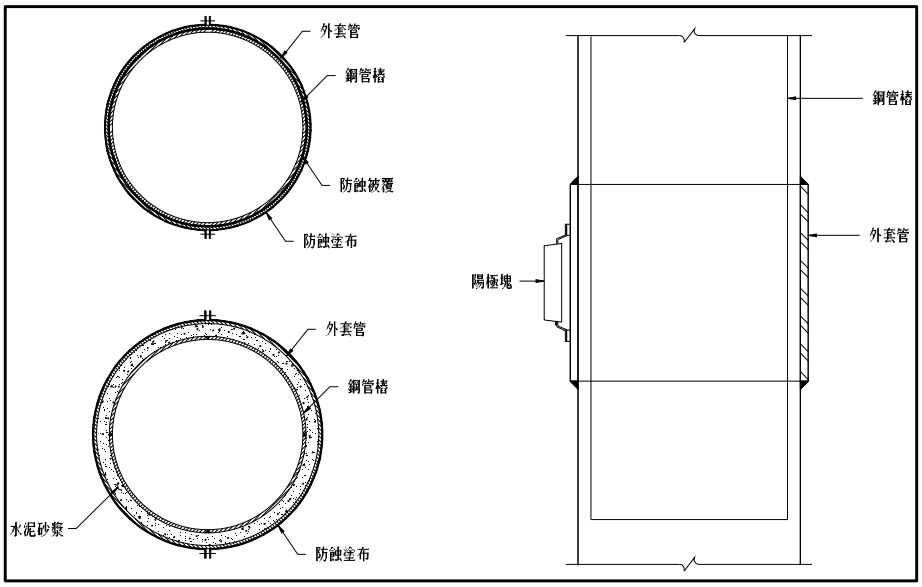


圖 4.22 基樁斷面增強工法

（資料來源：交通部高雄港務局）

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02392 章、第 03050 章、第 05091 章、第 05123 章、第 09971 章及鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

4.3.2.6 PC 或 RC 樁之混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫、混凝土剝落

(1)維護工法：「水壓式裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水或水刀刷洗乾淨後，再注入排水性止漏劑或超微水泥漿填塞裂縫。

(2)施工項目：

表面清洗、排水性止漏劑或超微水泥漿填縫等。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03601 章及第 03350 章。

2. 混凝土數個部位有裂縫、鋼筋露出未腐蝕、混凝土鬆動剝落

(1)維護工法：

A.「FRP 接合工法」：混凝土樁體的外部接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材。

B.「電氣附著工法」：係於海水中投入陽極材，並使其與電源正極相連，而混凝土中之鋼筋則與電源負極連接，使成一迴路，藉直流電之微弱電流通電數月，則海水中溶存之鈣離子或鎂離子往混凝土表面移動，並於混凝土表面或裂縫處析出碳酸鈣或氫氧化鎂生成物並附著其上，形成保護膜阻絕腐蝕因子進入混凝土內部，達到保護之功效。本工法裝置示意如下圖(圖 4.23)。

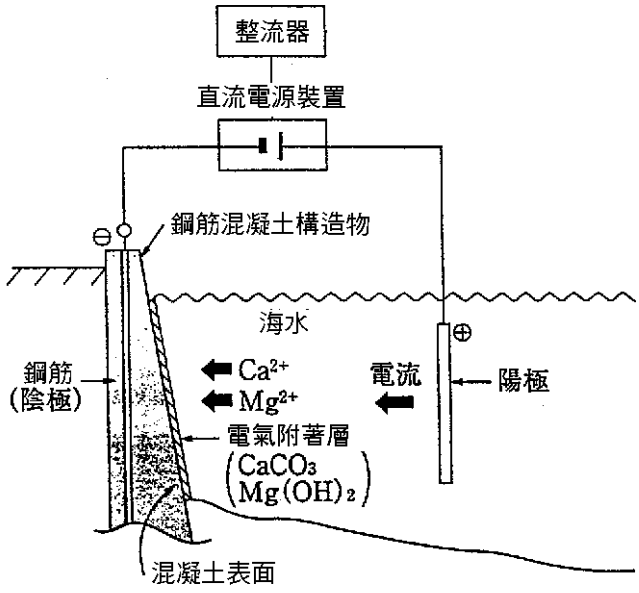


圖 4.23 電氣附著工法

（資料來源：交通部高雄港務局）

(2)施工項目：

A.「FRP 接合工法」：將 PC 或 RC 樁鬆動之混凝土敲除，以不收縮水泥將斷面復原；裂縫部分灌注環氧樹脂、底層處理、樁體以 FRP 圍束補強數層；俟圍束補強完成樹脂硬化時，需施作硬度試驗後表面再塗佈樹脂噴砂增加水泥砂漿補土附著力。

B.「電氣附著工法」：陽極材投入海水中、連接電源、通電。

(3)相關規範：

A.「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。

B.「脫鹽工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3.混凝土裂縫擴散成整個樁圍、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離

(1)維護工法：

A.「鋼鈑補強工法」：將損壞之混凝土構件敲除後，並清洗舊有混凝土表面，再依裂縫及蜂巢之修補方式修復嚴重受損之結構元件，並組鋼模後，再注入 EPOXY(如圖 4.24 所示)。

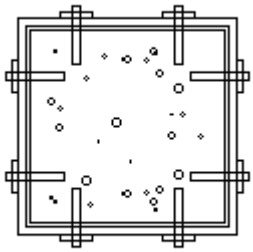


圖 4.24 樁體外鋼鈑補強工法示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

B.「增厚工法」：係於構材之上面、下面或側面重新配置鋼筋並與舊構材結合後打設新混凝土，使成一結實體。

(2)施工項目：

A.「鋼鈑補強工法」：將鬆脫不牢固之混凝土打除，打除後將粉屑清除乾淨；使用補強灰泥修補蜂巢、使用裂縫注射劑修補裂縫；將鋼鈑預組在樑上，樑鈑使用 SUS316 鋼材，採全滿焊施工；鑽孔施打化學錨栓、封口、灌注 EPOXY 直到透氣孔溢滿出為止。

B.「增厚工法」：鋼筋彎紮、打設混凝土。

(3)相關規範：

A.「鋼鈑補強工法」:公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章、第 03210 章及第 09622 章。

B.「增厚工法」：公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03110 章及第 03210 章。

4.4 RC 材料劣化維護工法

鋼筋混凝土大量被使用於土木工程，尤其是交通建設方面，諸如橋樑、港灣... 等之重要設施。鋼筋混凝土原本為一極具耐久之材料，因此，工程建造完工起用後，甚少需要維護。但是，受到環境、超載(不當使用)、施工品質等因素之影響，其材料、結構則可能受到劣化損壞，對整體耐久性與安全威脅甚鉅。台灣為一海島型氣候，終年高溫、高濕，每年常遭颱災侵襲，又因位處地震帶上，地震災損頻傳，於此惡劣環境下，港灣鋼筋混凝土甚易受到海水或海風中之氯離子之侵入，造成鋼筋發生銹蝕、斷裂、體積膨脹，導致混凝土的劣化、剝落、損壞。

因此，在 R.C.結構物之耐久性觀點上，除了混凝土材料本身材質劣化外，鋼筋的腐蝕是評估結構物耐久性之重要指標之一。以下分為鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理、混凝土表面缺陷及鋼筋外露腐蝕等說明其維護工法。

4.4.1 鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理相關工法

1. 陰極防蝕法：

陰極防蝕應用於鋼筋混凝土結構物之防蝕，至今已有三十幾年的歷史了，公認為解決鋼筋混凝土腐蝕唯一有效的方法。陰極防蝕可分為下列有兩種方式：

(1)外加電流法：

此法乃於鋼筋(陰極)與混凝土外之輔助陽極(一般使用鈦金屬)間，施加一直流電源，供應防蝕電流給鋼筋，使鋼筋表面不會失去電子，以達到防蝕的目的，為一長期持續性之防蝕工法，一般陸上之 R.C.結構物多採用此法。

(2)犧牲陽極法：

利用自然電位較低之金屬(如 Mg、Al、Zn)做為陽極，與被

保護之金屬體偶合在一起，當陽極放出防蝕電流後，使被保護之金屬體的自然電位下降，當電位下降至防蝕電位時，則被保護體就不再發生腐蝕行為。根據美國佛州交通局(Florida Department of Transportation, FDOT)之研究，依使用陽極之方式不同，犧牲陽極法可再細分為下列四種方式：

A.鋅熔射方式：使用熔射鋅層被覆作為陽極，為防止高溫、高溼等嚴苛環境之破壞作用，一般常於壓克力樹脂施予封孔處理。施工時需先清除剝落的混凝土並噴砂處理至裸露的鋼筋表面，再將鋅熔射噴塗至混凝土及裸露的鋼筋表面，藉由鋅與鋼筋電連通之傳導或經由混凝土為介質，達到陰極保護的目的。鋅塗層之噴塗厚度為 0.38~0.5 mm (15~20 mils)，鋅與混凝土之結合力為 1034 kPa (150 psi)。若鋅塗層未直接噴塗於舊有鋼筋表面，亦可使用外加電流的方式進行陰極保護。

B.鋅板方式：鋅板採用 ASTM A 190 的 99.9%純鋅製成，密度為 0.02 kg/m3，以基樁為例製成鋅板，直接包覆於混凝土表面，鋅板外層再利用 50%塑膠與 50%木質纖維製成之夾板包覆，夾板內側有凹槽可匯聚水氣以增加混凝土的導電性，並藉潮汐漲落可將鋅的氧化產物沖洗掉；而此夾板的固定方式則是利用不銹鋼圈箍繫在舊有基樁結構上。鋅板與鋼筋間則利用銅線連接使之電連通。

C.犧牲式陰極保護基樁夾層：此法為鋅板系統之改良，為基樁 RC 結構於水下帶、潮間帶、飛沫帶之陰極防蝕使用。工法中以鋅網為主要陽極，內置於玻璃纖維製成之基樁夾層內，而另一鋅塊為輔助陽極，置於低潮線下 0.6 m 的海水中，利用銅線將陽極與鋼筋連接。施工時將兩片夾層包覆於混凝土表面，夾層與混凝土間間距 5 cm ，然後以砂漿水泥灌注夾層。此系統不需外加電源且完工後甚少需維護，造價及施工均較外加電流式陰極保護系統經濟，已被 FDOT 廣為使用於海水環境下之陰極防蝕。

D.鋅板導電膠為一厚 0.254 mm 的鋅膜及一層離子導電膠。施工時將導電膠塗佈於混凝土上，而導電膠之另外一側上覆鋅膜，利用銅線將鋅膜與鋼筋電連通，以達到陰極保護的效果。本工法在潮濕的環境中，導電膠會失去黏著力而導致鋅膜脫落，造成防蝕電流分佈不均。因此，工法僅能適用於乾燥的大氣環境下。

2. 電化學去鹽法：

電化學去鹽法乃針對已受鹽害之鋼筋混凝土結構物，將其內部之氯離子驅出混凝土外，以降低或阻止鋼筋繼續腐蝕。去鹽法技術乃是應用電化學之同性電荷相斥異性電荷相吸之原理，於鋼筋與混凝土外之輔助陽極之間，外加一直流電源，形成一電力場，藉電場作用力將孔隙溶液中之氯離子驅除,使內部鋼筋不再受氯離子侵蝕。

3. 電化學還鹼法：

還鹼法與去鹽法是一體兩面，採用之原理相同。還鹼法乃是將已中性化之混凝土恢復至高鹼性環境，鋼筋表面再度生成鈍化保護膜，使鋼筋得以被保護。在鋼筋與混凝土外之輔助陽極間，引進一直流電源，經由電滲流(electro-osmotic flow)、擴散(diffusion)、毛細吸附(capillary absorption)及電解作用(electrolysis)，將外界之鹼性電解液大量輸入孔隙溶液中，除提升孔隙溶液之鹼性環境外，另一方面鹼性電解液中之 Na+、K+等離子，游向陰極(鋼筋)，致使鋼筋再處於鈍態狀況。

4.4.2 混凝土表面缺陷維護工法

混凝土表層缺陷維修工法包括表面處理工法、裂縫修復工法、表層缺陷修復工法。

1. 表面處理工法：

表面處理工法之基本理念是使得目前結構物更為美觀，且經由

表面處理，使得結構物減少日後損壞之機率，表面處理工法依其混凝土表面處理之方式可分為：

(1)酸洗：

混凝土具高鹼性，因此易受酸的腐蝕。基於此原理可利用酸作為混凝土修補前的表面處理，使平滑面粗糙，增加新舊材料間的接合。其方法是將鹽酸稀釋至適當的濃度再傾倒在處理面上，立刻以鋼刷刷淨，直至不再冒泡為止，然後以清水沖洗。使用清水沖洗時，務必洗刷完全，以免殘存之鹽酸加速混凝土之碳化，反而降低混凝土品質，失去修復養護之原意。

(2)噴砂：

利用高壓泵浦推送砂粒噴擊混凝土面，使修補面呈粗糙狀，作用與酸洗相同。噴砂工法價格較貴，且會產生極大的砂塵，在實用上不及酸洗。

(3)表面塗裝：

對於未發生危害而情況輕微的表層龜裂，可塗刷砂漿、塗料或類似環氧樹脂等化學藥品於龜裂表層以塗封龜裂，以防止進一步之惡化而導致缺陷產生。

2. 裂縫修補工法：

鋼筋混凝土結構物裂縫的修補，主要目的是恢復結構的整體性、保持結構的強度、耐久性、抗滲性及外形的美觀。

(1)表面封閉修補法：

採用抹漿、鑿槽嵌補、噴漿、填縫的方法使表面裂縫封閉。如果無法直接注漿，則必須視情況利用工具將損壞的混凝土敲除，或沿裂縫處鑿成 V 型槽，以利修補或填注接著劑。

(2)壓力灌漿修補法：

壓力灌漿是以施加壓力將某種漿液(例如水泥灌漿或化學材料灌漿)灌入結構物內部損傷的方法，以達到封閉裂縫，恢復並提高結構強度、耐久性和抗滲性能的一種修補方法。對於已停止擴大之龜裂(即穩定裂縫)，或無損及結構安全之龜裂，可用無收縮砂漿或膨脹性砂漿填補；必要時，在龜裂表層開鑿 V 型槽，再填入接著劑或填縫料。此法一般用於裂縫多且深入結構內部或結構有空隙的修補場合。壓力灌漿修補法包括水泥灌漿與化學灌漿，化學灌漿採用化學材料灌漿修補結構裂縫，可以灌入 0.3mm 或更細小些的裂縫。

(3)注射工法：

寬度較小的龜裂，可用注射環氧樹脂修補之。注射前先將龜裂分成幾個區域，先將表面封閉僅留注射孔，以防注射的材料漏出，注滿一區後，再繼續進行下一區。注射工法與灌漿工法之在觀念與作法上幾乎是大同小異。其基本之差異性在於裂縫之大小，裂縫較大時採用灌漿工法，裂縫較小時則採注射工法。

(4)表面黏貼法：

表面黏貼法是指用接著劑把纖維強化高分子複合材料或鋼鈑等材料黏貼在裂縫部位的混凝土表面上，既可達到封閉裂縫的目的，又能提高結構的強度和勁度。在進行表面黏貼之前，必須對混凝土表面進行處理與清洗。

3. 表層缺陷修補工法：

當混凝土表層已不適用表面處理工法或不宜以裂縫修補工法修復時(例如混凝土表面成片塊狀之剝離)，則此時必須採用表層缺陷修補工法。

(1)填充工法：

此法是以新混凝土取代局部性區域之舊混凝土。施作時將已損壞或不良的混凝土敲除掉，重新澆置新拌混凝土，使龜裂不再

發生或提昇原構件之品質，亦稱之為置換法。此法適用於已無外在原因使混凝土繼續劣化或龜裂之情況，否則修補後仍將發生損壞。

(2)混凝土修補法：

對於混凝土橋梁結構中出現的蜂窩、空洞等較大範圍的破損與缺陷，可採用新拌混凝土進行修補。用於修補的混凝土要級配良好，且具有良好的工作性，以減少搗實工作的困難。為了澆築工作的順利進行，應把構件中的蜂窩或空洞缺陷部份盡可能鑿除，同時對修補部位進行鑿毛處理，並使原混凝土表面保持濕潤、清潔、不沾塵土。為了使新舊混凝土之間有良好的接著性能，可以在鋼筋和其周圍的混凝土上塗抹一層水泥砂漿或接著劑(如1：0.4 的鋁粉水泥砂漿、1：1 的鋁粉砂漿或環氧膠液等)。砂漿應均勻地刷進混凝土內及鋼筋表面，使得鋼筋周圍成為強鹼性環境，而增強舊混凝土與新混凝土間之黏結。在這些砂漿塗抹後尚未凝固時，可立即澆築新的混凝土。

(3)水泥砂漿修補法：

對於小面積的缺陷，當損壞程度較淺時，可將拌和好的砂漿用鏝刀抹到修補部位，反覆抹光後，按一般混凝土的養護方法養護。當修補部位深度較大時，可在水泥砂漿中加入特殊材料，以增強砂漿強度和減少砂漿乾縮。用砂漿修補時亦必須特別注意加強壓實的工作，使砂漿經過養護、硬化和乾燥後不致出現凹陷。另外在修補的區域周圍再塗抹兩層的環氧樹脂膠液或鋁粉水泥砂漿、或其他接著劑，以避免乾縮裂縫的發生，達到表層保護之效果。

(4)噴漿修補法：

噴漿修補法是將水泥砂漿，經高壓噴至修補部位的一種修補方法。此法主要適用於重要混凝土結構物或大面積的混凝土表面

缺陷和破損的修補。為保證噴漿層能與舊混凝土面黏結牢固，達到預期的修補效果，噴漿前應做好以下準備工作：

A.對舊混凝土進行打毛處理，並將表面清理乾淨。打毛面須有一定深度，否則會影響其與舊混凝土間之黏結。

B.在施工前應進行鋼筋網或鋼絲網製作和安裝，並固定位置。

C.在噴漿前一小時，應對修補面灑水，使其保持濕潤狀態，以確保噴漿與修補面能良好結合。

D.當修補面有滲水時，應先使其陰乾。

(5)混凝土接著劑修補法：

對於混凝土橋梁結構表面的風化、剝落、鋼筋外露及小面積的破損，一般可用接著劑對混凝土表面進行塗封的方法修補。人工塗封注意事項：人工塗封法修補時，應由低處向高處、由內向外填抹，塗封範圍須包括缺陷周圍 2cm 左右，塗封層的厚度以不小於 2.5cm 為宜。當混凝土結構破損較大且深入結構內時，可採混凝土接著劑澆築塗層的方法加以修補。

(6)環氧樹脂材料的修補法：

環氧樹脂材料具較高的強度和抗蝕、抗滲能力，並且可與混凝土等材料牢固地黏結，是一種較好的修補材料。由於環氧材料價格較貴，且施工操作難度較高，通常只有在修復結果要求較高的情況下才考慮優先使用。

A.表面修補的技術要求：

(a)混凝土表面應先加以打毛，保持平整、乾燥、堅固與密實。

(b)混凝土表面處理可用人工打毛，然後用高壓噴水或高速壓縮空氣吹淨，或採用風砂槍噴砂除淨等方法。

(c)鋼筋若腐蝕必須先行除銹。

B.施工時之要求：

(a)塗抹環氧樹脂基液：在塗抹環氧樹脂砂漿或澆灌環氧樹脂混凝土時，應先在原混凝土表面塗一層環氧基液，以保持良好的黏結力。塗刷時，應力求薄且均勻，尤其在鋼筋和凹凸不平等難於塗刷的部位宜反覆多刷幾次，塗刷基液厚度一般不宜超過 1mm，塗刷方式可用毛刷人工塗刷，也可用噴槍噴射。為使塗刷均勻，可考慮在基液中加入少量丙酮(例如 3~5%)。對於已塗刷基液的表面，應注意保護，嚴防污染物、灰塵落入。塗刷後須清除基液中的氣泡，再塗抹環氧砂漿或澆築環氧混凝土。時間間隔一般為 30~60 分鐘。

(b)塗抹環氧樹脂砂漿：於平面塗抹時應力求均勻，每次塗抹厚度不宜超過 1.0~1.5cm，底層厚度應在 0.5~1.0cm 之間，並用鏝刀反覆壓抹，如有氣泡必須刺破壓緊。在斜、立面塗抹時，由於砂漿流淌，應用鏝刀不斷的壓抹，並適當增加的黏稠度，塗抹厚度厚度以 0.5~1.0cm 之間為宜，如超厚應分層塗抹，超過 4cm 時最好立模澆築。頂面塗抹時易因自重而往下脫落，在塗刷底層基液時，可使用黏度較大的基液。環氧樹脂砂漿每次塗抹的厚度以 0.3~0.5cm 為宜，如超過 0.5cm 時，應分層塗抹，每次塗抹均需用力壓緊。

C.澆築混凝土：

環氧樹脂混凝土澆築的工法要求與普通混凝土大致相同，澆築時應注意防止擾動已塗刷的環氧樹脂基液。平面澆築時須充分搗實，再用鏝刀反覆壓抹，側面及頂面澆築時須組立模板。

D.環氧樹脂材料的養護：

環氧樹脂砂漿的養護與水泥砂漿不同，最重要的是控制溫度，夏季施作時如果太陽直接照射，應設遮棚。冬季溫度太低，

則須保溫。一般養護溫度以 20℃±5℃為宜。在夏季，養護時間須 2 天，冬季則須 7 天以上。在養護期的前 3 天，應避免雨水浸泡或其他衝擊。

E.環氧樹脂材料施工注意事項：

(a)環氧樹脂材料每次的配製數量，應根據施工能力來決定，因為環氧樹脂加入硬化劑後，即開始起化學反應，故配製好的環氧樹脂材料的使用時間有一定的限制。

(b)已拌製好的環氧樹脂材料，必須分散堆放，以免提前硬化。配料時用的器皿宜廣口淺底，易於散熱，並不斷攪拌。

(c)塗抹、澆築和養護環氧樹脂材料時，必須進行嚴格溫度控制，以防溫度變化時對環氧材料的施工品質產生不良影響。

(d)環氧樹脂材料的組合成份，大都具有良好之揮發性，因此施工現場必須保持通風，避免有害氣體對人體產生不良影響。同時嚴格注意防火和勞工保護，操作人員須戴口罩和橡皮手套。人體與環氧材料接觸後，可用工業酒精、肥皂水與清水多次清洗。嚴禁使用有機溶劑清洗，以免有機溶劑將環氧材料稀釋，更易於滲入人體皮膚。

(e)施工用具用後可用丙酮、甲苯、二甲苯等溶劑清洗。若環氧材料已硬固黏結在工具上，可加熱刮掉，但不能燃燒，以免產生有毒煙氣，危害人體健康。

(f)在施工過程中，不可將用過的器具以及殘液隨便拋棄或投入河川溪流中，以免水質污染和發生中毒事故。

4.5 碼頭面版腐蝕劣化之一般維護法

目前棧橋式碼頭 R.C.底版及樑柱腐蝕損壞之修護，多採取將底版剝落處之混凝土或風化表面先行鑿除，鋼筋表面進行銹蝕除銹，斷裂

鋼筋處以新品鋼筋搭接後，再以 II 型水泥或含壓克力樹脂或樹脂石英砂及速凝劑等之混凝土材料，分層噴漿覆蓋處理之，通常每隔 3~5 年需再進行類似的修護工作。以下則分別就市場所提供的各種結構補強及構件破壞修護方式分別探討之。

4.5.1 碳纖維補強工法

碳纖維材料具有輕質、高強度、抗腐蝕、耐老化、耐久性好、物理性能穩定等諸多優點。抗拉強度是同等截面鋼材的 7-10 倍。用碳纖維材料修復補強混凝土結構是近年來業界普遍採用的新型工法，能與混凝土結構緊密貼合，利用碳纖維材料卓越的抗拉強度達到增強構件承載能力及剛度的目的。

這項技術具有施工簡便快捷、安全可靠、耐久性好，能適應各種複雜的結構外形，不影響原結構的外觀等諸多優點。已日益在混凝土結構修復補強工程中得到廣泛的應用。其材料特性包括如 ：抗拉強度高，是同等截面鋼材的 7-10 倍；重量輕，比重只有普通鋼材的 1/4；耐久性好，可阻抗化學腐蝕和惡劣環境、氣候變化的破壞；施工方便快捷、省力節時；適用範圍廣，混凝土構件、鋼結構、木結構均可進行補強。可大幅度提高構件的承載能力、抗震性能和耐久性能。

其使用上包括有：混凝土結構物、橋樑及建築物的梁、柱、面板補強。隧道、港灣設施、煙囪、倉庫、廠房的補強。受鹽害的混凝土、橋樑以及河川構造物的防護和補強。

4.5.2 低壓灌注補強工法

針對鋼筋混凝土構造物產生的各種龜裂現象和裂縫損壞，採用環氧樹脂低壓灌注材料修補工法，針對裂縫損壞做系統性的補強與補修，可以達到預期的強度，延長結構物的使用壽命。施工快捷方便，不需要大型機械作業，補強效果安全可靠。

材料之特點包括有如：採用慢速、低壓連續灌注，使樹脂確實注

入裂縫的細微部位；可以控制注入量，必要時可以補充樹脂；可根據裂縫大小、注入狀況的需要，調整壓力；注入量和注入情形可以目視觀察。其使用的範圍亦非常廣泛，包括前述各種混凝土構造及建築物之修護及補強均可發現其蹤跡。但最主要的破壞型式仍以裂縫之破壞型式修護最多。

4.5.3 鋼筋外露補修工法

鋼筋外露補修工法之應用中最為普遍的方式為，利用環氧樹脂與特殊骨材配合而成的輕質樹脂砂漿，利用噴漿或薄漿的方式分層披覆於裸露的鋼筋外面，逐層施工後則達到類似保護層的施作效果。一般使用於石材與混凝土包覆之鋼筋外露者，或垂直面、倒吊面難施工之處。此修護方法亦為目前較盛行應用於棧橋式碼面破壞之修護方法。

其特點包括如：質輕，比重小於 1 ；搖變性佳，垂直面、倒吊面施工容易；充填性佳，適用於多孔性材質，如混凝土、石材等；接著性、耐久性、施工性優異。在用途上亦甚為廣泛，包括了：混凝土板、梁、柱弱化欠損部位補修；天花板倒吊面鋼筋外露補；鋼板補強、碳纖補強施工前混凝土修補披覆等。

4.5.4 無收縮水泥灌漿工法

本工法針對大型高層建築逆打工法之柱頭灌漿、機械基礎灌漿、鋼結構底座灌漿、土木橋樑特殊部位之高強度填充材之灌注、鋼板補強之間隙填充，均能提供無收縮及發揮早強優越性能，高流動性可作到完全無空隙灌漿，為今日土木、建築、補強業界普遍採用之工法。

其特點包括有：流動性優越：以很小的 W/C(水灰比)即可獲得良好的流動性，可作到完全無空隙灌漿。 無泌水現象：不會產生空隙、泌水現象，使灌漿作業順暢。 不沈陷、不收縮：已被控制之膨脹性及長期安定之無收縮性，確保施工部位緊密貼合。早強性優越：具備優越早強性，經充分養護可在 1—3 日後安裝機器或後續工程。屬非金屬材料：屬水泥系灌漿材，無產生鏽蝕狀之變色。

4.5.5 面版修護之施工程序

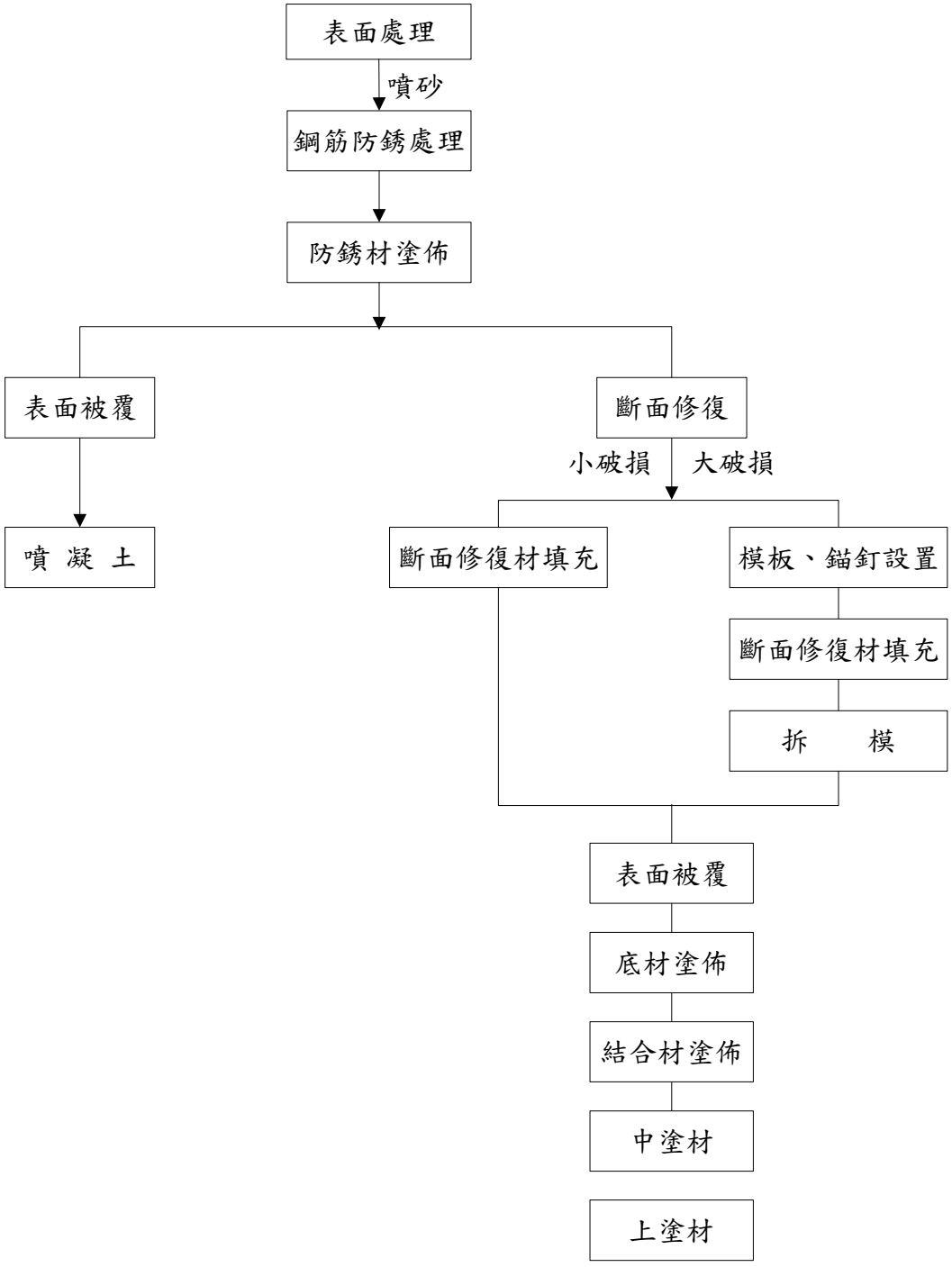


圖 4.25 一般面版修護之施工程序圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

附錄 四

期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查委員	審查意見	處理情形
1.中央大學李釗教授	1.本計劃以生命週期的架構和方法出發，整合三個子計畫：(1)台灣地區商港及漁設施現況調查，(2)棧橋式碼頭面板腐蝕劣損與維護之研究，(3)構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究。藉對研究標的做現況調查，利用專業的技術建立分析指標，並與生命週期的架構結合，作法上符合計畫主題的精神，三個子計畫內容有橫向的關連性，各子計畫的研究方法適切，且均獲致相當的結論，值得嘉許。	感謝委員指教與肯定。
	2.參考文獻可在各章節文字敘述的過程中註記。	遵照辦理。
	3.第三章和第五章結束時有獨立做小結，因此建議在第四章結束時亦做適當的小結。第四章使用的整體結構安全評估指標，即其相關分析方法應為被接受的合理方法，並註明參考文獻出處，若所使用的方法為尚在發展為被驗證的方法，亦應清楚的說明此方法尚待驗證，分析結果僅供參考，以免造成誤導。	遵照辦理。

	4. 建議在報告最後能加一段內容，討論三個子計畫的研究結果與生命週期架構的關係和意義，以將三個子計畫的成果和總計劃的主題緊密結合。建議在報告最後能加一段內容，討論三個子計畫的研究結果與生命週期架構的關係和意義，以將三個子計畫的成果和總計劃的主題緊密結合。	遵照辦理。
	5. 棧橋式碼頭易腐蝕維修較頻繁，建議貴單位在日後能分別研究在新建和在維護棧橋式碼頭時，對材料新工法應有何要求，以增加其耐久性減少維修頻率。	遵照辦理。
	6. 建議在 1.1 節中，討論各種管理策略前，先定義功能指數 df 何干擾時間 T。	遵照辦理。
2. 高雄應用科大郭文田教授	1. 本研究內容豐富、充實及多元，值得肯定。	感謝委員指教與肯定。
	2. 文內部份繕打錯誤、誤植或表序、圖序不正確處，請重新審視並於定稿時修正。	遵照辦理。
	3. 參考文獻格式宜統一，並確實引入文中。	遵照辦理。
	4. 建議子計畫一可在小結前，先針對本年度調查各港結果作一表列，以利閱讀及說明整體工作內容。	遵照辦理。
	5. 子計畫二港灣結構安全檢測評估內容似乎不完整，建議應依子計畫一小結方式加強陳述。	遵照辦理。

	6. 子計畫三之試驗結論，建議亦作一表列，以利閱讀及說明試驗分析與成果。	遵照辦理。
3. 清雲科技大學許書王技正	1. 本研究成果，內容極為豐碩，包括港灣構造物安全檢測評估、大氣腐蝕因子調查與試驗等，均可提供相關主管機關作為維護管理或選用材料之參考依據，值得肯定。	感謝委員指教與肯定。
	2. 有關研究主題「…生命週期與…」，就構造物生命週期而言，包括規劃建造、營運管理…等，建議本研究可針對營運管理之維護管理部份進行探討，先就主題作概要說明後，再界訂研究範圍。	感謝委員指教，將遵照參酌辦理。
	3. 子計畫一各碼頭檢測成果有良好、需維修等，建議可將各碼頭之檢測項目與成果作一表列，可利閱讀及應用。	遵照辦理。
	4. 本計劃進行過程中，相關研究紀錄、審查意見，建議可加附於附錄內，將可利於後續相關研究參考。	感謝委員指教，將遵照參酌辦理。
	5. 本計劃各子計畫完成後，建議可彙整各子計劃研究主題，並考量其關聯性作成結論，將可增加研究成果之效益。	感謝委員指教，將遵照參酌辦理。
4. 高雄海洋科技大學戴輝煌教授	1. 本計劃第一章之生命週期維護管理定義，建議應加強說明(p.1-3 ～ p.1-8)。	遵照辦理。
	2. 請加強說明 p.1-3 維護等級(1)~(4)與生命週期之關係。	遵照辦理。
	3. p.1-6 ～ p.1-7 之圖 1.2 與圖 1.3，圖示內無 T1~T4，亦找不到 df1~df4，請說明之。	遵照辦理，已於報告第一章中說明。

	4. p.1-12 為生命週期管理流程之五個步驟，不是定義。並請說明 P.1-19 內容與本計劃內容相關性。	感謝委員指教，將遵照參酌辦理。
	5. 請說明本計劃如何執行成效評估。	
	6. 本計劃報告執行內容，並無與 p.1-12「序選分析、策略規劃、執行驗校」等三大部分之相關探討，請說明。（是否此本為一連串的計畫之其中一部份？）。	感謝委員指教，將遵照參酌辦理。

附錄五

期末報告簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

港灣構造物生命週期與維護之研究(2/2)

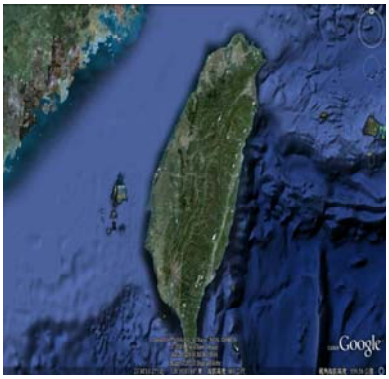
99年自辦研究計劃成果簡報

計劃主持人：陳桂清
研 究 人員：柯正龍、張道光
羅建明

報 告 人：柯正龍
中華民國100年3月2日

緒 論(1/2)

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



緒　論(2/2)

本年度為執行之第二年，計執行三個子計畫

子計畫一：臺灣地區商港及漁港設施現況調查

以基隆港、臺中港、高雄港及4個一等漁港之碼頭現況為調查重點

子計畫二：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護

以高雄港118號棧橋式碼頭為對象(與中山大學合作研究)

子計畫三：構造物腐蝕環境分? 之潛勢分析研究

(與財團法人工業技術研究院合作研究)

3

子計劃一：臺灣地區商港及漁港設施現況調查

簡報內容

一、前言

二、D.E.R.評估法

三、碼頭現況調查

四、結論

4

一、前 言

二、 D.E.R.評估法

代號	評定標準
損壞程度 D值 (Degree)	0：檢測項目不存在　　1：良好 2：尚可　3：差　4：嚴重損壞 5：檢測項目無法判定
損壞範圍 E值 (Extend)	以構件破壞數與受測構件數的百分比，或破壞面積與受測面積的百分比為參考，依其所座落範圍訂出“1“到“5“的等級，以百分比乘以十後，捨棄小數點為E 值，大於五之值均以5填入表格
重要性指標 R值 (Relevancy)	R 值為重要性指數，亦可視為各檢測項目中之權值，其值之決定則有賴經驗及訓練

❖初步檢測劣化評估值

初步檢測危險度指標

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

D.E.R 初步檢測結果判定分類

等級	指數	判定結果
第一級	$0 \leq ID_1 < 2$	安全無虞、無須進行細部檢測或增加檢測頻率
第二級	$2 \leq ID_1 < 4$	安全無虞、無須進行細部檢測但必須增加檢測頻率
第三級	$ID \geq 4$	非主體結構之 $ID \geq 4$， 其他主結構體之 $ID < 4$ 功能堪虞、需立即性維修或進行第二階段之細部檢測

D.E.R初步檢測碼頭設施重點

主體結構檢測項目	劣化現象	附屬設施檢測項目	劣化現象
碼頭壁體	傾斜、破損、混凝土剝離龜裂	護舷材	開裂、材質劣化
碼頭法線	變形、扭曲	繫船柱	破損、變形
碼頭面版	龜裂、沈陷、材質劣化	擋車墻	破損、變形
混凝土強度	劣化、不足	排水、給水設備	破壞、斷裂
保護層厚度	厚度不足	照明設施	破　壞
鋼筋腐蝕檢視	鋼筋腐蝕	油電管路	破　壞
鋼版腐蝕檢測	腐蝕部位及現象		
岸肩伸縮縫	變形、破壞		

建立細部檢測評估表

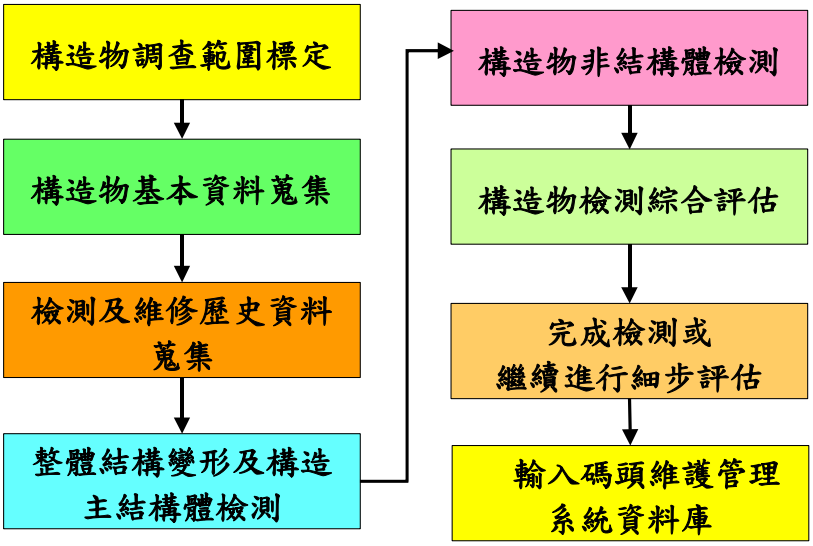
D.E.R.值

***ID* (危險度指標)**

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

三、碼頭現況調查

3.1 研究方法及進行步驟



碼頭現況調查範圍

年度	港區位置	碼頭編號及型式
98	臺中港	8A及9號至11號碼頭（R.C.基樁棧橋式）
	蘇澳港	10-12號碼頭（R.C.基樁棧橋式）
	高雄港	71號（R.C.基樁棧橋式）
	一等漁港	基隆市正濱漁港　八斗子漁港 宜蘭縣烏石漁港　南方澳漁港
99	臺中港	西3號碼頭（R.C.基樁棧橋式）
	基隆港	西14至西18號碼頭（R.C.基樁棧橋式） 東2至東7號碼頭（板樁式）
	高雄港	54至58號碼頭（板樁式）
	一等漁港	新竹市新竹漁港　台中縣梧棲漁港 高雄市前鎮漁港　屏東縣東港鹽埔漁港

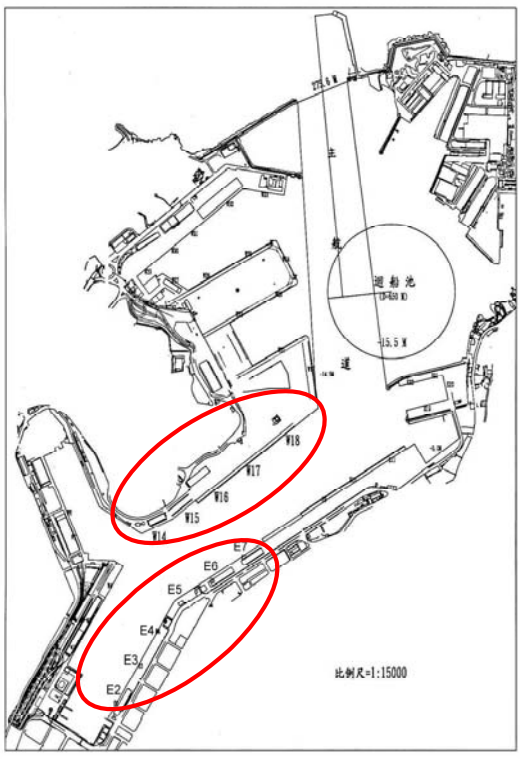
碼頭基本資料(1/2)

港口	碼頭編號	長度(m)	寬度(m)	水深(m)	用途	說　明
基隆	西14	172.4	12.4	-9.0	散雜貨	
	西15	148.4	12.4	-9.0	散雜貨	
	西16	156.5	34.0	-13.0	貨櫃	
	西17	207.0	34.0	-13.0	貨櫃	
	西18	215.5	34.0	-13.0	貨櫃	
	東2	200		-9.0	客運	YSP Z-38鋼板樁
	東3	170		-9.0	散雜貨	YSP Z-38鋼板樁
	東4	180		-9.0	散雜貨	YSP Z-38鋼板樁
	東5	260		-9.0	軍用	YSP Z-38鋼板樁
	東6	180		-9.0	散雜貨	YSP Z-38鋼板樁
	東7	178		-9.0	散雜貨	YSP Z-38鋼板樁

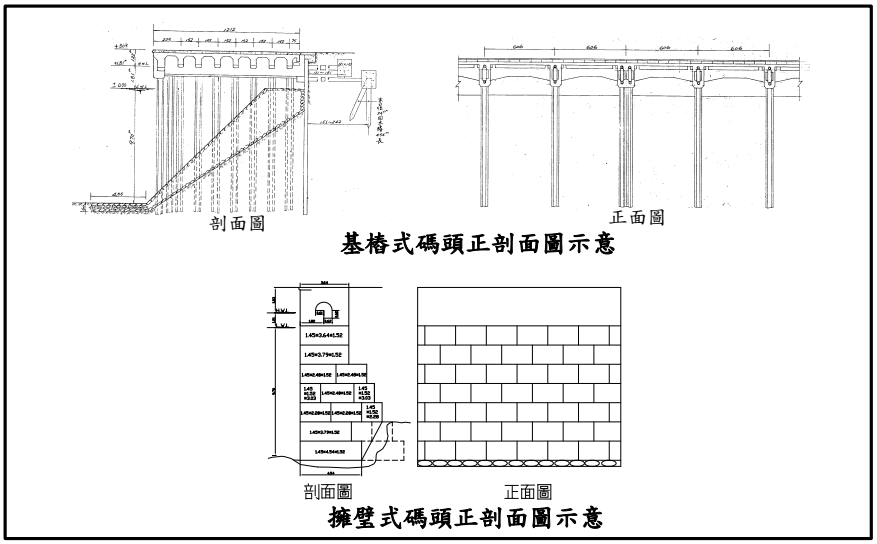
碼頭基本資料(2/2)

港口	碼頭編號	長度(m)	寬度(m)	水深(m)	用途	說　明
臺中	西3	250	20	-13.0	油品	
高雄	54	200	20	-10.5	散雜貨	YSP IV_AU型鋼板樁
	55	200	20	-10.5	散雜貨	YSP IV_AU型鋼板樁
	56	200	20	-10.5	散雜貨	YSP IV_AU型鋼板樁
	57	200	20	-10.5	散雜貨	YSP IV_AU型鋼板樁
	58	175	20	-9.0	化學品	Type C Z鋼板樁

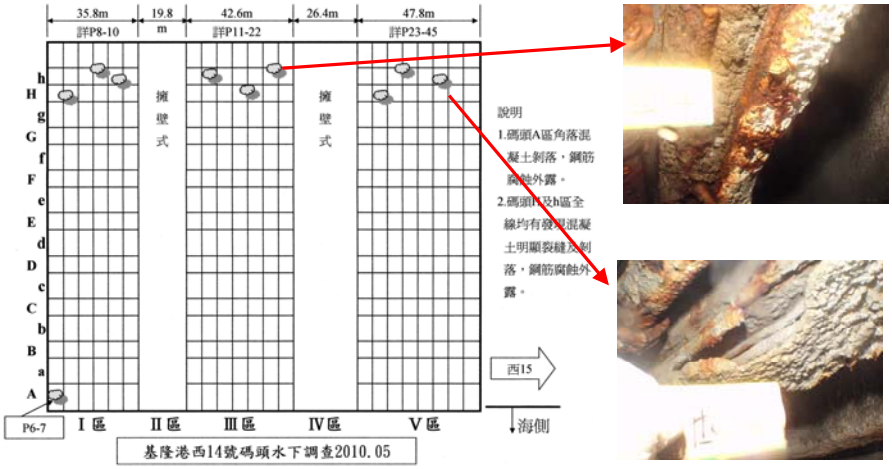
3.2 調查結果



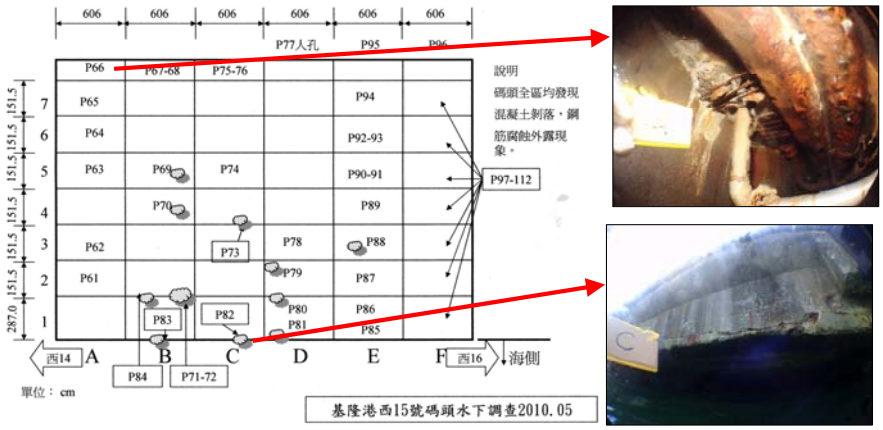
基隆港東2-東7及西14-西18號碼頭位置示意圖



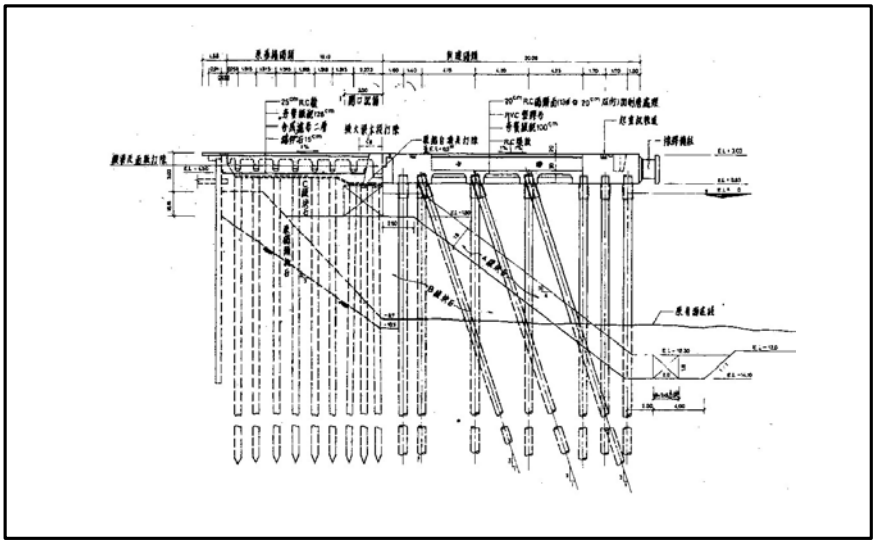
基隆港 西14-西15號碼頭結構型式示意圖



基隆港西14號碼頭面版底部目視檢測結果



基隆港西15號碼頭面版底部目視檢測結果



基隆港 西16-西18 號碼頭結構型式示意圖

碼頭上部現況

碼頭貨櫃起重機軌道現況

西16號碼頭

碼頭上部面版現況

西17號碼頭

碼頭上部面版現況

西18號碼頭

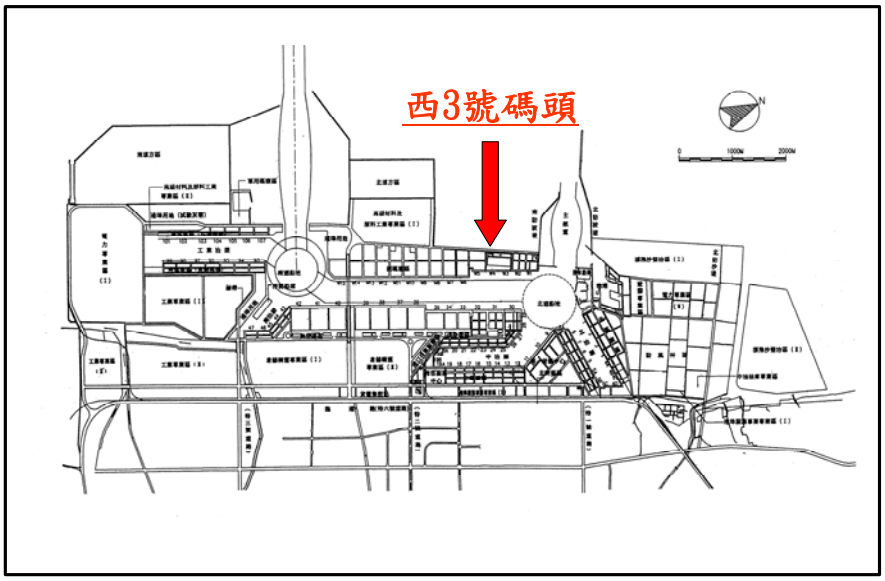
基隆港 西16-西18 號碼頭現況

西16號碼頭

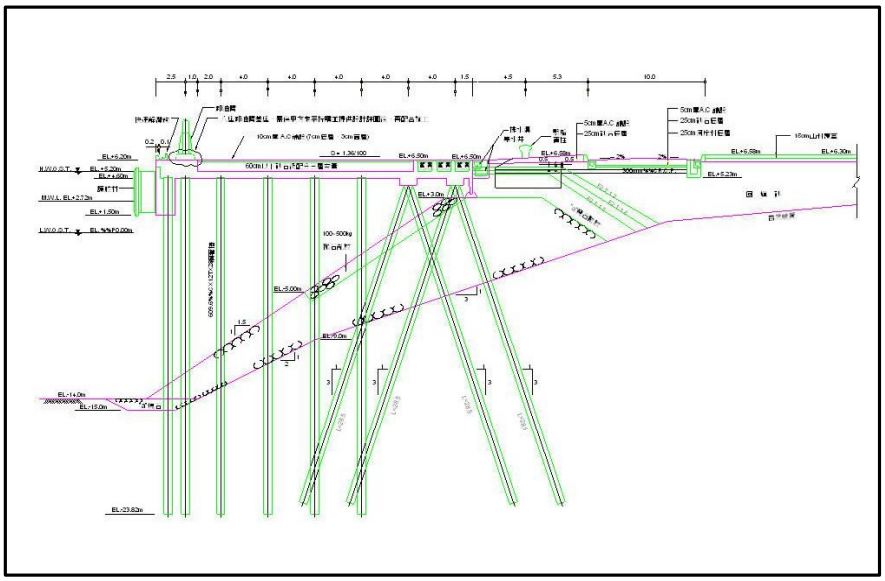
西17號碼頭

西18號碼頭

基隆港 西16-西18 號碼頭新舊交接處調查照片



臺中港西3號碼頭位置圖



台中港西3號碼頭結構型式示意圖

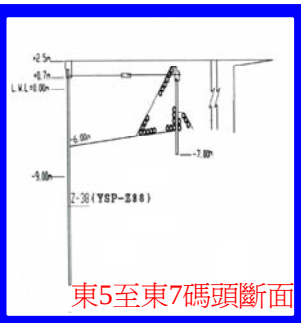
臺中港西3號碼頭上部結構檢測項目相關照片

D.E.R. 評估結果

調查位置 / 評估值	基隆港					臺中港
	西14碼頭	西15碼頭	西16碼頭	西17碼頭	西18碼頭	西 3 碼頭
主體結構破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
附屬設施破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
整體破壞評估	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8

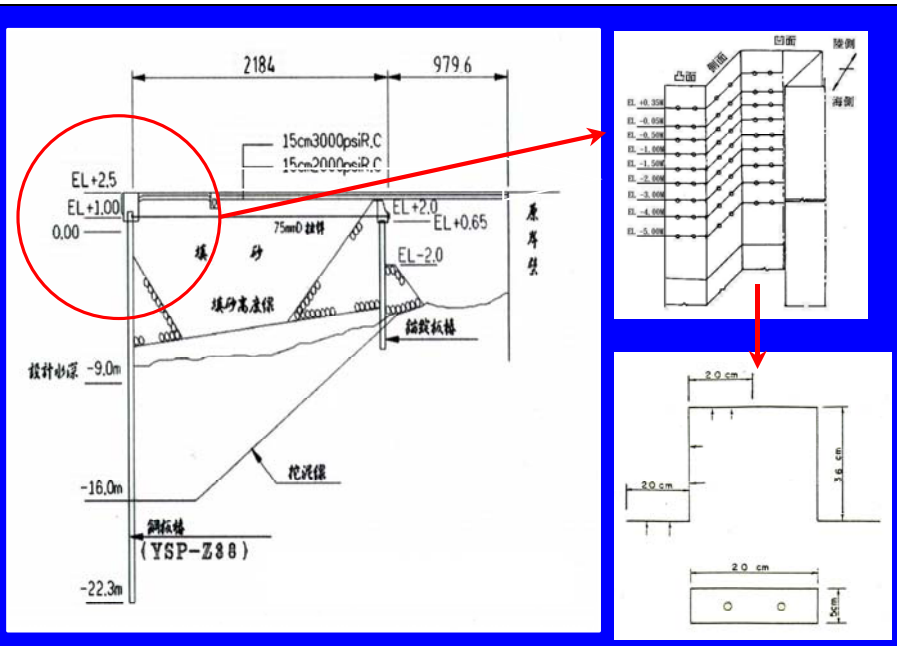
鋼板樁調查結果

東2至東4碼頭斷面



東5至東7碼頭斷面

基隆港基隆港東2至東7碼頭斷面



基隆港東2-東7號碼頭 Z型鋼板樁檢測位置示意圖

29

基隆港鋼板樁腐蝕速率檢測(單位 mm/yr)

水深(m)	東2			東3			東4			東5			東6			東7		
	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+0.35	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.11	0.11	0.11	0.09	0.09	0.09	0.13	0.13	0.13
-0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
-0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09
-1.00	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.13	0.13	0.13
-1.50	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
-2.00	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.10	0.10	0.10
-4.00	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
-6.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09	0.06	0.06	0.06

30

基隆港東2-東7號碼頭鋼板樁保護電位（單位 mV）

位置	鋼板樁保護電位
東2碼頭	-994 ～ -892
東3碼頭	-1012 ～ -875
東4碼頭	-937～ -844
東5碼頭	-983 ～ -865
東6碼頭	-972 ～ -892
東7碼頭	-972 ～ -892

保護電位均小於–780 mV，達保護鋼板樁之目的。

31

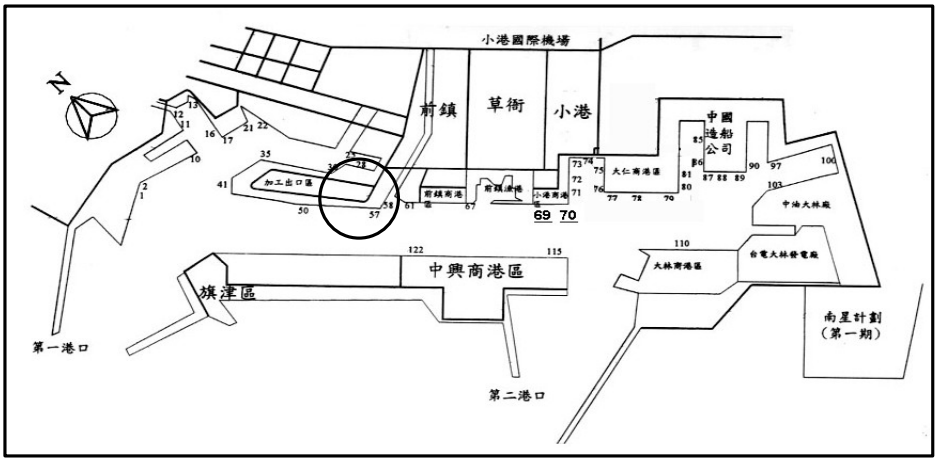
基隆港東2-東7號碼頭陽極塊調查

陽極塊發生電位量測（mV）

位置	海生物清除前			海生物清除後		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
東2碼頭	-971	-975	-981	-979	-982	-987
東3碼頭	-970	-970	-983	-979	-979	-1006
東4碼頭	-953	-959	-957	-963	-966	-973
東5碼頭	-965	-967	-971	-964	-968	-975
東6碼頭	-978	-978	-977	-976	-975	-973
東7碼頭	-909	-908	-913	-923	-919	-924

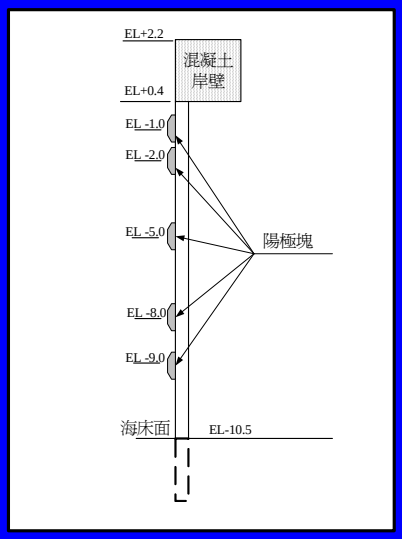
陽極塊發生電位均小於–780 mV，達保護鋼板樁之目的。

32

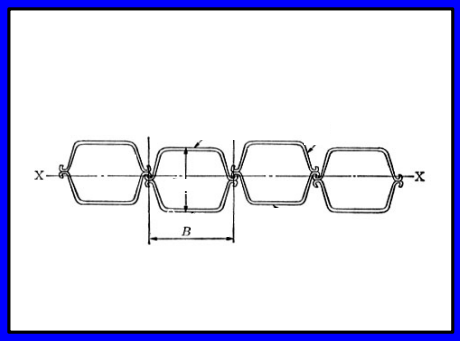


高雄港54-58號碼頭位置圖

33



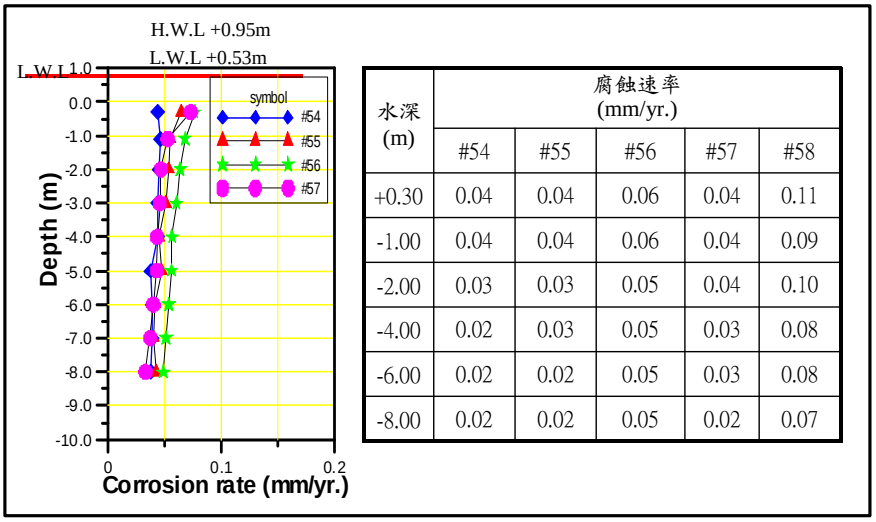
高雄港54-58號碼頭結構斷面



FSP IVA U型鋼板樁BOX型式

34

高雄港54-58號碼頭鋼板樁之腐蝕速率



水深 (m)	腐蝕速率 (mm/yr.)				
	#54	#55	#56	#57	#58
+0.30	0.04	0.04	0.06	0.04	0.11
-1.00	0.04	0.04	0.06	0.04	0.09
-2.00	0.03	0.03	0.05	0.04	0.10
-4.00	0.02	0.03	0.05	0.03	0.08
-6.00	0.02	0.02	0.05	0.03	0.08
-8.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.07

35

高雄港54-58號碼頭鋼板樁保護電位（單位 mV）

位置	鋼板樁保護電位
54碼頭	-1012 ～ -933
55碼頭	-925 ～ -892
56碼頭	-1010～ -903
57碼頭	-912 ～ -880
58碼頭	-900 ～ -839

鋼板樁保護電位均小於–780 mV，達保護鋼板樁之目的。

36

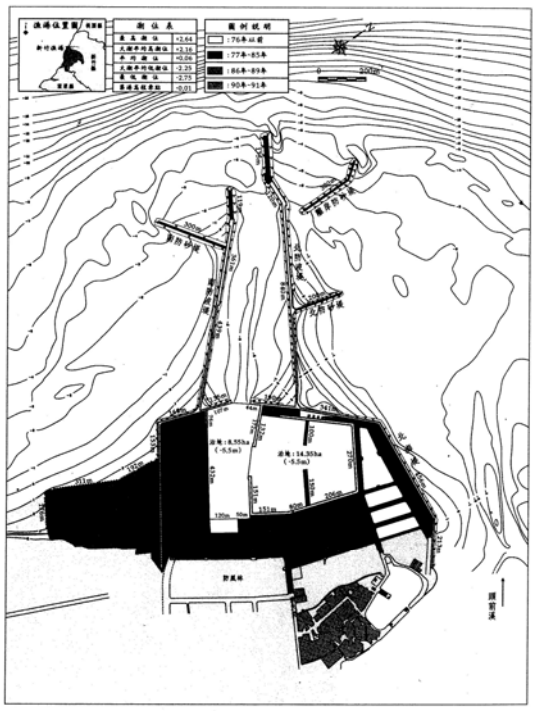
高雄港54-58號碼頭陽極塊調查

陽極塊發生電位量測（單位 mV）

位置	海生物清除前			海生物清除後		
	上	中	下	上	中	下
54碼頭	-1009	-1011	-1011	-1015	-1017	-1017
55碼頭	-929	-930	-933	-935	-936	-941
56碼頭	-924	-926	-931	-932	-936	-943
57碼頭	-913	-915	-916	-920	-922	-924
58碼頭	-914	-918	-922	-922	-930	-932

陽極塊發生電位均小於–780 mV，達保護鋼板樁之目的。

37



新竹漁港

38

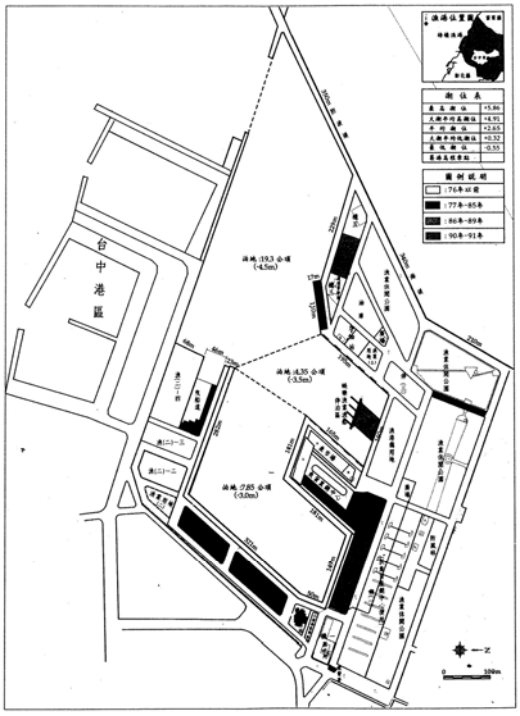
新竹漁港現有碼頭設施

設施名稱		數量
碼頭	水深-5.5m（低潮-3.0 m）	2372 m
泊區	水深-5.5m（低潮-3.0 m）	22.9公頃

碼頭岸壁損壞情形

碼頭上部情形

梧棲漁港



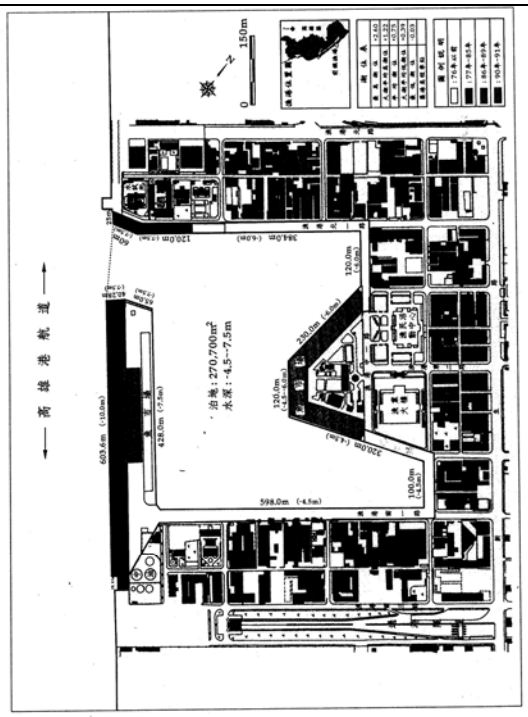
梧棲漁港現有碼頭設施

設施名稱		數量
碼頭	水深-3.0m	1124 m
	水深-3.5m	360 m
	水深-4.5m	110 m
	浮動碼頭	79 m
	小計	1673 m
泊地		26.10公頃

鋼構造物腐蝕情形

修船廠旁碼頭面版腐蝕劣化情形

前鎮漁港

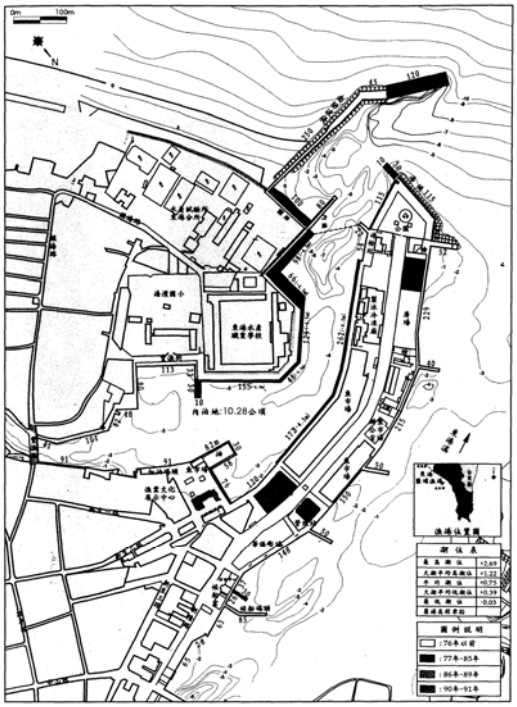


前鎮漁港現有碼頭設施

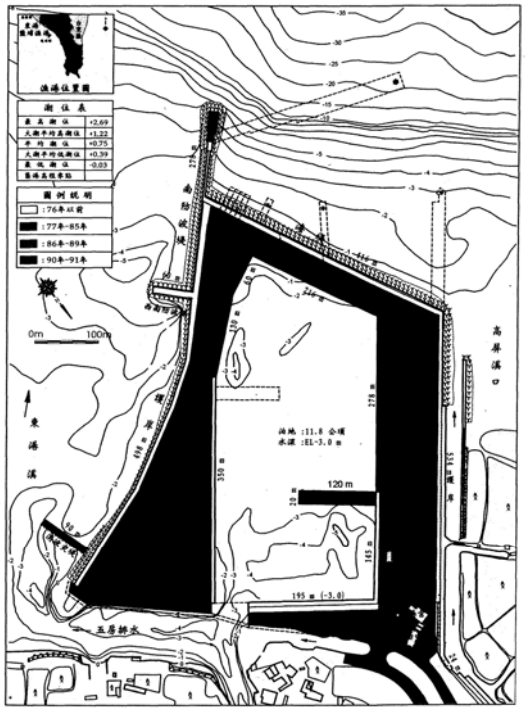
設施名稱		數量
碼頭	水深-4.5m	1058 m
	水深-6.0m	814 m
	水深-7.5m	713 m
	水深-10.0m	604 m
	小計	3189 m
泊地	水深-4.5～-7.5m	27.07公頃

碼頭上部情形1

西碼頭上部情形2



東港漁港



鹽埔漁港

45

東港漁港現有碼頭設施

設施名稱		數量
碼頭	水深 -4.0 m	1307 m
	水深 -4.5 m	703 m
	水深 -5.0 m	290 m
	小計	2300 m

碼頭上部現況

南防波堤上部現況

46

子計劃一臺灣地區商港及漁港設施現況調查

鹽埔漁港現有碼頭設施

設施名稱		數量
碼頭	水深 -4.0 m	1307 m
	水深 -4.5 m	703 m
	水深 -5.0 m	290 m
	小計	2300 m

碼頭上部現況

南防波堤上部現況

3.4 後續研究項目

- 資料庫表單內容增修
- D.E.R. 評估法判定數值檢討
- 資料庫決策功能增修
- 新評估方法研究
- 重大災害緊急維修警示功能
- 其他相關研究(修補材料，工法，規範.....)
- 港灣生態研究(節能減碳綠色港埠)

四、結論(1/3)

- 本年度調查碼頭，應用目視檢測及簡單儀器由陸上以D.E.R.法進行評估，碼頭主整體結構評估指數（ID_1）均小於2.0，顯示功能完整安全無虞，但無法判斷水面下狀況，因此，D.E.R.法確實檢測出臺中港西3碼頭及基隆港西14-西15號碼頭水面下情形，值得繼續探討改進。

- 檢測結果雖均為整體結構安全無虞，惟各碼頭使用時間均已超過20年，部份甚至超出50年，為確保碼頭營運安全，建議必需加強平時巡查頻率，確保營運正常。

四、結論(2/3)

- 棧橋式碼頭其劣損位置常出現於面版底部及梁，劣損情形並無法依初步檢測項目中直接發現，故建議應定期派遣潛水人員，以目視近距離觀察面版底部及梁或基樁之鋼筋混凝土是否發生混凝土剝落或內部鋼筋銹蝕，以維護碼頭構造安全。

- 本年度調查之鋼板樁碼頭，其腐蝕速率均小於設計允許值，鋼板樁保護電位及陽極塊發生電位良側結果，亦顯示鋼板樁處於受保護狀態。

四、結論(3/3)

- 由於漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於10公尺，加上碼頭荷載甚小(<1t/㎡)靠泊船隻噸數多小於100噸，推估應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖建造時間超過40年，仍為堪用狀態。

- 由歷年記錄顯示，漁港維護仍以泊地及水深浚挖為主，故可暫不應用D.E.R法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。

子計畫二

構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究(2/2)

合作研究單位:
財團法人工業技術研究院

報 告 人：柯正龍
中華民國100年3月2日

1

計畫背景分析

- 本中心於2007年起開始進行兩年期之「台灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」，已初步完成大氣腐蝕之試驗站(點)及建立部份大氣環境腐蝕因子資料庫。
- 2009年起，本計畫承續過去已建置的試驗位址，在腐蝕嚴重的鹽害區、工業區以及腐蝕較輕微的鄉村區3處，規劃為期10年的現地暴露試驗，進行碳鋼、鋅、銅、鋁金屬的腐蝕速率調查。
- 上年度已依據國際標準組織ISO 12944規範，研擬有機塗裝防蝕規範草案。本年度除將持續進行現地試驗外，並依據ISO 2063、ISO 14922與NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00規範，研擬無機塗裝熔射防蝕規範草案，同時檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之完整性，期能供鋼構造物耐久性與防蝕設計之須求與使用。

註：依據CNS14513-腐蝕及腐蝕試驗詞彙規範， Thermal Spray中譯為「熱噴覆」而非工程界常使用之「熔射」一詞。

2

構造物腐蝕環境分類之潛勢分析研究(1/2)
研究成果

現地金屬暴露試驗

選擇足以代表本島不同腐蝕環境之區域，如腐蝕嚴重的鹽害區、工業區，以及腐蝕較輕微的鄉村區(對照組)等3處。鹽害區原選定為台中火力電廠，但於2009年6月24日因試片遺失更改至港灣技術研究中心(梧棲)設置，工業區選擇兼具鹽害影響的麥寮工業區，而鄉村區則為溪頭森林區，分別進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種屬板狀試片現地金屬暴露試驗。

板狀試片暴露一年期
各金屬之腐蝕速率與腐蝕環境分類

腐蝕地點	碳鋼			鋅			鋁			銅		
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (g/m²/yr)	ISO 9223腐蝕性分類
台中火力電廠/港研中心	107.19	105.32	C5	8.87	9.03	C5+	3.63	3.57	C5	4.73	7.43	C5
	103.75			10.13			3.63			8.44		
	105.00			8.90			3.45			9.11		
麥寮工業區	72.39	75.01	C4	4.69	4.91	C5	5.39	5.55	C5	8.29	7.96	C5
	72.71			5.18			5.36			7.96		
	79.93			4.87			5.90			7.63		
溪頭森林區	15.38	14.72	C2	1.56	1.76	C3	1.18	1.16	C3	2.66	3.88	C4
	14.04			1.89			1.07			3.33		
	14.73			1.83			1.23			5.66		

有機塗裝防蝕規範草案研擬

依據國際標準組織ISO 12944規範，研擬塗裝防蝕規範草案。ISO 12944共有8個部分，如下：

第一部分 總則
第二部分 環境分類
第三部分 設計考量
第四部分 表面類型及表面處理
第五部分 保護塗料系統
第六部分 實驗室性能測試方法
第七部分 塗裝工程的施作與管理
第八部分 新建與維護作業說明書之制定

5

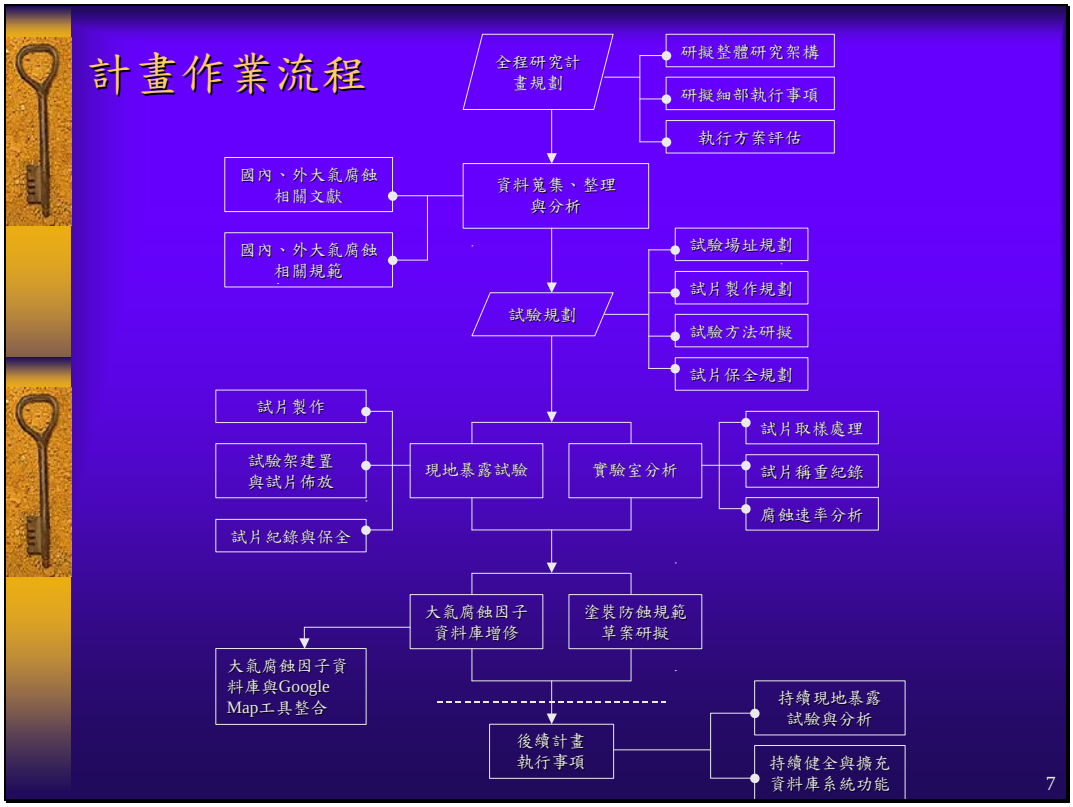
本年度計畫研究範圍與對象

本計畫為期兩年，本年度主要工作項目：

- 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。
- 持續現地金屬試片暴露試驗。
- 資料蒐集與分析。
- 大氣腐蝕因子資料庫增修。
- 無機塗裝防蝕規範草案研擬。
- 港灣構造物陰極防蝕準則草案增修 。

6

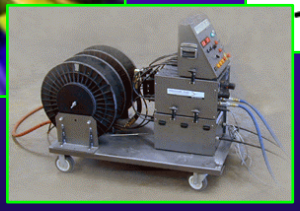
計畫作業流程

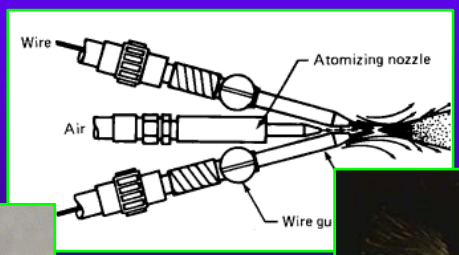


7

金屬熔射

- 金屬熔射是利用不同的熱源，如火燄、電弧或電漿等，將金屬粉末、線材或棒材熔融，再以熱源本身的速度或高壓空氣將熔融金屬加速，撞擊至基材表面凝固而形成保護膜。基材的種類可以為金屬、混凝土、陶瓷、塑膠、複合材料或高分子材料等。





電弧常溫金屬熔射

8

鋅、鋁熔射於鋼鐵結構之防蝕機理

- 鋅熔射– 鋅的電化學活性較高，在鋼材表面形成犧牲陽極，當腐蝕進行時，披覆在鋼材上的鋅會先腐蝕以保護基材，即所謂之陰極保護。
- 鋁熔射– 鋁熔射層的防蝕性來自於鋁表面所形成緻密的氧化膜，此氧化膜可以阻絕腐蝕因子的侵入，而達到長期防蝕的效果。
- 鋅鋁熔射– 鋅鋁熔射層兼具鋅熔射層與鋁熔射層的優點，即不僅鋅形成犧牲陽極以保護基材，並且鋁可形成氧化膜，阻絕腐蝕因子的入侵。

9

無機塗裝防蝕規範草案研擬

- NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00:2003 , Specification for the Application of Thermal SprayCoatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, andTheir Alloys and Composites for the CorrosionProtection of Steel
- ISO 2063:2005, Thermal spraying- Metallic and other inorganic coatings- Zinc, aluminum and their alloys
- ISO 14922-1:1999, Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 1: Guidance for selection and use
- ISO 14922-2:1999, Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 2: Comprehensive quality requirements
- ISO 14922-3:1999, Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 3: Standard quality requirements
- ISO 14922-4:1999, Thermal spraying- Quality requirements of thermally sprayed structures- Part 4: Elementary quality requirements

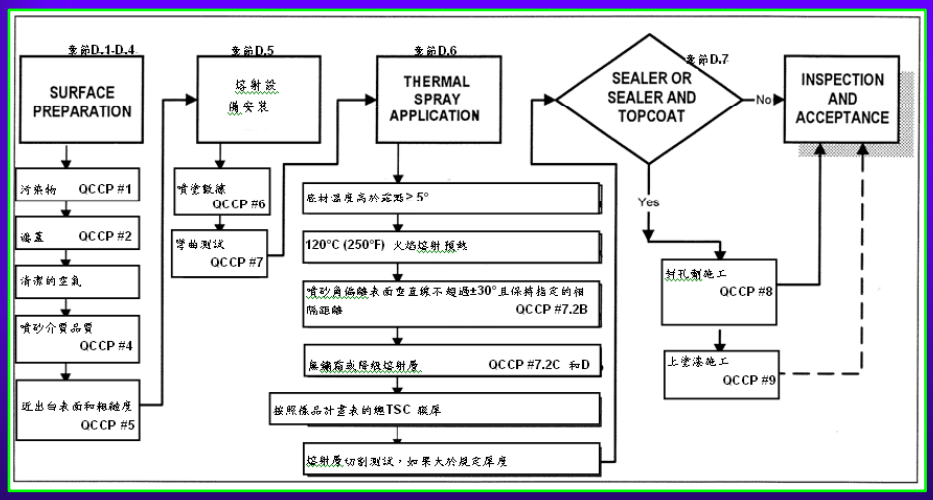
10

NACE No. 12 / AWS C2.23M / SSPC-CS 23.00

- General
- Referenced Documents
- Definitions
- Summary of Practice
- Surface Finish Requirements
- TSC Requirements
- TSC Application Procedure
- TSC Application
- Application of Sealers and Topcoats
- Records
- Debris Containment and Control
- Work Procedures and Safety
- Documentation
- Contract Pre-Award Evaluation, Demonstration, and Validation
- TSC Applicator Warranty

11

NACE No. 12 / AWS C2.23M / SSPC-CS 23.00

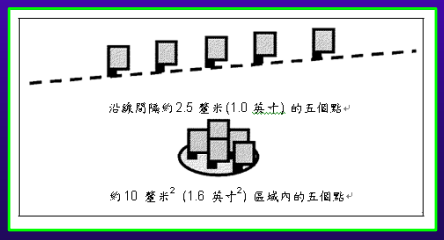


施工熔射的生產重點和品質控制檢查點 **(QCCPs)**

12

NACE No. 12 / AWS C2.23M / SSPC-CS 23.00

- 熱噴覆層膜厚量測
  - 膜厚量測計畫表：熱噴覆施作面積的每 10-20m^2 (100-200 ft ^{2}) 必須進行 一次直線檢查或區域量測。
  - 對於平坦的表面使用直線檢查，在檢查範圍內(10-20 m^2)畫一條5 inch的直線，然後在此直線上每隔1 inch量測膜厚，共測5點，若其中有一點的膜厚未達要求標準，則該區域為不合格。
  - 對於複雜的幾何構件和幾何過渡構件，應使用測量區域，測量區域的面積約為 10 mm^2 (1.6 ft^2) 。在此區域內量測5點，若其中有一點的膜厚未達要求標準，則該區域為不合格。



13

NACE No. 12 / AWS C2.23M / SSPC-CS 23.00

- 熱噴覆層最小附著力之要求

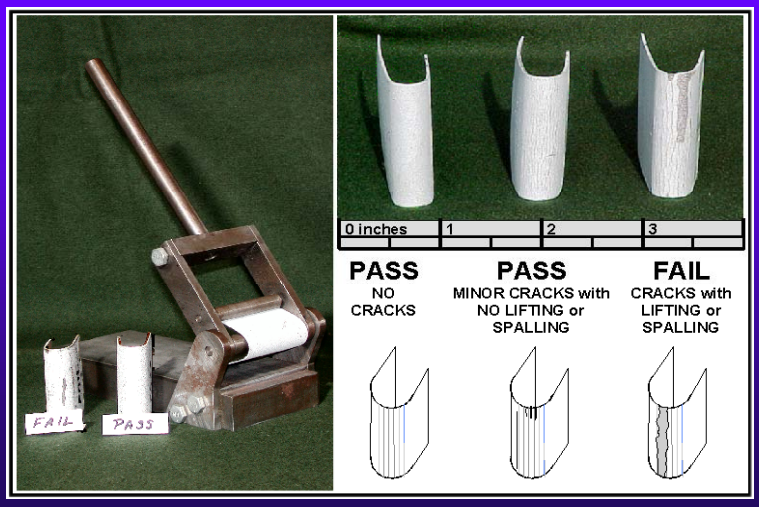
熱噴覆層	MPa (psi)
鋅	3.45 (500)
鋁	6.89 (1,000)
85/15 鋅/鋁	4.83 (700)
90/10 氧化鋁 MMC	6.89 (1,000)

(依照 ASTM D4541測定)

14

NACE No. 12 / AWS C2.23M / SSPC-CS 23.00

- 熱噴覆層彎曲測試



15

ISO 2063

熱噴覆-金屬與其他無機塗裝-鋅、鋁及其合金

- 熱噴覆金屬層是將金屬加熱至熔融狀態，同時利用空氣將其噴塗至已處理過的表面而形成的塗層。
- 本標準適用於熱噴覆金屬層於鋼鐵上的腐蝕防治。金屬層係利用鋅、鋁或其合金熱噴覆於無任何塗裝之鋼鐵表面並予以保護。
- 本標準首先說明熱噴覆層的定義、分類與符號，然後說明鋼鐵表面前處理的方法，再敘述熱噴覆施作後熱噴覆層的特性(也就是熱噴覆層的厚度、外觀與附著性)，最後說明測試方法以檢驗熱噴覆層是否合於要求。
- 至於其他金屬熱噴覆層的規定可由買賣雙方協議之。

16

ISO 2063-熱噴覆金屬層分類

熔射材料 (EN ISO 14919)	最小膜厚(μm)[a] 50[b]	100	150	200	250	300[c]
Zn99.99						
Al 99.5						
AlMg5						
ZnAl15						

本分類提供一系列鋅、鋁及鋅鋁合金之膜厚值。數字值中間的厚度，可經買賣雙方協議之。每一熔射層的組成符號應符合 EN ISO 14919 之符號，並於後方附加最小膜厚值[d]。

a.依照 EN ISO 2064 標準。

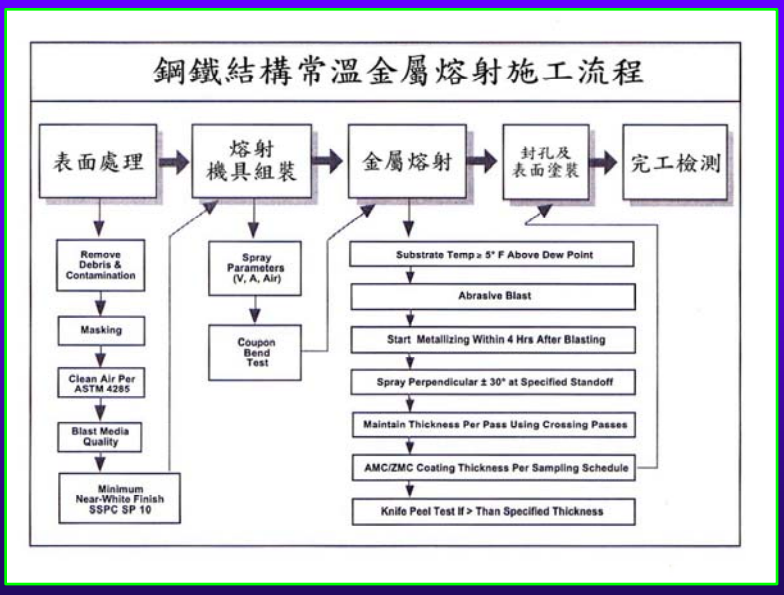
b.膜厚要求是買賣雙方的協議。特別是熔射膜厚的均一性、油漆或封孔劑的使用與否和測試方法。

c.買賣雙方可特別協議之，允許符合本標準的更大的最小膜厚。

d.規定熔射合金塗層時，化學符號表示應參照 EN ISO 14919 標準並於後方加註最小膜厚。例如，熔射 120μm 的 Zn-15%Al 合金塗層，應被標示為(EN ISO 14919 ZnAl15) 120，括號( )是標註合金的必要表示。

17

ISO 2063-鋼鐵結構熱噴覆施工流程



18

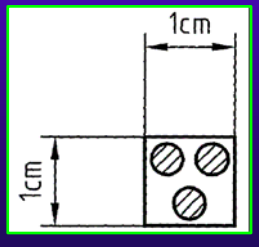
ISO 2063-熱噴覆施工

- 熱噴覆前基材之表面處理：基材表面應完全地清潔和利用適當的噴砂顆礫進行噴砂使其表面粗糙。噴砂應持續進行直至基材表面呈金屬外貌與均勻組織，並符合EN ISO 8501-1 Sa3等級。
- 熱噴覆層金屬材料：熱噴覆使用材料如鋅或鋅合金、鋁或鋁合金須遵守ISO 14919標準。
- 熱噴覆：開始熱噴覆時應確保金屬表面仍然清潔、乾燥且無氧化的情形。噴砂後須在短時間內進行熱噴覆施工，視當地情況一般最好在4小時內施工。
- 封孔：封孔處理的目的是要減少熱噴覆層的孔隙。在正常暴露的環境下，由金屬熱噴覆層氧化所產生不溶解的氧化物、氫氧化物和/或鹽類均可達到自然封孔的目的。封孔處理亦可利用人工方式，即使用金屬熱噴覆層表面化學轉化方法(如磷酸鹽處理、反應性油漆等)或採用適當的封孔劑來封住孔隙。封孔劑應在熱噴覆層吸附任何濕氣或水氣前施作。
- 塗裝：封孔後熱噴覆表面再施作油漆塗裝的目的為美觀考量或企圖延長保護壽命。有關鋼結構腐蝕防治的油漆塗裝系統應符合ISO 12944-5:1998中表A.10的規定。

19

ISO 2063-品質要求

- 熱噴覆層厚度
  - 熱噴覆層厚度的量測在所有情況下可以磁性膜厚計量測，並遵守規定的量測數量並計算其平均值。若有爭議，可利用顯微鏡斷面觀察測量。
  - 熱噴覆面積介於1cm^2~1m^{2}時，任何一點的局部厚度是指在1cm^{2}面積內量測3點厚度的平均值。如果構件的幾何形狀不允許上述的作法，則買賣雙方須協議並同意以適當的參考試片取代，試片的準備應在於現場熱噴覆時同時間與同條件下進行，並利用金相觀察或機械的方法測量其厚度。

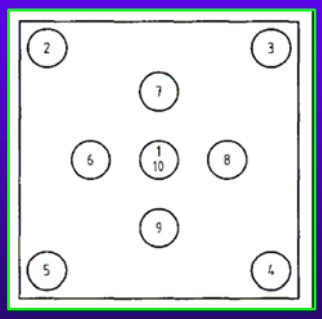


20

ISO 2063-品質要求

熱噴覆層厚度

熱噴覆面積大於1m^{2}時，任何一點的局部厚度是指在約1dm^{2}面積內量測10點的平均數，10點量測點之分布如下圖所示 。



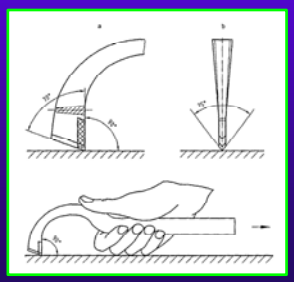
21

ISO 2063-品質要求

附著性測試-方格試驗

切割熱噴覆層至底材表面使其形成一規定尺寸的方格，切割的深度，必須將熱噴覆層切斷至基材表面，切割成方格後，在方格表面貼上膠帶並利用5N荷重的滾輪壓緊，然後以手拉住膠帶的一端，由與熱噴覆層表面垂直的方向迅速且突然的方式將膠帶拉開，再檢查是否有熱噴覆層被膠帶粘起剝離。測試後，未有由底材或熱噴覆層間分離的現象，則熱噴覆層的附著性視為滿意。

方格面積	熔射層厚度(μm)	切割距離(mm)
15mm×15mm	≦200	3
25mm×25mm	＞200	5



22

ISO 2063-品質要求

附著性測試-拉拔試驗

試驗台(Test dolly)準備：試驗台應利用機械(研磨)或化學方式清洗，並利用乾淨紙或紗布沾潤適當的溶劑(如酒精)以脫脂。試驗台的正面須研磨使其粗糙以增加與熱噴覆層的附著性。環氧樹脂型黏著劑需要粗糙的表面，壓克力型黏著劑則需要較平整的表面。

熱噴覆層的準備：熱噴覆層本身不須額外的前處理，如果須要，可使用砂紙輕微地研磨，以增加塗層與試驗台間的接觸。

黏著劑：試驗台和塗層間黏著劑的附著強度應大於塗層與基材界面間的強度。為防止黏著劑滲入多孔的金屬熱噴覆層內，黏著劑應具有高黏度性，否則應塗覆伐銹底漆(wash primer)以防止黏著劑滲入基材。

施加應力：附著性測試儀器應小心架設以避免影響試驗台的黏著劑。刻度指標為歸零，然後平穩的逐漸增加應力直到鍵結分離。施加應力的速度不得快於1 MPa/s。

ISO 14922

熱噴覆結構的品質要求

- ISO 14922-1　選擇和使用指南
- ISO 14922-2　全面的品質要求
- ISO 14922-3　標準的品質要求
- ISO 14922-4　基本的品質要求

ISO 14922-1 選擇和使用指南 -熱噴覆品質要求選擇

合約的熱噴覆要求	品質要求	
	如果要求品質體系[1]符合EN ISO 9001或 EN ISO 9002	如果不要求品質體系 符合EN ISO 9001或 EN ISO 9002
全面的品質要求	EN ISO 14922-2[1]	EN ISO 14922-2
標準的品質要求	EN ISO 14922-2[1]	EN ISO 14922-3
基本的品質要求	EN ISO 14922-2[1]	EN ISO 14922-4

[1]：在EN ISO 9001和 9002的範圍內，EN ISO 14922-2可能是熱噴覆構件適用要求的最低限。

25

ISO 14922中第2、3和4部分關於熱噴覆品質要求的比較-1

質量要求	第2部分 全面的品質要求	第3部分 標準的品質要求	第4部分 基本的品質要求
合約評審	●	ϕ	○
設計評審	●	ϕ	○
分包商	●	ϕ	○
熱噴覆人員	●	●	○
熱噴覆協調	●	●	○
檢查人員	●	●	○
生產設備	●	●	○
設備描述	●	●	--
設備適用性	●	●	--
新設備	●	--	--

●：全面要求　ϕ：比第2部分低的要求;
○：最低要求　--：不規定

26

ISO 14922中第2、3和4部分關於熱噴覆品質要求的比較-2

質量要求	第2部分 全面的品質要求	第3部分 標準的品質要求	第4部分 基本的品質要求
設備維護	●	ϕ	--
健康和環保情況	●	●	●
生產計畫	●	○	--
熱噴覆程序說明	●	ϕ	○
工作說明	●	○	--
前處理和後處理	●	●	--
文件依據	●	○	--
消耗材料的批次檢查	●	--	--
熱噴覆消耗材料的儲存和搬運	●	●	●

●：全面要求　ϕ：比第2部分低的要求;
○：最低要求　--：不規定

27

ISO 14922中第2、3和4部分關於熱噴覆品質要求的比較-3

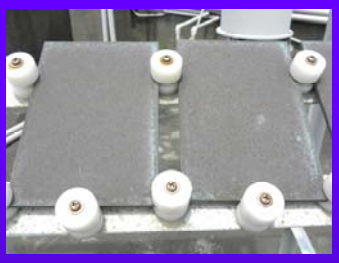
質量要求	第2部分 全面的品質要求	第3部分 標準的品質要求	第4部分 基本的品質要求
熱噴覆材料的儲存和搬運	●	●	○
熱噴覆前的檢查和試驗	●	●	○
熱噴覆中的檢查和試驗	●	●	--
熱噴覆後的檢查和試驗	●	●	○
檢查和試驗的狀態	●	●	--
不合格與矯正措施	●	●	○
校正	●	●	○
標示和可追溯性	●	●	○
品質報告	●	●	○

●：全面要求　ϕ：比第2部分低的要求;
○：最低要求　--：不規定

28

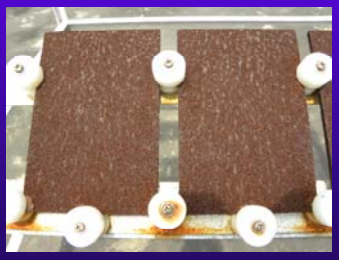
港研中心試片外觀- 2 Years

銅暴露約1年3個月



銅片-表面為棕色表面，邊緣有綠色粉末狀之腐蝕生成物

鋁片-表面為灰白與黑色點狀粉末之腐蝕生成物

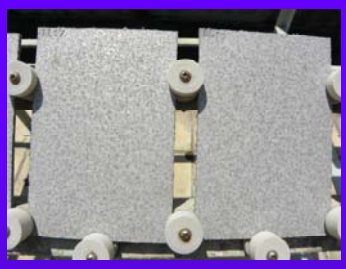


碳鋼-呈暗紅色顆粒狀鬆散之腐蝕產物

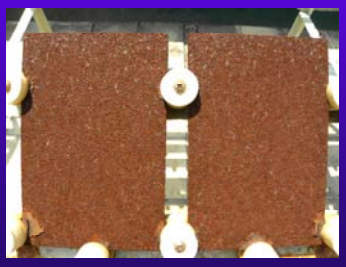
鋅片-表面為白色粉末狀鬆散之腐蝕生成物

麥寮工業區試片外觀- 2 Years

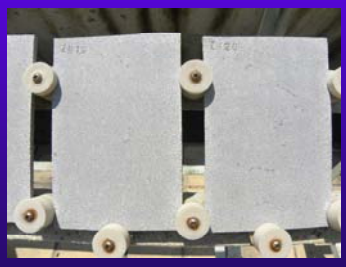
銅片-表面佈滿綠色粉末狀之腐蝕生成物



鋁片-表面為灰白色點狀粉末之腐蝕生成物



碳鋼-表面為暗紅色顆粒狀鬆散的腐蝕生成物，邊緣並有分層剝離的現象



鋅片-表面為白色粉末狀鬆散的腐蝕生成物

溪頭森林區試片外觀- 2 Years

銅片-表面為黑灰色表面

鋁片-表面接近金屬色，有少部分白色點狀的腐蝕現象

碳鋼-表面呈暗紅色顆粒狀腐蝕產物

鋅片-表面為密實粗糙的表面

板狀試片暴露一、二年期各金屬之腐蝕速率比較-1

佈放地點	碳鋼					鋅				
	第一年腐蝕速率與環境分類			第二年腐蝕速率		第一年腐蝕速率與環境分類			第二年腐蝕速率	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
台中火力電廠/港研中心	107.19	105.32	C5	56.09	55.77	8.07	9.03	C5+	4.44	4.75
	103.76			56.54		10.13			5.23	
	105.00			54.68		8.90			4.59	
麥寮工業區	72.39	75.01	C4	57.37	56.10	4.69	4.91	C5	2.45	2.43
	72.71			55.16		5.18			2.54	
	79.93			55.77		4.87			2.29	
溪頭森林區	15.38	14.72	C2	11.68	11.2	1.56	1.76	C3	1.22	1.23
	14.04			10.93		1.89			1.19	
	14.73			11.05		1.83			1.28	

32

板狀試片暴露一、二年期各金屬之腐蝕速率比較-2

佈放地點	銅					鋁				
	第一年腐蝕速率與環境分類			第二年腐蝕速率		第一年腐蝕速率與環境分類			第二年腐蝕速率	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	ISO 9223 腐蝕性分類	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
台中火力電廠/港研中心	3.63	3.57	C5	-	-	4.73	7.43	C5	2.33	1.61
	3.63			-		8.44			1.50	
	3.45			-		9.11			1.00	
麥寮工業區	5.39	5.55	C5	3.61	3.51	8.29	7.96	C5	4.30	4.47
	5.36			3.51		7.96			4.80	
	5.90			3.40		7.63			4.30	
溪頭森林區	1.18	1.16	C3	1.69	1.44	2.66	3.88	C4	2.32	2.15
	1.07			1.31		3.33			1.82	
	1.23			1.33		5.66			2.32	

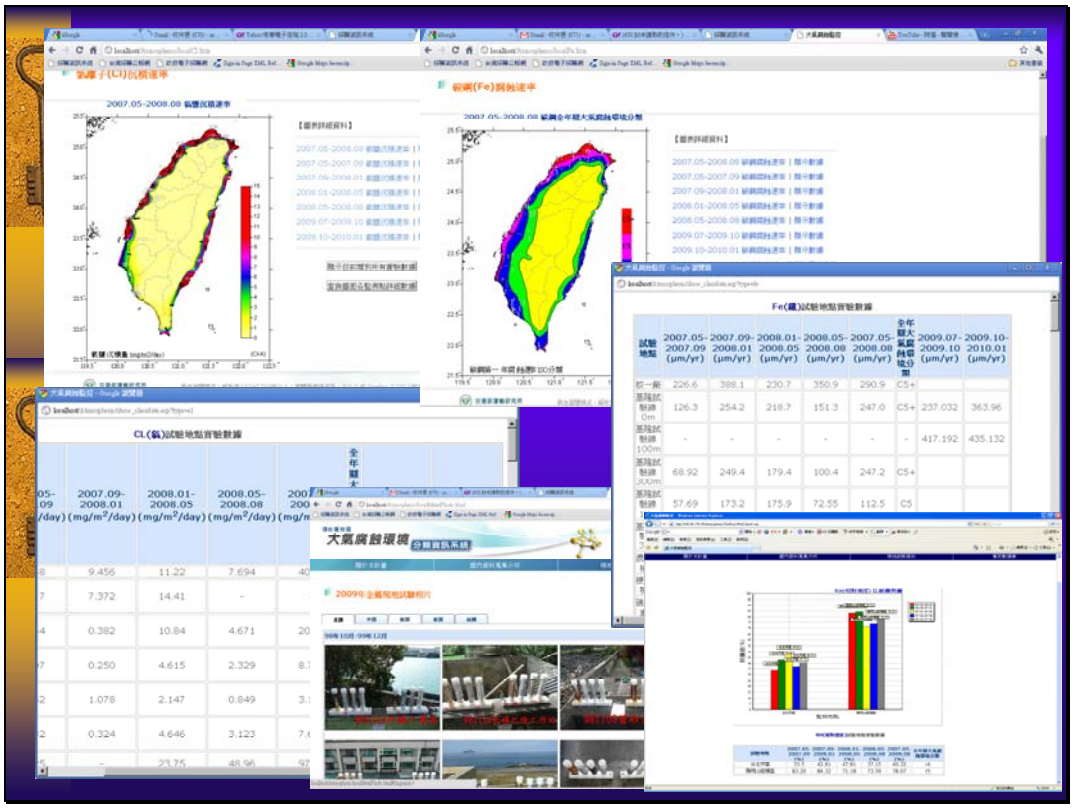
註：-表示試片遺失，重新佈放試片之暴露時間未滿二年

33

Database of Atmospheric Corrosion

since 2007

34

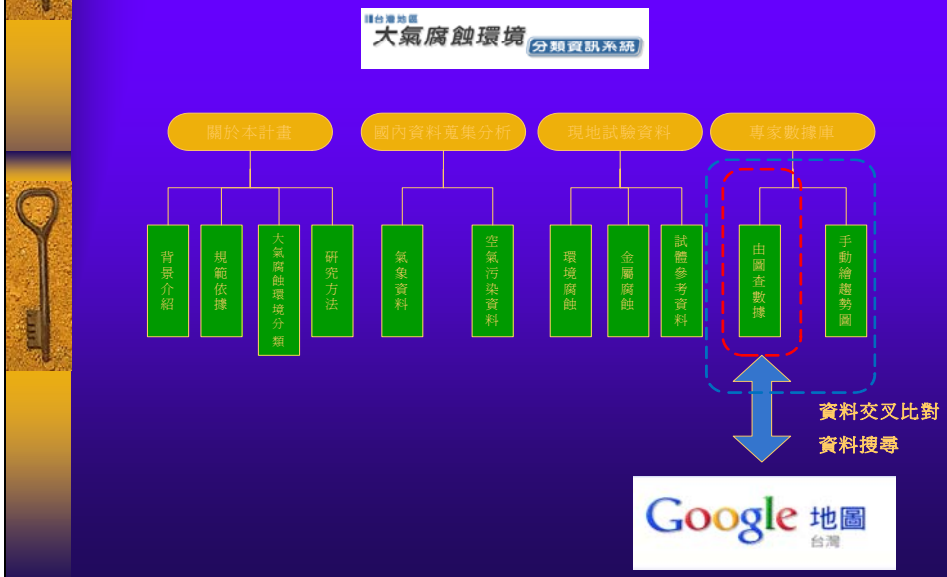


大氣腐蝕因子資料庫功能維護與擴充

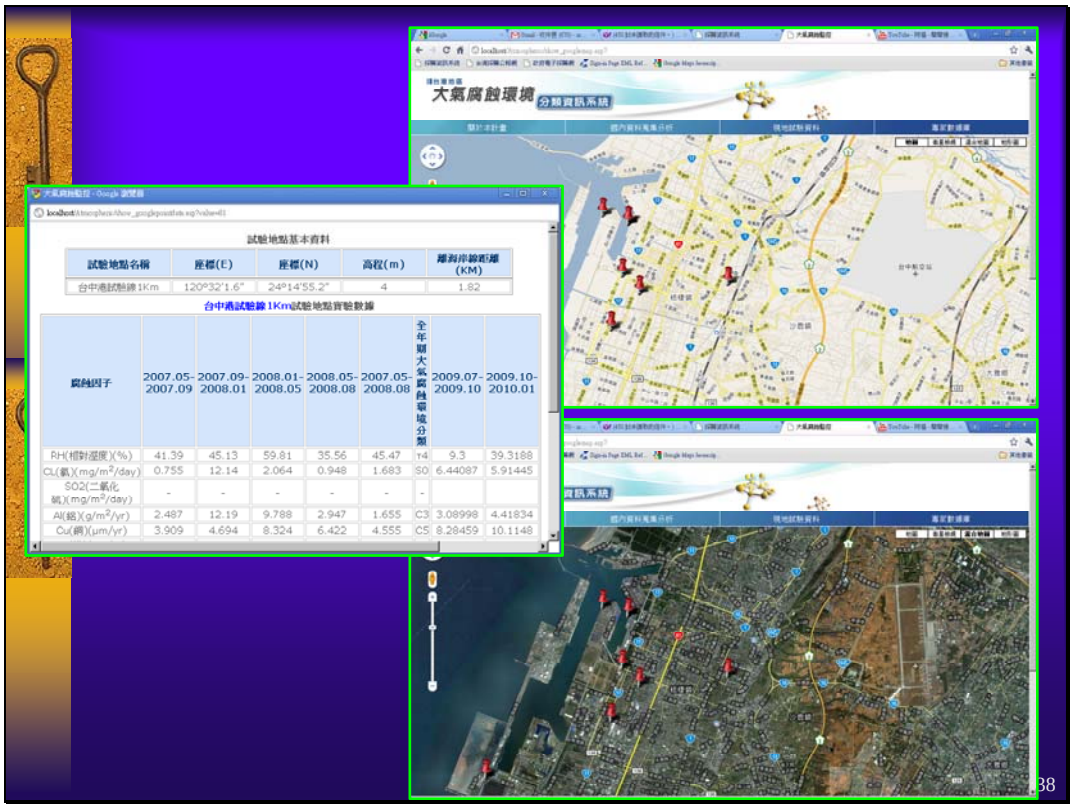
- 本年度大氣腐蝕因子資料庫系統功能將著重在與GoogleMap整合以強化使用的便利性；藉由導入GoogleMap即時更新的圖資，在大氣腐蝕資料庫中的監測點均可根據經緯度記錄標示於GoogleMap地圖上。
- 此外，由於目前系統僅能針對單一的腐蝕因子進行數據比對，經使用者回應，本年度將增加各監測點各項腐蝕因子交叉比對的功能，並增加監測點的資料搜尋功能。

大氣腐蝕因子資料庫功能維護與擴充

Goolgle Map整合



37



38

港灣構造物陰極防蝕準則草案增修

- 交通部運輸研究所於中華民國96年5月制定「港灣構造物陰極防蝕設計規範(草案)」。
- 該草案RC結構外加電流式陰極防蝕鈦基材陽極的材料選用僅限於含有混合金屬氧化層(MMO)的鈦網陽極與鈦網條狀陽極。
- 隨著經驗的累積與施工便利性的要求，近年來已發展出覆有混合金屬氧化層(MMO)之鈦柱陽極與鈦帶陽極，施工技術上也隨著新材料的發展而有所突破。
- 檢討「港灣構造物陰極防蝕設計規範(草案)」之現有內容與完整性，並增修近年來新開發之陰極防蝕工法及材料之相關內容。

39

MMO 鈦基材陽極

- MMO鈦網陽極(Mesh anode)
- MMO鈦網條狀陽極(Ribbon mesh anode)
- MMO鈦柱陽極(Discrete anode)
- MMO鈦帶陽極(Tape anode)

40

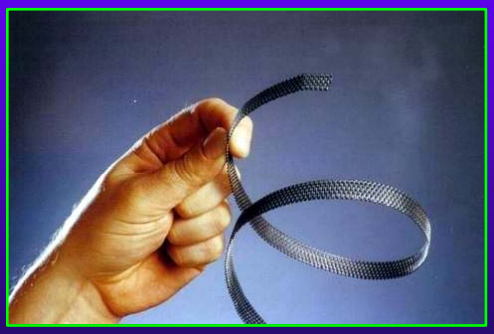
MMO鈦網陽極(Mesh anode)

- 於1984年開始使用，在陽極表面與混凝土界面間可提供110 mA/m^2的電流密度

41

MMO鈦網條狀陽極(Ribbon mesh anode)

- MMO鈦網條狀陽極在陽極表面與混凝土界面間可提供110 mA/m^2的電流密度。
- 可適用於新建與既建之鋼筋混凝土結構物。

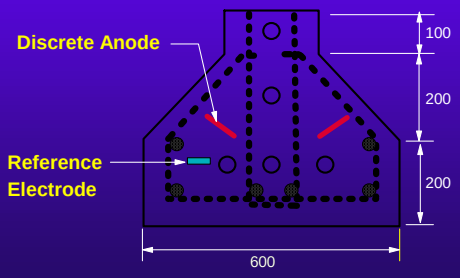


42

MMO鈦柱陽極(Discrete anode)

為最近10年發展出的陽極系統，為使用MMO鈦線纏繞成柱狀的陽極。

陽極與混凝土界面間可提供高達440 mA/m^{2}的電流密度，針對結構物之大樑、墩柱、支架等鋼筋密度較高的構件，為一最經濟有效的陽極系統 。



43

MMO鈦帶陽極(Tape anode)

- MMO鈦帶陽極為最近5年間發展出的陽極系統，為一膠帶式的陽極，以鈦為基材，一面為絕緣，另一面覆有MMO混合金屬氧化層與導電性黏著劑，厚度約為0.05 mm，在陽極表面與混凝土界面間可提供150 mA/m^{2}的電流密度，適用於潮濕或乾濕交替的環境，因其可直接貼附於混凝土表面，不須進行溝槽切割或鑽孔，且不須要混凝土覆蓋，為各式MMO鈦陽極系統中安裝最為簡易的陽極系統。

44

MMO鈦陽極使用優缺點比較

	壽命	電流分佈	材料價格	安裝費用	耐久性	安裝難易度	優點	缺點
鈦網陽極	>40 years	均勻 (Excellent)	昂貴 (High)	昂貴，因為須要大量的混凝土覆蓋	好	複雜，須清除表層混凝土，陽極安裝後須要混凝土覆蓋	有長時間的使用實蹟	若安裝於結構物的垂直面或下方，長期暴露的結果，新舊混凝土間有剝落的情況，造成保護系統99%的失敗率
鈦網條狀陽極	>40 years	適當 (Adequate)	中等 (Moderate)	昂貴，因為須要溝槽切割	好	複雜，因為須要溝槽切割，陽極安裝後溝槽填實不易	有長時間的使用實蹟	•混凝土保護層厚度不足時無法安裝 •陽極與鋼筋間容易發生接近短路的現象，造成保護電流分配不均
鈦柱陽極	> 40 years	均勻，但須視安裝的間距而定	中等 (Moderate)	中等 (Moderate)	好	•須要避開鋼筋進行鑽孔 •安裝快速	適當正確的設計可提供較大且均勻的保護電流	•須要適當正確的設計 •無法使用於鋼筋密度分佈極高的區域
鈦帶陽極	> 40 years	適當至均勻，端視鈦帶陽極的尺寸而定	中等 (Moderate)	低 (Low)	好	•簡單快速 •須要平整的混凝土表面	•可在較薄的混凝土保護層上安裝 •安裝簡單、快速且價格較低	•安裝後須使用耐酸性的環氧樹脂塗料與FRP製成之纖維織布覆蓋於陽極表面 •無法使用於人車通行的混凝土表面

45

港灣構造物陰極防蝕準則草案增修

因應鋼筋混凝土外加電流式陰極防蝕鈦基材陽極材料與施工技術的創新發展，今將「港灣構造物陰極防蝕設計規範(草案)」之：

「4.2 陽極材料」與

「5.7 陽極安裝」的內容進行增修。

46

「4.2 陽極材料」增修後條文與解說：(增修內容以粗體字表現)

4.2 陽極材料

外加電流法或犧牲陽極法的陰極保護系統，均有不同陽極材料可以選用。陽極材料的選擇應考慮構造物的特性、環境的適用性與使用年限等因素，以達預期保護之功能。

解說：

1.鈦陽極

鈦陽極基材應符合ASTM B265 Titanium, Grade 1之規定。鋼筋混凝土構造物使用之形狀為MMO鈦網陽極、MMO鈦網條狀陽極、MMO鈦柱陽極與MMO鈦帶陽極。

2.鋅陽極

鋅陽極(鋅網)使用之材料成分應符合ASTM B6或B69之規定。

ASTM B6-03 “Standard Specification for Zinc”

ASTM B69-01a(2005) “Standard Specification for Rolled Zinc”

3.鋅熱噴覆

鋅熱噴覆所使用的陽極材料依ASTM B8331或ANSI/AWS 5.33之規定(ANSI為美國國家標準局、AWS為美國銲接協會)。

4.其他陽極材料

上述材料外，如使用其它陽極材料時，材料供應商應提供相關技術性資料，以評估其替代之可行性。

47

「5.7 陽極安裝」增修後條文與解說：(增修內容以粗體字表現)

5.7 陽極安裝

所有陽極系統的安裝必須符合該陽極系統之規範要求。

解說：陽極系統安裝時，導電性塗料或被覆(overlay)材料必須無污染與雜質。使用導電性塗料、陽極及混凝土表面須乾燥；使用被覆材料，混凝土表面的粗糙度和潮溼程度，將視使用的被覆材料而定。

1.導電性塗料

構造物表面應以噴砂或其它適當方法處理，以去除油污(漬)、水份及粗糙的聚集物為主；處理後混凝土表面應保持乾燥，避免再污染。鋼筋如與導電性塗料間的接觸，將會導致系統短路、失效，或造成混凝土內其它部位鋼筋的腐蝕。

2.金屬熱噴覆

每次施工前需量測金屬熱噴覆材料重量，其重量誤差依設計規範為準，施工時以10-20平方公尺為一單位，採用金屬貼片法檢測施工厚度。以條狀或圓形貼片量測，條狀貼片為2.5公分長2公分寬，並依2.5公分之等間距量測5點，圓形貼片直徑6公分任意量測5點，量測結果如有一點膜厚未達標準，則該區域為不合格。在膜厚不合格的情況下，若膜厚太薄，則繼續噴塗至要求膜厚。

3. **MMO**鈦網陽極

鈦網陽極安裝時，混凝土表面殘餘污漬或雜物必須清除，鈦網必須以塑膠釘依適當間距固定於乾淨混凝土表面。連接導電棒之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

48

4. MMO 鈦網條狀陽極

針對既有鋼筋混凝土結構物：

鈦網條狀陽極安裝時，混凝土表面殘餘污漬或雜物必須清除，混凝土表面以saw-cutting 機具在陽極安裝位置切出溝槽，將 MMO 鈦網條狀陽極固定於溝槽內，以砂漿水泥將開鑿之溝槽充實填滿。MMO 鈦網條狀陽極導電或搭接方式為使用導電條(MMO 鈦條)於每個搭接位置以點銲銲接，點銲機依陽極供應商的建議使用，銲接前須利用導電條進行測試，以獲得最佳的電壓或電流輸出設定。連接導電條之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

針對新的鋼筋混凝土結構物：

以塑膠製的扣夾(clips)將 MMO 鈦網條狀陽極固定於鋼筋上，以噴漿或灌漿方式進行混凝土覆蓋。MMO 鈦網條狀陽極導電或搭接方式為使用導電條(MMO 鈦條)於每個搭接位置以點銲銲接，點銲機依陽極供應商的建議使用，銲接前須利用導電條進行測試，以獲得最佳的電壓或電流輸出設定。連接導電條之導線需接至整流器正極位置，不可續接。

5. MMO 鈦柱陽極

安裝時首先要在混凝土上鑽孔，孔洞尺寸依設計圖為之，鑽孔間距則視現場鋼筋的位置而定。鑽孔時要避開鋼筋，即先以鋼筋探測器找出鋼筋所在位置後再行鑽孔。將 MMO 鈦柱陽極插入孔洞中，灌入無收縮性水泥砂漿。MMO 鈦柱陽極的導電條為 MMO 鈦條，安裝位置參考設計圖。導電條的安裝為在混凝土表面切割 30 mm 寬 x 30 mm 深的溝槽，將 MMO 鈦條置入，再使用點銲的方式將導電條與鈦柱陽極的接線相連接，完成後溝槽內以環氧樹脂填補。導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。

6. MMO 鈦帶陽極

MMO 鈦帶陽極安裝前必須目視檢查安裝位置之混凝土是否有裂縫；若發現裂縫，使用非導電性環氧樹脂修補。MMO 鈦帶陽極安裝位置的混凝土表面必須使用混凝土研磨機進行前處理，確保混凝土表面清潔與平整，以增加鈦帶陽極與混凝土間的黏著性。MMO 鈦帶陽極的安裝為直接將陽極貼附在混凝土表面，貼附時鈦帶陽極不可扭結。MMO 鈦帶陽極的導電裝置為有黏著性的純鈦導電帶，鈦帶陽極與導電帶的連接須使用無黏著性的鈦帶以點銲的方式連接。導電條末端與陽極導線必須於接線箱中接續。鈦帶陽極安裝後須使用耐酸性的環氧樹脂塗料塗覆於陽極表面，立刻將 FRP 製成之纖維織布(纖維織布的寬度須大於鈦帶陽的寬度左右各約 15 mm)壓擠於濕的環氧樹脂塗料上，使環氧樹脂完全滲入 FRP 纖維織布內；完成 4 小時後，再使用耐酸性環氧樹脂塗料於 FRP 纖維織布上塗覆一道。

49

結 論

- 碳鋼金屬在麥寮工業區、溪頭森林區與梧棲港研中心二年的平均腐蝕速率分別約為56.10 μm/yr、11.22 μm/yr與55.77 μm/yr；鋅金屬的平均腐蝕速率分別約為2.43 μm/yr、1.23 μm/yr與4.75 μm/yr；鋁金屬的平均腐蝕速率分別約為4.47 g/m^2/yr、2.15 g/m^2/yr與1.61 g/m^2/yr；而銅金屬在麥寮工業區、溪頭森林區的平均腐蝕速率分別約為3.51 μm/yr、1.44 μm/yr。
- 本年度在資料庫中擴充的功能除了持續擴充新增加的數據資料；主要的功能在使用介面的整合部分，透過GoogleMap的整合，加強使用上的便利性，增加大氣腐蝕因子資料庫的應用與推廣。
- 本年度已完成NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00及ISO 2063、ISO 14922相關規範之中文化(如附冊)，對國內的防蝕工程應有很大的助益，可作為未來CNS標準的參考草案。
- 完成檢討港灣構造物陰極防蝕準則草案之現有內容，建議開放討論近年來國外新開發之陰極防蝕工法及材料之相關內容。

50

子計畫三

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

合作研究單位:國立中山大學

報 告 人：柯正龍

中華民國100年3月2日

緒　論

- 港灣棧橋式碼頭之破壞
  - 由於施工技術容易且工期較短，目前國內商港新建及改建常採用之。如基隆港及臺中港為例，近年即有多座碼頭均選用此結構型式碼頭
  - 但其缺點為R.C.面(底)版，因長年遭受海水波浪之衝擊浸漬，海水中之氯離子甚易侵入底版，造成內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。
- 碼頭R.C.面版之破壞
  - 面臨惡劣的環境條件，受到波浪的作用、颱風浪、甚至船舶靠岸時的撞擊而破壞，
  - 其破壞的現象就巨觀的角度來看，包括沉箱傾倒及位移、岸壁被撞擊而破裂、碼頭R.C.面版崩塌、防波堤塌陷及鋼版樁的破裂損壞等。
  - 非巨觀的角度而言，則包括了鋼版樁的腐蝕穿孔、R.C.面版斷面變薄裂損、基樁斷裂以及一些碼頭防舷材的破損、劣化等等。

碼頭R.C.面版破壞的原因

- 外力的作用
  - 碼頭R.C.面版在設計時即須考慮到外力的作用，除功能性考量外，則以抵擋一定時間週期內之外力
  - 而港灣及海域中最主要的外力即為波浪作用
  - 其次如地震力亦可能造成嚴重破壞
  - 再則為船舶的碰撞、裝卸作業不當，或基樁的不均勻沈陷等均為造成損壞之原因。
- 材料性能改變分析
  - 混凝土材料的劣化　鋼筋的腐蝕
  - 波浪外力產生之振動疲乏及其他原因所造成之材料性能改變等。
- 整體結構影響分析
  - 碼頭R.C.面版在材料破壞後之影響，通常可由結構受力後之行為改變觀察出來。
  - 經過相關資料之分析及影響評估，更能對碼頭面版之安全與否，給予整體的概念。

港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化

➢ 混凝土材料之劣化

混凝土的劣化是指混凝土受到外力或內在因素影響，導致其化學與物理性質發生變化，進而造成混凝土材料的發生膨脹性開裂或產生可相互連接的大型孔隙等現象，探究其劣化原因可細分為兩類：

❑ 物理侵蝕

主要是指受到風化作用造成混凝土劣化變質，因為波浪與海流作用使混凝土表面被沖刷造成磨耗與孔隙破壞，以及因結構物受衝擊、超負載、反覆過載等作用至使混凝土結構產生裂縫。

❑ 化學侵蝕

化學侵蝕主要包括了侵蝕物質(CO_2、Cl^-、SO_4^{2-}等)與水泥漿體之水化作用產生了交互反應、與水化產物產生溶解與析晶反應、發生膨脹等。

➢ 鋼筋材料之腐蝕

- 造成混凝土結構中鋼筋腐蝕的主要原因為混凝土保護層的破壞
- 包括混凝土保護層厚度不足、厚度不均勻或混凝土本身品質不良，再加上環境條件惡劣而造成保護層的破壞。
- 其原因包括物理性及化學性，或兩者間之交互作用而造成之影響居多。
- 港灣構造物長期處於波浪及水氣交互作用下，結構表面非常容易受到氯離子之侵入，如為碼頭結構更易受到各種衝擊力之作用，作用在材料劣化嚴重處將導致混凝土保護層之剝離，使得鋼筋完全裸露在外。
- 港灣構造物混凝土保護層受環境作用的破壞上，主要有混凝土的中性化、鹼性粒料反應、氯離子的侵蝕、結構物之龜裂

港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測

- 目視檢測
- 非破壞性試驗
  1. 反彈錘法
  2. 鋼筋電位值量測
  3. 裂縫深度檢測
  4. 鋼筋探測儀
- 破壞性試驗
  1. 鑽心試體抗壓試驗
     A. 抗壓試驗
     B. 氯離子檢測

碼頭現場檢測實施成果

- 現地結構檢測因環境不同其考量要點包括了實施範圍、實施項目、精確性、方便性與經濟性等。本文中主要所探討的碼頭為棧橋式碼頭，碼頭面版可用鋼筋混凝土構造，基樁則以PC、RC或鋼管樁作為碼頭岸壁之支撐。

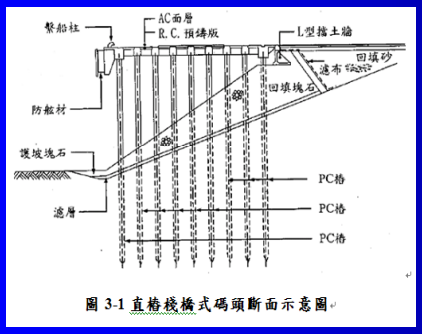


圖 3-1 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖

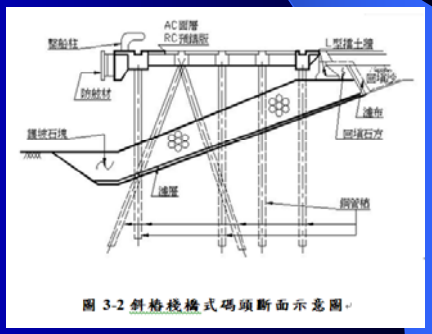


圖 3-2 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖

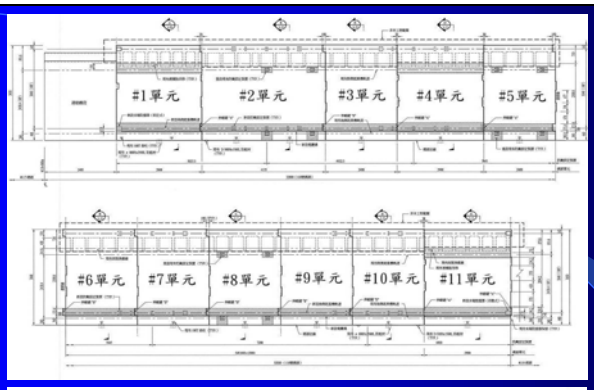
港灣結構安全檢測項目

- 碼頭結構安全檢測又可概分為
  - 整體結構變形檢測
    為各種型式碼頭皆可能產生之大變形或位移檢測
  - 細部結構材料檢測
    與碼頭結構型式或構造材料關係較為密切之結構檢測
  - 基礎地盤檢測
  - 碼頭附屬設施檢測
- 碼頭上部面版結構腐蝕劣損破壞
  - 混凝土強度試驗
  - 中性化試驗
  - 氯離子濃度檢測
  - 保護層厚度量測
  - 鋼筋腐蝕電位檢測

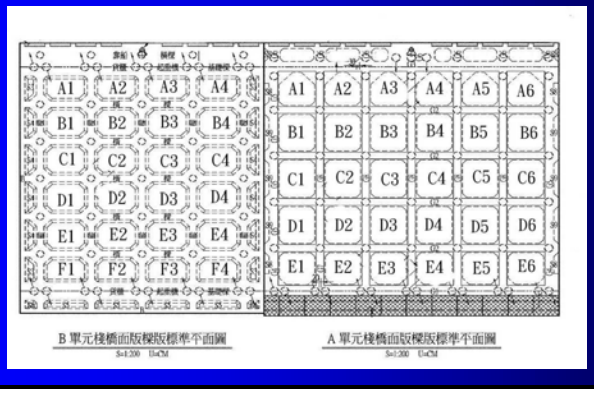
受測碼頭及檢測單元區分

高雄港#118號棧橋式碼頭碼頭。

- 位於高雄港中興商港區，屬於高雄港第四貨櫃中心。第四貨櫃中心臨港水線2,532m，縱深450m，共有深水碼頭8座，編號115~122，儲運場地100公頃，儲存能量35,000TEU。
- 碼頭面板單元如下一頁所示，區分成11個單元，各單元之大小並非完全一致。
- 各單元有屬於A型面版(含大樑及小樑)型式或B類面板型式如圖所示， 因此、在調查及分析時具有相當的複雜度。



碼頭平面單元區分示意圖



碼頭面版樑版平面圖

儀器檢測內容

- **反彈錘試驗**

針對面板有磨耗層及無磨耗層進行試驗，結果顯示包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。

反彈錘測試儀

現地強度量測

- 混凝土鑽心取樣抗壓強度試驗

依據CNS規定於現地取樣後攜回試驗室則進行抗壓試驗，抗壓試驗採用SUMMIT之抗壓試驗機，鑽心試體進行抗壓試驗時應依規定步驟進行，抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求。

圖3-7試體抗壓試驗及破裂狀態

- 反彈錘試驗推估強度
  - 有磨耗層平均138~266(kgf/cm²)
  - 無磨耗層平均424~665(kgf/cm²)
- 鑽心取樣抗壓強度數值介於414~601(kgf/cm²) 。
- 反彈錘推估強度較鑽心取樣強度高約10~20%左右

混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較

面版	抗壓強度平均值	反彈錘平均值	抗壓強度/反彈錘
#1-E1	450	481	0.93
#2-F1	562	596	0.94
#3-F1	584	620	0.94
#4-E1	488	598	0.81
#5-F1	514	646	0.79
#6-F1	522	600	0.87
#7-F1	520	568	0.91

- 混凝土中性化及保護層厚度試驗
  - 測定混凝土中性化深度及中性化區域
  - 利用酚? 指示劑，將現場所鑽取之混凝土試體或敲除之混凝土，放置在乾燥環境讓試體自然乾燥後，再將混凝土表面上噴灑酚汰指示劑。觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度
  - 混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，結果顯示其中性化之深度最大達2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。

鑽心試體中性化情形

現地碼頭鑽心取樣及中性化試驗結果

編號	量試試體	中性化深度（cm）	設計保護層厚度（cm）	量測保護層平均厚度（cm）	是否超過保護層厚度
1	#1-E1-1	2	5	7.6	否
2	#1-E1-2	0.5	5	7.6	否
3	#1-E1-3	1	5	7.6	否
4	#2-F1-1	0.5	5	6.5	否
5	#2-F1-2	0.5	5	6.5	否
6	#2-F1-3	0	5	6.5	否
7	#3-F1-1	0	5	7.7	否
8	#3-F1-2	0	5	7.7	否
9	#3-F1-3	0	5	7.7	否
10	#4-E1-1	1	5	6.8	否
11	#4-E1-2	1	5	6.8	否
12	#4-E1-3	2	5	6.8	否
13	#5-F1-1	0	5	7.7	否
14	#5-F1-2	0.5	5	7.7	否
15	#5-F1-3	0	5	7.7	否
16	#6-F1-1	0	5	6.4	否
17	#6-F1-2	0	5	6.4	否
18	#6-F1-3	1	5	6.4	否
19	#7-F1-1	2	5	8.0	否
20	#7-F1-2	1	5	8.0	否
21	#7-F1-3	0	5	8.0	否

混凝土氯離子濃度檢測

- 依據 CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法進行檢測，結果僅先做為比較參考，暫不列入安全評估之項目。
- 結果分為面板之上層及下層分別比較。非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。
- 以CNS之規範針對硬固RC結構物(需耐久性考慮者)其含量需低於0.3 (kg/m^3)，各面板下層之慮離子含量約為0.1~0.2(kg/m^3) ，尚符合規範之要求。

各單元面板平均氯離子含量

各單元面板之平均氯離子含量

位置 / 面板	上層		下層	
	Cl^- (kg/m^3)	是否超過標準	Cl^- (kg/m^3)	是否超過標準
#1	0.054	否	0.105	否
#2	0.057	否	0.114	否
#3	0.057	否	0.081	否
#4	0.054	否	0.123	否
#5	0.090	否	0.204	否
#6	0.087	否	0.222	否
#7	0.048	否	0.189	否

注：鋼筋混凝土氯離子規定不得超過 0.3 (kg/m^3)。

裂縫深度檢測

- 現場量測裂縫寬度及深度，裂縫深度均未超過保護層

編號	位置	b (cm)	t_1 (us)	t_2 (us)	裂縫寬度 w(mm)	裂縫深度 c(cm)	是否超過保護層
1	#1-E3	2.5	56.9	70.9	2.643	5.3	否
2	#2-F4	2.5	34.4	56.6	1.011	2.2	否
3	#2-F7	2.5	42.9	65.4	0.785	2.8	否
4	#3-F2	2.5	37.5	53.8	2.833	3.4	否
5	#4-E5	2.5	45.3	60.4	3.110	4.2	否
6	#4-E6	2.5	40.8	56.9	0.516	3.7	否
7	#5-F1	2.5	41.7	56.7	1.457	4.0	否
8	#5-F4	2.5	47.8	82.9	0.981	1.8	否
9	#6-F2	2.5	42.2	67.8	0.320	2.4	否
10	#6-F3	2.5	58.2	85.1	0.981	3.2	否
11	#7-F3	2.5	42.2	65.2	0.320	2.7	否
12	#7-F4	2.5	40.3	54.3	1.685	4.1	否

鋼筋腐蝕電位值量測

- 依據規範ASTM-C876量測腐蝕電位進行
- 結果顯示，上層面版平均電位值介於-216~-318(mv)，下層底樑平均電位值介於-312~-413(mv)，下層底樑比上層面版腐蝕機率相對較高
- 岸肩護欄外露鋼筋也施做腐蝕電位量測，平均電位值介於-492~-532(mv)，已超過高腐蝕機率許多

#1-E2~E3 單元面板之鋼筋腐蝕電位(mv)					
面板	鋼筋電位值			平均鋼筋電位值	腐蝕機率
上層面板	-287.2	-254.3	-234.6	-234.3	(中)
	-223.4	-208.8	-197.5		
下層底樑	-315.3	-283.1	-336.4	-350.1	(高)
	-333.6	-424.7	-407.5		

碼頭RC結構破壞評估方式及理論基礎

傳統評估方式可分為下列兩種方式：

1. 以試驗室力學數據為主之理論(damage assessment based on experimental evidence)

2. 以現場觀測數據為主之方法(damage assessment based on field investigation data)

以試驗室力學數據為主之評估理論

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE$$

δ_M 外力作用下，結構之最大變形量

δ_u 靜力設計時，結構物之極限變形量

Q_y 構件之降伏強度

dE 結構物破壞前所吸收之能量

β 非負值之試驗常數

(Park and Wen, 1985)

以現場觀測數據為主之評估方法

- ✓ 此一方法所使用之數據，為現場檢測之破壞現象，以簡便之方法歸類及分級，然後以構件為單位加以統計，該方法將目視檢測之要項分為：破壞程度(degree D)、破壞延伸範圍(extension E)及破壞處與主結構體之相關性 (relevance R)，簡稱為D.E.R.檢測法。
- ✓ 狀況指標(Condition Index)則表示為

$$CI = 100 - 12.5 \times \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$$

棧橋式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響 R	(D+E)xR
碼頭基樁	BWP01 基樁頭				
	BWP02 基樁體				
	BWP03 防蝕塊				
法線	BWS01 平直度				
	BWS02 垂直度				
	BWS03 伸縮縫				
面板及底樑版	BWD01 大樑				
	BWD01 底板				
	BWD01 面板				
樁基礎及護坡	BWF01 基礎				
	BWF02護坡				
主體結構破壞評估		=			

(1) 結構大部明顯可檢視現象D值評估

檢測位置	劣化現象	劣 化 程 度	D 值
碼頭壁體	傾斜、破損、混凝土剝離龜裂	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出	2
		混凝土龜裂，鋼筋完全露出	3
		可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出而且腐蝕預力管露出	4
碼頭法線	變形、扭曲	儀器檢測出法線偏移、扭曲	3
		可目視觀察出法線偏移、扭曲	4
碼頭面版	龜裂、沈陷、材質劣化	面版混凝土輕微剝落或龜裂開且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象	2
		儀器檢測出輕微沈陷，或面版鋼筋完全露出，無腐蝕現象	3
		可目視出沈陷、崩塌，或面版鋼筋完全露出而且有腐蝕現象	4

(3) 鋼筋、鋼管及鋼版結構性質檢測D值評估

鋼筋腐蝕探測	腐蝕	1、無明顯的鏽蝕區域	1
		2、局部區域有鏽蝕集中	2
		3、帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現紅橙色成帶狀剝落	3
		4、一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色剝落達構件 1/3 的範圍	4
鋼版腐蝕檢測	鏽蝕位置	1、L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕	1
		2、平均低潮位附近起，於L.W.L.附近可見紅橙色生銹或皆見不到	2
		3、於L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布	3
		4、H.W.L.以上的飛沫帶及平均低潮位接近L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	4

考慮力學理論與現場觀測數據之整合性評估方法

--構件破壞指標（De）

個別構件之評估方式

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_{i}^{p} \mathrm{E}_i^e$$

δ_{Me} = 外力作用下，e構件之最大變形量

δ_{ue} = 靜力設計時，e構件之極限變形量

β_e = 非負值試驗常數，依構件型式而稍有不同

Q_{ye} = 構件之降伏強度 或實測平均強度

$\sum E_i^e$ =構件e破壞前累計吸收之應變能量

其中構件*e*破壞前累計吸收之能量，假設為由數個(p個)斷面之破壞情形累積得出，單一斷面之破壞能量表示如下

$$E_i^e = \sigma_{\max}\delta_{est.i}\cdot\exp\left((\sigma_{\max}-\sigma_{ri})/\sigma_{\max}\right)$$

σ_{ri} 實測所得斷面*i*之強度

$\delta_{est\,i}$ 估算之該斷面最大可能變形能力，若考慮主要變形為旋轉角時，則為可能作用之最大彎矩值，除以斷面損失下之殘餘剛度值除以中性軸深度(EI/y)，若有明顯裂縫之檢測資料時亦可參照Park及Paulay（1975）之方法參照圖4.1其旋轉角表示如下：

$$\delta_{est\,i} = \theta = \sum_{i=1}^{n}\frac{S_i}{d-k_i d}$$

其中S_i為某量測段(i段)鋼筋之伸長量。
由於無法實際測出，可以樑斷面上裂縫寬來替代；其餘參數如圖上所示。

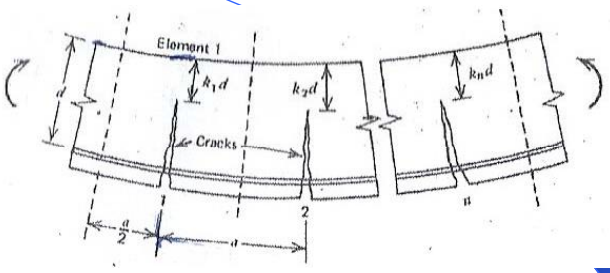


圖 4.1 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖

同樣的外力作用下，e構件之最大變形量 ，若非即時監測系統並無法得知，必須利用力學原理加以推估，在推估斷面將包含最大可能變形斷面之條件下，可將其值設定為

$$\delta_{Me} = Max(\delta_{esti})$$

整體結構破壞指標

構件現況破壞指標代表構件使用至今之破壞現況，主要以其材料強度損失及變形能力之變化為主要考量依據

整體結構破壞指標則結合結構使用之功能性做整體之考慮，其表示如下：

$$\Phi = \frac{2}{M}\sum_{e}^{M}[(\phi_r/\phi_l)\cdot\exp(-\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3/100)]_e$$

或如下式，若相互銜接之構件為同一型式之構件，如均屬版狀構件，或均為樑構件時

$$\Phi = \frac{1}{M}\sum_{e}^{M}[\exp(-\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3/100)]_e$$

上式中

M 為結構體中屬於主結構構件之總數。

ϕ_l 結構設計之荷載因子，由鋼筋混凝土之原設計資料得出。

ϕ_r 結構設計時與構件型式相關之減強因子，同樣可由鋼筋混凝土之原設計資料得出。

$\alpha_1 = D_e$ 現況破壞係數，為個別構件之現況破壞指標之倒數。

$\alpha_2 = \frac{5.0}{\alpha_\delta}$; $\alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e}\right)$

延展性係數，為延展性相關係數，與延展性線材（鋼筋斷面損失 、構件材料（混凝土）劣化情形 及延性及脆性材料間接合情形。

整體結構破壞指標相關之係數

參數	範圍	定義	判斷依據
$\alpha_1 = D_e$	1.0	現況破壞係數	依檢測數據計算
$\alpha_2 = \frac{5.0}{\alpha_\delta}$;	1.0	延展性係數	依檢測數據計算
α_3	1.0~4.0	實測數據變異係數	1, 2, 3, 4 當變異值為 <10%~20%~30%< 時
$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e}\right) \geq 1$	1.0~5.0	延展性損失係數	$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e}\right) \geq 1$
β_1	≦1	延展性線材（鋼筋）斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
β_2	≦1	構件材料（混凝土）劣化係數	(d－材料劣化深度)/d
β_3	≦1	材料間接合係數	(1－接合損失率)

整體結構安全評估指標（S_d）

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi$$

S_d 為設計時之標稱強度

S_n 為設計時實際所用之強度若單獨以Φ值作安全判定時，其與結構安全之相關性建議如下：

Level 1： Φ值≧0.85 時，結構基本為安全僅需日常檢測維修即可。

Level 2： 0.85＞Φ值≧0.68時，結構安全有局部威脅，需進一步進行檢修，但仍可使用。

Level 3： 0.68＞Φ值≧0.50時，結構安全有重大問題，應停止使用或做即時監測並進行大型檢修。

Level 4： Φ值＜0.50時，結構已重大毀損為不堪用狀態，應立即停止使用並考慮重建計畫。