

101-56-7627

MOTC-IOT-100-H1DB003

港灣與濱海地區構造物現況 調查與維護之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-56-7627

MOTC-IOT-100-H1DB003

港灣與濱海地區構造物現況 調查與維護之研究(1/4)

著 者：陳桂清、柯正龍、羅建明、葉為忠、黃 然

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究.
(1/4) / 陳桂清等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部
運研所, 民 110.04
面 ; 公分
ISBN 978-986-03-2248-4 (平裝)

1. 港埠工程 2. 港埠管理

443.3

101006007

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(1/4)

著者：陳桂清、柯正龍、羅建明、葉為忠、黃然

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10458 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)26587188

出版年月：中華民國 101 年 4 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：300 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010100770

ISBN：978-986-03-2248-4 (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。

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010100770

定價：300 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-2248-4（平裝）	政府出版品統一編號 1010100770	運輸研究所出版品編號 101-56-7627	計畫編號 100-H1DB003
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：陳桂清 研究人員：柯正龍、羅建明 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		合作研究單位：國立臺灣海洋大學 計畫主持人：葉為忠 協同主持人：黃然、張建智 研究人員：劉冠廷、陳韋豫 地址：20224 基隆市中正區北寧路 2 號 聯絡電話：(02) 24622192	研究期間 自 100 年 01 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：耐久性、腐蝕、港灣設施、維護管理系統			
摘要： 由於港灣構造物及濱海建物所處之環境，長年處於風浪作用下，隨時間增加逐漸造成材料劣化、結構變形、節點扭曲等損壞現象，一但較大風浪作用時，則嚴重損害，常無法修護而必須花數倍乃至數十倍的經費來重建。因此，若能有完善的檢測與維護機制，則不僅能提早發現有問題的設施，在造成大規模損壞前予以補強，防範於未然，在平常的管理、經營中，更能進一步避免港灣設施災難的發生。 本計畫主要以五大國際商港現有之港灣碼頭與濱海地區構造物進行安全檢查與評估，主要工作包現地檢測、安全分析與效能評估，並蒐集及研擬維修工法，建置維護管理機制及大氣腐蝕環境分類資訊系統，以利於構造物邁向檢測及管理自動化作業及制定防蝕策略，提供未來設計與維護之參考依據。 本計畫為4年期研究之第1年，研究課題包含，子計畫一：港灣構造物及濱海地區橋梁與建物現況調查；子計畫二：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究；子計畫三：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究等。主要內容包含文獻研析、檢測方法與檢測程序擬訂、構造物劣損評估及維護機制、建置大氣腐蝕環境分類資訊系統。本年度為計畫之第1年，完成項目如下；子計畫一：(1)澎湖馬公商港1號及6至8號碼頭之現況調查與評估；(2)澎湖馬公第1至第3漁港等漁港碼頭設施之現況調查；(3)花蓮港區航道岸壁及4至9號鋼板樁碼頭現況調查與評估。子計畫二：(1)蒐集整理分析國內外大氣腐蝕文獻與國內氣象資料；(2)調查臺灣全島之大氣腐蝕劣化因子；(3)製作標準試片與量測現地暴露試驗之腐蝕速率；(4)建置電腦資料庫與腐蝕資訊系統；(5)完成臺灣大氣腐蝕環境分類之工作。子計畫三：(1)完成水泥砂漿等8種材料基本性質試驗；(2)完成戶外試驗設計與是體制作；(3)研擬修補手冊初稿。 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
101 年 4 月	406	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：

☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密

（解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，

☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密）

☒普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: Field Survey and its Maintenance on Harbors and Near-shore Structures (1/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-2248-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100770	IOT SERIAL NUMBER 101-56-7627	PROJECT NUMBER 100-H1DB003
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuei-Ching Chen PROJECT STAFF: Jeng-Long Ko, Chien-Ming Lo, 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 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY : National Taiwan Ocean university PRINCIPAL INVESTIGATOR : Wei Chung Yeh, Ran Huang, Chien Chih Chang PROJECT STAFF : Kuan Ting Liu, Wei Yu Chen ADDRESS : #2, Pei-Ning Road, Keelung 20224 ,Taiwan, R.O.C. PHONE : +886 224622192			
KEY WORDS: Durability, Corrosion, Port facility, Maintenance management system			
ABSTRACT: Harbor and near seashore structures suffer long-term confrontation with wave ingress ion. The damaged phenomena of construct material degradation, structures distortion and nod distortion have gradually taken place. Once huge waves surge, they cause serious damage to structures, even causing them to collapse; a large budget is needed to rebuild. Therefore, if there is a good inspecting method and maintenance mechanism, many structures' deterioration phenomena will be found at an early stage, and further reinforced warning methods can be taken before huge damage takes place to prevent port facility disasters. The study will focus on structures field surveying and their safety evaluation of five major international harbors and near seashore area. The plan tasks include structures field inspection, safety analysis and function evaluations. The structures maintenance system and atmospheric corrosion environmental classification will also be executed in the study. Through abovementioned study scopes, structures field inspection, management and anti-corrosion strategies will be founded and provide to related authorities to make the maintenance policy. The research is a four-year period study. In the first year, the three sub-projects are as follows: sub-project 1; field inspection of harbor and near seashore structures, sub-project 2; the study of atmospheric corrosion factors investigation and its corrosion environmental classification, sub-project 3; repair methods and its materials on marine concrete structures. The project is a four-year period study. The study contents are included as below; research literatures reviewed and studied, inspecting methods and surveying processes drafted, structures deteriorated evaluation and its maintenance mechanism. The achievements at the first year were completed as follow; sub-project 1: (1) Wharf No.1 & No.6 to No.8 of Makon Harbor at Penghu island were inspected and evaluated. (2) The facilities of Makon Harbor at No.1 to No.3 and other fishery ports and near seashore structures were also completed investigated and evaluated. (3) The physical situations of quay wall in waterway zone and No.4 to No.9 of pile-type wharf at Hualien port were surveyed and evaluated completely. Sub-project 2: (1) collection of atmospheric corrosion related documentation and yearly meteorological data, (2) investigations of atmospheric pollutions in accordance with CNS standard, (3) sample preparation and corrosion rate measurement of metals in accordance with CNS standard, (4) completion of a database for atmospheric corrosion, and (5) classification of atmospheric corrosivity in Taiwan. Sub-project 3:			

(1) We used eight materials including ordinary Portland cement mortar, Xypex migration crystallization material, epoxy resin grout, SBR grout, acrylic resin grout, epoxy resin mortar, SBR mortar and acrylic resin mortar (liquid acrylic or powder acrylic). Intended repair cracks include small cracks (width between 0.1 to 0.5 mm), medium cracks (width between 0.5 to 1 mm) and large cracks (width larger than 1 mm). (2) We studied the basic properties of repair materials such as the constructability (flowability), mechanical property (compressive strength, elastic modulus, and bond strength), durability (capability of resisting erosion and permeability) and volumetric stability (drying shrinkage). (3) We made out-door exposure experiments which show whether the repair material keep its performances under exposure environments such as humidity change, temperature change and UV exposure. The outdoor specimens are beam-type specimens. (4) For the repair manual, refer to EN code and other materials and the draft has been established.

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	
			☐ RESTRICTED	☐ CONFIDENTIAL
April 2012	406	300	☐ SECRET	☐ TOP SECRET
			☒ UNCLASSIFIED	

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

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(1/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
表目錄	X
圖目錄	XVI
第一章 緒論	1-1
第二章 研究計畫概述	2-1
2.1 研究時程	2-1
2.2 計畫摘要與研究內容	2-1
2.2.1 子計畫一：港灣碼頭與濱海建物之現況調查	2-1
2.2.2 子計畫二：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究	2-4
2.2.3 子計畫三：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究	2-7
第三章 港灣碼頭與濱海建物之現況調查	3-1
3.1 前言	3-1
3.1.1 研究動機	3-1
3.1.2 研究目的	3-3
3.1.3 研究範圍	3-3
3.2 文獻回顧	3-3
3.2.1 碼頭結構型式	3-4
3.2.2 重力式碼頭破壞原因探討	3-8

3.2.3 板樁式碼頭破壞原因探討	3-12
3.2.4 棧橋式碼頭破壞原因探討	3-14
3.2.5 港灣 R.C.結構物安全檢測項目	3-15
3.2.6 檢測及評估實施時機	3-16
3.2.7 結構物安全檢測評估	3-20
3.3 研究方法與進行步驟	3-24
3.3.1 調查範圍	3-24
3.3.2 構造物基本資料蒐集	3-25
3.3.3 檢測及維修歷史	3-25
3.3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測	3-26
3.3.5 鋼筋混凝土材料劣化檢測	3-28
3.3.6 鋼構造物儀器檢測	3-34
3.3.7 非主結構體檢測	3-38
3.3.8 構造物初步檢測評估	3-38
3.3.9 完成檢測或進行細部評估	3-40
3.4 結果與討論	3-41
3.4.1 馬公港 1 號碼頭	3-41
3.4.2 馬公港 6 號碼頭	3-49
3.4.3 馬公港 7 號碼頭	3-53
3.4.4 馬公港 8 號碼頭	3-57
3.4.5 花蓮港 4 號碼頭	3-61
3.4.6 花蓮港 5 號碼頭	3-72
3.4.7 花蓮港 6 號碼頭	3-81

3.4.8 花蓮港 8 號碼頭.....	3-90
3.4.9 花蓮港 9 號碼頭.....	3-99
3.4.10 花蓮港航道岸壁.....	3-109
3.4.11 澎湖縣漁港.....	3-118
3.5 小結.....	3-158
第四章 大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究.....	4-1
4.1 前言.....	4-1
4.1.1 計畫目的.....	4-1
4.1.2 計畫之重要性.....	4-1
4.1.3 國內大氣腐蝕研究概況.....	4-2
4.1.4 計畫工作項目.....	4-6
4.2 研究方法及進行步驟.....	4-6
4.2.1 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析.....	4-7
4.2.2 大氣腐蝕因子調查建置.....	4-8
4.2.3 現地暴露試驗.....	4-10
4.2.4 資料蒐集與分析.....	4-11
4.3 文獻回顧.....	4-12
4.3.1 大氣腐蝕測試規範.....	4-12
4.4 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗調查建置.....	4-16
4.4.1 調查範圍.....	4-16
4.4.2 氯鹽沉積速率調查.....	4-16
4.4.3 二氧化硫沉積速率調查.....	4-20
4.4.4 濕潤時間百分比.....	4-22

4.4.5 現地暴露試驗.....	4-23
4.5 大氣腐蝕因子資料庫功能維護與擴充.....	4-26
4.5.1 系統功能規劃.....	4-26
4.5.2 新增數據與資料上架.....	4-27
4.5.3 Google Map 整合.....	4-31
4.5.4 系統功能展望.....	4-34
4.6 小結.....	4-35
第五章 港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究.....	5-1
5.1 緒論.....	5-1
5.1.1 計畫緣起.....	5-1
5.1.2 計畫目的與內容.....	5-2
5.1.3 重要性.....	5-6
5.1.4 工作項目完成程度與說明.....	5-6
5.2 文獻回顧.....	5-7
5.2.1 海洋混凝土結構物的破壞.....	5-7
5.2.2 鋼筋混凝土結構物劣化.....	5-10
5.2.3 鋼筋混凝土結構物修復與補強.....	5-14
5.2.4 保護系統.....	5-34
5.2.5 電化學復健工法.....	5-36
5.3 實驗計畫.....	5-37
5.3.1 實驗材料.....	5-37
5.3.2 實驗變數.....	5-41
5.3.3 實驗設備.....	5-53

5.3.4 試驗方法	5-56
5.4 實驗成果	5-76
5.4.1 曝曬場資料	5-76
5.4.2 修補材料漿體基本性質	5-80
5.4.3 修補材料砂漿基本性質	5-85
5.4.4 戶外曝曬試體基座	5-97
5.4.5 戶外試體實際修補結果	5-100
5.5 水下修補	5-107
5.5.1 簡介	5-107
5.5.2 到達水下修補區域之方法	5-107
5.5.3 混凝土與鋼筋的準備工作	5-111
5.5.4 修補材料	5-117
5.5.5 混凝土水下修補工法	5-125
5.5.6 鋼筋的修復	5-133
5.6 混凝土結構防護與修補材料與技術綱要手冊初稿	5-138
5.6.1 前言	5-138
5.6.2 術語和定義	5-139
5.6.3 混凝土結構產品和系統的保護及維修	5-143
5.7 小結	5-156
第六章 結論	6-1
參考文獻	參-1

表 目 錄

表 3.1 重力式碼頭各構件產生異狀列表.....	3-12
表 3.2 板樁式碼頭各構件產生異狀列表.....	3-13
表 3.3 棧橋式碼頭各構件產生異狀列表.....	3-14
表 3.4 港灣構造物細部構材檢測建議項目.....	3-16
表 3.5 碼頭構造物初步檢測評估表.....	3-27
表 3.6 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係.....	3-30
表 3.7 圓柱試體長度直徑比.....	3-33
表 3.8 超音波脈波速度與混凝土品質之關係.....	3-33
表 3.9 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係.....	3-39
表 3.10 馬公商港碼頭使用現況說明表.....	3-42
表 3.11 馬公港 1 號碼頭初步檢測表.....	3-48
表 3.12 馬公港 6 號碼頭初步檢測表.....	3-52
表 3.13 馬公港 7 號碼頭初步檢測表.....	3-56
表 3.14 馬公港 8 號碼頭初步檢測表.....	3-60
表 3.15 花蓮港碼頭、航道鋼板樁背景資料.....	3-61
表 3.16 花蓮港 4 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表.....	3-67
表 3.17 花蓮港 4 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表.....	3-68
表 3.18 花蓮港 4 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表.....	3-69
表 3.19 花蓮港 4 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果.....	3-70

表 3.20	花蓮港 4 號碼頭初步檢測表.....	3-71
表 3.21	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表.....	3-76
表 3.22	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表.....	3-77
表 3.23	花蓮港 5 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表 3.....	3-78
表 3.24	花蓮港 5 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果.....	3-79
表 3.25	花蓮港 5 號碼頭初步檢測表.....	3-80
表 3.26	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表.....	3-85
表 3.27	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表.....	3-86
表 3.28	花蓮港 6 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表.....	3-87
表 3.29	花蓮港 6 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果.....	3-88
表 3.30	花蓮港 6 號碼頭初步檢測表.....	3-89
表 3.31	花蓮港 8 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表.....	3-94
表 3.32	花蓮港 8 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表.....	3-95
表 3.33	花蓮港 8 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表.....	3-96
表 3.34	花蓮港 8 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果.....	3-97
表 3.35	花蓮港 8 號碼頭初步檢測表.....	3-98
表 3.36	花蓮港 9 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表.....	3-104
表 3.37	花蓮港 9 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表.....	3-105
表 3.38	花蓮港 9 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表.....	3-106
表 3.39	花蓮港 9 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果.....	3-107
表 3.40	花蓮港 9 號碼頭頭初步檢測表.....	3-108

表 3.41 花蓮港航道岸壁鋼板樁防蝕電位檢測表.....	3-113
表 3.42 花蓮港航道岸壁鋼板樁防蝕電位檢測記錄表.....	3-114
表 3.43 花蓮港航道岸壁犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表.....	3-115
表 3.44 花蓮港航道岸壁鋼板樁碼頭水下檢測結果.....	3-116
表 3.45 花蓮港航道岸壁初步檢測表.....	3-117
表 3.46、澎湖縣各鄉（市）漁港船澳名稱表.....	3-118
表 3.47 外垵漁港反彈值等試驗結果.....	3-128
表 3.48 外垵港鑽心試體抗壓強度等試驗結果.....	3-128
表 3.49 外垵漁港鑽心試體之超音波脈波速度.....	3-128
表 3.50 內垵北漁港反彈值等試驗結果.....	3-131
表 3.51 內垵南漁港反彈值等試驗結果.....	3-134
表 3.52 鎖港漁港反彈值等試驗結果.....	3-146
表 3.53 鎖港漁港鑽心試體抗壓強度等試驗結果.....	3-147
表 3.54 鎖港漁港防波堤鑽心試體之超音波脈波速度.....	3-147
表 4-1 臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程	4-4
表 5-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表	5-8
表 5-2 板樁式碼頭各構件產生異狀表	5-9
表 5-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀表	5-10
表 5-4 表面層修補材料在各種環境之適用性	5-15
表 5-5 表面層修補材料在各種環境之適用性	5-16
表 5-6 表面層修補材料在各種環境之適用性	5-17

表 5-7 力學性質考量.....	5-19
表 5-8 暴露環境考量.....	5-20
表 5-9 體積變化考量.....	5-21
表 5-10 設計性質考量.....	5-22
表 5-11 外觀考量.....	5-22
表 5-12 外部負載考量.....	5-23
表 5-13 水泥 I 型之物理性質	5-38
表 5-14 水泥 I 型之化學性質	5-39
表 5-15 水泥 I 型之化學性質(續)	5-40
表 5-16 粗粒料篩分析.....	5-40
表 5-17 細粒料(天然河砂)篩分析	5-41
表 5-18 細粒料(石英砂)篩分析.....	5-42
表 5-19 修補材料基本性質試驗表	5-43
表 5-20 水泥砂漿配比設計表	5-44
表 5-21 滲透結晶材配比設計表	5-44
表 5-22 乾粉狀壓克力樹脂砂漿配比設計表	5-45
表 5-23 液態狀壓克力樹脂砂漿配比設計表	5-45
表 5-24 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計表	5-46
表 5-25 環氧樹脂砂漿配比設計表	5-46
表 5-26 環氧樹脂漿體配比設計表	5-47
表 5-27 GPM 儀器腐蝕電流密度與腐蝕狀態之關係.....	5-70

表 5-28 腐蝕電位對於腐蝕機率判定表	5-70
表 5-29 混凝土腐蝕防治最大氯離子含量規定	5-75
表 5-30 基隆地區五年內(2005-2010)月平均氣象資料表	5-77
表 5-31 修補材料漿體工作性流度資料表	5-81
表 5-32 修補材料漿體 28 天抗壓強度資料表	5-81
表 5-33 修補材料漿體黏結強度資料表	5-82
表 5-34 修補材料漿體磨損率資料表	5-83
表 5-35 修補材料漿體資料表	5-84
表 5-36 修補材料漿體彈性模數資料表	5-84
表 5-37 修補材料砂漿體之抗壓強度	5-88
表 5-38 修補材料砂漿體之黏結強度	5-89
表 5-39 修補材料砂漿體之磨損率	5-90
表 5-40 修補材料砂漿體之長度變化量	5-91
表 5-41 修補材料砂漿體之彈性模數	5-95
表 5-42 修補材料砂漿體之流度	5-96
表 5-43 修補材料砂漿體之透水係數	5-96
表 5-44 修補材料砂漿體之磨損體積量	5-97
表 5-45 戶外曝曬試體配比資料表	5-98
表 5-46 戶外曝曬試 28 天強度資料表	5-98
表 5-47 變性矽力康基礎物性化性表	5-101
表 5-48 變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表	5-101

表 5-49 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表	5-104
表 5-50 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表	5-106
表 5-51 表面保護產品與系統的性能特徵	5-144
表 5-52 撥水性浸漬的性能要求	5-147
表 5-53 浸漬性能要求-1	5-148
表 5-54 浸漬性能要求-2	5-149
表 5-55 塗料的性能要求-1	5-150
表 5-56 塗料的性能要求-2	5-151
表 5-57 塗料的性能要求-3	5-152
表 5-58 一般及特定使用的結構及非結構修補產品之性能特徵	5-153
表 5-59 結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法	5-154
表 5-60 工廠生產控制之測試頻率	5-155
表 5-61 特殊應用的測試方法	5-156

圖 目 錄

圖 3.1	沈箱式碼頭.....	3-5
圖 3.2	方塊式碼頭.....	3-5
圖 3.3	L 型塊式碼頭.....	3-6
圖 3.4	錨碇板式碼頭.....	3-7
圖 3.5	直樁棧橋式碼頭.....	3-8
圖 3.6	斜樁棧橋式碼頭.....	3-8
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	3-10
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	3-10
圖 3.9	重力式方塊碼頭構件標示.....	3-11
圖 3.10	重力式沉箱碼頭構件標示.....	3-11
圖 3.11	版樁式碼頭結構產生外部異象之主要機制示意圖.....	3-13
圖 3.12	港灣結構安全檢測實施流程圖.....	3-19
圖 3.13	構造物現況調查流程.....	3-25
圖 3.14	鋼筋腐蝕電位量測示意圖.....	3-30
圖 3.15	測厚儀量測之示意圖.....	3-34
圖 3.16	防蝕效果的判定方法.....	3-36
圖 3.17	電位測定示意圖.....	3-36
圖 3.18	陽極尺寸測定示意圖.....	3-37
圖 3.19	馬公港碼頭平面圖.....	3-43

圖 3.20 馬公港 1 號及 6 至 8 號碼頭鋼管樁結構斷面與陽極塊安裝位置	3-43
圖 3.21 馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊斷面型式	3-44
圖 3.22 馬公港 1 號碼頭現況情形(100.6.22)	3-45
圖 3.23 馬公港 6 號碼頭現況情形(100.6.22)	3-49
圖 3.24 馬公港 7 號碼頭現況情形(100.6.22)	3-53
圖 3.25 馬公港 8 號碼頭現況情形(100.6.22)	3-57
圖 3.26 花蓮港 4 至 9 碼頭與航道岸壁位置示意圖	3-62
圖 3.27 花蓮港 4 號碼頭結構型式示意圖	3-62
圖 3.28 花蓮港 4-6 及 8 號碼頭 Z 型鋼板樁型式示意圖	3-63
圖 3.29 花蓮港 4 號碼頭現況情形	3-63
圖 3.30 花蓮港 5 號碼頭現況情形	3-72
圖 3.31 花蓮港 6 號碼頭結構型式示意圖	3-81
圖 3.32 花蓮港 6 號碼頭現況情形示	3-82
圖 3.33 花蓮港 8 號碼頭結構型式示意圖	3-90
圖 3.34 花蓮港 8 號碼頭現況情形示	3-91
圖 3.35 花蓮港 9 號碼頭結構型式示意圖	3-99
圖 3.36 花蓮港 9 號碼頭及航道岸壁 U 型鋼板樁型式示意圖	3-99
圖 3.37 花蓮港 9 號碼頭現況情形	3-100
圖 3.38 花蓮港航道岸壁結構型式示意圖	3-109
圖 3.39 花蓮港航道岸壁現況情形	3-110

圖 3.40 馬公漁港平面配置圖	3-121
圖 3.41 馬公漁港碼頭結構型式 1.....	3-122
圖 3.42 馬公漁港碼頭結構型式 2.....	3-122
圖 3.43 馬公漁港碼頭結構型式 3.....	3-123
圖 3.44 馬公漁港碼頭結構型式 4.....	3-123
圖 3.45 馬公漁港碼頭結構型式 5.....	3-124
圖 3.46 馬公漁港碼頭結構型式 6.....	3-124
圖 3.47 馬公漁港碼頭結構型式 7.....	3-125
圖 3.48 馬公漁港現況情形(100.6.22).....	3-126
圖 3.49 外垵漁港平面配置圖	3-129
圖 3.50 外垵漁港現況情形(100.6.21).....	3-130
圖 3.51 內垵北漁港平面配置圖	3-132
圖 3.52 內垵北漁港現況情形(100.6.21).....	3-133
圖 3.53 內垵南漁港平面配置圖	3-135
圖 3.54 內垵南漁港現況情形(100.6.21).....	3-136
圖 3.55 赤馬漁港平面配置圖	3-138
圖 3.56 赤馬漁港現況情形(100.6.21).....	3-139
圖 3.57 赤崁漁港平面配置圖	3-141
圖 3.58 赤崁漁港現況情形(100.6.21).....	3-142
圖 3.59 竹灣漁港平面配置圖	3-144
圖 3.60 竹灣漁港現況情形(100.6.21).....	3-145

圖 3.61 鎖港漁港平面配置圖	3-147
圖 3.62 鎖港漁港現況情形(100.6.23)	3-148
圖 3.63 尖山漁港平面配置圖	3-150
圖 3.64 尖山漁港現況情形(100.6.23)	3-150
圖 3.65 龍門漁港平面配置圖	3-152
圖 3.66 龍門漁港現況情形(100.6.23)	3-153
圖 3.67 嵵裡漁港平面配置圖	3-154
圖 3.68 嵵裡漁港現況情形(100.6.23)	3-155
圖 3.69 風櫃東漁港平面配置圖	3-157
圖 3.70 風櫃東漁港現況情形(100.6.23)	3-158
圖 4.1 研究作業流程圖	4-7
圖 4.2 (a) 濕燭法燭心構造示意圖	4-9
圖 4.2 (b) 濕燭法裝置構造圖	4-9
圖 4.3 二氧化硫沉積量採集裝置	4-10
圖 4.4 螺旋狀試片構造圖	4-11
圖 4.5 ISO 大氣腐蝕環境分類	4-13
圖 4.6 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試	4-15
圖 4.7 濕潤時間新增資料顯示	4-28
圖 4.8 金屬現地試驗相片	4-28
圖 4.9 氯離子新增資料顯示	4-29
圖 4.10 氯離子新增資料顯示(詳細)	4-29
圖 4.11 碳鋼(Fe)新增資料顯示	4-30

圖 4.12	碳鋼(Fe)新增資料顯示(詳細)	4-30
圖 4.13	GoogleMap 整合操作觀察試驗點.....	4-32
圖 4.14	GoogleMap 整合衛星地圖觀察試驗點	4-32
圖 4.15	單一試驗點整合資訊視窗 1.....	4-33
圖 4.16	單一試驗點整合資訊視窗 2.....	4-33
圖 4.17	GoogleMap 觀察試驗點街景(StreetView)效果.....	4-34
圖 5.1	修補程序流程圖	5-3
圖 5.2	鋼筋腐蝕機理示意圖.....	5-13
圖 5.3	噴砂法	5-26
圖 5.4	高壓水射法	5-26
圖 5.5	真空砂噴法	5-26
圖 5.6	噴蒸氣法	5-26
圖 5.7	噴澆法	5-26
圖 5.8	鋼刷毛法	5-26
圖 5.9	擴大斷面法示意圖	5-27
圖 5.10	複合版工法示意圖	5-28
圖 5.11	後拉預應力工法示意圖	5-28
圖 5.12	增設新接縫達到消解應力示意圖	5-29
圖 5.13	以內部澆注法修補構件裂縫之示意圖.....	5-29
圖 5.14	外部澆注法示意圖	5-30
圖 5.15	乾擠	5-30
圖 5.16	直接澆置	5-31
圖 5.17	預壘混凝土	5-31

圖 5.18 全深度修補	5-32
圖 5.19 汞浦機	5-32
圖 5.20 乾式噴凝土機	5-33
圖 5.21 濕式噴凝土機	5-33
圖 5.22 手工鏟抹	5-34
圖 5.23 小尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	5-48
圖 5.24 中尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	5-48
圖 5.25 大尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	5-49
圖 5.26 自然預壓裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	5-49
圖 5.27 外加電流加速腐蝕裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	5-50
圖 5.28 戶外試體內容物鋼筋配置	5-51
圖 5.29 內容物鋼筋外觀	5-52
圖 5.30 混凝土組合模板外觀	5-52
圖 5.31 混凝土組合模板設計	5-53
圖 5.32 強制式雙軸式拌合機	5-54
圖 5.33 小型拌合機外觀圖	5-55
圖 5.34 斜剪試驗	5-56
圖 5.35 斜剪試驗試體尺寸	5-57
圖 5.36 乾縮模具與應變器	5-58
圖 5.37 壓力環	5-59
圖 5.38 萬能試驗機	5-60
圖 5.39 流度台及流度模殼	5-61
圖 5.40 注漿流度儀	5-62

圖 5.41 定水頭透水係數測定儀.....	5-63
圖 5.42 水中磨耗試驗機.....	5-65
圖 5.43 洛杉磯磨損試驗機.....	5-66
圖 5.44 反彈錘試驗數值-強度對照圖	5-67
圖 5.45 混凝土強度反彈錘.....	5-68
圖 5.46 半電池電位量測儀.....	5-69
圖 5.47 平衡電位圖	5-70
圖 5.48 腐蝕量測儀.....	5-71
圖 5.49 透水試驗法	5-72
圖 5.50 混凝土電阻係數量測示意圖.....	5-73
圖 5.51 四極式電阻量測儀.....	5-73
圖 5.52 四點式抗彎示意圖	5-74
圖 5.53 離子自動滴定儀.....	5-76
圖 5.54 基隆地區氣溫月平均圖.....	5-77
圖 5.55 基隆地區雨量月平均圖	5-78
圖 5.56 基隆地區相對溼度月平均圖	5-78
圖 5.57 基隆地區氣壓月平均圖	5-79
圖 5.58 基隆地區降雨日數月平均圖	5-79
圖 5.59 基隆地區日照時數月平均圖	5-80
圖 5.60 環氧樹脂洛杉磯試驗後經過篩圖	5-82
圖 5.61 壓克力樹脂改性漿體洛杉磯磨損試驗剩餘質量圖.....	5-83
圖 5.62 環氧樹脂砂漿嚴重析離俯視圖	5-85
圖 5.63 環氧樹脂砂漿嚴重析離剖面圖	5-86

圖 5.64	水泥砂漿長度變化量.....	5-92
圖 5.65	聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿長度變化量.....	5-93
圖 5.66	液態壓克力樹脂砂漿長度變化量.....	5-93
圖 5.67	乾粉狀壓克力樹脂砂漿長度變化量.....	5-93
圖 5.68	滲透結晶材砂漿長度變化量.....	5-94
圖 5.69	以電鑽破壞通電加速腐蝕試體圖.....	5-99
圖 5.70	以表面封層配合針筒注射修補工法完成圖.....	5-100
圖 5.71	以修補材料表面塗封工法完成圖.....	5-102
圖 5.72	以大面積修補填補工法完成圖.....	5-103
圖 5.73	到達修補區域的方法.....	5-108
圖 5.74	兩種典型使用的模板：使用幫浦澆置用及鳥喙形模板	5-126
圖 5.75	柔性模板施工的示意圖.....	5-127
圖 5.76	鋼製套袖修補工法.....	5-133
圖 5.77	預力鋼鍵修補.....	5-138
圖 5.78	表面注入法示意圖.....	5-144
圖 5.79	塗封的示意圖.....	5-144

第一章 緒論

臺灣為一四面環海之島嶼區域，海岸線綿延長達一千多公里，沿岸大小灣嶼及港口眾多，屬於亞熱帶氣候，夏秋兩季常有颱風發生。港灣及濱海地區之構造物諸如碼頭、防波(海)堤、建物、公路橋樑...等，大多屬於一般土建工程建物，其建造材料大致以鋼筋混凝土與鋼材(構)等兩大類為主。由於位處海域地帶，上述各類型土工建物或設施常年處於海洋惡劣環境下，必須長期承受波浪、暴潮及暴風侵襲，又地處環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，常有強烈地震發生，影響港灣及濱海構造物安全之變數繁多，要做好維護管理極為不易，又面臨腐蝕嚴酷之海洋環境，構造物更易受損且加速劣化，因此，承受潛伏性與立即性損壞之威脅機率甚高。

依據 交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等 2 大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣 21 世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。

臺灣主要港口轄區內大多數港口設施，不論為鋼材(構)或鋼筋混凝土構造物，其使用迄今多已超過 40 年以上，均屬老舊設施，近幾年來已不斷發生諸如碼頭混凝土劣化及鋼筋腐蝕(斷裂)、土壤液化、終致崩塌損壞等情形，濱海地區之橋樑與建物亦出現同樣問題。如何因應構造物劣化損壞維修之需要，建立一套維護管理機制更凸顯其重要性。

維維護管理機制其主要目的為確保構造物使用安全及延長其使用年限，以往公共工程與重要設施大都較注重興建，或發現嚴重問題後才開始想進行全面修護，對於日常之調查維護作業，經常僅編列少數或無維護經費，故其維護效益甚低至無，設施任其持續劣化終致損壞，最後淪為不能使用之命運。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，其營運停頓造成之損失更難以估計。為此，構造物維護管理機制之建立，必為未來各項工程領域刻不容緩之課題，方能達成其永續經營。港灣及濱海橋樑等構造物之維護管理當然不應自外於主流趨勢。因應世界潮流與營建主流趨勢，未來國內公共工程等構造物，其維護管理所佔之權重，將比興建或全面維修更形重要。港灣及濱海構造物之劣化損壞，其維修工法與維修材料之研發應用，將為本計劃重要研究課題之一。

本計畫為期 4 年，主要乃藉由構造物現況及大氣環境因子調查，以了解構造物劣化狀況及探討其發生機理，並依據材料在大氣腐蝕環境分類特性及現況檢測與評估結果，選用適當之維修工法與維修材料，建立一套完整維護管理作業機制。研究期程自民國 100 年至 103 年止，研究內容分為三個子計畫；子計畫(1)港灣構造物及濱海地區橋梁與建物現況調查；主要以臺灣地區(包含澎湖、金門等)之商漁港區之碼頭設施及其周邊鄰近濱海地區(帶)之重要土建構造物諸如一般建物、橋樑...等，進行現況調查與評估，擬定破壞檢測程序、詳細檢測、安全評估方式，期能建置一套完整之維護管理機制，以利於日後港灣及濱海地區構造物之維護管理。子計畫(2)大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究；主要將長期蒐集臺灣地區(包含澎湖、金門)各地之大氣腐蝕因子試驗數據，進行金屬材料大氣腐蝕環境分類並建置「大氣腐蝕因子」資料庫，以提供國內工程界在防蝕設計、保護之參考。子計畫(3) 混凝土構造物修補材料與工法之研究；主要乃為提升國內港灣鋼筋混凝土構造物的修復或補強技術水準，並研擬適合於海洋環境下之修補材料與維修工法手冊，以降低構造物生命週期成本。

本年度為計畫執行之第 1 年，分別已完成澎湖及花蓮地區之港灣設施及鄰近濱海地區建物之現況調查，持續進行大氣腐蝕因子每一季節試樣之佈放試驗與分析工作，同時選擇 5 至 8 種修補材料進行相關基本性能(質)試驗與評估，並草擬修補材料及修補工法手冊部份內容。各子計畫之研究結果請參閱後續章節之陳述。

第二章 研究計畫概述

2.1 計畫時程

本計畫研究期程為 4 年，研究內容規畫為三個子計畫進行，自民國 100 年 1 月起至民國 103 年 12 月止，三個子計畫之研究內容分別簡述於 2.2 節中。

2.2 計畫摘要與研究內容

2.2.1 子計畫(一)：港灣構造物及濱海地區橋梁與建物現況調查

2.2.1.1 計畫摘要

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

近十數年來，全球溫室氣體效應，造成氣候極端變遷，國內風災規模劇烈、地震頻傳，許多公共工程諸如交通設施，屢遭襲擊，一夕之間不是倒塌就是受損嚴重，結構物面臨岌岌可危，安全堪慮的窘境。臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。自民國 88 年 921 大地震以及民國 98 年 8 月之莫拉克颱風所造成之八八水災等之大小災襲後，造成各大商、漁港之碼頭、防波堤等設施及臨近濱海地區之建物陸續發生損壞，例如台中港區碼頭後線土壤液化與倉庫建物等嚴重損毀、基隆港區數座鋼板(管)樁碼頭之腐蝕破損(洞)、蘇澳港區之南外廓防波堤沉箱之掏空塌陷、花蓮港新東防波堤胸牆之嚴重損毀，屏東沿海地區河川出海口堤防破損、林園之雙園大橋斷橋、林邊大橋瀕臨沖毀斷裂等，或其它突發性無預警之損壞事例，不時持續出現。因此，港灣結構物以及其鄰近濱海地區之建物橋樑等公共設施之現況是否安全堪用，必需明

確瞭解，俾採必要之防範措施。

依據 交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等 2 大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣 21 世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。近十數年來，臺灣本島五大商港區之碼頭結構物現況調查，已陸續進行中。相對於離島地區之港灣設施，諸如澎湖馬公與金門碼頭之狀況，多年來都未曾進行調查與資料檔案建置，因此，本子計畫特別加入離島地區之港灣設施現況調查外，並將調查範圍從港口設施擴及至周邊鄰近濱海地區之建物或橋樑....等，做為調查重點。相關研究內容如下；

2.2.1.2 研究內容

第 1 年工作內容：

- 1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。
- 2.檢測程序之擬定：以澎湖地區之商漁港及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑...)為例，擬定現地調查之標準檢測程序。
- 3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。
- 4.儀器檢測適用性探討。

第 2 年工作內容：

- 1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。
- 2.檢測程序之擬定：以台中港及花蓮港碼頭及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑...)為例，擬定現地調查之標準檢測程序。
- 3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。

4.構造物劣損機制之研擬。

第 3 年工作內容：

- 1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。
- 2.檢測程序之擬定：以基隆港、蘇澳港與台北港碼頭及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑...)為例，擬定現地調查之標準檢測程序。
- 3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。
- 4.構造物劣損機制之研擬並進行實地操作及驗證。

第 4 年工作內容：

- 1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。
- 2.檢測程序之擬定：以高雄港、安平港碼頭及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑...)為例，擬定現地調查時之標準檢測程序。
- 3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。
- 4.構造物劣損機制之研擬並進行實地操作及驗證。
- 5.細部檢測評估程序之建置。
- 6.港灣構造物維護管理機制建置。

2.2.2 子計畫(二)：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究

2.2.2.1 計畫摘要

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

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

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

本計畫為一長期且持續性之研究工作，主要工作項目為大氣環境腐蝕因子調查與資料庫的建立，藉由長期之現地試驗數據之資料分析將可完成臺灣大氣腐蝕環境分類，以作為新建與既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考。

2.2.2.2 研究內容

第 1 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：持續現地取樣與試驗調查，氣象資料蒐集分析及相對溼度、氯鹽(Cl⁻)與二氧化硫(SO₂)附著量等腐蝕因子調查。
- 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大型試片暴露試驗。
- 5.資料蒐集與分析：將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：增建並持續修正大氣腐蝕環境分類系統之大氣腐蝕因子資料庫。

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。

第 2 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：持續進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬現地暴露試驗。

4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。

5.資料蒐集與分析：持續將現地取樣與試驗調查，分析歷年累計成果與趨勢及發行年報。

6.大氣腐蝕因子資料庫建立。

7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫。

第 3 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：持續進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬現地暴露試驗。

4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。

5.資料蒐集與分析：持續將現地取樣與試驗調查，分析歷年累計成果與趨勢及發行年報。

6.大氣腐蝕因子資料庫建立。

7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫。

第 4 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：持續進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬現地暴露試驗。
- 4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。
- 5.資料蒐集與分析：持續將現地取樣與試驗調查，分析歷年累計成果與趨勢及發行年報。
- 6.大氣腐蝕因子資料庫建立。
- 7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫。

2.2.3 子計畫(三)：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究

2.2.3.1 計畫摘要

鋼筋混凝土構造物長期曝露在海洋環境中，會受到氯離子及硫酸鹽等有害因子之侵蝕，加上海浪的沖蝕作用，混凝土經常發生開裂、崩落等劣化現象及內部鋼筋快速腐蝕終致斷裂，降低構造物的服務品質與使用壽命。針對港灣鋼筋混凝土構造物劣化原因及程度，採用適當的修補或補強材料與工法，延長構造物服務年限或提高其服務品質，實為刻不容緩的重要研發課題。

為提升國內港灣鋼筋混凝土構造物的修復或補強技術水準，降低構造物生命週期成本。本研究主要包括：(1)評估既有修補材料特性，改良或研發新修補材料。(2)配合修補材料，研擬修補工法。(3)港灣鋼筋混凝土構造物修補實作與觀測。(4)不同工法的效益評估。(5)擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊。

2.2.3.2 研究內容

第 1 年工作內容：

- 1.國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法。

- 2.進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。
- 3.試體製作包括實驗室模擬試體以及戶外曝露試驗試體。
- 4.試體觀測內容包括：力學行為的變化、開電路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、裂縫修補百分率量測。

第 2 年工作內容：

- 1.持續蒐集國內外相關資料。
- 2.持續進行試驗觀測與數據彙整分析。
- 3.擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊。

第 3 年工作內容：(民國 102 年)

- 1.持續蒐集國內外相關資料。
- 2.持續進行試驗觀測與數據彙整分析。
- 3.修補工法之擬定。
- 4.研擬修補工法施作標準程序

第 4 年工作內容：

- 1.持續蒐集國內外相關資料。
- 2.持續進行試驗觀測與數據彙整分析。
- 3.修補工法之實地操作與驗證。
- 4.修補工法施作標準程序之建置。
- 5.擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊。

第三章 港灣碼頭與濱海建物之現況調查

3.1 緒論

3.1.1 研究動機

臺灣為一四面環海之島嶼區域，海岸線綿延長達一千多公里，沿岸大小灣嶼及港口眾多，屬於亞熱帶氣候，夏秋兩季常有颱風發生。港灣及濱海地區之構造物諸如碼頭、防波(海)堤、建物、公路橋樑...等，大多屬於一般土建工程建物，其建造材料大致以鋼筋混凝土與鋼材(構)等兩大類為主。由於位處海域地帶，上述各類型土工建物或設施常年處於海洋惡劣環境下，必須長期承受波浪、暴潮及暴風侵襲，又地處環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，常有強烈地震發生，影響港灣及濱海構造物安全之變數繁多，要做好維護管理極為不易，又面臨腐蝕嚴酷之海洋環境，構造物更易受損且加速劣化，因此，承受潛伏性與立即性損壞之威脅機率甚高。

近十數年來，全球溫室氣體效應，造成氣候極端變遷，國內風災規模劇烈、地震頻傳，許多公共工程諸如交通設施，屢遭襲擊，一夕之間不是倒塌就是受損嚴重，結構物面臨岌岌可危，安全堪慮的窘境。臺灣對外經貿運輸主要以海運為主，港埠設施之完善、營運正常與安全，攸關貨物之流暢與經濟發展。主要港口轄區內大多數港口設施，使用迄今多已超過 40 年以上，均屬老舊設施，近幾年來已不斷發生諸如碼頭混凝土劣化及鋼筋腐蝕(斷裂)、終致崩塌損壞等情形，濱海地區之橋樑與建物亦出現同樣問題。自民國 88 年 921 大地震以及民國 98 年 8 月之莫拉克颱風所造成之八八水災等之大小災襲後，造成各大商、漁港之碼頭、防波堤等設施及臨近濱海地區之建物陸續發生損壞，例如台中港區碼頭後線土壤液化與倉庫建物等嚴重損毀、基隆港區數座鋼板(管)樁碼頭之腐蝕破損(洞)、蘇澳港區之南外廓防波堤沉箱之掏空塌陷、花蓮港新東防波堤胸牆之嚴重損毀，屏東沿海地區河川出海口

堤防破損、林園之雙園大橋斷橋、林邊大橋瀕臨沖毀斷裂等，或其它突發性無預警之損壞事例，不時持續出現。因此，港灣結構物以及其鄰近濱海地區之建物等公共設施之現況是否安全堪用，必需明確瞭解，俾採必要之防範措施。

依據 交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等2大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣 21 世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。

維維護管理機制其主要目的為確保構造物使用安全及延長其使用年限，以往公共工程與重要設施大都較注重興建，或發現嚴重問題後才開始想進行全面修護，對於日常之調查維護作業，經常僅編列少數或無維護經費，故其維護效益甚低至無，設施任其持續劣化終致損壞，最後淪為不能使用之命運。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，其營運停頓造成之損失更難以估計。為此，構造物維護管理機制之建立，必為未來各項工程領域刻不容緩之課題，方能達成其永續經營。港灣及濱海橋樑等構造物之維護管理當然不應自外於主流趨勢。因應世界潮流與營建主流趨勢，未來國內公共工程等構造物，其維護管理所佔之權重，將比興建或全面維修更形重要。

本計畫研究期程為4年，主要以臺灣地區(包含澎湖、金門等)之商漁港區之碼頭設施及其周邊鄰近濱海地區(帶)之重要土建構造物諸如一般建物、橋樑...等，進行現況調查與評估，擬定破壞檢測程序、詳細檢測、安全評估方式，期能建置一套完整之維護管理機制，以利於日後港灣及濱海地區構造物之維護管理。本年度為計畫執行之第1年，初步已完成澎湖地區與花蓮之港區部份碼頭設施及其鄰近濱海地帶建物之現況調查，調查結果詳述於後續章節。

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與濱海建物進行現況調查之安全檢測與評估，期望提供維修單位參考，建立平時定期或特殊狀況之緊急檢測制度，儘早發現構造物混凝土劣化或內部鋼筋腐蝕狀況，減少構造物因環境因素或天然災害所造成更大之損壞。

3.1.3 研究範圍

港灣構造物可大致分為水域設施結構及岸上結構兩大類，水域設施包括碼頭、防波堤等主要結構和碼頭防舷材、繫纜設施、附屬防蝕材料等附屬結構設施。岸上結構主要為倉庫、廠房、儲存槽及相關機具設備。依使用材料分類，主要有鋼筋混凝土及鋼材兩種。其中又以鋼筋混凝土使用最為廣泛。本計畫研究期程為 4 年，本年度（民國 100 年）為第 1 年，研究範圍選定為澎湖地區商港、漁港之碼頭及防波堤設施與其濱海地區建物之現況調查，並另配合花蓮港鋼板樁碼頭防蝕設施效能檢測需要，增加花蓮港航道岸壁與 4 至 9 號碼頭鋼板樁為現況調查對象。民國 101 至 103 年將分別針對臺中及花蓮港；基隆、蘇澳及台北港；及高雄及安平港碼頭及濱海建物等，進行檢測程序與構造物劣損評估項目之檢討。

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：

3.2.1.1. 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。

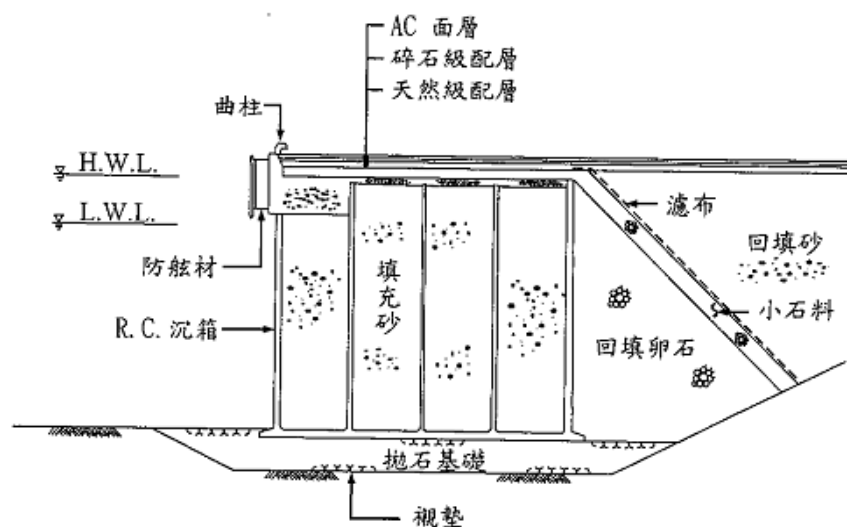


圖 3.1 沈箱式碼頭

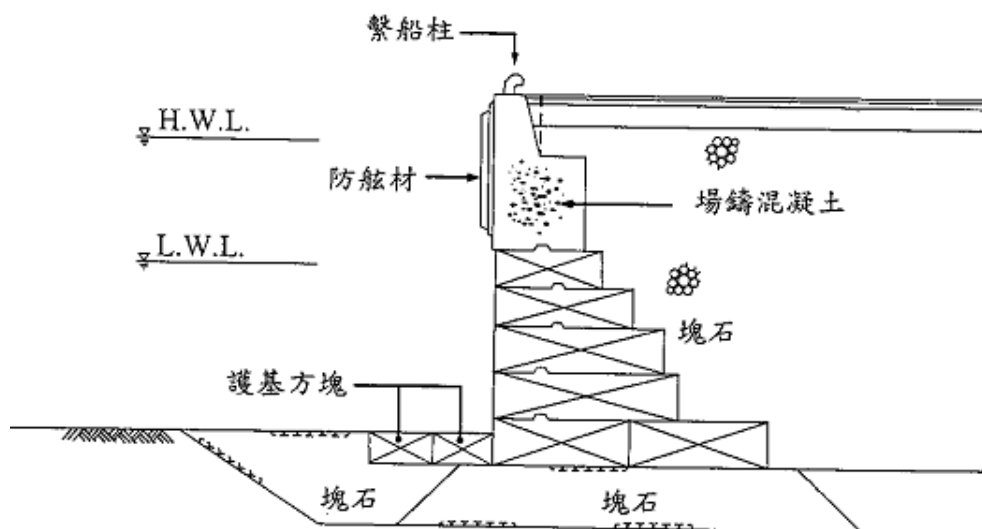


圖 3.2 方塊式碼頭

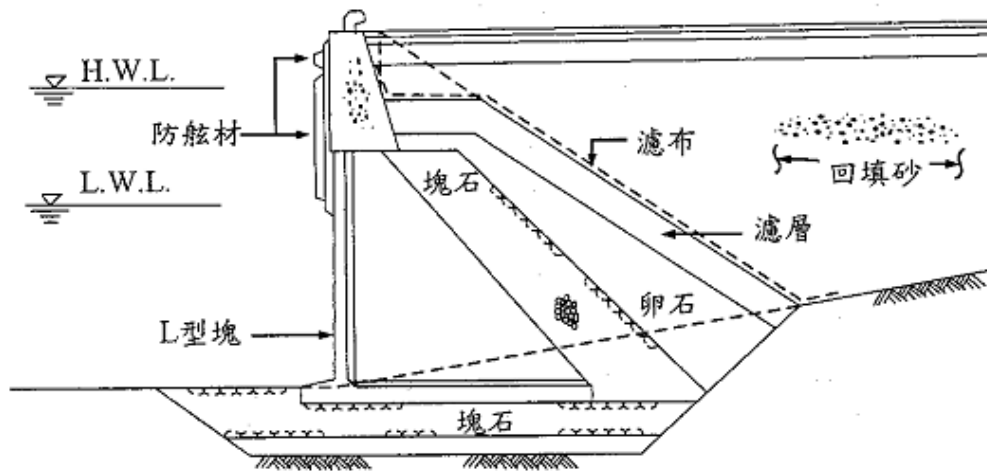


圖 3.3 L 型塊式碼頭

3.2.1.2 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。

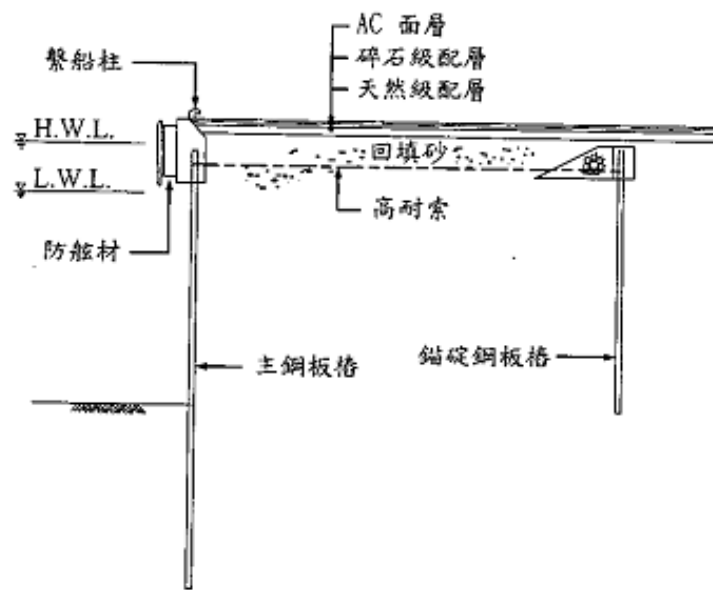


圖 3.4 錨碇板式碼頭

3.2.1.3 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。

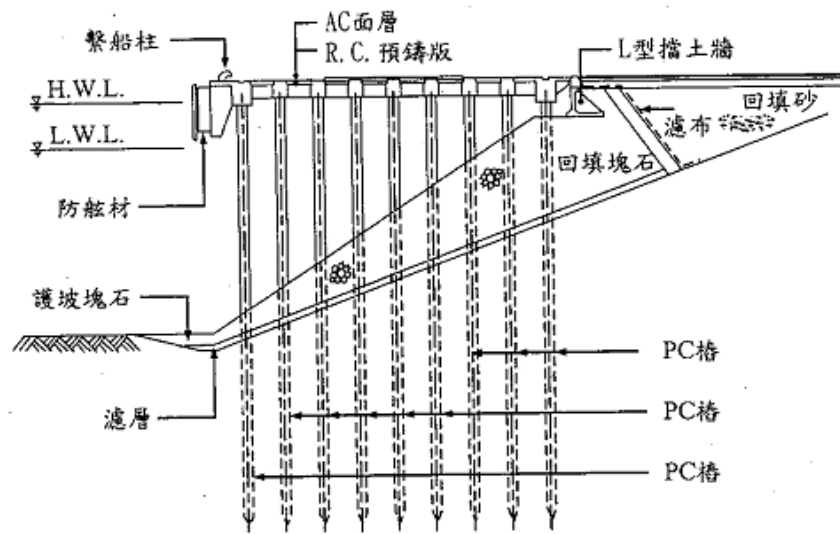


圖 3.5 直樁棧橋式碼頭

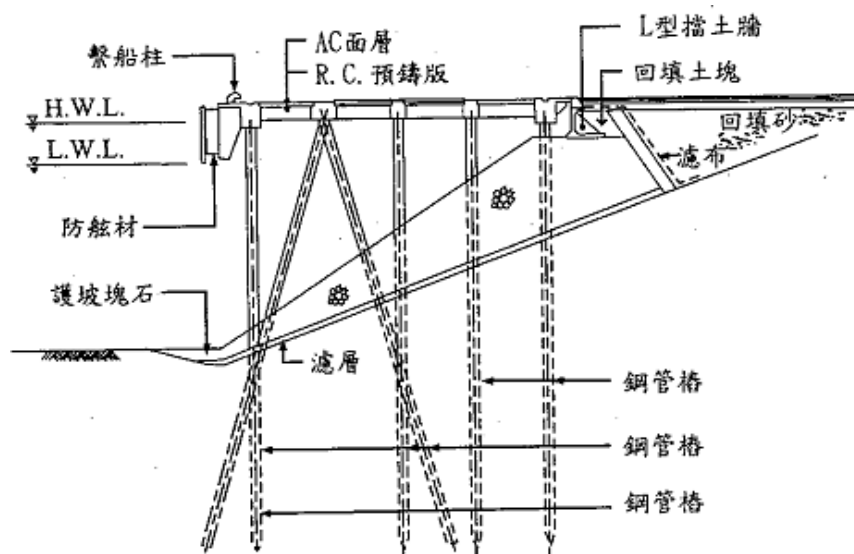


圖 3.6 斜樁棧橋式碼頭

3.2.2 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。

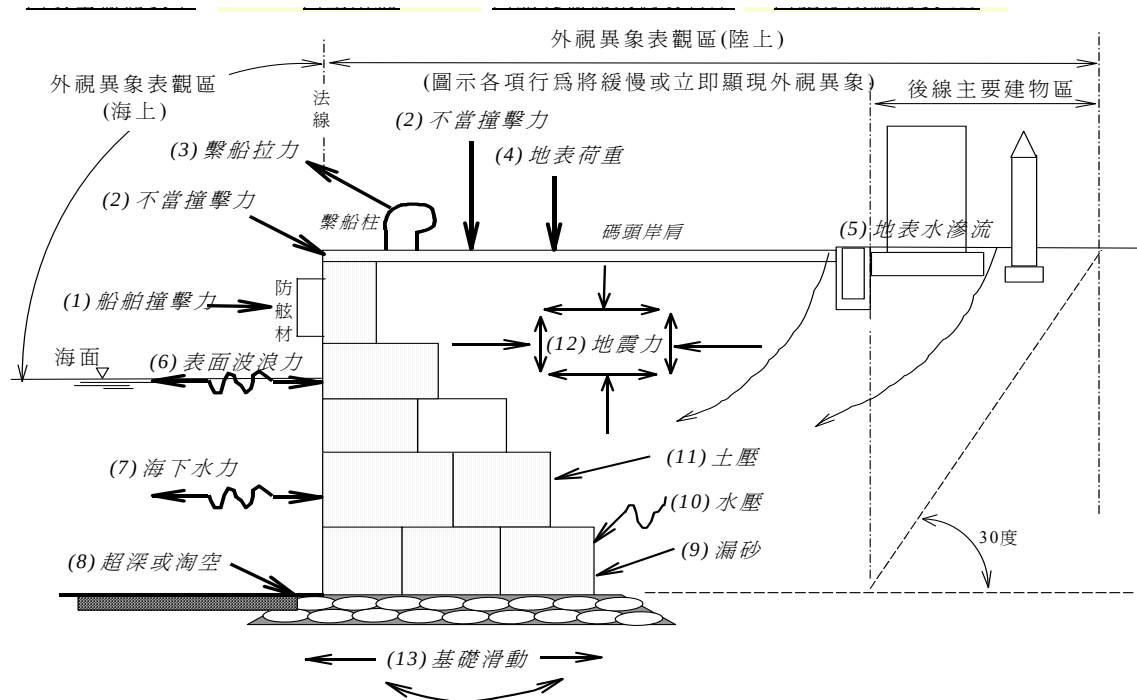


圖 3.7 導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

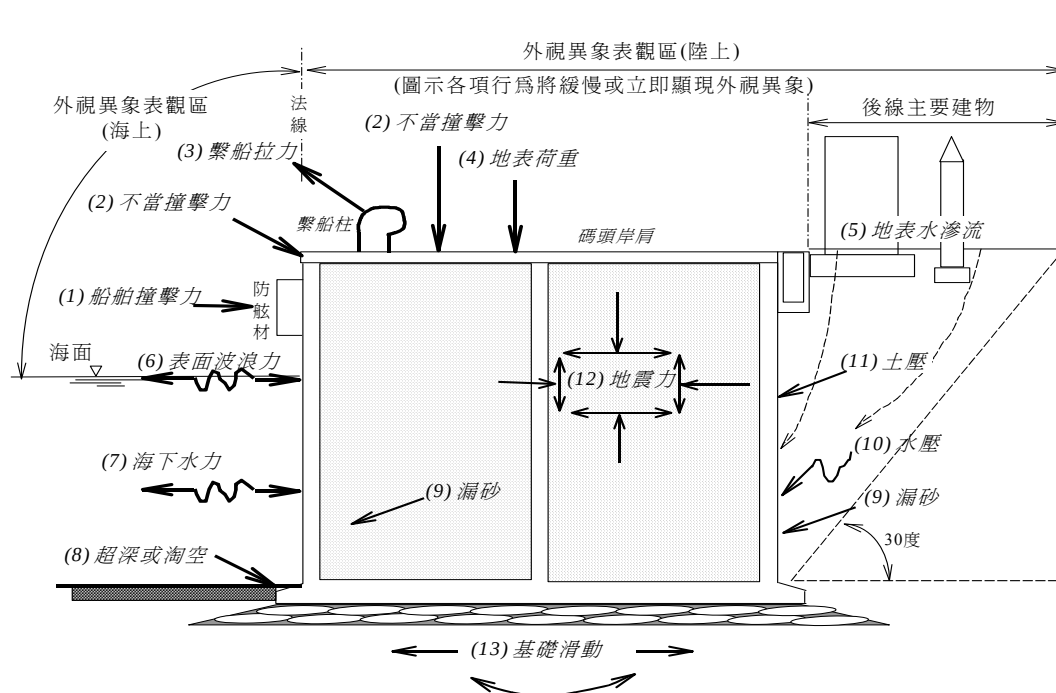


圖 3.8 導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

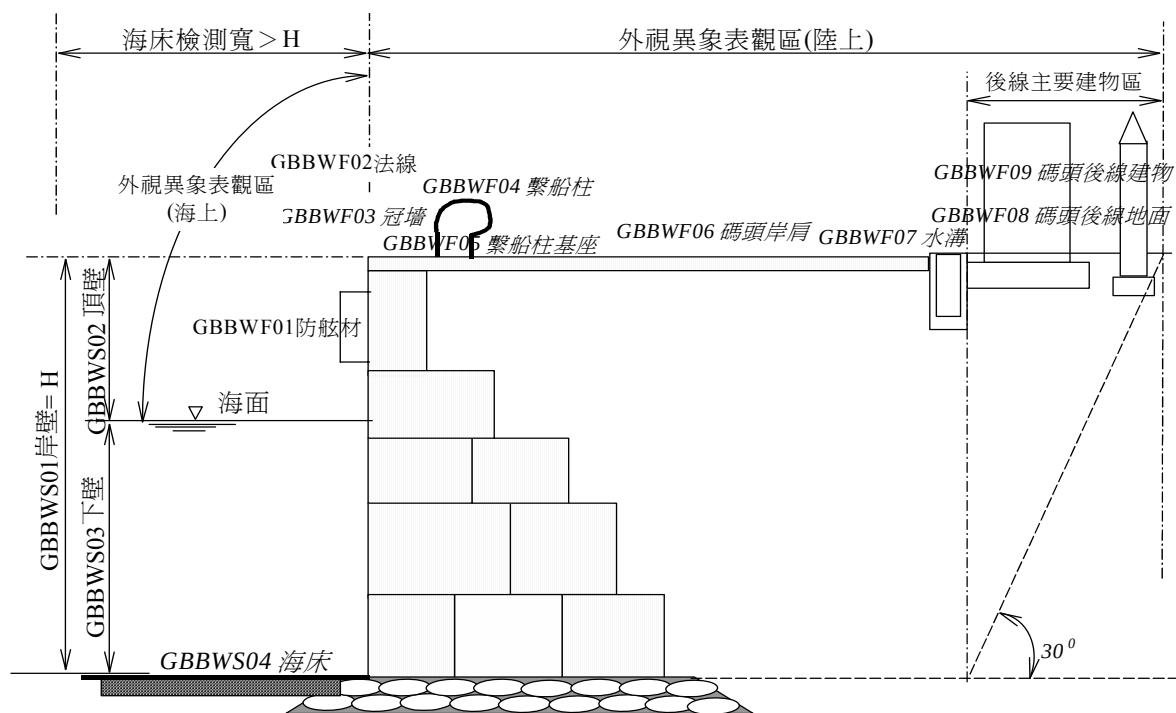


圖 3.9 重力式方塊碼頭構件標示

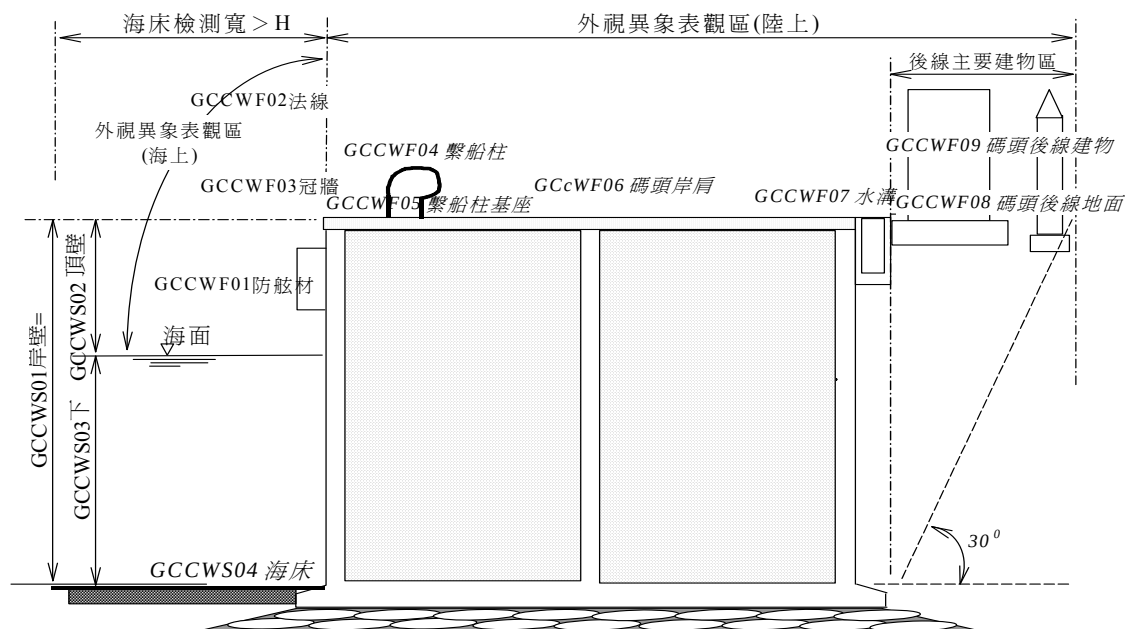


圖 3.10 重力式沉箱碼頭構件標示

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				✓	✓		

3.2.3 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。

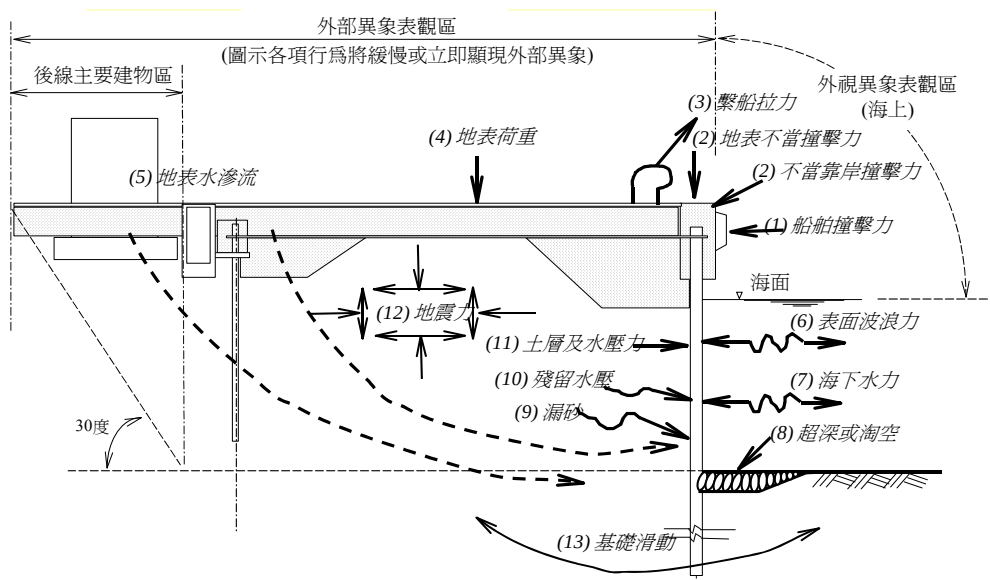


圖 3.11 導致版樁式錨錠樁碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

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				✓	✓		

3.2.4 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樁破壞、碼頭單元接樁鬆動，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							✓

3.2.5 港灣 R.C.結構物安全檢測項目

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

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

3.2.5.1 整體結構變形檢測

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

3.2.5.2 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

3.2.5.3 基礎地盤調查

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

3.2.5.4 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。

3.2.6 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。

3.2.6.1 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。

3.2.6.2 緊急災變檢測

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

3.2.6.3 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。

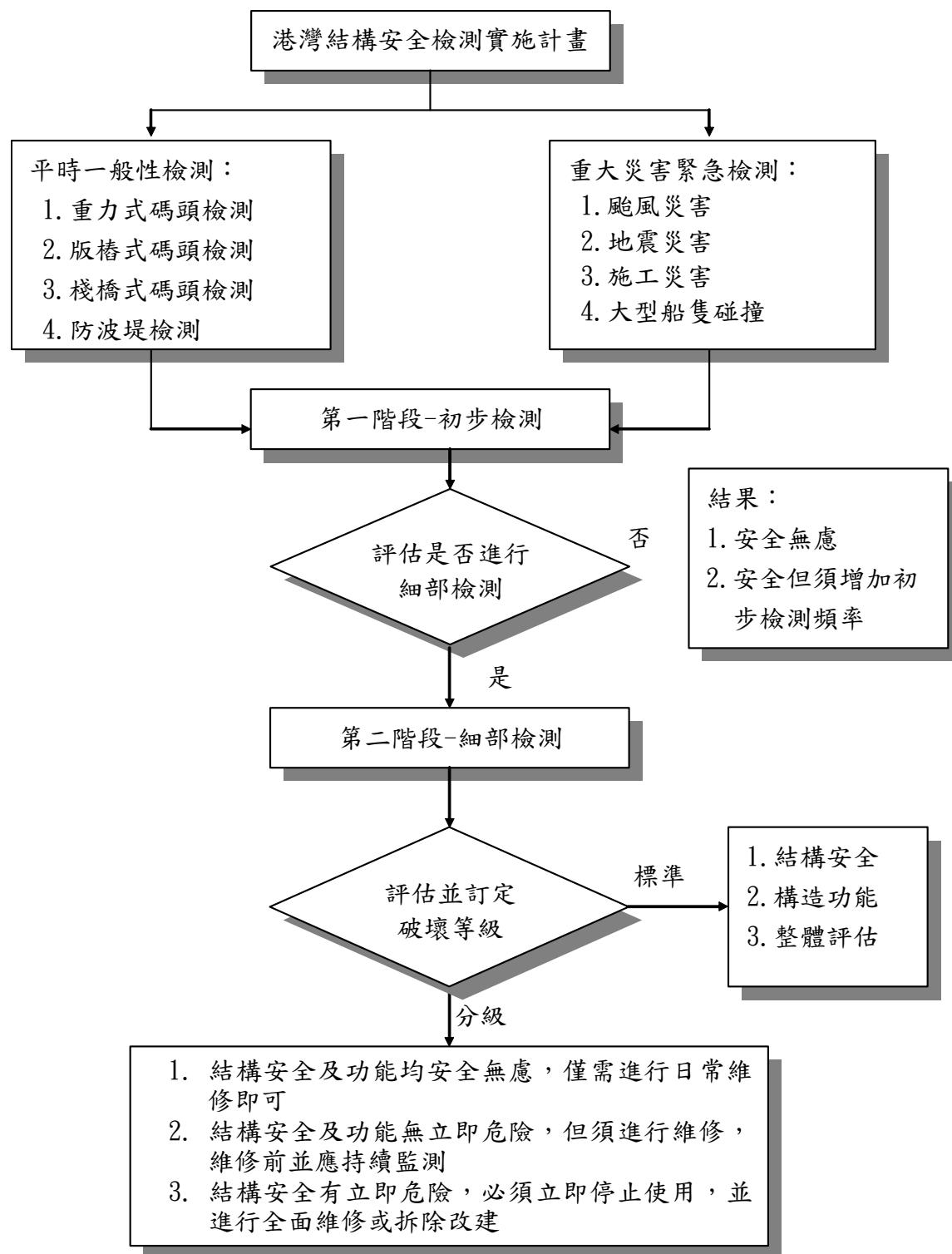


圖 3.12 港灣結構安全檢測實施流程圖

3.2.7 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。

3.2.7.1 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。

$$ID_1 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i} \dots\dots\dots (公式 3.1)$$

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. $0 \leq ID_1 < 2$ ：安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。
2. $2 \leq ID_1 < 4$ ：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 $ID \geq 4$ ，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應立即進行，如主結構體或整體檢測值之 $ID \geq 4$ ，必須進行第二階段之細部檢測以進一步了解構造物破壞狀況。

3.2.7.2 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：

3.2.7.3 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。

3.2.7.4 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 $ID_A \geq 4$ ，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。

3.2.7.5 整體性評估原則

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

3.2.7.6 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，續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：

$$ID_2 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i} \dots\dots\dots (公式 3.2)$$

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. $1.0 \leq ID_2 < 3$ ：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. $3 \leq ID_2 < 6$ ：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. $ID_2 \geq 6$ ：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，調查流程如圖 3.13 所示。本年度除以澎湖縣馬公商港 1 號及 6-8 號碼頭（棧橋式）為調查對象外，調查範圍亦將納入澎湖縣之主要漁港碼頭（重力式），包括馬公市所轄馬公第 1 至第 3 漁港、鎖港、蒔裡、風櫃東及西漁港；西嶼鄉所轄外垵、竹灣、赤馬、內安南及北漁港；白沙鄉所轄赤崁及歧頭漁港；湖西鄉所轄龍門及尖山商港，並配合花蓮港務局實際需要，增加花蓮港航道及 4 至 9 號碼頭（鋼板樁式）等之現況調查。

3.3.1 調查範圍

本年度調查範圍包括：澎湖縣馬公商港 1 號及 6-8 號碼頭（棧橋式）、澎湖縣主要漁港碼頭，並配合花蓮港務局實際需要，增加花蓮港航道及 4 至 9 號碼頭（鋼板樁式）等之現況調查，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。

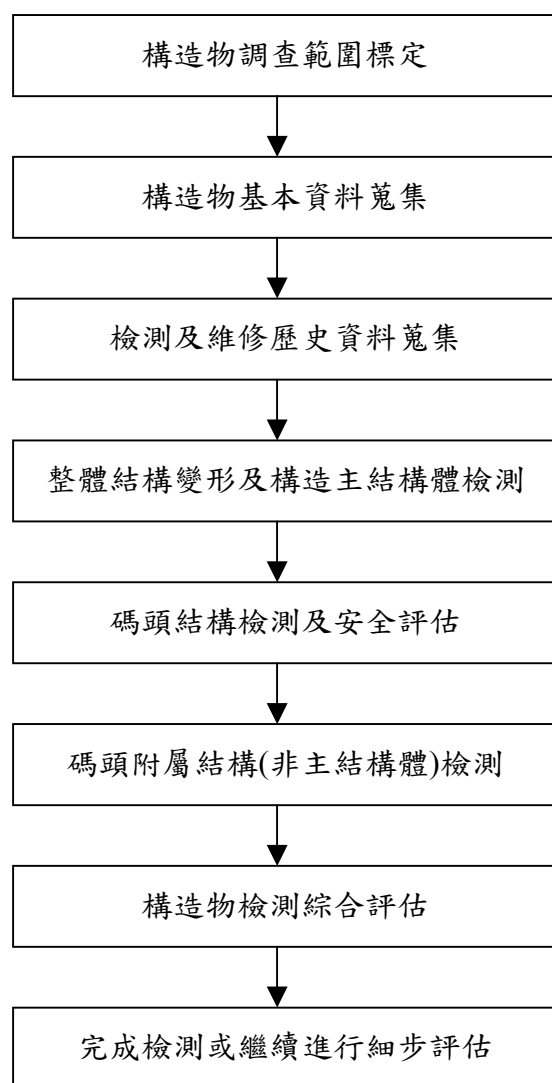


圖 3.13 構造物現況調查流程

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（船蓆）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		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i =$				
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材				2	
	繫船柱				3	
	擋車牆				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		$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum R_i =$				
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_l = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum R_i =$				
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

3.3.5.1 非破壞性試驗

1. 反彈錘法

反彈錘的構造主要構件有四部份：a.外殼；b.衝擊桿；c.錘塊；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，其內部的錘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，使連接儀器外殼與錘塊的彈簧伸長，當外殼推到與桿頂接觸時，卡損將放開錘塊，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。反彈錘塊將會帶動指針，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。

在反彈錘法的檢測中，只有與衝擊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。

因為反彈錘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。如果表面有用墾刀處理過，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 $1 \times 2\text{m}$ 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，使鋼筋能與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。

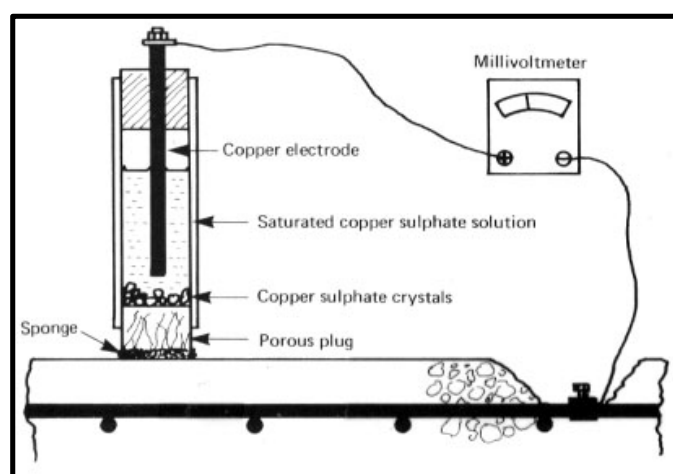


圖 3.14 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

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	$<5\%$
$-200\sim-350$	$50\%\sim95\%$
<-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。

3.3.5.2 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徑之 3 倍。鑽小試體長度最好為其直徑之 2 倍，或者不得小於其直徑。

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酞指示劑。

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：

(1) 兩端平整處理：

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

(2) 潮濕狀況：

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

(3) 蓋平：

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

(4) 度量：

試驗前應先量蓋平後之試體長度，準確至 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。

(5) 試驗：

可依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

(6)計算及報告：

試體受力方向，與原結構物內受力方向之關係，需在報告內註明。試體之抗壓強度，可根據其平均直徑，算出每平方公分所受壓力。如試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以表 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 Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester)超音波脈波速度測定儀，量測在硬固混凝土材質內超音波脈波之傳遞速度，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

3.3.6.1 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，由探頭傳送出一彈性波，經鋼材表面至內壁之傳播時間，即可算出波通過路徑之距離(鋼材厚度)，精準度可達 $\pm 0.1\text{mm}$ ，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 3.15。

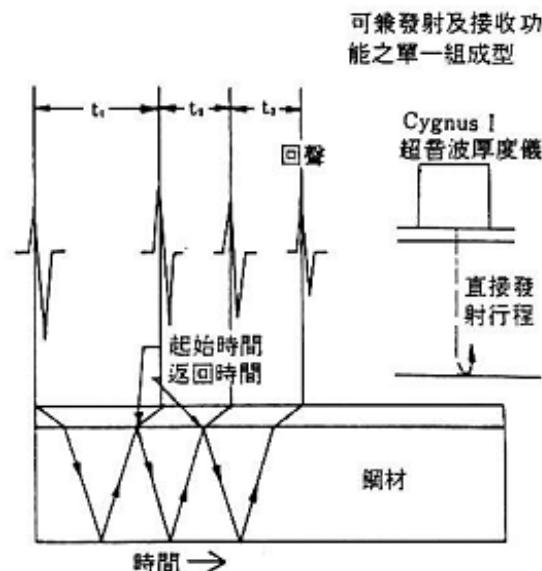


圖 3.15 測厚儀量測之示意圖⁽⁸⁾

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times \frac{1}{2}(T_{i+1} - T_i) \dots\dots\dots (\text{公式 3.3})$$

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：

$$\text{腐蝕速率} = \text{腐蝕量} / \text{使用年期}$$

$$= (\text{原始厚度} - \text{現有厚度}) / \text{使用年期} \dots\dots\dots (\text{公式 3.4})$$

3.3.6.2 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。

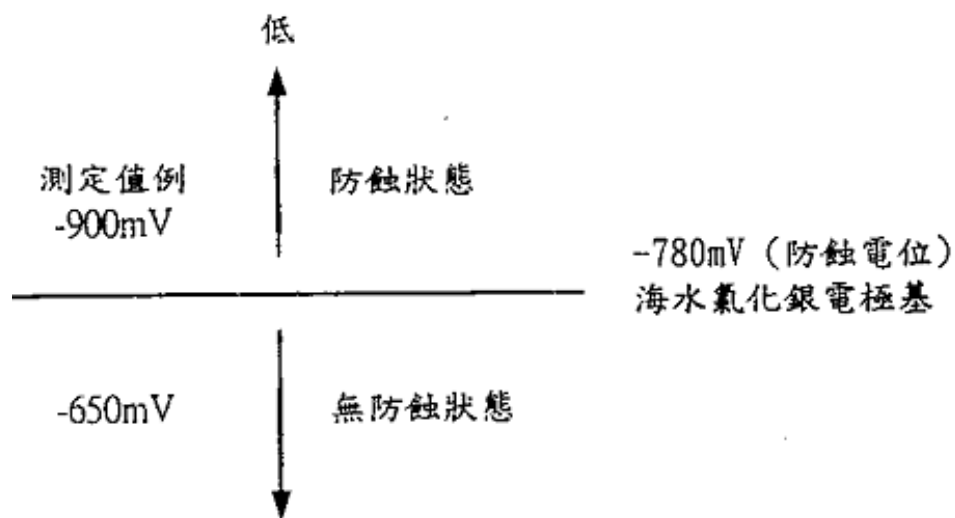


圖 3.16 防蝕效果的判定方法

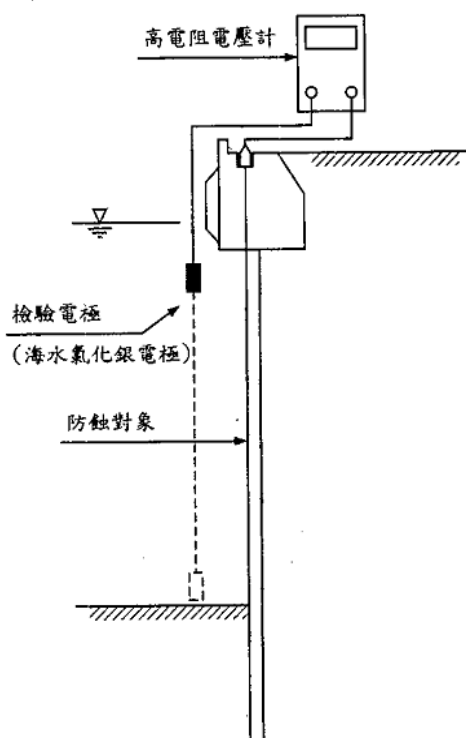


圖 3.17 電位測定示意圖

2.陽極塊測定

- (1)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 $=[(D/4)^2 \times L - \text{蕊棒體積}] \times \text{陽極密度}$ ，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。

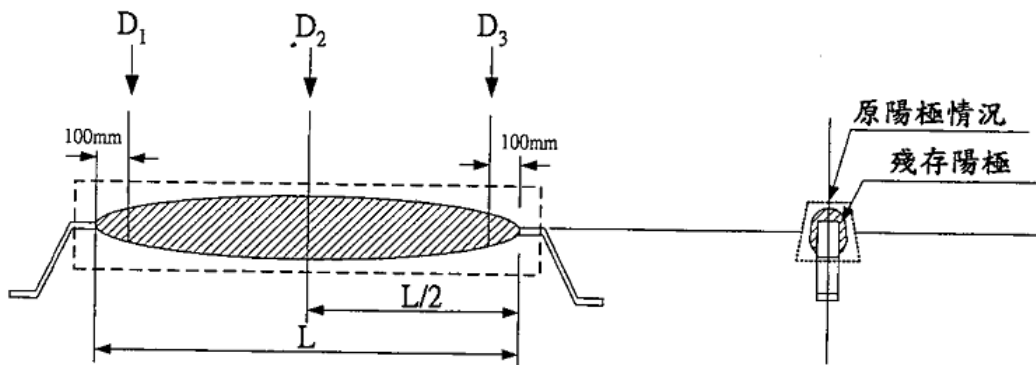


圖 3.18 陽極尺寸測定示意圖

- (2)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。
- (3)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 $=(\text{陽極初期重量}-\text{陽極殘存重量})/\text{經過年數}$

殘存壽命 $=\text{陽極殘存量}/\text{陽極年平均消耗量}$

另外，也可從陽極平均發生電流求取殘存壽命

殘存壽命 $=(\text{陽極殘存量} \times \text{陽極有效電氣量})/\text{陽極平均發生電流}$

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牆，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

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	

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	
擋車牆	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

本年度除以 1 號及 6-8 號碼頭（棧橋式）為調查對象外，調查範圍亦將納入澎湖縣之主要漁港碼頭（重力式），包括馬公市所轄馬公第 1 至第 3 漁港、鎖港、蒔裡、風櫃東漁港；西嶼鄉所轄外垵、竹灣、赤馬、內安南及北漁港；白沙鄉所轄赤崁及歧頭漁港；湖西鄉所轄龍門及尖山商港，並配合花蓮港務局實際需要，增加花蓮港航道及 4 至 9 號碼頭與航道西側岸壁（鋼板樁式）等之現況調查。調查結果與討論詳列如下：

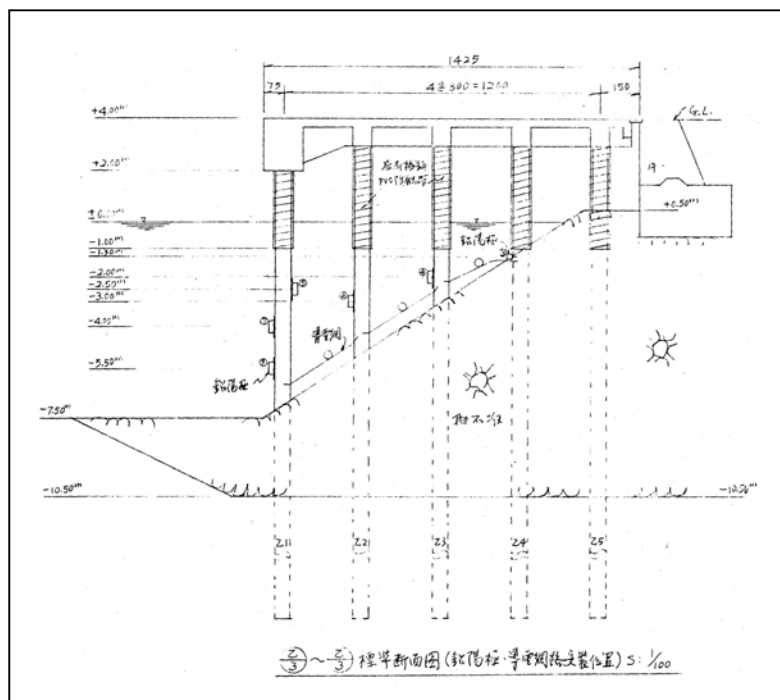
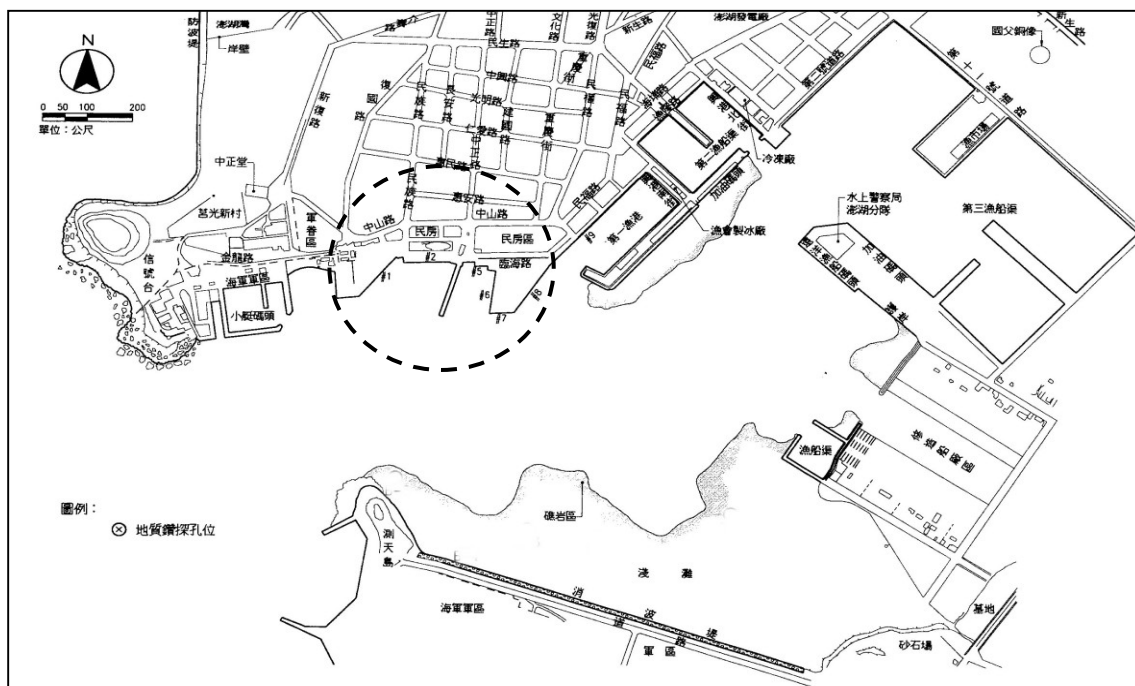
3.4.1 馬公港 1 號碼頭

本年度調查對象以澎湖馬公港為主，馬公港為澎湖與臺灣本島間貨物運輸最主要之港口，其對澎湖群島之重要性不言可喻，全港區共區分九座碼頭，碼頭位置與使用現況如圖 3.19 及表 3-10 所示。

- 1.碼頭基本資料：本座碼頭建造於民國 71 年 4 月，全長為 127 公尺，靠海測前列樁之設計水深為 -6.0 公尺，民國 84 年改建為鋼管樁棧橋式結構，整座碼頭共分為 12 單元。潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之保護電流能互相支援。碼頭結構斷面與陽極塊安裝位置、陽極塊斷面型式分別示於圖 3.20 及圖 3.21，檢測時碼頭現況如圖 3.22 所示。
- 2.過去檢測及維修歷史：上次檢測時間：民國 95 年，檢測結果：目視檢測整體正常，基樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約 0.05 mm/yr.，小於規範值 0.20 mm/yr.，陰極防蝕系統效能達到保護鋼管樁目的。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

表 3-10 馬公商港碼頭使用現況說明表

碼頭 編號	長度	設計 水深	建造 年月	用途	備註
1 號 碼頭	127 m	— 6.0m	71/4	客、貨運	鋼管樁棧橋式碼頭，可供 8000 噸級客輪靠泊，目前高馬線客貨輪「臺華輪」靠此碼頭。
2 號 碼頭	140m	— 5.8m	61/6	客運	混凝土基樁棧橋式碼頭，12 層港埠大樓位於碼頭後線，可供 3000 噸級以下客輪靠泊
3 號 碼頭	137m	— 5.0m — — 8.0m	60/6	卸油、卸 水、客運等	日據時代即有之突堤碼頭，無倉棧設施。
4 號 碼頭	128m	— 3.5m — — 8.0m	60/6		
5 號 碼頭	60m	— 3.5m	43/8	登陸艇	疊石岸壁式碼頭，無倉棧設施，可供軍方運補作業使用。
6 號 碼頭	103m	— 7.5m	81/2	貨運	81 年改建為鋼管樁棧橋式東、南、西向三座碼頭，目前供高馬、安馬、布馬、花馬等航線 5000 噸級以下貨輪靠泊作業，無倉棧設施。
7 號 碼頭	56m	— 7.5m	81/2	貨運	
8 號 碼頭	140m	— 7.5m	81/2	貨運	
9 號 碼頭	65m	— 2.5m — — 3.5m	29	離島交通 船	疊石岸壁式碼頭，無倉棧設施，因緊鄰馬公第一漁港且水深不足，目前未使用。



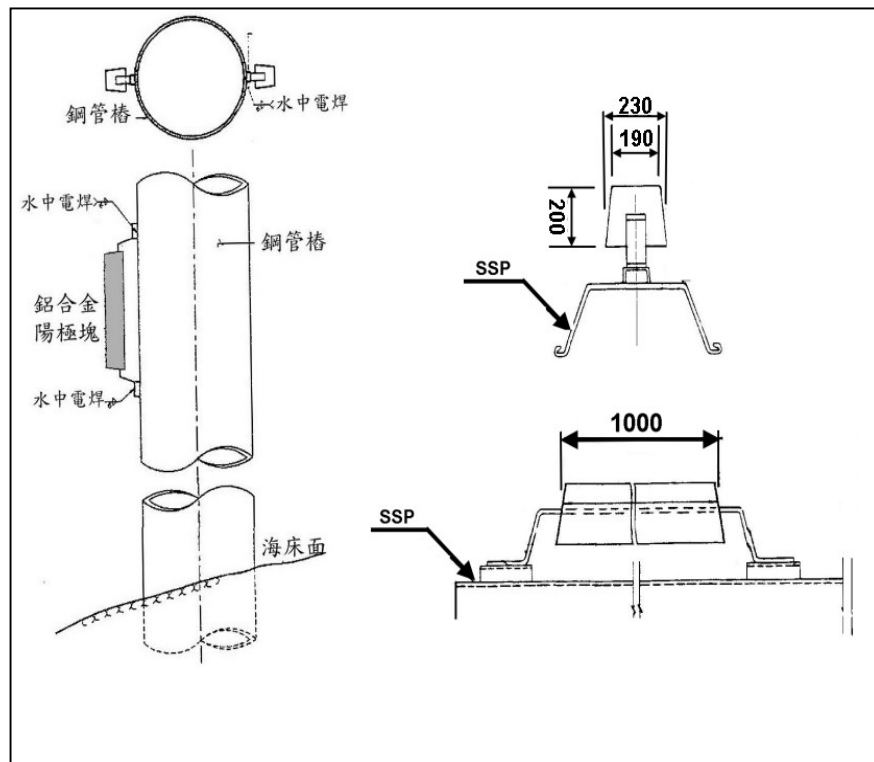


圖 3.21 馬公港 6 至 8 號碼頭陽極塊斷面型式



a. 碼頭路面及停靠臺華輪情形



b. 碼頭車檔與部份面版現況

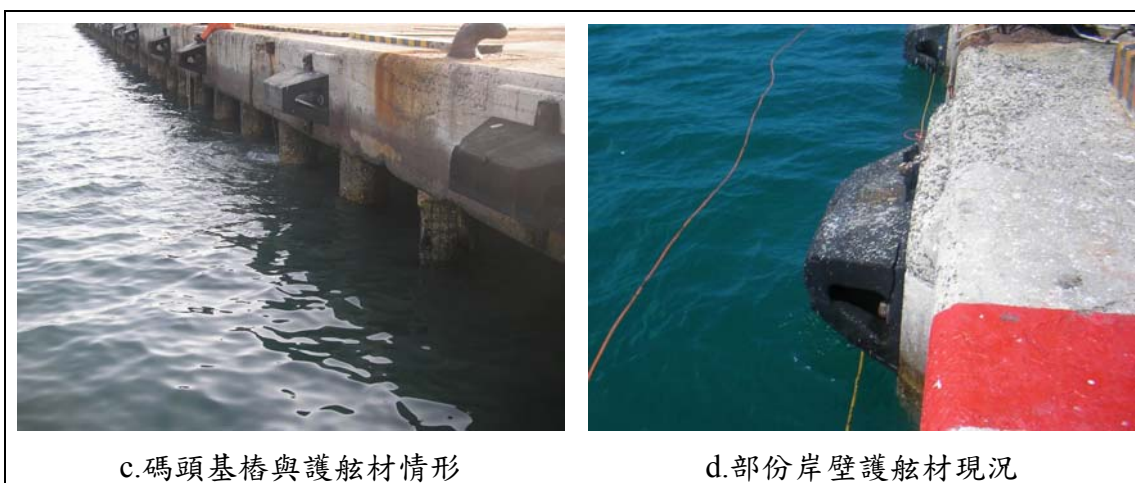


圖 3.22 馬公港 1 號碼頭現況情形(100.6.22)

- (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，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，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。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=0，R=3。
- (4)混凝土強度檢測：混凝土強度檢測項目之進行時機為，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，混凝土強度可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，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚

度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭鋼管樁檢測時，因未進行水下目視近距離觀察，惟在低潮位目視露出水面部份，並未發現基樁有明顯腐蝕生鏽情形，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-4 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質，調查時僅發現 2 處有輕微劣損現象，其餘均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

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

(3)擋車牆：本座碼頭擋車牆無明顯劣損，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：本座碼頭照明設備未發現損壞，本次調查係於日間進行，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：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 3-11 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。

表 3-11 馬公港 1 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：馬公港		碼頭編號：1 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 71 年 4 月		
	靠泊船級	原設計： 實際使用：			
	碼頭法線版面標 高：3.0 m	長度：127 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-6 m 目 前：-6 m	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 客、貨輪 ☐ 其他			
	碼頭構造型式	☐ 沉箱重力式 ☐ 版樁式 ☒ 棧橋式鋼管樁 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：民國 95 年 6 月 單位：港研中心 區分詳細檢測 結果：碼頭整體設施正常，防蝕設施達到保護鋼管樁目的			
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	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_P} R_i = 0.0$			
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	0	0	2	0
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 6 月 22 日					

3.4.2 馬公港 6 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭原屬為長 185 公尺，水深為 -3.5 公尺之疊石岸壁橫式碼頭之部份，民國 81 年向南填築 8800 平方公尺之新生地，改建為棧橋式鋼管樁碼頭，靠海測前列樁之設計水深為 -7.5 公尺。本座包含轉角與 5 號碼頭銜接段全長約 120 公尺，潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之碼頭位置與使用現況如圖 3.19 及表 3-10 所示，碼頭結構斷面與陽極塊安裝位置、陽極塊斷面型式分別示於圖 3.20 及圖 3.21，檢測時碼頭現況如圖 3.23 所示。

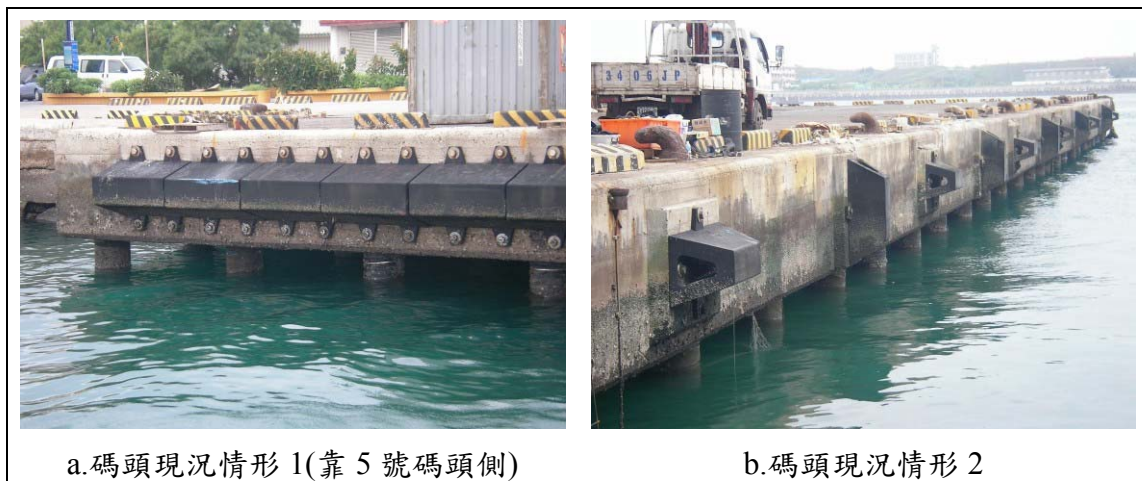


圖 3.23 馬公港 6 號碼頭現況情形(100.6.22)

- 2.過去檢測及維修歷史：民國 94 年，檢測結果：目視檢測整體正常，基樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約 0.05 mm/yr.，小於規範值 0.20 mm/yr.，陰極防蝕系統效能達到保護鋼管樁目的。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：
- (1)碼頭岸壁體檢測：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，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，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。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。
- (4)混凝土強度檢測：混凝土強度檢測項目之進行時機為，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，混凝土強度可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，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。
- (7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭鋼管樁檢測時，因未進行水下目視近距離觀察，惟在低潮位目視露出水面部份，並未發現基樁有明顯腐蝕生鏽情形，故 D 值=0，E=0，R=2。
- (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-5 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質，調查時僅發現 2 處有輕微劣損現象，其餘均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，未出現明顯鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (3)擋車牆：本座碼頭擋車牆無明顯劣損，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：本座碼頭照明設備未發現損壞，本次調查係於日間進行，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：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 3-12 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-12 馬公港 6 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：馬公港		碼頭編號：6 號			
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：103 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-7.5 m 目 前：-7.5 m		
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☒ 其他（原木）				
	碼頭構造型式	☐ 重力式 ☐ 版樁式 ☒ 棧橋式鋼管樁 ☐ 其他				
上次檢測	時間：民國 94 年 6 月 單位：港研中心 區分詳細檢測 結果：碼頭整體設施正常，防蝕設施達到保護鋼管樁目的					
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	0	0	3	0	
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0	
岸肩伸縮縫	0	0	3	0		
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_p} R_i = 0.0$				
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材	0	0	2	0	
	繫船柱	0	0	3	0	
	擋車牆	0	0	2	0	
	排水給水設備	0	0	2	0	
	照明設施	0	0	2	0	
	油電管路	0	0	3	0	
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.0$				
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.0$				
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 6 月 22 日						

3.4.3 馬公港 7 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭原屬為長 185 公尺，水深為 -3.5 公尺之疊石岸壁橫式碼頭之部份，民國 81 年向南填築 8800 平方公尺之新生地，改建為棧橋式鋼管樁碼頭，靠海測前列樁之設計水深為 -7.5 公尺。本座碼頭全長 56 公尺，潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之保護電流能互相支援。碼頭位置與使用現況如圖 3.19 及表 3-10 所示，碼頭結構斷面與陽極塊安裝位置、陽極塊斷面型式分別示於圖 3.20 及圖 3.21，檢測時碼頭現況如圖 3.24 所示。



圖 3.24 馬公港 7 號碼頭現況情形(100.6.22)

- 2.過去檢測及維修歷史：民國 94 年，檢測結果：目視檢測整體正常，基樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約 0.05 mm/yr.，小於規範值 0.20 mm/yr.，陰極防蝕系統效能達到保護鋼管樁目的。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：
- (1)碼頭岸壁體檢測：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，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，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。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。
- (4)混凝土強度檢測：混凝土強度檢測項目之進行時機為，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，混凝土強度可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，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。
- (7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭鋼管樁檢測時，因未進行水下目視近距離觀察，惟在低潮位目視露出水面部份，並未發現基樁有明顯腐蝕生鏽情形，故 D 值=0，E=0，R=2。
- (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-5 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質，調查時僅發現 2 處有輕微劣損現象，其餘均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，未出現明顯鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (3)擋車牆：本座碼頭擋車牆無明顯劣損，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：本座碼頭照明設備未發現損壞，本次調查係於日間進行，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：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 3-13 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-13 馬公港 7 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：馬公港		碼頭編號：7 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月		
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：56m 縱深：---m	水域深度	原設計：-7.5 m 目前：-7.5 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 ☒ 棧橋式鋼管樁 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：民國 94 年 6 月 單位：港研中心 區分詳細檢測 結果：碼頭整體設施正常，防蝕設施達到保護鋼管樁目的			
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	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
岸肩伸縮縫	0	0	3	0	
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_P} R_i = 0.0$			
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 6 月 22 日					

3.4.4 馬公港 8 號碼頭

- 1.碼頭基本資料：本座碼頭原屬為長 185 公尺，水深為 -3.5 公尺之疊石岸壁橫式碼頭之部份，民國 81 年向南填築 8800 平方公尺之新生地，改建為棧橋式鋼管樁碼頭，靠海測前列樁之設計水深為 -7.5 公尺。本座碼頭全長 140 公尺，潮汐帶部位之鋼管樁以混凝土保護，海中帶採用犧牲陽極塊法作為防蝕措施，每排打設 4 至 5 列鋼管樁，前 4 列鋼管樁以導電線焊接連通，陽極塊提供之保護電流能互相支援。碼頭位置與使用現況如圖 3.19 及表 3-10 所示，碼頭結構斷面與陽極塊安裝位置、陽極塊斷面型式分別示於圖 3.20 及圖 3.21，檢測時碼頭現況如圖 3.25 所示。



圖 3.25 馬公港 8 號碼頭現況情形(100.6.22)

- 2.過去檢測及維修歷史：民國 94 年，檢測結果：目視檢測整體正常，基樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約 0.05 mm/yr.，小於規範值 0.20 mm/yr.，陰極防蝕系統效能達到保護鋼管樁目的。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體檢測：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，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未

超過 10%，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。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

(4)混凝土強度檢測：混凝土強度檢測項目之進行時機為，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，混凝土強度可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，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭鋼管樁檢測時，因未進行水下目視近距離觀察，惟在低潮位目視露出水面部份，並未發現基樁有明顯腐蝕生鏽情形，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-5 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質，調查時僅發現 2 處有輕微劣損現象，其餘均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，未出現明顯鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (3)擋車牆：本座碼頭擋車牆無明顯劣損，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：本座碼頭照明設備未發現損壞，本次調查係於日間進行，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：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 3-14 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-14 馬公港 8 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：馬公港		碼頭編號：8 號			
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：140m 縱深：---m	水域深度	原設計：-7.5 m 目 前：-7.5 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 ☒ 棧橋式鋼管樁 ☐ 其他				
	上次檢測	時間：民國 94 年 6 月 單位：港研中心 區分詳細檢測 結果：碼頭整體設施正常，防蝕設施達到保護鋼管樁目的				
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	0	0	3	0	
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0	
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0	
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_P} R_i = 0.0$				
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	2	0	
	繫船柱	0	0	3	0	
	擋車牆	0	0	2	0	
	排水給水設備	0	0	2	0	
	照明設施	0	0	2	0	
	油電管路	0	0	3	0	
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.0$				
	整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 6 月 22 日						

3.4.5 花蓮港 4 號碼頭

本年度配合花蓮港務局實際需要，增加花蓮港航道及 4 至 9 號碼頭（鋼板樁式）等之現況調查，碼頭與航道岸壁等鋼板樁相關背景資料簡列如表 3-15，檢測位置如圖 3.26 所示。

表 3-15 花蓮港碼頭、航道鋼板樁背景資料

構造物名稱	長度(m)	水深(m)	板樁型式	原始厚度(mm)	完工日期 年、月	防蝕處理 安裝年度	前次調查 年月	本次調查 年月
四號碼頭	160	9.5	Belvol-Z	凸凹：15.2 側：10.2	50	陰極防蝕	90.7	100.5
五號碼頭	160	8.5	Belvol-Z	凸凹：15.2 側：10.2	50	無	90.7	100.5
六號碼頭	150	8.5	Z-25	凸凹：13.0 側：9.6	60	無	90.7	100.5
七號碼頭	18	10.5	Z-25	凸凹：13.0 側：9.6	60	無	90.7	100.5
八號碼頭	220	10.5	Hoesch175	凸凹：15.2 側：10.2	61.8	無	90.7	100.5
九號碼頭	51	9.5	FSP VL	24.3	66.4	無	90.7	100.5
航道	527	9.5	FSP VL	24.3	67.7	無	90.7	100.5

1.碼頭基本資料：本座碼頭於民國 50 年完工，水深 -9.50 m，碼頭全長 60 m，採用盧森堡製之 Belvol Z 型鋼板樁建造，使用迄今約 40 年，無任何防蝕措施。在高潮位線時，仍有一截鋼板樁約 80~120 公分之長度，全年裸露於大氣中，與國內其它港區碼頭鋼板樁完全浸入海水中略有不同。碼頭結構斷面如圖 3.27，使用鋼板樁型式如圖 3.28，以靠泊雜貨輪，載運砂石為主。碼頭現況情形示如圖 3.29。

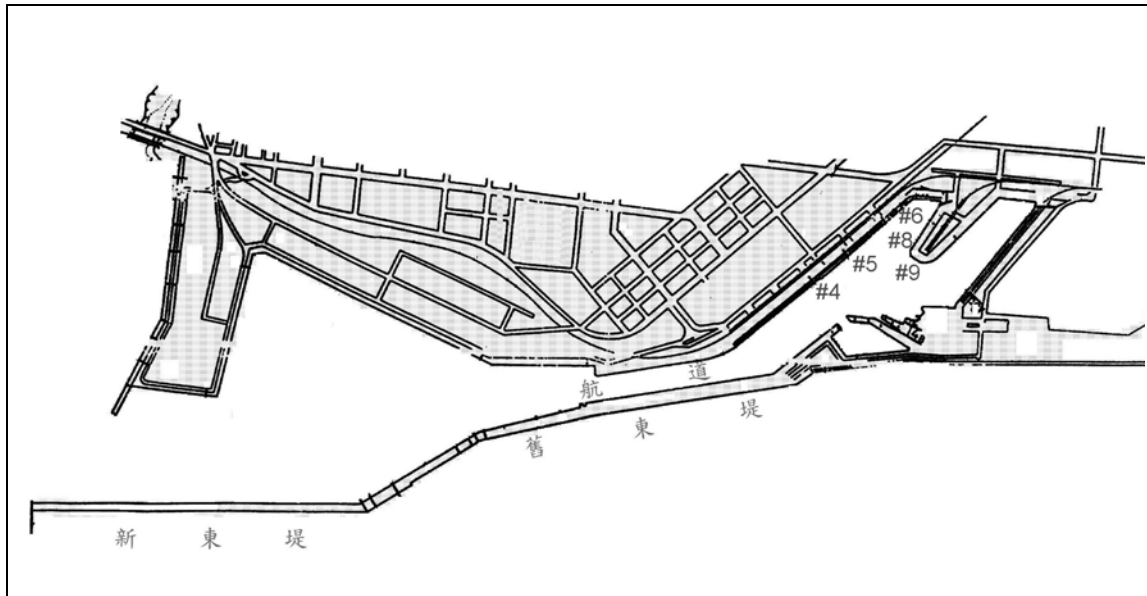


圖 3.26 花蓮港 4 至 9 碼頭與航道岸壁位置示意圖

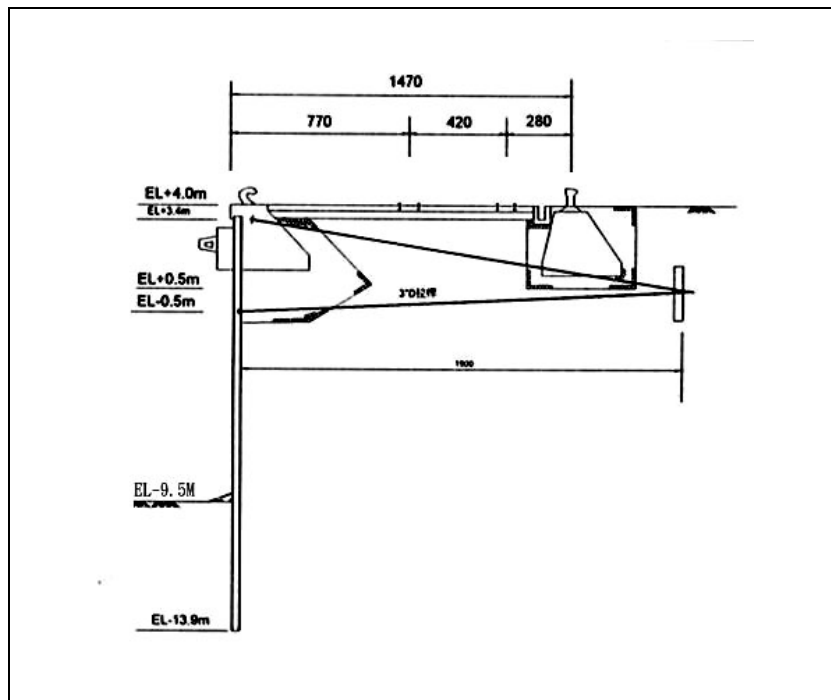


圖 3.27 花蓮港 4 號碼頭結構型式示意圖

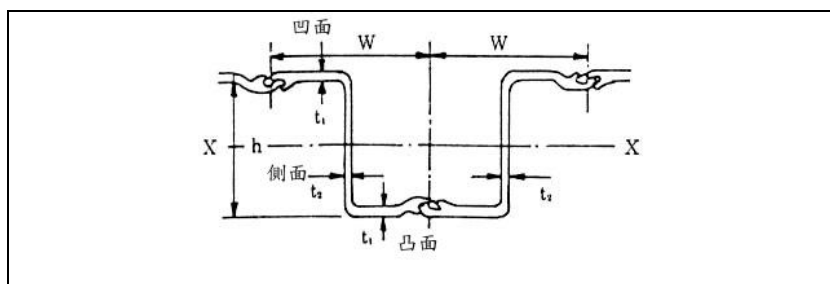


圖 3.28 花蓮港 4-6 及 8 號碼頭 Z 型鋼板樁型式示意圖



圖 3.29 花蓮港 4 號碼頭現況情形

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約均小於規範值 0.20 mm/yr.，但因碼頭使用時間已超過 40 年，建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲陽極塊方式之陰極防蝕系統）。

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

- (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，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：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，另有部份出現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：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，但建造使用時間已超過 40 年，推估其混凝土強度應較原設計強度減少 10% 左右，故 D 值=1，E=2，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。
- (7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：裸露於大氣帶中之鋼板，歷年來均有定期做塗覆保護，因此，本所港研中心於民國 79、81 及 89 年等進行三次檢測時，雖然曝露於大氣帶之鋼材，表面均有明顯且大範圍之小點斑蝕出現，腐蝕速率雖未大於規範值(0.20 mm/yr.)，但因使用時間已超過 50 年，必須增加檢測頻率。水下部份檢測時無腐蝕生鏽、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。
- (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.8，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

- (1) 護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，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，但出現鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=3，R=3。
- (3) 擋車牆：本座碼頭擋車牆未發現損壞，初步檢測評估結果為：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：本座碼頭照明設備未發現損壞，本次調查係於日間進行，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (6) 油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (7) 陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

本座碼頭之犧牲陽極塊外觀仍十分完整，表面則附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及部份之管蟲類、海蟲、海鞘等。部份表面出現白色氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等反應產物，由鋼板樁保護電位量測結果顯示，其防蝕效能可達到保護鋼板樁之防蝕目的。

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-16、表 3-17 所示，鋼板樁保護電位最大值為 -955 mV ，最小值為 -989 mV ，均小於 -850 mV （v.s. Cu/CuSO_4 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-18 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 -960 mV ，最小值為 -1075 mV ，亦均小於 -850 mV （v.s. Cu/CuSO_4 參考電極），顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-19 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 50 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-20 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-16 花蓮港 4 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

碼頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	4 號	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-9.5 m
	碼頭長度	160 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖				
	靠 泊 船 級					
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 散雜貨 ☒ 其他：砂石碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	標準電位	☒ 飽和硫酸銅-850mV				
	上次檢測時間	----		本次檢測時間	100.5.18	
	上次檢測結果					
檢測儀器	☒ 電位計 ☒ 尺 ☒ 照相機					
目視電位測試端子	☒ 無損壞 ☐ 有生鏽但尚未損壞 ☐ 已損壞					
電位測定平均結果	平均電位介於-981 ~ -961 mV， ☒ 平均電位足夠，且所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份電位不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份電位不足。 ☐ 平均電位不足。					
檢測評估	☒ 第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測 ☐ 第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。					
檢測人員	李昭明、何木火		評估人員	柯正龍		
附 件	文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☒ 檢測記錄表					

表 3-17 花蓮港 4 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港				
碼頭編號	4 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100.5.18
測站編號	水深 (m)			平均 防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-973	-973	-973	-973	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕 目的
2	-959	-958	-973	-963	
3	-964	-960	-959	-961	
4	-966	-962	-955	-961	
5	-978	-966	-960	-968	
6	-976	-967	-964	-969	
7	-971	-970	-973	-971	
8	-970	-971	-976	-972	
9	-969	-973	-968	-970	
10	-970	-977	-963	-970	
11	-982	-977	-966	-975	
12	-981	-975	-968	-975	
13	-975	-976	-975	-975	
14	-969	-974	-977	-973	
15	-973	-987	-977	-979	
16	-975	-980	-965	-973	
17	-987	-979	-968	-978	
18	-982	-976	-970	-976	
19	-976	-976	-980	-977	
20	-971	-975	-979	-975	
21	-974	-977	-971	-974	
22	-976	-979	-966	-974	
23	-987	-978	-970	-978	
24	-989	-986	-967	-981	

表 3-18 花蓮港 4 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港					
碼頭編號	4 號		檢測種類	詳細檢測		
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員	柯正龍		
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間	100.5.18		
陽極塊 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	-994	993	-995	-1030	-1028	-1046
2	-996	-996	-995	-1026	-1054	-1046
3	-993	-997	-991	-1057	-1040	-1053
4	-994	-1001	-992	-1015	-1071	-1041
5	-997	-1000	-993	-1039	-1039	-1023
6	992	-989	-985	-1040	-1075	-1068
7	-996	-997	-999	-1037	-1039	-1067
8	-993	-983	-981	-1065	-1020	-1058
9	-984	-981	-985	-1009	-997	-1074
10	-971	-969	-965	-981	-977	-982
11	-964	-962	-964	-983	-970	-1019
12	-963	-959	-960	-993	-969	-1004

表 3-19 花蓮港 4 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

碼頭基本資料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	4 號	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-9.5 m
	碼頭長度	160 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖			靠泊船級	
	船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	原始厚度(mm)	Belvol Z 型鋼板樁，凹、凸面為 15.2mm，側面為 10.2mm				
	上次檢測時間					
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 目視 ☐ 捲尺 ☒ 照相機				
鋼材部份目視檢測結果		☒ 無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 ☐ 局部的生鏽呈點狀膨脹 ☐ 局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象 ☐ 有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象 ☐ 版樁有開裂現象 ☐ 樁有挫屈、彎折				
水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果		☒ 混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 ☐ 樁與樑或冠牆脫離 ☐ 混凝土少部份龜裂、剝離 ☐ 混凝土大部份龜裂、剝離 ☐ 鋼筋少部份外露鏽蝕 ☐ 鋼筋大部份外露鏽蝕				
防蝕塊目視檢測部份		☐ 陰極防蝕塊少部份或無脫落 ☐ 陰極防蝕塊大部份脫落 ☒ 陰極防蝕塊厚度減少輕微 ☐ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重				
防蝕電位量測結果		☒ 平均電位及所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。 ☐ 第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員		柯正龍
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☐ 檢測記錄表				

表 3-20 花蓮港 4 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：4 號			
	建造日期：		啟用日期：民國 50 年			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：160 m 縱深：	水域深度	原設計：-9.5 m 目 前：-9.5 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 ☒ 鋼板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他				
	上次檢測	時間：90 年 7 月 單位：港研中心 區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率				
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R	
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0	
	碼頭法線	0	0	4	0	
	碼頭面版	2	1	3	9	
	混凝土強度	1	2	3	9	
	保護層厚度	0	0	2	----	
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	----	
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0	
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0	
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_P} R_i = 18/24 = 0.8$				
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0	
	繫船柱	1	3	3	12	
	擋車牆	0	0	2	----	
	排水給水設備	0	0	2	0	
	照明設施	0	0	2	----	
	油電管路	0	0	3	----	
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 12/14 = 0.9$				
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = (18+12)/(24+14) = 0.8$				
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 18 日						

3.4.6 花蓮港 5 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭於民國 50 年完工，水深 -9.50 m，碼頭全長 60 m，採用盧森堡製之 Belvol Z 型鋼板樁建造，使用迄今約 40 年，無任何防蝕措施。在高潮位線時，仍有一截鋼板樁約 80~120 公分之長度，全年裸露於大氣中，與國內其它港區碼頭鋼板樁完全浸入海水中略有不同。碼頭結構斷面及使用鋼板樁型式同 4 號碼頭，以靠泊雜貨輪，載運砂石為主。碼頭現況情形示如圖 3.30。



圖 3.30 花蓮港 5 號碼頭現況情形

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，
檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約

均小於規範值 0.20 mm/yr.，但因碼頭使用時間已超過 40 年，建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲陽極塊方式之陰極防蝕系統）。

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

- (1) 碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，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：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，另有部份出現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：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，但建造使用時間已超過 40 年，推估其混凝土強度應較原設計強度減少 10% 左右，故 D 值=1，E=2，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。
- (7) 鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：裸露於大氣帶中之鋼板，歷年來均有定期做塗覆保護，因此，本所港研中心於民國 79、81 及 89 年等進行三次檢測時，雖然曝露於大氣帶之鋼材，表面均有明顯且大範圍之小點斑蝕出現，腐蝕速率雖未大於規範值(0.20 mm/yr.)，但因使用時間已超過 50 年，必須增加檢測頻率。水下部份檢測時無腐蝕生銹、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.8，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，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，但出現鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=3，R=3。

(3)擋車牆：本座碼頭擋車牆未發現損壞，初步檢測評估結果為：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：本座碼頭照明設備未發現損壞，本次調查係於日間進行，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

本座碼頭之犧牲陽極塊外觀仍十分完整，表面則附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及部份之管蟲類、海蟲、海鞘等。部份表面出現白色氫氧化鋁 ($Al(OH)_3$) 等反應產物，由鋼板樁保護電位量測結果顯示，其防蝕效能可達到保護鋼板樁之防蝕目的。

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-21、表 3-22 所示，鋼板樁保護電位最大值為 -967 mV ，最小值為 -999 mV ，均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-23 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 -983 mV ，最小值為 -1076 mV ，亦均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-24 所示，本座碼頭於目前營運狀態下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 50 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

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 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-21 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	5 號	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-9.5 m
	碼頭長度	160 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖				
	靠 泊 船 級					
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	標準電位	☒ 飽和硫酸銅-850mV				
	上次檢測時間	----		本次檢測時間	100.05.18	
	上次檢測結果	----				
檢測儀器	☒ 電位計 ☒ 尺 ☒ 照相機					
目視電位測試端子	☒ 無損壞 ☐ 有生鏽但尚未損壞 ☐ 已損壞					
電位測定平均結果	平均電位介於-969 ~-992 mV， ☒ 平均電位足夠，且所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份電位不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份電位不足。 ☐ 平均電位不足。					
檢測評估	☒ 第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測 ☐ 第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。					
檢測人員	李昭明、何木火		評估人員	柯正龍		
附 件	文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☒ 檢測記錄表					

表 3-22 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港				
碼頭編號	5 號碼頭			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100.5.18
測站編號	水深 (m)			平均 防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-989	-986	-967	-981	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕 目的。
2	-985	-983	-969	-979	
3	-987	-985	-972	-981	
4	-988	-985	-972	-982	
5	-995	-985	-967	-982	
6	-981	-974	-968	-974	
7	-971	-967	-970	-969	
8	-987	-985	-983	-985	
9	-989	-990	-987	-989	
10	-990	-990	-987	-989	
11	-999	-994	-984	-992	
12	-995	-995	-985	-992	
13	-994	-991	-995	-993	
14	-994	-990	-993	-992	
15	-989	-990	-987	-989	
16	-993	-994	-981	-989	
17	-999	-992	-982	-991	
18	-997	-992	-982	-990	
19	-991	-991	-991	-991	
20	-987	-994	-987	-989	
21	-990	-991	-982	-988	
22	-992	-995	-978	-988	
23	-999	-991	-981	-990	
24	-994	-993	-984	-990	

表 3-23 花蓮港 5 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港					
碼頭編號	5 號		檢測種類	詳細檢測		
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員	柯正龍		
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間	100.5.18		
陽極塊 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	-996	-997	-996	-1008	-1008	-1021
2	-992	-991	-986	-1010	-1010	-1013
3	-1001	-997	-1000	-1022	-1008	-1045
4	-999	-998	-1001	-1024	-1010	-1029
5	-997	-988	-990	-1017	-1003	-1022
6	-1004	-1002	-1005	-1036	-1018	-1038
7	-990	-987	-983	-995	-990	-993
8	-1003	-1005	-999	-1020	-1021	-1027
9	-1011	-1005	-999	-1065	-1022	-1076
10	-1006	-1007	-1008	-1028	-1024	-1073
11	-1003	-1007	-1000	-1040	-1035	-1044
12	-995	-997	-997	-1015	-1002	-1007

表 3-24 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	5 號	防蝕完工日	94 年	設計水深	-8.5 m
	碼頭長度	160 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖			靠泊船級	
	船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	原始厚度(mm)	Belvol Z 型鋼板樁，凹、凸面為 15.2mm，側面為 10.2mm				
	上次檢測時間	----				
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 目視 ☐ 捲尺 ☒ 照相機				
鋼材部份目視檢測結果		☒ 無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 ☐ 局部的生鏽呈點狀膨脹 ☐ 局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象 ☐ 有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象 ☐ 版樁有開裂現象 ☐ 樁有挫屈、彎折				
水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果		☒ 混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 ☐ 樁與樑或冠牆脫離 ☐ 混凝土少部份龜裂、剝離 ☐ 混凝土大部份龜裂、剝離 ☐ 鋼筋少部份外露鏽蝕 ☐ 鋼筋大部份外露鏽蝕				
防蝕塊目視檢測部份		☐ 陰極防蝕塊少部份或無脫落 ☐ 陰極防蝕塊大部份脫落 ☒ 陰極防蝕塊厚度減少輕微 ☐ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重				
防蝕電位量測結果		☒ 平均電位及所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。 ☐ 第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員		柯正龍
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☐ 檢測記錄表				

表 3-25 花蓮港 5 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：5 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 50 年		
	靠泊船級	原設計：實際使用：			
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：160 m 縱深：	水域深度	原設計：-85 m 目 前：-8.5 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 ☒ 鋼版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
上次檢測		時間：90 年 7 月 單位：港研中心 區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
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	2	1	3	9
	混凝土強度	1	2	3	9
	保護層厚度	----	----	2	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	3	----
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 18/24 = 0.8$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	1	3	3	12
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 12/14 = 0.9$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = (18+12)/(24+14) = 0.8$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 18 日					

3.4.7 花蓮港 6 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭屬鋼板樁式，於民國 60 年完工，水深-9.50 m，全長 150 m，採用日本製 Z-25 型鋼板樁建造，建造時碼頭混凝土冠牆灌注至低潮位線下 0.75m，因此，鋼板樁完全浸入於海水面下，使用迄今約 30 年，無任何防蝕措施。碼頭結構斷面如圖 3.31 所示。碼頭現況情形示如圖 3.32。

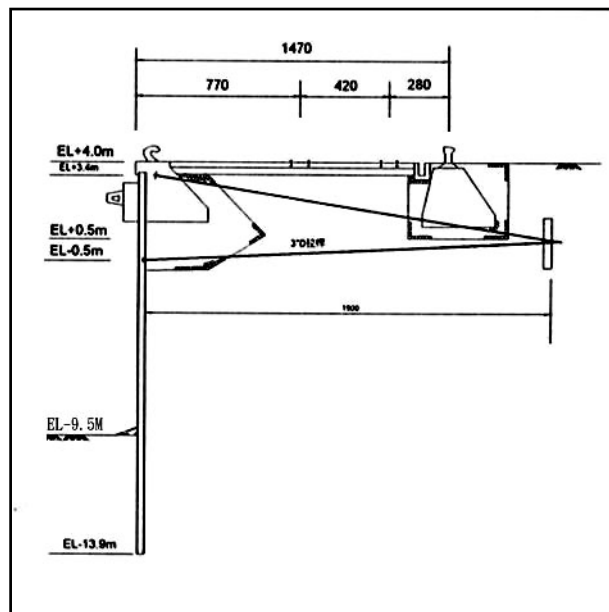


圖 3.31 花蓮港 6 號碼頭結構型式示意圖



a.碼頭面混凝土老舊劣化情形

b.碼頭後線面版及鐵軌現況



圖 3.32 花蓮港 6 號碼頭現況情形示

- 2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，
 檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約
 均小於規範值 0.20 mm/yr ，但因檢測時碼頭使用時間已超過 30 年，
 建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲
 陽極塊方式之陰極防蝕系統）。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值
 之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，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：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，另有部份出現
 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：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度
 損失不大或可忽略，但建造使用時間已超過 40 年，推估其混凝土
 強度應較原設計強度減少 10% 左右，故 D 值=1，E=2，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：無腐蝕生鏽、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.8，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，但出現鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=3，R=2。

(3)擋車牆：本座碼頭擋車牆未發現損壞，初步檢測評估結果為：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：本座碼頭照明設備未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

本座碼頭之犧牲陽極塊外觀仍十分完整，表面則附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及部份之管蟲類、海蟲、海鞘等。部份表面出現白色氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等反應產物，由鋼板樁保護電位量測結果顯示，其防蝕效能可達到保護鋼板樁之防蝕目的。

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-26、表 3-27 所示，鋼板樁保護電位最大值為 -906 mV ，最小值為 -995 mV ，均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-28 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 -950 mV ，最小值為 -1083 mV ，亦均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-29 所示，本座碼頭於目前營運狀態下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 40 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-30 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-26 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	6 號	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-8.5 m
	碼頭長度	150 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖				
	靠 泊 船 級					
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	標準電位	☒ 飽和硫酸銅-850mV				
	上次檢測時間	----		本次檢測時間	100.5.18	
	上次檢測結果	----				
檢測儀器	☒ 電位計 ☒ 尺 ☒ 照相機					
目視電位測試端子	☒ 無損壞 ☐ 有生鏽但尚未損壞 ☐ 已損壞					
電位測定平均結果	平均電位介於-954 ~ -979 mV， ☒ 平均電位足夠，且所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份電位不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份電位不足。 ☐ 平均電位不足。					
檢測評估	☒ 第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測 ☐ 第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。					
檢測人員	李昭明、何木火		評估人員	柯正龍		
附 件	文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☒ 檢測記錄表					

表 3-27 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港				
碼頭編號	6 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100.5.18
測站編號	水深 (m)			平均 防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-946	-972	-967	-962	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕 目的
2	-936	-976	-969	-960	
3	-950	-981	-974	-968	
4	-938	-983	-979	-967	
5	-906	-985	-972	-954	
6	-940	-982	-972	-965	
7	-956	-983	-974	-971	
8	-936	-983	-984	-968	
9	-953	-986	-997	-979	
10	-946	-986	-987	-973	
11	-952	-981	-975	-969	
12	-943	-980	-968	-964	
13	-949	-983	-969	-967	
14	-944	-987	-970	-967	
15	-935	-995	-975	-968	
16	-941	-987	-974	-967	
17	-949	-982	-968	-966	
18	-944	-974	-968	-962	
19	-950	-975	-969	-965	
20	-940	-974	-971	-962	
21	-949	-978	-979	-969	
22	-944	-976	-974	-965	
23	-947	-975	-963	-962	
24	-942	-973	-952	-956	

表 3-28 花蓮港 6 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港					
碼頭編號	6 號		檢測種類	詳細檢測		
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員	柯正龍		
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間	100.5.18		
陽極塊 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	-980	-980	-982	-1003	-990	-1015
2	-979	-977	-978	-989	-983	-1000
3	-950	-981	-974	-1024	-1050	-1030
4	-988	-987	-988	-1032	-995	-1012
5	-978	-977	-981	-995	-980	-984
6	-1000	-1003	-1001	1072	-1066	-1044
7	-995	-992	-991	-1016	-1013	-1018
8	-987	-989	-987	-989	-991	-990
9	-996	-1001	-1004	-1051	-1030	-1080
10	-1002	-1005	-1001	-1055	-1070	-1083
11	-989	-998	-995	-1014	-1020	-1036
12	-1002	-1004	-998	-1052	-1079	-1074

表 3-29 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	6 號	防蝕完工日	94 年	設計水深	-8.5 m
	碼頭長度	150 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖			靠泊船級	
	船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☒ 其他：砂石碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	原始厚度(mm)	Z-25 型鋼板樁，凹、凸面為 13.0mm，側面為 9.6mm				
	上次檢測時間	----				
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 目視 ☐ 捲尺 ☒ 照相機				
鋼材部份目視檢測結果		☒ 無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 ☐ 局部的生鏽呈點狀膨脹 ☐ 局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象 ☐ 有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象 ☐ 版樁有開裂現象 ☐ 樁有挫屈、彎折				
水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果		☒ 混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 ☐ 樁與樑或冠牆脫離 ☐ 混凝土少部份龜裂、剝離 ☐ 混凝土大部份龜裂、剝離 ☐ 鋼筋少部份外露鏽蝕 ☐ 鋼筋大部份外露鏽蝕				
防蝕塊目視檢測部份		☐ 陰極防蝕塊少部份或無脫落 ☐ 陰極防蝕塊大部份脫落 ☒ 陰極防蝕塊厚度減少輕微 ☐ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重				
防蝕電位量測結果		☒ 平均電位及所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。 ☐ 第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員		柯正龍
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☐ 檢測記錄表				

表 3-30 花蓮港 6 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：6 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 60 年		
	靠泊船級	原設計： 實際使用：			
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：150 m 縱深：	水域深度	原設計：-8.5 m 目前：-8.5 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 ☒ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：90 年 7 月 單位：港研中心 區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
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	2	1	3	9
	混凝土強度	1	2	3	9
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_p} R_i = 18/24 = 0.8$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	1	3	3	12
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 12/14 = 0.9$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = (18+12)/(24+14) = 0.8$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 18 日					

3.4.8 花蓮港 8 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭屬鋼板樁式，於民國 61 年完工，水深 -10.25m，使用 Hoesch(為 Z 型)鋼板樁建造，全長 220m，使用迄今約 29 年，鋼板樁凹、凸面原始厚度為 15.2mm，側面為 10.2mm，混凝土冠牆灌至低潮位線下，因此鋼板樁完全浸入於水面下，民國 94 年已安裝犧牲陽極塊方式之陰極防蝕系統，碼頭結構斷面如圖 3.33 所示。碼頭現況情形示如圖 3.34。

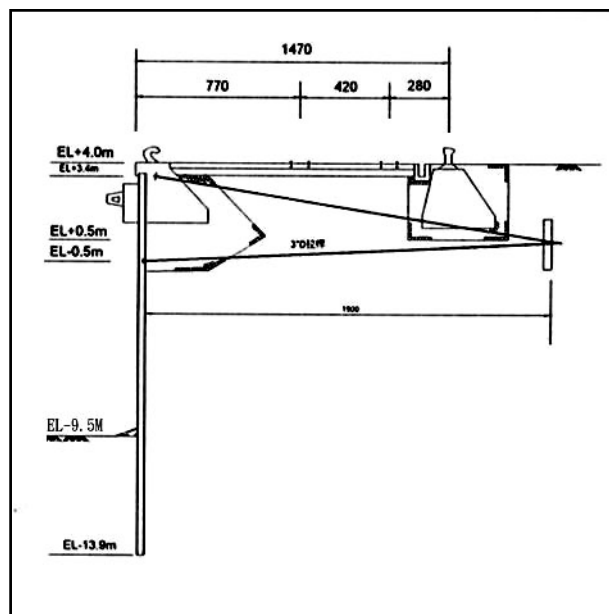


圖 3.33 花蓮港 8 號碼頭結構型式示意圖



a.碼頭岸壁混凝土露出水面部份

b.碼頭後線雜草生長情形



圖 3.34 花蓮港 8 號碼頭現況情形示

- 2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，
檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約
均小於規範值 0.20 mm/yr.，但因檢測時碼頭使用時間已約 30 年，
建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲
陽極塊方式之陰極防蝕系統）。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值
之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，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：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及
材質劣化現象，故 D 值=1，E=1，R=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，但建造使用時間已接近 40 年，推估其混凝土
強度應較原設計強度減少 10% 左右，故 D 值=1，E=2，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：無腐蝕生鏽、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，但出現鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=3，R=2。

(3)擋車牆：本座碼頭擋車牆未發現損壞，初步檢測評估結果為：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：本座碼頭照明設備未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

本座碼頭之犧牲陽極塊外觀仍十分完整，表面則附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及部份之管蟲類、海蟲、海鞘等。部份表面出現白色氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等反應產物，由鋼板樁保護電位量測結果顯示，其防蝕效能可達到保護鋼板樁之防蝕目的。

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-31、表 3-32 所示，鋼板樁保護電位最大值為 -980 mV ，最小值為 -1004 mV ，均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-33 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 -987 mV ，最小值為 -1068 mV ，亦均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-34 所示，本座碼頭於目前營運狀態下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 39 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-35 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-31 花蓮港 8 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	8 號	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-10.5 m
	碼頭長度	220 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖				
	靠 泊 船 級					
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	標準電位	☒ 飽和硫酸銅-850mV				
	上次檢測時間	----		本次檢測時間	100.5.18	
	上次檢測結果	----				
檢測儀器	☒ 電位計 ☒ 尺 ☒ 照相機					
目視電位測試端子	☒ 無損壞 ☐ 有生鏽但尚未損壞 ☐ 已損壞					
電位測定平均結果	平均電位介於-995 ~ -987 mV， ☒ 平均電位足夠，且所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份電位不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份電位不足。 ☐ 平均電位不足。					
檢測評估	☒ 第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測 ☐ 第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。					
檢測人員	李昭明、何木火		評估人員	柯正龍		
附 件	文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☒ 檢測記錄表					

表 3-32 花蓮港 8 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港				
碼頭編號	8 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100.5.18
測站編號	水深 (m)			平均 防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-985	-993	-1001	-993	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕 目的
2	-980	-997	-987	-988	
3	-986	-999	-987	-991	
4	-986	-996	-988	-990	
5	-986	-1002	-990	-993	
6	-985	-996	-981	-987	
7	-985	-997	-987	-990	
8	-983	-996	-991	-990	
9	-984	-1004	-1000	-996	
10	-981	-1001	-996	-993	
11	-984	-997	-994	-992	
12	-980	-996	-994	-990	
13	-984	-998	-1002	-995	
14	-984	-995	-992	-990	
15	-986	-997	-995	-993	
16	-985	-997	-993	-992	
17	-986	-999	-990	-992	
18	-985	-999	1001	-328	
19	-987	-999	-991	-992	
20	-986	-999	-989	-991	
21	-988	-998	-993	-993	
22	-987	-1000	-990	-992	
23	-989	-1001	-995	-995	
24	-982	-992	-982	-989	

表 3-33 花蓮港 8 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港					
碼頭編號	8 號		檢測種類		詳細檢測	
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員		柯正龍	
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間		100.5.18	
陽極塊 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	-1002	-1004	-1003	-1032	-1012	-1018
2	-1009	-1005	-1006	-1070	-1012	-1019
3	-1016	-1007	-1001	-1050	-1021	-1024
4	-1010	-1012	-1008	-1066	-1024	-1025
5	-996	-1010	-1010	-1010	-1019	-1024
6	-1017	-1013	-1012	-1068	-1036	-1025
7	-991	-989	-987	-1001	-994	-988
8	-999	-999	-999	-1001	-1002	-1000
9	-998	-1004	-1001	-1007	-1011	-1009
10	-1007	-1008	-1004	-1028	-1029	-1050
11	-1007	-1005	-1002	-1034	-1029	-1050
12	-1009	-1010	-1010	-1057	-1023	-1034

表 3-34 花蓮港 8 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	8 號	防蝕完工日	94 年	設計水深	-10.5 m
	碼頭長度	220 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖			靠泊船級	
	船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☒ 其他：水泥碼頭				
	下部結構材料	☒ U 型鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	原始厚度(mm)	Belvol Z 型鋼板樁，凹、凸面為 15.2mm，側面為 10.2mm				
	上次檢測時間	----				
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 目視 ☐ 捲尺 ☒ 照相機				
鋼材部份目視檢測結果		☒ 無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 ☐ 局部的生鏽呈點狀膨脹 ☐ 局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象 ☐ 有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象 ☐ 版樁有開裂現象 ☐ 樁有挫屈、彎折				
水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果		☒ 混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 ☐ 樁與樑或冠牆脫離 ☐ 混凝土少部份龜裂、剝離 ☐ 混凝土大部份龜裂、剝離 ☐ 鋼筋少部份外露鏽蝕 ☐ 鋼筋大部份外露鏽蝕				
防蝕塊目視檢測部份		☐ 陰極防蝕塊少部份或無脫落 ☐ 陰極防蝕塊大部份脫落 ☒ 陰極防蝕塊厚度減少輕微 ☐ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重				
防蝕電位量測結果		☒ 平均電位及所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。 ☐ 第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員		柯正龍
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☐ 檢測記錄表				

表 3-35 花蓮港 8 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：8 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 61 年 8 月		
	靠泊船級	原設計： 實際使用：			
	碼頭法線版面標 高：4.0 m	長度：220 m 縱深：	水域深度	原設計：-10.5 m 目 前：-10.5 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 ☒ 鋼版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
上次檢測	時間：90 年 7 月 單位：港研中心 區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率				
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	1	1	3	6
	混凝土強度	1	2	3	9
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 15/24 = 0.6$			
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	1	3	3	12
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 12/14 = 0.9$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = (15+12)/(24+14) = 0.7$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 18 日					

4.4.9 花蓮港 9 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬鋼板樁式，九號碼頭民國 66 年完工，水深-9.5m，全長 51m，採用日本製 FSP VL U 型鋼板樁(厚度 24.3mm)，使用迄今約 24 年。或許建造當時整批採購之 U 型鋼板樁數量不足，因此，碼頭有部份範圍之鋼板樁，可能夾雜使用其它碼頭剩餘之 Z 型鋼板樁建造。九號碼頭結構斷面如圖 3.35 所示，U 型鋼板樁型式如圖 3.36 所示。碼頭現況情形示如圖 3.37。

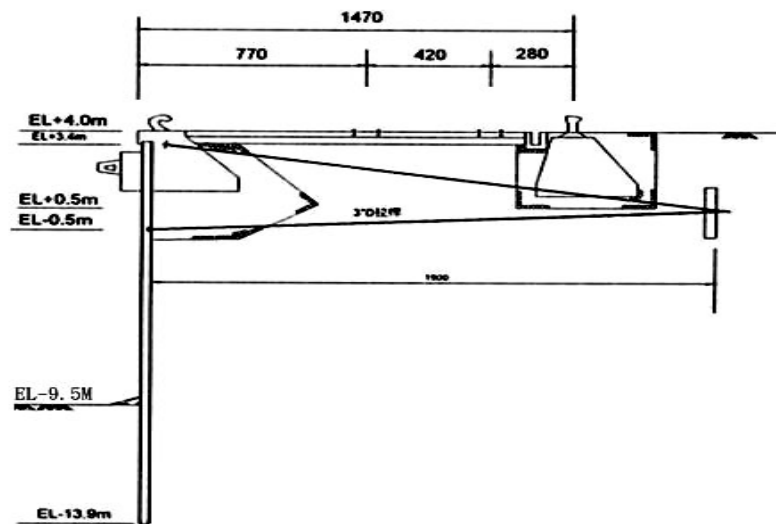


圖 3.35 花蓮港 9 號碼頭結構型式示意圖

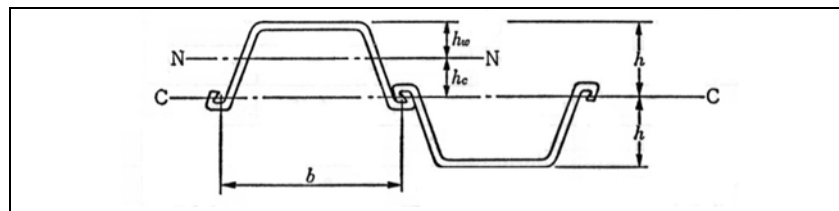


圖 3.36 花蓮港 9 號碼頭及航道岸壁 U 型鋼板樁型式示意圖



圖 3.37 花蓮港 9 號碼頭現況情形

- 2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，
 檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約
 均小於規範值 0.20 mm/yr.，但因檢測時碼頭使用時間已約 25 年，
 建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲
 陽極塊方式之陰極防蝕系統）。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值
 之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，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：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=1，R=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，但建造使用時間已超過 30 年，推估其混凝土強度應較原設計強度減少 10% 左右，故 D 值=1，E=2，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：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：無腐蝕生鏽、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=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 3-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，但出現鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=3，R=2。

(3)擋車牆：本座碼頭擋車牆未發現損壞，初步檢測評估結果為：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：本座碼頭照明設備未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

本座碼頭之犧牲陽極塊外觀仍十分完整，表面則附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及部份之管蟲類、海蟲、海鞘等。部份表面出現白色氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等反應產物，由鋼板樁保護電位量測結果顯示，其防蝕效能可達到保護鋼板樁之防蝕目的。

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-36、表 3-37 所示，鋼板樁保護電位最大值為 -893 mV ，最小值為 -994 mV ，均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-38 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 -942 mV ，最小值為 -1013 mV ，亦均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-39 所示，本座碼頭於目前營運狀態下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本

次檢測碼頭使用時間已約 34 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-40 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.1，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-36 花蓮港 9 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	9 號	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-10.5 m
	碼頭長度	51 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖				
	靠 泊 船 級					
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☐ 其他：				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	標準電位	☒ 飽和硫酸銅-850mV				
	上次檢測時間	----		本次檢測時間	100.05.18	
	上次檢測結果	----				
檢測儀器	☒ 電位計 ☒ 尺 ☒ 照相機					
目視電位測試端子	☒ 無損壞 ☐ 有生鏽但尚未損壞 ☐ 已損壞					
電位測定平均結果	平均電位介於-964 ~-944 mV， ☒ 平均電位足夠，且所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份電位不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份電位不足。 ☐ 平均電位不足。					
檢測評估	☒ 第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測 ☐ 第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。					
檢測人員	李昭明、何木火		評估人員	柯正龍		
附 件	文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☒ 檢測記錄表					

表 3-37 花蓮港 9 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港				
碼頭編號	9 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100 年 5 月 18 日
測站編號	水深 (m)			平均 防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-897	-967	-971	-945	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕 目的
2	-897	-973	-971	-947	
3	-901	-978	-975	-951	
4	-897	-968	-980	-948	
5	-901	-971	-985	-952	
6	-891	-966	-992	-950	
7	-898	-965	-994	-952	
8	-897	-958	-976	-944	
9	-907	-965	-976	-949	
10	-904	-973	-974	-950	
11	-909	-976	-979	-955	
12	-903	-979	-983	-955	
13	-915	-986	-990	-964	
14	-906	-980	-992	-959	
15	-903	-976	-988	-956	
16	-894	-975	-979	-949	
17	-901	-978	-976	-952	
18	-897	-981	-978	-952	
19	-906	-976	-979	-954	
20	-900	-974	-977	-950	
21	-904	-969	-983	-952	
22	-896	-969	-987	-951	
23	-902	-968	-976	-949	
24	-893	-968	-974	-945	

表 3-38 花蓮港 9 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港					
碼頭編號	9 號		檢測種類	詳細檢測		
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員	柯正龍		
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間	100 年 5 月 18 日		
陽極塊 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	-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

表 3-39 花蓮港 9 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	9 號	防蝕完工日	94 年	設計水深	-9.5 m
	碼頭長度	51 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖			靠泊船級	
	船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☐ 其他：				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	原始厚度(mm)	FSP VL U 型鋼板樁，厚度 24.3mm				
	上次檢測時間	----				
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 目視 ☐ 捲尺 ☒ 照相機				
鋼材部份目視檢測結果		☒ 無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 ☐ 局部的生鏽呈點狀膨脹 ☐ 局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象 ☐ 有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象 ☐ 版樁有開裂現象 ☐ 樁有挫屈、彎折				
水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果		☒ 混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 ☐ 樁與樑或冠牆脫離 ☐ 混凝土少部份龜裂、剝離 ☐ 混凝土大部份龜裂、剝離 ☐ 鋼筋少部份外露鏽蝕 ☐ 鋼筋大部份外露鏽蝕				
防蝕塊目視檢測部份		☐ 陰極防蝕塊少部份或無脫落 ☐ 陰極防蝕塊大部份脫落 ☒ 陰極防蝕塊厚度減少輕微 ☐ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重				
防蝕電位量測結果		☒ 平均電位及所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。 ☐ 第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員		柯正龍
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☐ 檢測記錄表				

表 3-40 花蓮港 9 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：9 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 66 年 4 月		
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高：4.2 m	長度：51 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-9.5 m 目前：-9.5m	
	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 ☒ 鋼板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：90 年 7 月 單位：港研中心 區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
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	2	3	3	15
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	1	3	3	12
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i / \sum_{i=1}^{N_P} R_i = 27/24 = 1.1$			
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i / \sum_{i=1}^{N_A} R_i = 0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i / \sum_{i=1}^N R_i = (27+0)/(24+14) = 0.7$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 18 日					

3.4.10 花蓮港航道岸壁

1. 碼頭基本資料：航道岸壁(西側)結構於民國 67 年完工，水深-9.5m，岸壁全長 527m，採用日本製 FSP VL U-型鋼板樁建造，原始厚度為 24.3 mm，使用迄今約 23 年。圖 3.38 為航道岸壁結構斷面圖，U 型鋼板樁型式如圖 3.36 所示。碼頭現況情形示如圖 3.39。

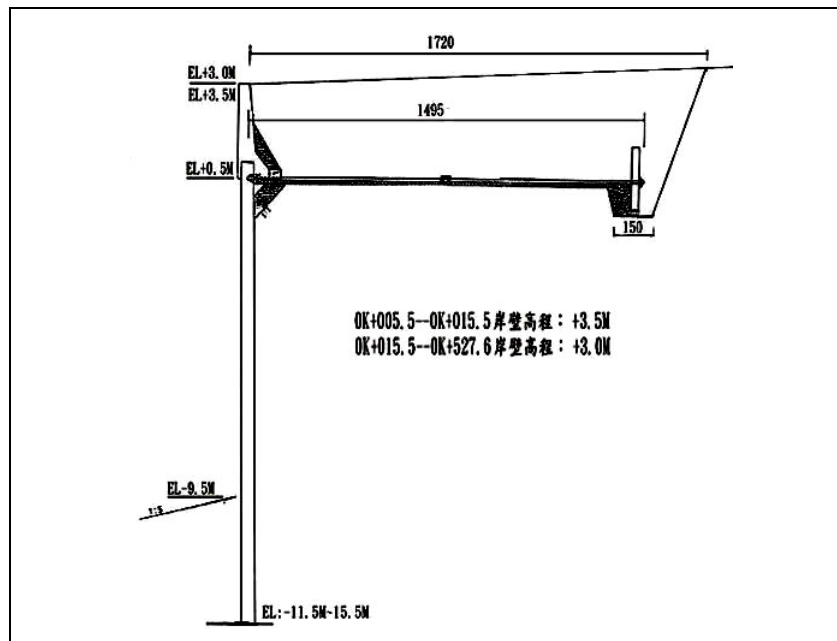


圖 3.38 花蓮港航道岸壁結構型式示意圖



a. 航道岸壁起點現況(臨 17 號碼頭側)

b. 航道岸壁車檔現況



圖 3.39 花蓮港航道岸壁現況情形

- 2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，
 檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約
 均小於規範值 0.20 mm/yr.，但因檢測時碼頭使用時間已超過 25 年，
 雖航道岸壁並無靠泊船隻，仍建議考慮安裝陰極防蝕系統，增加檢測
 頻率。
- 3.整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值
 之決定如下：
 - (1)岸壁體檢測：岸壁本體未發現明顯位移，功能完整，故 D 值=0，
 E=0，R=4。
 - (2)岸壁法線檢測：岸壁法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，
 E=0，R=4。
 - (3)面版檢測：岸壁面版無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，
 E=0，R=3。
 - (4)混凝土強度檢測：岸壁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：岸壁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：基於以上相同理由，岸壁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，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：岸壁鋼板樁均位於水下，經潛水人員現地目視檢測，未發現明顯腐蝕與破洞，故 D 值=0，E=0，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：岸壁岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，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 3-8 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：岸壁無靠泊船隻，故未安裝護舷材材料，無此評估項目。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：岸壁無靠泊船隻，故未安裝護舷材材料，無此評估項目。

(3)擋車牆：本座碼頭擋車牆未發現損壞，初步檢測評估結果為：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：本座碼頭照明設備未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(6)油電管路檢測：本座碼頭油電管路未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

本座碼頭之犧牲陽極塊外觀仍十分完整，表面則附著豐富之藤壺、牡蠣等大型硬殼類海生物及部份之管蟲類、海蟲、海鞘等。部份表面出現白色氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等反應產物，由鋼板樁保護電位量測結果顯示，其防蝕效能可達到保護鋼板樁之防蝕目的。

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-41、表 3-42 所示，鋼板樁保護電位最大值為 -955 mV ，最小值為 -985 mV ，均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-43 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 -987 mV ，最小值為 -1066 mV ，亦均小於 -850 mV (v.s. Cu/CuSO_4 參考電極)，顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-44 所示，本座碼頭於目前營運狀態下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 33 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-45 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 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。

表 3-41 花蓮港航道岸壁鋼板樁防蝕電位檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	航道 岸壁	防蝕完工日期	94 年	設計水深	-9.5 m
	碼頭長度	527 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 碼頭全區 ☐ 詳附件圖				
	靠 泊 船 級					
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	標準電位	☒ 飽和硫酸銅-850mV				
	上次檢測時間	----		本次檢測時間	100.05.19	
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 電位計 ☒ 尺 ☒ 照相機				
目視電位測試端子		☒ 無損壞 ☐ 有生鏽但尚未損壞 ☐ 已損壞				
電位測定平均結果		平均電位介於-978 ~-961 mV， ☒ 平均電位足夠，且所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份電位不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份電位不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測 ☐ 第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員	柯正龍	
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☒ 檢測記錄表				

表 3-42 花蓮港航道岸壁鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港				
碼頭編號	航道岸壁			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100 年 5 月 19 日
測站編號	水深 (m)			平均 防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-962	-969	-974	-968	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕 目的
2	-960	-969	-973	-967	
3	-961	-971	-971	-968	
4	-958	-970	-969	-966	
5	-961	-975	-969	-968	
6	-958	-969	-968	-965	
7	-960	-969	-971	-967	
8	-958	-968	-967	-964	
9	-960	-970	-964	-965	
10	-958	-970	-962	-963	
11	-960	-971	-965	-965	
12	-958	-968	-968	-965	
13	-960	-968	-966	-965	
14	-958	-968	-966	-964	
15	-960	-970	-965	-965	
16	-957	-972	-962	-964	
17	-959	-972	-964	-965	
18	-956	-968	-963	-962	
19	-958	-967	-965	-963	
20	-955	-965	-963	-961	
21	-957	-965	-961	-961	
22	-971	-985	-959	-972	
23	-973	-982	-978	-978	
24	-970	-979	-976	-975	

表 3-43 花蓮港航道岸壁犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	花蓮港					
碼頭編號	航道岸壁			檢測種類	詳細檢測	
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍	
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	100 年 5 月 19 日	
陽極塊 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	-996	-992	-987	-1010	-996	-994
2	-994	-990	-993	-1001	-995	-1012
3	-991	-989	-990	-1012	-996	-1010
4	-992	-990	-993	-1011	-996	-1006
5	-991	-989	-987	-996	-995	-996
6	-996	-1002	-996	-1024	-1026	-1029
7	-1002	-1001	-1000	-1032	-1039	-1066
8	-1009	-1012	-1001	-1046	-1045	-1040
9	-1009	-1013	-1010	-1040	-1072	-1065
10	-1001	-999	-997	-1005	-1004	-1004
11	-1003	-1002	-1002	-1031	-1025	-1043
12	-1000	-1002	-1001	-1023	-1052	-1037

表 3-44 花蓮港航道岸壁鋼板樁碼頭水下檢測結果

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口	花蓮港				
	碼頭編號	航道岸壁	防蝕完工日	94 年	設計水深	-9.5 m
	碼頭長度	527 m	碼頭面高程	+4.0 m	檢測種類	
	檢 測 地 點	☒ 鋼板樁岸壁全區 ☐ 詳附件圖			靠泊船級	無
	船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 散雜貨 ☒ 其他：卸煤碼頭				
	下部結構材料	☒ 鋼板樁 ☐ 鋼管樁 ☐ H 型鋼 ☐ 其他：				
	原始厚度(mm)	FSP VL U 型鋼板樁，厚度 24.3mm				
	上次檢測時間	----				
	上次檢測結果	----				
檢測儀器		☒ 目視 ☐ 捲尺 ☒ 照相機				
鋼材部份目視檢測結果		☒ 無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 ☐ 局部的生鏽呈點狀膨脹 ☐ 局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象 ☐ 有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象 ☐ 版樁有開裂現象 ☐ 樁有挫屈、彎折				
水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果		☒ 混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 ☐ 樁與樑或冠牆脫離 ☐ 混凝土少部份龜裂、剝離 ☐ 混凝土大部份龜裂、剝離 ☐ 鋼筋少部份外露鏽蝕 ☐ 鋼筋大部份外露鏽蝕				
防蝕塊目視檢測部份		☐ 陰極防蝕塊少部份或無脫落 ☐ 陰極防蝕塊大部份脫落 ☒ 陰極防蝕塊厚度減少輕微 ☐ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重				
防蝕電位量測結果		☒ 平均電位及所有電位均足夠。 ☐ 平均電位足夠，但少部份不足。 ☐ 平均電位足夠，但大部份不足。 ☐ 平均電位不足。				
檢測評估		☒ 第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。 ☐ 第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。 ☐ 第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。				
檢測人員		李昭明、何木火		評估人員		柯正龍
附 件		文件圖表： ☐ 碼頭平面圖 ☐ 檢測記錄表				

表 3-45 花蓮港航道岸壁初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：航道岸壁		
	建造日期：		啟用日期：民國 67 年 7 月		
	靠泊船級	原設計： 實際使用：			
	碼頭法線版面標 高：4.0 m	長度：527 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-9.5 m 目 前：-9.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☒ 其他(砂石)			
	碼頭構造型式	☒ 消波沉箱重力式 ☐ 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 主體 結構 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	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_P} R_i = 0$			
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 19 日					

3.4.11 澎湖縣漁港

澎湖縣目前主要漁港共有 67 處（如表 3-46），早年因地理環境及漁業經濟活動之原始需求，政府挹注相當之經費進行漁港建設，近年來因漁業榮景不再，傳統漁業已現衰退趨勢，但各漁港存在之功能並無衰減，反而因為個別漁船噸位數之增加，而須強化漁港設施，且部份漁港亦肩負離島交通與民生物資運輸之重任，故維持其漁港基本使用功能，延長使用年限，仍為重要施政項目。

表3-46 澎湖縣各鄉（市）漁港船澳名稱表

地區	漁港船澳名稱	總計
馬公市	馬公第一、馬公第二、馬公第三漁港、案山漁港、前寮漁港、菜園漁港、風櫃東漁港、風櫃西漁港、嵵裡漁港、鎖港漁港、烏坎漁港、安宅漁港、西衛漁港、桶盤漁港、虎井漁港、鐵線船澳、五德船澳、井垵船澳、山水船澳、重光船澳、石泉漁港	19處
湖西鄉	尖山漁港、龍門漁港、菓葉漁港、南北寮漁港、白坑漁港、沙港東漁港、沙港中漁港、沙港西漁港、紅羅漁港、西溪漁港、成功漁港、青螺船澳、中西漁港	13處
白沙鄉	大倉漁港、烏嶼漁港、瓦硐船澳、赤坎漁港、吉貝漁港、港子船澳、後寮漁港、講美船澳、岐頭船澳、通樑漁港、鎮海船澳、員貝漁港、城前船澳	13處
西嶼鄉	小門漁港、合界漁港、橫礁漁港、竹灣漁港、大池漁港、赤馬漁港、外垵漁港、內垵北漁港、內垵南漁港、二坎船澳、池西船澳、大果葉船澳	12處
望安鄉	水垵漁港、潭門漁港、東吉漁港、東嶼坪漁港、花嶼漁港、中社船澳、將軍南漁港、將軍北船澳	8處
七美鄉	七美漁港（南滬漁港）、潭子船澳	2處
共計67處		

資料來源：澎湖縣政府港灣科提供（2011）

本次調查共選取澎湖縣 13 處主要漁港之碼頭（重力式）、防波堤及濱海建物，包括馬公市所轄馬公第 1 至第 3 漁港、鎖港、蒔裡、風櫃東漁港；西嶼鄉所轄外垵、竹灣、赤馬、內安南及北漁港；白沙鄉所轄赤崁及歧頭漁港；湖西鄉所轄龍門及尖山商港，漁港基本資料及調查結果分述如下：

3.4.11.1 馬公漁港第一至第三漁港

馬公漁港現屬第三類漁港，主管機關為澎湖縣政府，位於澎湖縣馬公市，地處澎湖本島之內灣，北面及西面各受白沙島及漁翁島之遮蔽，水域穩靜。光復初期，澎湖縣動力漁船僅有十餘艘，其餘均為小型舢舨，漁港設施也僅有馬公第一漁港及將軍避風港兩處，且二次世界大戰期間均遭損毀。光復後，政府為增加漁業生產，保障漁船作業安全，除在各主要島嶼、灣澳興建小型漁港設施外，自民國 48 年起分三年興建馬公第二漁港。由於馬公漁港位於澎湖縣人口集中地區，全縣漁船多在此卸魚、拍賣及補給日用品等；但第一及第二漁港泊地面積共僅 6 公頃，隨著漁船數量增加及大型化，泊地及碼頭已不敷使用。颱風期漁船爭先搶入避風，港內更是擁擠不堪，許多漁船因不及回港，只得錨泊港外，任憑風浪拍擊，險象環生。政府為保障漁民生命財產安全，紓緩馬公第一、第二漁港之擁擠，並促進澎湖縣漁業發展，乃積極規劃籌建馬公第三漁港。

馬公第三漁港規劃於民國 69 年完成，選定馬公半島北灣，緊鄰馬公第二漁港北堤為建港地點，計畫浚挖泊地約 30 公頃，以容納 100 噸級以下漁船 2,000 艘為目標。民國 70 至 76 年，開闢泊地 29.3 公頃（水深-3.5~-4.0 公尺），碼頭 2,778 公尺，填築新生地 34 公頃，及港區給水、電力管線、碼頭環港道路、魚市場等公共設施，嗣為容納澎湖地區現有遠洋漁船及增進港池穩靜度，又自民國 77 至 82 年，增建深水碼頭(-6.0 公尺)224 公尺，深水泊地 4.6 公頃，突堤碼頭二座；此外，又於民國 86 至 89 年增加漁船繫泊設施，於魚市場兩側各增設突堤碼頭一座，總長度 176 公尺，並興建停車場、漁具整補場、漁具倉庫、

魚市場等必要之公共設施；民國 89 年在修造船區北側興建曳船道一處，以利船隻拖曳上岸；民國 90 年度在第三漁港檢查碼頭北側興建突堤碼頭 46 公尺，及於港區東側興建內分隔突堤碼頭 100 公尺。

第三漁港完成除對澎湖縣漁業發展及漁民生命財產之保障外，並可紓解馬公第一、二漁港擁擠現象。築港時，利用開挖泊地所產生之土石方，填築新生地 60 餘公頃，除供港埠、機關、學校、及漁業公共設施用地之外，其餘可出售依都市計畫作為住宅、商業、工業及中油用地，以充實地方財源，亦可緩和馬公市區居住空間擁擠及日漸上漲之地價，解決一般低收入者及離島居民之國宅用地問題。本港目前同時亦為澎湖地區交通遊樂船南海系統之基地，公民營船隻約 30 艘，利用第二、三漁港交界處部份碼頭上下客貨，並設有南海旅客服務中心，作為前往七美、望安、將軍等島船隻停靠。

本港目前計有水深-2.0 公尺碼頭 703.5 公尺、泊地約 3.08 公頃；水深-3.0 公尺碼頭 283.5 公尺、泊地約 3.29 公頃；水深-3.5 公尺碼頭 3,171.5 公尺、泊地約 28 公頃；水深-4.0 公尺碼頭 432 公尺、泊地約 0.36 公頃；水深-6.0 公尺碼頭 223 公尺、泊地約 2.05 公頃，合計碼頭 4,813.5 公尺、泊地 36.78 公頃。碼頭平面如圖 3.40 所示，碼頭主要結構型式示如圖 3.41 至圖 3.47。

近年來澎湖國家風景區管理處積極發展澎湖地區之海上觀光事業，計畫結合馬公漁港之現有資源，興建遊憩設施，除於第一漁港北、西碼頭及第二漁港西碼頭興建木棧橋人行空間，供遊客漫步及欣賞海景外，並將第二漁港之突堤碼頭擴寬，拆除原有之魚市場，興建船型外觀之魚產品直銷中心，藉此帶動港區附近之商機。

本次調查以目視檢測為主，由於馬公漁港碼頭之設計水深多介於-2.0~-4.0m 之間，最深水深亦僅約-6.0m，設計水深較淺且後線長度多小於 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 ，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估與基樁式碼頭承受上部及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，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 100 公噸以下漁船或交通遊樂船艇，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 3.48 為調查時之碼頭現況。

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，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，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。



圖 3.40 馬公漁港平面配置圖

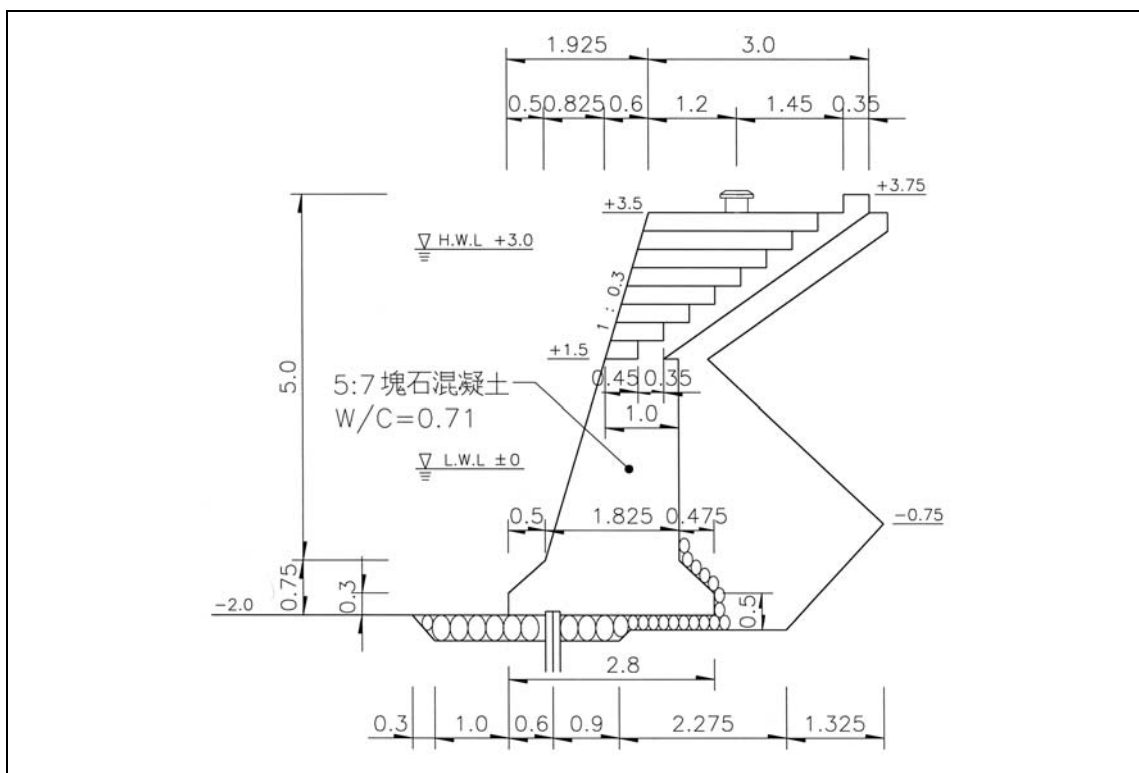


圖 3.41 馬公漁港碼頭結構型式 1

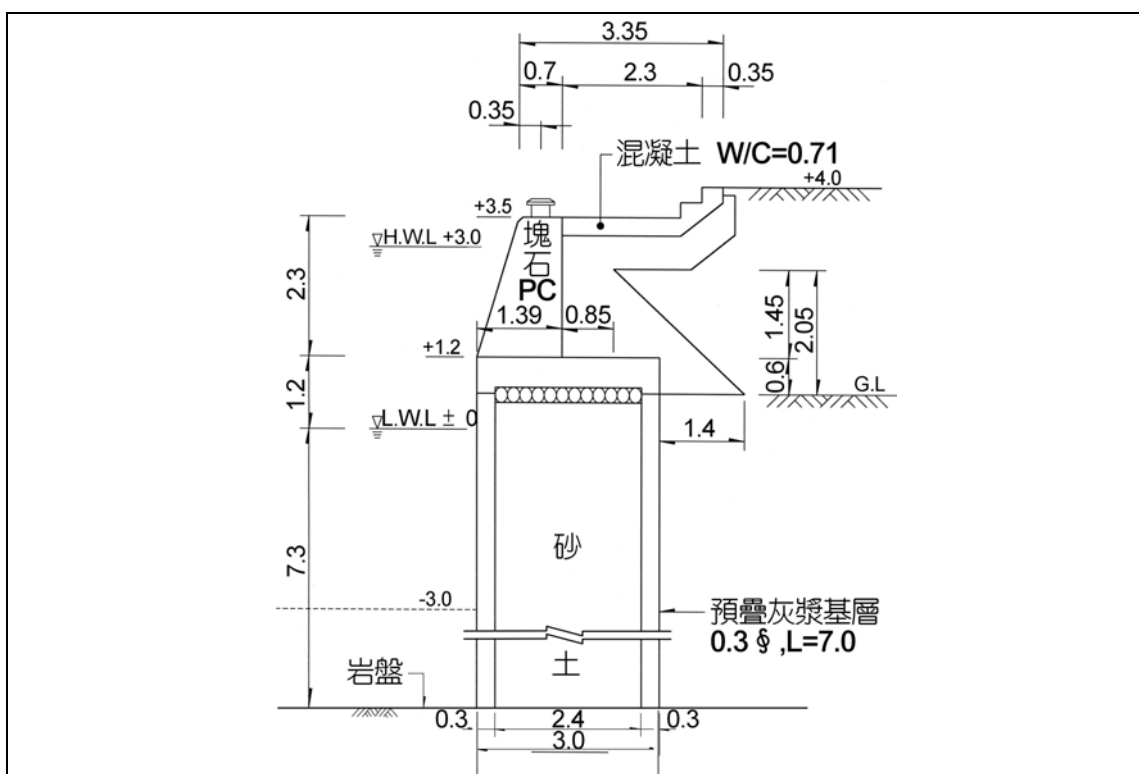
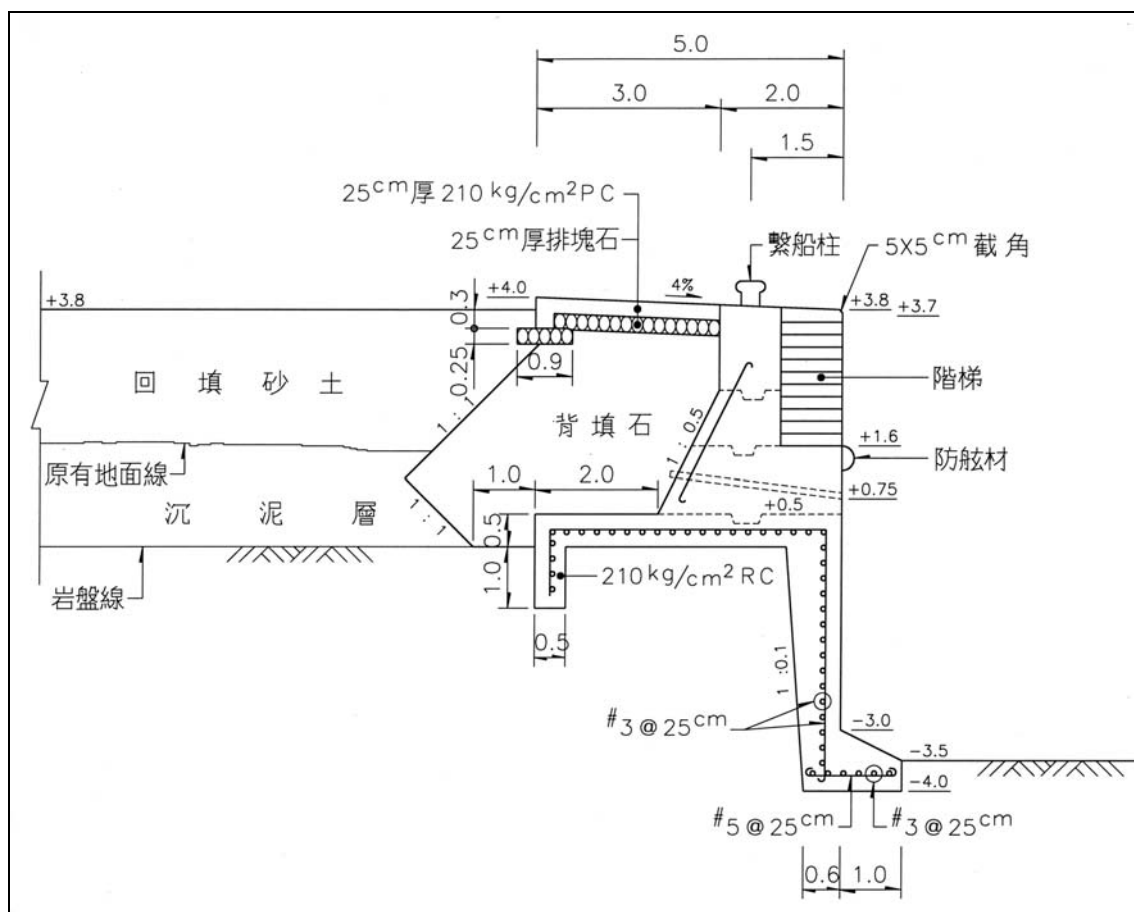
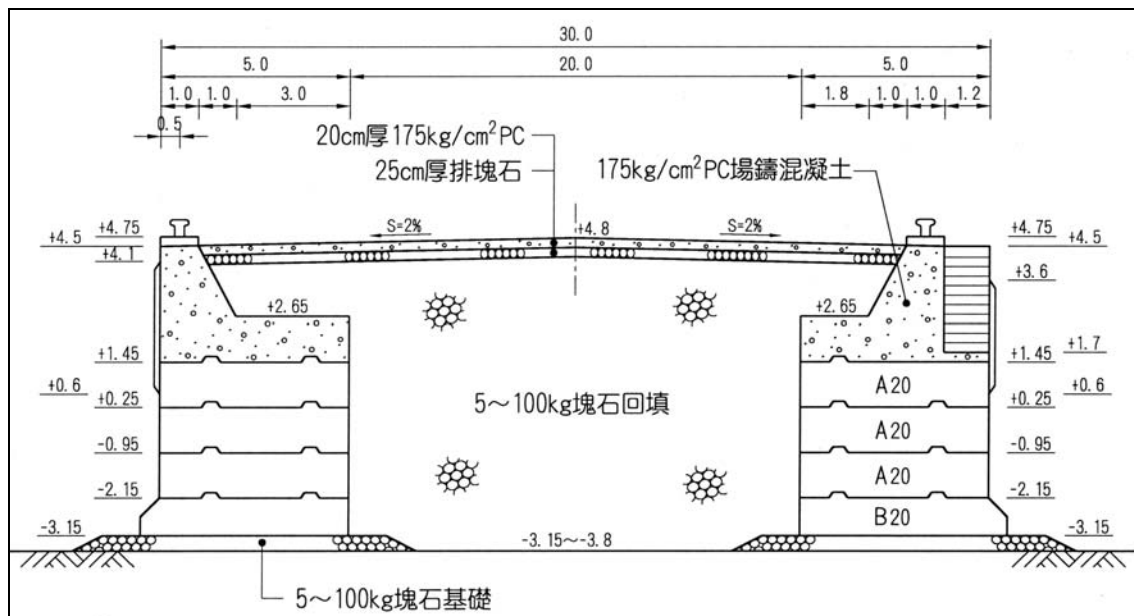


圖 3.42 馬公漁港碼頭結構型式 2



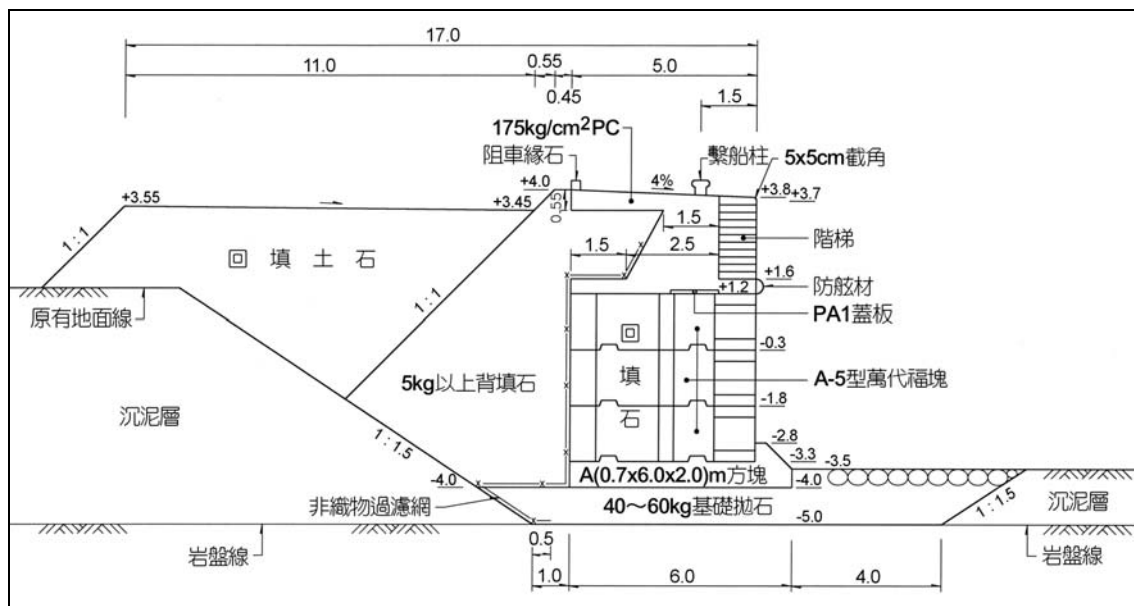


圖 3.45 馬公漁港碼頭結構型式 5

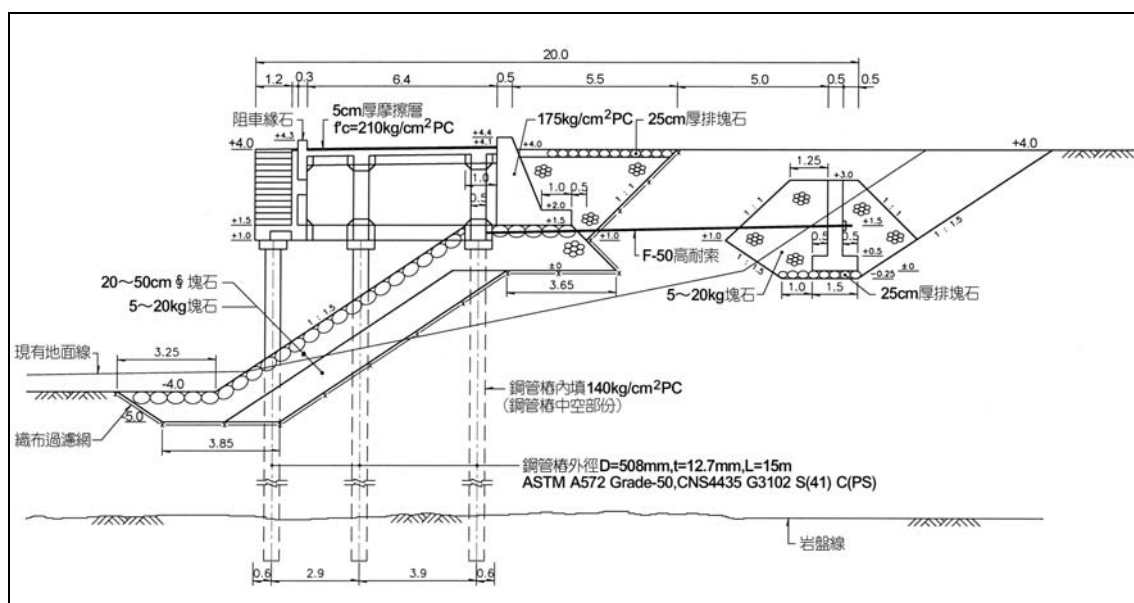


圖 3.46 馬公漁港碼頭結構型式 6



圖 3.48 馬公漁港現況情形（100.6.22）

3.4.11.2 外垵漁港

外垵漁港位於漁翁島南端之西嶼鄉外垵村，屬第三類漁港，主管機關為澎湖縣政府，距離馬公約 40 公里，港口朝南，因外側無地形遮蔽，受颱風波浪影響極大，於民國 45 年由前臺灣省政府漁業局補助經費，興建防波堤兼碼頭 60 公尺，又於 48 年再延長 36 公尺，民國 70 年修建防波堤兼碼頭 202 公尺，防波堤 48 公尺，西防波堤兼碼頭 30 公尺，東碼頭 81 公尺，浚挖泊地 2.8 公頃，填築新生地 1.6 公頃。

外垵漁港因位於西嶼最南端，接近漁場，漁船甚多，擴建後雖已具規模，但港內泊地每遇颱風湧浪侵襲時，仍無法穩靜，為保障漁船停泊安全，又延建西防波堤 162 公尺、修建北碼頭 100 公尺並擴挖泊

地，完成後對於港內水域穩靜之改善及漁船停泊安全，成效頗佳，由於碼頭仍不敷使用，復於民國 86 年續建消波式碼頭 110 公尺與泊地浚挖；民國 87 年再延建消波式碼頭 166.5 公尺，並配合浚挖泊地；民國 88 至 90 年原有碼頭面加封改善、設置阻車緣石及加拋消波塊、將南防波堤兼碼頭東端 72.5 公尺加以改建、西防波堤堤面加高；；民國 91 年時因航道淤淺進行疏浚及泊地浚深至-4.0 公尺，並將南防波堤兼碼頭延續 90 年部份加以改建，長度為 190 公尺，及於西防波堤港側加設阻車緣石。本港現有水深-4.0 公尺碼頭 914 公尺、泊地 4.14 公頃。碼頭平面如圖 3.49 所示。

外垵漁港平時或有鄰近作業漁船靠泊，颱風期間本港漁船須至赤馬漁港避風，夏季每日有 2~3 艘遊樂船停靠。由於陸上漁業設施不足，漁船補給多至馬公漁港為之，主要漁撈方式有延繩釣、流刺網、拖網、一支釣等。漁獲除當地消費外，亦經馬公運銷。

外垵漁港附近之西台古堡列為國家一級古蹟，地形險峻，可隔海東眺馬公，南望桶盤、虎井島。西南端有漁翁島燈塔，地形為面積遼闊之草原，可遠眺澎湖內海，且初春有海豚結隊洄游，蔚為奇景。外垵漁港接近海峽洄游漁場，漁業活動能力極強，其位置扼澎湖灣南端出口，為南海離島船筏出入轉運及整補之樞紐，於旅遊旺季遊樂船進出頻繁，與虎井、桶盤聯為內海旅遊線。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估或鑽心試體試驗室抗壓試驗，混凝土強度介於 $185 \sim 226 \text{ kg/cm}^2$ 之間；腐蝕電位介於 $-368 \sim -212 \text{ mV}$ （ Cu/CuSO_4 電位）之間；電阻係數介於 $9.6 \sim 20.16 \text{ K}\Omega$ 之間；超音波速約為 3000 m/sec ，中性化深度約 $0.2 \sim 1.0 \text{ cm}$ 。由於漁港碼頭現有設計水深為-4.0m，因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 3.50 為調查時之碼頭現況。

表 3-47 外垵漁港反彈值等試驗結果

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 ($\text{K}\Omega$)
碼頭岸壁	31.5(226)	-368~-212	12.0~20.1
防波堤	28.5(185)	-272~-215	9.6~15.3

表 3-48 外垵港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)
1	187	0.2
2	195	0.2
3	256	1.0

表 3-49 外垵漁港鑽心試體之超音波脈波速度

試體編號	超音波速(m/sec)
1	3320
2	3485
3	3236

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，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，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

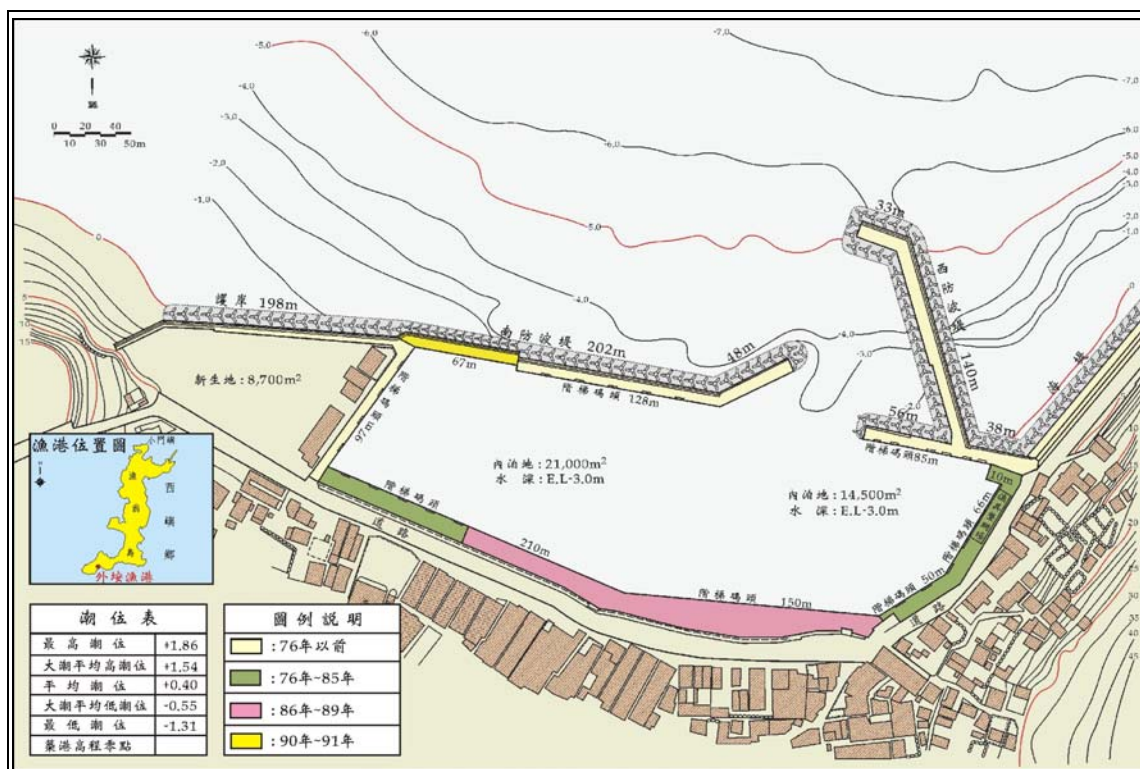


圖 3.49 外垵漁港平面配置圖



漁港停泊船隻現況



碼頭現況情形



圖 3.50 外垵漁港現況情形 (100.6.21)

3.4.11.3 內垵北漁港

內垵北漁港位於澎湖島西側漁翁島西南方赤馬灣南端之內垵村，屬第三類漁港，主管機關為澎湖縣政府。本港港口朝東北，受颱風影響小，受東北季風影響則大，但因位處灣內淺灘岩礁，地形隱蔽，形勢優良，是良好的避風休息港。本港於民國 45 年開始興建，至 47 年完成，後因泊地水淺，碼頭設施不足，故由當地漁民自籌經費於 70 年間浚渫泊地並設置碼頭岸壁，但仍無法配合漁業發展需要，故政府乃於「第一期臺灣地區漁港建設方案」中，73 年籌資擴建，歷時二年餘始完成，共投資約 5,100 萬元，擴建完成後計有碼頭約 670 餘公尺，水深 2.5 公尺之泊地約 1.4 公頃。86 至 88 年進行港區靠泊設施改善，加

設繫船柱及防舷材、進行泊地及航道浚挖、堤面加封及設置阻車緣石等。89 年為改善港口穩靜，興建東防波堤 123 公尺及將原有東海堤兼碼頭長度 86.8 公尺加以擴寬，90 年於西防波堤內側興建碼頭 101 公尺，並進行航道浚挖工作。本港現有水深-2.5 公尺碼頭 760 公尺、泊地 1.44 公頃。碼頭平面如圖 3.51 所示。

本港除魚市場外，陸上漁業設施缺乏，加油部份則可經由油罐車直接補給。颱風期間有外垵、赤馬、內垵南等港之船隻來靠泊。主要漁撈方式有流刺網、焚寄網等，附近有箱網養殖，漁產須經馬公漁港運銷。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估混凝土強度介於 $185\sim 238\text{kg/cm}^2$ 之間；中性化深度約 $0.8\sim 1.2\text{cm}$ 。由於漁港碼頭現有設計水深為-4.0m，因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 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。圖 3.52 為調查時之碼頭現況。

表 3-50 內垵北漁港反彈值等試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	中性化深度 (cm)
1	32.3(238)	0.3
2	28.5(185)	0.2

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，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，另建

議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

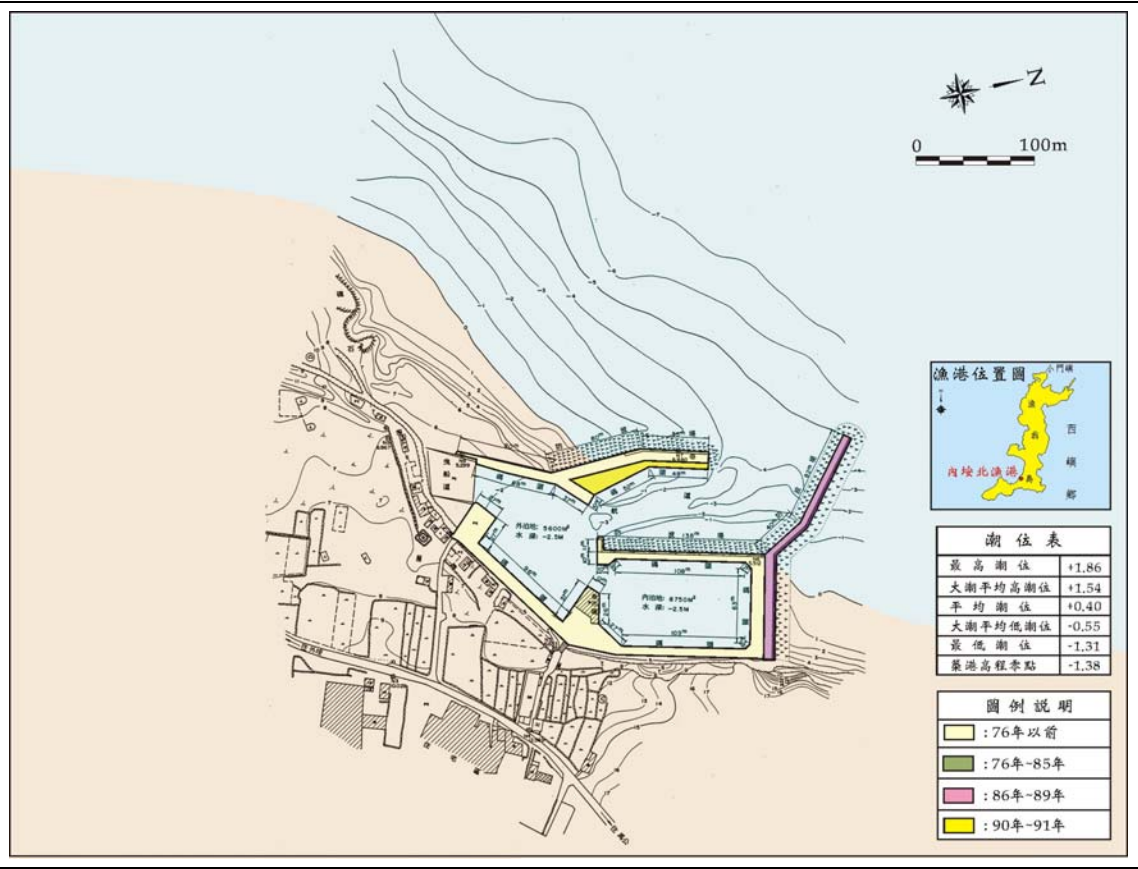


圖 3.51 內埤北漁港平面配置圖





圖 3.52 內垵北漁港現況情形 (100.6.21)

3.4.11.4 內垵南漁港

內垵南漁港位於西嶼鄉南端，附近有東台古堡等古蹟景觀，屬第三類漁港，主管機關為澎湖縣政府，港口面朝西南，東北季風影響較小，但因四周無地形屏障，無法阻擋颱風波浪，故於民國 58 年，修建防波堤兼碼頭 150 公尺，民國 66 年及 74 至 76 年又延長突堤碼頭 60 公尺、東防波堤兼碼頭 37 公尺；民國 79 至 85 年延建外側南防波堤兼碼頭 125 公尺及修建內側突堤碼頭 80 公尺、北護岸碼頭 123 公尺，並浚挖泊地，可增進內側泊地之穩靜度及增加漁船停泊碼頭。民國 86 年興建東側防波堤內側碼頭 116 公尺，並進行東防波堤原有堤面加高及拋放消波塊等工程，現有 -3.0 公尺水深碼頭 665 公尺、泊地 1.4 公頃。

碼頭平面如圖 3.53 所示。本港由於漁船使用頻繁，惟缺乏陸上漁業設施，漁船補給須至馬公漁港為之。主要漁撈方式有焚寄網、流刺網、定置網等；漁產除本地消費外，多經馬公運銷。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估混凝土強度介於 $185\sim 238\text{kg/cm}^2$ 之間；中性化深度約 $0.8\sim 1.2\text{cm}$ 。由於漁港碼頭之設計水深多小於 -4.0m 。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 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。圖 3.54 為調查時之碼頭現況。

表 3-51 內垵南漁港反彈值等試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	中性化深度 (cm)
1	32.3(238)	1.2
2	27.2(170)	0.8

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，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，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

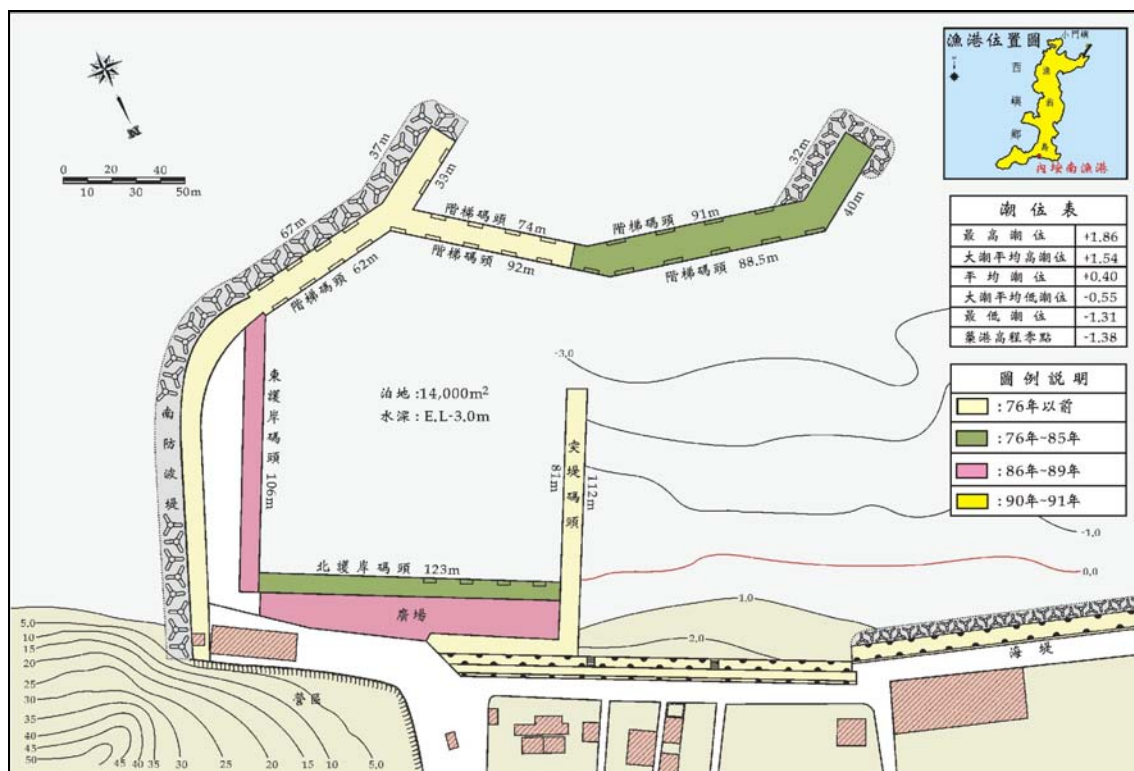


圖 3.53 內埤南漁港平面配置圖



碼頭現況 1



碼頭現況 2



碼頭現況 3



碼頭現況 4



碼頭現況 5



碼頭現況 6



碼頭現況 7



碼頭現況 8

圖 3.54 內垵南漁港現況情形 (100.6.21)

3.4.11.5 赤馬漁港

赤馬漁港位於澎湖縣西嶼鄉赤馬村，附近有牛心灣之名勝，屬舊時澎湖八景之一，亦屬為第三類漁港，本港於民國 56 年首先修築砌石碼頭 64 公尺。因位於馬公本島及西嶼間之內海，北面有高地阻擋東北季風，僅東南向稍受颱風影響，地形隱蔽，颱風時西嶼鄉漁船大部分駛至本港避風，由於原有拋石防波堤兼碼頭設施簡陋，乃於「第一期臺灣地區漁港建設方案」中進行改善及擴建，計完成拋石擋土堤 380 公尺、拋石防波堤 125 公尺、北碼頭 225 公尺及擋土堤 414 公尺，開闢泊地面積約 4.3 公頃(-3.0m)，至此本港規模粗具。來往停泊漁船多達 200 艘，嗣經澎湖縣政府規劃本港為西嶼鄉之區域中心漁港，惟因部分泊地尚未浚深，且拋石防波堤尚需加強以遮蔽東南向波浪，以保障颱風時漁船停泊安全，故於「第二期臺灣地區漁港建設方案」中撥款 10,100 萬元，完成碼頭約 790 公尺、泊地約 1.66 公頃，可加強保障颱風時漁船停泊安全，並便利西嶼鄉漁船補給作業。之後於 90 年進行港區改善，除加高部份碼頭面 128 公尺外，並於現有東側泊地興建北突堤碼頭 75 公尺及西側泊地興建西突堤 70 公尺，並將堤防胸牆加高 267 公尺及加拋消波塊 247 塊。本港現有水深 -3.3 公尺碼頭 1,525.5 公尺、泊地 5.96 公頃。碼頭平面如圖 3.55 所示。

本港雖為西嶼鄉之區域中心漁港，目前冷凍、加冰、加油等陸上漁業設施尚未設置，需由馬公運補，本港平時有內垵地區之漁船來靠泊，本港主要漁撈方式有流刺網、焚寄網等，漁產馬公運銷。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-2.0~-4.0m 之間，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 ，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估可承受上部荷載及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，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 100 公噸以下，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 3.56 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。

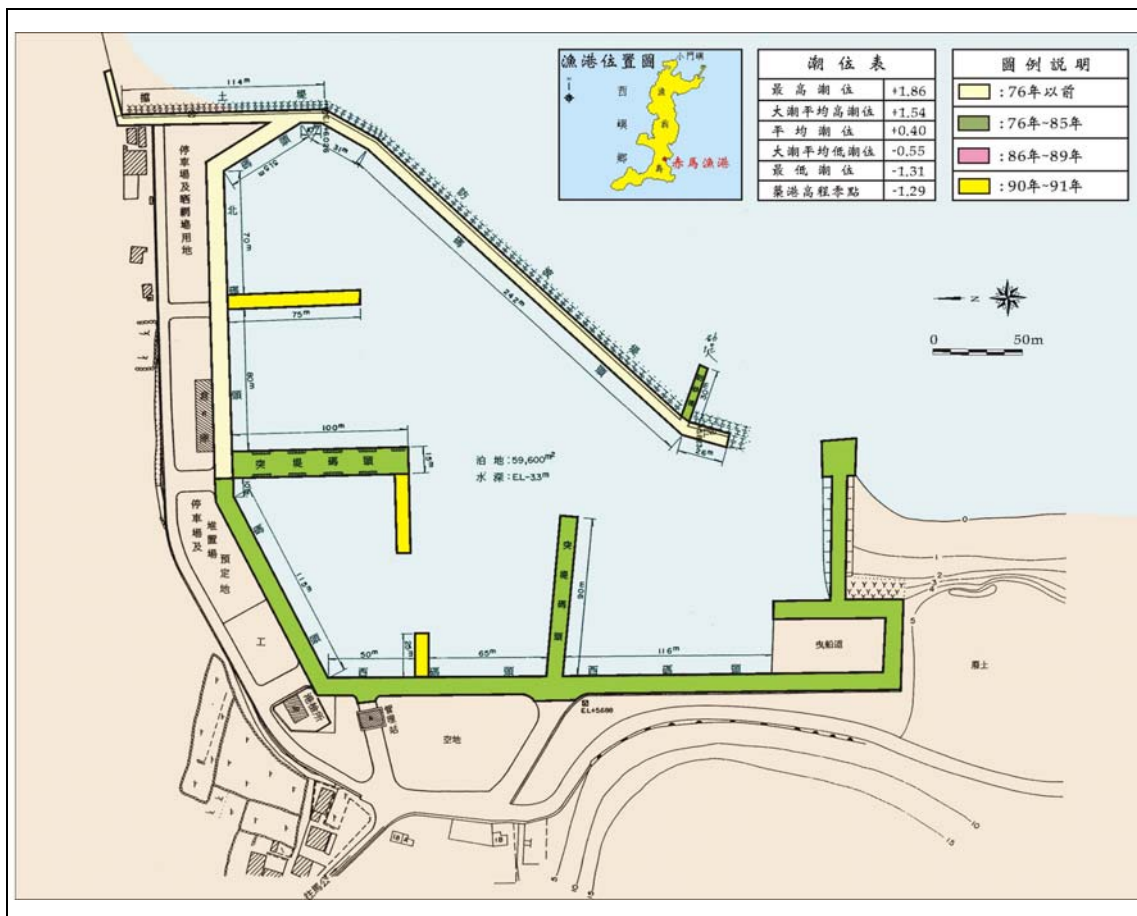


圖 3.55 赤馬漁港平面配置圖



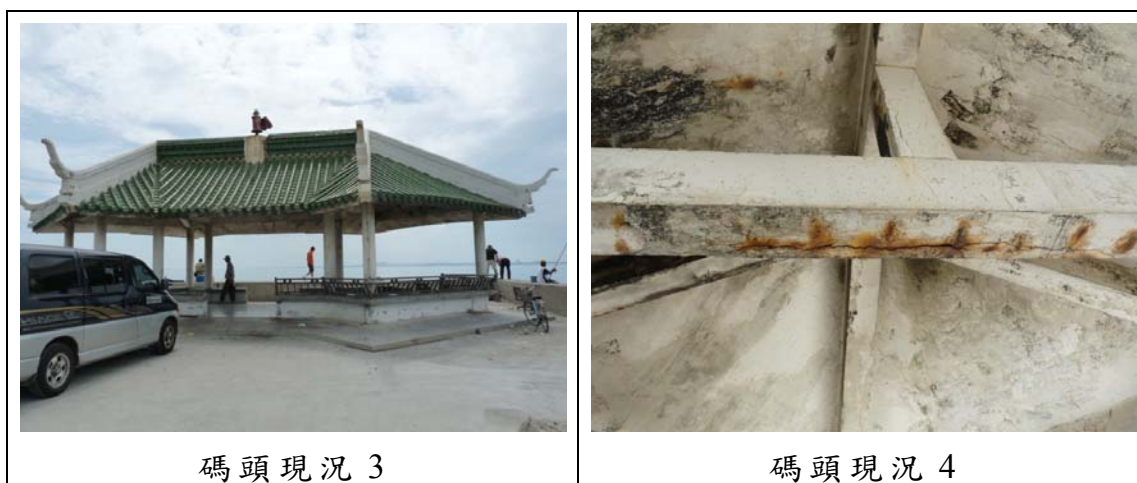


圖 3.56 赤馬漁港現況情形（100.6.22）

3.4.11.6 赤崁漁港

赤崁漁港位於白沙鄉北方海岸，為白沙鄉之中心漁港，亦屬為第三類漁港，除供漁船使用外，亦提供北海遊憩船舶停泊，並有澎湖本島與北海離島之交通碼頭，為鳥嶼、員貝、吉貝三離島對澎湖本島進出之港口，船筏經常至本港靠泊避風或整補，在漁業及離島交通上均佔重要地位。由於港口朝東，且附近海域多屬珊瑚礁地形，港口航道位處淺灘區，航道長且淺，須定期浚淤，維護不易。

本港於民國 40 年由縣府補助修建砌石防波堤 227 公尺，碼頭 278 公尺，護岸 125 公尺，圍築內港水域約 3 公頃。57 年時由高雄港務局補助，修建交通碼頭一座。本港雖有廣闊水域，惟多未浚挖，漁船需候潮始能進出，亟需改善，乃在「第一期臺灣地區漁港建設方案」中，於 71~74 及 76 年度辦理港口改善，計延建北防波堤兼碼頭 45 公尺、增建碼頭 101 公尺、泊地及航道浚挖，並修建曳船道等工程。後續在「第二期臺灣地區漁港建設方案」中，於 81 年度利用經費 2,700 萬元進行港區改善工程，主要係以改善停泊區環境為主，並增建曳船道供漁船筏起卸，提供漁業及離島交通使用；85 年度動用省長計畫經費再進行突堤碼頭 120 公尺之增建等工程。86 及 88 年進行港區改善計畫，於 86 年將內泊地北防波堤兼碼頭及突堤兩側碼頭 516 公尺進行改建；88 年除整修東防波堤 263 公尺外，並新建北防波堤 35 公尺及泊地浚挖

工程；90 年則在港區進行港區綠美化、休閒設施(涼亭、觀景台)、鋪面美化及胸牆加高彩粧工程；91 年於小型漁船泊區興建突堤碼頭 55 公尺。目前本港計有水深-3.0 公尺碼頭 453.5 公尺、泊地約 2.47 公頃及水深-3.5 公尺碼頭 849 公尺、泊地約 4.74 公頃，合計碼頭 1,412.5 公尺、泊地 7.21 公頃。碼頭平面如圖 3.57 所示。

本港漁船之主要漁撈方式有延繩釣、焚寄網、流刺網及一支釣等；陸上漁業設施有魚市場、加油、製冰、冷凍、修造船廠、漁具整備場等。

近年來在縣政府及澎湖國家風景區管理處積極發展離島觀光，本港為北海旅遊系統之主要基地，由民間經營之觀光快艇及交通船即停靠於本港，每到旅遊旺季，本港即人潮洶湧，為免非作業漁船停靠影響正常魚貨上下，乃由交通單位於外泊地後側土地興建遊客服務中心，並利用外泊地碼頭設置浮動式碼頭，專供交通船及觀光快艇停靠之用，使本港朝漁業、交通、觀光多元化之漁港發展。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-3.0~-3.5m 之間，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 ，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估與基樁式碼頭承受上部荷載及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，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 100 公噸以下漁船或觀光遊艇（或客輪），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 3.58 為調查時之碼頭現況。

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，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，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。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。

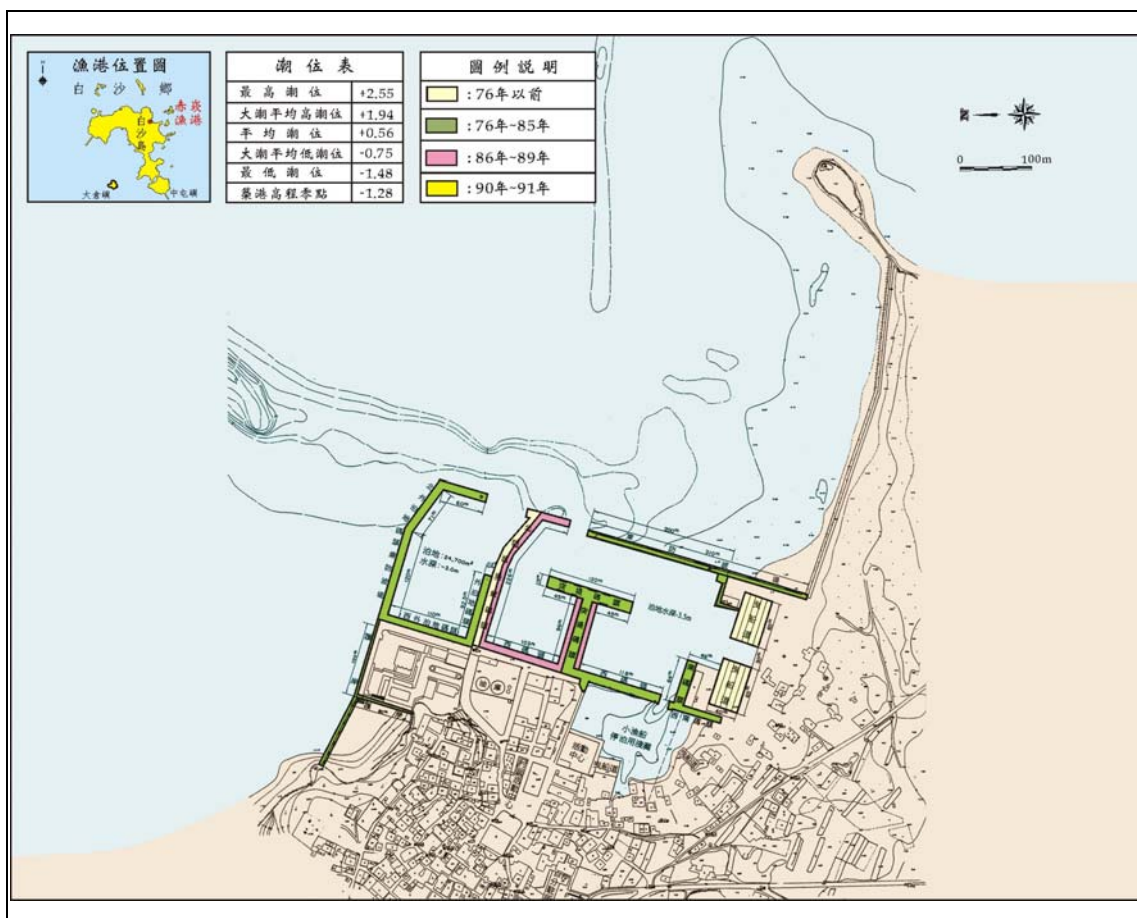


圖 3.57 赤炭漁港平面配置圖





圖 3.58 赤崁漁港現況情形（100.6.22）

3.4.11.7 竹灣漁港

竹灣漁港位於澎湖縣西嶼鄉東部海岸之澎湖內灣水域，亦屬為第三類漁港。本港受東北地季風影響不大，遮蔽地形良好，為為本區良好之避風港。民國 41 年修建一道簡易拋石防波堤，民國 73 年修築防波堤 178 公尺，防波堤兼碼頭 80 公尺，突堤碼頭 48 公尺，並浚挖泊地 0.38 公頃。惟因僅有一道防波堤兼碼頭，可供停泊用之碼頭及泊地有限，避風效果不彰。故續於民國 81 年延建東防波堤 30 公尺、新建碼頭 303 公尺、護岸 240 公尺及填築新生地與泊地浚挖；民國 86 年修建由北側碼頭中段位置興建突堤碼頭 83 公尺及泊地疏浚；民國 88 年興建碼頭護岸 30 公尺；民國 90 年度則進行現有曳船道改善、碼頭堤

面加封工程，計完成新建護岸 34 公尺及進行曳船道改建。目前本港計有碼頭約 900 餘公尺、泊地約 2.93 公頃。碼頭平面如圖 3.59 所示。

本港除港區西側有修造船廠外，缺乏陸上漁業設施，漁船補給需至馬公、赤崁為之。

東北季風期間，鄰近漁船至本港避泊，平時亦有內安漁船在本港上架寄靠，颱風期間漁船需至橫礁、合界避風。主要漁撈方式有流刺網、焚寄網、延繩釣等。附近有水產養殖，以飼養石斑等高經濟魚類為主，漁獲經馬公或赤崁運銷。本港面對廣大澎湖內灣，適合發展海釣、海洋牧場、觀光養殖業等。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-2.0~-3.0m 之間，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 ，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推擠之側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，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 100 公噸以下漁船或觀光遊艇（或客輪），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 3.60 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。

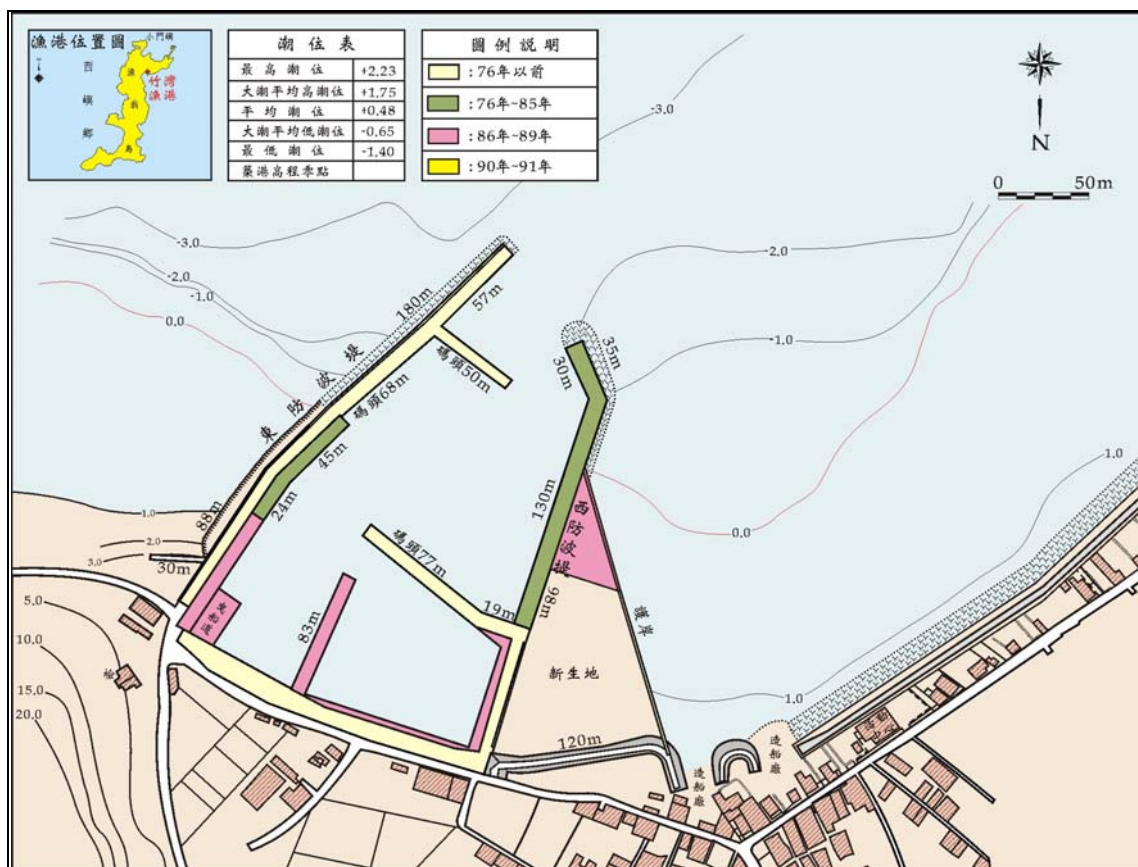


圖 3.59 竹灣漁港平面配置圖





圖 3.60 竹灣漁港現況情形 (100.6.22)

3.4.11.8 鎖港漁港

鎖港漁港位於澎湖縣馬公市鎖港里之天然內灣中，具有建港優良地形，為馬公市南部之區域中心漁港，亦屬為第三類漁港，於民國 42 年 5 月闢建拋石式防波堤 388 公尺及碼頭 240 公尺，並設有加油站及護岸 127 公尺。民國 66 年完成碼頭及泊地浚渫及改建碼頭 151 公尺，浚渫泊地 2.3 公頃，使本港規模粗具。為求增加港內穩靜，續又延建外廓防波堤 275 公尺、北防波堤 20 公尺及向港區南側延建碼頭與外突堤碼頭，並浚挖航道至-4m，以增加港內之穩靜，可供 50 噸級以下漁船隻約 180 艘停泊使用。民國 87 年進行港區整建工程，將北碼頭之碼頭面及胸牆加以整修；民國 90 年則整修碼頭堤面及泊地浚深；民國 91

年於北側港區興建北突堤 40 公尺、南突堤 50 公尺、延建外廓防波堤 45 公尺及泊地浚挖等。本港現有碼頭 1,091 公尺、泊地 4.2 公頃(水深 -4.0 公尺)。碼頭平面如圖 3.61 所示。

本港因具有魚市場、製冰廠、冷凍庫、加油站、儲冰庫、漁具整理場、漁民活動中心等，設施頗為完善，可供漁船補給，減少漁船至馬公補給之航程，且為馬公市東南各港漁船避風、補給之重要基地，並可成為馬公漁港之輔助港。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估或鑽心試體試驗室抗壓試驗，混凝土強度介於 $185 \sim 256 \text{ kg/cm}^2$ 之間；腐蝕電位介於 $-368 \sim -212 \text{ mV}$ （ Cu/CuSO_4 電位）之間；電阻係數介於 $9.6 \sim 20.16 \text{ K}\Omega$ 之間；超音波速約為 3000 m/sec ，中性化深度約 0.2 cm 。由於漁港碼頭現有設計水深為 -4.0 m ，因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 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。圖 3.50 為調查時之碼頭現況。

表 3-52 鎖港漁港反彈值等試驗結果

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 ($\text{K}\Omega$)
碼頭岸壁	33.1(249)	-398~-280	6.2~25.1
防波堤	28.9(191)	-432~-315	7.5~12.3

表 3-53 鎖港漁港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)
1	170	1.0
2	195	1.2
3	198	0.8

表 3-54 外垵漁港防波堤鑽心試體之超音波脈波速度

試體編號	超音波速(m/sec)
1	2920
2	2890
3	3211

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。

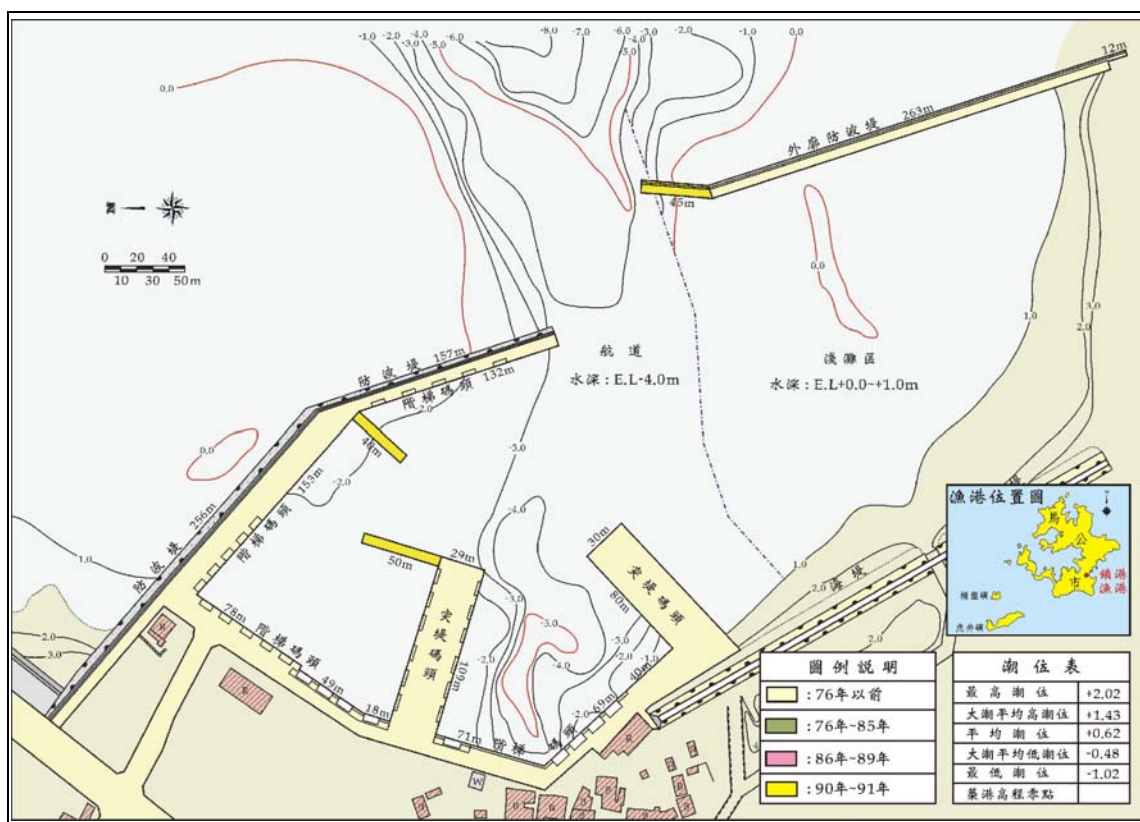


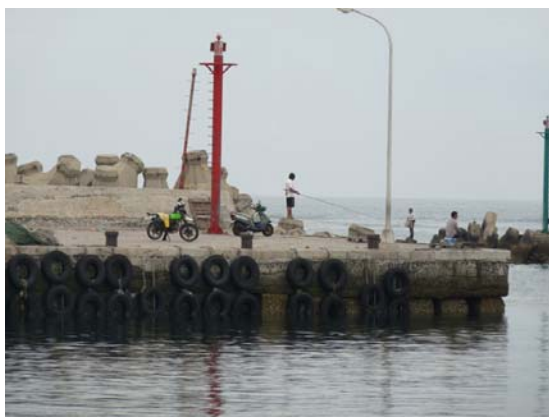
圖 3.61 鎖港漁港平面配置圖



碼頭現況 1



碼頭現況 2



碼頭現況 3



碼頭現況 4



碼頭現況 5



拍賣場外觀

圖 3.62 鎖港漁港現況情形 (100.6.23)

3.4.11.9 尖山漁港

尖山漁港位於澎湖本島湖西鄉南側海岸，龍門漁港西北方，港口航道為沙質，東南波向時易淤淺，需定期浚漂，亦屬為第三類漁港。本港至民國 85 年止，已修建完成泊地約 2.1 公頃、碼頭約 550 公尺，民國 87 年修建延長西碼頭 113 公尺，並進行泊地浚挖，民國 90 年後修建南防波堤兼碼頭擴寬 193 公尺；民國 91 年再延長南防波堤 20 公尺、東碼頭改建 90 公尺、內泊地設置東西分隔堤 88 公尺及裝置輪胎防舷材等項目。本港現有碼頭 896 公尺、泊地 2.07 公頃。

本港平時有龍門漁船前來靠泊，而颱風期間漁船須至馬公避風；主要漁撈方式為單拖、焚寄網、流刺網、一支釣等，漁產除當地消費外，多經龍門漁港運銷。

尖山與龍門一帶漁業經濟活動能力強，與臺灣間僅 23 海浬航程，目前有客貨輪停靠於龍門漁港，交通單位自 86 年起即在本港與龍門漁港間之海域興建客貨碼頭，由本港南防波堤外側沿海岸至龍門漁港北防波堤外側，興建碼頭約 990 公尺，並於本港西碼頭外側另行興建外廓西防波堤 822 公尺，配合龍門漁港南側之外廓設施，未來龍門、尖山漁港之漁船與客貨輪將共用港口進出。交通單位後續計畫於本港南防波堤外向南延建碼頭 180 公尺，並於本港西側泊地興建突堤碼頭 75 公尺，以增加內泊地的穩靜。碼頭平面如圖 3.63 所示。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-2.0~-4.0m 之間，最深水深亦僅約-6.0m，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 ，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估可承受上部荷載及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，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 公噸以下漁船或觀光遊艇（或客輪），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 3.64 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。

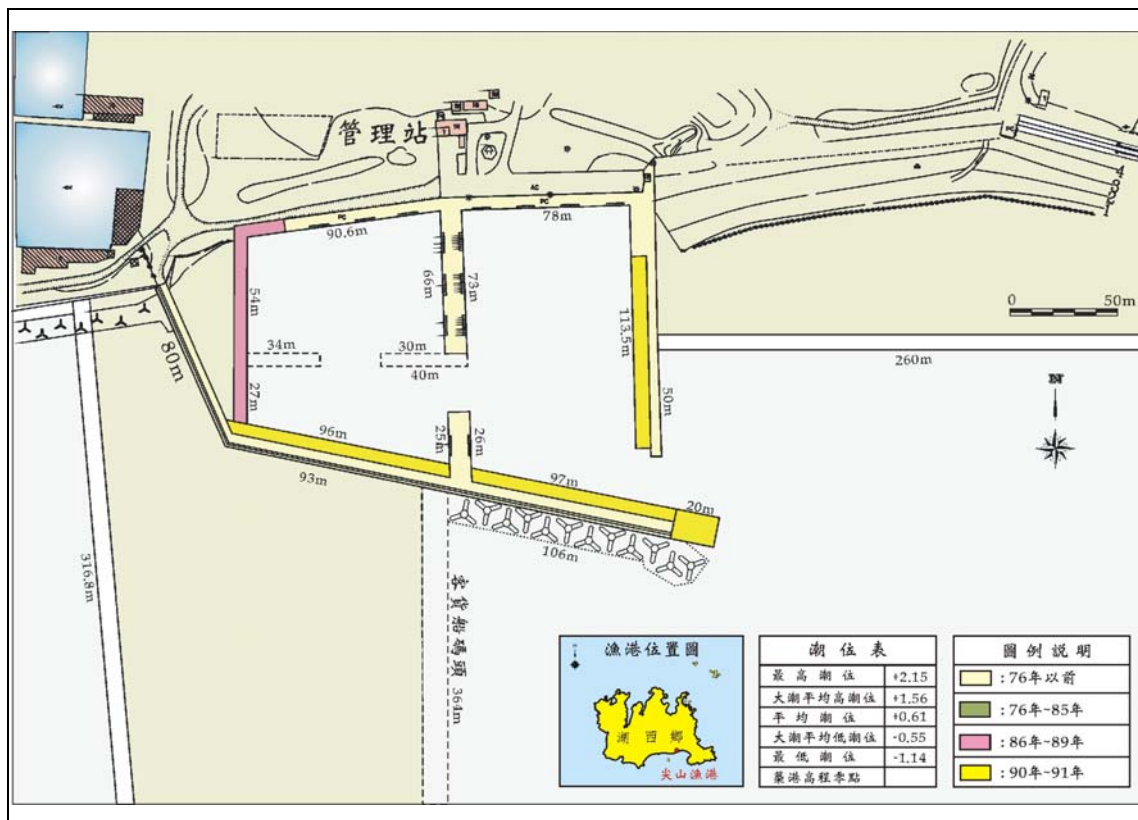


圖 3.63 尖山漁港平面配置圖



圖 3.64 尖山漁港現況情形（100.6.23）

3.4.11.10 龍門漁港

龍門漁港港現有碼頭 1,490 公尺、泊地約 5.73 公頃，亦屬為第三類漁港。本港位於湖西鄉龍門村之天然內灣內，為湖西鄉之中心漁港，東南有高地阻擋，港口面向西，東北有岩礁突出伸入海中，可防止東北季風侵害，港口以外係淺灘沙質地，航道在颱風時易被淤淺，本港於民國 45 年修建簡單砌石堤 120 公尺，46 年再延長建造 180 公尺，嗣後繼續擴建及災害修復加強 194.7 公尺。民國 59 年由高雄港務局撥款興建交通碼頭 260 公尺，民國 69 年再擴建碼頭 155 公尺，民國 70 年延建港口之消波堤 50 公尺。民國 74 年在港內興建交通船碼頭 170 公尺。民國 75 年擴建東側泊地 2.6 公頃，新建碼頭 282 公尺及填築新生地 2.7 公頃，至此本港已粗具規模，惟陸上漁業設施尚付闕如，另港口受西南波浪影響漁船進出困難，南防波堤遇颱風時，有越波影響情形，影響漁船停泊安全；民國 77 年至 81 年，又共修建突堤約 81 公尺、碼頭 60 公尺；民國 82 年又修建碼頭 169 公尺、突堤碼頭 15 公尺，並於防波堤外側加拋消波塊及浚挖泊地。89 年進行北碼頭修建、興建突堤碼頭 70 公尺及港區道路及碼頭改善等。

龍門漁港漁業經濟活動能力強，與臺灣間僅 23 海浬航程，故本港客貨交通亦甚頻繁，交通單位自 86 年起即在本港與尖山漁港間之海域興建客貨碼頭，由本港北防波堤外側沿海岸至尖山漁港南防波堤外側，興建碼頭約 990 公尺，並配合尖山漁港北側之外廓設施，將本港南防波堤延建 200 公尺，累計本港現有碼頭 1,490 公尺、泊地約 5.73 公頃。碼頭平面如圖 3.65 所示。

目前龍門、尖山漁港之漁船與客貨輪將共用港口進出；此外，湖西鄉公所規劃東海岸旅遊線，配合舊澎湖八景之一「夜靜龍門聽鼓浪」，藉由漁業、交通、觀光互動以繁榮地方。

本次調查已目視檢測為主，由於 x 漁港仍持續建造可供停靠來往臺灣澎湖之間之貨輪碼頭，設計水深較深且後線長度亦比照臺灣地區商港建造建議未來可應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估。

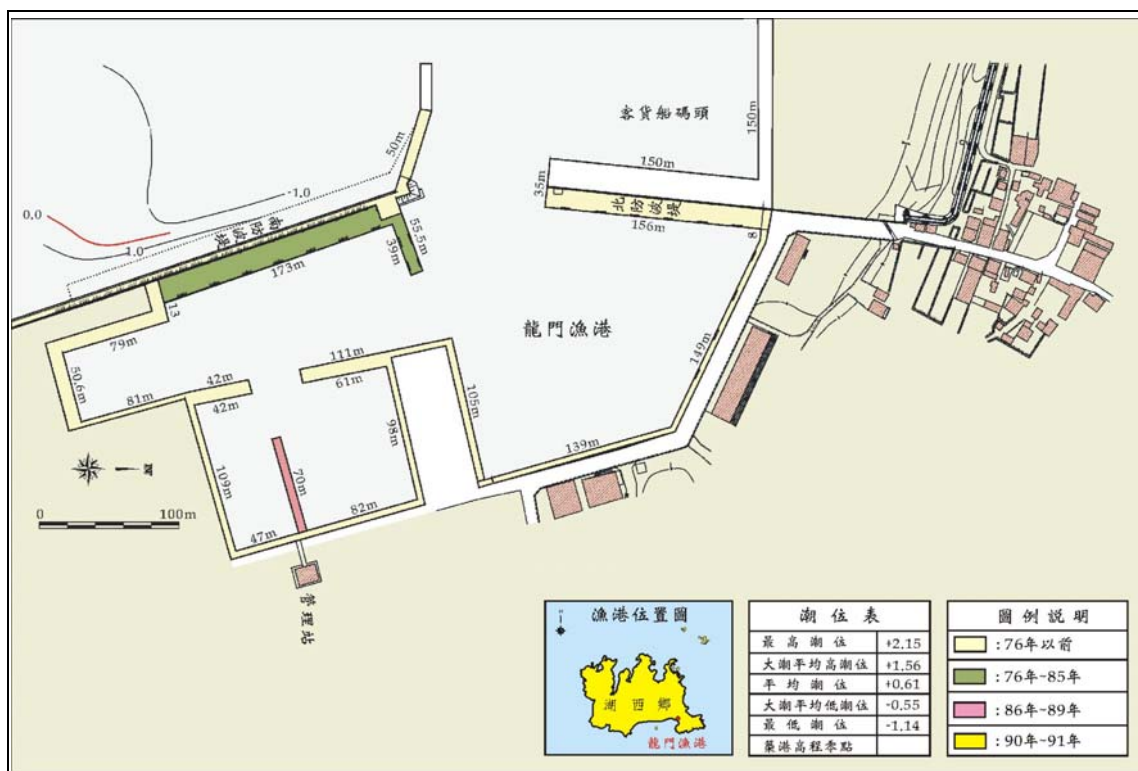


圖 3.65 龍門漁港平面配置圖



碼頭現況 1

碼頭現況 2



圖 3.66 龍門漁港現況情形（100.6.23）

3.4.11.11 蒔裡漁港

蒔裡漁港位於馬公市蒔裡里，港區地質屬岩石層，係一優良之避風港。亦屬為第三類漁港。本港於民國 46 年起由前臺灣省政府漁業局補助修建，後因地方配合款未能籌措，一度停建，至民國 56 年再由澎湖縣政府所擬之四年經建計畫項下繼續修建，至 57 年始告完成。民國 70~85 年起陸續進行擴建工程，民國 87 年浚深泊地及航道、民國 90 年進行港區改善，包括堤面加高 610.8 公尺、增設輪胎碰墊 100 組及碼頭增設組車緣石等項目，現有北外廓防波堤 162 公尺、北防波堤 154 公尺、南防波堤 140 公尺、碼頭 900 公尺及-2.0m 水深泊地約 2.5 公頃。碼頭平面如圖 3.67 所示。

由於位於澎湖內灣，面向東北，受季節風影響較大，颱風時為良好避風港，目前以停泊近沿海漁船為主。由於陸上漁業設施缺乏，冷凍及加冰由馬公、鎖港支援，漁獲亦多經馬公漁港運銷。本港平時少有外港漁船靠泊，颱風期因本港對西南風浪有遮蔽作用，可供附近漁港船隻避泊。漁船主要漁撈方式為焚寄網等，港區附近有漁產加工廠 30 餘家，漁產加工業發達。蒔裡漁港面臨廣大之澎湖內灣海域，附近有蒔裡海水浴場，可發展海釣、風帆、托曳傘及牽罟等水上活動。



圖 3.68 嵵裡漁港現況情形 (100.6.23)

3.4.11.12 風櫃東漁港

風櫃東漁港位於澎湖縣馬公市風櫃里，臨馬公灣出口，區內有風櫃洞等景觀點，可遠眺雞籠嶼、四角嶼，風景秀麗。亦屬為第三類漁港，主管機關為澎湖縣政府，本港最早於民國 41 年修建砌石堤而成，後自 69 年縣政府利用離島計畫經費興建，至 74 年完成碼頭 413 公尺，防波堤 332 公尺及水深-2 公尺之泊地 1.7 公頃。民國 77~85 年完成碼頭 95 公尺，防波堤 100 公尺。九年間共進行五期工程，投資經費約 1,317 萬元，87 年再興建北防波堤 80 公尺，並為增進港區使用功能，隔年又於內泊地北側突堤碼頭外及港區內之廢棄造船廠前緣興建碼頭 108 公尺及泊地浚挖，民國 89 年改善部份堤面及裝設碰墊。現有水深 -0.8 公尺碼頭 372 公尺、泊地 0.41 公頃；-2.0 公尺碼頭長度 435 公尺、泊地 1.57 公頃；水深-2.25 公尺碼頭 406 公尺、泊地 1.2 公頃，合計碼頭長度 1,213 公尺、泊地 3.18 公頃。碼頭平面如圖 3.69 所示。

本港係以繫泊近、沿海 20 噸以下之漁船為主，平時有外港漁船停靠，但為數甚少，夏季港內有 7~10 艘遊樂船靠泊，本港對西南風浪遮蔽良好，颱風時可供附近漁港船隻停泊避風休息之用，由於離馬公漁港不遠，故漁船加油、補給及銷售均在馬公漁港為之。本港主要漁撈方式為延繩釣等，漁獲物多至馬公漁港運銷。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-2.0~-2.25m 之間，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 ，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估可承受上部荷載及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，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 100 公噸以下漁船或觀光遊艇（或客輪），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 3.70 為調查時之碼頭現況。



圖 3.70 風櫃東漁港現況情形（100.6.23）

3.5 小結

1. 本年度共調查馬公商港 1 號及 6-8 號等共座棧橋式鋼管樁碼頭、花蓮港 4-6、8-9 號碼頭及航道西側岸壁鋼板樁共 5 座碼頭及 1 處構造物，與澎湖縣 13 處主要第三類漁港重力式碼頭、防波堤或濱海建物。
2. 調查結果顯示，馬公商港 1 號及 6-8 號等碼頭，檢測時發現除少數岸壁混凝土輕微劣損、護舷材輕微裂縫外，並無明顯影響碼頭功能之跡象，由於上述劣損狀況係屬輕微與局部性，且其所占範圍比例(E)均小於 10%，故初步評估計算破壞指標皆小於必須進行細部評估之指標值(2.0)，不須進行立即性維修，惟碼頭使用時間均已超過或接近 20 年，建議每年仍必須落實例行性之巡查。
3. 花蓮港 4-5 號碼頭之鋼板樁約有 1.2 公尺露出於水面上，為國內少數之特例，其外觀雖無明顯腐蝕生鏽現象且港務局均定期實施必要之防蝕維護工作，但因使用時間已長達 50 年，且碼頭後線土壤也會使鋼板樁發生腐蝕，故建議應加強檢測平率確保碼頭本體設施使用安全。
4. 花蓮港 4-6 號碼頭檢測時，發現碼頭後線面版有較明顯之不均勻沉陷，部份岸壁鋼混凝土亦發現少數混凝土剝落內部鋼筋外露鏽蝕現象。雖不影響碼頭營運，且初步評估破壞指標亦均小於 2.0，但因碼

頭使用時間已長達 40~50 年，建議須增加檢測頻率或另評估上部結構承載能力，以維碼頭使用安全。

5. 花蓮港 8-9 號碼頭與航道岸壁檢測時，除 8 號碼頭後緣排水溝出現雜草未清除外混凝土並無明顯劣化或沉陷，初步評估其破壞指標亦均小於 2.0，不須進行立即性維修。
6. 花蓮港 4-6、8-9 號碼頭及航道西側岸壁之鋼板樁，已於民國 94 年陸續完成安裝鋁合金犧牲陽極塊作為防蝕措施，檢測時鋼板樁水下部份均未發現腐蝕穿孔或破洞等損壞，鋼板樁防蝕電位與陽極塊發生電位之檢測結果，皆顯示防蝕措施已達到保護鋼板樁防蝕之目的。
7. 本年度調查澎湖地區漁港共 12 處，調查結果顯示各漁港設計水深多介於-2.0~-4.0m 之間，最深水深亦僅約-6.0m，現有碼頭設施皆能承受之土壓力和水壓力，不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，另漁港均無遭受大型船隻碰撞撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。
8. 澎湖地區漁港維護之主要工作項目，仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，由於漁港規模不大，設計水深亦淺，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，另建議規模較大之漁港碼頭，可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

第四章 大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類

4.1 前言

4.1.1 計畫目的

本研究計畫的主要目的為進行臺灣全島區域大氣腐蝕因子之調查與研究，並建立完整的大氣腐蝕因子資料庫，完成臺灣大氣腐蝕環境分類，以利日後新建與既有金屬或鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

4.1.2 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。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，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。

然而臺灣缺乏完整的本土化大氣腐蝕因子資料庫。自 1971 年起，國內各研究單位曾陸續以試片腐蝕速率的量測方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類，然而因試驗場址維護不易，各地區鮮少有持續 10 年以上的腐蝕數據，且大部份的研究亦止於 1995 年。隨著氣候變遷與工業的發展，為達到結構物耐久性防蝕設計的目的，目前若仍引用過去腐蝕因子之調查數據，腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；有鑑於此，本所乃自 2007 年起至今規劃「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」計畫，擬長期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大氣腐蝕環境分類資料庫，規劃一適合國內環境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。

4.1.3 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二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 年起與臺電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。中山科學研究院於 1987~1990 年在臺北市各區利用 A.C.I、M.C.I、I.C.I 等三種腐蝕指標試驗裝置，廣泛調查臺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^[21]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。因此本所於 2007 年 3 月至 2009 年 10 月委託工研院材化所執行「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」，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 87 個試驗點，進行試驗取樣與分析工作。

並於 2009 年 7 月持續執行本研究「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究」。國內大氣腐蝕研究歷程如表 4-1 所示。

表 4-1 臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程

研究單位	測試材料	測試地點	研究期間
臺灣電力公司	Carbon steel, Stainless steel, Galvanized steel, Al, Al alloy, Cu, Cu alloy	金山 (核一廠)	1971.12-1974.7
		澎湖	1984.9-1985.8
		土城	1984.7-1986.6
		林口發電廠	1988.5-1990.4
	Thermal spray of Zn, Al, Cu, Zn/Al, Cu/Zn on carbon steel	澎湖, 陽明山, 林口發電廠	1989.1-1990.12
工業技術研究院	Carbon steel with and without painting	林口發電廠	1983.7-1987.6
		澎湖	1984.7-1987.6
		金山- 汐止	1984.7-1985.6
	Carbon steel and weathering steel with and without painting	臺西	1984.11-1987.6
	Carbon steel, 304, 316 Stainless steel, Cu, Al, Zn, and thermal spray of Al, 5/95 Al/Zn on carbon steel	陽明山	1986.7-1987.6
	Carbon steel, Stainless steel, Weathering steel, Galvanized steel, Al alloy, Cu alloy, etc.	陽明山, 頭城, 樹林, 新竹, 臺中港, 奮起湖, 興達電廠, 高雄, 花蓮, 澎湖	1987.7-1992.6
	Carbon steel, Zn, Al, Cu (ISO 9226)	竹東, 小港, 佳洛水, 麥寮, 枋山, 斗南, 臺東, 大武, 新營, 土城, 以及 1987 至 1992 之測試地點	1992.7-1995.6
	依據 ISO 9223 環境因子分類方法, 使用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數據, 進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類		2004-2005
	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		2007.3-2009.10

表 4-1 臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程(續)

中華電信研究所	Galvanized steel wire (Class A, B, C), Al-coated steel wire	澎湖, 基隆, 北投, 高雄, 屏東, 臺東	1984-1986
臺灣大學	SS41, Zn and Zn/Al galvanized steel, 304 Stainless steel, Cu, 953 Cu alloy, Al, 356 Al alloy	蘇澳港, 臺北市, 頭城, 宜蘭, 高雄, 臺中港, 林口發電廠, 興達電廠, 通霄發電廠	1987.5-1990.1
成功大學	SS440, Weathering steel, 304, 430 Stainless steel, Zn and Zn/Al galvanized steel, Cu and Cu alloy	臺南市, 安平工業區	1998.4-2001.4
中國鋼鐵公司	Carbon steel, Weathering steel	中山大學, 中鋼, 新竹	1990.8-present
	Carbon steel, Weathering steel, Galvanized steel	中山大學, 中鋼, 新竹, 樹林, 林口電廠	1993.12-present
交通部運研所 臺灣技術研究中心	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究 (1/4)	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2009.07- present

4.1.4 計畫工作項目

本年度計畫期間自 2009.07 至 2010.09，已完成的工作如下：

1. 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。
2. 大氣腐蝕因子調查建置：
 - (1) 調查範圍：涵蓋臺灣全島區域之試驗場址(點)選定及相關試樣擺放；包含垂直海岸線與平行海岸線之調查規劃，調查區域的選擇須有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵公路沿線等)，最終可繪製各腐蝕因子之等位圖。
 - (2) 腐蝕因子調查項目：包括氣象資料相對溼度、氯鹽(Cl⁻)與二氧化硫(SO₂)沉積量之調查，藉以分析季節與區域之關聯性。目前已建置氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點。
3. 現地暴露試驗：針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗，建立腐蝕速率與大氣腐蝕因子之資料庫。目前已建置 87 個試驗點。
4. 資料蒐集與初步分析：完成四次現地取樣與試驗調查分析工作。
5. 大氣腐蝕環境分類資料庫之研究。

本年度計畫完成之工作項目為：

1. 持續現地取樣與試驗調查，分析比較每季與一年期之成果與趨勢。
2. 建立大氣腐蝕因子資料庫。
3. 完成臺灣大氣腐蝕環境分類。

4.2 研究方法及進行步驟

本計畫主要工作項目為大氣環境腐蝕因子調查與腐蝕環境分類資料庫的建立，研究流程如圖 4.2 所示。

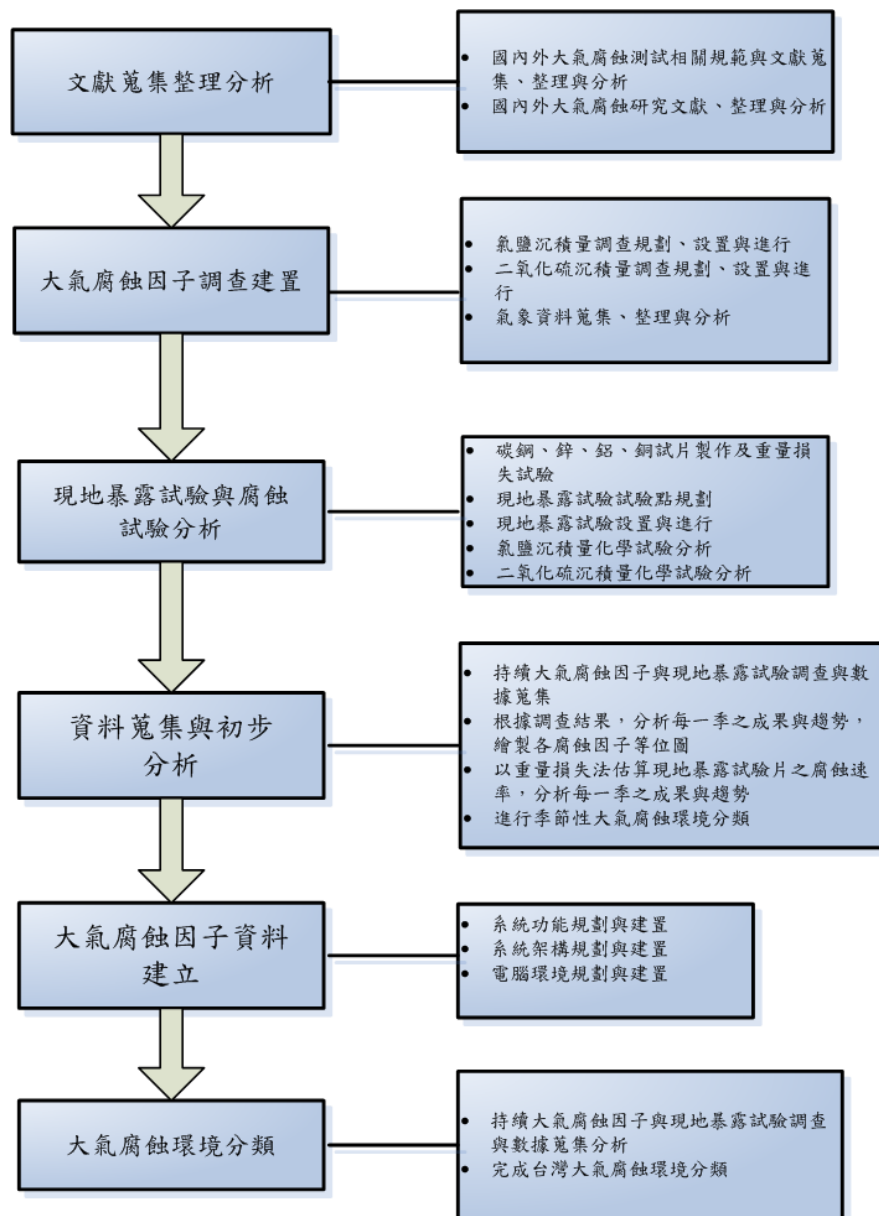


圖 4.1 研究作業流程圖

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

4.2.2 大氣腐蝕因子調查建置

4.2.2.1 調查項目與範圍

腐蝕因子調查項目包括相對溼度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)沉積量之調查。相對溼度屬於氣象因子數據，由中央氣象局與相關研究單位之調查資料蒐集分析，但氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)的沉積量屬於空氣污染物之調查，環保署過去並無固定測站進行監測，故執行本計畫時參考 CNS 13754^[22] (ISO 9225^[23])金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)規範，安裝氯鹽與二氧化硫沉積量採集裝置。氯鹽沉積量採集裝置是以濕燭法進行(圖 4.2)，其原理為使用一個濕纖維織物表面，在已知面積的條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量，並計算所得之氯鹽沉積率，以 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 表示。二氧化硫沉積量採集裝置是以二氧化硫在二氧化鉛硫酸化平板之沉積速率測定(圖 4.3)，其原理為大氣中二氧化硫與二氧化鉛會反應形成硫酸鉛，暴露一段時間後回收該平板，並針對平板上的附著物進行硫酸鹽分析以測定二氧化硫之含量，二氧化硫的沉積量以 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 表示。目前臺灣全島已建置氯鹽沉積量調查 60 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 49 個試驗點。

本年度持續現地採樣與試驗調查，即針對氯鹽與二氧化硫的取樣頻率約為每季一次，每次更換新的燭心紗布與二氧化鉛硫酸化平板；測試回收後的樣本則進行沉積速率分析，並繪製沉積速率與時間的關係圖，以探討大氣中之氯鹽與二氧化硫之季節與區域的關聯性。此外，在一年期暴露時間到達後，亦進行取樣分析，進行季節性與一年期之沉積速率比較。

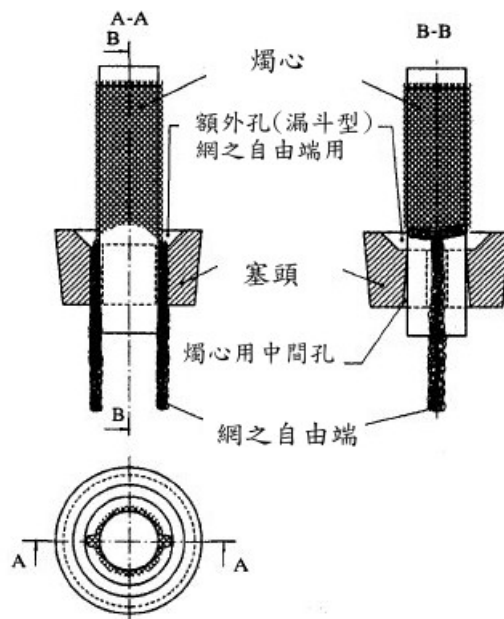


圖 4.2(a) 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)

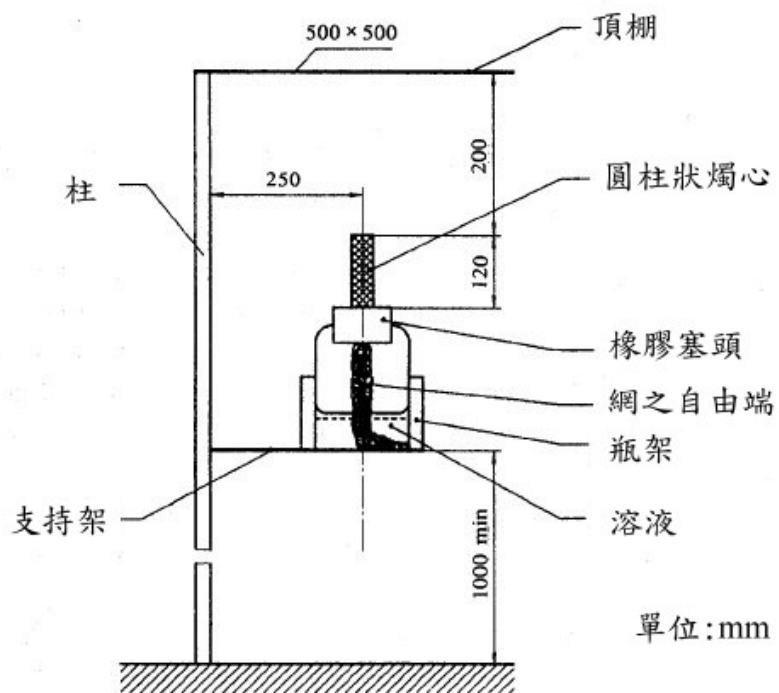


圖 4.2(b) 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)

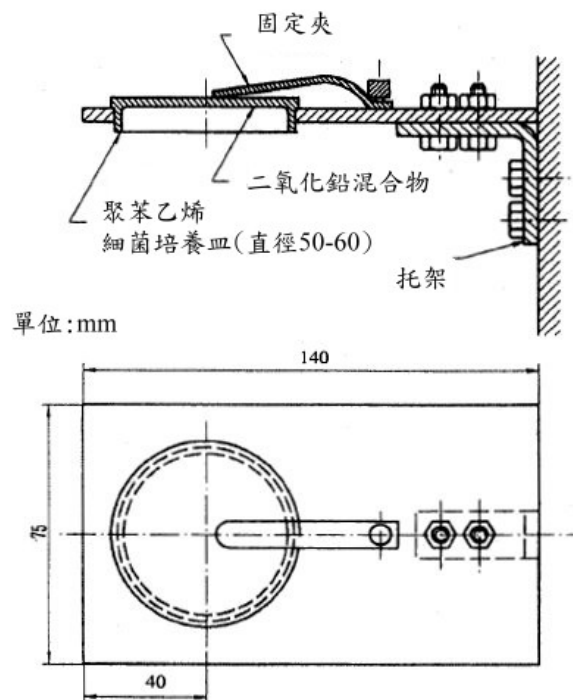


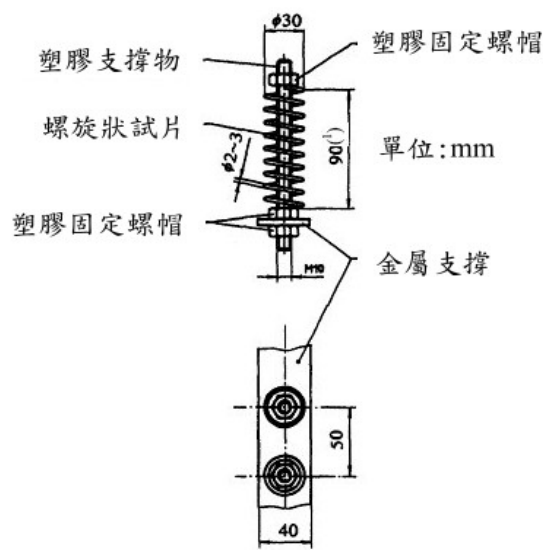
圖 4.3 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

4.2.3 現地暴露試驗

4.2.3.1 螺旋狀試片

本研究針對碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗並以重量損失法計算其腐蝕速率。試片製作的方式參考 CNS 13753^[24] (ISO 9226^[25]) 大氣腐蝕性測定標準試片製作，採用螺旋狀標準試片(圖 2.4)，試片的材料如下：1) 碳鋼：非合金碳鋼($\text{Cu}=0.03\sim0.10\%$, $\text{P}<0.07\%$)，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；將以上金屬之線材，線材直徑 2~3 mm，剪取約 1000 mm 長度，纏繞在直徑為 24 mm 的圓棒上，製成螺旋狀試片。現地暴露試驗調查 87 個試驗點。

本年度持續現地採樣與試驗調查，取樣頻率為每季一次，每次取樣後更換新試片；測試回收後的樣本則進行腐蝕速率分析，以探討季節與區域之大氣腐蝕速率變化。此外，在一年期暴露時間到達後，亦進行螺旋狀試片的取樣分析，進行季節性與一年期之腐蝕速率比較。



註1 線材兩端插入支撐物間之距離

圖 4.4 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)

4.2.4 資料蒐集與分析

4.2.4.1 大氣腐蝕因子調查資料蒐集與分析

1. 氯鹽沉積量分析

將各試驗點測試後每季回收的紗布以定量之去離子水(約 50 ml)沖洗，再依環保署水中陰離子檢測方法-離子層析法(NIEA W415.52B)之離子層析儀測定水中之氯鹽含量。之後，依據各試驗點之沉積量，繪製臺灣全島之氯鹽沉積量等位圖。

2. 二氧化硫沉積量分析

將各試驗點測試後每季回收的硫酸化平板依環保署水中陰離子檢測方法-離子層析法(NIEA W415.52B)測定，即使用碳酸鈉溶液先移出並溶解硫酸化平板之內容物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量。之後，依據各試驗點之沉積量，繪製臺灣全島之二氧化硫沉積量等位圖。

綜合暴露期間內各試驗點之相對濕度、氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量，依據 CNS13401 規範，進行初步的季節性大氣腐蝕環境分類；並

比較現地暴露試驗腐蝕速率測定結果，分析現地暴露試驗與環境因子的關聯性。

4.2.4.2 現地暴露試驗資料蒐集與分析

將各試驗點測試後每季回收的試片進行腐蝕速率量測。碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬試片之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122^[26] (ISO 8407^[27]) 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。螺旋狀金屬試片之腐蝕速率單位以 $\mu\text{m/y}$ 表示，計算公式依據 CNS 13753 規範，如下：

$$R_{\text{corr}} = 0.25(\Delta m \cdot d / m \cdot t) \dots\dots\dots (\text{公式 4.1})$$

式中， R_{corr} =腐蝕速率($\mu\text{m/y}$)

Δm =質量損失(mg)

d =線材直徑(mm)

m =試片原始質量(g)

t =暴露時間，年(y)

4.3 文獻回顧

4.3.1 大氣腐蝕測試規範

4.3.1.1 國外 ISO 大氣腐蝕環境分類

大氣腐蝕測試工作有系統之進行，最早可溯及美國 ASTM 的 D-1 及 A-1 兩委員會自 1906 年起分別測試塗料塗裝及金屬被覆之鋼鐵產品，自此開始美國便陸續展開數個二十年計畫分別測試當時最新產品的大氣腐蝕耐蝕性及耐久性。國際標準化組織-ISO 於 1985 年起於全球 13 國 47 處地點進行大氣腐蝕暴露試驗，根據這試驗工作成果，於 1992 年發佈 ISO 9223(大氣腐蝕性分類)、ISO 9224^[28](各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225(污染量量測方法)、及 ISO 9226(標準試片腐蝕率量

測方法)四項標準規範，根據這四項規範，只要在欲工作地點從事一年期之標準試片腐蝕率量測或潤濕時間量測及總污染量量測，根據量測結果，即可定義該處的腐蝕環境區分，再根據對照表即可得到該腐蝕環境區分之腐蝕率指標值。換句話說，ISO 9223 大氣腐蝕性分類標準是根據金屬標準試片在某環境中進行自然暴露試驗所得之腐蝕速率，或綜合某環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類，其中，潤濕時間(τ , Time of Wetness)是以全年中溫度高於 0 °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 SO₂ 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 4.5 所示。

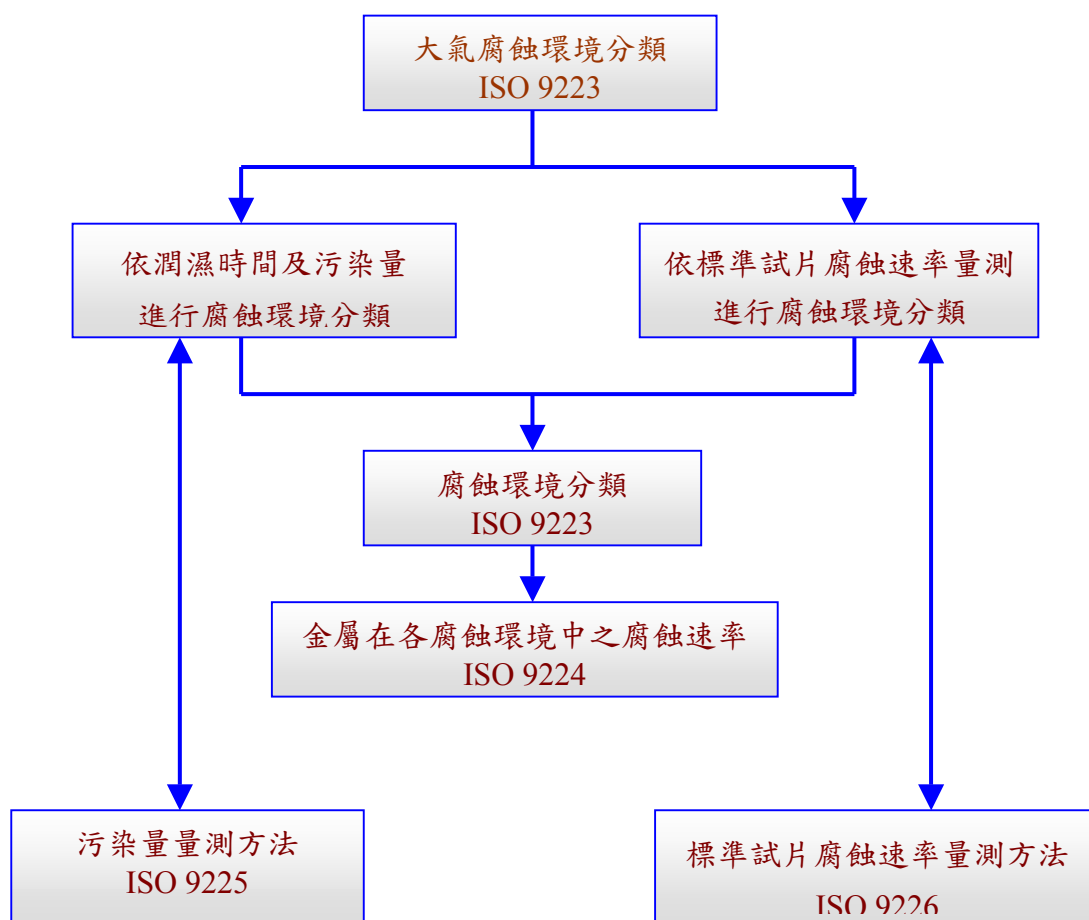


圖 4.5 ISO 大氣腐蝕環境分類

4.3.1.2 國外 CLIMATE TEST 大氣腐蝕環境分類

依據 ISO 9226 量測大氣腐蝕速率有兩種方式，板狀試片與螺旋狀金屬試片，板狀試片是傳統的量測方式，而螺旋狀試片 - CLIMAT TEST 則是源自貝爾實驗室(原名為 "Wire-on Bolt Test")，其目的為用以研究偶合金屬在戶外環境的腐蝕行為，ASTM G116-93^[29]規範為標準測試方式。CLIMAT 是取 Classify Industrial and Marine Atmospheres 的字首，而其測試試片是由兩種不同異金屬(Bi-metallic)所組成，即將細金屬線纏繞在螺桿上產生腐蝕電池，並暴露在大氣環境中約 3-6 個月後，再以細金屬線的重量損失率來評估當地的大氣腐蝕行為。通常金屬線是使用鋁線(AA-1050)纏繞在螺桿上，或者纏繞成螺旋狀，製作規格是螺旋狀直徑為 2.5cm、鋁線直徑 0.89mm、長度約 90cm、螺桿長度 10cm、直徑 1.27cm、螺牙規格 1/2 UNC。由於鋁線與銅桿在工業性大氣腐蝕環境中有較高的靈敏度，因此取 Al-Cu 組合作為工業性環境腐蝕指標，簡稱 I.C.I. (Industrial Corrosivity Indices)。在海洋性大氣腐蝕環境中則以鋁線繞在鐵桿的靈敏度較高，取 Al-Fe 組合作為海洋性環境腐蝕指標 M.C.I. (Marine Corrosivity Indices)，另外 Al 線纏繞成螺旋狀(Al-Coil)及 Al 線繞在塑膠螺桿(Al-Plastic)定為 Al 線在大氣環境的腐蝕指標 (Al-A.C.I.)。每一測試裝置是由 Al-Fe、Al-Coil、Al-Plastic、Al-Cu 等四個不同組合單元所組成，並且均固定在一方形塑膠板上，如圖 4.6 所示；再依據腐蝕指標的高低，將大氣環境區分為腐蝕性"可忽略(Negligible)"，"輕微(Moderate)"，"輕微嚴重(Moderate Severe)"，"嚴重(Severe)"，與"較嚴重(Very Severe)"等五級。

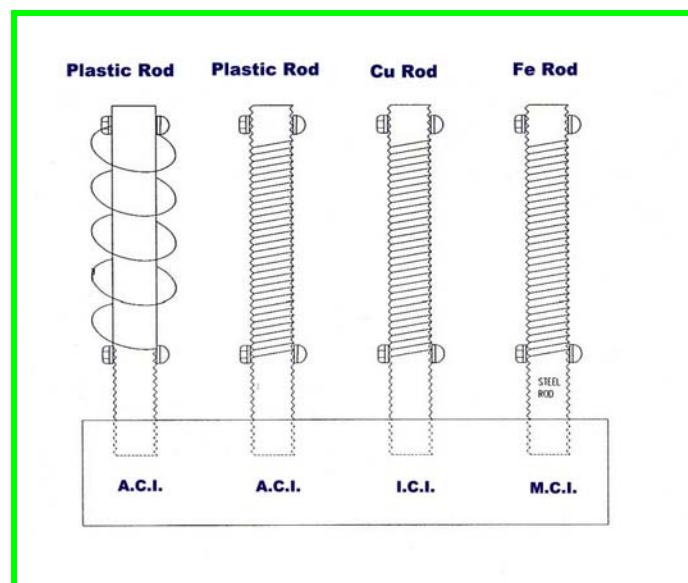


圖 4.6 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試

4.3.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範

有鑑於大氣腐蝕測試的重要，經濟部標準檢驗局於民國 83 年起依據國際標準化組織-ISO 規範(ISO 9223、ISO9224、ISO 9225、ISO 9226、ISO8565^[30])，制定一系列之「金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性」國家標準 CNS 規範，包括 CNS13401 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，CNS13754 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，CNS14123 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)等五項規範。其中針對大氣腐蝕劣化因子所須的環境資料，於 CNS14123 中規定，須具備氣溫($^{\circ}\text{C}$)、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， $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ or $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、與只適用於海邊測試場地之氯鹽沉積速率(CNS 13754， $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)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。

4.4 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗調查建置

4.4.1 調查範圍

本研究試驗場址(點)的選定包含垂直海岸線與平行海岸線之規劃，且具有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵公路沿線等)，選擇方式如下：

1. 以中央氣象局設有氣象站之附近區域為佳，如此可取得最接近、最相似的氣象變化資料。
2. 足以代表本島特殊氣候的不同類型氣候區，如鹽害區、受季風影響最嚴重的氣候區、交通頻繁之都市地區、工業區、或鹽害與疏害較為輕微但相對溼度與溫度變化較大的山地氣候區等。
3. 本島工程建設較多、人口與橋梁數量較為密集的地區，如西部路廊。
4. 濱海氣候區。

為選擇長期、固定及安全的試驗場址，本計畫協調交通部港務局、交通部公路總局、交通部鐵路管理局、行政院海岸巡防署海岸巡防總局、經濟部工業局工業區服務中心、內政部營建署國家公園管理處、臺灣高速鐵路股份有限公司、臺北自來水事業處、臺灣電力公司、臺灣中油公司、中鋼公司、臺塑石化股份有限公司與學校，於各機關所屬單位內設置大氣腐蝕試驗裝置，合計共有 87 個試驗點。其中，氯鹽沉積量調查有 60 個試驗點，二氧化硫沉積量調查有 49 個試驗點，現地暴露試驗調查共有 87 個試驗點，各試驗點所在位置之經緯度、高程與距海岸線的距離如附件一所示；表中，Cl 表示氯鹽沉積量調查位置，SO₂ 表示二氧化硫沉積量調查位置，Exp. 則表示現地暴露試驗調查之位置。

4.4.2 氯鹽沉積速率調查

4.4.2.1 調查試驗點

本研究以垂直海岸線落鹽量之調查，自距離海岸線 3 km 為邊界，

即垂直海岸線試驗點的佈設以離海岸線距離，朝內陸沿一條直線設置，每條測線以離海岸線算起，分別約於臨海、100m、300m、1 km、3 km 之距離處設置試驗點。全島共規劃 8 條調查路線，設置站址共 41 處，如下：

- (1) 東北季風海域(基隆)：基隆試驗線，包括碧砂安檢所 1 處、海洋大學 1 處共 2 處。
- (2) 西北季風海域(桃園)：桃園試驗線，包括大潭電廠 2 處與觀音工業區 1 處，共 3 處。
- (3) 中部地區海域(臺中)：臺中港試驗線，包括臺中港區內 1 處、港研中心 1 處與市區民宅 1 處，共 3 處。
- (4) 中部工業區海域(雲林)：臺塑六輕麥寮工業區試驗線，包括六輕工業區內 5 處。
- (5) 西南部地區海域(高雄)：高雄港試驗線，包括高雄港區內 4 處與過港隧道管理中心 1 處，共 5 處。
- (6) 南部地區海域(恆春)：核三廠試驗線，包括核三廠區內 4 處共 4 處。
- (7) 東北部地區海域(宜蘭)：蘇澳港試驗線，包括蘇澳港區內 2 處、蘇澳市區民宅 1 處與龍德工業區 1 處，共 3 處。
- (8) 東部地區海域(花蓮)：花蓮港試驗線，包括花蓮港區內 2 處、市區加油站 1 處共 3 處。

另外為使試驗點之數據可作內插推算，於上述調查路線之垂直方向，即沿臺灣南北向再規劃西部二條、東部一條試驗線。臺灣西部之試驗線一為西部濱海沿線，另一則為臺灣高鐵沿線；西部濱海沿線試驗點包括：臺北港監測站、桃園永安安檢所、新竹漁港安檢所、臺電通霄電廠、苗栗外埔安檢所、臺中五甲安檢所、臺電臺中電廠、彰濱工業區、彰化王功安檢所、嘉義東石安檢所、臺南成大安南校區水工試驗所、高雄興達火力電廠、中鋼公司，共 13 個試驗點；高鐵沿線車站試驗點則包括高鐵臺中站、嘉義站、左營站，共 3 個試驗點。臺灣

東部濱海公路沿線之試驗點包括：宜蘭梗枋安檢所、宜蘭南澳安檢所、花蓮太魯閣國家公園管理處、花蓮橄仔樹安檢所、花蓮石梯安檢所、臺東東河金樽安檢所、臺東富崗伽蘭安檢所、臺東尚武安檢所，共 8 個試驗點。

在對照組方面，選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，規劃之試驗點包括臺北市陽明山國家公園管理處、北橫公路(公路總局第一區養護工程處復興工務段)、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段)等 3 個試驗點。此外，都會地區於臺北市設置 1 個試驗點。

4.4.2.2 氯鹽沉積速率調查結果

試驗點四次採樣與一年期之氯鹽沉積速率計算結果。四次採樣的調查期間分別為 2009.08-2009.11，2009.11- 2010.03，2010.03- 2010.06，2010.06-2010.09，而一年期的調查期間則為 2009.08-2010.09。

一般而言，2009.08-2009.11 調查期間，氯鹽沉積速率介於 0.04 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ (太魯閣國家公園與阿里山)至 55.08 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ (臺東伽蘭安檢所)之間，而較高的沉積速率發生在東海岸沿海之伽蘭、石梯、梗枋安檢所，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 30 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ ；其次為西海岸臺塑六輕工業區、桃園大潭海岸附近、王功安檢所、永安安檢所、彰濱工業區、基隆試驗線 100m、臺中港試驗線 0m 氯鹽沉積速率介於 24.27 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 與 35.2 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ ，再者為核三廠試驗線 0m、尚武安檢所、臺中港試驗線 100m 及 1km、東石安檢所、花蓮港 0m、東北角風景管理處介於 10.17 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 與 18.21 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 之間。在太魯閣國家公園陽明山國家公園與北橫巴陵及臺中、嘉義、高雄高鐵等站氯鹽沉積速率都低於 1.0 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 。

2009.11- 2010.03 之氯鹽沉積速率介於 0.35 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ (高鐵嘉義)至 66.14 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ (高雄試驗線 100m)之間，較高的沉積速率發生在東海岸沿海區域如石梯安檢所、成功安檢所、西部沿海區域有五甲安檢所、桃園試驗線 1km、北部為基隆試驗線 0m、南部核三廠試驗線 100m

間，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $30 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其次為高雄試驗線 300m、核三廠試驗線 1km、梗枋安檢所、台塑六輕試驗線 100m 等，氯鹽沉積速率介於 $21.33 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 與 $27.33 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。再者為台塑、核三、蘇澳、王功介於 $10.03 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 與 $18.78 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間。在阿里山、高鐵嘉義等站都低於 $1.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

2010.03- 2010.06 之氯鹽沉積速率介於 $0.42 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (高雄左營站) 至 $58.67 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (石梯安檢所)之間，較高的沉積速率發生在西海岸外埔安檢所、桃園試驗線 1km、梗枋安檢所各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $30 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其次為蘇澳港試驗線(100m、300m)、基隆試驗線等地區介於 $13.07 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 與 $22.79 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。至於氯鹽沉積速率較小有高雄試驗線 1km、高雄嘉義、左營站都低於 $1.00 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

2010.06-2010.09 之氯鹽沉積速率介於 $0.41 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (高鐵嘉義) 至 $86.99 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (新竹漁港)之間，核三試驗線 (1km、300m) 台塑六輕試驗線 0km、太魯閣、永安地區各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $30 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其次阿里山、高港、蘇澳、基隆試驗線、成功、五甲、石梯安檢所等地區氯鹽沉積速率亦在 $10.39 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 至 $24.73 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間。至於氯鹽沉積速率較小有臺中港試驗線 1km、台塑六輕試驗線 300m、成大水工等地區都低於 $1.00 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

4.4.2.3 氯鹽沉積速率季節性之比較

根據四次採樣調查結果，臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率以秋季(2009.08-2009.11)最為嚴重，由基隆一直到嘉義縣東石鄉，氯鹽沉積速率多大於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 且約在 $8 \sim 34 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間；在東部海岸以夏季(2010.06-2010.09)較為嚴重，由梗枋安檢所至尚武安檢所氯鹽沉積速率介於 $5 \sim 65 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間；在四次季節累積之平均氯鹽沉積量以採樣調查結果發現以臺灣東部海岸以橄仔樹安檢所最高。臺灣南部海岸的氯鹽沉積速率與西部海岸以及東部海岸相較，氯鹽沉積速率較小，四次調查的結果多小於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

臺灣本島一年期累積的氯鹽沉積速率，除南部海岸僅核三廠試驗

線 0m(10.6)大於 10 mg/m²/day 外，相較西部海岸從雲林麥寮以北至北部海岸的基隆試驗線及自基隆試驗線至東部海岸的臺東尚武安檢所附近，一年期累積的氯鹽沉積速率多大於 10 mg/m²/day，在高鐵沿線各站方面，一年期累積調查結果分別為：臺中站(2.8 mg/m²/day)、嘉義站(2.60 mg/m²/day)與左營站(10.3 mg/m²/day)。

4.4.2.4 氯鹽沉積速率與垂直海岸線之關係

至於垂直海岸的試驗線，四次調查之垂直海岸試驗線於距海岸 0m、100m、300m、1000m、3000m 之平均氯鹽沉積速率；顯然的，臺灣全年期之試驗結果以桃園大潭試驗線、臺中港試驗線、臺塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率較高。

4.4.3 二氧化硫沉積速率調查

4.4.3.1 二氧化硫沉積速率調查結果

四次採樣調查的時間與氯鹽沉積速率調查的時間相同，分別為 2009.08-2009.11，2009.11-2010.03，2010.03- 2010.06，2010.06- 2010.09，而一年期的調查時間則為 2009.07-2010-09。

第一次調查期間 2009.08-2009.11，龍德工業區的二氧化硫沉積速率最大 710.0 mg/m²/day，其餘介於阿里山 2.3 mg/m²/day 至 677.8 mg/m²/day 桃園試驗線 1Km 之間。較高的沉積速率發生在桃園試驗線 1Km 處 677.8mg/m²/day、通霄火力發電廠 519.0 mg/m²/day、觀音工業區 492.8 mg/m²/day、中鋼公司 467.8 mg/m²/day、興達火力電廠 422.4 mg/m²/day、中油林園廠 365.4 mg/m²/day、臺中火力發電廠 294.9 mg/m²/day、彰濱工業區 288.8 mg/m²/day、陽明山硫磺區 245.2 mg/m²/day、大發工業區 200.7 mg/m²/day，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準 P3, 200 mg/m²/day。至於六輕工業區，因硫酸化平板設置的位置不在石化廠廠區內，故僅測得該區域之背景值約為 110.1 mg/m²/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高 93.7 mg/m²/day、嘉義站次之 61.1 mg/m²/day、臺中站最低為 40.7 mg/m²/day。東部海岸因無石化工業區或電廠的設立，除龍德工業

區 710.0 mg/m²/day 外，二氧化硫沉積速率僅介於 9.2 mg/m²/day 太魯閣國家公園與 31.78 mg/m²/day 豐樂工業區之間。

2009.11-2010.03 第二次調查期間內，二氧化硫沉積速率以觀音工業區最高，約為 935.4 mg/m²/day，其餘介於 3.2 mg/m²/day 和平工業區至 382.8 mg/m²/day 陽明山硫磺區之間。其中較高的沉積速率發生在龍德工業區 350.5 mg/m²/day、彰濱工業區 349.6 mg/m²/day、頭份工業區 332.4 mg/m²/day、朴子工業區 295.2 mg/m²/day、樹林工業區 276.6 mg/m²/day、臺中火力電廠 218.3 mg/m²/day 與中鋼公司 203.5 mg/m²/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高 64.1 mg/m²/day、嘉義站次之 55.8 mg/m²/day、最低為臺中站 48.2 mg/m²/day)。

第三次調查 2010.03- 2010.06，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率仍最高，為 1182.8 mg/m²/day，其餘介於 3.37 mg/m²/day 阿里山至 1113.7 mg/m²/day 龍德工業區之間。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高 92.5 mg/m²/day、臺中站次之 46.0 mg/m²/day、最低為嘉義站 34.9 mg/m²/day。

第四次調查期間 2010.06- 2010.09，二氧化硫沉積速率仍以陽明山的硫磺區最高，約為 1139.6 mg/m²/day，其餘介於 26.3 mg/m²/day 太魯閣國家公園至 930.4 mg/m²/day 龍德工業區之間。較高的沉積速率發生在中鋼公司(376.5 mg/m²/day)，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準(P3, 200 mg/m²/day)。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分佈由大到小依序為左營站、臺中站、嘉義站，分別為 107.0、44.9、33.0 mg/m²/day。

在一年期 2009.08-2010-09 四次調查累積的暴露時間內，臺灣本島的二氧化硫沉積速率以龍德工業區最高，為 3104.6 mg/m²/day，陽明山硫磺區次之，為 2950.4 mg/m²/day，其餘試驗站介於 52.9 mg/m²/day 臺北港監測站至 1791.9 mg/m²/day 觀音工業區之間；較高沉積速率依序發生在觀音工業區、中鋼公司、中油林園廠、彰濱工業區等，山區의試驗位址二氧化硫沉積速率如北橫巴陵為 60.3 mg/m²/day，阿里山為 54.4 mg/m²/day。

4.4.3.2 二氧化硫沉積速率季節性之比較

四次調查的結果有相似的分佈情形。在西海岸初秋至冬季(2009.08-2009.11)與冬季至春末(2009.11-2010.03)期間，以觀音工業區、通霄火力電廠、彰濱工業區、中鋼公司、興達火力電廠附近二氧化硫沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東海岸四次調查皆以龍德工業區沉積速率較高，在冬季至春末(2009.11-2010.03)期間發現以觀音工業區二氧化硫沉積速率最高。

4.4.4 濕潤時間百分比

第一次調查期間 2009.07-2009.11，濕潤時間百分比(%)介於阿里山 92.2%及王功安檢所 9.6%之間，而濕潤時間大於 80%則只有阿里山 92.2%，其餘介於 10%至 70%之間，分別為陽明山國家公園、朴子工業區、台塑六輕試驗線、蘇澳港試驗線、核三廠試驗線、和平工業區、屏東工業區、和平工業區等地區。而濕潤時間最小有通霄火力電廠 15.1%、安平工業區 14.1%、臺中火力發電廠 11.9%、臺中港試驗線 100m(10.1%)，而發生濕潤時間最小者為王功安檢所 9.6%。

第二次調查期間 2009.11-2010.03，濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 81.58%及鳳山工業區 21.19%之間，而濕潤時間大於 80%則有陽明山國家公園與陽明山硫磺區 81.58%，其餘介於 20%至 70%之間。平鎮工業區、觀音工業區、龍德工業區、蘇澳港試驗線、基隆試驗線、台塑六輕試驗線、新竹工業區、竹南工業區、大里工業區、彰濱工業區等地區為介於 30%至 60%之間。而濕潤時間最小發生在鳳山工業區、中鋼公司、屏東工業區 21%。

第三次調查期間 2010.03-2010.06，濕潤時間百分比介於成功安檢所 88%及王功安檢所 8.6%之間，而濕潤時間大於 80%則有成功安檢所 88%與頭份工業區 81.5%，其餘介於 10%至 70%之間。較大濕潤時間百分比有高鐵臺中站 75.27%、南崗工業區 69.51%、田中工業區 66.94%；其次為陽明山國家公園、核三廠試驗線、蘇澳港試驗線、高雄港試驗線、平鎮工業區、和平工業區、龍德工業區、蘇澳港試驗線、基隆試

驗線台塑六輕試驗線介於 40%至 60%之間。而濕潤時間最小發生在彰濱工業區 9.6%、五甲安檢所 8.9%、王功安檢所 8.6%濕潤時間小於 10%。

第四次調查期間 2010.06-2010.09，濕潤時間百分比介於和平工業區 84.2%及臺中港試驗線 22.38%之間，而濕潤時間大於 80%則有和平工業區及太魯閣國家公園 84.2%、橄仔樹安檢所 83.5%、花蓮港試驗線 83.47%、石梯安檢所 82.7%，其餘介於 20%至 70%之間。較大濕潤時間百分比有陽明山國家公園及陽明山硫磺區 77.3%、大里工業區 66.6%、核三試驗線 64.61%。而濕潤時間最小發生在臺中港試驗線 100m 22.38%。

一年調查期間 2009.08-2010.09，平均濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 73.45%及彰濱工業區 20.5%之間，而濕潤時間大於 80%則無任何地區。濕潤時間百分比大於 70%有陽明山國家公園及陽明山硫磺區 73.5%。其次較大濕潤時間有龍德工業區 57.1%、南澳安檢所 55.9%、蘇澳港試驗線、基隆試驗線、核三廠試驗線等地區，介於 20%至 60%之間。而濕潤時間最小發生在外埔、五甲安檢所 20.62%及彰濱工業區 20.5%。

4.4.5 現地暴露試驗

現地暴露試驗試驗點建置的數量以涵蓋氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置之 75%為原則，全國合計共有 87 個試驗點。即在氯鹽沉積量調查路線上，9 條垂直海岸線試驗點的佈設以距海岸線約臨海、300m、1 km、3 km 之距離處設置，配合 20 個平行海岸線之臨海試驗點(西部濱海與東部濱海沿線之港口或安檢所)，4 個高鐵沿線試驗點與 4 個參考對照試驗點，共 55 個試驗場址。在二氧化硫沉積量調查位置上，包括工業區所在各縣市各一個試驗點，共 22 個試驗點(高雄市設立兩處)，都市地區 3 個試驗點，石化與火力電廠 11 個試驗點，高鐵沿線 4 個試驗點，硫磺區 2 個試驗點與 5 個參考對照試驗點，共 47 個試驗場址。其中，若氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置相同時，僅在該試驗點設立一組試片(包括碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬)裝置。調查位置共 87 個場址。

4.4.5.1 腐蝕速率調查結果

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；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 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 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 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 表示，但鋁的腐蝕速率須以 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 表示。今彙整四次採樣與一年期之各金屬之腐蝕速率計算結果。

第一次調查期間 2009.07-2009.11，秋季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $11.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $578.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺塑六輕試驗線 0m 處)之間；除了臺塑六輕試驗線 0m 依序以 $417.2\mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆試驗線 100m)、及 $406.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (伽蘭安檢所)、 $382.2\mu\text{m}/\text{yr}$ (永安安檢所)試片腐蝕速率較大。針對鋅金屬介於 $3.0\mu\text{m}/\text{yr}$ (官田工業區)至 $183.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；銅金屬介於 $0.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $61.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 0.2 (核三廠試驗線 0m)至 $65.3\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (桃園大潭試驗線 0m)之間。

第二次調查期間 2009.11-2010.03，冬季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $13.21\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $939.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 $2.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (高鐵臺中站)至 $46.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (彰濱工業區)之間；銅金屬介於 $0.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $91.4\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 $0.4\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線 100m)至 $67.8\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (鳳山工業區)之間。

第三次調查期間 2010.03-2010.06，春季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $17.68\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $672.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 $3.5\mu\text{m}/\text{yr}$ (核三廠試驗線 100m)至 $135.3\mu\text{m}/\text{yr}$ (斗六工業區)之間；銅金屬介於 $0.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (斗六工業區)至 $87.8\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 $0.4\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線 100m)至 $26.4\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (大里工業區)之間。

第四次調查期間 2010.06-2010.09，夏季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $9.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $545.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (龍德工業區)之間；鋅金屬

介於 $2.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (高鐵臺中站)至 $179.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (阿里山)之間；銅金屬介於 $0.3\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $81.2\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 0m)之間；而鋁金屬則介於 $0.4\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (基隆試驗線 3Km)至 $134.4\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (大里工業區)之間。

至於一年期暴露試驗 2009.08-2010.09 金屬的腐蝕速率，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $11.8\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)到 $447.3\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 $13.2\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $125.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園大潭試驗線 0m)之間；銅金屬介於 $0.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $33.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 $0.18\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (太魯閣國家公園)至 $14.2\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (六輕試驗線 1Km 處)之間。

4.4.5.2 各金屬腐蝕速率季節性之比較

碳鋼、鋅、銅、鋁金屬於垂直海岸試驗線 0m、300m、1 Km 與 3Km 腐蝕速率平均值之比較。針對碳鋼金屬，麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線、基隆試驗線腐蝕速率均較其他地區高，在核三廠試驗線腐蝕速率相對其他地區低，而高雄港試驗線在 2010.06-2010.09 期間較其他期間增加許多。至於鋅金屬以桃園大潭試驗線、麥寮六輕試驗線腐蝕速率較大，在高雄港試驗線、核三廠試驗線及東海岸蘇澳港試驗線、花蓮港試驗線則腐蝕速率相對較低。而針對銅金屬，銅的腐蝕速率以基隆試驗線與桃園大潭試驗線及麥寮六輕試驗線較為嚴重。

石化廠、火力電廠、工業區、高鐵沿線與都市地區等特定測站各金屬之腐蝕速率比較。在碳鋼金屬以桃園大潭、觀音工業區、彰濱工業區、麥寮六輕為高，鋅金屬以臺北市區、桃園大潭、彰濱工業區、麥寮六輕較高，而銅金屬以桃園大潭、臺中火力、彰濱工業區、麥寮六輕為高，針對鋁金屬在一年期中以桃園大潭、觀音工業區、臺北市區腐蝕速率相對較高。

4.4.5.3 各金屬大氣腐蝕環境分類

CNS 13401 (ISO 9223)大氣腐蝕性分類可根據標準金屬試片在某環境中進行自然暴露，並以最初第一年的腐蝕率大小來決定大氣腐蝕環境分類，其分類標準如可分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級；C1 表示

腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)。今彙整 2009.08-2010.0 試片之腐蝕速率進行各金屬的大氣腐蝕分類，C5+表示金屬的腐蝕速率已超過 CNS 13401 規範中所規定之 C5 的腐蝕速率。

一般而言，除了在山區的試驗位址如北橫巴陵外，碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，甚至碳鋼、銅金屬在基隆試驗線 100m、龍德工業區、臺塑六輕試驗線 0m、桃園試驗線 0m、陽明山硫磺區腐蝕環境可達到 C5+。至於銅金屬其在臺灣全島地區的腐蝕狀況，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 至 C5+等級，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C4 等級。而針對鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 等級，山區腐蝕環境為 C2 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C3~C4 等級。在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，碳鋼與鋅金屬多為 C3，銅金屬則為 C4 等級，鋁金屬為 C2~C3 等級。

4.5 大氣腐蝕因子資料庫功能維護與擴充

4.5.1 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：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 年第四季腐蝕數據及 2010 年四季各監測點之金屬腐蝕相片，使腐蝕數據更新並完整。
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 年資料的擴充性。故在資料

庫的資料結構方面，擴充了 2009 年~2010 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. Google 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 GoogleMap 整合進入本資料庫系統，讓使用介面朝更便利，直覺化的方向發展。
4. 會員前台作業建置：讓需要查看專業資訊的專家學者或是相關單位可自行申請會員帳號。會員機制包含加入會員、密碼查詢、系統登入／登出、瀏覽權限判斷、會員資料維護等。
5. 會員管理後台作業：管理者可在管理頁面中，查詢所有會員清單，並對所有會員資料作新增、修改、刪除等動作，並可設定會員權限等級及會員狀態（分未啟用、啟用、鎖定等）。另外，凡有兩年以上未登入者，系統將定義為逾期未登入帳號，將其帳號狀態設為鎖定。
6. 圖片資料管理：前台顯示的現地試驗照片設為動態頁面，並可依照年度、試驗點關鍵字查詢腐蝕照片資料。資料由管理者在管理頁面設定季度並上傳圖片。
7. 資料匯入：建置 Excel 匯入功能，將試驗數據依照金屬類別、環境因子等類型匯入資料庫中。並利用正規化檢查數據資料格式。
8. GoogleMap 連結：Google 地圖上的試驗點點開後的檢視增加試驗相片及新增 2010 的數據資料顯示。

4.5.2 新增數據與資料上架

本資料庫系統新增數據資料計有：87 個金屬(鋼、鋅、銅、鋁)監測站、51 個(二氧化硫沉積量) 監測站及 61 個(氯鹽沉積量) 監測站。2009 年第三季數據及第四季數據與 2010 年第一季、第二季、第三季及

第四季數據與 2010 年全年期數據資料。並整理相關資料分析將其繪製濕度、氯鹽沉積量、二氧化硫沉積量及銅、鋅、銅、鋁四種金屬大氣腐蝕環境分類等位圖。如圖 4.7~4.12 所示：

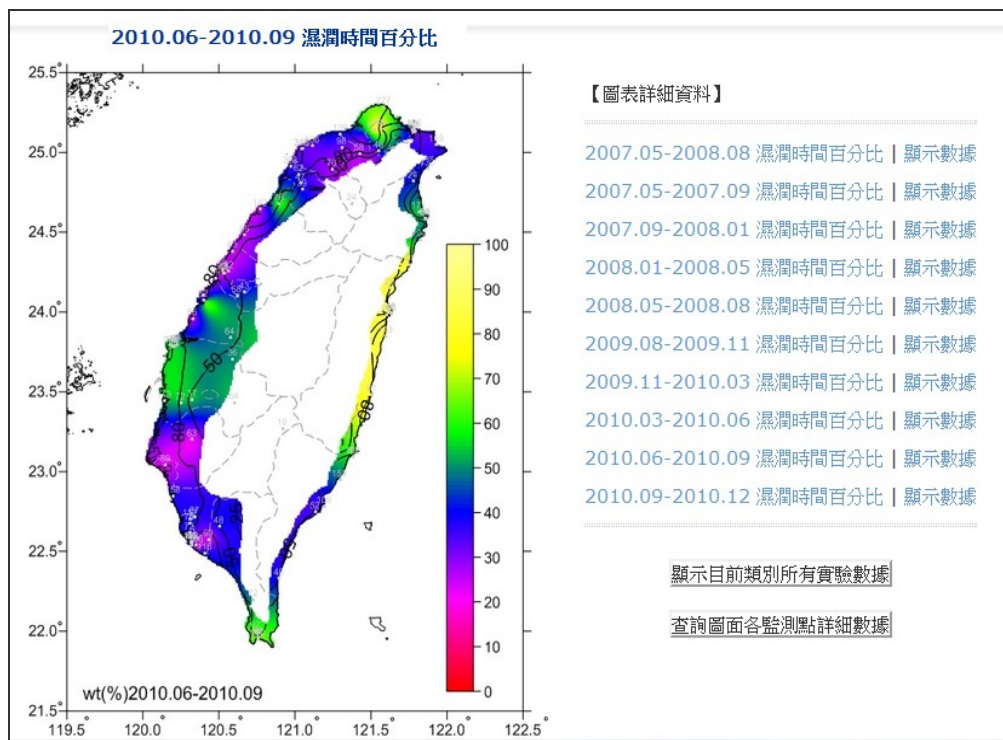


圖 4.7 濕潤時間新增資料顯示

關於本計畫	國內資料蒐集分析	現地試驗資料	專家數據庫

目前您所在的位置: 現地試驗資料 > 金屬現地試驗相片

金屬現地試驗相片

查詢

年度96 ~ 96地點

試驗地點	第一次採樣	第二次採樣	第三次採樣	第四次採樣	一年期試片
核一廠			--	--	--
暴露時間	2007.05.12 - 2007.08.19	2010.08.09 - 2010.11.09	-	-	-
基隆試驗線0m			--	--	--

圖 4.8 金屬現地試驗相片

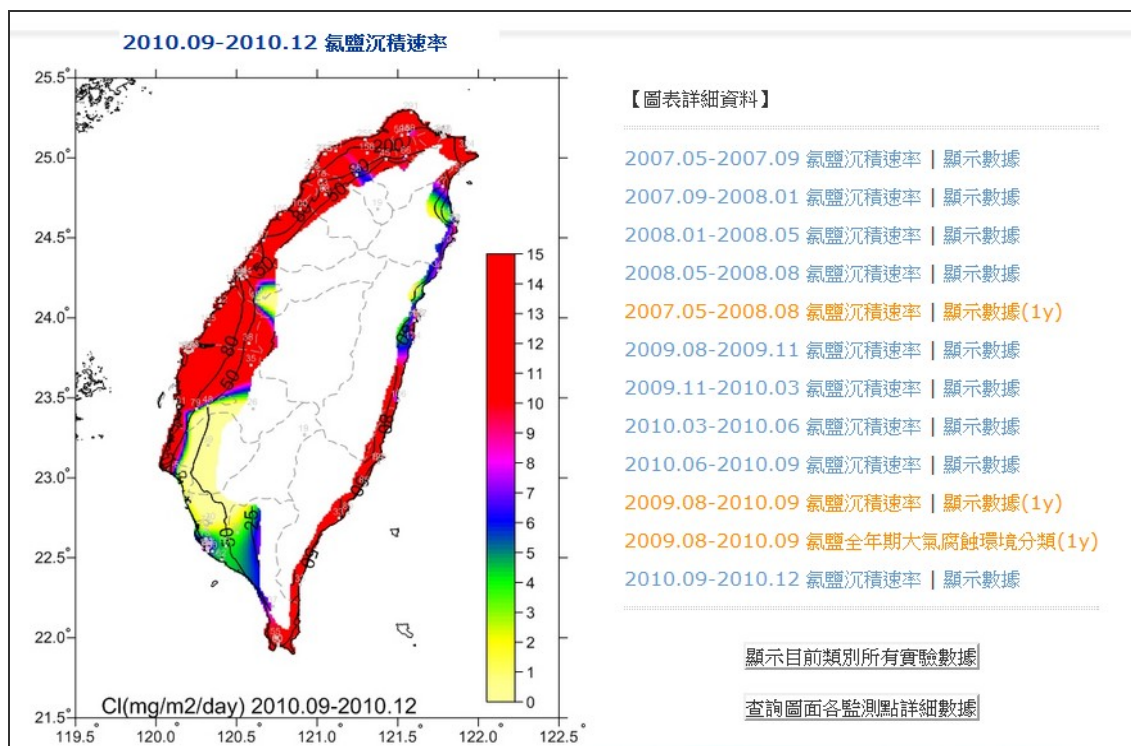


圖 4.9 氯離子新增資料顯示

大氣腐蝕監控 - Google Chrome

localhost:5678/show_classdata.asp?type=cl

CL(氯)試驗地點實驗數據

試驗地點	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年第三季	2009年第四季	2010.03-2010.06	2010.06-2010.09	2010.09-2010.12	2009.08-2010.09	全年期大氣腐蝕環境分類
核一廠	8.548	9.456	11.22	7.694	40.32	S1	-	-	-	-	-	-	-
基隆試驗線 0m	2.077	7.372	14.41	-	-	S1	8.19	30.81	5.19	13.89	12.6	3.07	S1
基隆試驗線 100m	4.664	0.382	10.84	4.671	20.61	S1	26.62	38.65	22.79	16.6	84.88	2.53	S0
基隆試驗線 300m	0.807	0.250	4.615	2.329	8.752	S1	-	-	-	-	-	-	-
基隆試驗線 1Km	0.652	1.078	2.147	0.849	3.139	S1	-	-	-	-	-	-	-
基隆試驗線 3Km	0.882	0.324	4.646	3.123	7.692	S1	24.54	-	-	-	-	-	-
澳底安	14.25	-	23.75	48.96	97.68	S2	-	-	-	-	-	-	-

圖 4.10 氯離子新增資料顯示(詳細)

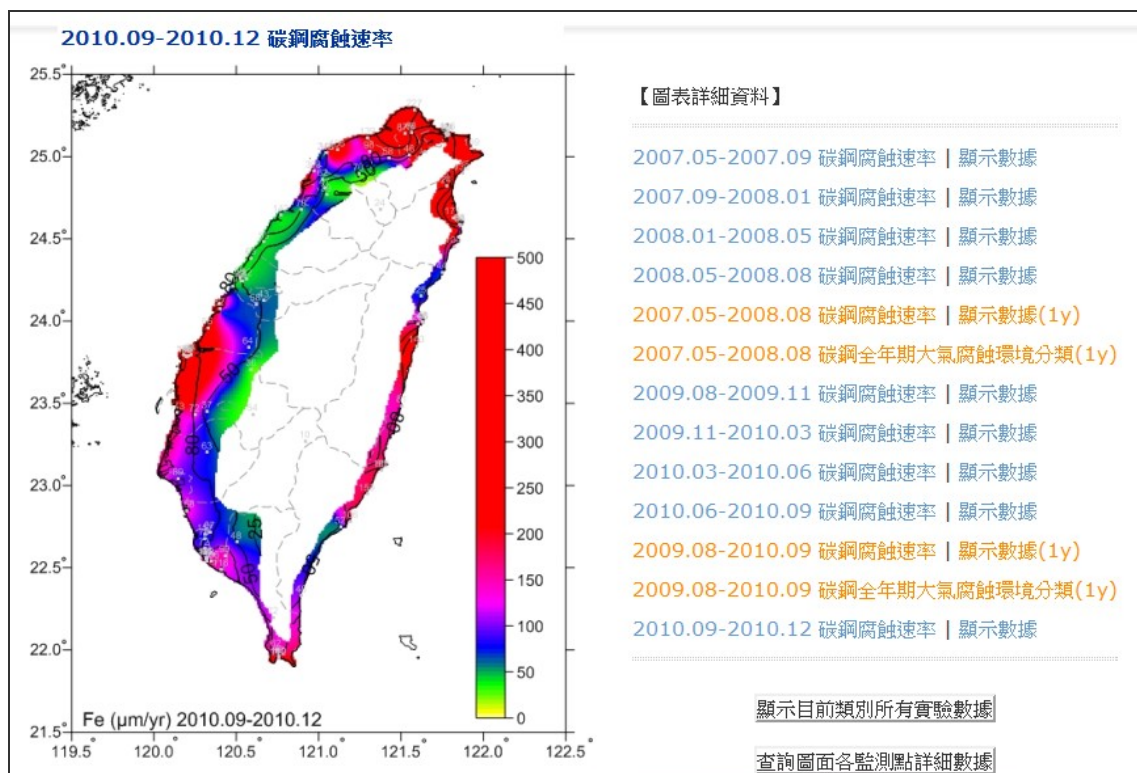


圖 4.11 碳鋼(Fe)新增資料顯示

大氣腐蝕監控 - Google Chrome

localhost:5678/show_classdata.asp?type=fe

Fe(鐵)試驗地點實驗數據

試驗地點	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年第三季	2009年第四季	2010.03-2010.06	2010.06-2010.09	2010.09-2010.12	2009.08-2010.09	全年期大氣腐蝕環境分類
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	176.388	80.707	360.82	159.564	C5
基隆試驗線 100m	-	-	-	-	-	-	417.192	435.132	281.218	79.656	649.046	317.388	C5+
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	102.978	42.726	233.368	115.634	-
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	202.481	159.931	337.481	130.557	C5
礁溪火車站	24.44	58.24	54.96	63.58	27.28	C3	-	-	-	-	-	-	-

圖 4.12 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。

4.5.3 Google 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，僅提供固定的台灣全島靜態圖形，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 GoogleMap 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 GoogleMap 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(或包含台灣之外監測點)地圖。
2. 街景瀏覽：在 GoogleMap 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 GoogleMap 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。
5. 整合 GoogleMap 的操作畫面如圖 4.13~4.17 所示



圖 4.13 GoogleMap 整合操作觀察試驗點

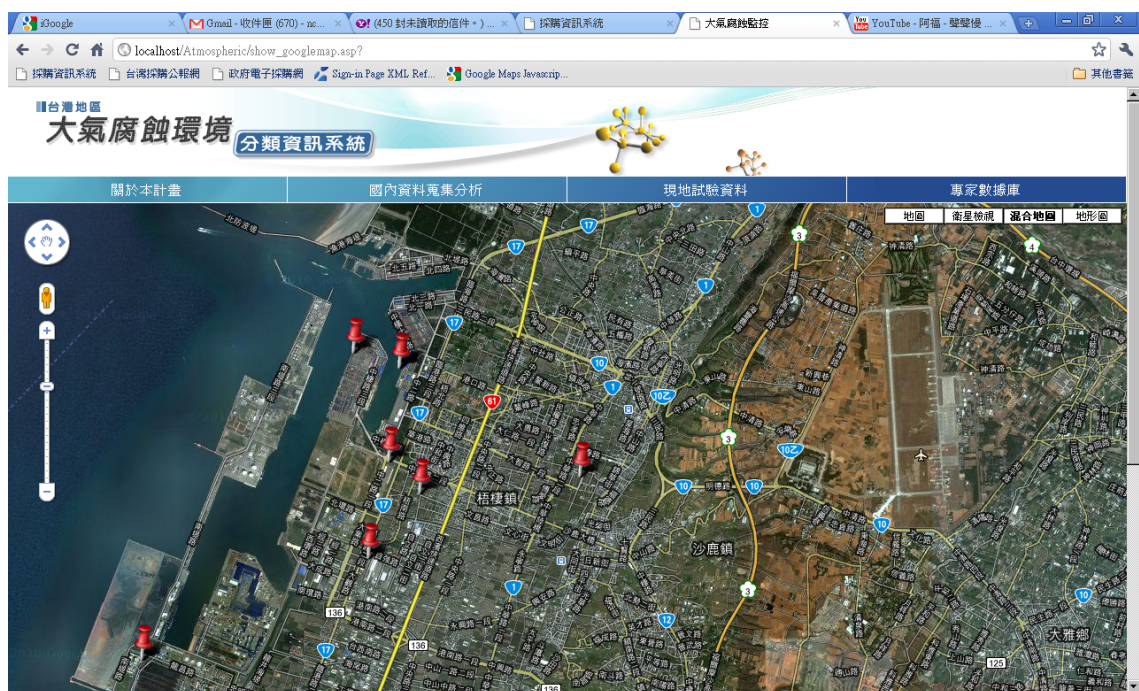


圖 4.14 GoogleMap 整合衛星地圖觀察試驗點

大氣腐蝕監控 - Google 瀏覽器

localhost/Atmospheric/show_googlepointdata.asp?value=81

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(相對濕度)(%)	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
SO ₂ (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 4.15 單一試驗點整合資訊視窗 1

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	RH(相對濕度)(%)	CL(氯)(mg/m ² /day)	SO ₂ (二氧化硫)(mg/m ² /day)	Al(鋁)(g/m ² /yr)	Cu(銅)(μm/yr)	Fe(鐵)(μm/yr)	Zn(鋅)(μm/yr)
2007.05-2007.09	41.39	0.76	-	2.49	3.91	49.33	3.52
2007.09-2008.01	45.13	12.14	-	12.19	4.69	147.90	13.00
2008.01-2008.05	59.81	2.06	-	9.79	8.32	146.30	6.44
2008.05-2008.08	35.56	0.95	-	2.95	6.42	107.60	7.62
2007.05-2008.08	45.47	1.68	-	1.66	4.56	65.52	4.34
全年期大氣腐蝕環境分類	T4	S0	-	C3	C5	C4	C5
2009年第三季	9.30	-	-	3.09	8.28	134.44	9.45
2009年第四季	39.32	-	-	4.42	10.11	98.02	9.58
2010年第一季	8.52	-	-	2.09	4.10	75.55	5.36
2010年第二季	23.90	-	-	1.12	4.62	39.71	5.12
2010年第三季	32.40	16.32	-	12.64	14.34	39.71	22.98
2007.05-2008.08	-	-	-	6.43	3.71	67.28	3.38
全年期大氣腐蝕環境分類	-	-	-	C5	-	C4	-
2010年第四季	49.00	10.32	-	14.20	12.50	14.20	13.62

腐蝕因子	RH(相對濕度)(%)	CL(氯)(mg/m ² /day)	SO ₂ (二氧化硫)(mg/m ² /day)	Al(鋁)(g/m ² /yr)	Cu(銅)(μm/yr)	Fe(鐵)(μm/yr)	Zn(鋅)(μm/yr)
2009年第三季	9.30	-	-	3.09	8.28	134.44	9.45
2009年第四季	39.32	-	-	4.42	10.11	98.02	9.58
2010年第一季	8.52	-	-	2.09	4.10	75.55	5.36
2010年第二季	23.90	-	-	1.12	4.62	39.71	5.12
2010年第三季	32.40	16.32	-	12.64	14.34	39.71	22.98
2007.05-2008.08	-	-	-	6.43	3.71	67.28	3.38
全年期大氣腐蝕環境分類	-	-	-	C5	-	C4	-
2010年第四季	49.00	10.32	-	14.20	12.50	14.20	13.62

年度	第一次採樣	第二次採樣	第三次採樣	第四次採樣	一年期試片
2009					
暴露時間	2009.07.06 - 2009.10.08				

版權所有 © 2009 港澳技術研究中心；最佳瀏覽模式：解晰度 1024*768 或以上；瀏覽器建議使用：IE6.0 或 Firefox 2.0 以上版本
 43542 臺中市梧棲區中橫十路 2 號 NO. 2, Jungheng 10th Rd, Wuqi Township, Taichung County 43542, Taiwan (R.O.C.)
 Mail: apple@mail.hmt.gov.tw 瀏覽人次: 00000620

圖 4.16 單一試驗點整合資訊視窗 2



圖 4.17 GoogleMap 觀察試驗點街景(StreetView)效果

4.5.4 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 GoogleMap 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，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，將趨勢預測及特殊區域特性，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。

4.6 小結

1. 根據季節變化四次採樣調查結果顯示以臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率以秋季最為嚴重，由基隆一直到嘉義縣東石鄉，氯鹽沉積速率多大於 10 mg/m²/day 且約在 8 ~ 34 mg/m²/day 之間；在東部海岸以夏季較為嚴重，由梗枋安檢所至尚武安檢所氯鹽沉積速率介於 5 ~ 65mg/m²/day 之間，在四次季節累積之平均氯鹽沉積量以臺灣東部海岸以橄仔樹安檢所最高。
2. 臺灣本島一年期累積的氯鹽沉積速率，南部海岸除核三廠試驗線，相較西部海岸從雲林麥寮以北至北部海岸的基隆試驗線及自基隆試驗線至東部海岸的臺東尚武安檢所，一年期累積的氯鹽沉積速率多

大於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，在高鐵沿線各站方面，一年期累積調查結果分別為：臺中站 $2.8 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、嘉義站 $2.60 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 與左營站 $10.3 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

3. 在臺灣全年期之試驗結果以桃園大潭試驗線、臺中港試驗線、臺塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率較高。
4. 二氧化硫沉積量四次調查分佈情形：在西海岸秋季與冬季期間，以觀音工業區、通霄火力電廠、彰濱工業區、中鋼公司、興達火力電廠附近二氧化硫沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東海岸四次調查皆以龍德工業區沉積速率較高，在冬季期間發現以觀音工業區二氧化硫沉積速率最高。
5. 臺灣各地於一年調查 2009.08-2010.09 期間，平均濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 73.45%及彰濱工業區 20.5%之間，濕潤時間百分比大於 70%有陽明山國家公園及陽明山硫磺區 73.5%。其次較大濕潤時間有龍德工業區 57.1%、南澳安檢所 55.9%、蘇澳港試驗線、基隆試驗線、核三廠試驗線等地區，介於 20%至 60%之間。而濕潤時間最小發生在外埔、五甲安檢所 20.62%及彰濱工業區 20.5%。
6. 整體而言碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，而在碳鋼金屬在基隆試驗線 100m、龍德工業區、臺塑六輕試驗線 0m、桃園試驗線 0m、陽明山硫磺區腐蝕環境可達到 C5+。
7. 銅金屬其在臺灣全島地區的腐蝕狀況，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 至 C5+等級，山區腐蝕環境為 C3 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為 C4 等級。
8. 鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 等級，山區腐蝕環境為 C2 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C3~C4 等級。
9. 在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，碳鋼與鋅金屬多為 C3，銅金屬則為 C4 等級，鋁金屬為 C2 ~C3 等級。

第五章 港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究

5.1 緒論

5.1.1 計畫緣起

港灣使用的鋼筋混凝土構造物經常暴露於嚴苛的海洋或河川環境，常因物理性沖擊(erosion)造成混凝土產生磨蝕(abrasion)、開裂(cracking)、脫層(de-lamination)甚至崩落(spalling)，或因海風、飛沫等挾帶之氯鹽侵入而造成混凝土內部鋼筋發生孔蝕(pitting corrosion)，因為銹蝕的氧化物體積膨脹，除造成鋼筋有效斷面積減少，更因混凝土無法抵抗鋼材銹蝕氧化物膨脹所導致之張應力而開裂。混凝土劣化會造成鋼筋混凝土構造物的服務品質下降，且若不加以修補，最後將導致結構體無法滿足原先設計之安全需求，而須提前拆除重建。

如考量結構物生命週期成本，可採用修補(repair)、復健(rehabilitation)或補強(strengthening)的手段使受損的鋼筋混凝土構造物恢復原有之功能，除可達到延壽的目標，更可降低大量拆除鋼筋混凝土構造物，廢棄物處理造成的環境問題及新建鋼筋混凝土構造物必需的資源使用問題。因此，採取適當的策略或手段來達到節能減碳永續發展之國家目標，實為重要研發的課題。

國內隨著老劣化混凝土結構物的增加，工程界更需要面對修補或補強既有鋼筋混凝土構造物大量的需求。此不但因拆除重建的成本高，更因若要選址興建新的構造物，在土地資源越來越匱乏的今日，其困難度大增。由此可見，營建業新興工程的比例必然會降低，而維修補強的比例會上升。這與世界其他先進國家如歐、美、日等面臨的狀況是一致的。

過往國內在維修補強的研究或案例上，主要是集中在建築物耐震補強上的問題。然而，針對港灣環境下的鋼筋混凝土構造物的修補或補強，卻缺乏廣泛的研究。雖說在此環境下的混凝土修補與補強，仍

然可以歸屬於廣義的混凝土修補與補強，不過對於修補或補強的成敗，必需要針對其所面對之環境做出恰當選擇，否則可能會出現顧此失彼的可能性。緣此，港灣結構物的修補與補強，首先就要對於特殊的暴露環境，做出適當的修補材料選擇；配合材料選擇，選用適當的工法，如此修補或補強才能達成功效。

5.1.2 計畫目的與內容

港灣鋼筋混凝土構造因處於惡劣的服務環境，易造成材料劣化，造成無法滿足原設計目標年限之破壞。以材料的觀點而言，處於港灣環境之鋼筋混凝土構造，其所面臨的環境劣化原因不外乎以下幾點：

1. 波浪力學沖蝕
2. 海風、飛沫所挾帶之氯鹽問題
3. 海水中硫酸鹽的化學性侵害問題

前述作用，都可能造成混凝土劣化、鋼筋生鏽等情況，使構件的服務性能下降，最後終因服務性能不滿足設計之需求而宣告破壞不堪使用。發現這些問題，經由肇因分析確立原因之後，若經由生命週期成本分析確定修補程序是經濟可行的方案時，則可經由選用正確的修補材料，配合正確的修補工法，對損傷之構件進行修補，如此可恢復甚至提高構件之服務品質，達到延長服務壽命之目標。

如何使修補與補強能夠發揮應有之功效，實為關鍵所在。針對鋼筋混凝土出現損害時，首先必須要透過檢驗對病徵有所瞭解，然後再透過正確的肇因分析，明瞭是何種因素造成原有的系統失效。藉此，工程師才可以針對修補系統(包括其修補材料與修補工法)做出正確的選擇，以滿足其服務特性如安全性、美觀性、耐久性等，也同時能讓修補後之結構系統在面臨與過去相同問題時，不致劣化，保障其使用功能。有時，為使修補後之系統在面對嚴苛的環境下能夠更有保障，在進行修補的同時，工程師也可以考量適當地加入保護系統，以達到

使新系統具有更強的防護能力。整個修補程序流程，如圖 5.1 所示，每個環節都屬於修補的一部份，只有正確執行全部環節，方能確保修補的成功。

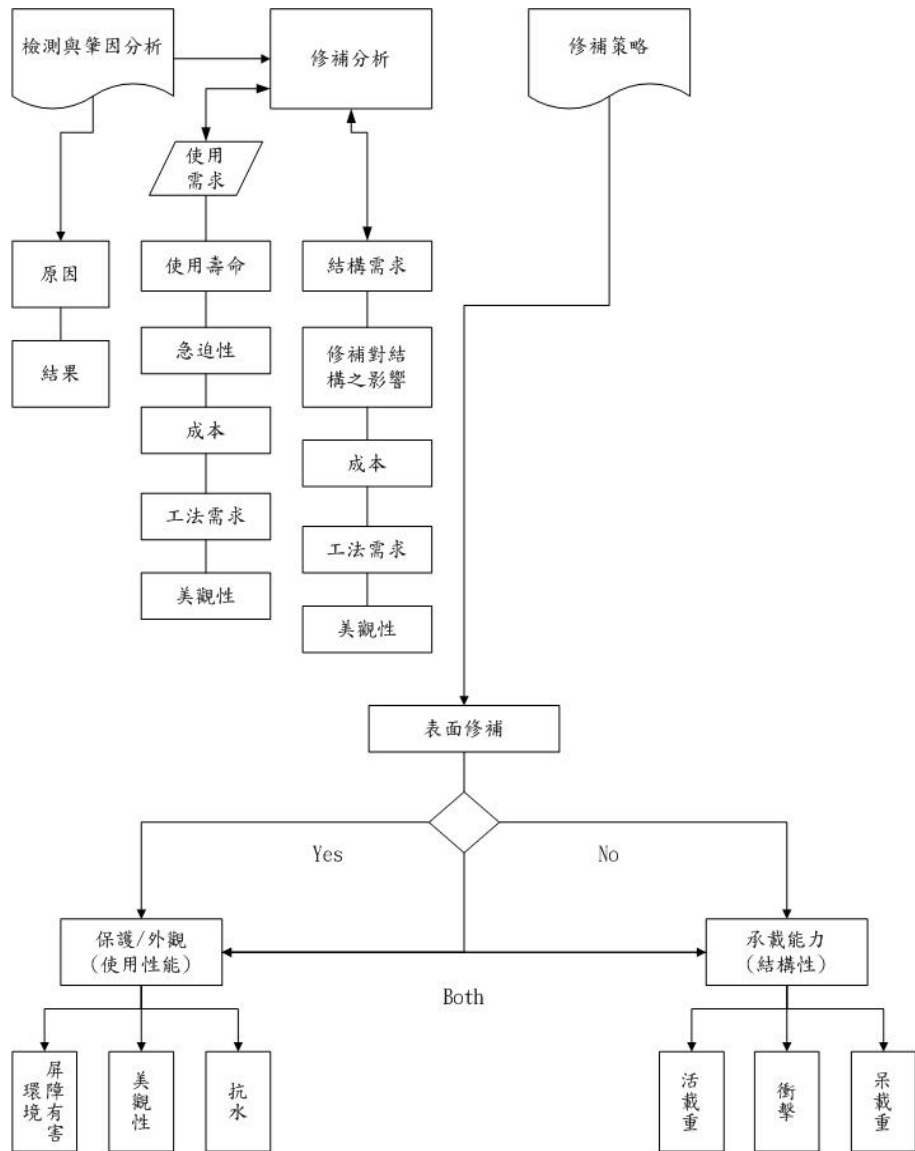


圖 5.1 修補程序流程圖

本計畫不擬針對所有的修補程序進行研究，而擬以材料做為出發點，在決定使用何種材料來修補港灣混凝土構造上，進行研究。也就是說，本計畫主要針對如何修補混凝土構造物的劣化狀況，而並不特別考量補強的部份。此因補強乃是以改善結構受力的能力與反應為主，這不僅與材料有關，更與結構整體配置有關。理論上說，正確的

補強設計一定要針對整體結構進行應力分析，瞭解補強方案採用以後，整體結構受力狀況為何，然後才能判斷出方案的適用性。換言之，補強是會因個案而有所不同，若只是單單考量增加單一構件的加勁，可能會造成顧此失彼的問題，反使得結構其他部位出現破壞。然而，若以材料觀點出發，還是有許多問題要深入瞭解：

4. 當採用取代法(replacement)將病害之混凝土敲除，再以修補材料修補時，則在市面上通用的修補材料中，到底何種材料比較適合使用來修補港灣混凝土構造物？它們的表現如何評估？
5. 針對已經劣化之混凝土(如已經被中性化之混凝土、或遭受氯鹽侵害之混凝土)，如不擬採用取代法，是否可用復健工法將其復健？如何操作之？
6. 針對修補的策略中，可採用的保護措施有哪些？它們的成效如何？最後、針對港灣環境混凝土建構物修補，是否能有標準的程序可作為設計參考。

緣此，針對以上問題擬定 4 年期計畫進行研究。其中第 1 年，將針對常用之修補材料進行研究，瞭解各修補材料是否適合使用在港灣混凝土構造物的修補上，其配合工法為何，成效又是如何。第 1 年的工作內容包括：

1. 國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法。進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。
2. 試體製作：包括實驗室模擬試體（至少選用 5 種不同修補材料，每種試體 3 個）以及 1 組以上之戶外曝露試驗（樑、柱）試體。
3. 試體觀測內容包括：力學行為的變化、開電路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、體積穩定性、黏結強度等。
4. 不同工法之效益評估：依據試體觀測結果，進行應用於港灣鋼筋混凝土構造物之效益評估或比較分析。

延續第一年期計畫進行研究。第 2 年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行後續之工作性試驗，並建立工作性與力學性之間特性之關係。第 2 年的工作內容包括：

1. 進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗。
2. 諮詢修補材料相關廠商，諮詢現地常見之修補材料，連工帶料對應各材料之成本效益評估。
3. 預期與貴單位配合，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。
4. 針對第 1 年期擬訂之港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊進行修改，並召開專家座談，整合多方專家對手冊制訂之意見。

延續前幾年期計畫進行研究。第 3 年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行後續之耐久性試驗，並建立耐久性與戶外曝曬試體現階段量測值之關係。第 3 年的工作內容包括：

1. 進行修補材料氯離子電滲試驗、吸水率試驗、抗碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。
2. 針對前兩年期撰寫之港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊進行修改，並召開專家座談，進行意見整合及修改。

第 4 年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行混凝土相容性試驗，並建立與前幾年期力學性質結果之關係，並完成手冊完稿。第 4 年的工作內容包括：

1. 進行修補材料對溫度影響之相關試驗。
2. 針對修補材料現地可能造成之火害情形，進行火害試驗。
3. 完成港灣鋼筋混凝土結構物修復補強手冊完稿。
4. 針對手冊完稿，進行業界教育訓練。

5.1.3 重要性

依據交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等 2 大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣 21 世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。本研究主要目的係為提升國內港灣鋼筋混凝土構造物的修復或補強技術水準，降低構造物生命週期成本。

由於土地資源的匱乏加上新興工程成本耗大，因此在面臨老化之港灣構造物上，實須瞭解如何正確選擇修補或補強策略，以達到延長服務壽命，提高服務品質，並且降低構造物生命週期。

5.1.4 研究內容與工作項目

本研究 100 年度內容與工作項目如下：

1. 國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法，進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。
2. 試體製作：包括實驗室模擬試體(至少 5 種不同修補材料，每種試體 3 個)以及 1 組以上戶外曝曬試體(樑、柱)試體。
3. 試體觀測內容包括：力學行為的變化、開路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、體積穩定性、黏結強度。
4. 不同工法之效益評估：依據試體觀測結果，進行應用於港灣混凝土構造物之效益評估或比較分析。
5. 擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊初稿。

5.2 文獻回顧

5.2.1 海洋混凝土結構物的破壞

任何與海洋環境接觸的混凝土結構物都隸屬於海洋混凝土結構物，這包括了鑽油平臺、混凝土樁、跨海大橋、碼頭設施、防波堤等等。這些海洋結構物產生破壞不外乎是因為機械力作用包括潮浪機械力作用、船舶碰撞等，或是因為有害因子侵入混凝土之內，而對於內部的鋼筋產生銹蝕的效果，如氯離子攻擊、硫酸鹽類攻擊等等。

以碼頭結構而言，國內所常用的碼頭包括了重力式碼頭、棧橋式碼頭還有板樁式碼頭。其常見的劣化機制可以整理如下^[31]：

5.2.1.1 重力式碼頭劣化機制

1. 岸壁結構：因地盤下陷造成上部結構下陷或是傾斜。地震所產生的。額外土壤壓力及水壓力超過了原來結構之設計強度。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、剝落、拱起及下陷。貨碼頭結構沿法線方向產收位移、錯動及傾斜等。
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。或因基礎有液化發生造成岸肩下陷、破壞、伸縮縫破損；因波浪力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是船舶推進器的外力而產生淘刷作用。

重力式碼頭構件會產生之劣化異狀見表 5-1 所示。

表 5-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表^[31]

構件名稱	構件項目	異狀							
		龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
土堤	岸肩	✓	✓	✓	✓	✓			
	壁體	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	法線						✓		
	後線					✓			
海床									✓
附屬設施	車擋	✓							
	繫船柱	✓	✓						
	防舷材	✓							
	吊車軌道		✓					✓	

5.2.1.2 板樁式碼頭劣化機制^[31]

1. 板樁結構：因經年累積的腐蝕造成板樁的破壞，或因地震力產生額外的土壓力及水壓力，超過了原來結構物之設計強度。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、拱起或下陷。或板樁沿法線方向產生位移及傾斜。
2. 岸肩：因持續的背填料壓密下陷造成岸肩的破壞、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產生淘刷現象。

有關於板樁式碼頭各構件可能發生之異狀表列於表 5-2。

表 5-2 板樁式碼頭各構件產生異狀表^[31]

構件 名稱	構件 項目	異狀								
		開孔	龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
土堤	岸肩		√	√	√	√	√			
	壁體	√	√	√				√	√	
	法線							√		
	後線						√			
海床										√
附屬設施	車擋		√							
	繫船柱		√	√						
	防舷材		√							
	吊車軌道			√					√	

5.2.1.3 棧橋式碼頭劣化機制^[31]

1. 基樁結構：因經年累月腐蝕造成基樁的破壞、因地震力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，致使基樁產生位移及側傾。
2. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭格梁接樁破壞，碼頭單元接樁鬆動，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，或因波浪力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滑動。

針對棧橋式碼頭構件可能發生之異狀表列於表 5-3。

表 5-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀表^[31]

構件 名稱	構件 項目	異狀									
		損 壞	防蝕 破壞	龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
面版	梁			√	√	√	√				
	岸肩			√	√	√	√	√			
	岸肩底部			√	√	√	√				
	冠牆			√	√	√	√	√			
	法線								√		
	後線							√			
墩柱			√	√	√	√	√		√		
拋石護坡		√									
海床											√
附屬 設施	車擋			√							
	繫船柱			√	√						
	防舷材			√							
	吊車 軌道				√					√	

5.2.2 鋼筋混凝土結構物劣化

5.2.2.1 鋼筋混凝土劣化原因

鋼筋混凝土會遭受到自然界化學及物理性質等作用而產生裂化，其中又大致可分為 1.自然因素 2.環境因素 3.人為因素等，劣化原因依種類可概分如下^[32]：

1. 自然因素：

(1)溫度效應：硬故混凝土結構如長時間受到日夜溫度變換，有可

能產生裂化之現象，而混凝土澆置時如未考慮到水化之散熱情況時，也很容易產生龜裂之情形。

- (2) 天然災害：當混凝土承受到一些而外的應力作用，因而產生撓曲、扭曲、裂縫等現象，容易造成結構物整體性的破壞。
- (3) 乾縮、預力損失及潛變：當這些現象產生時會發生內部張力變化，嚴重時會產生裂化的現象。

2. 環境因素：

- (1) 高鹽害環境：當混凝土中氯離子含量超過一定濃度之後，即使在 pH 值很高的環境中，鈍態保護膜亦可能被破壞^[33]。
- (2) 侵蝕性環境：排放具有侵蝕性化學物質，如廠房排放廢水。
- (3) 酸性環境：混凝土內水化後產物有氫氧化鈣，大約佔全部比例的 24%，而氫氧化鈣所產生的高鹼環境能使得鋼筋表面產生鈍態保護膜，但當混凝土長時間在酸性環境中，混凝土會因碳化作用逐漸轉為中性，會降低結構物的強度及鋼筋防蝕能力。

3. 人為因素：如設計不當、人為破壞、施工不良等。

5.2.2.2 裂縫形成的原因

近幾年來混凝土結構物普遍使用。混凝土硬化後有可能會產生以下裂縫，如溫度裂縫、乾縮裂縫、硫酸鹽侵蝕作用和結構受外力及鹼性骨材反應產生之裂縫。而當混凝土在澆置後在凝結過程中產生的裂縫，一般稱為早期裂縫。早期裂縫大致上包括了模板變形之裂縫、沉陷收縮裂縫；荷重及震動造成之裂縫，收縮性裂縫等等^[34]。

5.2.2.3 鋼筋腐蝕對混凝土安全性與耐久性之影響

鋼筋具有良好的延展性、韌性及抗拉應力的特性，但缺點就是怕高溫及易氧化腐蝕。而普通混凝土係由水泥、粒料、加水拌合而成具

有良好的可塑性及包覆效果，且硬化後抗壓強度會隨時間逐漸變強，由於混凝土是屬於一種脆性材料，因此抵抗拉應力的性能相對較弱。因此鋼筋與混凝土結合為一體亦可以彌補彼此的不足，成為一種同時具備耐久性、剛性、耐震性、整體性、高強度、耐火性、可塑性等多項性能的材料^[35]。

臺灣位處亞熱帶區且四面環海，常年氣候高溫潮濕^[36]，為高腐蝕地區，混凝土劣化後會對鋼筋失去防護的能力，會讓結構物被氯離子及其他有害物質侵入導致混凝土的碳化，破壞鋼筋表面的鈍態保護膜，而鋼筋腐蝕後的體積會膨脹到 2~7 倍^[37]，嚴重者可能會導致結構物的剝落或大塊剝落的情況，嚴重影響到結構物的耐久性及安全性。

5.2.2.4 鋼筋的腐蝕機理

自然界中金屬大多以穩定的狀態存在，當氧化電位較高的金屬元素，為了達到穩定的平衡狀態，就會釋放出電子而與其他元素形成能量較低穩定性化合物，才能存在於自然界中，也就表是金屬腐蝕的驅動力 (driving force)；此外腐蝕作用的產生，需滿足以下五種條件^[38、39]：

1. 電解液(electrolyte)：電化學腐蝕又稱濕腐蝕(wet corrosion)，必須在潮濕或有水氣的情況下，氧化還原才會順利進行。
2. 電流(corrosion current)：腐蝕的進行要有足夠的電子束才能使反應順利進行，即需要有足夠的電動勢才能驅動電子形成電流。
3. 導電通路(conducting path)：電化學的氧化還原反應均須要有電子的轉移，因此有良好的導電通路腐蝕現象才能順利進行。
4. 陰極(cathode)：得到電子而產生還原反應的電極



5. 陽極(anode)：釋放出電子，產生氧化反應的電極



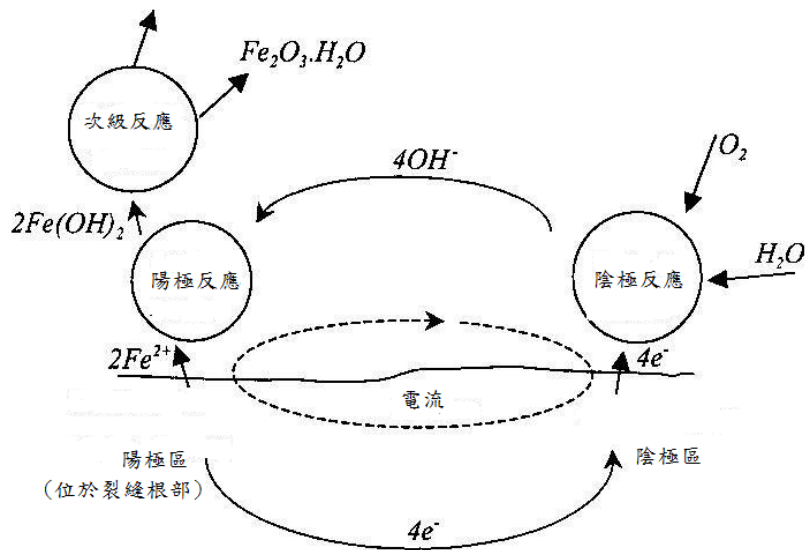


圖 5.2 鋼筋腐蝕機理示意圖^[40]

(資料來源：Beeby，1978)

5.2.2.5 鋼筋混凝土劣化之現象

鋼筋混凝土劣化現象甚多，加上多項裂化原因交互作用下，所形成之劣化現象有以下幾項。

1. 裂縫(cracking)
2. 鋼筋鏽蝕(reinforcing steel corrosion)
3. 剝落(scaling)
4. 大面積剝落(spalling，pothole)
5. 白華(壁癌)(efflorescence)
6. 蜂窩(honeycombs)
7. 結構傾斜或位移(decline or displacement)
8. 磨蝕(abrasion)
9. 撞損(collision damage)
10. 磨損(wear)

5.2.3 鋼筋混凝土結構物修復與補強

5.2.3.1 混凝土結構物修補材料

過去提到之一般混凝土結構物劣化之受損，主要為混凝土開裂及大塊混凝土等兩類^[41]。凡修補材料具有良好的工作性，與舊材料混凝土間能有效結合，高於舊混凝土之力學行為，基本上可滿足上述 3 項條件，即認定為可做為混凝土結構物修補材料^[42]。而修補材料根據日本土木學會^[43]可概分為九大類：

1. 混凝土表面塗層材料(concrete surface coating materials)。
2. 有機裂縫注入修補材料(organic crack injecting repairing materials)。
3. 水泥質系裂縫注入修補材料(cement crack injecting repairing materials)。
4. 高分子(聚合物)改質水泥質系裂縫注入修補材料(polymer modified cement crack injecting repairing materials)。
5. 有機灌漿修復或補強材料(organic grouting repairing or strengthening materials)。
6. 表面滲透修復材料(surface penetrants for concrete structures)。
7. 補綴修復材料(patching repair materials)。
8. 高分子(聚合物)改質水泥質系灌漿修復或補強材料(polymer modified cement grouting repairing or strengthening materials)。
9. 水泥質系灌漿修復或補強材料(cement grouting repairing or strengthening materials)。

而根據文獻^[14]對於常用修補材料之性質總整如表 5-4，而依照^[44]修補材料之組合成份可以包括如表 5-5 所示之材料，其效果如表中所述。使用於表面層(overlay)之修補材料依照各種不同使用性如表 5-6。

表 5-4 常用:修補材料之性質總整

材料	成份					應用要求				材料性質					註解			
	膠結材	添加物	添加劑	厚度限制 in/cm	澆注溫度 F/C	養護	乾縮	熱膨脹係 數	抗壓強度(psi/MPa)				彈性模數 (psi/MPa)	透水係數 (混凝土 =10)		抗凍融能 力	不重降品 質	效熱
									1 hr	1 Day	3 Days	28 Days						
波特蘭水 泥砂漿	波特蘭 水泥		減水劑、 輸氣劑	1.5-4/ 3.8-10	40-90/5- 32	Wet 7 days	中度	與基材 相等	0	650 /4.5	2500 /17.2	5000 /34.5	3.4x10 ⁶ / 2.3x10 ⁶	9	好	中度	低	
波特蘭水 泥混凝土	波特蘭 水泥		減水劑、 輸氣劑	>1.75/3. 0	40-90/5- 32	Wet 7 days	低	與基材 相等	0	650 /4.5	2500 /17.2	5000 /34.5	3.8x10 ⁶ / 2.6x10 ⁶	9	好	無數據	低	
微砂灰改性 波特蘭水 泥混凝土	波特蘭 水泥	微砂灰	高性能減 水劑、輸 氣劑	>1.25/3. 0	40-90/5- 32	Wet 7 days	低	與基材 相等	0	3000 /20.7	4000 /27.6	7500 /51.7	4x10 ⁶ / 2.8x10 ⁶	6	好	好	低	
乳膠改性波特 蘭水泥混凝土	波特蘭 水泥		乳膠、 丁基橡膠 (SBR)	0.25-1.5 /0.6-3.8	45-95/7- 39	Wet 3 days	低	與基材 可相容				8000 /41.4	2.5x10 ⁶ / 1.7x10 ⁶	5	優	無數據	低	
高分子改性波 特蘭水泥砂漿 並使用非重降 填充料	波特蘭 水泥	非重降填 充料	壓克力乳 膠	>0.75/1. 0			中度	與基材 可相容		1500 /10.3		5000 /34.5	2.5x10 ⁶ / 1.7x10 ⁶	5	優	優	中度	
磷酸鹽水 泥混凝土	磷酸鹽 水泥			>3.0/7.6	50-100/1 0-40	Sheet 45 min-2day s	中度	與基材 相等	2000 /13.8	6400 /44.1	7000 /48.3	8400 /57.9	3.2x10 ⁶ / 2.2x10 ⁶	9	優	低	高	ACI 308R-23
預拌精骨 材料混凝土	波特蘭 水泥	卜作嵐材 料	塑性劑 (fluidif ier)	0.13-0.3 8/0.4-1. 2	40-90/5- 32	Wet 7 days	極低	與基材 相等	0	500 /3.4	2250 /15.5	4500 /31	3.8x10 ⁶ / 2.6x10 ⁶	10	好	無數據	低	ACI 503.4
環氧樹脂砂漿	環氧樹脂			0.25-0.5 0/0.6-1. 3	50-90/10 -32	4hrs-2 days	低	混凝土之 1.5-5 倍				12000 /82.7	2.2x10 ⁶ / 1.5x10 ⁶	1	優	中度	高	在陽照區 域，蒸氣可 能導致問題
甲基丙烯酸甲 酯(MMA) 混凝土	壓克力 樹脂			>0.5/1.3	20-120/- 6 50	1hr-6hr	中度	混凝土之 1.5 5 倍	4000 /27.6	12000 /82.7		12000 /82.7	3x10 ⁶ / 2x10 ⁶	1	優	無數據	高	
噴凝土	波特蘭 水泥	卜作嵐 材料	減水劑、 速凝劑、 乳膠		40-90/5- 32	Wet 7 days	中度	與基材 相等	0	800 /5.5	3500 /24.1	5000 /34.5	3.8x10 ⁶ / 2.6x10 ⁶	6	好	無數據	低	ACI 508R-90

乾縮: 低: <0.05%; 中度: 0.05%-0.1%; 高: >0.1%

註釋: 本表中數字因製造廠商會有所差異, 本表僅為比較用

表 5-5 修補材料之組合成分

成分	說明描述	效益、益處
膠結材	膠結材是一種將所有填充料聚集在一起，形成複合材料。黏結材料包括：波特蘭水泥、其它的水硬性水泥、壓克力樹脂。	波特蘭水泥用於最一般的維修工作。
細粒料	粒料用於減少膠結材的體積，提高力學行為。 細粒料也許可以另外增加較大粒境的粒料。	適當的細粒料級配可以減少膠結材用量及乾縮。 特殊粒料可以提高耐磨性。
粗粒料	粗粒料更有效的減少膠結材的總體積，比一般乾燥的細粒料更能提高力學行為。	粗粒料降低乾燥收縮。 特殊粒料用於增強耐磨性。
特殊填充料	用於填充粗細骨材的剩餘空隙。 某些填充料(如飛灰、微矽灰)以取代部分水泥。 填充料也可以增加內聚力。	微矽灰可以增加強度，降低滲透性。
高分子改性	高分子改性是用來提高修補材料的性能(質)。 乳膠(聚丁苯乙烯橡膠)是最常見的。 其他改性包括壓克力樹脂、聚乙烯醋酸鹽類(Polyvinyl Alcohol，簡稱 P.V.A.)及液態環氧樹脂。	一些高分子增強了修補材料的性能。 乳膠是用來降低滲透性，提高與基材的黏結強度，和減少彈性模數。
複合纖維	合成纖維及鋼纖維用來增強修補材料的拉伸強度及韌性。	增強纖維是為了預防控制收縮開裂。 鋼和某些塑料纖維，提高了衝擊韌性及耐磨性。
化學改性	多方面改姓是為了增加或改變修補材料的性質。 包括了:加速劑、緩凝劑、補償收縮添加劑，減水劑，流動性劑、擴張劑、輸氣劑。	使用改性允許控制一些性質和故化的未故化的材料。
修補材料	修補材料是一種混合膠結材、粒料、填充料等混合而成。	材料的設計應盡量簡單。 不要使用更多的成分超過實際需要。越複雜的材料一般會導致更多的問題。

表 5-6 表面層修補材料在各種環境之適用性

	低坍度密度混凝土 (LSDC)	低水灰比混凝土 (LW/C)	乳膠改性混凝土 (LMC)	微矽粉改性混凝土 (SFC)	波特蘭水泥橋面表層膜	高分子混凝土 Epoxy,MN A,PC)	備註
厚度: 0.125” - 0.75”			✓			✓	
0.75” - 2”		✓	✓				
2” - 3”	✓	✓	✓	✓			
> 3”	✓	✓	✓	✓	✓		
重建新坡度	✓	✓	✓	✓	✓	✓	改善排水。
磨損表面	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
混凝土及鋼筋	✓	✓	✓	✓	✓	✓	最大程度減少滲透及擴散。
橋面防水					✓		包括裂縫及施工縫。
使用(存放)於表面修補	✓	✓	✓	✓			
靜荷重結構							加強上部結構是必要的。
整體試的板	✓	✓	✓	✓		✓	現行橋面應準備適當的膠結材。
覆蓋鋼筋: 鋼筋墊	✓	✓	✓	✓	✓		對於高碰撞條件。
鋼纖維					✓		控制縮性收縮。
合成纖維	✓	✓	✓	✓		✓	
無	✓	✓	✓	✓		✓	
兼容性: 彈性模數	✓	✓	✓	✓			
滲透底層	✓	✓		✓	✓		

而中國土木水利工程學會出版的混凝土工程施工規範與解說^[45]對於修補材料之選用有以下建議：

1. 混凝土修補：較深或較大之蜂窩、露石和露筋之缺陷修補，應在不影響構造物之結構強度下，鑿去薄弱的混凝土與特別突出的骨材顆粒，然後用鋼刷、高壓空氣或壓力水清理表面，再用與原混凝土相同配比的混凝土確實填補搗實之。
2. 水泥砂漿修補：表面不平整、蜂窩、麻面、露筋或石窩等面積較小且數量不多之缺陷，可用與原混凝土相近之水泥砂漿修補；在修補前，有缺陷及其周圍之軟弱部份應予鑿除至堅實的混凝土面。
3. 修補材料：填充材料包括混凝土材料及混凝土填加材料。黏結材料包括水泥及高分子粘結劑。
4. 其他材料修補：表面缺陷亦可採用下列方式修補，但須提修補計畫經監造者認可：

(1) 高分子粘結劑修補

(2) 填塞材修補

(3) 表面塗料修補

表面缺陷亦可用高分子粘結劑以下列方式修補，但須提修補計畫經監造者認可：

(1) 表面塗敷修補

(2) 灌漿修補

5.2.3.2 混凝土修補材料選擇^[44]

混凝土結構物的修復與防護方法大約可概分為修補原理、正確的破壞診斷、材料性能、材料品質控制與現場施工品質控制等等。而依據材料承載性質不同有以下表示如表 5-7。依照材料暴露情況不同也有

不同的性質，大致上可分為空氣接觸、溫度條件、濕度條件等，詳細如表 5-8，若考量到體積變化的情況詳細說明如表 5-9，若考量為設計之性質詳如表 5-10，考量外觀性質請參照表 5-11，考量外部負載性質詳細說明如表 5-12。

表 5-7 力學性質考量

目的 (性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
基材的 鍵結力	黏結損失 剝落 修復分離的基材	黏結拉力， 低應力	高應力造成的 熱不相容性，乾 縮
設計承 載之結 構	不如預期載重，過分 依靠基材或修復材料	彈性與基材 的彈性模數 相等	相較於基材有 著較低或高的 彈性模數
	最先承受載重，但隨 著時間，在潛變變形 之下修補遲緩	極低的壓縮 潛變	高壓縮潛變
	乾縮造成物質損失 量，降低負載抗壓能 力	乾縮極低	收縮

表 5-8 暴露環境考量

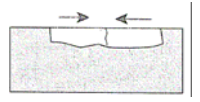
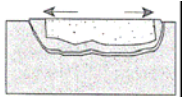
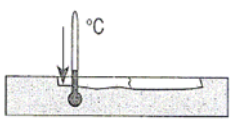
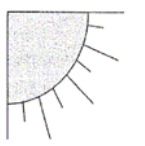
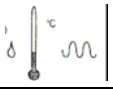
目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
溫度變化 	因修復材料造成收縮應力的裂縫。 	與基材相等的熱膨脹係數。	與基材不相等的熱膨脹係數。
	壓縮應力使得基材造成剝落。 	與基材相等的熱膨脹係數。	與基材不相等的熱膨脹係數。
修補材料局部的溫度變化	收縮應力造成修復材料的開裂。 	再放置與養護時較低的放熱。	再放置與養護時較高的放熱。
空氣氣體	濕度條件：鋼筋腐蝕，水泥基材分解。 	表面或內部的低滲透性，無裂紋。	高滲透性，使得修復材料的開裂。
化學接觸 	濕度條件：鋼筋腐蝕。	低滲透性，在表面或內部無裂紋。	高滲透性，使得修復材料的開裂。
	濕度條件：水泥基材分解。	在表面或內部的物質具有抗化學性。	缺乏耐化學性。
紫 外 線 照 射 	修補材料力學性能的變化。	表面抗高 UV。	抗低 UV。
濕度條件，飽和 	凍融循環：水泥基材。分解	表面或內部的低滲透性。	高滲透性。
濕度條件	內部水分的變化。 	低滲透，低乾縮。	高滲透，高乾縮。

表 5-9 體積變化考量

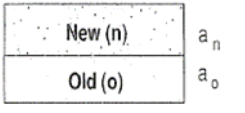
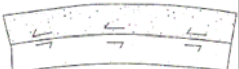
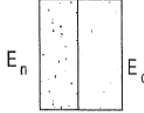
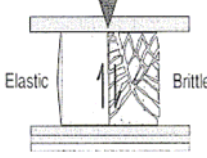
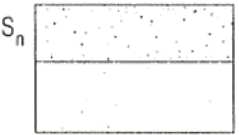
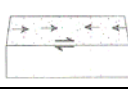
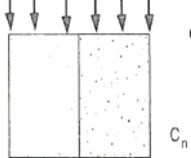
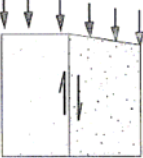
熱膨脹係數(α): 由於溫度的變化透過均勻分佈的材料, 而根據新舊材料之間, 使得發生下面的壓力關係。 	$\alpha_n = \alpha_o$ 沒有應力發生。 假若 $\alpha_n > \alpha_o$ 或 $\alpha_n < \alpha_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 
彈性模數(E): 給定一個均勻分布載重, 根據下列新舊材料之間, 使得發生下面的壓力關係。 	假若 $E_n = E_o$ 沒有應力發生。 若 $E_n > E_o$ 或 $E_n < E_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 
乾縮(S_n): 假設舊材料已經出現穩定的乾縮量, 而新材料的乾縮將會影響到舊材料, 發生下列壓力關係。 	若 $S_n = S_o$ 沒有應力發生。 若 $S_n > S_o$ 或 $S_n < S_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 而負載使得修補減少, 修補材料呈現張力。 
潛變(C_n): 假設舊材料已經有穩定的潛變量, 而根據新材料的潛變會發生下列壓力。 	若 $C_n = C_o$ 沒有應力發生。 若 $C_n > C_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 

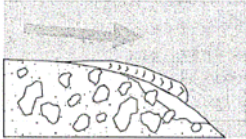
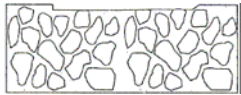
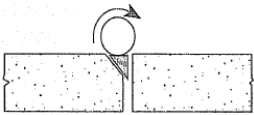
表 5-10 設計性質考量

目的(性能要求)		特性	應該避免
施工性	開始服務時間	發展修補強度	發展低強度
	流動性	高坍度	低坍度
		小粒料，圓形	大粒料，菱角形狀
	不垂流	高內聚力，高握裹力	低內聚力，低握裹力
	遺忘(人為疏失)	配方簡單	複雜配方

表 5-11 外觀考量

目的 (性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
外觀	乾縮導致表面裂縫	低乾縮，表面伸縮膜	高乾縮
	塑性沉降導致表面裂縫	低放熱	高放熱
		在澆注期間減少低表面浮水	再澆注期間減少過量之表面浮水

表 5-12 外部負載考量

目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果(不良反應)	特性	應該避免
流動液體	表面沖蝕 	高密度	低密度
		高抗壓	低抗壓
		高抗拉伸	低抗拉伸
流動液體和懸浮故體	表面的沖蝕及磨耗	高密度	低密度
		高抗壓	低抗壓
		高抗拉伸	低抗拉伸
車輪	表面磨耗損傷 	高密度	低密度
		高抗壓強度	低抗壓強度
衝擊 	在接縫邊緣的剝落	高抗拉伸、抗壓、黏結強度	低抗拉伸、抗壓、黏結強度
	剝落	高抗拉伸強度，內部的拉伸鋼筋	低抗拉伸強度
		高抗壓強度	低抗壓強度
		低彈性係數	高彈性係數
	黏結損壞	高黏結強度，對基材的張力錨定	低黏結強度

5.2.3.3 混凝土結構物修補工法

關於混凝土結構之修補方式，主要有以下幾種規定與原則^[45]。

一般規定：混凝土拆模後，若表面有裂縫、麻面、蜂窩、空鼓、孔洞、露筋、石窩及不平整等表面缺陷時，承包商須採用經同意之方式，儘快完成修補；情況嚴重者須會同監造者、設計者等協商辦理。修補後之表面顏色應與原混凝土接近，修補部份不得脫落剝離或與原混凝土間產生隙縫。

修補方式：

1. 修補前準備：應在不影響構造物之結構強度下，鑿去薄弱的混凝土與特別突出的骨材顆粒，然後用鋼刷、高壓空氣或壓力水清理表面，並依照擬使用之黏結劑特性保持乾燥或濕潤。
2. 修補：將填充材料與黏結材料均勻混合直接填塞或填入填充材料後再以黏結劑注入，施工應注意施工說明書之說明。
3. 養護：填補之混凝土或水泥砂漿應濕治七日，黏結材料應依其產品說明書保養。

5.2.3.4 修補之黏結面處理

而新舊材料之間由於材料的使用不同，可能造成如潛變、熱膨脹係數等等的不同，會影響到新舊材料之間的穩定性，對於修補工作的成效至關重要，詳細說明如表 5-9 所示。而一般黏結面的處理方式，主要分為化學方法及物理方法，化學方法常用的是酸浸蝕法，而物理方面常用的分為噴射處理及機械處理兩類，以下介紹工程上常用的處理方法^[46]。

1. 噴砂法：用噴射機具噴射不同直徑的鋼球或小碎石，透過控制噴射機控制噴射速度與噴射密度，可得到滿意的黏結面處理，如圖 5.3 所示，但也有機器昂貴的缺點。

2. 高壓水射法：以高壓噴水機製造出噴射水柱，水壓力在 70~240MPa，藉以沖掉舊混凝土上殘餘的碎片與弱處，並使得表面有良好的粗糙度，如圖 5.4 所示。採用此法處理新舊混凝土黏結面，工作效率高，效果顯著，然而機器價格昂貴不易取得。
3. 真空噴砂法：利用真空技術，來形成一種夾雜砂礫的高壓縮空氣噴打待處理面的方法，如圖 5.5 所示。該方法設備昂貴。
4. 噴蒸汽法：向舊混凝土待處理面噴射高壓蒸汽來處理的一種方法，如圖 5.6 所示。該方法施工操作危險性較其他方法大，機器價格亦貴。
5. 噴燒法：用可燃性氣體的高壓力火焰噴蝕待處理面方法，此法危險性大，如圖 5.7 所示。
6. 鋼刷毛法：在所澆置基底混凝土初凝後、終凝前可進行鋼刷毛處理。有些混凝土在 12~24h 以內，可用鋼刷較容易地劃毛處理其黏結面。對已硬化的舊混凝土的表面處理，鋼刷毛法只能做到輕度的處理，如圖 5.8 所示。
7. 人工鑿毛法：使用如十字鎬、斧頭、錘等工具進行人工的處理，由於操作簡單，也最為普遍使用，但處理效果仍劣於噴射處理法。
8. 氣錘鑿毛法：使用氣動式鑿毛機械打毛待處理面。
9. 機械切削法：採用特殊機械對待處理面進行切槽打毛等加工。
10. 酸浸蝕法：此法是黏結面處理的一種化學方法，但這種方法不像其它黏結面處理方法那麼可靠，而且酸浸蝕液可能含有氯化物，這些氯化物會腐蝕鋼筋。除非無法採用其他的黏結面處理方法，一般不建議採用酸浸蝕法的。

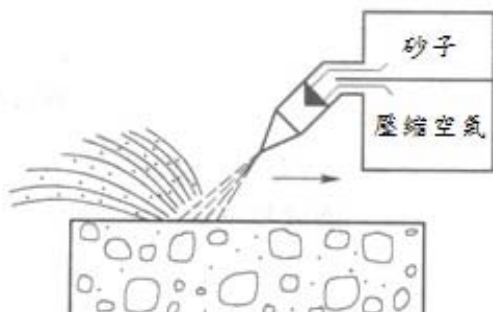


圖 5.3 噴砂法

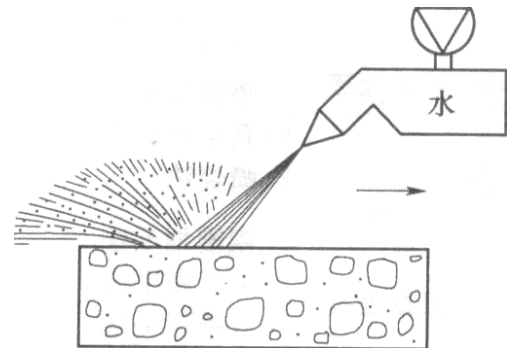


圖 5.4 高壓水射法

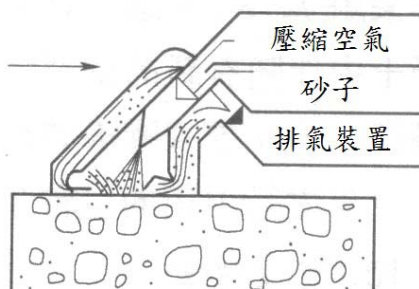


圖 5.5 真空砂噴法

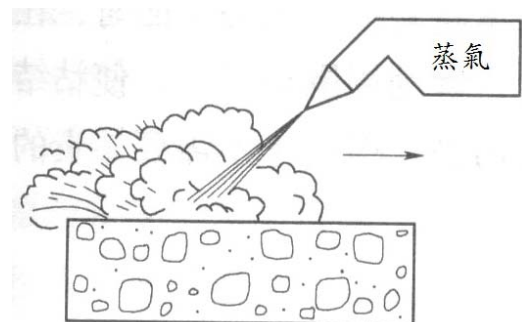


圖 5.6 噴蒸氣法

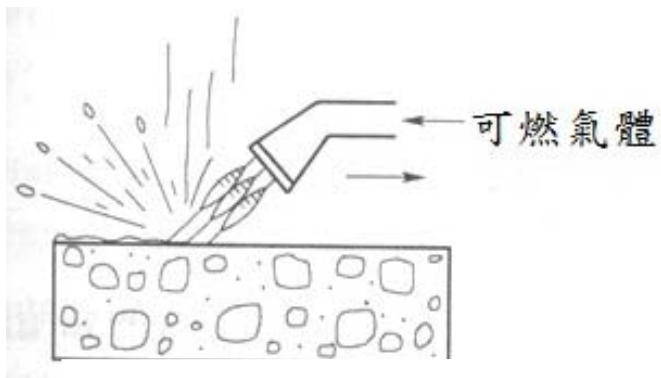


圖 5.7 噴澆法

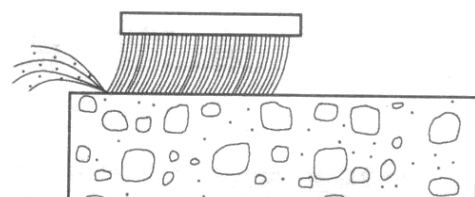


圖 5.8 鋼刷毛法

5.2.3.5 補強工法^[44]

補強主要的目的是透過改善構件承力能力或是增加新的構件(如

斜撐)等方式以達到使結構系統內各構件滿足設計之承力行為。一般說起來，補強除了要慎選材料以外，尚須要對結構系統進行應力分析，以確保方案的正確性。以下僅針對常見之補強工法做一簡介：

1. 擴大斷面法(Enlargement)：透過擴大斷面方式，達到增加構件之勁度(stiffness)。此法在設計上應該考量原構件與新增斷面力之傳遞問題，因此常需要以植筋等方式來傳遞。圖 5.9 為擴柱工法示意圖。

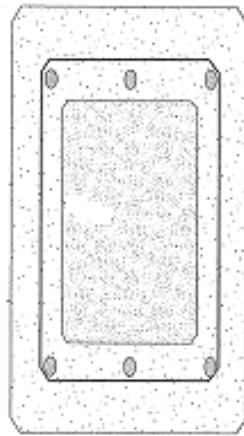


圖 5.9 擴大斷面法示意圖^[44]

資料來源： P.H. Emmons, 1993

2. 複合版工法(composite construction)：此法是以不同之材料貼覆在混凝土外側，以此來改變構件之勁度，最常見之使用材料為鋼材，現也常見使用 FRP 版來貼覆以增加抗震能力。圖 5.10 為複合版工法的示意圖。

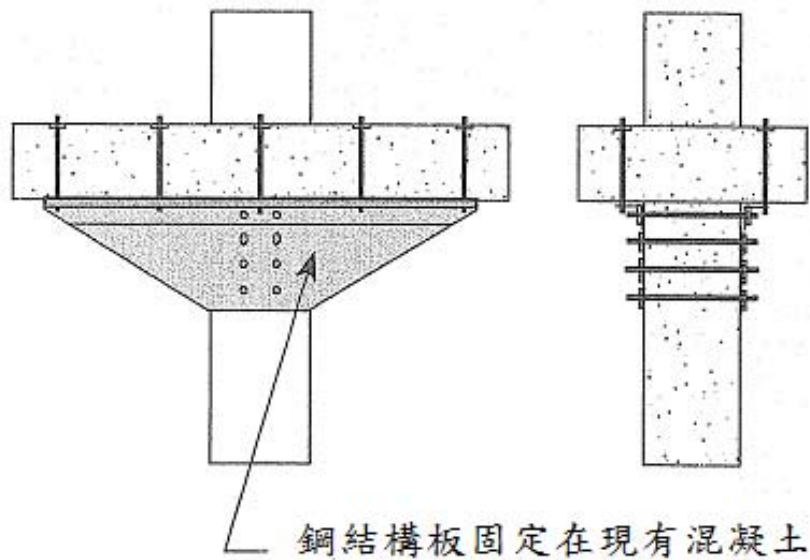


圖 5.10 複合版工法示意圖^[44]

資料來源： P.H. Emmons, 1993

3. 後拉預應力工法(post-tensioning)：此法乃是以施加預力在混凝土上的方式來達到增加構件承力能力的目的或是降低不當之位移現象。此法可以提供主動式(active)的承受力分擔。預力鋼鍵可以內置於混凝土內，或是置於混凝土之外，如圖 5.11 所示。

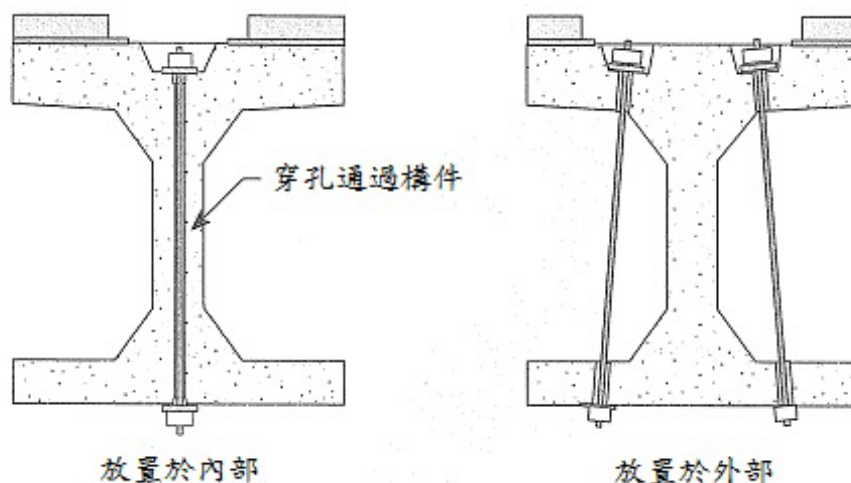


圖 5.11 後拉預應力工法示意圖^[44]

資料來源： P.H. Emmons, 1993

4. 消解應力法 (stress-reducing)：此法乃是消解構件或是結構的過大應力為目的。常見的方式有增設新的接縫(joint)、頂起錯位之構件、安設隔離墊(isolation bearing)。圖 5.12 為使用增設新接縫的方法示意圖。

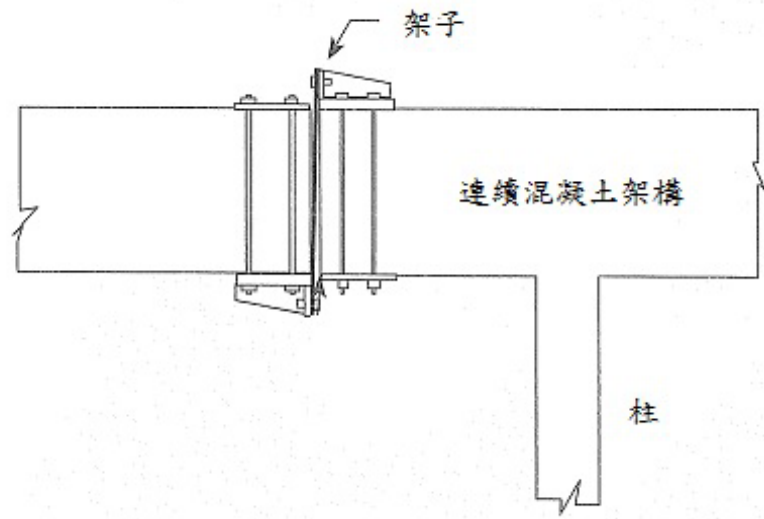


圖 5.12 增設新接縫達到消解應力示意圖^[44]

5. 內部澆注 (internal grouting)：此法是以具有流動性之修補材料灌注入混凝土內，消除不連續面(如裂縫)，達到恢復構件承載能力之目的。此法最常用的修補材料為聚合物材料(polymer)或是水硬性水泥基質材料。圖 5.13 為以內部澆注法修補構件裂縫之示意圖。

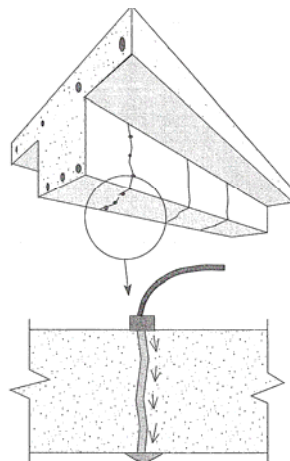


圖 5.13 以內部澆注法修補構件裂縫之示意圖^[44]

6. 外部澆注法(external grouting)：此法是以可流動性之膠體灌注在結構之外，通常是混凝土與基礎土壤間。這樣處理可以避免結構物產生不當沉陷、傾斜而造成破壞。圖 5.14 為外部澆注法之示意圖。

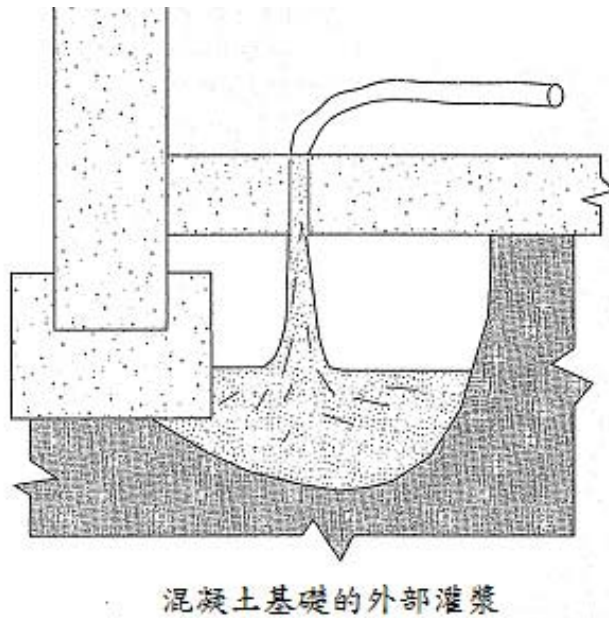


圖 5.14 外部澆注法示意圖^[44]

5.2.3.6 表面修補澆注工法

針對結構物表面修補澆注工法的部分，大致上可分為下列幾種：

1. 乾擠：首先故定模板，將修補料揉成球型以增加凝聚力，用堅硬物品將修補材料夯實待修補區域，如圖 5.15。

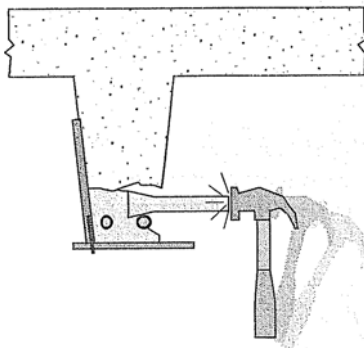


圖 5.15 乾擠^[44]

2. 直接澆置：故定模板後，直接澆置修補材料，如圖 5.16。

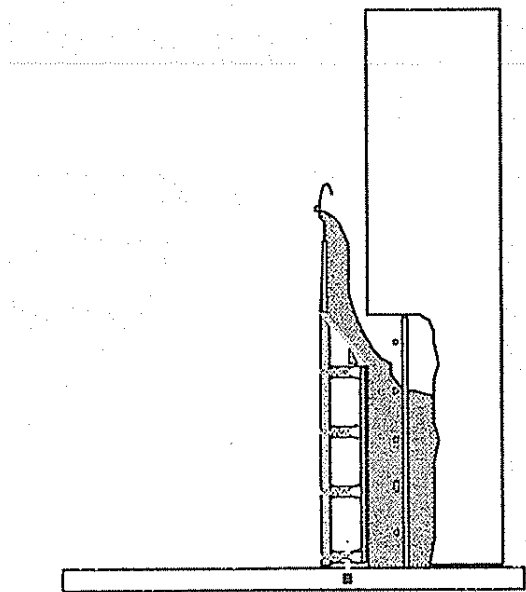


圖 5.16 直接澆置^[44]

3. 預壘混凝土：組立模板將骨材置入，將模板封閉並預留灌漿出入口後使用灌漿機灌漿，如圖 5.17。

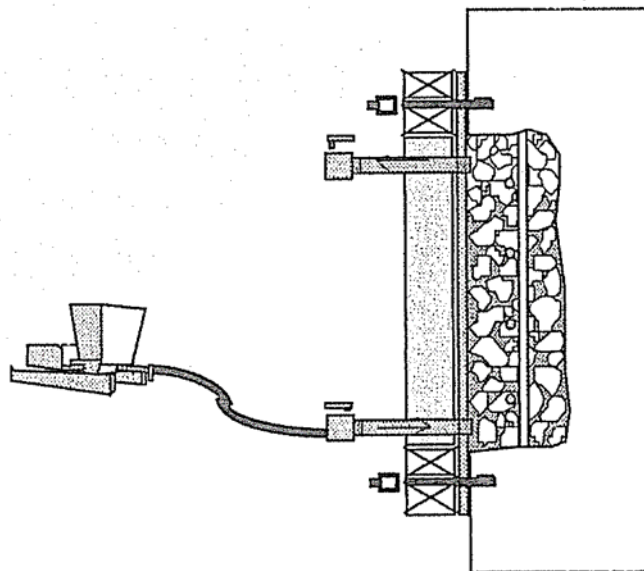


圖 5.17 預壘混凝土^[44]

4. 全深度修補：將修補砂漿澆注進入待修補區域，並使用振動機增加擾動以增加致密性，如圖 5.18。

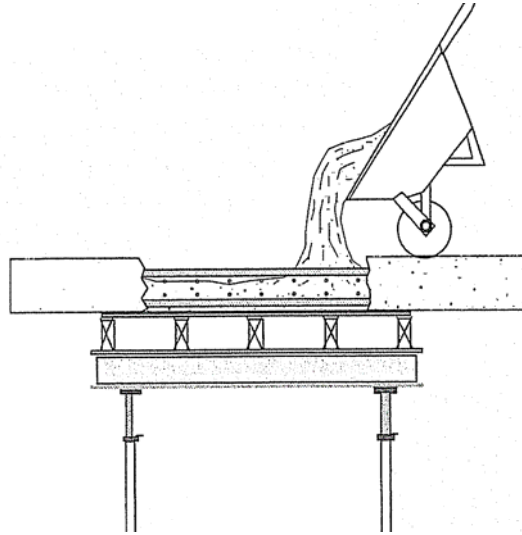


圖 5.18 全深度修補^[44]

5. 汞浦機 (pump)：以模板將待修補區域圍豎起來，並預留灌漿出入口孔，使用汞浦機注入修補材料，如圖 5.19。

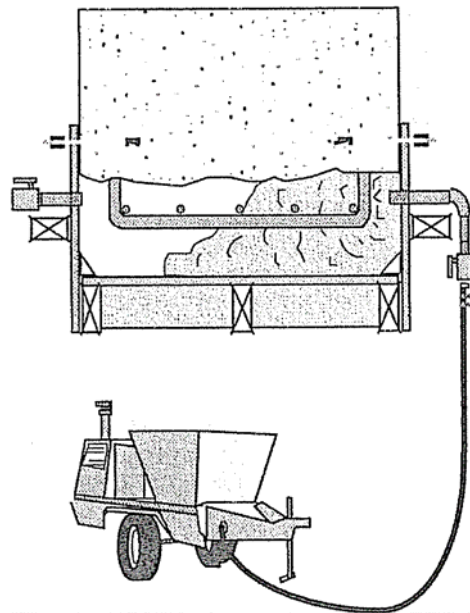


圖 5.19 汞浦機^[44]

6. 乾式噴凝土機：修補材料儲存於灌漿機內，水與修補材料交會於噴嘴處，在進行噴漿的動作，如圖 5.20。

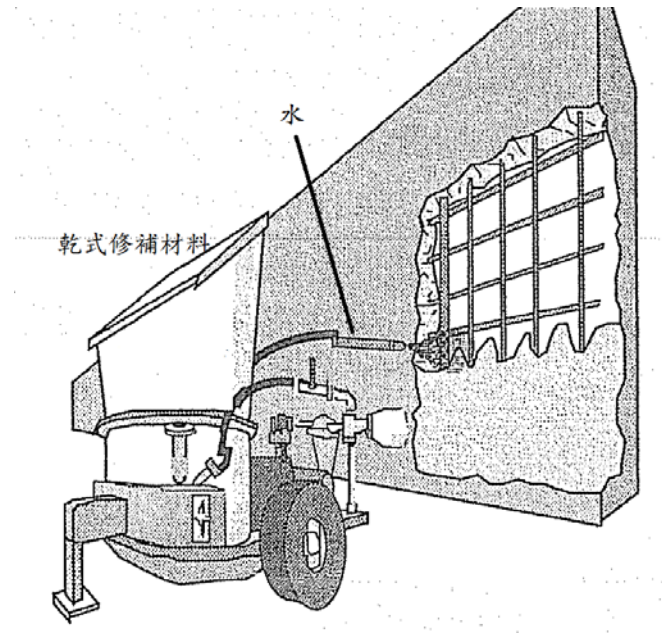


圖 5.20 乾式噴凝土機^[44]

7. 濕式噴凝土機：液態修補材料至於噴漿機內直接進行噴塗修補料的部分，如圖 5.21。

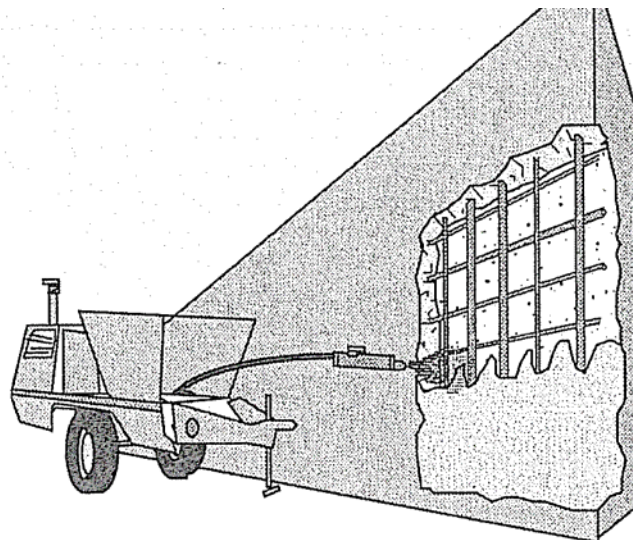


圖 5.21 濕式噴凝土機^[44]

8. 手工鏟抹：適用於較小範圍之修補區域，以鏟刀直接將修補材料填入待修補區域，如圖 5.22。

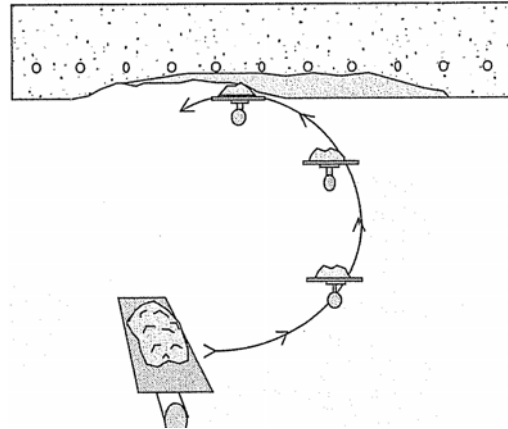


圖 5.22 手工鏟抹^[44]

5.2.4 保護系統

當採取修補或補強手段時，工程師可以在修補以外，另外考量採用額外的保護系統以使修補後的系統，面對嚴苛的環境作用下，不致於失敗。以下僅對保護系統的方法作一簡介：

1. 表面施作注入性材料(impregnation)：本法乃是在混凝土表面施作一層注入性材料，此等材料會滲入混凝土孔隙。此種材料有三類：
 - (1)撥水性材料(hydrophobic)
 - (2)部份充滿(partial filling)
 - (3)完全充滿 (filling)

這些材料會改變混凝土表面的行為，包括水蒸氣交換(vapor transmission)與液體吸收(liquid absorption)，常見使用此等保護系統的時機為針對氯鹽侵入問題、中性化問題以及凍融問題(freeze-thaw)。

2. 表面施作塗層(coating)：本法乃是在混凝土表面施作一層成膜材料，使之屏避有害因子之侵入。可採用的塗層材料分為有機材料與無機材料。這種方法主要是設計來控制水份吸收、水蒸氣交換以及有害氣體或液體透過表面進入混凝土內。常見之使用時機包括形成氯鹽與二氧化碳障壁、凍融效應保護以及抗化學侵入等。
3. 表面層(surfacing)：在混凝土表面加覆一層較厚之材料，以達保護目標。此種方法目的在改變水氣交換、液體吸收、改善化學物質劣化效應、表面逕流、能量吸收以及表面紋理問題。常見之應用包括路面版表面層、抗化學作用地板、中性化障壁等。使用此法時，應考慮基材開裂之反射效應(reflection of substrate cracking)。
4. 彈性膜(elastomeric membrane)：在混凝土表面施作一層具有彈性之物質。此等彈性膜可以是熱硬故液體(thermal setting liquid)、聚合物養護成形材料(polymer-cured material)。使用彈性膜最主要是為了使混凝土的透水現象降到最低，因此常被使用來做為防水材料。要注意彈性膜與塗層是不同的，因為彈性膜在受力狀況下較可以容許變形而不破壞。
5. 接縫填塞(joint sealing)：此法是在混凝土開口(opening)處以材料覆蓋或是填塞，以達到控制水份交換、能量吸收以及力的傳遞之目的。這種方法在大部份的應用例上要能夠吸收運動(movement)。
6. 澆注：將澆注材料注射進入混凝土內或是在構件周遭以達到防止水份侵入。澆注材料應當予以適當養護以使其硬故，此法主要目的在於堵注水之通路。
7. 以外加電流陰極防護法或是犧牲陽極法改變電化學環境：此法乃是運用電化學方式強迫鋼筋變為陰極，從而阻止鋼筋生銹。所使用的方法有外加電流陰極防護法以及犧牲陽極法。前者是使用一直流供電器，將鋼筋接於陰極，然後在混凝土外部鋪設陽極(鈦網或石墨材)接於陽極，如此鋼筋因電流方向被強迫成為陰極，達到保護目的。後者是使用活性大於鋼材之金屬材料以導線將它與鋼筋耦合，

如此較活性之金屬自然成為陽極，而鋼材則成為陰極。外加電流陰極防蝕法的初期安置成本較高，不過後期卻不必如犧牲陽極法需要定期更換犧牲陽極材料。

5.2.5 電化學復健工法(Electrochemical rehabilitation methods)

傳統修補的工法，大多是將已經劣化之混凝土敲除，然後再以修補材料填補，使之與既有材料間形成一複合材料體系。如果將混凝土結構比喻為人體，則此種方法就好比是開刀再縫合的外科手術。然而，對於某些劣化之混凝土，或許敲除並不是最好的方式。可以考慮採用非損傷性的復健工法將以經劣化之混凝土修復。目前最常見的復健工法是電化學復健工法，依其目的可以概分為以下幾類：

1. 電化學除鹽(Electrochemical chloride removal)^[47]：此工法是將鋼筋接於陰極，然後在混凝土表面佈設陽極。使用氫氧化鈣做為電解液，一方面可以增加電導度，另一方面可以降低氯離子離開混凝土後產生氯氣之濃度。選擇恰當之電流密度以及通電時間，則可以將鋼筋附近之氯離子驅離，以達到控制腐蝕之目的。
2. 再鹼化工法(Realkalisation method)^[48]：此工法一樣是將鋼筋將鋼筋接於陰極，然後在混凝土表面佈設陽極。一般使用碳酸氫鈉作為電解液，這是因為碳酸氫鈉進入混凝土內可以形成對爾後二氧化碳侵入時的陷阱(trap)，可以補捉二氧化碳。通電之後，在陰極(鋼筋)附近的電化學反應將產生大量的氫氧根離子，然後往外擴散，恢復混凝土內孔隙水溶液之鹼性。
3. 電化學沉積法(Electrochemical deposit method)^[49]：此工法將鋼筋接於陰極，然後在混凝土表面佈設陽極。使用二價金屬離子的溶液如氫氧化鈣、硫酸鋅，通電後二價金屬離子會因電場作用進入混凝土內。在電流密度越大的地方(有孔隙、裂縫等地方，因導電較好，電流密度會越大)則離子越多，最後會反應形成沉積物。鈣離子會形成碳酸鈣，鋅離子會形成氧化鋅，鎂離子則會形成氫氧化

鎂。沉積物可以堵塞混凝土內之缺陷，形成更密實之微觀結構，從而改善混凝土。此法已經被證實不但可以修補開裂到表面的裂縫，也可以用來修補內部缺陷。不過，此法在實務應用上，尚未有實際案例。

4. 電化學修補鹼骨材反應^[50]：此工法尚屬於實驗室階段。主要是先以電場將鋰離子趕入混凝土內，使之取代鈉與鉀離子，形成之膠體不具有吸水膨脹之特性，因此可以抑制鹼骨材反應繼續惡化。對於之前因為受到鹼骨材反應而產生的開裂若已經形成表面裂縫可以考慮使用傳統工法修補之，而對於僅有內部微裂縫產生時，則可以使用電化學沉積法修補之。

5.3 實驗計畫

5.3.1 實驗材料

試驗用材料包括水泥、水、高分子聚合物樹脂、滲透結晶材、粗細粒料、鋼筋等，其性質如下：

1. 水：自來水，符合中華民國國家標準(CNS)拌合水要求。
2. 海水：來源為基隆中正區濱海，含鹽含量 3.3%(重量百分比)，即為 0.56 mole/l 氯離子(體積莫耳濃度)。
3. 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)：外觀為牛乳狀液體，化學成分為苯乙烯-丁二烯樹脂(Styrene Butadiene Rubber)，有效故形成份佔 50%，黏度為 1000cps，比重為 1.00。
4. 液狀壓克力樹脂：採用液狀壓克力樹脂，型號為 SA。外觀為牛乳狀液體，化學成分為苯乙烯-丙烯酸樹(Styrene Acrylic resin)，有效故形成份佔 50%，黏度 1600 cps，比重 1.00。

5. 環氧樹脂 (主劑)：外觀透明液體，化學成分為環氧樹脂 (Epichlorohydrin-bisphenol A resin)，有效故形成份為 100%，黏度為 11000-15000 cps (Gardner)，比重為 1.15~1.18。
6. 環氧樹脂 (硬化劑)：外觀透明液體，化學成分為 Amid-amine resin (多胺聚醯胺樹脂)，有效故形成份佔 100%，黏度為 200-500 cps (Gardner)，比重為 1.0~1.05，建議用量主劑:硬化劑為 1:4~1:5。
7. 壓克力樹脂乾粉：採用 DM 200 樹脂乾粉，比重 1.4，建議用量為的水泥用量 3%~5%。
8. 水泥：採用臺灣水泥公司所生產的卜特蘭 Type I 水泥，其性質符合 CNS 61 第 I 型卜特蘭水泥之要求，卜特蘭水泥的物性及化性詳列於表 5-13 與表 5-14。

表 5-13 水泥 I 型之物理性質

項目		水泥 I 型
比重		3.15
細度(透氣儀試驗) m ² /kg		362
正常稠度用水量 %		25.8
假凝結 %		87.3
初凝 min		195
終凝 min		290
抗壓試驗 MPa (psi)	3 天	24.83
	7 天	40.69
	28 天	44.25
水泥砂漿空氣含量 (體積比)%		3.23

表 5-14 水泥 I 型之化學性質

項目		水泥 I 型
二氧化矽 (SiO ₂) %		21.04
氧化鋁 (Al ₂ O ₃) %		5.46
氧化鐵 (Fe ₂ O ₃) %		2.98
氧化鈣 (CaO) %		63.56
氧化鎂 (MgO) %		2.52
三氧化硫 (SO ₃) %		---
三氧化硫(SO ₃) %	C ₃ A ≤8%	-
	C ₃ A ≥8%	2.01
燒失量(L.O.I) %		1.38
不容殘渣%		0.1
有效鹼類		0.78
(Na ₂ +0.65K ₂ O) %		
氧化鈉 (Na ₂ O) %		0.32
氧化鉀 (K ₂ O) %		0.7
游離氧化鈣 (Free CaO) %		0.76
矽酸三鈣 (C ₃ S) %		49.08
矽酸二鈣 (C ₂ S) %		23.3
鋁酸三鈣 (C ₃ S) %		9.43
鋁鐵酸四鈣 (C ₄ AF) %		9.07

資料來源：臺灣水泥股份有限公司

9. 粗粒料：粗粒料最大粒徑為 20 mm，乾搗單位重 1540 kg/m^3 ，比重 2.6，吸水率 2%，篩分析結果如表 5-15 所示。

表 5-15 粗粒料篩分析

篩號	各篩停留量(g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%)	通過百分率(%)
1"	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	225	2.25	2.25	97.75
1/2"	2,185	21.85	24.10	75.90
3/8"	1,400	14.00	38.10	61.90
NO.4	5,075	50.75	88.85	11.15
底盤	1,110	11.10	99.95	0.05
	9,995	99.95	F.M	6.29

資料來源：本研究整理

粗粒料用量 10,000.0 (g)

10. 混凝土基材、純水泥砂漿用細粒料：天然河砂的細度模數為 1.99，比重為 2.25，吸水率 0.3%，篩分析結果如表 5-16 所示。

表 5-16 細粒料(天然河砂)篩分析

篩號	各篩停留量(g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%)	通過百分率(%)
NO.4	0.00	0.00	0.00	100.00
NO.8	20.40	1.36	1.36	98.64
NO.16	67.40	4.49	5.85	92.79
NO.30	257.80	17.19	23.04	79.96
NO.50	728.70	48.58	71.62	28.38
NO.100	381.40	25.43	97.05	2.95
底盤	43.20	2.88	99.93	0.07
	1,498.90		F.M	1.99

資料來源：本研究整理

細粒料用量 1,500 (g)

11. 修補用石英砂：採用石英砂，石英砂之細度模數為 0.84，比重為 2.27，吸水率 0.15 %，篩分析結果如表 5-17 所示。

表 5-17 細粒料(石英砂)篩分析

篩號	各篩停留量(g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%)	通過百分率(%)
NO.4	0	0	0	100
NO.8	0	0	0	100
NO.16	0	0	0	100
NO.30	0	0	0	100
NO.50	50.5	3.38	3.38	96.62
NO.100	1158.9	77.47	80.85	15.77
底盤	286.6	19.16	100	0
	1496		F.M	0.84

資料來源：本研究整理

細粒料用量 1,500 (g)

12. 鋼筋：採用#4 竹節鋼筋，降伏強度 583.5 MPa，極限強度 831.9 MPa。

5.3.2 實驗變數

修補材料選用依照環境、用途、實驗變數概分為三部分：

第一部分針對混凝土結構物受破壞所產生之小裂縫修補材料進行探討。定義小裂縫其寬度超過 0.2mm，0.4mm(含)以下之間，主要採用純水泥(砂)漿對應兩種水膠比(0.45 及 0.4)，以及環氧樹脂、壓克力樹脂改性水泥漿體、滲透結晶材水泥(砂)漿，進行注射修補作業之修補材料，檢驗其基本性質(黏結能力、抗壓能力、透水性等)。

第二部分針對混凝土結構物受破壞所產生之中裂縫之修補材料進行探討。定義中裂縫其寬度超過 0.4mm，0.8mm(含)以下之間，主要採用材料為壓克力樹脂水泥(砂)漿體、環氧樹脂(砂)漿體、SBR 水泥(砂)漿體、滲透結晶材水泥(砂)漿，進行注射修補作業之修補材料，檢驗

其基本性質(黏結能力、抗壓能力、透水性等)。

第三部分針對混凝土結構物受破壞所產生之大裂縫之修補材料進行探討。定義大裂縫其寬度超過 0.8mm，主要採用材料為壓克力樹脂水泥(砂)漿體、環氧樹脂(砂)漿體、SBR 水泥(砂)漿體、滲透結晶材水泥(砂)漿，進行灌漿修補作業之修補材料，檢驗其基本性質(黏結能力、抗壓能力、透水性等)。

5.3.2.1 修補材料所需檢驗之基本性質

修補材料之基本性質試驗見表 5-18。

表 5-18 修補材料基本性質試驗表

質系	材料	編號	斜剪法	乾縮	潛變	楊氏係數	溫度體積變化	抗壓強度	工作性	透水試驗	水中磨耗試驗	洛杉磯磨損試驗
水泥砂漿		1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
高分子樹脂漿體	環氧樹脂漿	2	◎		◎	◎	◎	◎	流度	◎		◎
	壓克力樹脂水泥漿	3	◎		◎	◎	◎	◎	流度	◎		◎
高分子改性水泥砂漿	環氧樹脂改性砂漿	4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
	壓克力樹脂砂漿(液狀)	5	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
	壓克力樹脂砂漿(乾粉狀)	6	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
	聚丁苯乙烯橡膠砂漿(SBR)	7	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
無機改性水泥砂漿	XYPEX ADMIX C1000	8	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎

5.3.2.2 配比設計

本部份針對戶外曝曬試體預期裂縫之尺寸，計劃所對應修補材料之配比設計。戶外曝曬試體之設計強度為 3000psi，故修補材料之強度應大於 3500psi；根據本團隊早先之研究資料顯示，修補用砂漿適用於 0.5mm 以下之裂縫，應用流度錐必須在 32 秒以下。中尺寸以上裂縫之補綴，如位置為底面，流度 250% 為佳，應用於牆面必須小於 100%，使用於頂面必須滿足不垂流特性。

本研究所列舉進行之修補材料是參考國內外文獻以及材料廠商建議進行配比，並拉大各類變數之級距進行試驗探討。選用材料原因，一般型水泥砂漿較其他修補材料成本低廉，環氧樹脂預期在各類力學性質表現上有良好表現。壓克力樹脂拌合完成後，形成薄膜界面，有良好之水分隔絕效果。聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)，在抗衝擊方面望有良好成果，滲透結晶材水化反應後，生長之結晶具有良好之隔水能力。故本團隊針對此研究挑選此 8 種材料。

1. 水泥砂漿配比設計：如表 5-19 所示。

表 5-19 水泥砂漿配比設計表

選用材料	水灰比	重量比 (水泥:砂)	取代後 水泥用量 (g)	一般砂 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
水泥砂漿	0.4	1:2.75	515	1416	206	100%	3000psi 以上
水泥砂漿	0.45	1:2.75	502	1381	226		

2. 滲透結晶材配比設計：如表 5-20 所示。

表=5-20 滲透結晶材配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水泥用量 (g)	一般砂 (g)	修補材料用量 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
ADMI X C1000	結晶滲透材料	0.5	2%水泥取代量	1 : 2.75	490	1375	10	250	100%	3000psi 以上
ADMI X C1000	結晶滲透材料	0.45	5%水泥取代量	1 : 2.75	475	1375	25	225		
ADMI X C1000	結晶滲透材料	0.45	2%水泥取代量	1 : 2.75	490	1375	10	225		

3. 壓克力樹脂砂漿配比設計：如表 5-21 與表 5-22 所示。

表 5-21 乾粉狀壓克力樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水泥用量 (g)	石英砂用量 (g)	修補材料用量 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:1	805	847	42	339	100%	3,000psi 以上
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:0.5	990	521	52	417		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	10%水泥取代量	1:1	749	832	83	333		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.5	5%水泥取代量	1:1	742	782	39	391		

表 5-22 液態狀壓克力樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水泥用量 (g)	石英砂用量 (g)	修補材料用量 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:1	805	847	82	297	100%	3,000psi 以上
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:0.5	990	521	102	365		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	10%水泥取代量	1:1	749	832	166	250		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.5	5%水泥取代量	1:1	742	782	78	352		

4. 壓克力樹脂水泥漿體配比設計：如表 5-23 所示。

表 5-23 壓克力樹脂水泥漿體配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	取代後水泥用量 (g)	修補材料用量 (g)	外加水 (g)	流度設計 (sec)	28 天強度設計 (psi)
SA	壓克力樹脂水泥漿	0.4	5%水泥取代量	2,850	150	1,200	流度錐 83sec 以下	3,000psi 以上
SA	壓克力樹脂水泥漿	0.4	10%水泥取代量	2,700	300	1,200		
SA	壓克力樹脂水泥漿	0.5	5%水泥取代量	2,850	150	15,00		

5. 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計：如表 5-24 所示。

表 5-24 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂(重量比)	取代後水泥用量(g)	石英砂用量(g)	修補材料用量(g)	水用量(g)	流度設計(%)	28 天強度設計(psi)
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:1	475	500	25	100	100%	3,000psi 以上
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:0.5	475	250	25	100		
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.2	10%水泥取代量	1:1	450	500	50	100		
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.3	5%水泥取代量	1:1	475	500	25	150		

6. 環氧樹脂砂漿配比設計：如表 5-25 所示。

表 5-25 環氧樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	樹脂:硬化劑	水泥:砂(重量比)	石英砂用量(g)	樹脂用量(g)	硬化劑用量(g)	流度設計(%)	28 天強度設計(psi)
裂縫修補劑	環氧樹脂砂漿	5:1	1:1	1,375	1,146	229	100%	3,000psi 以上
裂縫修補劑	環氧樹脂砂漿	5:1	1:0.5	1,375	1,146	229		
裂縫修補劑	環氧樹脂砂漿	4:1	1:1	1,375	1,100	275		

7. 環氧樹脂樹脂漿體配比設計：如表 5-26 所示。

表 5-26 環氧樹脂漿體配比設計表

選用材料	類型	樹脂:硬化劑	水泥:砂 (重量比)	樹脂用量 (g)	硬化劑 用量 (g)	28 天強 度設計 (psi)
裂縫修補 劑	環氧樹脂 + 硬化劑	5:1	1:1	2000	400	3,000psi 以上
裂縫修補 劑	環氧樹脂 + 硬化劑	4:1	1:1	2000	500	

5.3.2.3 戶外試體實驗變數以及對應之檢測項目

本部份針對各種環境變數製作戶外曝曬試體，使用前部分所提及之修補材料，對應裂縫尺寸寬度進行修補，並檢驗其非破壞、破壞性質。小中大尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃如圖 5.23、圖 5.24、圖 5.25 所示。自然預壓裂縫試體及外加電流裂縫補綴戶外曝曬試體規劃如圖 5.26、圖 5.27 所示，表中括號內之數字對應表 5-18，分別代表編號 1~8 之修補材料，以及 I、II、III、IV 質系區分預計項目。

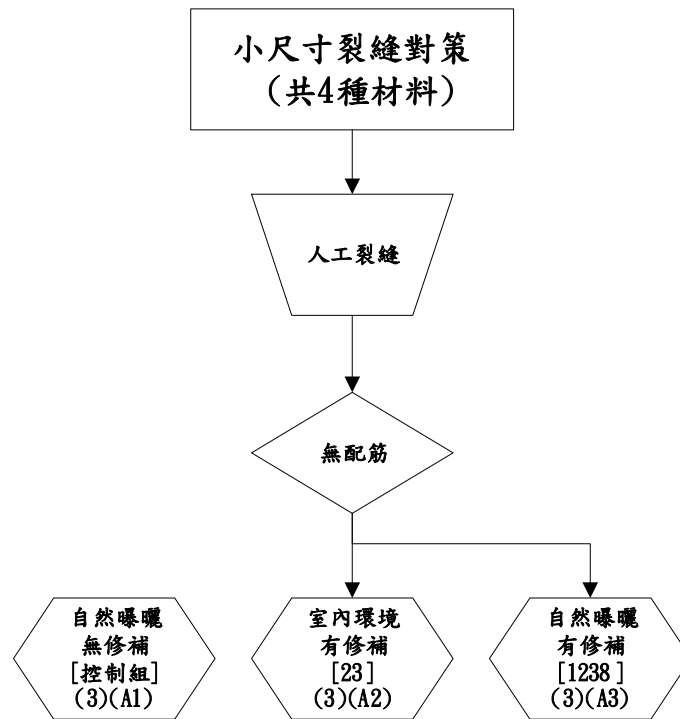


圖 5.23 小尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

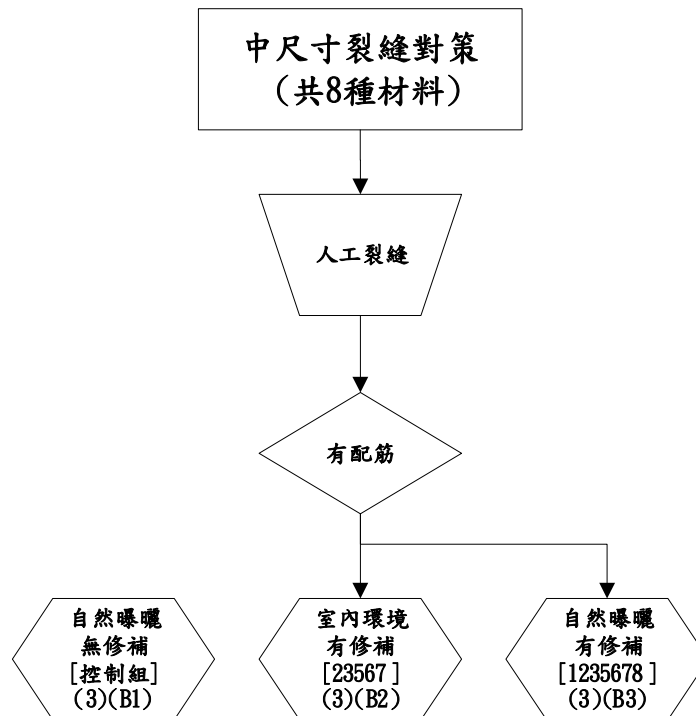


圖 5.24 中尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

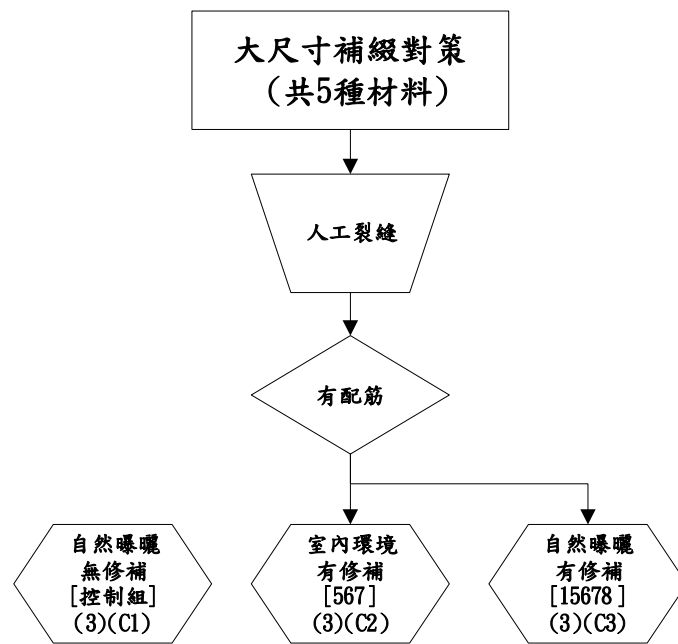


圖 5.25 大尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

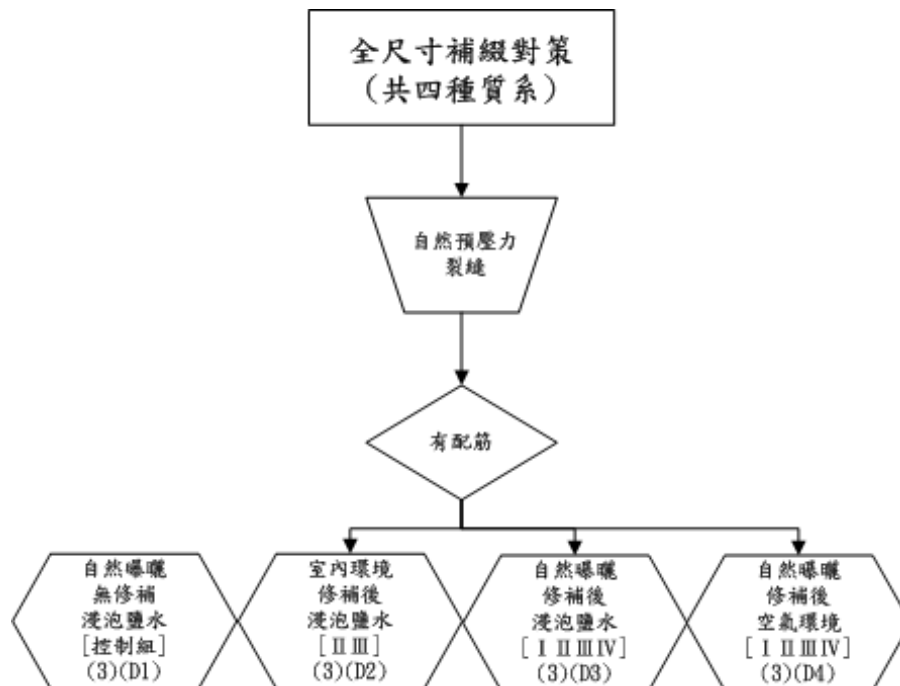


圖 5.26 自然預壓裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

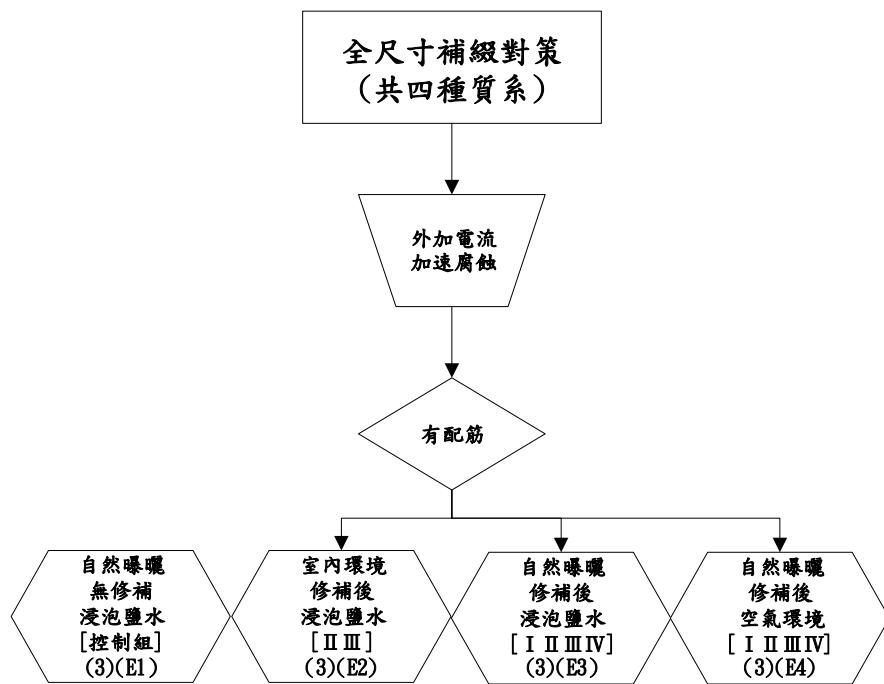


圖 5.27 外加電流加速腐蝕裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

1. 針對小尺寸人工裂縫試體預計數量：21
2. 針對中尺寸人工裂縫試體預計數量：39
3. 針對大尺寸人工裂縫試體預計數量：27
4. 針對自然預壓力裂縫試體預計數量：33
5. 針對外加電流加速腐蝕裂縫試體預計數量：33

共計：153

曝曬試體在曝曬齡期到達規畫之時間，將進行以下之非破壞檢驗，瞭解修補材料與基材的現況：

1. 局部混凝土強度 (反彈鎚)：全部組別
2. 抗腐蝕 (半電池電位及 GPM 瞬時腐蝕速率)：B1、B2、B3、C、D1、D2、D3、E、F1、F2、F3

3. 抗紫外線老化(以目視檢測是否有粉化、老化、褪色等現象)：組別包括 B3、C、D3、E、F3 (高分子材料)
4. 水密性 (以變水頭試驗瞭解修補部位的滲透性)：全部組別

曝曬試體在曝曬達 3 年後，將進行最終破壞試驗，其實驗項目包括：

1. 四點抗彎強度試驗：全部組別
2. 氯離子：全部組別

有關於戶外曝曬試體尺寸，敘述如下：欲進行曝曬之抗彎樑試體外觀尺寸規畫為 15cm x 15cm x 90cm，內容物鋼筋配置如圖 5.28 所示。鋼筋實際外觀如圖 5.29 所示。組合模板實際外觀如圖 5.30 所示。灌注混凝土組合模板設計如圖 5.31 所示。

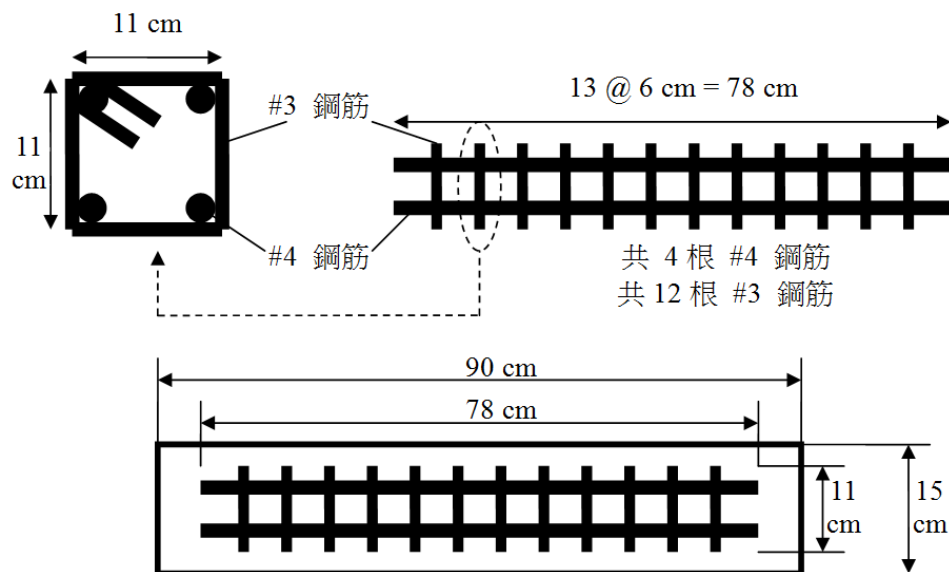


圖 5.28 戶外試體內內容物鋼筋配置



圖 5.29 內容物鋼筋外觀

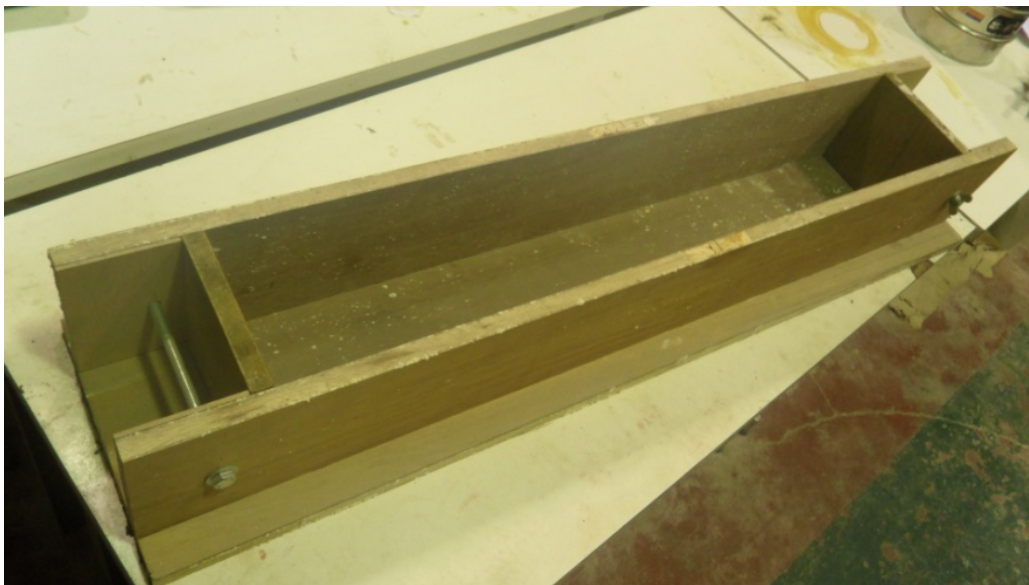


圖 5.30 混凝土組合模板外觀

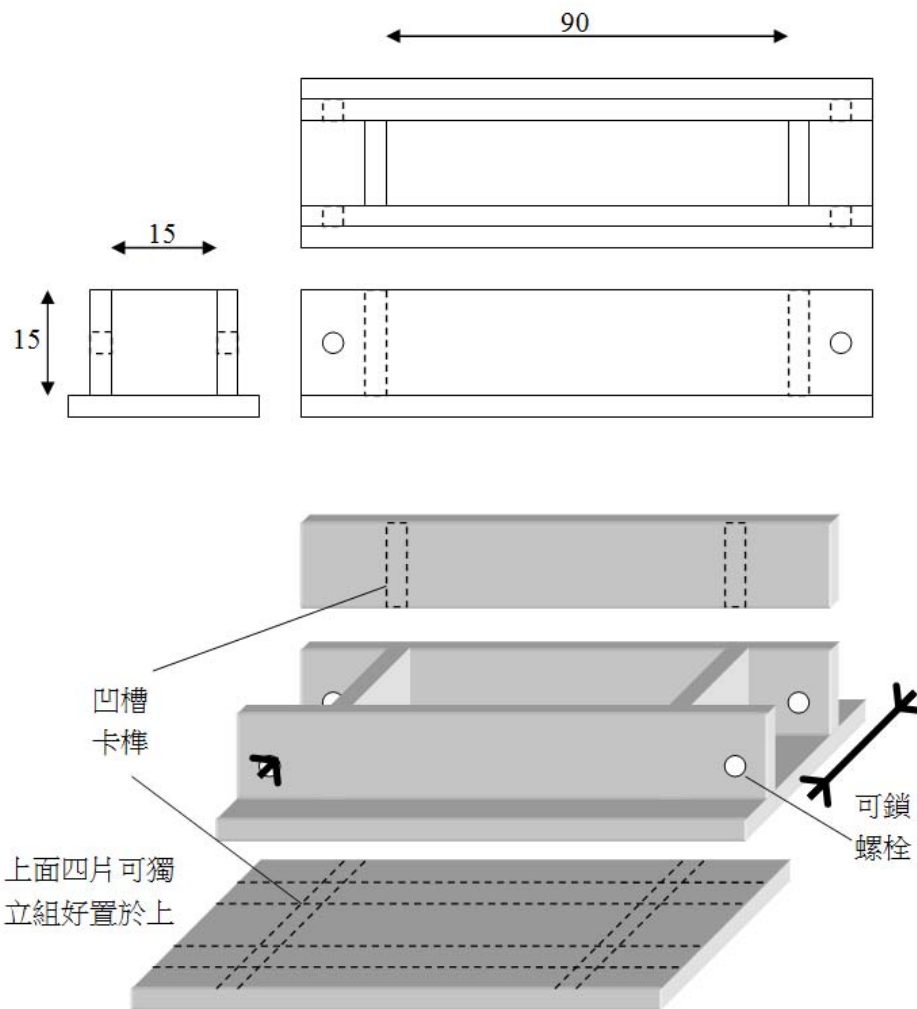


圖 5.31 混凝土組合模板設計

5.3.3 實驗設備

本章節主要介紹拌合設備，其餘設備將在 5.3.4 節試驗方法展示。

1. 修補用混凝土基座拌合流程

修補用抗彎樑使用強制雙軸式拌合機(如圖 5.32), 流程如下:

- (1) 乾拌粉料、粒料：將水泥、粗粒料、細粒料等乾料置於拌合機內，並計時 3 分鐘，乾拌使其均勻。
- (2) 加水拌合：目測乾料拌合均勻後，將拌合水延內壁緩緩加入拌合機，並計時 2 分鐘，濕拌至與水均勻混合。

(3) 完成拌合：目測濕拌均勻後，以強制式拌合機下方之閘門開口下料，即完成拌合。



圖 5.32 強制式雙軸式拌合機

本研究使用的強制式雙軸拌合機，建議一次最多拌合 0.6 立方米之總體積。本儀器在拌合時具有高度危險性，操作者在拌合時必須注意安全。

2. 非環氧樹脂修補材料拌合流程

非環氧樹脂材料使用小型拌合機（如圖 5.33），流程如下：

- (1) 乾拌粉料、粒料：將水泥、高分子聚合物乾粉樹脂、滲透結晶粉末、細粒料等乾料置於拌碗內，乾拌 3 分鐘使其均勻。
- (2) 加水拌合：目測乾料拌合均勻後，將拌合水、液狀樹脂緩緩加入拌碗中，並計時 2 分鐘濕拌使其均勻，即完成拌合。



圖 5.33 小型拌合機外觀圖

3. 環氧樹脂修補材料拌合流程

環氧樹脂材料拌合亦使用小型拌合機，拌合流程如下：

- (1) 混合環氧樹脂、細粒料：將環氧樹脂、細粒料置於拌碗內，拌合 5 分鐘使其均勻。
- (2) 加硬化劑拌合：目測上步驟拌合均勻後，將硬化劑緩緩加入拌碗中，並計時 2 分鐘拌合使其均勻，即完成拌合。使用至清洗完成必須在 30 分鐘內完成。

修補材料拌合、斜剪法之試體、乾縮試驗之試體、楊氏係數之試體，抗壓強度之試體、流度試驗、透水試驗之試體、水中磨耗試驗之試體，洛杉磯磨損試驗之試體，皆以小型拌合機拌合。修補用混凝土基座抗彎樑，以強制式拌合機拌合。

5.3.4 試驗方法

5.3.4.1 基本性質試驗

1. 斜剪試驗 (slant shear test)：

若是修補材為環氧樹脂類，採用 ASTM C 881、882、883、884 進行斜剪試驗。若為乳膠聚合材料，則採用 ASTM C1042、ASTM C1059 進行試驗。試驗如圖 5.34 所示。本試驗最主要是瞭解黏結強度(即修補材料與基材之間的結合狀況)。

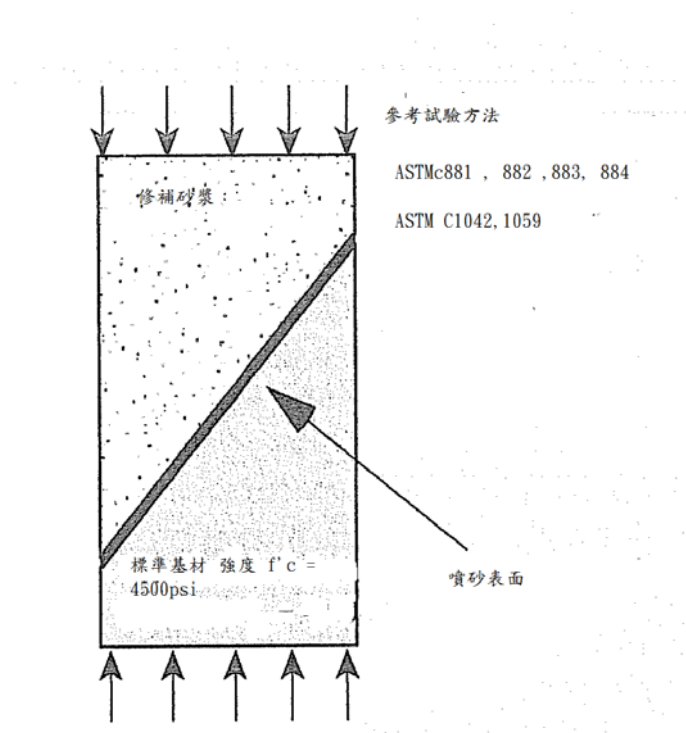


圖 5.34 斜剪試驗

- (1) 製作一設計強度至少 4500psi，切面尖角 30° ，水平夾角 60° 之混凝土基座，並經過標準養護 28 天達養護齡期後取出，放置空氣中 7 天自然風乾，並進行斜面噴砂處理，處理完畢後使用丙酮清潔傾斜面上多餘雜質。試體尺寸大小如圖 535 所示。

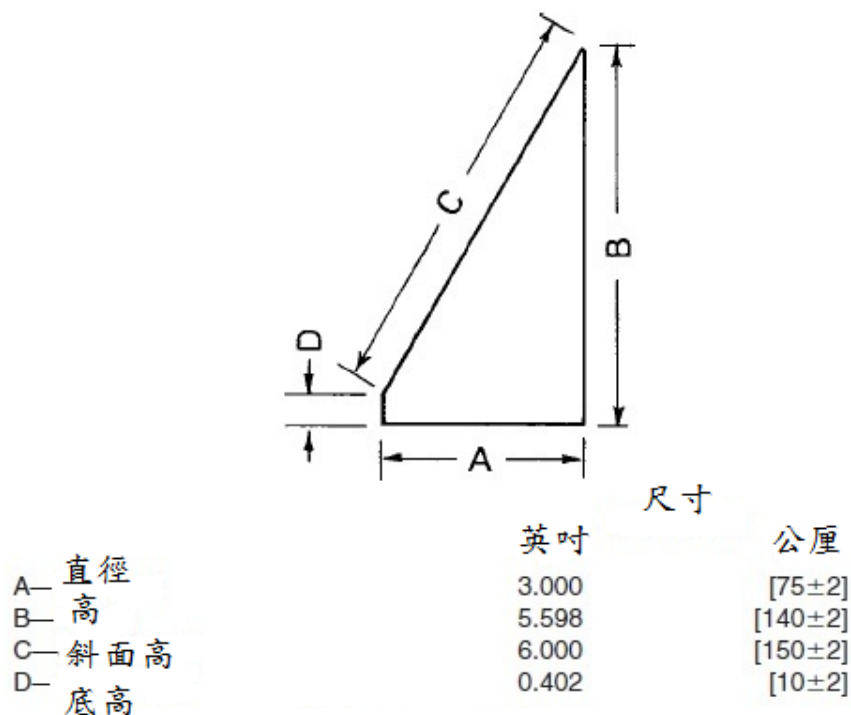


圖 5.35 斜剪試驗試體尺寸

- (2) 將基座置入紙模內，以修補材料分兩層，每層 25 下搗實之，並將頂面以保鮮膜封裝。
- (3) 24 小時後取出試體整體，並進行養護。
- (4) 達養護齡期後，將試體取出以 ASTM C39 規範進行混凝土標準抗壓試驗，記錄荷重讀數，進行換算，即為黏結強度。

2. 乾縮試驗 (drying shrinkage):

遵照 ASTM C596-09 規範進行乾縮試驗，瞭解膠體的乾縮潛勢，使用之模具與應變器如圖 5.36 所示。(本試驗可以瞭解體積穩定性)

製作試體尺寸 $285 \times 25 \times 25(\text{mm}^3)$ ，將試驗材料灌入模具內，於 24 小時 $\pm$ 30 分鐘時脫膜，如試體強度不足，則於 48 小時 $\pm$ 30 分鐘時脫膜。

- (1) 放置溫度 25°C 相對溼度 80 % 之恆溫恆濕櫃中養護 48 小時，如

脫膜試體齡期為 48 小時 ± 30 分鐘時，則養護 24 小時。

- (2) 試體齡期 72 小時 ± 30 分鐘時，將試體從恆溫恆濕櫃中取出立即量測試驗值。得試體初始長度。
- (3) 將試體放置空氣中，於第 4 天、第 11 天、第 18 天、第 25 天量測試驗值。經由換算可得乾燥收縮值。

計算公式如下：

$$L = \frac{L_x - L_i}{G} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (公式 5.3)$$

其中：

L：為齡期 x 時之長度變化（%）。

L_x ：試體於齡期 x 時之試驗值減去參考桿之試驗值（mm）。

L_i ：初始試驗值減去同時期參考桿之試驗值（mm）。

G：試體標距（mm）。



圖 5.36 乾縮模具與應變器

3. 彈性模數試驗 (elastic modulus test)：

遵照 ASTM C469 規範進行試驗，瞭解材料之彈性模數與波森比。(本試驗可以瞭解體積穩定性)

- (1) 在試體裝上壓力環（如圖 5.37 所示），置於萬能材料試驗機上試驗之，待試體破壞後，其最大荷重值為 fc' 。
- (2) 記錄抗壓強度為 $0.4 fc'$ 時的應變量和應變為 50×10^{-6} 時之壓力值，由此可計算出彈性模數值。

計算公式如下：

$$E_c = \frac{0.4 fc' - \sigma'}{\varepsilon_L - 50 \times 10^{-6}} \dots\dots\dots (公式 5.4)$$

E_c ：彈性模數

ε_L ：當 $\sigma' = 0.4 fc'$ 時相對應之軸向應變 (mm/mm)

σ' ：當 $\varepsilon_L = 50 \times 10^{-6}$ 時相對應之壓應力 (MPa)



圖 5.37 壓力環

4. 抗壓強度試驗 (compressive strength test)：

遵照 CNS1010 規範方式對各齡期材料之抗壓強度進行測試，瞭解強度發展。(本試驗可以瞭解強度發展)

- (1)於規定齡期自水槽中取出試體，拭乾表面並修飾之，使不致粘著任何砂粒或他物。
- (2)用直尺檢查是否平面，如有可見之曲度則應磨平或棄置不用。
- (3)置試體於萬能試驗機(如圖 5.38 所示)支座之中央，注意試體與儀器接觸之上下兩面不得使用墊板。
- (4)加負荷於試體上。在 20-80 秒內加至 3000 磅(13.3 KN) 負荷增加率於試體上。記錄其最大荷重值。
- (5)將最大荷重除以截面積，即得到抗壓強度。



圖 5.38 萬能試驗機

5. 水泥砂漿流動度試驗(flow table test)：

遵照 ASTM230-90 規範對各種配比之修補砂漿進行測試，瞭解水分含量、細粒料比例對工作性之影響。(本試驗可以瞭解修補

砂漿工作性)

- (1) 將流度台及流度模殼(如圖 5.39 所示)內層擦乾淨，並塗上一層油脂。將模殼置於流度台中央。
- (2) 依規範所定標準水泥砂漿之砂、水泥配比加入適當水量充份拌合之。
- (3) 將拌好之水泥砂漿分兩層倒入模殼內，且每層以搗棒搗實二十次，刮去多餘砂漿，將流度台上多餘水份擦淨，於搗實完成後一分鐘內將模垂直向上移開。
- (4) 轉動流度儀，控制流度儀於 15 秒內震動 25 次，每次落距 12.7mm(1/2in)。
- (5) 以每 60 度平分線之間隔量度流瀉後之砂漿直徑，其平均值，經公式 3-2 換算後即為流度值。

$$F = \frac{f_a - f}{f} \times 100\% \dots\dots\dots (公式 5.5)$$

其中：

F：經由換算取得之流度值（%）

f_a ：試體試驗後以每 60 度之間隔測量三次直徑之平均值（cm）

L_i ：殼膜之底部直徑值，即初始試體直徑（cm）



圖 5.39 流度台及流度模殼

6. 注漿流度試驗(Flow of Grout test)：

遵照 ASTM939 規範對各種配比之修補(砂)漿體進行測試，瞭解水分含量對工作性之影響。(本試驗可以瞭解注入修補(砂)漿體工作性)

- (1) 鋁製錐形桶尺寸：上部開口直徑 178mm，高 303mm，下部開口不銹鋼製直徑 12.7mm，錐形桶容量 $1725\text{ml} \pm 5\text{ml}$ (如圖 5.18 所示)。
- (2) 封住下漏頭，注入試體至錐形桶頂面，洽接觸上方容積度量器。
- (3) 測量整體流完時間，對應相對之流度值。



圖 5.40 注漿流度儀

7. 透水係數 (permeability test)：

本研究透水係數測定採定水頭測定法，試驗方法為參照日本道路協會「鋪裝試驗法便覽」規定。

- (1) 本儀器(圖 5.41 所示)為測定 $\Phi 10 \times 20\text{cm}$ 之圓柱試體之軸向透水

係數測定。



圖 5.41 定水頭透水係數測定儀

- (2) 首先以卡尺量測試體透水軸向長度 L 與透水面面積 A 後，將待測試體四周綑以不透水膠布並包覆一層熱縮袋，加熱使熱縮袋緊縮，再將試體置入透水儀器鐵模內，並在試體頂部與熱縮袋之間塗上凡士林，防止多餘的水進入試體與管壁之間造成試驗誤差。
- (3) 開啟水源並導入透水儀器，儀器上部有溢流口排除多餘的進水以保持一恆定水頭 H ，經過一段時間 Δt 後，下部有滲透水出水口利於蒐集滲透經過待測試體的滲透水，透水係數 K 即可以計算。

計算公式如下：

$$K = \frac{QL}{AH\Delta t} \dots\dots\dots (公式 5.6)$$

式中 K ：透水係數(cm/sec)

Q：流量(ml)

L：試體厚度(cm)

A：試體透水面面積(cm^2)

H：水頭高(cm)

$\Delta t = t_1 - t_0$ ：測定時間(sec)

8. 水中磨耗試驗 (Abrasion Resistance in Water Test):

遵照 ASTM C1138M-05 規範進行水中磨耗試驗，以瞭解修補後抗磨耗之能力，水中磨耗試驗機如圖 5.42 所示。(本試驗可以瞭解修補材料抗沖蝕能力)

- (1) 將 $\square 30 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 之圓柱試體，於室內常溫下完全進入飽和石灰水槽進行養護，使試體於試驗前達飽和狀態。
- (2) 達養護齡期，秤試體於面乾內飽和之空氣中重與水中重並記錄，以了解初始體積。
- (3) 將試體置入試驗桶槽，並以光滑之底面為被磨損面，放入故定大小與數目之鋼珠，加水至攪拌葉片頂端。
- (4) 啟動馬達驅使攪動葉片旋轉。每運轉 12 小時取出試體，量測磨耗後面乾內飽和之空氣中重與水中重並記錄；重複進行試驗 48 小時。
- (5) 根據本團隊以往實驗經驗，規範規定試驗時間至少 72 小時，而大部分試體於磨損 48 小時後已可看出趨勢；若趨勢不明者，需延長時間至 72 小時。

其計算方式如下：

求磨耗損失(Abrasion Loss)

- a. 試體磨耗後體積可利用阿基米德原理求得：

$$V_t = \frac{W_{air} - W_{water}}{G_w} \dots\dots\dots (公式 5.7)$$

式中， V_t ：試體磨耗後之體積(cm^3)

W_{air} ：試體於空氣中重量(g)

W_{water} ：試體於水中重量(g)

G_w ：水的比重

b. 試體磨耗後損失之體積：

$$V_{loss} = V_i - V_t$$

式中， V_{loss} ：t 時間後的磨損體積量(cm^3)

V_i ：試體最初體積(cm^3)

V_t ：試體磨耗後體積(cm^3)



圖 5.42 水中磨耗試驗機

9. 洛杉磯磨損試驗 (Los Angeles abrasion test)：

本試驗係參考 ASTM C131 及 CNS 490 洛杉磯磨損試驗法。
洛杉磯磨損試驗機如圖 5.43 所示。(本試驗可以瞭解抗磨損能力)

- (1) 先將同一配比之試體兩個分別作記號並秤重。
- (2) 把兩個試體與 12 顆磨球置入洛杉磯試驗機中，並以每分鐘 30 至 33 轉之轉速，共轉 500 轉，到達 500 轉後將試樣取出。
- (3) 以 4 號標準篩過之，再依記號分別量測其篩上之試樣重，即為磨損後試樣重。

磨損率之計算如下式：

$$\text{磨損率(\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{公式 5.8})$$

其中 A：磨損前試體重量(g) B：磨損後試體重量(g)



圖 5.43 洛杉磯磨損試驗機

5.3.4.2 戶外曝曬試驗

1. 非破壞檢測項目：

(1) 局部混凝土強度 (反彈鎚)

衝錘法(Rebound Hammer Method)又稱為反彈錘法，此法係由瑞士工程師 Schmidt 於 1948 年所研發出來的，為目前較常用於測定混凝土強度的表面硬度法。根據 CNS10732 每次試驗面積，採取 10 次試驗讀數，任何兩個撞擊點，均應相距 25mm 以上，撞擊後，檢視其撞痕，發現撞擊表面有破裂現象時，其讀數應作廢不計。操作步驟如下：

- 先鬆開測針。
- 雙手緊握反彈錘。
- 將測針以故定角度緊靠待測位置。
- 施力於反彈錘，待測針壓縮至底，即可得知試錘反彈數值。
- 依據實驗室自行進行反彈錘試驗結果，繪製成對照圖(如圖 5.44)，利用其回歸曲線，求出對應強度。

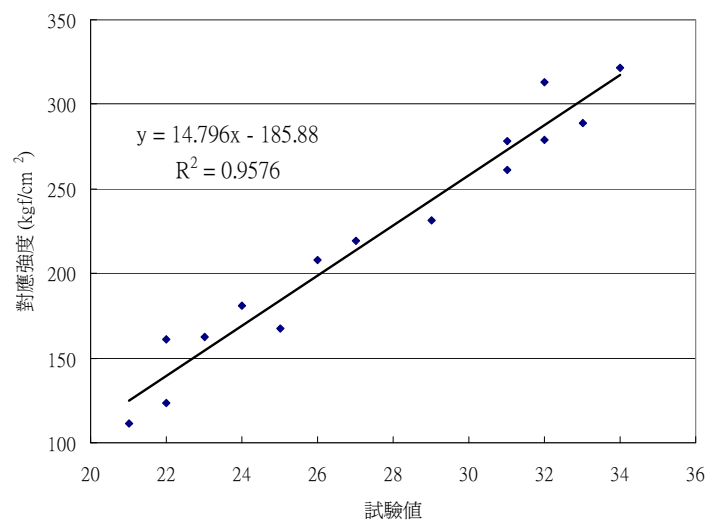


圖 5.44 反彈錘試驗數值-強度對照圖

本實驗使用之反彈錘如圖 5.45 所示，試錘本身主要是由圓形外管、活栓、衝錘、衝擊棒、主彈簧與反彈指示器等六部分所組成。



圖 5.45 混凝土強度反彈錘

(2) 半電池電位

半電池電位 (Half-Cell Potential) 試用使用銅/硫酸銅 (Cu/CuSO₄)。根據 ASTM C876 規定，當量測半電池電位到得到穩定的電位時，觀察五分鐘電位值不能跳動 $\pm 20\text{mV}$ 。當電位不隨著時間改變時視為達到鋼筋之平衡電位，即腐蝕電位，最後利用半電池電位來評估鋼筋之腐蝕機率。

半電池電位量測儀參考電極為銅/硫酸銅電極 (Cu/CuSO₄)，參考電極之硫酸銅溶液必須為過飽和，半電池電位量測儀之量測範圍為 $\pm 999\text{mV}$ 。半電池電位量測儀依照 ASTM C876 規範量測混凝土內鋼筋的腐蝕機率。



圖 5.46 半電池電位量測儀

(3) GPM 瞬時腐蝕速率

當一系統未加電流前之平衡電位為 E_{corr} (如圖 5.47)，外加一故定電流後，電流通過混凝土之電阻 R_s ，電位上升到 $I \cdot R_s$ ，之後電流經過鋼筋之極化電阻測得 $I \cdot R_p$ ，最終達到一平衡電位 U_{max} ，即可測得腐蝕電位、腐蝕電流及鋼筋與儀器探頭混凝土之電阻。其操作步驟如下：

- 將待測之位置表面先預濕。
- 接著使用導線連接手持式電腦(PSION)與裸露之鋼筋。
- 將探頭連接至 PSION。
- 設定 PSION 電腦內鋼筋參數。
- 開始量測 5~10 秒，即可得知鋼筋腐蝕電位、腐蝕電流及混凝土電阻。

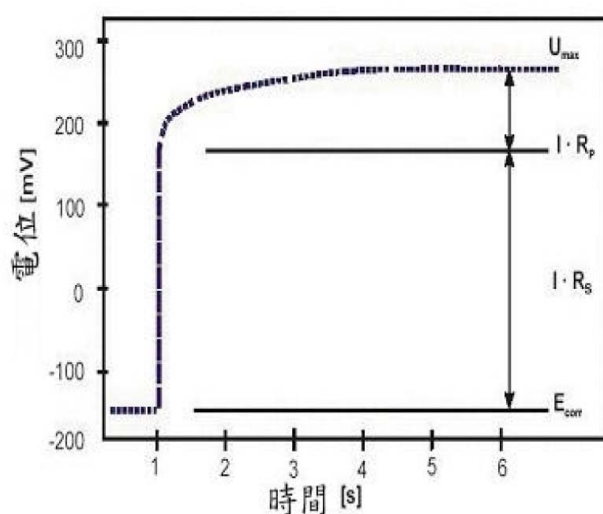


圖 5.47 平衡電位圖

其腐蝕電流密度與混凝土電阻值，依據儀器手冊內容，如表 5-27，開路電位依據 ASTM C876-91，如表 5-28，以判定腐蝕訊號量測結果。

表 5-27 GPM 儀器腐蝕電流密度與腐蝕狀態之關係

腐蝕電流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	混凝土電阻 ($\text{k}\Omega$)	鋼筋腐蝕狀況
<5	>4	鈍化狀態
5~20	1~4	低~中等腐蝕
>20	<1	高度腐蝕

表 5-28 腐蝕電位對於腐蝕機率判定表

參考電極 Cu/CuSO ₄ mV	參考電極 Ag/AgCl mV	腐蝕機率
> -200	> -80	< 10%
-200 ~ -350	-80 ~ -230	10~90%
< -350	< -230	> 90%

本實驗使用之腐蝕量測儀(恆電流脈衝式)應用於混凝土結構物內待測鋼筋之腐蝕電位與腐蝕速率量測以及求得電極與筋間混凝土的電阻。本儀器由 Germann Instruments 生產，型號為 GPM-5000 型。如圖 5.48 所示。



圖 5.48 腐蝕量測儀

(4) 抗紫外線老化

測定試體以拍照方式配合不同齡期呈現之。

(5) 水密性 (滲透性試驗)

本試驗是依據 JIS A 6909 之規定的方法進行滲透性試驗，試體靜置於室溫 14 天後，將試體水平放置，以樹脂類黏結材料將滲透性試驗器具黏結於試體上，靜置 48 小時以上待接著劑硬化後，於試驗器材注入 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 水頭高約 250 mm 的水，為避免蒸發所造成之誤差，注水後於玻璃管內滴入石蠟以避免蒸發，於 24 小時後再量測其水頭高，即可由下列式得到滲透係數 k ，透水試驗法如圖 5.49 所示。

$$k = \frac{aL}{A(t_1 - t_0)} \ln \frac{h_0}{h_1} \dots\dots\dots (公式 5.9)$$

上式中，滲透係數 k (cm/s)，玻璃管截面積 $a(\text{cm}^2)$ ，試體高 $L(\text{cm})$ ，漏斗截面積 $A(\text{cm}^2)$ ， t_0 時水位為 $h_0(\text{cm})$ ， t_1 時水位為 $h_1(\text{cm})$ 。

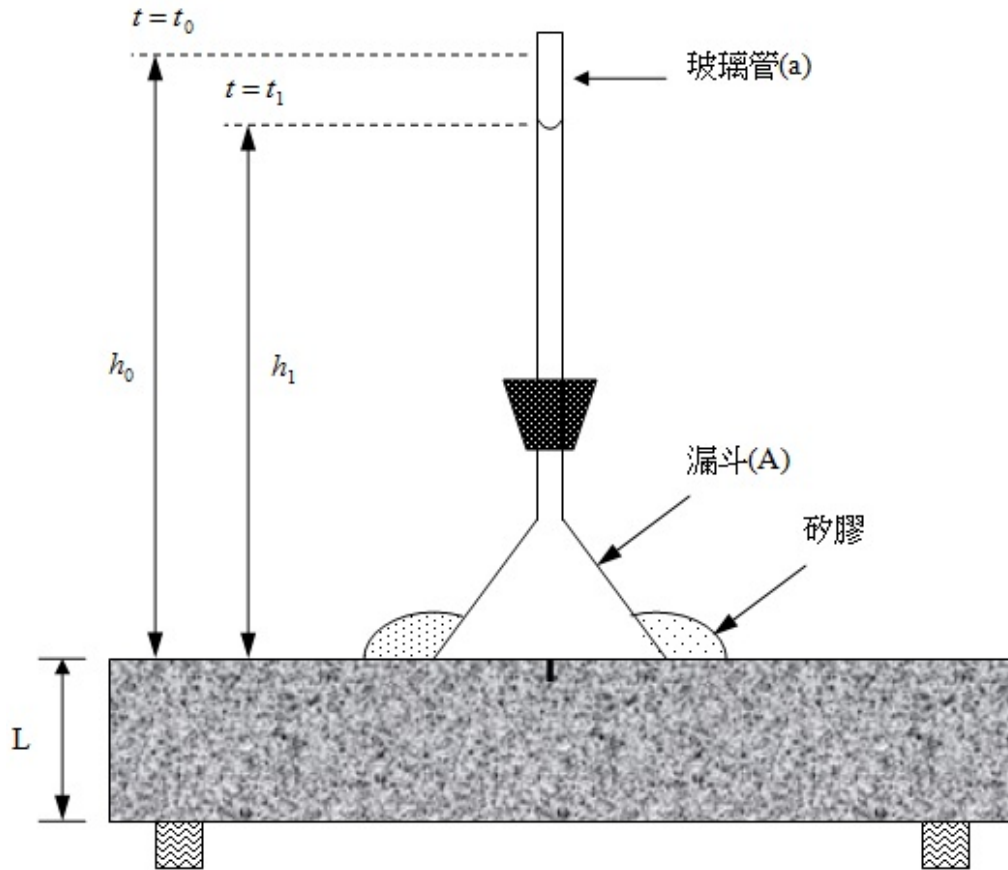


圖 5.49 透水試驗法

(6) 四極式電阻

本研究以試體養護 28 天後，將試體放置於不同濕度條件之恆溫恆濕櫃中，使用四極式電阻量測儀量測混凝土電阻係數及試體為面乾內飽和狀態之混凝土電阻係數。在量測時，四極式電阻量測儀之探針需先預濕及試體表面必須保持乾淨。四極式電阻係數量測如圖 5.50 所示。

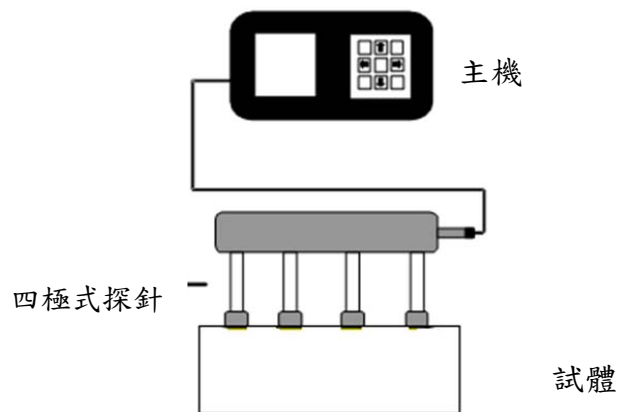


圖 5.50 混凝土電阻係數量測示意圖

本試驗所使用之混凝土四極式電阻量測儀為英國 CNS 公司製造，四極式電阻量測儀含顯示器及四針式感應計，顯示器數值顯示為六段式切換，量測範圍 0Ω 至 $99k\Omega \cdot \text{cm}$ ，精度為 $\pm 1\Omega \cdot \text{cm}$ 。量測混凝土之電阻值後，可對應其滲透性、電滲值，作為混凝土耐久性之評估。如圖 5.51 所示。



圖 5.51 四極式電阻量測儀

2. 最終破壞試驗項目

(1) 抗彎強度

最終破壞試驗之抗彎試驗遵照 CNS 1233 規範進行混凝土抗彎強度試驗法。

其操作步驟如下：

- a. 將試體置於承壓座上，並使施壓座(Load Applying Block)在兩支點之三分點處，與試體表面接觸。
- b. 載重可迅速加達破裂載重之一半，此後載重之增加率需使最外纖維應力之增加率維持在 861~1207 KPa/min，直到破裂為止，即完成抗彎試驗。

本研究中使用四點式抗彎求抗彎強度如圖 5.52，其四點式抗彎公式如下：

$$\sigma = \frac{3F(L - L_i)}{2bd^2} \dots\dots\dots (公式 5.10)$$

F：斷裂時之負載

L：外跨度之長度

b：試體寬度

d：試體厚度

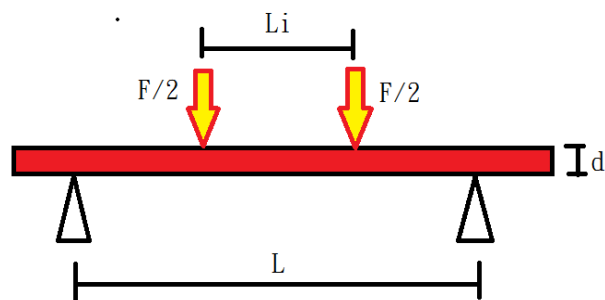


圖 5.52 四點式抗彎示意圖

(2) 氯離子濃度

氯離子含量之檢測係遵照 CNS 13407 規範，使用離子滴定儀，配合硝酸銀(AgNO_3)進行滴定，以量測混凝土中水溶性氯離子含量。

其中主要項目包括：

- a. 試樣準備。
- b. 硝酸銀溶液之配製與當量檢定。
- c. 混凝土之氯離子測定。

氯離子含量之滴定結果係參照規範 CNS 12891，如表 5-29，以判定其結構物是否已含過量的氯離子。

表 5-29 混凝土腐蝕防治最大氯離子含量規定

構件形式	最大水溶性氯離子含量 (依水溶法)
預力混凝土	0.15 kg/m^3
鋼筋混凝土 (所處環境須作耐久性者)*	0.3 kg/m^3
鋼筋混凝土 (一般)	0.6 kg/m^3

*：超過 0.3 kg/m^3 至 0.6 kg/m^3 時，鋼筋須做防銹處理

本實驗使用之氯離子含量試驗採用瑞士 Metrohm 公司生產之離子自動滴定儀，型號為 702。其功能包含氯離子、鈉鉀離子及 pH 值滴定。以上項目均由參考電極量測其反應之電位，再由所得之電位值推得出溶液內的離子含量。如圖 5.53 所示。



圖 5.53 離子自動滴定儀

5.4 實驗成果

5.4.1 曝曬場資料

5.3 節所規劃之曝曬試體擬定置放在國立臺灣海洋大學工學院校區，進行曝曬試驗。由於基隆濱海地區終日多雨潮濕，日照日數、雨量、濕度等資料與其他地區相差甚大，為日後研究需要，蒐集曝曬氣象資訊有其必要性。表 5-30 為基隆地區 2006-2020 年之平均每月氣溫、雨量、相對溼度、氣壓、降雨日數(降水日數定義為日雨量 ≥ 0.1 mm 之天數)及日照時數等氣象資料表，圖 5.54 至圖 5.59 為其統計圖。(資料來源：中央氣象局)

由資料可發現，基隆地區屬多雨，潮濕之地區。一年 12 月中降雨日數超過 15 天以上之月份共有 9 個月，在 4 月梅雨季節時，平均降雨量超過 500 mm，氣溫則高於 25 °C，是最潮濕炎熱之月份，此種天氣型態最易產生腐蝕。

表 5-30 基隆地區五年內(2006-2010)月平均氣象資料表

月份	氣溫	雨量	相對溼度	氣壓	降雨日數	日照時數
一月	16.2	413	81	1017.8	20	51.4
二月	16.9	298.3	81.8	1015.6	18	56.1
三月	18.4	237.4	77	1013.3	16.6	89.2
四月	21.1	226.8	75.4	1010.7	16.6	77.8
五月	25	239.6	73.4	1006.8	14.2	139
六月	27	369.9	76.6	1003.8	15.8	126
七月	30	71	73	1002.8	8.2	234.4
八月	29	200.2	75	1002.6	11.6	220.3
九月	27.4	544.8	77.2	1005.1	15.8	138.6
十月	24.3	379.4	78.4	1010.7	18.2	80.3
十一月	21.1	466.1	77.8	1014.5	19.4	54
十二月	17.8	237.2	74.4	1016.2	15.8	72.4
平均	22.8	307.0	76.8	1010.0	15.9	111.6

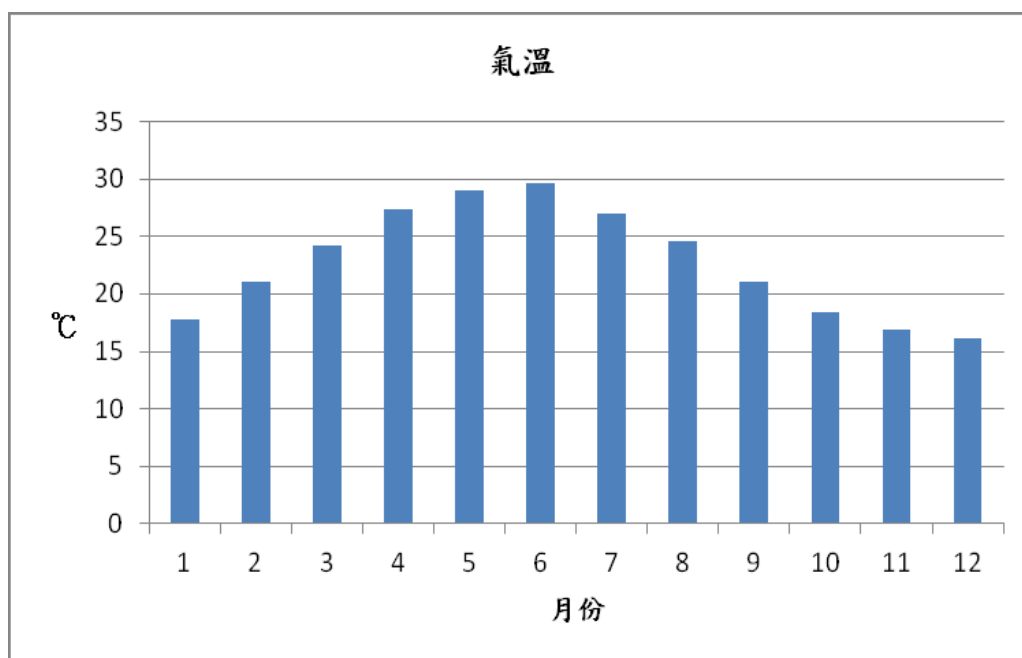


圖 5.54 基隆地區氣溫月平均圖

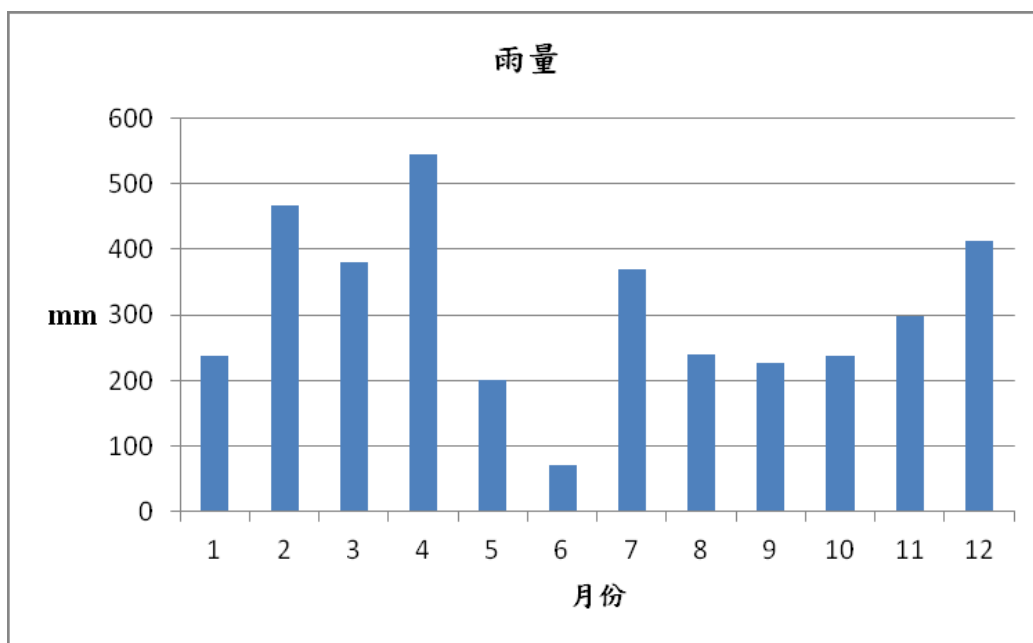


圖 5.55 基隆地區雨量月平均圖

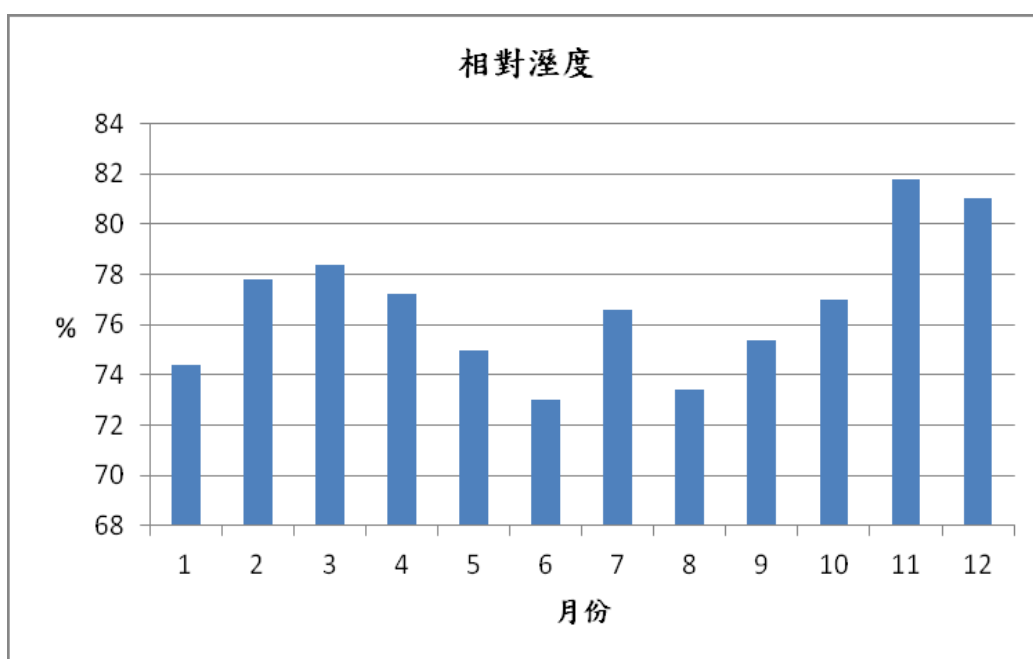


圖 5.56 基隆地區相對溼度月平均圖

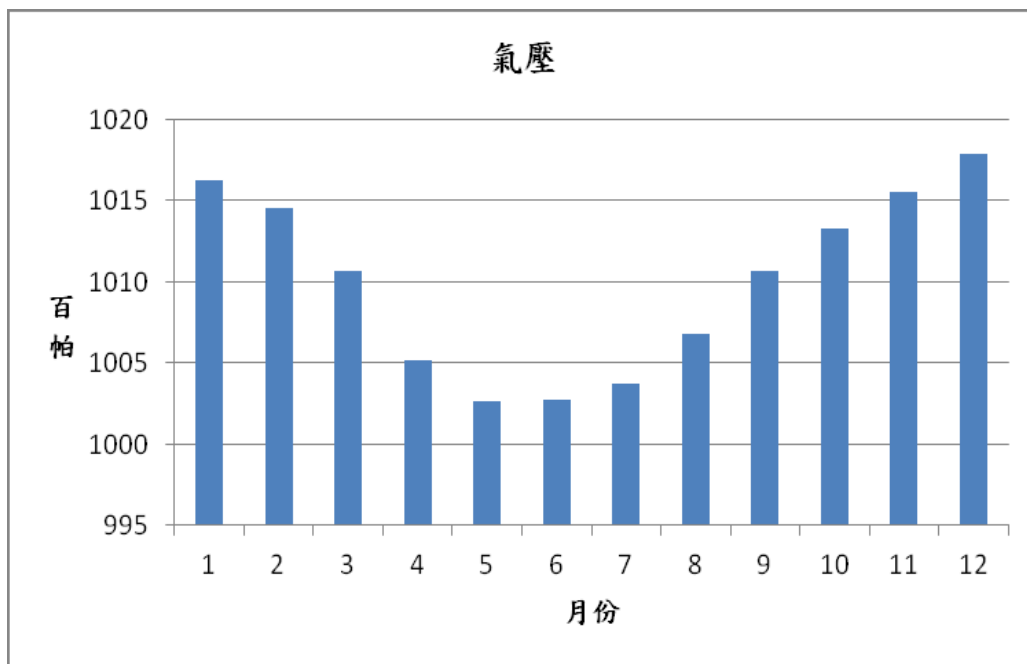


圖 5.57 基隆地區氣壓月平均圖

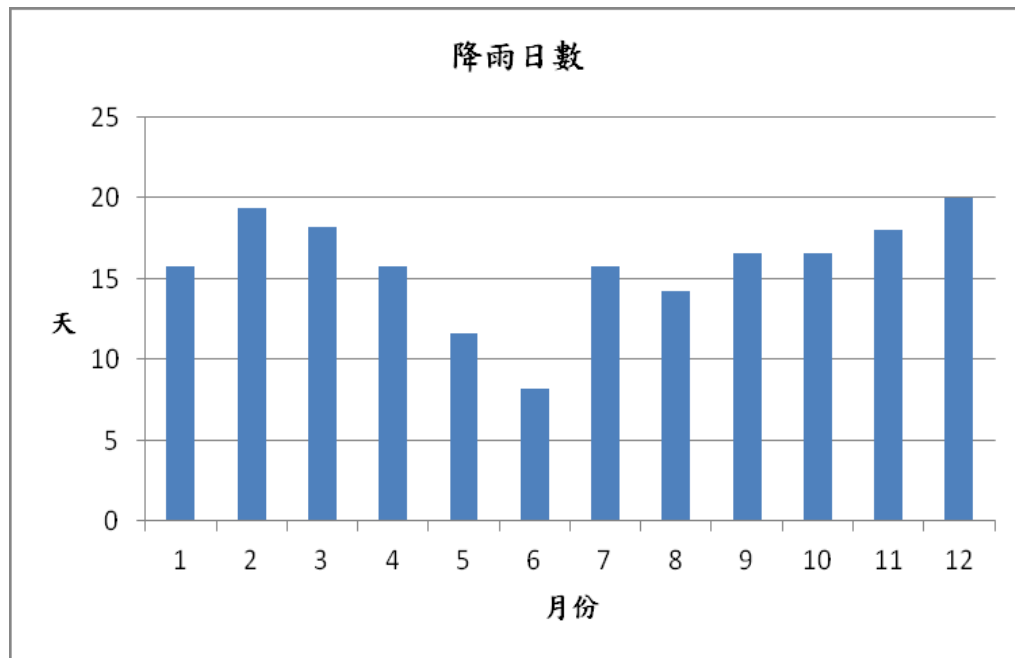


圖 5.58 基隆地區降雨日數月平均圖

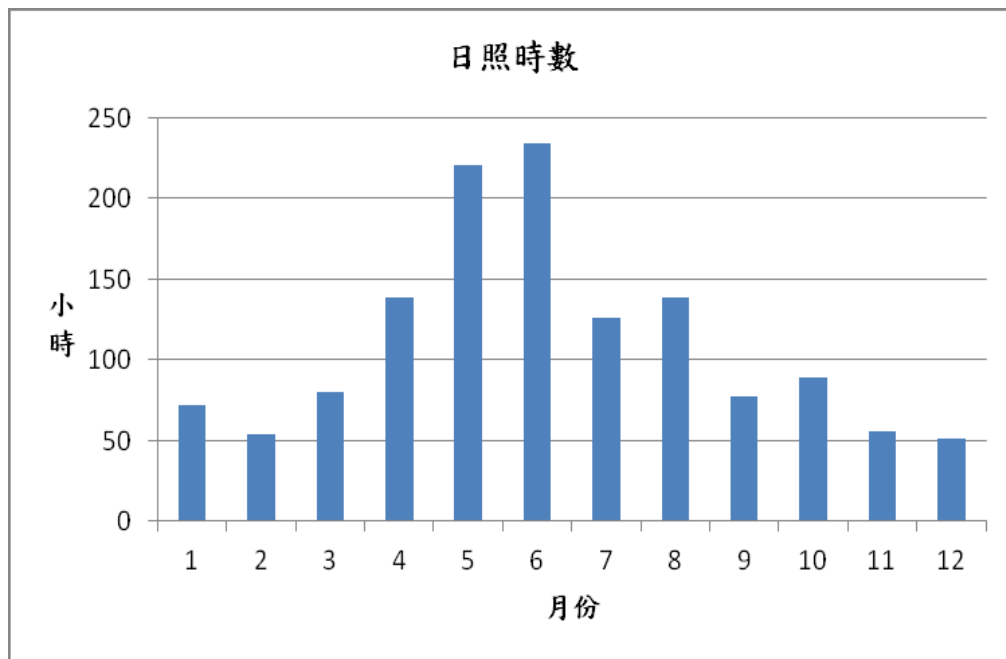


圖 5.59 基隆地區日照時數月平均圖

5.4.2 修補材料漿體基本性質

5.3 節實驗規畫表 5-18 中所提及之 8 種材料，其中漿體之部分，將在 5.4.2 小節，詳述基本性質之研究成果，包括：工作性、抗壓強度、黏結強度、乾縮、楊氏係數、透水性、水中磨耗、洛杉磯磨損等 8 種基本性質試驗，並初步討論其在力學性質表現上之性能差異。

1. 工作性試驗：修補材料漿體之工作性以通過注漿流度錐之秒數表現，時間越短代表此漿體流動性高。

由表 5-31 之結果得知，水灰比 0.4 之純水泥漿，及水灰比 0.4，5% 水泥取代量之壓克力樹脂改性水泥漿，在使用注漿流度錐測定流度時，工作性不佳；產生了嚴重泌水以及初凝堵塞之現象，未能完成實驗。故排除此兩組配比使用之可能性。由表中趨勢可見以壓克力樹脂取代部分水泥，會導致工作性下降。環氧樹脂之兩種配比工作性略同。

表 5-31 修補材料漿體工作性流度資料表

選用材料	純水 水泥漿	純水 水泥漿	壓克力樹 脂改性水 泥漿	壓克力樹 脂改性水 泥漿	壓克力樹 脂改性水 泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	無	5%	10%	5%	無	無
注漿流度時間	20 分 15 秒 (初凝)	17 秒	12 分 (初凝)	29 秒	25 秒	134 秒	135 秒

2. 抗壓強度試驗：修補材料漿體之 28 天抗壓強度，需高於戶外曝曬試體基座預計設計強度 21MPa (3000 psi)。

表 5-32 修補材料漿體 28 天抗壓強度資料表

選用材料	純水 水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹 脂改性水 泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
抗壓強度(psi)	7911	4289	4092	11699	12967
抗壓強度(MPa)	54.6	29.6	28	80.7	89.4

由表 5-32 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥大幅降低抗壓強度。相較水泥質系，環氧樹脂抗壓強度甚強，主劑比例升高，抗壓強度亦升高。

3. 斜剪試驗：本試驗可瞭解修補材料漿體與基材間之黏結強度，使用水平夾角 60° 混凝土圓柱基座，交界介面所能承受之應力越大，代表修補材料之黏結強度越高。

表 5-33 修補材料漿體黏結強度資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比	無	10%	5%	無	無
黏結強度(psi)	1143	593	651	2381	2472
黏結強度(MPa)	10	4.1	4.5	16.4	17

由表 5-33 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥大幅降低黏結強度。相較水泥質系，環氧樹脂黏結強度甚強，主劑比例升高，不僅抗壓強度升高，黏結強度亦升高。

4. 洛杉磯磨損試驗：修補材料漿體之抗磨損並製作圓柱試體，然後進行洛杉磯磨損試驗表現，磨損完畢殘餘質量越大，抗磨損能力越高。

由於純水泥漿體及環氧樹脂抗壓強度、但脆性也較高，經洛杉磯磨損試驗後產生部分碎片粒徑過大之現象，如圖 5.60，故應將碎裂解體之部分經過四號篩過濾後較能表現試體抗磨損趨勢。壓克力樹脂改性水泥漿試體磨損完畢如圖 5.61。



圖 5.60 環氧樹脂洛杉磯試驗後經過篩圖



圖 5.61 壓克力樹脂改性漿體洛杉磯磨損試驗剩餘質量圖

表 5-34 修補材料漿體磨損率資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
磨損率%	44.9%	32%	19.7%	12.7%	20.7%

由表 5-34 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥有效減少磨損率，提高耐磨性。相較水泥質系，若不論及脆性破壞，環氧樹脂在抗磨損能力也較高。主劑比例升高，抗磨損能力亦升高。

5. 透水係數：本試驗在瞭解修補材料漿體之透水係數，以瞭解其防漏能力，本試驗以定水頭透水試驗儀進行，單位時間所透過之水質量越大，防堵能力越低。

表 5-35 修補材料漿體資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
透水係數 cm/sec	0	0	0	0	0

經由實驗進行超過 72 小時，發覺所選用之修補材料並無透水現象，因此透水係數為 0cm/sec。因日本規範本是針對透水鋪面所制定故試體高度採 20cm，故針對不透水性材料應採取較低之試體高度。也藉此證明此類修補漿體具有一定程度之不透水性。

6. 彈性模數試驗：修補材料漿體之彈性模數為體積穩定性其一因素，其彈性模數數值越低表示此種材料受到載重，將產生較大應變。若修補材料本身彈性模數與基材相差較大時，會造成受到乘載時變形不一致之現象，因而在界面產生破壞。

表 5-36 修補材料漿體彈性模數資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
彈性模數 GPa	10.8	7	6.4	3.9	3.5

由於缺少粒料，修補材料漿體相較一般水泥砂漿、混凝土材料，彈性模數甚低。由表 5-36 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥具

減少彈性模數之趨勢。環氧樹脂，抗壓能力、抗磨耗、透水性、黏結強度雖強，但在彈性模數表現上相對較差。受到載重相同時，所產生之應變相對較大。

5.4.3 修補材料砂漿基本性質

5.3 節實驗規畫表 5-18 中所提及之 8 種材料，其中砂漿之部分，已在 5.4.2 小節，詳述基本性質之研究成果，如工作性、抗壓強度、黏結強度、乾縮、楊氏係數、透水性、水中磨耗、洛杉磯磨損等 8 種基本性質試驗，並初步討論其在力學性質表現上之性能差異。

環氧樹脂改性砂漿拌合過程中，環氧樹脂與細粒料攪拌產生大量氣泡，及環氧樹脂與粒料比重差異甚大，經 24 小時終凝後，出現嚴重析離現象，如圖 5.62 及圖 5.63，故排除此種材料使用之可能性。

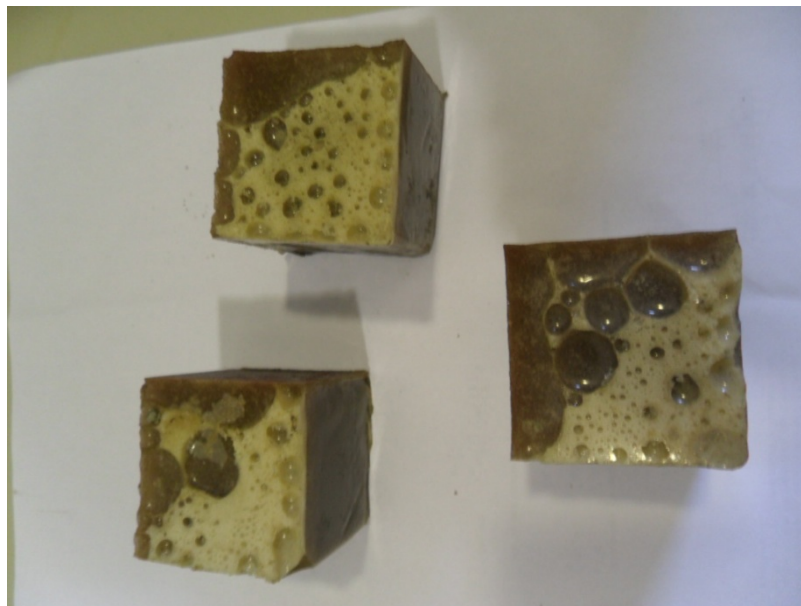
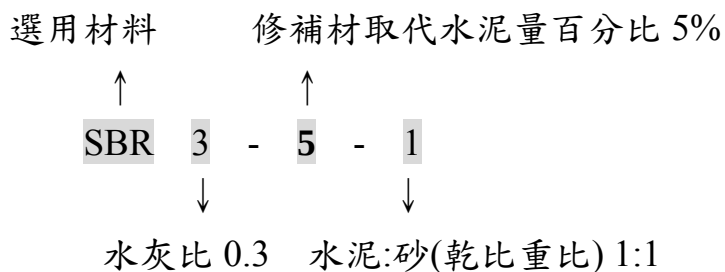


圖 5.62 環氧樹脂砂漿嚴重析離俯視圖



圖 5.63 環氧樹脂砂漿嚴重析離剖面圖

高分子改性水泥砂漿可再細分為乾粉及液態狀壓克力樹脂砂漿及聚丁苯橡膠樹脂砂漿以及作為對照的純水泥砂漿，其中以編號 SBR3-5-1 的聚丁苯橡膠樹脂砂漿配比做說明，因純水泥砂漿做為對照組僅有水灰比不同的區分，在編號上僅有選用材料與水灰比如 CM4(水泥砂漿水灰比 0.4)。



5.4.3.1 抗壓強度

本研究中所探討之抗壓強度試驗齡期皆為 28 天，抗壓強度試驗結果見表 5-37，可知純水泥砂漿之水灰比的提高會造成強度的降低。而聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿在 0.3 水灰比、修補材取代水泥量 5%及乾比重比(水泥:砂)為 1:1 時為整個抗壓強度中強度最高，水灰比調整為 0.35 時強度有明顯的下降的趨勢，而相同水灰比及修補材取代水泥量時調整為 1:0.5 乾比重比時強度也有小幅度的下滑，其中較為明顯的是聚丁

苯乙烯橡膠樹脂砂漿 0.3 水灰比、5%修補材水泥取代量、乾比重比 1:0.5 及聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿 0.3 水灰比、10%修補材水泥取代量、乾比重比 1:1 其他條件相同的情況下，將修補材取代水泥量從 5%提高到 10%時，其強度降低，降低的幅度更有著相近於一倍的差異。由配比設計時所知，SSA 為乾粉狀之壓克力樹脂砂漿、LSA 為液態狀壓克力樹脂砂漿，兩者的故形成份含量相同，在其配比條件相同下液態壓克力樹脂砂漿的強度皆比乾粉狀之壓克力樹脂砂漿強度高，與聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿較為不同的地方為 LSA、SSA 在其他條件相同的情況下，乾比重比 1:1 調整為 1:0.5 時的強度增加，其增加的幅度為 3 到 5 成與 SBR 的結果剛好相反。由表 5-31 之結果得知以滲透結晶材改性純水泥砂漿將小幅度降低抗壓強度，其強度趨勢主要還是由水灰比控制。

表 5-37 修補材料砂漿體之抗壓強度

編號	抗壓強度(MPa)	抗壓強度(psi)
CM4	51.8	7514
CM45	32.9	4770
SBR3-5-1	58.2	8444
SBR3-5-5	53.7	7782
SBR3-10-5	30.4	4403
SBR35-5-1	36.2	5234
LSA4-5-1	17.7	2563
LSA4-5-5	35.3	5115.
LSA4-10-1	20.4	2956
LSA5-5-1	29.7	4303
SSA4-5-1	31.0	4487
SSA4-5-5	41.7	6042
SSA4-10-1	23.0	3329
SSA5-5-1	30.2	4376
X5-2	24.2	3513
X45-5	28.6	4154
X45-2	28.3	4102

5.4.3.2 黏結強度

由表 5-38 可知純水泥砂漿水灰比的提高使得黏結能力的上升，而對聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿而言水灰比的提高也會使得黏結力的提高，在其他相同條件下修補材取代水泥百分比的提高，能夠提高其粘結能力，就整個試驗配比，聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿在 0.35 水灰比，5%的修補材水泥取代量及乾比重比 1:1 的情況下，其黏結力是最好的。液態壓克力樹脂砂漿就整體情況來說其黏結能力普遍高於乾粉狀壓克力樹脂砂漿。再由表 4-2 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比已進行反應，得到良好的黏結強度，及其良好之水泥取代百分比為 2~3%，過量取代將造成黏結強度降低。

表 5-38 修補材料砂漿體之黏結強度

試體編號	黏結強度(MPa)
Cm4	7.4
Cm45	7.6
SBR3-5-1	6.2
SBR3-5-5	4.7
SBR3-10-1	8.1
SBR35-5-1	8.5
LSA4-5-1	4.9
LSA4-5-5	4.5
LSA4-10-1	5.4
LSA5-5-1	5.1
SSA4-5-1	8.3
SSA4-5-5	8.2
SSA4-10-1	5.6
SSA5-5-1	5.3
X5-2	7.9
X45-5	4.1
X45-2	6.9

5.4.3.3 洛杉磯磨損率

依照表 4-10 可知在水泥砂漿的部分，水灰比的增加使得磨損率的增加，0.45 水灰比之水泥砂漿的磨損率為 28.46%比 0.4 水灰比之水泥砂漿高出 7.66%，而將水灰比從 0.3 提高到 0.35 的磨損率增加了 1.22%，而將修補材料取代水泥量從 5%提高到 10%的取代量也會使得磨損率的升高，這意指修補材料過多的取代水泥會使得材料本身的抗磨損能力降低。在壓克力樹脂砂漿的結果，將修補材料取代水泥量從 5%提升到 10%時，卻造成磨損率的降低，單就乾粉狀壓克力樹脂跟液態壓克力樹脂相比，其中以液態壓克力樹脂砂漿 10%修補材料取代水泥量之配比抗磨損能力最佳磨損率為 13.9%。同黏結強度，由表 4-3 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比進行反應，充分進行反應之滲透結晶材將提高其抗磨損性。滲透結晶材改性砂漿良好之水泥取代百分比為 2~3%，過量取代將造成抗磨損性下降降低。

表 5-39 修補材料砂漿體之磨損率

編號	磨損率 (%)	編號	磨損率 (%)
CM4	20.8	LSA5-5-1	19.3
CM45	28.5	SSA4-5-1	17.9
SBR3-5-1	19.9	SSA4-5-5	16.9
SBR3-5-5	22.4	SSA4-10-1	14.1
SBR3-10-5	27.0	SSA5-5-1	22.8
SBR35-5-1	21.1	X5-2	26.0
LSA4-5-1	20.6	X45-5	33.1
LSA4-5-5	17.7	X45-2	27.4
LSA4-10-1	13.9		

5.4.3.4 長度變化量

由表 5-40 及圖 5.64 到圖 5.68 顯示，聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿均有

著相類似的長度變化量，其中以乾粉狀壓克力樹脂砂漿 0.4 水灰比 5% 修補材取代水泥量及感比重比 1:1，以及相同配比之液態壓克力樹脂砂漿之長度變化量較大，可知增高水灰比及提高修補材取代水泥量可以降低其長度變化量。圖 5.68 趨勢顯示滲透結晶材，需要有足夠水灰比進行反應，良好反應可穩定體積變化，其水泥取代百分比為 2~3%，如過量取代，其體積穩定度將降低。

表 5-40 修補材料砂漿體之長度變化量

編號	4 天(%)	11 天(%)	18 天(%)	25 天(%)
CM4	-0.0080	-0.0216	-0.0256	-0.0288
CM45	-0.0096	-0.0368	-0.0416	-0.0416
SBR3-5-1	-0.0104	-0.0221	-0.0269	-0.0320
SBR3-5-5	-0.0331	-0.0608	-0.0739	-0.0835
SBR3-10-5	-0.0211	-0.0408	-0.0461	-0.0512
SBR35-5-1	-0.0256	-0.0488	-0.0548	-0.0604
LSA4-5-1	-0.0280	-0.0588	-0.0660	-0.0728
LSA4-5-5	-0.0420	-0.1076	-0.1240	-0.1392
LSA4-10-1	-0.0196	-0.0436	-0.0472	-0.0512
LSA5-5-1	-0.0360	-0.0685	-0.0787	-0.0856
SSA4-5-1	-0.0416	-0.0816	-0.1008	-0.1125
SSA4-5-5	-0.0301	-0.1165	-0.1624	-0.1803
SSA4-10-1	-0.0268	-0.0580	-0.0708	-0.0808
SSA5-5-1	-0.0261	-0.0680	-0.0824	-0.0952
X5-2	-0.0267	-0.0293	-0.0351	-0.0361
X45-5	-0.0438	-0.0564	-0.0568	-0.0600
X45-2	-0.0274	-0.0486	-0.0538	-0.0587

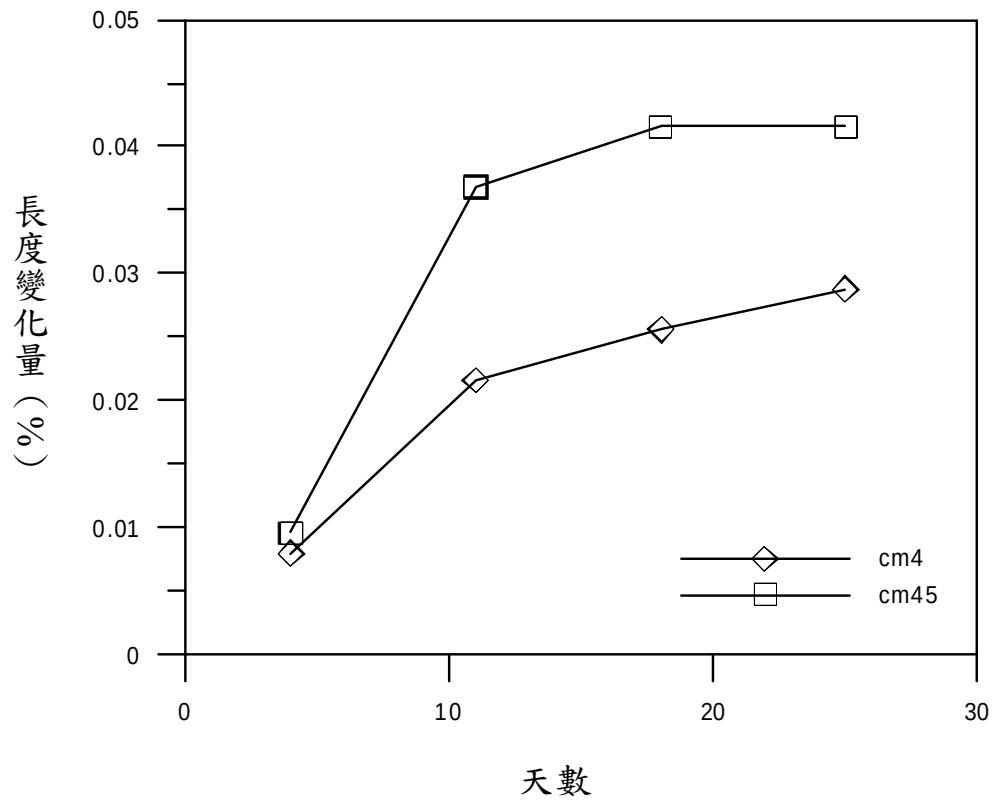


圖 5.64 水泥砂漿長度變化量

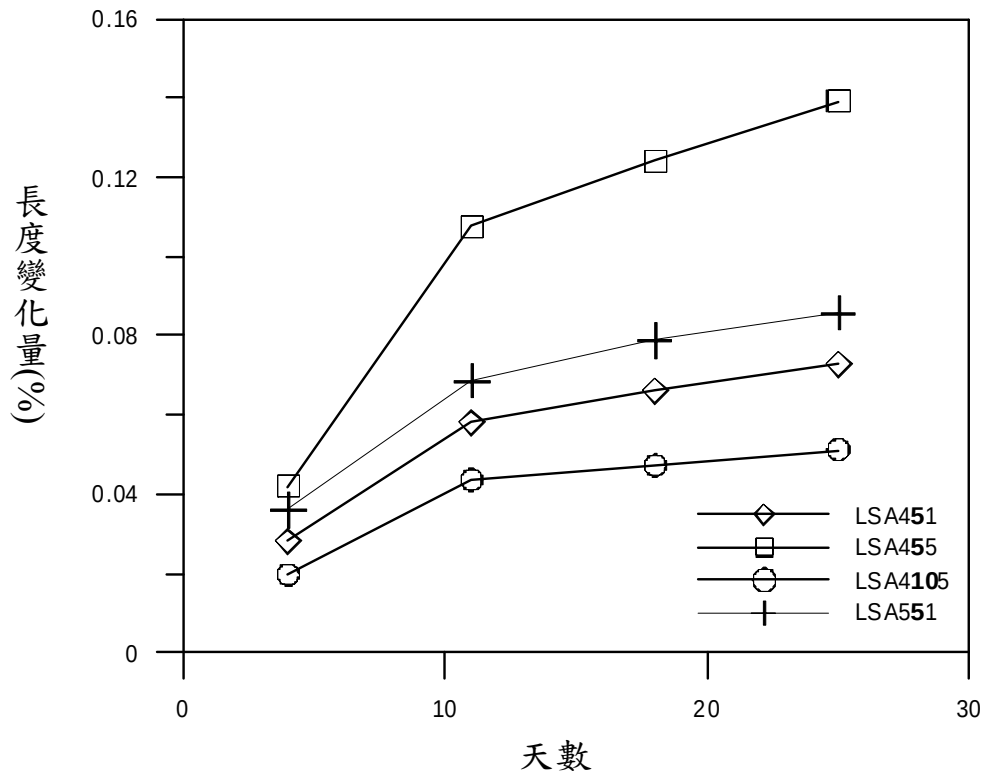


圖 5.65 聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿長度變化量

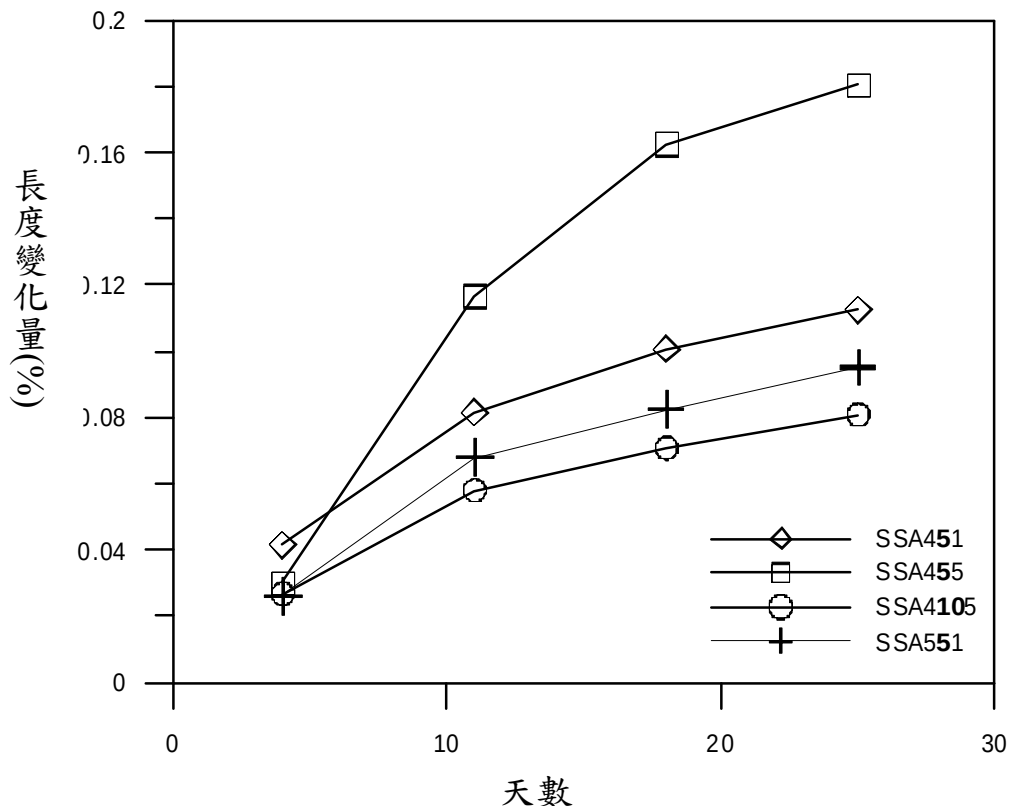


圖 5.66 液態壓克力樹脂砂漿長度變化量

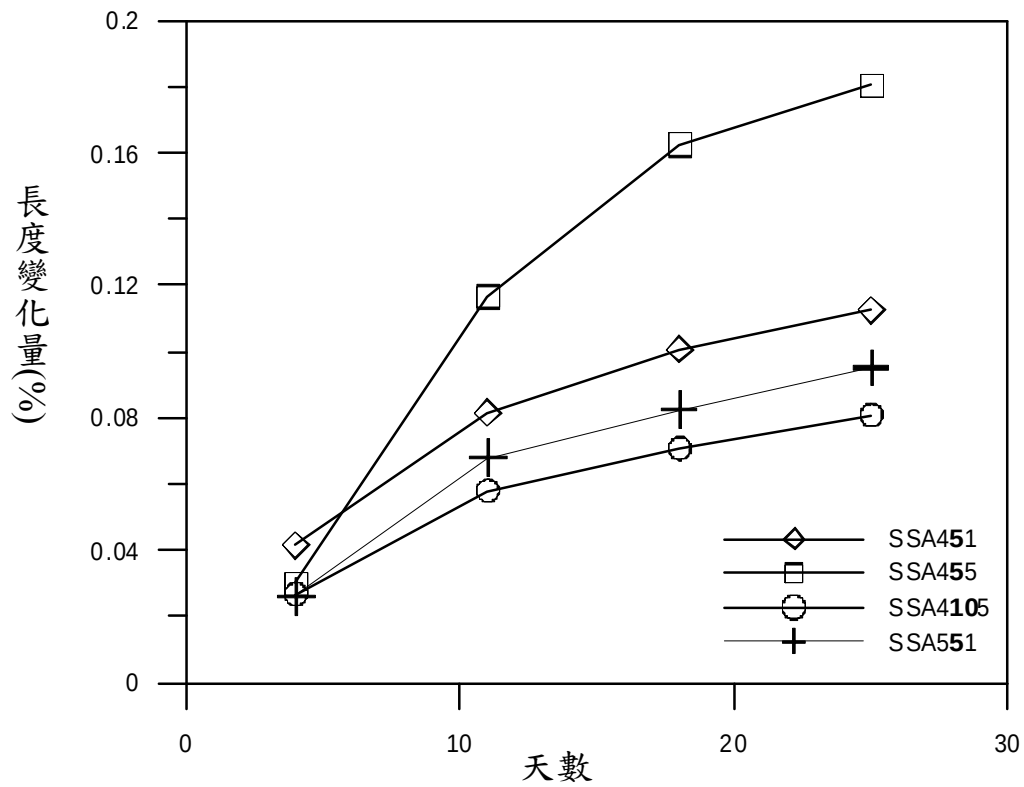


圖 5.67 乾粉狀壓克力樹脂砂漿長度變化量

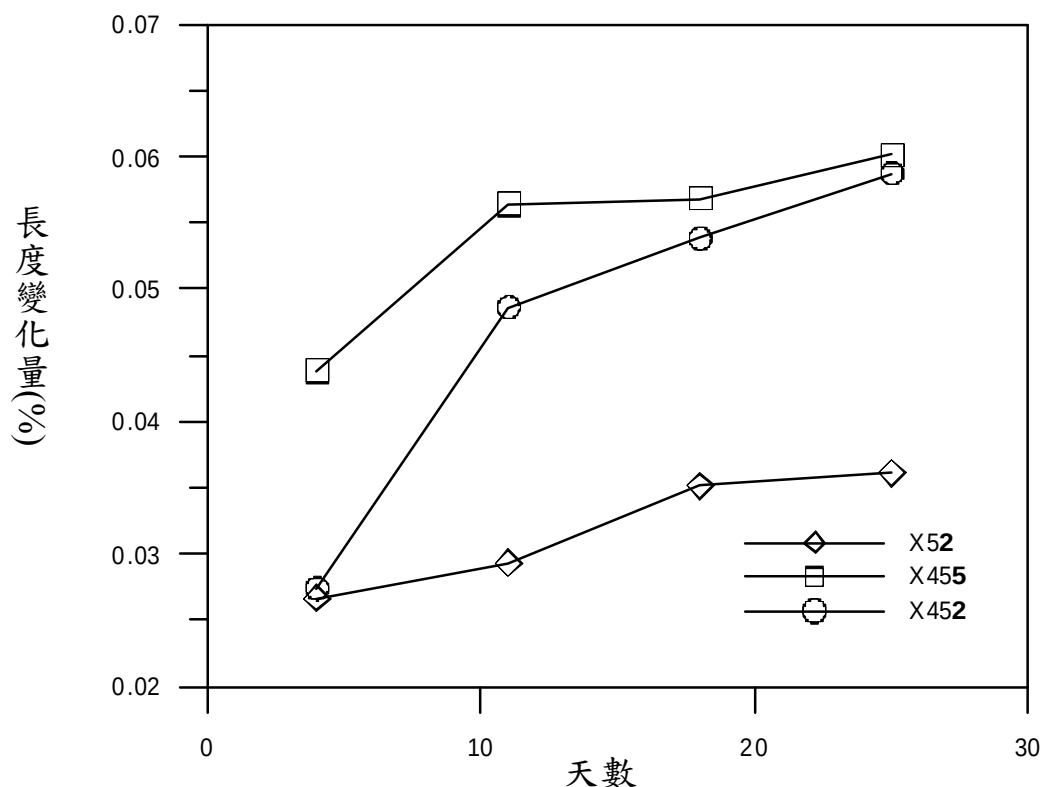


圖 5.68 滲透結晶材砂漿長度變化量

5.4.3.5 彈性模數

彈性模數為材料在彈性荷重範圍內抵抗變形之能力，由下表 5-41 可見 0.4 水灰比的水泥砂漿其彈性模數值有 16.3Gpa，比 0.45 水灰比之水泥砂漿高出 5.4 Gpa，而在聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿以 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1:1 下為最佳，而不管是增加水灰比或是改變乾比重比還是提高修補材取代水泥量都會使得彈性模數的值下降，而液態壓克力樹脂砂漿在改變乾比重比後，彈性模數下降，其餘皆為提高，而乾粉狀壓克力樹脂砂漿的結果與聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿趨勢類似。而對修補材料以壓克力樹脂砂漿而言，再提高了修補材取代水泥量之後，會使得材料變得更有彈性。而滲透結晶材改性水泥砂漿，能有效提高彈性模數，改善體積穩定性。

表 5-41 修補材料砂漿體之彈性模數

試體編號	彈性模數(Gpa)
CM4	16.3
CM45	10.9
SBR3-5-1	19.7
SBR3-5-5	15.8
SBR3-10-5	15.1
SBR35-5-1	15.2
LSA4-5-1	10.1
LSA4-5-5	12.1
LSA4-10-1	7.3
LSA5-5-1	13.0
SSA4-5-1	14.6
SSA4-5-5	11.6
SSA4-10-1	8.2
SSA5-5-1	13.0
X5-2	13.4
X45-5	12.3
X45-2	14.3

5.4.3.6 水泥砂漿流度

由表 5-42 可知，原始設計流度為 100%，其中水泥砂漿流度均低於設計流度，而在水泥中添加聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂將以部分取代水泥，在流度上較為符合原本之設計需求，除流度提高外在抗壓強度的部分並無降低的趨勢，而總觀壓克力樹脂砂漿的部分，液態壓克力樹脂外觀為濃稠乳白色液體狀，其故形成份為 50%，而乾粉狀壓克力樹脂加水為溶液後為保持其故型份 50%之溶液，但其外觀上較為像水之乳白色液體，在流度結果上液態壓克力樹脂砂漿流度皆低於乾粉狀壓克力樹脂砂漿可能是因為液態壓克力樹脂在成分上有添加特殊物質以保持一般在情況下並不會凝故。而在乾粉狀壓克力樹脂砂漿的部分流度皆超過其設計流度，更超過流度台最高為 150%之範圍，而在抗壓強度上表現也優於乾粉狀壓克力樹脂。

表 5-42 修補材料砂漿體之流度

編號	流度(%)	編號	流度(%)
CM4	72	CM45	80
SBR3-5-1	101	SBR3-5-5	90
SBR3-10-1	105	SBR35-5-1	103
LSA4-5-1	73	LSA4-5-5	76
LSA4-10-1	113	LSA5-5-1	108
SSA4-5-1	124	SSA4-5-5	超過 150
SSA4-10-1	超過 150	SSA5-5-1	超過 150
X5-2	125	X45-5	119
X45-2	118		

5.4.3.7 定水頭試驗

如表 5-43 顯示，水泥砂漿本身結構緊密，經 24 小時之定水頭試驗後觀察，並無水經試體流出，代表試驗所選定修補材料，本身應具有較佳之抗透水能力。但並不代表以此修補材料進行修補基材，其複合材料一定是不透水的。這是因為當以修補材料修補基材時，其透水能力主要視修補材料與基材黏結界面的好壞而定，如果界面無法有良好的黏結，則仍有可能有透水之可能。

表 5-43 修補材料砂漿體之透水係數 (cm/sec)

編號	透水率	編號	透水率
CM4	0	LSA5-5-1	0
CM45	0	SSA4-5-1	0
SBR3-5-1	0	SSA4-5-5	0
SBR3-5-5	0	SSA4-10-1	0
SBR3-10-1	0	SSA5-5-1	0
SBR35-5-1	0	X5-2	0
LSA4-5-1	0	X45-5	0
LSA4-5-5	0	X45-2	0
LSA4-10-1	0		

5.4.3.8 水中磨耗試驗

由表 5-44 中可知聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿在水灰比為 0.3、5%修補材取代水泥量、乾比重比為 1:0.5 時的磨損體積量最小只有 3cm³，而將水灰比提高到 0.35 時磨損量提高，而使用材料為乾粉狀壓克力樹脂砂漿時的體積磨損量均高於液態壓克力樹脂，其中以乾粉狀壓克力樹脂砂漿 0.5 水灰比磨損率最高為 105cm³。同洛杉磯磨損試驗，由表 4-8 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比進行反應，充分進行反應之滲透結晶材將提高其水中抗磨損性。

表 5-44 修補材料砂漿體之磨損體積量

編號	磨損體積量 (cm ³)	編號	磨損體積量 (cm ³)
CM4	86.5	LSA5-5-1	44.0
CM45	91.5	SSA4-5-1	78.5
SBR3-5-1	25.5	SSA4-5-5	88.0
SBR3-5-5	3.0	SSA4-10-1	95.0
SBR3-10-1	9.0	SSA5-5-1	105.0
SBR35-5-1	77.0	X5-2	68.7
LSA4-5-1	25.0	X45-5	144.3
LSA4-5-5	20.0	X45-2	279.0
LSA4-10-1	72.0		

5.4.4 戶外曝曬試體基座

5.4.4.1 戶外曝曬試體配比設計

曝曬試體由 ACI 211.1 的方法進行配比設計，預期設計強度為 21MPa (3000 psi)。配比設計結果如表 5-45 顯示，養護 28 天後強度結果如表 5-46 顯示。

表 5-45 戶外曝曬試體配比資料表

項目	水(Kg/m ³)	水泥(Kg/m ³)	粗粒料(Kg/m ³)	細粒料(Kg/m ³)
重量	15.76	31.37	82.63	47.04

表 5-46 戶外曝曬試 28 天強度資料表

試體編號	1	2	3	平均
28 天強度(MPa)	23.7	17.5	22.4	21.2
28 天強度(psi)	3437	2538	3249	3075

4.4.2 戶外曝曬試體裂縫製作過程

1. 小尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一等寬金屬銅惰性薄片，所製造裂縫尺寸為 0.4 cm(寬度) x 1 cm(深度) x 15 cm(長度)，待混凝土硬故後與模板一同拆除。
2. 中尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一等寬金屬銅惰性薄片，所製造裂縫時為 0.8 cm(寬度) x 3 cm(深度) x 15 cm (長度)，直到接觸正中央主筋，待混凝土硬故後與模板一同拆除。
3. 大尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一截面尺寸為 5 mm x 5 mm 正方形之惰性金屬銅條，深度為 3 cm，恰接觸正中央主筋，待混凝土硬故後與模板一同拆除。
4. 預壓力裂縫製造方法：將養護 28 天之混凝土基座試體置入萬能試驗機，進行 CNS1233 抗彎試驗，至試體表面破壞產生裂縫。

(1) 將試體置入抗彎底座上。

(2) 由定速 2 KN/s 增加其荷重達 70 KN 後減速至定速 1 KN/s。

- (3) 直至試體加載荷重達 120 KN 即完成。
 - (4) 由定速 1 KN/s 進行洩壓。
 - (5) 將試體取出，並使用裂縫量測卡測量表面產生裂縫之寬度，並畫記記號。
5. 外加電流加速腐蝕裂縫製造方法：將試體浸泡在天然海水當中，以外加電路通電加速腐蝕的方法，促使鏽化物膨脹撐裂混凝土表面，形成表面裂縫。

由於促使鏽化物膨脹撐裂混凝土產生裂縫所需時間過久，故統一通與定量電流 0.5 A/m^2 通電 48 小時，至試體表面流出鏽水止。並取出試體經由電鑽外力破壞試體正中央表面，須露出預設腐蝕之主筋，並產生一介面，供修補材料進行修補，如圖 5.69 所示。



圖 5.69 以電鑽破壞通電加速腐蝕試體圖

5.4.5 戶外試體實際修補結果

5.4.5.1 修補操作方法

1. 表面封層配合針筒注射修補工法

本研究對應中小尺寸、預壓力裂縫所使用之表面封層材料採用臺灣西卡股份有限公司，編號臨時密封條，變性矽力康。本工法操作步驟將於本小節詳述。完成之照片以及預留孔洞，如圖 5.70 所示。

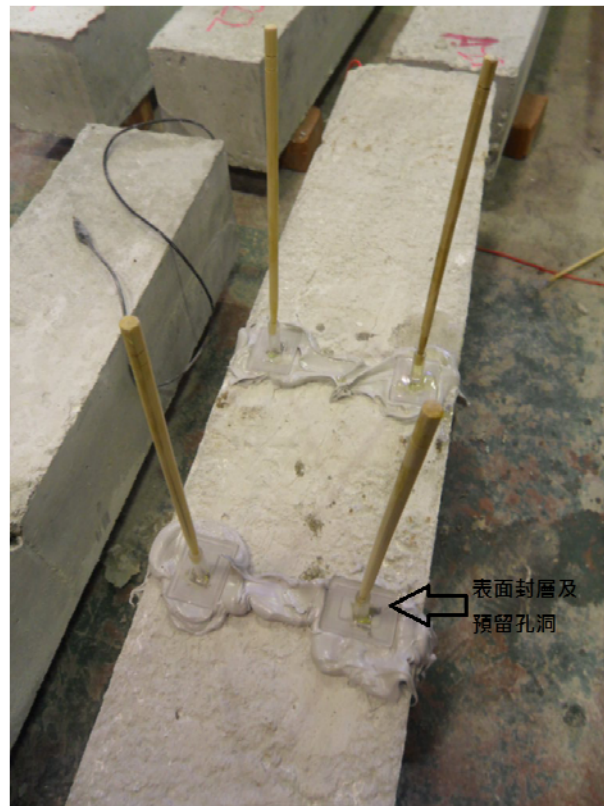


圖 5.70 以表面封層配合針筒注射修補工法完成圖

- (1) 將試體預製人工裂縫、預壓力裂縫表面處理至乾燥狀態。
- (2) 在試體頂端兩側分別預留孔洞，其餘使用變性矽力康表面封塗，並靜置 24 小時以上待其乾燥。
- (3) 24 小時後確認變性矽力康完全乾燥，由試體頂端其一預留孔洞注入修補材料，直到另一預留孔洞有修補材料流出。

(4) 使用塞蓋阻擋孔洞材料外流，本研究使用竹篾。

(5) 待修補材料硬故，將變性矽力康去除，完成本工法。

小裂縫使用表面封層配合針筒注射修補工法完成之材料組別為環氧樹脂漿體，中裂縫使用表面封層配合針筒注射修補工法完成之材料組別為環氧樹脂漿體、壓克力樹脂改性水泥漿體、預壓力裂縫使用表面封層配合針筒注射修補工法完成之材料組別為高分子樹脂漿體(環氧樹脂漿體)。

本研究所使用之變性矽力康表面封層材料之基礎物性化性如表 5-47。變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表如表 5-48

表 5-47 變性矽力康基礎物性化性表

試驗項目		測定值		試驗方法
比重		1.59±0.05		比重測定法
初凝時間 (分)	5℃	40±3		JIS A 1439
	23℃	10±3		JIS A 1439
黏結強度 (抗剝離強度)	混凝土表面	22.9(N/25mm)	2.3(kgf/25mm)	90 度剝離試驗法
	塗裝面	20.3(N/25mm)	2.0(kgf/25mm)	
	磁磚面	25.6(N/25mm)	2.5(kgf/25mm)	

表 5-48 變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表

溫度 表面特性	5℃	10℃	20℃	30℃
混凝土表面	24 小時以上		12 小時以上	
塗裝面	24 小時以上		12 小時以上	
磁磚面	48 小時以上		24 小時以上	

2. 修補材料表面塗封工法

本研究對應中小尺寸、預壓力裂縫對應表面封層配合針筒注射修補工法不適用之情況下，改用修補材料表面塗封工法。本工法操作步驟將於本小節詳述。完成之照片如圖 5.71

- (1) 將試體預製人工裂縫、預壓力產生裂縫表面處理至面乾狀態。
- (2) 將修補材料拌合均勻，不可有泌水、析離現象。
- (3) 使用軟刷漿試體裂縫部分塗上修補材料，並靜置 30 秒，待其材料流入裂縫內。
- (4) 繼續使用軟刷來回塗刷裂縫表層，直到均勻完成本工法。



圖 5.71 以修補材料表面塗封工法完成圖

小裂縫使用修補材料表面塗封工法完成之材料組別為一般水泥砂漿、壓克力樹脂漿體、滲透結晶材改性水泥砂漿，中裂縫使用表修補材料表面塗封工法完成之材料組別為一般水泥砂漿、乾粉狀壓克力改性水泥砂漿、液狀壓克力改性水泥砂漿、丁苯橡膠樹脂砂

漿(SBR) 改性水泥砂漿、滲透結晶材改性水泥砂漿，預壓力裂縫使用修補材料表面塗封工法完成之材料組別為水泥砂漿、高分子改性水泥砂漿(乾粉狀壓克力改性水泥砂漿)、滲透結晶材改性水泥砂漿。

3. 大面積修補材料填補工法

本研究對應大尺寸、外加電流加速腐蝕裂縫使用大面積修補材料填補工法。本工法操作步驟將於本小節詳述。完成之照片如圖 5.72 所示。

- (1) 將試體需補綴之表面經過電鑽打毛、擴洞處理。
- (2) 將試體裝置模板，故定欲修補之範圍，並維持介面面乾。
- (3) 將修補材料拌合均勻，不可有泌水、析離現象。
- (4) 將修補材料置入需補綴之介面，並使用搗棒搗實。
- (5) 將修補材料表面塗抹均勻，完成本工法。



圖 5.72 以大面積修補填補工法完成圖

大裂縫使用大面積修補填補工法完成之材料組別為一般水泥砂漿、乾粉狀壓克力改性水泥砂漿、液狀壓克力改性水泥砂漿、丁苯橡膠樹脂砂漿(SBR) 改性水泥砂漿、滲透結晶材改性水泥砂漿，外加電流加速腐蝕裂縫使用大面積修補填補工法完成之材料組別為水泥砂漿、高分子改性水泥砂漿(乾粉狀壓克力改性水泥砂漿)、滲透結晶材改性水泥砂漿。

5.4.5.2 戶外曝曬試體修補材料最終配比選擇

一般水泥漿體考慮工作性因素，採用水灰比 0.5 組別，壓克力樹脂由於實做戶外曝曬試體僅有一組能使用表面封層配合針筒注射工法，故採用水灰比 0.5、5%水泥取代量，環氧樹脂漿體經室內試驗驗證，主劑:硬化劑為 1:5 之組別相較 1:4 有良好的力學性質，但考慮實際工作性，1:5 之組別終凝時間較不固定，故選用 1:4，滲透結晶材經由室內基本試驗研究結果，滲透結晶材須有足量水分進行反應，故選用水灰比 0.5，2%水泥取代量之組別。本研究對應不同裂縫尺寸，選擇材料支配比資料表如表 5-49。

根據室內試驗之工作性以及戶外曝曬試體現場實際施工之可行性，此三種修補工法之簡易效益評估如表 5-50。

表 5-49 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
小尺寸	一般水泥砂漿	0.45 水灰比	修補材料表面塗封工法
小尺寸	環氧樹脂漿體	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射 修補工法
小尺寸	壓克力樹脂改性水泥 漿體	水灰比 0.5 水泥取代量 5%	修補材料表面塗封工法
小尺寸	滲透結晶材改性水泥 砂漿	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	修補材料表面塗封工法
中尺寸	一般水泥砂漿	0.45 水灰比	修補材料表面塗封工法

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
中尺寸	環氧樹脂漿體	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射 修補工法
中尺寸	壓克力樹脂改性水泥 漿體	水灰比 0.5 水泥取代量 5%	表面封層配合針筒注射 修補工法
中尺寸	液狀壓克力樹脂改性 水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5% 1:0.5 乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	乾粉狀壓克力樹脂改 性水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5% 1:0.5 乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	丁苯橡膠樹脂改性水 泥砂漿	水灰比 0.3 水泥取代量 5% 1:1 乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	滲透結晶材改性水泥 砂漿	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	修補材料表面塗封工法
大尺寸	一般水泥砂漿	0.45 水灰比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	液狀壓克力樹脂改性 水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5% 1:0.5 乾比重比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	乾粉狀壓克力樹脂改 性水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5%、 1:0.5 乾比重比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	丁苯橡膠樹脂改性水 泥砂漿	水灰比 0.3 水泥取代量 5%、1: 1 乾比重比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	滲透結晶材改性水泥 砂漿	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	大面積修補材料填補工 法
預壓力	I 水泥砂漿 (一般水泥砂漿)	0.45 水灰比	修補材料表面塗封工法
預壓力	II 高分子樹脂改性水 泥漿體(環氧樹脂漿體)	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射 修補工法
預壓力	III 高分子樹脂改性水	水灰比 0.4	修補材料表面塗封工法

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
	泥砂漿(液態壓克力樹脂改姓水泥砂漿)	水泥取代量 5%、 1:0.5 乾比重比	
預壓力	IV 無機改性水泥砂漿 (滲透結晶材改性水泥砂漿)	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	修補材料表面塗封工法
通電腐蝕	I 水泥砂漿(一般水泥砂漿)	0.45 水灰比	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	II 高分子樹脂改性水泥漿體(環氧樹脂漿體)	主劑:硬化劑 1:4	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	III 高分子樹脂改性水泥砂漿(液態壓克力樹脂改姓水泥砂漿)	水灰比 0.4 水泥取代量 5%、 1:0.5 乾比重比	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	IV 無機改性水泥砂漿 (滲透結晶材改性水泥砂漿)	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	大面積修補材料填補工法

表 5-50 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表

項目	優點	缺點
表面封層配合針筒注射修補工法	針對中小裂縫，此工法修補材料之填補深度、完全度較佳。	考慮部分材料工作性較差，無法經由針筒注射。亦或是本身就不適合進行小尺寸之裂縫修補之情形
修補材料表面塗封工法	此工法之工作性較無強烈需求，可對應大部分之情形。	使用此法修補材料自行滲入裂縫之深度較差，故針筒注射無法實行才考慮使用此方法。
大面積修補材料填補工法	此工法針是針對大面須灌漿，或是組裝模板之情形之補綴進行修補。	打毛、擴洞作業須統一，額外需要模板等，此工法較為複雜。

5.5 水下修補

5.5.1 簡介

本章內容係參考文獻^[51]編撰之。

在土木工程中，有關在空氣環境下的修補，較為熟知。而許多在空氣中修補的技術，只要稍做修改，就可以使用在水下修補。然而，在修補材料方面，在空氣環境下所使用之材料其水下的表現就未必理想。水泥質系的材料，會有受水沖刷失散的問題；，樹脂基材料卻會因與水混合後，造成黏結能力喪失的問題。

在進行水下修補設計與施作時，應該諮詢有經驗之專家。在還未開始現地施作前，最好先進行實驗室驗證，以保證使用之材料與工法是恰當的。如此可以避免錯誤，而使得整體修補成本劇增。

本章將由以下幾個面向來說明水下修補：

1. 到達水下修補區域之方法。
2. 混凝土與鋼筋的準備工作
3. 修補材料。
4. 混凝土水下修補工法。
5. 鋼筋的修復。

5.5.2 到達水下修補區域之方法

5.5.2.1 通則

很顯然地，在空氣中修補要比在水中修補來得有效率多。空氣中修補容許更完整的準備工作、更容易準備模板、更多材料的選擇以及更多工法上的選擇。除此之外，在空氣中修補容許修補專家接近修補

區域，反之在潮汐帶進行修補時，可以考慮使用快乾材料，在低潮位時進行修補。如果受潮浪所造成的損失是可以接受的，有些快乾的噴凝土可以在高低潮位間施做。

當修補區域處於水下時，有兩個方案可以選擇：其一是把水排出去，其二是在水中進行修補。幾種可以到達修補區域的方式將在以下的幾節中討論，並且圖列於圖 5.73 中。

在水下修補，只能讓潛水俠接進修補區域。

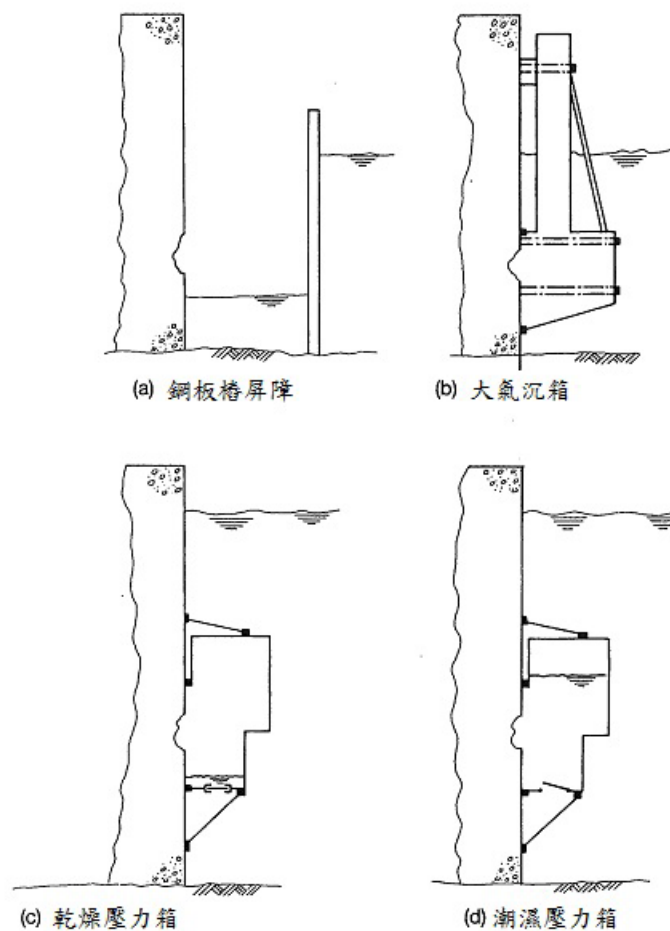


圖 5.73 到達修補區域的方法^[51]

5.5.2.2 擋水設施(water-retaining barrier)

在某些應用的狀況時，採用將水排出的方式最為簡單。這種方法

先以樁或是土堤圍堰方式，然後將水從圍堰區域中排出，使修補區域暴露在空氣中。因為一些特殊的理由，這種方法只能使用在水深不深的狀況，並且損傷區域為局部損傷。

當擋水設施完成後，修補則可以在空氣中進行，沒有任何限制。

5.5.2.3 空氣潛水箱(atmospheric caisson)

空氣潛水箱是一個以預鑄鋼箱密封於結構體上修補區域的方法。箱體上方有一個出入管露出水面以上，人員與機具則可以經由出入管進出箱體。此箱體因此可以裝備各樣的設施，包括照明設備、水動力設備、通訊設備、切斷與焊接設備。

箱體可以使用錨定螺栓或是纏帶方式故定在結構體上。至於箱體的密封，可以使用橡膠封塞環(rubber sealing ring) (有時是膨脹橡膠)在箱體與結構體接觸周遭加以密封。

當箱體確定故定在結構體上，並且密封作業已經完成，此時就可以將箱體中的水以幫浦打出，好讓後續的修補作業可以在空氣中進行。

箱體尺寸應該盡量小，以避免受到波浪與潮流的影響；然而，箱體內要有足夠的空間，以利進行修補的工作。

空氣潛水箱的初期成本很高，因此不適用於大量修補工作，對於某些結構體也不恰當。只有當修補作業需要有專家參與，或是在潮汐帶作業潛水伕可能會有危險時，此法才會成為可考慮的方案。

5.2.4 加壓乾式棲息地(pressurized fry habitat)

此法與空氣潛水箱類似，只不過潛水伕出入口在下方處。先將棲息地故定在結構體上，並且加以密封，然後加壓將其內之水排除。

因為加壓乾式棲息地並不需要有一管路通到水面上，因此本法可以使用在深水處，如水下 200m 之修補。

加壓乾式棲息地是最為複雜的一種到達方法，因此在考量方案時通常因其成本太高而被排除。當如何更有效進行複雜修補問題比成本問題更為重要時，或者修補區域已經超出潛水伕可以作業的區域外時，本法則成為可能解決的方案。因此，本法通常是用來修補離岸鑽油平台時使用。

5.5.2.5 潛水伕

在相對起來淺的區域，使用潛水伕作業是進行水下修補最常見的一種方式。相較於將水排除或是以箱體故定在結構物上的做法，潛水伕修補作業的整個程序要快速得很多。

當結構物太過複雜，以至於箱體無法故定在結構上時，潛水伕作業是很好的方案。碼頭、防波堤之修補作業含有很多的構件，還有管路的出水口處的修補作業，潛水伕作業是唯一可以使用的方式。

潛水伕從一點移動到另一點是比較容易的，這樣的彈性使得當結構物有數處需要修補時，可以簡單地使用潛水伕移動，而不必移動箱體。

潛水伕可以從事的作業受到他們所穿著的潛水裝以及海浪、潮流的狀況。在飛沫帶，潛水伕最易受傷，故只能從事小區域，短時間的修補作業。在水面下，浪流的影響相對比較不明顯，此時潛水伕可以進行較為複雜的修補作業，作業時間也可以較長。

當潛水伕可以受到保障，不受到浪流的影響時，他們可以完成以下的修補作業：

1. 使用高壓水流敲除混凝土。
2. 使用氧—電弧槍切斷鋼筋。
3. 進行植入鋼筋籠還有預力鋼鍵。
4. 組模還有拆模的工作。

5. 控制混凝土的澆注。

6. 使用施加預力的設施將預力鋼鍵施加預力。

當使用潛水伏作業時，穿著厚手套的潛水伏可以使用大型的機具工作。潛水伏的效率，隨著使用穩定的工作平台能夠提供潛水夫安全性以及提供設備、工具、照明而提高，這特別是對飛沫帶的作業更為重要。

值得一提的是，潛水伏除須具備有專業潛水之能力外，也應對於從事修補進行適當的訓練，以使修補作業順利進行，避免不必要的錯誤發生。

5.5.2.6 濕式棲息地(wet habitat)

當有明顯的波浪作用時，提供一個濕式棲息地給潛水伏可以增長工作時間，也可以在安全下進行複雜的修補工作。濕式棲息地是由一個箱體，將之故定在結構物上。如加壓乾式棲息地一樣，濕式棲息地也能夠提供所有的設備以及服務，不過濕式棲息地並沒有加壓把水抽出箱體。

濕式棲息地的主要功能在於提供一個穩定安全的工作平台，使潛水伏進行修補作業時，不會受到浪流的影響。為了防止浪力對箱體的影響，濕式棲息地必須要安裝在波浪通過的影響區以下。

5.5.3 混凝土與鋼筋的準備工作

5.5.3.1 通則

修補受損結構，不論是在空氣中作業或是水下作業，第一步都是確定需要修補的範圍。在水下的混凝土，或是經常浸置在水中的混凝土，常會在表面有海生物附著，這包括了海藻(sea weeds)以及海洋沉積的硬殼(marine encrustation)。除了要去除這附著物以外，對已經受

損甚至開裂的混凝土也應該要移除。當鋼筋有嚴重變形或是腐蝕，也應該要切除。

在水中要敲除混凝土或切除鋼筋，存在著許多問題。當可以在潮汐帶利用低潮位時工作或者可以圍堰排水，此時作業與在空氣下作業相同，並沒有困難。

在空氣下作業，有許多敲除或是切除工具都已經成熟發展。然而，此等工具若是要在水下使用，則需要進行主要的修改，以使工具能夠安全地在水中使用。比如說，使用電為動力的工具，必須要達到完全絕緣。然而要做到此點之改裝，所費不貲；並且最後器具的體積也會龐大無比，使得要潛水扶持此工具作業變得不切實際。因此，大部分在水下進行混凝土敲除還有清理的工具多半使用空氣動力或是水動力，這樣的工具相當安全。

CIRIA^[52]的水下工程團隊曾經對所有水下使用工具做了一個完整的回顧。

切除工法的選擇取決於工作的本質，熱矛(thermic lance)能夠同時切除混凝土以及鋼筋，而使用高壓水流則可以切除混凝土，但不會切斷鋼筋。

以下的幾節中，將說明在修補工作開始前，如何在水下對受損的混凝土進行敲除、表面準備等工作。

5.5.3.2 表面準備

海生物附著數量以及形態與水面下的距離以及結構物的年齡有關。移除此等附著物是很重要的，一方面如此才可以確知需要修補的範圍大小，另一方面則可以確保修補材料與原材料(基材)的黏結良好。

手持式或是機械式的鋼絲刷(wire brush)、針槍(needle gun)或是整形工具(scabbling tools)都很適合用來清理局部的區域。使用水動力或是空氣動力的旋轉式鋼刷可以清除如海藻等軟的附著物，也可以用來

清除鋼筋以及混凝土上像是藤壺(一種甲殼類動物)或是軟體動物等附著生物。水下針槍以及空氣動力鐵鎚可以用來去除混凝土上方表面。

當處理大面積時，可以使用高壓水流(見 5.5.3.3 小節)。當有硬的沉積物要去除時，可以在水流中加入含有顆粒物的磨耗性泥漿 (abrasive slurry)，這樣可以增加切除的效果。另外，也可以加入清潔劑，以清洗混凝土表面的油漬或是其他的污染物質。

在敲除受損混凝土作業、切除鋼筋作業還有準備模板作業的時間內，混凝土表面可能會有微生物附著其上。這種附著只需要僅僅幾小時就可能發生，而因此會造成修補材料與基材之間的黏結降低。因此，在澆注修補材料之前，混凝土表面仍要以清水沖洗，以去除任何菌類(或是微生物)。在許多實作的情況，要在清水中加入殺真菌劑或是其他類似的替代物以便真實地去除微生物的附著。

水下如何進行結構物之清理程序還有相關使用之機具，可以參照美國工兵署之出版物^[54]。在此參考文獻中，對於使用各種的設備其應用時機、優點、缺點還有操作方法都有綜合的整理，並且對於每種設備最佳的使用時機都有所推薦。

5.5.3.3 敲除混凝土

在修補鋼筋混凝土或是預力混凝土結構物時，如何只敲除受損的混凝土，而不會切斷鋼筋是很重要的。以下介紹的技術可以切除混凝土，但不傷及鋼筋；鋼筋可以在後續中加以切除或是保留。

1. 高壓水流

高壓水流是在做水下敲除混凝土常用的工法之一，此系統可以將細小且高壓之水柱噴射到混凝土表面上。典型所使用的水壓為 70MPa，最高可以用到 120MPa。

當在水下使用高壓水流時，會因為週遭的水之存在，而造成水柱之斷面擴大。這樣子雖然可以增加沖刷的範圍，但是與其他有類似功

能的切除方式來比，其敲除混凝土的效率是比較低的。

水流的反作用力會造成對機具有不小的作用力存在。為了要平衡這樣的反作用力，水下用之高壓水流設備，會同時產生一股大小相等方向相反之贅流(dummy jet)與之平衡。

此種方法去除混凝土可以使用兩種方式。其一為施作在混凝土自由表面上，最終造成混凝土產生剝落現象；另一種是交叉施作在混凝土上產生溝槽，然後水壓力會將水泥漿沖出，雖然骨材並未被切除，但是隨著水泥漿體的喪失而自動被沖洗出來。

如果使用此法來敲除高強度混凝土或是也要一併切除鋼筋時，則可以在水流中加入磨耗性泥漿或是矽砂(silica sand)。磨耗物可以從水下儲料槽中汲出，混合入水流，這樣可以增加其切除的效率。當純用高壓水時，鋼筋不會切斷，但是可以達到清洗鋼筋的目的，以利爾後的施作塗封層或是澆注修補材。

2. 機械式切割

對於小範圍或是需要精確切割的作業時，使用水動力之機械式工具如鑽石鋸片或是鑽孔機是常見的選擇。如果有需要的話，此法可以同時用來切除混凝土與鋼筋，不過切除的尺寸會受到鋸片的直徑大小影響。使用鋸片方法，切除面通常難以鋒利，這可以讓修補材料與基材的黏結增強，並且避免羽毛狀角邊出現。

對於淺水作業(小於 6m 水深)，傳統的空氣動力敲除器可以使用。水動力敲除器與空氣動力敲除器類似，不過它可以使用的作業水深要遠比空氣動力敲除器深許多。當使用機械式敲除器時，必須要小心避免損傷在修補區域臨近之健康混凝土。

3. 劈裂工法(splitting techniques)

本方法先沿著混凝土欲破壞處鑽數個孔洞，混凝土的斷裂面的形狀以及方向可以由鑽孔位置以及傾角的適當安排達到。在孔洞內施加

壓力，則附近的混凝土因承受張力而產生破裂剝落。

水動力劈裂包含兩種模式：活塞劈裂物以及楔狀狀劈裂物。活塞劈裂是以一連串類似千斤頂的方法運作。這種裝置有一中空的主體，斷面通常為正方形，在其背面有一連串的活塞劈裂物。然後這些活塞劈裂物以 125MPa 壓力擠入內襯鋼製襯裡的洞內。如此會造成活塞劈裂物膨脹，進而對混凝土產生劈裂的效果。因為活塞劈裂物僅產生單方向的膨脹，因此只能控制開裂的方向。

楔狀狀劈裂物是鋼製的，以水動力將它擠入兩鋼製尖劈襯裡中間，當它被擠入預鑽之孔洞內，兩個尖劈襯裡會推己洞的內側，因而對混凝土產生劈裂的效果。開裂的方向可以由控制劈裂物的傾角而確定。

也可以使用膨脹水泥達到劈裂的目的。將膨脹水泥與水混合形成水泥漿體，然後放在塑膠袋內，再將塑膠袋塞入洞中。在 12-24 小時內，水泥慢慢反應膨脹，造成混凝土產生劈裂。

Cardox 系統則是以鞘狀物內裝有加壓液態的二氧化碳，將該鞘狀物塞入洞中，然後使用一種非爆破性的化學物質包在紙內充當藥引，以電弧點燃使之反應，這樣會增加二氧化碳的壓力，使之逸入孔洞內造成對孔壁的壓力，從而造成劈裂的效果。使用 Cardox 劈裂工法之後，鋼筋仍須要切割。然而有經驗的工程師，可以透過恰當的安排孔洞位置，讓小於 15mm 直徑之鋼筋因劈裂的力量而被剪斷。

5.5.3.4. 鋼筋混凝土去除

以上所提及敲除混凝土的工法，有部份也可以同時切除鋼筋。然而，有時這些工法仍是需要配合切除鋼筋的方式進行。爆裂法應用在水下切割已經行之有年，它是以接觸式爆裂物來達成目的。如同許多的切除作業一樣，使用爆裂法必須是有經驗的廠商來執行。爆裂物的用量、安放位置都會影響到最後的成功與否。使用爆裂法所造出的斷面非常不規則，並且可能對臨近的結構產生不良影響。

當有需要進行精確切割作業時，採用『預成形』爆裂物是可考量的方案。此法是將特殊選定的爆裂物裝在以軟金屬做成的鞘狀物內。鞘狀物的斷面通常為圓錐斷面，當爆裂物被點燃之後，鞘狀金屬物質被爆裂，形成一金屬質流被爆炸之力量推向前，產生切割的效果。這方法能夠將爆炸切割的效果限定在局部的混凝土表面。這種預成形的爆裂物相較於傳統的爆裂法，可以產生比較光滑的切割面；並且因著可以提高使用爆裂的效能，從而可以控制爆炸震波影響的範圍。

熱矛法可以用來從事厚斷面鋼筋混凝土的切割工作。熱矛管是由軟鋼所製成之管狀物，內中有鋼製的桿件疊堆。在管的末端處，因輸入的氧氣與鋼產生氧氣—鐵的氧化反應，而產生高熱。高達 2200 攝氏的高溫產生，因而可以同時切除混凝土與鋼筋。當使用熱矛來切除鋼筋混凝土時，混凝土因為高熱熔化而生成爐渣(slag)，而鋼筋則因為高熱產生氧化斷裂。

熱矛法一般只適用於淺水區作業，因為水深增加會相對的要求氧氣的壓力與輸送速率也要提高。由水中產生的氫氣與未燃燒的氧氣會造成氣爆，而對操作人員造成安全性的影響，這也是應該注意的事情。

使用爆裂法或是熱矛法是用來切除整個鋼筋混凝土斷面，因為它們都同時切斷混凝土與鋼筋。在進行修補工作前，若是考量要植筋進入，則應該再使用其它切除混凝土的方式(如高壓水流)來將切除範圍增加，以保障搭接與力的傳遞等方面可以被保證。

5.5.3.5 鋼筋切除

在進行修補工作前，斷裂的鋼筋或是嚴重變形的鋼筋應該要先加以切除，然後進行植筋。切除鋼筋的時候，必須要考量如何接續的問題，斷面是否可以採用藕合器或是焊接。在水下進行鋼筋切除工作最常使用的三種方式敘說如下。

1. 機械式切割

在小規模的修補工作，通常只有少數的鋼筋須要被切除，此時使用機械式切割是最為常見的。有許多水下使用的機械式切割鋼筋器具已經發展出來，如使用鋸片切割或是鏢栓切割機(bolt croppers)。若是要切除的鋼筋尺寸很小，也可以使用手持式的切割。

2. 氧—氫切割(Oxy-hydrogen cutting)

在空氣中進行鋼筋切割，一般是使用氧—乙炔切割，它是靠所產生的氣體火燄與碳鋼產生反應而切割。在水中則必須要以氫氣來取代乙炔，因為乙炔在水下會有不安定的問題發生。

但是氧—氫切割所產生的熱能並沒有氧—乙炔切割來得高，所以其切割效率較低。因著氧—電弧切割可以有較高的效率，並且更方便使用，氧—氫切割已經漸漸被淘汰。

3. 氧—電弧切割(Oxy-arc cutting)

氧—電弧切割的高熱是由電弧所產生，而非由氣體火燄所產生。加壓的氧氣(5 到 8MPa)從電極管中被噴出，因電極電弧所產生的高熱，造成氧氣所接觸的鋼筋斷面產生氧化被切斷的效果。因為切割的斷面乾淨，因此有利於後續的焊接作業或是加入藕合器。氧—電弧切割設備只要將電極反接，就可以成為水下焊接的設備。

5.5.4 修補材料

5.5.4.1 材料的選擇

有許多的材料可以應用在水下修補作業上，它們可以分為兩大類：水泥基材料與樹脂基材料。

1. 水泥基材料：

水泥基材料包括了砂漿還有水泥漿，也包含了使用各式各樣的摻

料達到更好性能的之材料。這些摻料可以增進其凝聚性 (cohesiveness)、快速的強度發展、更高的工作性、減少在水下被沖刷流失的抗分散性、減少泌水還有減少收縮。許多的水泥基材料都是袋裝配好的材料，它們可以在水中進行澆注。

水泥基材料優於樹脂基材料的地方羅列於下：

- (1) 與基材之間的彈性模數還有膨脹係數的相容性較好。
- (2) 可使用在較厚斷面之澆注，而不會有過多的反應熱量，不必憂心熱裂縫的問題。
- (3) 相對來說較為便宜。
- (4) 在施工上以及拌合上對錯誤的容忍性較好。
- (5) 潛水使用起來較為安全。

2. 樹脂基材料

樹脂基材料主要是環氧樹脂材料，種類上包括了灌注樹脂 (injection resin)、可澆注砂漿 (porable mortar) 還有手工施作油灰 (hand-applied putty)。環氧樹脂相較於水泥基材料而言，其楊氏模數較低且潛變較大，因此比較不適合使用在結構性修補。當使用環氧樹脂修補較厚斷面時，在養護期間所產生的高熱，可能導致材料受到高應力作用，而產生開裂。

環氧樹脂基材料優於水泥基材料的優點簡述如下：

- (1) 因為其黏滯性很低，所以可以很容易注入微細裂縫之內。
- (2) 高黏結強度。
- (3) 如果修補材料有位移考量時，環氧樹脂有很高的柔性，所以很恰當。

(4) 對於水或是鹽類滲入的抗性很好。

環氧樹脂施工須要配合恰當的到達修補區域方法，其成本較高；另外模板的準備與提供都較一般水下修補的來得貴許多。最後，此類工作通常需要有專家指導，而具有這類經驗的專家為數不多。

不論選用的材料為何，通常需要透過先前的經驗或是設計的試驗來驗證該材料對於所面臨的修補狀況是有效的。這些應證性試驗應該在相似於未來要服務的環境還有溫度下進行。需要驗證的有：

- (1) 結構特性：強度、楊氏模數還有潛變是否能夠滿足結構需求？
- (2) 柔性：柔性是否能夠容忍預期的位移？隨齡期增加，材料是否會變脆？
- (3) 水泥沖刷問題：當水泥在水中自由落下，是否會被沖刷分散？
- (4) 使用壽命(pot life)/硬化速率：材料是否在一段時間內都容許可以進行澆注作業？之後的硬化速率與強度獲得是否恰當？
- (5) 試澆注作業：材料是否能夠緩慢但連續的泵送？材料是否可以自充填並自我整平？
- (6) 現場鑽心取樣：當現場強度有要求時，是否水泥的沖散效應造成頂部的強度下降？是否材料與澆注區原有之水產生內部混合，而造成強度不足？
- (7) 黏結強度：材料對於原始之基材的黏結強度或是材料對其它修補區域物質(如鋼筋)的黏結強度是否恰當？

5.5.4.2 混凝土

對於大範圍的修補，使用混凝土是較為經濟可行的方案。在水下使用的混凝土必須為可自由流動(free-flowing)、有凝聚性、並有自充填性(self-compacting)。而且修補混凝土應該減少泌水現象還有塑性收

縮，此二者都會造成修補材料與基材結合面的弱化。

可泵送混凝土的特性一般說起來都會滿足水下混凝土的要求。配比中各成份的討論如下所述。

1. 水泥

有各種水泥可以使用在水下修補，有些添加了爐石粉(gorund granulated slag)，有些則有添加爐灰(pulverized fuel ash)。為了達到恰當的凝聚性，通常水泥用量在 350 到 425 kg/m³ 之間。

2. 粒料(骨材)

為了要達到高工作性，圓顆粒的粒料要比壓碎岩石母體所製造出來的粒料來得理想。特別是用岩石母體壓碎出來的細粒料並不恰當，一方面因為它的級配通常不好，另一方面則是因為形狀不理想。使用粗糙級配的粒料，將會增加泌水量。

3. 摻料(admixtures)

使用摻料可以增進混凝土品質，也可以增進其澆注能力。有關於水下混凝土所使用的攪料種類以及其功用整理如下：

- (1) 塑化劑(Plasticizers)：使低水量的混凝土仍具有一定的工作性。如此可以增進混凝土的強度上昇、密度提高，並且降低其滲透性。對相同水量而言，使用塑化劑可以增進工作性，有利於澆注作業還有搗實。
- (2) 強塑劑(Superplasticizers)：使用強塑劑可以造成工作性極好但仍有一定的流動特性之混凝土。此類混凝土也可是自充填以及自我整平。因此，對於振動可以能引發出水與材料的內部混合危機可以避免。
- (3) 輸氣劑(Air entrainers)：使用輸氣劑可以改善混凝土的凝聚性以

及工作性。當細粒料級配不良時，加入輸氣劑可以改善泌水現象；並且輸氣劑可以改善幫浦的泵送。

- (4) 緩凝劑 (Retarders)：緩凝劑可以減緩凝結時間，這可以避免冷縫(cold joints)的發生，並且可以延長整體澆注時間。緩凝劑經常與塑化劑或是強塑劑合併使用。
- (5) 高分子改性劑(Polymer modifiers): 添入高分子改性劑可以改善混凝土或是砂漿的行為，特別是黏結強度以及抗張強度，詳細說明 5.4.3 小節。
- (6) 抗分散劑(non-dispersible agents)：加入抗分散劑可以使修補混凝土與周遭水接觸時水泥不會被沖刷出來。抗分散劑常包含了減水劑(water-reducing agents)還有增進黏稠性之促進劑，如乙醚纖維素 (cellulose ether) 還有聚氯乙烯氧化物 (polyethylene oxide)。目前在修補材料市場上，有添加配好抗分散劑之水泥可以購買到。
- (7) 微矽灰(Microsilica)：添加微細灰(通常會與強塑劑一起使用)可以增進抗壓強度，並形成具有抗分散能力之混凝土。

5.5.4.3 水泥砂漿與水泥漿

當受損區域的鋼筋排筋過密，而無法使用混凝土澆注時，則可以水泥砂漿或是水泥漿。至於砂量多寡、一致性(consistency)還有級配取決於修補工作的需求。

對於小批量的修補，使用鏟平用水泥砂漿是恰當的選擇。當修補區域處於飛沫帶或是水下時，可以採用特殊配方之波特蘭水泥或是超快硬水泥，以避免可能發生的沖刷喪失問題。快硬水泥可以用於在修補裂縫的前置作業，將裂縫表面先進行封塞，然後才採取注入法將修補材料由突狀灌入口注入。較具有流動性的砂漿則可以使用在修補混凝土剝落上，可以使用幫浦澆注或是注入具有信箱狀開口之模板。

對於注入裂縫內或是小尺寸預堆積骨材工法使用時，可以使用純水泥漿。使用純水泥漿可以讓漿體有更深的滲入深度，同時也可以避免因細粒料所產生之阻塞效應。通常，純水泥漿不應該使用補較大之孔洞，因為它的發熱還有收縮問題都可能導致開裂。

水泥砂漿的性質可以透過添加高分子改性劑而得到改善。這些高分子改性劑包括了聚合單體(monomers)、樹脂(resin)還有乳膠液(latex liquids)，添加的方式是以取代水的方式加入，它們可以改善混凝土的特性包括：

1. 顯著的增加抗彎以及抗張強度。
2. 增進抗壓強度。
3. 降低滲透性、降低泌水、減少收縮。
4. 增進黏結強度，因此不需要使用黏結劑塗層。

然而，高分子改性砂漿有較低的楊氏模數，並且有較高的潛變量，因此在結構性修補上可能導致不必要的問題。選用高分子改性劑應該要小心，因為有些高分子並不適合使用在水下作業，或者在潮濕環境的作業。特別像是聚乙烯醋酸鹽類(polyvinyl acetate, PVA)或是壓克力聚高分子改性砂漿(acrylic copolymer modified mortar)並不適合使用在水下修補。在水下修補環境下，使用聚丁苯乙烯橡膠(styrene-butadiene rubber, SBR)或是聚苯乙烯—壓克力聚合體(styrene-acrylic copolymer based)改性的砂漿是最為恰當的。

以高分子改性的水泥漿可以用來塗刷在基材的表面當作黏結塗層用，這樣可以增進修補砂漿與基材的黏結性。基於高分子改性劑有其專業性，因此使用高分子改性劑最好參照原廠商的建議方法進行。

5.5.4.4 預壘混凝土(preplaced aggregate concrete)

預壘混凝土工法是先將骨材密實地堆積在模板所包圍的修補區域內，然後將水泥砂漿或是水泥漿灌入模板內。漿體灌入後，形成有高

骨材/水泥比值之混凝土，並且骨材與骨材間存在點接觸。此法可以降低收縮量(為一般混凝土之 50%到 70%)，並且不會有粒料分離(segregation)，沉陷量低等好處。然而，當混凝土要求為嚴格時，則低滲透性配比、因水泥漿體沉降所造成之微裂縫還有骨材下方之泌水應該要加以避免，這目標可以透過水泥漿配比設計來達到。

在混凝土施工手冊^[53]所建議的事項應該遵守，以利於成功地完成預壘混凝土漿體的澆注。其要點簡述如下：

1. 粗粒料：盡可能使用大尺寸的骨材。但是骨材最大尺寸應該要小於以下兩條件中的最小者：其一為模板最小尺寸的四分之一，另一為鋼筋最小間距的 2/3。斷面尺寸小於等於 300mm 者，最小粗粒料尺寸應該為 14mm。當斷面尺寸大於 300mm 者，最小粗粒料尺寸為 19mm。
2. 細粒料：細粒料之級配須要良好，如滿足 BS 882 第三區(zone 3)的規定。但是特別重要的是，細粒料應該是均勻級配(uniformly graded)，這樣有利於幫浦運送，也可以避免塞管發生。當使用較小尺寸之粗粒料(如 10mm)，則澆注砂漿可能發生堵塞現象，指的是細粒料卡在粗粒料間。此時可以使用純水泥漿澆注，不過應該添加適當之摻料以降低其收縮量。
3. 水泥：任何標準的波特蘭水泥都可以使用。如需要考量特殊的問題(如硫酸鹽類攻擊)，則可以使用特殊用途水泥。
4. 摻料：通常會添加卜作嵐填充料(pozzolanic fillers)以增進漿體之流動性質。預袋裝好的摻料可以使用來防止泌水、增進塑性化、輸氣或是產生膨脹。速凝劑可以使用在冷水下作業，或是有提早拆模需求之作業。
5. 預袋裝水泥：市場上有許多預袋裝水泥，可以適用於水下預壘混凝土工法使用。這些預袋裝水泥有加入摻料，以降低收縮量、降低泌水以及增強抗分散能力。

5.5.4.5 樹脂砂漿以及純樹脂漿

正常的環氧樹脂或是高分子樹脂並不適合使用在水下作業，它們通常難與基材間形成良好的黏結，並且硬化劑本身會與水產生反應，會帶來負面的影響。

即使是水下施工用環氧樹脂，也會因為在澆注時可能有的亂流，而使得材料與水產生混合，造成其表現大打折扣的現象。一般說起來，因其黏結力不足之故，高分子樹脂並不適合使用在水下作業。

市場上存在多樣的環氧樹脂，從低黏滯性注入樹脂到充滿砂之樹脂砂漿，再到手工施作或是鏟刀施作用環氧樹脂油灰。通常調配是使用同樣的樹脂材料，然後再使用不同用量之填充料(通常是砂)，調配出所需要的一致性。

選擇材料的考量點如下所述：

1. 一致性：取決於要填孔洞之尺寸還有澆注的工法。
2. 柔性：假設材料需要參與承載，則它必須要是高楊氏模數且低潛變。但是當材料只是當作封塞使用(sealants)，則材料應該要能容忍位移，故應使用高柔性材料。
3. 在養護期間所產生之熱：取決於硬化速率、填充料使用量以及修補區域的厚度。修補區域的厚度應加以限制，以避免產生過多的熱，而造成後續的開裂。
4. 硬化速率：材料在多長時段內仍可以保持可用的取決於溫度、澆注方法還有修補工作的複雜程度。對於某些作業，如裂縫塗封或是灌注法需要的突狀物(安置注入口)需要使用快硬的材料。許多環氧樹脂都有配方可調成快乾的或是正常硬化速率的。

基本的環氧樹脂—硬化劑系統，其密度與水接近，因此洩漏會造成在水中漂流，容易造成潛水佚的危險。即使是使用環氧樹脂砂漿或是環氧樹脂油灰，仍要注意避免污染潛水佚以及潛水設備。使用環氧

樹脂，應該要注意遵照廠商的建議，以保障最後的表現。為了達到良好的品質控制，通常所使用的材料會是將環氧樹脂、硬化劑還有填充料依照比例預包裝好。

5.5.5 混凝土水下修補工法

5.5.5.1 表面剝落修補

當水下混凝土受到損害造成剝落現象，此時應該要盡快進行置換工作，以避免鋼筋腐蝕的問題發生。特別在飛沫帶，鋼筋腐蝕會迅速地將局部輕微的損壞擴大成為廣大全面性損壞。

在進行修補前，混凝土表面需如前所述進行清理，敲除軟弱的混凝土，並且清除表面附著的海生物。在剝落區域的週邊，須以鋸片切割方式依照破損區域的大小切出深度約 12-20 mm 的範圍，以避免出現羽毛狀角邊。

在飛沫帶區域，一般說起來使用鋤刀用砂漿來修補是恰當的。當受損的區域很小時，則可以使用水相容的環氧樹脂砂漿/油灰。

表面準備完成之後，在飛沫帶進行局部表面剝落修補的程序如下所述：

1. 將表面以清水徹底沖洗，並維持潮濕的狀態(除了在某些環氧樹脂要求乾燥的情況以外)
2. 在基材與修補材的接觸面上施作一層黏結塗料(bonding coat)，對於一些環氧樹脂修補材或是高分子改性砂漿並不須要施加此黏結層。
3. 在黏結塗料硬化前施作修補砂漿。
4. 在水泥質系修補材外施作養護薄膜(curing membrane)
5. 在修補材料硬化程度達到足夠前提供必要的保護，以防波浪的破壞。

至於對大範圍的飛沫帶之表面剝落修補或是水中帶的表面剝落修

補，則必須使用模板讓修補材料不致散失。當然使用模板的作業會使得整個修補程序時間拉長，而造成水生物附著生長的情況變差。時程的拖延，也可能致使黏結塗料無法使用，因為修補材料須在黏結塗料尚未乾透前澆置是保障黏結成功的要素。而時間的延後可能造成黏結塗料已經硬化，此時再澆置修補材時，其界面為光滑的，而使得黏結能力大大下降。

兩種典型使用的模板如圖 5.74 所示。這些模板通常是以錨栓固定在結構體上，有時也會以纏帶裹緊的方式固定。若是使用幫浦輸送修補材，則在模板上須留兩個開口。膠泥或是砂漿從底部灌入，將模板中的水向上排擠，最後當由模板上方的出口排出，當修補材從上方出口排出即完成澆置。這樣子可以讓修補材料與水的混合狀況達到最小，降低水泥被沖刷分散。如此作也可以降低在修補過程中混入非拌合水的風險。將砂漿澆置入模板內，會在混凝土(基材)表面發展剪應力，這迫使修補材料與基材間有接觸壓力，造成良好的黏結產生。

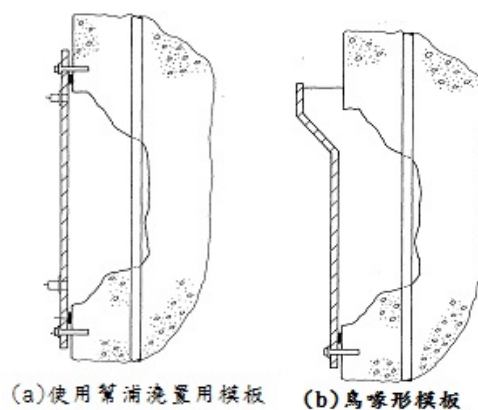


圖 5.74 兩種典型使用的模板：使用幫浦澆置用模板及鳥喙形模板^[51]

當修補材須由上方注入時，則模板纏緊在結構體之後，上方必須切除出開口，以利修補材料注入，這會形成信箱式的開口。當使用這種信箱式開口的模板，在修補材料方面則應該使用可以抵抗水泥被沖刷分散的配比。並且也應該使用自充填材料，避免使用振動器，因使用振動器會造成修補材料與模板內的餘水產生內部混合的狀況。

修補工作也可以採用柔性模板(flexible formwork)，圖 5.3 為一受損柱體以柔性模板包覆的示意圖。當澆置區域內有鋼筋存在時，則應在模板內安置間距控制(spacers)還有故定器(fixings)以控制保護層厚度，這對於處於有激烈海流作用的修補區域特別重要(因海流強烈會造成柔性模板變形，致使保護層厚度不足)。

由 Rescon 公司發展出來的一種特殊工法，是在開始的時候先將一種乳狀的黏結劑澆注進入圖 5.75 的柔性模板內，然後再將修補砂漿澆注進入模板，置換乳狀黏結劑，如此一來在基材(混凝土)與修補材間就存在一黏結塗層，增進其黏結能力。

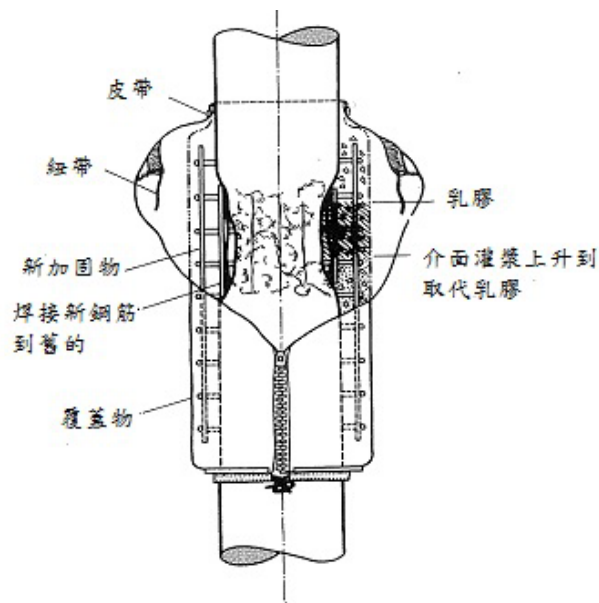


圖 5.75 柔性模板施工的示意圖^[51]

5.5.5.2 大尺寸修補(Large-scale repair)

通常會出現大尺寸修補的破損是因為結構有超載(overloading)、火害、船的碰撞或是鋼筋銹蝕(特別容易發生在飛沫帶)。當有大面積的修補時，選擇修補材料應該注意修補材料之收縮(shrinkage)或是泌水(bleeding)不會造成基材與修補材的界面處產生漏水路徑(leakage path)。在厚的修補區域進行修補時，有些修補材料因在硬化過程的發熱現象，可能會導致有熱裂縫(thermal cracks)的發生，即使在水下修

補時週遭的水有降溫的效果，這種現象仍有可能會發生。

有些時候，除了作混凝土修補外，也須要進行鋼筋的修補，因為鋼筋有可能發生劣化或是嚴重的銹蝕。有關鋼筋的修補將於 5.6 小節中說明之。

有關於大尺寸修補的一般性原則如下所述：

1. 如 5.5.3 小節所述準備混凝土表面。一般說起來，需要將混凝土切除到鋼筋的背面，如此可以保障鋼筋在修補後可以免於進一步的腐蝕，並且這也可以讓修補材料與原構件緊緊地相黏結。應以鋸片切割出修補的區域，週長最少為 20mm，並能避免羽毛狀邊角出現。在破壞區的頂端，混凝土切割應呈現傾斜角度，這樣子一方面可以避免在澆注修補材時補捉了一些非拌合水的水份，另一方面也讓泌水得以離開修補區。
2. 鋼筋應該徹底的清除乾淨，如果有需要應該進行置換或是補入加勁筋。在飛沫帶的鋼筋，應該加以塗封，以保護鋼筋免於腐蝕。當然這在水中帶一般說起來是不可能的(因為鋼筋塗封用之環氧樹脂與水不相容)，不過水中帶的腐蝕狀況通常也並不嚴重。
3. 模板的選擇與擬採用的澆注工法有關。為了盡量降低泌水現象以及增進黏結能力，在混凝土硬故之前，能夠有一定的壓力施作是有益的。如此模板須為強健的，能防止漏漿，並緊附著於結構體上。當使用預壘混凝土，則模板應該為可組合式的，以便在堆積骨材的過程當中，模板可以保持直立。
4. 在將要澆注混凝土前，模板應用清水洗淨，以避免水中的鹽類附著在模板上而污染混凝土。
5. 使用幫浦是最佳澆注混凝土的工法，混凝土由模板下方的入漿口灌入，進入模板內的混凝土將模板內的水由模板上方的出漿口排出，直到漿體灌滿模板內空間，由出漿口排出為止。幫浦作用下，可以持續排出上層已經跟水產生內部混合的混凝土。為了降低混凝土與

模板中水的內部混合，當混凝土灌注經過鋼筋時，應降低幫浦的速率，而振動器只能在混凝土已經完全充滿模板內之空間後，才可以施加。當上方出漿口封閉之後，再施加壓力可以避免可能出現的泌水現象，並且這壓力會促使修補材料與基材有緊密接觸，產生更好的黏結。

5.5.5.3 預疊混凝土

先將經過級配能夠達到讓填充之後空隙最小化之骨材填入模板之內，然後以振動器或是搗棒加以夯實。之後將水泥漿(或是水泥砂漿)澆注進入已經有骨材堆積的模板空間內。澆注過程中，密實的水泥漿會將模板內的水份由模板上方排除。為了讓灌注成功，模板應能夠密接於結構體上，並能防止漏漿發生。並且在模板上方要有適當出口，好讓水與空氣得以逸出。在模板上使用帕斯佩有機玻璃窗(Perspex window)可以方便觀察在澆注過程中漿體的運動狀況。

在澆注水泥漿前，骨材應以振動器振動，使其空隙被最小化，並且骨材應以清水沖洗乾徑，以避免海水以及淤泥的污染。應該要注意在模板內空間應該充滿骨材，若是有區域沒有骨材，注入水泥漿以後會造成在該處是無骨材的純水泥漿體，這會產生過量的收縮開裂的現象。之後，將水泥漿由底端的進漿口注入，持續地注入直到由出漿口排出了水泥漿為止，注意在此過程中不能夠間斷。然後，應持續注漿，以利於將那些與模板內水產生內部混合的混凝土以及那些遭水沖刷失去水泥的修補料排出，然後才將出漿口關起來。一般說起來，在澆注過程中不建議採取振動器，因為這樣子容易造成水泥被沖刷喪失的問題。

對於更大區域或是平坦區域的混凝土修補，如置換巨大混凝土管路之錨件或是澆注基礎版，在實作上使用垂直的澆注管。這種澆注管一般為直徑 20mm，並在管的中央點每隔 1.5mm 有一間隔器。確實的尺寸與間隔器間距與模板的型態還有骨材的特性有關。水泥漿藉由這種垂直管由澆注區底部灌入，並慢慢向上充滿修補區，排出其中的水。

5.5.5.4 注入法(Injection)

在水下修補混凝土表面出現的空洞(voids)或是裂縫，可以使用樹脂材料或是水泥漿體注入，其方法與在空氣中類似。材料的選擇則與裂縫或是空洞的尺寸有關，並且也與將來該縫的運動有關。

對於裂縫寬度達到數個釐米級的裂縫，使用水泥基材料就足以穿透滲入；然而對於更小尺寸的裂縫，如到 0.1mm 寬度的裂縫，環氧樹脂更為恰當。通常說起來當裂縫寬度小於 0.1mm，則並不須要使用注入法處理。穿透深度通常是與注射壓力的大小還有在硬故前壓力持續的時間長短有關。當有證據顯明裂縫的造成與鋼筋的腐蝕有關的時候，則應該鑿除混凝土直到鋼筋的背面露出，而不應該僅僅只是進行裂縫注入的修補。

一般進行裂縫注入的程序如下所述：

1. 沿著裂縫走向進行混凝土準備工作。
2. 沿著裂縫走向貼附檢測突狀物(inspection nipples)，此等檢測突狀物可以使用快乾水泥基材料或是樹脂油灰(resin putty)形成。突狀物的間距以及直徑取決於修補的裂縫形態還有尺寸，也與選定的修補材料有關。通常是採用 100mm~300mm 間距，直徑為 5mm 的突狀物。突狀物可以直接貼附在裂縫表面上，或是經由鑽洞至裂縫內然後將突狀物置入洞內到達位置。
3. 沿著裂縫走向，將裂縫封塞(seal)。可以沿裂縫走向，製造一凹槽(groove)，然後再注入砂漿；或是更簡單的方法，就是以砂漿鏝抹。
4. 以清水清洗裂縫，以除去污染物，並確保注入路徑的暢通。可以使用染色的水來辨別漏水點，並加以封塞。
5. 然後，由突狀物(灌入口)將水泥基材料或是樹脂由裂縫的一端灌入，然後再由接續的突狀物接續灌入，直到裂縫完全被充滿為止。當完成每個突狀物灌注後，將突狀物封塞。

灌注方法分為兩種：重力灌注(gravity feed)以及壓力灌注。使用樹脂基材料，會採用壓力灌注的方式。通常兩劑式樹脂基材料可以預先混合在一容器內，再施加壓力注入裂縫內；或者也可以使用特殊的內部拌合噴嘴，在要噴出噴嘴前才進行兩劑的混合。

要注意的是環氧樹脂的密度與水相近，因此若有任何的洩漏，將會造成材料在水中漂浮，則可能對潛水俠造成傷害。因此，應該採取必要措施，以防止任何可能的洩漏問題。

若使用剛性的環氧樹脂，則斷面的張力強度與剪力強度可以恢復。環氧樹脂系統可以多少恢復混凝土的強度，故當結構整體性是主要考量時，應採用環氧樹脂材料為宜。

若是再度面臨造成裂縫原因的環境時，會再度產生裂縫時，則最好將目前的裂縫看成移動接縫(movement joint)，以低彈性模數的材料填入，或是在裂縫表面進行封塞。具有柔性的聚氨酯(polyurethane)或是多硫化物(polysulfides)的封塞劑(sealants)能夠防止水氣以及鹽類侵入，卻仍然容許裂縫的移動。

5.5.5.5 噴凝土(Gunite)

當修補的面積很大或者是有梁或是柱需要重新建構時，此時或許使用噴凝土是最佳的選擇。一般是使用乾式噴凝土，先將砂與水泥在運送管內混合，然後再噴嘴處再與水混合。

雖然噴凝土並不能使用在水下，但是添加恰當的摻料，能促進其快乾的特性，從而使噴凝土得以使用在飛沫帶與潮汐帶。目前市場上已經存在商業化的產品，如 Sika Inertol 出品的 Sigunite 噴凝土，可以讓初凝在 30 秒內完成，而終凝則在 1 分鐘之內。

噴凝土的成功與否，取決於控制噴嘴的操作人員之經驗。如何控制水量、壓力以保障其厚度的均勻性是很重要的。小心的施作，可以讓噴凝土達到 30 MPa 的抗壓強度，並與基材間具有良好的黏結力，

又有不錯的抗磨耗特性。

一般說起來，噴凝土的厚度控制在 50 mm 以內，若需要更厚，則應施作第二層。有關於噴凝土的詳細討論可以參考文獻^[54]與^[55]，其中文獻^[55]特別討論到使用在海洋環境下修補使用的噴凝土。

5.5.5.6 鋼套袖(Steel sleeve)

在修補受到鋼筋腐蝕問題的混凝土樁或是混凝土柱的過程中，需要將受損的混凝土敲除，並敲到鋼筋的背面露出。此等操作往往需要設置臨時性支撐，幫助構件卸載。

除了上述方法之外，另一個取代方案是在樁或是柱的外部套上鋼製的套袖。介於套袖以及原來混凝土樁或柱之間的空間則以混凝土或是砂漿填滿。鋼製套袖在設計上應該要能夠承受鋼筋後續的生銹以及膨脹，並且也要在鋼筋生銹損失面積太大或是已經與原來的混凝土失去握裹黏結時，有足夠的能力取代原來的鋼筋。為達到這樣的目標，套袖的厚度要夠厚，並且套袖的涵蓋區域要向上並且向下超出原來破損的區域，這樣子好讓原構件的承力透過剪力傳遞到套袖上。

套袖一般的設置如圖 5.76 所示，其程序則如下所述：

1. 先將受損的混凝土做準備工作，這包括去除海生物附著還有敲除軟弱的混凝土。
2. 在受損區域的下方夾住臨時支撐系統以及封塞環。通常說起來鋼筋腐蝕受損發生在飛沫/潮汐帶，因此受損區域下，水的下方應有足夠的未受損長度之樁或是柱可以施加固定支撐系統。
3. 將兩半圓柱狀的套袖以螺栓組合在樁或是柱的外側。
4. 將修補用混凝土或是砂漿從袖套底部灌入，將套袖內的水排出。
5. 移除臨時性支撐及封塞環的系統，然後將套袖外部塗刷防銹的保護層。

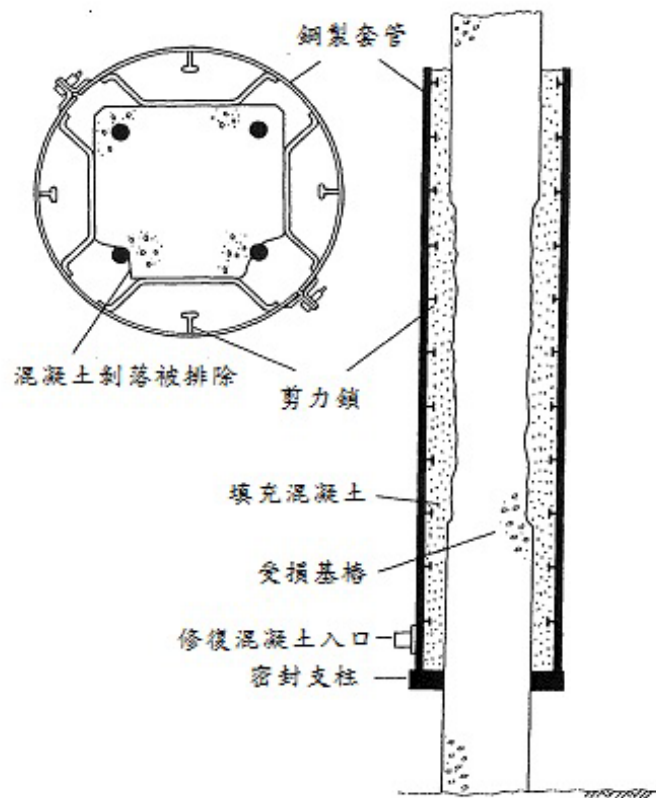


圖 5.76 鋼製套筒修補工法^[51]

5.5.6 鋼筋的修復

5.5.6.1 共通的考量

在嚴重受損的鋼筋混凝土結構物，有時會出現鋼筋斷裂或是嚴重變形的狀況。當此等損害是因為衝擊所造成的，則鋼筋的破損會發生在局部碰撞點或是在柱構件或是墩柱發生旋轉處。大部分的時候，可以將已經變形的鋼筋以外力讓它恢復到原位，然後確保被損害的混凝土部份被修復，有足夠的保護層厚度即可。

然而，當鋼筋的變形狀況太嚴重時，將鋼筋重新拉直可能會影響到鋼筋的行為。至於影響的大小，則視鋼筋的直徑以及形態而有所不同。雖然鋼筋的抗張強度不會有明顯地降低，然而破壞應變(failure strain)以及疲勞壽命卻會降低。

在飛沫帶，鋼筋可能出現全面腐蝕或是局部的痕蝕(pitting corrosion)，而出現明顯的斷面損失，此時就需要補筋。在角落處的連接用鋼筋(link reinforcement)特別容易出現這種現象。

當我們設計如何修復鋼筋的時候，應該考量以下的問題：

1. 過密的排筋可能會阻礙修補材料到達。
2. 既存的鋼筋可能是成束的。
3. 修補工作可能必須要在水下進行。
4. 到達修補區域可能只能從單側進入。

當要修補預力鋼鍵時，則不但要加入新的鋼鍵，更要注意的是如何將新的鋼鍵施加預力。

然而，只要這些問題能夠清楚認知，則還是有可能找出恰當的修補方法，不但能夠修復受損的鋼筋，同時也能保障結構的健全性。

5.5.6.2 搭接(Lap joints)

在每個國家的混凝土相關規範中，都有對於鋼筋搭接有所規定。如英國的 BS 8110 中就規定張力筋的搭接長度為鋼筋直徑的 37 倍(第二類鋼筋放在 30 N/mm^2 強度的混凝土內)。對直徑為 20mm 的鋼筋而言，這長度就等於 740mm。因此在修復此鋼筋的受損時，就需要敲除在受損區域周遭約 800mm 範圍的混凝土，以讓搭接長度足夠。當鋼筋的保護層很小或是鋼筋間距不大時，又或是鋼筋搭接部位交錯時，比上述更大範圍的混凝土必須要被敲除。在美國，ACI 318 中的規定必須要被滿足。

大量敲除混凝土來保障鋼筋有足夠的搭接，將使得修補代價不斐，這不僅是因著敲除的工作，也因著要取代被敲除的混凝土的材料還有整體修復的時程拖長。在已經排筋密集的混凝土斷面，植入新的

鋼筋會讓這樣的狀況更加惡化，甚至造成對修補材料運動的阻礙，使得澆置失敗。因此這種修補方法只有在受損的混凝土區域要比受損的鋼筋來得大很多時才會被考慮使用。

5.5.6.3 焊接(Welding)

現代的鋼筋製造技術之潮流，是盡量製造低碳當量的鋼筋，以利於焊接作業。相接處可以使用對接(butt joints)或是搭接(lap joints)等焊接的方式。在 BS 8110 中，對兩種焊接的方式都接受；但一般說起來，對接的方式，其強度只有原來強度的 80%左右。而以搭接焊接的方式進行時，對於 20mm 直徑的鋼筋，其搭接只要 80mm。如此則可以大大降低所需要敲除的混凝土量。在 ACI 318 中，對於大尺寸鋼筋(六號筋以上)，規範允許在主要結構物中使用焊接疊接(welded splices)，不過在張力筋要求焊接所發展出來的強度，需高過降伏強度的 125%。

因此對於受損區域的鋼筋，焊接新的補強筋是可以考慮的一種方法。需要注意的是，焊接對於抗疲勞性質有負面的效果，因此對於某些特殊目的之鋼筋，不得採用焊接方式補筋。

在進行主要的修補作業前，應該對水下焊接進行試焊，並準備試樣對焊接後的行為進行測試。

5.5.6.4 鋼筋耦合器(Reinforcement coupler)

鋼筋耦合器可以是機械式的或是樹脂式的。機械式的鋼筋耦合器，是以套管(無縫管)罩在要相接的兩鋼筋的相接端。然後以水壓力的方式鍛造套管，使之與鋼筋契合。BS8110 與 ACI 318 都允許使用機械式鋼筋耦合器，不過需以同樣尺寸形式之鋼筋以此鋼筋耦合器相接，然後進行測試，瞭解其受力之後的變形，並觀察其終極強度(ultimate strength)。

然而，本法在於鋼筋排筋密集處無法使用，因為用以鍛造套管的

水壓力鍛造設備難以進入該區域。如果機械式鋼筋耦合器的方式可以使用時，將形成緊密的接頭，對 20mm 直徑的鋼筋而言，通常長度為 150mm。因為此法主要是靠套管與鋼筋之間的機械卡榫力，故此法在現地實務上可以應用在許多的案例中，而不會受到溫度、鋼筋表面狀況或是是否有水存在的影響。

樹脂灌漿耦合器與機械式耦合器類似，都是在相接的鋼筋相接端以套管套住。然後套管兩端封住，再以快乾樹脂注入套管中，密合的樹脂扮演將力由鋼筋傳遞到套管的角色。傳遞力的能力取決於樹脂本身以及樹脂與套管還有樹脂與鋼筋間的黏結/機械卡榫力。此類耦合器的長度與機械式耦合器的長度一般說起來類似。

樹脂式耦合器可以容許鋼筋有小量的變形，並且在設計上可以容許多筋相接。然而樹脂式耦合器的問題在於當有高應力作用時，其潛變效應值得堪憂。然而，如果鋼筋在初始狀態是處於未受應力狀態時，則潛變效應相較於其他因子較為不重要。

5.5.6.5 外附鋼板

在很多修理的狀況，並不會將鋼筋相接，而是採用在外部以螺栓或是膠合的方式把鋼板貼附在混凝土表面，達到加勁之目的。

在過往，有大量關於貼附鋼板使用來強化梁構件與橋梁系統的研究，而在離岸結構物上的修補應用，重點整理如下：

1. 在同樣的承載下，貼附鋼板會讓裂縫寬度的開展降低，並且增加最大彎矩(特別對於使用剛性環氧樹脂膠合劑的狀況)。
2. 雖然在使用環氧樹脂膠合劑時，超過 2mm 厚度並無法更有效的增加膠合後的行為；膠合厚度仍不能太低，特別低於 1mm 反而是有害的。當鋼板貼附在不平整的混凝土表面時，則需要注意此時的膠合厚度會隨著混凝土表面的狀況而有所不同。
3. 有研究報告顯示，在混凝土與膠合樹脂發現極微細的裂縫，這使

得腐蝕性物質得以接觸到鋼板內面，造成腐蝕。有研究顯示，有曝曬兩年時間內，就發現鋼板開始腐蝕的情況，雖然此等腐蝕並未影響到整體結構的行為，但仍值得注意。

4. 長期將環氧樹脂膠合劑浸置在海水裡，將導致其黏結力以及剪力下降。

因此，雖然已經有許多使用貼附鋼板強化結構的經驗，使用樹脂基膠合劑仍需要更長期的資料來證明其恰當性。除了使用環氧樹脂膠合劑以外，建議仍要輔以將鋼板以螺栓故定在混凝土上或是使用對穿式螺栓把鋼板故定在混凝土。

在多數的修補狀況，貼附鋼板是用來強化未受損的結構。當結構物受損時，則貼附鋼板的設計必須要考量提供加勁材料的連續性以及修補中承受混凝土壓力。

對於修復樁或是柱構件，則可以使用預鑄鋼套管加附在構件之外的方式。此法在 5.5.5.6 小節已經敘述。

5.5.6.6 修補預力鋼鍵)

當預力鋼鍵出現破損甚至斷裂的時候，除了修復鋼鍵之外，也要重新將該區域施加預力。這會對於修補材料的混凝土給予壓力，以避免在反覆載重下(cyclic loading)出現後續的裂縫。取決於破損的狀況，有許多方式可以進行重施預力。在圖 5.77 中為其中的三種方式：

1. 平坦千斤頂修補法(flat-jack repair)：當沒有預力鋼鍵存在或是預力鋼鍵並未破損時，可以使用平坦千斤頂對修補區域的混凝土施加壓力。
2. 間接鋼鍵相接(indirect tendon linking)：在受損區域的上端以及下端相接鄰的未受損區以螺栓將鋼拖架故定在結構體上，然後在上

下拖架中使用 Macalloy 鋼棒施加預力。

3. 鋼鍵延續(tendon extension)：將斷裂之鋼鍵以 Macalloy 鋼棒延續，然後露出修補區域(通常局部會增大斷面)，再施予預力。

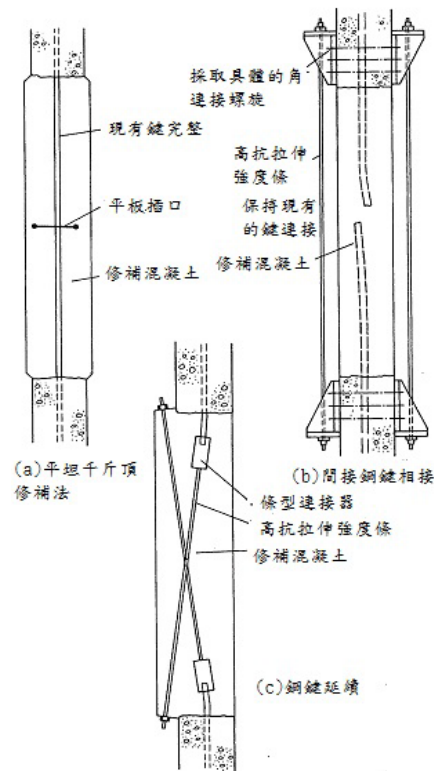


圖 5.77 預力鋼鍵修補^[51]

5.6 混凝土結構防護與修補材料與技術綱要手冊初稿

5.6.1 前言

本手冊係參考 EN 1504-2005 所編制，主要內容涵括混凝土結構產品和系統的保護和維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定，可作為處理有關“混凝土結構系統的保護和維修”的參考資料，其分項內容包括：

1. 術語和定義 (Terms and definitions)；
2. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合

格鑑定混凝土表面保護系統；

3. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定結構和非結構維修；
4. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-結構性的黏接；
5. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-混凝土灌注；
6. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-錨固鋼筋；
7. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-鋼筋腐蝕防護；
8. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-品質控制和合格鑑定；
9. 混凝土結構產品和系統的保護和維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-產品和系統使用的一般原則。

5.6.2 術語和定義(Terms and definitions)

5.6.2.1 鑑別試驗(identification test)

進行檢/試驗證以鑑別產品成分或品質一致性。如試驗結果在允許誤差範圍內，可保證受試驗的產品或系統具有原來的特性。

5.6.2.2 性能(performance)

產品或系統能提供有效和持久的維護或保護能力，對原有的結構、其他建築、現場操作人員、使用者和環境均不會有不良的影響。

5.6.2.3 性能要求(performance requirements)

產品或系統需要具有機械、物理和化學性質，可提供修復混凝土和結構體的耐久性和穩定性。

5.6.2.4 性能測試(performance test)

在使用前或使用中依據指定性能，藉由試驗來證明產品或系統的需求或標示價值，以確保產品或系統符合其規定的特性。

5.6.2.5 產品、產物、材料(product)

依據配比拌製作為混凝土結構維修或保護的膠凝或膠結產品。

5.6.2.6 系統(systems)

兩個或兩個以上的產品並用，或連續進行混凝土結構維修或保護。

5.6.2.7 技術(technology)

特定的設備或方法應用於產品或系統（例如裂縫澆注）。

5.6.2.8 產品和系統的主要種類(Main categories of products and systems)

1. 錨固產品和系統(anchoring products and systems)

(1)錨鑲入混凝土增加強度給予足夠的結構性能。

(2)填補孔隙以確保鋼材與混凝土構件的連續性。

2. 灌注物和系統(injection products and systems)

適當的使用灌注物或系統，可恢復結構的完整性及/或耐久性。

3. 非結構修理產品和系統(non-structural repair products and systems)

使用產品或系統，可恢復結構外觀或美觀。

4. 增強保護產品和系統(reinforcement protection products and systems)

產品或系統作為防護使用，如加強提供防腐蝕保護。

5. 結構粘接的產品和系統(structural bonding products and systems)

產品或系統提供一個持久的結構粘接以增加材料的應用。

6. 結構修復產品和系統(structural repair products and systems)

產品和系統替換破損的混凝土，以恢復結構的完整性和耐久性。

7. 表面保護產品和系統(surface protection products and systems)

產品和系統可提高混凝土和鋼筋混凝土結構的耐久性。

8. 保護和修復產品和系統的主要成分(Main chemical types and constituents of protection and repair products and systems)

(1) 添加物(additions)

無機粉料，可添加於維修產品中以改善性能或或獲致特殊功能。可分為惰性的添加物及火山灰或潛在的膠凝添加物。

(2) 水化膠結材料添加劑(additives for hydraulic binders)

添加劑不包括外加劑和前節添加物。

(3) 高分子添加劑(additives for reactive polymer)

一般的添加劑例如塑化劑(plasticizers)、速凝劑(accelerators)、緩凝劑(retarders)、增黏劑(materials which regulate the rheology)、顏料(pigments)及填充料(fillers)等。

5.6.2.9 摻料(admixtures)

在拌製混凝土過程中加入的摻料，一般不超過水泥質量的 5%。

5.6.2.10 塗層(coating)

混凝土表面經處理後，產生的連續保護(膜)層。一般厚度約為

0.1mm 至 5.0mm，。特殊需要時，厚度可大於 5mm。結合材可能是有機聚合物，有機聚合物與水泥混合或改質水泥。

5.6.2.11 水化結合材料(hydraulic binders)

無機材料與水發生反應，生成的固體材料。

5.6.2.12 水化水泥砂漿和混凝土(hydraulic mortars and hydraulic concretes, CC)

砂漿及混凝土利用水化水泥將粒料黏接，包含外加劑(admixtures)與添加物(additions)，當與水混合因水化反應生成固體的材料。

5.6.2.13 疏水性表面注入處理(hydrophobic impregnation)

混凝土經表面浸漬處理，毛細孔產生撥水塗層，產生防水功能；但混凝土表面孔隙並未被填滿，外觀沒有改變，如使用矽烷或矽氧烷處理。

5.6.2.14 滲入(impregnation)

混凝土經表面注入處理，減少混凝土表面的孔隙並強化表面。孔隙部分或全部被填滿。這種處理通常會導致不連續性的薄膜在混凝土表面形成。可能使用有機聚合物。

5.6.2.15 聚合物水泥砂漿或混凝土(polymer hydraulic cement mortars or concretes, PCC)

藉由聚合物加入，使砂漿或混凝土改質，一般使用的聚合物包括：

1. 丙烯酸、甲基丙烯酸或更改性質的丙烯酸樹脂，可再分散粉末或水分散體
2. 乙烯基單聚合物(vinyl mono-polymer)，作為可再分散粉末或水分散體

3. 苯乙烯丁二烯共聚物，一般為水分散體；
4. 天然橡膠膠乳及
5. 環氧樹脂。

5.6.2.16 聚合物砂漿和聚合物混凝土(polymer mortars and polymer concretes, PC)

利用聚合物的聚合反應結合粒料形成故體。

5.6.2.17 反應性聚合物黏合劑(reactive polymer binder, P)

黏合劑一般由兩個部分組成，一是反應聚合物基，另一是故化劑或催化劑，在室溫下故化的樹脂也可加入其他添加劑。在某些系統中，環境濕氣可作為硬化劑/催化劑，一般的聚合物黏合劑包括環氧樹脂、不飽和聚酯、交聯丙烯酸樹脂、一個或兩個成分的聚氨酯。

5.6.3 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質 控制和合格鑑定混凝土表面防護系統

本節規定用於混凝土表面保護的產品和系統其安全性與合格評定的要求，其目的在於增加混凝土、鋼筋混凝土結構維護和修復工作的品質與耐久性。表面防護方法包括：注入(撥水)、注入(部份或全部孔隙被充滿)及塗封。

5.6.3.1 滲入法

使材料滲入混凝土表面孔隙內，以控制水分進入混凝土中，注入法應先將混凝土表面清潔乾淨。可以使用撥水性材料(silane 與 siloxane 是最常被使用的)與混凝土中的矽酸基材料進行化學反應，使毛細孔表面具有撥水效能，阻水進入，但氣體傳輸仍可發生。有些化合物會造成部份填滿或全部填滿，包括(1)與水泥基材反應(如矽酸鈉)或如有機聚合物可自生反應並有自癒效能。

5.6.3.2 塗封

可控制水的吸收，氣體的傳輸及氣體或液體的擴散。



圖 5.78 表面注入法示意圖



圖 5.79 塗封的示意圖

5.6.3.3 預期使用的性能特點

表 5-51 列出表面保護產品和系統的性能特點，其被要求“全部預期使用”或“部分預期使用”，性能特點若被要求對於“全部預期使用”則標為■。若標為□，則被要求對於“部分預期使用”。(資料來源：EN1504)

表 5-51 –表面保護產品與系統的性能特徵

編號	試驗方法	原則	1.滲入防護			2.濕度控制		5.物理性抵抗		6.化學性抵抗	8.增加電阻	
			1.1 (H)	1.2 (I)	1.3 (C)	2.1 (H)	2.2 (C)	5.1(C)	5.2(I)	6.1 (C)	8.1 (H)	8.2 (C)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	EN 12617-1	線性收縮			□		□	□		□		□
2	EN 12190	抗壓強度						□		□		
3	EN 1770	熱膨脹係數			□		□	□		□		□
4	EN ISO 5470-1	耐磨性						■	■			
5	EN ISO 2409	剪切測試黏著力			□		□	□		□		□
6	EN 1062-6	CO ₂ 滲透率			■							
7	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	水氣滲透率		□	■		■					■

		原則	1.滲入防護			2.濕度控制		5.物理性抵抗		6.化學性抵抗	8.增加電阻	
8	EN 1062-3	毛細吸收和水的滲透性		■	■		■	■	■	□		■
9		熱兼容性下附著力										
	EN 13687-1	凍融循環(除冰鹽浸泡)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 13687-2	雷震動循環(熱衝擊)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 13687-3	熱循環(無除冰鹽的影響)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 1062-11: 2002	4.1 老化(7天, 70 °C)		□	□		□	□	□	□		□
10	EN 13687-5	熱衝擊的抵抗性			□			□		□		
11	EN ISO 2812-1	抗化學性		□	□							
12	EN 13529	對嚴重化學侵蝕的抵抗性								■		
13	EN 1062-7	橋接裂縫能力			□		□	□		□		□
14	EN ISO 6272-1	抗衝擊性						■	■			
15	EN 1542	黏結強度(拉脫試驗法)		□	■		■	■	■	■		■
16	EN 13501-1	建築產品和建築構件的防火等級 - 第1部分: 使用防火測試的測試數據分類		□	□		□	□	□	□		□
17	EN 13581	滲透撥水混凝土抵抗凍融除冰鹽應力(質量損失的測定)	□			□					□	
18	EN 13036-4	防滑動/滑行		□	□		□	□	□	□		□
19	見 Table	穿透深度	■	■		■			■		■	

		原則	1.滲入防護			2.濕度控制		5.物理性抵抗		6.化學性抵抗	8.增加電阻	
	3											
20	EN 1062-11: 2002	4.2：人工風化的行為			☐		☐	☐		☐		☐
21	EN 1081	抗靜電行為			☐		☐	☐		☐		☐
22	EN 13578	濕混凝土的粘結力			☐		☐	☐		☐		
23	EN 13580	吸水率和撥水浸漬抗鹼性	■			■					■	
24	EN 13579	撥水浸漬乾燥率	■			■					■	
25	根據國家標準和國家法規	氯離子擴散	☐	☐	☐							
H: 撥水浸漬 ■所有用途上須具有的特性 I: 浸漬 □某些用途上(ENV 1504-9:1997的範圍內) 須具有的特性 C:塗封												

5.6.3.4 鑑別要求 (identification requirements)

廠商應參考表 5-52 對產品或系統進行初步鑑別試驗，以確認產品符合規定。

表 5-52 撥水性浸漬的性能要求

表 5-51 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
17	經過除冰鹽威脅後的質量損失 此測試僅適用於結構可能會在接觸除冰鹽。	EN 13581	浸漬標本的表面質量的損失，必須進行至少 20 次循環後與未浸漬標本比較。
19	滲透深度測量 100 毫米的混凝土測試多維數據集 C (0,70) 根據 EN 1766 (而不是 C(0,45)EN 13579)。經過 28 天的故化根據 EN 1766，樣品應存放乾燥過程在 EN 1766 所描述。憎水劑的治療，應按照 EN 13579。	穿透深度是 0.5 毫米的精度測量砸開處理後的標本，並噴灑水的斷裂面(使用水代替酚酞酚酞測試方法) 根據 prEN 14630。乾旱區的深度是採取有效的疏水性浸漬深度。	等級 I: < 10 mm 等級 II: ≥ 10 mm
23	吸水率和耐強鹼性	EN 13580	未經處理的試樣吸收率 < 7.5% (在鹼溶液中浸泡後) 吸收率 < 10%。
24	乾燥速率係數	EN 13579	等級 I: > 30 % 等級 II: > 10 %
25	氯離子的擴散 a	受國家標準和國家法規所訂	
a 當毛細血管吸收水 < 0.01 kg/m ² □H0，5 氯離子的擴散是不被預期的。			

5.6.3.5 性能要求

表面防護系統的性能要求如表 5-53 至表 5-57 所示，廠商應根據表中規定負責表面保護產品和系統的初步性能測試，確認產品符合要求。(資料來源：EN1504)

表 5-53 浸漬性能要求-1

表 5-51 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
4	耐磨性（泰伯測試） 10 毫米測片 100 毫米 浸漬混凝土立方試體 （0,70），根據 EN 1766 注意 根據 EN13813 的試驗方法在地板系 統中也可接受	EN ISO 5470-1	研磨輪，H22 /旋轉 1 000 次/負載 1 000 克至少改善 30%的耐磨性與非浸漬的 樣品相比
7	水蒸氣滲透率	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	等級 I $s_D < 5 \text{ m}$ (水蒸氣 可滲透) 等級 II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$ (不 密實抵抗水蒸氣且水蒸氣 不可滲透) 等級 III $s_D > 50 \text{ m}$ (密實 抵抗水蒸汽)
8	毛細管吸收和水的滲透性，	EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \square h^{0,5}$
9	熱兼容性參考基板黏 合後：C（0,70）根據 EN1766 除冰鹽影響的外部應 用：凍融與除冰鹽浸 泡循環（20 ×） 熱衝擊循環（10 ×） 除冰鹽影響的外部應 用：無除冰鹽影響的 熱循環（20 ×）	EN 13687-1 EN 13687-2 EN 13687-3	熱循環 ACC。由 EN 13687-1 和 EN 13687-2 對 同一樣品，開始進行熱衝 擊循環。熱循環後 A) 無氣泡，裂紋和分層 B) 拉脫試驗 應用/載重 平均[N/mm²] 垂直 $\geq 0,8 (0,5)^b$ 水平無機械載重 $\geq 1,0 (0,7)^b$ 水平有機械載重 $\geq 1,5 (1,0)^b$
11	耐化學性（吸水媒介法）	EN ISO 2812-1	抵抗有關環境的影響，應在 EN 206-1 定義，在 30 天曝光後，沒有視覺上的缺陷
14	根據 EN 1766，測定 有塗層的混凝土樣品 MC（0,40）耐衝擊性 注：厚度和預期的衝 擊負荷的影響之類的 選擇。	EN ISO 6272-1	加載後無裂紋和分層 等級 I: $\geq 4 \text{ Nm}$ 等級II: $\geq 10 \text{ Nm}$ 等級 III: $\geq 20 \text{ Nm}$

表 5-54 浸漬性能要求-2

表 5-51 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
15	拉脫參考基材：C (0,70) ACC。 據 EN 1766 的養護 7 天，在 70°C 下 7 天，並與非浸漬標本做比較	EN 1542	應用/載重 平均[N/mm ²] 垂直 ≥0,8 (0,5) ^b 水平無遷移 ≥1,0 (0,7) ^b 水平有遷移 ≥1,5 (1,0) ^b
16	燃燒反應後的應用	EN 13501-1	歐洲等級
18	防滑	EN 13036-4	等級I: ≥40單位濕測試(潮濕表面中) 等級II: ≥40 單位乾測試(乾燥表面中) 等級III: ≥55單位濕測試(外面)或ACC 據國家標準
19	滲透深度測量 100 毫米的混凝土測試多維數據集 C (0,70) 根據 EN 1766 (而不是 C (0,45) EN 13579)。經過 28 天的故化根據 EN 1766，樣品應存放乾燥過程在 EN 1766 所描述。應遵循製造商的指示	砸開處理後的標本，並噴灑水的斷裂面(使用水代替酚酞測試方法) 根據 prEN 14630 穿透深度是指用 0.5 毫米的精確度。乾燥區域的深度是採取有效的浸漬深度	≥5 mm.
25	氯離子的擴散 a	受國家標準和國家法規所訂	
a 當毛細血管吸收水<0.01 kg/m ² □H0，5 氯離子的擴散是不被預期的。 b. 括號內的數值是最低的可接受值。			

表 5-55 塗料的性能要求-1

表 5-51 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
1	線性收縮只適合剛性系統且可應用的厚度 ≥ 3 mm	EN 12617-1	$\leq 0.3 \%$
2	抗壓強度	EN12190	等級 I: $\geq 35 \text{ N/mm}^2$ 等級 II: $\geq 50 \text{ N/mm}^2$
3	熱膨脹係數 只有對塗層厚度 ≥ 1 毫米	EN 1770	剛性系統 ^b 對於外部應用: $\alpha_T \leq 30 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
4	耐磨性 (泰伯測試) 10 毫米測片 100 毫米浸漬混凝土立方試體 (0,70), 根據 EN 1766 注意 根據 EN13813 的試驗方法在地板系統中也可接受	EN ISO 5470-1	重量損失不少於 3 000 毫克打磨輪 H22/ 旋轉 1 000 次/負載 1 000 克
5	根據 EN 1766 利用十字切割試驗測試上塗層的混凝土樣品 MC (0,40) 此測試僅適用於薄光滑的薄膜 0.5 毫米總乾厚度。 注: 測試是進行此外在基本測試的拉脫試驗。因此, 現場的橫切性能試驗可能取代拉脫試驗。	EN ISO 2409 切割寬度: 4 mm	十字切割值: $\leq \text{GT } 2$
6	CO2 滲透率	EN 1062-6 (樣品測試前, 應根據 PREN 1062-11:2002,4.3)	CO2 的滲透率 $s_D > 50 \text{ m}$
7	水蒸氣的滲透率	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	等級 I $s_D < 5 \text{ m}$ (水蒸氣可滲透) 等級 II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$ 等級 III $s_D > 50 \text{ m}$ (水蒸汽不可滲透)
8	毛細管吸收和水的滲透性	EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$

表 5-56 塗料的性能要求-2

表 5-51 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
9	在熱兼容性的黏附力 參照 CC(0,40)根據 EN1766 對於外部應用除冰鹽的影響：凍結鹽除冰鹽浸泡循環 (50x)及熱衝擊循環 (10x) 對於外部應用無除冰鹽的影響：熱衝擊循環無除冰鹽影響(20X) 對於內部應用：在 70°C 下 7 天	EN 13687-1 EN 13687-2 EN 13687-3 EN 1062-11	熱循環 ACC。由 EN 13687-1 和 EN 13687-2 對同一樣品，開始進行熱衝擊循環。熱循環後 A) 無氣泡，裂紋和分層 B) 拉脫試驗 平均[N/mm2] 裂紋橋接或剛性系統 無遷移 $\geq 0,8$ (0,5) ^b $\geq 1,0$ (0,7) ^b 有遷移 $\geq 1,5$ (1,0) ^b $\geq 2,0$ (1,5) ^b
10	對熱衝擊的抵抗力(1X)	EN 13687-5	
11	耐化學性（吸水媒介法）	EN ISO 2812-1	抵抗有關環境的影響，應在 EN 206-1 定義，在 30 天曝光後，沒有視覺上的缺陷
12	抗嚴重的化學侵襲 等級 1: 3d 無壓 等級 2: 28d 無壓 等級 3: 28 有壓 建議在 EN 13529 給出的 20 類，涵蓋所有類型一般化學品使用的測試液體。	EN 13529	硬故低於 50% 當根據 Buchholz 法, EN ISO 2815, or Shore法 EN ISO 868 測量.在試體從浸泡液拿出且塗層被移除後 24小時
13	根據 EN 1062-11:2002，4.1 裂縫橋接的能力 4.1- 7 天，在 70 ° C 的活性樹脂系統 4.2 - 紫外線輻射和濕度分散系統	EN 1062-7	所需的裂縫架橋能力，應由設計師選擇與尊重當地的條件（氣候，裂縫寬度和裂縫運動）。
14	根據 EN 1766，測定有塗層的混凝土樣品 MC (0,40) 耐衝擊性 註：厚度和預期的衝擊負荷的影響之類的選擇。	EN ISO 6272-1	加載後無裂紋和分層 等級 I: ≥ 4 Nm 等級II: ≥ 10 Nm 等級 III: ≥ 20 Nm

表 5-57 塗料的性能要求-3

表 5-51 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
15	拉脫參考基材：C (0,70) ACC。 據 EN 1766 的養護 7 天，在 70°C 下 7 天，並與非浸漬標本做比較	EN 1542	平均[N/mm ²] 裂紋橋接或剛性系統 無遷移 $\geq 0,8 (0,5)^b \geq 1,0 (0,7)^b$ 有遷移 $\geq 1,5 (1,0)^b \geq 2,0 (1,5)^b$
16	燃燒反應後的應用	EN 13501-1	歐洲等級
18	防滑	EN 13036-4	等級I: ≥ 40 單位濕測試(潮濕表面中) 等級II: ≥ 40 單位乾測試(乾燥表面中) 等級III: ≥ 55 單位濕測試(外面) 或ACC 據國家標準
20	人工風化 根據 EN 1062-11:2002, 4.2 (UV 紫外線和濕度) 在外部的應用，應被測試的只有白色和 RAL 7030。	EN 1062-11	在 2000 小時的人工風化後 無起泡 根據 EN ISO 4628-2 無裂紋 根據 EN ISO 4628-4 無剝落 根據 EN ISO 4628-5 輕微的顏色變化，失去光澤和粉化，可能會接受表，但應當說明。
21	抗靜電行為	EN 1081	等級 I: $>10^4$ and $<10^6 \Omega$ (具爆炸性的物質) 等級 II: $>10^6$ and $<10^8 \Omega$ (爆炸危險物質)
22	濕混凝土的粘附能力 (基材：MC (0,40))	EN 13578	在施加載重後 a) 無起泡 根據 EN ISO 4628-2 無裂紋 根據 EN ISO 4628-4 無剝落 根據 EN ISO 4628-5 b) 拉脫強度 $\geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ ，破壞應發生在混凝土破裂 $> 50\%$
25	氯離子的擴散 a	受國家標準和國家法規所訂	
a 當毛細血管吸收水 $< 0.01 \text{ kg/m}^2 \square \text{H}_0$，5 氯離子的擴散是不被預期的。 b. 括號內的數值是最低的可接受值。 c. 剛性塗料是塗料對於岸上(shre) $D \geq 60$ 根據 EN ISO 868。			

1. 結構與非結構修復產品與系統

結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法，按照一般使用與特殊使用的區別，應符合的下表 5-58 到表 5-61 所列特性。

表 5-58 一般及特定使用的結構及非結構修補產品之性能特徵

性能特徵	修補原則			
	3	4	7	
	修補方法			
	3.1,3.2	3.3 ^a	4.4	7.1,7.2
抗壓強度	○	○	○	○
氯離子含量 ^b	○	○	○	○
黏結強度	○	○	○	○
束制時的收縮/膨脹 ^c	○	○	○	○
耐久性 a) 抗碳化 ^{bd}	○	○	○	○
耐久性 b) 熱相容 ^e	□	□	□	□
彈性模數	□	□	○	□
抗滑動 ^f	□		□	□
熱膨脹係數 ^g	□	□	□	□
毛細吸附(透水性) ^{gh}	□	□	□	□
修補方法詳如 ENV 1504-9:1997 3.1 用手工工具塗抹砂漿修復混凝土。 3.2 鑄模澆置修復混凝土。 3.3 利用噴塗砂漿或混凝土修復混凝土。 4.4 增加砂漿或混凝土強化結構。 7.1 使用額外的水泥砂漿或混凝土增保護層厚度。 7.2 置換受汙染或碳化的混凝土。 ○ 一般使用 □ 特定使用				
a 由於應用方法的性質不同，有些測試方法可參考 EN14487-1 修改。 b 這項規定不適用於無筋混凝土。 c 如果進行熱循環，本試驗不須執行。 d 如果修補系統包括一已經驗證的抗碳化保護層表面(EN1504-2)或砂漿層，本試驗不須執行。 e 依據暴露環境條件而定。 f 只需在交通區域進行。 g 僅適用於水泥質系材料。 h 抗蝕性與氯離子含量和透水性有關。				

表 5-59 結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法

項目 號數	性能特徵	參考基材	測試方法	需求			
				結構性		非結構性	
				R4 級	R3 級	R2 級	R1 級
1	抗壓強度	無	EN 12190	≥45 MPa	≥25 MPa	≥15 MPa	≥10 MPa
2	氯離子含量	無	EN 1015-17	≤0.05%		≤0.05%	
3	黏結強度	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2.0 MPa	≥1.5MPa	≥0.8 MPa ^a	
4	束制收縮/膨脹 ^{bc}	MC(0,40)	EN 12617-4	試驗後的黏結強度			無要求
				≥ 2.0 MPa	≥1.5MPa	≥ 0.8MPa ^a	
5	抗碳化性 ^f	無	EN 13295	d _k ≤控制混凝土 Mc(0,45)		無要求 ^g	
6	彈性模數	無	EN 13412	≥ 20 Gpa	≥15Gpa	無要求	
7	熱相容性 th 凍融	MC(0,40)	EN 13687-1	50 次循環後的黏結強度 ^{dc}			50 次循環 後目視檢 查 ^e
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa	
8	熱相容性 th 雷陣雨	MC(0,40)	EN 13687-2	30 次循環後的黏結強度 ^{dc}			30 次循環 後目視檢 查 ^e
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa	
9	熱相容性 th 乾燥循環	MC(0,40)	EN 13687-4	30 次循環後的黏結強度 ^{dc}			30 次循環 後目視檢 查 ^e
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa	
10	抗滑動性	無	EN 13063-4	類型 I: >40 單元濕測試 類型 II: >40 單元乾測試 類型 III: > 55 單元濕測試		類型 I: >40 單元濕測試 類型 II: >40 單元乾測試 類型 III: >55 單元濕測試	
11	熱膨脹係數	無	EN 1770	如已完成 7,8,9 項試驗，不需進行本試驗		如已完成 7,8,9 項試驗，不需進行本試驗	
12	毛細吸附	無	EN 13057	≤ 0.5kgm ⁻² h ^{-0.5}		≤ 0.5kgm ⁻² h ^{-0.5}	無要求

修補原則 3.4.7 的要求:

3.1 用手工具塗抹砂漿修復混凝土。

3.2 鑄模澆置修復混凝土。

3.3 利用噴塗砂漿或混凝土修復混凝土。

4.4 增加砂漿或混凝土強化結構。 7.1 使用額外的水泥砂漿或混凝土增保護層厚度。 7.2 置換受汙染或碳化的混凝土。
a 如果凝聚膠破壞於修補材料，不需要滿足 0.8MPa。如果發生黏結破壞發，則最低抗拉強度要求 0.5MPa。 b 修補方法 3.3 不要求 c 如進行熱循環不需要此試驗。 d 沒有單一值或平均值低於 75%的最低值。 e 最大允許平均裂縫寬度$\leq 0.05\text{mm}$，無任何單一裂縫寬度$\geq 0.1\text{mm}$，且無剝層破壞。 f 耐久性目的。 g 不適用於抗碳化防護，除非有抗碳化的保護層（見 EN 1504-2）。 h 方法的選擇取決於暴露條件，當一個產品滿足第一部分則視為滿足 2 和 4 部分。

表 5-60 工廠生產控制之測試頻率

辨識特徵/性質	水泥基產品	環氧樹脂
組成部分辨識		
外觀和顏色	A	A
乾料粒徑分析	B	B
紅外線分析 ^{ab}	D	C
環氧當量 ^b	—	C
胺材作用 ^b	—	C
液體成分中揮發性/非揮發性物質	B	B
新拌的混合物或硬故試體辨識		
硬故時間		
工作性（二選一）	B	B
鍋使用壽命	—	A
抗壓強度與密度	B	B
A 每批次(詳如EN 1504-8) B 每10批次，每兩周或每1000 ton，依照先達到的時間為準 C 一年兩次 a 所有含有機成分的產品. D 一年一次 b 原料供應商提供的文件應符合此需求		

表 5-61 特殊應用的測試方法

性質	測試方法	參考混凝土	意見
氯離子侵入	EN 13396		宣稱值(當已確定使用表面保護系統不須此試驗)
受壓潛變 ^a	EN 13584		宣稱值
抗化學性	EN 13529 或 ISO 2812-1		宣稱值(當已確定使用表面保護系統不須此試驗)
頂板施工(如維修 橋梁拱腹)	EN 13395-4	MC (0,40)	黏結強度應符合 表 3 規定
a 使用水泥質修補砂漿於結構中，通常不需要進行本試驗，如果使用 60% 的 28 天抗壓強度作為設計標準。			

5.7 小結

根據本研究第一年期進行之修補材料力學性質展開探討，如果預修補裂縫尺寸類屬中小尺寸裂縫，主要考量工作性，次要考慮它項基本力學性質，此時環氧樹脂漿體，主劑：硬化劑 = 4：1 表現最為良好，但用於大體積修補，或有力學性質考量時，環氧樹脂漿體將有體積變化之隱憂。

對於大體積之補綴，使用含有細粒料之修補材料砂漿，如需考量到具有良好的水中耐磨損性以聚丁苯乙烯橡膠 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1：0.5 為佳，若考量到體積變化則以聚丁苯乙烯橡膠砂漿 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1:0.5 表現較好。

延續本年度之力學性質試驗結果，進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗等可建立更完善之工作性特性。

考量實際成本可行性，應評估各材料之成本效益評估。如機會許可，渴望與貴單位合作，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。為得知修補材料之耐久性特性，氯離子電滲試驗、吸水率試驗、碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。相容性在複合材料性質中占有相當重要，故預計進行溫度影響試驗，其他如火害試驗也相當重要。

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)辦理港灣碼頭及濱海建物之現況調查，共計澎湖地區商港、漁港之碼頭及防波堤設施與其濱海地區建物之現況調查、花蓮港航道岸壁與 4 至 9 號碼頭鋼板樁防蝕設施效能檢測；(2)完成「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類」，內容包含大氣腐蝕現地金屬試片暴露試驗、臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫更新與維護等；(3)辦理「港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究」，針對 RC 構造物之各種修補材料進行研究。完成 8 種修補材料基本性質試驗與製作混凝土試體，並研擬修補手冊初稿等。

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：港灣碼頭及濱海建物之現況調查

1. 本年度共調查馬公商港 1 號及 6-8 號等共座棧橋式鋼管樁碼頭、花蓮港 4-6、8-9 號碼頭及航道西側岸壁鋼板樁共 5 座碼頭及 1 處構造物，與澎湖縣 13 處主要第三類漁港重力式碼頭、防波堤或濱海建物。
2. 調查結果顯示，馬公商港 1 號及 6-8 號等碼頭，檢測時發現除少數岸壁混凝土輕微劣損、護舷材輕微裂縫外，並無明顯影響碼頭功能之跡象，由於上述劣損狀況係屬輕微與局部性，且其所占範圍比例(E)均小於 10%，故初步評估計算破壞指標皆小於必須進行細部評估之指標值(2.0)，不須進行立即性維修，惟碼頭使用時間均已超過或接近 20 年，建議每年仍必須落實例行性之巡查。
3. 花蓮港 4-5 號碼頭之鋼板樁約有 1.2 公尺露出於水面上，為國內少數之特例，其外觀雖無明顯腐蝕生銹現象且港務局均定期實施必要之防蝕維護工作，但因使用時間已長達 50 年，且碼頭後線土壤也會使鋼板樁發生腐蝕，故建議應加強檢測頻率確保碼頭本體設施使用安全。
4. 花蓮港 4-6 號碼頭檢測時，發現碼頭後線面版有較明顯之不均勻沉陷，部份岸壁鋼混凝土亦發現少數混凝土剝落內部鋼筋外露銹蝕現象。雖不影響碼頭營運，且初步評估破壞指標亦均小於 2.0，但因碼頭使用時間已長達 40~50 年，建議須增加檢測頻率或另評估上部結構承載能力，以維碼頭使用安全。
5. 花蓮港 8-9 號碼頭與航道岸壁檢測時，除 8 號碼頭後線排水溝出現雜草未清除外混凝土並無明顯劣化或沉陷，初步評估其破壞指標亦均小於 2.0，不須進行立即性維修。
6. 花蓮港 4-6、8-9 號碼頭及航道西側岸壁之鋼板樁，已於民國 94 年陸續完成安裝鋁合金犧牲陽極塊作為防蝕措施，檢測時鋼板樁水下部份均未發現腐蝕穿孔或破洞等損壞，鋼板樁防蝕電位與陽極塊發生電位之檢測結果，皆顯示防蝕措施已達到保護鋼板樁防蝕之目的。
7. 本年度調查澎湖地區漁港共 12 處，調查結果顯示各漁港設計水深

多介於-2.0~-4.0m 之間，最深水深亦僅約-6.0m，現有碼頭設施皆能承受之土壓力和水壓力，不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，另漁港均無遭受大型船隻碰撞撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。

8. 澎湖地區漁港維護之主要工作項目，仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，由於漁港規模不大，設計水深亦淺，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，另建議規模較大之漁港碼頭，可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

子計畫二：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究

1. 根據季節變化四次採樣調查結果顯示以臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率以秋季最為嚴重，由基隆一直到嘉義縣東石鄉，氯鹽沉積速率多大於 10 mg/m²/day 且約在 8 ~ 34 mg/m²/day 之間；在東部海岸以夏季較為嚴重，由梗枋安檢所至尚武安檢所氯鹽沉積速率介於 5 ~ 65mg/m²/day 之間，在四次季節累積之平均氯鹽沉積量以臺灣東部海岸以橄仔樹安檢所最高。
2. 臺灣本島一年期累積的氯鹽沉積速率，南部海岸除核三廠試驗線，相較西部海岸從雲林麥寮以北至北部海岸的基隆試驗線及自基隆試驗線至東部海岸的臺東尚武安檢所，一年期累積的氯鹽沉積速率多大於 10 mg/m²/day，在高鐵沿線各站方面，一年期累積調查結果分別為：臺中站 2.8 mg/m²/day、嘉義站 2.60 mg/m²/day 與左營站 10.3 mg/m²/day。
3. 在臺灣全年期之試驗結果以桃園大潭試驗線、臺中港試驗線、臺塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率較高。
4. 二氧化硫沉積量四次調查分佈情形：在西海岸秋季與冬季期間，以觀音工業區、通霄火力電廠、彰濱工業區、中鋼公司、興達火力電廠附近二氧化硫沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東海岸

四次調查皆以龍德工業區沉積速率較高，在冬季期間發現以觀音工業區二氧化硫沉積速率最高。

5. 臺灣各地於一年調查 2009.08-2010.09 期間，平均濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 73.45%及彰濱工業區 20.5%之間，濕潤時間百分比大於 70%有陽明山國家公園及陽明山硫磺區 73.5%。其次較大濕潤時間有龍德工業區 57.1%、南澳安檢所 55.9%、蘇澳港試驗線、基隆試驗線、核三廠試驗線等地區，介於 20%至 60%之間。而濕潤時間最小發生在外埔、五甲安檢所 20.62%及彰濱工業區 20.5%。
6. 整體而言碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，而在碳鋼金屬在基隆試驗線 100m、龍德工業區、臺塑六輕試驗線 0m、桃園試驗線 0m、陽明山硫磺區腐蝕環境可達到 C5+。
7. 銅金屬其在臺灣全島地區的腐蝕狀況，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 至 C5+等級，山區腐蝕環境為 C3 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境均為 C4 等級。
8. 鋁金屬，除濱海地區之腐蝕環境為 C5 等級，山區腐蝕環境為 C2 等級外，臺灣各試驗位址的腐蝕環境多為 C3~C4 等級。
9. 在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，碳鋼與鋅金屬多為 C3，銅金屬則為 C4 等級，鋁金屬為 C2 ~C3 等級。

子計畫三：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究

1. 根據本研究第一年期進行之修補材料力學性質展開探討，如果預修補裂縫尺寸類屬中小尺寸裂縫，主要考量工作性，次要考慮它項基本力學性質，此時環氧樹脂漿體，主劑:硬化劑 = 4:1 表現最為良好，但用於大體積修補，或有力學性質考量時，環氧樹脂漿體將有體積變化之隱憂。
2. 對於大體積之補綴，使用含有細粒料之修補材料砂漿，如需考量到具有良好的水中耐磨損性以聚丁苯乙烯橡膠 0.3 水灰比、5%修補材

料取代水泥量、乾比重比 1:0.5 為佳，若考量到體積變化則以聚丁苯乙烯橡膠砂漿 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1:0.5 表現較好。

3. 延續本年度之力學性質試驗結果，進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗等可建立更完善之工作性特性。考量實際成本可行性，應評估各材料之成本效益評估。如機會許可，渴望與貴單位合作，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。為得知修補材料之耐久性特性，氯離子電滲試驗、吸水率試驗、碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。相容性在複合材料性質中占有相當重要，故預計進行溫度影響試驗。其他如火害試驗也相當重要。

參考文獻

1. "港灣構造物安全檢測與評估之研究 2/2"，交通部委託國立中山大學辦理，2001。
2. "港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）"，交通部委託國立中山大學辦理，2001。
3. "港灣構造物維護管理準則之研究"，交通部運輸研究所委託國立臺灣海洋大學辦理，2004。
4. "「港灣設施維護手冊（草案）」"，交通部運輸研究所，2001。
5. "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、國立中山大學海洋環境及工程系，高雄，2002。
6. "高雄港鋼板(管)樁碼頭水下檢測工作規則"，交通部高雄港務局，2004。
7. "基隆港務局港埠設施維護檢修作業規定"，交通部基隆港務局，1998。
8. "花蓮港外港防波堤及碼頭鋼板樁監測"，交通部花蓮港務局委託交通部運輸研究所辦理，2001。
9. "碼頭結構物現況調查研究"，交通部運輸研究所，2006。
10. "港灣構造物耐久性與維護機制之研究 2/4"，交通部運輸研究所，2007。
11. "臺灣地區商港及漁港設施現況調查(2/2)"，交通部基隆港務局，2011。
12. "港灣構造物腐蝕評價手法"，日本運輸省港灣技術研究所，No. 501 , P11，1984。

13. 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。
14. "基隆港東防波堤延伸工程規劃評估"，交通部基隆港務局，2005。
15. J Christopher Ball, "Galvanic corrosion protection of reinforced concrete structure at cape canaveral", Concrete in Austrial Vol. 34 No.
16. 橫田 弘等，"既有棧橋之生命週期分析之檢討"，港灣空港技術研究所資料，2005。
17. 岩波 光保，"既有設施考慮機能向上之生命週期分析評價之檢討等"，港灣空港技術研究所資料，2006。
18. 高橋 宏直，"港灣設施之維修補強與更新費之將來預測關係之研究"，國土交通省國土技術政策綜合研究所，2002。
19. "臺中港九二一地震後災後重建誌-1999 九二一集集大地震臺中港設施復建記錄"，交通部臺中港務局，2001。
20. "Port designer' s handbook- recommendations and guidelines" ,Carl A Thoresen, 2003.
21. ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
22. 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。
23. ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
24. 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。

25. ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
26. 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，1988。
27. ISO 8407/1991: Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens.
28. ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guiding values for the corrosivity categories.
29. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 1999.
30. ISO 8565/1992: Metals and alloys – Atmospheric corrosion testing – General requirements for field tests.
31. 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報告，2008。
32. 李有豐、林安彥，"橋梁檢測評估與補強"，拳華科技圖書股份有限公司，2000。
33. 鄭讚慶，"防蝕塗層效能評估及鋼筋腐蝕對握裹強度影響之研究"，國立臺灣海洋大學河海工程學系，碩士論文，2001。
34. 林平全，"混凝土施工"，徐氏基金會出版，1998。
35. 彭添富，"鋼筋混凝土學"，大中國圖書公司印行，2001。
36. 陳保成，"矽灰與纖維砂漿作為修補材料抗撞擊行為之探討"，國立嘉義大學土木與水資源工程研究所，碩士論文，2008。

37. P. K. Mehta and M. Paulo, "Concrete : Structure, Properties, and Materials, "2nd Ed., Prentice Hall, 1992 , pp.160-171.
38. H. H. Uhlig and R. W. Revie, "Corrosion and Corrosion Control", 3rd Edition, Wiley Interscience, N. Y., 1985, pp. 28-35.
39. 汪士鈞, "鋼筋在高性能混凝土內腐蝕特性", 國立成功大學土木工程研究所, 碩士論文, 1999。
40. K. K. Creatsil and F. P. Glasser., "Analysis of the Steel : Concrete Interface, " Proc. of Conf. on Corrosion of Reinforcement in Concrete, UK, 1990, pp. 74-86.
41. 汪士鈞, "鋼筋在高性能混凝土內腐蝕特性", 國立成功大學土木工程研究所, 碩士論文, 1999。
42. Beeby., "Corrosion of Reinforcement Steel in Concrete and its Relation to Cracking", The Structural Engineer, No. 3, Vol. 56A, March, 1978.
43. S. W. Tsai and H. T. Hahn, "Introduction to Composite Materials", Technomic Publishing Co., Inc. Westport, 1980.
44. Peter H Emmons, "Concrete Repair and Maintenance Illustrated", R. S. Means Inc., 1993.
45. "混凝土工程施工規範與解說", 中國土木水利工程學會, 混凝土工程委員會, 1999。
46. 趙志方、周厚貴、袁群、馬金剛, "新老混凝土黏結機理研究與工程應用", 中國水利水電出版社, 2003。
47. W. Yeih, J. J. Chang, and C. C. Hung, C. C., "Selecting an Adequate Procedure for the Electrochemical Chloride Removal",

Cement and Concrete Research, Vol. 36, No. 3, pp.562-570, 2006.

48. W. Yeih and J. J. Chang, "A Study on the Efficiency of Electrochemical Realkalisation of Carbonated Concrete", Journal of Construction and Building Materials, Vol. 19, No. 7 , pp.516-524, 2005.
49. W. Yeih, H. -M. Hsu, J. J. Chang ,C. C. Hung and R. Huang, "A Study on Repairing Internal Defects inside Concrete Using the Electrochemical Deposition method", Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 18, No. 3,,pp. 424-429, 2009.
50. W. Yeih and J. J. Chang, "Preliminary Study of Electrochemical Treatment for Repairing Mortars Subjected to Alkali-Silica Reaction", The 4th Asia Conference Federation International Conference, Taipei, 2010.
51. Andrew McLeish, "Underwater Concreting and Repair", Elsevier Ltd., London, 1994.
52. UEG, "Handbook of Underwater Tools", Report No.UR18, Underwater Engineering Group, CIRIA, London, 1983.
53. C. A. Keeney, "Procedures and Devices for Underwater Cleaning of Civil Works Structures", Technical Report REMR-CS-8, US Army Engineer Waterways Experiment Stations, Vicksburg, MS, 1987.
54. Concrete Society, "Assessment of Fire Damaged Concrete Structures and Repairs", Concrete. Working Party Report No. 15, Concrete Society, London, 1978.

55. J. I. Heneghan, "Shotcrete Repairs of Concrete Structures in Marine Environments", ACI Publication SP65-28, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1965.