

100-28-7520
MOTC-IOT-99-H1DB012

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查 與維護(2/2)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100-28-7520
MOTC-IOT-99-H1DB012

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查 與維護(2/2)

著 者：陳桂清、柯正龍、李賢華、鍾沛穎

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

/陳桂清等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.04

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7174-4 (平裝)

1. 港埠工程 2. 港埠管理 3. 侵蝕作用

443.2

100002765

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

著 者：陳桂清、柯正龍、李賢華、鍾沛穎

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 100 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：350 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

GPN：1010000358

ISBN：978-986-02-7174-4 (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。

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護
(2/2)

交通部運輸研究所

GPN: 1010000358

定價 350 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：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護 (2/2)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-02-7174-4(平裝)	政府出版品統一編號 1010000358	運輸研究所出版品編號 100-28-7520	計畫編號 99-H1DB012
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 聯絡電話：04-26587188 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立中山大學(海洋環境及工程學系) 計畫主持人：李賢華 研究人員：李賢華、鍾沛穎 地址：80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255069		研究期間 自 99 年 3 月 至 99 年 10 月
關鍵詞：棧橋式碼頭、安全檢測評估方式、維護手冊			
摘要： 棧橋式碼頭具有構造輕、耐震力強之特性，近年來為碼頭新建及改建常採用之類型，但其缺點為R.C.面(底)版及樑等構件，長年遭受海水衝擊潑濺，海水中之氯離子甚易侵入，造成構件內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。歷年調查結果顯示，高雄及蘇澳等港區有多座棧橋碼頭有上述損壞情形。碼頭一旦破壞，對港口之營運影響甚巨。因此、棧橋式碼頭的鋼筋腐蝕檢測、保護及維修等，成為港灣營運管理及安全維護之重要課題。 本研究以高雄港118號碼頭為標的，進行腐蝕劣化現地檢測，探討適當之檢測方法與儀器、建立碼頭檢測評估之標準程序與其維護手冊、研擬維修工法及建置碼頭本體設施維護管理系統。研究成果包括：(1) 瞭解國內主要商港棧橋碼頭腐蝕劣化之情況；(2) 建立國內主要商港碼頭維護管理系統；(3) 研擬維修工法；(4) 建置碼頭結構物檢測及評估和維護手冊。主要效益及應用包括：(1) 提供各港務局辦理碼頭維護管理之參據；(2) 提供各港務局進行碼頭設施建立檢測與工法之適用制度參考；(3) 確保碼頭設施使用安全，避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。(4) 提供產官學研各界不同需求及應用，並可應用於本所後續相關研究依據及參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 4 月	410	350	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: Corrosion Deterioration and Maintenance on Deck Trestle Type Wharves (2/2)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-7174-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000358	IOT SERIAL NUMBER 100-28-7520	PROJECT NUMBER 99-H1DB012
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuei-ching Cheng PROJECT STAFF: Jeng-long Ko PHONE: 04-26587188 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM March 2010 To October 2010
RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-Sen University Department of Marine Environment and Engineering PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsien-hua Lee PROJECT STAFF: Hsien-hua Lee, Pei-ying Chung ADDRESS: No. 70, Lienhai Rd., Kaohsiung 80424 Taiwan, R.O.C. PHONE: (07) 525-5069			
KEY WORDS: Trestle type of wharf structural, Safe examination Appraisal way, Maintenance instructions handbook			
ABSTRACT: Trestle type wharf is a light structure construction with high earthquake resistance. Recently, it is applied in wharf construction often. But its R.C. (reinforced concrete) slab is always splashed and impacted by seawater all the years long. Chloride in seawater can ingress into slab easily and induce inner re-bar corroded, concrete cover layer to peel off and detached, re-bar appeared and broken. These will make R.C. slab cracked and broken down, seriously threatens the safety of wharf structure. Once the wharf is out of work, the operation of harbor will be out of order. Therefore, it is important to have a good maintenance system for the infrastructures in harbor. Trestle type wharf No.118 at Kaohsiung Harbor were under inspection in the project. The major tasks were visual inspecting on corrosion situation, proper inspecting methods and instruments applied, establishing standard operation procedures on assessment and its maintenance manual. The achievements were obtained as below, (1) realizing trestle type wharf physical corrosion at five major commercial harbors, (2) establishing harbor maintenance and management system, (3) repair methods were reviewed and selected, (4) completing wharf inspecting assessing and maintenance manual. The major benefits and applications were included as follows: (1) providing harbor authorities dealing with maintenance strategy, (2) providing proper inspecting and repair methods, (3) assuring safety of wharf operation, reducing tragedies and social cost, (4) providing information for further research and application at relevant field.			
DATE OF PUBLICATION April 2011	NUMBER OF PAGES 410	PRICE 350	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	IX
表目錄	XIII
照片目錄	XVII
第一章 緒論	1-1
1.1 研究計畫背景與目的	1-1
1.2 研究範圍與對象	1-3
第二章 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化相關檢測方法	2-1
2.1 鋼筋腐蝕及混凝土劣化機制	2-1
2.1.1 混凝土材料之劣化	2-1
2.1.2 鋼筋材料之腐蝕	2-2
2.2 鋼筋混凝土腐蝕原因	2-3
2.2.1 混凝土的中性化	2-4
2.2.2 氯離子的侵蝕	2-5
2.2.3 鹼性粒料反應	2-6
2.2.4 結構物之龜裂	2-6

2.3 棧橋式碼頭面板鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測.....	2-8
2.3.1 目視檢測.....	2-8
2.3.2 非破壞性檢測.....	2-8
2.3.3 破壞性檢測.....	2-15
第三章 碼頭現場檢測實施成果.....	3-1
3.1 港灣結構安全檢測項目	3-2
3.1.1 整體結構變形檢測.....	3-2
3.1.2 細部結構材料檢測.....	3-3
3.1.3 碼頭附屬設施之檢測.....	3-3
3.2 受測碼頭及檢測單元區分	3-4
3.2.1 混凝土反彈錘強度試驗.....	3-8
3.2.2 混凝土鑽心取樣強度試驗.....	3-10
3.2.3 混凝土中性化及保護層厚度檢驗	3-12
3.2.4 混凝土中性化及保護層厚度檢驗	3-13
3.2.5 碼頭面版裂縫寬度及深度檢查	3-14
3.2.6 碼頭面版裂縫寬度及深度檢查	3-16
第四章 結構檢測結果之安全評估	4-1
4.1 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估方式及理論基礎	4-1
4.1.1 傳統評估方式.....	4-1
4.1.2 考慮力學理論與現場觀測數據之整合性評估方法	4-2
4.2 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估分類	4-7

4.3 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估實例分析	4-9
4.3.1 構件破壞指標 (member damage index, D_e) 之試算	4-9
4.3.2 整體結構破壞指標 (structural damage index, Φ)	4-10
4.3.3 整體結構安全評估指標 (safety capability S_d)	4-11
第五章 碼頭檢測資料庫系統	5-1
5.1 MySQL 系統	5-2
5.2 SQL Server 系統	5-3
5.3 ASP & PHP & JSP 動態伺服器網頁技術特點	5-3
5.3.1 ASP 動態伺服器網頁技術特點	5-3
5.3.2 PHP 動態伺服器網頁技術特點	5-4
5.3.3 JSP 動態伺服器網頁技術特點	5-4
5.4 資料庫架構	5-6
5.4.1 港灣資料	5-6
5.4.2 碼頭管理資料	5-6
5.4.3 斷面資料	5-7
5.4.4 構件資料	5-7
5.5 碼頭結構安全檢測評估及維護系統	5-9
第六章 碼頭結構維護工法探討	6-1
6.1 沉箱式碼頭維護工法	6-1
6.1.1 水上部份維護管理工法與施作項目	6-4
6.1.2 水下部份維護管理工法與施作項目	6-18

6.2 板樁式碼頭	6-26
6.2.1 岸壁結構維護管理工法及施作項目	6-28
6.2.2 岸肩維護管理工法及施作項目	6-41
6.2.3 碼頭基礎維護管理工法及施作項目	6-43
6.3 棧橋式碼頭	6-46
6.3.1 上部結構維護管理工法及施作項目	6-48
6.3.2 基礎、護坡維護管理工法及施作項目	6-54
6.4 RC 材料劣化維護工法	6-69
6.4.1 鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理相關工法	6-70
6.4.2 混凝土表面缺陷維護工法	6-72
6.5 碼頭面版腐蝕劣化之一般維護法	6-78
6.5.1 碳纖維補強工法	6-79
6.5.2 低壓灌注補強工法	6-79
6.5.3 鋼筋外露補修工法	6-80
6.5.4 無收縮水泥灌漿工法	6-80
6.5.5 面版修護之施工程序	6-81
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-3
參考文獻	參-1
附錄一 港灣碼頭結構檢測評估暨維護手冊	附錄 1-1

附錄二 相關工法	附錄 2-1
附錄三 碼頭結構安全檢測評估系統操作手冊	附錄 3-1
附錄四 期中報告審查意見處理情形表	附錄 4-1
附錄五 期末報告審查意見處理情形表	附錄 5-1
附錄六 講習訓練會議簡報	附錄 6-1
附錄七 期中報告與期末報告會議簡報	附錄 7-1
附錄八 工作會議記錄	附錄 8-1

圖 目 錄

圖 2.1 鋼筋腐蝕電位量測示意圖	2-11
圖 2.2 混凝土超音波探測儀	2-12
圖 2.3 應力波傳送方式	2-13
圖 2.4 鋼筋探測儀量測螢幕	2-15
圖 3.1 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖	3-1
圖 3.2 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖	3-2
圖 3.3 高雄港 118 號碼頭斷面示意圖	3-5
圖 3.4 碼頭平面單元區分示意圖	3-6
圖 3.5 碼頭面版樑版平面圖	3-7
圖 3.6 反彈錘測試儀	3-9
圖 3.7 現地強度量測	3-9
圖 3.8 現場鑽心取樣情形	3-10
圖 3.9 鑽心試體切割蓋平	3-11
圖 3.10 SUMMIT 抗壓試驗機	3-11
圖 3.11 試體抗壓試驗及破裂狀態	3-11
圖 3.12 鑽心試體中性化情形	3-12
圖 3.13 混凝土粉末浸泡於蒸餾水	3-13
圖 3.14 鹽份濃度量測	3-13
圖 3.15 超音波探測儀面板示意圖	3-14

圖 3.16 碼頭量測情形	3-15
圖 3.17 護欄裂縫量測情形	3-15
圖 3.18 面版縱斷面鋼筋配置圖	3-16
圖 3.19 面版縱斷面鋼筋位置圖	3-17
圖 3.20 鋼筋腐蝕電位量測情形	3-17
圖 4.1 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖	4-4
圖 5.1 資料庫關聯圖	5-6
圖 5.2 斷面資料資料表	5-7
圖 5.3 港灣資料資料表	5-8
圖 5.4 構件資料資料表	5-8
圖 5.5 帳號輸入頁面	5-9
圖 5.6 選擇港灣頁面	5-10
圖 5.7 選擇碼頭頁面	5-11
圖 5.8 構件設定頁面	5-12
圖 5.9 碼頭構件分割示意圖	5-13
圖 5.10 進入構件頁面	5-13
圖 5.11 構件設定	5-14
圖 5.12 構件斷面參數設定	5-15
圖 5.13 構件斷面示意圖	5-16
圖 5.14 防誤 KEY 處理畫面	5-16
圖 5.15 破壞指標參數輸入頁面	5-17

圖 5.16 防誤 KEY 處理畫面.....	5-18
圖 5.17 整體破壞指標分析	5-19
圖 5.18 評估結果頁面	5-20
圖 5.19 棧橋式碼頭檢測表列印	5-21
圖 5.20 構件破壞指標呈現.....	5-22
圖 6.1 陸側減壓工法	6-31
圖 6.2 陸側減壓工法(續).....	6-32
圖 6.3 新增鋼板焊補法示意圖	6-34
圖 6.4 前端新設結構工法	6-35
圖 6.5 前端新設結構工法(續).....	6-36
圖 6.6 減壓版工法	6-37
圖 6.7 降低板樁應力法	6-40
圖 6.8 拋石護基工法示意圖	6-43
圖 6.9 拋放麻袋混凝土法示意圖	6-45
圖 6.10 新增護基方塊法示意圖	6-45
圖 6.11 「FRP 接合工法」示意圖	6-49
圖 6.12 「脫鹽工法」示意圖	6-49
圖 6.13 「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」示意圖	6-50
圖 6.14 隔樑斷面修復工法示意圖	6-53
圖 6.15 增打基樁工法	6-57
圖 6.16 前端新設結構工法	6-60

圖 6.17 前端新設結構工法(續一).....	6-61
圖 6.18 前端新設結構工法(續二).....	6-62
圖 6.19 前端新設結構工法(續三).....	6-63
圖 6.20 防蝕包覆修補法.....	6-64
圖 6.21 鉚釘打設工法.....	6-65
圖 6.22 基樁斷面增強工法.....	6-66
圖 6.23 電氣附著工法.....	6-68
圖 6.24 樁體外鋼板補強工法示意圖.....	6-69
圖 6.25 一般面版修護之施工程序圖.....	6-81

表 目 錄

表 2-1 美國 ACI Committee 224 規範.....	2-7
表 2-2 日本對海洋混凝土結構物之裂縫限制	2-7
表 2-3 歐洲地區混凝土結構物裂縫寬度之限制	2-7
表 2-4 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係	2-11
表 2-5 海洋混凝土結構物之保護層厚度要求	2-14
表 2-6 世界各國對鋼筋混凝土構造物氯化物含量規定	2-17
表 3-1 圓柱試體長度直徑比修正因數	3-11
表 3-2 混凝土反彈錘試驗	3-18
表 3-3 混凝土反彈錘試驗	3-22
表 3-4 混凝土鑽心試體抗壓強度試驗結果	3-24
表 3-5 混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較	3-25
表 3-6 混凝土中性化試驗	3-25
表 3-7 碼頭面板氯離子濃度試驗	3-26
表 3-8 各面板氯離子含量平均值	3-28
表 3-9 車檔護欄氯離子含量	3-28
表 3-10 裂縫寬度及深度試驗	3-29
表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗	3-30
表 4-1 整體結構破壞指標相關之係數	4-6
表 4-2 棧橋式碼頭檢測表(B1 表).....	4-8

表 4-3 各構件破壞指數計算表	4-9
表 4-4 整體破壞指標所需參數值	4-10
表 6-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表	6-3
表 6-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表	6-27
表 6-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表	6-47

照片目錄

照片 1.1 高雄港區第四貨櫃中心之棧橋式碼頭之空照圖.....	1-5
----------------------------------	-----

第一章 緒論

1.1 研究計畫背景與目的

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

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

而造成碼頭 R.C.面版破壞的原因很多，機制也相當複雜，主要可分為外力的作用及材質強度不足或結構構件損壞所導致。因此在探討上可區分成：外力的作用分析、材料性能改變分析及整體結構影響分析等，以下就此三大項分別陳述之。

1. 外力的作用分析

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

2. 材料性能改變分析

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

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

3. 整體結構影響分析

碼頭 R.C.面版在材料破壞後之影響，通常可由結構受力後之行為改變觀察出來。故整體結構的影響分析，除了提供檢測前之參考，如儀器施放位置、施放密度及使用儀器之範圍功能等；於檢測後，經過相關資料之分析及影響評估，更能對碼頭面版之安全與否，給

予整體的概念。

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

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

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

1.2 研究範圍與對象

整體計畫之研究範圍為基隆港、蘇澳港、台中港、花蓮港及高雄港為實施之範圍，檢測評估對象則為各種棧橋式碼頭。棧橋式碼頭構造中包含了版構造、樑構造、版樑式結合構造及最重要的支撐構造，

本計畫中執行的工作項目如下：

1. 國內外棧橋式碼頭面版等鋼筋混凝土構件腐蝕劣化相關文件收集。
2. 棧橋式碼頭面版或梁等腐蝕劣化調查及結構安全評估：選定國內商港一座棧橋式碼頭來進行。
3. 棧橋式碼頭面版或梁等維護工法資料庫建置：主動研提或於運研所港研中心現有之碼頭維護系統內，建置棧橋式碼頭面板維護工法資料庫。
4. 棧橋式碼頭面版或梁等維護資料與系統建置：主動研提或於運研所港研中心現有之碼頭維護系統內，建置棧橋式碼頭面板維護資料並與現行系統之資料庫做適當連結。
5. 碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊研擬：研提碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊並建置於運研所港研中心現有之碼頭管理維護系統內。
6. 碼頭結構物檢測方式與應用儀器之適用性探討。
7. 教育訓練：研究成果至少需辦理一場教育訓練。

本計畫在現場調查及案例分析中，依計畫至少選定國內商港一座棧橋式碼頭，來做碼頭面版或梁等腐蝕劣化調查及結構安全評估，初步將以高雄港內之棧橋式碼頭做為研究調查之對象。如照片 1.1 為高雄港區第四貨櫃中心之棧橋式碼頭之空照圖，該處碼頭許多為鋼管樁棧橋式碼頭，針對碼頭面板鋼筋混凝土的劣化檢測為重點分析及探討。除此之外，並將蒐集包含本研究團隊及其他單位有關棧橋式碼頭調查之資料，進一步作 案例分析及彙整，其中包括：碼頭面版或梁等維護工法、碼頭面版或梁等之維護資料，以及過去檢測成果之分析等。



照片1.1 高雄港區第四貨櫃中心之棧橋式碼頭之空照圖

(資料來源：Google Earth)

第二章 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化相關檢測方法

2.1 碼頭面板鋼筋腐蝕及混凝土劣化機制

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

混凝土在設計時，必須考慮到強度以及耐久性，但是強度高的混凝土，耐久性未必較佳，混凝土的耐久性定義為：混凝土抵抗風化作用、化學侵蝕、磨損及其他劣化過程的能力，亦即具有耐久性的混凝土，在不同暴露環境下仍然能夠保持本身的幾何尺寸、物理力學性質與服務性。

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

2.1.1 混凝土材料之劣化

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

1. 物理侵蝕

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

2. 化學侵蝕

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

2.1.2 鋼筋材料之腐蝕

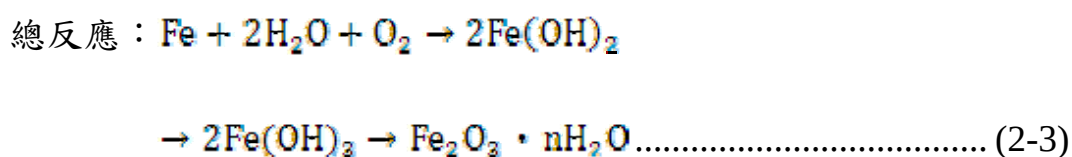
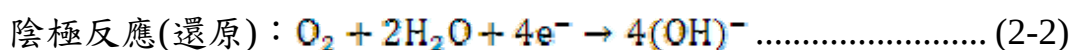
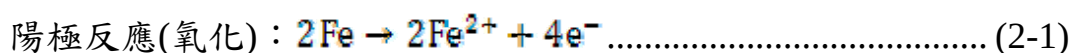
造成混凝土結構中鋼筋腐蝕的主要原因為混凝土保護層的破壞，其中包括混凝土保護層厚度不足、厚度不均勻或混凝土本身品質不良，再加上環境條件惡劣而造成保護層的破壞。其原因包括物理性及化學性，或兩者間之交互作用而造成之影響居多。以港灣構造物而言，長期處於波浪及水氣交互作用下，結構表面非常容易受到氯離子之侵入，如為碼頭結構更易受到各種衝擊力之作用，作用在材料劣化嚴重處將導致混凝土保護層之剝離，使得鋼筋完全裸露在外。港灣構造物混凝土保護層受環境作用的破壞上，主要有鹽害與中性化兩大類，以下分別說明之。

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

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

正常的混凝土在水化反應過程中，會產生含有 Na、K 的鹼性物質以及飽和的氫氧化鈣 (Ca(OH)_2) 溶液，使的水泥漿體之 pH 值維持在 13 左右。在此強鹼環境下，鋼筋的表面會自然產生一層鈍態氧化保護

膜，厚度約為 20 ~ 60Å，此保護膜非常穩定、緊密的附著於鋼筋表面，能有效阻隔水分與離子的進入，進而避免腐蝕反應的產生。若是混凝土中氯離子含量過高，將會導致該層保護膜破壞，形成陽極區，此時鋼筋上的鐵 (Fe) 因氧化而轉為鐵離子 (Fe^{2+}) 並溶於孔隙溶液中，產生的電荷則經由鋼筋傳導置含有氧氣與水分的區域，發生陰極反應，稱為陰極區；當陽極區與陰極區同時形成時所出現的電位差，即稱為腐蝕電流，此時帶正電的鐵離子向陰極移動，帶負電的 (OH^-) 向正極移動，兩者結合成不溶於水的氫氧化鐵 ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) 化合物，堆積在鋼筋表面。反應式如下：



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

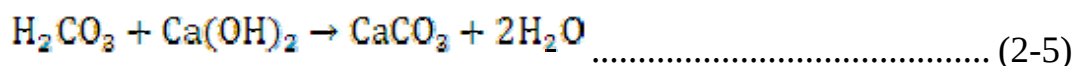
2.2 鋼筋混凝土腐蝕原因

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

2.2.1 混凝土的中性化

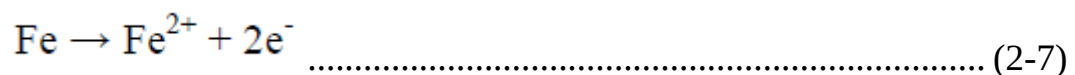
前段所述，在強鹼的環境下，鋼筋表面會生成一層鈍態保護膜。但是當大氣中的二氧化碳進入混凝土結構的孔隙溶液之中，會與鹼性的水泥水化產物氫氧化鈣作用，生成具微酸性之碳酸鈣 (CaCO_3) 化合物，容易析出形成白樺現象，並降低漿體內部的鹼性環境之 pH 值。當鋼筋周遭混凝土成為中性狀態時，鋼筋表面之鈍態膜將被破壞，致使鋼筋本身容易發生腐蝕行為。混凝土中性化導致的鋼筋腐蝕關係反應式如下：

1. 中性化過程：

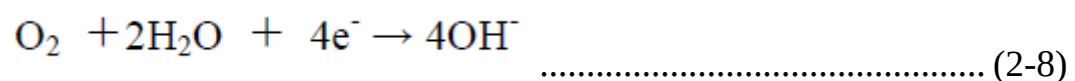


2. 鋼筋腐蝕過程：

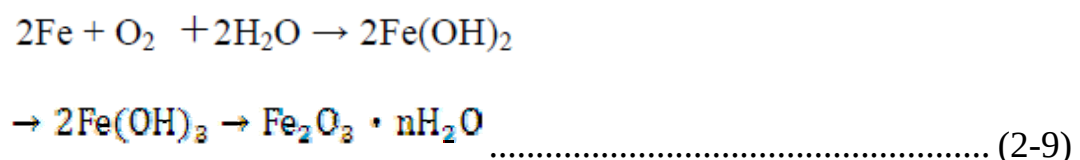
陽極：



陰極



總反應



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

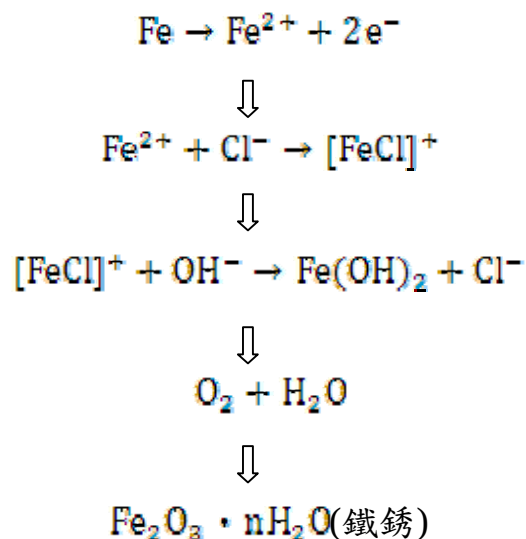
$$D = k\sqrt{t} \dots\dots\dots (2-10)$$

式中，D=中性化深度，k=中性化係數，t=時間

混凝土層越厚，中性化速率越慢，混凝土層增加為 2 倍，則中性化時間會增加為 4 倍。k 值則與二氧化碳滲透速度以及混凝土中的氫氧化鈣含量有關。

2.2.2 氯離子的侵蝕

氯離子的入侵被認為是主要影響鋼筋腐蝕的重要原因，其原因乃是由於氯離子會破壞混凝土中的鹼性環境，造成鋼筋表層鈍態膜的破壞，因此使鋼筋上的鐵離子溶出，生成會溶於水中的氯化鐵 (FeCl₂) 化合物。這些氯化鐵化合物 會離開鋼筋表層，與混凝土孔隙溶液中的氫氧化鈣 反應，生成 Fe(OH)₂，與水跟氧氣繼續反應生成鐵銹，反應同時又再繼續釋出氯離子 (Cl⁻)，繼續重複破壞使鋼筋腐蝕，鐵元素也將繼續離開鋼筋。由於氯離子在此反應中將不斷反覆生成，形成一重複循環的破壞，因此一旦混凝土的氯離子含量達到會發生鋼筋腐蝕的濃度，腐蝕的發生將難以制止，其過程反應式如下：



氯離子本身具有良好的導電性，因此當混凝土中含有高量的氯離子時，會導致混凝土的電阻係數降低，而電荷在混凝土孔隙溶液中的流動能力也會變強，使鋼筋腐蝕速度更快。混凝土材料的品質是決定氯離子滲透能力的重要觀察指標，品質佳的混凝土較不易讓水分與氧氣進入，鋼筋腐蝕機率較小，另外，在鹼性越強的混凝土環境下，鋼筋表面生成鈍態模的反應也會越快速，對氯離子的容忍能力也就越高。

2.2.3 鹼性粒料反應

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

2.2.4 結構物之龜裂

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

RC 鋼筋混凝土結構物由於施工品質、材料性質、載重情形、基礎沉陷導致外加剪應力提高等原因，常會造成結構物的破裂。根據裂縫的形狀、規模、方向、大小等因素，對鋼筋腐蝕所造成的影響也不同。可以肯定的是，混凝土一旦發生破裂，將導致鋼筋暴露在環境之中，與水分、氧氣、有害離子等物質直接接觸，將使得鋼筋腐蝕的危險性大幅提高。表 2-1 至表 2-3 為美國、日本及歐洲地區對裂縫寬度的限制規範：

表 2-1 美國 ACI Committee 224 規範

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

(資料來源：交通部運輸研究所^[26], 2000)

表 2-2 日本對海洋混凝土結構物之裂縫限制

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

資料來源：交通部運輸研究所^[26], 2000

表 2-3 歐洲地區混凝土結構物裂縫寬度之限制

設計規範	荷重及環境	結構體類型	最大容許寬度
BSI. GPH0	一般環境 及正常荷重	RC	0.33 mm
		PC	0.10 mm
	腐蝕性環境	RC PC	0.004 tc 0.10 mm
BSI. DD55	一般環境 及正常荷重	RC	0.3 mm
		RC	0.004 tc
		PC	0.10 mm
FIP	海洋結構	RC	0.30 mm
		PC	0.004 tc

註：tc(構件厚度)

(資料來源：交通部運輸研究所^[26], 2000)

2.3 港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測

本文主要以棧橋式碼頭面板結構物為探討重點，將檢測方法初步分為目視、非破壞性及破壞性檢測技術，從混凝土材料的劣化機制及原因、鋼筋腐蝕等狀況，分析海洋環境下 R.C. 結構物之腐蝕劣化情況，並收集及探討防蝕與維護工法相關技術，以建立碼頭面板構造物的檢測及評估系統，以提升結構物之耐久性與使用年限。而針對目視、非破壞性及破壞性檢測三種，以下分別就鋼筋混凝土材料、鋼構材料等，提出說明。

2.3.1 目視檢測

以目測的方式來進行檢測，如觀察混凝土表面外觀是否有損壞狀況，例如裂縫、剝落、剝離…等現象，先進行初步的觀察鑑定，如果有發現裂縫，則描繪記錄裂縫的位置，並依其形式初步判定可能的破壞原因。因為裂縫是混凝土劣化的前兆，外界有害物質會經由裂縫侵入，也是造成內部鋼筋銹蝕的主要原因。

2.3.2 非破壞性試驗

非破壞性檢測具有快速性、對受測物不產生破壞、可直接對現有結構物之混凝土進行檢測等項優點。應用非破壞檢測技術的檢測項目一般包括：(1)混凝土強度，(2)混凝土的彈性模數，(3)尺寸與厚度，(4)裂縫的寬度、深度與長度，(5)鋼筋的直徑、位置及保護層，(6)混凝土中的水分，(7)混凝土內鋼材的銹蝕等，而上述一般性檢測亦可列為非破壞性檢測的範圍。一般而言，混凝土的非破壞檢測涵蓋三個範圍：一是檢測混凝土強度，二是檢測混凝土內部缺陷等強度以外的特性，三是檢測混凝土內含鋼筋之大致銹蝕情況。但由於其檢測結果與施行測量的方式有很大的關係，對於相同的試體，不同的施測程序，可能產生很大的差異。因此，試驗程序的建立使其具有一致性則相當重要。

1. 反彈錘法

反彈錘法是由瑞士工程師 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，且此法已被列入 CNS 國家標準中。衝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份所組成。

衝錘法主要是利用衝錘帶動衝擊棒以撞擊混凝土表面，然後利用衝錘的反彈數來求得混凝土表面的硬度，並來推測其抗壓強度。其原理是一質量以定速率敲擊混凝土之表面，由此質量回彈之高度決定混凝土表面附近之硬度，進而推測其整體強度與均勻性。進行試驗前應以類似材料及不同強度之混凝土試體先進行試驗校正，建立反彈數與強度之關係作為參考依據，通常儀器會附有反彈值與強度之對照表。

在反彈錘法的檢測中，只有與衝擊棒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。依據 ASTM C 805 的規定，每次檢測時取 10 個值來平均之，假如其中有一個值超過平均值達 7 個單位以上時，此數值必須捨棄，然後再將剩餘的數值平均之；假若有二個值以上都是大於平均值 7 個單位時，則此 10 個值必須全部捨棄。

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產生誤差也就相對提高，而鑄模的種類也會影響表面強度。有鑑於此法之缺點，ASTM 標準則建議此法不宜直接取代傳統的部份破壞性混凝土強度測定法，此法僅可用於判斷現場結構混凝土的一致程度，描繪出結構的品質低劣區域，指出混凝土特性因時間產生的變異而可作為拆模時間判斷之參考。為取得較好之結果，試驗人員應先以從受測結構物取得的鑽心試體，來建立受測混凝土的抗壓強度與衝錘反彈值間之關係，然後再利用此關係，來估算結

構物之混凝土強度。檢測結果僅可作為相對強度的均勻性參考，是大面積混凝土結構物快速初步判斷其品質之好方法。

2. 鋼筋電位值量測

鋼筋的腐蝕性質或物理性質的檢測為判斷鋼筋腐蝕最直接的方法。但是由於鋼筋包覆於混凝土中、而混凝土又是一種極為複雜的複和性材料，量測鋼筋腐蝕速度或腐蝕量並不容易，鋼筋腐蝕檢測方法中目前主要以腐蝕電位之量測為主。

一般鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能與儀器連接成一通路，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，如圖 2.1 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。

而採用腐蝕電位檢測技術時，藉由移動探頭並記錄電位差藉以繪出等電位圖，再依等位圖判定腐蝕發生之區域。當腐蝕電位在-350 mV 以下時(以硫酸銅溶液為電解液)，視作此區域鋼筋腐蝕之潛能達 90%以上，而腐蝕電位在-200 mV (以硫酸銅溶液為電解液)以上時，則此區域之鋼筋可視作幾乎沒有腐蝕發生。鋼筋腐蝕偵測儀有單探頭定點式及滾輪式等。根據規範 ASTM-C876 量測腐蝕電位與預測內部鋼筋腐蝕程度之關係，可依腐蝕電位與鋼筋腐蝕機率評估如表 2-4 所示。

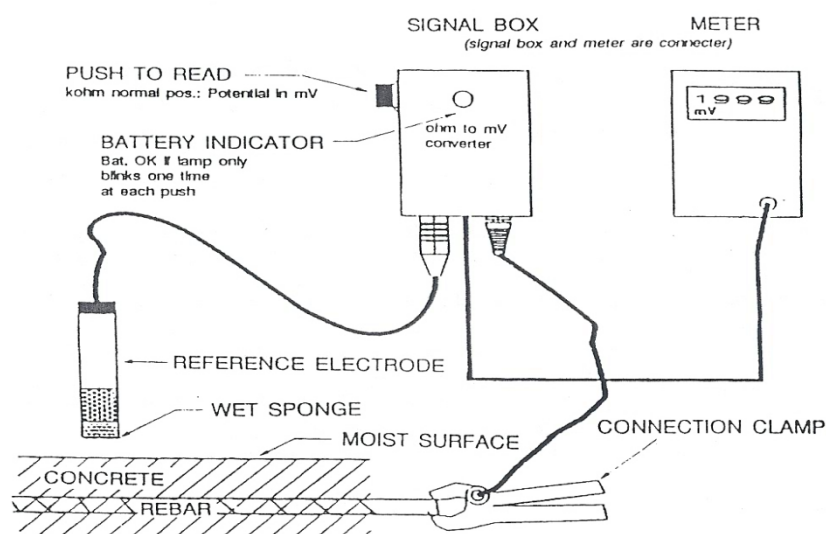


圖 2.1 鋼筋腐蝕電位量測示意圖(資料來源：PROCEQ)

表 2-4 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係

鋼筋電位值 mV(cse)	腐蝕機率 (根據 ASTM C-876 規範)
>-200	<5%
-200~-350	50%~95%
<-350	>95%

利用鋼筋電位推估鋼筋腐蝕相當簡便，但其缺點為：

- (1)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。
- (2)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。

3. 裂縫深度檢測

運用瑞士 PROCEQ 研發之混凝土超音波探測儀 (Ultrasonic Instrument)，主要利用應力波動原理用以量測評估混凝土以下特

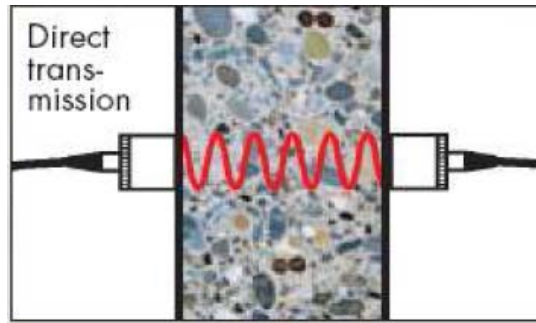
性：混凝土均勻度、柱洞、裂縫深度、彈性模數、混凝土強度等功能。具三種音波傳送方式:直接傳送、半直接傳送及間接或表面傳送方式,其原理與施測方式符合 ASTM C597 標準,如圖 2-2~2-3 所示。



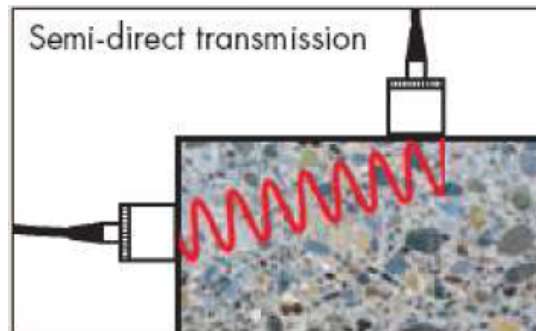
圖 2.2 混凝土超音波探測儀(資料來源：PROCEQ)

超音波檢測法是在待測物體上一點發出超音波脈波，量取從這一點傳到另一個點所需要的時間。由於波的傳遞速度是根據介質的性質及質量而定，若已知質量及波的傳遞速度，便可評估其彈性性質，因此只要依據材料性質及所量測波速便可以用來評估材料之現存狀況。

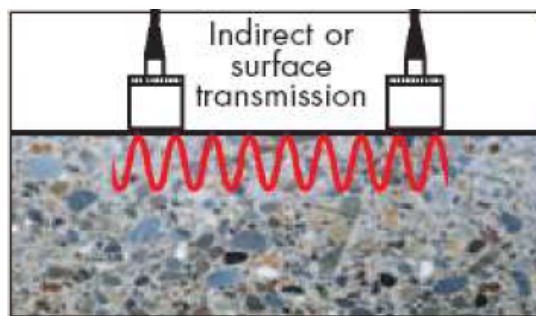
本研究針對裂縫檢測所採用的非破壞性試驗是以應力波傳動原理為基礎，因為超音波無法傳送穿過裂縫，因此若有裂縫存在於傳送路徑上，則超音波會繞過裂縫而尋找其他路徑，故儀器所顯示的時間，係由繞行裂縫尖端後所得者，利用波傳時間差量測得之距離等特性可求得裂縫之深度。而量測波速穿過混凝土的技術，有以下三種基本探頭佈置方式：



(a)直接傳送



(b)半直接傳送



(c)間接或表面傳送

圖 2.3 應力波傳送方式 (資料來源：PROCEQ)

利用間接或表面傳送量測裂縫深度之方式採用多次法量測：

量測超音波繞過裂縫的時間差是超音波量測裂縫深度的基本原理，下圖為量測裂縫時探頭之安排，傳遞與接收感應器以等距離置於裂縫的兩側，選擇距離 b 與 $2b$ ，量測各自的傳遞時間。假設裂縫平面與混凝土面垂直裂縫周圍的混凝土品質是均勻的，可利用下式求得裂縫深度 c ，其中 t_1 及 t_2 分別為超音波在距離 b 與 $2b$ 之傳遞時間。

$$c = b \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} \dots\dots\dots (2-11)$$

4. 鋼筋探測儀

採用瑞士 PROCEQ 研發之鋼筋探測器（Rebar Detection System）是輕巧、簡潔的裝置，可以非破壞性偵測鋼筋位置，和測量混凝土厚度及判定鋼筋直徑。量測方法是根據使用渦電流的脈衝—誘導原理。

鋼筋探測儀採用渦電流原理，檢驗第一層鋼筋排列位置；進而檢測鋼筋號數或混凝土保護層厚度，但對於第二層鋼筋探測之正確性則須視其排列之形式與間距而定。

其原理乃是藉著電磁感應原理，將載有交流支線圈探頭置於金屬料件附近，使得金屬導體在其交換磁場部份，感應產生無數漩渦狀之渦電流，由渦電流變化所產生之訊號，便可以測定構件之物理性質。表 2-5 為日本海洋混凝土結構物之保護層厚度要求：

表 2-5 海洋混凝土結構物之保護層厚度要求

設計規範	曝露環境	保護層厚度
海洋混凝土構造物施工指針(1977 年)	大氣中	5 cm 以上
	飛沫帶	7 cm 以上
	海水中	5 cm 以上
港灣設施之技術基準及解說(1979 年)	大氣中	5 cm 以上
	飛沫帶	7 cm 以上
	海水中	5 cm 以上

(資料來源：交通部運輸研究所^[26], 2000)

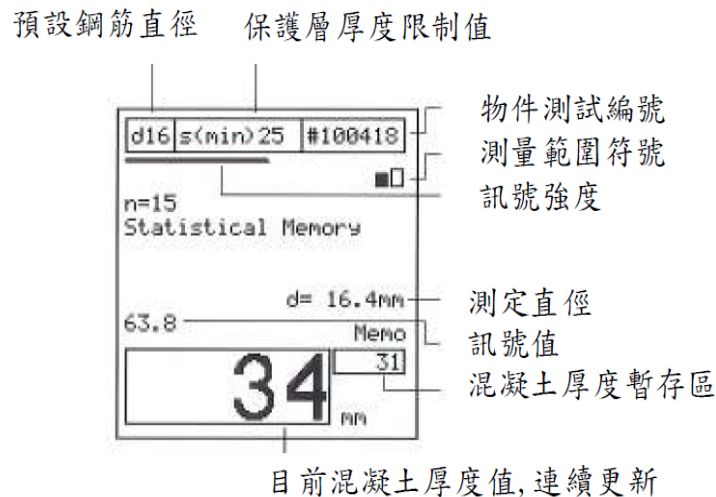


圖 2.4 鋼筋探測儀量測螢幕 (資料來源：PROCEQ)

2.3.3 破壞性試驗

對於較嚴重的破壞現象，或較複雜的破壞機制，則必須在實驗室中進行更深入的分析，亦即必須在現場採取足夠之試樣或試體回實驗室做檢測，如鑽心取樣、混凝土中性化分析或混凝土受鹼骨材破壞分析等實驗。如工程界中最常使用者為鑽心取樣實驗，在現場利用高功率及強度之鑽桿及鑽頭，取下圓柱型之混凝土試體後，再送回材料實驗室進行抗壓強度實驗，測出試體之實際抗壓強度值。而此方法中免不了對實際結構物造成大小不等的破壞，因此除非沒有其他較可靠的取代方式，否則以少採用為原則。

1. 鑽心試體抗壓試驗

抗壓試驗採用 SUMMIT 之抗壓試驗機，試驗方法依據中國國家標準 CNS 1232 規範，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 CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

2. 氯離子檢測

氯離子是誘發混凝土內部鋼筋銹蝕的主要成份之一，其對鋼筋腐蝕的影響主要視含水量和陰極性化所需氧的含量而定。氯離子主要來源為摻料、水、骨材或暴露於海水所致。而檢查混凝土中氯離子含量的目的有二：

(1)用以研判氯離子含量是否超過國家標準所規定的容許值。

(2)研判混凝土中氯離子之可能來源。

而本試驗為硬固性混凝土，臺灣目前檢測並無 Cl^- 含量規範之標準，所以參考 CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法等規定做為氯離子含量濃度的評估，標準僅做為比較之參考，如表 2-6 所示。

表 2-6 世界各國對鋼筋混凝土構造物氯化物含量規定

國 家	規 範	構件型態及環境下	Cl ⁻ 重量 (kg/m ³ 混凝土)	Cl ⁻ (%) (佔水泥 用量)
美 國	ACI 318-89	1. R.C. 曝露於氯化物下 2. R.C. 在一般環境下 3. R.C. 在乾燥環境下 4. 預力混凝土	0.45 0.90 3.00 0.18	0.15 0.30 1.00 0.06
英 國	BS 1880 BS 8110-85	1. 一般 R.C. 結構物 2. 骨材 3. 骨材(含 CaCl ₂)	0.60 1.92 2.87	0.20 0.64 0.95
日 本	JASS 5 土木協會	1. 細骨材 (I 級) 2. 混凝土 3. 一般 R.C. 結構物	0.10 0.30 0.49	---- 0.10 0.16
中 華 民 國 (臺灣)	CNS 12891	硬固混凝土： 1. 預力混凝土 2. R.C. 結構物(需耐久性考慮者) 3. 一般 R.C. 結構物	0.15 0.30 0.60	
	CNS 3090	預拌混凝土： 1. 預力混凝土 2. R.C. 結構物(需耐久性考慮者) 3. 一般 R.C. 結構物	0.15 0.30 0.60	
	CNS 1240	混凝土粒料(細)於： 預力混凝土中 其它混凝土中	0.012 0.024	

(資料來源：交通部運輸研究所^[25], 2005)

第三章 碼頭現場檢測實施成果

現地結構檢測因環境不同其考量要點包括了實施範圍、實施項目、精確性、方便性與經濟性等。檢測方法的選定及建立中，除了理論分析之外，許多方法在應用上有環境、材料、構件型式上之差異，必要時須以現地或實驗室中試驗來加以驗證，篩選出最適用之方法，因此首先必須對各種碼頭的結構型式及構造材料有所認識，然後再依照各種型式港灣結構及碼頭訂定檢測之實施步驟。

碼頭型式為棧橋式碼頭為利用樁或各種形狀的柱體支持碼頭面，成為與海岸線垂直或平行的半座橋樑，稱為棧橋或橫棧橋。如圖 3.1~3.2 所示即棧橋式碼頭結構型式，碼頭面版可用鋼筋混凝土構造，基樁則以 PC、RC 或鋼管樁作為碼頭岸壁之支撐。

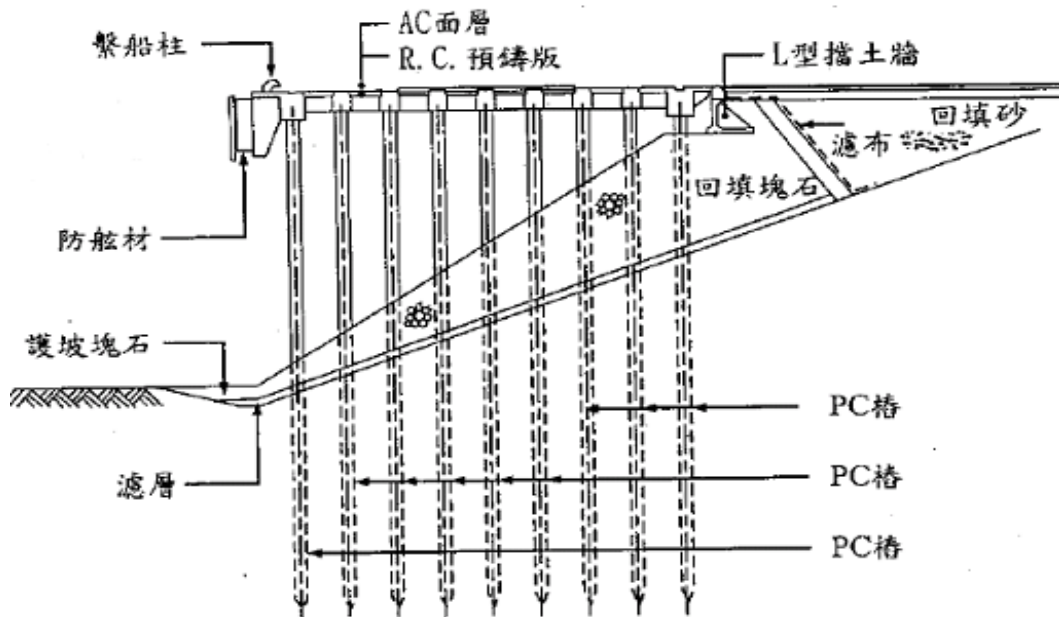


圖 3.1 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖

(資料來源：交通部運輸研究所^[27], 2003)

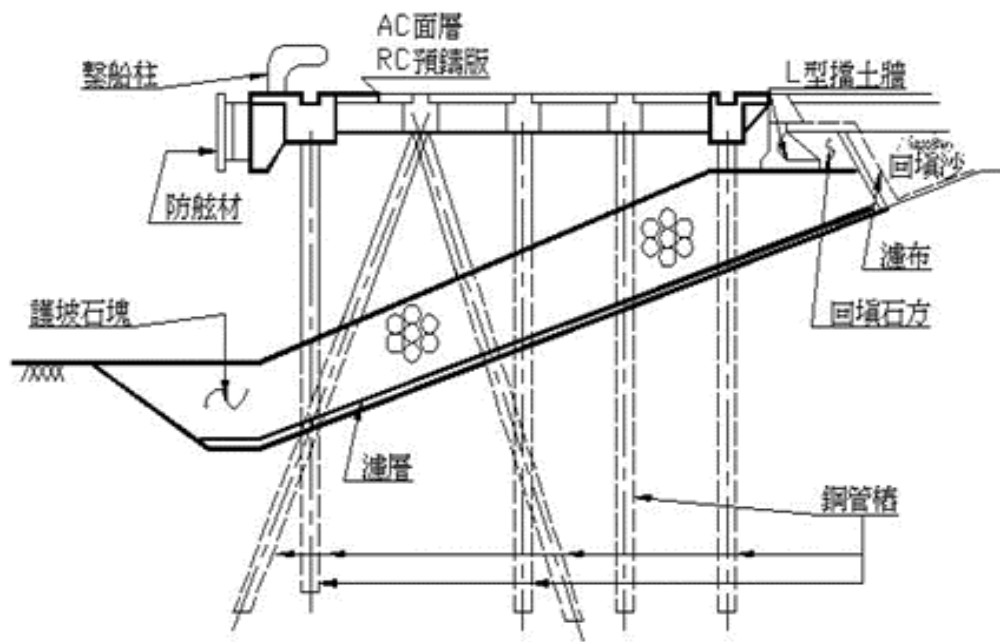


圖 3.2 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖

(資料來源：交通部運輸研究所^[27], 2003)

3.1 港灣結構安全檢測項目

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

3.1.1 整體結構變形檢測

整體結構變形檢測如前所述對象為各種型式碼頭皆可能產生之破

壞現象，項目包括碼頭不均勻沈陷、岸肩伸縮縫破損、碼頭壁體傾斜、碼頭法線位移檢測等。當這些檢測結果顯示出碼頭結構有沈陷或位移或傾斜時，則表示其他部位的結構，如基礎結構或護基拋石必須做進一步的檢測。

3.1.2 細部結構材料檢測

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

3.1.3 碼頭附屬設施之檢測

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

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

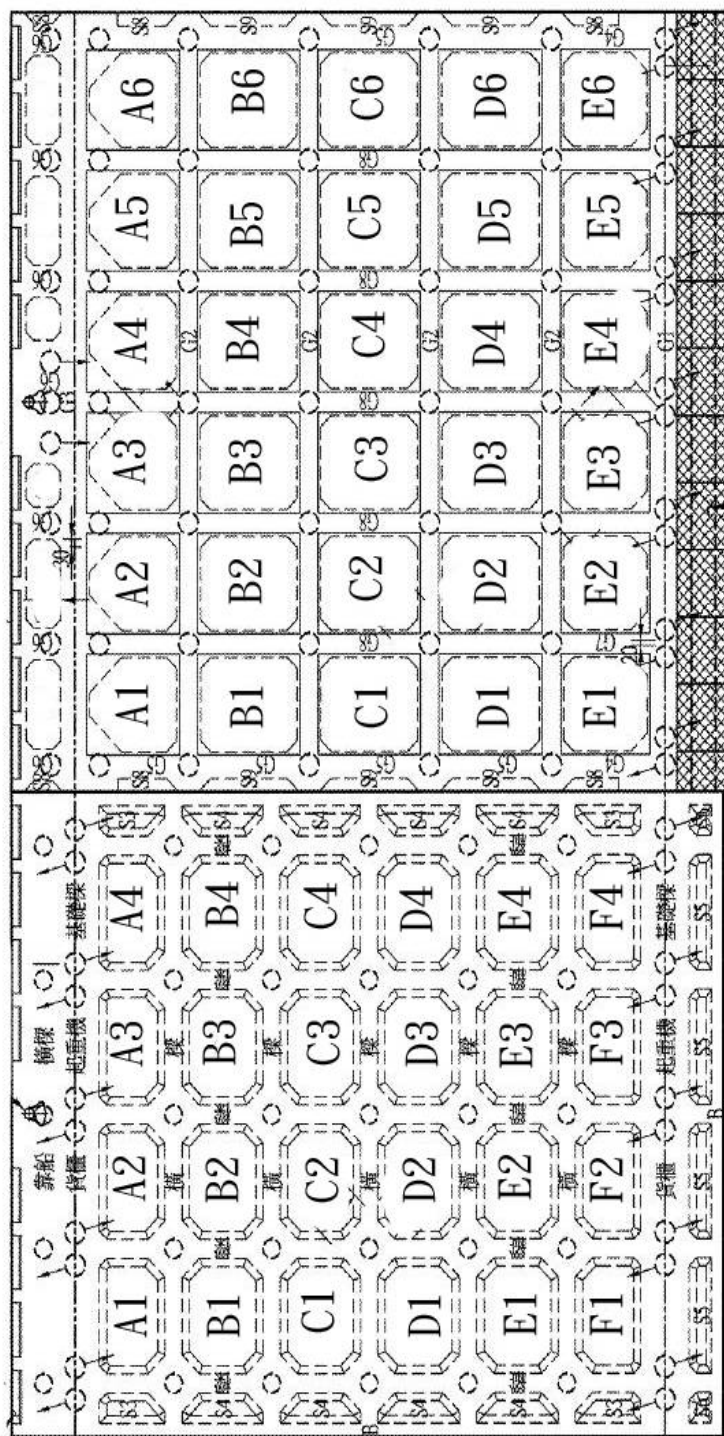
3.2 受測碼頭及檢測單元區分

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

118 號碼頭屬基樁棧橋式構造，基樁型式分鋼管樁與 PC 樁兩種，PC 樁約佔 10%(以樁長計算)，碼頭長度 320m，碼頭面寬度 30m，碼頭面設計高程+2.60m，設計水深-14.0m，標準結構斷面設計亦分為兩種形式，如圖 1.2 與圖 1.3 所示。碼頭面板最上層鋪設 5cm 瀝青混凝土，岸肩內側設置 RC 垛式擋土牆(L 型塊)，護坡拋填中鋼爐石(粒徑 5~10cm)，基樁樁頭以強度 210kg/cm^2 之膨脹混凝土包覆，鋼管樁樁徑分 711.2mm 與 812.8mm 兩種，PC 樁樁徑則為 800.0mm。

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

圖3.3 高雄港118號碼頭斷面示意圖(資料來源：交通部高雄港務局)



A 單元棧橋面版樑版標準平面圖

S=1:200 U=CM

B 單元棧橋面版樑版標準平面圖

S=1:200 U=CM

圖 3.5 碼頭面版樑版平面圖(資料來源：交通部高雄港務局)

碼頭面板單元如圖 3.4 所示，區分成 11 個單元，各單元之大小並非完全一致。各單元有屬於 A 型面版(含大樑及小樑)型式或 B 類面板型式如圖 3.5 所示，因此、在調查及分析時具有相當的複雜度。

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

3.2.1 混凝土反彈錘強度試驗

依據 ASTM C 805 的規定，每次檢測時取 10 個值來平均之，假如其中有一個值超過平均值達 7 個單位以上時，此數值必須捨棄，然後再將剩餘的數值平均之；假若有二個值以上都是大於平均值 7 個單位時，則此 10 個值必須全部捨棄。圖 3.6 為本研究所使用之 Schmit 反彈錘，圖 3.7 則為碼頭現場實地操作之情形。施測時各面板有磨耗層及無磨耗層均進行，量測之結果有磨耗層的數據如表 3-1 所示，無磨耗層之檢測數據則列於表 3-2 中，其中無磨耗層之數據因不易取得故較少。數據中顯示包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。



圖 3.6 反彈錘測試儀 (資料來源：PROCEQ)



圖 3.7 現地強度量測

3.2.2 混凝土鑽心取樣強度試驗

鑽心試驗是依據 CNS 規範中取樣試體之規定，簡述如下：

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



圖 3.8 現場鑽心取樣情形

取樣後則進行抗壓試驗，抗壓試驗採用 SUMMIT 之抗壓試驗機，試驗方法依據中國國家標準 CNS 1232 規範，如圖 3.9~3.11 所示，鑽心試體進行抗壓試驗時應依規定(如第二章敘述)步驟進行，抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230 混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求，試驗數據經換算後如表 3-3 所示。

試體受力方向，與原結構物內受力方向之關係，需在報告內註明。試體之抗壓強度，可根據其平均直徑，算出每平方公分所受壓力。如試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以表 3-1 圓柱試體長度直徑比修正因數之更正因數(表中未列入之值，可由內差法求知)，如表 3-4 所示。

表 3-1 圓柱試體長度直徑比修正因數

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



圖 3.9 鑽心試體切割蓋平



圖 3.10 SUMMIT 抗壓試驗機



圖 3.11 試體抗壓試驗及破裂狀態

針對鑽心試體抗壓試驗之結果，由於其可靠度較大，因此將反彈錘強度試驗之結果一併比較，無磨耗層之反彈錘試驗數據與鑽心試體抗壓試驗之結果比較情形如表 3-5 所示，表中顯示反彈錘強度試驗之平均值約較鑽心試體抗壓試驗之強度值大約 10%。

3.2.3 混凝土中性化及保護層厚度檢驗

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

本計畫中針對混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，取樣後之試體中性化情形如圖 3.12 所示，而檢測後之數據資料如表 3-6 所示，顯示其中性化之深度最大達 2cm，均低於保護層之厚度 (5cm)。



圖 3.12 鑽心試體中性化情形

3.2.4 混凝土氯離子濃度測定

本研究中有關氯離子濃度測定之方法，為參考 CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法，等規定做為氯離子含量濃度的評估，標準僅做為比較之參考，安全評估時暫不列入考慮。圖 3.13 及 3.14 為進行氯離子濃度量測之情形。



圖 3.13 混凝土粉末浸泡於蒸餾水



圖 3.14 鹽份濃度量測

測試後之結果如表 3.7 中所示，其結果分為面板之上層及下層分別比較。非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。以 CNS 之規範，針對硬固 RC 結構物(需耐久性考慮者)其含量需低於 $0.3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ，各面板下層之氯離子含量約為 $0.1 \sim 0.2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ，尚符合規範之要求，各受測面板上下層之氯離子平均值顯示於表 3-8 中。

另外針對車檔護欄部分之氯離子檢測結果則列於表 3-9 中，其值明顯偏高，顯示接近岸邊之混凝土構造，較容易受氯離子侵襲(假設所有受測構造之混凝土原始含氯離子量均相同)。

3.2.5 碼頭面版裂縫寬度及深度檢查

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

測量過程參考儀器之面板如圖 3.15 簡述如下：

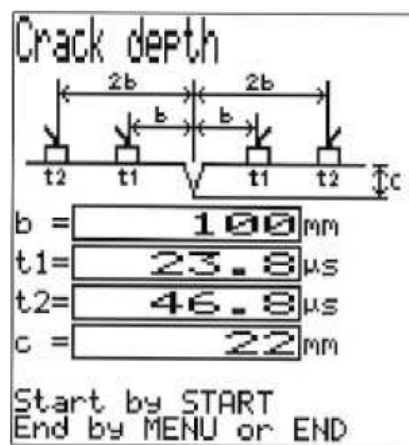


圖 3.15 超音波探測儀面板示意圖

(資料來源：PROCEQ)

1. 聯接轉換器到主機上然後塗上耦合劑。
2. 在測試物件上測量 b 和 $2b$ 的距離並且標示它。
3. 使用鍵在主機上輸入 b 距離。
4. 按<START>鍵：在測量影像 b 下面顯示距離，然後同時發射音波脈衝。
5. 壓轉換器緊靠物件並且執行測量 b 到 b ；很快地 3 秒後測量值穩定，聽到嗶聲然後在 t_1 下顯示傳輸時間。

6. 按<STORE>鍵，儲存數值，然後主機切換至 t2 測量。
7. 壓轉換器在距離 2b 上。3 秒後測量值穩定，聽到嗶聲，然後可以按<<STORE>>鍵。
8. 現在在 c 上顯示裂縫深度。



圖 3.16 碼頭量測情形



圖 3.17 護欄裂縫量測情形

碼頭面版裂縫寬度及深度量測之進行情形如圖 3.16 及圖 3.17 所示，而量測之結果經整理後如表 3-10 所示，依數據顯示其裂縫深度均未超過實測之保護層厚度。

3.2.6 鋼筋腐蝕電位測定

一般鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能與測量儀器連接成一通路，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)。但在完好的結構物上，要鑽掘找到適當之通路並不容易，本計畫進行時，利用該碼頭進行擴充施工時，配合剛打除挖開之混凝土內連通之鋼筋進行電位量測。受測碼頭版樑之鋼筋排列情形分別如圖 3.18 及 3.19 所示，圖 3.18 為版樑縱斷面鋼筋配置情形，圖 3.19 則為正面位置顯示圖。現場量測情形如圖 3.20 所示；量測所得之電位值則整理如表 3-11 所示

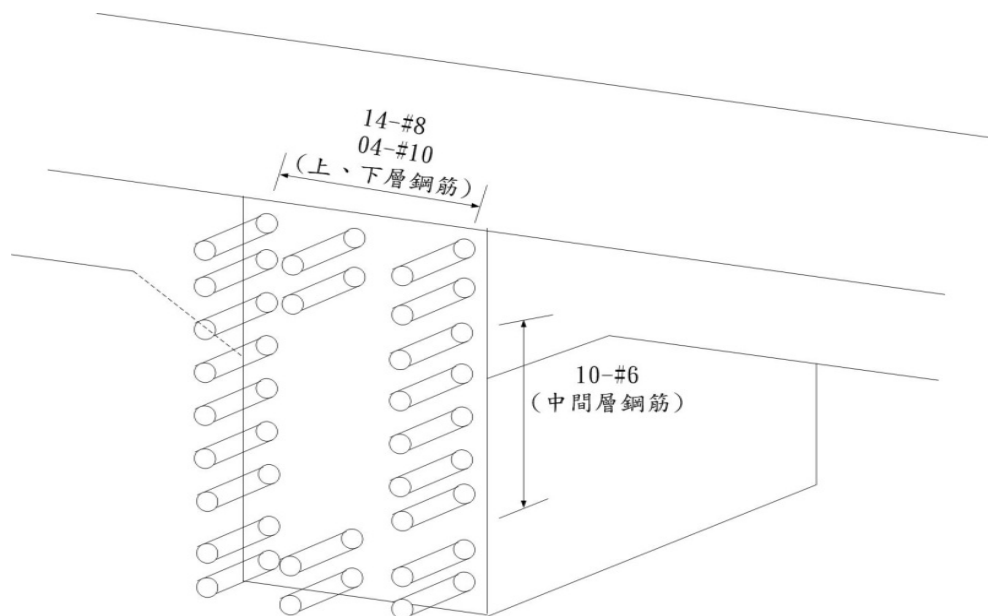


圖 3.18 面版縱斷面鋼筋配置圖

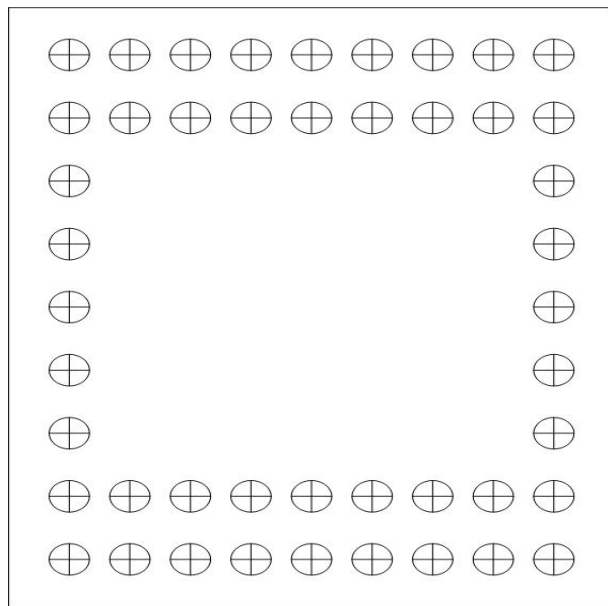


圖 3.19 面版縱斷面鋼筋位置圖



圖 3.20 鋼筋腐蝕電位量測情形

表 3-2 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試)

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

表 3-2 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試) (續 1)

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

表 3-2 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試) (續 2)

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

表 3-2 混凝土反彈錘試驗 (有磨耗層強度測試) (續 3)

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

表 3-3 混凝土反彈錘試驗 (無磨耗層強度測試)

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

表 3-3 混凝土反彈錘試驗 (無磨耗層強度測試) (續 1)

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

表 3-4 混凝土鑽心試體抗壓強度試驗結果

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

表 3-5 混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較

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

表 3-6 混凝土中性化試驗

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

表 3-7 碼頭面板氯離子濃度試驗

面板位置	上層		下層	
	Cl-(%)	Cl-(kg/m3)	Cl-(%)	Cl-(kg/m3)
#1 單元 #1-E2~E3	0.015	0.045	0.035	0.105
	0.019	0.057	0.041	0.123
	0.014	0.042	0.032	0.096
#1 單元 #1-E4~E5	0.022	0.066	0.031	0.093
	0.017	0.051	0.038	0.114
	0.020	0.060	0.032	0.096
#1 單元 #1-E5~E6	0.022	0.066	0.037	0.111
	0.020	0.060	0.035	0.105
	0.018	0.054	0.042	0.126
#2 單元 #2-F2~F3	0.020	0.060	0.043	0.129
	0.017	0.051	0.036	0.108
	0.015	0.045	0.031	0.093
#2 單元 #2-F4~F5	0.019	0.057	0.035	0.105
	0.021	0.063	0.045	0.135
	0.018	0.054	0.035	0.105
#2 單元 #2-F7~F8	0.019	0.057	0.042	0.126
	0.023	0.069	0.038	0.114
	0.023	0.069	0.037	0.111
#3 單元 #3-F1~F2	0.012	0.036	0.028	0.084
	0.021	0.063	0.023	0.069
	0.021	0.063	0.026	0.078
#3 單元 #3-F2~F3	0.029	0.087	0.038	0.114
	0.028	0.084	0.021	0.063
	0.019	0.057	0.023	0.069
#3 單元 #3-F3~F4	0.014	0.042	0.030	0.090
	0.019	0.057	0.032	0.096
	0.016	0.048	0.026	0.078
#4 單元 #4-E2~E3	0.016	0.048	0.031	0.093
	0.022	0.066	0.022	0.066
	0.021	0.063	0.032	0.096
#4 單元 #4-E3~E4	0.016	0.048	0.042	0.126
	0.017	0.051	0.048	0.144
	0.023	0.069	0.066	0.198

表 3-7 碼頭面板氯離子濃度試驗（續 1）

面板位置	上層		下層	
	Cl-(%)	Cl-(kg/m3)	Cl-(%)	Cl-(kg/m3)
#4 單元 #4-E5~E6	0.023	0.069	0.045	0.135
	0.013	0.039	0.051	0.153
	0.015	0.045	0.039	0.117
#5-F1~F2	0.019	0.057	0.057	0.171
	0.020	0.060	0.071	0.213
	0.027	0.081	0.106	0.318
#5-F2~F3	0.043	0.129	0.051	0.153
	0.050	0.150	0.068	0.204
	0.038	0.114	0.062	0.186
#5-F3~F4	0.019	0.057	0.062	0.186
	0.033	0.099	0.073	0.219
	0.022	0.066	0.068	0.204
#6-F1~F2	0.021	0.063	0.090	0.270
	0.028	0.084	0.032	0.096
	0.034	0.102	0.041	0.123
#6-F2~F3	0.039	0.117	0.086	0.258
	0.044	0.132	0.095	0.285
	0.037	0.111	0.045	0.135
#6-F3~F4	0.020	0.060	0.105	0.315
	0.018	0.054	0.083	0.249
	0.027	0.081	0.089	0.267
#7-F1~F2	0.017	0.051	0.102	0.306
	0.013	0.039	0.063	0.189
	0.015	0.045	0.103	0.309
#7-F2~F3	0.013	0.039	0.049	0.147
	0.020	0.060	0.032	0.096
	0.015	0.045	0.053	0.159
#7-F3~F4	0.014	0.042	0.047	0.141
	0.023	0.069	0.066	0.198
	0.017	0.051	0.055	0.165

表 3-8 各面板氯離子含量平均值

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

注：鋼筋混凝土氯離子規定不得超過 0.3 (kg/m³)。

表 3-9 車檔護欄氯離子含量

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

表 3-10 裂縫寬度及深度試驗

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

表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗

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

表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗（續 1）

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

表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗（續 2）

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

表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗（續 3）

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

表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗（續 4）

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

表 3-11 鋼筋腐蝕電位試驗（續 5）

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

第四章 港灣結構安全檢測評估

4.1 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估方式及理論基礎

4.1.1 傳統評估方式

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

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

1. 以試驗室力學數據為主之評估理論

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

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \dots\dots\dots (4-1)$$

式中， δ_M = 外力作用下，結構物之最大變形量

δ_u = 靜力設計時，結構物之極限變形量

Q_y = 構件之降伏強度

dE = 結構物破壞前所吸收之能量

β = 非負值之試驗常數

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

2. 以現場觀測數據為主之評估方法

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

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

4.1.2 考慮力學理論與現場觀測數據之整合性評估方法

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

1. 構件破壞指標 (D_e)

個別構件之評估方式以破壞指標來敘述，表示如下：

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e \dots\dots\dots (4-2)$$

式中， δ_{Me} = 外力作用下， e 構件之最大變形量

δ_{ue} = 靜力設計時， e 構件之極限變形量

β_e = 非負值試驗常數，依構件型式而稍有不同($\beta_e=1$)

Q_{ye} = 構件之降伏強度或實測平均強度

$\sum E_i^e$ = 構件 e 破壞前累計吸收之應變能量

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

$$E_i^e = \sigma_{\max} \delta_{est.i} \cdot \exp\left((\sigma_{\max} - \sigma_{ri}) / \sigma_{\max}\right) \dots\dots\dots (4-3)$$

式中 σ_{ri} = 實測所得斷面 i 之強度

$\sigma_{\max}$ = 實測所得之最大強度

$\delta_{est.i}$ = 估算之該斷面最大可能變形能力，其估算方式如以樑構件為例，若考慮主要變形為旋轉角時，則為可能作用之最大彎矩值，除以斷面損失下之殘餘剛度值除以中性軸深度(EI/y)。另外若有明顯裂縫之檢測資料時亦可參照 Park 及 Paulay (1975) 之方法參照圖 4.1 其旋轉角表示如下：

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

其中 S_i 為某量測段(i 段)鋼筋之伸長量。由於無法實際測出，可以樑斷面上裂縫寬（如圖 4.1）來替代；其餘參數如圖上所示。

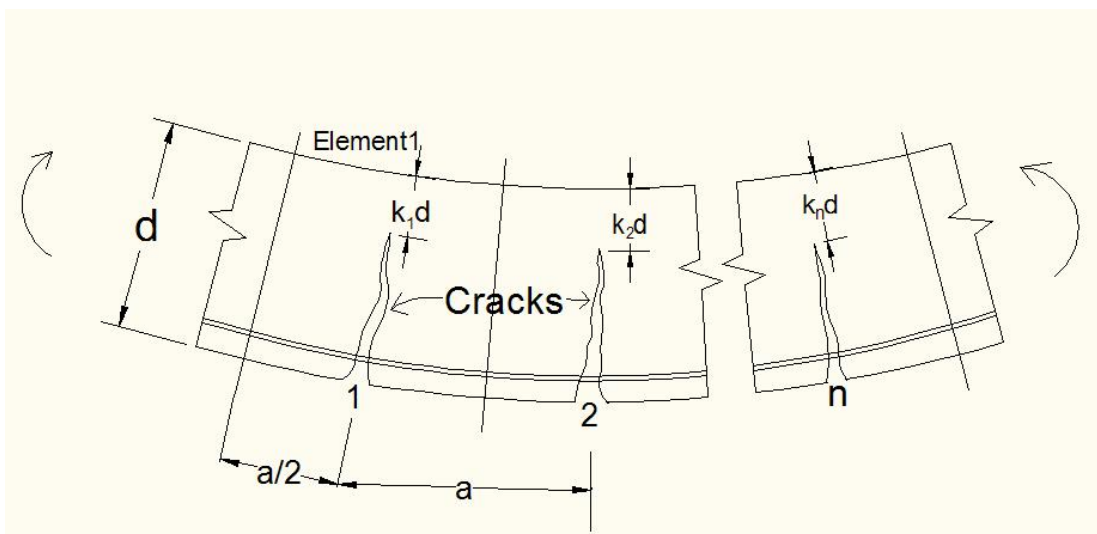


圖 4.1 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖

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

$$\delta_{Me} = \text{Max}(\delta_{est,i}) \dots\dots\dots (4-5)$$

以上與構件破壞指標相關之係數將列於表 4-1 中，包括相關說明。

2. 整體結構破壞指標 (Φ)

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

$$\Phi = \frac{2}{M} \sum_e^M [(\phi_r / \phi_l) \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e \dots\dots\dots (4-6a)$$

或如下式，若相互銜接之構件為同一型式之構件，如均屬版狀構件，或均為樑構件時

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [\exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e \dots\dots\dots (4-6b)$$

式中，M 為結構體中屬於主結構構件之總數

ϕ_1 = 結構設計之荷載因子，由鋼筋混凝土之原設計資料

得出

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

$\alpha_1 = D_e$ 現況破壞係數，為個別構件之現況破壞指標。

$\alpha_2 = 5.0 / \alpha_\delta$; $\alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right)$ 延展性係數，為延展性相關係數，

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

α_3 = 現場實測數據變異係數，其值依變異數而定，為 1~4 之範圍。

以上與整體結構破壞指標相關之係數則列於表 4.1 中，包括相關說明。

表 4-1 整體結構破壞指標相關之係數

參數	範圍	定義	判斷依據
$\alpha_1 = D_e$	≥ 1.0	構件現況破壞係數	依檢測數據計算
$\alpha_2 = \frac{5}{\alpha_\delta}$	≥ 1.0	延展性係數	依檢測數據計算
α_3	1.0~4.0	實測數據變異係數	為 1,2,3,4 當變異值分別為 <10%；或介於 10%~20%之間； 或介於 20%~30%之間； 或 >30% 時
$\alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right)$	1.0~5.0	延展性損失係數	$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \geq 1$
β_1	≤ 1	延展性線材（鋼筋） 斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
β_2	≤ 1	構件材料（混凝土） 劣化係數	(d－材料劣化深度)/d
β_3	≤ 1	材料間接合係數	(1－接合損失率)

3. 整體結構安全評估指標 (safety capability S_d)

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi \dots\dots\dots (4-7)$$

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

若單獨以 Φ 值作安全判定時，其與結構安全之相關性建議如下：

Level 1： Φ 值 ≥ 0.85 時，結構基本為安全僅需日常檢測維修即可。

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

Level 3： $0.68 > \Phi$ 值 ≥ 0.50 時，結構安全有重大問題，應停止使用

或做即時監測並進行大型檢修。

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

4.2 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估分類

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

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

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

表 4-2 為依據交通部相關研究資料所修訂之棧橋式碼頭檢測表(B1 表，B 為 bridge type)。本修訂之表格有三項特點：1.為按照不同型式之碼頭分別制訂檢測項目、2.為檢測分項中以構件進行分類、3.為材料及斷面等細部檢測之項目另定表格（為 B2 表）。

表 4-2 棧橋式碼頭檢測表(B1 表)

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

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

4.3 棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估實例分析

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

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

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

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e \quad \dots\dots\dots (4-8)$$

1. $\sum E_i^e$ = 構件 e 破壞前累計吸收之應變能量

表 4-3 各構件破壞指數計算表

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

2. δ_{Me} = 外力作用下，e 構件之最大變形量

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

3. D_e 值計算

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

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

$$\Phi = \frac{2}{M} \sum_e^M [(\phi_r / \phi_l) \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e \dots\dots\dots (4-9)$$

其中 β_1 為鋼筋斷面損失係數，但一般來說鋼筋斷面損失不容易測出。本計畫中以腐蝕電位之數據及其與腐蝕機率之關係，推估其與斷面損失之關係式來計算。計算 Φ 值時，若均為同類型構件時，其式可簡化，並得到計算結果如下：

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [1 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e = 0.888 \dots\dots\dots (4-10)$$

表 4-4 整體破壞指標所需參數值

Member	β_1	β_2	β_3	$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$	α_1	α_2	α_3
#1	0.9	0.92	1.0	0.828	3.87	2.013	3
#2	0.9	0.98	1.0	0.882	1.71	1.89	1
#3	0.9	1.0	1.0	0.9	3.23	1.852	2
#4	0.9	0.92	1.0	0.828	2.77	2.013	4
#5	0.95	0.98	1.0	0.931	2.06	1.79	1
#6	0.9	0.96	1.0	0.864	1.59	1.929	3
#7	0.9	0.92	1.0	0.828	1.84	2.013	3
Σ							

4.3.3 整體結構安全評估指標 (safety capability S_d)

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi \dots\dots\dots (4-11)$$

若為強度設計法、則 S_d 值為 $0.85f_c'$ 。目前試算的結果（在相當有限的檢測數據及設計參數下），#118 號碼頭之 Φ 值經代入公式計算後得出為 0.88。當 Φ 值為 0.88 時表示結構位於第一級之安全程度，亦即僅需進行日常檢測作業即可。

第五章 碼頭檢測評估資料庫系統

碼頭面版維護管理系統中，最重要為在使用階段中能夠正確瞭解碼頭面版之各種狀況，其中最重要的則為結構的安全性及碼頭功能的健全性。因此每一座碼頭都應該有個別的檔案，各座碼頭之檔案復能相互連結並建立關聯性，以方便管理。因此在日常的維護工作中，即應針對碼頭結構的安全性及碼頭功能的健全性進行適當的檢測工作，包括建立數據、紀錄異常狀況、拍照紀錄，並定期做檢測數據之分析。

碼頭面版檔案之建立，首先必須在碼頭一開始規劃及設計的階段時即取得碼頭之各種設計資料，包括各種設計條件、碼頭需求及完成設計時之各項碼頭參數，加以建檔。然後在施工階段是否有重大工程違失之建檔，如材料數量或強度不實，施工流程不當或意外等。而在日常使用的管理中，檢測數據之紀錄宜以表格化執行，避免檢測者的個別差異。為了管理的一致性及兼顧各種不同碼頭的異質性，不同型式的碼頭宜有不同之檢測重點，但在日常例行檢測中，特別針對碼頭面版使用功能性之檢測，則宜有一致之檢測標準。

所有檢測之資料最後均以數值方式存入系統管理之電腦中，管理者及檢測者均可透過網路系統，分析或輸入檢測之資料。但為避免資料被任意更改或被不當使用，在使用區分上則必須有所區隔，在資料更改時亦必須獲得一定層級之授權。每隔一段時間存檔備份後之資料，則視為當時之記錄不再更改。

由於輸入之原始資料可能非常龐大，中間將有許多分析的過程，其中包括統計分析及結構力學分析等，都可能建立在維護管理系統中，最後管理者能以最方便、快捷之方式取得各個碼頭之使用狀態。使用中的碼頭如有必須進行處理之狀態出現時，管理系統在分析之後亦將顯示建議之處理程序，因此該管理系統也將間接扮演諮詢者之角色，以下針對 MySQL 和 SQL Server 兩套管理系統及 ASP & PHP & JSP 動態伺服器網頁技術做研討。

5.1 MySQL 系統

1. 優點：

- 便宜（通常是免費）。
- 網路承載比較少。
- 應用程式通過它做備份來比較簡單。
- 它為各種不同的資料格式提供有彈性的擴展介面(ODBC)。
- 你想的到的平台幾乎都可以支援 MySQL。

2. 缺點：

MySQL 沒法處理複雜的關聯性資料庫功能，例如，子查詢（subqueries），雖然大多數的子查詢都可以改寫成 join。

另一個 MySQL 沒有支援的管理層面功能是交易（transaction）以及確認（commit）/撤回（rollback）。一個交易指的是被當作一個單位來共同執行的一群或一套命令。如果一個交易沒法完成，那麼整個交易裡面沒有一個指令是真正執行下去的。對於必須處理線上訂單的商業網站來說，MySQL 沒有支援這項功能，的確讓人覺得很失望。MaxSQL，一個分開的伺服器，是透過外掛的表格來支援交易功能。

外來鍵（foreign key）以及參考整合限制（referential integrity）可以讓你訂定表格中資料之間的規則，然後將規則（constraint）加到所欲規定的資料裡面。這表示，一個有賴複雜的資料關係的應用程式並不適合使用 MySQL。當我們說 MySQL 不支援外來鍵時，我們指的就是資料庫的參考整合限制，MySQL 並沒有支援外來鍵規則，當然更沒有支援連鎖刪除效應（cascading delete）。簡短的說，如果你需要複雜的資料關係，使用 Access 可能會是比較好的選擇。

你在 MySQL 也不會找到預存程序（stored procedure）以及觸發

(trigger)。(針對這些功能，在 Access 有提供相對的事件程序(event procedure)。) Access 的 GetRows 功能，提供較好的資料擷取。

5.2 SQL Server 系統

1. 優點：

- 視覺化操作，操作簡單。
- 和微軟開發工具整合度高。
- 提供的 DTS 與 Schedule，可以完成企業的批次作業。
- 提供資料倉儲工具(OLAP Service)。
- 坊間中文參考書籍很多。

2. 缺點：

價錢貴，以連線數目或是 Server CPU 數量計價，(比 Oracle 便宜)，只能在 Windows 平台上面執行。使用人多，也造成駭客攻擊的主要目標之一，因此會常常有更新的版本。非微軟的開發工具整合時候可能會發生少部分不支援的問題。

5.3 ASP & PHP & JSP 動態伺服器網頁技術特點

5.3.1 ASP 動態伺服器網頁技術特點

使用 VBScript、JScript 等簡單易懂的腳本語言，結合 HTML 代碼，即可快速地完成網站的應用程式。無須 compile 編譯，容易編寫，可在伺服器端直接執行。使用普通的文本編輯器，如 Windows 的記事本，即可進行編輯設計。

與瀏覽器無關(Browser Independence)，客戶端只要使用可執行 HTML 碼的瀏覽器，即可瀏覽 Active Server Pages 所設計的網頁內容。Active ServerPages 所使用的腳本語言(VBScript、Jscript)均在 WEB 伺

伺服器端執行，客戶端的瀏覽器不需要能夠執行這些腳本語言。

Active Server Pages 能與任何 ActiveX scripting 語言相容。除了可使用 VB Script 或 JScript 語言來設計外，還通過 plug-in 的方式，使用由第三方所提供的其他腳本語言，譬如 REXX、Perl、Tcl 等。腳本引擎是處理腳本程式的 COM(Component Object Model)對象。

可使用伺服器端的腳本來產生客戶端的腳本。

ActiveX Server Components(ActiveX 伺服器組件)具有無限可擴充性。可以使用 Visual Basic、Java、Visual C++、COBOL 等程式設計語言來編寫你所需要的 ActiveX Server Component。

5.3.2 PHP 動態伺服器網頁技術特點

PHP 可以編譯成具有與許多數據庫相連接的函數。PHP 與 MySQL 是現在絕佳的群組合。你還可以自己編寫週邊的函數去間接存取數據庫。通過這樣的途徑當你更換使用的數據庫時，可以輕鬆地修改編碼以適應這樣的變化。PHPLIB 就是最常用的可以提供一般事務需要的一系列基庫。但 PHP 提供的數據庫介面支援彼此不統一，比如對 Oracle，MySQL，Sybase 的介面，彼此都不一樣。這也是 PHP 的一個弱點。

5.3.3 JSP 動態伺服器網頁技術特點

1. 將內容的產生和顯示進行分離

使用 JSP 技術，Web 頁面開發人員可以使用 HTML 或者 XML 標識來設計和格式化最終頁面。使用 JSP 標識或者小腳本來產生頁面上的動態內容。產生內容的邏輯被封裝在標識和 JavaBeans 群組件中，並且捆綁在小腳本中，所有的腳本在伺服器端執行。如果核心邏輯被封裝在標識和 Beans 中，那麼其他人，如 Web 管理人員和頁面設計者，能夠編輯和使用 JSP 頁面，而不影響內容的產生。在伺服器端，JSP 引擎解釋 JSP 標識，產生所請求的內容（例如，通過存取 JavaBeans 群組件，使用 JDBC 技術存取數據庫），並且將結果以 HTML

(或者 XML)頁面的形式發送回瀏覽器。這有助於作者保護自己的代碼，而又保證任何基於 HTML 的 Web 瀏覽器的完全可用性。

2. 強調可重用的群組件

絕大多數 JSP 頁面依賴於可重用且跨平臺的組件(如:JavaBeans 或者 Enterprise JavaBeans)來執行應用程式所要求的更為複雜的處理。開發人員能夠共用和交換執行普通操作的組件，或者使得這些組件為更多的使用者或者用戶團體所使用。基於組件的方法加速了總體開發過程，並且使得各種群組織在他們現有的技能和優化結果的開發努力中得到平衡。

3. 採用標識簡化頁面開發

Web 頁面開發人員不會都是熟悉腳本語言的程式設計人員。JavaServer Page 技術封裝了許多功能，這些功能是在易用的、與 JSP 相關的 XML 標識中進行動態內容產生所需要的。標準的 JSP 標識能夠存取和實例化 JavaBeans 組件，設定或者檢索群組件屬性，下載 Applet，以及執行用其他方法更難於編碼和耗時的功能。通過開發定制化標識庫，JSP 技術是可以擴展的。今後，第三方開發人員和其他人員可以為常用功能建立自己的標識庫。這使得 Web 頁面開發人員能夠使用熟悉的工具和如同標識一樣的執行特定功能的構件來工作。JSP 技術很容易整合到多種應用體系結構中，以利用現存的工具和技巧，並且擴展到能夠支援企業級的分佈式應用。作為採用 Java 技術家族的一部分，以及 Java 2EE 的一個成員，JSP 技術能夠支援高度複雜的基於 Web 的應用。由於 JSP 頁面的內置腳本語言是基於 Java 程式設計語言的，而且所有的 JSP 頁面都被編譯成為 Java Servlet，JSP 頁面就具有 Java 技術的所有好處，包括健壯的存儲管理和安全性。作為 Java 平臺的一部分，JSP 擁有 Java 程式設計語言“一次編寫，各處執行”的特點。隨著越來越多的供貨商將 JSP 支援加入到他們的產品中，您可以使用自己所選擇的伺服器和工具，修改工具或伺服器並不影響目前的應用。

5.4 資料庫架構



圖 5.1 資料庫關聯圖

碼頭評估維護系統資料庫是由四種主要資料所組成的，由港灣資料、碼頭管理資料、斷面資料到構件資料由大到小所組合而成：

5.4.1 港灣資料

港灣資料又可分為以下兩種，港灣名稱、所在縣市，主要以這兩種方法來找尋所需要的碼頭已進行後續分析。

5.4.2 碼頭管理資料

碼頭管理資料又可細分為碼頭編號、港灣編號、碼頭名稱、構件總數、分割示意圖、管理機關、管理單位等，使得使用者可以了解目前所想要進行分析的碼頭在哪裡、可以分為幾個構件、是何種單位的管轄範圍、竣工日期、最近維修日期等港灣資料，而如果要更了解碼頭目前的現況就必須要更細分為斷面資料、與構件資料。

5.4.3 斷面資料

斷面資料包含有碼頭編號、斷面名稱、斷面強度、斷面鋼筋伸長量、斷面變形量、斷面原始厚度等各種與斷面相關資料，此斷面資料可以使得使用者得以了解斷面現況以及斷面是否有需要進行維修，由此可得知斷面受到破壞之情況。

5.4.4 構件資料

構件資料中又之內容有構件破壞指標、構件現況破壞係數、構件試驗常數、構件降伏強度、構件腐蝕電位、構件劣化係數等許多經由實測所得知的數據，因此利用此構件資料加上也是經由實測得知的斷面資料，就可得知構件之破壞指標分析以及整體之破壞指標分析，詳細操作方法將會在 5.5 碼頭結構安全檢測評估及維護系統裡面進行操作教學。

斷面資料：資料表		
	欄位名稱	資料類型
?	編號	自動編號
	港灣碼頭編號	文字
	構件名稱	文字
	斷面名稱	文字
	實測斷面強度	數字
	實測斷面處之鋼筋伸長量	數字
	實測裂縫深度	數字
	已扣除保護層之斷面原始厚	數字
	斷面變形量	數字
	破壞前吸收之應變能量	數字
▶		

圖 5.2 斷面資料資料表

港灣資料：資料表		
	欄位名稱	資料類型
1	編號	自動編號
2	港灣名稱	文字
3	所在縣市	文字
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

圖 5.3 港灣資料資料表

	欄位名稱	資料類型
▶	編號	自動編號
	港灣碼頭編號	文字
	構件名稱	文字
	構件斷面總數	數字
	斷面分割示意圖	超連結
	構件破壞指標	數字
	構件現況破壞係數	數字
	不含保護層之斷面原始厚度	數字
	構件試驗常數	數字
	構件降伏強度	數字
	構件極限變形量	數字
	構件最大變形量	數字
	結構設計荷載因子	數字
	構件之減強因子	數字
	實測數據變異係數	數字
	構件腐蝕電位	數字
	構件劣化係數	數字
	材料接合係數	數字
	延展性調校係數	數字

圖 5.4 構件資料資料表

5.5 碼頭結構安全檢測評估及維護系統

本計畫針對前面各章中所敘述之檢測及評估成果進行港灣構造物之維護系統開發，其中並結合現有系統中的相關部分加以整合，成為一個較具針對性的包含資料庫的港灣碼頭維護系統。其主要為針對碼頭經過細部(或特別)檢測後之數據處理，以及安全評估、維護建議等納入資料庫中，系統將自動依據所建議之評估方式加以計算評估，最後得出評估之結果得以做為主管單位決策之參考。

碼頭維護檢測評估系統入口網頁建置完成之實際畫面如以下各分圖所示。

步驟一：

首先進入碼頭結構安全檢測評估系統後，一開始會先看到的畫面是帳號密碼確認機制的部分，在紅色框框中的部分可以輸入個人的密碼以便登入系統。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T., M.O.T.C.

碼頭結構安全檢測評估系統

帳號：joe

密碼：.....

登入 重新輸入

圖 5.5 帳號輸入頁面

步驟二：

接下來所進入的是港灣碼頭選擇的頁面，圖上所出現的是台灣地圖上面標示有[高雄港]與[基隆港]作為範例，可以從地圖上直接點選所需要的港灣碼頭來進行選擇。



圖 5.6 選擇港灣頁面

步驟三：

點選完港灣後將會出現選擇碼頭，在此處可以選擇[碼頭編號]或是[碼頭名稱]兩者選其一即可，同時當點選完港灣後若非所點選之碼頭會以黑色標楷體表示在台灣地圖上面。



圖 5.7 選擇碼頭頁面

步驟四：

確認完碼頭編號後會進入碼頭訊息頁面，首先要先設定[構件總數]
(1)，設定完後會出現[構件設定] (2)，構件的名稱也可自行改變，當改變完後按下[變更構件名稱]後就可改變構件名稱，此外旁邊也可輸入檢測日期，而在構件設定下方藍色框中會有一個[整體破壞指標分析]是呈現反白的狀態，要等所有構件設定完後才可執行。



圖 5.8 構建設定頁面

在碼頭訊息這邊有另外一個功能碼[頭構件分割示意圖]，這個功能可經由上傳來顯示出不同分割情況下碼頭構件的示意圖。

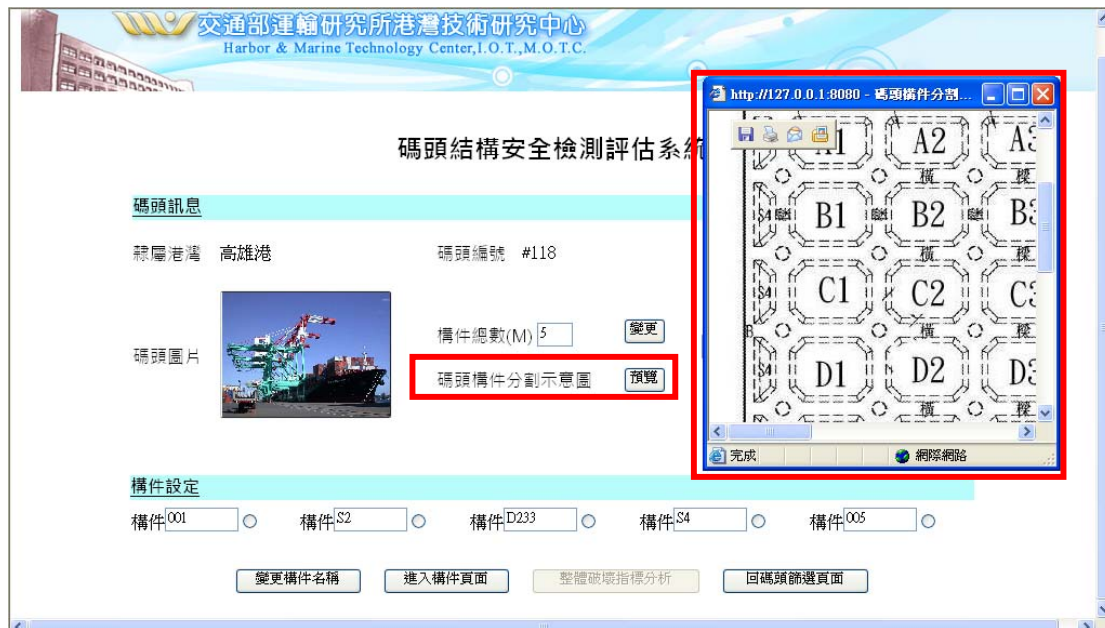


圖 5.9 碼頭構件分割示意圖

當構件數目與名稱都設定好後，接下來就可點選[構件設定](1)後再點選[進入構件頁面](2)。



圖 5.10 進入構件頁面

步驟五：

進入構件編輯畫面後再構件設定上面可輸入[斷面總數]與[構件斷面原始厚度]，當輸入完後就可進行下一步。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T., M.O.T.C.

碼頭結構安全檢測評估系統

碼頭訊息

隸屬港灣 高雄港 碼頭編號 #118 碼頭名稱 118號

碼頭圖片  構件總數(M) 5 檢測日期： 99年11月30日

碼頭構件分割示意圖

構件 001

請輸入斷面總數 (p) 構件斷面之原始厚度 (d) (cm)

圖 5.11 構件設定

步驟六：

進入構件斷面參數設定後此處一樣可自行更改斷面名稱，每個斷面都有 4 個參數可供設定，有[實測斷面強度]、[實測裂縫深度]、[斷面處鋼筋伸長量]、[實測斷面原始厚度]等 4 項，而藍色框框為原本預設之斷面原始厚度，一樣也可再自行修改，若是輸入完後即可進行下一步。

碼頭圖片

構件總數(M) 5 檢測日期: 99年11月30日

碼頭構件分割示意圖 預覽

構件 001

構件斷面數 (p) 2 構件斷面之原始厚度 (d) 25 (cm)

構件斷面示意圖 預覽

斷面⁰⁰¹ 實測斷面強度 (kgf/cm²) 斷面處之鋼筋伸長量 (cm)

實測裂縫深度 (cm) 實測斷面原始厚度 25 (cm) 預設

斷面⁰⁰² 實測斷面強度 (kgf/cm²) 斷面處之鋼筋伸長量 (cm)

實測裂縫深度 (cm) 實測斷面原始厚度 25 (cm) 預設

變更斷面名稱 下一步 重新輸入 上一步

圖 5.12 構件斷面參數設定

再構件斷面設定處也同樣有構件斷面示意圖的預覽圖可供參考，一樣也式可以即時上網更新以方便修改。



圖 5.13 構件斷面示意圖

而在斷面參數設定方面有做防誤 key 處理，若是輸入的數值不合理則會跳出警告視窗。



圖 5.14 防誤 KEY 處理畫面

步驟七：

進入破壞指標參數後首先要設定[構件抗壓強度測試](1)此為現場所測定出來之值，構件抗壓強度預設值為 0，而在輸入後系統會自行判斷最大值與最小值，再依照李教授之判別方法判斷出各項數值，而在試驗常數部分的預設值為 1，系統將主動帶出但仍可自行輸入設定。

圖 5.15 破壞指標參數輸入頁面

而在此頁面中參數均有設定防誤 key 假設輸入有錯誤時即會跳出警告視窗，而當所有數值都輸入完後即可進行下一步。

The screenshot displays a software interface for structural design input. At the top, there are two tabs: "碼頭圖片" (Quay Image) and "碼頭構件分割示意圖" (Quay Component Division Diagram). Below the tabs, the "構件 001" (Component 001) section is active. It contains input fields for "構件斷面數 (p)" (2), "構件斷面之原始厚度 (d)" (25.0 cm), and "構件斷面示意圖" (Preview). The "構件抗壓強度測試" (Component Compressive Strength Test) section includes input fields for "230", "250", "0.0", and "0.0". The "破壞指標參數輸入" (Failure Indicator Parameter Input) section includes input fields for "試驗常數 (β_e)" (1.0), "構件之減強因子 φ_r", "構件腐蝕電位" (400 mV), "材料接合係數 (β₃)", "結構設計荷載因子 φ_l" (-3), "構件中性化深度" (cm), and "延展性調校係數 (δ_u / δ_e)". A warning dialog box titled "Microsoft Internet Explorer" is overlaid on the interface, displaying a yellow warning icon and the message "請確認結構設計荷載因子數值。" (Please confirm the structural design load factor value.). The dialog box has a "確定" (OK) button. The interface also features a "下一步" (Next Step) button, which is highlighted with a red box, and "重新輸入" (Re-input) and "上一步" (Previous Step) buttons.

圖 5.16 防誤 KEY 處理畫面

步驟八：

當所有參數設定完後將會跳回構件設定頁面，即可在進行下一個構件的設定，而當所有構件均設定完後[整體破壞指標分析]之連結將會浮現，此時即可點選。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T., M.O.T.C.

碼頭結構安全檢測評估系統

碼頭訊息

碼頭港灣 高雄港 碼頭編號 #118 碼頭名稱 118號

碼頭圖片 

構件總數(M) 1 變更 檢測日期 99 年 11 月 30 日 預覽

碼頭構件分割示意圖

構件設定

構件 001

變更構件名稱 進入構件頁面 整體破壞指標分析 回碼頭篩選頁面

圖 5.17 整體破壞指標分析

步驟九：

接下來會進入整體[評估結果]頁面，會有[碼頭整體破壞指標]、[碼頭安全維護等級]以及[碼頭結構安全維護建議]等結果出現，這些將試評估碼頭安全的指標。另外在下方會出現預覽列印可供列印碼頭檢測表，而另一個藍色框框可回到構建設定頁面。

碼頭結構安全檢測評估系統

碼頭訊息

隸屬港灣	高雄港	碼頭編號	#118	碼頭名稱	118號	
碼頭圖片			構件總數(M)	1	檢測日期	99年 11月 30日
			碼頭構件分割示意圖	預覽		

評估結果

碼頭整體破壞指標 (Φ)	0.8320709	碼頭安全維護等級	Level 2
碼頭結構安全維護建議			

結構安全有局部威脅，需進一步進行檢修，但仍可使用。

預覽列印

回構件設定頁面

圖 5.18 評估結果頁面

在預覽列印方面可以看到所有的整體破壞指標都會出現，只要按下確認列印就可直接列印了。

http://127.0.0.1:8080 - 棧橋式碼頭檢測表 - 高雄港#118, 檢測日期: 99年 11月 30日 - Microsoft Internet Explorer

棧橋式碼頭檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：高雄港		碼頭編號：#118				
	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：	水域深度	原設計：			
		縱深：		目 前：			
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☐ 其他					
	基樁構造型式	☐ 鋼管樁 ☐ RC樁 ☐ PC樁 ☐ 其他					
上次檢測	時間： 單位： 區分： 結果：						
整體結構破壞檢測							
調查目及評估值		構件破壞指標	構件減強因子	構件設計荷載因子	構件現況破壞係數	延展性係數	實測數據變異係數
構件 001		2.1839907	1.0	2.0	2.1839907	2.1043773	4
整體結構破壞評估							
整體結構破壞指標		0.8320709					
整體結構破壞等級		Level 2					
維護建議		結構安全有局部威脅，需進一步進行檢修，但仍可使用。					
檢測單位：		檢測人：		檢測時間： 99年 11月 30日			
備註							

確定列印
取消列印

圖 5.19 棧橋式碼頭檢測表列印

當回到構建設定頁面後，可以看到構件下方會出現各個構件之 De 值也就是，構件破壞指標以方便判斷構件損壞的情形來方便進行判斷何者需要先行維修。



圖 5.20 構件破壞指標呈現

第六章 碼頭結構維護工法探討

碼頭構造物的維護工法主要係依據其損壞或變形而定，經常是由多種原因所共同造成的，但從要素間的關聯性的觀點來看，大致上可做以下的區別：

1. 構造物構成要素的變形有相互關連性，一個構成要素的變形會波及其他的要素，這種情形是其變形現象的進行過程，依據構造物的不同而有差異，而且變形的規模有變大的趨勢。
2. 另一種是鋼材的腐蝕、混凝土的龜裂、劣化等，這類型的變形幾乎與構造物的特性無關，主要是受到構成要素其特性的影響，此種材料的變形是相互獨立在進行，所以這類型的變形現象比較單純。

本節後續將依各型港灣構造物探討構成要素的損壞或變形之維護工法。其後則探討材料劣化的維護工法，並分節依序敘述碼頭構造物主要組成材料鋼鐵材料及鋼筋混凝土維護工法。

至於各型碼頭構造物的變形，經常是由多種原因所共同造成的，要查明結構物變形現象與其原因相當困難，因此，反映之維護工法亦較無一定。以下僅就「港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究」與高雄港務局「高雄港港灣設施維護管理手冊」整理歸納之各型碼頭構造物維護工法說明，主要分為下列三式：

6.1 沉箱式碼頭維護工法

沉箱式碼頭所受外力主要有上載荷重、背填土壓力、殘留水壓力、浮力、地震力及船舶外力等。其常見的破壞模式主要為沉箱的位移（滑動）、沉陷與傾倒，若基礎地層較軟弱時，則會發生向海側之位移、傾倒及沉陷等破壞。此外，操船不當導致船舶碰撞碼頭結構，亦會造成沉箱破裂、漏砂。

當沉箱因船舶碰撞或漂流物撞擊等外力發生破裂、漏砂的現象時，須立即進行相關的復建措施。首先須清除海生物，再以水中混凝土進行灌入破損處修補。由於早期碼頭後線多採水力回填，且無設置濾布，背填土經年累月受潮汐、波浪影響吸出，後線土壤已呈鬆散、空洞狀態，未避免持續擴大災損，沉箱間宜用水中混凝土澆製，後線面板開挖重新鋪設濾布，再進行回填夯實。

為配合沉箱式碼頭檢測評估項目，茲將可能之維護管理工法依結構位置及劣化項目，概分為水上部份及水下部份，如表 6-1 所示：

表 6-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水上部份	胸牆	龜裂損傷	輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm） 胸牆斷落	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「斷面修復工法」
		剝離與鋼筋外露	局部混凝土剝落 胸牆損傷致高度不足 混凝土剝落致鋼筋外露	「充填增厚工法」 「斷面修復工法」 「防蝕噴漿工法」
	堤面	龜裂損傷	輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm） 堤面混凝土斷裂	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「鋪面修復工法」
		沈陷	輕微不均勻沈陷（輕微積水） 明顯不均勻沈陷（嚴重積水）	「無筋頂面增厚工法」 「斷面修復工法」
		鋼筋外露	局部混凝土剝落 混凝土剝落致鋼筋外露 堤面混凝土斷裂	「充填增厚工法」 「防蝕噴漿工法」 「斷面修復工法」
	沈箱	變位	堤體變位不明顯（變位量約 < 5cm） 堤體變位明顯（變位量約量 > 5cm） 堤體嚴重變位（變位量約 > 10cm）	「沉箱間隙改善工法」 「沉箱間隙改善工法」 「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「波壓消減工法」
		傾斜	輕微傾斜（傾斜率約<3%） 明顯傾斜（傾斜率約3~5%） 嚴重傾斜（傾斜率約>5%）	「沉箱間隙改善工法」 「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「堤體重置工法」
	沈箱	龜裂損傷	堤體輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm) 堤體混凝土斷裂	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「斷面修復工法」
		鋼筋外露	壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露 壁體剝落致鋼筋外露 堤體混凝土破洞	「充填增厚工法」 「防蝕灌漿工法」 「置換工法」 「鋼支堡工法」

表 6-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表（續）

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水下部分	沈箱	龜裂損傷	堤體輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm， 龜裂長度目測約<5cm） 堤體明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm， 龜裂長度目測約>5cm） 壁體剝落致鋼筋外露 堤體混凝土斷裂(破洞)	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「防蝕灌漿工法」 「覆襯工法」 「鋼支堡工法」
	護基方塊	變位	部分發生下陷位移（變位量約<5cm） 小規模下陷位移（變位量約 5~10 cm） 大範圍下陷位移（變位量約>10 cm）	「方塊固結工法」 「重置改善工法」 「新製補強工法」
	消波塊	滑落與沈陷	部分消波塊移動或滾落 消波塊散落沈陷達一層，堤體滑動安全率 有減低之虞 消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低	「加拋改善工法」 「新製加重工法」 「加寬補強工法」
	基礎海床	沖刷	輕微沖刷（沖刷坑深度約<50cm） 大量沖刷（沖刷坑深度約 50~100cm） 嚴重沖刷（沖刷坑深度約>100cm）	「拋石護基工法」 「斷面修復工法」 「基礎加寬補強工法」

（資料來源：交通部高雄港務局）

6.1.1 水上部份維護管理工法與施作項目

6.1.1.1 胸牆維護

沉箱式防波堤之胸牆一般係以巨積混凝土澆置，並設置剪力樺與局部剪力筋，以利與場鑄混凝土結合，達到抵抗滑動與滾動之效能。因此，維護胸牆之項目可能為混凝土之龜裂損傷、剝離及鋼筋外露等兩項。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 胸牆龜裂損傷

(1)輕微損傷(龜裂寬度目測約 $<3\text{mm}$ ，龜裂長度目測約 $<5\text{cm}$)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏝整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)明顯損傷(龜裂寬度目測約 $>3\text{mm}$ ，龜裂長度目測約 $>5\text{cm}$)

A.維護工法：「充填工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)胸牆斷落

A.維護工法：「斷面修復工法」

於斷落胸牆處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設胸牆，以恢復構材原有斷面。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

2. 胸牆剝離與鋼筋外露

(1)局部混凝土剝落

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(2)胸牆損傷致高度不足

A.維護工法：「斷面修復工法」

於斷落胸牆處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設胸牆，以恢復構材原有斷面高度。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

(3)混凝土剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕噴漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再以噴凝土分層噴漿，每層平均厚度不超過 1.5cm。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

6.1.1.2 堤面維護

沉箱式防波堤之堤面係由巨積場鑄混凝土澆置完成，可能面對之維護項目包括混凝土之龜裂損傷、堤面沉陷等，至於與胸牆銜接之剪力筋部分為堤面鋼筋外露之唯一可能。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 堤面龜裂損傷

(1)輕微損傷(龜裂寬度目測約 $<3\text{mm}$ ，龜裂長度目測約 $<5\text{cm}$)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏟修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏟整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)明顯損傷(龜裂寬度目測約 $>3\text{mm}$ ，龜裂長度目測約 $>5\text{cm}$)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)堤面混凝土斷裂

A.維護工法：「鋪面修復工法」

於堤面混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

2. 堤面沉陷

(1)輕微不均勻沉陷(輕微積水)

A.維護工法：「無筋頂面增厚工法」

於堤面不均勻沉陷處進行打毛作業，再選用優質混凝土配合接著劑進行修補增厚，以提昇堤面高程。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土部份鑿除、接著劑、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

(2)明顯不均勻沉陷(嚴重積水)

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤面明顯不均勻沉陷處進行鑿除作業，再選用優質材料

修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

3. 堤面鋼筋外露

(1)局部混凝土剝落

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(2)混凝土剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕噴漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再以噴凝土分層噴漿，每層平均厚度不

超過 1.5cm。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(3)堤面混凝土斷裂

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤面混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

6.1.1.3 沉箱水上維護

沉箱係以鋼筋混凝土製作，一般沉箱設計間隙為 10cm，並有間樁槽設計施工斷面(濾石層或水中混凝土)，但由於沉箱施工安放之許可差規定為，法線方向 $\pm 25\text{cm}$ ，沉箱間隙 20cm 以內，四角不均匀沉陷之差度 30cm 以內。因此，沉箱水上部份可能面對之維護項目，包括變位、傾斜、

龜裂損傷及鋼筋外露等四項。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 沉箱變位

(1)堤體變位不明顯(變位量約<5cm)

A.維護工法：「沉箱間隙改善工法」

於拋放濾石之樺槽內補拋石料或內填水中混凝土。

B.施工項目：

以濾石拋放或充填水中混凝土。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)堤體變位明顯(變位量約>5cm)

A.維護工法：

a.「沉箱間隙改善工法」：於拋放濾石之樺槽內補拋石料，或於施作水中混凝土之樺槽補作。

b.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

B.施工項目：

a.「沉箱間隙改善工法」：以濾石拋放或充填水中混凝土(或麻袋混凝土)。

b.「堤體穩固工法」：為堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

b.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)堤體嚴重變位(變位量約>10cm)

A.維護工法：

a.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

b.「波壓消減工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採堤體外側加拋消波塊、新設離岸潛堤等方式消減波壓。

B.施工項目：

a.「堤體穩固工法」：為堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

b.「波壓消減工法」：為基礎整平、襯墊鋪設、堤心石拋放、消波塊海拋。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03390 章、第 03439 章。

2. 沉箱傾斜

(1)輕微傾斜(傾斜率約<3%)

A.維護工法：「沉箱間隙改善工法」

於拋放濾石之樺槽內補拋石料或內填水中混凝土。

B.施工項目：

以濾石拋放或充填水中混凝土。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)明顯傾斜(傾斜率約 3~5%)

A.維護工法：「堤體穩固工法」

係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換及增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

B.施工項目：

堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)嚴重傾斜(傾斜率約>5%)

A.維護工法：

a.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

b.「堤體重置工法」：係先進行堤體穩定分析，並將沉箱起浮拖移後，若舊有沉箱尚能使用則依堤體穩固工法重新加固安放，若斷面安全不足時則需新製大斷面沉箱再行安置。

B.施工項目：

- a.「堤體穩固工法」：堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。
- b.「堤體重置工法」：嚴重傾斜之沉箱起浮拖移、襯墊鋪設、堤心石拋放、基礎整平、沉箱製作、沉箱安放、護基方塊吊放、消波塊吊放。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02395 章、第 03390 章、第 03439 章。

3. 沉箱龜裂損傷

(1)堤體輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏟修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏟整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)堤體混凝土斷裂

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤體混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤體原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4. 沉箱鋼筋外露

(1)壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(2)壁體剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕灌漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再封模澆築混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(3)堤體混凝土破洞

A.維護工法：

a.「置換工法」：係於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除後，檢試沉箱孔中淘空情形，拋放卵石填充，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再封模澆築場鑄混凝土。

b.「鋼支堡工法」：係於堤體破損區內部設置縱橫 H 型鋼肋、

覆襯外部鋼模後澆鑄混凝土，藉以提昇恢復支承機能與安定結構剛性耐力。

B.施工項目：

- a.「置換工法」：以混凝土鑿除、卵石充填、鋼筋除鏽或置換、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、混凝土澆鑄。
- b.「鋼支堡工法」：採混凝土鑿除、鋼筋除鏽或置換 H 型鋼肋、錨栓施作、覆襯外部鋼模、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、混凝土澆鑄。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02353 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02354 章、第 02422 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

6.1.2 水下部份維護管理工法與施作項目

6.1.2.1 沉箱水下維護

沉箱水下部份之維護項目以探討龜裂損傷為主。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 沉箱龜裂損傷

- (1)堤體輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂填塞裂縫。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、潛水攪拌機施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處，以小型破碎機去除破損混凝土及打毛後，再以接著劑粘著新舊混凝土，達到充填增厚效果。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土局部鑿除、速凝劑、潛水攪拌機施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)壁體剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕灌漿工法」

於混凝土剝落處去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕斷裂部分予以切除，再植筋電焊置換後，封模施作水中混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋切除、水下植筋電焊、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(4)堤體混凝土斷裂(破洞)

A.維護工法：

- a.「覆襯工法」：係水下攝影破洞情形後，於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除後，檢試沉箱孔中洶空情形，拋放卵石填充，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，並於斷裂部份切除後置換，再以鋼模覆襯、壁虎錨定及鋼纜拉焊後澆築水中混凝土。
- b.「鋼支堡工法」：係水下攝影破洞情形後，於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除，再檢試沉箱孔中洶空情形，堤體破損區內部設置縱橫 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模錨碇後以特密管施作水中混凝土，藉以提昇恢復支承機能與安定結構剛性耐力。

B.施工項目：

- a.「覆襯工法」：為水下攝影、混凝土鑿除(潛水俠作業)、卵石充填、鋼筋除鏽或置換、鋼模錨碇、鋼纜拉焊、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。
- b.「鋼支堡工法」：為水下攝影、混凝土鑿除(潛水俠作業)、鋼筋切除、置換 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模、壁虎錨栓施作、鋼纜拉焊、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02353 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02354 章、第 02422 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

6.1.2.2 護基方塊維護

護基方塊為混凝土製作，主要功能為保護沉箱底趾免於淘刷，一般施工規定連接下一座沉箱側面進出偏差 5cm 以內。因此，可能面對之主要危害項目為變位。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 護基方塊變位

(1)部分發生下陷位移(變位量約<5cm)

A.維護工法：「方塊固結工法」

於局部下陷位移區以水中混凝土進行護基方塊固結作業。

B.施工項目：

水下攝影、水中混凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02357 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)小規模下陷位移(變位量約 5~10cm)

A.維護工法：「重置改善工法」

先以水下攝影確認下陷區位與規模，於吊移護基方塊後進行堤心石加拋整平作業，再將原有護基方塊重置排整。

B.施工項目：

水下攝影、護基方塊吊移、堤心石加拋整平、護基方塊水下重置排整。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章。

(3)大範圍下陷位移(變位量約>10cm)

A.維護工法：「新製補強工法」

進行護基方塊安定性分析，並以水下攝影確認下陷區位與規模，於吊移護基方塊後進行堤心石加拋整平作業，新製護基方塊再水下排整施作。

B.施工項目：

水下攝影、原有護基方塊吊移、堤心石加拋整平、護基方塊澆製、護基方塊水下排整。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

6.1.2.3 消波塊維護

消波塊一般為巨積混凝土製作，主要功能為保護沉箱前趾免於淘刷。因此，可能面對之主要危害項目為滑落與沉陷。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 消波塊滑落與沉陷

(1)部分消波塊移動或滾落

A.維護工法：「加拋改善工法」

先以水下攝影確認移動或滾落區位與規模，再進行消波塊加拋改善作業，以恢復原狀。

B.施工項目：

水下攝影勘測、加製原有消波塊、消波塊吊拋。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(2)消波塊散落沉陷達一層，堤體滑動安全率有減低之虞

A.維護工法：「新製加重工法」

先分析消波塊安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，於新製加重之消波塊後再進行消波塊補強作業。

B.施工項目：

水下攝影勘測、消波塊新製、消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低

A.維護工法：「加寬補強工法」

先分析消波塊安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，再新製消波塊後於加大基礎寬度與拋放層數，後進行消波塊補強作業。

B.施工項目：

水下攝影勘測、襯墊鋪設、堤心石加寬拋放、消波塊新製、消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

6.1.2.4 基礎海床維護

由於沉箱式防波堤為剛性結構，設置於沙質海床上主要面臨基礎沖刷之風險，因此，有關之維護管理工法列述如下：

1. 基礎海床沖刷

(1)輕微沖刷(沖刷坑深度約<50cm)

A.維護工法：「拋石護基工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基。

B.施工項目：

水深地形勘測、卵塊石拋放。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章。

(2)大量沖刷(沖刷坑深度約 50~100cm)

A.維護工法：

a.「斷面修復工法」：先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再分析波潮流現況後，以恢復原斷面為原則，進行沖刷防護措施。

b.「濾層重置工法」：為防止海沙之吸出，必須設置濾層，若

原設計之濾層已喪失功能(包括濾布老化破損、施工不確實或原設計未考量)，則必須加以重置，其補強方式應考量現場之海象條件，以高雄地區之海流狀況而言，流速並不強，故應選擇海象良好之季節(波浪小)進行濾布之重鋪。

B.施工項目：

- a.「斷面修復工法」：水深地形勘測、襯墊鋪設、堤心石拋放、護基方塊及消波塊新製、護基方塊及消波塊吊拋。
- b.「濾層重置工法」：可採用地工砂袋入填礫石拋放於堤腳區域，礫石之粒徑必須符合海沙不致透過之濾層設計標準，地工砂袋可採用 1~2 方之大小，以海拋船拖放，厚度至少 2 層，而砂袋上方再設置足夠重量之護面混凝土塊(為減少工程費，現地堤腳之消波塊或較大之塊石必須先行吊移後再利用)，圓型沉箱間隙，亦採用地工織物袋內填水中混凝土，並於尚未凝固前放設之沉箱間隙。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章。

(3)嚴重沖刷(沖刷坑深度約>100cm)

A.維護工法：「基礎加寬補強工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再分析波潮流現況及消波塊安定性，以加寬補強基礎承載為原則，進行沖刷防護措施。

B.施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、堤心石加寬拋放、護基方塊及消波塊新製、護基方塊及消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

6.2 板樁式碼頭

板樁式碼頭的破壞主要受地震力、船舶外力、材料劣化及其他外力作用。而其主要破壞模式為地震力作用引起板樁開裂、拉桿破壞、或錨碇設施失去作用；材料劣化致使板樁開裂、拉桿應力降伏，或是錨碇設施斷裂；此外，操船不當而導致船舶撞擊碼頭，亦會造成板樁開裂、漏砂。前述之破壞模式皆會導致碼頭向海側傾斜或位移，最後使得岸肩產生下陷及傾斜。

板樁式碼頭的基樁，有混凝土板樁與鋼板樁兩類。混凝土板樁多用於早期之淺水漁港，因使用年限，遇強烈地震破壞時一般多拆除另以他型建造。鋼板樁碼頭可用於較深水域，單層時其後側採強力之個體基樁與拉索（或拉桿），雙層時以拉桿接合、中填砂石、頂層 R.C 碼頭面，多於砂土海床打設，亦具柔性，於地震時少災損，若災損嚴重則龜裂、變形與漏砂，須拆除重建。若為一般災損之局部龜裂，可以水中電焊補救，其漏砂重填，嚴重時多以灌漿處理。

依據檢測項目及劣化程度，將可能之維護管理工法依結構位置分為岸壁結構、岸肩及碼頭基礎三部份，如表 6-2 所示，並分項探討如次：

表 6-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
岸壁結構	板樁接縫開裂	有輕微開裂（長度約達 30cm 以下） 有明顯開裂（長度約達 30~50cm） 明顯嚴重開裂（長度約達 50cm 以上）	新增鋼板焊補法 新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法 新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法+陸側減壓工法、鋼板樁一體化工法
	板樁腐蝕、穿孔	板樁局部區域有生鏽呈點狀膨脹。表層塗料的剝落龜裂呈點狀。（缺陷面積率約 0.1%以下） 相當大的生鏽成呈點狀膨脹（缺陷面積率約 0.1%以上 0.3%以下）、有局部小型穿孔現象 被認為有大範圍的生鏽與膨脹（缺陷面積率約 0.3%以上）、鋼板樁表面穿孔擴大且有漏砂現象	水中硬化環氧樹脂塗附法 新增鋼板焊補法+鋁合金陽極塊防蝕法 前端新設結構工法
	冠牆腐蝕、裂縫、剝落	局部可見到 2、3 個部位有裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、剝落、鏽水 可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、混凝土鬆動、剝落多（在 1 小區域面積的 4 成以下）、局部可見較多鏽水、鋼筋露出但未見腐蝕 混凝土裂縫擴散到整個冠牆、混凝土多處鬆動、剝落嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）、鋼筋已露出且已腐蝕、可見鏽水顯著	裂縫注射工法 填充工法 斷面修復工法
	法線變位	法線輕微變位（目視變位約 0.2 以下） 法線明顯變位（碼頭水深未達-7.5m 目視約 0.2~0.3m，碼頭水深-7.5m 以上目視約 0.2~0.5m） 法線嚴重變位（碼頭水深未達-7.5m 目視約 0.3m 以上，碼頭水深-7.5m 以上目視約 0.5m 以上）	- 陸側減壓工法、降低板樁應力法、液化防制工法 前端新設結構工法、減壓版工法
	板樁傾斜	輕微傾斜（ $1\% < \text{傾斜度} \leq 3\%$ ） 明顯傾斜（ $3\% < \text{傾斜度} \leq 5\%$ ） 嚴重傾斜（傾斜度 $> 5\%$ ）	- 陸側減壓工法、降低板樁應力法、液化防制工法 前端新設結構工法、減壓版工法

表 6-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表（續）

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
岸肩	岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷	鋪面產生輕微龜裂 岸肩輕微下陷、鋪面產生明顯龜裂 岸肩明顯下陷、鋪面產生嚴重龜裂	混凝土面層修補法、瀝青面層修復法 回填料填補壓實法 回填料填補壓實法
碼頭基礎	基礎淘刷	基礎輕微淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 30~50cm） 基礎明顯淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 50~100cm） 基礎嚴重淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 100cm 以上）	拋石護基工法、濾層工法 拋放麻袋混凝土法 新增護基方塊法

（資料來源：交通部高雄港務局）

6.2.1 岸壁結構維護管理工法及施作項目

6.2.1.1 板樁接縫開裂

板樁接縫開裂原因主要為外力(船舶撞擊、地震、常時間超載使用等)所造成，開裂後一般皆採用鋼板補強修復，板樁陸側後線背填土需視情況予以減壓措施。現依開裂受損之三種程度說明處理方式。

1. 輕微開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法」

一般處理方法為裂縫周圍鋼板表面處理後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置，並於補焊鋼板表面塗裝水中硬化環氧樹脂。

(2)施工項目：

潛水俠清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』（詳附錄二）。

2. 明顯開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法」

先於開裂處之陸側進行開挖，預防開挖過程中產生土石崩塌危及人員及碼頭設施，於開挖工作進行前陸側需先行打設擋土板樁，開挖工作進行中避免損及高耐索(或拉桿)及碼頭其他相關設施或臨時支撐。海側於裂縫周圍鋼板表面處理後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置，並於補焊鋼板表面塗裝水中硬化環氧樹脂。陸側方亦可視需求加封一層鋼板，並於開裂處之陸側搭模打設水中混凝土。待混凝土完成養護後以原來開挖起之級配料運回進行填補壓實，最後進行基底層及碼頭面層鋪設。

(2)施工項目：

擋土板樁打設、開挖土石方、潛水俠清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂、水中混凝土打設、級配填補壓實、碼頭面層鋪設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02463 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章、第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』（詳附錄二）。

3. 明顯嚴重開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法+陸側減壓工法」

處理方法大致同「陸側水中混凝土填補法」，並於施工中在

陸側打設減壓設施，相關陸側減壓工法可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例 (如圖 6.1 所示)。

(2)施工項目：

擋土板樁打設、開挖土石方、潛水俠清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂、減壓設施施作、水中混凝土打設、級配填補壓實、碼頭面層鋪設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02463 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章、第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

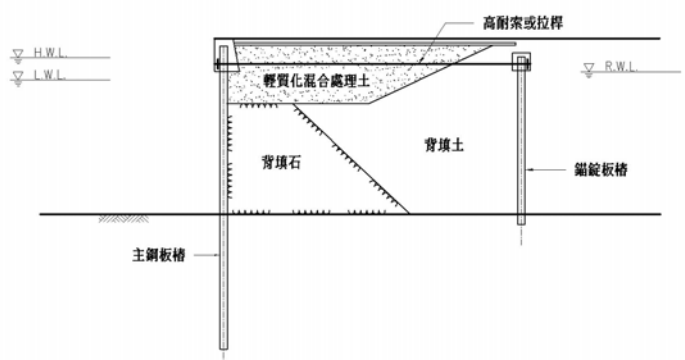
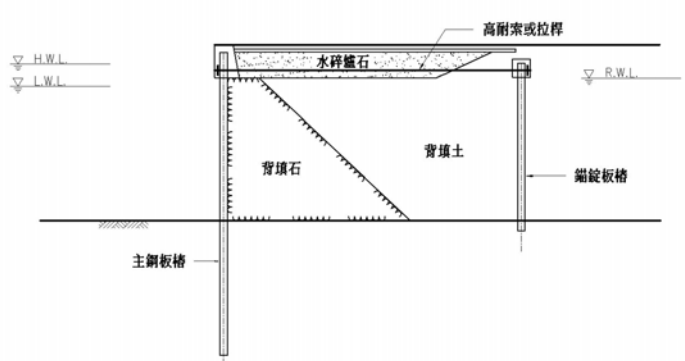
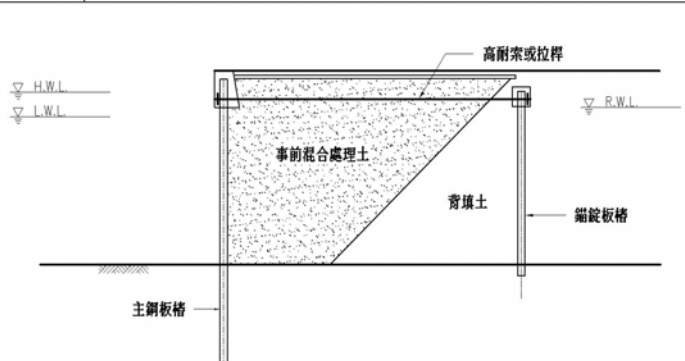
Y A 2	背填料減輕置換工法
工法概要	移除回填石料,改以輕質化混合處理土回填,降低土壓
	
Y A 3	水碎礮石置換工法
工法概要	背填石料部分以水碎礮石替代,降低土壓
	
Y A 4	事前混合處理土置換工法
工法概要	背填石料部分以事前混合處理土置換,降低土壓
	

圖 6.1 陸側減壓工法

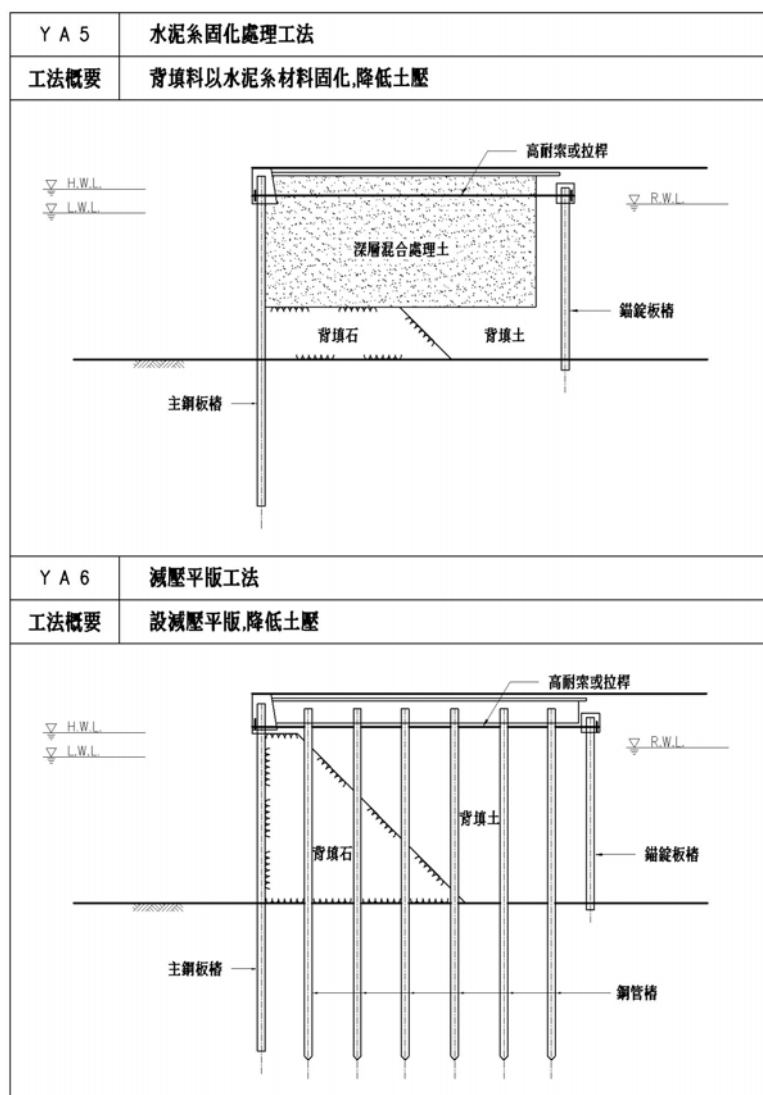


圖 6.2 陸側減壓工法(續)

6.2.1.2 板樁腐蝕、穿孔

1. 小型的生鏽呈點狀膨脹、表層塗料的剝落龜裂呈點狀

(1)維護工法：「水中硬化環氧樹脂塗附法」

一般處理方法為刮除鏽點及海生物後，鏽蝕位置分層塗附水中硬化環氧樹脂，阻絕持續腐蝕因子。

(2)施工項目：

板樁表面處理、水中硬化環氧樹脂塗裝。

(3)相關規範：

水中硬化劑塗裝工程(詳附錄二)。

2. 局部區域生鏽呈點狀膨脹、有小型穿孔現象

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+鋁合金陽極塊防蝕法」

一般處理方法為刮除腐蝕區鏽點及海生物後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置(如圖 6.3 所示)，並於補焊鋼板表面分層塗裝水中硬化環氧樹脂，並增加鋁合金陽極塊增加防蝕效果。

(2)施工項目：

板樁表面處理、水下電銲焊補鋼板樁、水中硬化環氧樹脂塗裝、鋁合金陽極塊增設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02392 章、第 05091 章，以及一般鋼料銲接(詳附錄二)。

3. 大範圍的生鏽與膨脹、鋼板樁表面穿孔擴大且有漏砂現象

鋼板樁大範圍的生鏽破損且穿孔，穿孔造成之漏砂現象將造成後線岸肩下陷等情形(岸肩下陷修補將由另外章節探討)。此時，由於鋼板樁鏽蝕，整體碼頭結構可能已出現影響，應先停止碼頭作業，並辦理專案檢測，委外(或自辦)量測板樁已腐蝕之厚度，並委外進行碼頭補強或大幅度修補之設計，再發包施工。主結構體之修補可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例，可採前端新設結構工法(如圖 6.4 所示)。

(1)維護工法：「新設結構工法」、「減壓版工法」

因前端新設結構物工法將造成原法線前移。在每一個港灣設

施之情況不同下，可採用的方法不僅無統一之標準，且可選擇性非常多樣化，需視碼頭之情形而定。建議應請顧問公司或學者專家依最新規範及檢測結果評估該碼頭適用性及補強設計。如無法新設結構物，可採用減壓版工法，詳圖 6.6。減壓版工法係於胸牆後側適當深度設置一減壓混凝土版構造以降低版樁之主動土壓，可防止版樁繼續傾斜變位。

(2)施工項目：

需視採用之工法而定。減壓版工法需先開挖後再設置混凝土版構造物，必要時下方需打樁，施工時需留意不得損及高耐索，打設完成後再回填鋪面材料。

(3)相關規範：

需視採用之工法而定。

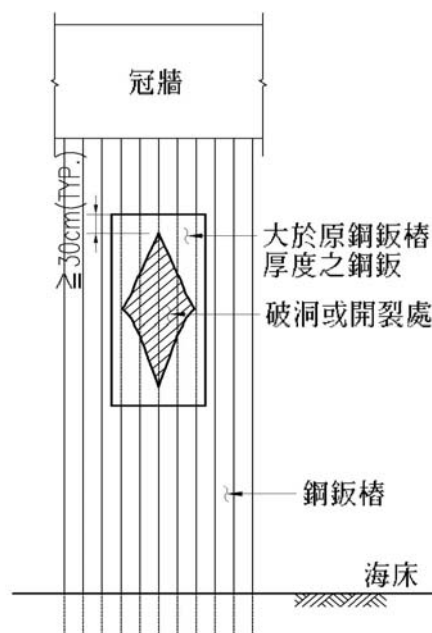


圖 6.3 新增鋼板焊補法示意圖

Y D 1	新設鋼板樁一體化工法
工法概要	原板樁前加設鋼板樁成一體化結構
Y E 1	新設棧橋碼頭工法
工法概要	新設棧橋碼頭及擋土版樁
Y E 2	新設棧橋碼頭工法(沒有擋土版樁)
工法概要	新設棧橋碼頭

圖 6.4 前端新設結構工法

Y E 3	雙重鋼板樁工法
工法概要	碼頭前設鋼板樁，並利用原鋼板樁錨碇
Y F 1	桁架(Jacket)式工法
工法概要	碼頭前方新設桁架(Jacket)式結構

圖 6.5 前端新設結構工法(續)

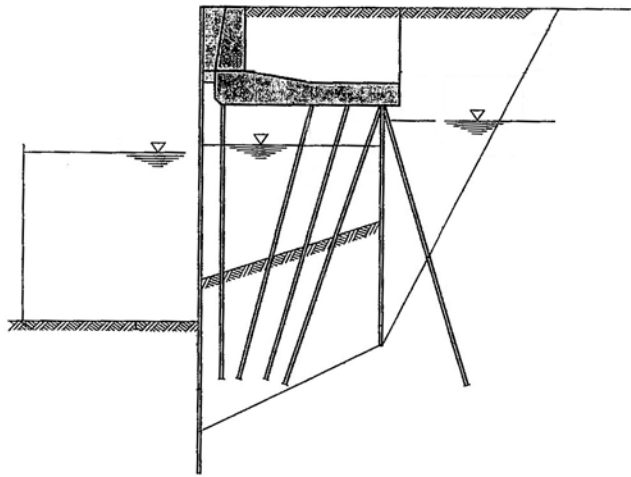


圖 6.6 減壓版工法

6.2.1.3 冠牆腐蝕、裂縫、剝落

1. 冠牆混凝土產生局部裂縫

(1)維護工法：「裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

(2)施工項目：

表面清洗、低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填縫、表面鏝整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

2. 冠牆混凝土產生局部開裂或鬆動

(1)維護工法：「填充工法」

將混凝土開裂或鬆動部分敲除，並以高壓空氣或水將混凝土表面確實清洗乾淨，塗敷接著劑，再以樹脂砂漿填補並抹平。

(2)施工項目：

混凝土鑿除、表面清洗、樹脂砂漿填補、表面鏟整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

3. 冠牆混凝土多處裂縫、鏽水及剝落較多

(1)維護工法：「斷面修復工法」

將損壞之混凝土構件需敲除後，並清洗舊有混凝土表面並組模，再依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件。

(2)施工項目：

混凝土鑿除、表面清洗、模版組立、鋼筋植入、混凝土澆置、表面鏟整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

6.2.1.4 法線變位

法線變位原因主要為外力(船舶撞擊、地震等)所造成，產生錨碇板移動、錨碇板樁鬆垮、板樁鬆垮、板樁龜裂等情形，才有碼頭法線變位發生。故於檢測發現法線變位情形，應先釐清原因。而倘按時進行檢測，則藉由其他檢測先行確定是否為板樁龜裂或板樁材料劣化影響，該二項之維護工法已於先前章節說明，在此不再贅述。因其餘均屬板樁、拉桿(高耐索)及錨碇板之系統問題，以下即針對此板樁系統說明維護處理方式。

1. 法線明顯變位：「陸側減壓工法」如 6.2.1.2 之說明；以下說明降低板樁應力法及地盤改良工法。

(1)維護工法：

A.降低板樁應力法」：依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例 (如圖 6.7 所示)，以新增地錨或拉桿(高耐索)及錨碇板之方式，降低原板樁系統承受之應力。

B.液化防制工法」：常用且可行之工法如下：擠壓砂樁工法、礫石樁工法、土壤置換工法、降低地下水位工法、動力夯實壓密工法、深層振動工法、淺層振動工法、震爆工法、深層攪拌工法、特殊石灰樁工法、事前混合處理工法…等，惟須考量板樁碼頭之特性。以下以事前混合處理工法為例，該工法係將水泥系之改良材料加入回填用之砂土中，先行拌合後再予以回填。此一做法乃利用沒有液化顧慮之人工材料進行回填之工法，故施工後不須再採取其他之液化防治對策。

(2)施工項目：

A.「降低板樁應力法」：需視採用之工法而定。

B.「液化防制工法」：土石方開挖、改良材拌合、背填料回填壓實、碼頭面層鋪設。

(3)相關規範：

A.需視採用之工法而定。

Y C 1	二段拉桿工法
工法概要	新設拉桿以降低鋼板樁斷面應力
Y C 2	地錨工法
工法概要	新設地錨(水中設置)以降低鋼板樁斷面應力

圖 6.7 降低板樁應力法

B.公共工程施工綱要規範第 02240 章、第 02316 章、第 02317 章、第 02341 章、第 02357 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章。「液化防制工法」：土石方開挖、改良材拌合、背填料回填壓實、碼頭面層鋪設。

2. 法線嚴重變位：「前端新設結構工法」如 6.2.1.2 之說明。

3. 板樁傾斜：板樁傾斜與法線變位大抵相同，法線變位因其為水上檢測項目，可以簡便得知板樁上方之傾斜情形。

6.2.2 岸肩維護管理工法及施作項目

6.2.2.1 岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷

造成岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷原因除板樁龜裂造成回填料流失、碼頭上方外力(颱風波浪、上部長時間超載使用)造成鋪面龜裂之外，即屬回填料因自然沉陷壓密及地震造成下陷之情形。板樁龜裂已於先前章節說明，在此不再贅述。因上方外力造成鋪面龜裂，因無岸肩下陷之發生，可採混凝土面層修補法即可。而回填土之壓密沉陷(自然或地震)提出維護說明。

1. 鋪面輕微開裂

(1)維護工法：

- A. 「瀝青面層修補法」：先以刨除機械刨除滑動、不正常鬆裂面層部份，刨路機若無法施工時可應改用人工清除，刨除後用壓力瀝青撒佈機或手壓瀝青撒佈器，將瀝青透層或黏層材料，均勻澆置於刨除後之路面上，再以鋪裝機鋪設地瀝青混合料，最後以壓路機進行滾壓。瀝青混凝土宜分層鋪築與滾壓。滾壓時，應使整段路面得到均勻之壓實度。
- B. 「混凝土面層修補法」：原混凝土面層受損面層部份以油壓式破碎機或人工破除，破除時應儘量不損壞原設計鋼筋，破除後破除面應清潔乾淨。接著補放鋼筋於鋪面受損區域後，澆置原設計強度以上之混凝土。最後需將澆置之混凝土表面與周圍混凝土抹平。

(2)施工項目：

- A. 「瀝青面層修補法」：受損瀝青面層刨除、瀝青透層或黏層材料澆置、瀝青混凝土分層鋪築與滾壓。

B.「混凝土面層修補法」：受損混凝土破除、破除面清潔、鋼筋排放、混凝土面層鋪設、表面鏟整。

(3)相關規範：

A.公共工程施工綱要規範第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章。

B.公共工程施工綱要規範第 03210 章、第 03310 章、第 03350 章、第 03390 章。

2. 岸肩輕微下陷、鋪面明顯開裂

(1)維護工法：「回填料填補壓實法」

挖除原鋪面及基底層，並壓實下層回填砂後，重新鋪基底層及鋪面。

(2)施工項目：

下陷區域混凝土挖除、回填料填補壓實、基底層鋪設、混凝土面層鋪設、表面鏟整。

(3)相關規範：

A.瀝青面層相關規範為公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章。

B.混凝土面層則為公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02722 章、第 02726 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03350 章、第 03390 章。

3. 岸肩明顯下陷、鋪面嚴重開裂：倘無伴隨其他板樁龜裂、傾斜之情形，仍以「回填料填補壓實法」維護。

6.2.3 碼頭基礎維護管理工法及施作項目

6.2.3.1 基礎掏刷

1. 輕微沖刷(沖刷坑深度約<50cm)

(1)維護工法：「拋石護基工法」

A.「拋石護基工法」：先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基，如圖 6.8 所示。

B.「濾層工法」：為防止海沙之吸出，必須設置濾層，以地工砂袋裝填礫石後，再拋放以護基。礫石之粒徑必須符合海沙不致透過之濾層設計標準，地工砂袋可採用 1~2 方之大小。

(2)施工項目：

A.「拋石護基工法」：水深地形勘測、卵塊石拋放。

B.「濾層工法」：水深地形勘測、地工砂袋填充礫石、地工砂袋拋放。

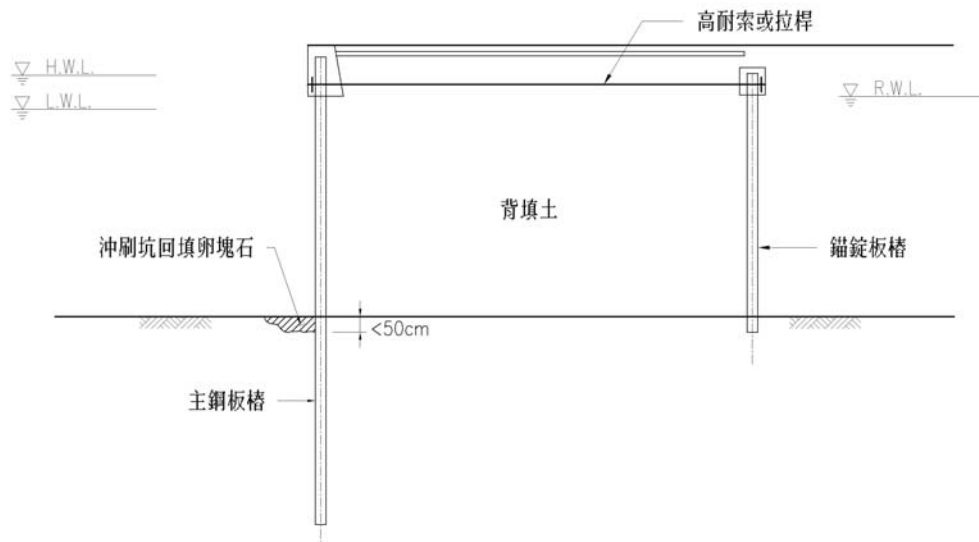


圖 6.8 拋石護基工法示意圖

(3)相關規範：

A.「拋石護基工法」：公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

B.「濾層工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章。

2. 大量沖刷(沖刷坑深度約 50~100cm)

(1)維護工法：「拋放麻袋混凝土法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行麻袋混凝土拋放之沖刷防護措施，如圖 6.9 所示。

(2)施工項目：

水深地形勘測、麻袋混凝土拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 嚴重沖刷(沖刷坑深度約>100cm)：

(1)維護工法：「新增護基方塊法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行新增護基方塊之沖刷防護措施，如圖 6.10 所示。

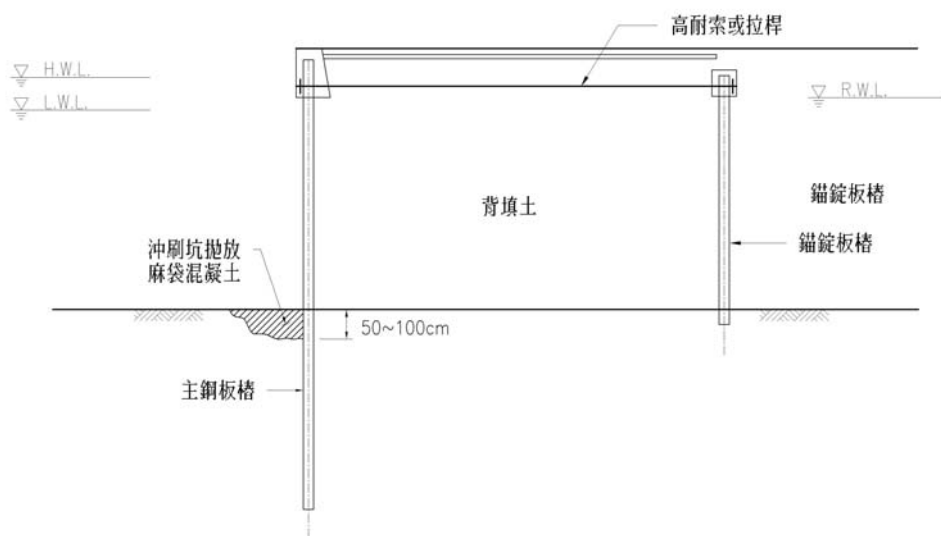


圖 6.9 拋放麻袋混凝土法示意圖

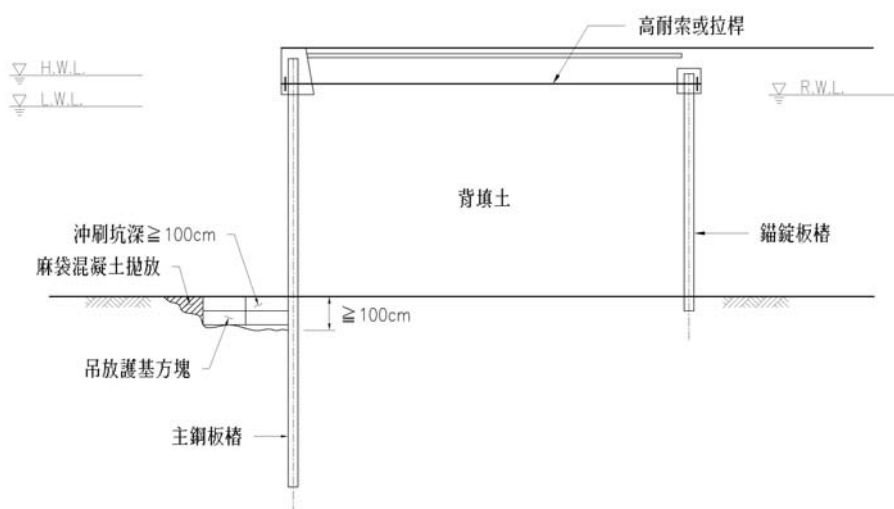


圖 6.10 新增護基方塊法示意圖

(2)施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、卵塊石拋放、護基方塊新製、護基方塊吊拋。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章。

6.3 棧橋式碼頭

棧橋式碼頭的破壞主要是受到地震力、船舶外力或其他外力之作用。其破壞模式主要為：地震太強烈使結構本身無法抵抗施加於其上之慣性力及其他土、水壓力之作用，造成基樁及碼頭面板破壞，或因背填土液化使得擋土設施向海側移動，導致基樁彎矩過大，形成塑性鉸，亦可能因地基含有較軟土層，在地震中發生位移導致基樁破壞。此外，地震發生後所產生之土壤液化，或船舶推進器對基礎土壤長期的淘刷，引致背填土向海側流失，將間接造成結構體的彎曲、斷裂、傾斜及下陷。

依據檢測項目及劣化程度，將可能之維護管理工法依檢測項目分為基礎掏刷、護坡破壞、法線變位三部份，如表 6-3 所示，並分項探討如次：

表 6-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
上部結構	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	表面處理工法 FRP 接合工法、脫鹽工法 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、混凝土剝落 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在 1 小區域面積的 4 成以下） 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）	裂縫注射工法 FRP 接合工法、電氣防蝕工法 斷面修復工法、預力工法
基礎、護坡	基礎淘刷	基礎輕微淘刷（沖刷坑深度約 50cm 以下） 基礎明顯淘刷（沖刷坑深度約 50~100cm） 基礎嚴重淘刷（沖刷坑深度約 100cm 以上）	拋石護基工法 拋放麻袋混凝土法 新增護基方塊法
	護坡破壞	護坡塊石輕微受損（破壞率約 5% 以下） 護坡塊石明顯受損（破壞率約 5%~20%） 護坡塊石嚴重受損（破壞率約 20% 以上）	加拋改善法 塊石加重法 加重加厚法
	法線變位	法線明顯變位（目視約 0.2~0.3m） 法線嚴重變位（目視約 0.3m 以上）	陸側減壓工法+增打基樁法、液化防制工法+增打基樁法 前端新設結構工法+陸側減壓工法
	防蝕包覆破損、脫落	防蝕包覆破損 防蝕包覆脫落	防蝕包覆修補法 防蝕包覆重鋪法
	基樁腐蝕及變形	基樁局部區域有鏽蝕集中 帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔現象 連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁可目視出非原設計之嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象	水中硬化環氧樹脂塗附法 鉚釘打設工法、鈦合金被覆工法 基樁斷面增強工法及增打基樁工法
	PC 或 RC 樁基樁破損及變形		

（資料來源：交通部高雄港務局）

表 6-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
基礎、護坡	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	表面處理工法 FRP 接合工法、脫鹽工法 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、混凝土剝落 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在 1 小區域面積的 4 成以下） 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）	裂縫注射工法 FRP 接合工法、電氣防蝕工法 斷面修復工法、預力工法

6.3.1 上部結構維護管理工法及施作項目

6.3.1.1 碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂

(1)維護工法：「表面處理工法」

塗刷砂漿、塗料或類似環氧樹脂等化學藥品於龜裂表層以塗封龜裂，以防止進一步之惡化而導致缺陷產生。

(2)施工項目：

環氧樹脂塗敷。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 09961 章。

2. 混凝土數個部位有龜裂、鋼筋露出未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷

(1)維護工法：

- A. 「FRP 接合法」：混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材(如圖 6.11 所示)。

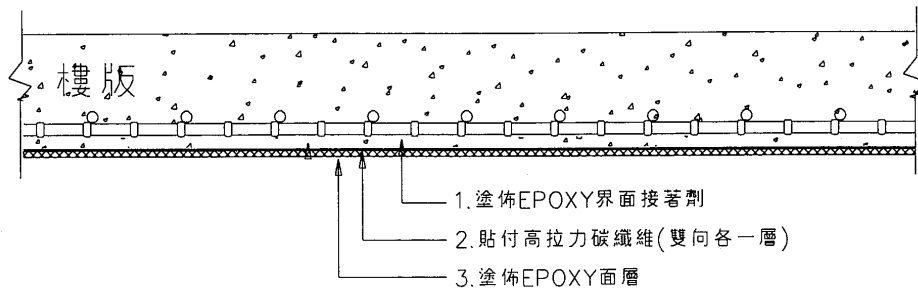


圖 6.11 「FRP 接合法」示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B. 「脫鹽工法」：係於混凝土外設置外部電極，使其與電源正極連接。混凝土內鋼筋則與電源負極連接，其間通入較大電流，密度約為 $1\text{A}/\text{m}^2$ ，通電期間約 1~2 個月，藉電化學將混凝土中之氯離子移出混凝土外而達到保護鋼筋之目的，其裝置示如圖 6.12。

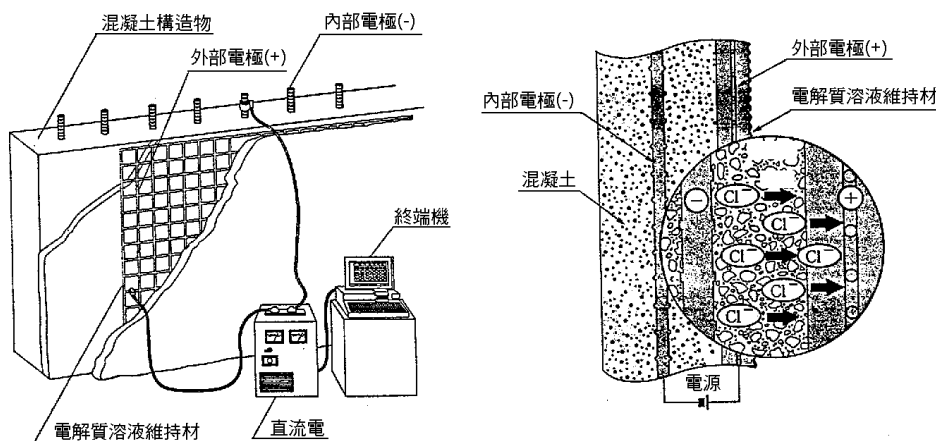


圖 6.12 「脫鹽工法」示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

(2)施工項目：

A.「FRP 接合法」：表面清洗、塗敷接著劑、纖維強化複合材料黏貼、塗敷面層。

B.「脫鹽工法」：連接電源、通電。

(3)相關規範：

A.「FRP 接合法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。

B.「脫鹽工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3. 混凝土裂縫擴散到整個面板、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重

(1)維護工法：

A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：去除鋼筋周圍鬆託之混凝土，並對鋼筋除鏽，以及噴塗防蝕性材料或採用防蝕工法處理後，再以樹脂砂漿填補並抹平(如圖 6.13 所示)。

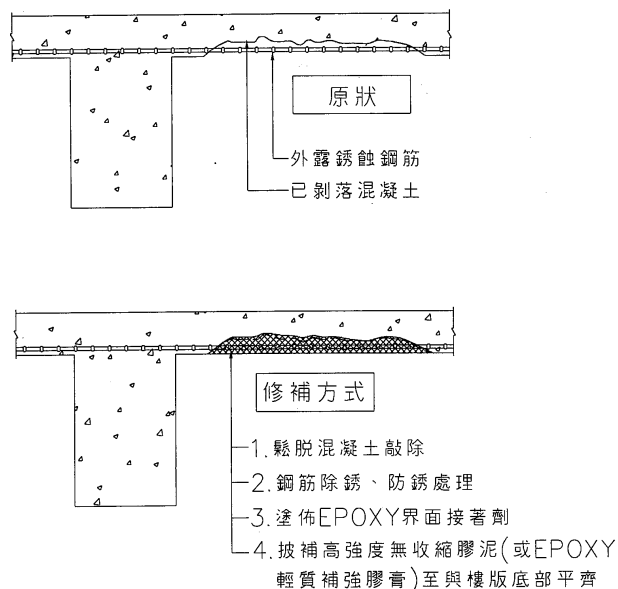


圖 6.13 「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B.「打設工法」：係將舊有構材之一部份或全部予以鑿除，再重新打設新鋼筋混凝土。為確保構造物之承載力，必要時得採用預鑄方式。

(2)施工項目：

- A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：混凝土鑿除、鋼筋除鏽、鋼筋防蝕、樹脂砂漿填補、表面鏟整。

- B.「打設工法」：混凝土鑿除、打設新鋼筋混凝土。

(3)相關規範：

- A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03210 章、第 03050 章及第 03350 章。

- B.「打設工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03210 章、第 03050 章及第 03350 章、或第 03439 章。

6.3.1.2 格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫、混凝土剝落

(1)維護工法：「裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏟修整補。

(2)施工項目：

表面清洗、低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填縫、表面鏟整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03601 章及第 03350 章。

2. 混凝土數個部位有裂縫、鋼筋露出未腐蝕、混凝土鬆動剝落

(1)維護工法：

- A. 「FRP 接合工法」：混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材。
- B. 「電氣防蝕工法」：係於混凝土表面設置陽極材，利用防蝕電流供給鋼筋，使其成為陰極材，而達到鋼筋腐蝕反應停止之工法。本工法計有外加電源法及犧牲陽極法二種方式，其電源正極連接陽極材，負極則與鋼筋連接。

(2)施工項目：

- A. 「FRP 接合工法」：表面清洗、塗敷接著劑、纖維強化複合材料黏貼、塗敷面層。
- B. 「電氣防蝕工法」：陽極材設置。

(3)相關規範：

- A. 「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。
- B. 「電氣防蝕工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3. 混凝土裂縫擴散整個隔樑、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離

(1)維護工法：

- A. 「斷面修復工法」：將損壞之混凝土構件需敲除後，並清洗舊有混凝土表面並組模，再依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件，置入骨材，再注入低粘滯性之樹脂(如圖 6.14 所示)。

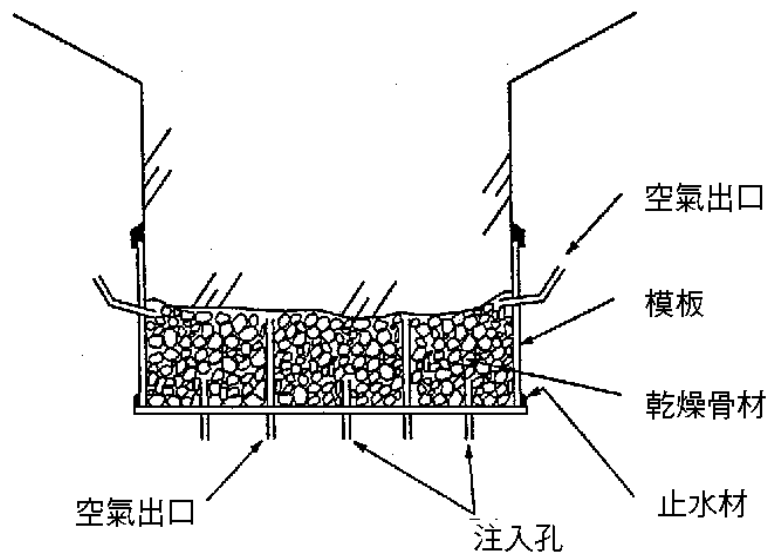


圖 6.14 隔樑斷面修復工法示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

- B.「預力工法」：將原有混凝土鑿除後改以預力方式重新打設混凝土，或於混凝土斷面外側配置 PC 鋼材以預力方式補強。

(2)施工項目：

- A.「斷面修復工法」：混凝土鑿除、表面清洗、模版組立、鋼筋植入、骨材安置、環氧樹脂注入。
- B.「預力工法」：原有混凝土鑿除、混凝土斷面外側配置 PC 鋼材。

(3)相關規範：

- A.「斷面修復工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章、第 03210 章及第 09622 章。
- B.「預力工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章及第 03380 章。

6.3.2 基礎、護坡維護管理工法及施作項目

6.3.2.1 基礎掏刷

1. 基礎輕微淘刷

(1)維護工法：「拋石護基工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基。

(2)施工項目：

水深地形勘測、卵塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

2. 基礎明顯淘刷

(1)維護工法：「拋放麻袋混凝土法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行麻袋混凝土拋放之沖刷防護措施。

(2)施工項目：

水深地形勘測、麻袋混凝土拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 基礎嚴重沖刷

(1)維護工法：「新增護基方塊法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行新增護基方塊之沖刷防護措施。

(2)施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、卵塊石拋放、護基方塊新製、護基方塊吊拋。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章。

6.3.2.2 護坡破壞

1. 護坡塊石輕微受損

(1)維護工法：「加拋改善工法」

先以水下攝影確認移動或滾落區位與規模，再進行塊石加拋改善作業，以恢復原狀。

(2)施工項目：

水深地形勘測、塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

2. 護坡塊石明顯受損

(1)維護工法：「塊石加重法」

先分析護坡塊石安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，以加重之塊石進行補強作業。

(2)施工項目：

水深地形勘測、加重塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 護坡塊石嚴重受損

(1)維護工法：「加重加厚補強法」

先分析護坡塊石安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，以加重之塊石採增加拋放層數之方式，進行補強作業。

(2)施工項目：

水深地形勘測、加重塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

6.3.2.3 法線變位

法線變位雖顯現於上部結構之位移，但主要卻是來自後方擋土設施或基樁之位移。故以下針對此二構件檢討維護措施。

1. 法線明顯變位：擋土設施後方之岸肩可採用「陸側減壓工法」、「液化防制工法」，該二工法如 6.2.1 小節之介紹。以下介紹「增打基樁法」。

(1)維護工法：「增打基樁工法」

以增打基樁方式為例，其施作項目包括上部結構局部敲除、基樁打設、基礎拋石護坡整平、上部結構施作等。詳如圖 6.15 所示。

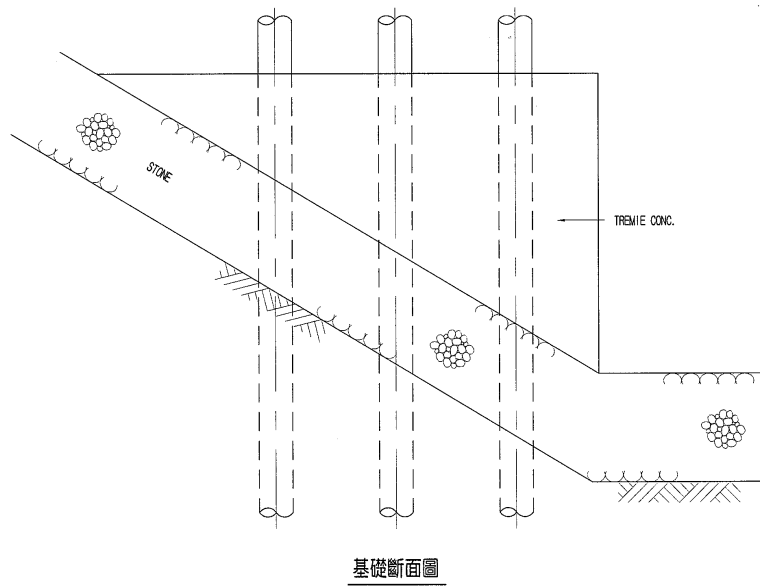
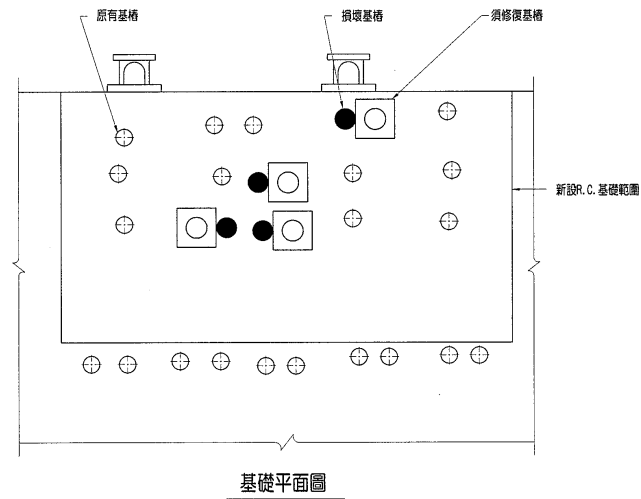


圖 6.15 增打基樁工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

(2)施工項目：

上部結構局部敲除、基樁打設、基礎拋石護坡整平、上部結構施作。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章及第 02392 章。

2. 法線嚴重變位：「前端新設結構工法+陸側減壓工法」，其中「陸側減

壓工法」如 4.1.1 小節之介紹。至於「前端新設結構工法」說明如下：

(1)維護工法：「前端新設結構工法」

因前端新設結構物工法將造成原法線前移。在每一個港灣設施之情況不同下，可採用的方法不僅無統一之標準，且可選擇性非常多樣化，需視碼頭之情形而定。建議應請顧問公司或學者專家依最新規範及檢測結果評估該碼頭適用性及補強設計。主結構體之修補可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例，可採前端新設結構工法(如圖 6.16 所示)。

(2)施工項目：

需視採用之工法而定。

(3)相關規範：

需視採用之工法而定。

6.3.2.4 防蝕包覆破損、脫落：

1. 防蝕包覆破損

(1)維護工法：「防蝕包覆修補法」

鋼管樁平滑處先固定剪力釘，其餘部位以重防蝕材被覆，以弧形鋼板壓住防蝕材並以螺栓固定於剪力釘上，弧形內空間注入漿材形成保護層，其補修斷面圖如圖 6.20 所示。

(2)施工項目：

剪力釘焊接、固定弧形鋼板、貫注漿材。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 05091 章、第 05123 章及一般鋼料銲接(詳附錄二)。

2. 防蝕包覆脫落

(1)維護工法：「防蝕包覆重鋪法」

重新施作包裹防蝕施工，並加強固定方式。

(2)施工項目：

表面清理、安設固定箍並確時鎖緊、包覆防蝕帶(應確保能緊貼鋼管表面)、保護套(FRP)組合及安裝等。

(3)相關規範：

鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

SA1	棧橋後方增設基樁工法
工法概要	棧橋後方增加打設基樁，並使上部結構一體化
SA2	棧橋中間增設基樁工法
工法概要	棧橋中間增加打設基樁，上部結構重新施作
SB1	基樁支撐(brace)工法
工法概要	原基樁加設支撐(brace)，增加抗力

圖 6.16 前端新設結構工法(資料來源：交通部高雄港務局)

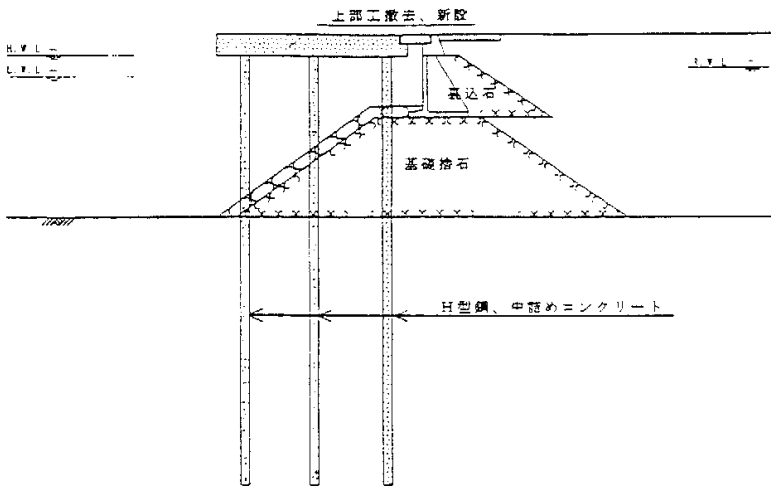
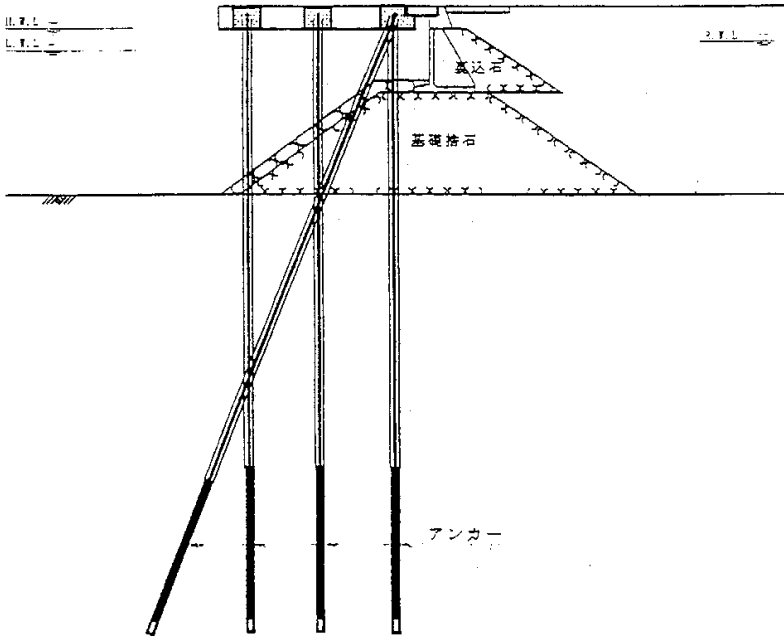
SB 2	基樁斷面加強工法
工法概要	原有基樁以混凝土或雙重套管基樁方式加強，上部結構重新施作
	
SB 3	加設地錨工法
工法概要	在基樁中間加設地錨，增加抗力
	

圖 6.17 前端新設結構工法(續一)

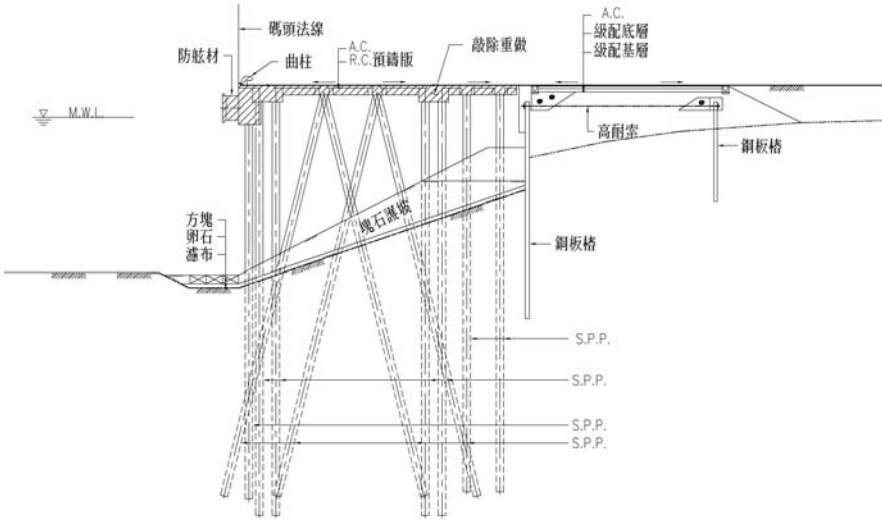
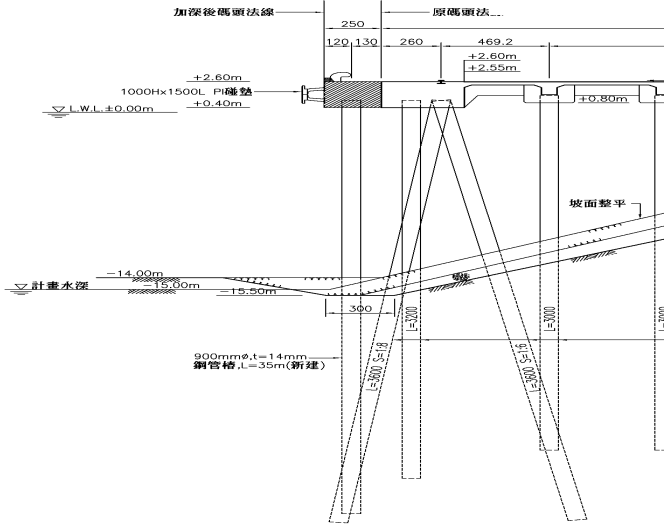
SC1	拆除重設工法
工法概要	上部結構拆除重作(原基樁抗力足夠為前提)
	
SD1	前方加設基樁工法
工法概要	原碼頭前方加設基樁上部結構一體化處理
	

圖 6.18 前端新設結構工法(續二)

(資料來源：交通部高雄港務局)

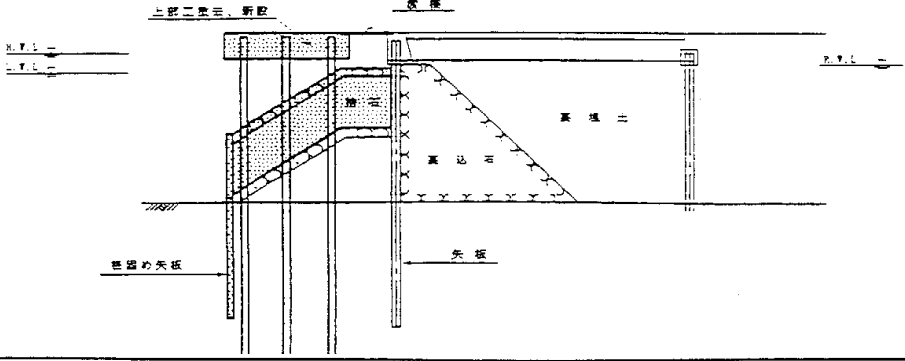
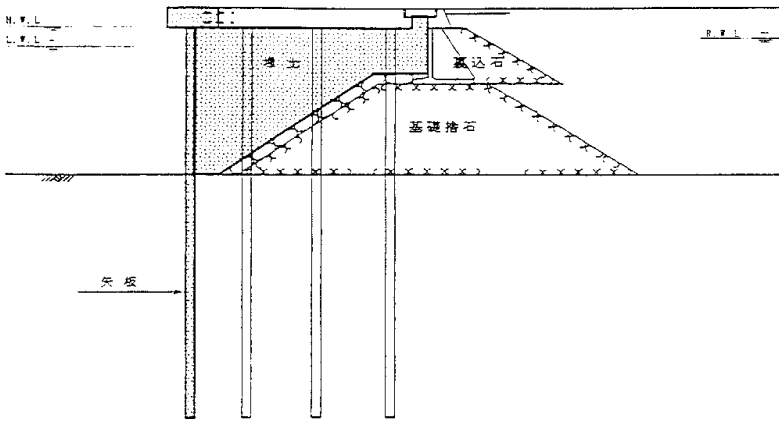
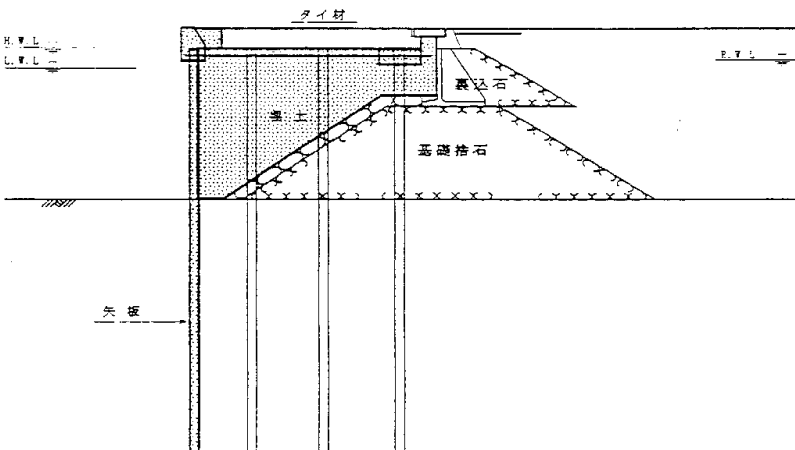
SE1	前方設鋼板樁擋土工法
工法概要	前方設鋼板樁擋土，上部結構重作降低基樁應力
	
SF1	棚式構造物改良工法
工法概要	前方新設鋼板樁上部結構一體化，降低基樁應力
	
SF2	新設鋼板樁工法
工法概要	前方新設鋼板樁，以原棧橋結構為錨碇設施
	

圖 6.19 前端新設結構工法(續三)

(資料來源：交通部高雄港務局)

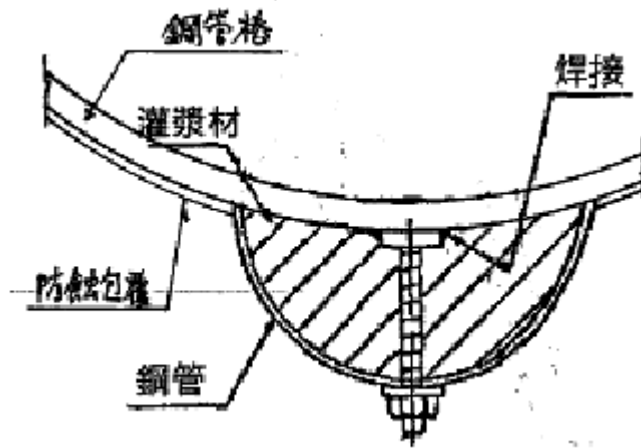


圖 6.20 防蝕包覆修補法

(資料來源：交通部高雄港務局)

6.3.2.5 基樁腐蝕及變形

1. 基樁局部區域有鏽蝕集中

(1)維護工法：「水中硬化環氧樹脂塗附法」

一般處理方法為刮除鏽點後，鏽蝕位置塗附水中硬化環氧樹脂，阻絕持續腐蝕因子。

(2)施工項目：

潛水俠清除板樁鏽點及海生物、分層塗裝水中硬化環氧樹脂。

(3)相關規範：

水中硬化劑塗裝工程(詳附錄二)。

2. 帶狀鏽蝕、局部穿孔。

(1)維護工法：

A.「鉚釘打設工法」：帶狀區域的鏽蝕部位噴砂處理完全後，先以防蝕帶覆蓋，其上再以 PE/PU 材被覆，並於兩邊用剛性高

之U型 FRP 壓條密貼，其上以攻牙鉚釘鑽入鋼管樁固定，鉚頭外部以黏土及保護套保護之，如圖 6.21 所示。

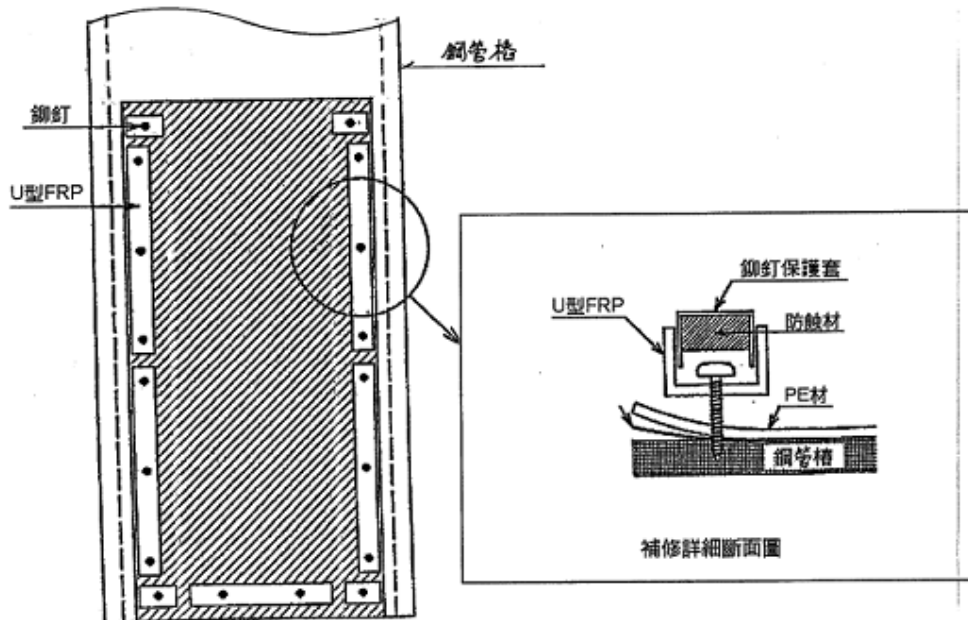


圖 6.21 鉚釘打設工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B. 「鈦合金被覆工法」：係於鋼管樁樁身先固定高鎳合金鋼剪力釘，其餘部份以中性石油系防蝕帶貼付，其外再以鈦合金薄鋼板被覆，為防不同金屬間之接觸腐蝕，所有接合處以厚膜型環氧樹脂塗佈，以達防蝕補強之效果。

(2)施工項目：

- A. 「鉚釘打設工法」：表面噴砂處理、防蝕帶覆蓋、PE/PU 材被覆，U型 FRP 壓條以鉚釘固定。
- B. 「鈦合金被覆工法」：高鎳合金鋼剪力釘、防蝕帶貼付、鈦合金薄鋼板被覆、厚膜型環氧樹脂塗佈。

(3)相關規範：

鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

3. 連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象。

鋼管樁大範圍的生鏽破損且穿孔，由於鋼管樁鏽蝕，整體碼頭結構可能已出現影響，港務局應先停止碼頭作業，辦理專案檢測，並委外進行碼頭補強或大幅度修補之設計，再發包施工。依實際鏽蝕程度可選基樁斷面增強方式、增打基樁方式。

(1)維護工法：「基樁斷面增強工法」

損傷部份周圍先以防蝕材貼附，外側再以半圓形鋼板或 FRP 包覆，於主樁與外套管間空隙填灌混凝土或砂漿，鋼構造外套管並用防蝕材塗佈，其斷面圖如圖 6.22 所示。

(2)施工項目：

防蝕材貼附、外套管包覆、水泥砂漿填灌，防蝕處理。

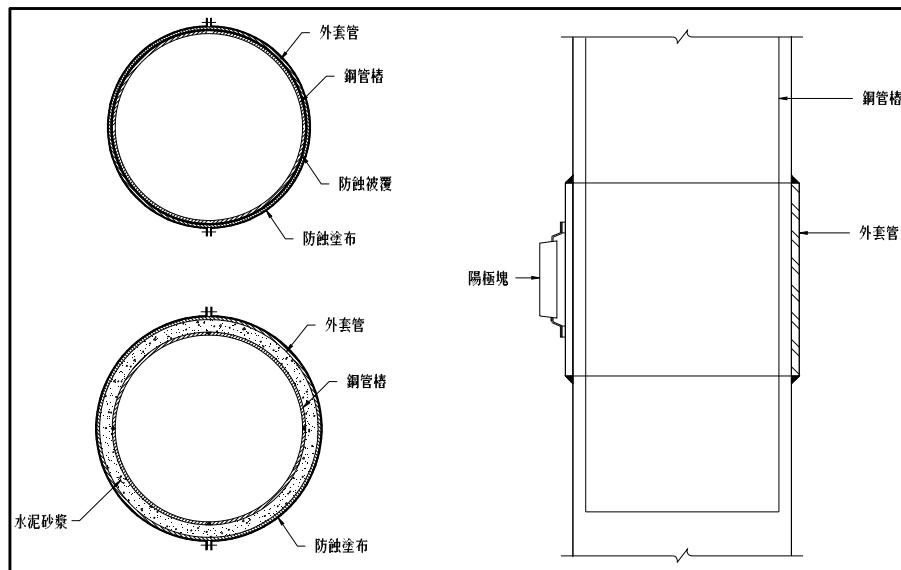


圖 6.22 基樁斷面增強工法

（資料來源：交通部高雄港務局）

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02392 章、第 03050 章、第 05091 章、第 05123 章、第 09971 章及鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

6.3.2.6 PC 或 RC 樁之混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫、混凝土剝落

(1)維護工法：「水壓式裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水或水刀刷洗乾淨後，再注入排水性止漏劑或超微水泥漿填塞裂縫。

(2)施工項目：

表面清洗、排水性止漏劑或超微水泥漿填縫等。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03601 章及第 03350 章。

2. 混凝土數個部位有裂縫、鋼筋露出未腐蝕、混凝土鬆動剝落

(1)維護工法：

A. 「FRP 接合工法」：混凝土樁體的外部接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材。

B. 「電氣附著工法」：係於海水中投入陽極材，並使其與電源正極相連，而混凝土中之鋼筋則與電源負極連接，使成一迴路，藉直流電之微弱電流通電數月，則海水中溶存之鈣離子或鎂離子往混凝土表面移動，並於混凝土表面或裂縫處析出碳酸鈣或氫氧化鎂生成物並附著其上，形成保護膜阻絕腐蝕因子進入混凝土內部，達到保護之功效。本工法裝置示意如下圖(圖 6.23)。

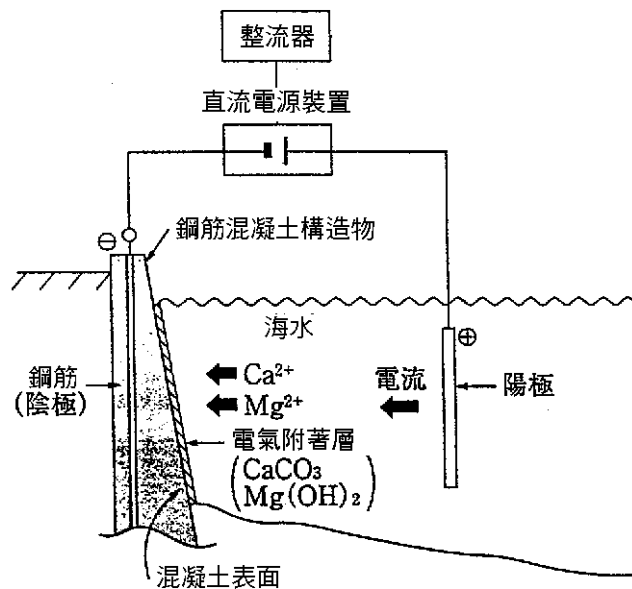


圖 6.23 電氣附著工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

(2)施工項目：

- A. 「FRP 接合工法」：將 PC 或 RC 樁鬆動之混凝土敲除，以不收縮水泥將斷面復原；裂縫部分灌注環氧樹脂、底層處理、樁體以 FRP 圍束補強數層；俟圍束補強完成樹脂硬化時，需施作硬度試驗後表面再塗佈樹脂噴砂增加水泥砂漿補土附著力。
- B. 「電氣附著工法」：陽極材投入海水中、連接電源、通電。

(3)相關規範：

- A. 「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。
- B. 「脫鹽工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3. 混凝土裂縫擴散成整個樁圍、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離

(1)維護工法：

- A. 「鋼板補強工法」：將損壞之混凝土構件敲除後，並清洗舊有混凝土表面，再依裂縫及蜂巢之修補方式修復嚴重受損之結構元件，並組鋼模後，再注入 EPOXY(如圖 6.24 所示)。

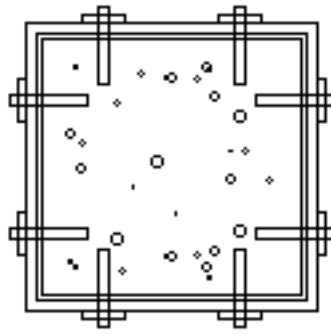


圖 6.24 樁體外鋼板補強工法示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B. 「增厚工法」：係於構材之上面、下面或側面重新配置鋼筋並與舊構材結合後打設新混凝土，使成一結實體。

(2)施工項目：

- A. 「鋼板補強工法」：將鬆脫不牢固之混凝土打除，打除後將粉屑清除乾淨；使用補強灰泥修補蜂巢、使用裂縫注射劑修補裂縫；將鋼板預組在樑上，樑板使用 SUS316 鋼材，採全滿焊施工；鑽孔施打化學錨栓、封口、灌注 EPOXY 直到透氣孔溢滿出為止。

- B. 「增厚工法」：鋼筋彎紮、打設混凝土。

(3)相關規範：

- A. 「鋼板補強工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章、第 03210 章及第 09622 章。
- B. 「增厚工法」：公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03110 章及第 03210 章。

6.4 RC 材料劣化維護工法

鋼筋混凝土大量被使用於土木工程，尤其是交通建設方面，諸如

橋樑、港灣... 等之重要設施。鋼筋混凝土原本為一極具耐久之材料，因此，工程建造完工起用後，甚少需要維護。但是，受到環境、超載(不當使用)、施工品質等因素之影響，其材料、結構則可能受到劣化損壞，對整體耐久性與安全威脅甚鉅。台灣為一海島型氣候，終年高溫、高濕，每年常遭颱風侵襲，又因位處地震帶上，地震災損頻傳，於此惡劣環境下，港灣鋼筋混凝土甚易受到海水或海風中之氯離子之侵入，造成鋼筋發生銹蝕、斷裂、體積膨脹，導致混凝土的劣化、剝落、損壞。

因此，在 R.C.結構物之耐久性觀點上，除了混凝土材料本身材質劣化外，鋼筋的腐蝕是評估結構物耐久性之重要指標之一。以下分為鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理、混凝土表面缺陷及鋼筋外露腐蝕等說明其維護工法。

6.4.1 鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理相關工法

1. 陰極防蝕法：

陰極防蝕應用於鋼筋混凝土結構物之防蝕，至今已有三十幾年的歷史了，公認為解決鋼筋混凝土腐蝕唯一有效的方法。陰極防蝕可分為下列有兩種方式：

(1)外加電流法：

此法乃於鋼筋(陰極)與混凝土外之輔助陽極(一般使用鈦金屬)間，施加一直流電源，供應防蝕電流給鋼筋，使鋼筋表面不會失去電子，以達到防蝕的目的，為一長期持續性之防蝕工法，一般陸上之 R.C.結構物多採用此法。

(2)犧牲陽極法：

利用自然電位較低之金屬(如 Mg、Al、Zn)做為陽極，與被保護之金屬體偶合在一起，當陽極放出防蝕電流後，使被保護之金屬體的自然電位下降，當電位下降至防蝕電位時，則被保護體

就不再發生腐蝕行為。根據美國佛州交通局(Florida Department of Transportation, FDOT)之研究，依使用陽極之方式不同，犧牲陽極法可再細分為下列四種方式：

A. 鋅熔射方式：使用熔射鋅層被覆作為陽極，為防止高溫、高溼等嚴苛環境之破壞作用，一般常於壓克力樹脂施予封孔處理。施工時需先清除剝落的混凝土並噴砂處理至裸露的鋼筋表面，再將鋅熔射噴塗至混凝土及裸露的鋼筋表面，藉由鋅與鋼筋電連通之傳導或經由混凝土為介質，達到陰極保護的目的。鋅塗層之噴塗厚度為 0.38~0.5 mm (15~20 mils)，鋅與混凝土之結合力為 1,034 kPa (150 psi)。若鋅塗層未直接噴塗於舊有鋼筋表面，亦可使用外加電流的方式進行陰極保護。

B. 鋅板方式：鋅板採用 ASTM A 190 的 99.9%純鋅製成，密度為 0.02 kg/m^3 ，以基樁為例製成鋅板，直接包覆於混凝土表面，鋅板外層再利用 50%塑膠與 50%木質纖維製成之夾板包覆，夾板內側有凹槽可匯聚水氣以增加混凝土的導電性，並藉潮汐漲落可將鋅的氧化產物沖洗掉；而此夾板的固定方式則是利用不銹鋼圈箍繫在舊有基樁結構上。鋅板與鋼筋間則利用銅線連接使之電連通。

C. 犧牲式陰極保護基樁夾層：此法為鋅板系統之改良，為基樁 RC 結構於水下帶、潮間帶、飛沫帶之陰極防蝕使用。工法中以鋅網為主要陽極，內置於玻璃纖維製成之基樁夾層內，而另一鋅塊為輔助陽極，置於低潮線下 0.6 m 的海水中，利用銅線將陽極與鋼筋連接。施工時將兩片夾層包覆於混凝土表面，夾層與混凝土間間距 5 cm，然後以砂漿水泥灌注夾層。此系統不需外加電源且完工後甚少需維護，造價及施工均較外加電流式陰極保護系統經濟，已被 FDOT 廣為使用於海水環境下之陰極防蝕。

D. 鋅板導電膠為一厚 0.254 mm 的鋅膜及一層離子導電膠。施工

時將導電膠塗佈於混凝土上，而導電膠之另外一側上覆鋅膜，利用銅線將鋅膜與鋼筋電連通，以達到陰極保護的效果。本工法在潮濕的環境中，導電膠會失去黏著力而導致鋅膜脫落，造成防蝕電流分佈不均。因此，工法僅能適用於乾燥的大氣環境下。

2. 電化學去鹽法：

電化學去鹽法乃針對已受鹽害之鋼筋混凝土結構物，將其內部之氯離子驅出混凝土外，以降低或阻止鋼筋繼續腐蝕。去鹽法技術乃是應用電化學之同性電荷相斥異性電荷相吸之原理，於鋼筋與混凝土外之輔助陽極之間，外加一直流電源，形成一電力場，藉電場作用力將孔隙溶液中之氯離子驅除，使內部鋼筋不再受氯離子侵蝕。

3. 電化學還鹼法：

還鹼法與去鹽法是一體兩面，採用之原理相同。還鹼法乃是將已中性化之混凝土恢復至高鹼性環境，鋼筋表面再度生成鈍化保護膜，使鋼筋得以被保護。在鋼筋與混凝土外之輔助陽極間，引進一直流電源，經由電滲流(electro-osmotic flow)、擴散(diffusion)、毛細吸附(capillary absorption)及電解作用(electrolysis)，將外界之鹼性電解液大量輸入孔隙溶液中，除提升孔隙溶液之鹼性環境外，另一方面鹼性電解液中之 Na^+ 、 K^+ 等離子，游向陰極(鋼筋)，致使鋼筋再處於鈍態狀況。

6.4.2 混凝土表面缺陷維護工法

混凝土表層缺陷維修工法包括表面處理工法、裂縫修復工法、表層缺陷修復工法。

1. 表面處理工法：

表面處理工法之基本理念是使得目前結構物更為美觀，且經由表面處理，使得結構物減少日後損壞之機率，表面處理工法依其混

凝土表面處理之方式可分為：

(1)酸洗：

混凝土具高鹼性，因此易受酸的腐蝕。基於此原理可利用酸作為混凝土修補前的表面處理，使平滑面粗糙，增加新舊材料間的接合。其方法是將鹽酸稀釋至適當的濃度再傾倒在處理面上，立刻以鋼刷刷淨，直至不再冒泡為止，然後以清水沖洗。使用清水沖洗時，務必洗刷完全，以免殘存之鹽酸加速混凝土之碳化，反而降低混凝土品質，失去修復養護之原意。

(2)噴砂：

利用高壓泵浦推送砂粒噴擊混凝土面，使修補面呈粗糙狀，作用與酸洗相同。噴砂工法價格較貴，且會產生極大的砂塵，在實用上不及酸洗。

(3)表面塗裝：

對於未發生危害而情況輕微的表層龜裂，可塗刷砂漿、塗料或類似環氧樹脂等化學藥品於龜裂表層以塗封龜裂，以防止進一步之惡化而導致缺陷產生。

2. 裂縫修補工法：

鋼筋混凝土結構物裂縫的修補，主要目的是恢復結構的整體性、保持結構的強度、耐久性、抗滲性及外形的美觀。

(1)表面封閉修補法：

採用抹漿、鑿槽嵌補、噴漿、填縫的方法使表面裂縫封閉。如果無法直接注漿，則必須視情況利用工具將損壞的混凝土敲除，或沿裂縫處鑿成 V 型槽，以利修補或填注接著劑。

(2)壓力灌漿修補法：

壓力灌漿是以施加壓力將某種漿液(例如水泥灌漿或化學材

料灌漿)灌入結構物內部損傷的方法，以達到封閉裂縫，恢復並提高結構強度、耐久性和抗滲性能的一種修補方法。對於已停止擴大之龜裂(即穩定裂縫)，或無損及結構安全之龜裂，可用無收縮砂漿或膨脹性砂漿填補；必要時，在龜裂表層開鑿 V 型槽，再填入接著劑或填縫料。此法一般用於裂縫多且深入結構內部或結構有空隙的修補場合。壓力灌漿修補法包括水泥灌漿與化學灌漿，化學灌漿採用化學材料灌漿修補結構裂縫，可以灌入 0.3mm 或更細小些的裂縫。

(3)注射工法：

寬度較小的龜裂，可用注射環氧樹脂修補之。注射前先將龜裂分成幾個區域，先將表面封閉僅留注射孔，以防注射的材料漏出，注滿一區後，再繼續進行下一區。注射工法與灌漿工法之在觀念與作法上幾乎是大同小異。其基本之差異性在於裂縫之大小，裂縫較大時採用灌漿工法，裂縫較小時則採注射工法。

(4)表面黏貼法：

表面黏貼法是指用接著劑把纖維強化高分子複合材料或鋼板等材料黏貼在裂縫部位的混凝土表面上，既可達到封閉裂縫的目的，又能提高結構的強度和勁度。在進行表面黏貼之前，必須對混凝土表面進行處理與清洗。

3. 表層缺陷修補工法：

當混凝土表層已不適用表面處理工法或不宜以裂縫修補工法修復時(例如混凝土表面成片塊狀之剝離)，則此時必須採用表層缺陷修補工法。

(1)填充工法：

此法是以新混凝土取代局部性區域之舊混凝土。施作時將已損壞或不良的混凝土敲除掉，重新澆置新拌混凝土，使龜裂不再發生或提昇原構件之品質，亦稱之為置換法。此法適用於已無外

在原因使混凝土繼續劣化或龜裂之情況，否則修補後仍將發生損壞。

(2)混凝土修補法：

對於混凝土橋梁結構中出現的蜂窩、空洞等較大範圍的破損與缺陷，可採用新拌混凝土進行修補。用於修補的混凝土要級配良好，且具有良好的工作性，以減少搗實工作的困難。為了澆築工作的順利進行，應把構件中的蜂窩或空洞缺陷部份盡可能鑿除，同時對修補部位進行鑿毛處理，並使原混凝土表面保持濕潤、清潔、不沾塵土。為了使新舊混凝土之間有良好的接著性能，可以在鋼筋和其周圍的混凝土上塗抹一層水泥砂漿或接著劑(如1：0.4 的鋁粉水泥砂漿、1：1 的鋁粉砂漿或環氧膠液等)。砂漿應均勻地刷進混凝土內及鋼筋表面，使得鋼筋周圍成為強鹼性環境，而增強舊混凝土與新混凝土間之黏結。在這些砂漿塗抹後尚未凝固時，可立即澆築新的混凝土。

(3)水泥砂漿修補法：

對於小面積的缺陷，當損壞程度較淺時，可將拌和好的砂漿用鏟刀抹到修補部位，反覆抹光後，按一般混凝土的養護方法養護。當修補部位深度較大時，可在水泥砂漿中加入特殊材料，以增強砂漿強度和減少砂漿乾縮。用砂漿修補時亦必須特別注意加強壓實的工作，使砂漿經過養護、硬化和乾燥後不致出現凹陷。另外在修補的區域周圍再塗抹兩層的環氧樹脂膠液或鋁粉水泥砂漿、或其他接著劑，以避免乾縮裂縫的發生，達到表層保護之效果。

(4)噴漿修補法：

噴漿修補法是將水泥砂漿，經高壓噴至修補部位的一種修補方法。此法主要適用於重要混凝土結構物或大面積的混凝土表面缺陷和破損的修補。為保證噴漿層能與舊混凝土面黏結牢固，達

到預期的修補效果，噴漿前應做好以下準備工作：

- A.對舊混凝土進行打毛處理，並將表面清理乾淨。打毛面須有一定深度，否則會影響其與舊混凝土間之黏結。
- B.在施工前應進行鋼筋網或鋼絲網製作和安裝，並固定位置。
- C.在噴漿前一小時，應對修補面灑水，使其保持濕潤狀態，以確保噴漿與修補面能良好結合。
- D.當修補面有滲水時，應先使其陰乾。

(5)混凝土接著劑修補法：

對於混凝土橋梁結構表面的風化、剝落、鋼筋外露及小面積的破損，一般可用接著劑對混凝土表面進行塗封的方法修補。人工塗封注意事項：人工塗封法修補時，應由低處向高處、由內向外填抹，塗封範圍須包括缺陷周圍 2cm 左右，塗封層的厚度以不小於 2.5cm 為宜。當混凝土結構破損較大且深入結構內時，可採混凝土接著劑澆築塗層的方法加以修補。

(6)環氧樹脂材料的修補法：

環氧樹脂材料具較高的強度和抗蝕、抗滲能力，並且可與混凝土等材料牢固地黏結，是一種較好的修補材料。由於環氧材料價格較貴，且施工操作難度較高，通常只有在修復結果要求較高的情況下才考慮優先使用。

A.表面修補的技術要求：

- (a)混凝土表面應先加以打毛，保持平整、乾燥、堅固與密實。
- (b)混凝土表面處理可用人工打毛，然後用高壓噴水或高速壓縮空氣吹淨，或採用風砂槍噴砂除淨等方法。
- (c)鋼筋若腐蝕必須先行除銹。

B.施工時之要求：

(a)塗抹環氧樹脂基液：在塗抹環氧樹脂砂漿或澆灌環氧樹脂混凝土時，應先在原混凝土表面塗一層環氧基液，以保持良好的黏結力。塗刷時，應力求薄且均勻，尤其在鋼筋和凹凸不平等難於塗刷的部位宜反覆多刷幾次，塗刷基液厚度一般不宜超過 1mm，塗刷方式可用毛刷人工塗刷，也可用噴槍噴射。為使塗刷均勻，可考慮在基液中加入少量丙酮(例如 3~5%)。對於已塗刷基液的表面，應注意保護，嚴防污染物、灰塵落入。塗刷後須清除基液中的氣泡，再塗抹環氧砂漿或澆築環氧混凝土。時間間隔一般為 30~60 分鐘。

(b)塗抹環氧樹脂砂漿：於平面塗抹時應力求均勻，每次塗抹厚度不宜超過 1.0~1.5cm，底層厚度應在 0.5~1.0cm 之間，並用鎚刀反覆壓抹，如有氣泡必須刺破壓緊。在斜、立面塗抹時，由於砂漿流淌，應用鎚刀不斷的壓抹，並適當增加的黏稠度，塗抹厚度以 0.5~1.0cm 之間為宜，如超厚應分層塗抹，超過 4cm 時最好立模澆築。頂面塗抹時易因自重而往下脫落，在塗刷底層基液時，可使用黏度較大的基液。環氧樹脂砂漿每次塗抹的厚度以 0.3~0.5cm 為宜，如超過 0.5cm 時，應分層塗抹，每次塗抹均需用力壓緊。

C.澆築混凝土：

環氧樹脂混凝土澆築的工法要求與普通混凝土大致相同，澆築時應注意防止擾動已塗刷的環氧樹脂基液。平面澆築時須充分搗實，再用鎚刀反覆壓抹，側面及頂面澆築時須組立模板。

D.環氧樹脂材料的養護：

環氧樹脂砂漿的養護與水泥砂漿不同，最重要的是控制溫度，夏季施作時如果太陽直接照射，應設遮棚。冬季溫度太低，則須保溫。一般養護溫度以 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 為宜。在夏季，養護時間須 2 天，冬季則須 7 天以上。在養護期的前 3 天，應避免雨

水浸泡或其他衝擊。

E.環氧樹脂材料施工注意事項：

- (a)環氧樹脂材料每次的配製數量，應根據施工能力來決定，因為環氧樹脂加入硬化劑後，即開始起化學反應，故配製好的環氧樹脂材料的使用時間有一定的限制。
- (b)已拌製好的環氧樹脂材料，必須分散堆放，以免提前硬化。配料時用的器皿宜廣口淺底，易於散熱，並不斷攪拌。
- (c)塗抹、澆築和養護環氧樹脂材料時，必須進行嚴格溫度控制，以防溫度變化時對環氧材料的施工品質產生不良影響。
- (d)環氧樹脂材料的組成份，大都具有良好之揮發性，因此施工現場必須保持通風，避免有害氣體對人體產生不良影響。同時嚴格注意防火和勞工保護，操作人員須戴口罩和橡皮手套。人體與環氧材料接觸後，可用工業酒精、肥皂水與清水多次清洗。嚴禁使用有機溶劑清洗，以免有機溶劑將環氧材料稀釋，更易於滲入人體皮膚。
- (e)施工用具用後可用丙酮、甲苯、二甲苯等溶劑清洗。若環氧材料已硬固黏結在工具上，可加熱刮掉，但不能燃燒，以免產生有毒煙氣，危害人體健康。
- (f)在施工過程中，不可將用過的器具以及殘液隨便拋棄或投入河川溪流中，以免水質污染和發生中毒事故。

6.5 碼頭面版腐蝕劣化之一般維護法

目前棧橋式碼頭 R.C.底版及樑柱腐蝕損壞之修護，多採取將底版剝落處之混凝土或風化表面先行鑿除，鋼筋表面進行銹蝕除銹，斷裂鋼筋處以新品鋼筋搭接後，再以 II 型水泥或含壓克力樹脂或樹脂石英砂及速凝劑等之混凝土材料，分層噴漿覆蓋處理之，通常每隔 3~5 年

需再進行類似的修護工作。以下則分別就市場所提供的各種結構補強及構件破壞修護方式分別探討之。

6.5.1 碳纖維補強工法

碳纖維材料具有輕質、高強度、抗腐蝕、耐老化、耐久性好、物理性能穩定等諸多優點。抗拉強度是同等截面鋼材的 7-10 倍。用碳纖維材料修復補強混凝土結構是近年來業界普遍採用的新型工法，能與混凝土結構緊密貼合，利用碳纖維材料卓越的抗拉強度達到增強構件承載能力及剛度的目的。

這項技術具有施工簡便快捷、安全可靠、耐久性好，能適應各種複雜的結構外形，不影響原結構的外觀等諸多優點。已日益在混凝土結構修復補強工程中得到廣泛的應用。其材料特性包括如：抗拉强度高，是同等截面鋼材的 7-10 倍；重量輕，比重只有普通鋼材的 1/4；耐久性好，可抵抗化學腐蝕和惡劣環境、氣候變化的破壞；施工方便快捷、省力節時；適用範圍廣，混凝土構件、鋼結構、木結構均可進行補強。可大幅度提高構件的承載能力、抗震性能和耐久性能。

其使用上包括有：混凝土結構物、橋樑及建築物的梁、柱、面板補強。隧道、港灣設施、煙囪、倉庫、廠房的補強。受鹽害的混凝土、橋樑以及河川構造物的防護和補強。

6.5.2 低壓灌注補強工法

針對鋼筋混凝土構造物產生的各種龜裂現象和裂縫損壞，採用環氧樹脂低壓灌注材料修補工法，針對裂縫損壞做系統性的補強與補修，可以達到預期的強度，延長結構物的使用壽命。施工快捷方便，不需要大型機械作業，補強效果安全可靠。

材料之特點包括有如：採用慢速、低壓連續灌注，使樹脂確實注入裂縫的細微部位；可以控制注入量，必要時可以補充樹脂；可根據裂縫大小、注入狀況的需要，調整壓力；注入量和注入情形可以目視

觀察。其使用的範圍亦非常廣泛，包括前述各種混凝土構造及建築物之修護及補強均可發現其蹤跡。但最主要的破壞型式仍以裂縫之破壞型式修護最多。

6.5.3 鋼筋外露補修工法

鋼筋外露補修工法之應用中最為普遍的方式為，利用環氧樹脂與特殊骨材配合而成的輕質樹脂砂漿，利用噴漿或薄漿的方式分層披覆於裸露的鋼筋外面，逐層施工後則達到類似保護層的施作效果。一般使用於石材與混凝土包覆之鋼筋外露者，或垂直面、倒吊面難施工之處。此修護方法亦為目前較盛行應用於棧橋式碼頭破壞之修護方法。

其特點包括如：質輕，比重小於 1；搖變性佳，垂直面、倒吊面施工容易；充填性佳，適用於多孔性材質，如混凝土、石材等；接著性、耐久性、施工性優異。在用途上亦甚為廣泛，包括了：混凝土板、梁、柱弱化受損部位補修；天花板倒吊面鋼筋外露補；鋼板補強、碳纖補強施工前混凝土修補披覆等。

6.5.4 無收縮水泥灌漿工法

本工法針對大型高層建築逆打工法之柱頭灌漿、機械基礎灌漿、鋼結構底座灌漿、土木橋樑特殊部位之高強度填充材之灌注、鋼板補強之間隙填充，均能提供無收縮及發揮早強優越性能，高流動性可作到完全無空隙灌漿，為今日土木、建築、補強業界普遍採用之工法。

其特點包括有：流動性優越：以很小的 W/C(水灰比)即可獲得良好的流動性，可作到完全無空隙灌漿。無泌水現象：不會產生空隙、泌水現象，使灌漿作業順暢。不沈陷、不收縮：已被控制之膨脹性及長期安定之無收縮性，確保施工部位緊密貼合。早強性優越：具備優越早強性，經充分養護可在 1-3 日後安裝機器或後續工程。屬非金屬材料：屬水泥系灌漿材，無產生鏽蝕狀之變色。

6.5.5 面版修護之施工程序

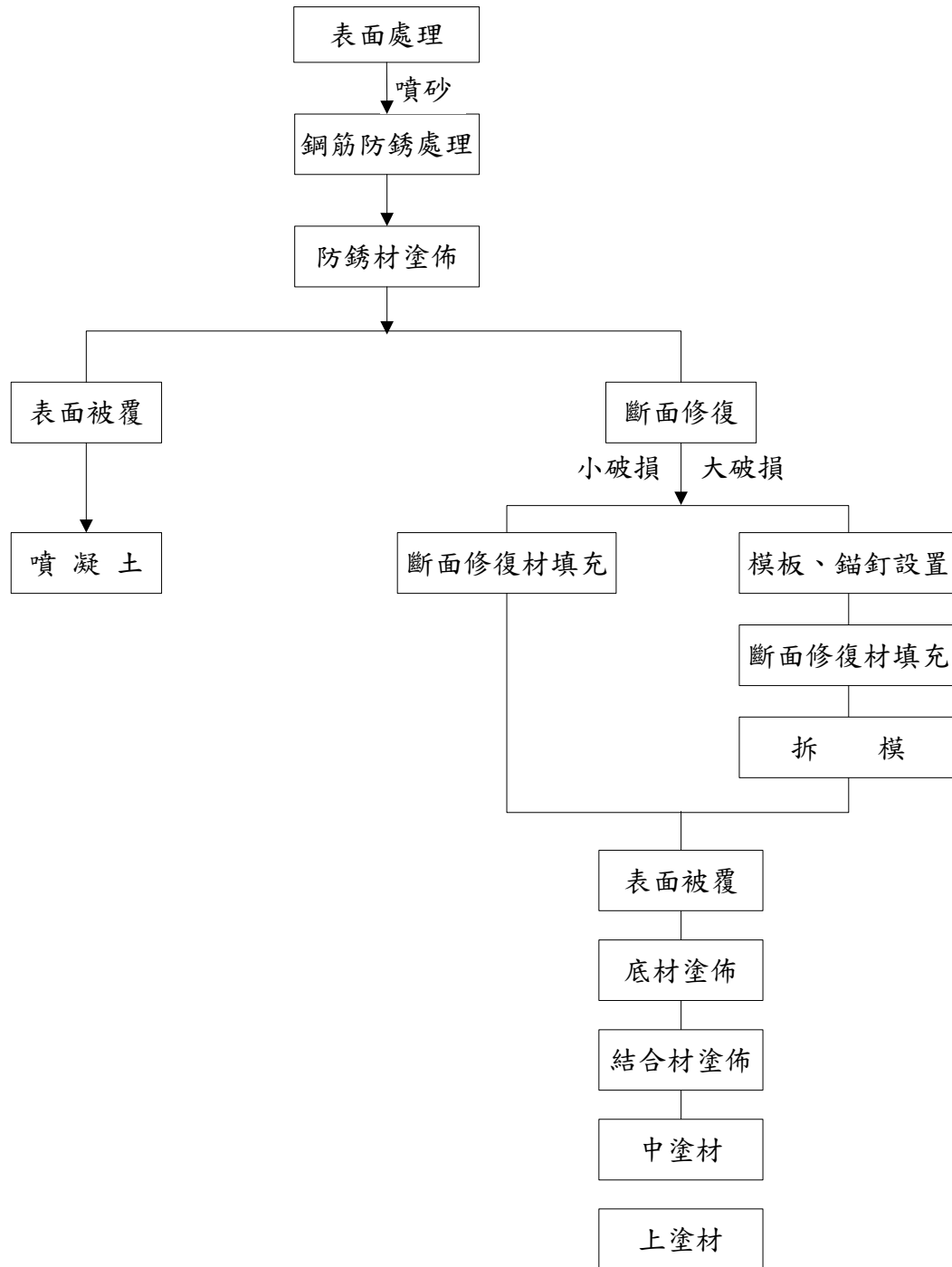


圖 6.25 一般面版修護之施工程序圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

第七章 結論與建議

港灣棧橋式碼頭由於其R.C.面(底)版，因長年遭受海水波浪之衝擊浸漬，海水中之氯離子甚易侵入底版，造成內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。碼頭一旦破壞，對港口之營運影響甚巨。因此，本研究將藉由蒐集國內棧橋式碼頭腐蝕劣化現況資料，及以高雄港118號碼頭為現地檢測標的，進行探討棧橋式碼頭適當之檢測方法與儀器、建立碼頭檢測評估之標準程序與其維護手冊、研擬維修工法及建置碼頭本體設施維護管理系統等項目。

本研究所得成果除可提供各港務局進行港灣設施維護參考外，所建置完成之碼頭檢測評估之標準程序、維護手冊、維修工法及建置碼頭維護管理系統等，均可做為國內各港務局及工程單位應用於相關碼頭設施等港灣構造物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。主要結論與建議事項敘述如下：

7.1 結論

1. 正常的 RC 結構物會因為暴露環境的不同而遭受各種類型物理或化學性質的侵蝕，使結構體產生劣化或是破壞等現象。而混凝土在設計時，必須考慮到強度以及耐久性，如混凝土抵抗風化作用、化學侵蝕、磨損及其他劣化過程的能力，在不同暴露環境下仍然能夠保持本身的幾何尺寸、物理力學性質與服務性。RC 結構物的耐久性判斷，可以分為混凝土材料的劣化與鋼筋材料的腐蝕兩個部分，而造成此兩種材料劣化及腐蝕之原因，在本報告中均有充分探討。
2. 由於本研究中之檢測方式包含了非破壞性如反彈錘及破壞性檢測如鑽心取樣、氯離子檢測分析及混凝土中性化等，故取樣數量不宜太多，各取樣位置亦受限制，另一方面為配合該碼頭正進行中的深水碼頭施工作業，因此、規劃的單元為 1~7，各單元進行之檢測取樣

則視現場作業情況進行。在反彈錘之檢測數據中顯示，包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。

3. 針對鑽心試體抗壓試驗之結果及反彈錘強度試驗之結果一併比較，無磨耗層之反彈錘試驗數據與鑽心試體抗壓試驗之結果比較情形為，反彈錘強度試驗之平均值約較鑽心試體抗壓試驗之強度值大約10%。本計畫中針對混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，取樣後之試體中性化情形顯示其中性化之深度最大達2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。氯離子濃度檢測經濃度測試後顯示，非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。針對現場腐蝕電位量測之結果顯示，上層面板平均電位值介於-216~-318(mv)，下層底樑平均電位值介於-312~-413(mv)，下層底樑比上層面板腐蝕機率相對較高。另外對岸肩護欄外露鋼筋也施做腐蝕電位量測，平均電位值介於-492~-532(mv)，已超過高腐蝕機率許多。
4. 本研究案中研提了與傳統 DER 不同之新的安全評估方法，該方法結合了結構力學理論及混凝土材料之特性，得以將儀器檢測之數據做較系統性之應用，減少因目視檢測時人為產生之誤差，或觀測之現象與理論無法結合之現象。經本案所提出之安全評估公式分析後，若為強度設計法，則 S_d 值為 $0.85f_c'$ 。目前試算的結果(在相當有限的檢測數據及設計參數下)，高雄港 118 號碼頭之 Φ 值經代入公式計算後得出為 0.88。當 Φ 值大於 0.85 時，表示結構之安全情形位於第一級之安全程度，亦即除了需進行日常檢測之外，結構應無破壞之安全顧慮。
5. 本案例中研提了針對重力式、板樁式及棧橋式碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊。其中針對各型式碼頭之檢測程序：如編碼方式、檢測順序等配合目視檢測評估標準使現場檢測人員有所依循。而對於儀器檢測部分，本案亦收集各類型檢測技術，配合其適用性給予

使用之建議。另外針對新發展之棧橋式碼頭結構之安全評估方法，亦建立了可在網路上進行數據輸入之系統，工作人員依授權等級在進行檢測工作時或取得數據後，可在相關表格上填入數據，系統將直接運算並獲得評估值，以評估值之安全等級給予維護之建議。

7.2 建議

1. 針對本研究案中之現場調查，由於高雄港之協助及恰巧有局部擴充之施工中之碼頭，讓本研究得以順利進行。但就傳統檢測方式之正常狀況而言，碼頭之現場檢測通常需耗費大量之經費及訓練有素之人力，以及堪用於水下之器材方能達成。如何以較有效或較不耗費大量人力即能獲知碼頭材料之腐蝕及劣化或構件破壞情形，應為未來從事碼頭新建時應予考慮之課題，亦即碼頭未來之維護管理，應在新建時一併考慮，則能避免未來檢測或維護困難之現象。
2. 本研究案中雖然研提並推導了一新的安全評估方式，該評估方法與傳統之評估方法大為不同，與實驗室中推估出來之破壞指標較為接近。因為為首度應用於結構物之破壞現況指標之評估。其正確性則有賴實驗室中建立實際之模型、進行破壞試驗，同時取得各破壞過程中之數據，代入式中進行比較，並經參數校正後，方能進一步確定其應用性。另外針對腐蝕相關參數之使用，除了腐蝕電位之外，亦可應用腐蝕電流作為參數進一步修正本案推導出之安全評估模式。
3. 有關安全檢測及評估系統，目前建置為開放性、不同等級授權均可使用之系統，並以目前發展出來之安全評估方法為核心來發展，亦即必須有實際檢測數據之輸入才能使用。由於傳統以目視檢測配合 DER 之評估方式有不同版本之應用，系統亦由不同單位發展。建議未來可以目視檢測配合 DER 作為初步檢測；利用儀器取得數據之檢測則可作為細部檢測、特別檢測或針對特別構件之檢測，並配合本案新導出之評估方式進行進一步之安全評估。

參考文獻

1. Dario Coronelli, Condition rating of RC structures a case study, Journal of Building Appraisal, VOL.3 NO.1, pp.29-51, 2007.
2. Hopkins & Monahan , H 型鋼版樁碼頭於新芬蘭崔柏西港之腐蝕調查 , CIM Bulletin , 1990 。
3. Lee H. H., Chung, P.-Y., Liao, S.-R., Chang, C.-S., Ding, J.-B. and Wang, P.-W. 2007, Seismic and Vibration Mitigation on the Harbor Wharf Structural System, Proceedings, Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering, June 26-29, 2007, Ottawa, Canada.
4. Lee, H.H., 2002, Corrosion of SS41 Iron-Carbon Based Steel in Kaohsiung Harbor. 第三屆海峽兩岸材料腐蝕與防護研討會, pp.500-508, Oct. 21-24, 2002 Quingdau, China.
5. Park, Y.J. and Ang, A. H.S., Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, J. of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.722-739, 1985.
6. Lee, H.H, and Chang, P.-Y. 2006, The Damage Inspection and Safety Assessment on Steel-Sheet Pile Wharf Structural System, Proceedings of 2006 Int. Conf. on Fracture and Damage Mechanics, Sept. 13-15, Harbin, China. (EI)
7. Lee, H.H. and Chang, P.-Y. 2004, The Damage Inspection and Evaluation for Wharf Structures, Proceedings, International Symposium on Safety Science and Technology, Oct., 2004, Shanghai.
8. Lee, H.H., Chung, P.-Y., Yu, T.-H. and Chung, Y.-F. 2003, Damage Inspection on the Sheet-Pile Wharves, 6th Pacific and Asian Ocean Science and Technology Int. Conference, Nov. 30-Dec.3 2003, Kaohsiung, Taiwan.
9. Lee, H.H. and Chung, P.-Y., 2002, Dynamic Analysis on the Damaged Wharf Structures During Chi-Chi Earthquake 1999 Taiwan.

Nat Conf of Earthquake Engineering America. Jul.25-30,2002 Boston, USA (EI)

- 10.Lee, H.H., Chang, P.Y., and Yu, T.-H. 2002, A Simplified Index for Flexural Damage Reinforced Concrete Members, Proceedings, The 2nd Int. Conference on Structural Stability and Dynamics, pp.669-674, Singapore, Dec. 16-18, 2002.
- 11.陳桂清，構造物之腐蝕劣化檢測與防蝕維護策略，海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材構造物陰極防蝕技術與應用研討會，2004。
- 12.李賢華，港灣構造物安全檢測與評估，港灣構造物安全檢測與評估研習會論文集，交通部運輸研究所，2002。
- 13.賴瑞應、王慶福，碼頭結構物耐震設計之研究，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2001。
- 14.李賢華，港灣構造物設計基準－耐震設計之修訂研究，交通部運輸研究所委託計畫研究成果報告，2002。
- 15.羅俊雄、黃克志、翁榮洲、陳新北，基隆港鋼板(管)樁安全檢測及評估，交通部基隆港務局，2002。
- 16.羅俊雄、劉益雄、陳新北、翁榮洲、彭聖墻、程子萍，安平觀測樁腐蝕檢測評估及研擬改善對策，交通部運輸研究所，2007。
- 17.李賢華，高雄港港灣構造物安全性評估及補強建議，高雄港委託計畫研究成果報告，2003。
- 18.陳桂清、柯正龍、張道光，港灣構造物劣損診斷與腐蝕防治之研究(1/2)，交通部運輸研究所，2007。
- 19.李賢華、余宗鴻，鋼版樁碼頭基樁腐蝕後之動力行為，中華民國第二十屆海洋工程研討會論文集，頁 173-180，1998。
- 20.李賢華，棧橋式碼頭鋼管樁樁腐蝕後之動力行為，中華民國第十八屆海洋工程研討會論文集，頁 781-789，1996。

- 21.李釗、陳桂清，混凝土材料劣化損壞評估與改善研究，港灣技術研究中心專刊第 137 號，交通部運研所港灣技術研究中心，1997。
- 22.李賢華、張博彥、余宗鴻、鍾英鳳，棧橋式碼頭之抗彎構件之破壞指數評估分析，第 24 屆海洋工程研討會，pp.693-700，2002。
- 23.李賢華、薛憲文、陳桂清，港灣構造物安全檢測與評估之研究(2/2)，交通部科技顧問室委託計畫研究成果報告，2001。
- 24.李賢華、陳陽益、薛憲文、陳桂清，港灣構造物安全檢測與評估之研究(1/2)，交通部科技顧問室委託計畫研究成果報告，2000。
- 25.陳桂清、饒正、柯正龍、張道光，港灣構造物耐久性與維護機制之研究(1/4)，交通部運輸研究所，2005。
- 26.陳桂清、饒正、柯正龍，現有結構物安全評估及維護研究(IV)，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2000。
- 27.郭世榮、簡連貴、楊文衡、張景鐘、蕭松山，港灣設施防災技術之研究(一)—港灣構造物維護管理準則之研究，交通部運輸研究所，2003。
- 28.郭世榮、陳吉紀、簡連貴、鍾兆君、張文欽、黃泓翔，港灣設施防災技術之研究(二) —港灣設施防災對策之研究，交通部運輸研究所，2004。.
- 29.李賢華，高雄港第五貨櫃中心#78-#81 碼頭版樁開裂補強後之安全性及耐久性分析，交通部港灣技術研究中心委託計劃研究成果報告，2000。
- 30.李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華圖書，2000。
- 31.高雄港港灣設施維護管理手冊，交通部高雄港務局，2006。
- 32.港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究，交通部運輸研究所，2005。

附錄一

港灣碼頭結構檢測評估暨維護手冊

港灣碼頭結構檢測評估暨維護手冊

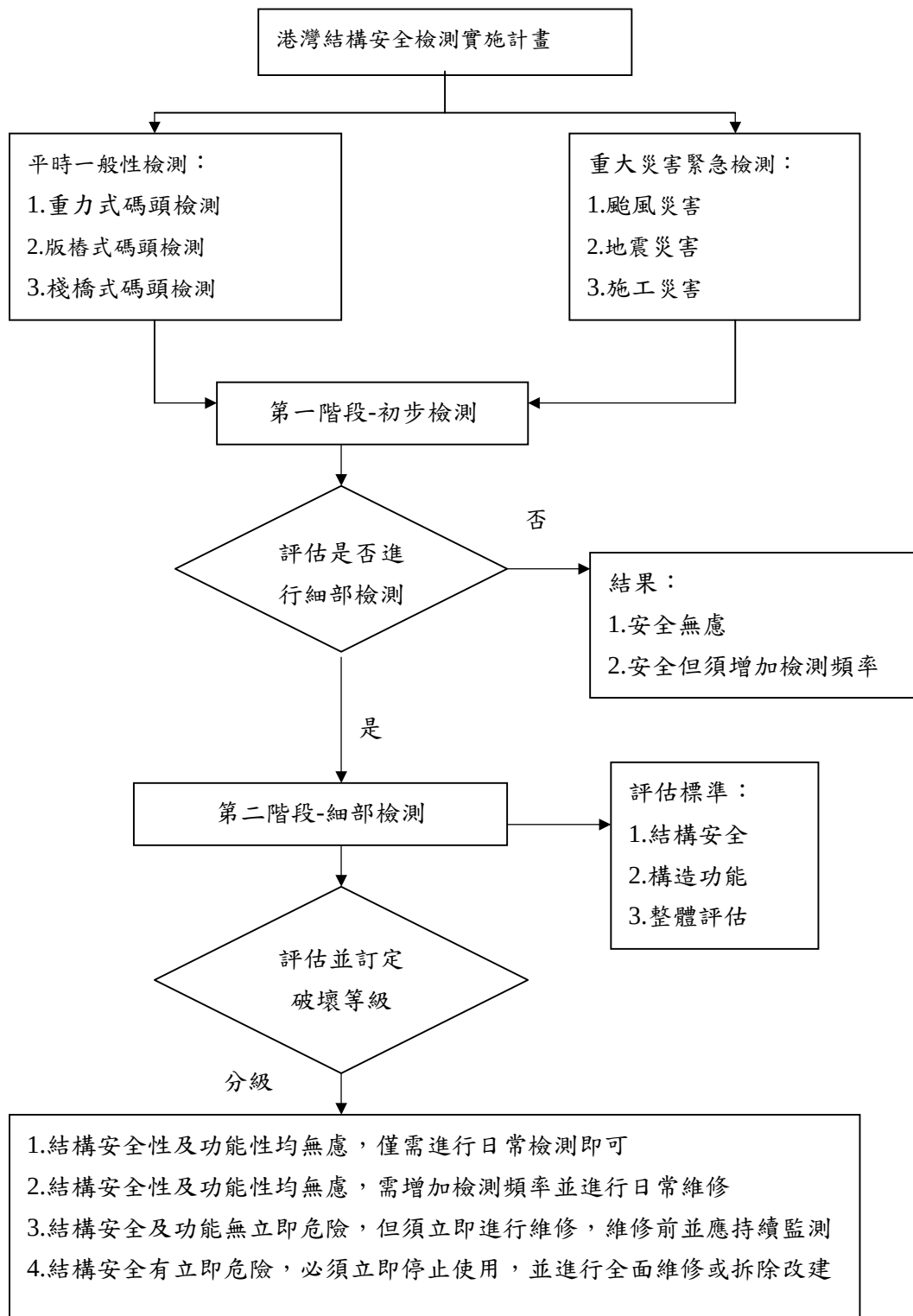
第一章 總 則

1.1 檢測要義

港灣構造物本身長年面臨惡劣的環境，如波浪作用、颱風，甚至船舶靠岸時的撞擊，都可能造成結構體不同程度的毀損。其中破壞現象若以巨觀的角度來看，包括沉箱傾倒及位移、岸壁被撞擊而破裂、碼頭崩塌、防波堤塌陷及鋼版樁的破裂損壞等；而以微觀角度而言，則包括了鋼版樁的腐蝕穿孔、混凝土塊斷面變薄、基樁斷裂以及防舷材的破損等不勝枚舉。

本檢測手冊以重力式、板樁式及棧橋式等碼頭為對象，將碼頭概分為主要結構及非主要結構進行安全檢測，並針對檢測時機、檢測程序、檢測數據填寫及安全評估等提出作業流程之建議。

1.2 檢測流程



1.3 檢測時機

1. 定期檢查

碼頭上部結構可目視部分：每年至少檢測 1 次；但當年度若有大型颱風過境時，無論是否有事故發生，宜增加檢測次數為 2 次，建議 4 月與 10 月（颱風季節前後）各實施 1 次。

2. 不定期檢查

遇突發狀況即行檢測，如地震、颱風等天然災害，或靠船碰撞等人為疏失。

1.4 檢測工作程序

1. 受測對象資料收集

港灣構造物中碼頭及堤防的種類形式眾多，檢測重點亦隨之不同，在進行檢測前必須先確定檢測對象之港工結構種類，檢測之範圍大小等，並事先取得相關之設計圖及應用資料，如靠泊船級、碼頭建造日期、設計水深、法線標高、船席長等，以及曾進行之檢測記錄、維修記錄等。針對取得之資料事先加以研讀，熟悉檢測之對象，並將相關資料填入檢測表的「碼頭基本資料」欄位中，針對相關檢測記錄，則列出檢測重點，以便在最短時間獲得最正確之檢測結果。

2. 檢測人員編組

常態性之檢測工作，應有常態性編制或專職編制之檢測人員編組，遇突發狀況之檢測工作則應有臨時性之任務編組。人員編組依工作性質、工作範圍大小、預估工作時程及整體工作量而加以編組，原則為檢測工作的執行能順暢進行，並能在預定時程內能完成既定工作。

3. 檢測工具準備與方法熟習

依據檢測工作之需要，備妥必要之檢測工具及儀器設備，若為目視檢測，平常及必須熟習各種破壞狀況之檢測要領，其中包括程序、步驟、數據填寫等各項操作。

4. 檢測流程規劃

(1)依檢測性質順序規劃

檢測性質指的是檢測對象之材料性質或破壞特性，在做檢測順序規劃時，考慮同性質的的檢測工作，例如、同是混凝土強度檢測，或同是混凝土裂縫檢測的工作，無論是屬於碼頭面板或屬於碼頭岸壁，均屬於同一階段的檢測工作，等該階段檢測工作結束後，再進行不同之材料性質或破壞特性之檢測工作，然後依此類推而完成最終的檢測工作。

(2)依檢測構件順序規劃

依檢測構件順序來規劃檢測工作，為將同種類構件的所有不同材料性質的檢測工作在同一檢測工作階段中完成，然後再進行其他構件的檢測工作，其進行順序以結構之構件型式區分，如碼頭面板上測完所有相關檢測項目後，再進行碼頭岸壁之檢測，依此類推直到完成所有規劃之檢測工作。

(3)依劃分區塊混合進行

當受檢測構件無法明顯區分，或部份構件之檢測工作需特殊裝備時，或檢測對象之範圍過於廣大時，亦可採取以上兩種方式混合進行，以編定區塊的順序來區分。

5. 檢測單元編定

檢測單元之編定主要依檢測構件分類編定之。故不同型式之碼頭構造，由於結構型式不同，部分構件亦有區分。檢測單元編定時以包含英文字母及阿拉伯數字之代碼表示，其原則如下：

重力式碼頭：HWxxx（分區號碼）

岸肩：HWSxxx（分段號碼）

後線：HWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（RC 或混凝土塊）：HWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及堤角：HWFxxx（分段或區塊號碼）

板樁式碼頭：PWxxx（分區號碼）

岸肩：PWSxxx（分段號碼）

後線：PWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（鋼板裝）：PWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及提腳：PWFxxx（分段或區塊號碼）

棧橋式碼頭：BWxxx（分區號碼）

岸肩：BWSxxx（分段號碼）

面板：BWDxxx（分段或區塊號碼）

基樁：BWPxxx（分段分支排列號碼）

樁基及底床：BWFxxx（分段或區塊號碼）

非主結構設施：ASxxx（分區號碼）

防舷材：ASFxxx（排列號碼）

繫船柱：ASCxxx（排列號碼）

檔車牆：ASBxxx（排列號碼）

起重機軌道：ASRxxx（分段或區塊號碼）

排給水設施：ASWxxx（分段或區塊號碼）

照明設施：ASLxxx（分段或區塊號碼）

油電管路：ASPxxx（分段或區塊號碼）

6. 執行檢測

第二章 D.E.R.評估值

2.1 D.E.R 定義

參考交通部國道高速公路局「高速公路橋樑一般目視檢測手冊」中對於高速公路橋樑檢測之損壞分類，評估時區分為損壞程度（D）、損壞範圍（E），及該構件損壞對整體結構之影響性（R），稱為 D.E.R. 評估法。

2.2 D.E.R.值之判讀

本手冊將構件損壞程度 D 值之檢測量化結果分為六等。級別為 1 級到 4 級時分別代表檢測對象之損壞程度隨級別之增加其損壞程度亦隨之提高；而級別為”0”時，則代表該檢測項目在受測碼頭或防波堤中並不存在（因初步檢測表之項目乃須包含所有碼頭與防波堤之結構體，然因構造形式之差異而使得該項目並不存在）；級別為”5”時則代表該檢測項目無法判定或無法檢測，通常代表進一步細部檢測之必要性。

以下表格則為 D 值填寫時所參考之現象描述及其損壞程度之分級：

1. 結構大部明顯可檢視現象 D 值評估

檢測位置	劣化現象	劣 化 程 度	D 值
碼頭壁體	傾斜、破損、 混凝土剝離龜裂	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出	2
		混凝土龜裂，鋼筋完全露出	3
		可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出而且腐蝕預力管露出	4
碼頭法線	變形、扭曲	儀器檢測出法線偏移、扭曲	3
		可目視觀察出法線偏移、扭曲	4
碼頭面版	龜裂、沈陷、 材質劣化	面版混凝土輕微剝落或龜裂開且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象	2
		儀器檢測出輕微沈陷，或面版鋼筋完全露出，無腐蝕現象	3
		可目視出沈陷、崩塌，或面版鋼筋完全露出而且有腐蝕現象	4

2. 混凝土結構性質檢測 D 值評估

檢測位置	劣化現象	劣 化 程 度	D 值
混凝土強度	劣化、不足	強度不足為 10%以內	1
		強度不足為 15%以內	2
		強度不足為 20%以內	3
		強度不足達 30%以上	4
混凝土中性化深度比較	深度比較	中性化達保護層厚度 50%以下	1
		中性化達保護層厚度 50%以上	2
		中性化達保護層厚度 100%時	3
混凝土氯離子濃度	超過	0.1 kg/m ³ 以內	1
		0.2 kg/m ³ 以內	2
		0.3 kg/m ³ 以內	3
		0.5 kg/m ³ 以上	4
保護層厚度	不 足	厚度不足為 20%以內	1
		厚度不足為 30%以內	2
		厚度不足為 40%以內	3
		厚度不足達 50%以上	4

3. 鋼筋、鋼管及鋼版結構性質檢測 D 值評估

鋼筋腐蝕 探 測	腐 蝕	無明顯的鏽蝕區域	1
		局部區域有鏽蝕集中	2
		帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現紅橙色成帶狀剝落	3
		一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色剝落達構件 1/3 的範圍	4
鋼版腐蝕 檢 測	鏽蝕位置	L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕	1
		平均低潮位附近起，於 L.W.L.附近可見紅橙色生鏽或皆見不到	2
		於 L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布	3
		H.W.L.以上的飛沫帶及平均低潮位接近 L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	4

R 值為構件損壞對整體結構之影響性，亦可視為各檢測項目中之權值，其值之決定則有賴經驗及訓練，本研究中將主結構體與附屬設施分開，且將檢測分成兩階段進行，故暫不對 R 值提出參考建議。

檢測評估表之損壞評估採 D.E.R.評估法，即評估時除區分為損壞程度(D)、損壞範圍(E)，及該構件損壞對整體結構之影響性(R)。並由檢測人員依據劣化構件維修的急迫程度(Urgency)作為維修對策之建議。損壞範圍(E)的分等為 10%以下為"1"，10%至 30%中間等級為"2"，30%至 60%之間等級為"3"，大於 60%則為"4"，"0"則代表無此項目或無法判定。

2.3 評估分級

初步檢測工作完成後，即進行檢測結果評估階段。構造物整體檢測結果之判定及評估標準主要分為兩大部分：其一為結構安全性；其二為構造功能性。將檢測表結果即各項目之檢測值經下列公式換算

後，依據其值所在範圍而決定最後評估等級。

由港灣構造物檢測所得各構件的 D、E、R 值，可求得構造物的狀況指標 CI，定義如下：

$$CI = 100 - 12.5 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i}$$

式中下標 i 表示第 i 個構件。完工後的 CI 值應為 100，使用期間受到所處環境的影響，構造物因各種外力作用產生的損傷，及材料的劣化，CI 將會隨使用時間的增加而降低。而狀況指標 CI 僅針對構造物主體構件的 D、E、R 值進行統計，分成三個等級：

1. A 級： $85 \leq CI \leq 100$ ，為安全無虞。
2. B 級： $70 \leq CI < 85$ ，為結構物已受損傷，可進行詳細檢測，了解構造物性能的劣化趨勢。分析其營運管理成本，在預算許可的條件下進行維修。
3. C 級： $CI < 70$ ，構造物已受較嚴重損傷，此時應分析其生命週期成本，編列預算進行必要的維修及補強的工作，或在適當時機拆除重建。

附屬設施則分別針對各項損壞之急迫程度(U)，作為維修與否之判斷。

第三章 初步檢測

3.1 碼頭初步檢測

3.1.1 碼頭初步檢測時機（頻率）

1. 定期檢查

目視檢測能執行之範圍每年至少檢查 1 次，當年度若有大型颱風侵襲，無論有無意外發生，宜酌予增加檢測次數，尤其在颱風過後，建議檢測時間為 3 月~4 月與 9 月~10 月各實施檢查一次。

2. 不定期檢查

發生重大災害時隨即施行檢測，如地震、颱風或靠船不慎之碰撞等。

3.1.2 碼頭初步檢測單元

依碼頭本身構造分段或適當長度（50m~100m）編定檢測單元，然後在各碼頭單元下，分別依碼頭及構件型式再依序編定相關檢測單元。檢測單元編定時以包含英文字母及阿拉伯數字之代碼表示，其原則如下：

重力式碼頭：HWxxx（分區號碼）

岸肩：HWSxxx（分段號碼）

後線：HWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（RC 或混凝土塊）：HWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及堤腳：HWFxxx（分段或區塊號碼）

板樁式碼頭：PWxxx（分區號碼）

岸肩：PWSxxx（分段號碼）

冠牆：PWCxxx（分段號碼）

後線：PWBxxx（分段或區塊號碼）

岸壁（鋼板裝）：PWWxxx（分段或區塊號碼）

基礎及堤腳：PWFxxx（分段或區塊號碼）

棧橋式碼頭：BWxxx（分區號碼）

法線：BWSxxx（分段號碼）

面板：BWDxxx（分段或區塊號碼）

基樁：BWPxxx（分段分支排列號碼）

樁基及護坡：BWFxxx（分段或區塊號碼）

非主結構設施：ASxxx（分區號碼）

防舷材：ASFxxx（排列號碼）

繫船柱：ASCxxx（排列號碼）

檔車牆：ASBxxx（排列號碼）

起重機軌道：ASRxxx（分段或區塊號碼）

排給水設施：ASWxxx（分段或區塊號碼）

照明設施：ASLxxx（分段或區塊號碼）

油電管路：ASPxxx（分段或區塊號碼）

3.1.3 碼頭初步檢測項目及要領

碼頭初步檢測項目及要領，依碼頭型式之不同，針對主要結構體分別列表說明如下。

1. 重力式碼頭初步檢測項目及要領

項 目	檢 查 重 點
基礎及堤腳	檢查基礎是否穩固，護基或護樁方塊、拋石是否掏刷、流失
岸壁結構	岸壁損壞、裂縫、混凝土腐蝕剝落
岸肩及法線	岸肩沈陷、法線是否平直、岸肩之完整性、龜裂、混凝土剝落等
碼頭後線	破洞、沈陷、裂縫

2. 板樁式碼頭初步檢測項目及要領

項 目	檢 查 重 點
基礎及堤腳	檢查基礎是否穩固，基礎是否掏刷
板樁岸壁結構	版樁岸壁損壞、裂縫、板樁腐蝕、板樁穿孔、防蝕塊檢測等
冠牆結構	混凝土構造之完整性、龜裂、混凝土剝落、鋼筋鏽蝕等
岸肩及法線	岸肩沈陷、法線是否平直、岸肩之完整性、龜裂、混凝土剝落等
碼頭後線	破洞、沈陷、裂縫

3. 棧橋式碼頭初步檢測項目及要領

項 目	檢 查 重 點
樁基及護坡	檢查護坡是否穩固，基礎是否掏刷
基樁結構	基樁損壞、裂縫、腐蝕、混凝土剝落
面板及底樑結構	面板龜裂、下陷，橫樑、底板及樑結構之完整性，鋼筋是否腐蝕、混凝土開裂、剝落等
法線	法線是否平整

4. 非主結構設施初步檢測項目及要領

項 目	檢 查 重 點
護舷設備	材質劣化、龜裂，螺栓脫落
擋車牆	混凝土破損、鋼筋外露
繫船柱	腐蝕、底盤鬆動
起重機軌道	軌道是否平直、扭曲、軌距是否一致、沈陷等
其他附屬設施	排水設施暢通性、照明設施是否正常、油電管路之漏油

碼頭因構造形式、屬性功能互異，所以上表中僅以大項分類，而表中部分項目中之檢測單元均需潛水人員進行檢查，碼頭前掏刷檢測可由定期水深量測判斷，除基礎穩固與護基拋石之沖刷流失檢查外，沉箱或鋼版樁位於水下部分之破洞、腐蝕、傾斜，樑版結構之毀損、混凝土剝落（尤以棧橋式碼頭基樁為最）亦為檢查重點，水下檢查時亦應記錄與相片互相輔助，以臻詳實。

其餘水面上之主體檢查以整體損壞勘查為主，在初步檢測時主要以目視進行之外，必要時亦需進行簡單非破壞檢測如混凝土強度、鋼筋排設、保護層厚度、鋼筋腐蝕探測與裂縫量測等，堤面傾斜、沈陷或變位則以水準測量、地形測量方法施做。

附屬設施中則以繫船柱腐蝕程度與穩固、防舷材之劣化、損壞為檢測重點。

3.1.4 碼頭初步檢測評估表填寫

檢測依據總則檢測工作程序規定進行，依序為目標規劃、單元（範圍）編定、檢測操作即表格填寫、結果評估，以下則針對表格填寫進行說明。

1. 基本資料調查

碼頭 基本 資料	隸屬港口：		碼頭編號：	
	建造日期：		啟用日期：	
	靠泊船級	原設計：		實際使用：
	碼頭法線 面版標高：	長度： 縱深：	水域深度	原設計： 目前：
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☐ 其他		
	碼頭構造型式	☐ 重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他		
	上次檢測	時間：	單位：	區分：

檢測工作首要前置作業即為受測者之資料調查，除依次填寫構造物之基本資料外，前次檢測記錄亦屬重要參考指標。

2. 檢測評估表填寫

(1)重力式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
岸壁	HPW01 岸壁傾斜				
	HPW02 層間位移				
	HPW03 混凝土性質				
岸肩	HPW01 岸肩下沉				
法線	HPW02 法線平整				
基礎	HPF01 基礎掏挖				
後線	PWB01 沈陷 孔洞				
主體結構破壞評估		$CI = 100 - 12.5 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i} =$			

(2)板樁式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
岸肩 法線	PWS01 岸肩下陷				
	PWS02 法線平整				
冠牆	PWC01 冠牆混凝土 檢視				
板樁 岸壁	PWW01 鋼版傾斜				
	PWW02 板樁腐蝕穿孔				
	PWW03 板樁開裂				
	PWW04 防蝕塊檢測				
基礎	PWF01 堤腳淘刷				
後線	PWB01 沈陷 孔洞				
主體結構破壞評估		$CI = 100 - 12.5 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i} =$			

(3)棧橋式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
碼頭 基樁	BWP01 基樁頭				
	BWP02 基樁體				
	BWP03 防蝕塊				
法線	BWS01 平直度				
	BWS02 垂直度				
	BWS03 伸縮縫				
面板 及底 樑版	BWD01 大樑				
	BWD01 底板				
	BWD01 面板				
樁基 礎及 護坡	BWF01 基礎				
	BWF02 護坡				
主體結構破壞評估		$CI = 100 - 12.5 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i} =$			

結構主體檢測工作進行以整體目視檢測優先於儀器檢測，而使用儀器檢測時又以相同性質項目為優先順序，如此依序完成單元檢查重點。D.E.R.值則依第二章中之判定法加以判讀。

(4)非主結構設施初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
非主結構設施破壞檢測	ASF 護舷材				
	ASC 繫船柱				
	ASB 擋車牆				
	ASR 起重機軌道				
	ASW 排給水設備				
	ASL 照明設施				
	ASP 油電管路				
	ASO 其他項目				
附屬設施破壞評估		$CI = 100 - 12.5 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i} =$			

附屬結構設施亦依表列項目加以檢測並進行評估。

當結構體因形式差異而有檢測表中未涵括之項目時，則填寫於其他項目中，而檢測過程中遇有實際困難或建議時，則填寫「檢測困難度及建議表」（本表依實況及檢測人員心得另表填具，並未含於檢測評估表中）。

3. 整體破壞評估

整體破壞評估(初步檢測)	$CI = 100 - 12.5 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i} =$
檢測單位：	檢測人： 檢測時間：

待檢測工作完成則依公式進行 CI 評估值計算，並依據 2.3 節中所述原則對受測結構單元或整體結構進行破壞評估。

3.2 檢測單元

港灣設施依檢測及維修作業的需要，碼頭及防波堤均應劃分若干檢測單元。而檢測單元主要以結構型式作為區分，碼頭及防波堤本身即有單元(棧橋式碼頭、沉箱式防波堤)，即以其作為檢測單元，如無則防波堤以胸牆及場鑄混凝土之伸縮縫作為單元之區分，以碼頭則以公尺為區分，每一單元以 50 公尺為原則，檢測項目如表 3-1 所示。

3.2.1 作業原則

1. 檢測人員應先熟悉各類檢查表格之填寫與應用，以及明瞭選定檢測之位置與範圍，便於現場迅速找出設施之缺點及正確描述於評估表之說明中，俾節省人力與時間。
2. 目視巡查見設施損壞部位時，應將損壞部位拍攝實況照片，可先在損壞部位以粉筆畫出其範圍，再將標準尺置於附近，同時納入攝影範圍內。損壞範圍過廣，無法清晰地納入同一鏡頭時，除應拍攝構造物全景外，其損壞部位可分段或於不同角度拍攝數幀，以了解損壞之實態。
3. 檢查構造物前應先以鋼刷等掃除工具，將構造物上之沉積物、鏽、漆斑…等予以清除；如用電子儀器檢查時，尤需清潔乾淨，增加其準確性。
4. 檢查危險構材時，檢查人員應特別注意安全；遇到強風、大浪、驟雨…等天氣情況時，應考慮檢查工作是否需照常進行或改期。

3.3 特別檢測

特別檢測由定期檢測小組進行檢測，係於颱風、地震等災害後或

船舶碰撞等人為破壞之後，以及平時巡查發現構造物及設備有異常或損毀通報時進行。針對發生情形對碼頭及防波堤設施之特定項目進行重點式的了解，配合檢測評估表，辦理檢測評估，以作為後續維護管理之依據。

3.3.1 檢測項目及評估

各型式港灣設施特別檢測項目(詳表 3-2)，依發生災害之不同進行特定項目之檢測。平時巡查發現異常時，採定期檢測相同之檢測項目。損壞評估採 D.E.R&U 評估法，主要係依據劣化構件維修的急迫程度(Urgency)作為維修對策之建議。

3.3.2 檢測單元及作業原則

檢測單元及作業原則同定期檢測。

表 3-1 定期檢測項目表

型式	檢測位置		檢測項目	備註
板樁式碼頭	岸壁結構		冠牆腐蝕、裂縫、剝落	
			板樁傾斜(法線變位)	
			板樁腐蝕、穿孔	
	岸肩		岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷	
	碼頭基礎		基礎淘刷	
棧橋式碼頭	上部結構		碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	
			格梁裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	
	基礎護坡		基礎淘刷(法線前掏刷)	
			護坡塊石破壞	
			防蝕包覆破損、脫落	
碼頭附屬設施			基樁腐蝕、變形	
	繫船柱		鬆動、剝落、腐蝕	
	防舷材		龜裂、破損	
	車擋		龜裂、破損	
	起重機軌道		移位、差異沉陷、彎曲、腐蝕	
沉箱式防波堤	上部及沉箱本體結構	陰極防蝕塊	厚度縮減(防蝕電位)	
		胸牆	剝離、龜裂	
		堤面	龜裂損傷、沉陷	
		沈箱	龜裂損傷、鋼筋外露、變位	
	水下結構	消波塊	沈陷、位移	
		沈箱	龜裂損傷	
		護基方塊	位移、散落	
		基礎海床	沖刷	

表 3-2 特別檢測項目表

型式	檢測位置		檢測項目	備註
板樁式碼頭	岸壁結構		板樁接縫開裂	地震、颱風、船舶碰撞
			冠牆腐蝕、裂縫、剝落	船舶碰撞
			板樁傾斜(法線變位)	地震、船舶碰撞
	岸肩		岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷	地震、颱風
	碼頭基礎		基礎淘刷	颱風
棧橋式碼頭	上部結構		碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
			格梁裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
	基礎護坡		基礎淘刷(法線前掏刷) 護坡塊石破壞	地震、颱風、船舶碰撞
			基樁腐蝕、變形	船舶碰撞
碼頭附屬設施	繫船柱		鬆動、剝落、腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
	防舷材		龜裂、破損	地震、颱風、船舶碰撞
	車擋		龜裂、破損	地震、颱風、船舶碰撞
	起重機軌道		移位、差異沉陷、彎曲、腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
沉箱式防波堤	上部及沉箱本體結構	胸牆	剝離、龜裂	地震、颱風、船舶碰撞
		堤面	龜裂損傷、沉陷	地震、颱風、船舶碰撞
		沉箱	龜裂損傷、鋼筋外露、變位	地震、颱風、船舶碰撞
		消波塊	沈陷、位移	地震、颱風、船舶碰撞
	水下結構	沉箱	龜裂損傷	地震、颱風、船舶碰撞
		護基方塊	位移、散落	地震、颱風、船舶碰撞
		基礎海床	沖刷	地震、颱風、船舶碰撞

第四章 碼頭結構維護工法探討

碼頭構造物的維護工法主要係依據其損壞或變形而定，經常是由多種原因所共同造成的，但從要素間的關聯性的觀點來看，大致上可做以下的區別：

1. 構造物構成要素的變形有相互關連性，一個構成要素的變形會波及其他要素，這種情形是其變形現象的進行過程，依據構造物的不同而有差異，而且變形的規模有變大的趨勢。
2. 另一種是鋼材的腐蝕、混凝土的龜裂、劣化等，這類型的變形幾乎與構造物的特性無關，主要是受到構成要素其特性的影響，此種材料的變形是相互獨立在進行，所以這類型的變形現象比較單純。

本節後續將依各型港灣構造物探討構成要素的損壞或變形之維護工法。其後則探討材料劣化的維護工法，並分節依序敘述碼頭構造物主要組成材料鋼鐵材料及鋼筋混凝土維護工法。

至於各型碼頭構造物的變形，經常是由多種原因所共同造成的，要查明結構物變形現象與其原因相當困難，因此，反映之維護工法亦較無一定。以下僅就「港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究」與高雄港務局「高雄港港灣設施維護管理手冊」整理歸納之各型碼頭構造物維護工法說明，主要分為下列三式：

4.1 沉箱式碼頭維護工法

沉箱式碼頭所受外力主要有上載荷重、背填土壓力、殘留水壓力、浮力、地震力及船舶外力等。其常見的破壞模式主要為沉箱的位移（滑動）、沉陷與傾倒，若基礎地層較軟弱時，則會發生向海側之位移、傾倒及沉陷等破壞。此外，操船不當導致船舶碰撞碼頭結構，亦會造成沉箱破裂、漏砂。

當沉箱因船舶碰撞或漂流物撞擊等外力發生破裂、漏砂的現象時，須立即進行相關的復建措施。首先須清除海生物，再以水中混凝土進行灌入破損處修補。由於早期碼頭後線多採水力回填，且無設置濾布，背填土經年累月受潮汐、波浪影響吸出，後線土壤已呈鬆散、空洞狀態，未避免持續擴大災損，沉箱間宜用水中混凝土澆製，後線面板開挖重新鋪設濾布，再進行回填夯實。

為配合沉箱式碼頭檢測評估項目，茲將可能之維護管理工法依結構位置及劣化項目，概分為水上部份及水下部份，如表 4-1 所示：

表 4-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水上部份	胸牆	龜裂損傷	輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm） 胸牆斷落	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「斷面修復工法」
		剝離與鋼筋外露	局部混凝土剝落 胸牆損傷致高度不足 混凝土剝落致鋼筋外露	「充填增厚工法」 「斷面修復工法」 「防蝕噴漿工法」
	堤面	龜裂損傷	輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm） 堤面混凝土斷裂	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「鋪面修復工法」
		沈陷	輕微不均勻沈陷（輕微積水） 明顯不均勻沈陷（嚴重積水）	「無筋頂面增厚工法」 「斷面修復工法」
		鋼筋外露	局部混凝土剝落 混凝土剝落致鋼筋外露 堤面混凝土斷裂	「充填增厚工法」 「防蝕噴漿工法」 「斷面修復工法」
	沈箱	變位	堤體變位不明顯（變位量約 < 5cm） 堤體變位明顯（變位量約量 > 5cm） 堤體嚴重變位（變位量約 > 10cm）	「沉箱間隙改善工法」 「沉箱間隙改善工法」 「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「波壓消滅工法」
		傾斜	輕微傾斜（傾斜率約< 3%） 明顯傾斜（傾斜率約 3~5%） 嚴重傾斜（傾斜率約> 5%）	「沉箱間隙改善工法」 「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「堤體重置工法」
	沈箱	龜裂損傷	堤體輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm） 堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm) 堤體混凝土斷裂	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「斷面修復工法」
		鋼筋外露	壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露 壁體剝落致鋼筋外露 堤體混凝土破洞	「充填增厚工法」 「防蝕灌漿工法」 「置換工法」 「鋼支堡工法」

表 4-1 沉箱式碼頭維護管理工法一覽表（續）

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水下部分	沈箱	龜裂損傷	堤體輕微損傷（龜裂寬度目測約<3mm， 龜裂長度目測約<5cm） 堤體明顯損傷（龜裂寬度目測約>3mm， 龜裂長度目測約>5cm） 壁體剝落致鋼筋外露 堤體混凝土斷裂(破洞)	「裂縫注入工法」 「充填增厚工法」 「防蝕灌漿工法」 「覆襯工法」 「鋼支堡工法」
	護基方塊	變位	部分發生下陷位移（變位量約<5cm） 小規模下陷位移（變位量約 5~10 cm） 大範圍下陷位移（變位量約>10 cm）	「方塊固結工法」 「重置改善工法」 「新製補強工法」
	消波塊	滑落與沈陷	部分消波塊移動或滾落 消波塊散落沈陷達一層，堤體滑動安全率 有減低之虞 消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低	「加拋改善工法」 「新製加重工法」 「加寬補強工法」
	基礎海床	沖刷	輕微沖刷（沖刷坑深度約<50cm） 大量沖刷（沖刷坑深度約 50~100cm） 嚴重沖刷（沖刷坑深度約>100cm）	「拋石護基工法」 「斷面修復工法」 「基礎加寬補強工法」

（資料來源：交通部高雄港務局）

4.1.1 水上部份維護管理工法與施作項目

4.1.1.1 胸牆維護

沉箱式防波堤之胸牆一般係以巨積混凝土澆置，並設置剪力樺與局部剪力筋，以利與場鑄混凝土結合，達到抵抗滑動與滾動之效能。因此，維護胸牆之項目可能為混凝土之龜裂損傷、剝離及鋼筋外露等兩項。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 胸牆龜裂損傷

(1)輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏝整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)胸牆斷落

A.維護工法：「斷面修復工法」

於斷落胸牆處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設胸牆，以恢復構材原有斷面。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

2. 胸牆剝離與鋼筋外露

(1)局部混凝土剝落

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(2)胸牆損傷致高度不足

A.維護工法：「斷面修復工法」

於斷落胸牆處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設胸牆，以恢復構材原有斷面高度。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

(3)混凝土剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕噴漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再以噴凝土分層噴漿，每層平均厚度不超過 1.5cm。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

4.1.1.2 堤面維護

沉箱式防波堤之堤面係由巨積場鑄混凝土澆置完成，可能面對之維護項目包括混凝土之龜裂損傷、堤面沉陷等，至於與胸牆銜接之剪力筋部分為堤面鋼筋外露之唯一可能。茲將其對應之可能工法列述如

下：

1. 堤面龜裂損傷

(1)輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏟修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏟整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)堤面混凝土斷裂

A.維護工法：「鋪面修復工法」

於堤面混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

2. 堤面沉陷

(1)輕微不均勻沉陷(輕微積水)

A.維護工法：「無筋頂面增厚工法」

於堤面不均勻沉陷處進行打毛作業，再選用優質混凝土配合接著劑進行修補增厚，以提昇堤面高程。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土部份鑿除、接著劑、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

(2)明顯不均勻沉陷(嚴重積水)

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤面明顯不均勻沉陷處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

3. 堤面鋼筋外露

(1)局部混凝土剝落

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(2)混凝土剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕噴漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於

斷裂部份切除後置換，再以噴凝土分層噴漿，每層平均厚度不超過 1.5cm。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(3)堤面混凝土斷裂

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤面混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤面原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.1.1.3 沉箱水上維護

沉箱係以鋼筋混凝土製作，一般沉箱設計間隙為 10cm，並有間樺槽設計施工斷面(濾石層或水中混凝土)，但由於沉箱施工安放之許可差規定

為，法線方向 $\pm 25\text{cm}$ ，沉箱間隙 20cm 以內，四角不均匀沉陷之差度 30cm 以內。因此，沉箱水上部份可能面對之維護項目，包括變位、傾斜、龜裂損傷及鋼筋外露等四項。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 沉箱變位

(1) 堤體變位不明顯(變位量約 $< 5\text{cm}$)

A. 維護工法：「沉箱間隙改善工法」

於拋放濾石之樺槽內補拋石料或內填水中混凝土。

B. 施工項目：

以濾石拋放或充填水中混凝土。

C. 相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2) 堤體變位明顯(變位量約 $> 5\text{cm}$)

A. 維護工法：

- a. 「沉箱間隙改善工法」：於拋放濾石之樺槽內補拋石料，或於施作水中混凝土之樺槽補作。
- b. 「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

B. 施工項目：

- a. 「沉箱間隙改善工法」：以濾石拋放或充填水中混凝土(或麻袋混凝土)。
- b. 「堤體穩固工法」：為堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)堤體嚴重變位(變位量約>10cm)

A.維護工法：

- a.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。
- b.「波壓消減工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採堤體外側加拋消波塊、新設離岸潛堤等方式消減波壓。

B.施工項目：

- a.「堤體穩固工法」：為堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。
- b.「波壓消減工法」：為基礎整平、襯墊鋪設、堤心石拋放、消波塊海拋。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03390 章、第 03439 章。

2. 沉箱傾斜

(1)輕微傾斜(傾斜率約<3%)

A.維護工法：「沉箱間隙改善工法」

於拋放濾石之樺槽內補拋石料或內填水中混凝土。

B.施工項目：

以濾石拋放或充填水中混凝土。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02319 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)明顯傾斜(傾斜率約 3~5%)

A.維護工法：「堤體穩固工法」

係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換及增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

B.施工項目：

堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)嚴重傾斜(傾斜率約>5%)

A.維護工法：

a.「堤體穩固工法」：係先進行堤體穩定分析後，可採增加堤面場鑄混凝土厚度(重量)、箱體內填料以混凝土置換或增加背填方式，以抵抗波壓作用穩固堤體安定。

b.「堤體重置工法」：係先進行堤體穩定分析，並將沉箱起浮

拖移後，若舊有沉箱尚能使用則依堤體穩固工法重新加固安放，若斷面安全不足時則需新製大斷面沉箱再行安置。

B.施工項目：

- a.「堤體穩固工法」：堤面場鑄混凝土加高、內填料混凝土置換、消波塊吊放。
- b.「堤體重置工法」：嚴重傾斜之沉箱起浮拖移、襯墊鋪設、堤心石拋放、基礎整平、沉箱製作、沉箱安放、護基方塊吊放、消波塊吊放。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02395 章、第 03390 章、第 03439 章。

3. 沉箱龜裂損傷

(1)堤體輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、鏝整小工。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)堤體混凝土斷裂

A.維護工法：「斷面修復工法」

於堤體混凝土斷裂處進行鑿除作業，再選用優質材料修補或新設，以恢復堤體原有構材。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、模版組立及混凝土澆置。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4. 沉箱鋼筋外露

(1)壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露

A.維護工法：「充填增厚工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除破損混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，再以接著劑粘著新舊混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、接著劑(樹脂或水泥砂漿)、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(2)壁體剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕灌漿工法」

於混凝土剝落處以高壓水柱去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再封模澆築混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋除鏽(置換)、速凝劑、噴凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(3)堤體混凝土破洞

A.維護工法：

a.「置換工法」：係於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除後，檢

試沉箱孔中淘空情形，拋放卵石填充，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，或於斷裂部份切除後置換，再封模澆築場鑄混凝土。

- b. 「鋼支堡工法」：係於堤體破損區內部設置縱橫 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模後澆鑄混凝土，藉以提昇恢復支承機能與安定結構剛性耐力。

B. 施工項目：

- a. 「置換工法」：以混凝土鑿除、卵石充填、鋼筋除鏽或置換、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、混凝土澆鑄。
- b. 「鋼支堡工法」：採混凝土鑿除、鋼筋除鏽或置換 H 型鋼肋、錨栓施作、覆襯外部鋼模、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、混凝土澆鑄。

C. 相關規範：

- a. 公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02353 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。
- b. 公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02354 章、第 02422 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.1.2 水下部份維護管理工法與施作項目

4.1.2.1 沉箱水下維護

沉箱水下部份之維護項目以探討龜裂損傷為主。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 沉箱龜裂損傷

- (1) 堤體輕微損傷(龜裂寬度目測約<3mm，龜裂長度目測約<5cm)

A.維護工法：「裂縫注入工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂填塞裂縫。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥漿、低粘滯性樹脂、速凝劑、潛水攪拌器。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

(2)堤體明顯損傷(龜裂寬度目測約>3mm，龜裂長度目測約>5cm)

A.維護工法：「充填增厚工法」

於裂縫、蜂巢、空隙損傷處，以小型破碎機去除破損混凝土及打毛後，再以接著劑粘著新舊混凝土，達到充填增厚效果。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土局部鑿除、速凝劑、潛水攪拌器。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

(3)壁體剝落致鋼筋外露

A.維護工法：「防蝕灌漿工法」

於混凝土剝落處去除剝離浮鬆之混凝土後，並以小型破碎機打毛損傷處，至於鋼筋銹蝕斷裂部分予以切除，再植筋電焊置換後，封模施作水中混凝土。

B.施工項目：

波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、混凝土鑿除、鋼筋切除、水下植筋電焊、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03360 章、第 03372 章、第 03390 章。

(4)堤體混凝土斷裂(破洞)

A.維護工法：

- a.「覆襯工法」：係水下攝影破洞情形後，於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除後，檢試沉箱孔中淘空情形，拋放卵石填充，至於鋼筋銹蝕部份予以除鏽，並於斷裂部份切除後置換，再以鋼模覆襯、壁虎錨定及鋼纜拉焊後澆築水中混凝土。
- b.「鋼支堡工法」：係水下攝影破洞情形後，於堤體混凝土破洞處進行局部鑿除，再檢試沉箱孔中淘空情形，堤體破損區內部設置縱橫 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模錨碇後以特密管施作水中混凝土，藉以提昇恢復支承機能與安定結構剛性耐力。

B.施工項目：

- a.「覆襯工法」：為水下攝影、混凝土鑿除(潛水俠作業)、卵石填充、鋼筋除鏽或置換、鋼模錨碇、鋼纜拉焊、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。
- b.「鋼支堡工法」：為水下攝影、混凝土鑿除(潛水俠作業)、鋼筋切除、置換 H 型鋼肋、覆襯外部鋼模、壁虎錨栓施作、鋼纜拉焊、波特蘭Ⅱ型抗硫水泥、速凝劑、水中混凝土(特密管)施作。

C.相關規範：

a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02353 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02354 章、第 02422 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.1.2.2 護基方塊維護

護基方塊為混凝土製作，主要功能為保護沉箱底趾免於淘刷，一般施工規定連接下一座沉箱側面進出偏差 5cm 以內。因此，可能面對之主要危害項目為變位。茲將其對應之可能工法列述如下：

1. 護基方塊變位

(1)部分發生下陷位移(變位量約<5cm)

A.維護工法：「方塊固結工法」

於局部下陷位移區以水中混凝土進行護基方塊固結作業。

B.施工項目：

水下攝影、水中混凝土施作。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02357 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03310 章。

(2)小規模下陷位移(變位量約 5~10cm)

A.維護工法：「重置改善工法」

先以水下攝影確認下陷區位與規模，於吊移護基方塊後進

行堤心石加拋整平作業，再將原有護基方塊重置排整。

B.施工項目：

水下攝影、護基方塊吊移、堤心石加拋整平、護基方塊水下重置排整。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章。

(3)大範圍下陷位移(變位量約>10cm)

A.維護工法：「新製補強工法」

進行護基方塊安定性分析，並以水下攝影確認下陷區位與規模，於吊移護基方塊後進行堤心石加拋整平作業，新製護基方塊再水下排整施作。

B.施工項目：

水下攝影、原有護基方塊吊移、堤心石加拋整平、護基方塊澆製、護基方塊水下排整。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

4.1.2.3 消波塊維護

消波塊一般為巨積混凝土製作，主要功能為保護沉箱前趾免於淘刷。因此，可能面對之主要危害項目為滑落與沉陷。茲將其對應之可能工法列述如下：

1.消波塊滑落與沉陷

(1)部分消波塊移動或滾落

A.維護工法：「加拋改善工法」

先以水下攝影確認移動或滾落區位與規模，再進行消波塊加拋改善作業，以恢復原狀。

B.施工項目：

水下攝影勘測、加製原有消波塊、消波塊吊拋。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(2)消波塊散落沉陷達一層，堤體滑動安全率有減低之虞

A.維護工法：「新製加重工法」

先分析消波塊安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，於新製加重之消波塊後再進行消波塊補強作業。

B.施工項目：

水下攝影勘測、消波塊新製、消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

(3)消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低

A.維護工法：「加寬補強工法」

先分析消波塊安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規

模，再新製消波塊後於加大基礎寬度與拋放層數，後進行消波塊補強作業。

B.施工項目：

水下攝影勘測、襯墊鋪設、堤心石加寬拋放、消波塊新製、消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

4.1.2.4 基礎海床維護

由於沉箱式防波堤為剛性結構，設置於沙質海床上主要面臨基礎沖刷之風險，因此，有關之維護管理工法列述如下：

1. 基礎海床沖刷

(1)輕微沖刷(沖刷坑深度約<50cm)

A.維護工法：「拋石護基工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基。

B.施工項目：

水深地形勘測、卵塊石拋放。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章。

(2)大量沖刷(沖刷坑深度約 50~100cm)

A.維護工法：

- a.「斷面修復工法」：先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再分析波潮流現況後，以恢復原斷面為原則，進行沖刷防護措施。
- b.「濾層重置工法」：為防止海沙之吸出，必須設置濾層，若原設計之濾層已喪失功能(包括濾布老化破損、施工不確實或原設計未考量)，則必須加以重置，其補強方式應考量現場之海象條件，以高雄地區之海流狀況而言，流速並不強，故應選擇海象良好之季節(波浪小)進行濾布之重鋪。

B.施工項目：

- a.「斷面修復工法」：水深地形勘測、襯墊鋪設、堤心石拋放、護基方塊及消波塊新製、護基方塊及消波塊吊拋。
- b.「濾層重置工法」：可採用地工砂袋入填礫石拋放於堤腳區域，礫石之粒徑必須符合海沙不致透過之濾層設計標準，地工砂袋可採用 1~2 方之大小，以海拋船拖放，厚度至少 2 層，而砂袋上方再設置足夠重量之護面混凝土塊(為減少工程費，現地堤腳之消波塊或較大之塊石必須先行吊移後再利用)，圓型沉箱間隙，亦採用地工織物袋內填水中混凝土，並於尚未凝固前放設之沉箱間隙。

C.相關規範：

- a.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。
- b.公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章。

(3)嚴重沖刷(沖刷坑深度約>100cm)

A.維護工法：「基礎加寬補強工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再分析波潮流現況及消波塊安定性，以加寬補強基礎承載為原則，進行沖刷防護措施。

B.施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、堤心石加寬拋放、護基方塊及消波塊新製、護基方塊及消波塊吊拋補強。

C.相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03390 章、第 03439 章。

4.2 板樁式碼頭

板樁式碼頭的破壞主要受地震力、船舶外力、材料劣化及其他外力作用。而其主要破壞模式為地震力作用引起板樁開裂、拉桿破壞、或錨碇設施失去作用；材料劣化致使板樁開裂、拉桿應力降伏，或是錨碇設施斷裂；此外，操船不當而導致船舶撞擊碼頭，亦會造成板樁開裂、漏砂。前述之破壞模式皆會導致碼頭向海側傾斜或位移，最後使得岸肩產生下陷及傾斜。

板樁式碼頭的基樁，有混凝土板樁與鋼板樁兩類。混凝土板樁多用於早期之淺水漁港，因使用年限，遇強烈地震破壞時一般多拆除另以他型建造。鋼板樁碼頭可用於較深水域，單層時其後側採強力之個體基樁與拉索（或拉桿），雙層時以拉桿接合、中填砂石、頂層 R.C 碼頭面，多於砂土海床打設，亦具柔性，於地震時少災損，若災損嚴重則龜裂、變形與漏砂，須拆除重建。若為一般災損之局部龜裂，可以

水中電焊補救，其漏砂重填，嚴重時多以灌漿處理。

依據檢測項目及劣化程度，將可能之維護管理工法依結構位置分為岸壁結構、岸肩及碼頭基礎三部份，如表 4-2 所示，並分項探討如次：

表 4-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
岸壁結構	板樁接縫開裂	有輕微開裂（長度約達 30cm 以下） 有明顯開裂（長度約達 30~50cm） 明顯嚴重開裂（長度約達 50cm 以上）	新增鋼板焊補法 新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法 新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法+陸側減壓工法、鋼板樁一體化工法
	板樁腐蝕、穿孔	板樁局部區域有生鏽呈點狀膨脹。表層塗料的剝落龜裂呈點狀。（缺陷面積率約 0.1% 以下） 相當大的生鏽成呈點狀膨脹（缺陷面積率約 0.1% 以上 0.3% 以下）、有局部小型穿孔現象 被認為有大範圍的生鏽與膨脹（缺陷面積率約 0.3% 以上）、鋼板樁表面穿孔擴大且有漏砂現象	水中硬化環氧樹脂塗附法 新增鋼板焊補法+鋁合金陽極塊防蝕法 前端新設結構工法
	冠牆腐蝕、裂縫、剝落	局部可見到 2、3 個部位有裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、剝落、鏽水 可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、混凝土鬆動、剝落多（在 1 小區域面積的 4 成以下）、局部可見較多鏽水、鋼筋露出但未見腐蝕 混凝土裂縫擴散到整個冠牆、混凝土多處鬆動、剝落嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）、鋼筋已露出且已腐蝕、可見鏽水顯著	裂縫注射工法 填充工法 斷面修復工法
	法線變位	法線輕微變位（目視變位約 0.2 以下） 法線明顯變位（碼頭水深未達 -7.5m 目視約 0.2~0.3m，碼頭水深 -7.5m 以上目視約 0.2~0.5m） 法線嚴重變位（碼頭水深未達 -7.5m 目視約 0.3m 以上，碼頭水深 -7.5m 以上目視約 0.5m 以上）	- 陸側減壓工法、降低板樁應力法、液化防制工法 前端新設結構工法、減壓版工法
	板樁傾斜	輕微傾斜（ $1\% < \text{傾斜度} \leq 3\%$ ） 明顯傾斜（ $3\% < \text{傾斜度} \leq 5\%$ ） 嚴重傾斜（傾斜度 $> 5\%$ ）	- 陸側減壓工法、降低板樁應力法、液化防制工法 前端新設結構工法、減壓版工法

表 4-2 板樁式碼頭維護管理工法一覽表（續）

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
岸肩	岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷	鋪面產生輕微龜裂 岸肩輕微下陷、鋪面產生明顯龜裂 岸肩明顯下陷、鋪面產生嚴重龜裂	混凝土面層修補法、瀝青面層修復法 回填料填補壓實法 回填料填補壓實法
碼頭基礎	基礎淘刷	基礎輕微淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 30~50cm） 基礎明顯淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 50~100cm） 基礎嚴重淘刷（板樁前 1/2 船寬範圍內有沖刷坑深度約 100cm 以上）	拋石護基工法、濾層工法 拋放麻袋混凝土法 新增護基方塊法

（資料來源：交通部高雄港務局）

4.2.1 岸壁結構維護管理工法及施作項目

4.2.1.1 板樁接縫開裂

板樁接縫開裂原因主要為外力(船舶撞擊、地震、常時間超載使用等)所造成，開裂後一般皆採用鋼板補強修復，板樁陸側後線背填土需視情況予以減壓措施。現依開裂受損之三種程度說明處理方式。

1. 輕微開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法」

一般處理方法為裂縫周圍鋼板表面處理後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置，並於補焊鋼板表面塗裝水中硬化環氧樹脂。

(2)施工項目：

潛水俠清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

2. 明顯開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法」

先於開裂處之陸側進行開挖，預防開挖過程中產生土石崩塌危及人員及碼頭設施，於開挖工作進行前陸側需先行打設擋土板樁，開挖工作進行中避免損及高耐索(或拉桿)及碼頭其他相關設施或臨時支撐。海側於裂縫周圍鋼板表面處理後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置，並於補焊鋼板表面塗裝水中硬化環氧樹脂。陸側方亦可視需求加封一層鋼板，並於開裂處之陸側搭模打設水中混凝土。待混凝土完成養護後以原來開挖起之級配料運回進行填補壓實，最後進行基底層及碼頭面層鋪設。

(2)施工項目：

擋土板樁打設、開挖土石方、潛水俠清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂、水中混凝土打設、級配填補壓實、碼頭面層鋪設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02463 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章、第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

3. 明顯嚴重開裂

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+陸側水中混凝土填補法+陸側減壓工法」

處理方法大致同「陸側水中混凝土填補法」，並於施工中在

陸側打設減壓設施，相關陸側減壓工法可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例 (如圖 4.1 所示)。

(2)施工項目：

擋土板樁打設、開挖土石方、潛水俠清除海生物、水下電銲焊補鋼板樁、分層塗裝水中硬化環氧樹脂、減壓設施施作、水中混凝土打設、級配填補壓實、碼頭面層鋪設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02463 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章、第 05091 章、第 05125 章，以及『一般鋼料銲接』、『水中硬化劑塗裝工程』(詳附錄二)。

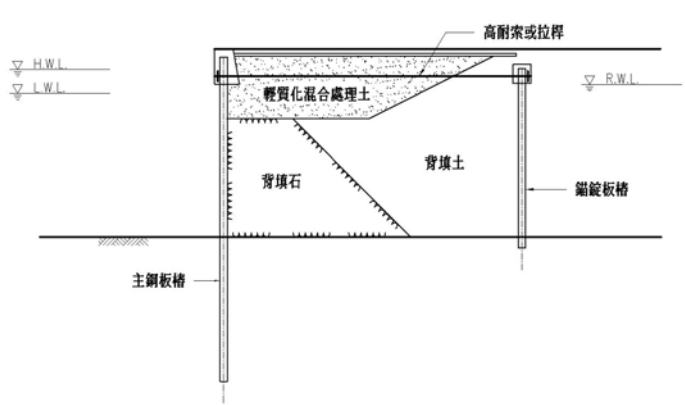
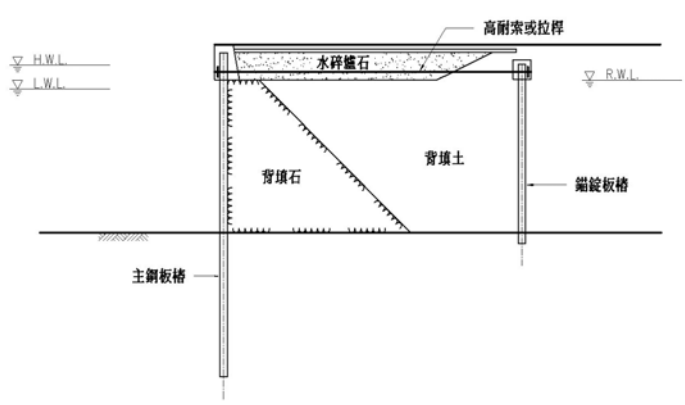
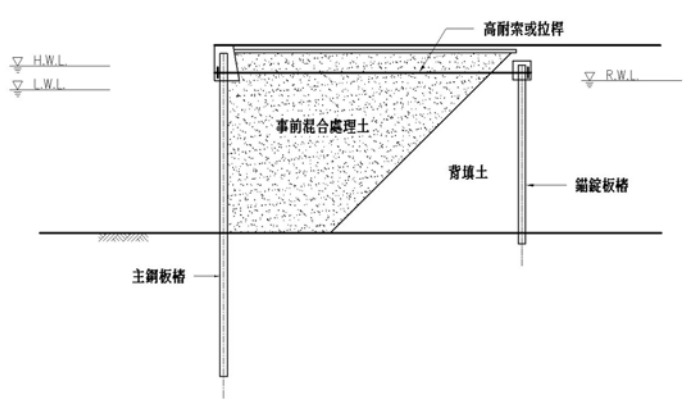
Y A 2	背填料減輕置換工法
工法概要	移除回填石料,改以輕質化混合處理土回填,降低土壓
	
Y A 3	水碎礮石置換工法
工法概要	背填石料部分以水碎礮石替代,降低土壓
	
Y A 4	事前混合處理土置換工法
工法概要	背填石料部分以事前混合處理土置換,降低土壓
	

圖 4.1 陸側減壓工法

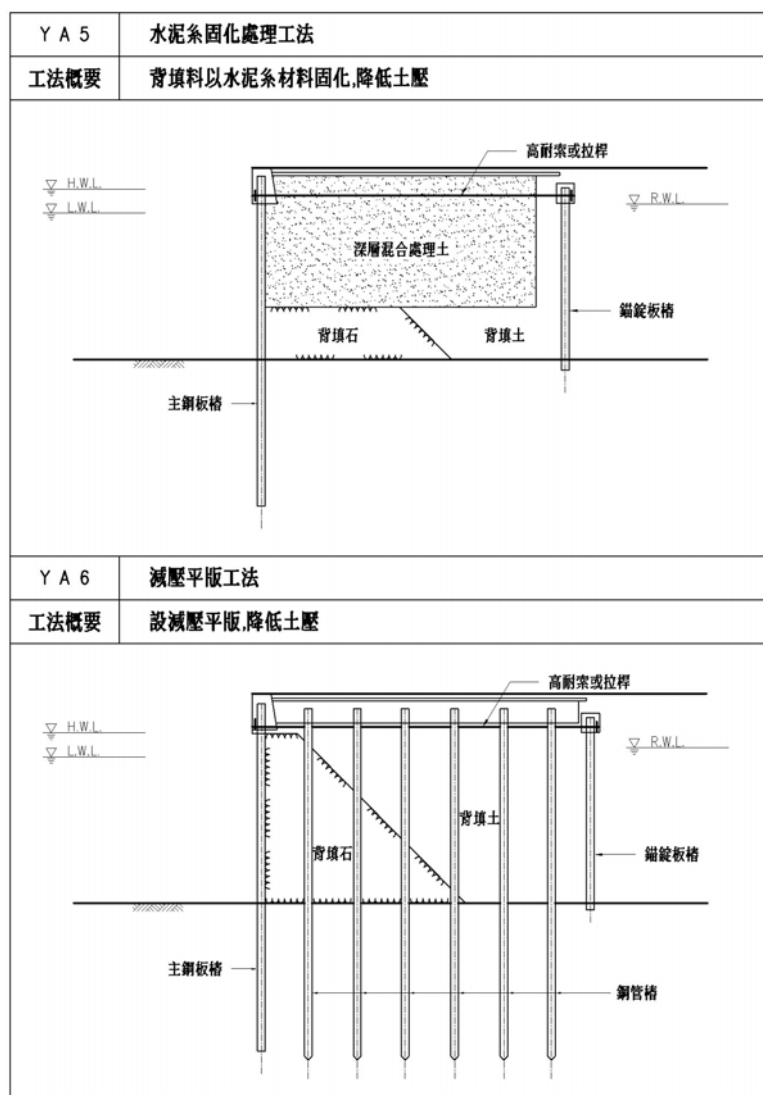


圖 4.2 陸側減壓工法(續)

4.2.1.2 板樁腐蝕、穿孔

1. 小型的生鏽呈點狀膨脹、表層塗料的剝落龜裂呈點狀

(1)維護工法：「水中硬化環氧樹脂塗附法」

一般處理方法為刮除鏽點及海生物後，鏽蝕位置分層塗附水中硬化環氧樹脂，阻絕持續腐蝕因子。

(2)施工項目：

板樁表面處理、水中硬化環氧樹脂塗裝。

(3)相關規範：

水中硬化劑塗裝工程(詳附錄二)。

2. 局部區域生鏽呈點狀膨脹、有小型穿孔現象

(1)維護工法：「新增鋼板焊補法+鋁合金陽極塊防蝕法」

一般處理方法為刮除腐蝕區鏽點及海生物後，以水下電焊將新增之鋼板焊補於穿孔或劣化之鋼板樁位置(如圖 4.3 所示)，並於補焊鋼板表面分層塗裝水中硬化環氧樹脂，並增加鋁合金陽極塊增加防蝕效果。

(2)施工項目：

板樁表面處理、水下電銲焊補鋼板樁、水中硬化環氧樹脂塗裝、鋁合金陽極塊增設。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02392 章、第 05091 章，以及一般鋼料銲接(詳附錄二)。

3. 大範圍的生鏽與膨脹、鋼板樁表面穿孔擴大且有漏砂現象

鋼板樁大範圍的生鏽破損且穿孔，穿孔造成之漏砂現象將造成後線岸肩下陷等情形(岸肩下陷修補將由另外章節探討)。此時，由於鋼板樁鏽蝕，整體碼頭結構可能已出現影響，應先停止碼頭作業，並辦理專案檢測，委外(或自辦)量測板樁已腐蝕之厚度，並委外進行碼頭補強或大幅度修補之設計，再發包施工。主結構體之修補可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例，可採前端新設結構工法(如圖 4.4 所示)。

(1)維護工法：「新設結構工法」、「減壓版工法」

因前端新設結構物工法將造成原法線前移。在每一個港灣設施之情況不同下，可採用的方法不僅無統一之標準，且可選擇性非常多樣化，需視碼頭之情形而定。建議應請顧問公司或學者專家依最新規範及檢測結果評估該碼頭適用性及補強設計。如無法新設結構物，可採用減壓版工法，詳圖 4.6。減壓版工法係於胸牆後側適當深度設置一減壓混凝土版構造以降低版樁之主動土壓，可防止版樁繼續傾斜變位。

(2)施工項目：

需視採用之工法而定。減壓版工法需先開挖後再設置混凝土版構造物，必要時下方需打樁，施工時需留意不得損及高耐索，打設完成後再回填鋪面材料。

(3)相關規範：

需視採用之工法而定。

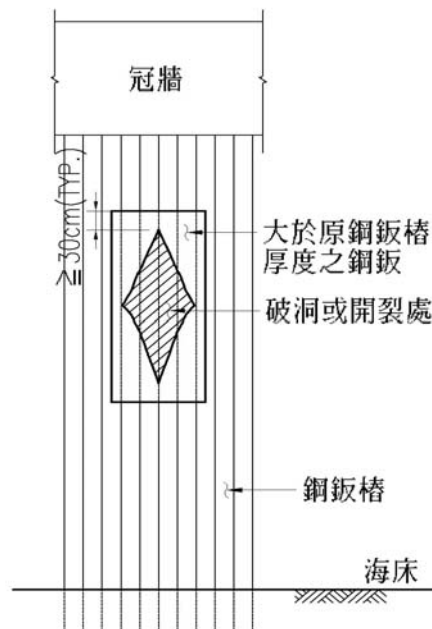


圖 4.3 新增鋼板焊補法示意圖

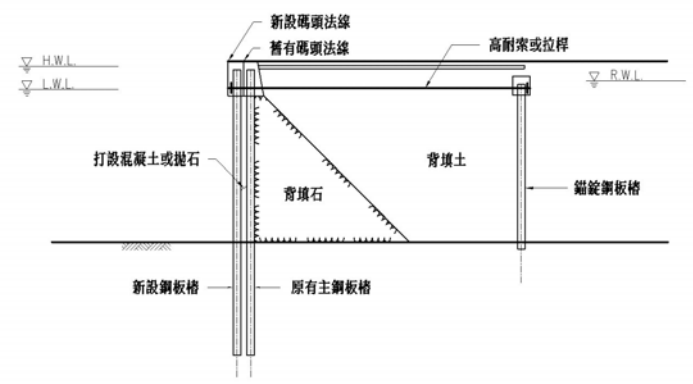
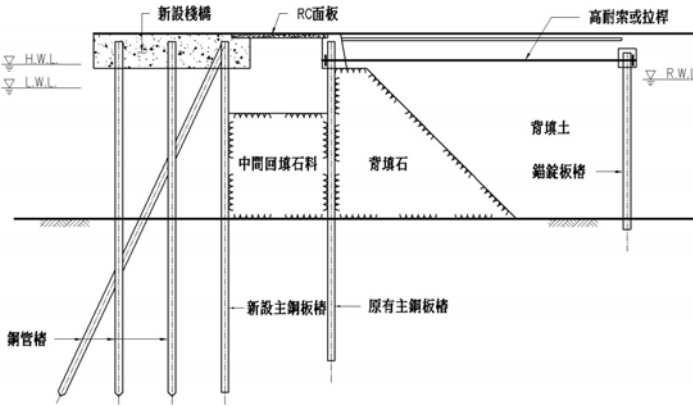
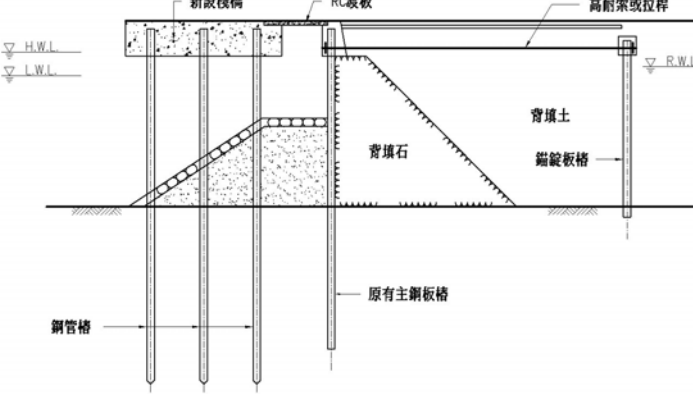
Y D 1	新設鋼板樁一體化工法
工法概要	原板樁前加設鋼板樁成一體化結構
	
Y E 1	新設棧橋碼頭工法
工法概要	新設棧橋碼頭及擋土版樁
	
Y E 2	新設棧橋碼頭工法(沒有擋土版樁)
工法概要	新設棧橋碼頭
	

圖 4.4 前端新設結構工法

Y E 3	雙重鋼板樁工法
工法概要	碼頭前設鋼板樁，並利用原鋼板樁錨碇
Y F 1	桁架(Jacket)式工法
工法概要	碼頭前方新設桁架(Jacket)式結構

圖 4.5 前端新設結構工法(續)

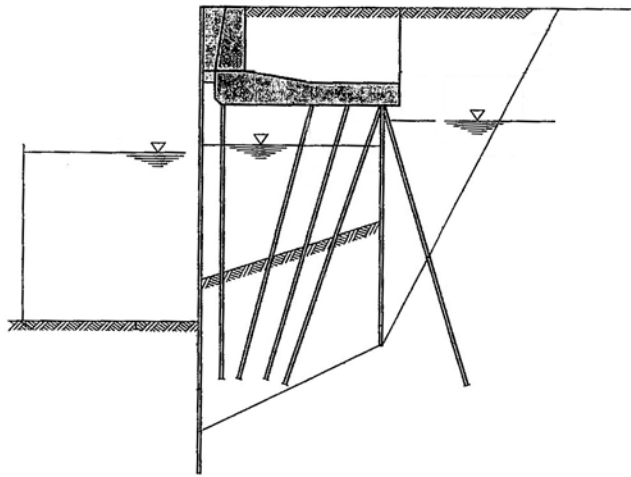


圖 4.6 減壓版工法

4.2.1.3 冠牆腐蝕、裂縫、剝落

1. 冠牆混凝土產生局部裂縫

(1)維護工法：「裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏝修整補。

(2)施工項目：

表面清洗、低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填縫、表面鏝整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03601 章。

2. 冠牆混凝土產生局部開裂或鬆動

(1)維護工法：「填充工法」

將混凝土開裂或鬆動部分敲除，並以高壓空氣或水將混凝土表面確實清洗乾淨，塗敷接著劑，再以樹脂砂漿填補並抹平

(2)施工項目：

混凝土鑿除、表面清洗、樹脂砂漿填補、表面鏟整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03052 章、第 03150 章、第 03350 章、第 03372 章、第 03601 章。

3. 冠牆混凝土多處裂縫、鏽水及剝落較多

(1)維護工法：「斷面修復工法」

將損壞之混凝土構件需敲除後，並清洗舊有混凝土表面並組模，再依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件。

(2)施工項目：

混凝土鑿除、表面清洗、模版組立、鋼筋植入、混凝土澆置、表面鏟整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章、第 03360 章、第 03390 章。

4.2.1.4 法線變位

法線變位原因主要為外力(船舶撞擊、地震等)所造成，產生錨碇板移動、錨碇板樁鬆垮、板樁鬆垮、板樁龜裂等情形，才有碼頭法線變位發生。故於檢測發現法線變位情形，應先釐清原因。而倘按時進行檢測，則藉由其他檢測先行確定是否為板樁龜裂或板樁材料劣化影響，該二項之維護工法已於先前章節說明，在此不再贅述。因其餘均屬板樁、拉桿(高耐索)及錨碇板之系統問題，以下即針對此板樁系統說明維護處理方式。

1.法線明顯變位：「陸側減壓工法」如 4.2.1.2 之說明；以下說明降低板樁應力法及地盤改良工法。

(1)維護工法：

- A.「降低板樁應力法」：依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例(如圖 4.7 所示)，以新增地錨或拉桿(高耐索)及錨碇板之方式，降低原板樁系統承受之應力。
- B.「液化防制工法」：常用且可行之工法如下：擠壓砂樁工法、礫石樁工法、土壤置換工法、降低地下水位工法、動力夯實壓密工法、深層振動工法、淺層振動工法、震爆工法、深層攪拌工法、特殊石灰樁工法、事前混合處理工法…等，惟須考量板樁碼頭之特性。以下以事前混合處理工法為例，該工法係將水泥系之改良材料加入回填用之砂土中，先行拌合後再予以回填。此一做法乃利用沒有液化顧慮之人工材料進行回填之工法，故施工後不須再採取其他之液化防治對策。

(2)施工項目：

- A.「降低板樁應力法」：需視採用之工法而定。
- B.「液化防制工法」：土石方開挖、改良材拌合、背填料回填壓實、碼頭面層鋪設。

(3)相關規範：

- A.需視採用之工法而定。

Y C 1	二段拉桿工法
工法概要	新設拉桿以降低鋼板樁斷面應力
Y C 2	地錨工法
工法概要	新設地錨(水中設置)以降低鋼板樁斷面應力

圖 4.7 降低板樁應力法

B. 公共工程施工綱要規範第 02240 章、第 02316 章、第 02317 章、第 02341 章、第 02357 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章、第 03110 章。「液化防制工法」：土石方開挖、改良材拌合、背填料回填壓實、碼頭

面層鋪設。

2. 法線嚴重變位：「前端新設結構工法」如 4.2.1.2 之說明。
3. 板樁傾斜：板樁傾斜與法線變位大抵相同，法線變位因其為水上檢測項目，可以簡便得知板樁上方之傾斜情形。

4.2.2 岸肩維護管理工法及施作項目

4.2.2.1 岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷

造成岸肩鋪面龜裂、岸肩下陷原因除板樁龜裂造成回填料流失、碼頭上方外力(颱風波浪、上部長時間超載使用)造成鋪面龜裂之外，即屬回填料因自然沉陷壓密及地震造成下陷之情形。板樁龜裂已於先前章節說明，在此不再贅述。因上方外力造成鋪面龜裂，因無岸肩下陷之發生，可採混凝土面層修補法即可。而回填土之壓密沉陷(自然或地震)提出維護說明。

1. 鋪面輕微開裂

(1)維護工法：

- A. 「瀝青面層修補法」：先以刨除機械刨除滑動、不正常鬆裂面層部份，刨路機若無法施工時可應改用人工清除，刨除後用壓力瀝青撒佈機或手壓瀝青撒佈器，將瀝青透層或黏層材料，均勻澆置於刨除後之路面上，再以鋪裝機鋪設地瀝青混合料，最後以壓路機進行滾壓。瀝青混凝土宜分層鋪築與滾壓。滾壓時，應使整段路面得到均勻之壓實度。
- B. 「混凝土面層修補法」：原混凝土面層受損面層部份以油壓式破碎機或人工破除，破除時應儘量不損壞原設計鋼筋，破除後破除面應清潔乾淨。接著補放鋼筋於鋪面受損區域後，澆置原設計強度以上之混凝土。最後需將澆置之混凝土表面與周圍混凝土抹平。

(2)施工項目：

- A.「瀝青面層修補法」：受損瀝青面層刨除、瀝青透層或黏層材料澆置、瀝青混凝土分層鋪築與滾壓。
- B.「混凝土面層修補法」：受損混凝土破除、破除面清潔、鋼筋排放、混凝土面層鋪設、表面鏟整。

(3)相關規範：

- A.公共工程施工綱要規範第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章。
- B.公共工程施工綱要規範第 03210 章、第 03310 章、第 03350 章、第 03390 章。

2. 岸肩輕微下陷、鋪面明顯開裂

(1)維護工法：「回填料填補壓實法」

挖除原鋪面及基底層，並壓實下層回填砂後，重新鋪基底層及鋪面。

(2)施工項目：

下陷區域混凝土挖除、回填料填補壓實、基底層鋪設、混凝土面層鋪設、表面鏟整。

(3)相關規範：

- A.瀝青面層相關規範為公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02722 章、第 02726 章、第 02742 章、第 02745 章、第 02747 章。
- B.混凝土面層則為公共工程施工綱要規範第 02316 章、第 02317 章、第 02722 章、第 02726 章、第 03210 章、第 03310 章、第 03350 章、第 03390 章。

3. 岸肩明顯下陷、鋪面嚴重開裂：倘無伴隨其他板樁龜裂、傾斜之情形，仍以「回填料填補壓實法」維護。

4.2.3 碼頭基礎維護管理工法及施作項目

4.2.3.1 基礎掏刷

1. 輕微沖刷(沖刷坑深度約<50cm)

(1)維護工法：「拋石護基工法」

A.「拋石護基工法」：先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基，如圖 4.8 所示。

B.「濾層工法」：為防止海沙之吸出，必須設置濾層，以地工砂袋裝填礫石後，再拋放以護基。礫石之粒徑必須符合海沙不致透過之濾層設計標準，地工砂袋可採用 1~2 方之大小。

(2)施工項目：

A.「拋石護基工法」：水深地形勘測、卵塊石拋放。

B.「濾層工法」：水深地形勘測、地工砂袋填充礫石、地工砂袋拋放。

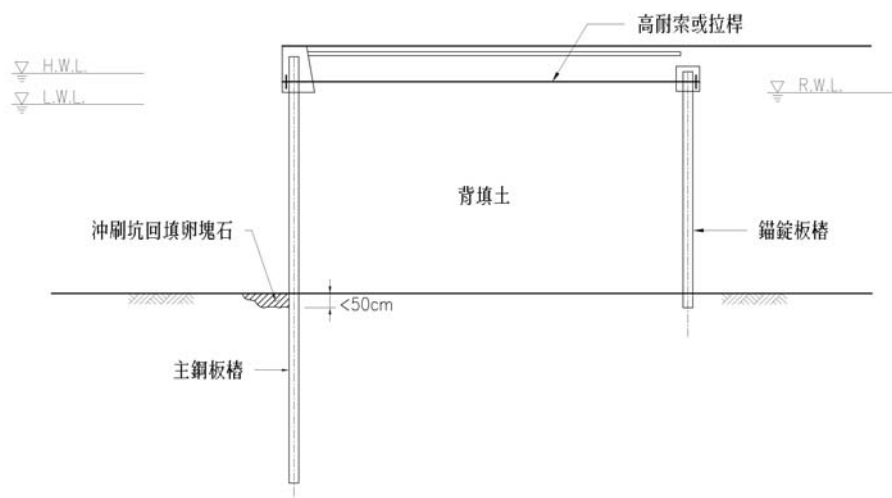


圖 4.8 拋石護基工法示意圖

(3)相關規範：

A.「拋石護基工法」：公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

B.「濾層工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 03050 章、第 03052 章、第 03110 章、第 03150 章、第 03310 章。

2.大量沖刷(沖刷坑深度約 50~100cm)

(1)維護工法：「拋放麻袋混凝土法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行麻袋混凝土拋放之沖刷防護措施，如圖 4.9 所示。

(2)施工項目：

水深地形勘測、麻袋混凝土拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3.嚴重沖刷(沖刷坑深度約>100cm)：

(1)維護工法：「新增護基方塊法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行新增護基方塊之沖刷防護措施，如圖 4.10 所示。

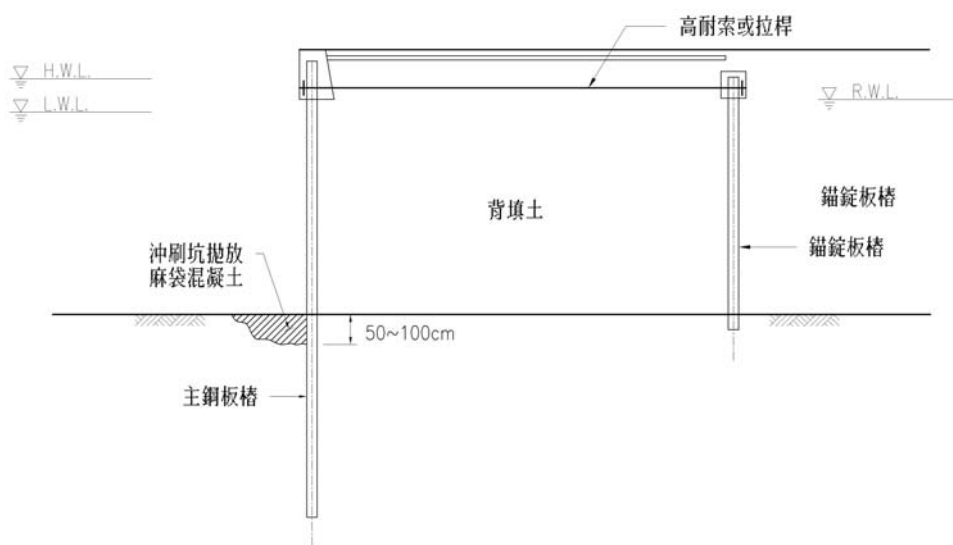


圖 4.9 拋放麻袋混凝土法示意圖

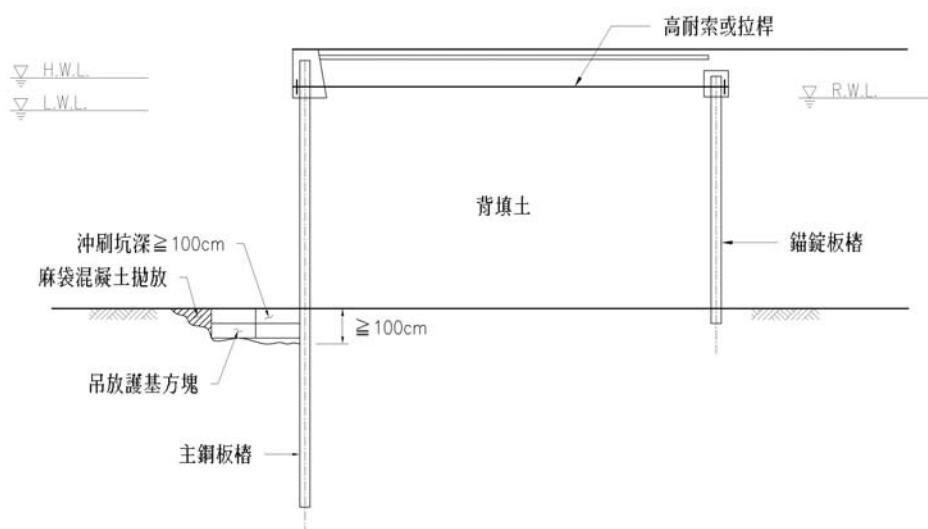


圖 4.10 新增護基方塊法示意圖

(2)施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、卵塊石拋放、護基方塊新製、護基方塊吊拋。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章。

4.3 棧橋式碼頭

棧橋式碼頭的破壞主要是受到地震力、船舶外力或其他外力之作用。其破壞模式主要為：地震太強烈使結構本身無法抵抗施加於其上之慣性力及其他土、水壓力之作用，造成基樁及碼頭面板破壞，或因背填土液化使得擋土設施向海側移動，導致基樁彎矩過大，形成塑性鉸，亦可能因地基含有較軟土層，在地震中發生位移導致基樁破壞。此外，地震發生後所產生之土壤液化，或船舶推進器對基礎土壤長期的淘刷，引致背填土向海側流失，將間接造成結構體的彎曲、斷裂、傾斜及下陷。

依據檢測項目及劣化程度，將可能之維護管理工法依檢測項目分為基礎掏刷、護坡破壞、法線變位三部份，如表 4-3 所示，並分項探討如次：

表 4-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
上部結構	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	表面處理工法 FRP 接合工法、脫鹽工法 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、混凝土剝落 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在 1 小區域面積的 4 成以下） 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）	裂縫注射工法 FRP 接合工法、電氣防蝕工法 斷面修復工法、預力工法
基礎、護坡	基礎淘刷	基礎輕微淘刷（沖刷坑深度約 50cm 以下） 基礎明顯淘刷（沖刷坑深度約 50~100cm） 基礎嚴重淘刷（沖刷坑深度約 100cm 以上）	拋石護基工法 拋放麻袋混凝土法 新增護基方塊法
	護坡破壞	護坡塊石輕微受損（破壞率約 5% 以下） 護坡塊石明顯受損（破壞率約 5%~20%） 護坡塊石嚴重受損（破壞率約 20% 以上）	加拋改善法 塊石加重法 加重加厚法
	法線變位	法線明顯變位（目視約 0.2~0.3m） 法線嚴重變位（目視約 0.3m 以上）	陸側減壓工法+增打基樁法、液化防制工法+增打基樁法 前端新設結構工法+陸側減壓工法
	防蝕包覆破損、脫落	防蝕包覆破損 防蝕包覆脫落	防蝕包覆修補法 防蝕包覆重鋪法
	基樁腐蝕及變形	基樁局部區域有鏽蝕集中 帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔現象 連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁可目視出非原設計之嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象	水中硬化環氧樹脂塗附法 鉚釘打設工法、鈦合金被覆工法 基樁斷面增強工法及增打基樁工法
	PC 或 RC 樁基樁破損及變形		

（資料來源：交通部高雄港務局）

表 4-3 棧橋式碼頭維護管理工法一覽表

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
基礎、護坡	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	表面處理工法 FRP 接合工法、脫鹽工法 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫（裂縫寬度約 1mm 以下）、混凝土剝落 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約 3mm 以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在 1 小區域面積的 4 成以下） 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在 1 小區域面積的 4 成以上）	裂縫注射工法 FRP 接合工法、電氣防蝕工法 斷面修復工法、預力工法

4.3.1 上部結構維護管理工法及施作項目

4.3.1.1 碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位有龜裂

(1)維護工法：「表面處理工法」

塗刷砂漿、塗料或類似環氧樹脂等化學藥品於龜裂表層以塗封龜裂，以防止進一步之惡化而導致缺陷產生。

(2)施工項目：

環氧樹脂塗敷。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 09961 章。

2. 混凝土數個部位有龜裂、鋼筋露出未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷

(1)維護工法：

- A. 「FRP 接合法」：混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材(如圖 4.11 所示)。

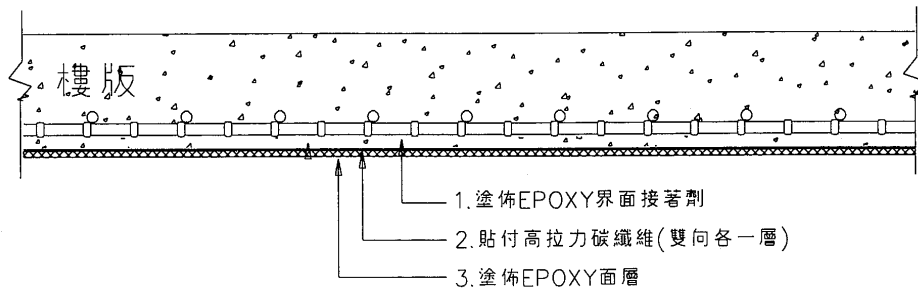


圖 4.11 「FRP 接合法」示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B. 「脫鹽工法」：係於混凝土外設置外部電極，使其與電源正極連接。混凝土內鋼筋則與電源負極連接，其間通入較大電流，密度約為 $1A/m^2$ ，通電期間約 1~2 個月，藉電化學將混凝土中之氯離子移出混凝土外而達到保護鋼筋之目的，其裝置示如圖 4.12。

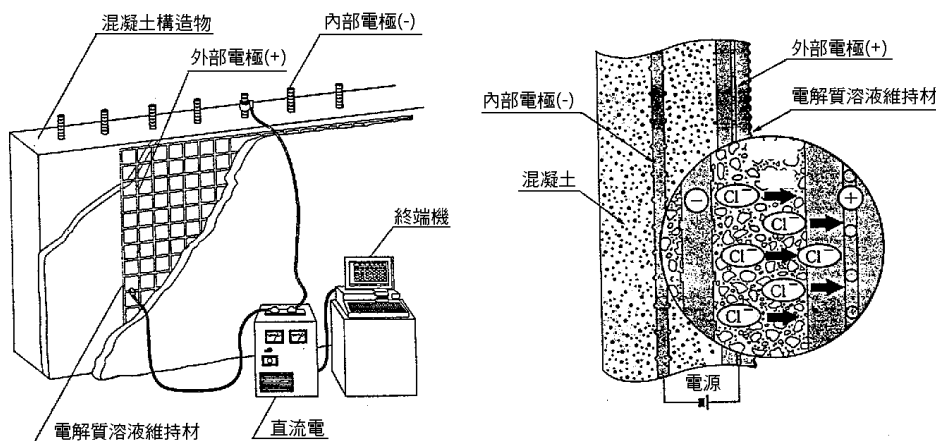


圖 4.12 「脫鹽工法」示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

(2)施工項目：

- A. 「FRP 接合法」：表面清洗、塗敷接著劑、纖維強化複合材料黏貼、塗敷面層。
- B. 「脫鹽工法」：連接電源、通電。

(3)相關規範：

- A. 「FRP 接合法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。
- B. 「脫鹽工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3.混凝土裂縫擴散到整個面板、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重

(1)維護工法：

- A. 「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：去除鋼筋周圍鬆託之混凝土，並對鋼筋除鏽，以及噴塗防蝕性材料或採用防蝕工法處理後，再以樹脂砂漿填補並抹平(如圖 4.13 所示)。

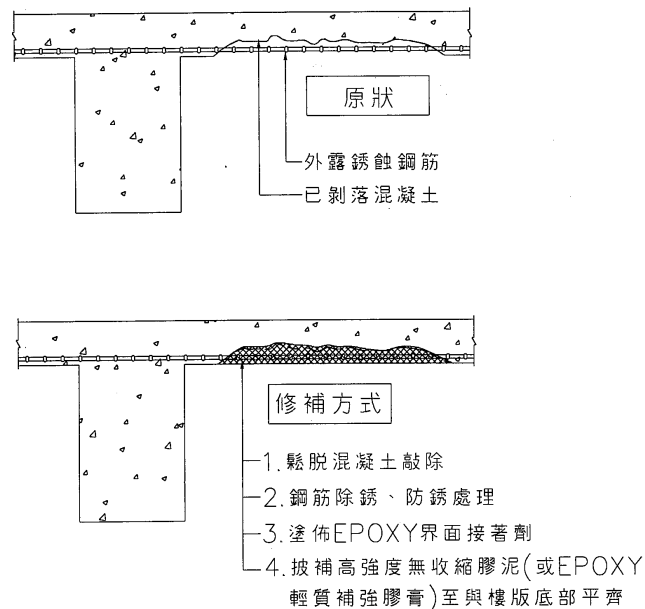


圖 4.13 「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B.「打設工法」：係將舊有構材之一部份或全部予以鑿除，再重新打設新鋼筋混凝土。為確保構造物之承載力，必要時得採用預鑄方式。

(2)施工項目：

- A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：混凝土鑿除、鋼筋除鏽、鋼筋防蝕、樹脂砂漿填補、表面鏟整。
- B.「打設工法」：混凝土鑿除、打設新鋼筋混凝土。

(3)相關規範：

- A.「鋼筋除鏽防蝕法+填充工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03210 章、第 03050 章及第 03350 章。
- B.「打設工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03210 章、第 03050 章及第 03350 章、或第 03439 章。

4.3.1.2 格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕

1.局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫、混凝土剝落

(1)維護工法：「裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水刷洗乾淨後，再注入低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填塞裂縫，並於表面進行鏟修整補。

(2)施工項目：

表面清洗、低粘滯性之樹脂或超微水泥漿填縫、表面鏟整。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03601 章及第 03350 章。

2.混凝土數個部位有裂縫、鋼筋露出未腐蝕、混凝土鬆動剝落

(1)維護工法：

- A. 「FRP 接合工法」：混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材。
- B. 「電氣防蝕工法」：係於混凝土表面設置陽極材，利用防蝕電流供給鋼筋，使其成為陰極材，而達到鋼筋腐蝕反應停止之工法。本工法計有外加電源法及犧牲陽極法二種方式，其電源正極連接陽極材，負極則與鋼筋連接。

(2)施工項目：

- A. 「FRP 接合工法」：表面清洗、塗敷接著劑、纖維強化複合材料黏貼、塗敷面層。
- B. 「電氣防蝕工法」：陽極材設置。

(3)相關規範：

- A. 「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。
- B. 「電氣防蝕工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3.混凝土裂縫擴散整個隔樑、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離

(1)維護工法：

- A. 「斷面修復工法」：將損壞之混凝土構件需敲除後，並清洗舊有混凝土表面並組模，再依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件，置入骨材，再注入低粘滯性之樹脂(如圖 4.14 所示)。

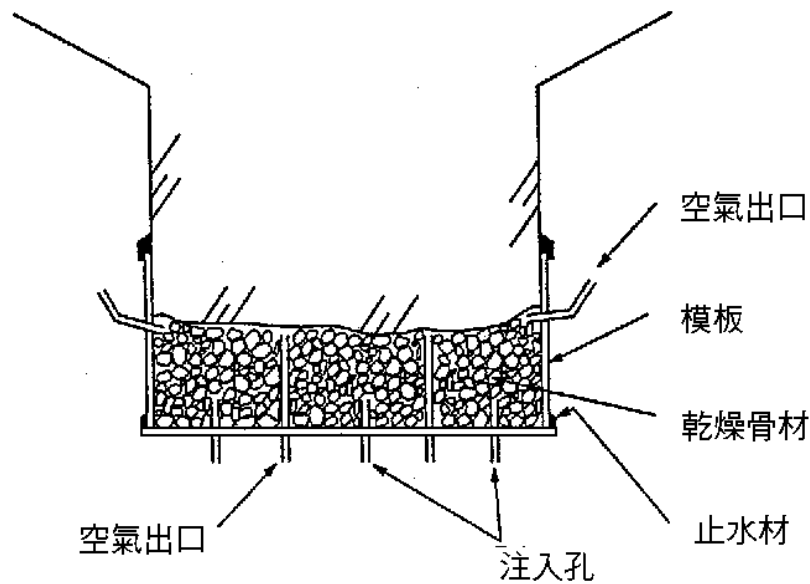


圖 4.14 隔樑斷面修復工法示意圖

（資料來源：交通部高雄港務局）

- B.「預力工法」：將原有混凝土鑿除後改以預力方式重新打設混凝土，或於混凝土斷面外側配置 PC 鋼材以預力方式補強。

(2)施工項目：

- A.「斷面修復工法」：混凝土鑿除、表面清洗、模版組立、鋼筋植入、骨材安置、環氧樹脂注入。

- B.「預力工法」：原有混凝土鑿除、混凝土斷面外側配置 PC 鋼材。

(3)相關規範：

- A.「斷面修復工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章、第 03210 章及第 09622 章。

- B.「預力工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章及第 03380 章。

4.3.2 基礎、護坡維護管理工法及施作項目

4.3.2.1 基礎掏刷

1. 基礎輕微淘刷

(1)維護工法：「拋石護基工法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再局部拋放卵塊石護基。

(2)施工項目：

水深地形勘測、卵塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

2. 基礎明顯淘刷

(1)維護工法：「拋放麻袋混凝土法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行麻袋混凝土拋放之沖刷防護措施。

(2)施工項目：

水深地形勘測、麻袋混凝土拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 基礎嚴重沖刷

(1)維護工法：「新增護基方塊法」

先進行水深地形勘測確認沖刷區位與規模，再進行新增護基方塊之沖刷防護措施。

(2)施工項目：

水深地形勘測、襯墊鋪設、卵塊石拋放、護基方塊新製、護基方塊吊拋。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02342 章、第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章、第 03110 章、第 03310 章、第 03390 章。

4.3.2.2 護坡破壞

1. 護坡塊石輕微受損

(1)維護工法：「加拋改善工法」

先以水下攝影確認移動或滾落區位與規模，再進行塊石加拋改善作業，以恢復原狀。

(2)施工項目：

水深地形勘測、塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

2. 護坡塊石明顯受損

(1)維護工法：「塊石加重法」

先分析護坡塊石安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，以加重之塊石進行補強作業。

(2)施工項目：

水深地形勘測、加重塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

3. 護坡塊石嚴重受損

(1)維護工法：「加重加厚補強法」

先分析護坡塊石安定性，並以水下攝影確認下陷區位與規模，以加重之塊石採增加拋放層數之方式，進行補強作業。

(2)施工項目：

水深地形勘測、加重塊石拋放。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02381 章、第 02391 章、第 02392 章。

4.3.2.3 法線變位

法線變位雖顯現於上部結構之位移，但主要卻是來自後方擋土設施或基樁之位移。故以下針對此二構件檢討維護措施。

1.法線明顯變位：擋土設施後方之岸肩可採用「陸側減壓工法」、「液化防制工法」，該二工法如 4.2.1 小節之介紹。以下介紹「增打基樁法」。

(1)維護工法：「增打基樁工法」

以增打基樁方式為例，其施作項目包括上部結構局部敲除、基樁打設、基礎拋石護坡整平、上部結構施作等。詳如圖 4.15 所示。

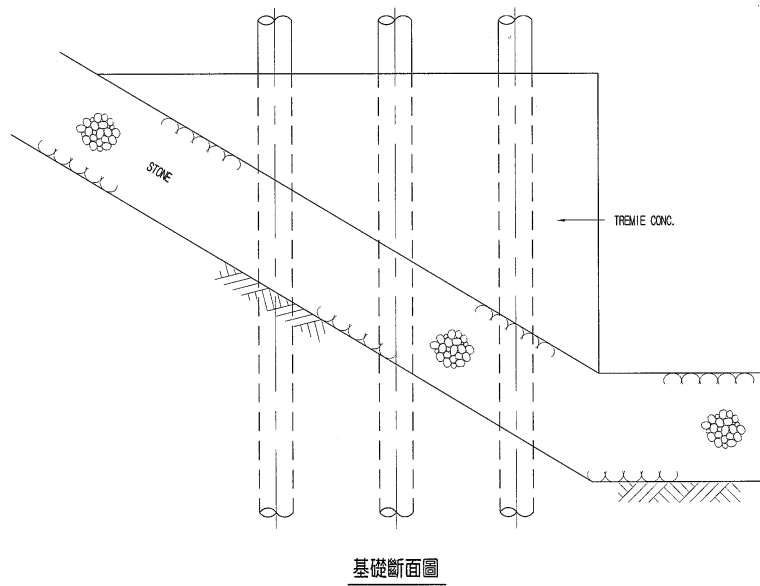
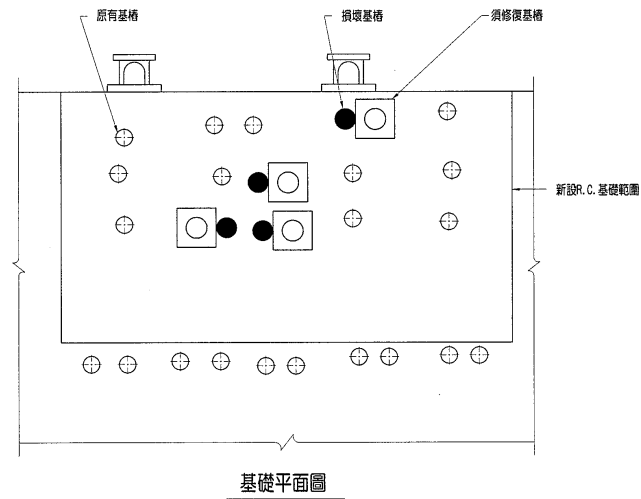


圖 4.15 增打基樁工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

(2) 施工項目：

上部結構局部敲除、基樁打設、基礎拋石護坡整平、上部結構施作。

(3) 相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02220 章及第 02392 章。

2. 法線嚴重變位：「前端新設結構工法+陸側減壓工法」，其中「陸側減

壓工法」如 4.1.1 小節之介紹。至於「前端新設結構工法」說明如下：

(1)維護工法：「前端新設結構工法」

因前端新設結構物工法將造成原法線前移。在每一個港灣設施之情況不同下，可採用的方法不僅無統一之標準，且可選擇性非常多樣化，需視碼頭之情形而定。建議應請顧問公司或學者專家依最新規範及檢測結果評估該碼頭適用性及補強設計。主結構體之修補可依交通部運研所『港灣設施防災技術之研究(二)—港灣設施防災對策之研究』整理之國內外相關案例，可採前端新設結構工法(如圖 4.16 所示)。

(2)施工項目：

需視採用之工法而定。

(3)相關規範：

需視採用之工法而定。

4.3.2.4 防蝕包覆破損、脫落：

1. 防蝕包覆破損

(1)維護工法：「防蝕包覆修補法」

鋼管樁平滑處先固定剪力釘，其餘部位以重防蝕材被覆，以弧形鋼板壓住防蝕材並以螺栓固定於剪力釘上，弧形內空間注入漿材形成保護層，其補修斷面圖如圖 4.20 所示。

(2)施工項目：

剪力釘焊接、固定弧形鋼板、貫注漿材。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 05091 章、第 05123

章及一般鋼料銲接(詳附錄二)。

2. 防蝕包覆脫落

(1)維護工法：「防蝕包覆重鋪法」

重新施作包裹防蝕施工，並加強固定方式。

(2)施工項目：

表面清理、安設固定箍並確時鎖緊、包覆防蝕帶(應確保能緊貼鋼管表面)、保護套(FRP)組合及安裝等。

(3)相關規範：

鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

SA1	棧橋後方增設基樁工法
工法概要	棧橋後方增加打設基樁，並使上部結構一體化
SA2	棧橋中間增設基樁工法
工法概要	棧橋中間增加打設基樁，上部結構重新施作
SB1	基樁支撐(brace)工法
工法概要	原基樁加設支撐(brace)，增加抗力

圖 4.16 前端新設結構工法(資料來源：交通部高雄港務局)

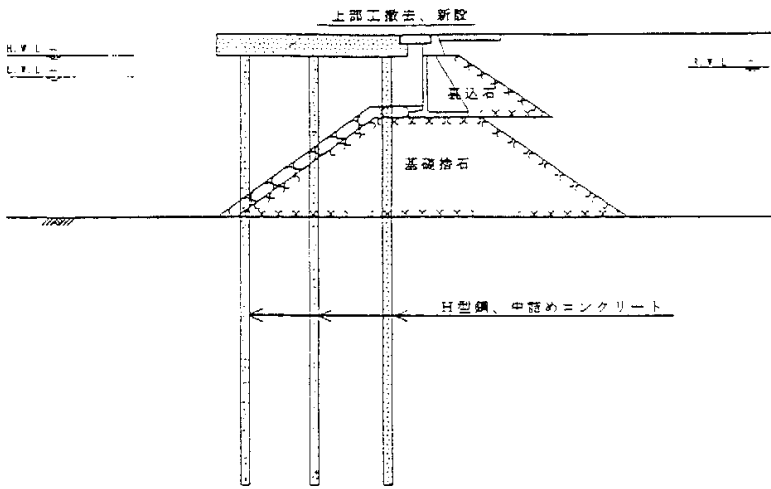
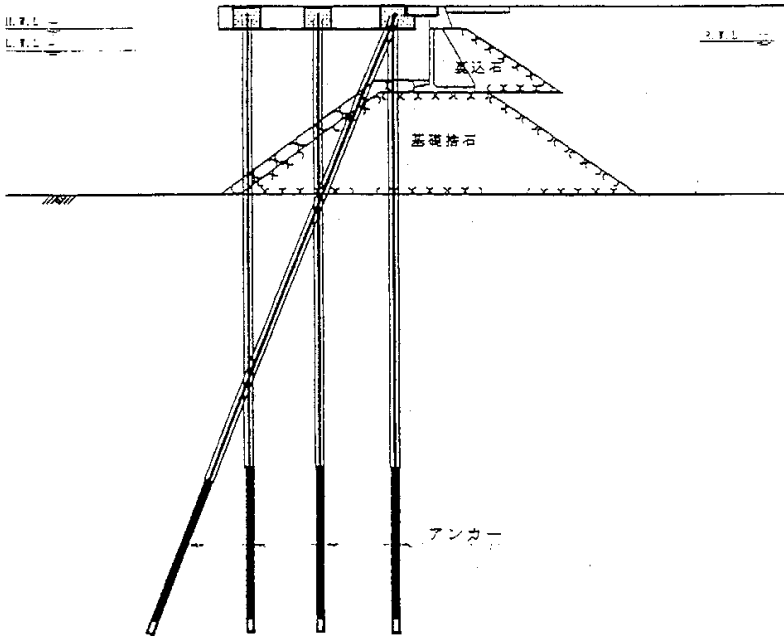
SB 2	基樁斷面加強工法
工法概要	原有基樁以混凝土或雙重套管基樁方式加強，上部結構重新施作
	
SB 3	加設地錨工法
工法概要	在基樁中間加設地錨，增加抗力
	

圖 4.17 前端新設結構工法(續一)

SC1	拆除重設工法
工法概要	上部結構拆除重作(原基樁抗力足夠為前提)
SD1	前方加設基樁工法
工法概要	原碼頭前方加設基樁上部結構一體化處理

圖 4.18 前端新設結構工法(續二)

(資料來源：交通部高雄港務局)

SE 1	前方設鋼板樁擋土工法
工法概要	前方設鋼板樁擋土，上部結構重作降低基樁應力。
SF 1	棚式構造物改良工法
工法概要	前方新設鋼板樁上部結構一體化，降低基樁應力
SF 2	新設鋼板樁工法
工法概要	前方新設鋼板樁，以原棧橋結構為錨碇設施

圖 4.19 前端新設結構工法(續三)

(資料來源：交通部高雄港務局)

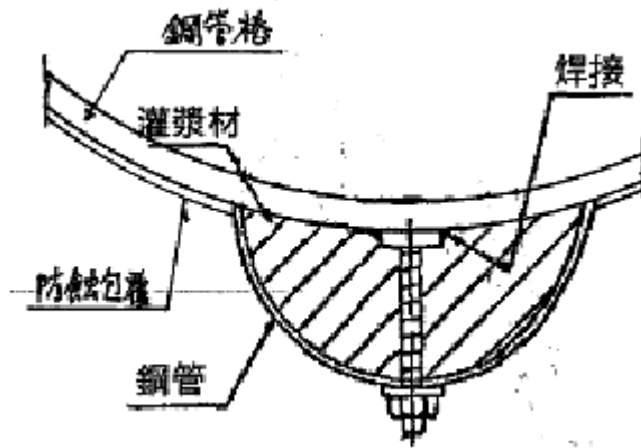


圖 4.20 防蝕包覆修補法

(資料來源：交通部高雄港務局)

4.3.2.5 基樁腐蝕及變形

1. 基樁局部區域有鏽蝕集中

(1)維護工法：「水中硬化環氧樹脂塗附法」

一般處理方法為刮除鏽點後，鏽蝕位置塗附水中硬化環氧樹脂，阻絕持續腐蝕因子。

(2)施工項目：

潛水俠清除板樁鏽點及海生物、分層塗裝水中硬化環氧樹脂。

(3)相關規範：

水中硬化劑塗裝工程(詳附錄二)。

2. 帶狀鏽蝕、局部穿孔。

(1)維護工法：

A. 「鉚釘打設工法」：帶狀區域的鏽蝕部位噴砂處理完全後，先以防蝕帶覆蓋，其上再以 PE/PU 材被覆，並於兩邊用剛性高之

U 型 FRP 壓條密貼，其上以攻牙鉚釘鑽入鋼管樁固定，鉚頭外部以黏土及保護套保護之，如圖 4.21 所示。

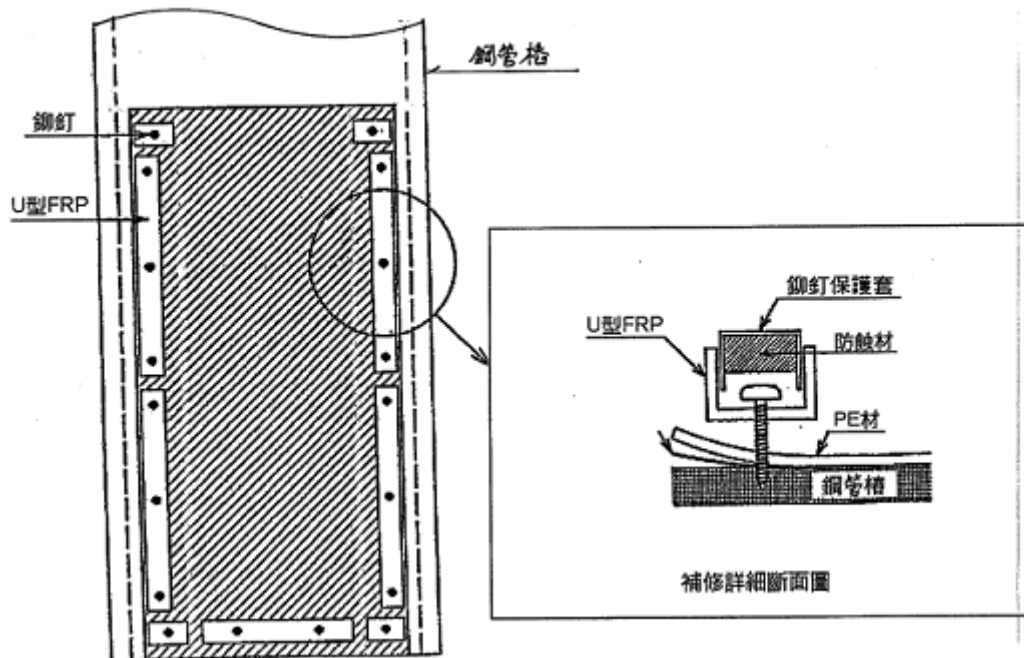


圖 4.21 鉚釘打設工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

B. 「鈦合金被覆工法」：係於鋼管樁樁身先固定高鎳合金鋼剪力釘，其餘部份以中性石油系防蝕帶貼付，其外再以鈦合金薄鋼板被覆，為防不同金屬間之接觸腐蝕，所有接合處以厚膜型環氧樹脂塗佈，以達防蝕補強之效果。

(2) 施工項目：

A. 「鉚釘打設工法」：表面噴砂處理、防蝕帶覆蓋、PE/PU 材被覆，U 型 FRP 壓條以鉚釘固定。

B. 「鈦合金被覆工法」：高鎳合金鋼剪力釘、防蝕帶貼付、鈦合金薄鋼板被覆、厚膜型環氧樹脂塗佈。

(3) 相關規範：

鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

3.連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象。

鋼管樁大範圍的生鏽破損且穿孔，由於鋼管樁鏽蝕，整體碼頭結構可能已出現影響，港務局應先停止碼頭作業，辦理專案檢測，並委外進行碼頭補強或大幅度修補之設計，再發包施工。依實際鏽蝕程度可選基樁斷面增強方式、增打基樁方式。

(1)維護工法：「基樁斷面增強工法」

損傷部份周圍先以防蝕材貼附，外側再以半圓形鋼板或 FRP 包覆，於主樁與外套管間空隙填灌混凝土或砂漿，鋼構造外套管並用防蝕材塗佈，其斷面圖如圖 4.22 所示。

(2)施工項目：

防蝕材貼附、外套管包覆、水泥砂漿填灌，防蝕處理。

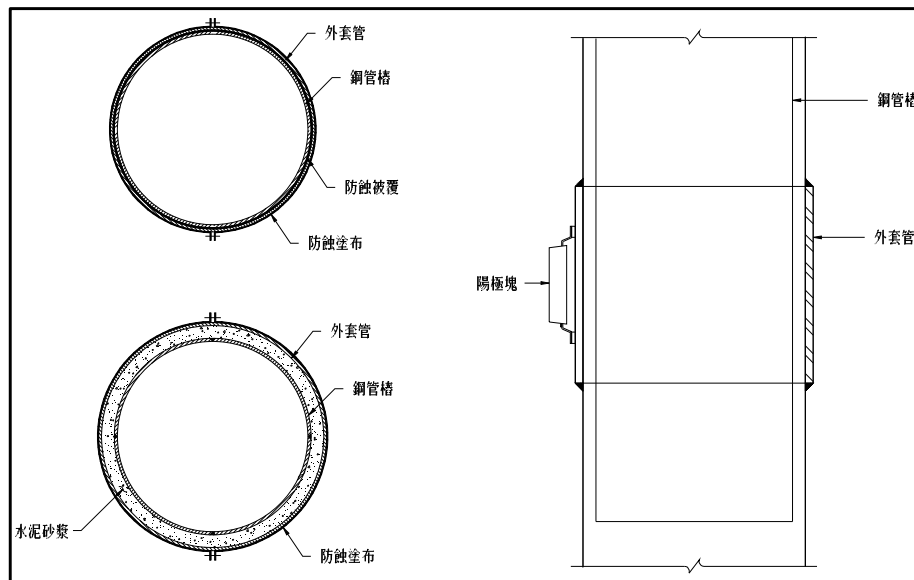


圖 4.22 基樁斷面增強工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 02392 章、第 03050 章、第 05091 章、第 05123 章、第 09971 章及鋼管樁包裹防蝕(詳附錄二)。

4.3.2.6 PC 或 RC 樁之混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕

1. 局部可見鏽水、2~3 個部位裂縫、混凝土剝落

(1)維護工法：「水壓式裂縫注射工法」

於龜裂損傷處先以清水或水刀刷洗乾淨後，再注入排水性止漏劑或超微水泥漿填塞裂縫。

(2)施工項目：

表面清洗、排水性止漏劑或超微水泥漿填縫等。

(3)相關規範：

公共工程施工綱要規範第 03601 章及第 03350 章。

2. 混凝土數個部位有裂縫、鋼筋露出未腐蝕、混凝土鬆動剝落

(1)維護工法：

A. 「FRP 接合工法」：混凝土樁體的外部接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材。

B. 「電氣附著工法」：係於海水中投入陽極材，並使其與電源正極相連，而混凝土中之鋼筋則與電源負極連接，使成一迴路，藉直流電之微弱電流通電數月，則海水中溶存之鈣離子或鎂離子往混凝土表面移動，並於混凝土表面或裂縫處析出碳酸鈣或氫氧化鎂生成物並附著其上，形成保護膜阻絕腐蝕因子進入混凝土內部，達到保護之功效。本工法裝置示意如下圖(圖 4.23)。

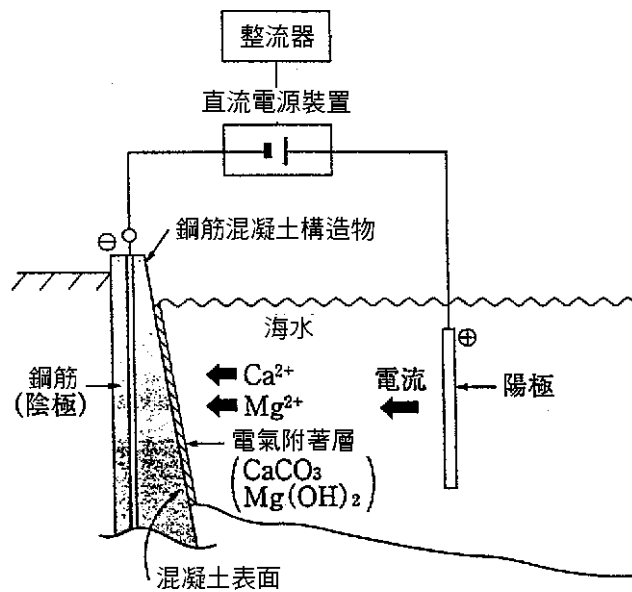


圖 4.23 電氣附著工法

(資料來源：交通部高雄港務局)

(2)施工項目：

- A. 「FRP 接合工法」：將 PC 或 RC 樁鬆動之混凝土敲除，以不收縮水泥將斷面復原；裂縫部分灌注環氧樹脂、底層處理、樁體以 FRP 圍束補強數層；俟圍束補強完成樹脂硬化時，需施作硬度試驗後表面再塗佈樹脂噴砂增加水泥砂漿補土附著力。
- B. 「電氣附著工法」：陽極材投入海水中、連接電源、通電。

(3)相關規範：

- A. 「FRP 接合工法」：公共工程施工綱要規範第 09969 章。
- B. 「脫鹽工法」：無相關規範，乃利用電化學原理，使混凝土中之鋼筋成為陰極，使不致放出電子而氧化，以達到保護之目的。

3.混凝土裂縫擴散成整個樁圍、鋼筋露出且腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離

(1)維護工法：

- A.「鋼鈑補強工法」：將損壞之混凝土構件敲除後，並清洗舊有混凝土表面，再依裂縫及蜂巢之修補方式修復嚴重受損之結構元件，並組鋼模後，再注入 EPOXY(如圖 4.24 所示)。

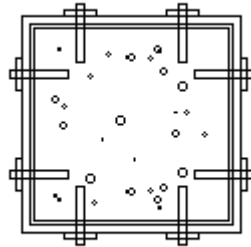


圖 4.24 樁體外鋼鈑補強工法示意圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

- B.「增厚工法」：係於構材之上面、下面或側面重新配置鋼筋並與舊構材結合後打設新混凝土，使成一結實體。

(2)施工項目：

- A.「鋼鈑補強工法」：將鬆脫不牢固之混凝土打除，打除後將粉屑清除乾淨；使用補強灰泥修補蜂巢、使用裂縫注射劑修補裂縫；將鋼鈑預組在樑上，樑鈑使用 SUS316 鋼材，採全滿焊施工；鑽孔施打化學錨栓、封口、灌注 EPOXY 直到透氣孔溢滿出為止。

- B.「增厚工法」：鋼筋彎紮、打設混凝土。

(3)相關規範：

- A.「鋼鈑補強工法」：公共工程施工綱要規範第 02220 章、第 03050 章、第 03110 章、第 03210 章及第 09622 章。
- B.「增厚工法」：公共工程施工綱要規範第 03050 章、第 03110 章及第 03210 章。

4.4 RC 材料劣化維護工法

鋼筋混凝土大量被使用於土木工程，尤其是交通建設方面，諸如橋樑、港灣... 等之重要設施。鋼筋混凝土原本為一極具耐久之材料，因此，工程建造完工起用後，甚少需要維護。但是，受到環境、超載(不當使用)、施工品質等因素之影響，其材料、結構則可能受到劣化損壞，對整體耐久性與安全威脅甚鉅。台灣為一海島型氣候，終年高溫、高濕，每年常遭颱風侵襲，又因位處地震帶上，地震災損頻傳，於此惡劣環境下，港灣鋼筋混凝土甚易受到海水或海風中之氯離子之侵入，造成鋼筋發生銹蝕、斷裂、體積膨脹，導致混凝土的劣化、剝落、損壞。

因此，在 R.C.結構物之耐久性觀點上，除了混凝土材料本身材質劣化外，鋼筋的腐蝕是評估結構物耐久性之重要指標之一。以下分為鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理、混凝土表面缺陷及鋼筋外露腐蝕等說明其維護工法。

4.4.1 鋼筋腐蝕及混凝土劣化處理相關工法

1. 陰極防蝕法：

陰極防蝕應用於鋼筋混凝土結構物之防蝕，至今已有三十幾年的歷史了，公認為解決鋼筋混凝土腐蝕唯一有效的方法。陰極防蝕可分為下列有兩種方式：

(1)外加電流法：

此法乃於鋼筋(陰極)與混凝土外之輔助陽極(一般使用鈦金屬)間，施加一直流電源，供應防蝕電流給鋼筋，使鋼筋表面不會失去電子，以達到防蝕的目的，為一長期持續性之防蝕工法，一般陸上之 R.C.結構物多採用此法。

(2)犧牲陽極法：

利用自然電位較低之金屬(如 Mg、Al、Zn)做為陽極，與被

保護之金屬體偶合在一起，當陽極放出防蝕電流後，使被保護之金屬體的自然電位下降，當電位下降至防蝕電位時，則被保護體就不再發生腐蝕行為。根據美國佛州交通局(Florida Department of Transportation, FDOT)之研究，依使用陽極之方式不同，犧牲陽極法可再細分為下列四種方式：

- A. 鋅熔射方式：使用熔射鋅層被覆作為陽極，為防止高溫、高溼等嚴苛環境之破壞作用，一般常於壓克力樹脂施予封孔處理。施工時需先清除剝落的混凝土並噴砂處理至裸露的鋼筋表面，再將鋅熔射噴塗至混凝土及裸露的鋼筋表面，藉由鋅與鋼筋電連通之傳導或經由混凝土為介質，達到陰極保護的目的。鋅塗層之噴塗厚度為 0.38~0.5 mm (15~20 mils)，鋅與混凝土之結合力為 1034 kPa (150 psi)。若鋅塗層未直接噴塗於舊有鋼筋表面，亦可使用外加電流的方式進行陰極保護。
- B. 鋅板方式：鋅板採用 ASTM A 190 的 99.9%純鋅製成，密度為 0.02 kg/m³，以基樁為例製成鋅板，直接包覆於混凝土表面，鋅板外層再利用 50%塑膠與 50%木質纖維製成之夾板包覆，夾板內側有凹槽可匯聚水氣以增加混凝土的導電性，並藉潮汐漲落可將鋅的氧化產物沖洗掉；而此夾板的固定方式則是利用不銹鋼圈箍繫在舊有基樁結構上。鋅板與鋼筋間則利用銅線連接使之電連通。
- C. 犧牲式陰極保護基樁夾層：此法為鋅板系統之改良，為基樁 RC 結構於水下帶、潮間帶、飛沫帶之陰極防蝕使用。工法中以鋅網為主要陽極，內置於玻璃纖維製成之基樁夾層內，而另一鋅塊為輔助陽極，置於低潮線下 0.6 m 的海水中，利用銅線將陽極與鋼筋連接。施工時將兩片夾層包覆於混凝土表面，夾層與混凝土間間距 5 cm，然後以砂漿水泥灌注夾層。此系統不需外加電源且完工後甚少需維護，造價及施工均較外加電流式陰極保護系統經濟，已被 FDOT 廣為使用於海水環境下之陰極防蝕。

D. 鋅板導電膠為一厚 0.254 mm 的鋅膜及一層離子導電膠。施工時將導電膠塗佈於混凝土上，而導電膠之另外一側上覆鋅膜，利用銅線將鋅膜與鋼筋電連通，以達到陰極保護的效果。本工法在潮濕的環境中，導電膠會失去黏著力而導致鋅膜脫落，造成防蝕電流分佈不均。因此，工法僅能適用於乾燥的大氣環境下。

2. 電化學去鹽法：

電化學去鹽法乃針對已受鹽害之鋼筋混凝土結構物，將其內部之氯離子驅出混凝土外，以降低或阻止鋼筋繼續腐蝕。去鹽法技術乃是應用電化學之同性電荷相斥異性電荷相吸之原理，於鋼筋與混凝土外之輔助陽極之間，外加一直流電源，形成一電力場，藉電場作用力將孔隙溶液中之氯離子驅除，使內部鋼筋不再受氯離子侵蝕。

3. 電化學還鹼法：

還鹼法與去鹽法是一體兩面，採用之原理相同。還鹼法乃是將已中性化之混凝土恢復至高鹼性環境，鋼筋表面再度生成鈍化保護膜，使鋼筋得以被保護。在鋼筋與混凝土外之輔助陽極間，引進一直流電源，經由電滲流(electro-osmotic flow)、擴散(diffusion)、毛細吸附(capillary absorption)及電解作用(electrolysis)，將外界之鹼性電解液大量輸入孔隙溶液中，除提升孔隙溶液之鹼性環境外，另一方面鹼性電解液中之 Na^+ 、 K^+ 等離子，游向陰極(鋼筋)，致使鋼筋再處於鈍態狀況。

4.4.2 混凝土表面缺陷維護工法

混凝土表層缺陷維修工法包括表面處理工法、裂縫修復工法、表層缺陷修復工法。

1. 表面處理工法：

表面處理工法之基本理念是使得目前結構物更為美觀，且經由

表面處理，使得結構物減少日後損壞之機率，表面處理工法依其混凝土表面處理之方式可分為：

(1)酸洗：

混凝土具高鹼性，因此易受酸的腐蝕。基於此原理可利用酸作為混凝土修補前的表面處理，使平滑面粗糙，增加新舊材料間的接合。其方法是將鹽酸稀釋至適當的濃度再傾倒在處理面上，立刻以鋼刷刷淨，直至不再冒泡為止，然後以清水沖洗。使用清水沖洗時，務必洗刷完全，以免殘存之鹽酸加速混凝土之碳化，反而降低混凝土品質，失去修復養護之原意。

(2)噴砂：

利用高壓泵浦推送砂粒噴擊混凝土面，使修補面呈粗糙狀，作用與酸洗相同。噴砂工法價格較貴，且會產生極大的砂塵，在實用上不及酸洗。

(3)表面塗裝：

對於未發生危害而情況輕微的表層龜裂，可塗刷砂漿、塗料或類似環氧樹脂等化學藥品於龜裂表層以塗封龜裂，以防止進一步之惡化而導致缺陷產生。

2. 裂縫修補工法：

鋼筋混凝土結構物裂縫的修補，主要目的是恢復結構的整體性、保持結構的強度、耐久性、抗滲性及外形的美觀。

(1)表面封閉修補法：

採用抹漿、鑿槽嵌補、噴漿、填縫的方法使表面裂縫封閉。如果無法直接注漿，則必須視情況利用工具將損壞的混凝土敲除，或沿裂縫處鑿成 V 型槽，以利修補或填注接著劑。

(2)壓力灌漿修補法：

壓力灌漿是以施加壓力將某種漿液(例如水泥灌漿或化學材料灌漿)灌入結構物內部損傷的方法，以達到封閉裂縫，恢復並提高結構強度、耐久性和抗滲性能的一種修補方法。對於已停止擴大之龜裂(即穩定裂縫)，或無損及結構安全之龜裂，可用無收縮砂漿或膨脹性砂漿填補；必要時，在龜裂表層開鑿 V 型槽，再填入接著劑或填縫料。此法一般用於裂縫多且深入結構內部或結構有空隙的修補場合。壓力灌漿修補法包括水泥灌漿與化學灌漿，化學灌漿採用化學材料灌漿修補結構裂縫，可以灌入 0.3mm 或更細小些的裂縫。

(3)注射工法：

寬度較小的龜裂，可用注射環氧樹脂修補之。注射前先將龜裂分成幾個區域，先將表面封閉僅留注射孔，以防注射的材料漏出，注滿一區後，再繼續進行下一區。注射工法與灌漿工法之在觀念與作法上幾乎是大同小異。其基本之差異性在於裂縫之大小，裂縫較大時採用灌漿工法，裂縫較小時則採注射工法。

(4)表面黏貼法：

表面黏貼法是指用接著劑把纖維強化高分子複合材料或鋼板等材料黏貼在裂縫部位的混凝土表面上，既可達到封閉裂縫的目的，又能提高結構的強度和勁度。在進行表面黏貼之前，必須對混凝土表面進行處理與清洗。

3. 表層缺陷修補工法：

當混凝土表層已不適用表面處理工法或不宜以裂縫修補工法修復時(例如混凝土表面成片塊狀之剝離)，則此時必須採用表層缺陷修補工法。

(1)填充工法：

此法是以新混凝土取代局部性區域之舊混凝土。施作時將已損壞或不良的混凝土敲除掉，重新澆置新拌混凝土，使龜裂不再

發生或提昇原構件之品質，亦稱之為置換法。此法適用於已無外在原因使混凝土繼續劣化或龜裂之情況，否則修補後仍將發生損壞。

(2)混凝土修補法：

對於混凝土橋梁結構中出現的蜂窩、空洞等較大範圍的破損與缺陷，可採用新拌混凝土進行修補。用於修補的混凝土要級配良好，且具有良好的工作性，以減少搗實工作的困難。為了澆築工作的順利進行，應把構件中的蜂窩或空洞缺陷部份盡可能鑿除，同時對修補部位進行鑿毛處理，並使原混凝土表面保持濕潤、清潔、不沾塵土。為了使新舊混凝土之間有良好的接著性能，可以在鋼筋和其周圍的混凝土上塗抹一層水泥砂漿或接著劑(如1：0.4 的鋁粉水泥砂漿、1：1 的鋁粉砂漿或環氧膠液等)。砂漿應均勻地刷進混凝土內及鋼筋表面，使得鋼筋周圍成為強鹼性環境，而增強舊混凝土與新混凝土間之黏結。在這些砂漿塗抹後尚未凝固時，可立即澆築新的混凝土。

(3)水泥砂漿修補法：

對於小面積的缺陷，當損壞程度較淺時，可將拌和好的砂漿用鏟刀抹到修補部位，反覆抹光後，按一般混凝土的養護方法養護。當修補部位深度較大時，可在水泥砂漿中加入特殊材料，以增強砂漿強度和減少砂漿乾縮。用砂漿修補時亦必須特別注意加強壓實的工作，使砂漿經過養護、硬化和乾燥後不致出現凹陷。另外在修補的區域周圍再塗抹兩層的環氧樹脂膠液或鋁粉水泥砂漿、或其他接著劑，以避免乾縮裂縫的發生，達到表層保護之效果。

(4)噴漿修補法：

噴漿修補法是將水泥砂漿，經高壓噴至修補部位的一種修補方法。此法主要適用於重要混凝土結構物或大面積的混凝土表面

缺陷和破損的修補。為保證噴漿層能與舊混凝土面黏結牢固，達到預期的修補效果，噴漿前應做好以下準備工作：

- A.對舊混凝土進行打毛處理，並將表面清理乾淨。打毛面須有一定深度，否則會影響其與舊混凝土間之黏結。
- B.在施工前應進行鋼筋網或鋼絲網製作和安裝，並固定位置。
- C.在噴漿前一小時，應對修補面灑水，使其保持濕潤狀態，以確保噴漿與修補面能良好結合。
- D.當修補面有滲水時，應先使其陰乾。

(5)混凝土接著劑修補法：

對於混凝土橋梁結構表面的風化、剝落、鋼筋外露及小面積的破損，一般可用接著劑對混凝土表面進行塗封的方法修補。人工塗封注意事項：人工塗封法修補時，應由低處向高處、由內向外填抹，塗封範圍須包括缺陷周圍 2cm 左右，塗封層的厚度以不小於 2.5cm 為宜。當混凝土結構破損較大且深入結構內時，可採混凝土接著劑澆築塗層的方法加以修補。

(6)環氧樹脂材料的修補法：

環氧樹脂材料具較高的強度和抗蝕、抗滲能力，並且可與混凝土等材料牢固地黏結，是一種較好的修補材料。由於環氧材料價格較貴，且施工操作難度較高，通常只有在修復結果要求較高的情況下才考慮優先使用。

A.表面修補的技術要求：

- (a)混凝土表面應先加以打毛，保持平整、乾燥、堅固與密實。
- (b)混凝土表面處理可用人工打毛，然後用高壓噴水或高速壓縮空氣吹淨，或採用風砂槍噴砂除淨等方法。
- (c)鋼筋若腐蝕必須先行除銹。

B.施工時之要求：

(a)塗抹環氧樹脂基液：在塗抹環氧樹脂砂漿或澆灌環氧樹脂混凝土時，應先在原混凝土表面塗一層環氧基液，以保持良好的黏結力。塗刷時，應力求薄且均勻，尤其在鋼筋和凹凸不平難於塗刷的部位宜反覆多刷幾次，塗刷基液厚度一般不宜超過 1mm，塗刷方式可用毛刷人工塗刷，也可用噴槍噴射。為使塗刷均勻，可考慮在基液中加入少量丙酮(例如 3~5%)。對於已塗刷基液的表面，應注意保護，嚴防污染物、灰塵落入。塗刷後須清除基液中的氣泡，再塗抹環氧砂漿或澆築環氧混凝土。時間間隔一般為 30~60 分鐘。

(b)塗抹環氧樹脂砂漿：於平面塗抹時應力求均勻，每次塗抹厚度不宜超過 1.0~1.5cm，底層厚度應在 0.5~1.0cm 之間，並用鎚刀反覆壓抹，如有氣泡必須刺破壓緊。在斜、立面塗抹時，由於砂漿流淌，應用鎚刀不斷的壓抹，並適當增加的黏稠度，塗抹厚度以 0.5~1.0cm 之間為宜，如超厚應分層塗抹，超過 4cm 時最好立模澆築。頂面塗抹時易因自重而往下脫落，在塗刷底層基液時，可使用黏度較大的基液。環氧樹脂砂漿每次塗抹的厚度以 0.3~0.5cm 為宜，如超過 0.5cm 時，應分層塗抹，每次塗抹均需用力壓緊。

C.澆築混凝土：

環氧樹脂混凝土澆築的工法要求與普通混凝土大致相同，澆築時應注意防止擾動已塗刷的環氧樹脂基液。平面澆築時須充分搗實，再用鎚刀反覆壓抹，側面及頂面澆築時須組立模板。

D.環氧樹脂材料的養護：

環氧樹脂砂漿的養護與水泥砂漿不同，最重要的是控制溫度，夏季施作時如果太陽直接照射，應設遮棚。冬季溫度太低，

則須保溫。一般養護溫度以 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 為宜。在夏季，養護時間須 2 天，冬季則須 7 天以上。在養護期的前 3 天，應避免雨水浸泡或其他衝擊。

E.環氧樹脂材料施工注意事項：

- (a)環氧樹脂材料每次的配製數量，應根據施工能力來決定，因為環氧樹脂加入硬化劑後，即開始起化學反應，故配製好的環氧樹脂材料的使用時間有一定的限制。
- (b)已拌製好的環氧樹脂材料，必須分散堆放，以免提前硬化。配料時用的器皿宜廣口淺底，易於散熱，並不斷攪拌。
- (c)塗抹、澆築和養護環氧樹脂材料時，必須進行嚴格溫度控制，以防溫度變化時對環氧材料的施工品質產生不良影響。
- (d)環氧樹脂材料的組成份，大都具有良好之揮發性，因此施工現場必須保持通風，避免有害氣體對人體產生不良影響。同時嚴格注意防火和勞工保護，操作人員須戴口罩和橡皮手套。人體與環氧材料接觸後，可用工業酒精、肥皂水與清水多次清洗。嚴禁使用有機溶劑清洗，以免有機溶劑將環氧材料稀釋，更易於滲入人體皮膚。
- (e)施工用具用後可用丙酮、甲苯、二甲苯等溶劑清洗。若環氧材料已硬固黏結在工具上，可加熱刮掉，但不能燃燒，以免產生有毒煙氣，危害人體健康。
- (f)在施工過程中，不可將用過的器具以及殘液隨便拋棄或投入河川溪流中，以免水質污染和發生中毒事故。

4.5 碼頭面版腐蝕劣化之一般維護法

目前棧橋式碼頭 R.C.底版及樑柱腐蝕損壞之修護，多採取將底版剝落處之混凝土或風化表面先行鑿除，鋼筋表面進行銹蝕除銹，斷裂

鋼筋處以新品鋼筋搭接後，再以 II 型水泥或含壓克力樹脂或樹脂石英砂及速凝劑等之混凝土材料，分層噴漿覆蓋處理之，通常每隔 3~5 年需再進行類似的修護工作。以下則分別就市場所提供的各種結構補強及構件破壞修護方式分別探討之。

4.5.1 碳纖維補強工法

碳纖維材料具有輕質、高強度、抗腐蝕、耐老化、耐久性好、物理性能穩定等諸多優點。抗拉強度是同等截面鋼材的 7-10 倍。用碳纖維材料修復補強混凝土結構是近年來業界普遍採用的新型工法，能與混凝土結構緊密貼合，利用碳纖維材料卓越的抗拉強度達到增強構件承載能力及剛度的目的。

這項技術具有施工簡便快捷、安全可靠、耐久性好，能適應各種複雜的結構外形，不影響原結構的外觀等諸多優點。已日益在混凝土結構修復補強工程中得到廣泛的應用。其材料特性包括如：抗拉强度高，是同等截面鋼材的 7-10 倍；重量輕，比重只有普通鋼材的 1/4；耐久性好，可抵抗化學腐蝕和惡劣環境、氣候變化的破壞；施工方便快捷、省力節時；適用範圍廣，混凝土構件、鋼結構、木結構均可進行補強。可大幅度提高構件的承載能力、抗震性能和耐久性能。

其使用上包括有：混凝土結構物、橋樑及建築物的梁、柱、面板補強。隧道、港灣設施、煙囪、倉庫、廠房的補強。受鹽害的混凝土、橋樑以及河川構造物的防護和補強。

4.5.2 低壓灌注補強工法

針對鋼筋混凝土構造物產生的各種龜裂現象和裂縫損壞，採用環氧樹脂低壓灌注材料修補工法，針對裂縫損壞做系統性的補強與補修，可以達到預期的強度，延長結構物的使用壽命。施工快捷方便，不需要大型機械作業，補強效果安全可靠。

材料之特點包括有如：採用慢速、低壓連續灌注，使樹脂確實注

入裂縫的細微部位；可以控制注入量，必要時可以補充樹脂；可根據裂縫大小、注入狀況的需要，調整壓力；注入量和注入情形可以目視觀察。其使用的範圍亦非常廣泛，包括前述各種混凝土構造及建築物之修護及補強均可發現其蹤跡。但最主要的破壞型式仍以裂縫之破壞型式修護最多。

4.5.3 鋼筋外露補修工法

鋼筋外露補修工法之應用中最為普遍的方式為，利用環氧樹脂與特殊骨材配合而成的輕質樹脂砂漿，利用噴漿或薄漿的方式分層披覆於裸露的鋼筋外面，逐層施工後則達到類似保護層的施作效果。一般使用於石材與混凝土包覆之鋼筋外露者，或垂直面、倒吊面難施工之處。此修護方法亦為目前較盛行應用於棧橋式碼頭破壞之修護方法。

其特點包括如：質輕，比重小於 1；搖變性佳，垂直面、倒吊面施工容易；充填性佳，適用於多孔性材質，如混凝土、石材等；接著性、耐久性、施工性優異。在用途上亦甚為廣泛，包括了：混凝土板、梁、柱弱化受損部位補修；天花板倒吊面鋼筋外露補；鋼板補強、碳纖補強施工前混凝土修補披覆等。

4.5.4 無收縮水泥灌漿工法

本工法針對大型高層建築逆打工法之柱頭灌漿、機械基礎灌漿、鋼結構底座灌漿、土木橋樑特殊部位之高強度填充材之灌注、鋼板補強之間隙填充，均能提供無收縮及發揮早強優越性能，高流動性可作到完全無空隙灌漿，為今日土木、建築、補強業界普遍採用之工法。

其特點包括有：流動性優越：以很小的 W/C(水灰比)即可獲得良好的流動性，可作到完全無空隙灌漿。無泌水現象：不會產生空隙、泌水現象，使灌漿作業順暢。不沈陷、不收縮：已被控制之膨脹性及長期安定之無收縮性，確保施工部位緊密貼合。早強性優越：具備優越早強性，經充分養護可在 1—3 日後安裝機器或後續工程。屬非金屬材料：屬水泥系灌漿材，無產生鏽蝕狀之變色。

4.5.5 面版修護之施工程序

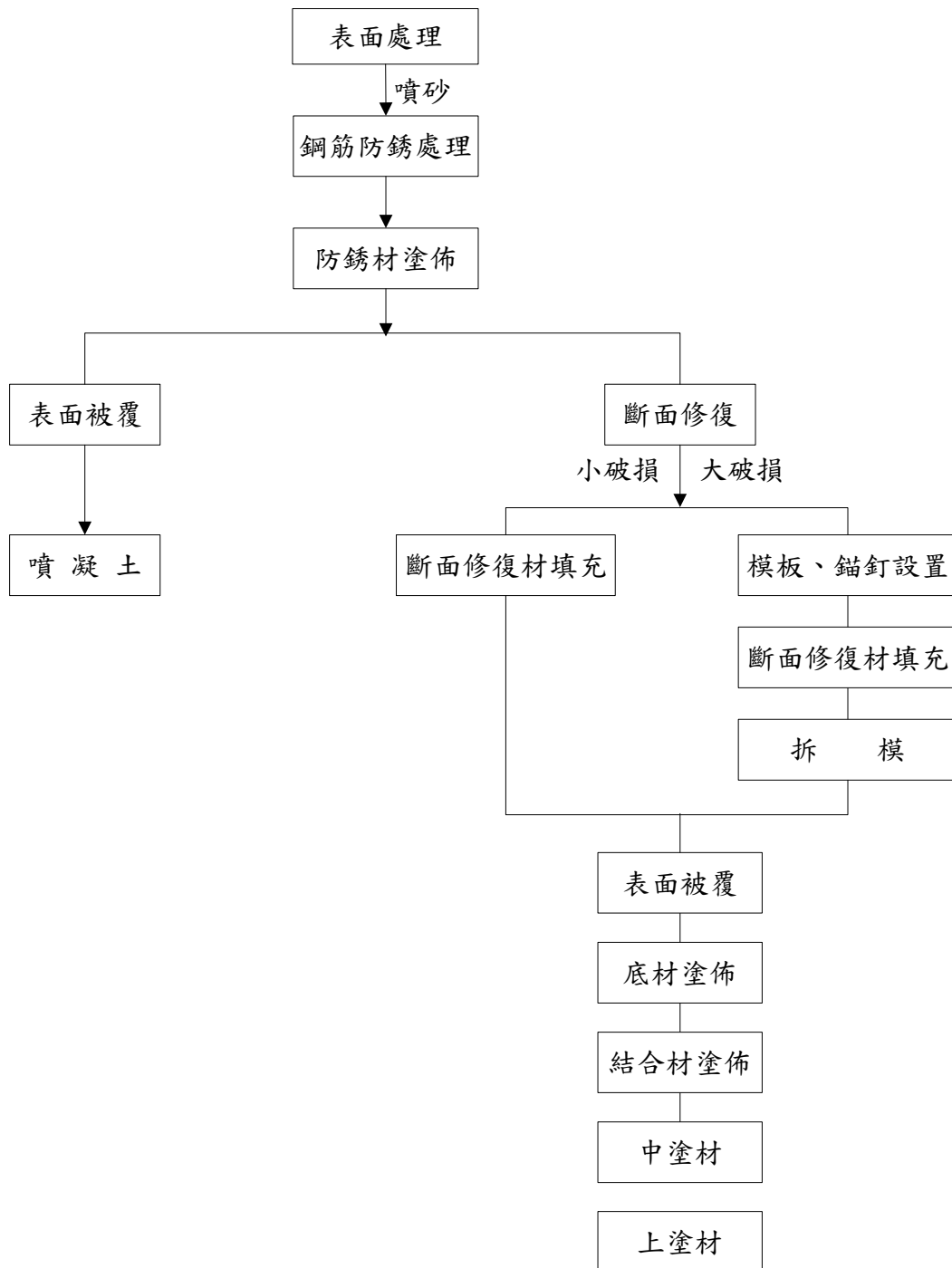


圖 4.25 一般面版修護之施工程序圖

(資料來源：交通部高雄港務局)

附錄二

相 關 工 法

相 關 工 法

A 一般鋼料銲接

1. 說明：

一般鋼料銲接及試驗工作標準以本規範為準，本規範未註明者以行政院工程會頒布之施工規範為準。

2. 材料：

所用銲條應按設計圖規定辦理，若設計圖無註明者則使用 AWS.E70 或 CNS.E50 或 JIS.D50 系銲條，並應提出材料試驗報告送請工程師認可後採用之。

3. 一般要求：

3.1 銲工資格：須通過內政部、台電、中油、中鋼、中船、或中國驗船協會考驗合格之優良技工，持有證明文件者。

3.2 銲接環境：銲接工作不得在低於 5°C 時施工，亦不得在濕面雨天或強風中施工；且銲工須在安全情況下工作。

3.3 尺寸、長度及銲位：銲接之尺寸及長度不得少於設計圖及本施工說明書之規定。如須加銲或變更銲位，均須事先徵得工程司允許。

3.4 銲接方法：以手工電弧銲接為原則或其他經工程司同意之方法，並應依 AWS 規範或 CNS 規範之有關規定確實施工，焊條直徑未規定者以不超過 5mm 為原則。

3.5 允許公差：上下兩鋼管樁銲接時，務必保持兩節樁中心軸成一直線，銲接後之管面誤差須在 2 公釐以內，樁身彎曲應在全長之 1/1000 以內。

4. 施工準備：

4.1 銲接面必須光平、正直，且無雜物、破裂或影響銲接強度之缺點。

4.2 銲接面須無鬆屑皮、熔渣、油脂、蝕或雜物，以免影響正常銲接施工或產生不良氣味。

4.3 鋼面鱗片或屑皮或已乾之油薄面及薄防漆，如不能以鋼絲刷刷除，可允許存留。

4.4 氣焰切邊須用機械焰切機，其切邊須光平、正直且無熔渣，並符合劃線，否則應予磨平修整。

5. 拼裝施工：

5.1 以角銲接連之構材須使兩者儘可能密接，其間空隙不得大于 1.5 公釐，如空隙大于 1.5 公釐，角銲之銲肢，應隨超額空隙之尺寸增加之。

5.2 搭接兩接面間之空隙，或對接面與其底背板面之空隙，均不得大于 1.5 公釐。

5.3 以對銲連接構材之對接，須使其均在準確位置，最大偏差不得超過 3 公釐，最大偏斜不得超過 2 度。

5.4 空隙之間，如設計圖未標明，不得以墊片填充，否則須得工程司之許可。

5.5 銲接構材時，須使其均在準確位置，並須保持不變，以至銲接完成，但應預留收縮餘裕。

5.6 為保持構材，在其正確位置之預先銲接（假銲），須能有正式銲接之同等品質。且須儘量縮小，凡與正銲衝突處，應完全熔于正銲內，使其接連成為一體，不合規定之預銲須先予剔除，再行施銲。

5.7 拼裝銲接須在平穩位置上施工。

6. 防縮施工：

6.1 拼合連接、組合構材或鋼筋與其銲接之施工程序，乙方須先提出妥善計畫，經工程司同意後行之。

6.2 所有銲接施工程序之安排應以能平衡進行銲接所生之加熱為準。

6.3 有較大扭曲或收縮之銲接，乙方應預先擬妥施工程序，以便有效控制。

7. 手工掩弧銲接：

7.1 銲接時須儘可能在平銲位置施工。

7.2 銲條種類、銲接尺寸、弧長、電壓、電流須符合材料厚度、溝槽式樣、銲位及銲接環境。

7.3 銲條之最大尺寸除圖說另有規定外，應符下述各項要求：

7.3.1 平銲位所有銲接，除根部外，最大銲條為 8 公釐。

7.3.2 橫銲位角銲最大銲條為 6 公釐。

7.3.3 平銲位之根部角銲及底背板之對銲根部開口大於 6 公釐時，最大銲條為 6 公釐。

7.3.4 立銲位及仰銲位用低氫銲條最大為 4 公釐。

7.3.5 除上述各種銲接及根部對銲外，最大銲條為 5 公釐。

7.4 根部角銲以外，每層最大銲厚及對銲之各層銲厚如下：

7.4.1 根部對銲最大銲厚 6 公釐。

7.4.2 平銲位之每層最大銲厚 3 公釐。

7.4.3 立銲位、仰銲位、橫銲位之每層最大銲厚 5 公釐。

7.4.4 根部之最少銲接須能防止龜裂。

7.5 一次銲成最大角銲：

7.5.1 平銲位：9 公釐。

7.5.2 橫及仰銲位：5 公釐。

7.5.3 立銲位：12 公釐。

7.6 立銲位銲接時，每層須由下而上。

7.7 在已銲接處加銲，須先清除溶渣，並將銲接及其相鄰鋼料以鋼絲刷除乾淨。

7.8 所有對銲其未用底背板者，須將最初之底部削去或削除至健全金屬處，再行銲接。如用與母材同等性質之背板對銲，須將銲著金屬熔入背板。

7.9 對銲之端部須用同一緣形，而寬比銲材厚度為大之補助板使銲接延出構材之邊端外。俟銲接完畢，冷卻時除去該板，並以砂輪或其他機具，將凸出之銲喉及構材修整齊平。

7.10 母材預熱及各層溫度須如下表之規定：

表 1 掩弧銲接母材預熱規定表

母材厚度 (公厘)	掩弧銲接 (不用低氫銲條)	掩弧銲接 (用低氫銲條)
19 以下	—	—
19~39	> 65℃	> 1℃
39~65	> 106℃	> 65℃
65 以上	> 150℃	> 106℃

(資料來源：交通部高雄港務局)

8. 潛弧銲接：

8.1 除角銲外，所有潛弧銲接均須在平銲位施工，角銲可在平或橫銲位行之。一切銲成之角銲厚度不得大于 8 公釐。

8.2 最大銲條直徑為 6 公釐。

8.3 除底（根）層及面層外，最厚銲層不得大于 6 公釐。如根部開口達 12 公釐以上，則須分層分側施工。每層寬若超過 16 公釐，則宜分側疊層為之。

8.4 任一銲接之熔解深或寬度均不得超過銲接面寬度。

8.5 鐸接電流、電壓及移動速度須能使每層鐸接達到適當熔解，且其鋼料及鐸料應無重疊及傷損現象。

8.6 潛弧鐸接面及其相鄰接面均須按規定清除乾淨，且不得含有水汽。

8.7 每層鐸接後，須先澈底除淨鐸渣，再續鐸上層。

8.8 對鐸端處之鐸接品質須與鐸接中部同等良好。如有必要，可加延伸板條，并于鐸後除去。端部則仍應保持光滑平整。

8.9 對鐸之根部可用低氫鐸條，以手工掩弧鐸接，藉防初次潛弧鐸接之燒透。

8.10 潛弧鐸接之預熱及各層需要溫度全手工掩弧鐸接。

9. 預熱：

9.1 鐸接前，對鐸件鐸接處 75 公釐範圍內須加預熱，并須于施鐸進行中，保持預熱溫度。

9.2 以潛弧鐸接作連續之平鐸，或須重熔并與原鐸合成者，均得免施預熱。

10. 品質及改正：

10.1 鐸接部份之露出表面應平整而有規則，并符合設計要求；不論情形如何，鐸著金屬斷面不得小于設計斷面。唯斷面過大而缺陷過多時，其工作亦視為不合格。

10.2 角鐸面應平直，可略有凹凸，超鐸之高度均不得大于 $(0.1S + 0.75)$ 公釐，S 為角鐸之公釐尺寸。

10.3 對鐸之上下面，除規定者外，宜略加厚（施補強鐸）。補強鐸之厚度不得超過 3 公釐，且須與本鋼面成順適之弧線。

10.4 所有鐸接均須良好無裂痕，少有氣泡空隙及熔渣。若缺陷最大尺寸超過最大尺寸之和逾 1 公分者均須除卻之。

10.5 垂直于應力方向之傷損鋼料，不得超過 0.21 公釐深，平行于

應力方向，則不得超過 0.8 公釐。

10.6 鐸接全線之鐸著金屬與母材之間及鐸層間均須完全熔合。

10.7 鐸接部不得有重疊及低陷。

10.8 所有燃燒之凹坑應予鐸接填平。

10.9 有龜裂之鐸接須全部除去。

10.10 剷除不良鐸接可用鑿、磨及氫氧焰等，且不得傷及原鐸接之鐸料及鋼料。

10.11 以補鐸改正不良鐸接宜用較小鐸條（不超過 4 公釐），並須先將其表面清除乾淨，方可補鐸。

10.12 不適合之拼連，得切斷重鐸。其因鐸接所生之扭曲，得以機械矯正或加熱校正，但溫度不得超過 650°C (暗紅色)。

10.13 所有鐸渣均須清除。鐸接未完成前，不得油漆。

B 水中硬化劑塗裝工程

本防蝕規範使用前，針對本塗裝工程如有接續之前一或後一塗裝工程，其所採用之材料，須與本規範採用之材料進行接著性確認。

1.通則

1.1 本章概要

1.1.1 本章說明鋼管樁(或鋼板樁)式碼頭之防蝕工程材料、設備、施工及檢驗等相關規定，本章未註明者依行政院工程會頒布之施工規範為準。

1.1.2 本工程需配合土木工程以後工法施作，並採責任施工。

1.2 工作範圍

1.2.1 鋼管樁包裹防蝕帶、混凝土平台底部間、或鋼板樁銹蝕之水中硬化劑塗裝

1.2.2 為完成本項工作，承包商應自行負責提供所需之一切船機、潛水設備等。

1.3 相關準則

依本章各節之規定。

1.4 資料送審

1.4.1 品質管制計畫

1.4.2 施工計畫

1.4.3 施工圖

1.4.4 製造程序書

1.4.5 承包商資料

1.4.6 人員資格證明

1.4.7 材料符合規範之合格試驗證明

1.4.8 材料樣品 1 份

1.5 品質保證

1.5.1 提送各項材料證明文件：

- (1)通過 CNLA 認證且其認證領域可提供本項材料檢驗之實驗機構出具之檢驗合格證明文件。
- (2)國外產品不能於國內試驗時，需提送經業主工程師認可之公證公司所簽發之「合格證書」。
- (3)提送經業主工程師同意於工廠試驗之「產品出廠證明」及「合格檢驗報告」。

1.6 運送、儲存及處理

1.6.1 防蝕塗料

- (1)塗料應以製造廠之原包裝運達工地，容器上應附有標籤，載明規格、材料、廠牌、產品編號及生產、有效期限。
- (2)搬運時應防止容器碰撞、破損，運送至現場的產品應完好無缺。
- (3)運至工地之塗料應儲存於清潔、乾燥、通風良好之場所。
- (4)防蝕塗料及其相關製品儲放場所應有防止火災發生之完善措施。

1.7 工作順序及進度

1.7.1 工作順序：依業主工程師之指示配合土木工程施作。

1.7.2 進度：依契約規定辦理。

1.8 保固

1.8.1 本工程保固期限為 3 年。

1.8.2 保固部分

(1)防蝕效果：依本章各節之規定。

(2)保固起始日：自驗收完成日起算。

2. 產品

2.1 功能

2.1.1 防蝕塗料

(1)防蝕塗裝材料為無公害之環氧樹脂水中塗料。

表 2 防蝕塗裝材料之特性

項 目	物性標準
鹽霧試驗	無銹蝕現象
抗拉強度	25N/mm ² 以上
彎曲強度	30N/mm ² 以上
壓縮強度	35N/mm ² 以上
彈 性 率	5500N/mm ² 以上

註：表列項目皆須由承商提送檢驗證明。

(資料來源：交通部高雄港務局)

2.1.2 其他產品依相關圖說之規定。

2.2 材料

2.2.1 除另有規定時，本章工作所用之材料應符合 CNS 或 ASTM、JIS、DIN 之規定為依據。

3. 施工

3.1 準備工作

3.1.1 依工程圖說及特性提出施工計畫。

3.1.2 施工前，應先進行下列之工作：

- (1) 施工場地整理
- (2) 臨時安全措施

3.2 施工方法

3.2.1 防蝕塗裝

- (1)塗裝區域表面需噴砂處理，鋼管樁(或鋼板樁)表面需達 SIS Sa2 1/2 標準，不得有油脂現象，混凝土表面需將表面灰塵及鬆動之雜物清除乾淨，不得有乳化面現象；以刷、掃、真空吸塵或高壓空氣吹除之方式除去表面灰塵及鬆動之雜物。表面處理需經工程師認可後方得進行塗裝作業。塗膜厚度以平均 5mm，最低膜厚 4.5mm 為原則。
- (2)相對溼度高於 85%以上時，氣溫低於 10°C 時，鋼構件表面溫度超過 40°C 或低於露點時不得施工，但塗料製造廠商另有建議，且經工程師同意者不在此限。施工環境不可有塵土飛揚情形，以免污染。
- (3)本項工作需配合土木工程施工，承包商應妥為規劃責任範圍內之作業場地，不得因場地及處理能力而造成其他承包商作業之堵塞。

3.3 檢驗

3.3.1 防蝕塗裝

- (1)防蝕塗裝材料成份之檢驗應由承商提送檢驗證明，檢驗費用及工期由承包商自行負責。

表 3 防蝕塗裝材料成份之檢驗方法

項 目	試 驗 方 法
鹽霧試驗	ASTM B117
抗拉強度	ASTM D638
彎曲強度	ASTM D790
壓縮強度	ASTM D695
彈性率	ASTM D790

(資料來源：交通部高雄港務局)

3.3.2 各項材料之檢驗應運至工地後再行抽樣檢驗或只提送檢驗證明由工程師核可依該項工程相關圖說規定辦理。

3.3.3 除上述各項材料及施工之檢、試驗項目外，其餘材料之檢驗項目、依據之標準、規範之要求、頻率應依設計圖說、施工說明書及相關章節之檢驗部分辦理。

3.4 現場品質管制

3.4.1 防蝕塗裝

(1)施工期間承包商必需進行水中照相，並提送照片及電子檔案各一份，供業主工程師存參；全部之鋼管樁(或鋼板樁)及混凝土底版均需編號照相，鋼管樁每支(或鋼板樁每處)至少 4 張，拍攝內容包括鋼料表面清理、塗裝前及塗裝後實況，照片上應標示位置、編號以利查核並為驗收之用。倘由於海水污濁度造成照片不清，不能提供業主工程師查核驗收，則由業主工程師自派人員檢驗。

(2)目視表面不得有垂流、起泡、裂縫等不良現象，塗膜厚度以膜厚計檢驗，若有任何一點不合格，承包商應負全責查定原因並予改善，至業主工程師認定合格後始認為完工。

(3)保固期內，承包商應會同業主工程師追蹤調查，第一年內每六個月一次，翌年起每一年一次，並作成紀錄提交業主工程師作為判定防蝕效果之依據。

(4)防蝕效果：若有任何位置目視表面有垂流、起泡、裂縫等不良現象，即判定為未達防蝕效果，承包商應負責查明原因並予以改善，若無法改善則應拆除重做。

3.4.2 本節未說明之工作項目依設計圖說及契約項目或依該施工項目章節中之現場品質管制部分辦理。

3.5 許可差

3.5.1 本節未說明之工作項目依設計圖說及契約項目或依該施工項目之章節中之許可差部分辦理。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 防蝕塗裝

(1) 以「平方公尺」為計量單位。

4.1.2 本節未說明之工作項目依契約項目或併入相關章節之適用項目內計量。

4.2 計價

4.2.1 防蝕塗裝

(1)以「平方公尺」為計價單位。

(2)本項單價包含材料、檢驗、試驗、表面處理、安裝等工作，凡為完成本項工作所需之一切直接、間接工、料、設備、動力、機具、船舶、零料等均包括在內。

4.2.2 本節未說明之工作項目依契約項目或併入相關章節之適用項目內計價。

4.2.3 本單價已包括所有人工、材料、工具、機具、設備、運輸及其他為完成本工作所必需之費用在內。

C 流電陽極法防蝕

1. 說明：

本碼頭工程之流電陽極防蝕工程，係由甲方另案委交專業公司連工帶料責任施工。本章係以流電(犧牲)陽極法(Galvanic-Method System)用于鋼製港灣結構物防蝕處理之有關事項。本法係以電位較被防蝕體（鋼製港灣結構物）為低之金屬，在海水中利用兩者間電位差而產生之電流，以達防蝕之目的。本陰極防蝕工程施工之前，乙方應檢驗海水環境條件及防蝕電流密度，倘與原設計所假設之條件：海水比電阻 $20\Omega\text{cm}$ ，鋼管(板)樁防蝕電流密度海水中 $150\text{mA}/\text{m}^2$ ，拋石中 $75\text{mA}/\text{m}^2$ ，海土中 $20\text{mA}/\text{m}^2$ ，不符時，由甲方重新提送設計圖後施工，其費用依實作數量計價。

2. 陽極材料：陽極材料採用鋁合金陽極塊。

鋁合金陽極之特性：詳見下表。

表 4 鋁合金陽極之特性

項 目	標 準
陽極開路電位(-V)*	(S.C.E.) ≥ 1.10 $\text{Cu}/\text{CuSO}_4 \geq 1.17$ $\text{Ag}/\text{AgCl} \geq 1.10$
有效電壓(V)	0.25
理論發生電量(Ah/g)	2.90
電流效率(%)	> 90
有效電量(Ah/g)	> 2.60
消耗率(kg/A.Yr)	< 3.40
*：任選一種	

鋁合金陽極之組成百分率：如後表 B.，廠商得自選其中一種配方製造。

表 5 鋁合金陽極之組成百分率

種類	Zn	In	Sn	Mg	Cu	Fe	Si	Ca	Others	Al
1	0.05～ 10.0	0.005～ 0.05	< 0.02	1.0～ 3.0	< 0.01	< 0.13	< 0.1	< 0.02	< 0.02	餘數
2	1.0～ 10.0	0.01～ 0.04	0.005～ 0.15	0.1～ 6.0	< 0.01	< 0.1	< 0.08	0.005～ 0.05	< 0.02	餘數

註：Hg 及 Cd 均 ≤ 0.000 ，Others 係指 Other 之總和

(資料來源：交通部高雄港務局)

3. 陽極及其附屬設備之裝設

3.1 流電陽極之裝設法

將陽極材料直接裝置於被防蝕體(鋼料)之表面。

3.2 施工要點：

3.3 防蝕設備及安裝：

- A.為完成本項工作，乙方應責任施工自行負責提供所需之一切船機、潛水、電鍍(含水下)設備等。
- B.乙方所提供陽極材料須有原廠檢查報告書並須符合表 A.及表 B.之規定。
- C.陽極塊在鋼管(板)樁上之支撐鐵板得於陸上先行鍍上，餘採用水中電鍍法，將陽極按設計圖所示位置鍍牢。水中焊接作業技術人員須具有水中焊接工作經驗並持有潛水執照資格之證明文件者。其固定骨材方式僅供參考，承包商得自行提出固定方式，並負保固之責任，經工程司同意後施作。

3.4 檢驗

- A.表 6 外觀尺寸及重量

	斷面尺寸	長度	重量
容許誤差	+不規定 -1mm	+不規定 -5mm	+不規定 -0.5%

外觀尺寸及重量不合格者，不得使用

(資料來源：交通部高雄港務局)

B.陽極成份及分極特性之檢驗應由乙方會同工程師取樣送公立檢驗機構、學術機構或財團法人工業技術研究院工業材料研究所檢驗。陽極製品應依生產爐次順序編號，取樣數量以每 250 個陽極抽取一個切割製作 20 公釐直徑試件 3 支實施分極試驗，同組中有任何 1 支不合格，即判定為不合格製品，同屬該爐次製造之成品拒收。檢驗費用由乙方自行負責。

3.5 電位測定設備

- A.電位測定用端子依設計圖之規定辦理。
- B.端子及固定用材料應使用不銹鋼製品。

3.6 電鉸施工要領

- A.施工鉸接時，電焊條採用鈦鐵礦系適合水中及全位置焊接，符合 E4301 產品，焊條直徑 4 或 5 公厘。
- B.所有陽極及測試裝置之鉸接規格如次：

A)陽極部份

腳長：6mm 以上。

喉厚：4.2mm 以上。

長度：每端兩側各 140mm 以上。

B)測試裝置

長度：兩邊各 100mm 以上。

喉厚：3.5mm 以上。

C) 允許誤差

鋼管(板)樁，其誤差在上下及左右方向均應在 10cm 以內

4. 驗收與計價

4.1 驗收

施工期間乙方必須提供水中照相，全部之陽極塊均需編號照相，拍攝內容包括鋼料表面清理、陽極定位、上下焊道等施工後實況，照片上應標示位置、編號以利查核並為驗收之用。倘由於海水污濁度造成照片不清，不能提供工程師查核驗收，則由甲方工程師指派潛水人員水中抽驗，惟其單價不變。

全部陽極安裝完竣經 4 星期後乙方應會同工程師於指定位置測試電位，並作成紀錄提交工程師作為判定防蝕效果之依據。防蝕效果之認定以防蝕電位為準，即各試點之電位必須小或等於飽和甘汞電極基準-770mV 或人工海水氯化銀電極基準-780mV 或飽和硫酸銅電極基準-850mV。若有任何一點未達防蝕電位，乙方應負全責查定原因並予補救，至工程師同意為止。

防蝕效果經工程師認定合格後本工程始認為完工。

本防蝕工程完工之日起三年內，乙方應會同甲方人員測試電位(測試位置同 條所述)，第一年內每三個月一次，翌年起每六個月一次，並作成紀錄提交甲方核備，若發現防蝕效果低落，而其原因為品質不良或因施工不佳導致失效或陽極脫落，則乙方應即無償重新換裝。

4.2 計價

流電陽極以安裝完竣之塊數或組數為單位計價。

電位測試裝置以安裝完後之處數為單位計價。

上述工作項目之丈量與付款應包括所有材料供給，人工、工具、船隻、電力、保險及為完成該項工作之一切直接與間接費用均在內。

本工程較為特殊，陽極全部安裝完工後尚須測試三年，故其付款辦法，安裝完工測試合格時甲方僅付給乙方本陰極防蝕工程總工程費之百分之九十，測試不合格，乙方應無償換新，所餘之百分之十則于整體工程驗收合格後付清，保固期內若發生 4.1 所述情況時，乙方應無償重新換裝。

D 鋼管樁包裹防蝕

1. 材料

(1)防蝕帶 (Marine Piling Tape 或同級品)

A.成份：鋼管樁潮差帶表面防蝕帶採冷包型中性石油脂 (Petrolatum)為基材，內襯化學合成纖維(Synthetic Fiber)製成。

B.厚度：平均 1.30 mm

C.重量：平均 1.62 kg/m²

D.撕斷強度(Breaking Strength): 20 kg/50mm 寬或 10 kg/25mm 寬。

E.降伏延伸率：大於 10%

F.耐陰極電壓：雙層 15 KV 以上

G.黏著性：大於 1.0 kg/25mm 寬。

(2)保護面層 (Fiber-Glass Plastic FRP 保護套)

A.成份：FRP 之聚酯樹脂含量 $\leq 50\%$ ，玻璃纖維含量 $\geq 50\%$ ，其樹脂需符合 CNS 9715 之規定，而補強物需符合 CNS 7398、7401 及 8428 之規定。

B.厚度：3mm $\pm$ 0.1mm

C.軸向張力強度：600 kg/cm² 以上(ASTM D638)

D.環向張力強度：1400 kg/cm² 以上(ASTM D2290)

2.施工程序

(1)表面清理

使用高壓水或鋼刷將鋼管樁表面附著的蜆殼、剝落漆片、銹片，澈底除淨。

(2)依設計圖位置予鋼管樁上安設固定箍，並確實鎖緊。

(3) 包覆防蝕帶

- A. 於固定箍上端之鋼管樁表面，塗佈防蝕底劑，其用量不得少於 400g/m^2 。
- B. 自固定箍之上端開始向上纏繞防蝕帶採取螺旋形纏繞方式進行，每圈之重疊寬度為防蝕帶寬度之 55%，亦即雙層包覆。
- C. 包覆防蝕帶時使用適當之拉力，一面纏繞並同時以手撫平施壓，以確保防蝕帶能緊貼鋼管表面，不得有水份與氣泡殘留。
- D. 兩卷防蝕帶搭接時，至少要有 15cm 的搭接長度。

(4) FRP 保護套組合及安裝

- A. 保護套採用 2mm 厚之 FRP 製成之。
- B. 兩片 FRP 對開，其寬度必須能確保將鋼管樁環繞一圈，沒有任何外露間隙且可以確實束緊為原則。
- C. FRP 保護套之兩側，依圖示間距，分別預留螺栓孔。
- D. 以 50 mm 寬之自粘性 PVC 膠帶，將已包裹之防蝕帶先行固定。
- E. FRP 保護套安裝時，應使其緊貼 PVC 帶面，而後使用螺栓、螺帽旋緊，不得有鬆脫之情況發生。
- F. FRP 保護套之上部須焊以固定箍，並塗以防蝕材料，以防止 FRP 保護套受浪力而上下運動。
- G. 上端固定箍與梁底混凝土面間隙，依設計圖示，塗以高膜厚彈性防蝕被覆材料如 Mitsuron B500 或同級品。

3. 計價

以每平方公尺計，單價包括所有材料、人工、機具和一切直接、間接費用等均屬之。

附錄三

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

☒期中 ☐期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-99-H1DB012

計畫名稱：「棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)」

執行單位：中山大學海洋環境系

審查日期： 99 年 7 月 14 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
臺灣海洋大學河海工程系 張建智 教授		
1. 期中報告內容豐富，亦有初步檢測成果。	感謝委員肯定。	同意辦理方式
2. 現場檢測結果請於期末報告中放入文中，並加以討論說明。	將於期末報告中放入整體檢測資料及規劃評估方法，並於報告中放置研討及說明。	同意辦理方式
3. p79 有關修正後之抗壓強度值，請四捨五入後以整數表示。	依審查意見，已進行修訂改正。	同意辦理方式
4. p8 腐蝕總反應有誤，請加以修正。	依審查意見，已進行修訂改正。	同意辦理方式
5. 建議未來將檢測成果或維護工法資料庫建置時，為利於資訊的整合，請直接應用港研中心現有之碼頭設施維護管理系統。	將於後期資料庫建置時，研討應用港研中心現有之碼頭設施維護管理系統，考量相關參數及資訊，並做適當修正。	同意辦理方式
港灣技術研究中心 陳桂清研究員		
1. 結構檢測整合性之安全評估方法，如何驗證其評估結果之正確性？	目前只能將實際評估放入新方法並與 D.E.R 比較，未來若能有新的計畫必須利用適當之模型試驗來驗證。	同意辦理方式
2. 資料庫系統之建置，應配合本中心現有之維護管理系統，做適當之修改。	將於後期資料庫建置時，研討應用港研中心現有之碼頭設施維護管理系統，考量相關參數及資訊，並做適當修正。	同意辦理方式

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
港灣技術研究中心 謝明志科長		
1. 第五章約略提到檢測資料庫系統，並未作系統的確認，因資料庫為各項現地調查的集合及將來分析之重要資源，請儘快確認所要採用的系統，以及格式、內容宜做好設計。	處理情形同陳委員意見 2，建議另予說明。	同意辦理方式
2. 碼頭材料老劣化問題，日顯重要，對材料表層可目視的現象，以及透過儀器工具所得到的檢測結果，宜加強比對，以能改善目視檢測表單，得以能從表面現象探知可能的內部損壞及破壞的可能發展。	針對以往目視檢測，將採用新評估方法，包含現場觀測及力學數據為主，以期能滿足整體結構安全之評估。	同意辦理方式
中央大學土木工程系 李釗 教授（書面審查）		
1. 本計畫主有研究和實務應用的正面意義。主持人為國內相關領域的專家，對期末報告有信心和有期待。	感謝委員肯定。	同意辦理方式
2. 報告宜雙面影印。	依審查意見，於期末報告進行修訂改正。	同意辦理方式
3. 建議擴充參考文獻的收集範圍。	參考文獻將陸續持續增加資料庫系統、維護手冊等文獻。	同意辦理方式
4. 建議在文章中隨時註記參考文獻。	依審查意見，於期末報告進行修訂改正。	同意辦理方式
5. 建議模擬設定將來報告的閱讀對象，依閱讀對象擬定報告內容的深淺。	依審查意見，於期末報告進行修訂改正，並於期末報告中針對閱讀對象擬定適當的內容。	同意辦理方式

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
6. 建議統一各章節標題的編碼方式。	依審查意見，於期末報告進行修訂改正。	同意辦理方式
臺灣海洋大學材料工程系 楊仲家 教授（書面審查）		
1. 請說明並比較附錄 A 中，有磨耗層及無磨耗層壓力強度之差異性。	依審查意見，於期末報告中說明有磨耗層及無磨耗層壓力強度之差異性。	同意辦理方式
2. 請以檢測之混凝土強度，評估目前混凝土結構之安全性。	將於評估方法中針對檢測資料說明對於結構之安全性。	同意辦理方式
3. 請依據附錄 B 腐蝕機率之結果，提出維修工法。	將於期末報告中對於腐蝕情況，提出適當之維修工法。	同意辦理方式
4. 請依據附錄 C 裂縫寬度及裂縫深度，提出結構安全評估及維修工法。	將於評估方法中針對檢測資料說明對於結構之安全性及維修工法。	同意辦理方式
5. 請說明附錄 E 中，量測之氯離子百分含量如何換算成 kg/m^3 之單位為。例如：p102，面版 #1-E2~E3 上層，Cl- 為 0.015%，如何轉換為 0.045 kg/m^3 。	即是假設水泥含量為 300 kg/cm^3 的結果。	同意辦理方式

附錄四

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

□期中☑期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-99-H1DB012

計畫名稱：「棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)」

執行單位：中山大學海洋環境系

審查日期：99年11月18日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
臺灣海洋大學河海工程系 張建智 教授		
1.研究內容豐富，研究成果具實用性。	感謝委員肯定。	同意辦理方式
2.請於報告中補充結論與建議。	依審查意見，已予以補上。	同意辦理方式
3.部分繕打誤植處，請加以訂正。 如 p.6 定“義”、幾“何”尺寸； p.9 電化學反應式不平衡； p.32 鑽心取樣強度：樑狀試體可刪除； 表 3-1 至表 3-4 編排順序有誤； p.163 參考文獻 19 及 20 重複。	依審查意見，已完成修訂改正。	同意辦理方式
4.如有棧橋式碼頭原始之混凝土設計強度，則請加入。	因設計年代久遠，也與高雄港務局接洽過，但仍無法取得資料。。	同意辦理方式
5.有關安全檢測評估中，係數 β_2 定義的劣化深度所指為何，請補充說明。	劣化深度即是「中性化深度」。	同意辦理方式
港灣技術研究中心 陳桂清研究員		
1.現場檢測大都以材料變化來評估，建議未來在碼頭結構物安全	第四章採用的新評估方法，包含現場觀測及力學數據，應能	同意辦理方式

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
評估時，應考量增加結構力學分析。	符合建議，滿足整體結構安全之評估。	
2.碼頭檢測資料庫系統，如何與本中心現有資料庫進行整合？	目前由於中心系統前端呈現方式以及後端資料庫之形式與 schema 尚未明確的情況下強行整合，將會發生資料庫無法正規化而致使資料訊息無法正確呈現的嚴重情況發生，加之以後端資料庫整合並非短時間內所能完成，是以於此並不建議將整合納入此階段的計畫執行。	同意辦理方式
3.p.146 頁缺圖（圖 6.20 及圖 6.21），請補齊。	依審查意見，已予以補上。	同意辦理方式
港灣技術研究中心 柯正龍研究員		
1.碼頭結構安全檢測評估系統首頁及內容呈現方式，請依 99 年 10 月 4 日第二次工作會議之結論修正。	依審查意見，將予以改進。	同意辦理方式
2.現場檢測以一般檢測及定期檢測機會較多，但系統展示內容則以詳細檢測方式為主，建議酌加參考計畫主持人之前曾執行交通部委託之相關計畫成果並引用，以供符合提供現地人員檢測實務所需參考之目的。	依審查意見，將於後續計畫中予以改進。	同意辦理方式

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
3.系統填寫似嫌不易，建議其內容應加列填表說明。	依審查意見，將於教育訓練做補充說明	同意辦理方式
4.系統應將本計畫主要工作項目，如檢測評估方法、維護工法及相關手冊等納入，以充實其內容與實用性。	依審查意見，將於後續計畫中予以改進。	同意辦理方式
5.系統應可提供完成填寫後，可將評估結果列印之功能。	依審查意見，已予以加上列印功能。	同意辦理方式
6.圖表及附錄一手冊、附錄二相關工法，建議應加註資料來源。	依審查意見，已予以補上。	同意辦理方式
7.附錄一，p.78 頁缺圖（圖 6.20 及圖 6.21），請補齊。	依審查意見，已予以補上。	同意辦理方式
8.p.71 圖 4-1 不清楚，請重新繪製。	依審查意見，已完成修訂改正。	同意辦理方式
港灣技術研究中心 謝明志科長		
1.p.29 圖 3-5，棧橋面板依單元再細分並給編號，此編號看似以樁位排列當劃分邊界。但因樁位由面板頂部看不到，現場巡檢或測試人員，如何在目視研判時，確認當時所在位置是何編號，以記錄資料？	可向港務局索取面板資料，再依資料上標示的尺寸，以捲尺量測並用粉筆畫上記號，即可得到各編號單元的正確位置。	同意辦理方式
2.目前系統上，已寫入分析公式，求得 Φ 值，而在實際推算上有些條件是用假設值代入，未來在系統操作手冊上，能否把假設資料	依審查意見，將於後續計畫中予以改進。	同意辦理方式

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
有那些也註明，讓使用者能予酌量。		
3.報告格式請依本所出版品規定編排。	依審查意見，已完成修改正。	同意辦理方式
臺灣海洋大學材料工程系 楊仲家 教授（書面審查）		
1.p.32，表 2-6 氯離子重量單位請改正。	依審查意見，已完成修訂改正。	同意辦理方式
2.請確認 p.48 之氯離子測定方法為新拌或硬固混凝土之測定法。	是為硬固混凝土測定法。	同意辦理方式
3.請說明 p.68-71，表 3-7 及表 3-9 中 $Cl^{-}(\%)$ 轉換成 kg/cm^3 之方法。	即是假設水泥含量為 300 kg/cm^3 的結果。	同意辦理方式
4.請說明 p.95，表 4-3 中， d 、 S_i 、 θ_i 、 σ_i 、 E_i 之計算方法。	d ：磨耗層厚度(25cm) S_i ：裂縫寬度 K_d ：裂縫深度 $\theta_i = S_i/(d-K_d)$ σ_i ：抗壓強度 $E_i = \sigma_{imax} * \theta_i * [(\sigma_{imax}-\sigma_i)/\sigma_{imax}]$	同意辦理方式
5. 請說明 p.96，表 4-4 中，各 α 、 β 之計算方法及模式評估方式。	已於報告第四章內容中充分說明。	同意辦理方式
6. 請說明本計畫中求得之測試結果，如何應用於安全評估系統資料庫。	將測試資料輸入至資料庫後，獲得 Φ 值，再由 Φ 值作結構安全的判定。	同意辦理方式
7. 請說明碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊研擬過程與結果。	主要參考交通部國道高速公路局「高速公路橋樑一般目視檢測手冊」之 D.E.R.評估法，結合高雄港	同意辦理方式

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	務局「高雄港港灣設施維護管理手冊」整理歸納而成。	
8. 請說明教育訓練規劃事宜。	將發公文至各個港務局及相關單位進行通知，並於當日進行二個小時的教育訓練課程。	同意辦理方式
9. p.48，第 10 行，“慮”離子，請修正。	依審查意見，已完成修訂改正。	同意辦理方式

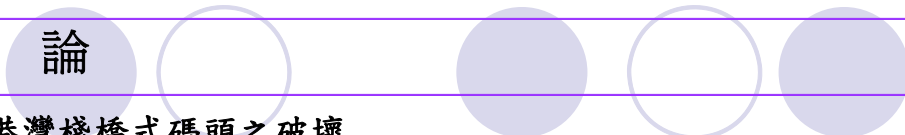
附錄五

講習訓練會簡報



棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查及結構安全評估 講習訓練

中山大學海工系 李賢華
中華民國九十九年十二月三日



緒 論

- 港灣棧橋式碼頭之破壞

- 由於施工技術容易且工期較短，目前國內商港新建及改建常採用之。如基隆港及臺中港為例，近年即有多座碼頭均選用此結構型式碼頭
- 但其缺點為R. C. 面(底)版，因長年遭受海水波浪之衝擊浸漬，海水中之氯離子甚易侵入底版，造成內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。

- 碼頭R. C. 面版之破壞

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

造成碼頭R.C.面版破壞的原因

- 外力的作用
 - 碼頭R.C.面版在設計時即須考慮到外力的作用，除功能性考量外，則以抵擋一定時間週期內之外力
 - 而港灣及海域中最主要的外力即為波浪作用
 - 其次如地震力亦可能造成嚴重破壞
 - 再則為船舶的碰撞、裝卸作業不當，或基樁的不均勻沈陷等均為造成損壞之原因。
- 材料性能改變分析
 - 混凝土材料的劣化 鋼筋的腐蝕
 - 波浪外力產生之振動疲乏及其他原因所造成之材料性能改變等。
- 整體結構影響分析
 - 碼頭R.C.面版在材料破壞後之影響，通常可由結構受力後之行為改變觀察出來。
 - 經過相關資料之分析及影響評估，更能對碼頭面版之安全與否，給予整體的概念。

港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化

- 混凝土材料之劣化

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

 - 物理侵蝕

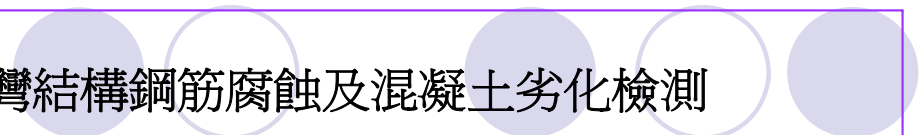
主要是指受到風化作用造成混凝土劣化變質，因為波浪與海流作用使混凝土表面被沖刷造成磨耗與孔隙破壞，以及因結構物受衝擊、超負載、反覆過載等作用至使混凝土結構產生裂縫。
 - 化學侵蝕

化學侵蝕主要包括了侵蝕物質(CO₂、Cl⁻、SO₄²⁻等)與水泥漿體之水化作用產生了交互反應、與水化產物產生溶解與析晶反應、發生膨脹等。



● 鋼筋材料之腐蝕

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



港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測

- 目視檢測
- 非破壞性試驗
 1. 反彈錘法
 2. 鋼筋電位值量測
 3. 裂縫深度檢測
 4. 鋼筋探測儀
- 破壞性試驗
 1. 鑽心試體抗壓試驗
 - A. 抗壓試驗
 - B. 氯離子檢測

碼頭現場檢測實施成果

- 現地結構檢測因環境不同其考量要點包括了實施範圍、實施項目、精確性、方便性與經濟性等。本文中主要所探討的碼頭為棧橋式碼頭，碼頭面版可用鋼筋混凝土構造，基樁則以PC、RC或鋼管樁作為碼頭岸壁之支撐。

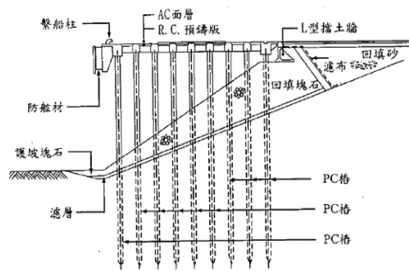


圖 3-1 直棧棧橋式碼頭斷面示意圖

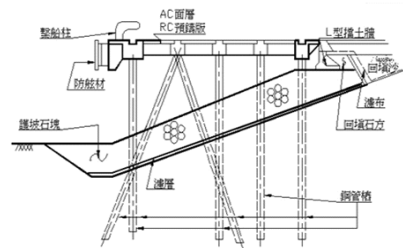


圖 3-2 斜棧棧橋式碼頭斷面示意圖

港灣結構安全檢測項目

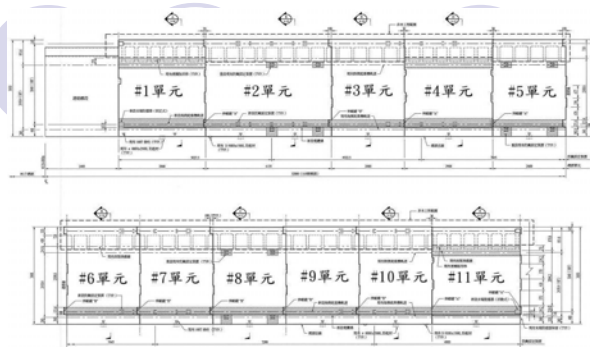
- 碼頭結構安全檢測又可概分為
 - 整體結構變形檢測
為各種型式碼頭皆可能產生之大變形或位移檢測
 - 細部結構材料檢測
與碼頭結構型式或構造材料關係較為密切之結構檢測
 - 基礎地盤檢測
 - 碼頭附屬設施檢測
- 碼頭上部面版結構腐蝕劣損破壞
 - 混凝土強度試驗、
 - 中性化檢驗、
 - 氯離子濃度測定、
 - 保護層厚度檢查、
 - 鋼筋腐蝕電位測定

受測碼頭及檢測單元區分

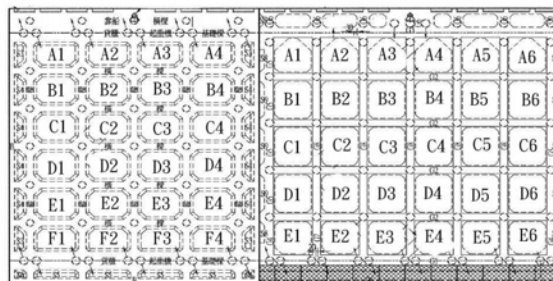
- 高雄港#118號棧橋式碼頭碼頭。

118號碼頭位於高雄港中興商港區，屬於高雄港第四貨櫃中心。第四貨櫃中心臨港水線2,532m，縱深450m，共有深水碼頭8座，編號115~122，儲運場地100公頃，儲存能量35,000TEU。

- 碼頭面板單元如下一頁所示，區分成11個單元，各單元之大小並非完全一致。
- 各單元有屬於A型面版(含大樑及小樑)型式或B類面板型式如圖所示，因此、在調查及分析時具有相當的複雜度。



碼頭平面單元區分示意圖



碼頭面版樑版平面圖

B單元棧橋面版樑版標準平面圖
S=1200 U=200

A單元棧橋面版樑版標準平面圖
S=1200 U=200

儀器檢測內容

- 反彈錘檢測

圖3-5為本研究所使用之Schmit反彈錘，圖3.6則為碼頭現場實地操作之情形。施測時各面板有磨耗層及無磨耗層均進行，數據中顯示包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。



圖3-5 反彈錘測試儀

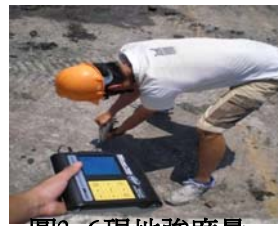


圖3-6 現地強度量測

- 混凝土鑽心取樣強度試驗

鑽心試驗是依據CNS規範中取樣試體之規定，取樣後則進行抗壓試驗，抗壓試驗採用SUMMIT之抗壓試驗機，鑽心試體進行抗壓試驗時應依規定步驟進行，抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求。



圖3-7 試體抗壓試驗
及破裂狀態

- 現場反彈錘平均數值
 - 有磨耗層平均138~266(kgf/cm²)
 - 無磨耗層平均424~665(kgf/cm²)
- 鑽心取樣抗壓強度數值介於414~601(kgf/cm²)。
- 鑽心取樣試體抗壓強度與現場反彈錘無磨耗層強度比較，反彈錘強度比鑽心取樣強度多出10~20%左右，如下表所示：

混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較^o

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

表3-1 鑽心試體抗壓強度與反彈錘無磨耗層強度比較

- 混凝土中性化及保護層厚度檢驗
 - 測定混凝土中性化深度及中性化區域
 - 利用酚酞指示劑，將現場所鑽取之混凝土試體或敲除之混凝土，放置在乾燥環境讓試體自然乾燥後，再將混凝土表面上噴灑酚酞指示劑。觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度
 - 混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，取樣後之試體中性化情形如圖3-8所示，顯示其中性化之深度最大達2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。



圖3-8鑽心試體
中性化情形

現地碼頭鑽心取樣及中性化試驗結果

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

● 混凝土氯離子濃度測定

- 本研究中有關氯離子濃度測定之方法，為參考 CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法，等規定做為氯離子含量濃度的評估，標準僅做為比較之參考，安全評估時暫不列入考慮。
- 結果分為面板之上層及下層分別比較。非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。
- 以CNS之規範針對硬固RC結構物(需耐久性考慮者)其含量需低於 0.3 (kg/m³)，各面板下層之氯離子含量約為0.1~0.2(kg/m³)，尚符合規範之要求。

各單元面板平均氯離子含量

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

注：鋼筋混凝土氯離子規定不得超過 0.3 (kg/m³)。

裂縫深度檢測

根據現場量測裂縫寬度及深度，裂縫深度均未超過保護層，檢測資料如下表所示。

編號	位置	b (cm)	t ₁ (us)	t ₂ (us)	裂縫寬度 w(mm)	裂縫深度 c(cm)	是否超過保護層
1	#1-E3	2.5	56.9	70.9	2.643	5.3	否
2	#2-F4	2.5	34.4	56.6	1.011	2.2	否
3	#2-F7	2.5	42.9	65.4	0.785	2.8	否
4	#3-F2	2.5	37.5	53.8	2.833	3.4	否
5	#4-E5	2.5	45.3	60.4	3.110	4.2	否
6	#4-E6	2.5	40.8	56.9	0.516	3.7	否
7	#5-F1	2.5	41.7	56.7	1.457	4.0	否
8	#5-F4	2.5	47.8	82.9	0.981	1.8	否
9	#6-F2	2.5	42.2	67.8	0.320	2.4	否
10	#6-F3	2.5	58.2	85.1	0.981	3.2	否
11	#7-F3	2.5	42.2	65.2	0.320	2.7	否
12	#7-F4	2.5	40.3	54.3	1.685	4.1	否

● 鋼筋電位值量測

- 根據規範ASTM-C876量測腐蝕電位與預測內部鋼筋腐蝕程度之關係，可依腐蝕電位與鋼筋腐蝕機率評估。
- 根據現場量測值，上層面板平均電位值介於-216~-318(mv)，下層底樑平均電位值介於-312~-413(mv)，下層底樑比上層面板腐蝕機率相對較高。
- 另外對岸肩護欄外露鋼筋也施做腐蝕電位量測，平均電位值介於-492~-532(mv)，已超過高腐蝕機率許多

#1-E2~E3 單元面板之鋼筋腐蝕電位(mv)					
面板	鋼筋電位值			平均鋼筋電位值	腐蝕機率
上層	-287.2	-254.3	-234.6	-234.3	(中)
面板	-223.4	-208.8	-197.5		
下層	-315.3	-283.1	-336.4	-350.1	(高)
底樑	-333.6	-424.7	-407.5		

棧橋式碼頭RC結構破壞評估方式及理論基礎

傳統評估方式可分為下列兩種方式：

1. 以試驗室力學數據為主之理論(damage assessment based on experimental evidence)
2. 以現場觀測數據為主之方法(damage assessment based on field investigation data)

以試驗室力學數據為主之評估理論

如下式來表示：(Park and Wen, 1985)

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE$$

δ_M 外力作用下，結構之最大變形量 (maximum deformation)

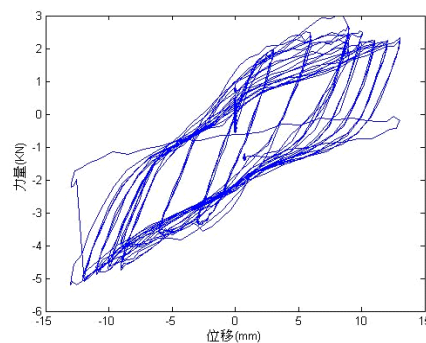
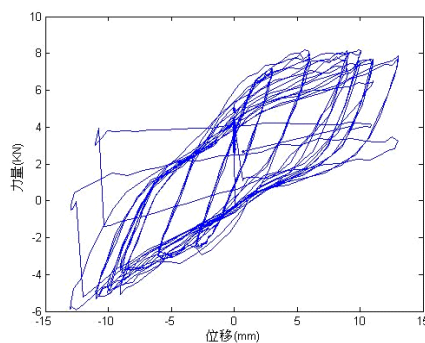
δ_u 靜力設計時，結構物之極限變形量 (ultimate deformation)

Q_y 構件之降伏強度 (yielding strength)

dE 結構物破壞前所吸收之能量 (accumulated energy)

β 非負值之試驗常數 (empiric constant)

典型RC構件受力及位移情形



以現場觀測數據為主之評估方法

- 此一方法所使用之數據，為現場檢測之破壞現象，以簡便之方法歸類及分級，然後以構件為單位加以統計，該方法將目視檢測之要項分為：破壞程度(degree D)、破壞延伸範圍(extension E)及破壞處與主結構體之相關性(relevance R)，簡稱為D. E. R. 檢測法。
- 狀況指標(Condition Index)則表示為

$$CI = 100 - 12.5 \times \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i$$

棧橋式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響 R	(D+E)xR
碼頭基樁	BWP01 基樁頭				
	BWP02 基樁體				
	BWP03 防蝕塊				
法線	BWS01 平直度				
	BWS02 垂直度				
	BWS03 伸縮縫				
面板及底樑版	BWD01 大樑				
	BWD01 底板				
	BWD01 面板				
樁基礎及護坡	BWF01 基礎				
	BWF02 護坡				
主體結構破壞評估		=			

(1) 結構大部明顯可檢視現象D值評估

檢測位置	劣化現象	劣化程度	D值
碼頭壁體	傾斜、破損 混凝土剝離 龜裂	1、混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出	2
		2、混凝土龜裂，鋼筋完全露出	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	4
碼頭法線	變形、扭曲	1、儀器檢測出法線偏移、扭曲	3
		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
		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

(2) 混凝土結構性質檢測D值評估

檢測位置	劣化現象	劣化程度	D值
混凝土強度	劣化、不足	1、強度不足為10%以內	1
		2、強度不足為15%以內	2
		3、強度不足為20%以內	3
		4、強度不足達30%以上	4
混凝土中性化 深度比較	深度比較	1、深度比為50%以內	1
		2、深度比為50%~80%	2
		3、深度比為80%~100%	3
		4、深度比為100%以上	4
混凝土氯離子 濃度	超過	1、0.1kg/m ³ 以內	1
		2、0.1kg/m ³ ~0.2kg/m ³	2
		3、0.2kg/m ³ ~0.3kg/m ³	3
		4、> 0.3kg/m ³	4
保護層厚度	不足	1、厚度不足為20%以內	1
		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50%以上	4

(3) 鋼筋、鋼管及鋼版結構性質檢測D值評估

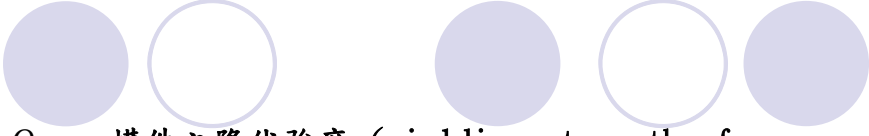
鋼筋腐蝕 探測	腐蝕	1、無明顯的鏽蝕區域	1
		2、局部區域有鏽蝕集中	2
		3、帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現紅橙色成帶狀剝落	3
		4、一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色剝落達構件 1/3 的範圍	4
鋼版腐蝕 檢測	鏽蝕位置	1、L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕	1
		2、平均低潮位附近起，於L.W.L.附近可見紅橙色生鏽或皆見不到	2
		3、於L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布	3
		4、H.W.L.以上的飛沫帶及平均低潮位接近L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	4

考慮力學理論與現場觀測數據之整合性評估方法--構件破壞指標 (member damage index, De)

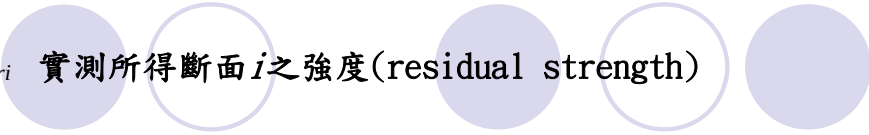
- 個別構件之評估方式以破壞指標來敘述，表示如下：

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e$$

- 外力作用下，e構件之最大變形量 (maximum deformation of e member)
- 靜力設計時，e構件之極限變形量 (ultimate deformation of e member)
- 非負值試驗常數，依構件型式而稍有不同 (empirical number, if not available =1)

- 
- Q_{ye} = 構件之降伏強度 (yielding strength of e member)或實測平均強度
 - $\sum E_i^e$ = 構件e破壞前累計吸收之應變能量 (accumulated strain energy)
 - 其中構件e破壞前累計吸收之能量，假設為由數個(p個)斷面之破壞情形累積得出，單一斷面之破壞能量表示如下

$$E_i^e = \sigma_{\max} \delta_{est.i} \cdot \exp\left((\sigma_{\max} - \sigma_{ri}) / \sigma_{\max}\right)$$



σ_{ri} 實測所得斷面*i*之強度(residual strength)

$\delta_{est.i}$ 估算之該斷面最大可能變形能力(remaining deforming capability)，若考慮主要變形為旋轉角時，則為可能作用之最大彎矩值，除以斷面損失下之殘餘剛度值除以中性軸深度(EI/y)，若有明顯裂縫之檢測資料時亦可參照Park及Paulay (1975) 之方法參照圖4.1其旋轉角表示如下：

$$\delta_{est.i} = \theta = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{d - k_i d}$$

其中 S_i 為某量測段(*i*段)鋼筋之伸長量。

由於無法實際測出，可以標斷面上裂縫寬（如圖4.1）來替代；其餘參數如圖上所示。

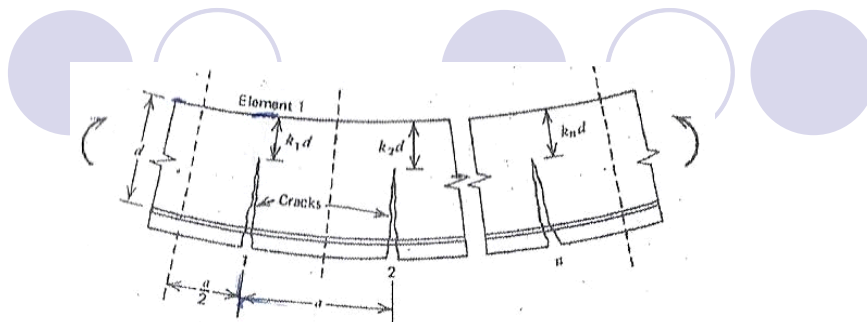


圖 4.1 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖

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

$$\delta_{Me} = \text{Max}(\delta_{esti})$$

整體結構破壞指標 (structural damage index)

- 構件現況破壞指標代表構件使用至今之破壞現況，主要以其材料強度損失及變形能力之變化為主要考量依據
- 整體結構破壞指標則結合結構使用之功能性做整體之考慮，其表示如下：

$$\Phi = \frac{2}{M} \sum_e^M [(\phi_r / \phi_i) \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e$$

- 或如下式，若相互銜接之構件為同一型式之構件，如均屬版狀構件，或均為樑構件時

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [\exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e$$

上式中

M 為結構體中屬於主結構構件之總數。

ϕ_l 結構設計之荷載因子，由鋼筋混凝土之原設計資料得出。

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

$\alpha_1 = D_e$ 現況破壞係數，為個別構件之現況破壞指標之倒數。

$$\alpha_2 = \frac{5.0}{\alpha_\delta}; \quad \alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right)$$

延展性係數，為延展性相關係數，與延展性線材（鋼筋斷面損失、構件材料（混凝土）劣化情形及延性及脆性材料間接合情形。

整體結構破壞指標相關之係數

參數	範圍	定義	判斷依據
$\alpha_1 = D_e$	1.0	現況破壞係數	依檢測數據計算
$\alpha_2 = \frac{5.0}{\alpha_\delta};$	1.0	延展性係數	依檢測數據計算
α_3	1.0~4.0	實測數據變異係數	1,2,3,4 當變異值為 <10%~20%~30%< 時
$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \geq 1$	1.0~5.0	延展性損失係數	$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \geq 1$
β_1	≤ 1	延展性線材（鋼筋）斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
β_2	≤ 1	構件材料（混凝土）劣化係數	(d－材料劣化深度)/d
β_3	≤ 1	材料間接合係數	(1－接合損失率)

整體結構安全評估指標 (safety capability S_d)

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi$$

- S_d 為設計時之標稱強度(nominal strength)
- S_n 為設計時實際所用之強度(design strength)
- 若單獨以 Φ 值作安全判定時，其與結構安全之相關性建議如下：
 - Level 1： Φ 值 ≥ 0.85 時，結構基本為安全僅需日常檢測維修即可。
 - Level 2： $0.85 > \Phi$ 值 ≥ 0.68 時，結構安全有局部威脅，需進一步進行檢修，但仍可使用。
 - Level 3： $0.68 > \Phi$ 值 ≥ 0.50 時，結構安全有重大問題，應停止使用或做即時監測並進行大型檢修。
 - Level 4： Φ 值 < 0.50 時，結構已重大毀損為不堪用狀態，應立即停止使用並考慮重建計畫。

棧橋式碼頭RC結構破壞評估實例分析

目前RC 結構之破壞情形檢測工作中，若以構件型式區分後，各種構件之檢測項目大致可歸納為三大部分：

- 為混凝土強度相關檢測
- 為混凝土構件斷面相關檢測
- 為鋼筋相關檢測包括腐蝕速率、斷面損失及腐蝕電位等。

其計算方式依本計畫中之檢測資料做示範性之試算並說明

- 構件破壞指標 (member damage index, D_e) 之試算(以 #118 號碼頭為例)

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e$$

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

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

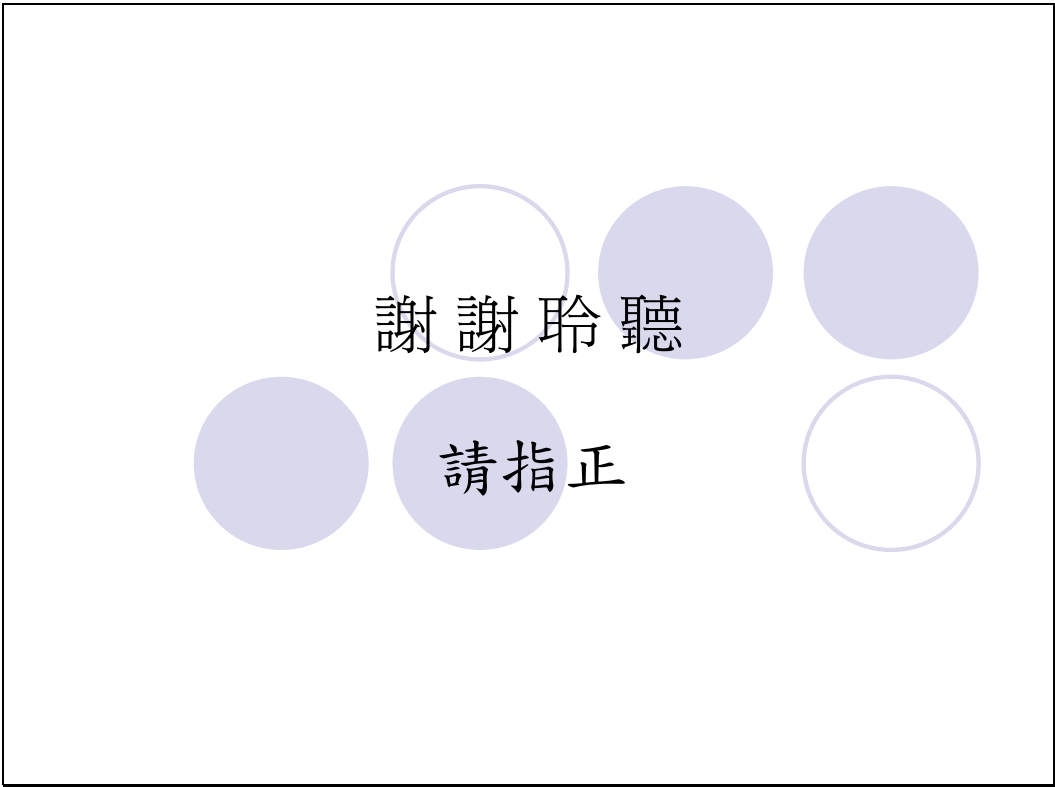
- 整體結構安全評估指標 (safety capability S_d) 之試算(以 #118 號碼頭為例)

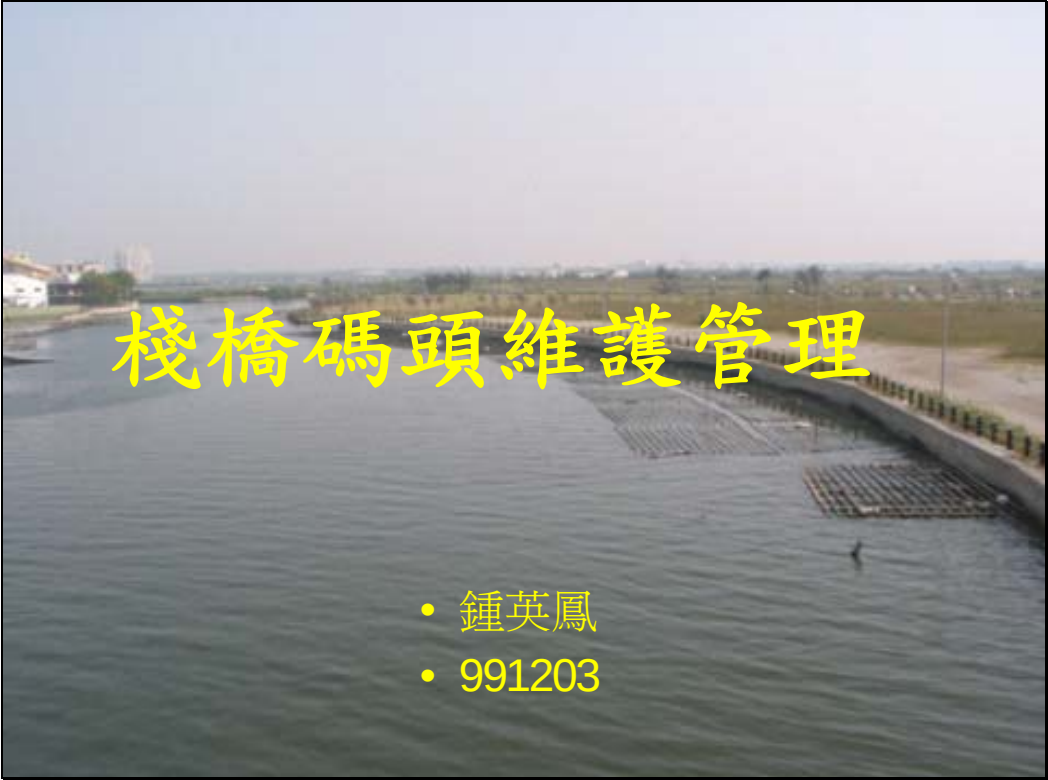
$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [1 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e$$

Member	β_1	β_2	β_3	$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$	α_1	α_2	α_3
#1	0.9	0.92	1.0	0.828	3.87	2.013	3
#2	0.9	0.98	1.0	0.882	1.71	1.89	1
#3	0.9	1.0	1.0	0.9	3.23	1.852	2
#4	0.9	0.92	1.0	0.828	2.77	2.013	4
#5	0.95	0.98	1.0	0.931	2.06	1.79	1
#6	0.9	0.96	1.0	0.864	1.59	1.929	3
#7	0.9	0.92	1.0	0.828	1.84	2.013	3
Σ							

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi$$

- 若為強度設計法、則 S_d 值為 $0.85f_c'$ 。目前試算的結果（在相當有限的檢測數據及設計參數下），#118 號碼頭之 Φ 值經代入公式計算後得出為 **0.88**。當 Φ 值為 0.88 時表示結構位於第一級之安全程度，亦即僅需進行日常檢測作業即可。





棧橋碼頭維護管理

- 鍾英鳳
- 991203

壹、棧橋碼頭及其損壞

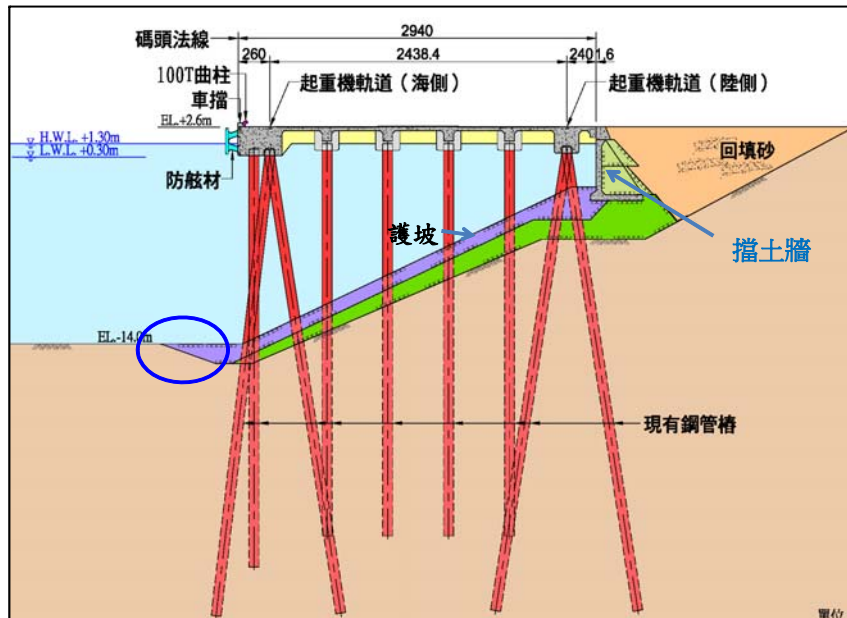
一、結構物生命週期

- ◆興建
- ◆使用、維護管理
- ◆維修補強
- ◆功能喪失

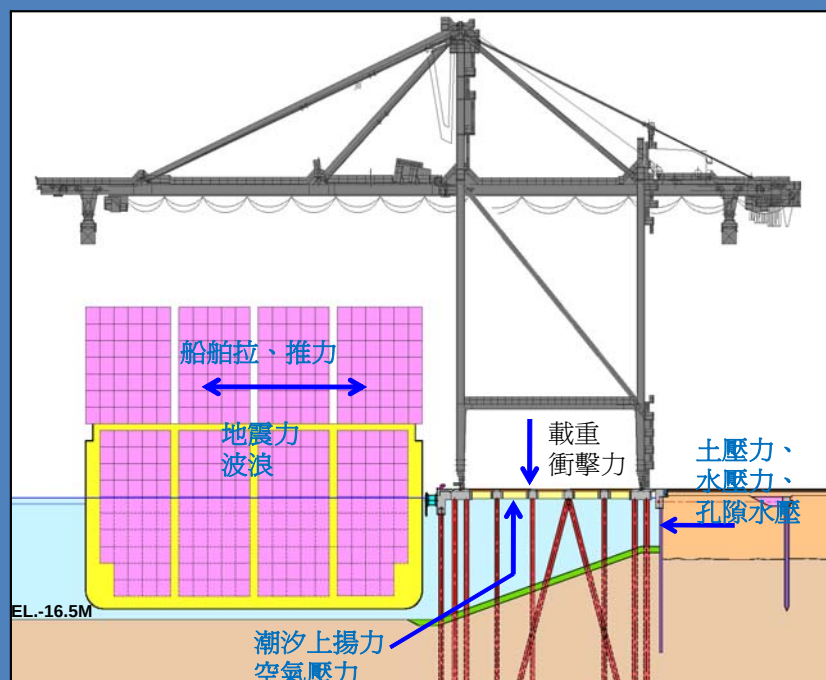


建檢、保養、延壽

二、棧橋結構斷面圖



二、棧橋結構受力圖



貳、棧橋碼頭維護管理

目的：

- ◆為確保港灣設施之使用之安全
- ◆維持較佳之功能狀態

一、棧橋碼頭設施使用之材料

◆土木結構：混凝土、石料、鋼材等

➤碼頭與護岸：不論重力式、版樁式、棧橋式等其材料在上部結構通常為鋼筋混凝土製之冠牆、樑版或級配及AC，基礎結構部分為RC版樁、PC版（基）樁、鋼板（管）樁、混凝土方塊、不織布、石塊、鋁合金防蝕塊等組成。

➤碼頭附屬設施：防舷材、繫船柱、貨櫃起重機軌道，除防舷材為橡膠、塑膠加鋼材外，其餘均為鋼鐵製品。

➤維生及機械：塑膠、鋼材及其他金屬為主。

二、棧橋結構之損壞之機制

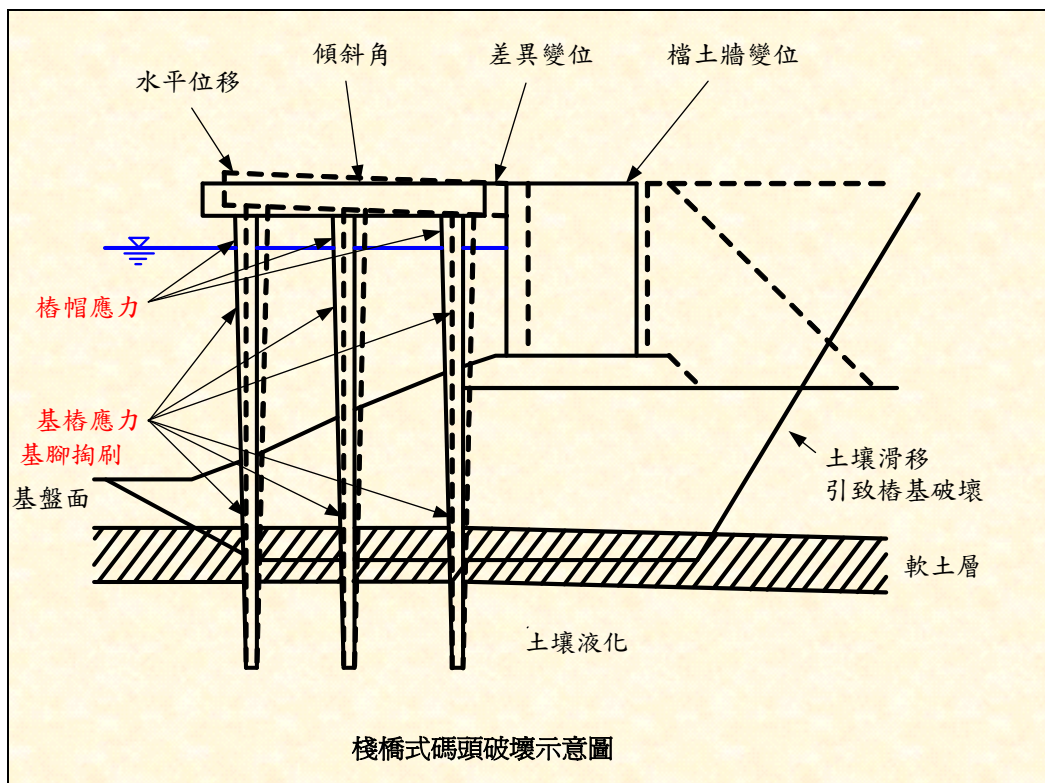
➤天然因素：

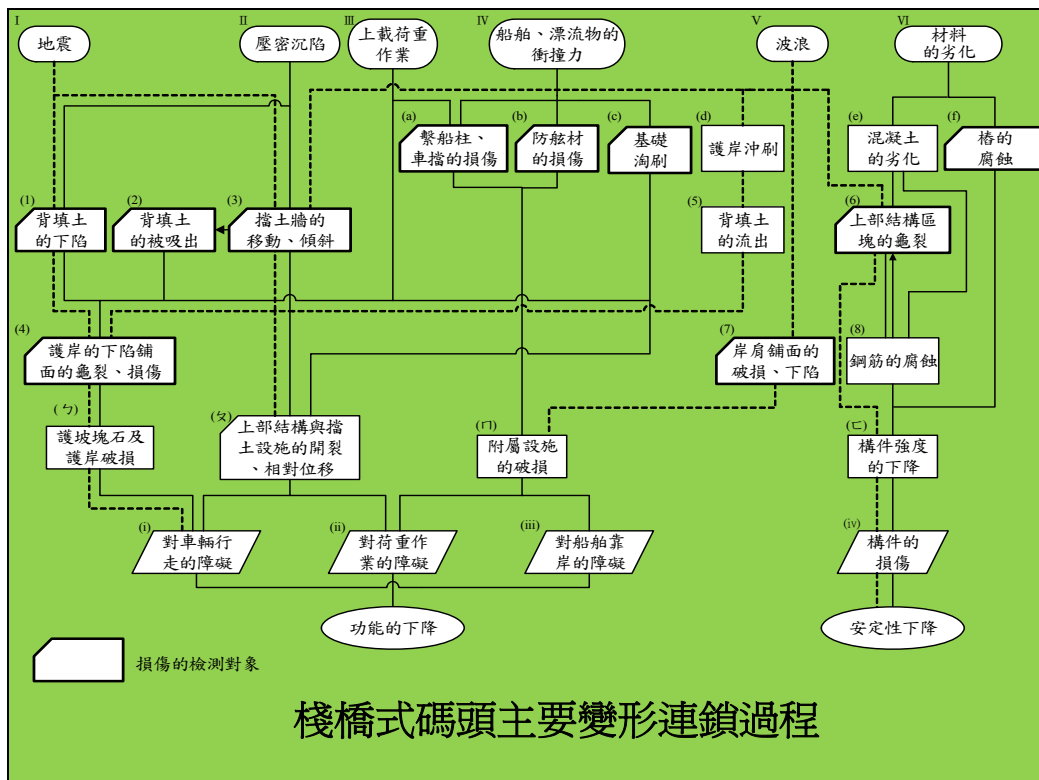
- 溫度、鹽分、海生物、污染
- 化學物質、劣化、應力、疲勞
- 海流、波浪、潮汐、漂沙
- 地震、颱風

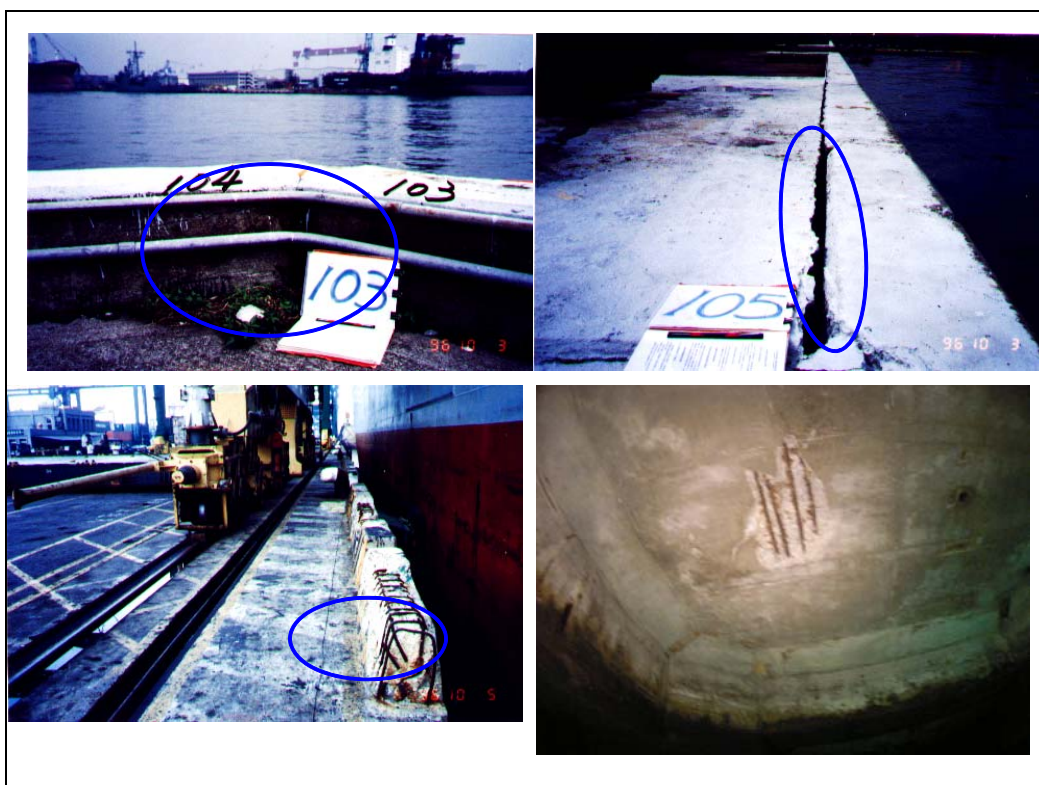
➤人為因素

- 船舶：拉拔、撞擊
- 裝卸：（超載、疲勞、衝擊）
- 超挖

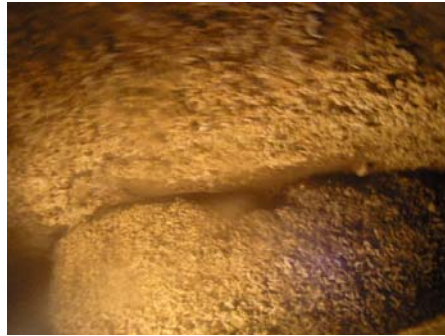
7



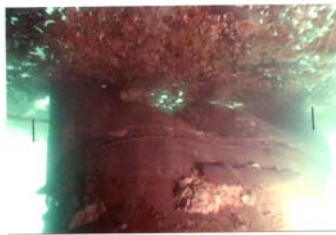


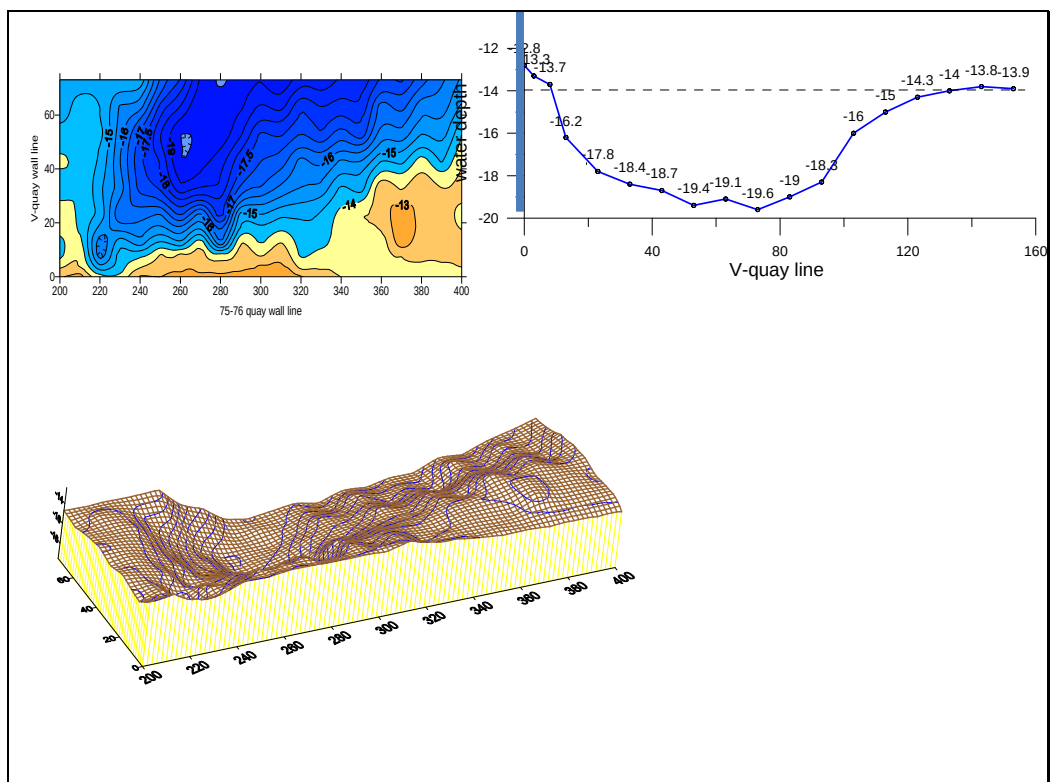


整規格 120-4 下方 A 格移位後之正面。

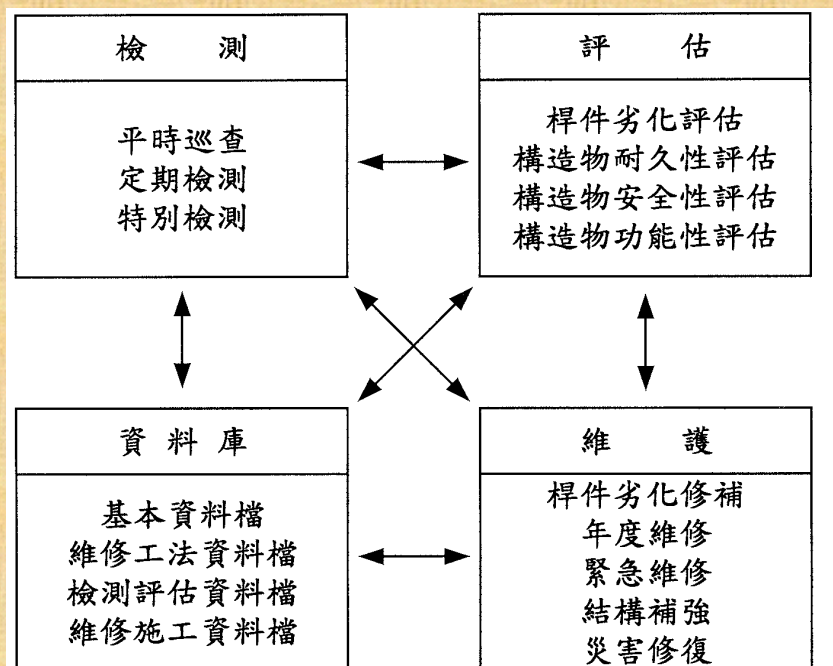


整規格 120-4 下方 A 格移位後之反面。





三、維護管理機制



棧橋式碼頭	上部結構	• 碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕
		• 格梁裂縫、剝落、鋼筋腐蝕
	基礎護坡	• 基礎淘刷(法線前掏刷)
		• 護坡塊石破壞
		• 防蝕包覆破損、脫落
		• 基樁腐蝕、變形
碼頭 附屬 設施	繫船柱	• 鬆動、剝落、腐蝕
	防舷材	• 龜裂、破損
	車擋	• 龜裂、破損
	起重機軌道	• 移位、差異沉陷、彎曲、腐蝕
	陰極防蝕塊	• 厚度縮減(防蝕電位)

棧橋式碼頭	上部結構	• 碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
		• 格梁裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
	基礎護坡	• 基礎淘刷(法線前掏刷)	地震、颱風、船舶碰撞
		• 護坡塊石破壞	船舶碰撞
碼頭附屬設施	繫船柱	• 基樁腐蝕、變形	船舶碰撞
		• 鬆動、剝落、腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
	防舷材	• 龜裂、破損	地震、颱風、船舶碰撞
	車擋	• 龜裂、破損	地震、颱風、船舶碰撞
	起重機軌道	• 移位、差異沉陷、彎曲、腐蝕	地震、颱風、船舶碰撞
特別檢測			

參、修護補強工法

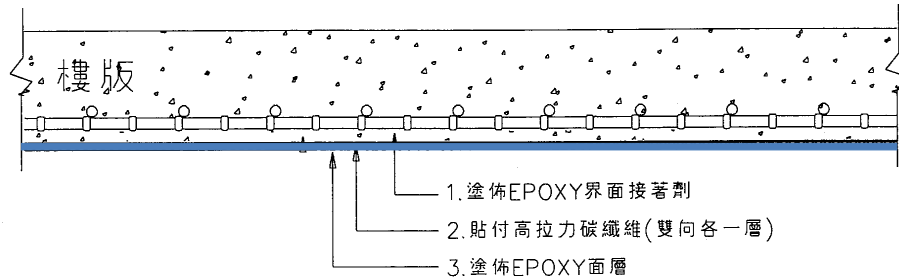
檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
上部結構	碼頭面板龜裂、下陷、鋼筋腐蝕	● 局部可見鏽水、2~3個部位有龜裂 ● 混凝土可見到數個部位有龜裂、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、面板輕微不均勻沉陷（有輕微積水現象） ● 混凝土龜裂擴散到整個面板、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、面板明顯不均勻沉陷（有嚴重積水現象）	● 表面處理工法 ● FRP接合法、脫鹽工法 ● 鋼筋除鏽防蝕法+填充工法、打設工法
	格梁混凝土裂縫、剝落、鋼筋腐蝕	● 局部可見鏽水、2~3個部位裂縫（裂縫寬度約1mm以下）、混凝土剝落 ● 混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約3mm以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在1小區域面積的4成以下） ● 混凝土裂縫擴散到整個斷面、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在1小區域面積的4成以上）	● 裂縫注射工法 ● FRP接合法、電氣防蝕工法 ● 斷面修復工法、預力工法

基礎、護坡	基礎淘刷	● 輕微淘刷（沖刷坑深度約50cm以下） ● 明顯淘刷（沖刷坑深度約50~100cm） ● 嚴重淘刷（沖刷坑深度約100cm以上）	● 拋石護基工法 ● 麻袋混凝土法 ● 新增護基方塊法
	護坡破壞	● 護坡塊石輕微受損（破壞率約5%以下） ● 護坡塊石明顯受損（破壞率約5%~20%） ● 護坡塊石嚴重受損（破壞率約20%以上）	● 加拋改善法 ● 塊石加重法 ● 加重加厚法
	法線變位	● 法線明顯變位（目視約0.2~0.3m） ● 法線嚴重變位（目視約0.3m以上）	● 陸側減壓工法+增打基樁法、液化防制工法+增打基樁法 ● 前端新設結構工法+陸側減壓工法
	防蝕包覆破損脫落	● 防蝕包覆破損 ● 防蝕包覆脫落	● 防蝕包覆修補法 ● 防蝕包覆重鋪法
	基樁腐蝕及變形	● 基樁局部區域有鏽蝕集中 ● 帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔現象 ● 連續性鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔範圍擴大、基樁可目視出非原設計之嚴重傾斜、破裂現象或樁體有曲折現象	● 水中硬化環氧樹脂塗附法 ● 鉚釘打設工法、鈦合金被覆工法 ● 基樁斷面增強工法及增打基樁工法

PC或RC樁基損及變形			
		● 基樁輕微傾斜或破損 ● 基樁明顯傾斜或破損，混凝土可見到數個部位有裂縫（裂縫寬度約3mm以上）、鋼筋露出可見鏽水但未腐蝕、混凝土鬆動剝落（在1小區域面積的4成以下） ● 基樁嚴重傾斜或破損，混凝土裂縫擴散成整個樁圍、鋼筋露出鏽水顯著且已腐蝕、多處混凝土鬆動、剝離嚴重（在1小區域面積的4成以上）	● 水壓式裂縫注射工法 ● FRP接合工法、電氣附著工法 ● 鋼板補強工法、增厚工法

「FRP接合工法」：

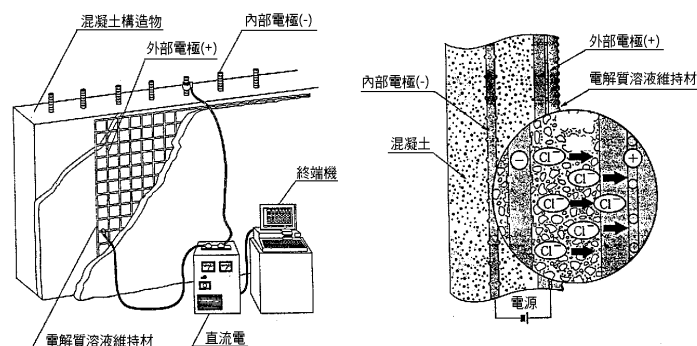
混凝土斷面的外面接合玻璃纖維、碳纖維等纖維材料，使其與既有構材成為一體，而且在其上面反覆塗上環氧樹脂等基材

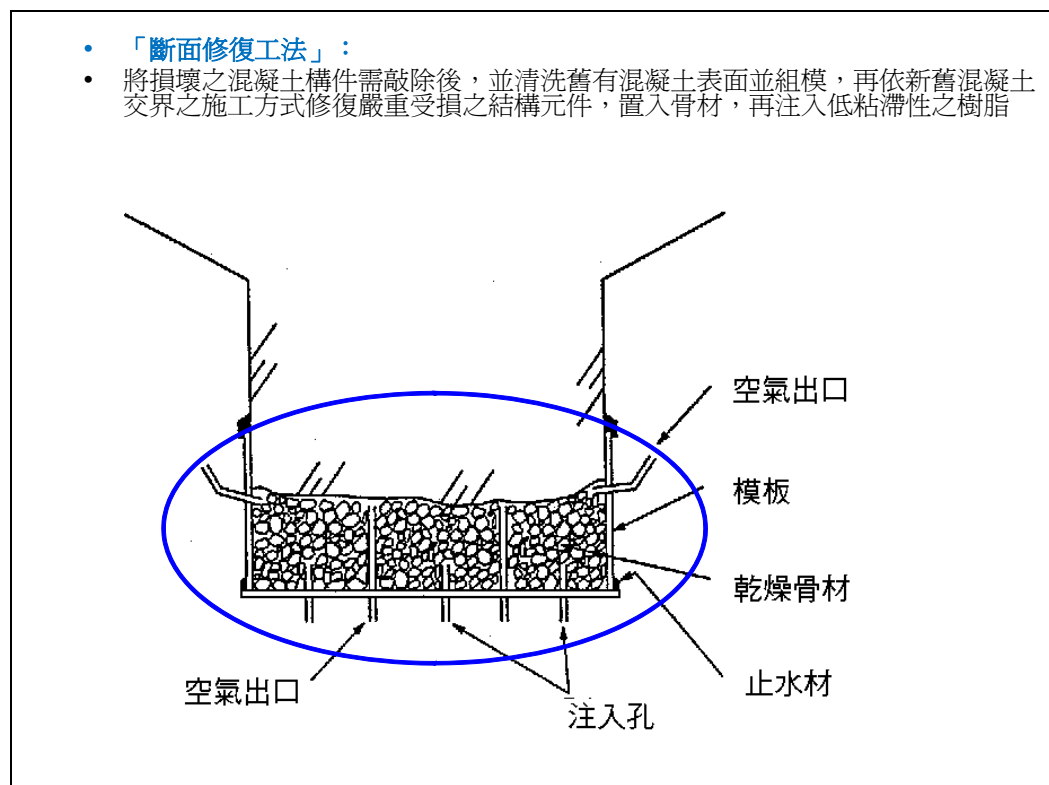
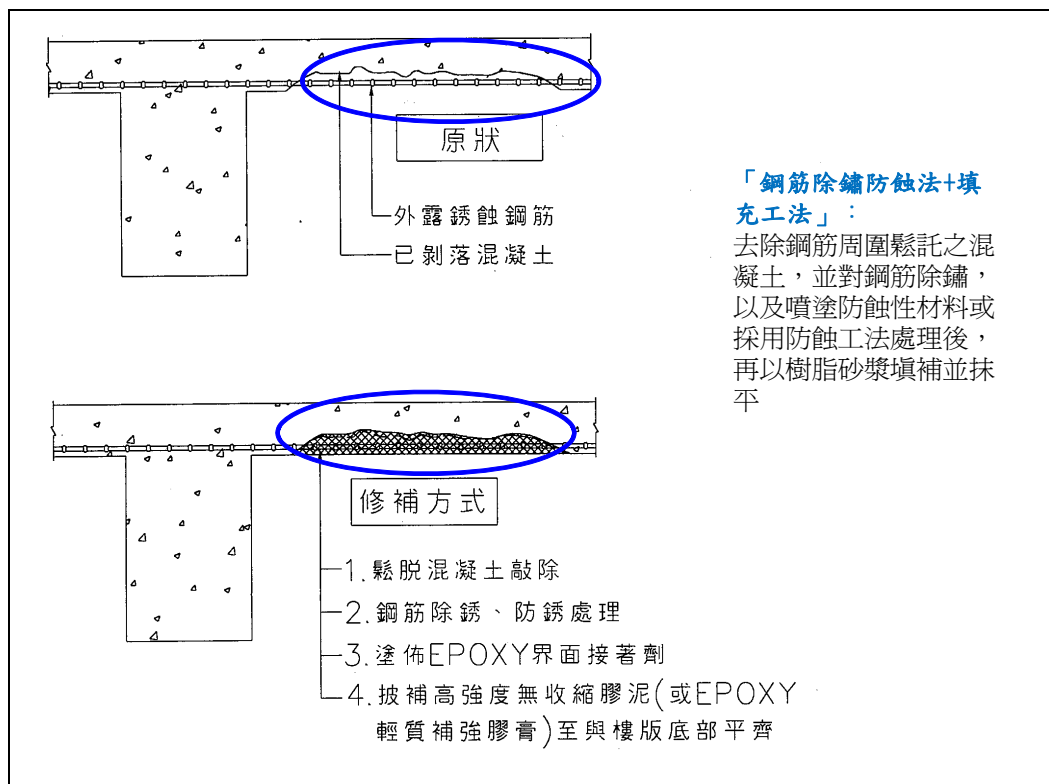


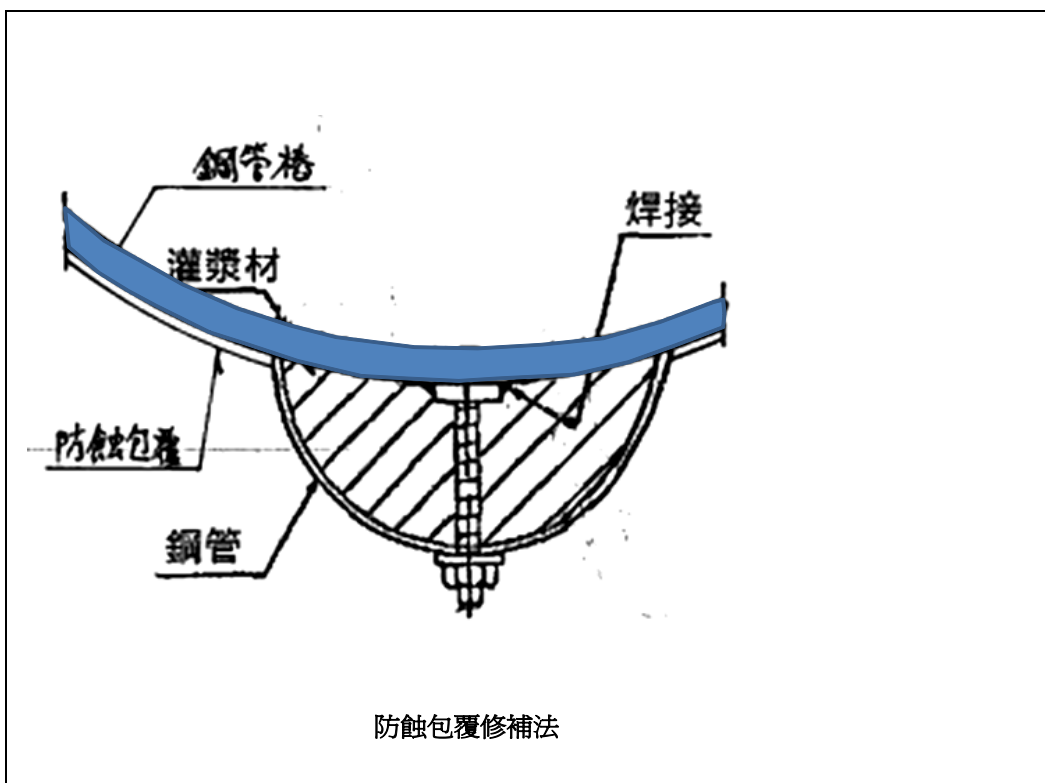
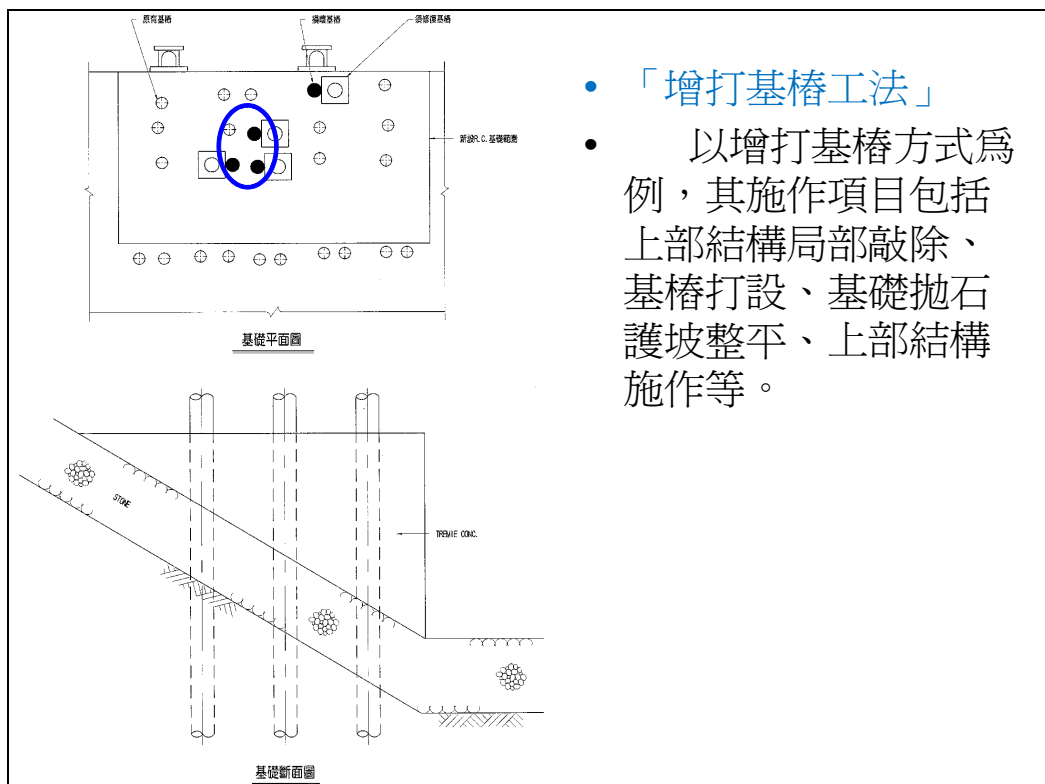
「FRP接合工法」示意圖

• 「脫鹽工法」：

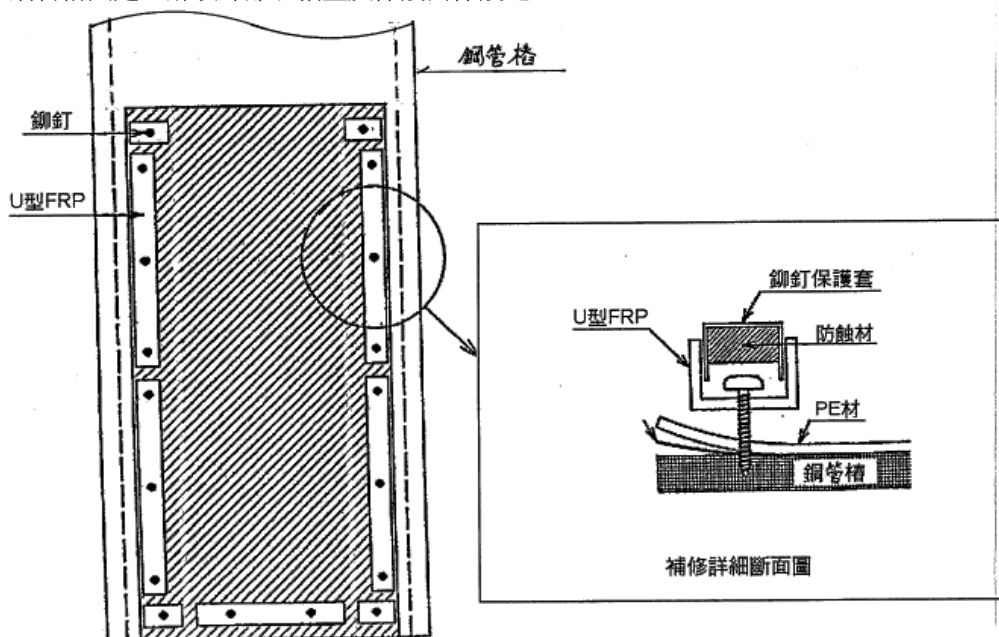
係於混凝土外設置外部電極，使其與電源正極連接。混凝土內鋼筋則與電源負極連接，其間通入較大電流，密度約為 $1\text{A}/\text{m}^2$ ，通電期間約1~2個月，藉電化學將混凝土中之氯離子移出混凝土外而達到保護鋼筋之目的，





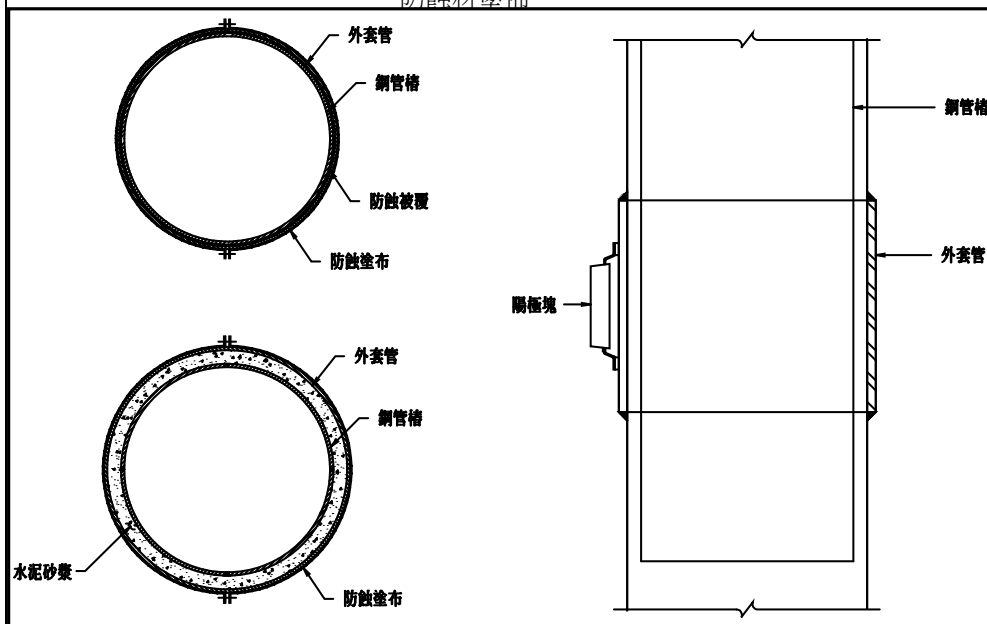


「**鉚釘打設工法**」：帶狀區域的鏽蝕部位噴砂處理完全後，先以防蝕帶覆蓋，其上再以PE/PU材被覆，並於兩邊用剛性高之U型FRP壓條密貼，其上以攻牙鉚釘鑽入鋼管樁固定，鉚頭外部以黏土及保護套保護之



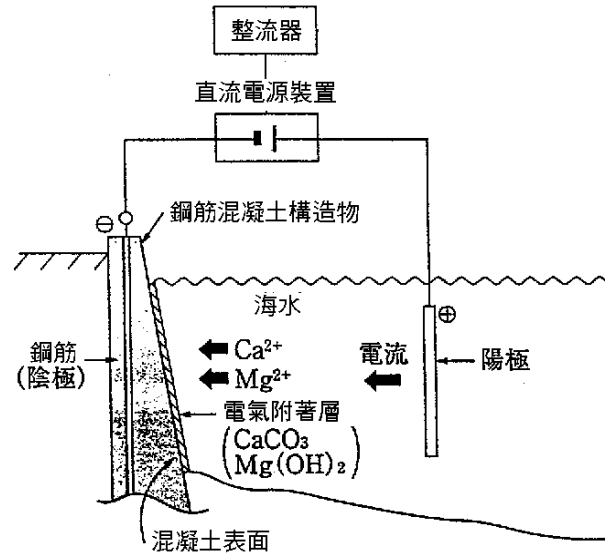
「**基樁斷面增強工法**」

損傷部份周圍先以防蝕材貼附，外側再以半圓形鋼板或FRP包覆，於主樁與外套管間空隙填灌混凝土或砂漿，鋼構造外套管並用防蝕材塗佈



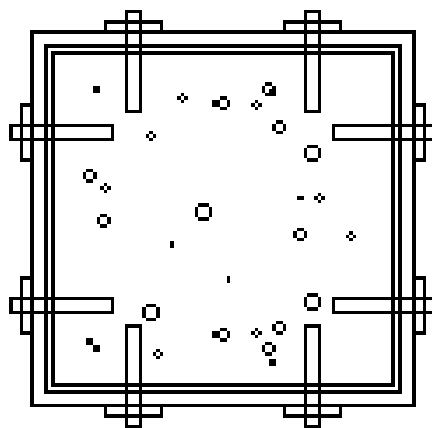
- 「電氣附著工法」：

- 係於海水中投入陽極材，並使其與電源正極相連，而混凝土中之鋼筋則與電源負極連接，使成一迴路，藉直流電之微弱電流通電數月，則海水中溶存之鈣離子或鎂離子往混凝土表面移動，並於混凝土表面或裂縫處析出碳酸鈣或氫氧化鎂生成物並附著其上，形成保護膜阻絕腐蝕因子進入混凝土內部，達到保護之功效



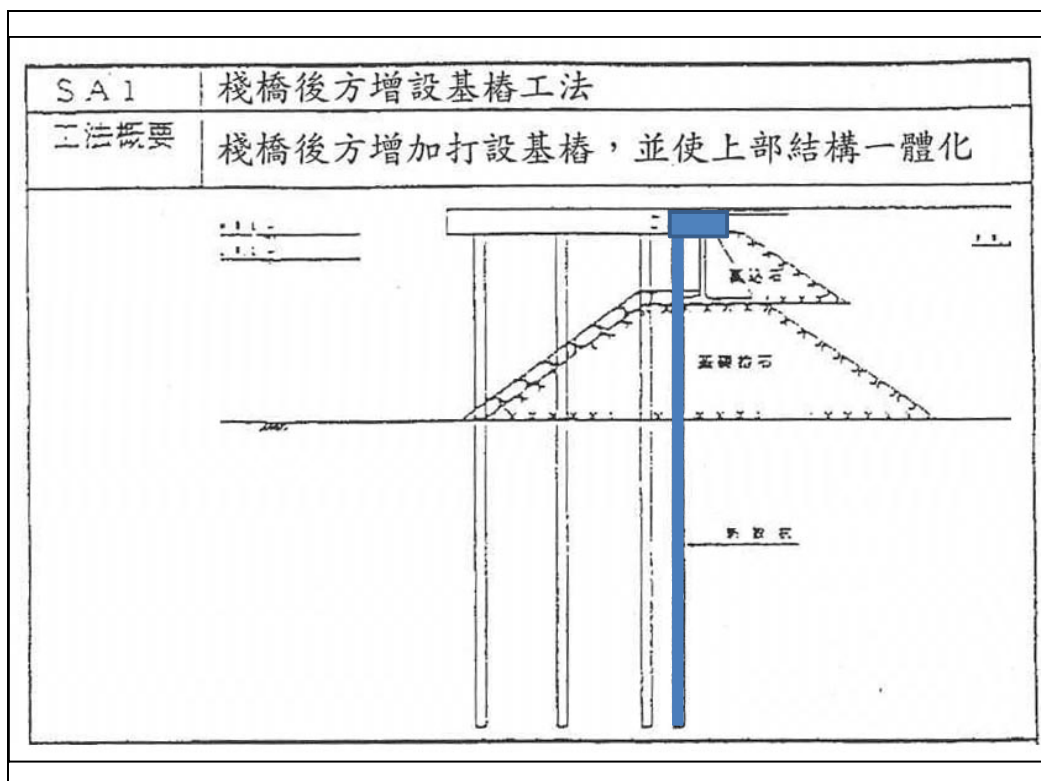
- 「鋼板補強工法」：

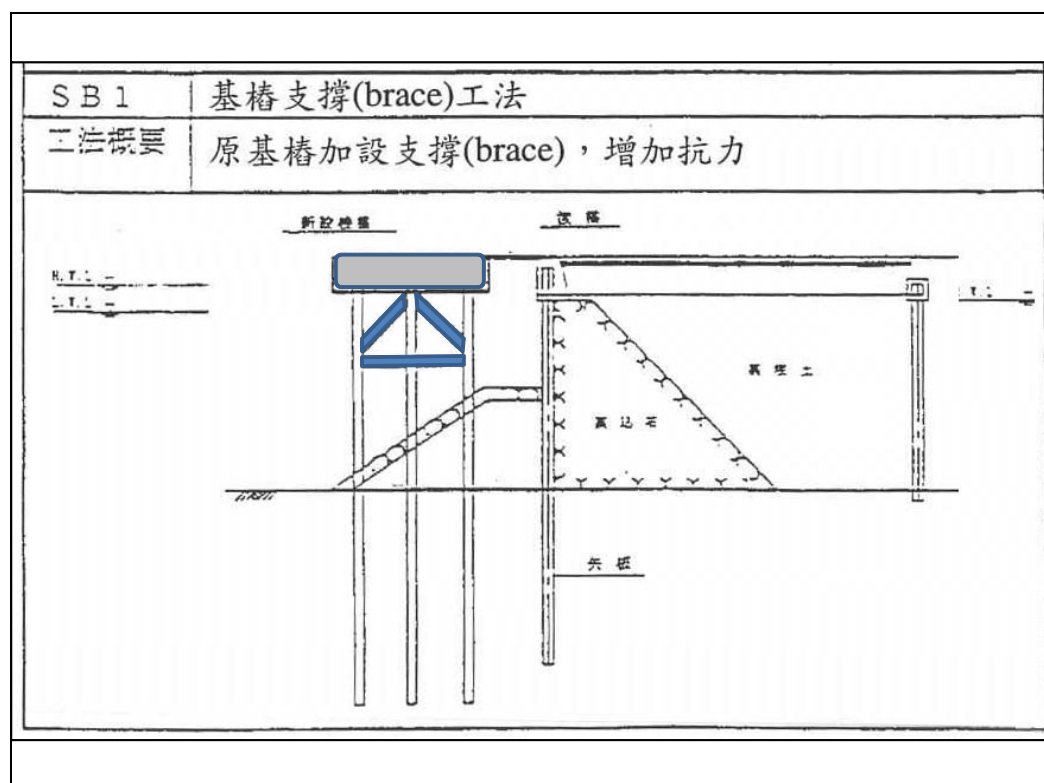
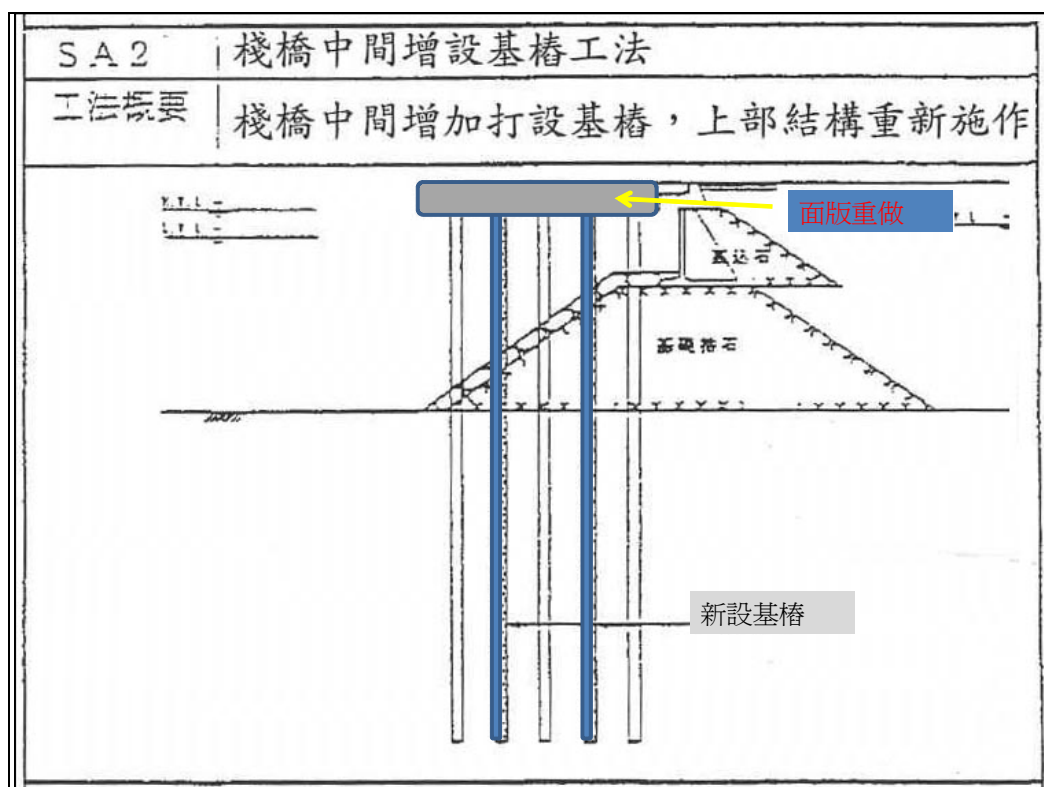
- 將損壞之混凝土構件敲除後，並清洗舊有混凝土表面，再依裂縫及蜂巢之修補方式修復嚴重受損之結構元件，並組鋼模後，再注入EPOXY

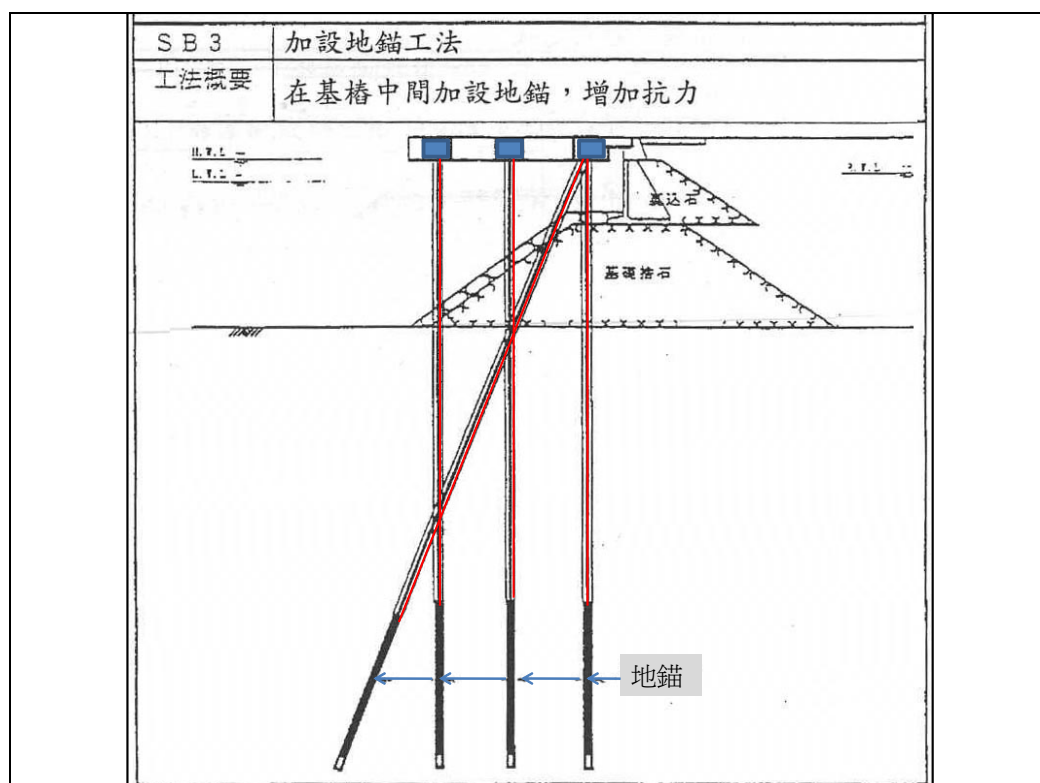
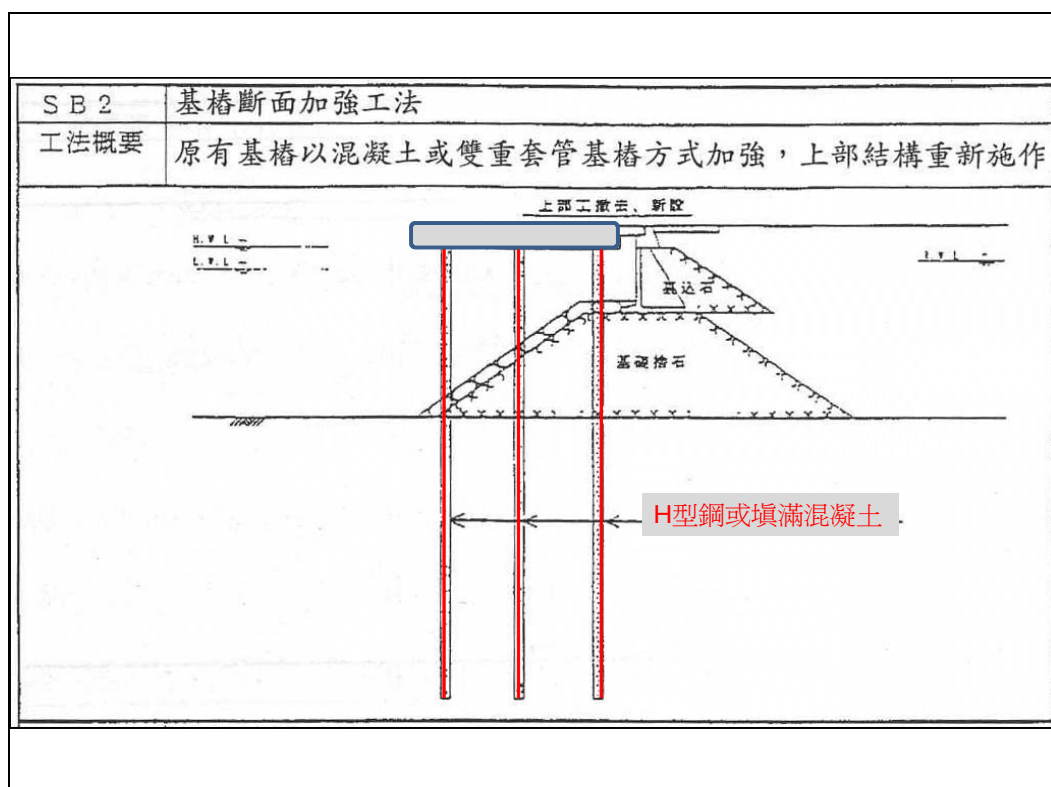


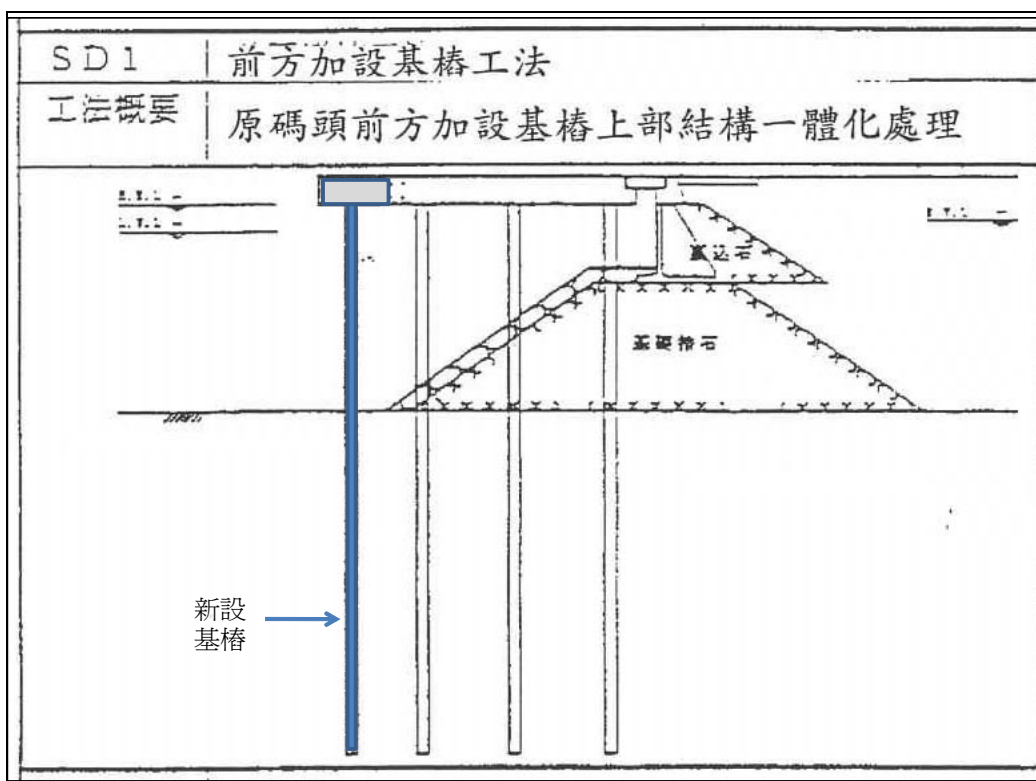
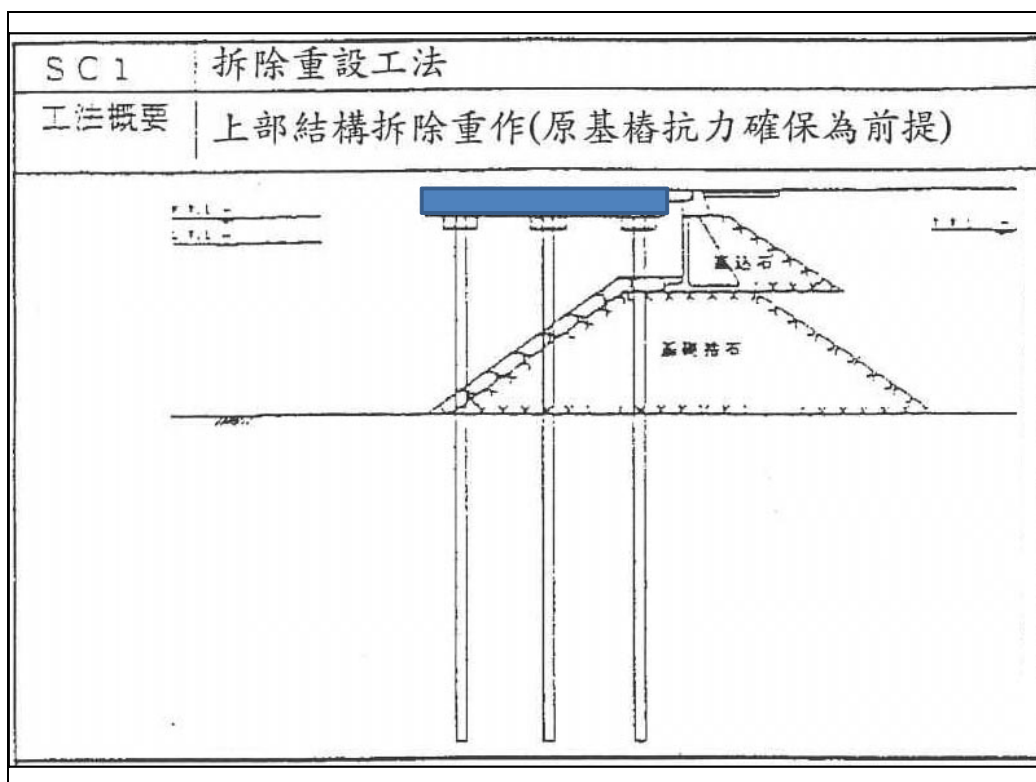
【法線】	【原碼頭結構】	【工法概要】	【工法編號】	【實例】
法線不變更	部份結構留用	棧橋後側增樁工法 增打基樁方式	SA1	無實例
		棧橋中間增樁工法 增打基樁方式	SA2	大阪港、下關港
		棧橋上部加設桁架工法 加設桁架方式	SB1	無實例
		基樁斷面增強工法 基樁斷面增強方式	SB2	無實例
		加設地錨工法 加設地錨增強抗力	SB3	無實例
		基樁補強工法		名瀨港
		拆除重設工法	SC1	北九州港
		鋼板樁擋土降低基樁應力		青森港
	完全拆除			
	留 用		SD1	無實例
法線前移	留存但不予利用		SE1	無實例
				無實例

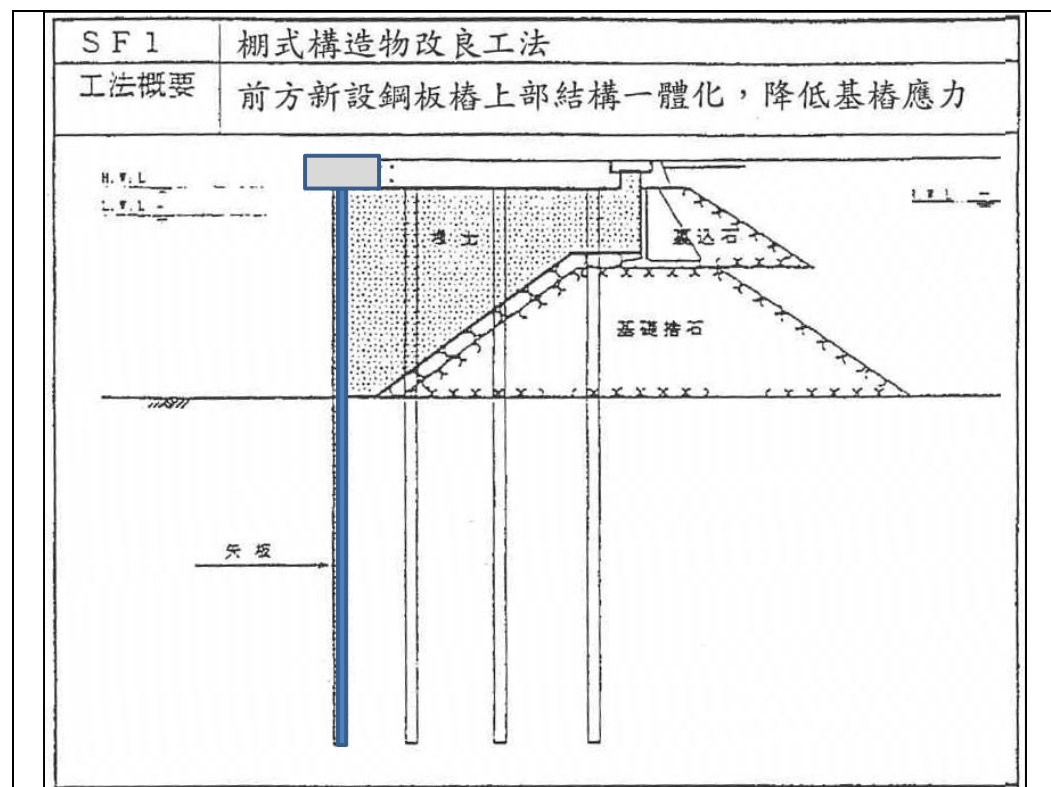
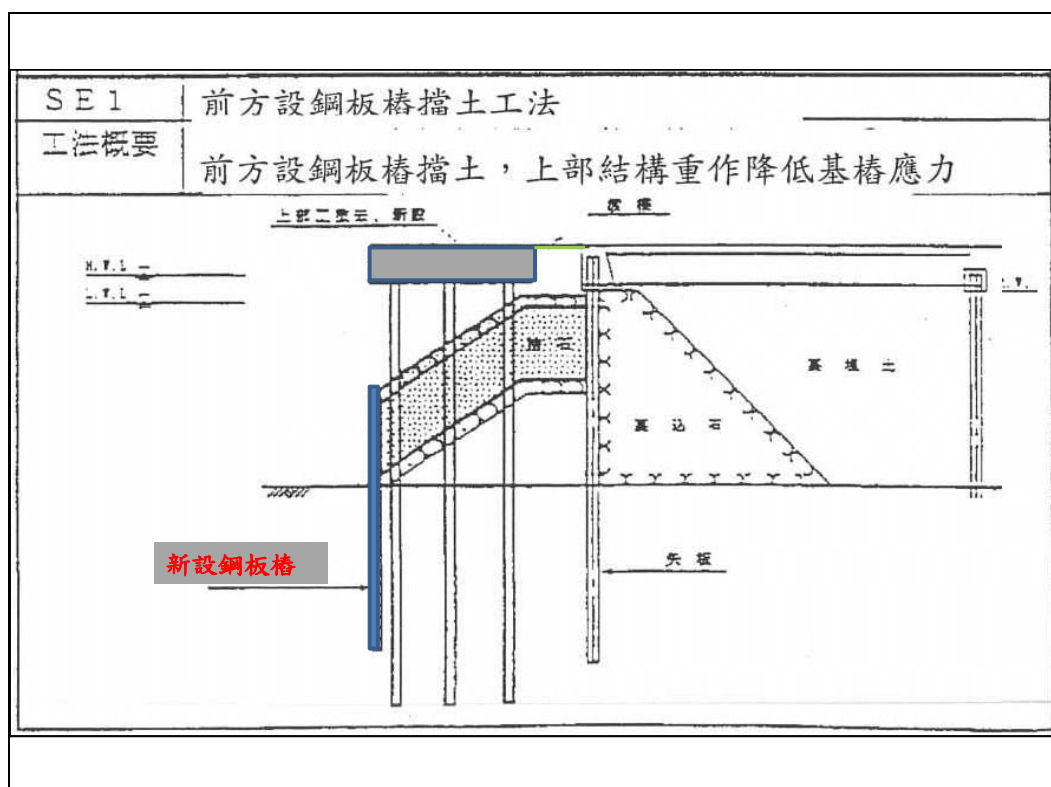
碼頭耐震補強工法分類(原有碼頭型式：棧橋式)

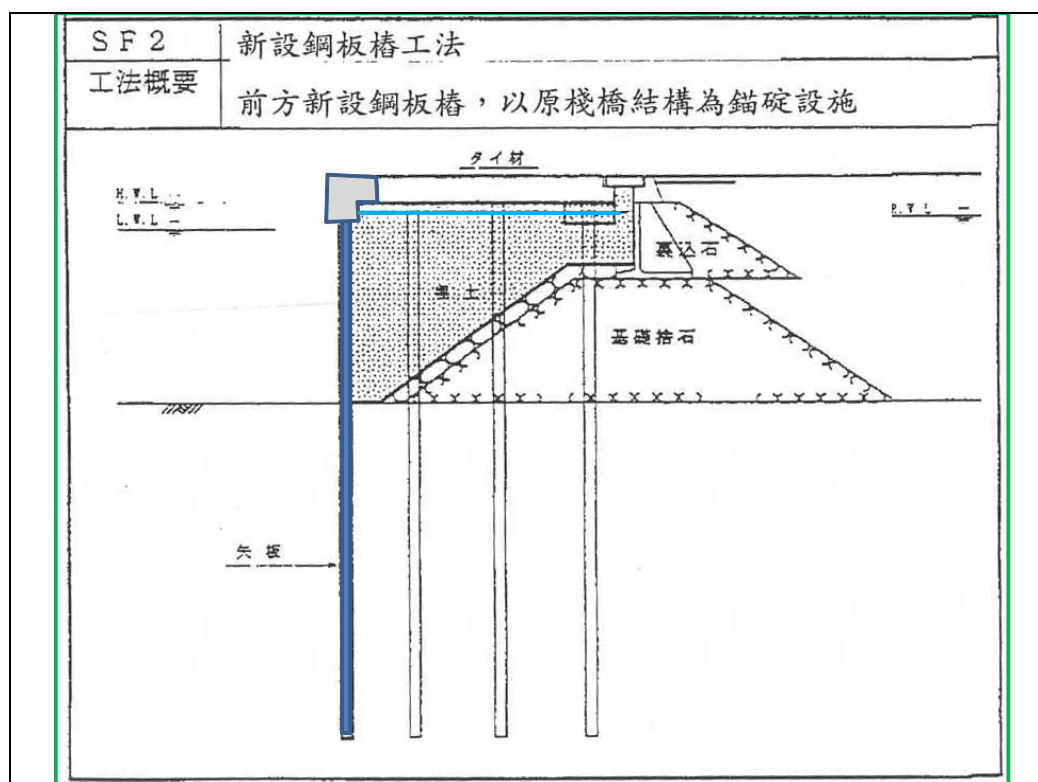












附錄六

期末報告簡報資料



交通部運輸研究所港灣技術研究中心

『棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)』 期末報告

簡報單位代表 李賢華、鍾沛穎

中華民國99年11月18日



緒 論

● 港灣棧橋式碼頭之破壞

- 由於施工技術容易且工期較短，目前國內商港新建及改建常採用之。如基隆港及臺中港為例，近年即有多座碼頭均選用此結構型式碼頭
- 但其缺點為R.C.面(底)版，因長年遭受海水波浪之衝擊浸漬，海水中之氯離子甚易侵入底版，造成內部鋼筋之銹蝕、混凝土保護層剝落、鋼筋裸露斷裂，終致底版破裂、塌陷，嚴重危害碼頭結構物之安全。

● 碼頭R.C.面版之破壞

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

造成碼頭R.C.面版破壞的原因

- 外力的作用
 - 碼頭R.C.面版在設計時即須考慮到外力的作用，除功能性考量外，則以抵擋一定時間週期內之外力
 - 而港灣及海域中最主要的外力即為波浪作用
 - 其次如地震力亦可能造成嚴重破壞
 - 再則為船舶的碰撞、裝卸作業不當，或基樁的不均勻沈陷等均為造成損壞之原因。
- 材料性能改變分析
 - 混凝土材料的劣化 鋼筋的腐蝕
 - 波浪外力產生之振動疲乏及其他原因所造成之材料性能改變等。
- 整體結構影響分析
 - 碼頭R.C.面版在材料破壞後之影響，通常可由結構受力後之行為改變觀察出來。
 - 經過相關資料之分析及影響評估，更能對碼頭面版之安全與否，給予整體的概念。

本計畫中預定執行的工作項目

- 國內外棧橋式碼頭面版等鋼筋混凝土構件腐蝕劣化相關文件收集。
- 棧橋式碼頭面版或梁等腐蝕劣化調查及結構安全評估：選定國內商港一座棧橋式碼頭來進行。
- 棧橋式碼頭面版或梁等維護工法資料庫建置：主動研提或於運研所港研中心現有之碼頭維護系統內，建置棧橋式碼頭面板維護工法資料庫。
- 棧橋式碼頭面版或梁等維護資料與系統建置：主動研提或於運研所港研中心現有之碼頭維護系統內，建置棧橋式碼頭面板維護資料並與現行系統之資料庫做適當連結。
- 碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊研擬：研提碼頭結構物安全檢測及評估和維護手冊並建置於運研所港研中心現有之碼頭管理維護系統內。
- 碼頭結構物檢測方式與應用儀器之適用性探討。
- 教育訓練：研究成果至少需辦理一場教育訓練。

港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化

● 混凝土材料之劣化

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

○ 物理侵蝕

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

○ 化學侵蝕

化學侵蝕主要包括了侵蝕物質(CO₂、Cl⁻、SO₄²⁻等)與水泥漿體之水化作用產生了交互反應、與水化產物產生溶解與析晶反應、發生膨脹等。

● 鋼筋材料之腐蝕

○ 造成混凝土結構中鋼筋腐蝕的主要原因為混凝土保護層的破壞

○ 包括混凝土保護層厚度不足、厚度不均勻或混凝土本身品質不良，再加上環境條件惡劣而造成保護層的破壞。

○ 其原因包括物理性及化學性，或兩者間之交互作用而造成之影響居多。

○ 港灣構造物長期處於波浪及水氣交互作用下，結構表面非常容易受到氯離子之侵入，如為碼頭結構更易受到各種衝擊力之作用，作用在材料劣化嚴重處將導致混凝土保護層之剝離，使得鋼筋完全裸露在外。

○ 港灣構造物混凝土保護層受環境作用的破壞上，主要有混凝土的中性化、鹼性粒料反應、氯離子的侵蝕、結構物之龜裂

港灣結構鋼筋腐蝕及混凝土劣化檢測

- 目視檢測
- 非破壞性試驗
 1. 反彈錘法
 2. 鋼筋電位值量測
 3. 裂縫深度檢測
 4. 鋼筋探測儀
- 破壞性試驗
 1. 鑽心試體抗壓試驗
 - A. 抗壓試驗
 - B. 氯離子檢測

碼頭現場檢測實施成果

- 現地結構檢測因環境不同其考量要點包括了實施範圍、實施項目、精確性、方便性與經濟性等。本文中主要所探討的碼頭為棧橋式碼頭，碼頭面版可用鋼筋混凝土構造，基樁則以PC、RC或鋼管樁作為碼頭岸壁之支撐。

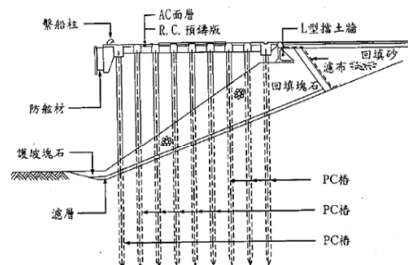


圖 3-1 直樁棧橋式碼頭斷面示意圖。

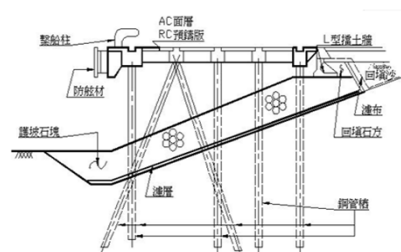


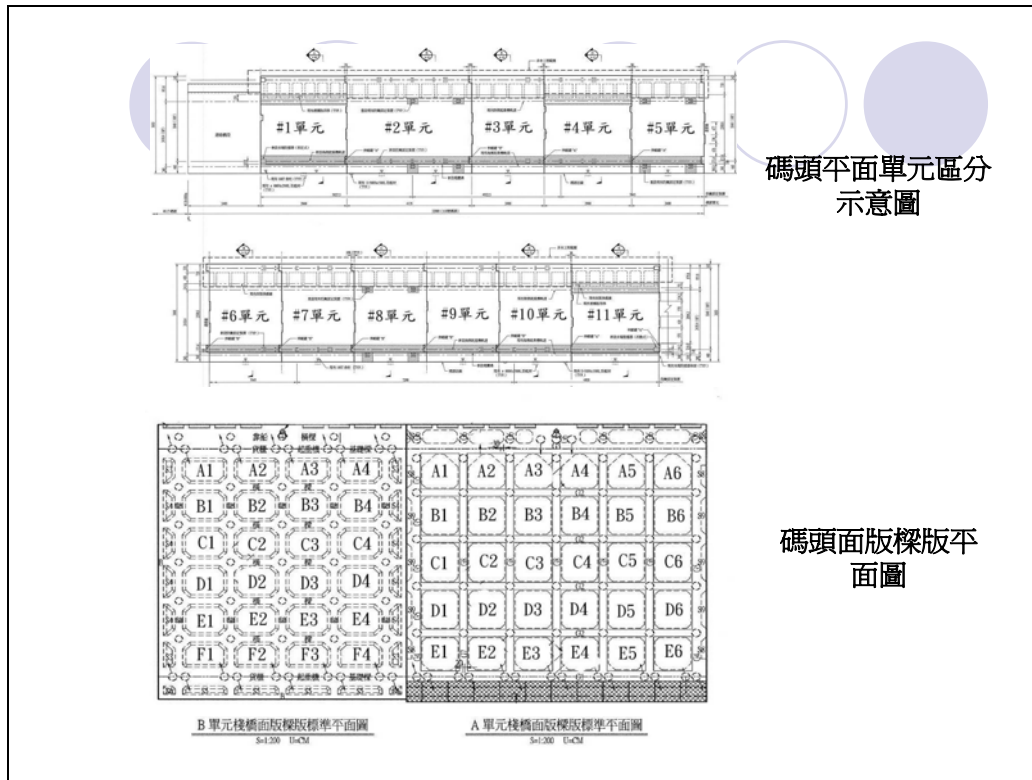
圖 3-2 斜樁棧橋式碼頭斷面示意圖。

港灣結構安全檢測項目

- 碼頭結構安全檢測又可概分為
 - 整體結構變形檢測
為各種型式碼頭皆可能產生之大變形或位移檢測
 - 細部結構材料檢測
與碼頭結構型式或構造材料關係較為密切之結構檢測
 - 基礎地盤檢測
 - 碼頭附屬設施檢測
- 碼頭上部面版結構腐蝕劣損破壞
 - 混凝土強度試驗、
 - 中性化檢驗、
 - 氯離子濃度測定、
 - 保護層厚度檢查、
 - 鋼筋腐蝕電位測定

受測碼頭及檢測單元區分

- 高雄港#118號棧橋式碼頭碼頭。
118號碼頭位於高雄港中興商港區，屬於高雄港第四貨櫃中心。第四貨櫃中心臨港水線2,532m，縱深450m，共有深水碼頭8座，編號115~122，儲運場地100公頃，儲存能量35,000TEU。
- 碼頭面板單元如下一頁所示，區分成11個單元，各單元之大小並非完全一致。
- 各單元有屬於A型面版(含大樑及小樑)型式或B類面板型式如圖所示，因此、在調查及分析時具有相當的複雜度。



儀器檢測內容

● 反彈錘檢測

圖3-5為本研究所使用之Schmit反彈錘，圖3.6則為碼頭現場實地操作之情形。施測時各面板有磨耗層及無磨耗層均進行，數據中顯示包含了磨耗層的強度較不均勻，且數據均偏低，而無磨耗層的數據則明顯有較大之強度，無磨耗層之混凝土強度約為有磨耗層之兩倍，顯然有磨耗層面板測得為碼頭面板之磨耗層強度。



圖3-5反彈錘測試儀



圖3-6現地強度量測

- 混凝土鑽心取樣強度試驗

鑽心試驗是依據CNS規範中取樣試體之規定，取樣後則進行抗壓試驗，抗壓試驗採用SUMMIT之抗壓試驗機，鑽心試體進行抗壓試驗時應依規定步驟進行，抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求。



圖3-7試體抗壓試驗及破裂狀態

- 現場反彈錘平均數值

- 有磨耗層平均138~266(kgf/cm²)
- 無磨耗層平均424~665(kgf/cm²)

- 鑽心取樣抗壓強度數值介於414~601(kgf/cm²)。

- 鑽心取樣試體抗壓強度與現場反彈錘無磨耗層強度比較，反彈錘強度比鑽心取樣強度多出10~20%左右，如下表所示：

混凝土鑽心試體抗壓強度與無磨耗層強度比較

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

表3-1 鑽心試體抗壓強度與反彈錘無磨耗層強度比較

● 混凝土中性化及保護層厚度檢驗

- 測定混凝土中性化深度及中性化區域
- 利用酚酞指示劑，將現場所鑽取之混凝土試體或敲除之混凝土，放置在乾燥環境讓試體自然乾燥後，再將混凝土表面上噴灑酚酞指示劑。觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度
- 混凝土之中性化試驗，為利用鑽心取樣的試體進行檢測，取樣後之試體中性化情形如圖3-8所示，顯示其中性化之深度最大達2cm，均低於保護層之厚度(5cm)。



圖3-8鑽心試體中性化情形

現地碼頭鑽心取樣及中性化試驗結果

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

● 混凝土氯離子濃度測定

- 本研究中有關氯離子濃度測定之方法，為參考 CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法，等規定做為氯離子含量濃度的評估，標準僅做為比較之參考，安全評估時暫不列入考慮。
- 結果分為面板之上層及下層分別比較。非常明顯的現象為，各個面板下層之氯離子濃度均高於面板上層，平均約達兩倍左右。
- 以CNS之規範針對硬固RC結構物(需耐久性考慮者)其含量需低於0.3 (kg/m³)，各面板下層之氯離子含量約為0.1~0.2(kg/m³)，尚符合規範之要求。

各單元面板平均氯離子含量

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

注：鋼筋混凝土氯離子規定不得超過 0.3 (kg/m³)。^o

● 裂縫深度檢測

● 根據現場量測裂縫寬度及深度，裂縫深度均未超過保護層，檢測資料如下表所示。

編號 ^o	位置 ^o	b (cm) ^o	t ₁ (us) ^o	t ₂ (us) ^o	裂縫寬度 w(mm) ^o	裂縫深度 c(cm) ^o	是否超過保護層 ^o
1 ^o	#1-E3 ^o	2.5 ^o	56.9 ^o	70.9 ^o	2.643 ^o	5.3 ^o	否 ^o
2 ^o	#2-F4 ^o	2.5 ^o	34.4 ^o	56.6 ^o	1.011 ^o	2.2 ^o	否 ^o
3 ^o	#2-F7 ^o	2.5 ^o	42.9 ^o	65.4 ^o	0.785 ^o	2.8 ^o	否 ^o
4 ^o	#3-F2 ^o	2.5 ^o	37.5 ^o	53.8 ^o	2.833 ^o	3.4 ^o	否 ^o
5 ^o	#4-E5 ^o	2.5 ^o	45.3 ^o	60.4 ^o	3.110 ^o	4.2 ^o	否 ^o
6 ^o	#4-E6 ^o	2.5 ^o	40.8 ^o	56.9 ^o	0.516 ^o	3.7 ^o	否 ^o
7 ^o	#5-F1 ^o	2.5 ^o	41.7 ^o	56.7 ^o	1.457 ^o	4.0 ^o	否 ^o
8 ^o	#5-F4 ^o	2.5 ^o	47.8 ^o	82.9 ^o	0.981 ^o	1.8 ^o	否 ^o
9 ^o	#6-F2 ^o	2.5 ^o	42.2 ^o	67.8 ^o	0.320 ^o	2.4 ^o	否 ^o
10 ^o	#6-F3 ^o	2.5 ^o	58.2 ^o	85.1 ^o	0.981 ^o	3.2 ^o	否 ^o
11 ^o	#7-F3 ^o	2.5 ^o	42.2 ^o	65.2 ^o	0.320 ^o	2.7 ^o	否 ^o
12 ^o	#7-F4 ^o	2.5 ^o	40.3 ^o	54.3 ^o	1.685 ^o	4.1 ^o	否 ^o

● 鋼筋電位值量測

- 根據規範ASTM-C876量測腐蝕電位與預測內部鋼筋腐蝕程度之關係，可依腐蝕電位與鋼筋腐蝕機率評估。
- 根據現場量測值，上層面板平均電位值介於-216~-318(mv)，下層底樑平均電位值介於-312~-413(mv)，下層底樑比上層面板腐蝕機率相對較高。
- 另外對岸肩護欄外露鋼筋也施做腐蝕電位量測，平均電位值介於-492~-532(mv)，已超過高腐蝕機率許多

#1-E2~E3 單元面板之鋼筋腐蝕電位(mv) ^o					
面板 ^o	鋼筋電位值 ^o			平均鋼筋電位值 ^o	腐蝕機率 ^o
上層	-287.2 ^o	-254.3 ^o	-234.6 ^o	-234.3 ^o	(中) ^o
面板 ^o	-223.4 ^o	-208.8 ^o	-197.5 ^o		
下層	-315.3 ^o	-283.1 ^o	-336.4 ^o	-350.1 ^o	(高) ^o
底樑 ^o	-333.6 ^o	-424.7 ^o	-407.5 ^o		

棧橋式碼頭RC結構破壞評估方式及理論基礎

傳統評估方式可分為下列兩種方式：

1. 以試驗室力學數據為主之理論(damage assessment based on experimental evidence)
2. 以現場觀測數據為主之方法(damage assessment based on field investigation data)

以試驗室力學數據為主之評估理論

如下式來表示：(Park and Wen, 1985)

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE$$

δ_M 外力作用下，結構之最大變形量 (maximum deformation)

δ_u 靜力設計時，結構物之極限變形量 (ultimate deformation)

Q_y 構件之降伏強度 (yielding strength)

dE 結構物破壞前所吸收之能量 (accumulated energy)

β 非負值之試驗常數 (empiric constant)

以現場觀測數據為主之評估方法

- 此一方法所使用之數據，為現場檢測之破壞現象，以簡便之方法歸類及分級，然後以構件為單位加以統計，該方法將目視檢測之要項分為：破壞程度(degree D)、破壞延伸範圍(extension E)及破壞處與主結構體之相關性 (relevance R)，簡稱為D.E.R. 檢測法。
- 狀況指標(Condition Index)則表示為

$$CI = 100 - 12.5 \times \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i$$

棧橋式碼頭初步檢測評估表

調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響 R	(D+E)xR
碼頭基樁	BWP01 基樁頭				
	BWP02 基樁體				
	BWP03 防蝕塊				
法線	BWS01 平直度				
	BWS02 垂直度				
	BWS03 伸縮縫				
面板及底樑版	BWD01 大樑				
	BWD01 底板				
	BWD01 面板				
樁基礎及護坡	BWF01 基礎				
	BWF02 護坡				

(1) 結構大部明顯可檢視現象D值評估

檢測位置	劣化現象	劣化程度	D值
碼頭壁體	傾斜、破損、 混凝土剝離 龜裂	1、混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出	2
		2、混凝土龜裂，鋼筋完全露出	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	4
碼頭法線	變形、扭曲	1、儀器檢測出法線偏移、扭曲	3
		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
		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

(2) 混凝土結構性質檢測D值評估

檢測位置	劣化現象	劣化程度	D值
混凝土強度	劣化、不足	1、強度不足為10%以內	1
		2、強度不足為15%以內	2
		3、強度不足為20%以內	3
		4、強度不足達30%以上	4
混凝土中性化 深度比較	深度比較	1、深度比為50%以內	1
		2、深度比為50%~80%	2
		3、深度比為80%~100%	3
		4、深度比為100%以上	4
混凝土氯離子 濃度	超過	1、0.1kg/m ³ 以內	1
		2、0.1kg/m ³ ~0.2kg/m ³	2
		3、0.2kg/m ³ ~0.3kg/m ³	3
		4、> 0.3kg/m ³	4
保護層厚度	不足	1、厚度不足為20%以內	1
		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50%以上	4

(3) 鋼筋、鋼管及鋼版結構性質檢測D值評估

鋼筋腐蝕探測	腐蝕	1、無明顯的鏽蝕區域	1
		2、局部區域有鏽蝕集中	2
		3、帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現紅橙色成帶狀剝落	3
		4、一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色剝落達構件 1/3 的範圍	4
鋼版腐蝕檢測	鏽蝕位置	1、L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕	1
		2、平均低潮位附近起，於L.W.L.附近可見紅橙色生鏽或皆見不到	2
		3、於L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布	3
		4、H.W.L.以上的飛沫帶及平均低潮位接近L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	4

考慮力學理論與現場觀測數據之整合性評估方法--構件破壞指標 (member damage index, De)

- 個別構件之評估方式以破壞指標來敘述，表示如下：

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e$$

- δ_{Me} 外力作用下，e構件之最大變形量 (maximum deformation of e member)
- δ_{ue} 靜力設計時，e構件之極限變形量 (ultimate deformation of e member)
- p_e 非負值試驗常數，依構件型式而稍有不同 (empirical number, if not available =1)



- Q_{ye} = 構件之降伏強度 (yielding strength of e member) 或實測平均強度
- $\sum E_i^e$ = 構件e破壞前累計吸收之應變能量 (accumulated strain energy)
- 其中構件e破壞前累計吸收之能量，假設為由數個(p個)斷面之破壞情形累積得出，單一斷面之破壞能量表示如下

$$E_i^e = \sigma_{\max} \delta_{est.i} \cdot \exp\left((\sigma_{\max} - \sigma_{ri}) / \sigma_{\max}\right)$$

σ_{ri} 實測所得斷面*i*之強度(residual strength)

$\delta_{est.i}$ 估算之該斷面最大可能變形能力(remaining deforming capability)，若考慮主要變形為旋轉角時，則為可能作用之最大彎矩值，除以斷面損失下之殘餘剛度值除以中性軸深度(EI/y)，若有明顯裂縫之檢測資料時亦可參照Park及Paulay (1975) 之方法參照圖4.1其旋轉角表示如下：

$$\delta_{est.i} = \theta = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{d - k_i d}$$

其中 S_i 為某量測段(i段)鋼筋之伸長量。

由於無法實際測出，可以標斷面上裂縫寬（如圖4.1）來替代；其餘參數如圖上所示。

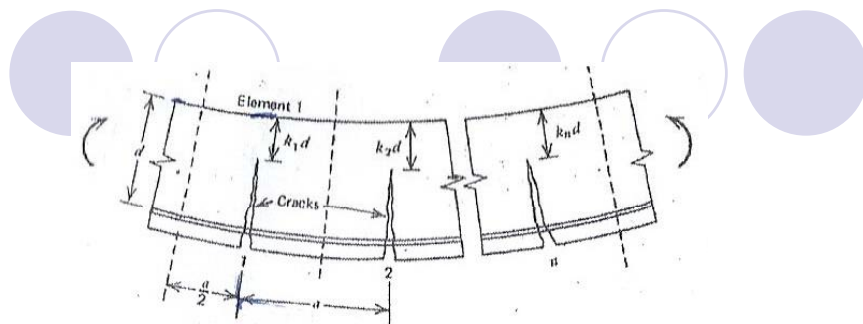


圖 4.1 鋼筋混凝土樑之累積變形計算示意圖

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

$$\delta_{Me} = \text{Max}(\delta_{esti})$$

整體結構破壞指標 (structural damage index)

- 構件現況破壞指標代表構件使用至今之破壞現況，主要以其材料強度損失及變形能力之變化為主要考量依據
- 整體結構破壞指標則結合結構使用之功能性做整體之考慮，其表示如下：

$$\Phi = \frac{2}{M} \sum_e^M [(\phi_r / \phi_i) \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e$$

- 或如下式，若相互銜接之構件為同一型式之構件，如均屬版狀構件，或均為樑構件時

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [\exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e$$

上式中

M 為結構體中屬於主結構構件之總數。

ϕ_l 結構設計之荷載因子，由鋼筋混凝土之原設計資料得出。

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

$\alpha_1 = D_e$ 現況破壞係數，為個別構件之現況破壞指標之倒數。

$\alpha_2 = \frac{5.0}{\alpha_\delta}$ 延展性係數， $\alpha_\delta = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right)$ 為延展性相關係數，與延展性線材（鋼筋斷面損失、構件材料（混凝土）劣化情形及延性及脆性材料間接合情形。

整體結構破壞指標相關之係數

參數	範圍	定義	判斷依據
$\alpha_1 = D_e$	1.0	現況破壞係數	依檢測數據計算
$\alpha_2 = \frac{5.0}{\alpha_\delta}$	1.0	延展性係數	依檢測數據計算
α_3	1.0~4.0	實測數據變異係數	1,2,3,4 當變異值為 <10%~20%~30%< 時
$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \geq 1$	1.0~5.0	延展性損失係數	$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \geq 1$
β_1	≤ 1	延展性線材（鋼筋）斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
β_2	≤ 1	構件材料（混凝土）劣化係數	(d－材料劣化深度)/d
β_3	≤ 1	材料間接合係數	(1－接合損失率)

整體結構安全評估指標 (safety capability S_d)

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi$$

- S_d 為設計時之標稱強度(nominal strength)
- S_n 為設計時實際所用之強度(design strength)
- 若單獨以 Φ 值作安全判定時，其與結構安全之相關性建議如下：
 - Level 1： Φ 值 ≥ 0.85 時，結構基本為安全僅需日常檢測維修即可。
 - Level 2： $0.85 > \Phi$ 值 ≥ 0.68 時，結構安全有局部威脅，需進一步進行檢修，但仍可使用。
 - Level 3： $0.68 > \Phi$ 值 ≥ 0.50 時，結構安全有重大問題，應停止使用或做即時監測並進行大型檢修。
 - Level 4： Φ 值 < 0.50 時，結構已重大毀損為不堪用狀態，應立即停止使用並考慮重建計畫。

棧橋式碼頭RC結構破壞評估實例分析

目前RC 結構之破壞情形檢測工作中，若以構件型式區分後，各種構件之檢測項目大致可歸納為三大部分：

- 為混凝土強度相關檢測
- 為混凝土構件斷面相關檢測
- 為鋼筋相關檢測包括腐蝕速率、斷面損失及腐蝕電位等。

其計算方式依本計畫中之檢測資料做示範性之試算並說明

- 構件破壞指標 (member damage index, D_e) 之試算(以#118號碼頭為例)

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e$$

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

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

- 整體結構安全評估指標 (safety capability S_d) 之試算(以#118號碼頭為例)

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [1 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e$$

Member	β_1	β_2	β_3	$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$	α_1	α_2	α_3
#1	0.9	0.92	1.0	0.828	3.87	2.013	3
#2	0.9	0.98	1.0	0.882	1.71	1.89	1
#3	0.9	1.0	1.0	0.9	3.23	1.852	2
#4	0.9	0.92	1.0	0.828	2.77	2.013	4
#5	0.95	0.98	1.0	0.931	2.06	1.79	1
#6	0.9	0.96	1.0	0.864	1.59	1.929	3
#7	0.9	0.92	1.0	0.828	1.84	2.013	3
Σ							

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi$$

- 若為強度設計法、則 S_d 值為 $0.85f_c'$ 。目前試算的結果（在相當有限的檢測數據及設計參數下），#118號碼頭之 Φ 值經代入公式計算後得出為 0.88。當 Φ 值為 0.88 時表示結構位於第一級之安全程度，亦即僅需進行日常檢測作業即可。



報 告 完 畢
謝 謝
並 請 指 教

附錄七

工作會議紀錄

工作會議記錄(一)

採購案編號：MOTC-IOT-99-H1DB012

採購案名稱：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

時間：99 年 6 月 14 日 上午 9:00

地點：中山大學行政大樓 4 樓會議室

出席人員：本所港研中心 陳桂清研究員

本所港研中心 柯正龍研究員

中山大學 李賢華教授

紀錄：伍仲暘

討論議題：

1. 結構安全評估方向。
2. 結構評估能否適用於整體構件。

結論：

1. 傳統結構安全評估方式，大致上可分為：(1)、以試驗室力學數據之理論；(2)、以現場觀測數據之方法。而現場觀測又以簡便之方法歸類及分級，一般簡稱為 D.E.R. 評估法，針對以往傳統安全評估方式，人為因素占大多數的成因，對結構安全之調查顯示該結構物的損壞程度較為不足。根據以上綜合得出之方法，希望能結合以上兩種方法之優點，使結構破壞之評估方法具有簡便性，如橋樑破壞之 D.E.R. 評估法，同時又具有充足之材料力學基礎，使得評估之結果能具有更高之準確度。
2. 如上述，採用分成個別構件之評估方式，及整體結構體之評估方

式。整體結構體之評估方式為，在個別構件之破壞指標已知之情況下綜合得出之結果，將分別考慮各種不同構件之減強因子及載重因子之影響，使得評估之結果對於整體構件能較為一致性。

工作會議記錄(二)

採購案編號：MOTC-IOT-99-H1DB012

採購案名稱：棧橋式碼頭面版腐蝕劣損調查與維護(2/2)

時間：99 年 10 月 04 日 上午 11:00

地點：中山大學行政大樓 4 樓會議室

出席人員：本所港研中心 陳桂清研究員

本所港研中心 柯正龍研究員

中山大學 李賢華教授

美和技術學院 鍾沛穎博士

紀錄：陳彥碩

討論議題：

1. 網頁首頁的設計樣式與網頁呈現內容排版
2. 新碼頭結構安全標準評定之公式討論
3. 新碼頭結構安全標準評定與 DER 之應用比較
4. 計畫書的公式編碼更正與手冊

主要結論：

1. 網頁首頁採台灣地圖，並標示各港口讓人點選。網頁提供歷年港口檢測實驗資料、並有簡易驗算港口安全評估指數。
2. 由李賢華教授提出把單一碼頭區分為數個構件，再由構件細分微觀到斷面，如此三個層次可使安全評估更有科學性與精確性，而公式詳細資料清楚顯示於計畫書第四章中。
3. 對於碼頭一般與定期性的檢測可以使用 DER，而較為精密或詳細

的檢測則採取李賢華教授新提出的新檢測方式較佳。

4. 改善計畫書的公式編碼不清問題，並對第二章的檢測與評估製為手冊。