

102-30-7679

MOTC-IOT-101-H1DB006b

港灣構造物安全檢查評估之研究 (2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-30-7679

MOTC-IOT-101-H1DB006b

港灣構造物安全檢查評估之研究 (2/4)

著 者：陳桂清、柯正龍、張道光、胡啟文
廖振程、張嘉峰、李賢華、簡臣佑
邱信諺、張永昌、林嘉澤

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣構造物安全檢查評估之研究. (2/4) / 陳桂清等著.

-- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民 102.02

面；公分

ISBN 978-986-03-6169-8(平裝)

1.港埠工程 2.港埠管理

443

102003250

港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

著者：陳桂清、柯正龍、張道光、胡啓文、廖振程、張嘉峰、李賢華
簡臣佑、邱信諺、張永昌、林嘉澤

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 102 年 2 月

印刷者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：250 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010200324

ISBN：978-986-03-6169-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6169-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1010200324	運輸研究所出版品編號 102-30-7679	計畫編號 101-H1DB006b
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、張道光 胡啟文 聯絡電話：04-26587118 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：財團法人臺灣營建研究院 計畫主持人：廖振程 研究人員：張嘉峰、李賢華、簡臣佑 邱信諺、張永昌、林嘉澤 地址：新北市新店區中興路二段 190 號 11F 聯絡電話：02-89195000		研究期間 自 101 年 1 月 至 101 年 10 月
關鍵詞：港灣構造物、檢測標準、執执行程序、新式評估方法			
摘要： 依據交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等2大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣21世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務品質與量能，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。交通工程建設，大量採用鋼筋混凝土，由於鋼筋混凝土材料甚具耐久性，甚少需要維護。但如使用環境(諸如腐蝕性的環境)、超載與長期使用等因素之影響，結構甚易老化損壞，其耐久性與安全性令人堪慮。 計畫分為三個主軸：檢測作業標準制訂、安全評估方法之檢討與維護管理系統建置等進行相關的探討，並作為修訂碼頭結構物檢測、評估與維護手冊之依據。檢測作業標準主要為延續前一年度成果，修正檢測標準內容與增加檢測圖示，以增加檢測結果的一致性；另外，彙整各儀器檢測技術之「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」，以提供現地工程師參考，並修正構件權重與評估方法，以改善初步檢測安全評估方式。 本計畫完成後已達到之成果與效益如下：(1)建立港灣碼頭結構物檢測安全評估機制；(2)研發港灣碼頭維護管理系統；(3)建立碼頭結構物檢測評估與維護手冊。在經濟效益方面：(1)提供港務公司執行檢測與維護之依據(2)適當的維護機制可降低工安事故，減少維護成本(3)帶動海事工程需求，檢測技術、儀器研發等。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 2 月	310	250	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：本案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: The research of Safety Inspection Accessment for Harbor Structures (2/4)			
ISBN 978-986-03-6169-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200324	IOT SERIAL NUMBER 102-30-7679	PROJECT NUMBER 101-H1DB006b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen Kuei-Ching PROJECT STAFF: Ko Jeng-Long Ko, Tao-Kung Chang, Chi-Wen Hu PHONE: 04-26587118 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO October 2012
RESEARCH AGENCY: Taiwan Construction Research Institute PRINCIPAL INVESTIGATOR: J. C. Liao PROJECT STAFF: Chia-Feng Chang, H. H. Lee, C. Y. Jian, S. Y. Chiu, Y. C. Chang, C. J. Lin ADDRESS: 11F, No.190, Sec. 2, Zhongxing Rd., Xindian District, New Taipei City 231, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (02) 89195000			
KEY WORDS: HARBOR STRUCTURE, INSPECTION STANDARD INSPECTION, PROCEDURE, NEW ACCESSMENT METHOD			
ABSTRACT: According to two major policy directions provided by MOTC, "rebuild the international gateway to enhance national competitiveness" and "promote sustainable green transportation to meet the carbon reduction", the main industrial and commercial ports of Taiwan must be strengthened the effectiveness of harbor facilities to improve quality and energy of its services in order to reach the core values of international ports, and rebuild competitiveness of transportation hub in East Asia to promote local development. Public transportation and other major construction projects are extensively built by reinforced concrete structures, because the durability of reinforced concrete leads little need to maintain. However, the structure is very vulnerable to damage due to the use of the environment (such as corrosive environment) and ultra-load. Its durability and safety is increasingly being questioned and considered. The three major directions of this research in the year are to modify the standard inspections, to review the method of safety evaluation, and to modify the maintenance management system. The manual of inspection, evaluation, and maintenance for wharf structure were also drafted and revised. Modifying the standards of inspections includes: 1. Correcting visual inspection standards, and adding visual inspection drawing which can improve consistency for inspection results · 2. Synthesizing inspection theorem, inspection process, inspection notice, and inspection content for each instrument inspection techniques to improve its workability · 3. Correcting the weight for each structure elements and the evaluation method, which can improve safety evaluation method for visual inspection. The application of research result can not only meet the needs on various fields, but also improve the development of inspection techniques. The major achievements were obtained as follows: 1.To establish the mechanism of inspection and safety evaluacition of harbor reinforced structures. 2.To develop a barbor reinforced structures maintenance management system. 3.A manual handbook of inspection, safety evaluacition and maintenance had been revised. The economic benefit were as follows: 1.To offer a guideline of structures field investigation for Harbor Company. 2.To reduce tragedy events and maintence cost. 3.To promote the demand of marine engineering inspecting instruments and techniques.			
DATE OF PUBLICATION February 2013	NUMBER OF PAGES 310	PRICE 250	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRE ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XI
第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究背景與重要性說明.....	1-1
1.2 計畫目的.....	1-2
1.3 計畫對象與範圍.....	1-3
1.4 研究流程與關連性.....	1-3
第二章 港灣構造物檢測作業標準制訂.....	2-1
2.1 目視檢測標準修訂.....	2-1
2.1.1 目視檢測標準修訂內容.....	2-4
2.1.2 港灣設施目視檢測標準圖示.....	2-10
2.1.2.1 碼頭設施目視檢測標準圖示.....	2-11
2.1.2.2 碼頭附屬設施目視檢測標準圖示.....	2-17
2.1.2.3 防波堤設施目視檢測標準圖示.....	2-19
2.2 儀器檢測適用性探討.....	2-20
2.2.1 混凝土儀器檢測技術.....	2-22
2.2.2 鋼材儀器檢測技術.....	2-30

2.2.3 其他儀器檢測技術	2-35
2.3 初步檢測安全評估方式研擬	2-41
2.4 詳細檢測安全評估方式之研擬	2-51
2.5 小結	2-53
第三章 現有港灣構造物安全評估方法之檢討	3-1
3.1 實驗規劃	3-11
3.2 構件試體模具及試驗材料基本性質分析	3-11
3.2.1 模型 RC 樑設計	3-11
3.2.2 模具	3-12
3.2.3 混凝土配比選定	3-14
3.2.4 鋼筋量選定	3-14
3.3 縮尺結構構件實驗結果分析討論	3-15
3.3.1 MTS 往復荷載破壞試驗結果	3-16
3.3.2 試驗模型構件之力學性質	3-23
3.3.3 破壞指標應用於試驗結果之探討	3-24
3.4 小結	3-28
第四章 港灣構造物維護管理系統建置	4-1
4.1 現有系統架構說明	4-1
4.2 現有碼頭設施維護管理系統更新	4-6
4.2.1 系統檢測標準修正	4-6
4.2.2 系統初步檢測安全評估方式修正	4-8
4.2.3 經常巡查輸入方式之修正	4-9
4.3 防波堤維護管理系統建置	4-10

4.4 小結	4-14
第五章 碼頭結構物檢測及評估和維護管理手冊修訂	5-1
5.1 碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊撰寫	5-1
5.2 港灣設施維護管理系統使用手冊撰寫	5-2
5.3 小結	5-3
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-3
參考文獻	參-1
附錄一 碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊	附錄 1-1
附錄二 港灣設施維護管理系統使用手冊	附錄 2-1
附錄三 構件權重層級分析法(AHP)問卷	附錄 3-1
附錄四 歷次季工作會議記錄	附錄 4-1
附錄五 期中報告審查意見處理情形表	附錄 5-1
附錄六 期末報告審查意見處理情形表	附錄 6-1
附錄七 期末報告審查簡報	附錄 7-1
附錄八 港灣構造物安全檢查評估推廣講習舉辦成果	附錄 8-1

圖目錄

圖 1.1 各類巡查執行流程.....	1-4
圖 2.1 重力式碼頭設施構件與劣化類型.....	2-2
圖 2.2 板樁式碼頭設施構件與劣化類型.....	2-2
圖 2.3 棧橋式碼頭設施構件與劣化類型.....	2-3
圖 2.4 碼頭附屬設施構件與劣化類型.....	2-3
圖 2.5 防波堤設施構件與劣化類型.....	2-4
圖 2.6 重力式碼頭岸肩劣化異狀修正圖示.....	2-5
圖 2.7 整併「龜裂」與「裂縫」異狀為「裂縫」圖.....	2-5
圖 2.8 整併「腐蝕」與「剝落」異狀為「剝落」圖.....	2-6
圖 2.9 重力式碼頭壁體與法線劣化異狀修正圖示.....	2-6
圖 2.10 重力式碼頭岸肩法線照片.....	2-7
圖 2.11 板樁式碼頭壁體劣化異狀修正圖示.....	2-7
圖 2.12 板樁式碼頭壁體穿孔數值修正.....	2-8
圖 2.13 棧橋式碼頭壁體劣化異狀修正圖示.....	2-8
圖 2.14 碼頭附屬設施劣化異狀圖示.....	2-9
圖 2.15 防舷材劣化描述修正.....	2-9
圖 2.16 車擋劣化描述修正.....	2-9
圖 2.17 起重機軌道劣化描述修正.....	2-10
圖 2.18 防波堤設施劣化異狀修正圖示.....	2-10
圖 2.19 港灣設施儀器檢測技術彙整.....	2-21
圖 2.20 測點方格繪製於碼頭岸壁面.....	2-23

圖 2.21 應力波與表面裂縫之波傳行為	2-26
圖 2.22 敲擊式繞射波傳輸時間法之裂縫檢測	2-27
圖 2.23 表面縱波(P 波)波速(C_P)量測試驗	2-28
圖 2.24 裂縫編號 C2 之裂縫深度試驗結果	2-29
圖 2.25 鋼筋腐蝕電位量測示意圖	2-30
圖 2.26 水面下量測鋼板樁厚度之情形	2-33
圖 2.27 測厚儀量測之示意圖	2-33
圖 2.28 透地雷達施測原理說明	2-36
圖 2.29 透地雷達施測圖示說明	2-37
圖 2.30 多音束水深測量音鼓正打側打差異示意圖	2-37
圖 2.31 RESON SeaBat 8124 多音束測深機	2-38
圖 2.32 多音束測深儀 RESON SeaBat8124 系統架構示意圖	2-38
圖 2.33 HYPACK MAX 軟體—多音束測深系統施測畫面	2-39
圖 2.34 水深測量作業流程圖	2-40
圖 2.35 基隆港西 14 號碼頭船席水深量測	2-40
圖 2.36 基隆港西 15 號碼頭船席水深量測	2-41
圖 2.37 基隆港西 2~4 號碼頭船席水深量測	2-41
圖 2.38 單一構件設施評價說明	2-42
圖 2.39 整體設施評估說明	2-42
圖 2.40 碼頭梁構件鋼筋面積折減率與承載容量關係圖	2-50
圖 2.41 港灣構造物檢測作業標準制訂與維護管理流程之對應	2-50
圖 2.42 碼頭梁構件鋼筋面積折減率與承載容量關係圖	2-53
圖 2.43 港灣構造物檢測作業標準制訂與維護管理流程之對應	2-54

圖 3.1 鋼筋混凝土梁之累積變形計算示意圖.....	3-6
圖 3.2 模具上視示意圖.....	3-13
圖 3.3 模具 3D 示意圖.....	3-13
圖 3.4 模具照片.....	3-13
圖 3.5 往復荷載破壞試驗示意圖.....	3-15
圖 3.6 Strain Gauge 擺放位置.....	3-15
圖 3.7 以螺絲系統將 RC 柱鎖死於底板上.....	3-15
圖 3.8 MTS 油壓系統致動器作用於構件模型.....	3-15
圖 3.9 M2-1 力量位移圖.....	3-17
圖 3.10 M2-2 力量位移圖.....	3-18
圖 3.11 M2-3 力量位移圖.....	3-18
圖 3.12 L2-3 力量位移圖.....	3-19
圖 3.13 H4-2 力量位移圖.....	3-19
圖 3.14 H4-3 力量位移圖.....	3-20
圖 3.15 H4-1 力量位移圖.....	3-20
圖 3.16 L4-3 力量位移圖.....	3-21
圖 3.17 低鋼筋量組不同混凝土強度受力位移圖.....	3-21
圖 3.18 高鋼筋量組不同混凝土強度受力位移圖.....	3-22
圖 3.19 高強度組不同鋼筋量受力位移圖.....	3-22
圖 3.20 中強度組不同鋼筋量受力位移圖.....	3-23
圖 3.21 低強度組不同鋼筋量受力位移圖.....	3-23
圖 3.22 低鋼筋量組不同強度混凝土構件破壞能量累積圖.....	3-26
圖 3.23 高鋼筋量組不同強度混凝土構件破壞能量累積圖.....	3-26

圖 3.24 較高強度混凝土不同鋼筋量構件破壞能量累積圖.....	3-26
圖 3.25 中強度混凝土不同鋼筋量構件破壞能量累積圖.....	3-27
圖 3.26 低強度混凝土不同鋼筋量構件破壞能量累積圖.....	3-27
圖 4.1 港灣設施維護管理系統功能架構.....	4-1
圖 4.2 檢測資料模組新增頁面修正示意圖.....	4-7
圖 4.3 檢測資料模組劣化狀況頁面修正示意圖.....	4-7
圖 4.4 港灣設施維護管理系統-碼頭構件狀況排序 1	4-8
圖 4.5 港灣設施維護管理系統-碼頭構件狀況排序 2	4-9
圖 4.6 港灣設施維護管理系統-碼頭狀況指標	4-9
圖 4.7 經常巡查檢測表格輸入畫面.....	4-10
圖 4.8 防波堤目視檢測記錄內容.....	4-11
圖 4.9 防波堤設施檢測記錄輸入畫面.....	4-13
圖 4.10 防波堤設施各檢測記錄歷史資料列表.....	4-14
圖 4.11 防波堤設施檢測記錄查詢畫面	4-14
圖 4.12 港灣構造物維護管理系統修正與維護管理流程之對應	4-15
圖 5.1 碼頭結構物檢測及評估和維護管理手冊與維護管理流程之對應	5-3

表目錄

表 1-1 本計畫各年度執行內容	1-2
表 2-1 港灣設施儀器檢測技術適用性表	2-21
表 2-2 反彈錘試驗報告內容建議範例	2-24
表 2-3 表面 P 波波速量測與裂縫深度檢測結果	2-29
表 2-4 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係	2-32
表 2-5 防蝕率與海水浸水率之關係	2-35
表 2-6 評估尺度說明	2-44
表 2-7 隨機指標表	2-46
表 2-8 重力式碼頭第一層構件兩兩比對數值	2-47
表 2-9 重力式碼頭單問卷第一層構件權重計算結果	2-47
表 2-10 重力式碼頭問卷 1~10 第一層構件權重計算結果	2-48
表 2-11 重力式碼頭權重	2-48
表 2-12 板樁式碼頭權重	2-48
表 2-13 棧橋式碼頭權重	2-49
表 2-14 碼頭附屬設施權重	2-49
表 3-1 整體結構破壞指標相關之係數	3-9
表 3-2 材料配比表	3-14
表 3-3 低鋼筋組構件受力位移數據	3-16
表 3-4 高鋼筋組構件受力位移數據	3-17
表 3-5 試驗數據得出之構件吸收能量數據	3-25
表 3-6 各組構件之原始強韌度及比較	3-28

表 4-1 港灣基本資料表	4-3
表 4-2 碼頭基本資料表	4-3
表 4-3 碼頭單元基本資料表	4-4
表 4-4 單元檢測資料表	4-4
表 4-5 維修紀錄資料表	4-5
表 4-6 構件拆解資料表	4-5
表 4-7 維修工法資料表	4-5
表 4-8 權重資料表.....	4-6
表 4-9 權限管理資料表	4-6
表 4-10 防波堤設施基本資料表	4-12
表 4-11 防波堤設施檢測資料表.....	4-13

第一章 緒論

1.1 研究背景與重要性說明

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

近幾十年來交通建設等重大公共工程建設，均大量採用鋼筋混凝土結構興建，由於鋼筋混凝土材料甚具耐久性，但受使用環境(諸如腐蝕性的環境)及超負載等因素之影響，結構甚易受到損壞，其耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮。

針對國內港灣構造物是否安全堪用，必需明確的瞭解，俾採必要之防範措施，基於此一要求，急需進行結構物安全評估工作，國外針對新舊結構物均有建立結構檢測方法及完善評估制度，使結構物達到安全、經濟、有效益之維護，增長使用壽命之目的。國內雖已有初步之成果，然為建立本土化之結構物評估制度，港灣構造物安全檢查評估之研究確有其必要性。

結構物之維修是為確保安全，使用功能及延長使用年限，以往我國工程與設施較注重興建，或全面維修，對於平常之維護均認為是例行公事，僅編列少數維護經費進行維護工作。而英、美、日等先進國家則逐步依設施所處的環境，規劃較為完整之維護計劃，不但使維護經費做最有效之運用，並可杜絕龐大維護費用之浪費，且對人、社會及環境造成最低之衝擊，因此需建立一套完善的港灣構造物檢測程序與安全評估方法。

1.2 計畫目的

為確保港灣構造物安全性、使用功能及延長使用年限，以達維護經費有效運用、杜絕維護費用浪費與對社會經濟環境造成最低之衝擊，故本案有以下幾項主要之目的：

1. 港灣構造物初步檢測其安全評估之研析
2. 港灣構造物詳細檢測其安全評估之研析
3. 現有港灣構造物其安全評估方法之檢討

本案為四年期第二年計畫，各期依目視檢測、儀器檢測、安全評估、維護管理手冊與維護管理系統等說明各期規劃如下表 1-1 所示：

表 1-1 本計畫各年度執行內容

年期 工作內容	第一年	第二年	第三年	第四年
目視 檢測	1.國內檢測標準之概況分析。	檢測標準之試用。	檢測標準之修改。	建立港灣構造物檢測技術與程序。
儀器 檢測	2.歐美日等國檢測標準之比較分析。 3.實作模擬訓練。	檢測儀器之適用性探討。	儀器檢測內容之持續更新。	
安全 評估	1.新式評估方法之建立。 2.新式與現有安全評估方法之比較分析。	1.初步檢測安全評估研擬。 2.複合式構件之評估方法研擬。	碼頭單元評估方法之擬定(針對重力式、棧橋式與板樁式)。	
維護管理 手冊	1.檢測標準擬定。 2.檢測程序擬定。	檢測表單之試填、推廣與修正。	維護管理手冊之持續更新。	建立港灣構造物維護管理手冊。
維護管理 系統	系統資料庫架構規劃。	1.構件拆解與各異狀標準建立。 2.分析預測工具之研擬。 3.檢測系統試執行。	1.擴大建置港灣構造物資料。 2.分析預測工具模組建置。 3.檢測報告產出模組建置。	建置港灣構造物維護管理系統。

1.3 計畫對象與範圍

1. 研究計畫對象

本計畫研究對象為碼頭(包含重力式、板樁式與棧橋式三種)與防波堤等港灣構造物為主。初步擬定將以基隆港為對象，因目前交通部運輸研究所港灣技術研究中心已執行「基隆港西 14 至西 15 號碼頭結構安全檢測評估與系統建置」與「基隆港西 2 至西 4 號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究」兩案，故希望能再藉此研究基礎上，再進行更深入之探討與設施資料之擴充。

2. 研究計畫範圍

計畫範圍主要針對港灣構造物檢測標準，配合國內外之文獻資料，進行比較分析，藉以制訂適合我國之標準外。亦針對港灣構造物檢測建置其執行政序，配合手冊之撰寫(包含施檢測類型與頻率、構件編碼原則、目視檢測評估標準、儀器檢測建議與修復排序等)，藉以讓現場工程師能便於操作。至於安全評估部分，本研究亦將針對現有評估方式進行探討，並提出結合目視與儀器檢測之新式評估方法。

1.4 研究流程與關連性

依本研究擬定的三種巡查方式(即經常巡查、定期巡查與特別巡查，其流程如圖 1.1 所示)。各巡查詳細內容請參閱附錄 1 碼頭設施維護管理手冊所示，本節主要說明本年度工作內容與此流程之關連性。其說明如下：

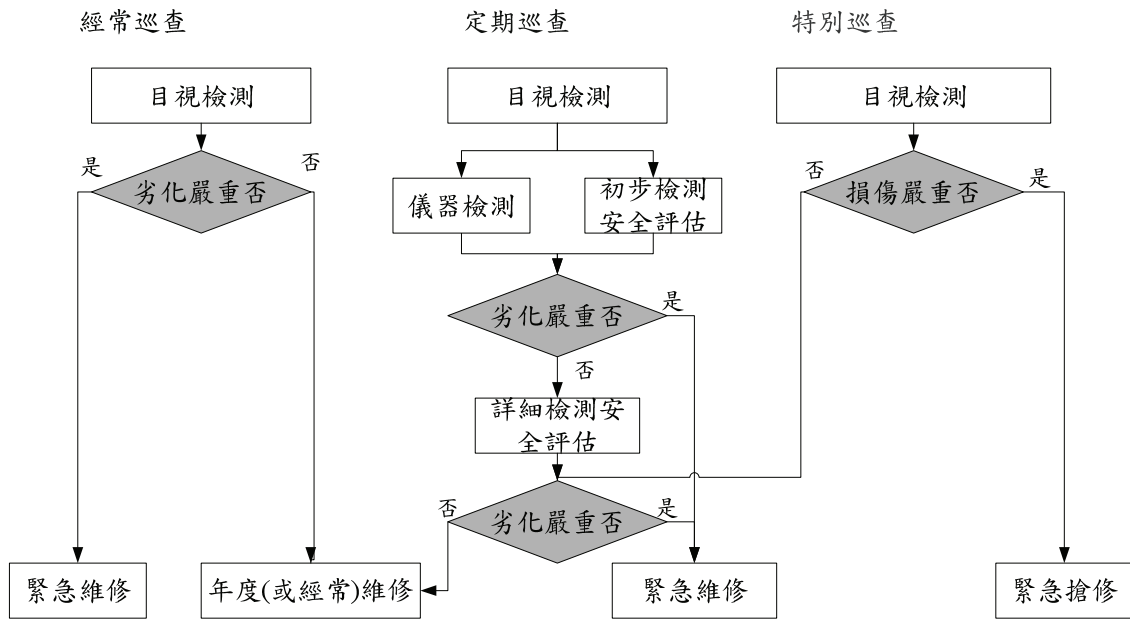


圖 1.1 各類巡查執行流程

1. 檢測作業標準制訂

(1) 港灣構造物目視檢測標準修正與試用

針對目視檢測標準，本年度期中雖以針對各劣化標準，輔以劣化異狀照片(或示意圖說)，增加一致性與正確性。但藉由現場配合經常性巡查表格進行試填作業時，發現原所制訂的劣化標準其數值過於保守、部分劣化標準較難以判別與重複性劣化現象等，為符合現場檢測之需求，並呼應期中審查委員建議之務實性考量，故針對相關劣化數值予以調整與整併，並針對未考量的劣化現象進行補充，並一併針對期中已完成之劣化圖示進行修正。

(2) 檢測儀器之適用性探討

各儀器檢測技術以「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」進行說明，後續會針對各技術適用於各情況進行對照之建議。

(3)初步檢測安全評估方式之研擬

初步檢測安全評估方式配合劣化等級(Degree)與程度(Extend)改為劣化狀況(Condition)後，以利碼頭單一構件與整體設施的狀況指標計算與維修排序之用。而針對狀況指標之構件權重，本年度亦增加專家學者問卷進行分析，以補充權重分析之代表性。

(4)詳細檢測安全評估方式之研擬

此階段評估依圖 1.1 所示，將藉由目視檢測之初步評估後確定欲分析之構件，配合儀器檢測之量測結果來進行，由於碼頭劣化以棧橋式碼頭岸肩受臨海腐蝕環境影響造成鋼筋鏽蝕，故後續將以岸肩梁構件之鋼筋斷面積因鏽蝕減少，作為分析標的。相較於此法，目前暫為替代之法，待本案所發展之港灣構造物安全評估方法完成後，即替代此法。

2. 現有港灣構造物安全評估方法之檢討

針對國內外現有安全評估方法較缺乏將其力學行為納入，因此本章節先進行資料收集與研析，並納入考量力學理論與現場觀測數據之整合性評估法與實驗之驗證成果，建置新式安全評估法，以提出其優劣與未來之發展方向。

3. 維護管理系統建置

除原先既有的碼頭維護管理系統，配合目視檢測標準與評估方式修訂之結果進行碼頭維護管理系統之更新；並依循前述內容建立防波堤目視檢測標準，建置防波堤維護管理系統。

4. 修訂碼頭結構物檢測及評估和維護手冊

修訂目視檢測標準，增加劣化照片(或示意圖)之輔助，針對儀器檢測部分增列岸上檢測技術適用性建議，並修訂初步安全評估之構件權重，以利碼頭、防波堤構件安全評估，相關成果將彙整成維護手冊提供碼頭轄管單位使用與參考。

5. 教育訓練

訓練內容包含「港灣構造物檢測程序與目視檢測標準介紹」、「港灣構造物儀器檢測技術介紹」、「港灣構造物維護管理系統介紹」、「港灣構造物安全評估分析方法介紹」、「港灣構造物維護管理系統操作實作」等，以將研究成果讓現地工程師瞭解，達到技術蔓延。

第二章 港灣構造物檢測作業標準制訂

2.1 目視檢測標準修訂

依港灣構造物安全檢查評估之研究(1/4)，研究團隊已彙整國內外港灣構造物檢測標準(包含港灣構造物安全檢測與評估之研究、港灣構造物維護管理準則之研究、港灣空港技術研究所—棧橋的生命週期維護管理系統之構築與關連之研究與日本海岸保護設施維護管理手冊)，並據此制訂港灣構造物目視檢測標準。

目視檢測標準之訂定為避免既有評估方式之複雜，故將目前現有之 D.E.R.&U.評估標準(D 為劣化程度、E 為劣化範圍、R 為相對重要性、U 為維修急迫性)簡化為僅評估 D 值，並且細分構件各種可能的劣化狀況，方便日後對應維修工法；而 E 值部分則會併於 D 值中說明，以摒除以往 E 值評估不合理的情形；R 值部分未來則以構件重要性進行取代，作為碼頭單元與碼頭設施整體評估之用；而 U 值部分則配合 D 值來進行維修急迫性之判別，意即 D 值越大，設施構件劣化狀況越嚴重，則越優先維修。由於評估方式之整併，故後續即將 D 值改稱為構件劣化狀況。

為便於檢測人員現場檢測之需求，並使檢測結果趨於一致，於本案期中時將工作著重於港灣碼頭與防波堤設施目視檢測標準予以圖示(或照片)化。其後，亦藉由巡查表格(經常巡查)配合修正後之目視檢測標準於 101 年 8 月 31 日在基隆港西 15 號碼頭進行實際填寫，以確認現場劣化異狀是否便於填寫。經此次之試填，目視檢測標準亦進行簡化，符合期中審查委員建議之務實性考量，碼頭與防波堤設施構件與劣化類型分類如圖 2.1~圖 2.5 所示。修正內容說明如 2.1.1 節所示，而針對目視檢測標準圖示(或照片)亦同步予以修正，說明如 2.1.2 節所示。

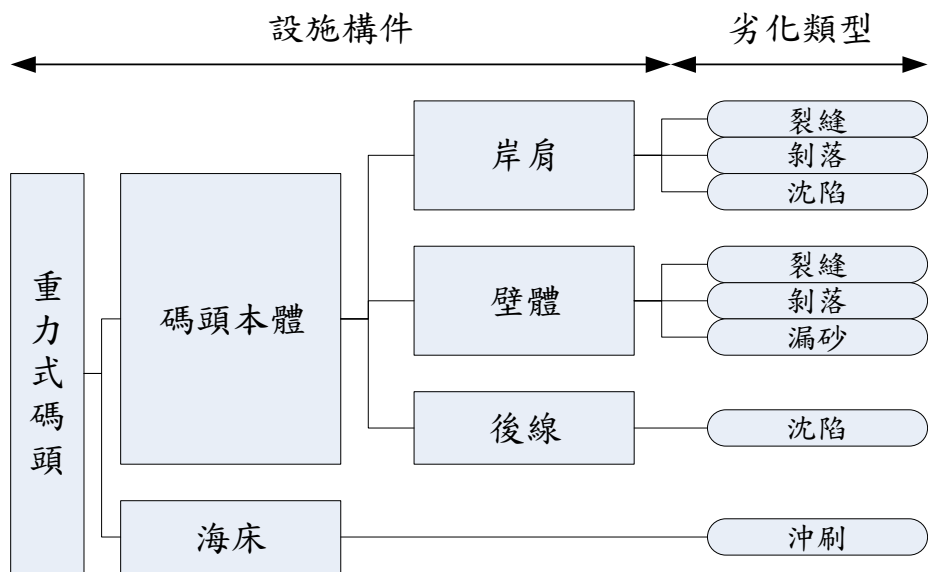


圖 2.1 重力式碼頭設施構件與劣化類型

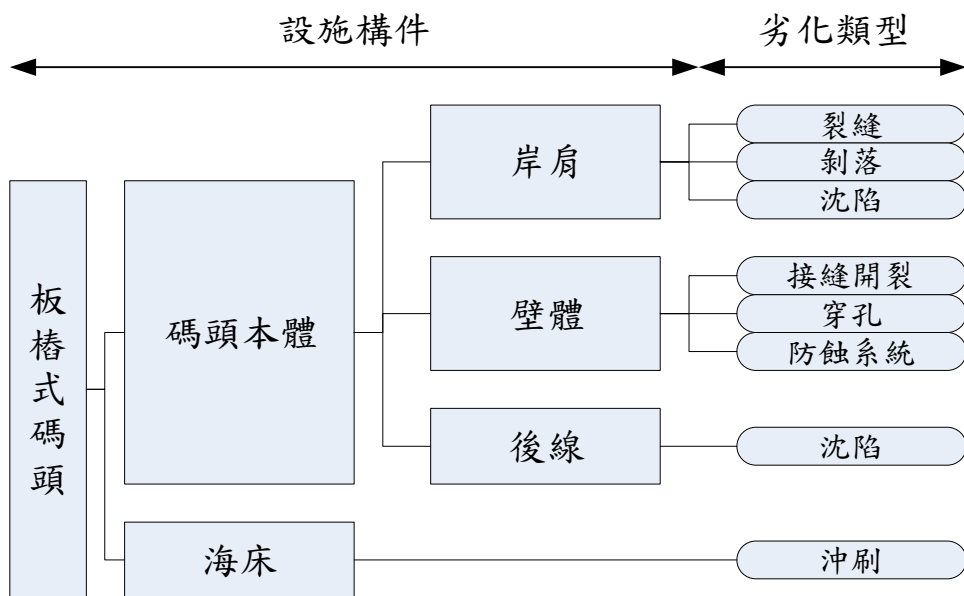


圖 2.2 板樁式碼頭設施構件與劣化類型

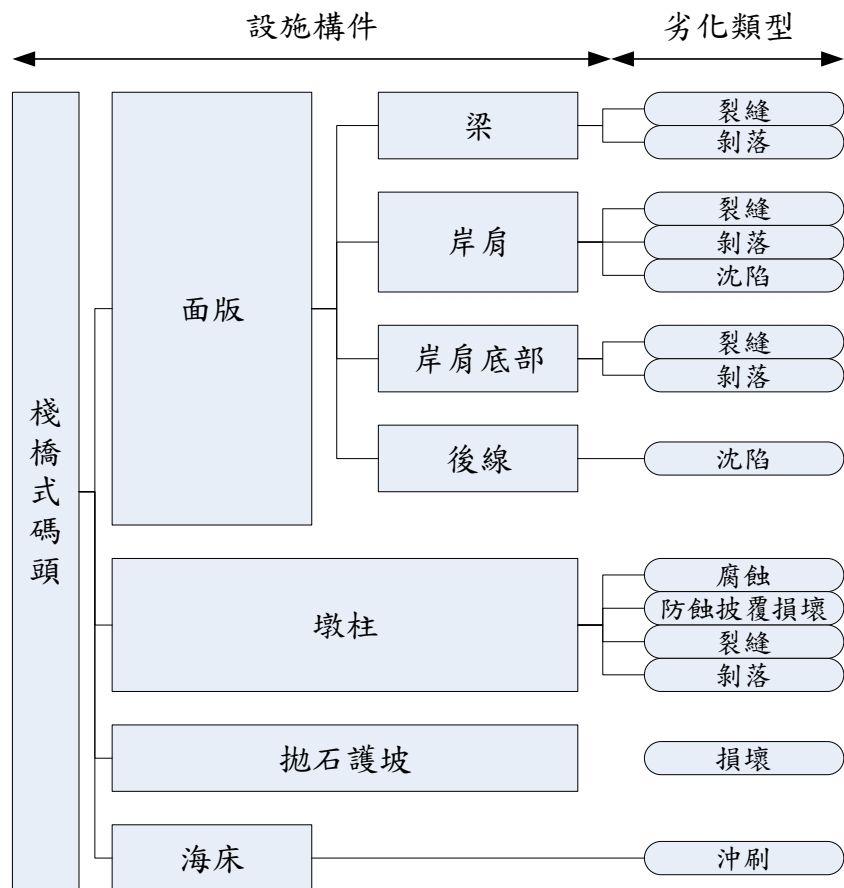


圖 2.3 棧橋式碼頭設施構件與劣化類型

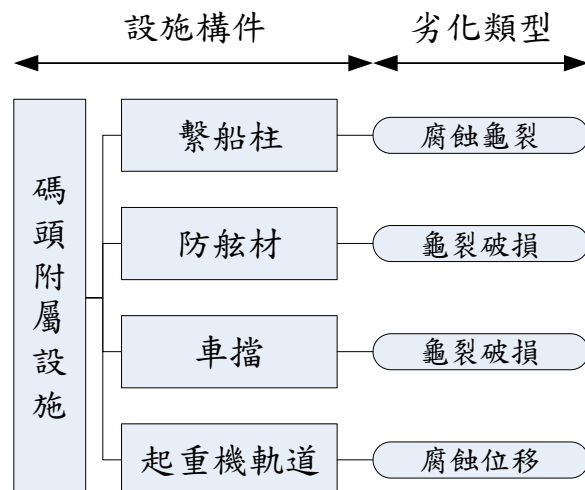


圖 2.4 碼頭附屬設施構件與劣化類型

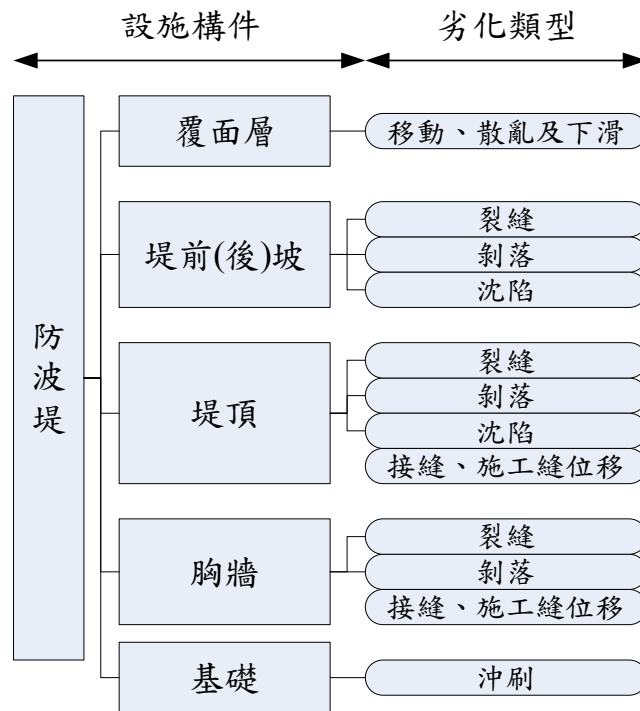


圖 2.5 防波堤設施構件與劣化類型

2.1.1 目視檢測標準修訂內容

經現場實際試填後，現有目視檢測標準有以下三項需改進之處，1.劣化異狀不易判定、2. 劣化異狀相似之情形與 3.劣化異狀有尚未考量之情形。為此，為增進其檢測之效益，故將劣化異狀不易判定之部分予以刪除、而有相似之部分予以整併、並補充劣化異狀未考量之狀況。以下即依碼頭設施(重力、板樁、棧橋式與前述各式共同之附屬設施)與防波堤設施依序說明修正之處，若各設施有相同構件之部分(如岸肩)則一併修正，不再贅述，詳細修正後之目視檢測標準請參考附錄 1 所示。

1. 重力式碼頭

將碼頭本體之岸肩「龜裂」與「裂縫」兩劣化異狀整併為「裂縫」，將「腐蝕」與「剝落」兩劣化整併為「剝落」，並於檢測表格中建議檢視「沈陷」劣化異狀時應於雨天過後進行，詳如圖 2.6 所示。

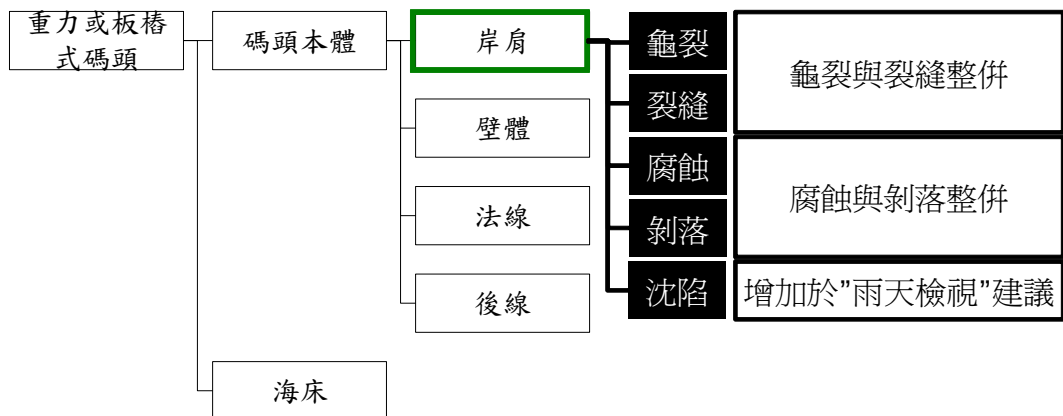


圖 2.6 重力式碼頭岸肩劣化異狀修正圖示

「龜裂」由於現場檢測其鋪面龜裂率較為困難，且亦與「裂縫」在等級 4 之劣化狀況相同，故以「裂縫」替代，並將「裂縫」各狀況等級之劣化狀況增大，以避免檢測人員於現場記錄時之作業量，其修正內容如圖 2.7 所示。

「腐蝕」與「剝落」兩異狀皆有提及鋼筋腐蝕及外露之現象，且鋼筋腐蝕亦隨之造成混凝土剝落，考量兩異狀相似性較高，故予以整併，將鋼筋外露與否與腐蝕程度、剝落面積與深度等進行彙整，其修正內容如圖 2.8 所示。

龜裂	2	鋪面產生輕微裂縫(混凝土鋪面龜裂率目測約0.5m/m ² 以下、瀝青鋪面龜裂率目測約20%以下)
	3	鋪面產生明顯裂縫(混凝土鋪面龜裂率目測約0.5~2m/m ² 、瀝青鋪面龜裂率目測約20~30%)
	4	鋪面產生嚴重裂縫(混凝土鋪面龜裂率目測約2m/m ² 、瀝青鋪面龜裂率目測約30%以上)
裂縫	2	局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約1mm以下)
	3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約3mm以上)
	4	混凝土裂縫擴散至整個岸壁

↓

裂縫	2	局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約3mm以下)
	3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約3~5mm以內)
	4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約5mm以上)

圖 2.7 整併「龜裂」與「裂縫」異狀為「裂縫」圖

腐蝕	2	局部可見鏽水
	3	局部可見較多鏽水、鋼筋露出但未見腐蝕
	4	鋼筋露出且已腐蝕，可見鏽水顯著
剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部分露出且無腐蝕現象(剝落寬度直徑 ≤ 15 cm，深度 ≤ 2.5 cm)
	3	混凝土龜裂，鋼筋完全露出，無腐蝕現象。鋼筋部分露出，而且有腐蝕現象(剝落寬度直徑 ≤ 15 cm，深度 > 2.5 cm或剝落寬度直徑 > 15 cm，深度 ≤ 2.5 cm)
	4	可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出(剝落寬度直徑 > 15 cm，深度 > 2.5 cm)
剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑 < 15 cm，深度 < 2.5 cm
	3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑 ≤ 15 cm，深度 > 2.5 cm或剝落寬度直徑 > 15 cm，深度 ≤ 2.5 cm
	4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑 > 15 cm深度 > 2.5 cm

圖 2.8 整併「腐蝕」與「剝落」異狀為「剝落」圖

針對碼頭本體之壁體「腐蝕」、「裂縫」與「剝落」等異狀，即如同前述岸肩之劣化異狀一併處理，如圖 2.9 所示。而壁體之「傾斜」與碼頭本體之法線「變位」異狀，因考量現場檢測之判斷不易(如圖 2.10 所示。且碼頭法線歷經多次修復，其現況是否為變形已難以判定)，故予以刪除。

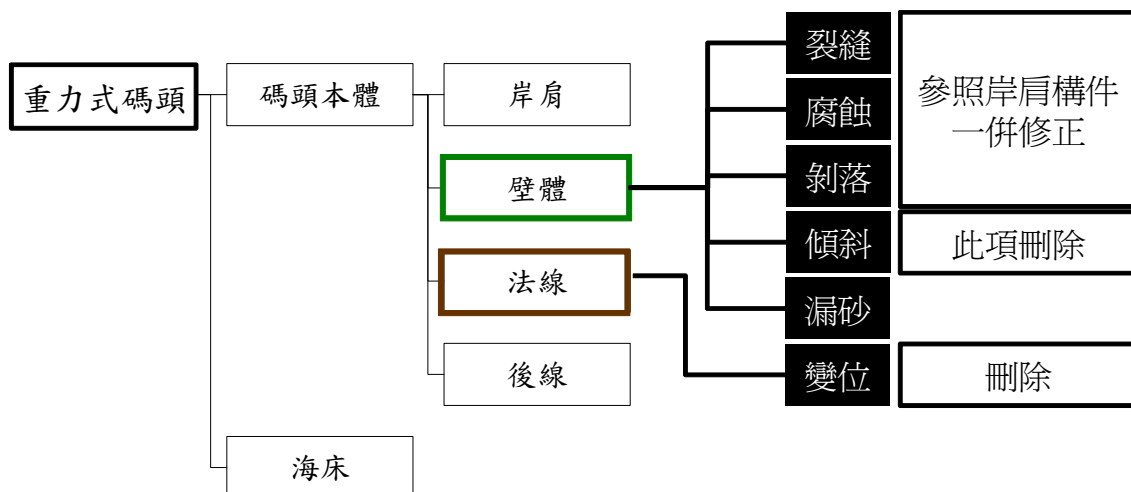


圖 2.9 重力式碼頭壁體與法線劣化異狀修正圖示

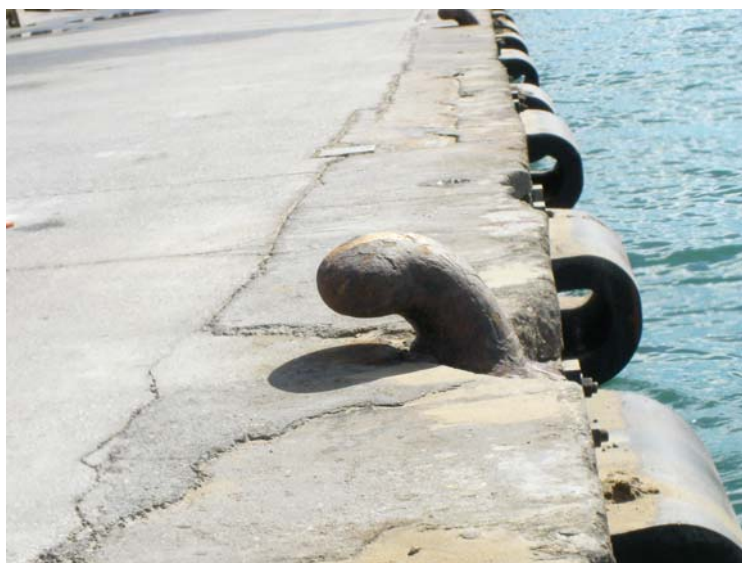


圖 2.10 重力式碼頭岸肩法線照片

2. 板樁式碼頭

碼頭本體之壁體部分，除將「穿孔」劣化數值予以調整與「傾斜」劣化因考量現場檢測之判斷不易外，其餘劣化異狀不予以修正，如圖 2.11 所示。「穿孔」劣化數值將穿孔面積予以增加，如圖 2.12 所示。

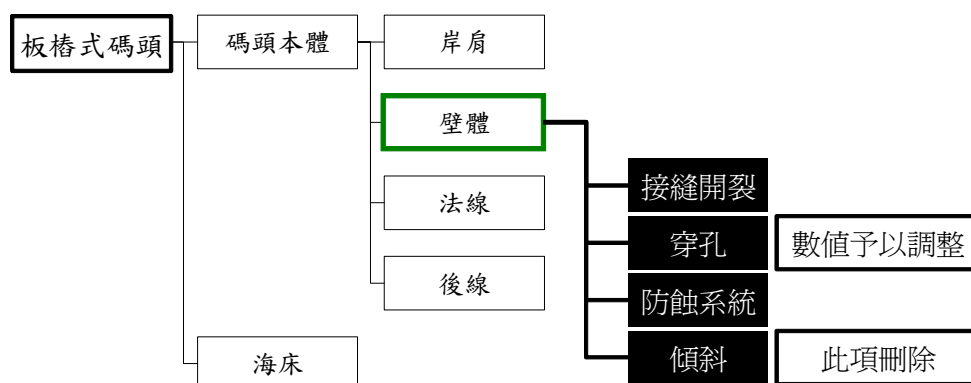


圖 2.11 板樁式碼頭壁體劣化異狀修正圖示

穿 孔	2	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於1 cm ²)現象
	3	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於1~3 cm ²)現象
	4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於3cm ²)擴大且有漏砂現象

↓

穿 孔	2	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於5 cm ²)現象
	3	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於5~20 cm ²)現象
	4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於20 cm ²)擴大且有漏砂現象

圖 2.12 板樁式碼頭壁體穿孔數值修正

3. 棧橋式碼頭

碼頭墩柱之「傾斜變形」異狀，因考量現場檢測之判斷不易故予以刪除，如圖 2.13 所示。

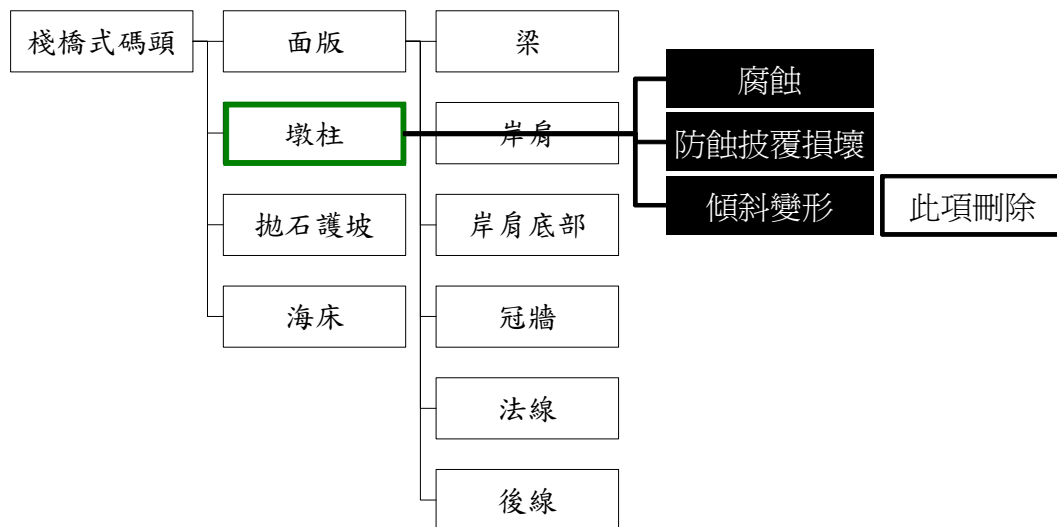


圖 2.13 棧橋式碼頭壁體劣化異狀修正圖示

4. 碼頭附屬設施

防舷材「龜裂破損」異狀之檢測標準內容，依現地檢測後增加螺栓、螺帽的缺損或鬆脫，如圖 2.15 所示。車擋「龜裂、破損」與起重機軌道「腐蝕、位移」等異狀，亦修正各等級之劣化狀況之描述，如圖 2.16、圖 2.17 所示。

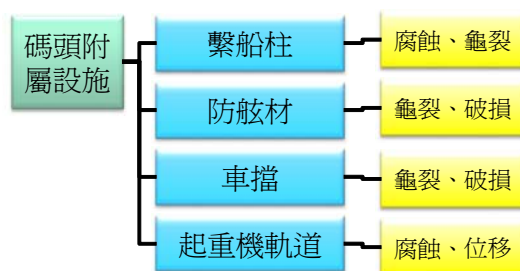


圖 2.14 碼頭附屬設施劣化異狀圖示

防舷材	龜裂破損	2	材質表面褪色、輕微劣化，靠船時有輕微龜裂現象
		3	材質表面劣化明顯，靠船時能明顯觀察到龜裂現象
		4	材質老化、構件變形、掉落，靠船時開裂過大、失去避震功能



防舷材	龜裂破損	2	材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損
		3	材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象
		4	材質老化、構件變形或掉落

圖 2.15 防舷材劣化描述修正

車擋	龜裂破損	2	材質表面輕微龜裂情形
		3	材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形
		4	材質嚴重龜裂或多處破損



車擋	龜裂破損	2	材質表面明顯龜裂
		3	材質表面明顯龜裂且基座有龜裂情形
		4	材質嚴重龜裂失去功能或車擋整體脫落

圖 2.16 車擋劣化描述修正

起重機軌道	腐蝕位移	2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm、小區域的生鏽
		3	兩軌間距高差3mm~4.25mm、兩軌間距左右差5mm~10mm、局部區域有生鏽
		4	兩軌間距高差≥4.25mm、兩軌間距左右差≥10mm、大範圍生鏽



起重機軌道	腐蝕位移	2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm
		3	兩軌間距高差3mm~4.25mm、兩軌間距左右差5mm~10mm、局部區域有生鏽
		4	兩軌間距高差≥4.25mm、兩軌間距左右差≥10mm、大範圍生鏽影響功能

圖 2.17 起重機軌道劣化描述修正

5. 防波堤設施

防波堤的堤頂構件，將「龜裂損傷」、「剝落、損傷」與「鋼筋腐蝕」三項整併為「裂縫」與「剝落」，前述兩項與同碼頭設施混凝土構件的劣化異狀。而該構件的接縫、施工縫位移，因考量現場檢測之判斷不易故予以刪除，如圖 2.18 所示。

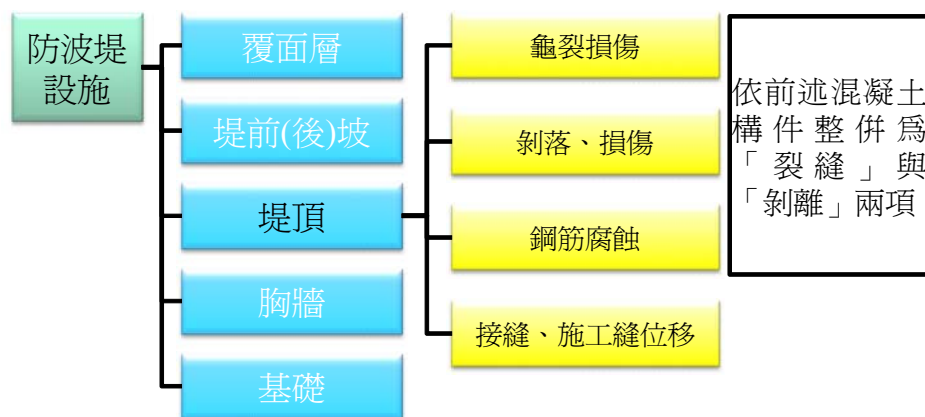


圖 2.18 防波堤設施劣化異狀修正圖示

2.1.2 港灣設施目視檢測標準圖示

承上 2.1.1 節針對各式港灣碼頭與防波堤設施目視檢測標準表之成果，後續即針對表格文字之說明以圖示或照片方式進行圖形化之轉換，同時亦修正文字無法量化之部分。以下各構件劣化異狀標準，若有重複之部分，將不再贅述。

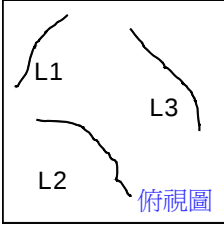
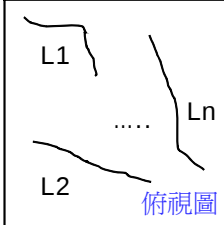
2.1.2.1 碼頭設施目視檢測標準圖示

1. 重力式碼頭

(1) 碼頭本體

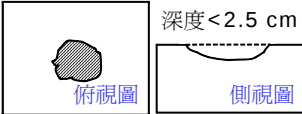
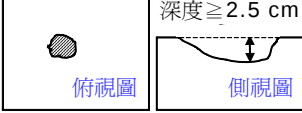
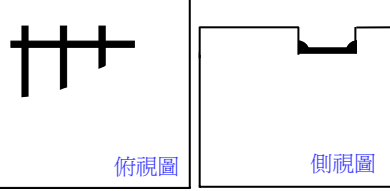
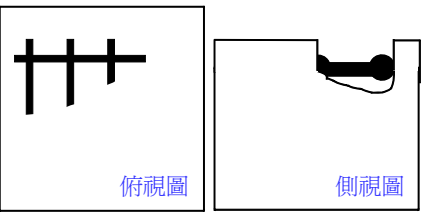
① 岸肩

a. 裂縫

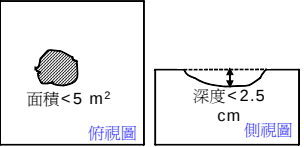
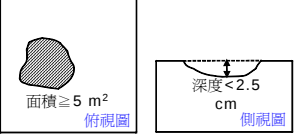
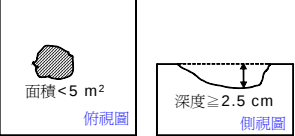
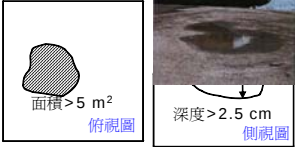
劣化狀況	劣化狀況說明		
2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		
3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		
4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約3mm以下)	 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約3~5mm以內)	 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約5mm以上)

b. 剝落

劣化狀況	劣化狀況說明
2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
劣化狀況	劣化狀況圖示
2	 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm

劣化狀況	劣化狀況說明
3	寬度直徑≥ 15 cm  深度< 2.5 cm 或 寬度直徑< 15 cm  深度≥ 2.5 cm  鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤ 15 cm，深度> 2.5 cm 或剝落寬度直徑> 15 cm，深度≤ 2.5 cm
4	  鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑> 15 cm，深度> 2.5 cm

c. 沈陷

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	沈陷面積 < 5 m ² ，高度 < 2.5 cm		
3	沈陷面積 ≥ 5 m ² ，高度 < 2.5 cm 或沈陷面積 < 5 m ² ，高度 ≥ 2.5 cm		
4	沈陷面積 > 5 m ² ，高度 > 2.5 cm		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 面積< 5 m² 深度< 2.5 cm	 面積≥ 5 m² 深度< 2.5 cm 或  面積< 5 m² 深度≥ 2.5 cm	 面積> 5 m² 深度> 2.5 cm

② 壁體-漏砂

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	壁體出現孔洞，但並未漏砂		
3	壁體裂縫已可觀察出漏砂		
4	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	牆面出現孔洞，但並未漏砂	牆面裂縫已可觀察出漏砂	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂

③ 後線-沈陷

劣化狀況	劣化狀況說明	
2	後線輕微下陷(深度 $<10\text{ cm}$ 、面積 $<10\text{ m}^2$)	
3	後線明顯下陷($10\leq\text{深度}\leq 15\text{ cm}$ 、 $10\text{ m}^2\leq\text{面積}\leq 20\text{ m}^2$)	
4	後線嚴重下陷(深度 $>15\text{ cm}$ 、面積 $>20\text{ m}^2$)	
劣化狀況	劣化狀況圖示	
2	高度$<10\text{ cm}$ 側視圖	面積$<10\text{ m}^2$ 俯視圖
3	$10\leq\text{高度}\leq 15\text{ cm}$ 側視圖	$10\leq\text{面積}\leq 20\text{ m}^2$ 俯視圖
4	高度$>15\text{ cm}$ 側視圖	面積$>20\text{ m}^2$ 俯視圖

(2)海床-冲刷

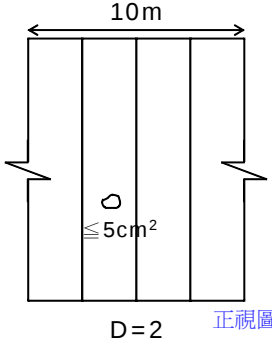
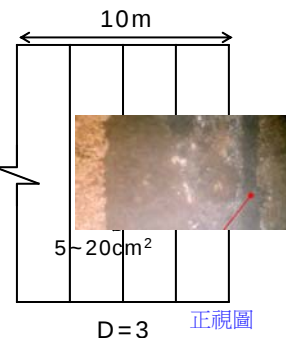
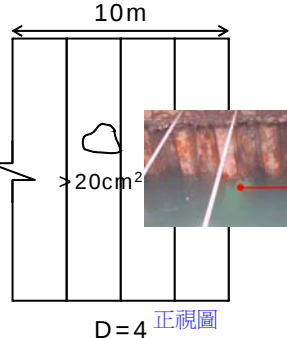
劣化狀況	劣化狀況說明		
2	基礎輕微淘刷(冲刷坑深度約 50cm 以下)		
3	基礎中等淘刷(冲刷坑深度約 50~100cm)		
4	基礎嚴重淘刷(冲刷坑深度約 100cm 以上)		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示			

2. 板樁式碼頭

(1)碼頭本體-壁體-接縫開裂

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	有輕微開裂(長度約達 10~20cm)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫約<5cm 深)		
3	有中等開裂(長度約達 20~30cm)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫 5~10cm 深)		
4	有嚴重開裂(長度約達 30cm 以上)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫約>10cm 深)		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示			

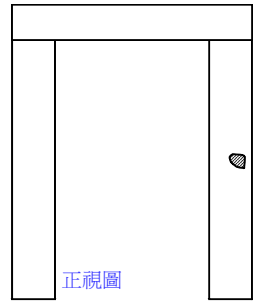
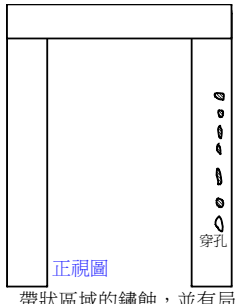
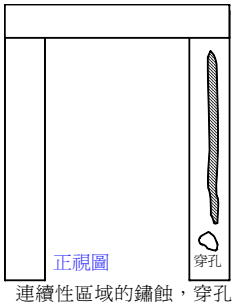
(2)碼頭本體-壁體-穿孔

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於 5 cm^2)現象		
3	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於 $5\sim 20\text{ cm}^2$)現象		
4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 20 cm^2)擴大且有漏砂現象		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示			

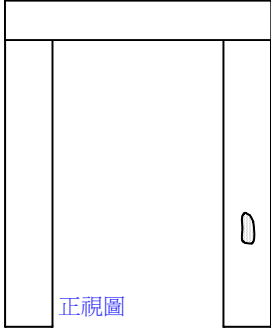
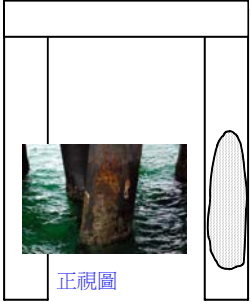
3. 棧橋式碼頭

(1)墩柱(鋼管樁)

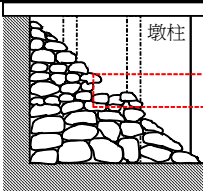
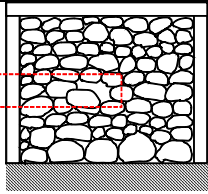
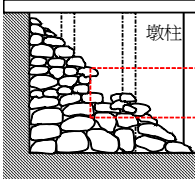
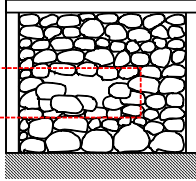
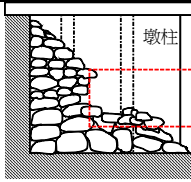
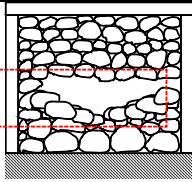
①腐蝕

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	局部區域有鏽蝕集中		
3	帶狀區域的鏽蝕，並有局部小型穿孔		
4	連續性區域的鏽蝕，穿孔面積擴大		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示			

②防蝕披覆損壞

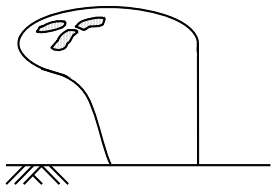
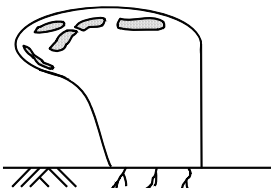
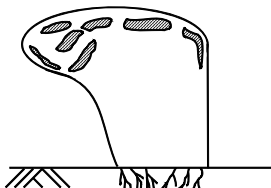
劣化狀況	劣化狀況說明		
2	劣化面積 0.3%以下		
3	劣化面積介於 0.3~10%之間		
4	劣化面積 10%以上		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 正視圖 劣化面積<0.3%	 正視圖 0.3% ≤ 劣化面積 ≤ 10%	 正視圖 劣化面積>10%

(2)拋石護坡-破壞

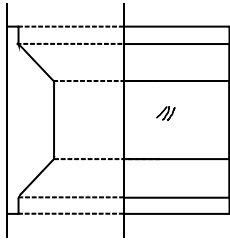
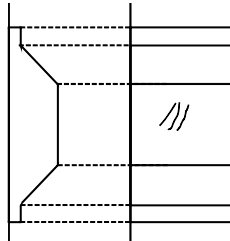
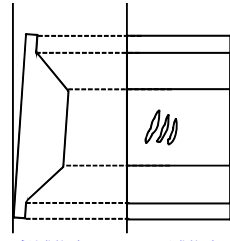
劣化狀況	劣化狀況說明	
2	護坡塊石輕微受損(護坡塊石破壞率約 5%以下)	
3	護坡塊石明顯受損(護坡塊石破壞率約 5%~20%)	
4	護坡塊石嚴重受損(護坡塊石破壞率約 20%以上)	
劣化狀況	劣化狀況圖示	
2	 側視圖  正視圖 破壞率<5%	
3	 側視圖  正視圖 5% ≤ 破壞率 ≤ 20%	
4	 側視圖  正視圖 破壞率>20%	

2.1.2.2 碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

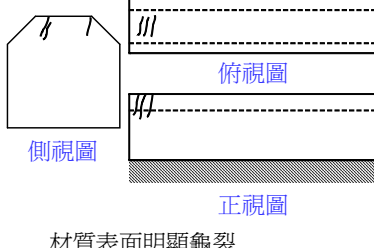
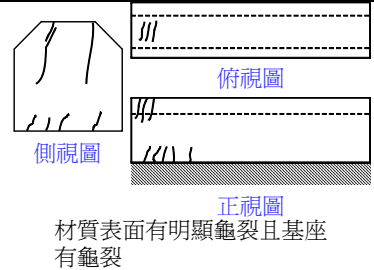
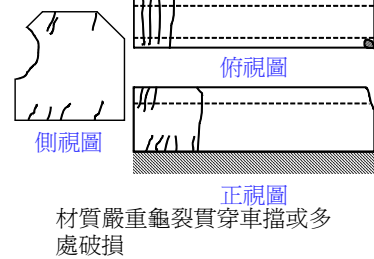
1. 繫船柱

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	材質輕微鏽損，基座無明顯龜裂		
3	材質明顯鏽損，基座有明顯龜裂		
4	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 材質輕微鏽損，基座無明顯龜裂	 材質明顯鏽損，基座有明顯龜裂	 材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂

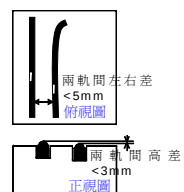
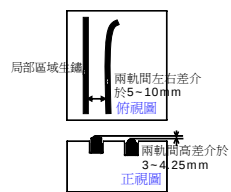
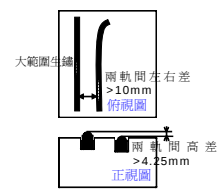
2. 防舷材

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損		
3	材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象		
4	材質老化、構件變形或掉落		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 側視圖 正視圖 材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	 側視圖 正視圖 材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	 側視圖 正視圖 材質老化、構件變形、掉落，靠船時開裂過大、失去避震功能

3. 車擋

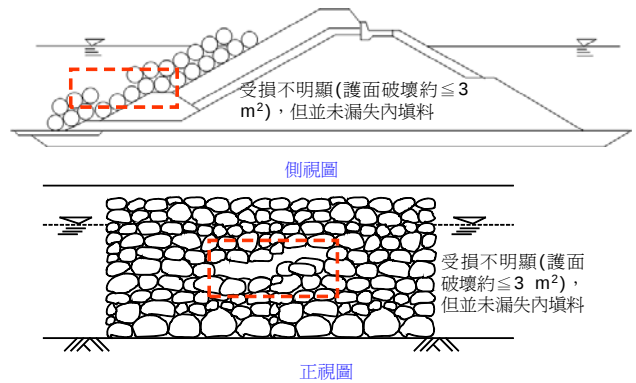
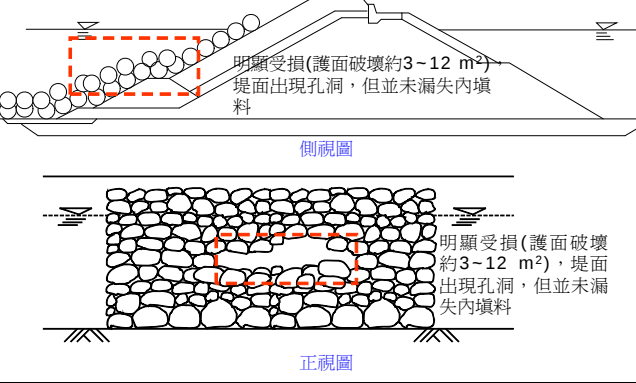
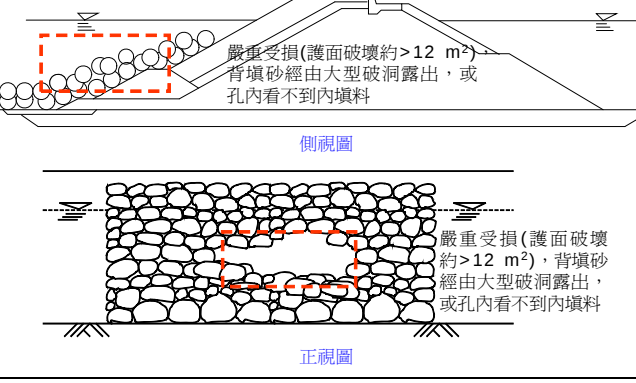
劣化狀況	劣化狀況說明	
2	材質表面輕微龜裂	
3	材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂	
4	材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	
劣化狀況	劣化狀況圖示	
2	 材質表面明顯龜裂	
3	 材質表面有明顯龜裂且基座有龜裂	
4	 材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	

4. 起重機軌道

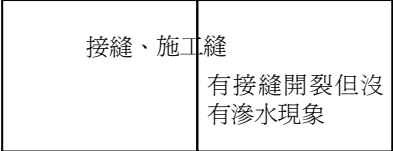
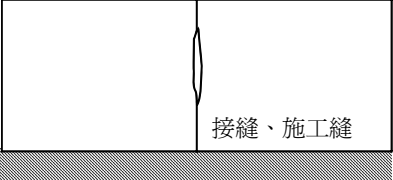
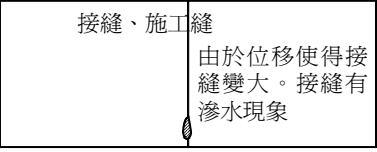
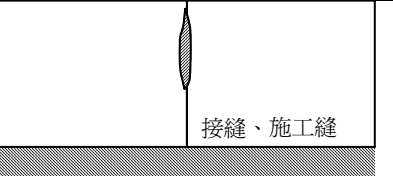
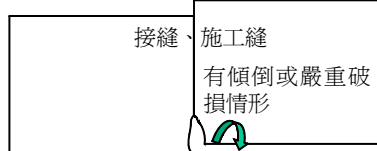
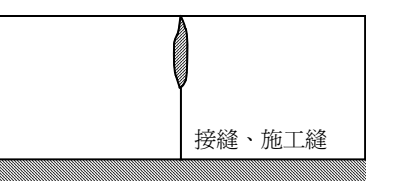
劣化狀況	劣化狀況說明		
2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm		
3	兩軌間距高差 3mm~4.25mm、兩軌間距左右差 5mm~10mm、局部區域有生鏽		
4	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、大範圍生鏽影響功能		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示			

2.1.2.3 防波堤設施目視檢測標準圖示

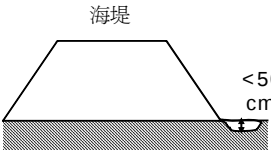
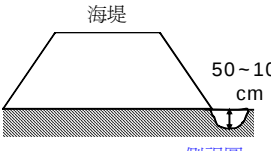
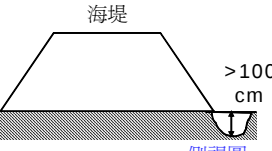
1. 覆面層-移動、散亂及下滑

劣化狀況	劣化狀況說明
2	受損不明顯(護面破壞約 $<3\text{ m}^2$)，但並未漏失內填料
3	明顯受損(護面破壞約 $3\sim12\text{ m}^2$)，堤面出現孔洞，但並未漏失內填料
4	嚴重受損(護面破壞約 $>12\text{ m}^2$)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到內填料
劣化狀況	劣化狀況圖示
2	 側視圖 受損不明顯(護面破壞約$\leq 3\text{ m}^2$)，但並未漏失內填料 正視圖 受損不明顯(護面破壞約$\leq 3\text{ m}^2$)，但並未漏失內填料
3	 側視圖 明顯受損(護面破壞約$3\sim12\text{ m}^2$)，堤面出現孔洞，但並未漏失內填料 正視圖 明顯受損(護面破壞約$3\sim12\text{ m}^2$)，堤面出現孔洞，但並未漏失內填料
4	 側視圖 嚴重受損(護面破壞約$>12\text{ m}^2$)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到內填料 正視圖 嚴重受損(護面破壞約$>12\text{ m}^2$)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到內填料

2. 堤頂(胸牆)-接縫、施工縫位移

劣化狀況	劣化狀況說明	
2	有接縫開裂但沒有滲水現象	
3	由於位移使得接縫變大。接縫有滲水現象	
4	有傾倒或嚴重破損情形	
劣化狀況	劣化狀況圖示	
2	 接縫、施工縫 有接縫開裂但沒有滲水現象 臨海側 俯視圖	 接縫、施工縫 正視圖
3	 接縫、施工縫 由於位移使得接縫變大。接縫有滲水現象 臨海側 俯視圖	 接縫、施工縫 正視圖
4	 接縫、施工縫 有傾倒或嚴重破損情形 臨海側 俯視圖	 接縫、施工縫 正視圖

3. 基礎-沖刷

劣化狀況	劣化狀況說明		
2	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度約 50cm 以下)		
3	基礎中等淘刷(沖刷坑深度約 50~100cm)		
4	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度約 100cm 以上)		
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 海堤 < 50 cm 側視圖	 海堤 50~100 cm 側視圖	 海堤 > 100 cm 側視圖

2.2 儀器檢測適用性探討

港灣設施儀器檢測技術彙整如圖 2.19 所示，本研究依港灣設施組成材料，分類為混凝土與鋼材兩種，並將其他技術另行分類。各檢測

技術適用性如表 2-1 所示。各檢測技術依其「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」說明(除混凝土儀器檢測之中性化、抗壓強度、氯離子與其他儀器檢測技術之光學測量等技術，請參閱附錄 1 碼頭設施維護管理手冊)。

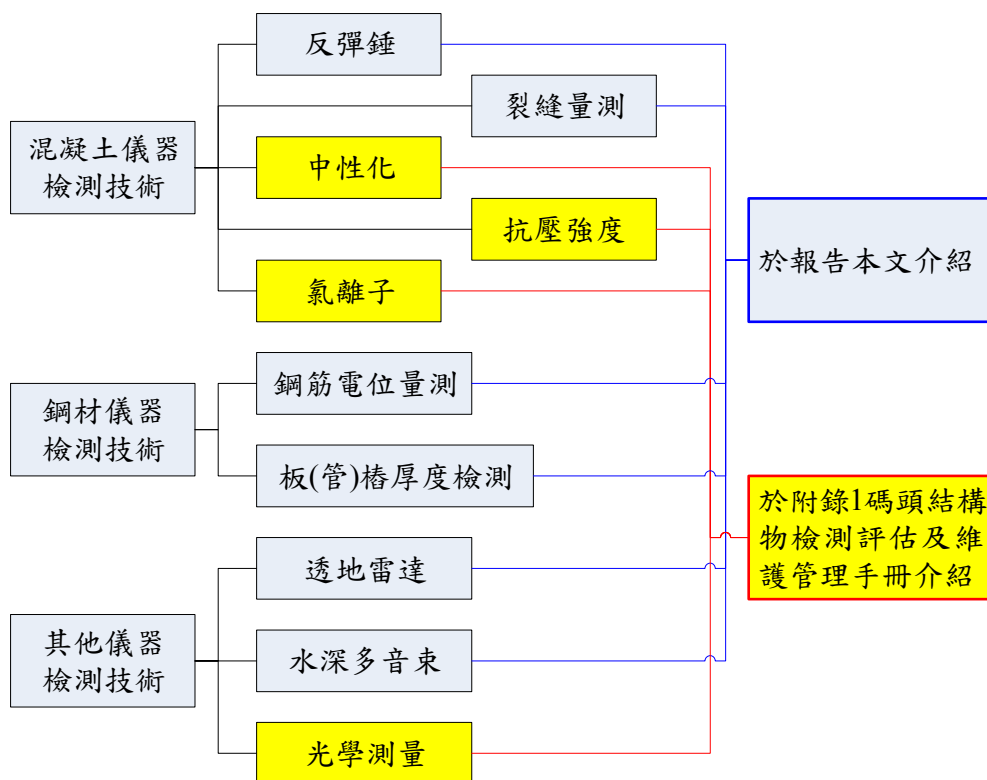


圖 2.19 港灣設施儀器檢測技術彙整

表 2-1 港灣設施儀器檢測技術適用性表

	混凝土強度	混凝土品質	裂縫深度	鋼筋配置	鋼筋腐蝕狀態	防蝕性能	海床狀態	孔洞	沈陷
1.抗壓強度	●	●							
2.中性化		●							
3.氯離子		●							
4.腐蝕電位					●				
5.板(管)樁厚度檢測						●			
6.應力波法		●	●	●					
7.反彈錘	●	●							
8.透地雷達				●				●	
9.水深多音束							●		
10.光學測量									●

2.2.1 混凝土儀器檢測技術

1. 反彈錘法

(1) 檢測原理

參考規範為 CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法與 ASTM C805 “Standard test method for rebound number of hardened concrete”，反彈錘的構造主要構件有四部份：(1)外殼；(2)衝擊桿；(3)錘塊；及(4)彈簧。實際檢測強度時，將突出儀器外面的衝擊桿與混凝土表面接觸，當衝擊桿還是突出儀器外面時，其內部的錘塊將會被卡損固定在桿頂端，此時把儀器外殼推向混凝土表面，使連接儀器外殼與錘塊的彈簧伸長，當外殼推到與桿頂接觸時，卡損將放開錘塊，使其衝向混凝土，而撞擊到衝擊桿上的突肩部分，並反彈回去。反彈錘塊將會帶動指針，以顯示反彈的距離。反彈距離的刻度數字由 10 到 100 之間，稱為反彈值。

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

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

測粗糙表面情況的混凝土必須先磨平。如果表面有用墾刀處理過，其表面會較堅硬，而可以得到較高之反彈值。另外，檢測時儀器與表面的角度也會影響反彈值。

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

(2)檢測程序

- ①選定構件表面平整且無瑕疵之測點，若無平整點，則需進行整平處理。
- ②將反彈錘隅測點表面保持垂直，緩緩增加壓力，直至鋼錘撞擊測點表面。
- ③此法檢測時依構造物面積大小，選擇面積約 1×2 m 的混凝土表面，繪製 20 cm 見方之方格進行試錘試驗，每一方格測試 12 個數據，計算時先將最大與最小值剔除後，求其平均值，再依儀器所附之反彈值與混凝土抗壓強度推估曲線，獲得混凝土表面硬度。比對反彈值推估所得與鑽心試體之抗壓強度試驗結果，試驗情形如圖 2.20 所示。



圖 2.20 測點方格繪製於碼頭岸壁面

(3)檢測注意事項

- ①所測試表面積，其直徑至少為 15 cm。
- ②反彈錘法的有效檢測深度約只有 30~50 mm，並不能完全代表混凝土內部的強度。
- ③試驗前混凝土表面先完全濕潤 24 小時，以減少因表面乾燥而影響測試值，測得的強度會比內部潮濕的混凝土強度高。
- ④若表面有碳化現象存在，會導致測得的表面強度大於內部的強度。
- ⑤當表面較粗糙時，所測得的強度會比實際低，故檢測表面粗糙的情況下，必須先將混凝土磨平。如果表面有用墾刀處理過，其表面會較堅硬，將得到較高的反彈值。
- ⑥混凝土之齡期如超過 6 個月者，若欲與新硬化之混凝土表面作比較反彈數，前者可要求研磨至 5 mm 之深度。
- ⑦檢測儀器的作業角度也會影響反彈值，此時必須根據反彈錘是在水平向或垂直向施測，將反彈值依角度參數因子予以修正。

(4)檢測內容：報告內容應包含結構名稱、試驗面編號、試驗面說明、試驗面反彈數平均值、試驗面位置圖，其內容如表 2-2 所示。

表 2-2 反彈錘試驗報告內容建議範例

結構名稱	試驗面編號	試驗面說明	試驗面反彈數平均值 (kg/cm ²)
西 14 號碼頭	14-1	表面乾燥	32.3(238)
西 15 號碼頭	15-1	表面濕潤	28.5(185)

西14號碼頭

西15號碼頭

5m

14-1

6m

2m

15-1

棧橋式碼頭

重力式碼頭

正視圖

2. 混凝土裂縫探測

(1) 檢測原理

參考規範為 ASTM C1383 “Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method”。一般常用檢測方式為敲擊回音法 (Impact echo)，可量測混凝土之裂縫深度以及保護層厚度。1983 年起，在美國國家標準及科技院 (National Institute of Standards and Technology) 及康乃爾大學 (Cornell University) 資助下，由 Carino 及 Sansalone 博士研究發展敲擊回音法 (Impact-Echo Method)，與超音波法同樣是利用應力波動原理，但其改變了應力波激發源為機械性的敲擊方式，接收器改成由點接觸之位移訊號接收器，除了直接在時間領域上，對量測到的位移波形作訊號分析外，亦透過快速傅利葉轉換 (FFT) 的處理，在頻率領域上作訊號分析。其原理與施測方式已列入 ASTM C-1383。

目前國內常採用敲擊式繞射波傳輸時間法，該方法是以應力波傳動原理為基礎，以小直徑的鋼珠當為敲擊源導入應力波，在表面敲擊後主要將產生三種形式的應力波，其中應力波 P-波及 S-波向物體內部傳動 (如圖 2.21(a))，而另外一種表面 R 波主要是沿著混凝土表面傳動。這三種類型的應力波以 P 波波速最快，S 波次之。由於 P-波波速較快，所以 P-波之波前 (Wave-front) 先遇到裂縫之尖端，而 S-波則跟隨在後，入射 P-波在裂縫尖端處將產生繞射波 (如圖 2.21(b))，如同在裂縫尖端處形成另一個波源，以球狀波形方式向四面八方傳動出去 (如圖 2.21(c))；當繞射波傳回至敲擊表面時將會產生擾動，經由裂縫尖端繞射再抵達裂縫另一側表面的歷時，故在裂縫兩側各配置一個可感式敲擊源及位移接收器，監測所得之波形為紀錄可感式敲擊源敲擊起始時間 (即訊號擷取系統啟動時間)，另與敲擊點不同側之接收器 (Receiver) 監測得之起始擾動訊號，為 P-波繞過裂縫尖端到達所引起，此乃因為表面開裂裂縫阻絕或延遲表面 P 波以及 R-波之到達所致，之後所測得的位移波形則為後續反射波及繞射波到達所引起。

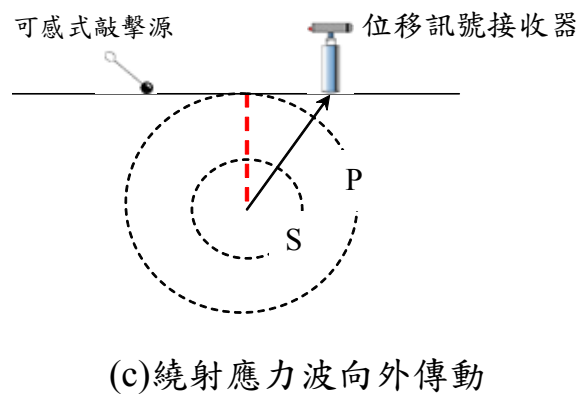
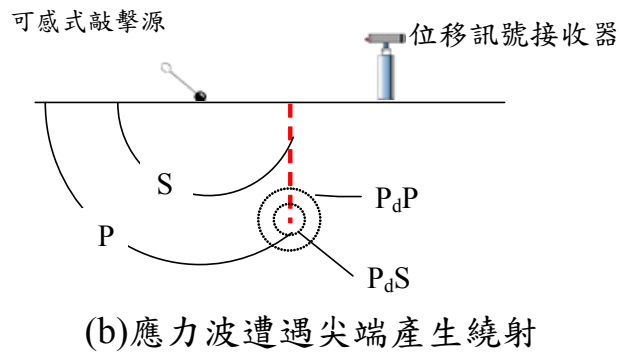
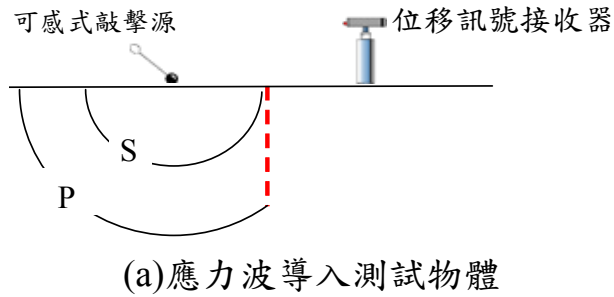


圖 2.21 應力波與表面裂縫之波傳行為

圖 2.22(a)為敲擊式繞射波傳輸時間法之裂縫檢測示意圖，第一接收器與敲擊源相距 H_0 ，敲擊源及第二接收器與裂縫之距離分別為 H_1 及 H_2 ，當第一接收器接收到表面波向下的位移反應時，整個監測系統將被啟動，此一表面波之波到時間假設為 t_1 ，如圖 2.22(b)所示，而在第二接收器記錄到之裂縫繞射波之波到時間為 t_2 如圖 2.22(c)，從監測系統啟動到第二接收器感應到繞射波到達之時間為 $t_2 - t_1$ ，但是敲擊乃發生在監測系統啟動之前的某一時間，這個時間恰好是 R 波由敲擊源傳動至第一接收器所需時間，亦即

是 H_0 除以 R 波的波速(C_R)，於是 P 波由敲擊源至第二接收器所經歷的總時間(Δt)可依下列公式計算而得：

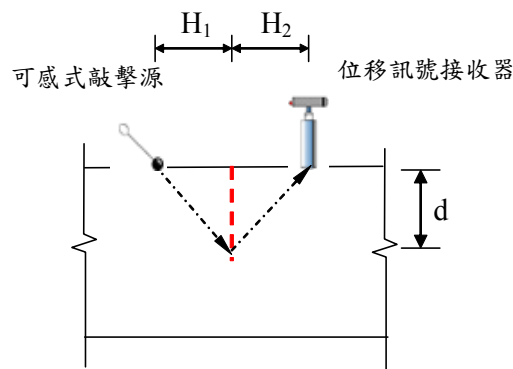
$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

總時間得到後，P 波所走的總路徑則等於 P 波波速(C_p)乘以總時間。因此，表面開裂縫之深度(d)可依下列公式計算得到：

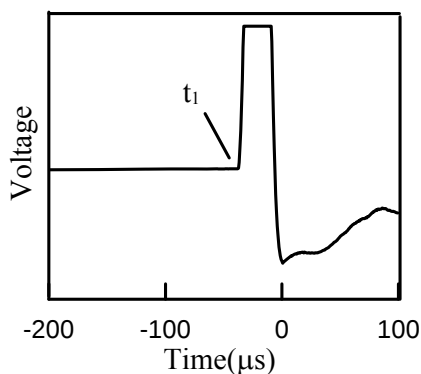
$$d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)^2 + H_1^2 - H_2^2}{2 \times C_p \times \Delta t} \right]^2 - H_1^2} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

若是兩接收器與裂縫之距離相等(即 $H_1=H_2=H$)，則上式可改寫為：

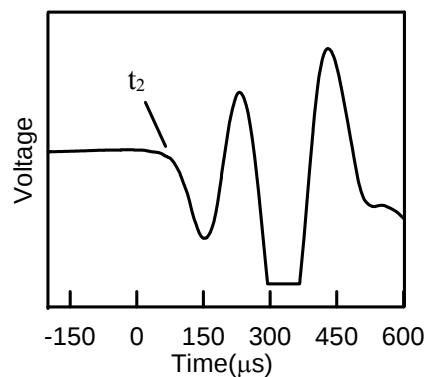
$$d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)}{2} \right]^2 - H^2} \quad \dots\dots\dots(2-3)$$



(a)試驗配置-側視圖



(b)可感式敲擊源之波形圖



(c)位移接收器之波形圖

圖 2.22 敲擊式繞射波傳輸時間法之裂縫檢測

(2) 檢測程序

1998 年利用敲擊回音法量測鋼筋混凝土板之厚度已被納入 ASTM 之試驗標準(編號 ASTM C-1383)。利用敲擊回音法量測鋼筋混凝土板之厚度 ASTM C-1383 之檢測程式步驟，並加以改良即為目前現行表面裂縫開裂之裂縫深度量測。因此其操作程式包括：

- ① 表面縱波(P 波)波速(C_p)量測。
- ② 裂縫深度量測。
- ③ 利用公式裂縫深度(D)。

其中步驟①表面 P 波波速(C_p)之量測，乃利用表面敲擊方式以產生暫態應力波，並以兩個置於已知距離(H)之接收器記錄由暫態應力波造成之表面位移，縱波(P 波)為最早到達二個接收器之應力波，由兩個接收器間之距離(H)及縱波(P 波)到達兩接收器之時間差(Δt)相除，即可求得縱波(P 波)波速，如圖 2.23 所示，圖中 $V_p=3,797$ m/s 即為表 2-3 裂縫編號 C1 的表面波波速。

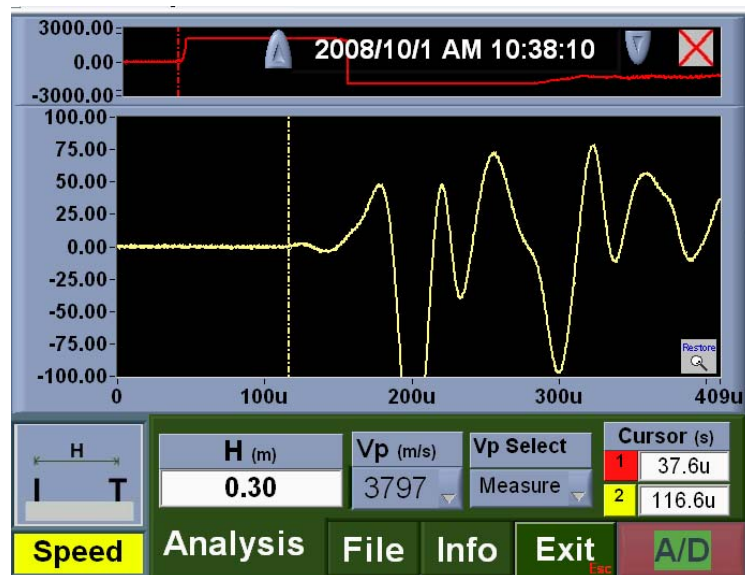


圖 2.23 表面縱波(P 波)波速(C_p)量測試驗

步驟②再將儀器適當配置於裂縫的兩側，進行裂縫深度之檢測。並將步驟所得的波速，搭配自敲擊源經裂縫尖端，產生

新的波源再到第二接收器之時間歷時。最後進入步驟三。步驟③將所得資料代入式 2-1~式 2-3 即可。如圖 2.24 所示即為表 2-3 裂縫編號 C2 之試驗結果。

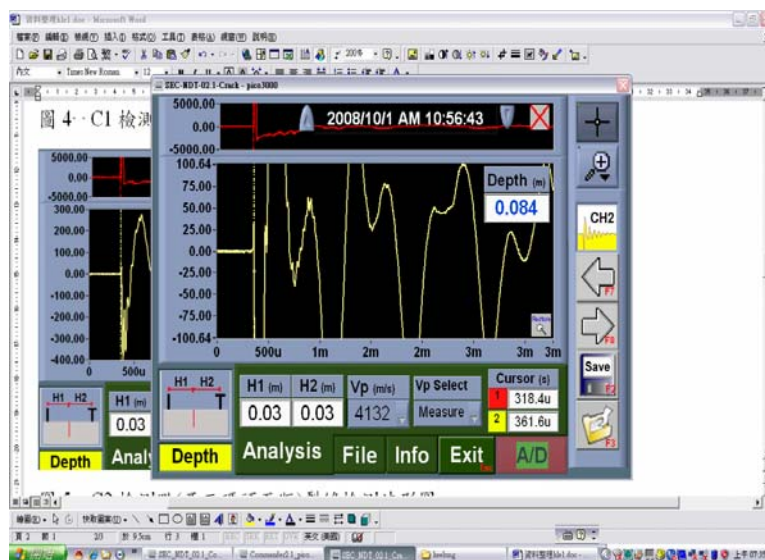


圖 2.24 裂縫編號 C2 之裂縫深度試驗結果

(3)檢測注意事項

- ①表面 P 波波速量測，敲擊源距接收器應有適當之距離，依經驗約 30 cm。
- ②裂縫深度量測應小心判斷淺裂縫反向訊號。

(4)檢測內容：內容需包含儀器配置、儀器規格、裂縫編號、所處位置、表面波速、裂縫寬度與裂縫深度(如表 2-3 所示)。

表 2-3 表面 P 波波速量測與裂縫深度檢測結果

裂縫編號	所處位置	表面波波速	裂縫寬度 (mm)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	裂縫檢測深度 (cm)
		(m/s)				
C1	西二碼頭車擋	3797	0.55	318.4	364.8	8.3
C2	西三碼頭面版	4132	1.50	318.4	361.6	8.4
C3			0.60	321.6	356.8	6.6
C4			0.65	323.2	358.4	6.6
C5	西四碼頭面版	3927	1.00	312.0	358.4	8.2

2.2.2 鋼材儀器檢測技術

1. 鋼筋電位值量測

(1) 檢測原理

參考規範為 ASTM C876 “Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete”與 ASTM G3 “Standard practice for convention applicable to electrochemical measurements in corrosion testing”。混凝土內鋼筋腐蝕是一種電化學反應(Electro Reaction)，在鋼筋表面會形成陰極(鈍態)和陽極(正在腐蝕中部份)，不同位置會有不同的電位和電流型態，利用此種原理，可有效地測量某一範圍之電位分佈情形，以評估在鋼筋表面上發生腐蝕的可能程度。

鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能與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)，如圖 2.25 所示。電極棒內之硫酸銅溶液應在飽和狀態，電極移動時溶液與內部銅棒須完全接觸同時電極前面須用海綿填充。測定前導線應檢查內部銅線是否腐蝕或電阻過大，才能讀出正確的腐蝕電位，結構物表面在量測前應潑水使成面乾內飽和狀態。

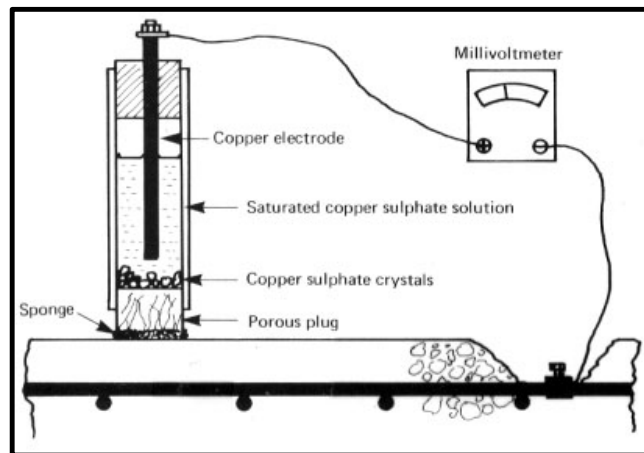


圖 2.25 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

(2)檢測程序

①量測間距

於受檢測之構件上，規劃適當且具有一致性之間距，進行鋼筋電位值量測。

雖然在混凝土構件的表面並無預先定義的最小度量間距，但實質上在同一點度量兩側並無多大意義。反之，非常大的度量間距不只無法偵測腐蝕行為的存在，也無法累積適當的資訊以供評估。因此對受調查的構件應配合後續分析採用一致的間距。

②與鋼筋電通性之連接

- a.以壓力式夾頭(Compression-type ground clamp)或焊接延伸鋼棒對鋼筋建立直接的導電連結，事前應先清理延伸金屬棒或電線表面，以保持低電阻的連結，某些情況下，可能需要清除部分混凝土以使鋼筋裸露。將鋼筋連接至電位計的正極「+」端處。
- b.除非預先埋置的外露鋼棒確已直接連接鋼筋，半導體必須直接與鋼筋相連，某些構件，例如伸縮壁(Expansion dam)、刻字板(Date plate)、軌式護欄(Parapet rail)等可能並未直接與鋼筋相連，故可能得到錯誤的讀數。測定平台上相離甚遠的鋼組件之間的電阻值，可以確定與內部的鋼筋之間是否有導電連結，在一段長時間內進行測量時，每一個度量均應取自相同的導電接點。

③與半電池儀器之電連接

將半電池儀器導線連接至電位計之負極「-」端處。

④混凝土表面的預濕

- a.混凝土表面或覆層在量測前應加以預溼，以降低混凝土介質(電路)的電阻。

b. 混凝土表面是否需要預溼，可將半電池靜置於混凝土表面，觀察電位計的反應，當半電池電位的讀數不隨時間而跳動，則不需預濕；當半電池電位讀數隨時間而變化，則需經由預溼使電位讀數能保持穩定(± 0.02 V)至少 5 分鐘，若預溼後也無法得到穩定的電位讀數可能係整個電路的電阻太大或鄰近的直流電源或電弧銲接導致的迷失電流形成干擾，以上兩種狀況均不應使用本檢測方法。

(3) 檢測注意事項

- ① 本試驗法可偵測鋼筋腐蝕之活躍性，但不見得能測出鋼筋腐蝕的位置，因為半電池與腐蝕的鋼筋之間的電阻往往不易準確測定，水下度量時，腐蝕位置的判讀尤須謹慎，鹹水環境下的構件其腐蝕電位讀數近似均勻，故不宜電位值的大小判斷腐蝕的狀況，除了各孔的尖端外，特別注意當檢測水下構件時勿將銅-硫酸銅電極的其他部位直接與水接觸。
- ② 水平向與上垂直向即參考電極向上(Vertically upward)的度量應與一般下垂直向即參考電極向下(Vertically downward)的度量方式一致。特別注意不論何時均應確保半電池內的硫酸銅溶液與銅棒及多孔塞之間的通電連接。
- ③ 電位量測結果應由工程師或熟悉混凝土材料與腐蝕檢測技術人員加以闡述。除本檢測法外，往往需要併用含氯量、中性化深度(Depth of carbonation)、脫層調查結果、腐蝕速率以及暴露的環境狀況等資訊、以針對鋼筋的腐蝕行為及其對於結構的使用年限之可能影響提出結論。
- ④ 檢測內容：檢測結果需標註檢測點位與該點位的鋼筋電位值，電位值與腐蝕機率的關係如下所示。

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
>-200	小於 5%
-200~-350	介於 5%~95%
<-350	大於 95%

2. 板(管)樁厚度檢測

以超音波厚度儀之探頭，接觸已敲除清理乾淨之鋼板表面，即可讀取鋼板樁厚度，鋼板樁每面於每一水深測點，量取兩次厚度數據，平均後即為現有厚度。圖 2.26 為潛水人員於海中量測鋼板(管)樁厚度之情形。



圖 2.26 水面下量測鋼板樁厚度之情形

資料來源：交通部運輸研究所^[16], 2002

(1)檢測原理：超音波厚度儀係利用脈衝原理，由於音波在鋼材之傳播速率為一定值，因此，由探頭傳送出一彈性波，經鋼材表面至內壁之傳播時間，即可算出波通過路徑之距離(鋼材厚度)，精準度可達 $\pm 0.1\text{mm}$ ，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 2.27。

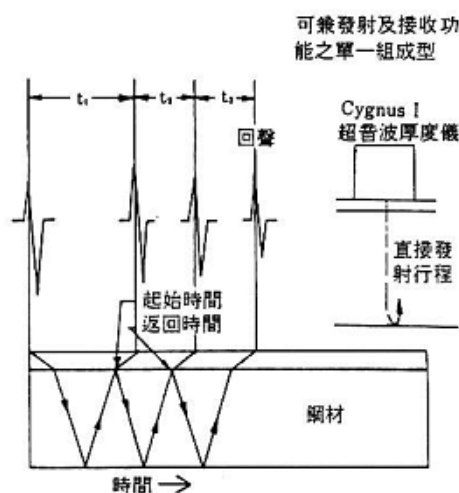


圖 2.27 測厚儀量測之示意圖

資料來源：日本運輸省港灣技術研究所^[17], 1984

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times \frac{1}{2}(T_{i+1} - T_i) \dots\dots\dots(2-4)$$

式中 V：超音波在鋼板樁中之傳播速度(5920m/sec)。

S_i ：現有鋼板樁厚度讀數(mm)。

T_{i+1} ， T_i ：探頭接受回聲及初始傳播的時間。

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

腐蝕速率=腐蝕量/使用年期

$$=(\text{原始厚度}-\text{現有厚度})/\text{使用年期} \dots\dots\dots(2-5)$$

腐蝕速率又可分為兩種：(1)未作防蝕措施前之腐蝕速率；(2)採用防蝕措施後之腐蝕速率，其公式如下(資料來源：日本運輸省港灣技術研究所^[8], 1984)：

$$V_c = \frac{C}{Y_c + (1 - P)Y_p} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$V_p = \frac{C - V_c \times Y_c}{Y_p} \dots\dots\dots(2-7)$$

式中 V_c =無防蝕措施之腐蝕速率(mm/yr.)

V_p =有防蝕措施之腐蝕速率(mm/yr.)

Y_c =無防蝕措施之年期(yr)

Y_p =有防蝕措施之年期(yr)

C=腐蝕量(mm)

P=防蝕率，防蝕率與海水浸水率之關係示如表 2-5 所示。

表 2-5 防蝕率與海水浸水率之關係

海水浸水率(%)	防蝕率(%)
0~40	40 以下
41~80	41~60
81~99	61~90
100	90 以上

資料來源：日本運輸省港灣技術研究所^[17], 1984

2.2.3 其他儀器檢測技術

1. 透地雷達檢測^[19]

(1) 檢測原理

參考規範為 ASTM D 4748-98 “Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar”。透地雷達是一種類似反射震測的電磁波法，其施測原理如圖 2.28 所示，用天線將 15M~3GHz 之電磁波發射出去，使電磁波以 $V_m \approx \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}}$ 之波速在介質中傳遞，其中 $C=2.998 \times 10^8$ m/s 為光速， ϵ_r 為介電常數(dielectric constant)，為相對空氣之容電率 (dielectric permittivity)，當電磁波碰到介電常數界面則發生部份反射，例如空洞、地下管線、地層界面、水層等等界面，均會反射部份能量回到接收天線處，而由天線接收。其中反射係數為 $R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$ ，其中 ϵ_1 為第 1 層之介電常數， ϵ_2 為第 2 層之

介電常數。沿地表或襯砌表面連續掃描，將這些資料排在一起，則可得到地層或襯砌之剖面，當地表下方有地下管線或掏空之現象存在，則可看到明顯的反射訊號。

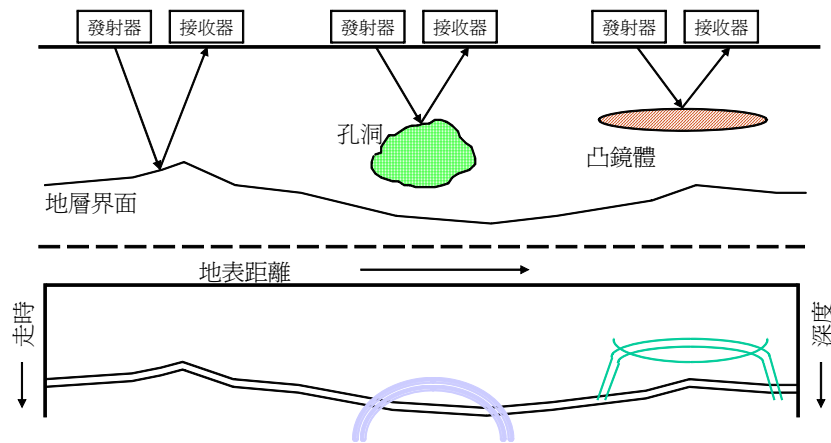


圖 2.28 透地雷達施測原理說明

(2) 檢測程序

- ① 將雷達天線對準並連續地橫向劃過你檢測之區域。橫向運行速率將決定每單位距離所收集的資料數。對空氣耦合式喇叭天線而言，其橫向速率只受限於其所預期之掃瞄間距。對地面耦合極天線而言，為維持天線和地面之穩定接觸，其橫行速率約限制在 8 kph。
- ② 判讀由顯示設備所表現的資料中將對應於擬探測層之上界面反射訊號。
- ③ 判讀由顯示設備所表現的資料中將對應於擬探測層之下界面訊號。
- ④ 由上下面之反射訊號，將兩者間的時間間隔 Δt 定出。

(3) 檢測注意事項

- ① 密集之鋼筋或海水飽和區域將會阻擋電磁波向其下區域之穿透能力。
- ② 裂縫及脫層並不易探測出，除非其中存有相當之濕度。
- ③ 透地雷達的天線，應由待測標的的尺寸或深度來選擇。

(4) 檢測內容

內容需記錄測線配置圖、儀器規格與探測判讀的對應剖面

圖，如圖 2.29 為透地雷達成果剖面範例，剖面圖中以 16 種不同色彩代表雷達波場振幅，色階中愈靠近中間之部分，色調愈暗表示反射愈弱，即介質之介電常數的差異較小，如地層較為緊密或介質介電常數接近；而色階中愈靠近上下兩端之部分，色調愈亮表示反射愈強，介質之介電常數變化較大，如有坑洞、金屬管線、鋼支保或含水，均會造成強反射。

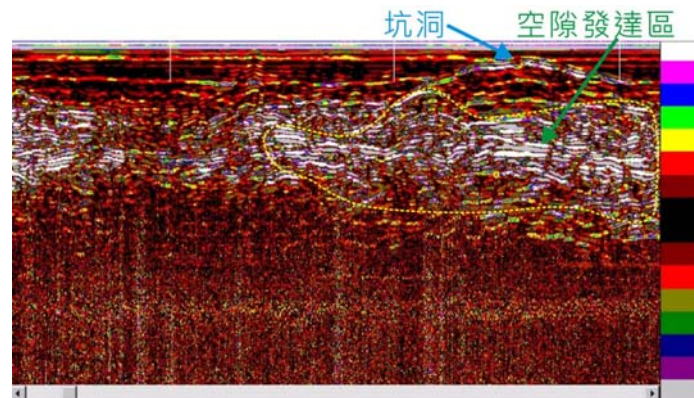


圖 2.29 透地雷達施測圖示說明

2. 水深多音束探測

(1) 探測原理

為精確詳實的呈現水深地形的細微變化，可採用高效率、高測點密度的多音束水深測量系統。多音束測深音鼓可以傾斜約 35 度角的方式安置，由音束側打方式主要針對碼頭面，且仍然可以施測碼頭旁水深地形。音鼓側打與正打差異之示意圖如圖 2.30 所示。

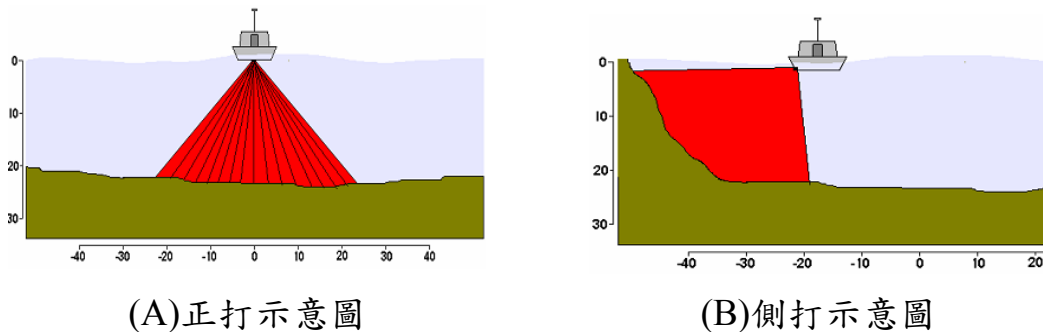


圖 2.30 多音束水深測量音鼓正打側打差異示意圖

一般採用的多音束測深機(以 RESON SeaBat 8124 為例)，其作業功能及系統架構如下圖 2.31、圖 2.32 所示：

- ①音束涵蓋範圍 120 度，約為 3.4 倍水深之寬度，共有 80 個音束，每個音束大小為 1.5 度×1.5 度。
- ②測深可達 300m，測深解析度 1 cm，測深精度符合國際海測組織 IHO 規範。
- ③聲納頻率 200kHz，施測頻率最高可達 40 Hz，最高船行作業速度可達 12 節。
- ④搭配 Hypack 資料收集軟體(如圖 2.33)，可即時了解測區深度，觀測覆蓋狀況等。



圖 2.31 RESON SeaBat 8124 多音束測深機

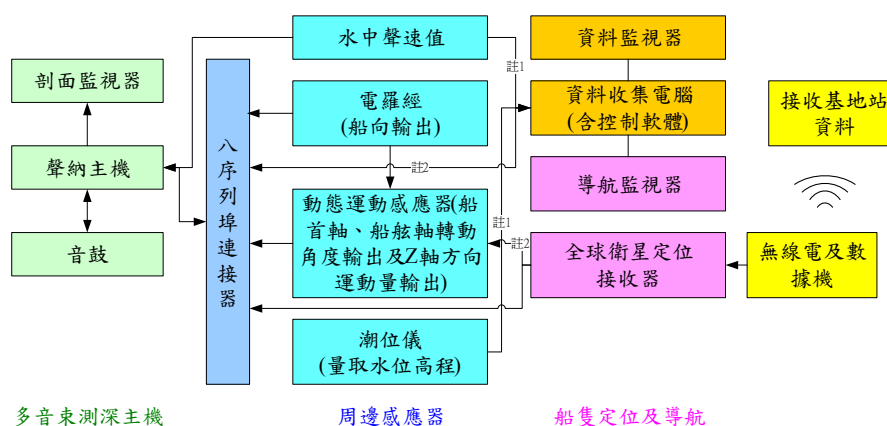


圖 2.32 多音束測深儀 RESON SeaBat8124 系統架構示意圖

註 1：此資料可在資料處理時輸入。

註 2：用以修正船隻轉彎所引起之離心加速度。

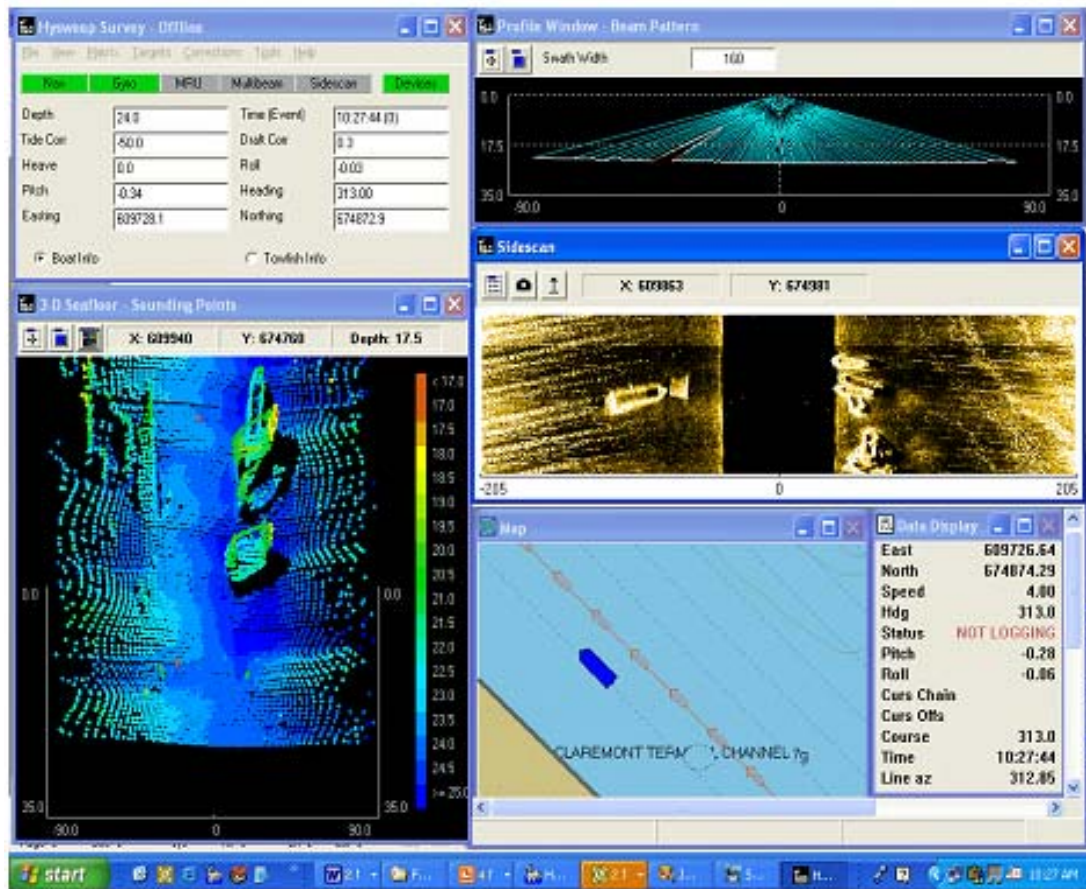


圖 2.33 HYPACK MAX 軟體—多音束測深系統施測畫面

(2) 檢測程序

多音束水深測量主要是以測深儀測深，搭配 GPS 衛星定位系統定位，並配合周邊設備如運動姿態感測器、電羅經、聲速儀、潮位儀等施測，達到高精度、高效率之海域地形測量方式。水深測量作業流程如圖 2.34 所示，各項作業步驟分述如下：

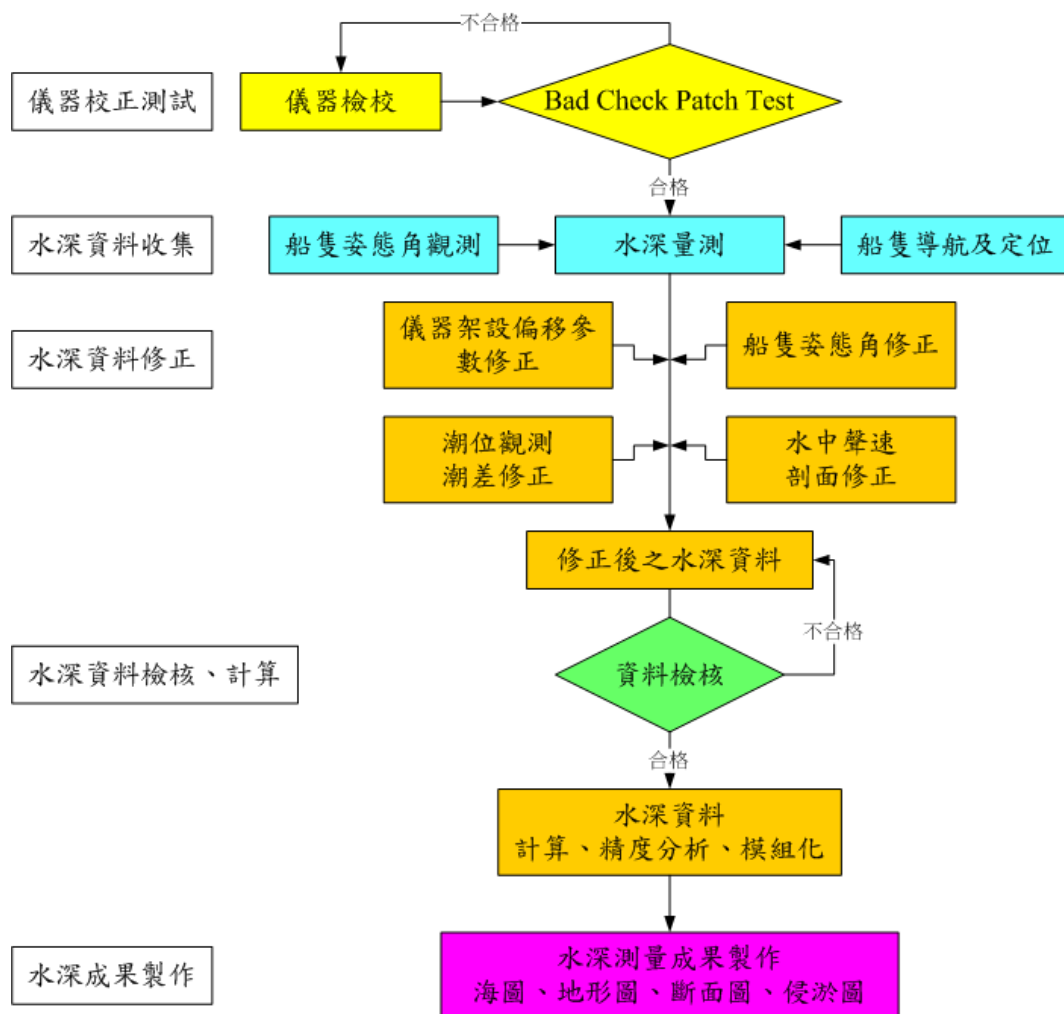


圖 2.34 水深測量作業流程圖

(3) 檢測內容

內容需包含探測範圍平面圖、儀器規格、探測數值，如圖 2.35、圖 2.36 為基隆港西 14 與 15 號碼頭探測結果，亦可依其數值繪製為 3 維的地形圖，如圖 2.37 所示。

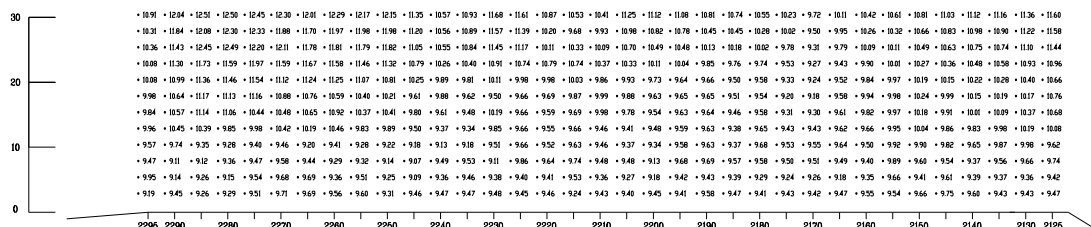


圖 2.35 基隆港西 14 號碼頭船席水深量測

註：碼頭里程為 2,122m 至 2,295m，設計水深為 9m

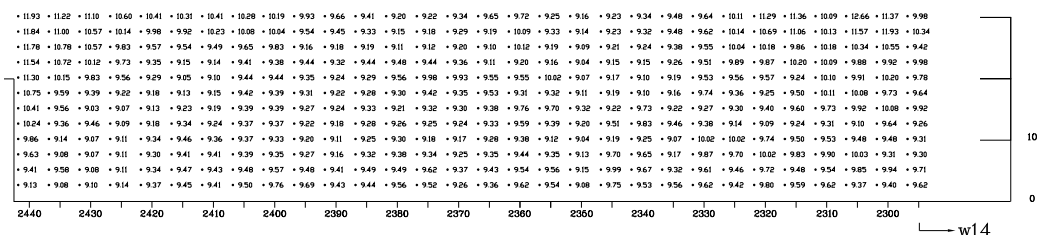


圖 2.36 基隆港西 15 號碼頭船席水深量測
註：碼頭里程為 2,295m 至 2,443m，設計水深為 9m

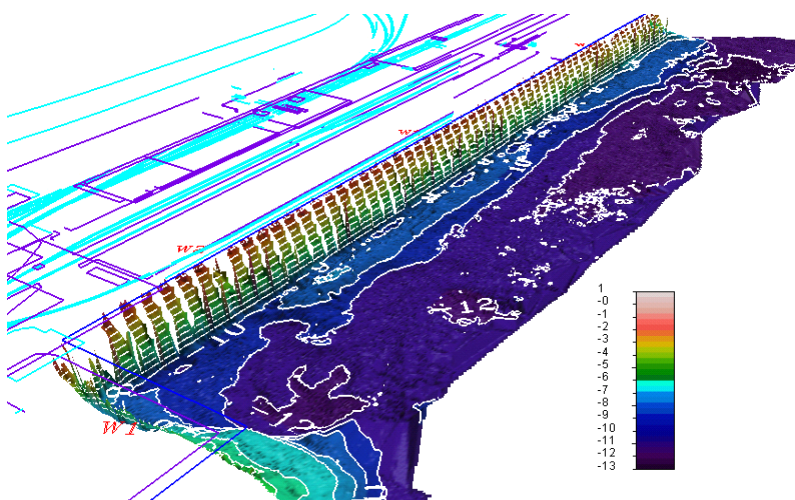


圖 2.37 基隆港西 2~4 號碼頭船席水深量測

2.3 初步檢測安全評估方式研擬

初步檢測安全評估針對需求可分為針對各構件修復進行排序的單一構件評估與針對瞭解各設施整體狀況的整體評估，先藉由各構件目視檢測後之結果，配合構件權重之加權進行計算，其說明如後：

1. 設施構件權重

權重決定，除依循「基隆港西 14 至西 15 號碼頭結構安全檢測評估與系統建置」乙案分析 10 份專家問卷(問卷格式如附錄 3 所示)，今年於本案再增加 10 份專家問卷(填卷人之服務機關與工作時間如所示)，以提高可靠性。因需依據各構件計算碼頭狀況指標，故本案

乃以層級分析法(Analytic Hierarchy Process，簡稱 AHP)進行分析，藉以決定各構件之權重。

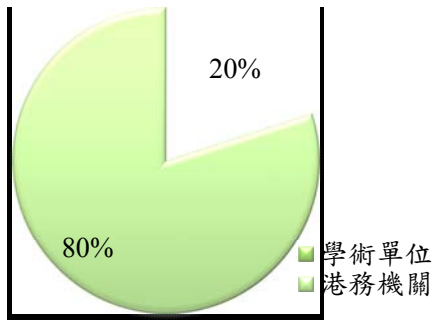


圖 2.38 填卷人服務機關統計

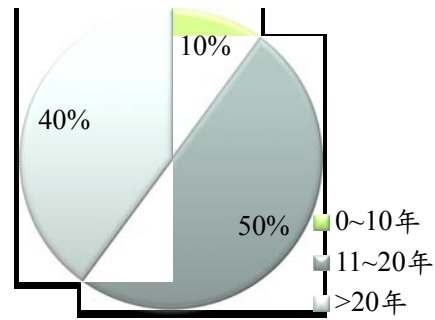


圖 2.39 填卷人工作時間統計

(1)層級分析法的簡介

層級分析法是結合定性與定量的一種多目標決策方案，由美國賓州匹茲堡大學教授 Saaty 於 1971 年所提出，應用於優先順序的決定、資源規劃、分配及投資組合等方面。層級分析法目的是要將複雜的問題系統化，並把各個問題的每個評估面予以層級化，並用層級的運用來劃分成不同階層，以進行兩兩比較。AHP 適用範圍廣泛，根據 Saaty 研究，它適合應用在下列 12 種類型的問題中(資料來源：Satty[11,12), 1990)：

- 規劃(Planning)。
- 產生替代方案(Generating a set of alternatives)。
- 決定優先順序(Setting Priorities)。
- 選擇最佳方案(Choosing a best policy alternatives)。
- 資源分配(Allocating resources)。
- 確定需求(Determining requirements)。

- 預測輸出或風險評估(Predicting outcomes / Risk assessment)。
- 系統設計(Designing system)。
- 績效量測(Measuring performance)。
- 確保系統穩定(Ensuring system stability)。
- 最佳化(Optimization)。
- 解決衝突(Resolving conflict)。

AHP 方法的基本假設，主要包括下列九項：

- 一個系統可被分解成許多種類(Classes)或成分(Components)，並形成具有方向性的網路層級結構。
- 層級結構中每一層級的要素均假設具獨立性(Independence)。
- 每一階層內的要素，可用上一層級內某些或所有要素作為標準，進行評估。
- 比較評估時，可將絕對數值尺度轉換成比例尺度(Ratio Scale)。
- 進行成對比較(Pair wise Comparison)後，可使用正倒值矩陣(Positive Reciprocal Matrix)處理。
- 偏好關係滿足遞移性(Transitivity)。不僅優劣關係滿足遞移性(A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C)，同時強度關係也滿足遞移性(A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍)。
- 完全具遞移性不容易，因此容許不具遞移性存在，但需測試其一致性(Consistency)的程度。
- 要素的優劣程度，經由加權法則(Weighting Principle)而求得。
- 任何要素只要出現在階層結構中，不論其優劣程度是如何小，均被認為與整個評估結構有關，而並非檢核階層結構的獨立性。

使用 AHP 作為研究的方法論之前，其分析元素與層級必須有以下幾點特性(資料來源：Vargas^[15], 1990)：

- 倒數對照特性(Reciprocal comparison)：決策者進行比較時，對於各元素的喜好度必須滿足倒數性質，例如：決策者對 A 偏好程度為對 B 偏好程度的 3 倍時，必須也滿足對 B 偏好程度為對 A 偏好程度的 1/3 倍。
- 同質性(Homogeneity)：元素的比較必須具有意義，並且是在合理的評量尺度範圍內。
- 獨立性(Independence)：元素之間的比較必須假設互相獨立。
- 預期性(Expectations)：為使決策目標順利完成，關係階層必須被清楚的描述，且建立關係階層及相關準則時必須完整不可遺漏或是忽略。

整個層級是由目標、準則、次準則及替代方案所構成，層級數目端視問題的性質及分析深度而定，根據 Saaty 的研究，在同一層級內的成對比較評估要素，以不超過七個為限。當層級建構好後，各層級必須以上個層級的準則或目標作為評估基準下進行要素間的成對比較，若有 n 個要素時，則必須進行 $n(n-1)/2$ 次「成對比較」。進行比較時，建議採用九個名目評分尺度，這些評分尺度是由五個語意細分而得，他們的定義如下表 2-6 所示。

表 2-6 評估尺度說明

評估尺度	定義	說明
1	同等重要	兩比較方案的貢獻度具同等重要性
3	稍重要	經驗與判斷稍微傾向偏好某一方案
5	頗為重要	經驗與判斷強烈傾向偏好某一方案
7	極重要	展現非常強烈傾向偏好某一方案
9	絕對重要	有足夠證據肯定絕對偏好某一方案
2,4,6,8	相鄰尺度之中間值	需要折衷值時

資料來源：褚志鵬^[16], 2009

(2)層級分析法的使用與操作

鄧振源及曾國雄^[13,14]建議以 AHP 作為研究方法時，可依據下列程序：

- ①問題描述：進行層級分析法時，首先必須決定所希望得到的目標，再一步步分析問題，將它的前因後果與相對關係釐清，有助於後續層級的建立以及分析工作。
- ②建立層級結構：層級分析法的特色就是將複雜的問題簡化為易了解的層級結構，而分析層級群組時應注意下列各點：
 - 最高層級代表評估的最終目標。
 - 盡量將重要性相近的要素放在同一層級。
 - 層級內的要素不宜過多，依 Saaty 建議最好不要超過七個，超出者可再分層解決，以免影響層級的一致性。
 - 層級內的各要素，力求具備獨立性，若有相依性(Dependence)存在時，可先將獨立性與相依性各自分析，再將二者合併分析。
 - 最低層級的要素即為替代方案。
- ③建立成對比較矩陣：層級完成後，對同一層級中各要素做兩兩比較後建立「成對比較矩陣」(Pair wise Comparison Matrix)。Saaty 提出利用它的特徵向量求取同一層級間各評估要素間的相對權數。
- ④求取最大特徵向量及特徵值。根據成對比較矩陣，可求出最大特徵值所對應的特徵向量或稱優勢向量(Priority Vector)，即權重分配。
- ⑤一致性檢定。Saaty(1990)建議以一致性指標(Consistency Index, CI)與一致性比率(Consistency Ratio, CR)來判斷矩陣的一致性。

- 一致性指標(CI)：當 $CI = 0$ 時表示評估者前後判斷完全具有一致性，而 $CI \leq 0.1$ 時表示誤差在可接受範圍內。
- 一致性比率(CR)：在相同階數的矩陣下，CI 值與 RI 值的比率稱為一致性比率(Consistency Ratio, CR)，從評估尺度 1~9 所產生的正倒值矩陣，在不同的階數(Order)下，產生不同的 RI 值，稱為隨機指標(Random Index, RI)，如表 2-7。又 $CR = CI/RI$ ，若 $CR \leq 0.1$ 時，則認為矩陣的一致性程度令人滿意。

表 2-7 隨機指標表

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

資料來源：Satty^[17], 1980

(3)層級分析法的優點及限制：Saaty 對於層級分析法，提出具有以下幾點優點：

- 提供一個有意義的整合系統，將複雜的系統轉化成簡單的分。
- 清楚的說明上一層內各因子的優先權重發生變動時，將如何清楚的影響下一層級內各因子的優先權重。
- 將元素分成不同層級的集合，使其易於評估，比直接評估整體系統有效率。
- 詳細的劃分整個系統的層級結構，以便深入的瞭解層級結構的目標。
- 發展自然系統以層級的方式是相當方便有效的。
- 層級具有可靠性及彈性，就是局部影響不會影響整體結構。
- 對於人類的認知而言，層級式的關係容易被接受，因此具備易於溝通特色。

- 層級分析法的用途雖廣但仍有其運用上的限制，一般說層級分析法在下面所述之四種狀況下是無法使用的(資料來源：鄭文英^[18], 1983)：
- 有許多的評估基準但無彼此共通之尺度時。
- 價值判斷無法或難以數值化。
- 在無資料或難以取得資料環境下做決策時。
- 在制定前設定各種情況預測決策制定之影響力。

(4)分析計算與結果

- ①單問卷分析：問卷分析方式以重力式碼頭第一層構件為例進行說明，其如表 2-8 所示，相同構件比值為“1”，再將問卷所得分數輸入矩陣，輸入方式依設計尺度分為同等重要=1，頗重要=5，絕對重要=9，當碼頭本體與海床相較，若專家認為海床對碼頭本體為頗重要，則碼頭本體與海床之值為 1/5，其海床與碼頭本體則為倒數關係則為 5。在完成表 2-8 矩陣之計算後需進行正規化處理，表 2-9 正規化矩陣每一欄位使用表 2-8 矩陣之每一欄除以該欄縱向之總和，其後表 2-9 每一列需計算其幾何平均數，最後各構件權重為其幾何平均數與其總和之比值。

表 2-8 重力式碼頭第一層構件兩兩比對數值

	碼頭本體	海床
碼頭本體	1	0.2
海床	5.0	1.0
Total	6.0	1.2

表 2-9 重力式碼頭單問卷第一層構件權重計算結果

	碼頭本體	海床	乘積	幾何平均數	權重
碼頭本體	0.167	0.167	0.028	0.167	0.167
海床	0.833	0.833	0.694	0.833	0.833
Total				1.000	1.000

②全部問卷分析：將各問卷(共 20 份)重力式碼頭第一層權重分析結果以幾何平均數進行計算(如表 2-10 所示)，最後各構件權重為其幾何平均數與其總和之比值。故各類型碼頭構件權重計算結果至小數點下兩位，如表 2-11~2-14 所示。

表 2-10 重力式碼頭問卷 1~10 第一層構件權重計算結果

	問卷 1	問卷 2	問卷 3	問卷 4	問卷 5	問卷 6	問卷 7	問卷 8	問卷 9	問卷 10	問卷 11	問卷 12	問卷 13	問卷 14	問卷 15	問卷 16	問卷 17	問卷 18	問卷 19	問卷 20	乘積	幾何平均數	權重
碼頭本體	0.90	0.83	0.83	0.17	0.83	0.10	0.50	0.17	0.90	0.50	0.90	0.50	0.50	0.17	0.50	0.17	0.90	0.17	0.10	0.83	1.27E-08	0.40	0.53
海床	0.10	0.17	0.17	0.83	0.17	0.90	0.50	0.83	0.10	0.50	0.10	0.50	0.50	0.83	0.50	0.83	0.10	0.83	0.90	0.17	7.85E-10	0.35	0.47
合計																						0.75	1

表 2-11 重力式碼頭權重

構件名稱	第 2 層	各構件分配權重
碼頭本體(0.53)	岸肩(0.35)	0.19
	壁體(0.55)	0.29
	後線(0.10)	0.05
海床(0.47)		0.47

表 2-12 板樁式碼頭權重

第 1 層	第 2 層	各構件分配權重
碼頭本體(0.55)	岸肩(0.43)	0.24
	壁體(0.44)	0.24
	後線(0.13)	0.07
海床(0.45)		0.45

表 2-13 棧橋式碼頭權重

第 1 層	第 2 層	各構件分配權重
面版(0.12)	梁(0.58)	0.07
	岸肩(0.20)	0.02
	岸肩底部(0.15)	0.02
	後線(0.08)	0.01
墩柱(0.49)		0.49
拋石護坡(0.24)		0.24
海床(0.15)		0.15

表 2-14 碼頭附屬設施權重

設施名稱	分配權重
繫船柱	0.22
防舷材	0.30
車擋	0.13
起重機軌道	0.36

2. 設施評估

(1)單一構件設施評估：各構件之評價以目視檢測後之劣化狀況乘上各構件權重值進行計算。若同一構件有不同劣化異狀，則以最嚴重值為代表。如圖 2.40 所示，單元 B11 有 B1 與 B2 兩個梁構件劣化，且 B1 梁同時有裂縫與腐蝕異狀，因裂縫劣化狀況較嚴重，故採用 3，而 B2 僅腐蝕異狀，故直接採用 2，而 B12 單元有 S1 與 S2 兩個位置有腐蝕異狀，因僅一種劣化異狀故直接採用劣化狀況為 2。其後為維修排序需求，將前述權重值配合構件採用之劣化狀況值進行計算，藉此將碼頭構件進行排序，依下表所示，B11 碼頭單元之面板-梁構件，其計算結果為 0.12，為最優先進行維修。

單元編號	構件名稱	劣化類型	劣化位置	劣化程度	採用	權重	結果
B11	面板-梁	裂縫	B1	3	3	0.07	0.21
B11	面板-梁	腐蝕	B1	2	2		
B11	面板-梁	腐蝕	B2	2	2	0.02	0.14
B12	面板-岸肩底部	腐蝕	S1	2	2		0.04
B12	面板-岸肩底部	腐蝕	S2	2	2		0.04

圖 2.40 單一構件設施評價說明

(2)整體設施評估：以碼頭或防波堤整體狀況進行計算，將設施各構件最嚴重者，採用其劣化狀況配合各構件權重進行計算後累加，即為設施整體狀況。如圖 2.41 所示以棧橋式碼頭為例，圖中各構件權重參照碼頭權重所示，各構件劣化狀況判定以採用該設施構件最嚴重者，進行加權計算後累加即為設施整體評估。

				權重	判定	評估
棧橋式碼頭	面版	梁		0.07	4	0.28
		岸肩		0.02	3	0.06
		岸肩底部		0.02	4	0.08
		後線		0.01	1	0.01
	墩柱			0.49	3	1.47
	拋石護坡			0.24	1	0.24
	海床			0.15	1	0.15
Sum						2.29

圖 2.41 整體設施評估說明

2.4 詳細檢測安全評估方式之研擬

藉由目視檢測之初步評估後確定欲分析之構件，配合儀器檢測之量測結果來進行，經現地檢測與後續第三章部分研究成果發現，由於碼頭劣化以岸肩受臨海腐蝕環境影響較劇，故後續將以岸肩梁構件鋼筋因氯離子侵蝕造成其斷面損失，作為分析標的。

1. 分析模式建立

(1)方向定義

分析以碼頭法線方向為 x 向，垂直碼頭方向為 y 向，而垂直海平面之方向為 z 向。

(2)分析原則與模型建立

由於上部結構 x 及 y 向勁度大，應無強度上之疑慮，故此兩方向主要考量為水平地震力導致上部結構掉落之狀況(類似橋梁之落橋)，惟此兩方向因結構形狀之束制，因地震力而使碼頭岸肩掉落之機率應屬極低。因此，分析評估將以大梁承载力為主要考量。

2. 分析評估研擬

(1)規範依據

分析之進行主要依乃民國 89 年交通部頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」(以下簡稱碼頭設計基準)及 84 年交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準研究—碼頭設計基準及說明草案」相關內容。另，有關碼頭面版所承受之車輛活載重乃參考 90 年交通部頒「公路橋梁設計規範」。

(2)材料性質輸入：材料性質若檢核碼頭有原始設計資料，則可依此進行相關參數的輸入，若無，則可參考儀器檢測，如「混凝土抗壓強度、鋼筋號數、間距與鋼筋剩餘面積」輸入。

(3)載重類型與條件組合

依碼頭設計基準第 12 章有關碼頭載重之說明，於設計碼頭結構物時，應視需要考慮結構物自重、上載載重等。自重係指結構物本身重量。上載載重可概分為裝載載重與活載重兩種。裝載載重如碼頭、通棧、倉庫等裝載之散雜貨等重量。活載重如汽車、火車、裝卸機械及群眾等動態載重，以下分述之。

①自重

自重可依材料體積及單位體積重量計算之。材料之單位體積重量依以下數值：

a.鋼筋混凝土 2.45 t/m^3

b.瀝青混凝土 2.3 t/m^3

依碼頭上部結構構造圖，自重應包含大梁、鋼筋混凝土版及瀝青混凝土面層等。

②裝載載重

一般散雜貨碼頭，為設計方便，碼頭面裝載載重可採 $1\sim 2 \text{ t/m}^2$ 。

③活載重

依碼頭使用現況而定，若為客運碼頭，考量之活載重為群眾載重，其單位面積載重為 0.5 t/m^2 。若為散裝碼頭，考量之活載重為貨車、拖車等，故載重大小參考公路橋梁設計規範辦理，而本案採 HS20-44 $\times$ 1.25 之貨車載重。

④載重組合

依碼頭設計基準，碼頭上部結構設計應檢討之載重組合包含：

a.Comb1：自重＋裝載載重

b.Comb2：自重＋活載重

(4)安全評估準則

如圖 2.42 所示，依目視後初步安全評估確認有疑慮之構件後，藉由儀器檢測確認構件之混凝土強度、鋼筋配置與其腐蝕之情況，可作為判斷該構件容許承載量變化之依據。依圖所示若鋼筋面積折減率至 33.8%時，即達分析裝載載重，此為承載容量之極限。

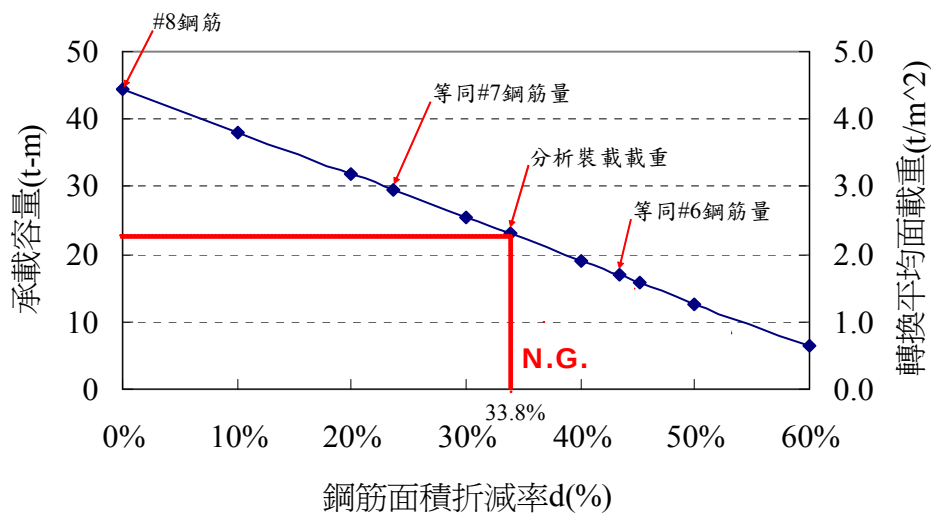


圖 2.42 碼頭梁構件鋼筋面積折減率與承載容量關係圖

2.5 小結

依圖 1.1 各類型巡查之維護管理流程，本章各節所對應之修正與增加之部分，如圖 2.43。2.1 節內容乃針對各類型巡查所使用之目視檢測標準予以修訂，以符現場實際之需，另外，亦增加目視檢測標準圖示(或照片)，期未來藉由圖示(或照片)化之輔助，以便增加檢測之一致性。2.2 節內容為彙整適用於港灣設施之儀器檢測技術，藉由表 2-1 各技術之適用性表以便讓檢測人員瞭解使用之時機，亦藉由各技術介紹其「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」等，以便檢測人員實際應用之需求。2.3 節內容乃針對初步檢測安全評估方式，配合目視檢測標準修正為單一值(即劣化狀況)，修正目視檢測後評估單一構件與整體設施的狀況指標計算方式，而此評估方式所需求之構件權

重，本年度亦另增加 10 份專家問卷(共計 20 份)，以增其代表性。2.4 節內容乃針對各類型碼頭中，其與目視與儀器檢測結果較為相關的棧橋式碼頭岸肩進行分析，藉由輸入與檢測結果相關之數據，配合分析流程，藉以檢視其是否符合設計之需求。

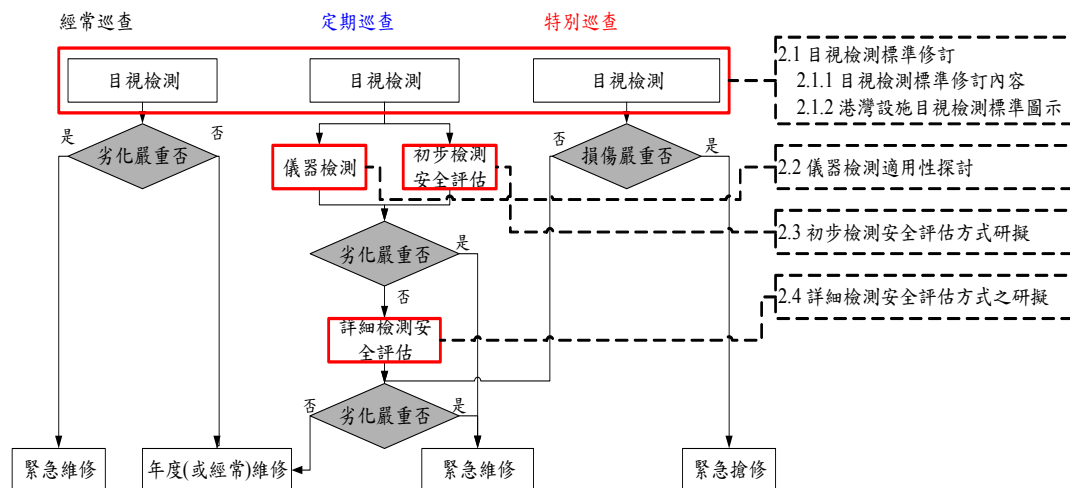


圖 2.43 港灣構造物檢測作業標準制訂與維護管理流程之對應

第三章 現有港灣構造物安全評估方法之檢討

本章中將針對目前港灣構造物之檢測成果之安全評估方式進行檢討，並針對儀器檢測之量化成果提供一較為可靠之安全評估法。有別於複雜之結構力學分析及計算方法，本安全評估方法較為簡化，且無須具備複雜之結構分析訓練背景，只要取得適當、足夠之檢測數據資料，即可進行安全評估及分析之工作。

本方法為延續李等(2010)過去之研究成果，首先以結構分析方法進行較為簡單案例，如單一構件或簡單構造之破壞分析比較，其次則進行簡單結構模型之破壞試驗，試驗過程中擷取不同階段之破壞參數，代入破壞評估指標中，再與試驗結果之破壞現象比較，以得到一個比較能具體呈現破壞現象的破壞指標，結合該破壞指標可得到港灣碼頭結構物安全評估之合理方法。

大部分的港灣構造物所使用之材料為混凝土及鋼鐵材料，結構型式則可大致分成兩大類：一為重力式構造、另一為非重力式構造。重力式構造在設計分析時較為簡便，以靜力分析為主，非重力式構造因考慮結構構件之變形，其分析方法則較為複雜。在結構破壞之檢測上也更加困難，而大部分儀器檢測施行之重點亦以非重力式碼頭結構為主。因此本研究之安全評估方式亦將以非重力式結構之評估當作目標。但基於模型試驗之限制：包括尺度因素、結構複雜度差異、使用材料之個別差異，以及外力作用無法完全包含環境因素等限制，其適用對象將以混凝土鋼架式構造(concrete frame structure)如棧橋式碼頭為首要目標。

1. 碼頭結構破壞評估方式之檢討

目前臺灣所使用之碼頭結構破壞評估方式主要以現場觀測數據為主之評估方法(damage assessment based on field investigation data)，或俗稱之 DER 或 DERU 方法為主。

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梁破壞檢測之方法即為其之一，參考交通部國道高速公路局「高速公路橋梁管理系統」，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)，或進一步包含維修之急迫性時(urgency U)，則加入急迫性參數，然後再統計成為數據化之破壞指標，故亦簡稱為 D.E.R. 或 D.E.R.U.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，例如其中對於損壞程度(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。近來相關之研究中，或將此分及方式更為明確定義，以便現場之檢測人員在經驗不足時，更易於依循填寫相關之檢測表。

但是該方法的使用上則有一些問題存在，其中包括：(1)各類單獨指標之判定方式不一；(2)各類單獨指標之判定標準訂定困難；(3)某些指標之訂定爭議性甚高；(4)計算出來之最終破壞性指標可靠性不足；(5)最重要的問題為與力學理論無法結合。以下則分別說明：

(1)各類單獨指標之判定方式不一

例如以 D 值(破壞程度)為例，以構造物損壞的程度為判定標準，目前的建議標準為敘述性(定性)，如「嚴重」、「稍嚴重」、「良好」等，不同的檢測人員判定時可能有不同的解讀。

(2)各類單獨指標之判定標準訂定困難

同樣如前述之 D 值為例，目前所見的相關研究中有多種訂定方式，部分有一致性、部分則差距較大，顯見在該值訂定時確有

困難，同樣在訂定 E 值(破壞延伸範圍)時亦有類似困難。

(3) 某些指標之訂定爭議性甚高

其中較為困難且爭議較大的為 R 值(相關性指標)以及 U 值(急迫性指標)的訂定標準。構件與構件間的相關性，或材料劣化與構件的相關性等常不易釐清。另外 U 值的判定標準與相關性的爭議相似，如非經現場有長足經驗的工程師則無法適切的判定，若述諸於文字或手冊中，在某些複雜的破壞狀況下也有困難。

(4) 計算出來之最終破壞性指標可靠性不足

最終計算出來的破壞性指標，其可靠性或實際代表性如何？始終免不了受到質疑。原因為計算過程為簡單的統計運算，無法在力學基礎上做有效驗證，而在實例上由於結構物太龐大，作用的因素也過於複雜，似乎除此之外、難以找到比較可靠且可行的評估方法。

(5) 最重要的問題為與力學理論無法結合

一如前述、目前所使用的評估方法為簡單的統計運算，與力學理論並無相關性。事實上在計算總破壞指標前之所得之各項破壞參數，與力學理論之關聯亦不密切，也因此造成此一評估方式具有檢討改進之處。

2. 港灣碼頭結構破壞之新型評估方式

前節介紹之碼頭破壞評估方式，主要根據交通部於 2000 年所委託之相關計畫中所建議，以及後續研究中局部修正之結果。其中將港灣構造物之破壞評估分成初步檢測及細部(或詳細)檢測兩個階段，如果將目前討論之 D.E.R. 檢測評估方式，應用於初步檢測所得結果之初步評估可能較為適宜，當然針對前節之檢討項目必須做相關的釐清，並且能統整使具有一致性。

至於新型港灣碼頭破壞評估方法，目前在發展中的則有考慮力

學理論與現場觀測數據之整合性評估法(Damage assessment based on both mechanical theorem and field investigation data，李等、2010)。其目標為讓港灣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。該方法又分成個別構件之評估方式，及整體結構體之評估方式。而整體結構體之評估方式為個別構件之破壞指標已知之情況下綜合得出之結果，整體評估時並分別考慮各種不同構件設計時之減強因子及載重因子之影響。

(1)個別構件破壞指標

個別構件之評估方式以破壞指標來敘述，表示如下：

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e \dots\dots\dots(3-1)$$

式中， 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)

β_e = 非負值試驗常數，依構件型式而稍有不同(empirical number, if not available $\beta_e=1$)

Q_{ye} = 構件之降伏強度 (yielding strength of e member)

$\sum E_i^e$ = 構件e破壞前累計吸收之應變能量(accumulated strain energy)

該評估式主要由 Park and Wen 所發展之鋼筋混凝土梁破壞指標之發展而來。為了適合現地檢測資料之應用(該公式之發展較適合即時監測之數據應用)，在參數的使用上則做了若干修正。

整體結構體之評估方式中，舉凡材料腐蝕劣化之檢測數據、構件斷面損失、強度損失、構件間結合損失等檢測數據均列入考

慮。該方法與傳統 D.E.R. 評估方式比較時，具有許多優點包括如：
 (1) 具有一定的力學理論基礎，尤其某些參數計算時必須使用到材料力學之相關公式；(2) 各種檢測數據的代入為量化資料，較能避免人為檢測經驗不足的疏失；(3) 充分考量個別構件與整體結構之相關性，其相關性之訂定以設計時個別構件之受力作用而有不同之承載型式或強度修正考慮，在整體評估時均予考慮；(4) 整體破壞指標之計算看似複雜，但只要 WINDOWS 之 EXCEL 所提供之方程式即能得出，對於使用者而言仍具簡便性(計算式亦能輕易併入管理系統中)。

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

$$E_i^e = \sigma_{ri} \delta_{est.i} \dots\dots\dots (3-2)$$

式中 σ_{ri} = 實測所得斷面 i 之強度(remaining strength)

$\delta_{est.i}$ = 估算之該斷面最大可能變形能力(remaining deforming capability)。

結構構件如果為抗彎矩構件如以梁構件為例，若考慮主要變形為旋轉角時，其估算方式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)。另外若有其他明顯之撓度變形資料時可以撓度及梁之長度換算為旋轉角；或在 i 與 i+1 段中若有其他(n 個)裂縫之檢測資料時，亦可參照 Park 及 Paulay(1975)之方法將兩檢測斷面間(i 與 i+1 段)裂縫形成之撓角加以累計，參照圖 3.1 其旋轉角表示如下：

$$\delta_{est.i} = \theta = \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{d - k_j d} \dots\dots\dots (3-3)$$

其中 S_j 為某量測段(j 段)鋼筋之伸長量。由於無法實際測出，可以梁斷面上裂縫寬(如圖 3.1)來替代；其餘參數如圖上所示。

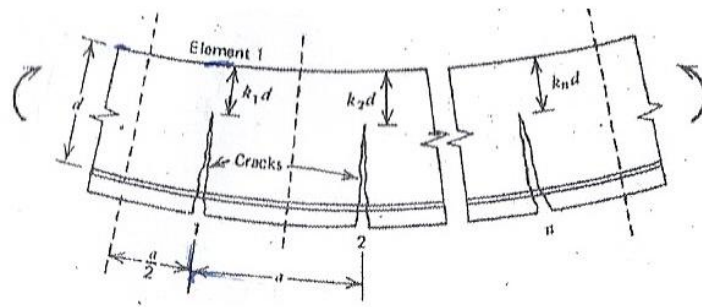


圖 3.1 鋼筋混凝土梁之累積變形計算示意圖

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

$$\delta_{Me} = \text{Max}(\delta_{est. j}) \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

以上與構件破壞指標相關之係數將列於表 3.1 中，包括相關說明。

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

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

$$\Phi = \frac{2}{M} \sum_e^M [(\phi_r / \phi_l) \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e \quad \dots\dots\dots 3-5)$$

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，或均為梁構件時

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [\exp(-\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 / 100)]_e \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

式中，M 為結構體中屬於主結構構件之總數。

ϕ = 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。現況破壞係數 α_2 為

$$\alpha_1 = D_e \dots\dots\dots(3-7)$$

為個別構件之現況破壞指標。延展性係數 α_2 則定義為

$$\alpha_2 = 5.0 / \alpha_\delta \dots\dots\dots(3-8)$$

為延展性相關係數，其中

$$\alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \dots\dots\dots(3-9)$$

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(或脆性行為之影響) β_3 有關； α_2 範圍為 1.0~5.0。

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。但破壞檢測對象並不完全為抗彎矩構件，建築物通常包括有梁、柱、樓版、牆及其他相關之基礎構造。若以港灣構造之棧橋式碼頭為例，則包括有大梁、小梁、基樁、面版及其他相關之基礎構造。當然以上所述基本構件均可能受到彎矩力之作用，特別如大梁、小梁、基樁及面版等。但除了彎矩力造成之破壞之外，剪力造成之破壞亦為相當普遍可見之破壞現象。而以上所列舉之構件在剪力作用控制之受力情形下，亦可能形成剪力破壞。因此本階段的研究中，將脆性破壞檢測結果考慮到評估模式中，並以其對延展性相關係數 α_2 之影響為考慮。影響延展性係數 α_2 之參數，則有如下相關參數：

β_1 為鋼筋斷面損失係數，表示如下

$$\beta_1 = (1 - \text{線材斷面損失率}) = (1 - R_{sl}) \dots\dots\dots(3-10)$$

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、假設其斷面損失率 R_{sl} 為 5%；當腐蝕機率為高(電位達-350mV 更負時)、則假設其斷面損失率為 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率增加 1%。

β_2 為混凝土材料劣化係數，表示為

$$\beta_2 = (1 - \text{劣化深度比}) = (1 - R_{dl}) \dots\dots\dots(3-11)$$

當材料無劣化現象時、 $\beta_2 = 1$ 。材料劣化的現象在目視檢測相關章節中已有詳細陳述，就鋼筋混凝土材料而言，鋼筋材料已有腐蝕相關檢測數據之應用，混凝土材料之劣化則以能檢測獲得之數據來判斷，其中包括強度嚴重不足如降至 50%以下、目視可見風化、剝落，以及混凝土中性化深度檢測等。如果檢測點集中則以所有檢測所得之最大深度作為劣化深度，如果檢測點分散時則以各點最大劣化深度之平均值計算之。

β_3 為延性及脆性材料間接合情形(或脆性行為之影響範圍)，當不同材料間結合良好時及無任何脆性破壞現象被觀察出來時、 $\beta_3 = 1$ 。但一般而言、延性及脆性材料間接合情形(如鋼筋及混凝土間即為典型之延性與脆性材料相接合)並不容易觀察或檢測出來。實際上如圖 3.1 所示之鋼筋混凝土梁於抗彎面所產生之裂縫已顯示鋼筋及混凝土間已非完全結合。因此、本階段的研究中建議以裂縫面積所佔原面積比例為評估依據。一則因為裂縫數據為檢測工作中相對容易取得之數據，其次為混凝土裂縫數據在目前評估方法中，並未有效利用。因此、脆性材料及脆性行為之影響係數 $\beta_3 = (1 - \text{裂縫面積所佔原面積比})$ 。裂縫面積之計算方式為以裂縫發展前

(X1,Y1)後(X2,Y2)兩點之局部座標為計算依據如下式所示：

$$A_c = (X_2 - X_1) \times (Y_2 - Y_1) \dots\dots\dots(3-12)$$

若有多條裂縫時，如 A_1 、 A_2 、 A_3 等其計算出來之面積有相互重疊現象時，則捨去重疊部分相加如下式：

$$A_{tc} = \sum A_i - (A_1 \cap A_2 \cap A_3) \dots\dots\dots(3-13)$$

最後所得之脆性材料及脆性行為之影響係數則為

$$\beta_3 = (1 - A_{tc} / A_0) = (1 - R_{al}) \dots\dots\dots(3-14)$$

其中 A_0 為該檢測區域之總面積。

以上與整體結構破壞指標相關之係數則列於表 3-1 中。

表 3-1 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
$\alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right)$	≤ 5.0	延展性損失係數	$5 \geq \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right) \geq 1$
β_1	$0 < \beta_1 \leq 1$	延展性線材(鋼筋)斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
β_2	$0 < \beta_2 \leq 1$	構件材料(混凝土)劣化係數	(1－材料劣化深度比)
β_3	$0 < \beta_3 \leq 1$	脆性材料係數	(1－裂縫面積比)

(3)整體結構安全評估指標 (safety capability S_d)

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi \dots\dots\dots(3-15)$$

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。

3. 港灣碼頭結構破壞之新型評估方式之初步驗證

前述介紹之新型評估模式面臨的問題則如 D.E.R.評估法一樣，缺乏與結構體實際破壞情況之相互驗證。當然驗證之工作在實務上有非常大的困難，尤其牽涉之結構體為巨大之港灣構造時。但是，縮小尺度之模型試驗或縮小尺度之構件破壞試驗應不失為可行之方法。如果能縮尺試驗之驗證上獲致一致之結果，該評估法將能在應用上具較佳之可靠性。

由於與結構實際破壞之驗證工作，包括各種參數之選擇是否適當、參數之使用範圍、數值大小，各種參數在結構上取得之可行性等，工作量非常大。在初期階段將以方便在實驗室中試驗之單一構件進行。因此在第一年度的工作中，針對單一構件破壞指標 De 進行了初步驗證的工作。主要因為：1.整體破壞指標必須由單一構件破壞指標獲得；2.該指標之破壞評估則由應變能之累積消耗而估算(實驗室中可實際獲得模擬為連續破壞之過程)、其與安全檢測觀察之量測數值(非連續過程且為非同步獲得)之間具有一定差距，如能經由實驗比較而獲得其間相互關係，則構件破壞指標之正確性便能更加確保。驗證的設計以模擬抗彎構件在試驗室中受力後破壞的現象，對照構件破壞指標 De 利用試驗數據計算後之值，以瞭解本研究中建議之破壞指標是否足以反應構件之實際破壞情形。

試驗工作規劃之工作項目如下：

- (1)以抗彎構件懸臂梁作為初步之試驗模型。
- (2)進行模型灌漿用之可重複使用模版設計並製作。
- (3)使用材料之配合比分析及設計、主要以港灣工程使用之混凝土材料為主。
- (4)進行模型製作，包含灌漿、養護、拆模等工作。
- (5)進行測試資料擷取之數據試片安裝，如應變計、位移計等。
- (6)試體裝置至實驗室準備進行往復荷重試驗，直至試體完全破壞為止。

3.1 實驗規劃

混凝土梁受力時會產生彎曲形變，導致一邊受拉力，一邊受壓力。而混凝土為一脆性材料，雖具有良好的抗壓能力，但抗拉能力卻不足，故添加鋼筋以提升梁的抗拉能力。而鋼筋量的多寡為影響梁受力能力的一大關鍵要素，特別為梁的設計為抗拉破壞時。本研究之模型梁同樣設計為抗拉破壞，針對不同鋼筋量以及不同的混凝土強度配比來製作模型梁，先決定三個目標強度，再試驗數種配比來選定 RC 梁之混凝土配比。初步試驗中先選擇三種混凝土配比及兩種鋼筋量共六種組合，每一個組合製作三支 RC 梁進行實驗，再將實驗數據平均進行分析。每一混凝土配比另外製作一批圓柱試體，試驗混凝土抗壓強度。養護達一定齡期後使用 MTS 油壓制振器以產生推力及擷取數據，並產生力—位移圖來進行結果分析討論。

3.2 構件試體模具及試驗材料基本性質分析

3.2.1 模型 RC 樑設計

模型 RC 樑依照一般鋼筋混凝土梁之設計規範，設計為抗拉破壞，以下則為斷面為 $10\text{cm}\times 20\text{cm}$ ，三種不同混凝土強度下，兩種鋼筋斷面之懸臂樑之估算強度。

1. 較高強度混凝土($f_c'=300\text{kgf/cm}^2$)

平衡鋼筋量 $A_{s_b}=0.85f_c'\times\beta_1\times[\epsilon_c/(\epsilon_c+f_y/E_s)]\times b\times d/f_y=10.62\text{ cm}^2$

低鋼筋量 H2($\rho=0.0127$)時之彎矩強度為

$$A_s\times f_y\times d(1-0.59\times\rho\times f_y/f_c')=132292.5\text{ kgf}\times\text{cm}$$

高鋼筋量 H4($\rho=0.0253$)時之彎矩強度為

$$A_s\times f_y\times d(1-0.59\times\rho\times f_y/f_c')=244846.6\text{ kgf}\times\text{cm}$$

2. 一般強度混凝土($f_c'=250\text{kgf/cm}^2$)

平衡鋼筋量 $A_{s_b}=0.85f_c'\times\beta_1\times[\epsilon_c/(\epsilon_c+f_y/E_s)]\times b\times d/f_y=8.852\text{ cm}^2$

低鋼筋量時 M2($\rho=0.0127$)之彎矩強度為

$$A_s\times f_y\times d(1-0.59\times\rho\times f_y/f_c')=130303\text{ kgf}\times\text{cm}$$

高鋼筋量時 M4($\rho=0.0253$)之彎矩強度為

$$A_s\times f_y\times d(1-0.59\times\rho\times f_y/f_c')=236920\text{ kgf}\times\text{cm}$$

3. 較低強度混凝土($f_c'=200\text{kgf/cm}^2$)

平衡鋼筋量 $A_{s_b}=0.85f_c'\times\beta_1\times[\epsilon_c/(\epsilon_c+f_y/E_s)]\times b\times d/f_y=7.08\text{ cm}^2$

低鋼筋量時 L2($\rho=0.0127$)之彎矩強度為

$$A_s\times f_y\times d(1-0.59\times\rho\times f_y/f_c')=127318.7\text{ kgf}\times\text{cm}$$

高鋼筋量時 L4($\rho=0.0253$)之彎矩強度為

$$A_s\times f_y\times d(1-0.59\times\rho\times f_y/f_c')=225030\text{ kgf}\times\text{cm}$$

3.2.2 模具

由於混凝土漿體的比重相當大，且柱型模型灌漿時漿體給模具的壓力會因為高度落差大的原因而變得更大，故模具必須非常堅固，故本研究採用鐵製模具，考量到模具如果鐵板厚度不夠，則鎖緊時或灌

漿時可能導致鐵板變形，而太厚的話模具的重量太重移動不便，故將模具的厚度定為 0.8cm。此模具分為一對夾板、一對活動式可伸縮之側板以及底板，各板之間以螺絲鎖緊固定。夾板之間距離固定為 20cm，而活動式的測板上有數個平行的水平溝槽，以方便調整兩側板之距離，最小可到 6cm 最大可達 20cm。且附有一個底板，其上有螺絲孔用來固定兩個夾板的位置，可以節省模具組裝的時間。示意圖及模具照片如圖 3.2、圖 3.3、圖 3.4。

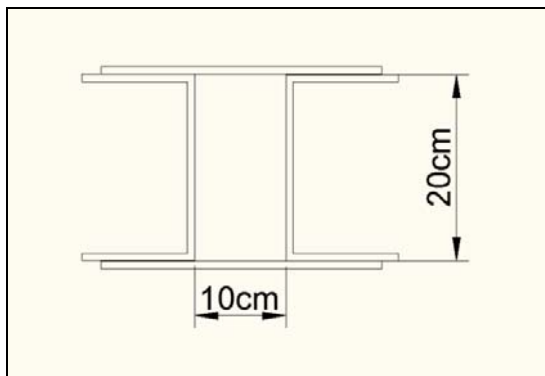


圖 3.2 模具上視示意圖

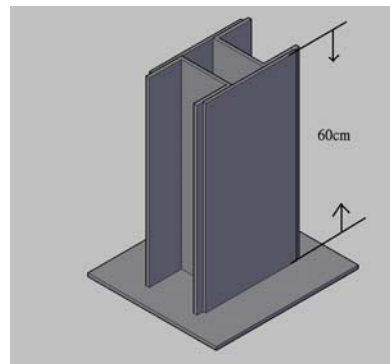


圖 3.3 模具 3D 示意圖



圖 3.4 模具照片

3.2.3 混凝土配比選定

參考混凝土配比設計法，因模型中間鋼筋的間距不大，若工作度過低有可能會增加搗實困難度造成底部蜂窩狀，故設定水膠比在 0.4~0.5 之間，又考量到粗骨材是整個混凝土結構中主要的強度來源，在水膠比較高的配比中特別再減少粗骨材的使用量以減低強度，使強度的差距可以更大。在決定混凝土配比之前，預先澆灌數個有些差距的配比製作成直徑 12cm 的圓柱試體進行抗壓試驗，每一個配比均澆灌 9 個試體，分三個齡期進行抗壓試驗。預先設計的 28 天抗壓強度大約在 300kgf/cm^2 、 250kgf/cm^2 、 200kgf/cm^2 ，並依其抗壓強度來給予 H(High)、M(Medium)、L(Low)的編號以便辨認。

表 3-2 材料配比表

代號	H	M	L
材料\目標	300 kgf/cm^2	250 kgf/cm^2	200 kgf/cm^2
水	4.582	5.122	5.236
水泥	10.91	10.91	10.91
砂	10.91	10.91	10.91
石	13	13	9.75(75%)
水膠比	0.42	0.47	0.48

3.2.4 鋼筋量選定

為研究鋼筋腐蝕後斷面損失對鋼筋混凝土梁的影響，故規劃兩個組別來進行試驗分析。一組代表對照組，而另一組模擬鋼筋受腐蝕下的混凝土梁。在一般情況下，鋼筋被侵蝕時，會從鋼筋表面往中心逐漸變質，變質的鋼筋會失去其作用，侵蝕越嚴重代表功能正常的鋼筋斷面越小而變細。本研究不採用強酸快速腐蝕試驗而採用鋼筋量的變化來模擬鋼筋受腐蝕的狀況，預先設定兩組比值分別為 0.03 與 0.015 的鋼筋量來模擬兩種不同程度的侵蝕。

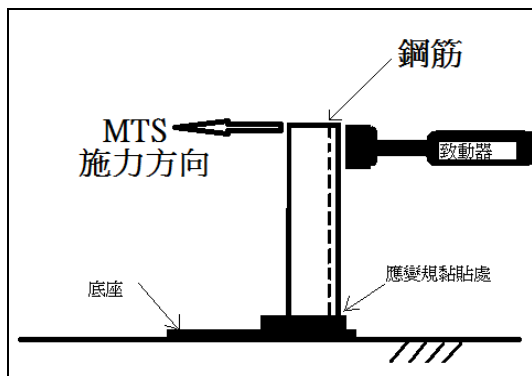


圖 3.5 往復荷載破壞試驗示意圖



圖 3.6 Strain Gauge 擺放位置



圖 3.7 以螺絲系統將 RC 柱鎖死於底板上



圖 3.8 MTS 油壓系統致動器作用於構件模型

3.3 縮尺結構構件實驗結果分析討論

實驗中探討模擬具不同鋼筋量的 RC 樑受到腐蝕之後的各項力學表現，並以不同強度的混凝土來進行比較，以瞭解當鋼筋混凝土結構之材料強度，或材料斷面受環境作用產生變化時，如鋼筋受到腐蝕作用或混凝土材料劣化時，本計畫中所建議之破壞指標是否具有可行性。此為一系列實驗計畫中之最初步試驗，旨在評估本研究中建議使用之構件破壞指標應用於單一鋼筋混凝土抗彎構件之可行性。

3.3.1 MTS 往復荷載破壞試驗結果

依照實驗規劃，將模型 RC 樑放置於試驗基座上，並使用 MTS 制振器輸出，試驗裝置如圖 3.5~圖 3.8 所示，擷取出力及位移瞬時數據(其中變位數據擷取如圖 3.6 所示)，並使用 LABVIEW 撰寫程式將之數據記錄並加以分析結果。所獲得之位移外力圖由試驗數據繪製得出，由於模型 RC 樑在實驗時僅僅施力於自由端，故其自由端之位移越大，可代表整體 RC 模型梁的角變形量越大，以下之位移數據皆代表 RC 模型樑自由端之位移。本研究分為兩組鋼筋量，三組混凝土強度配比，故有六種組別。

表 3-3 所示為低鋼筋組構件受力及位移數據，其中包括三種混凝土強度下之差異表現。圖 3.9 至圖 3.11 為其中一組構件(M2 組為一般混凝土強度)，受往復荷載作用下之受力及位移遲滯迴圈圖(hysteresis loop)；圖 3.12 則為較低強度混凝土構件之受力位移遲滯迴圈圖。

從數據中發現，H2 組試驗平均最大受力 21775N (預估值為 21629 N)，位移 31.291 mm。M2 組平均最大受力 20417.3N(預估值為 21304 N)，位移 27.583mm。L2 組平均最大受力 17478N(預估值為 20816 N)，位移 24.875mm。

表 3-3 低鋼筋組構件受力位移數據

編號 / 數值	最大受力(N)	最大受力之位移(mm)
H2-1	19738.8	33.099
H2-2	22503.7	22.878
H2-3	23082.8	33.896
M2-1	20742.3	20.586
M2-2	19018	23.752
M2-3	21491.7	39.414
L2-1	16313.8	17.236
L2-2	20601	27.931
L2-3	15536.7	29.46

表 3-4 所示為高鋼筋組構件受力及位移數據，其中同樣包括三種混凝土強度下之差異表現。部分典型之受力位移遲滯迴圈圖，圖 3.13 至圖 3.14 為其中一組構件(H4 組為較高混凝土強度)，受往復荷載作用下

之受力及位移遲滯迴圈圖(hysteresis loop)；圖 3.15 及圖 3.16 則分別為一般及較低強度混凝土構件之受力位移遲滯迴圈圖。

從數據中發現，H4 組平均最大受力 26046N(預估值為 40036 N)，位移 53.1346mm。M4 組平均最大受力 25449N(預估值為 38736 N)，最大位移 57.49mm。L4 組平均最大受力 22630.4N(預估值為 36792 N)，最大位移 38.39mm。

表 3-4 高鋼筋組構件受力位移數據

編號 / 數值	最大受力(N)	最大受力之位移(mm)
H4-1	26365.7	45.44
H4-2	25813	50.58
H4-3	25957.2	63.38
M4-1	25539.6	59.197
M4-2	25357.7	55.798
L4-1	22228.4	38.544
L4-2	23511.6	42.13
L4-3	22151.3	34.5

註：模型樑 M4-3 由於灌漿之疏失而導致數據差距極大，故不列入。

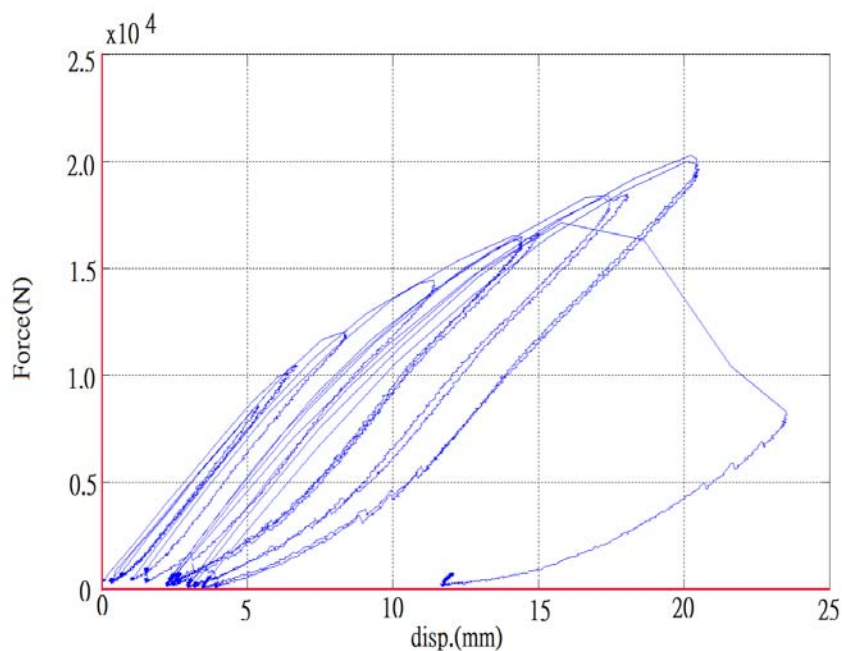


圖 3.9 M2-1 力量位移圖

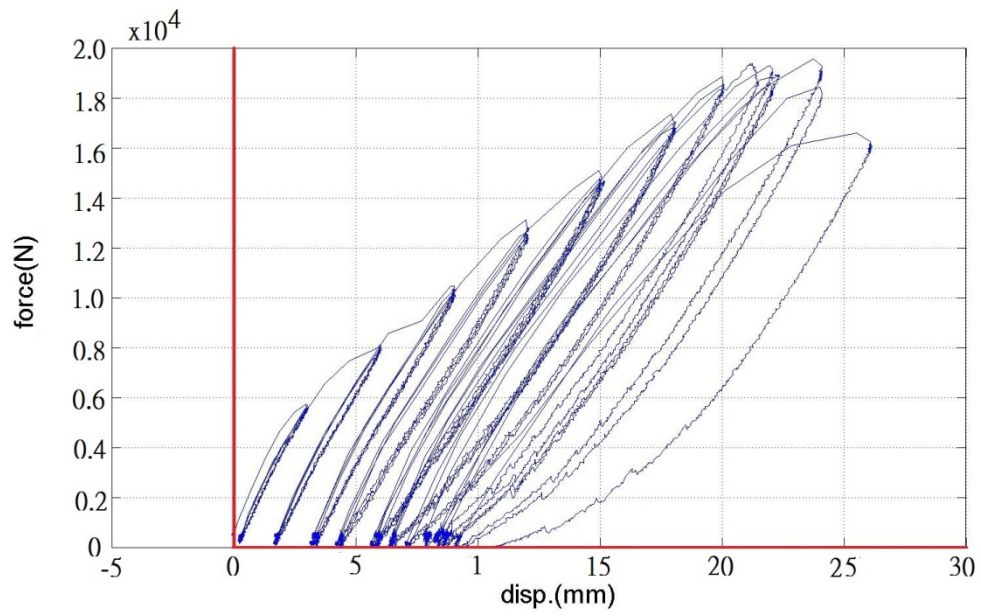


圖 3.10 M2-2 力量位移圖

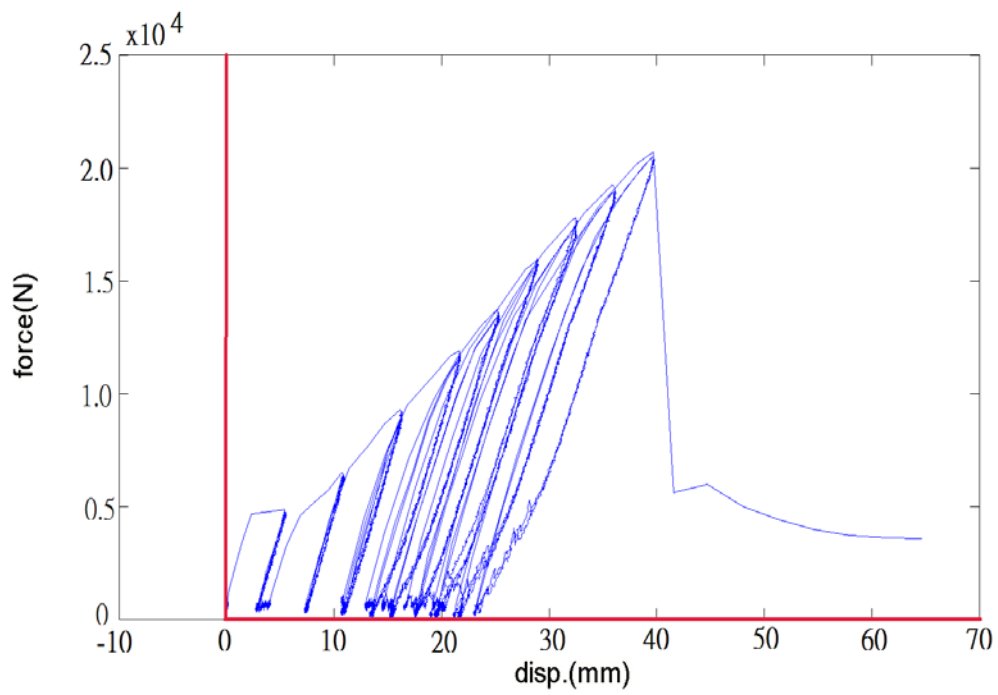


圖 3.11 M2-3 力量位移圖

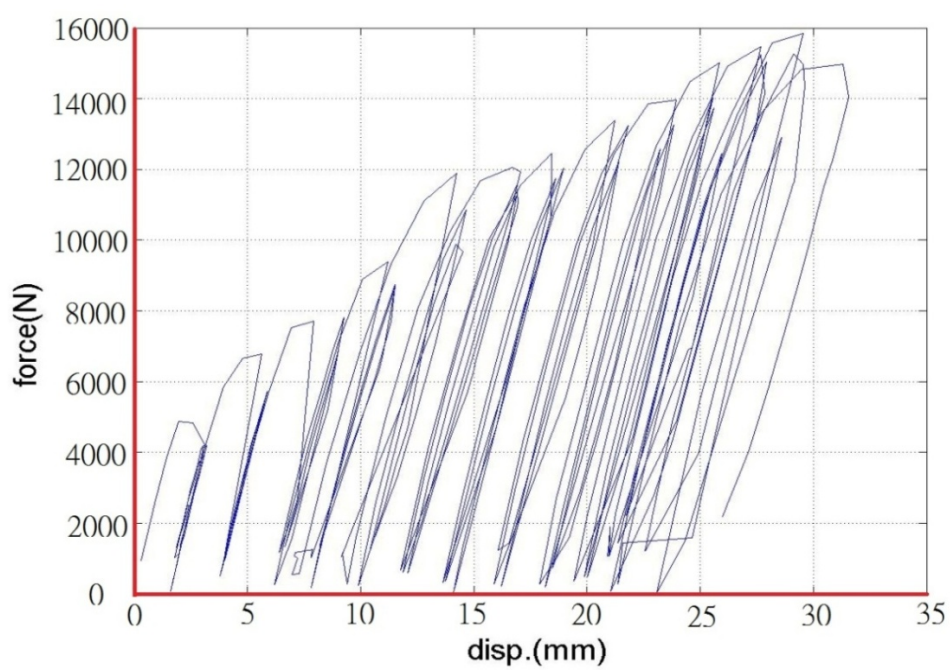


圖 3.12 L2-3 力量位移圖

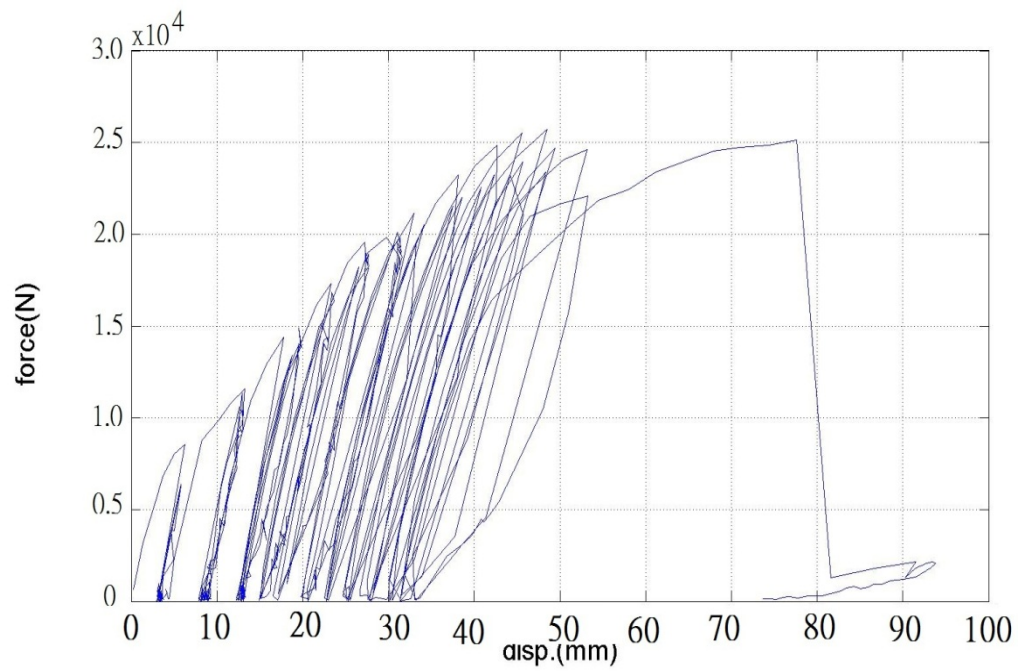


圖 3.13 H4-2 力量位移圖

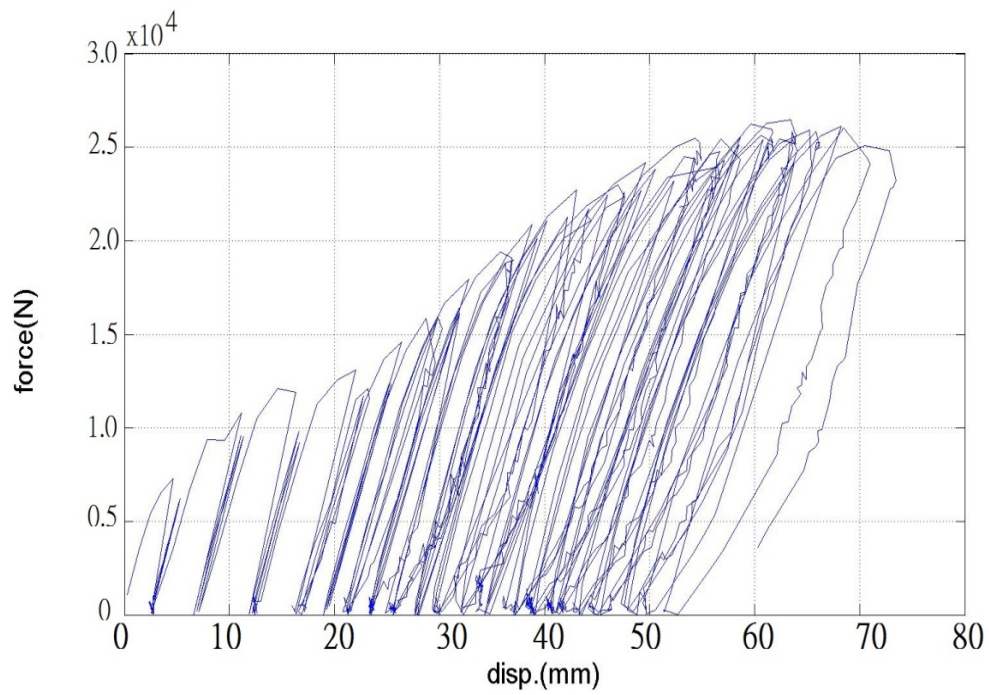


圖 3.14 H4-3 力量位移圖

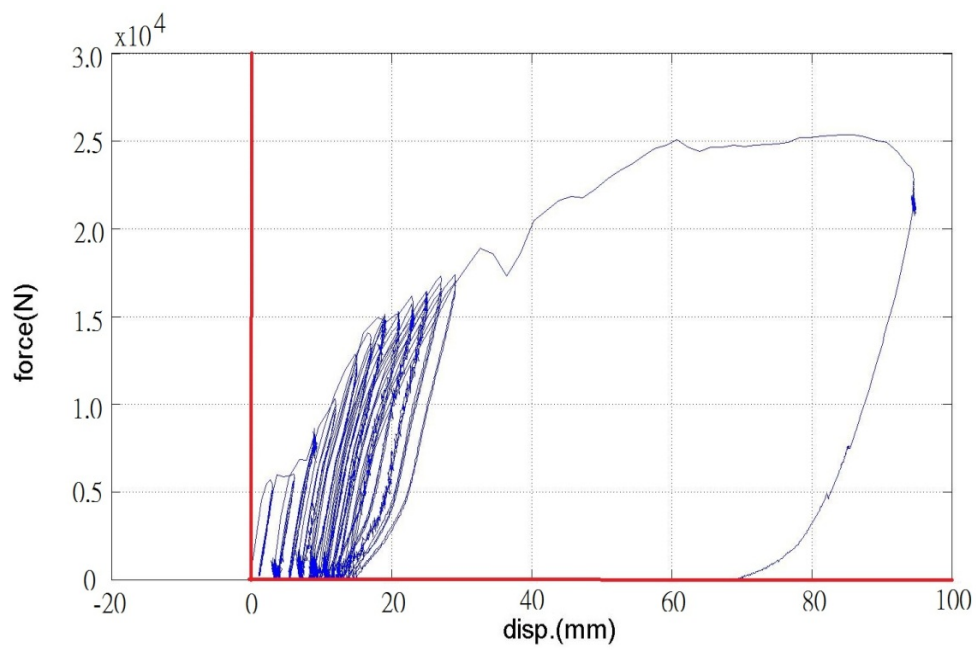


圖 3.15 M4-1 力量位移圖

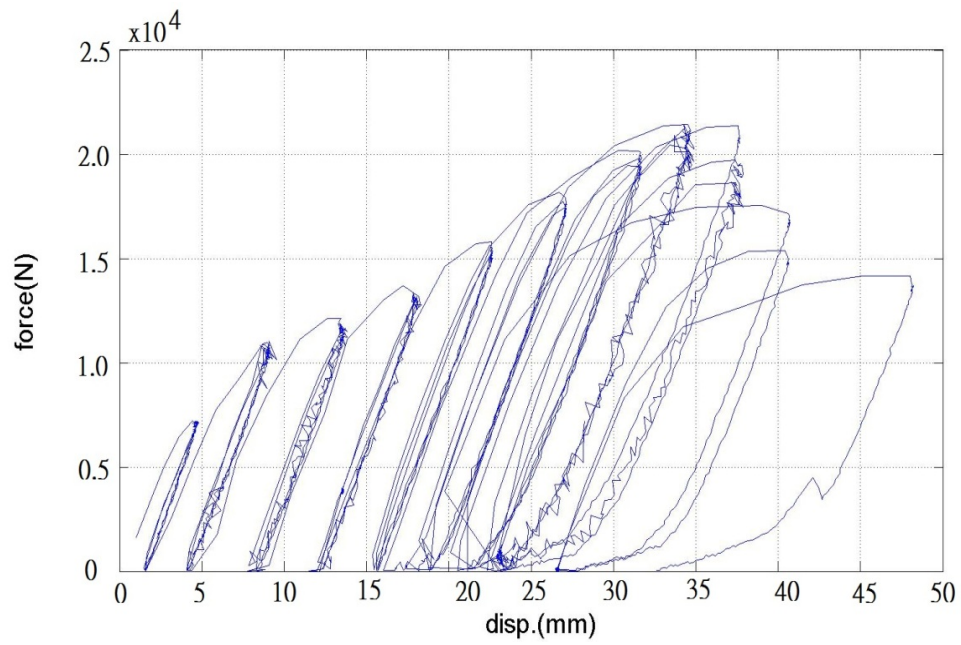


圖 3.16 L4-3 力量位移圖

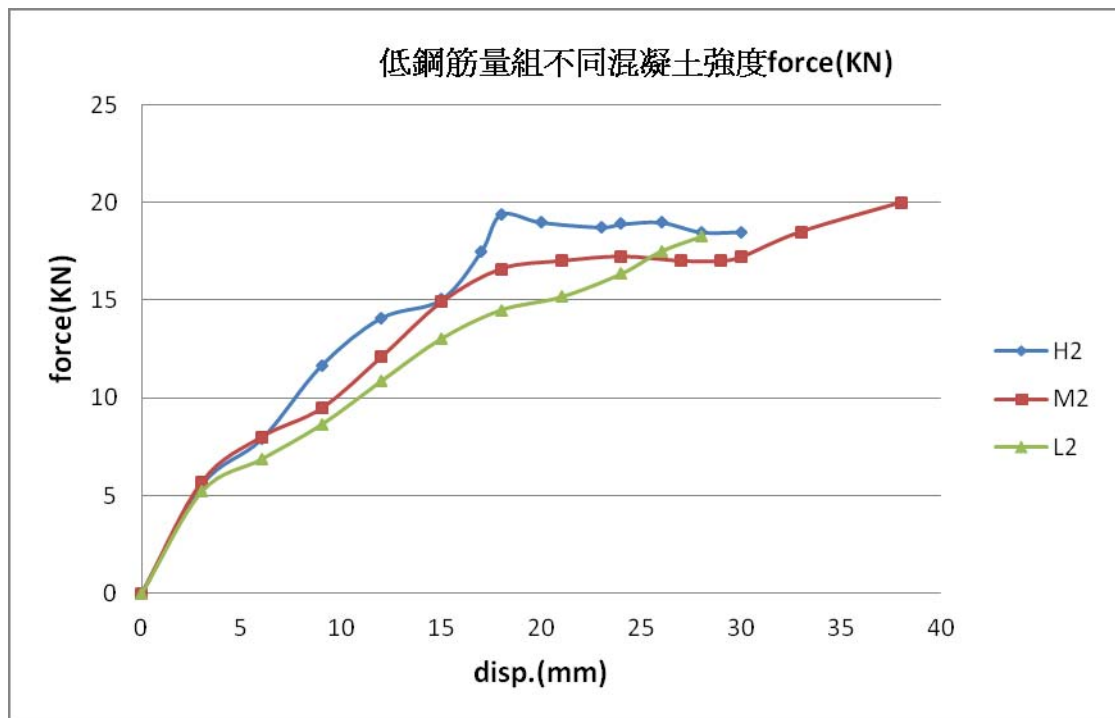


圖 3.17 低鋼筋量組不同混凝土強度受力位移圖

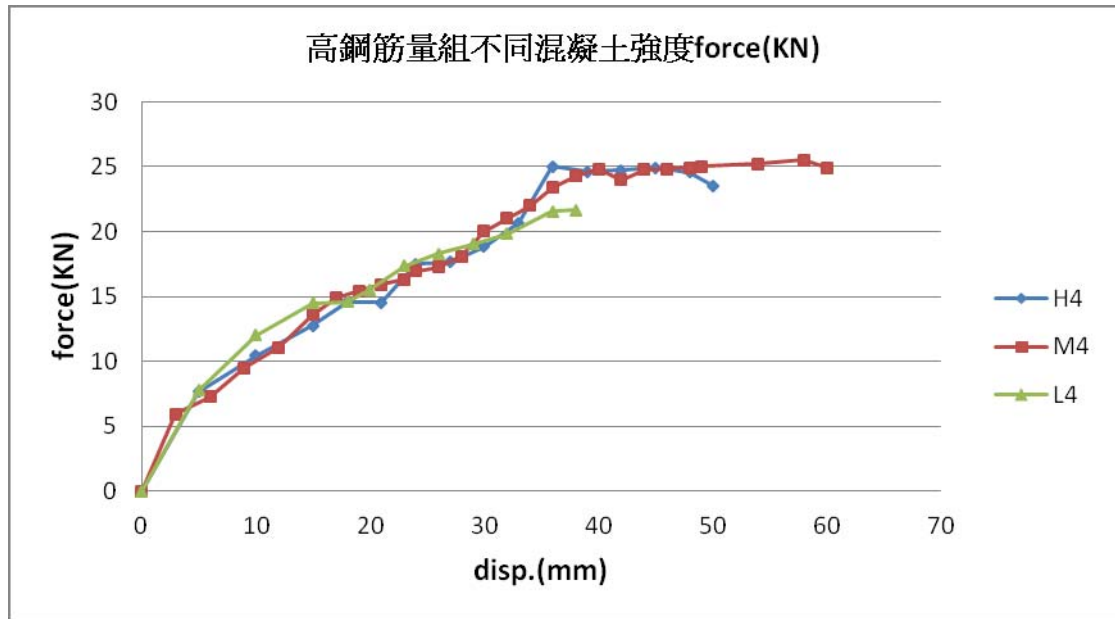


圖 3.18 高鋼筋量組不同混凝土強度受力位移圖

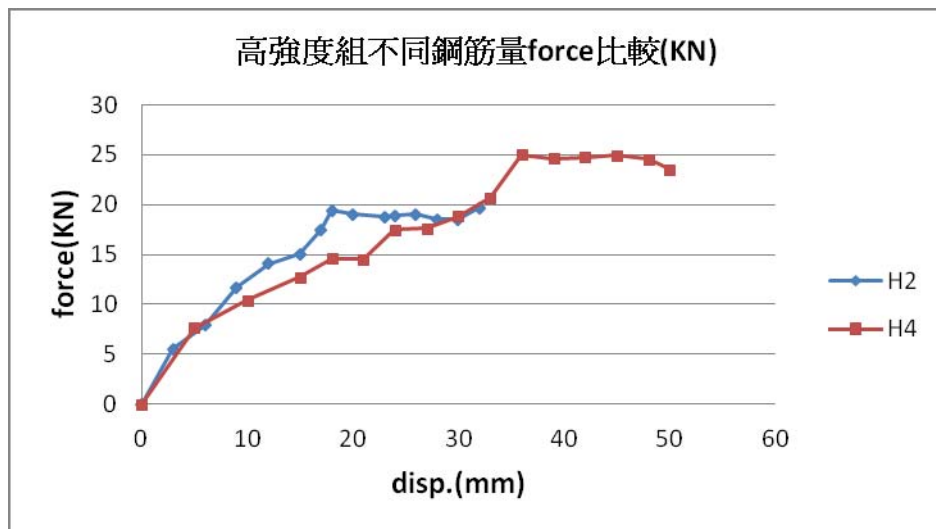


圖 3.19 高強度組不同鋼筋量受力位移圖

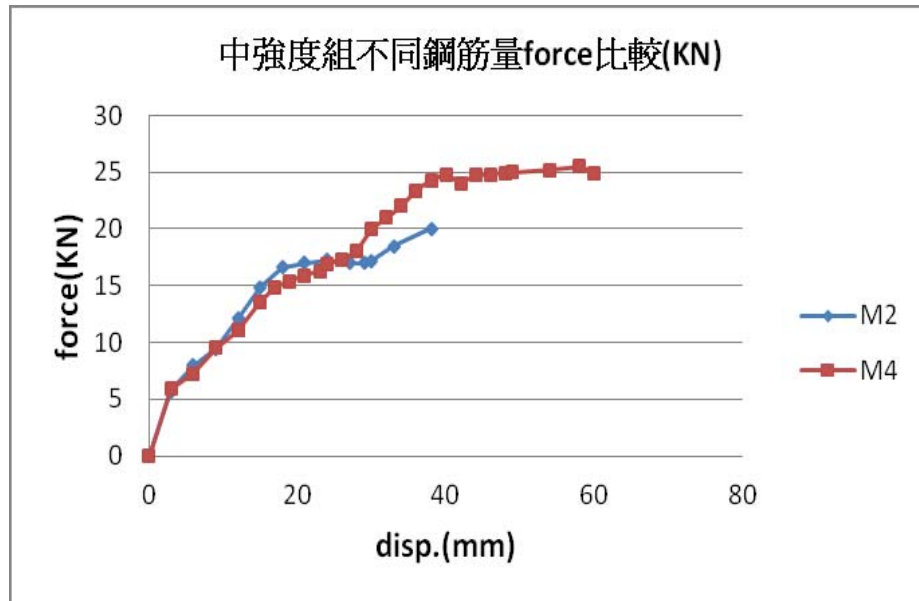


圖 3.20 中強度組不同鋼筋量受力位移圖

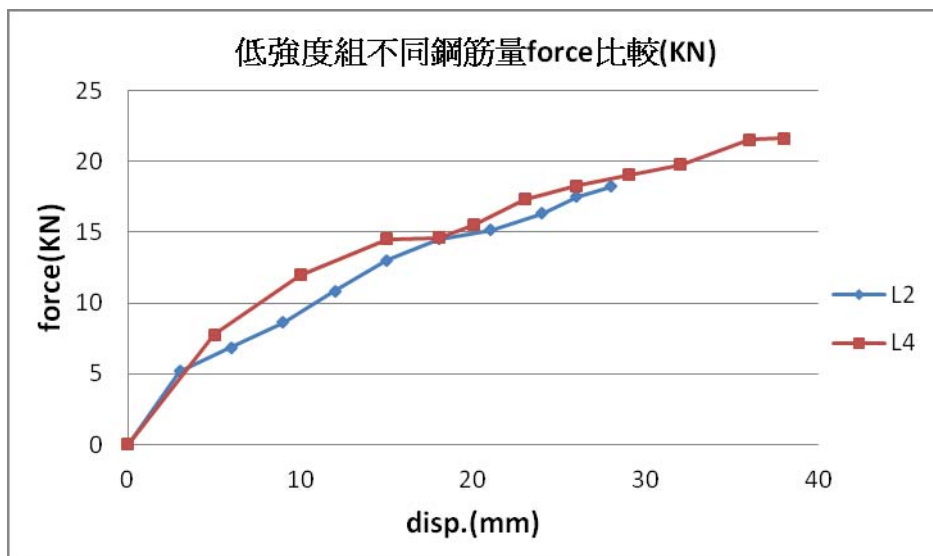


圖 3.21 低強度組不同鋼筋量受力位移圖

3.3.2 試驗模型構件之力學性質

經將往復荷載試驗之遲滯迴圈曲線整理後，將各組不同混凝土強度及鋼筋量之構件繪製其受力與位移圖，如圖 3.17 為低鋼筋量組不同混凝土強度之受力及位移關係圖，圖 3.18 則為高鋼筋量組不同混凝土

強度之受力及位移關係圖。圖 3.17 中顯示當構件中之鋼筋量較低時，混凝土材料之強度對於構件整體之受力行為影響較為明顯，因此在受力過程中達到一定位移量後，不同強度之混凝土構件依設計強度呈現出對應之差異；但最終之強度，各組之間並無明顯差別，試驗結果與預估結果相當接近。但鋼筋量較低時，混凝土強度對於最終位移量之影響在此次試驗結果中並不明顯。

高鋼筋量構件試體之受力行為受混凝土材料強度之影響似乎相對較小，如圖 3.18 所示，在尚未達到低強度混凝土構件破壞前之受力一位移曲線，三種強度之試體受力曲線非常接近，比較大的差異在於構件破壞前最後能達到之位移量，混凝土強度較大之構件其最後位移量亦較大，亦即同樣鋼筋量之條件下，混凝土強度較高時其延展性亦相對較佳。延展性(ductility ratio 或韌性比)在破壞指標的各種參數中均具有相當之重要性，一般由力一位移圖中之最大變位值 δu 與屈服強度對應變位值 δy (或彈性變位值 δe)之比($\delta u/\delta e$)所定義，但其所牽涉之各種材料性質、構件維度及斷面變化之影響則甚為複雜。

圖 3.19 至圖 3.21 所示為力與位移圖，在相同混凝土材料強度但不同鋼筋量時之比較。圖中顯示不管混凝土強度為何，高鋼筋量之構件無論在強度及最終位移量均較低鋼筋量之構件高；但高鋼筋構件試驗結果與理論值比較時，其達到之最大強度則較低，約為設計理論值之 61%至 65%。而低鋼筋量構件之試驗數據則與理論預估值接近，低鋼筋量且為低強度混凝土構件之試驗強度與理論差異較大，但亦達到 85%。因此、無論強度或構件延展性，鋼筋量之影響明顯高於混凝土強度。本試驗中發現、高鋼筋量構件之延展性係數(韌性比)約為低鋼筋量構件之 1.5 至 2.0 倍。

3.3.3 破壞指標應用於試驗結果之探討

本試驗主要探討之重點為，破壞指標以累積吸收應變能為指標之可行性，考慮之主要參數先行以混凝土強度變化及鋼筋量變化為對象。試驗結果中有關構件所吸收之應變能，可由往復荷載中之迴圈計

算其環繞之面積，並將每次環繞之面積加以累積後得出，其結果如表 3-5 所示。將往復荷載試驗之遲滯迴圈曲線內面積積分後，繪製出各組不同混凝土強度及鋼筋量之構件之破壞能量累積圖，如圖 3.22 為低鋼筋量組不同混凝土強度之破壞能量累積圖，圖 3.23 則為高鋼筋量組不同混凝土強度之破壞能量累積圖。圖中顯示，混凝土強度對於構件破壞累積能量之影響並不明顯。

圖 3.24 至圖 3.26 所示同樣為破壞能量累積圖，在相同混凝土材料強度但不同鋼筋量時之比較。圖中顯示不管混凝土強度為何，高鋼筋量之構件無論在變位量及最終累積破壞能量均較低鋼筋量之構件高。因此、對於鋼筋混凝土結構中破壞指標之影響，鋼筋量之變化較混凝土強度之變化影響較大。換言之，鋼筋腐蝕而造成抗拉材料斷面縮小之影響對於整體結構之安全評估將更為重要。

因此、在討論影響延展性係數 α_2 之參數時，鋼筋斷面損失係數 β_1 亦將更為重要。若以本試驗設計，高鋼筋量為低鋼筋量之兩倍，但高鋼筋量構件之破壞能量，在混凝土強度較高時，約為低鋼筋量構件之破壞能量之 4 倍左右，在混凝土強度較低時，高鋼筋量構件之破壞能量則約為低鋼筋量構件之破壞能量之 6 倍左右。可見鋼筋混凝土構件之破壞能量與鋼筋量之關係約為二次正關係。

表 3-5 試驗數據得出之構件吸收能量數據

組別	總能量(N-mm)	組別加總 (N-mm)	平均(N-mm)
H2	536,900.37	1,103,144	367,714.33
M2	321,724.61		
L2	244,518.84		
H4	2,317,937.17	5,727,700.67	1,909,233.56
M4	2,137,418.00		
L4	1,272,345.50		

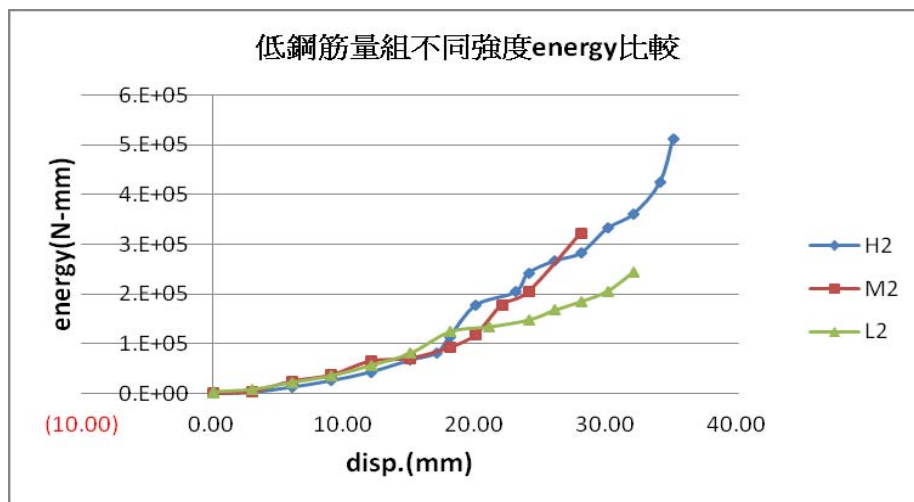


圖 3.22 低鋼筋量組不同強度混凝土構件破壞能量累積圖

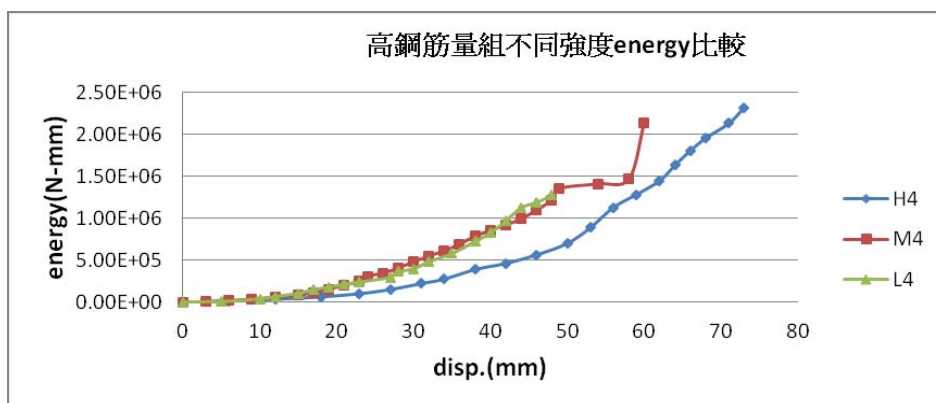


圖 3.23 高鋼筋量組不同強度混凝土構件破壞能量累積圖

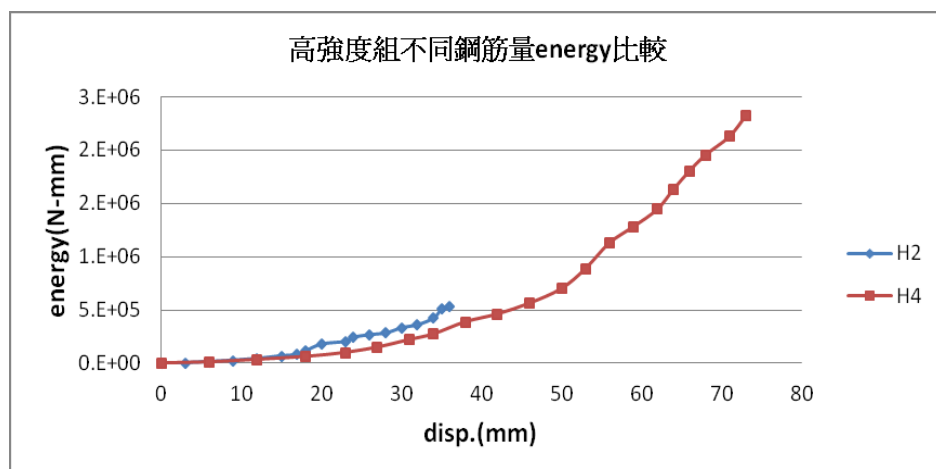


圖 3.24 較高強度混凝土不同鋼筋量構件破壞能量累積圖

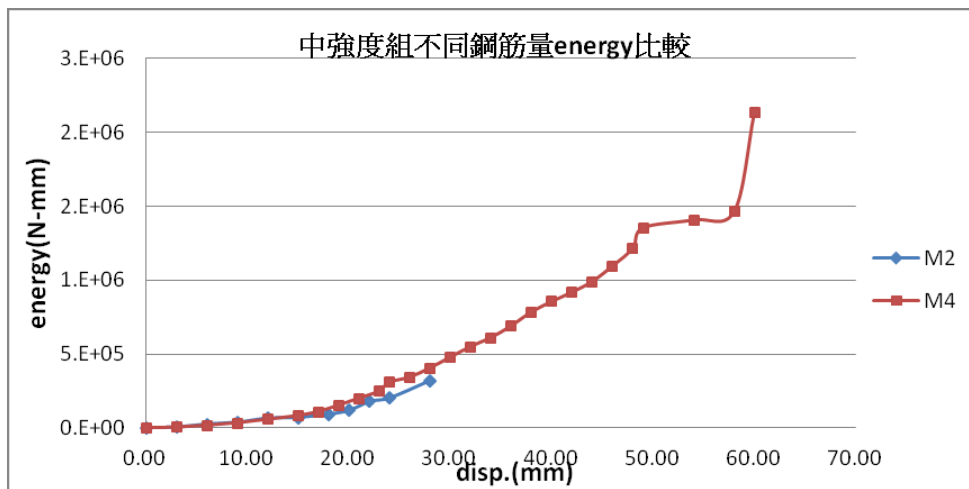


圖 3.25 中強度混凝土不同鋼筋量構件破壞能量累積圖

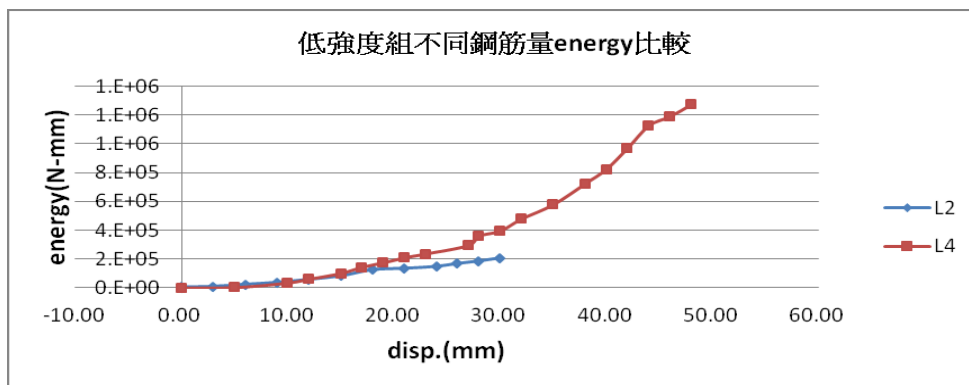


圖 3.26 低強度混凝土不同鋼筋量構件破壞能量累積圖

若欲計算本試驗構件之破壞指標，則需計算其累積破壞能量，並代入破壞指標公式(3-1)及(3-2)中，其中各構件之原始參數 Q_y 假設為設計強度，而最大變形量 δ_u 則假設為試驗所得之平均最大值，經計算後六組構件之原始強韌度(toughness)並與累積破壞能量相互比較如表 3-6 所示。

表 3-6 各組構件之原始強韌度及比較

比較	H2	M2	L2	H4	M4	L4
Q_y, N	21629	21304	20816	40036	38736	36792
$\delta u, mm$	31.3	27.6	24.9	53.13	57.49	38.39
$Q_y \times \delta u$	676988	587990	518318	2127112	2226932	1412444
β	1	1	1	1	1	1
$\beta \Sigma E$	536,900	321724	244,518	2,317,937	2,137,418	1,272,345
%	79.3	54.7	47.2	108.9	96	90.08
修正 β	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
修正 $\beta \Sigma E / Q_y \delta u$	1.58	1.09	0.944	1.08	0.96	0.90

3.4 小結

高鋼筋構件試驗結果與理論值比較時，約為設計理論值之 61%至 65%。而低鋼筋量構件之試驗數據則與理論預估值接近，低鋼筋量且為低強度混凝土構件之試驗強度與理論差異較大，但亦達到 85%。本試驗中發現、高鋼筋量構件之延展性係數(韌性比)約為低鋼筋量構件之 1.5 至 2.0 倍。鋼筋混凝土結構中破壞指標之影響，鋼筋量之變化較混凝土強度之變化影響較大。因此，鋼筋腐蝕而造成抗拉材料斷面縮小之影響對於整體結構之安全評估將更為重要。高鋼筋量為低鋼筋量之兩倍， β 1 高鋼筋量構件之破壞能量，在混凝土強度較高時，約為低鋼筋量構件之破壞能量之 4 倍左右，在混凝土強度較低時，高鋼筋量構件之破壞能量則約為低鋼筋量構件之破壞能量之 6 倍左右。

第四章 港灣構造物維護管理系統建置

4.1 現有系統架構說明

本計劃系統執行架構詳述如下圖 4.1 所示，其主要資料庫設計如表 4-1~表 4-9 所示：

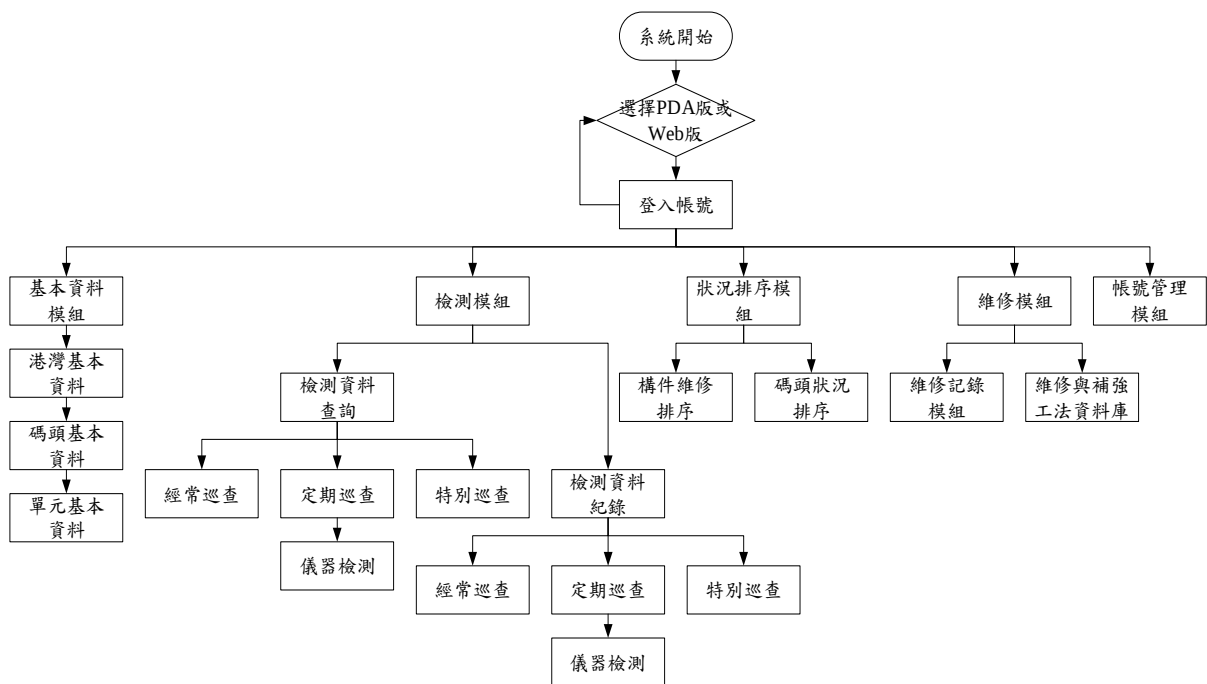


圖 4.1 港灣設施維護管理系統功能架構

1. 基本資料模組

基本資料模組主要為各港灣、碼頭與單元的基本資料查詢，故港灣基本資料可查詢港灣編號、港灣名稱、港灣介紹、港灣照片與碼頭數量等資料，並可藉港灣編號聯集查詢碼頭基本資料，包含碼頭編號、碼頭名稱、碼頭型式、所在縣市...等資料。而單元基本資料亦可藉由碼頭編號，藉此將港灣與碼頭基本資料關聯，藉此查詢單元基本資料，包含單元編號、結構型式、單元長度、梁數量...等資料。

2. 檢測資料模組

檢測資料查詢部分依其資料庫建置港灣、碼頭與單元編號，故查詢時，可藉由聯集查詢，依使用者需求顯示歷史檢測資料。檢測資料新增部分，亦藉由前述聯集查詢方式便於讓使用者選定欲檢測標的，並將檢測資料輸入資料庫中，其輸入內容包含港灣編號、碼頭編號、單元編號、檢測日期、天候狀況、檢測單位、填表人員、檢測類型、結構型式、劣化構件、劣化類型、劣化狀況、劣化範圍、劣化位置、劣化數量與劣化照片等。

3. 狀況排序模組

狀況排序模組乃將檢測資料庫中各單元構件劣化狀況依各構件狀況指標計算方式進行排序，並配合維修工法資料庫，在劣化構件、劣化類型、劣化狀況之條件下搜尋適合的維修工法，配合其所建置之維修單價與檢測資料之劣化數量進行計算，藉以求取維修金額。另外，針對碼頭狀況指標，則藉由檢測資料庫配合其計算原則藉以選擇單碼頭各類型構件最嚴重者進行加權計算，藉以求得碼頭狀況指標。

4. 維修紀錄模組

維修紀錄模組其為紀錄實際之修復成果，雖然修復工作會參照檢測結果進行，但實際修復數量多大於檢測劣化數量，故此資料庫之資料紀錄將與檢測資料獨立。故其僅藉由港灣、碼頭與單元編號和基本資料庫進行關聯，藉此輸入修復資料。

5. 權限管理模組

維修紀錄模組其為紀錄實際之修復成果，雖然修復工作會參照檢測結果進行，但實際修復數量多大於檢測劣化數量，故此資料庫之資料紀錄將與檢測資料獨立。故其僅藉由港灣、碼頭與單元編號和基本資料庫進行關聯，藉此輸入修復資料。

表 4-1 港灣基本資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	港灣介紹	文字	
5	港灣照片	OLE 物件	
6	照片副檔名	文字	
7	碼頭數量	數字	

表 4-2 碼頭基本資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	碼頭編號	文字	
5	碼頭名稱	文字	
6	碼頭型式	文字	
7	所在縣市	文字	
8	管理機關	文字	
9	碼頭管理者	文字	
10	竣工日期	日期/時間	
11	啟用日期	日期/時間	
12	工程經費	數字	
13	碼頭用途	文字	
14	碼頭長度	數字	
15	軌道長度	數字	
16	岸肩寬度	數字	
17	岸肩高程	數字	
18	繫船柱數量	數字	
19	自重	數字	
20	設計均佈載重	數字	
21	設計震度	數字	
22	設計水深	數字	
23	殘留水位	數字	

表 4-3 碼頭單元基本資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	碼頭編號	文字	
5	碼頭名稱	文字	
6	結構型式	文字	
7	縱向墩柱數量	數字	
8	縱向墩柱間距	數字	
9	單元長度	數字	
10	冠牆深度	數字	
11	梁數量	數字	
12	梁深度	數字	
13	梁寬度	數字	
14	繫船柱數量	數字	
15	防舷材數量	數字	

表 4-4 單元檢測資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	碼頭編號	文字	
4	檢測日期	日期/時間	
5	天候狀況	文字	
6	檢測單位	文字	
7	填表人員	文字	
8	檢測類型	文字	
9	單元編號	文字	
10	結構型式	文字	
11	劣化構件	文字	
12	劣化類型	文字	
13	劣化狀況	數字	
14	劣化位置	文字	
15	劣化數值	數字	
16	單位	文字	
17	照片	OLE 物件	
18	副檔名	文字	

表 4-5 維修紀錄資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	碼頭編號	文字	
4	維修日期	日期/時間	
5	天候狀況	文字	
6	維修單位	文字	
7	填表人員	文字	
8	單元編號	文字	
9	劣化構件	文字	
10	劣化類型	文字	
11	維修工法	文字	
12	維修數量	數字	
13	維修金額	數字	
14	照片	OLE 物件	
15	副檔名	文字	

表 4-6 構件拆解資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	結構型式	文字	
2	構件類型	文字	
3	劣化構件	文字	
4	劣化類型	文字	

表 4-7 維修工法資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	結構型式	文字	
2	劣化構件	文字	
3	劣化類型	文字	
4	劣化狀況	數字	
5	維修工法	文字	
6	維修單價	數字	

表 4-8 權重資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	結構型式	文字	
2	劣化構件	文字	
3	權重	數字	

表 4-9 權限管理資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	userid	數字	
2	id	數字	
3	Type	文字	
4	Email	文字	
5	name	文字	
6	org	文字	
7	tel	文字	
8	AuthCode	文字	

4.2 現有碼頭設施維護管理系統更新

4.2.1 系統檢測標準修正

本計畫針對系統檢測標準進行三項修正，分述如下：

- 1.在檢測資料模組新增頁面中，將劣化範圍(E)選項刪除，使用者僅需針對劣化狀況進行判別，如圖 4.2 所示。
- 2.在檢測資料模組新增頁面中，增加目視檢測標準示意圖，並結合目視檢測標準說明，以利使用者進行判別，如圖 4.2 所示。

功能選單

經常檢測

定期檢測

特別檢測

基隆港西14碼頭定期檢測資料 - 新增

檢測單位	TCRI	單元編號	B2
檢測日期	2012/11/27 (YYYY/MM/DD)	劣化構件	附屬設施-繫船柱
港灣名稱	基隆港	劣化位置	無
檢測類型	定期檢測	劣化數量	3 單位 ☐ m ☒ m2
結構型式	棧橋式		
劣化類型	腐蝕龜裂		
劣化狀況	3		

劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
腐蝕龜裂	2	材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形
	3	材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形
	4	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂

劣化照片

檢測員意見

材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形
 D=2

材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形
 D=3

材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂
 D=4

圖 4.2 檢測資料模組新增頁面修正示意圖

3. 針對既有檢測資料，將劣化範圍(E)值刪除，如圖 4.3 所示。

特別檢測	檢測單位	TCRI	檢測人員	cyjian
	檢測日期	2012/11/14	檢測天氣	晴
	港灣名稱	基隆港	碼頭編號	W14
	檢測類型	定期檢測	單元編號	B1
	結構型式	棧橋式	劣化構件	重板-岸角
	劣化類型	裂縫	劣化位置	X5V6
	劣化狀況	2	劣化數量	3 單位 m
	劣化照片			

圖 4.3 檢測資料模組劣化狀況頁面修正示意圖

4.2.2 系統初步檢測安全評估方式修正

本計畫針對系統初步檢測安全評估方式進行三點修正，分述如下：

1. 針對結構分析與補強設計部份，將劣化狀況=4 之構件配合權重進行狀況指標計算(如圖 4.4 所示)，達此等級之劣化若為結構性構件則需委由顧問公司進行結構分析與補強設計，若為附屬設施，則需進行構件之更換。
2. 針對一般性修復部份，將劣化狀況 ≤ 3 之構件配合權重進行狀況指標計算(如圖 4.5 所示)，達此等級之劣化，可依附錄 1 之維護管理手冊第五章所列工法與劣化狀況之等級進行處置之選擇，圖中之維修金額由於單價資料未建置，故目前與劣化數量相同，待後續建置後即可藉由系統自行計算。
3. 對碼頭整體部份，將各構件劣化狀況最嚴重者配合構件權重進行狀況指標計算(如圖 4.6 所示)，此計算之結果可供轄管單位針對所轄碼頭進行排序，以瞭解維護之需求。

基隆港西14碼頭構件狀況排序-結構分析與補強設計

單元編號	劣化構件	劣化類型	劣化位置	狀況指標	劣化數量
B17	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.74
B5	面板-梁	裂縫	B1	0.28	0.8
B6	面板-梁	裂縫	B1	0.28	0.8
B6	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.25
B3	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.5
B2	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	2
B13	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	2.2
B4	面板-梁	裂縫	B1	0.28	0.6
B14	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.3
B6	面板-梁	裂縫	B4	0.28	1.1

圖 4.4 港灣設施維護管理系統-碼頭構件狀況排序 1

單元編號	劣化構件	劣化類型	劣化位置	狀況指標	維修工法	劣化數量	維修金額
B18	墩柱	裂縫	P1	1.47	灌注環氧樹脂工法	4	4
B18	墩柱	裂縫	P1	1.47	灌注環氧樹脂工法	2	2
B1	墩柱	裂縫	P9	0.98	樹脂砂漿塗抹工法	0.3	0.3
B16	拋石護坡	破壞	XY	0.72	持續監測	66	66
B15	土堤-岸肩	腐蝕	X22.8Y6.2	0.57	混凝土及鋼筋修補	0.5	0.5
B7	土堤-岸肩	腐蝕	X13Y7.4	0.57	混凝土及鋼筋修補	0.3	0.3
B20	拋石護坡	破壞	X2Y2	0.48	持續監測	22	22
B7	土堤-岸肩	裂縫	X13.5Y10.8	0.38	樹脂砂漿塗抹工法	10.34	10.34
B2	面板-梁	腐蝕	B4	0.21	混凝土及鋼筋修補	0.06	0.06
B6	面板-梁	腐蝕	B4	0.21	混凝土及鋼筋修補	0.6	0.6

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...

圖 4.5 港灣設施維護管理系統-碼頭構件狀況排序 2

劣化構件	劣化程度	狀況指標	分數
面板-梁	4	0.16	
面板-岸肩	3	0.03	
面板-岸肩底部	4	0.04	
面板-冠牆	4	0.04	
面板-法線	1	0.02	2.64
面板-後線	1	0.01	2.77
墩柱	3	1.47	
拋石護坡	3	0.72	
海床	1	0.15	

圖 4.6 港灣設施維護管理系統-碼頭狀況指標

4.2.3 經常巡查輸入方式之修正

此類型巡查輸入方式依「碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊」附件 1 表 1 的檢測表格進行修正，為改善此類型巡查的檢測速度，將各構件(岸上)的劣化狀況以是/否值判斷(如圖 4.7 所示)，而各劣化異狀的描述即為目視檢測標準等級 4 作為區分，以利快速執行。依圖 1.1 若為”是”，則需進行緊急維修，若為”否”，則進行年度維修。

使用者: mochiu [登出](#)

港灣設施維護管理系統

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.

[首頁](#)
[基本資料模組](#)
[檢測資料模組](#)
[狀況排序模組](#)
[維修紀錄模組](#)
[權限管理模組](#)

功能選單

- 經常檢測
- 定期檢測
- 特別檢測

基隆港西14碼頭經常檢測資料-新增

檢測單位			
檢測人員			
檢測日期	(YYYY/MM/DD)		
檢測天氣	☐ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨		
港灣名稱	基隆港		
碼頭編號	西14		
碼頭用途	☐ 貨櫃碼頭 ☐ 散雜貨碼頭 ☐ 客運碼頭 ☐ 其他碼頭		
碼頭型式	☐ 重力式 ☐ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 混合式		
檢測單元	B:		
劣化位置	X: Y:		

巡查項目		判斷準則	劣化數量
岸肩	裂隙	裂隙擴散至整個岸肩	☐ 是 ☐ 否 0m
	沈陷	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	☐ 是 ☐ 否 0m2
	沈陷	岸肩嚴重下陷(面積>5 m2、高度>2.5 cm)(雨天檢視)	☐ 是 ☐ 否 0m2
後緣	沈陷	岸肩嚴重下陷(高度>10 cm、面積>10 m2)	☐ 是 ☐ 否 0m2

巡查項目		判斷準則	劣化數量
繫船柱	腐蝕龜裂	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	☐ 是 ☐ 否 0個
防舷材	龜裂破損	材質老化、構件變形或掉落	☐ 是 ☐ 否 0個
車擋	龜裂破損	材質嚴重龜裂或脫落	☐ 是 ☐ 否 0個
起重機軌道	腐蝕位移	兩軌間距高差≥4.25mm	☐ 是 ☐ 否 0m
		兩軌間距左右差≥10mm 大範圍生鏽影響功能	

劣化照片

[瀏覽...](#)

儲存

圖 4.7 經常巡查檢測表格輸入畫面

4.3 防波堤維護管理系統建置

1. 構件編碼

防波堤因為連續性結構，故以構件拆解方式或以一間距方式進行編碼會較為繁瑣，且不利現場檢測作業，故檢測作業上，以 GPS 記錄劣化位置的方式進行檢測記錄。如圖 4.8 所示，圖中防波堤所建置之檢測基本資料為港灣名稱、防波堤編號、檢測單位、檢測日期、檢測人員、與氣候等。而針對劣化異狀之記錄，則由檢測人員於現場記錄異狀發生位置(GPS 值)、記錄劣化構件類型、劣化類型、劣化狀況、劣化範圍(記錄面積或長度)與劣化照片。

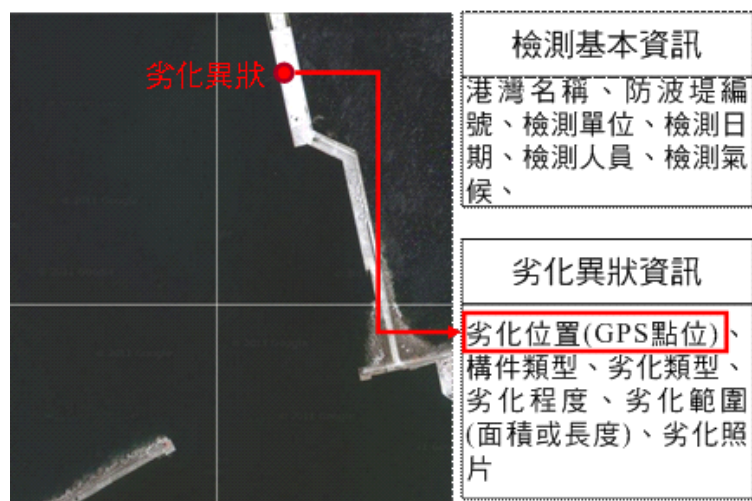


圖 4.8 防波堤目視檢測記錄內容

2. 系統架構與模組說明

配合前述之維護管理程序，系統架構即可分為基本資料模組、檢測模組、維修排序模組、維修工法模組與維修記錄模組，各模組說明如下：

- (1)基本資料模組：紀錄防波堤設施周遭之環境資料與設施本體的設計資料。
- (2)檢測模組：針對不同類型之巡查作業擬定其檢測內容，其內容包含構件類型與劣化異狀評估方式。
- (3)維修排序模組：針對各單元檢測後之資料，以其評估狀況進行排序，以便決定修復之優先序。
- (4)維修工法模組：針對排序後之構件劣化狀況，建議其維修工法與瞭解其經費概算。
- (5)維修記錄模組：雖前述維修排序與工法模組針對劣化構件有其修復上的建議，但實際的修復仍需視實際執行為主，故維護管理系統應配合其修復執行結果進行記錄。

3. 系統建置成果

系統資料庫架構如下所示，表 4-10 為防波堤設施基本資料表，儲存該設施的一般性資料，表 4-11 為防波堤設施檢測資料表，儲存該設施的各類型巡查目視檢測資料。圖 4.9 為防波堤設施檢測記錄輸入頁面，圖中除輸入一般性檢測資料，如檢測單位、檢測人員、檢測日期、檢測天氣、港灣名稱、防波堤編號與型式後，再依其劣化構件進行選擇，並選取其劣化類型與劣化狀況，劣化狀況可參考其下的文字說明進行參考，最後並輸入劣化位置、劣化數量與劣化照片後即可儲存於系統中。圖 4.10 為防波堤設施各檢測記錄歷史資料列表，圖中可查詢各防波堤的歷史檢測資料，並可依此查詢各筆檢測記錄，各檢測記錄資例如圖 4.11 防波堤設施檢測記錄查詢頁面所示。

表 4-10 防波堤設施基本資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	港灣編號	文字	
3	港灣名稱	文字	
4	防波堤編號	文字	
5	防波堤名稱	文字	
6	防波堤型式	文字	
7	所在縣市	文字	
8	管理機關	文字	
9	防波堤管理者	文字	
10	竣工日期	日期/時間	
11	啟用日期	日期/時間	
12	工程經費	數字	
13	防波堤長度	數字	
14	堤頂高	數字	

表 4-11 防波堤設施檢測資料表

項次	欄位名稱	資料類型	備註
1	id	自動編號	不可重複
2	檢測單位	文字	
3	檢測人員	文字	
4	檢測日期	日期/時間	
5	檢測天氣	文字	
6	港灣名稱	文字	
7	防波堤編號	文字	
8	檢測類型	文字	
9	結構型式	文字	
10	劣化構件	文字	
11	劣化類型	文字	
12	劣化狀況	數字	
13	劣化位置	文字	
14	劣化數值	文字	
15	照片	文字	
16	檢測員意見	文字	

基隆港西A防波堤經常檢測資料 - 新增

檢測單位	TCRI	檢測人員	簡臣佑
檢測日期	2012/11/27 (YYYY/MM/DD)	檢測天氣	☒ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨
港灣名稱	基隆港	防波堤編號	西A
結構型式	重力式	劣化構件	覆面層
劣化類型	移動、散亂及下滑	劣化狀況	X : 3 Y : 2
劣化位置	3	劣化數量	5 單位 ☐ m ☒ m2

劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	
移動、散亂及下滑	2	受損不明顯(護面破壞約 $\leq 3m^2$)，但並未漏砂	圖示
	3	明顯受損(護面破壞約 $3 \sim 12m^2$)，堤面出現孔洞，但並未漏砂	
	4	嚴重受損(護面破壞約 $> 12m^2$)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂	

劣化照片	瀏覽...
檢測員意見	

圖 4.9 防波堤設施檢測記錄輸入畫面

功能選單

經常檢測

定期檢測

特別檢測

基隆港西A防波堤經常檢測資料

新增檢測資料

依日期搜尋：

2012/11

檢測日期	劣化構件	劣化類型	劣化狀況	劣化位置	
2012/11/27	堤前(後)坡	裂縫	3	X5Y6	詳細資料
2012/11/27	基礎	沖刷	3	X20Y20	詳細資料
2012/11/27	堤前(後)坡	剝落	3	X5Y4	詳細資料
2012/11/27	覆面層	移動、散亂及下滑	3	X5Y5	詳細資料

圖 4.10 防波堤設施各檢測記錄歷史資料列表

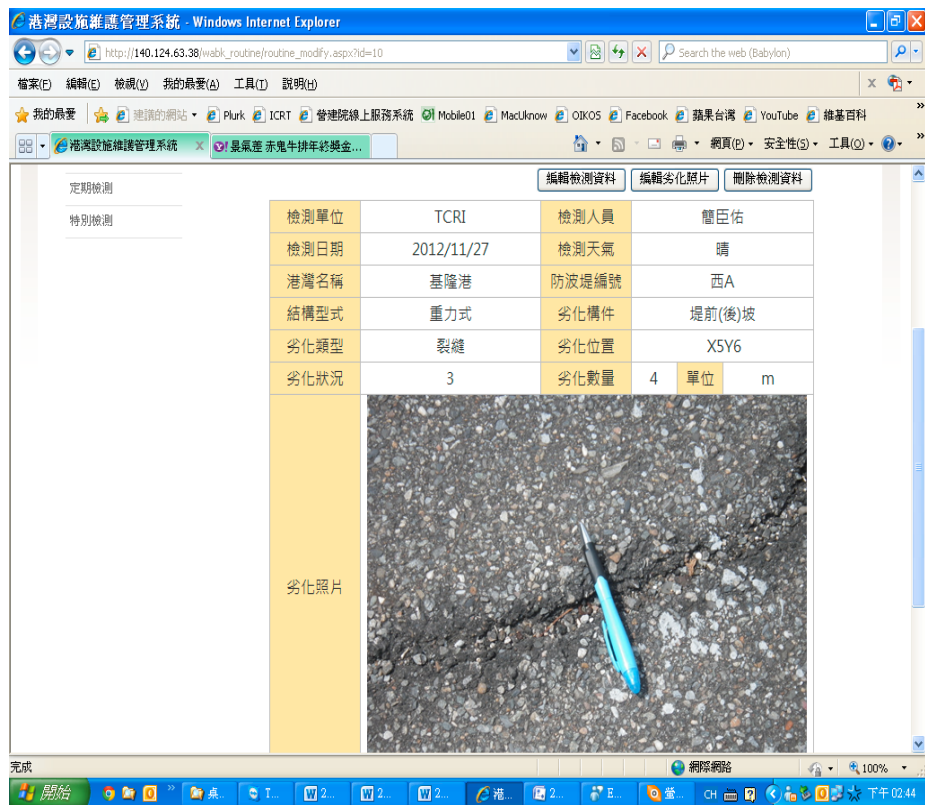


圖 4.11 防波堤設施檢測記錄查詢畫面

4.4 小結

本節藉由 4.1 節說明系統整體架構與其功能，其後配合圖 1.1 各類型巡查之維護管理流程，說明系統於此流程中修正之對應(如圖 4.12 所

示)。4.2.1 節說明檢測標準修訂後，系統所對應之變更，包含目視檢測標準改為單一之劣化狀況、部分構件劣化異狀之狀況等級修訂與各構件劣化圖示(或照片)之增加。4.2.2 節內容將第二章之初步安全檢測評估之方式與構件權重進行系統之修正。最後，為符檢測之需求以增加經常巡查之快速與便利性，修正系統經常性巡查檢測資料之輸入方式。另外，本年度亦增加港灣防波堤設施(4.3 節)，以便檢測人員新增檢測資料與進行查詢。

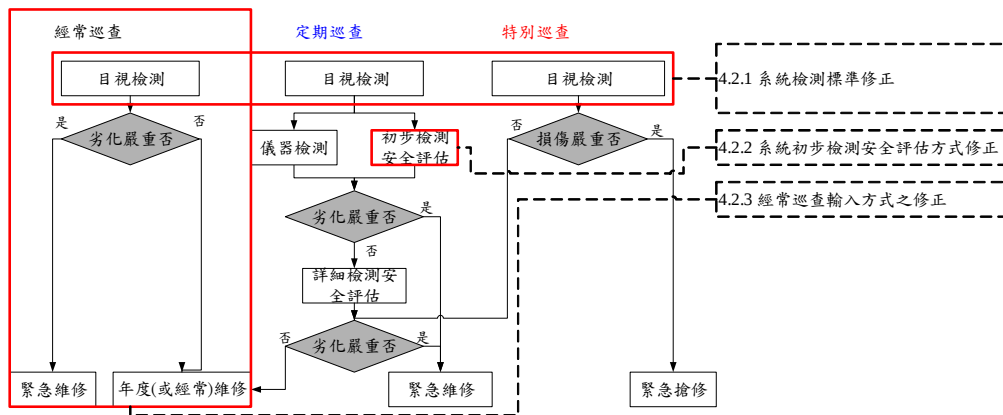


圖 4.12 港灣構造物維護管理系統修正與維護管理流程之對應

第五章 碼頭結構物檢測及評估和維護管理手冊修訂

本章所提手冊乃依據「基隆港西 14 至西 15 號碼頭結構安全檢測評估與系統建置」乙案修改而成，修正內容為本案今年度針對目視檢測標準修改之部分、增加各劣化異狀的圖示(或照片)、初步檢測安全評估方式與各構件權重值的修改、增加各類型巡查表格與詳細檢測安全評估方式等。後續各節將對維護管理手冊與維護管理系統使用手冊之架構內容進行說明，詳細的內容請參閱附錄 1 與附錄 2 所示。

5.1 碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊撰寫

1. 第一章 碼頭設施檢測類型與頻率

說明各經常、一般與特殊巡查進行的時機，負責單位與檢測的進行方式。由於碼頭設施大部分為水下構造，故亦說明派遣水下人員進行目視檢測之巡查注意事項。

2. 第二章 碼頭設施構件編碼原則

說明重力式、板樁式與棧橋式三類碼頭與防波堤設施編碼的原則。重力與板樁式為連續性結構，故檢測以 10m 為一單元進行，棧橋式碼頭為構架結構，故檢測以墩柱之兩間距為一單元進行。

3. 第三章 碼頭設施目視檢測評估標準

目視檢測標準乃依重力式、板樁式與棧橋式碼頭與防波堤設施之構件，依其可能之劣化異狀，建議其劣化狀況等級，每一等級皆為 1~4(其中 1 為無劣化，故未顯示)。並於各設施劣化檢測標準表格之後，提供各劣化異狀圖示(或照片)，以供檢測人員現場執行之參考。

4. 第四章 碼頭設施儀器檢測

各檢測依「鋼筋混凝土構造物儀器檢測」(其中分為非破壞性與

部分破壞性試驗)、「鋼構造物儀器檢測」與「其他類型儀器檢測」說明適用於碼頭結構物的技術。

5. 第五章 碼頭設施修復排序與工法選擇

說明碼頭設施維修排序方式(單一構件與整體設施)，並配合 2.3 節初步檢測安全評估方式以及各設施構件之權重進行。修復工法配合「碼頭設施目視檢測評估標準」對應各劣化狀況之修復工法或處置對策。

6. 附件 各類型巡查表格

提供各類型巡查表格，其中定期巡查又依不同碼頭類型而進行區分。

5.2 港灣設施維護管理系統使用手冊撰寫

1. 系統主畫面說明

系統登入方式之說明與系統首頁所包含的資訊，包含 A.主功能選單：網站主要功能區，包括基本資料、檢測資料、狀況排序、維修紀錄、權限管理模組、B.資訊展示區：提供各功能選單詳細資訊與 C.使用者資訊：顯示目前使用者狀況。

2. 系統功能使用說明

系統功能包含 1.基本資料模組：提供港灣、碼頭及單元基本資料之查詢、2.檢測資料模組：藉由次功能選單，可針對碼頭及防波堤進行經常檢測、定期檢測及特別檢測資料之查詢與新增功能、3.狀況排序模組：提供使用者了解碼頭構件狀況排序及狀況指標，並提出相關建議維修工法，有效提升維修效率。其操作流程必須先選擇港灣及碼頭，系統便會自動計算出碼頭構件與整體設施的狀況指標、4.權限管理模組：系統管理者可管理登入帳號之權限，包含系統各模組查詢、新增等權限之設定。

5.3 小結

依圖 1.1 之維護管理流程，「碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊」即包含由初始的各類巡查之定義，緊接著針對碼頭設施之構件編碼原則進行說明，並提供各構件劣化異狀之評估等級，依循目視檢測之結果提供初步檢測安全評估的計算方式，與各構件適用的儀器試驗方法，最後，針對流程中的年度維修，藉由各構件之劣化狀況等級，以適當的工法或處置進行對應，其各章內容與流程之關係請參考圖 5.1 所示。而整體之流程，亦由本研究建置之維護管理系統進行資料之記錄(儀器檢測結果除外)，故本章亦提供港灣設施維護管理系統使用手冊供使用者參考。

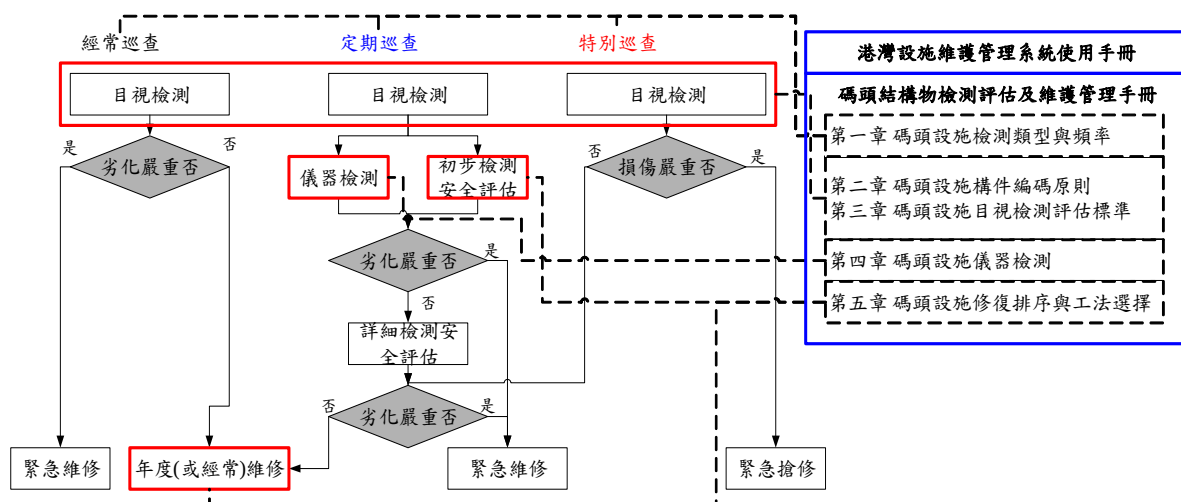


圖 5.1 碼頭結構物檢測及評估和維護管理手冊與維護管理流程之對應

第六章 結論與建議

港灣工程多以鋼筋混凝土及鋼材作為主要之建造材料，由於臺灣位處高溫高濕之海洋環境，構造物老劣化問題嚴重，常造成潛伏性與立即性之損壞，為確保港灣設施正常運作，避免耗費巨資重建，必需先針對國內港灣構造物是否安全堪用進行瞭解，以便採取適當之維護措施，此外，以往公共工程與重要設施大都較注重興建，或發現嚴重問題後才開始想進行全面修護，對於日常之調查維護作業，經常僅編列少數或無維護經費，故其維護效益甚低至無，設施任其持續劣化終致損壞，最後淪為不能使用之命運。其營運停頓造成之損失更難以估計。為此，構造物檢測與安全評估等維護管理機制之建立，必為未來各項工程領域刻不容緩之課題，方能達成其永續經營。港灣構造物之維護管理當然不應自外於主流趨勢。因應世界潮流與營建主流趨勢，未來國內公共工程等構造物，其維護管理所佔之權重，將比興建或全面維修更形重要。

本研究為 4 年期計畫之第二年，主要完成之工作項目包括：(1)持續制訂檢測作業標準、檢討安全評估方法與建置維護管理系統，以作為修訂碼頭設施維護管理手冊之依據；(2)延續第一年之研究成果，修正檢測作業標準，增加檢測圖示檢測標準內容；(3)彙整各種適用儀器之「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」，提供現地檢測人員參用，並修正各種型式港灣構造物之構件權重與評估方法，提高初步檢測安全評估之可用度。研究之結論與建議如下：

6.1 結論

1. 港灣構造物檢測作業標準制訂

(1) 目視檢測標準修訂

現有目視檢測標準修訂之目的為簡化檢測內容，並藉由圖示輔助

增加實用性。

(2)儀器檢測適用性探討

依港灣設施組成材料，分類為混凝土與鋼材兩種，各檢測技術內容有「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」。

(3)初步檢測安全評估方式研擬

修正單一構件評估與各設施整體狀況的整體評估，並增加構件權重問卷。

(4)詳細檢測安全評估方式之研擬

完成以與目視與儀器檢測結果較為相關的碼頭岸肩鋼筋斷面損失進行分析，藉由輸入與檢測結果相關之數據，配合分析流程，檢視原始設計之需求。

(5)碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊撰寫

本手冊依循原有架構與內容，將本期更新的目視檢測標準、新增的劣化圖示(或照片)與修正的初步檢測安全評估方式彙整於其中。

2. 現有港灣構造物安全評估方法之檢討

(1)高鋼筋構件試驗結果與理論值比較時，約為設計理論值之 61%至 65%。而低鋼筋量構件之試驗數據則與理論預估值接近，低鋼筋量且為低強度混凝土構件之試驗強度與理論差異較大，但亦達到 85%。本試驗中發現、高鋼筋量構件之延展性係數(韌性比)約為低鋼筋量構件之 1.5 至 2.0 倍。

(2)鋼筋混凝土結構中破壞指標之影響，鋼筋量之變化較混凝土強度之變化影響較大。因此，鋼筋腐蝕而造成抗拉材料斷面縮小之影響對於整體結構之安全評估將更為重要。

(3)高鋼筋量為低鋼筋量之兩倍， β_1 高鋼筋量構件之破壞能量，在

混凝土強度較高時，約為低鋼筋量構件之破壞能量之 4 倍左右，在混凝土強度較低時，高鋼筋量構件之破壞能量則約為低鋼筋量構件之破壞能量之 6 倍左右。

3. 港灣構造物維護管理建置

- (1)現有碼頭設施維護管理系統更新：已完成修正系統檢測標準、系統初步檢測安全評估方式與經常巡查輸入。
- (2)防波堤維護管理系統建置：防波堤因為連續性結構，故以構件拆解方式或以一間距方式進行編碼會較為繁瑣，且不利現場檢測作業，故檢測作業上，以 GPS 記錄劣化位置的方式進行檢測記錄。
- (3)碼頭設施維護管理系統使用手冊撰寫：依前述之內容將目視檢測標準如何填寫、初步檢測安全評估方式之操作方式與經常巡查表格填寫之內容等撰寫於此中。

6.2 建議

1. 港灣構造物檢測作業標準制訂

- (1)修改經常、定期與特別巡查表格
- (2)建置檢測儀器檢測相關表格，作為後續系統留存之標準
- (3)建置港灣設施檢測後之修復表單格式
- (4)建置修復工法單價資料庫

2. 港灣構造物維護管理建置

- (1)分析預測工具之研擬
- (2)檢測報告產出模組建置

參考文獻

1. 李維峰、張嘉峰、簡臣佑等，”北部地區省道公路公共工程(含隧道、橋梁)維護管理制度之研究”，交通部公路總局第一區養護工程處，2008。
2. 張嘉峰、簡臣佑等，”交通設施生命週期評估技術整合與應用”，交通部運輸研究所，2005。
3. 郭世榮、簡連貴、蕭松山等，”港灣設施防災技術之研究(一)－港灣構造物維護管理準則之研究”，交通部運輸研究所，2004。
4. 蘇吉立、陳桂清等，”碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(1/4)”，交通部運輸研究所，2007。
5. 蘇吉立、陳桂清等，”碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(2/4)”，交通部運輸研究所，2007。
6. 張嘉峰、簡臣佑等，”基隆港西 2 至西 4 號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究”，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2008。
7. 饒正、陳桂清、柯正龍、張道光，”碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究”，2002。
8. 日本運輸省港灣技術研究所，”港灣構造物腐蝕評價手法” No.501 ,P11，1984。
9. 湯麟武、徐忠猶、黃正欣，”港灣及海域工程(中國工程師手冊水利類第十一篇)2nd”，中國土木水利工程學會，1999。
10. 交通部基隆港務局，”基隆港東防波堤延伸工程規劃評估”，2005。
11. Saaty Thomas L.，Decision Making For Leaders-the analytic hierarchy process for decisions in a complex world，Pittsburgh, PA: RWS Publications，1990。

- 12.Saaty Thomas L. , Fundamentals of decision making with the analytic hierarchy process , PA: RWS Publications , 1994 。
- 13.鄧振源、曾國雄，層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)，中國統計學報，第 27 卷，第 6 期，頁 13707-13724，1989 。
- 14.鄧振源、曾國雄，層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下)，中國統計學報，第 27 卷，第 7 期，頁 13767-13870，1989 。
- 15.Saaty, Thomas L. and Luis G. Vargas, “The Legitimacy of Rank Reversal,”Omega,Vol.12, No.5, pp.513-516, , 1990 。
- 16.褚志鵬，”Analytic Hierarchy Process Theory 層級分析法(AHP)理論與實作”，2009 。
- 17.Saaty, Thomas L., The Analytic Hierarchy Process, New York:McGraw-Hill，1980 。
- 18.鄭文英，”分析層級程序法中屬性權重的統計估計式之探討，國立交通大學管理科學研究所未出版之博士論文”，1983 。
- 19.Carl A Thoresen，”Port designer’s handbook- recommendations and guidelines”，2003 。
- 20.交通部運輸研究所，”海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材構造物陰極防蝕技術與應用研討會”，2004 。
- 21.交通部運輸研究所，”港灣構造物設計基準研究-碼頭設計基準研訂及說明草案” P3-14，1997 。

附錄一

碼結構檢測評估及維護管理手冊

第一章 碼頭設施檢測類型與頻率

為確保碼頭設施之完善、確保船舶停靠安全及維持其功能，各港灣養護單位必須確實執行巡查工作，隨時瞭解碼頭狀況並填具報告表陳報。如有重大特殊情況，則應以專案或緊急案件處理，以確保航運安全。其巡查範圍以碼頭本體與其所附屬之設施為主，

1. 巡查類型

碼頭構造物的檢測工作，通常可分為平時進行的經常巡查、檢測時間及頻率固定之定期巡查與重大災害發生時之特別巡查。另外，當定期檢測作業或災後巡查無法確實掌握劣化原因及擬定適當維修對策，需依檢測評估結果辦理更精確的檢測。

(1) 經常巡查

經常巡查是由管理使用單位及工務權責單位平時進行的目視巡查，主要是以構造物的功能性為巡查目標，藉以維持港灣的正常營運功能。就碼頭而言依經常巡查之檢測單位及詳細程度的不同，分別由工務權責單位及管理使用單位負責辦理檢測工作。其中管理使用單位負責每日的目視檢測巡查，當使用單位發現構造物有異常現象時，應立即向工務權責單位通報，並由工務權責單位進行現場勘查，判定是否需要維修，而工務權責單位需每個月至少辦理一次碼頭構造物的平時巡查作業。此檢測方式由於屬平時之作業，故以人員在岸上目視可見之構件作為巡查之重點。檢測人員可依附件 1 表 1 之「碼頭經常/特別巡查檢測表」配合後續手冊說明進行現場之記錄。

(2) 定期巡查

定期巡查指在固定時間及頻率所進行的檢測作業，主要是以簡易(低成本)、快速(有效率)的方法，對結構物進行調查及評估，一般是採用目視(包含水下)及較簡單之儀器對結構物進行檢測。定期檢測可依港灣構造物之型式、使用狀況及環境條件等基本資

料，建立相關的檢測項目、評估等級等檢測評估資料，並繪製成表格型式，使得檢測工作具有較高的效率及較正確的結果。進行檢測時，可加以拍照繪圖描述記錄。依檢測結果配合已蒐集之背景資料，以對設施進行狀況評估。當定期檢測後對較為嚴重或無法判定之部分，其需在經由詳細安全分析後，再進行後續維修的作業。基本上，定期巡查在經由目視檢測作業後，配合簡單儀器檢測(如混凝土材料試驗、光學測量等)，判斷是否需進行更詳細的評估。若否，則針對其檢測成果配合執行預算限度進行劣化異狀修復。檢測人員可依附件 1 表 2~4 之「碼頭定期巡查檢測表(重力式、板樁式與棧橋式)」配合後續手冊說明進行現場之記錄。

(3)特別巡查

其為不定期檢測，通常於颱風、地震等災害後，或碼頭發生重大事件及施工不當之人為破壞，當構造物安全或營運有虞慮時，由工務權責單位負責辦理特別巡查。檢測人員應於事故發生能安全到達現場，立即完成檢測評估作業。檢測方式以目視或簡單工具為主，檢測結果應依相關規定紀錄後儲存以利後續的維護管理。其檢測特點在於短期內掌握碼頭及設施主體週邊設施之損壞狀況，評估有無二次災害之危險因素及安全性，經檢測評估在必要時，則快速擬定管制計畫和搶修措施，以避免災害擴大。檢測人員可依附件 1 表 1 之「碼頭經常/特別巡查檢測表」配合後續手冊說明進行現場之記錄。

上述三種檢測作業，可分別依負責單位、檢測時機及檢測方式等差異，整理如表 1-1 所示。

表 1-1 檢測作業種類比較

種類	負責單位	檢測時機	檢測方式
平時巡查	管理使用單位	日常 (每月一次)	目視巡查(岸上)
定期巡查	工務權責單位	固定時間 (每兩年一次)	目視巡查(包含水下)、簡單儀器、 依需求配合詳細儀器檢測
災後巡查	工務權責單位	重大災害、事故發生後	目視巡查(岸上)

2. 巡查時應注意事項

- (1)經常巡查應由指定工程司辦理。定期巡查及特別巡查應由養護單位正、副主任或指派專人辦理。
- (2)巡查時發現有影響結構安全者應即予處理。巡查完畢應即填具巡查報告表陳報，必要時應即派員處理。
- (3)依勞工安全衛生設施規則第 286-1 條：雇主對於勞工從事水下作業，應視作業危害性，使勞工配置必要之呼吸用具、潛水、緊急救生及連絡通訊等設備。
- (4)依勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法第 70 條：雇主使勞工從事下列異常氣壓作業時，應使該勞工就其作業有關事項實施檢點：A.潛水作業、B.高壓室內作業、C.沈箱作業、D.氣壓沈箱、沈筒、潛盾施工等作業。
- (5)依勞工安全衛生教育訓練規則第 11 條與第 14 條，雇主應針對進行潛水作業勞工，使其接受有害作業主管之安全衛生教育訓練與特殊作業安全衛生教育訓練。
- (6)依異常氣壓危害預防標準相關規定執行潛水作業。

第二章 碼頭設施構件編碼原則

1. 重力與板樁式碼頭

重力與板樁式碼頭為連續式結構(重力式沈箱碼頭有結構單元區分)，故針對各碼頭單元編碼，以 10m 為一單元(Block)，如圖 2.1 重力式碼頭 1 所示，則編碼為 B1，若屬重力式沈箱碼頭，則以各沈箱作為單元區分為 B1 與 B2(如圖 2.1 重力式碼頭 2 所示)。各單元構件劣化狀況評定依第三章節填列，而其劣化位置之描述如表 2-1、圖 2.2 與圖 2.3 所示。

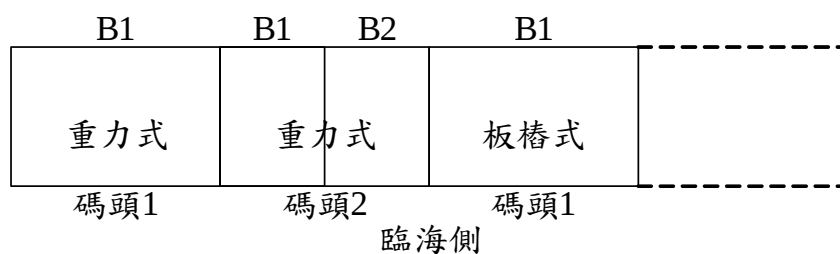


圖 2.1 重力與板樁式碼頭編碼示意

表 2-1 重力與板樁式碼頭劣化位置描述說明

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化位置描述
碼頭本體	岸肩	紀錄 X、Y 值(如圖 2 所示)
	壁體	紀錄 X、Z 值(如圖 3 所示)
	後線	紀錄 X 值(如圖 2 所示)
海床		紀錄 X 值(如圖 3 所示)
附屬設施	車擋	以整體性描述
	繫船柱	編號(如圖 3 所示)
	防舷材	編號(如圖 3 所示)
	吊車軌道	以整體性描述

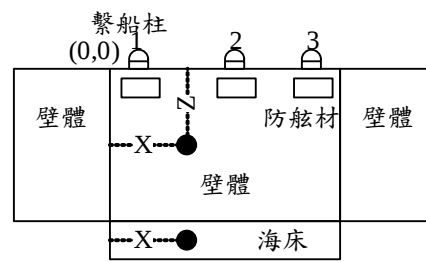
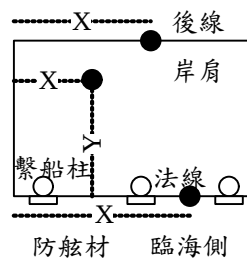


圖 2.2 重力或板樁式碼頭俯視圖 圖 2.3 重力或板樁式碼頭正視圖

2. 棧橋式碼頭

棧橋式碼頭依墩柱縱向柱線間距進行單元區分(如圖 2.4 所示)，單元右側墩柱歸屬於其中(如 B1 右側墩柱 P1~P3 屬 B1)，故一棧橋式碼頭可藉由縱向柱線區分不同單元(B1~Bn)，而每一單元面版底部版與梁之編號如圖 2.5 所示，面版底部以 S 進行編號，而梁以 B 進行編號。

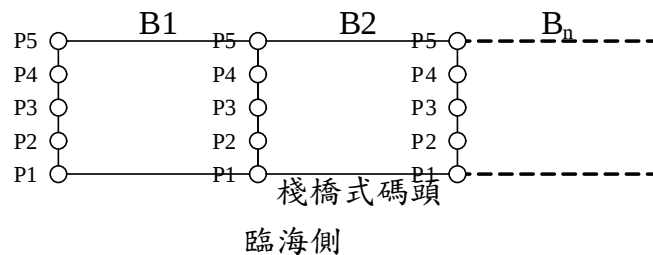


圖 2.4 棧橋式碼頭編碼示意

表 2-2 棧橋式碼頭劣化位置描述說明

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化位置描述
面版	梁	編號(如圖 5 所示)
	岸肩	同重力與板樁式紀錄方式
	岸肩底部	編號(如圖 5 所示)
	後線	同重力與板樁式紀錄方式
墩柱		編號(如圖 2 所示)
拋石護坡		紀錄 X、Y 值
海床		同重力與板樁式紀錄方式

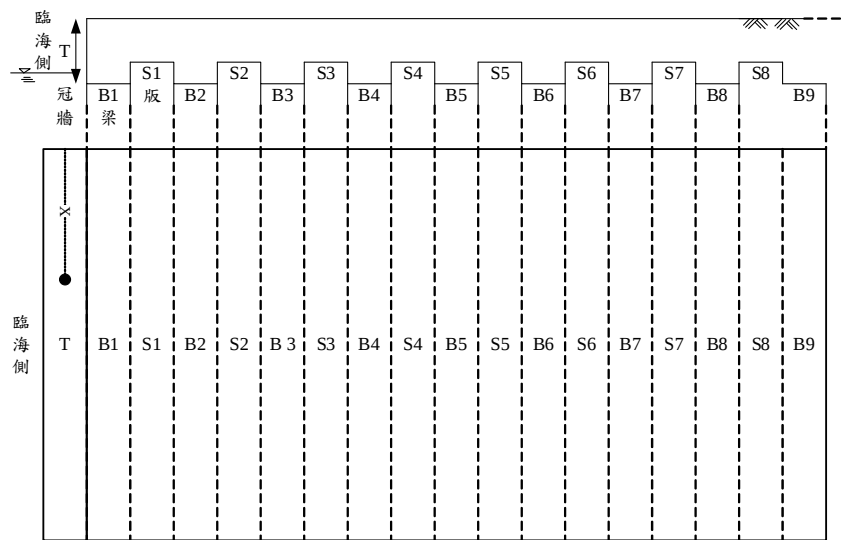


圖 2.5 棧橋式碼頭岸肩底部梁版編號示意

第三章 碼頭設施目視檢測評估標準

以下即就重力式、板樁式、棧橋式碼頭(分鋼管樁與混凝土樁)、碼頭附屬設施與防波堤設施目視檢測評估標準進行說明。

1. 重力式碼頭

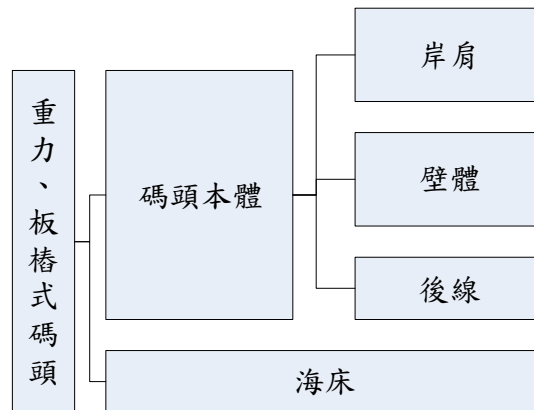


圖 3.1 重力或板樁式構件層級

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
碼頭本體	岸肩	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
		沈陷(雨天檢視)	2	岸肩輕微下陷(面積<5 m ² 、高度<2.5 cm)
			3	岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)
			4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)
	壁體	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個壁體(裂縫寬度約 5mm 以上)
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
		漏砂	4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
			2	壁體出現孔洞，但並未漏砂
			3	壁體裂縫已可觀察出漏砂
			4	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂
	後線	沈陷 (雨天 檢視)	2	後線輕微下陷(深度<10 cm、面積<10 m ²)
			3	後線明顯下陷(10≤深度≤ 15 cm、10 m ² ≤面積≤ 20 m ²)
			4	後線嚴重下陷(深度>15 cm、面積>20 m ²)
	海床	冲刷	2	基礎輕微淘刷(冲刷坑深度約 50cm 以下)
			3	基礎中等淘刷(冲刷坑深度約 50~100cm)
			4	基礎嚴重淘刷(冲刷坑深度約 100cm 以上)

2. 板樁式碼頭

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
碼頭本體	岸肩	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
		沈陷(雨天檢視)	2	岸肩輕微下陷(面積<5 m ² 、高度<2.5 cm)
			3	岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)
			4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)
	壁體	接縫開裂	2	有輕微開裂(長度約達 10~20cm)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫約<5cm 深)
			3	有中等開裂(長度約達 20~30cm)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫 5~10cm 深)
			4	有嚴重開裂(長度約達 30cm 以上)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫約>10cm 深)
		穿孔	2	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於 5 cm ²)現象
			3	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於 5~20 cm ²)現象
			4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 20 cm ²)擴大且有漏砂現象
		防蝕系統	2	防蝕塊耗損小於 1/3
			3	防蝕塊耗損介於 1/3~2/3
			4	防蝕塊耗損大於 2/3
	後線	沈陷(雨天檢視)	2	後線輕微下陷(深度<10 cm、面積<10 m ²)
			3	後線明顯下陷(10≤深度≤ 15 cm、10 m ² ≤面積≤ 20 m ²)
			4	後線嚴重下陷(深度>15 cm、面積>20 m ²)
海床	冲刷	2	基礎輕微淘刷(冲刷坑深度目視約 50cm 以下)	
		3	基礎中等淘刷(冲刷坑深度目視約 50~100cm)	
		4	基礎嚴重淘刷(冲刷坑深度目視約 100cm 以上)	

3. 棧橋式碼頭

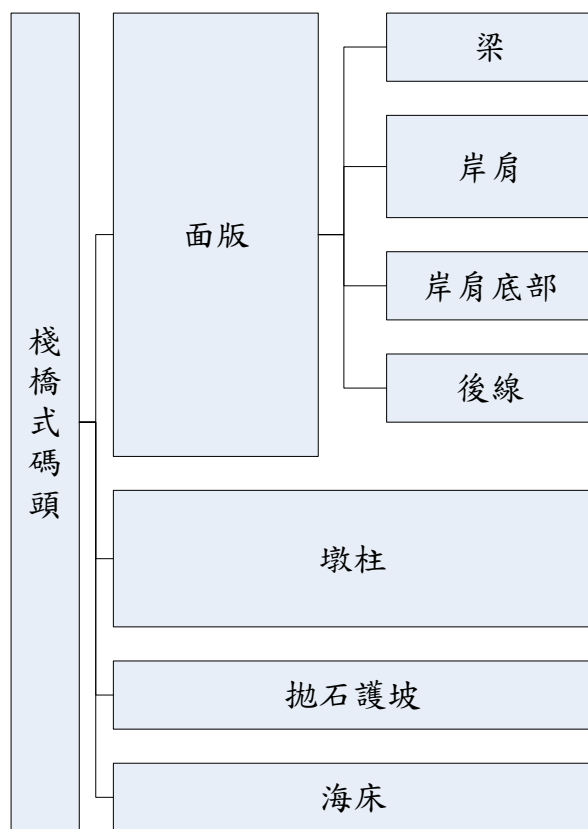


圖 3.2 棧橋式構件層級

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
面版	梁	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個梁(裂縫寬度約 5mm 以上)
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
	岸肩	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
		沈陷 (雨天檢視)	4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
			2	岸肩輕微下陷(面積<5 m ² 、高度<2.5 cm)
			3	岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)
			4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)
	岸肩底部	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個岸肩底部(裂縫寬度約 5mm 以上)
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
	後線	沈陷 (雨天檢視)	2	後線輕微下陷(深度<10 cm、面積<10 m ²)
			3	後線明顯下陷(10≤深度≤15 cm、10 m ² ≤面積≤20 m ²)
			4	後線嚴重下陷(深度>15 cm、面積>20 m ²)
墩柱(鋼管樁)	腐蝕		2	局部區域有鏽蝕集中
			3	帶狀區域的鏽蝕，並有局部小型穿孔
			4	連續性之鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔擴大
	防蝕披覆損壞		2	劣化面積 0.3%以下
			3	劣化面積介於 0.3~10%之間
			4	劣化面積 10%以上
墩柱 (混凝土樁)	裂縫		2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)
			4	裂縫擴散至整個墩柱(裂縫寬度約 5mm 以上)
	剝落		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm
拋石護坡	破壞		2	護坡塊石輕微受損(護坡塊石破壞率約 5%以下)
			3	護坡塊石明顯受損(護坡塊石破壞率約 5%~20%)
			4	護坡塊石嚴重受損(護坡塊石破壞率約 20%以上)
海床	沖刷		2	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下)
			3	基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm)
			4	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上)

4. 附屬設施

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
繫船柱	腐蝕龜裂	2	材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形
		3	材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形
		4	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂
防舷材	龜裂破損	2	材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損
		3	材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象
		4	材質老化、構件變形或掉落
車擋	龜裂破損	2	材質表面輕微龜裂情形
		3	材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形
		4	材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損
起重機軌道	腐蝕位移	2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm
		3	兩軌間距高差 3mm~4.25mm、兩軌間距左右差 5mm~10mm、局部區域有生鏽
		4	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、大範圍生鏽影響功能

5. 港灣設施目視檢測標準圖示

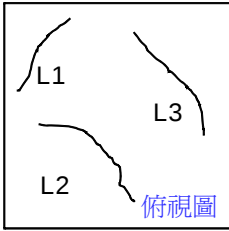
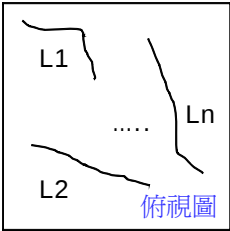
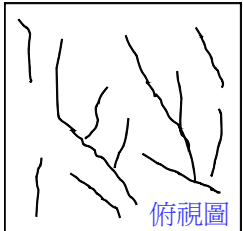
(1)碼頭設施目視檢測標準圖示

①重力式碼頭

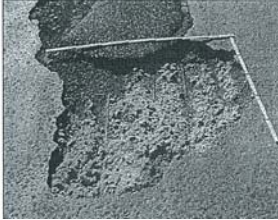
A.碼頭本體

(A) 岸肩

a. 裂縫

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約3mm以下)	 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約3~5mm以內)	 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約5mm以上)

b. 剝落

劣化狀況	劣化狀況圖示
2	 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑 < 15 cm，深度 < 2.5 cm
3	寬度直徑 ≥ 15 cm 深度 < 2.5 cm 俯視圖 側視圖 或 寬度直徑 < 15 cm 深度 ≥ 2.5 cm 俯視圖 側視圖 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑 ≤ 15 cm，深度 > 2.5 cm 或剝落寬度直徑 > 15 cm，深度 ≤ 2.5 cm
4	 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑 > 15 cm，深度 > 2.5 cm

c. 沈陷

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	面積 < 5 m² 俯視圖 側視圖	面積 ≥ 5 m² 俯視圖 側視圖 或 面積 < 5 m² 俯視圖 側視圖	面積 > 5 m² 俯視圖 側視圖

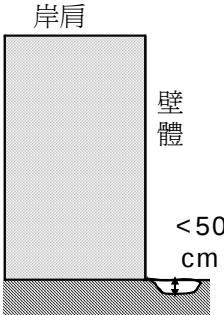
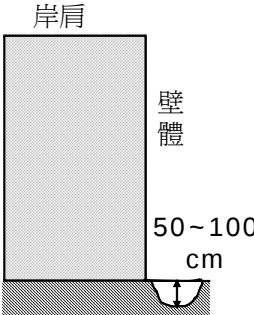
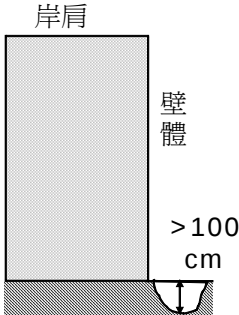
(B)壁體-漏砂

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	牆面出現孔洞，但並未漏砂	牆面裂縫已可觀察出漏砂	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂

(C)後緣-沈陷

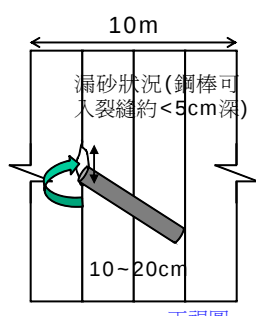
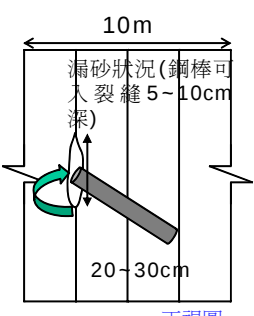
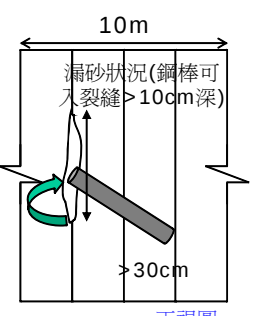
劣化狀況	劣化狀況圖示	
2		
3		
4		

B.海床-沖刷

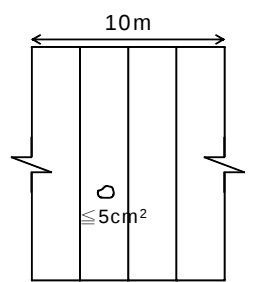
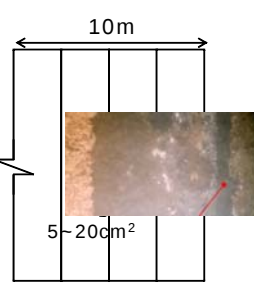
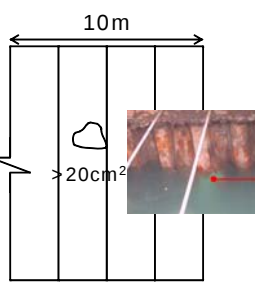
劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 側視圖	 側視圖	 側視圖

②板樁式碼頭

A.碼頭本體-壁體-接縫開裂

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 正視圖	 正視圖	 正視圖
	鋼棒直徑 1/8"	鋼棒直徑 1/8"	鋼棒直徑 1/8"

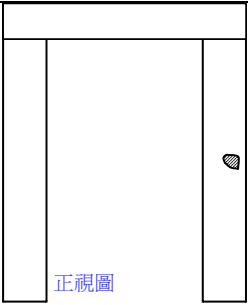
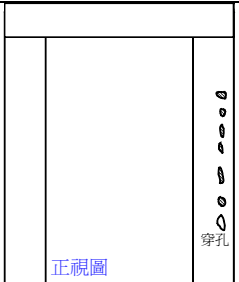
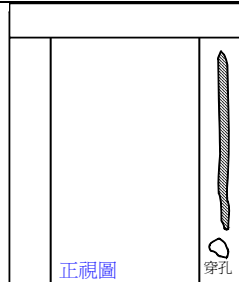
B.碼頭本體-壁體-穿孔

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 正視圖	 正視圖	 正視圖
	D=2	D=3	D=4

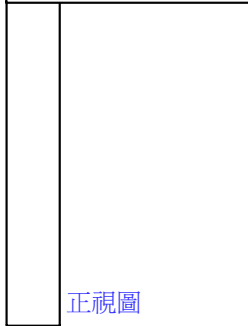
③棧橋式碼頭

A.墩柱(鋼管樁)

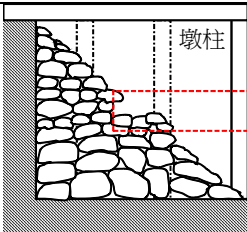
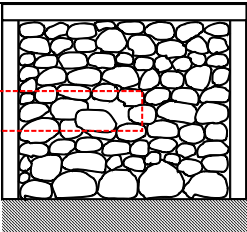
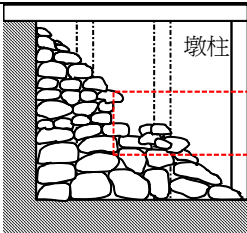
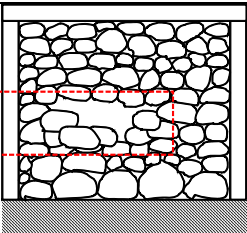
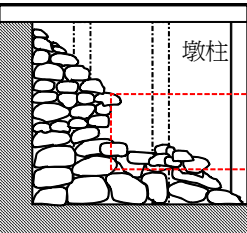
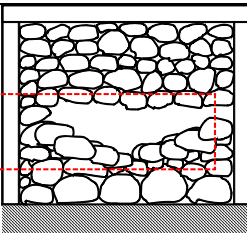
(A)腐蝕

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 正視圖	 正視圖 帶狀區域的鏽蝕，並有局部小型穿孔	 正視圖 連續性之鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔擴大

(B)防蝕披覆損壞

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 正視圖 劣化面積<0.3%	 正視圖 $0.3\% \leq \text{劣化面積} \leq 10\%$	 正視圖 劣化面積>10%

B. 拋石護坡-破壞

劣化狀況	劣化狀況圖示	
2	 側視圖	 正視圖
3	 側視圖	 正視圖
4	 側視圖	 正視圖

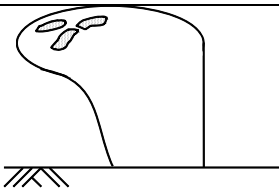
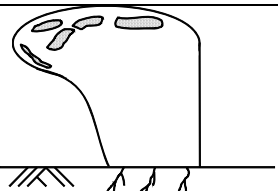
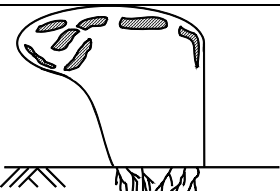
破壞率 < 5 %

$5\% \leq \text{破壞率} \leq 20\%$

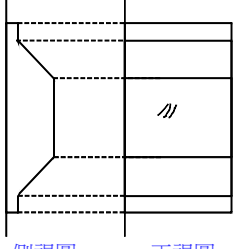
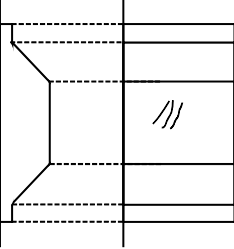
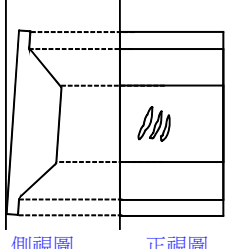
破壞率 > 20 %

④ 碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

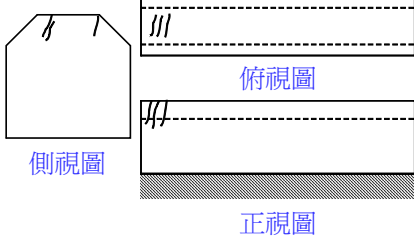
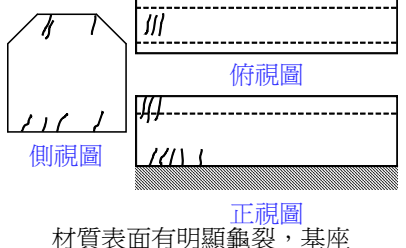
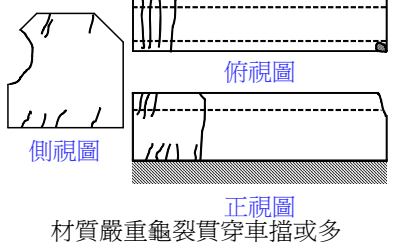
A. 繫船柱

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形	 材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形	 材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂

B.防舷材

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況圖示	 側視圖 正視圖 材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	 側視圖 正視圖 材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	 側視圖 正視圖 材質老化、構件變形、掉落，靠船時開裂過大、失去避震功能

C.車擋

劣化狀況	劣化狀況圖示	
2	 側視圖 俯視圖 正視圖 材質表面輕微龜裂情形	
3	 側視圖 俯視圖 正視圖 材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形	
4	 側視圖 俯視圖 正視圖 材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	

D.起重機軌道

劣化狀況	2	3	4
劣化狀況 圖示	兩軌間左右差 <5mm 俯視圖 兩軌間高差 <3mm 正視圖 局部區域生鏽 兩軌間左右差介 於5~10mm 俯視圖 兩軌間高差介於 3~4.25mm 正視圖 大範圍生鏽 兩軌間左右差 >10mm 俯視圖 兩軌間高差 >4.25mm 正視圖		

第四章 碼頭設施儀器檢測

4.1 鋼筋混凝土構造物儀器檢測

1. 非破壞性試驗

(1) 反彈錘法

參考規範為 CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法與 ASTM C805 “Standard test method for rebound number of hardened concrete”，反彈錘的構造主要構件有四部份：(1)外殼；(2)衝擊桿；(3)錘塊；及(4)彈簧。實際檢測強度時，將突出儀器外面的衝擊桿與混凝土表面接觸，當衝擊桿還是突出儀器外面時，其內部的錘塊將會被卡損固定在桿頂端，此時把儀器外殼推向混凝土表面，使連接儀器外殼與錘塊的彈簧伸長，當外殼推到與桿頂接觸時，卡損將放開錘塊，使其衝向混凝土，而撞擊到衝擊桿上的突肩部分，並反彈回去。反彈錘塊將會帶動指針，以顯示反彈的距離。反彈距離的刻度數字由 10 到 100 之間，稱為反彈值。

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

因為反彈錘法只檢測到混凝土表面層附近的強度，所以並不能代表就是混凝土內部的強度。若表面有碳化現象存在，會導致測得的表面強度大於內部的強度；同樣地，表面乾燥時測得強度會比內部潮溼的混凝土強度高。而鑄模的種類也會影響

表面強度，如木範本支撐而成的混凝土表面強度將比鋼範本支撐而成的混凝土表面強度高。只有表面數英吋的厚度情況會對強度有較大的影響而已。當表面較粗糙時，所測得的強度會比實際值低，故測粗糙表面情況的混凝土必須先磨平。如果表面有用墾刀處理過，其表面會較堅硬，而可以得到較高之反彈值。另外，檢測時儀器與表面的角度也會影響反彈值。

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

此法檢測時依構造物面積大小，選擇面積約 1×2 m 的混凝土表面，繪製 20 cm 見方之方格進行試錘試驗，每一方格測試 12 個數據，計算時先將最大與最小值剔除後，求其平均值，再依儀器所附之反彈值與混凝土抗壓強度推估曲線，獲得混凝土表面硬度。比對反彈值推估所得與鑽心試體之抗壓強度試驗結果，試驗情形如圖 4.1。



圖 4.1 碼頭岸壁面繪製方格

(2)鋼筋電阻係數量測

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

(3)鋼筋電位值量測

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

鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能與量測儀器連接成一通路，將導線與電錶連接後，移動參考電極即可量測出整個結構物內半電池腐蝕電位(Half Cell)，如圖 4.2 所示。電極棒內之硫酸銅溶液應在飽和狀態，電極移動時溶液與內部銅棒須完全接觸同時電極前面須用海綿填充。測定前導線應檢查內部銅線是否腐蝕或電阻過大，才能讀出正確的腐蝕電位，結構物表面在量測前應潑水使成面乾內飽和狀態。

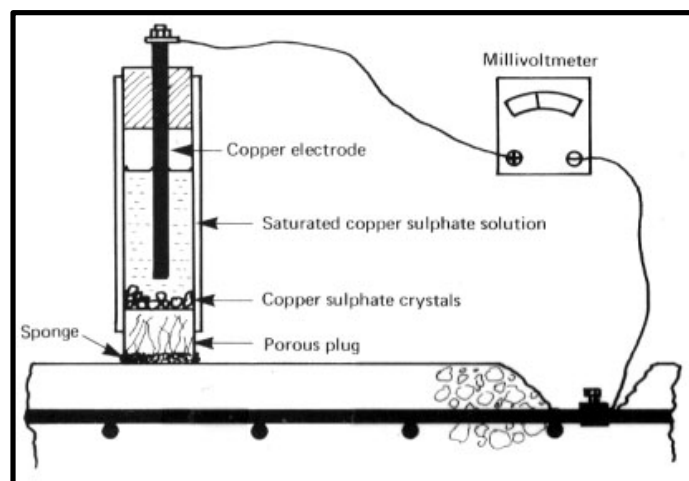


圖 4.2 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

腐蝕電位與鋼筋腐蝕關係，依據 ASTM C-876 及 Van Daveer 建議電位在 -200mV CSE (飽和硫酸銅電極) 時腐蝕機率各為小於 10% 和 5% 電位在 -200mV 至 -350mV CSE 時腐蝕機率為大於 50%，電位若小於 -350mV CSE 時，腐蝕機率則提高至大於 90% 和 95%。如表 4-1 所示。

表 4-1 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係

鋼筋電位值 mV (cse)	腐蝕機率
>-200	$<5\%$
$-200\sim-350$	$5\%\sim95\%$
<-350	$>95\%$

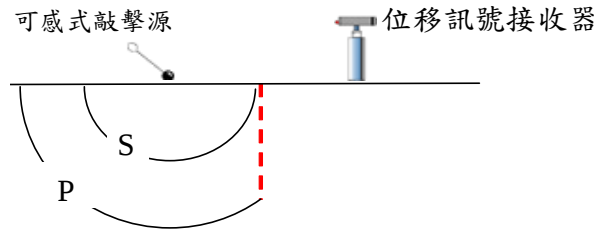
利用鋼筋電位推估鋼筋腐蝕相當簡便，但其缺點為：

- A. 數據只能研判鋼筋是否可能發生腐蝕，無法測知鋼筋之腐蝕速率。
- B. 不適用於中性化的結構或海砂結構體，理由是中性化所引起的介面電位元差，可能高達 -200 mV ，容易造成誤判。
- C. 無法用於海水下方之構造物。

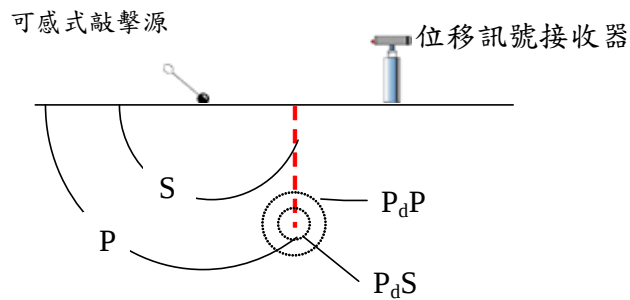
(4)混凝土裂縫探測

參考規範為 ASTM C1383 “Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method”。一般常用檢測方式為敲擊回音法 (Impact echo)，可量測混凝土之裂縫深度以及保護層厚度。1983 年起，在美國國家標準及科技院(National Institute of Standards and Technology)及康乃爾大學(Cornell University)資助下，由 Carino 及 Sansalone 博士研究發展敲擊回音法(Impact-Echo Method)，與超音波法同樣是利用應力波動原理，但其改變了應力波激發源為機械性的敲擊方式，接收器改成由點接觸之位移訊號接收器，除了直接在時間領域上，對量測到的位移波形作訊號分析外，亦透過快速傅利葉轉換(FFT)的處理，在頻率領域上作訊號分析。其原理與施測方式已列入 ASTM C-1383。

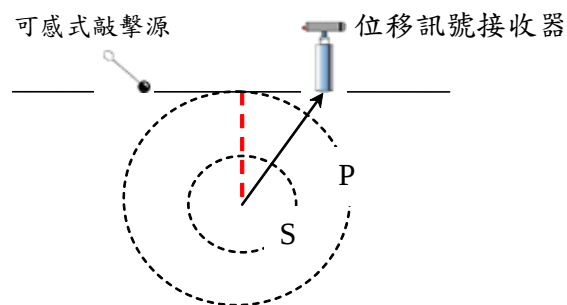
目前國內常採用敲擊式繞射波傳輸時間法，該方法是以應力波傳動原理為基礎，以小直徑的鋼珠當為敲擊源導入應力波，在表面敲擊後主要將產生三種形式的應力波，其中應力波 P-波及 S-波向物體內部傳動(如圖 4.3(a))，而另外一種表面 R 波主要是沿著混凝土表面傳動。這三種類型的應力波以 P 波波速最快，S 波次之。由於 P-波波速較快，所以 P-波之波前(Wave-front)先遇到裂縫之尖端，而 S-波則跟隨在後，入射 P-波在裂縫尖端處將產生繞射波(如圖 4.3(b))，如同在裂縫尖端處形成另一個波源，以球狀波形方式向四面八方傳動出去(如圖 4.3(c))；當繞射波傳回至敲擊表面時將會產生擾動，經由裂縫尖端繞射再抵達裂縫另一側表面的歷時，故在裂縫兩側各配置一個可感式敲擊源及位移接收器，監測所得之波形為紀錄可感式敲擊源敲擊起始時間(即訊號擷取系統啟動時間)，另與敲擊點不同側之接收器(Receiver)監測得之起始擾動訊號，為 P-波繞過裂縫尖端到達所引起，此乃因為表面開裂裂縫阻絕或延遲表面 P 波以及 R-波之到達所致，之後所測得的位移波形則為後續反射波及繞射波到達所引起。



(a) 應力波導入測試物體



(b) 應力波遭遇尖端產生繞射



(c) 繞射應力波向外傳動

圖 4.3 應力波與表面裂縫之互制作用

圖 4.4(a)為敲擊式繞射波傳輸時間法之裂縫檢測示意圖，第一接收器與敲擊源相距 H_0 ，敲擊源及第二接收器與裂縫之距離分別為 H_1 及 H_2 ，當第一接收器接收到表面波向下的位移反應時，整個監測系統將被啟動，此一表面波之波到時間假設為 t_1 ，如圖 4.4(b)所示，而在第二接收器記錄到之裂縫繞射波之波到時間為 t_2 如圖 11(c)，從監測系統啟動到第二接收器感應到繞射波到達之時間為 $t_2 - t_1$ ，但是敲擊乃發生在監測系統啟動之前的某一時間，這個時間

恰好是 R 波由敲擊源傳動至第一接收器所需時間，亦即是 H_0 除以 R 波的波速(C_R)，於是 P 波由敲擊源至第二接收器所經歷的總時間(Δt)可依下列公式計算而得：

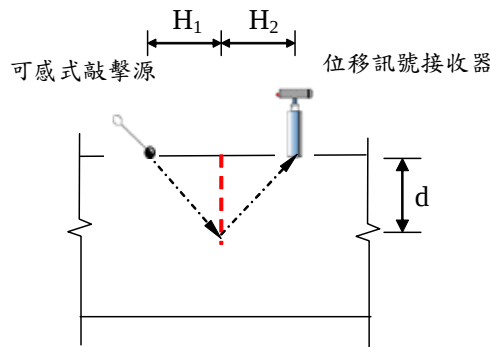
$$\Delta t = t_2 - t_1 \dots\dots\dots (1)$$

總時間得到後，P 波所走的總路徑則等於 P 波波速(C_p)乘以總時間。因此，表面開裂縫之深度(d)可依下列公式計算得到：

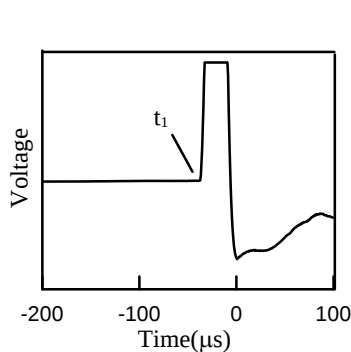
$$d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)^2 + H_1^2 - H_2^2}{2 \times C_p \times \Delta t} \right]^2 - H_1^2} \dots\dots\dots (2)$$

若是兩接收器與裂縫之距離相等(即 $H_1=H_2=H$)，則上式可改寫為：

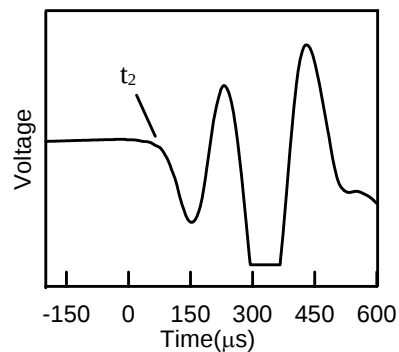
$$d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)}{2} \right]^2 - H^2} \dots\dots\dots (3)$$



(a)試驗配置-側視圖



(b)可感式敲擊源之波形圖



(c)位移接收器之波形圖

圖 4.4 敲擊式繞射波傳輸時間法之裂縫檢測

A.儀器介紹

敲擊式繞射波傳輸時間法所使用之試驗系統，係由四個主要元件組合而成：1.訊號擷取卡、2.筆記型電腦、3.可感測敲擊源、4.位移接收器，分別說明如下。

(A)訊號擷取卡：接收器接收連續之類比(Analog)訊號時，必須由 A/D 卡抓取並轉換成不連續之數位(Digital)之訊號，以便後續之訊號處理、分析及儲存。本案所使用之 PicoScope3224 之 A/D 卡以 USB port 連結電腦並提供兩個 BNC 插槽用以外接位移接收器，資料的最快擷取速率為 10MHz(每 0.1 μ s 紀錄一筆資料)，解析度(resolution)為 12 bits。

(B)筆記型電腦：A/D 卡轉換完成之數位訊號，可透過軟體抓取到記憶體中，再進行訊號處理、分析或儲存於硬碟裡。

(C)可感式敲擊源及位移接收器其說明如下：

a.敲擊源：小直徑(3~12mm)的鋼珠即是一個很好的敲擊源，透過鋼珠自由落下與試體表面產生碰撞而導入應力波。本案採用可感測敲擊時間原點之敲擊源，此敲擊鋼珠內部裝設有可感測位移變化之壓電材料，可在能量導入檢測物體的同時，感應到時間的原點。

b.接收器：為一種很小成倒錐體形之壓電材料，因此可視為類似點之接觸，所反應出來之訊號與垂直表面位移量成正比。

B.使用時機與注意事項

國內針對表面開裂裂縫之深度量測常規範以超音波法進行量測。其應用範圍相當廣範，包括金屬材料瑕疵、銲接品質、殘留應力、人體檢查...等，惟其在混凝土材料上之應用並不理想，主要缺點為：(1)超音波引進混凝土內部之高頻波，容易被混凝土內部之小孔隙所散射，雖然後來已有較低頻之超音波儀器上市，但其透過電壓激發壓電材料變形所產生之波源，能量

仍不足，限制了應力波傳動距離；(2)埋設在混凝土內部鋼筋之影響，無法有效去除；(3)探頭尺寸過大，為了能有效產生激發源及訊號接收，混凝土表面必須特別處理並塗抹耦合液，施測時須給予適度壓力，容易產生誤差；(4)市售之數字化簡易型超音波儀器，無任何波形訊號供分析用，無法辨識第一波到訊號之真正來源，可能產生誤判情形。因此在無重大突破前，建議目前表面開裂裂縫仍宜使用敲擊式繞射波傳輸時間法

C. 操作步驟

1998 年利用敲擊回音法量測鋼筋混凝土板之厚度已被納入 ASTM 之試驗標準(編號 ASTM C-1383)。利用敲擊回音法量測鋼筋混凝土板之厚度 ASTM C-1383 之檢測程式步驟，並加以改良即為目前現行表面裂縫開裂之裂縫深度量測。因此其操作程式包括：

- a. 表面縱波(P 波)波速(C_p)量測。
- b. 裂縫深度量測。
- c. 利用公式裂縫深度(D)。

其中步驟(1)表面 P 波波速(C_p)之量測，乃利用表面敲擊方式以產生暫態應力波，並以兩個置於已知距離(H)之接收器記錄由暫態應力波造成之表面位移，縱波(P 波)為最早到達二個接收器之應力波，由兩個接收器間之距離(H)及縱波(P 波)到達兩接收器之時間差(Δt)相除，即可求得縱波(P 波)波速。

步驟(2)再將儀器適當配置於裂縫的兩側，進行裂縫深度之檢測。並將步驟所得的波速，搭配自敲擊源經裂縫尖端，產生新的波源再到第二接收器之時間歷時。最後進入步驟三。步驟(3)將所得資料代入式 1~式 3 即可。

2. 局部破壞性試驗

此試驗的主要目的是在決定結構體中部份區域之抗壓強度，同

時取出之試體可做中性化試驗與超音波檢測。鑽心試驗是依據 CNS 規範中之規定，其取樣之試驗抗壓強度之圓柱試體，其試體直徑至少為最大粗粒料粒徑之 3 倍。鑽小試體長度最好為其直徑之 2 倍，或者不得小於其直徑。

(1) 中性化試驗

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

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

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

(2) 抗壓試驗

鑽心試體進行抗壓試驗(依 CNS 1232 混凝土圓柱試體抗

壓強度檢驗法)時應依以下之步驟進行：

A.兩端平整處理

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

B.潮濕狀況

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

C.蓋平

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

D.度量

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

E.試驗

可依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

F.計算及報告

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

表 4-2 圓柱試體長度直徑比

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

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



圖 4.5 鑽心試體切割



圖 4.6 試體之蓋平



圖 4.7 試體之抗壓試驗



圖 4.8 抗壓機讀取之數據

(3) 超音波脈波速度量測

使用英國 CNS 儀器公司出品之 PUNDIT(Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester)超音波脈波速度測定儀，量測在硬固混凝土材質內超音波脈波之傳遞速度，瞭解混凝土之品質狀況。脈波速度與混凝土品質關係如表 4-3 所示，可作初步研判。

表 4-3 超音波脈波速度與混凝土品質之關係

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

(4)氯離子檢測

本試驗依 AASHTO-T260 規範硬固混凝土氯離子含量試驗(水溶法)與 CNS 12891 混凝土配比設計準則與 3090 預拌混凝土。此法乃是將混凝土粉末，浸泡於蒸餾水中，加熱沸騰後(如圖 4.9)，靜置 24 小時後過濾之(如圖 4.10)，以離子層析儀測得之 Cl^- 含量(如圖 4.11、圖 4.12 所示)。



圖 4.9 混凝土粉末浸泡於蒸餾水煮沸



圖 4.10 靜置 24 小時後，過濾之澄清液

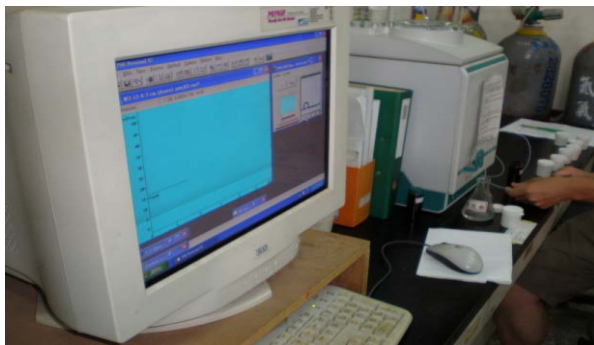


圖 4.11 離子層析儀試驗 1

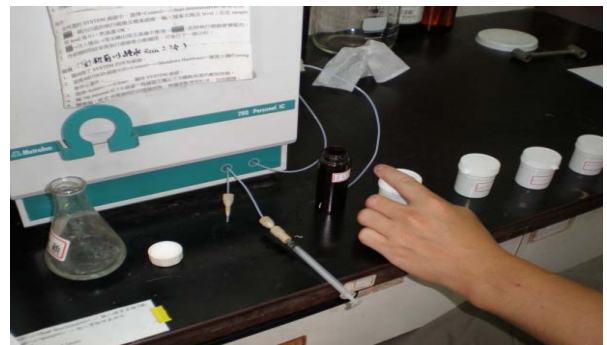


圖 4.12 離子層析儀試驗 2

4.2 鋼構造物儀器檢測

1. 材料厚度檢測

以超音波厚度儀之探頭，接觸已敲除清理乾淨之鋼板表面，即可讀取鋼板樁厚度，鋼板樁每面於每一水深測點，量取兩次厚度數據，平均後即為現有厚度。圖 4.13 為潛水人員於海中量測鋼板(管)樁厚度之情形。



圖 4.13 水面下量測鋼板樁厚度之情形

(1)厚度量測之原理：超音波厚度儀係利用脈衝原理，由於音波在鋼材之傳播速率為一定值，因此，由探頭傳送出一彈性波，經鋼材表面至內壁之傳播時間，即可算出波通過路徑之距離(鋼材厚度)，精準度可達 $\pm 0.1\text{mm}$ ，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 4.14。

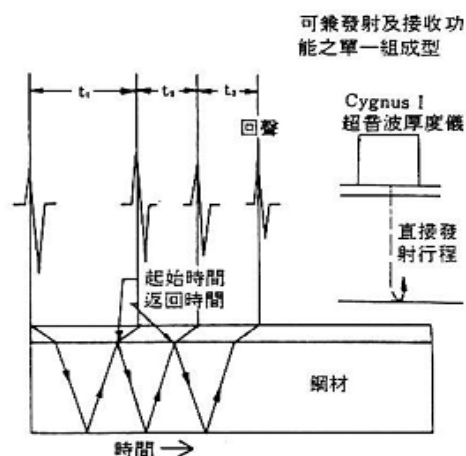


圖 4.14 測厚儀量測之示意圖

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times \frac{1}{2}(T_{i+1} - T_i) \dots\dots\dots (4)$$

式中 V：超音波在鋼板樁中之傳播速度(5920m/sec)。

S_i ：現有鋼板樁厚度讀數(mm)。

T_{i+1} ， T_i ：探頭接受回聲及初始傳播的時間。

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

$$\begin{aligned} \text{腐蝕速率} &= \text{腐蝕量} / \text{使用年期} \\ &= (\text{原始厚度} - \text{現有厚度}) / \text{使用年期} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

腐蝕速率又可分為兩種：(1)未作防蝕措施前之腐蝕速率；(2)採用防蝕措施後之腐蝕速率，其公式如下：

$$V_c = \frac{C}{Y_c + (1 - P)Y_p} \dots\dots\dots (6)$$

$$V_p = \frac{C - V_c \times Y_c}{Y_p} \dots\dots\dots (7)$$

式中 V_c =無防蝕措施之腐蝕速率(mm/yr.)

V_p =有防蝕措施之腐蝕速率(mm/yr.)

Y_c =無防蝕措施之年期(yr)

Y_p =有防蝕措施之年期(yr)

C=腐蝕量(mm)

P=防蝕率，防蝕率與海水浸水率之關係示如表 4-4。

表 4-4 防蝕率與海水浸水率之關係

海水浸水率(%)	防蝕率(%)
0~40	40 以下
41~80	41~60
81~99	61~90
100	90 以上

2. 防蝕系統檢測

(1)腐蝕電位測定：電氣防蝕效果的檢測通常是以電位的測定來進行，透過高電阻電壓計與檢驗電極來測定鋼質構造物的電位，掌握防蝕設施的電位分佈狀況進而得知防蝕狀態。如圖 4.15 所示，使用海水氯化銀電極進行電位測定，數值假如比-780 mV(腐蝕電位)低的話，就表示處在防蝕狀態。電位測定裝置，如圖 4.16 所示，測定儀器包含高電阻電壓計、檢驗電極及電位測定裝置。實施電位測定的地點通常是在測定裝置設置地點與其相鄰的中間點。但是若在這些測定地點不包括陽極中間點的場合，為了掌握整個防蝕設施電位分佈狀況，則可在距離陽極最遠的地點進行電位測定。在構造物的深度方向的測定是以 1 m 間隔在進行，另外在棧橋式鋼管樁未安裝陽極的場合，必須選定前列樁進行測定。

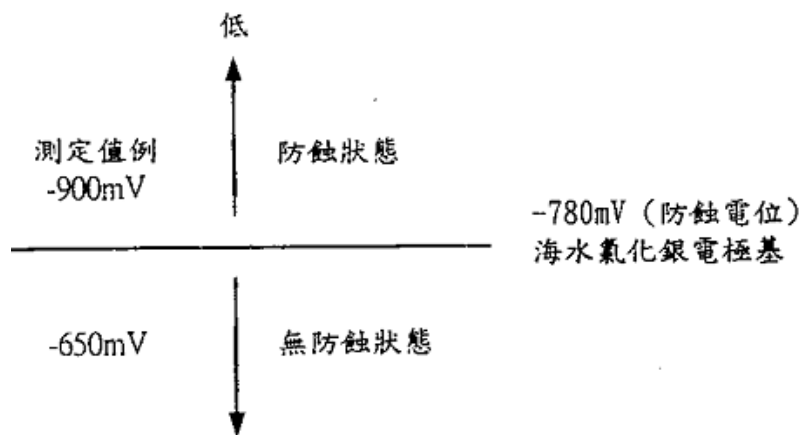


圖 4.15 防蝕效果的判定方法

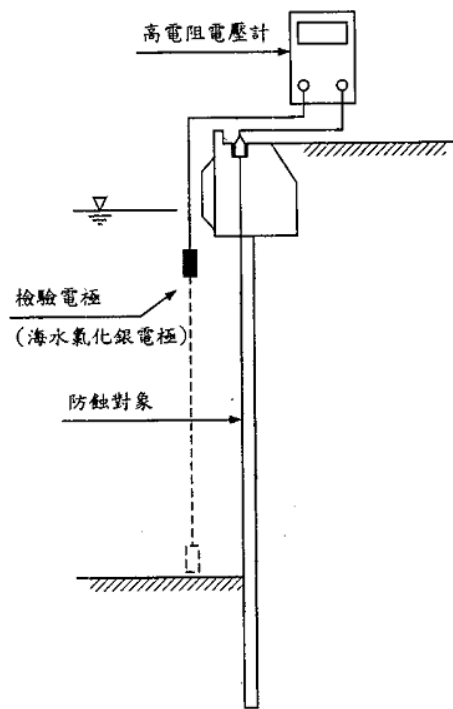


圖 4.16 電位測定示意圖

(2)陽極塊測定

A.利用陽極形狀尺寸的殘量計算：利用水中作業除去附在陽極表面的腐蝕生成物，依圖 4.17 所示的要領進行計測。此時必要的話，也需進行攝影。陽極殘量 $=[(D/4)^2 \times L - \text{蕊棒體積}] \times \text{陽極密度}$ ，在此 D 為平均周長 $(D_1+D_2+D_3)/3$ ， D_1 與 D_3 為距殘存洋極端頭約 10 cm 的位置的外周長， D_2 為殘存陽極中央不為的外周長， L 為殘存陽極長度。

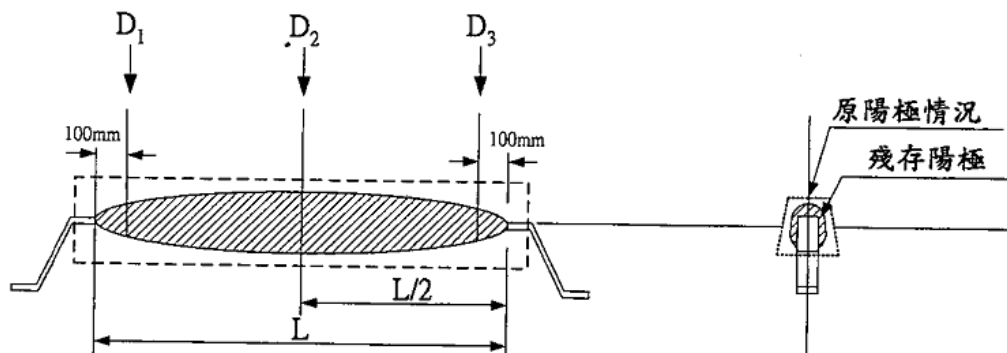


圖 4.17 陽極尺寸測定示意圖

B.陽極秤重：切斷陽極蕊棒部位拉上按秤重，扣除蕊棒部份求取陽極的殘量。

C.陽極殘存壽命計算：陽極的殘存壽命是從消耗的殘存重量及經過數年計算出。

陽極年間平均消耗量=(陽極初期重量-陽極殘存重量)/經過年數

殘存壽命=陽極殘存量/陽極年間平均消耗量

另外，也可從陽極平均發生電流求取殘存壽命

殘存壽命=(陽極殘存量×陽極有效電氣量)/陽極平均發生電流

4.3 其他類型儀器檢測

1. 水深多音束探測

(1)探測原理

為精確詳實的呈現水深地形的細微變化，可採用高效率、高測點密度的多音束水深測量系統。多音束測深音鼓可以傾斜約 35 度的方式安置，由音束側打方式主要針對碼頭面，且仍然可以施測碼頭旁水深地形。音鼓側打與正打差異之示意圖如圖 4.18 所示。

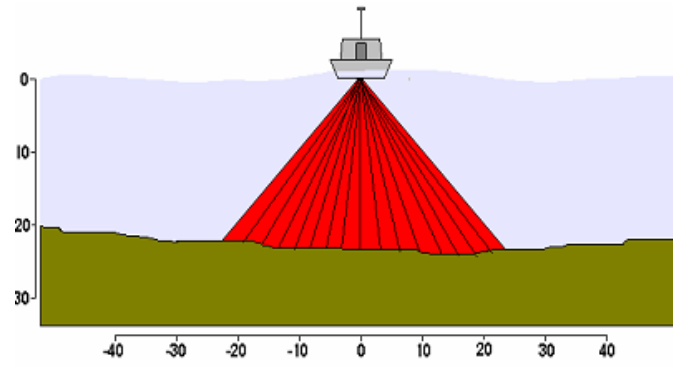
一般採用的多音束測深機(以 RESON SeaBat 8124 為例)，其作業功能及系統架構如下圖 4.19、圖 4.20 所示：

A.音束涵蓋範圍 120 度，約為 3.4 倍水深之寬度，共有 80 個音束，每個音束大小為 1.5 度×1.5 度。

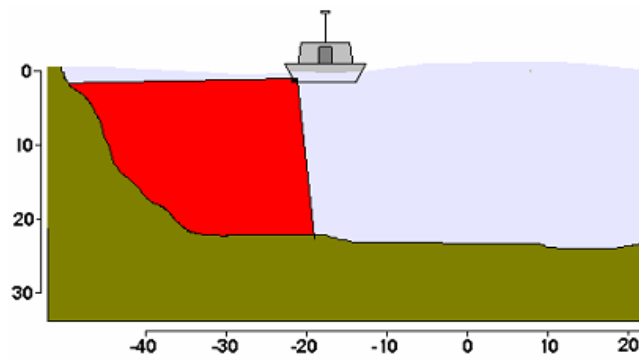
B.測深可達 300m，測深解析度 1 cm，測深精度符合國際海測組織 IHO 規範。

C.聲納頻率 200kHz，施測頻率最高可達 40 Hz，最高船行作業速度可達 12 節。

D.搭配 Hypack 資料收集軟體(如圖 4.21)，可即時了解測區深度，觀測覆蓋狀況等。



(A)正打示意圖

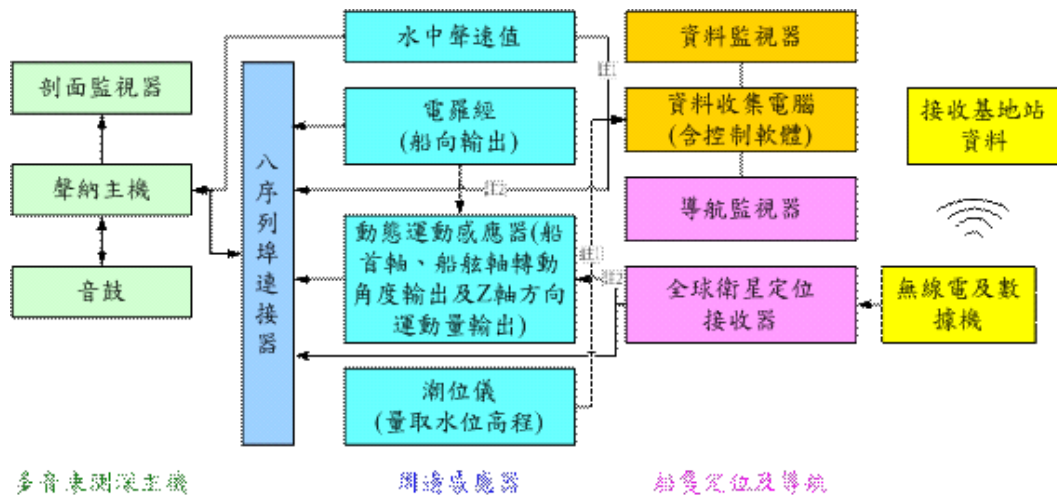


(B)側打示意圖

圖 4.18 多音束水深測量音鼓正打側打差異示意圖



圖 4.19 RESON SeaBat 8124 多音束測深機



註 1：此資料可在資料處理時輸入。

註 2：用以修正船隻轉彎所引起之離心加速度。

圖 4.20 多音束測深儀 RESON SeaBat8124 系統架構示意圖

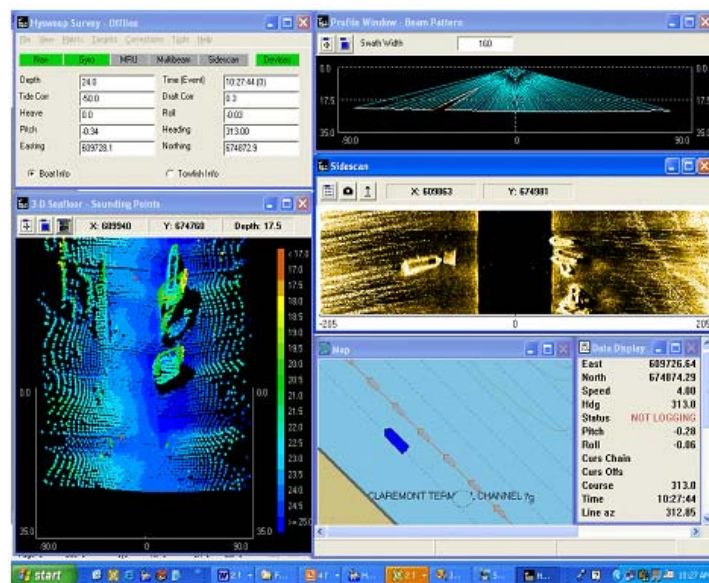


圖 4.21 HYPACK MAX 軟體—多音束測深系統施測畫面

多音束水深測量主要是以測深儀測深，搭配 GPS 衛星定位系統定位，並配合周邊設備如運動姿態感測器、電羅經、聲速儀、潮位儀等施測，達到高精度、高效率之海域地形測量方式。水深測量作業流程如圖 4.22 所示，各項作業步驟分述如下：

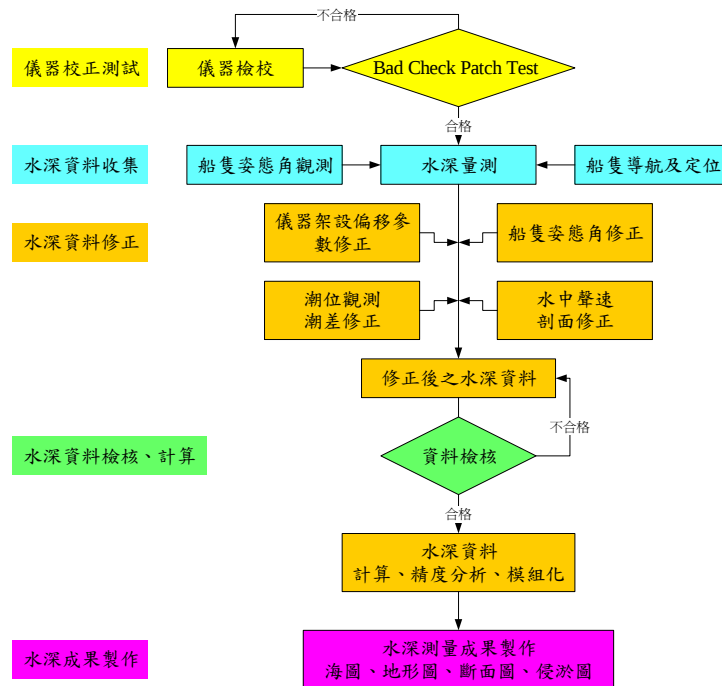


圖 4.22 水深測量作業流程圖

2. 透地雷達檢測

(1) 探測原理

透地雷達是一種類似反射震測的電磁波法，其施測原理如圖 4.23(a)所示，用天線將 $15\text{M}\sim 3\text{GHz}$ 之電磁波發射出去，使電磁波以 $V_m \approx \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}}$ 之波速在介質中傳遞，其中 $C = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ 為光速， ϵ_r 為介電常數(dielectric constant)，為相對空氣之容電率(dielectric permittivity)，當電磁波碰到介電常數界面則發生部份反射，例如空洞、地下管線、地層界面、水層等等界面，均會反射部份能量回到接收天線處，而由天線接收。其中反射係數為

$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$ ，其中 ϵ_1 為第 1 層之介電常數， ϵ_2 為第 2 層之介電常數。沿地表或襯砌表面連續掃描，將這些資料排在一起，則可得到地層或襯砌之剖面，當地表下方有地下管線或掏空之現象存在，則可看到明顯的反射訊號。

(2)探測儀器

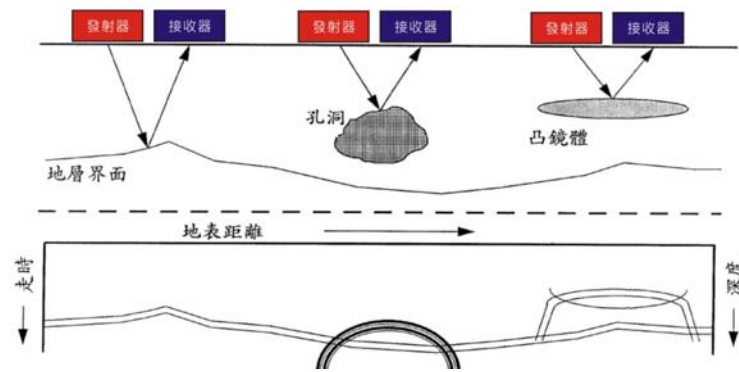
本探測使用美國 GSSI 公司生產之 SIR-3000 系列透地雷達，此系統之設計相當有彈性，發射之電磁波頻率及紀錄儀器之操作範圍相當廣，可適用於不同探測目的及探測場地之施測工作，其組件分為主機、天線罩及電源供應器三個部分，各組件之功能說明如下：

A.透地雷達主機：主要在控制天線罩之發射信號及接收信號，內含數值轉換器、影像顯示器、掃描資料儲存設備等等。儀器輕巧防水可方便在各種不同環境底下施測。儀器之解析能力可達 16 位元，紀錄之動態範圍為 24 位元，並具有資料重合之功能，可重複疊加訊號，加強訊號之能量。此外主機內含硬式磁碟，方便現場工作資料之儲存。

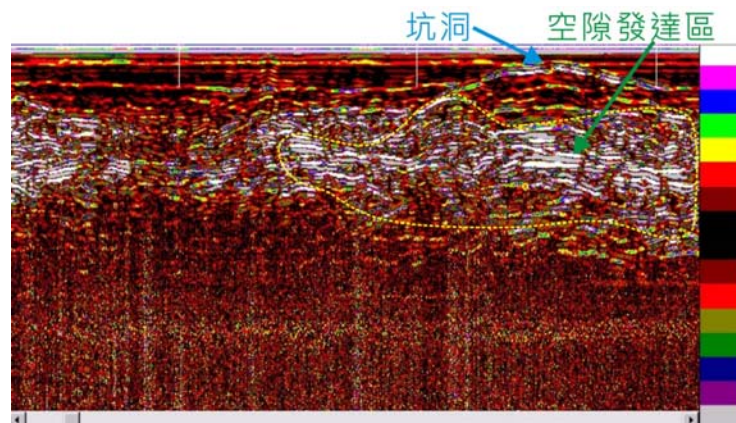
B.天線罩：天線罩中包含發射天線及接收天線，此系統之電磁波頻率操作範圍由 15MHZ 及 2GMHZ，其探測深度可由數十公分到數十公尺，依所需之探測深度選擇適用之天線罩頻率。

(3)施測成果

施測參數設定為總歷時(total duration)100ns(10⁻⁹ sec)，每條描線(trace)取樣 1024 點，每公尺 50 次掃描。在資料處理分析上應用速度分析、頻率濾波、解迴旋、影像處理等技巧。圖 4.23(b)為透地雷達成果剖面範例，剖面圖中以 16 種不同色彩代表雷達波場振幅，色階中愈靠近中間之部分，色調愈暗表示反射愈弱，即介質之介電常數的差異較小，如地層較為緊密或介質介電常數接近；而色階中愈靠近上下兩端之部分，色調愈亮表示反射愈強，介質之介電常數變化較大，如有坑洞、金屬管線、鋼支保或含水，均會造成強反射。



(a)



(b)

圖 4.23 透地雷達施測圖示說明

3. 光學測量檢測

此項儀器檢測以水準儀針對各型式碼頭岸肩進行高程量測，藉以確認是否有沈陷情況發生。若為棧橋式碼頭，則以各柱線間的墩柱位置進行高程量測，如圖 4.24 所示(是否需每個墩柱皆量測，視實際應用而定)，而重力與板樁式碼頭，則因為連續式結構，故量測上以離岸線固定距離(如圖 4.24 測線 A~C，本案以離岸線 5 公尺與 10 公尺劃設兩測線)為測線，並於每測線固定間隔(如圖 4.24 A_1 、 $A_2 \sim A_n$ 所示，本案以 5 公尺間隔進行測線各點位的劃設)作為量測點進行高程測量。

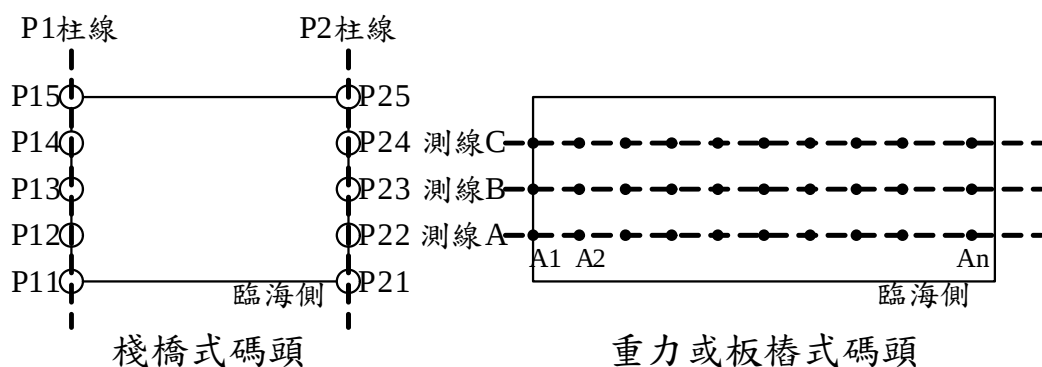


圖 4.24 各類型碼頭水準高程測量點位建議示意圖

4.4 碼頭構件儀器檢測建議

表 4-5 重力式碼頭構件儀器檢測對應

第 1 層構件	第 2 層構件	建議儀器檢測項目	
		結構性檢測	材料性檢測
碼頭本體	岸肩	透地雷達、光學測量、混凝土裂縫探測	反彈錘法、鋼筋電阻係數量測、鋼筋電位值量測、中性化試驗、抗壓試驗、超音波脈波速度量測、氯離子檢測
	壁體		
	後線	光學測量	—
海床		水深多音束探測	—

表 4-6 板樁式碼頭構件儀器檢測對應

第 1 層構件	第 2 層構件	建議儀器檢測項目	
		結構性檢測	材料性檢測
碼頭本體	岸肩	透地雷達、光學測量、混凝土裂縫探測	反彈錘法、鋼筋電阻係數量測、鋼筋電位值量測、中性化試驗、抗壓試驗、超音波脈波速度量測、氯離子檢測
	壁體	光學測量	材料厚度檢測、防蝕系統檢測
	後線		—
海床		水深多音束探測	—

表 4-7 棧橋式碼頭構件儀器檢測對應

第 1 層構件	第 2 層構件	建議儀器檢測項目	
		結構性檢測	材料性檢測
面版	梁	混凝土裂縫探測	反彈錘法、鋼筋電阻係數量、鋼筋電位值量測、超音波脈波速度量測
	岸肩底部		
	岸肩	透地雷達、光學測量、混凝土裂縫探測	反彈錘法、鋼筋電阻係數量測、鋼筋電位值量測、中性化試驗、抗壓試驗、超音波脈波速度量測、氯離子檢測
	後線	光學測量	—
墩柱			
拋石護坡		—	—
海床		水深多音束探測	

第五章 碼頭設施修復排序與工法選擇

5.1 碼頭設施維修排序

1. 單一構件設施評估

各構件之評價以目視檢測後之劣化狀況(即 D 值)乘上各構件權重值進行計算。若同一構件有不同劣化異狀，則以最嚴重值為代表。如圖 5.1 所示，單元 B11 有 B1 與 B2 兩個梁構件劣化，且 B1 梁同時有裂縫與腐蝕異狀，因裂縫劣化狀況較嚴重，故採用 3，而 B2 僅腐蝕異狀，故直接採用 2，而 B12 單元有 S1 與 S2 兩個位置有腐蝕異狀，因僅一種劣化異狀故直接採用劣化狀況為 2。其後為維修排序需求，將前述權重值配合構件採用之劣化狀況值進行計算，藉此將碼頭構件進行排序，依下表所示，B11 碼頭單元之面板-梁構件，其計算結果為 0.12，為最優先進行維修。

單元編號	構件名稱	劣化類型	劣化位置	劣化程度	採用	權重	結果
B11	面板-梁	裂縫	B1	3	3	0.07	0.21
B11	面板-梁	腐蝕	B1	2			
B11	面板-梁	腐蝕	B2	2	2	0.02	0.14
B12	面板-岸肩底部	腐蝕	S1	2	2		0.04
B12	面板-岸肩底部	腐蝕	S2	2	2		0.04

圖 5.1 單一構件設施評價說明

2. 整體設施評估

以碼頭或防波堤整體狀況進行計算，將設施各構件最嚴重者，採用其劣化狀況配合各構件權重進行計算後累加，即為設施整體狀況。如圖 5.2 所示以棧橋式碼頭為例，圖中各構件權重參照碼頭權重所示，各構件劣化狀況判定以採用該設施構件最嚴重者，進行加權計算後累加即為設施整體評估。

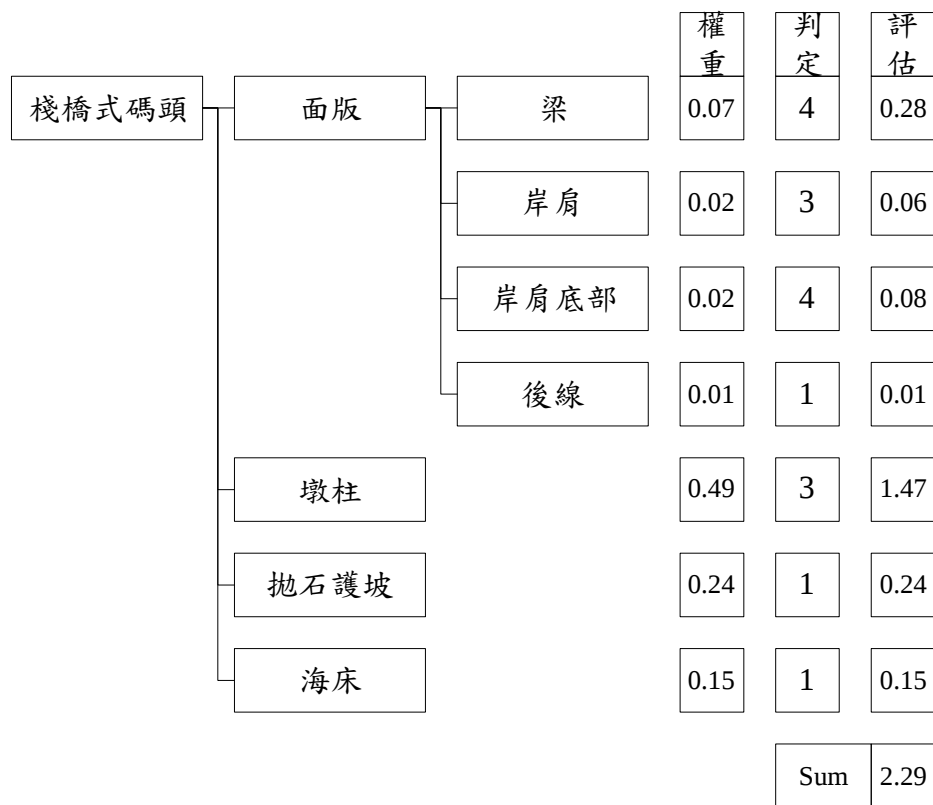


圖 5.2 整體設施評估說明

表 5-1 重力式碼頭權重

構件名稱	第 2 層	各構件分配權重
碼頭本體 (0.53)	岸肩(0.35)	0.19
	壁體(0.55)	0.29
	後線(0.10)	0.05
海床(0.47)		0.47

表 5-2 板樁式碼頭權重

第 1 層	第 2 層	各構件分配權重
碼頭本體 (0.55)	岸肩(0.43)	0.24
	壁體(0.44)	0.24
	後線(0.13)	0.07
海床(0.45)		0.45

表 5-3 棧橋式碼頭權重

第 1 層	第 2 層	各構件分配權重
面版(0.12)	梁(0.58)	0.07
	岸肩(0.20)	0.02
	岸肩底部(0.15)	0.02
	後線(0.08)	0.01
墩柱(0.49)		0.49
拋石護坡(0.24)		0.24
海床(0.15)		0.15

表 5-4 棧橋式碼頭權重

設施名稱	分配權重
繫船柱	0.22
防舷材	0.30
車擋	0.13
起重機軌道	0.36

5.2 碼頭設施修復工法

據前述 4.3 節對各型式碼頭構件劣化異狀程度定義後，本小節即針對各劣化異狀所建議的修復工法進行列表，並於其後說明各工法的施工說明與工料分析，以供現地工程師使用，惟在此僅針對一般性修復工法進行說明，補強工法部分因事涉進一步結構分析與設計，故在此不予以羅列。

以下為各型式碼頭劣化異狀與處置對策對照表，處置對策中各工法說明如下表 5-5~表 5-8(表格中工法編號與其後之工法說明可相互參照)，而工法說明以鋼筋混凝土構造(C)與鋼結構物(S)加以區分：

表 5-5 重力式碼頭劣化異狀與處置對策

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
碼頭本體	岸肩	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	樹脂砂漿塗抹工法(C1) ^{註 1}
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	灌注環氧樹脂工法(C2) ^{註 1}
			4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	修補水泥砂漿工法(C3)
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	混凝土及鋼筋修補(C4)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		沈陷	2	岸肩輕微下陷(面積<5 m ² 、高度<2.5 cm)	持續監測
			3	岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)	持續監測
			4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	壁體	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	樹脂砂漿塗抹工法(C1)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	灌注環氧樹脂工法(C2)
			4	裂縫擴散至整個壁體(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	修補水泥砂漿工法(C3)
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	混凝土及鋼筋修補(C4)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
		漏砂	2	壁體出現孔洞，但並未漏砂	持續監測
			3	壁體裂縫已可觀察出漏砂	持續監測
			4	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	後線	沈陷 (雨天檢視)	2	後線輕微下陷(深度<10 cm、面積<10 m ²)	持續監測
			3	後線明顯下陷(10 ≤ 深度 ≤ 15 cm、10 m ² ≤ 面積 ≤ 20 m ²)	持續監測
			4	後線嚴重下陷(深度>15 cm、面積>20 m ²)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
海床	沖刷	2	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度約 50cm 以下)	
		3	基礎明顯淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm	基礎中等淘刷(沖刷坑深度約 50~100cm)	
		4	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度約 100cm 以上)	

註 1：經常性修復作業。

表 5-6 板樁式碼頭劣化異狀與處置對策

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
碼頭本體	岸肩	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	樹脂砂漿塗抹工法(C1) 註 1
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	灌注環氧樹脂工法(C2) 註 1
			4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	修補水泥砂漿工法(C3)
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	混凝土及鋼筋修補(C4)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
		沈陷	2	岸肩輕微下陷(面積 $<5\text{ m}^2$ 、高度 $<2.5\text{ cm}$)	持續監測
			3	岸肩明顯下陷(面積 $\leq 5\text{ m}^2$ 、高度 $>2.5\text{ cm}$ 或面積 $>5\text{ m}^2$ 、高度 $\leq 2.5\text{ cm}$)	持續監測
			4	岸肩嚴重下陷(面積 $>5\text{ m}^2$ 、高度 $>2.5\text{ cm}$)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	壁體	接縫開裂	2	有輕微開裂(長度約達 $10\sim 20\text{ cm}$)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫約 $<5\text{ cm}$ 深)	持續監測
			3	有中等開裂(長度約達 $20\sim 30\text{ cm}$)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫 $5\sim 10\text{ cm}$ 深)	持續監測
			4	有嚴重開裂(長度約達 30 cm 以上)，漏砂狀況(鋼棒可入裂縫約 $>10\text{ cm}$ 深)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		穿孔	3	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於 5 cm^2)現象	持續監測
			4	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於 $5\sim 20\text{ cm}^2$)現象	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		防蝕系統	2	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 20 cm^2)擴大且有漏砂現象	無
			3	防蝕塊耗損小於 $1/3$	無
			4	防蝕塊耗損介於 $1/3\sim 2/3$	防蝕系統更換(S1、S2)
		後線 (雨天檢視)	2	防蝕塊耗損大於 $2/3$	持續監測
			3	後線輕微下陷(深度 $<10\text{ cm}$ 、面積 $<10\text{ m}^2$)	持續監測
			4	後線明顯下陷($10\leq\text{深度}\leq 15\text{ cm}$ 、 $10\text{ m}^2\leq\text{面積}\leq 20\text{ m}^2$)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
海床	沖刷		2	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50 cm 以下)	持續監測
			3	基礎明顯淘刷(沖刷坑深度目視約 $50\sim 100\text{ cm}$)	設置消波塊
			4	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100 cm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強

註 1：經常性修復作業。

表 5-7 棧橋式碼頭劣化異狀與處置對策

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
面版	梁	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	樹脂砂漿塗抹工法(C1)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	灌注環氧樹脂工法(C2)
			4	裂縫擴散至整個梁(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	修補水泥砂漿工法(C3)
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	混凝土及鋼筋修補(C4)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	岸肩	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	樹脂砂漿塗抹工法(C1) 註 1
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	灌注環氧樹脂工法(C2) 註 1
			4	裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	修補水泥砂漿工法(C3)
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	混凝土及鋼筋修補(C4)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		沈陷	2	岸肩輕微下陷(面積<5 m ² 、高度<2.5 cm)	持續監測
			3	岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)	持續監測

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
			4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	岸肩底部	裂縫	2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	樹脂砂漿塗抹工法(C1)
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	樹脂砂漿塗抹工法(C1)
			4	裂縫擴散至整個岸肩底部(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
		剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	持續監測
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	微細混凝土(C7)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	後線	沈陷 (雨天檢視)	2	後線輕微下陷(深度<10 cm、面積<10 m ²)	持續監測
			3	後線明顯下陷(10≤深度≤15 cm、10 m ² ≤面積≤20 m ²)	持續監測
			4	後線嚴重下陷(深度>15 cm、面積>20 m ²)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
墩柱(鋼管樁)	腐蝕		2	局部區域有鏽蝕集中	持續監測
			3	帶狀區域的鏽蝕，並有局部小型穿孔	持續監測
			4	連續性之鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔擴大	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
	防蝕包覆損壞		2	劣化面積 0.3%以下	
			3	劣化面積介於 0.3~10%之間	防蝕塗料維修
			4	劣化面積 10%以上	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
墩柱 (混凝土樁)	裂縫		2	局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)	持續監測
			3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)	特密管灌漿(C6)、噴凝土修復(C5)

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
	剝落		4	裂縫擴散至整個墩柱(裂縫寬度約 5mm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
			2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm	持續監測
			3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm	特密管灌漿(C6)、噴凝土修復(C5)
			4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
拋石護坡	破壞		2	護坡塊石輕微受損(護坡塊石破壞率約 5%以下)	持續監測
			3	護坡塊石明顯受損(護坡塊石破壞率約 5%~20%)	持續監測
			4	護坡塊石嚴重受損(護坡塊石破壞率約 20%以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強
海床	沖刷		2	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下)	持續監測
			3	基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm)	設置消波塊
			4	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上)	需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強

註 1：經常性修復作業。

表 5-8 碼頭附屬設施劣化異狀與處置對策

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明	建議處置對策
繫船柱	腐蝕龜裂	2	材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形	防蝕塗料維修 ^{註 1}
		3	材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形	防蝕塗料維修
		4	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	置換構件
防舷材	龜裂破損	2	材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	構件脫落之修復 ^{註 1}
		3	材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	構件脫落之修復 ^{註 1}
		4	材質老化、構件變形或掉落	置換構件
車擋	龜裂破損	2	材質表面輕微龜裂情形	無
		3	材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形	無
		4	材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	置換構件
起重機軌道	腐蝕位移	2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm	無
		3	兩軌間距高差 3mm~4.25mm、兩軌間距左右差 5mm~10mm、局部區域有生鏽	無
		4	兩軌間距高差 ≥4.25mm、兩軌間距左右差 ≥10mm、大範圍生鏽影響功能	置換構件

註 1：經常性修復作業。

1. 鋼筋混凝土修復工法

(1) 樹脂砂漿塗抹工法(C1)

A. 施工規範

(A)在塗抹樹脂砂漿修補材料前，必須將混凝土表面以高壓水清洗乾淨。

(B)如遇混凝土剝離或鋼筋鏽蝕則必須先完成混凝土表層修復及鋼筋除鏽及防蝕處理，並經工地工程司同意後以實做數量併入該修補工法計量與計價。

(C)施作前徹底以清水浸濕混凝土表面，確保活性矽化合物能經由擴散作用深入混凝土毛細孔及通道形成結晶物質。

(D)施作時須選用半硬的尼龍刷、鋤刀、掃帚(用於大的水平表面)、或特別的噴灑工具，塗層至少以 0.8mm 厚度平均塗抹。

(E)當防水塗層達到初凝足夠硬度時即刻開始均勻噴霧狀水養護，以確保品質。

(F)施工安全防護措施及塗佈方式須經材料廠商之建議方式施作，承商建議之方式應事先取得工地工程司之同意。

B.材料規範

(A)施工前承商應依甲方指示，準備材料樣本、出廠證明書(正本)、原廠品質證明書(正本)，送交甲方審核通過，方可施工。

(B)樹脂砂漿不低於原混凝土結構物強度。

(C)防護塗層材料規格：

試驗項目	規格值	試驗方法
抗滲透水壓	$\geq 1.2\text{Mp2}$ ，無滲漏	CRD-C48
結晶滲透厚度	$\geq 30\text{mm}$ ，30 天	掃描式電子顯微鏡(SEM) 能量分散光譜儀(EDS) 及 X 射線綜合分析

(2)灌注環氧樹脂工法(C2)

A.施工規範

(A)畫定欲修復之裂縫，標示其尺寸，同時記錄於檢測圖上，經工地工程司同意後方可施工。

(B)以高壓水刀清理裂縫表面與周邊雜質。

(C)固定裂縫灌注器於裂縫上，灌注器間距須視裂縫寬度而定，間距為 15 至 40 公分之間(視採用廠牌而定)，以能灌滿裂縫為原則。

(D)安裝灌注器底座。

(E)裂縫密封之裂縫表面須用密封劑沿著裂縫作寬度約 30mm, 厚 3mm 之密封，以避免注入之修補材料流出。

(F)請工地工程司檢查，經其同意後繼續施作。

(G)環氧樹脂灌注:灌注的壓力須由裂縫寬度、深度及修補材的稠度來決定，原則上須採用低壓低速方式灌注。灌注時須從裂縫最寬處開始，若在垂直或傾斜面施工時，通常先從最低的灌注點開始依序向上灌注，當環氧樹脂溢過上方的灌注點時，再移至新灌注點進行灌注。若有需要且在該裂縫灌注 30 分鐘內，可再進行補灌。記錄每一灌注之環氧樹脂使用量，並送交工程司備查。

(H)請現地工程司確實監督灌滿後至少養生 24 小時，拆除灌注器底座,並進行披土磨平。

(I)完成後施工區塊噴塗水泥漿式油漆以遮飾整修之裂縫。

B.材料規範

(A)施工前承商應依甲方指示，準備材料樣本、出廠證明書(正本)、原廠品質證明書(正本)，送交甲方審核通過，方可施工。

(B)環氧樹脂注入粘劑之審核：承包商須提送由獨立(具公信力)合格之實驗試所簽發之完整實驗報告，驗明其計劃使用之環氧樹脂注劑符合本施工規範所列之環氧樹脂注劑材料規範之全部要求。(如係進口材料，其由原製造廠所提之實驗報告及證明書等文件均應由我國駐派國代表處簽證)，送請工程司及業主審核同意後使用。

(C)使用之環氧樹脂粘劑之品質證明：每一批將用於本工程之注入粘劑承包商均須提供證明其環氧樹脂均符合第 2 款所列環氧樹脂之需求。其證明應包含每批產品之實驗報告。

(D)本工程所審核承包商所提送之文件，文件內容由承包商負完全之責任，如經工程司要求抽驗，而抽驗取樣送經檢驗後，如有任何數據與承包商原提送文件登載不合者，承包商應負一切損害賠償及法律責任。

(E)裂縫灌注環氧樹脂材料規格：

試驗項目	規格值	測試方法
粘滯度	$\geq 8\text{Pa}\cdot\text{s}$	CNS13065(ASTM D293-86)
粘接強度	$\geq 90\text{kg}/\text{cm}^2(14\text{days})$	ASTM C882-87
抗拉強度	$\geq 30\text{kg}/\text{cm}^2$	CNS1011(ASTM C109-85)

(3)修補水泥砂漿工法(C3)

A.施工規範

- (A)畫定欲敲除混凝土範圍，標示其尺寸，同時記錄於檢測圖上，經工地工程司同意後方可施工。
- (B)以高壓水刀鑿除劣化混凝土至堅實面。
- (C)修飾被敲除之混凝土範圍，使其邊緣盡量成為方邊，且方邊深度不小於 10mm。
- (D)以高壓噴鎗清除表面粉塵及鬆動碎屑，同時請工地工程師檢查，經其同意後方可繼續施作。
- (E)塗抹環氧樹脂接著劑於新舊混凝土接觸面上，而此接著劑須與補修材料及混凝土具有相容特性。
- (F)於接著劑處於濕潤狀態時，以補修材料將蜂窩灌滿並加以整平及養護，修補材料須為經工程司核可之無收縮混凝土或無收縮水泥砂漿，可施工於垂直面，並具修補厚度可達現場要求之特性。
- (G)混凝土剝落處以無收縮水泥砂漿修補後，其暴露在外的表面要妥善的保護，避免受到風、雨的侵蝕，同時亦應避免高溫使水泥砂漿快速地乾燥而強度不足，承包商若採水泥砂漿養護劑進行養護，應事先提送甲方工地工程司核可後據以施作。
- (H)應由外觀檢查，以確定填補材料沒有裂縫產生。
- (I)承包商須依據採用之材料特性，擬定合適之養護方法，送經甲方工地工程司核可後據以施做。

B.材料規範

(A)施工前承商應依甲方指示，準備材料樣本、出廠證明書(正本)、原廠品質證明書(正本)，送交甲方審核通過，方可施工。

(B)樹脂砂漿不低於原混凝土結構物強度。

(C)使用之環氧樹脂粘劑之品質證明：每一批將用於本工程之注入粘劑承包商均須提供證明其環氧樹脂均符合第2款所列環氧樹脂之需求。其證明應包含每批產品之實驗報告。

(D)本工程所審核承包商所提送之文件，文件內容由承包商負完全之責任，如經工程司要求抽驗，而抽驗取樣送經檢驗後，如有任何數據與承包商原提送文件登載不合者，承包商應負一切損害賠償及法律責任。

(E)環氧樹脂底漆(新舊混凝土接著劑)及修補材料與新舊混凝土接著劑規格：

環氧樹脂底漆(新舊混凝土接著劑) 規格

試驗項目	規格值	測試方法
抗壓強度	$\geq 385 \text{ kg/cm}^2$	CNS1010(ASTM C109-90)
抗拉強度	$\geq 50 \text{ kg/cm}^2$	CNS1011(ASTM C190-85)

修補材料與新舊混凝土接著劑規格

試驗項目	規格值	測試方法
抗壓強度	$> 180 \text{ kg/cm}^2 @ 7 \text{ 天}$ $> 220 \text{ kg/cm}^2 @ 28 \text{ 天}$	CNS1010 (ASTM C109-90)
粘接強度	$> 15 \text{ kg/cm}^2$	ASTM 882-87
膨脹率	$0 \sim 0.4\% @ 7 \text{ 天}$	ASTM C827
氯離子含量	$< 0.3 \text{ kg/m}^3$	CNS3090

(4)混凝土及鋼筋修補(C4)

A.施工規範

(A)畫定欲敲除混凝土之範圍，標示其尺寸，同時記錄於檢測圖上，經工地工程司同意後方可施工。

- (B)沿鋼筋軸向方向多敲除 50mm 之混凝土，以確保無鋼筋銹蝕發生，並將敲除後之不規則修復面調整為規則面，規則面邊界切割深度不可小於 10mm。
- (C)敲除已產生鋼筋銹蝕之表面混凝土至鋼筋內側約 2.5cm 處，並將表面打毛。
- (D)鋼筋或套管以水刀除銹，並將工作面清理乾淨。同時請工地工程司檢查，經其同意後方得繼續施作。
- (E)銹蝕處理後於一小時內塗上防銹劑。
- (F)塗抹新舊混凝土接著劑於新舊混凝土交界面上，接著劑須與修補物質及混凝土具有相容特性。
- (G)於接著劑處於濕潤狀態時，以修補材料將打除混凝土部份灌滿，修補材料須為經工程司核可之無收縮混凝土或無收縮水泥砂漿，可施工於垂直面，並具修補厚度可達現場要求之特性。
- (H)將表面修飾整平，承包商並須依據採用之材料特性，事先擬定合適之養護方法，送經甲方工地工程司核可後據以施做。
- (I)應由外觀檢查，以確定填補材料沒有裂縫產生。

B.材料規範

- (A)鋼筋防銹劑(漆)須為抗酸鹼性、耐後性及具黏結性之績優產品，使用前應先提送樣品並附產品說明書等詳細資料經甲方工程司核定同意後方可施工。
- (B)修補材料及新舊混凝土接著劑規格：

修補材料規格

試驗項目	規格值	測試方法
抗壓強度	$\geq 180\text{kg/cm}^2@7\text{天}$ $\geq 220\text{kg/cm}^2@28\text{天}$	CNS1010(ASTM C109-90)
粘接強度	$\geq 15\text{kg/cm}^2$	ASTM 882-87
膨脹率	$0\sim 0.4\%@7\text{天}$	ASTM C827
氯離子含量	$\leq 0.6\text{kg/m}^3$	CNS3090

新舊混凝土接著劑規格

試驗項目	規格值	測試方法
抗壓強度	$> 350\text{kg/cm}^2$	CNS1010(ASTM C109-90)
抗拉強度	$> 50\text{kg/cm}^2$	CNS1011(ASTM C190-85)

(5)噴凝土工法(Shotcrete or gunite)(C5)

當混凝土表面鑿除與噴砂處理後，視需要安置鋼筋於預定位置，並使用噴凝土於墩柱或牆面，以恢復它原有的斷面尺寸(如圖 5.3 所示)。此方面並不建議使用環氧樹脂黏著劑，因其會發生腐蝕。當墩柱混凝土劣化至外形如沙漏般時，則必須先使用噴凝土修補後，再使用鋼筋進行斷面修復(如圖 5.4 所示)。

施工上最好能施做兩層厚度 2~3 公分的混凝土，其效果上比一次施做 4~5 公分為佳。一般來說，高壓縮力混凝土在黏著力與特性上較低壓縮力的為佳。

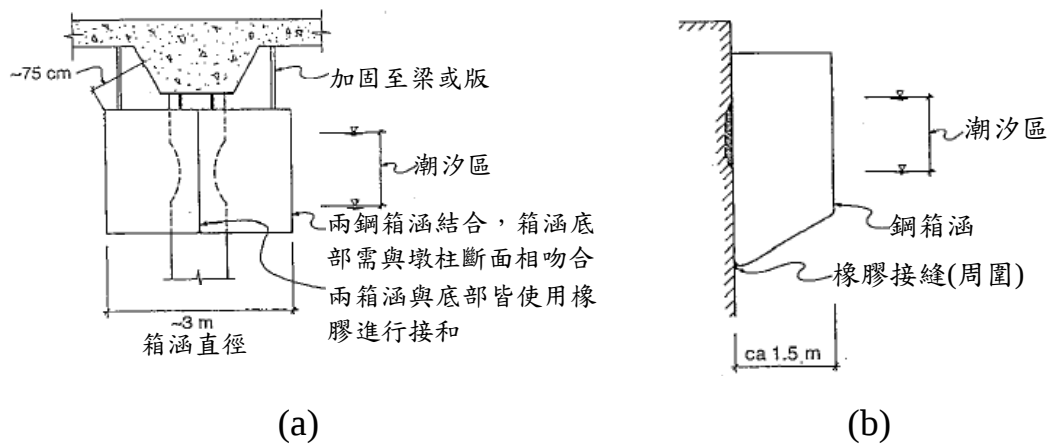


圖 5.3 防水箱涵示意

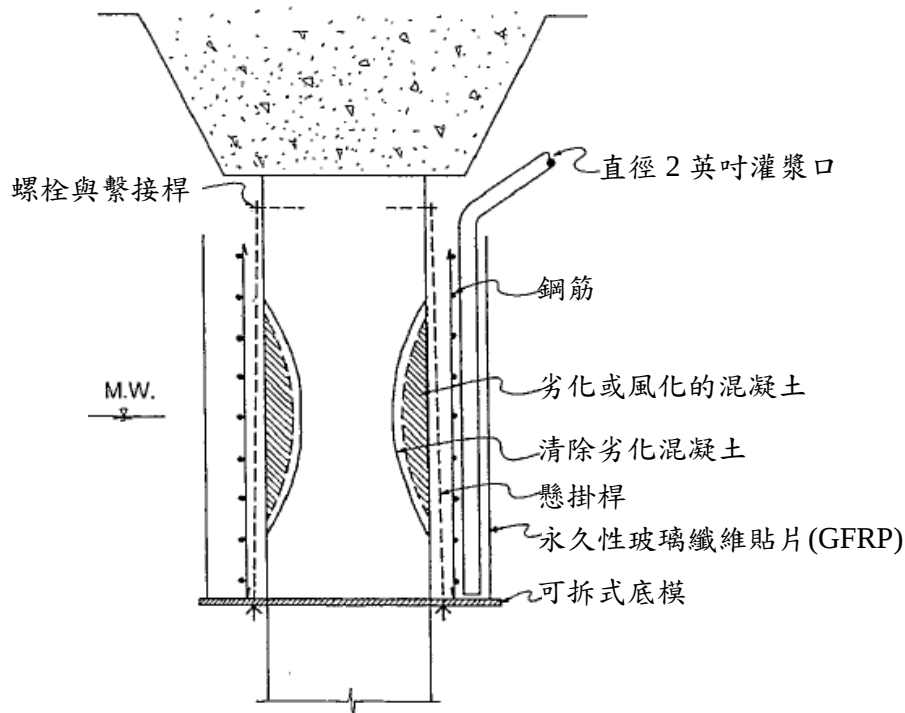


圖 5.4 灌漿管示意

(6)特密管灌漿(Termie pipe concreting)(C6)

海中墩柱與結構構件在使用特密管修復上有其相同的特性，其皆使用覆蓋物(Mantle)環繞構造物周圍，以便使新舊介面的接合度提高，這亦可應用於劣化異狀僅出現於構件單側之情況，無論是否需加強構造物的強度，使用鋼筋網是有其必要性的，其目的可增加混凝土澆置時的附著力。

當劣化異狀發生於混凝土與海床交接處時，必須清除舊有混凝土部分，並且覆蓋物需使用螺栓與海床連接，因應澆置覆蓋物的模版與海床交接部分亦需依其外型予以修整，以符合其外形。覆蓋物厚度必須有充足的空間供特密管於模版與鋼筋網之間放入。當混凝土澆置時，特密管於需裝設於墩柱兩側，如圖 5.5 所示。

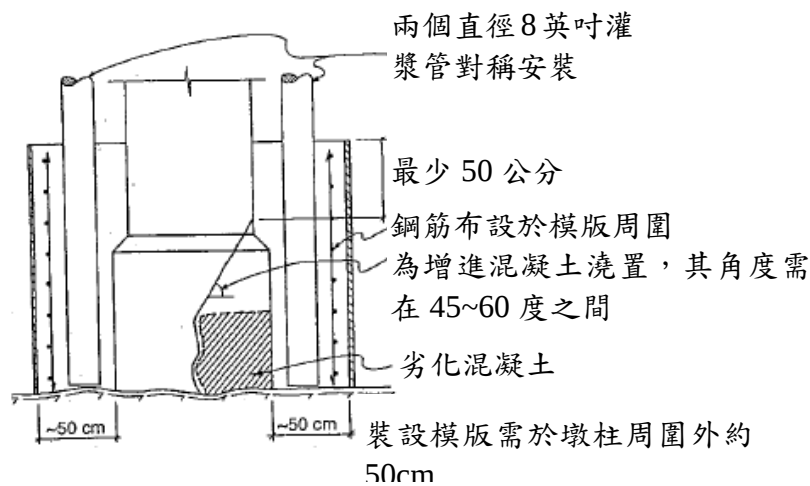


圖 5.5 特密管於墩柱海床交接面之修復

(7)微細混凝土(Micro-concrete)(C7)

微細混凝土方法是一種簡易的注射方式，此法為注射水泥砂漿並適用於特殊位置且其範圍較小，如圖 5.6、圖 5.7 所示。

假設注射範圍較長，則會以一端注射並於另一端排出的方式，藉以確認漿液充滿。當灌注時，其灌注壓力需視現場情況調整，以避免灌注過快，造成漿液的流失。

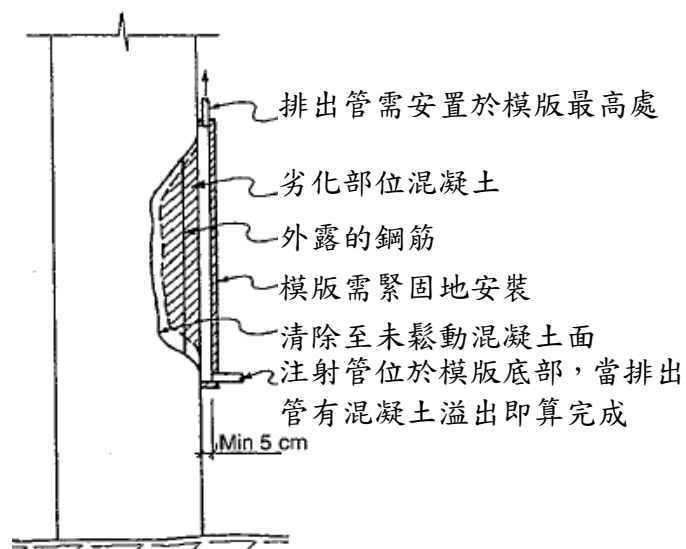


圖 5.6 使用微細混凝土於牆面構造修復示意

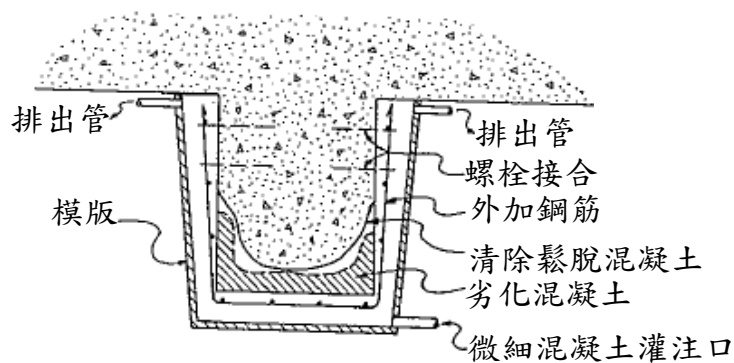


圖 5.7 使用微細混凝土於梁修復示意

2. 鋼構造物修復工法

鋼構造物修復，主要以防蝕系統修復為主，目前所採陰極防蝕技術應用於港灣構造物上，經國外多年之研究及使用經驗，業已被肯定為防蝕效能極佳之工法。國內亦已由交通部運輸研究所於民國 92 年研訂「港灣構造物陰極防蝕準則草案-(鋼構造物部份)」，針對港灣鋼構造物之陰極防蝕技術制訂準則草案，草案中以(1)犧牲陽極式防蝕系統與(2)外加電流式防蝕系統兩者說明其設計基本原則、陰極防蝕系統設計、材料及裝置、系統安裝、系統驗收與系統維護與管理等內容，其工法概要說明如下：

(1)犧牲陽極式防蝕系統(S1)

犧牲陽極法主要是利用電位較負的金屬(如鎂、鋁、鋅等合金)為陽極，與被保護鋼構造物(陰極)在介質(如海水、海底土等)中形成一電化學電池；由於異類金屬相接觸，活性較大(active)之金屬(陽極)會在反應中被消耗，而活性較小(noble)的鋼鐵(陰極)則會被保護。以碼頭鋼板(管)樁之防蝕為例，如圖 5.8 所示

(2)外加電流式防蝕系統(S2)

外加電流式陰極防蝕系統主要是利用一外部直流電源供應器來提供陰極與陽極間的電位差。陽極必須接於直流供應器之「+」端，而被保護金屬則接於直流供應器的「-」端。以碼頭鋼板(管)

樁為例，電流從陽極經過海水或海底土到達鋼板(管)樁表面，然後經導線回到電源，如此鋼板(管)樁便受到保護，如圖 5.9 所示。

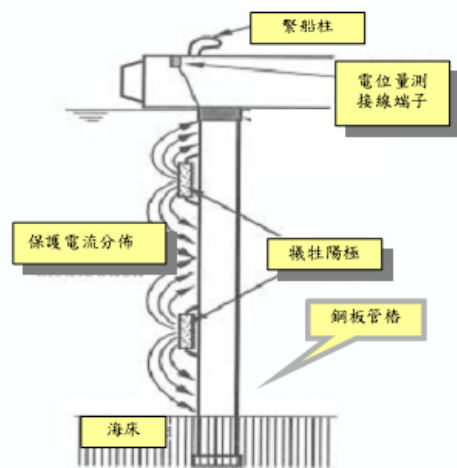


圖 5.8 碼頭鋼板(管)樁犧牲陽極法
示意圖

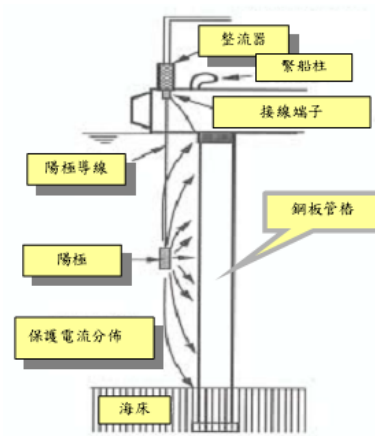


圖 5.9 碼頭鋼板(管)樁外加電流
法示意圖

附件 1 巡查檢測表格範例

碼頭經常巡查檢測表

檢測編號： 5

檢測日期		101 年 10 月 4 日		檢測天氣		☒ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨	
碼頭基本資料	港灣名稱	基隆港			碼頭編號	東 4	
	碼頭用途	☐ 貨櫃碼頭 ☐ 散雜貨碼頭 ☐ 客運碼頭 ☒ 其他碼頭					
	碼頭型式	☐ 重力式 ☒ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 混合式()					
	上次檢測日期	年 月 日					
檢測資料	檢測單元 ²	B 5					
	劣化位置 ³	(X：6.6 m, Y：4.2 m)					
檢測單位：TCRI 檢測人：簡臣佑							
碼頭本體							
巡查項目		判斷準則				劣化數量	
岸肩	裂縫	裂縫擴散至整個岸肩？ 是 ☒ /否 ☐				31.2 m	
	剝離	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm 是 ☐ /否 ☒				m ²	
	沈陷	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)(雨天檢視) 是 ☐ /否 ☒				m ²	
後線	沈陷	岸肩嚴重下陷(高度>10 cm、面積>10 m ²) 是 ☐ /否 ☒				m ²	
附屬設施							
巡查項目		判斷準則				劣化數量	
繫船柱	腐蝕龜裂	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂是 ☐ /否 ☒				個	
防舷材	龜裂破損	材質老化、構件變形或掉落是 ☐ /否 ☒				個	
車擋	龜裂破損	材質嚴重龜裂或脫落是 ☐ /否 ☐				個	
起重機軌道	腐蝕位移	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、大範圍生鏽影響功能是 ☐ /否 ☐				m	
劣化照片							
							
檢測員意見：							

附件 2 各類型碼頭巡查表格

表 1 碼頭 ☐ 經常 / ☐ 特別巡查檢測表

檢測編號：_____

檢測日期		年 月 日		檢測天氣		☐ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨	
碼頭基本資料	港灣名稱					碼頭編號	
	碼頭用途		☐ 貨櫃碼頭 ☐ 散雜貨碼頭 ☐ 客運碼頭 ☐ 其他碼頭				
	碼頭型式		☐ 重力式 ☐ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 混合式(_____)				
	上次檢測日期		年 月 日				
檢測資料	檢測單元 ²		B _____				
	劣化位置 ³		(X: m, Y: m)				
檢測單位：_____ 檢測人：_____							
碼頭本體							
巡查項目		判斷準則				劣化數量	
岸肩	裂縫	裂縫擴散至整個岸肩？是 ☐ /否 ☐				m	
	剝離	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm 是 ☐ /否 ☐				m ²	
	沈陷	岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)(雨天檢視) 是 ☐ /否 ☐				m ²	
後線	沈陷	岸肩嚴重下陷(高度>10 cm、面積>10 m ²) 是 ☐ /否 ☐				m ²	
附屬設施							
巡查項目		判斷準則				劣化數量	
繫船柱	腐蝕龜裂	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂是 ☐ /否 ☐				個	
防舷材	龜裂破損	材質老化、構件變形或掉落是 ☐ /否 ☐				個	
車擋	龜裂破損	材質嚴重龜裂或脫落是 ☐ /否 ☐				個	
起重機軌道	腐蝕位移	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、大範圍生鏽影響功能是 ☐ /否 ☐				m	
劣化照片							
檢測員意見：							

表 2 碼頭定期巡查檢測表(重力式)¹

編號：_____

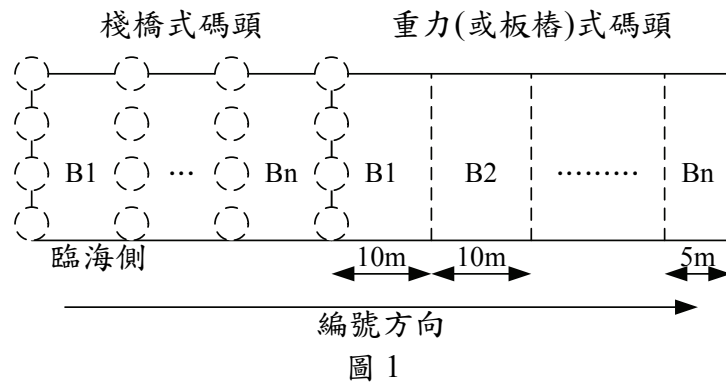
檢測日期		年 月 日		檢測天氣		☐ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨	
碼頭基本資料		港灣名稱		碼頭編號			
		碼頭用途		☐ 貨櫃碼頭 ☐ 散雜貨碼頭 ☐ 客運碼頭 ☐ 其他碼頭			
		碼頭型式		☐ 重力式 ☐ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 混合式()			
		上次檢測日期		年 月 日			
檢測資料		檢測單元 ²		B _____			
		劣化位置 ³					
檢測單位：_____ 檢測人：_____							
碼頭本體							
巡查項目		劣化輕微(D=2)		劣化中等(D=3)		劣化嚴重(D=4)	
岸肩	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	
	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	
	沈陷(雨天檢視)	☐ 岸肩輕微下陷(面積≤5 m ² 、高度≤2.5 cm)		☐ 岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)		☐ 岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)	
壁體	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	
	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	
	漏砂	☐ 牆面出現孔洞，但並未漏砂		☐ 牆面裂縫已可觀察出漏砂		☐ 背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂	
後線	沈陷(雨天檢視)	☐ 岸肩輕微下陷(高度≤10 cm、面積≤10 m ²)		☐ 岸肩中等下陷(10 ≤高度≤ 15 cm、10 m ² ≤面積≤ 20 m ²)		☐ 岸肩嚴重下陷(高度>15 cm、面積>20 m ²)	
海床	冲刷	☐ 基礎輕微淘刷(冲刷坑深度目視約 50cm 以下)		☐ 基礎中等淘刷(冲刷坑深度目視約 50~100cm)		☐ 基礎嚴重淘刷(冲刷坑深度目視約 100cm 以上)	
附屬設施							
巡查項目		劣化輕微(D=2)		劣化中等(D=3)		劣化嚴重(D=4)	
繫船柱	腐蝕龜裂	☐ 材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形		☐ 材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形		☐ 材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	

防舷材	龜裂破損	☐ 材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	☐ 材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	☐ 材質老化、構件變形或掉落	個
車擋	龜裂破損	☐ 材質表面輕微龜裂情形	☐ 材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形	☐ 材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	個
起重機軌道	腐蝕位移	☐ 兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm	☐ 兩軌間距高差3mm~4.25mm、兩軌間距左右差5mm~10mm、局部區域有生鏽	☐ 兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、大範圍生鏽影響功能	m
劣化照片					
檢測員意見：					

劣化照片

檢測員意見：

- 1.巡查評估記錄以每一問題填寫一張表格進行。
- 2.檢測單元：重力與板樁式為連續式結構(重力式沈箱碼頭有結構單元區分)，故針對此類碼頭碼，以 10m 為一單元(Block)進行編碼($B_1...B_n$)，若屬重力式沈箱碼頭，則以各沈箱進行編碼。棧橋式碼頭則依墩柱縱向柱線間距進行單元編碼($B_1...B_n$)(如下圖 1 所示)。



- 3.劣化位置：岸肩構件劣化狀況位置描述以(x、y)座標進行記錄，法線與後線則以 x 座標進行記錄，其座標起使原點如下圖 2 所示。附屬設施除車擋與起重機軌道以整體性狀況進行評估外，繫船柱與防舷材以該單元各別進行編碼(如圖 3)進行評估。

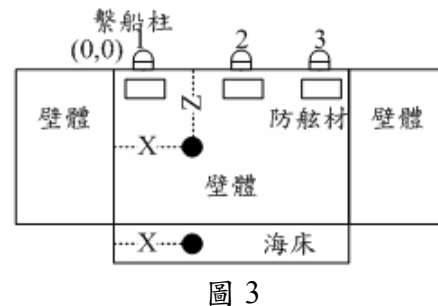
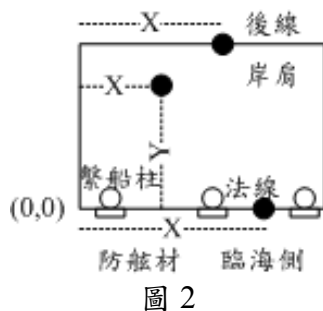
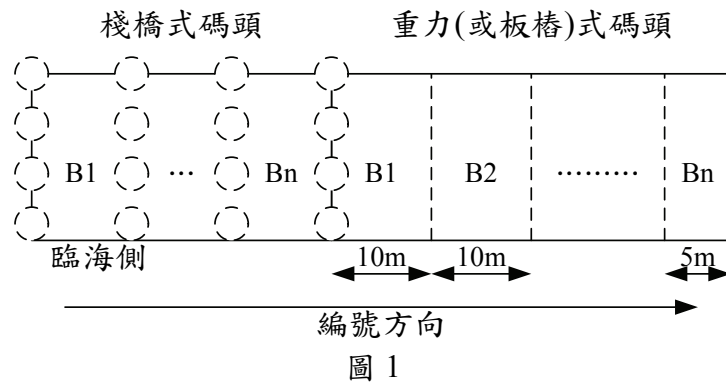


表 3 碼頭定期巡查檢測表(板樁式)¹

編號：_____

檢測日期		年 月 日		檢測天氣		☐ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨	
碼頭基本資料	港灣名稱		碼頭用途		碼頭編號		
			☐ 貨櫃碼頭 ☐ 散雜貨碼頭 ☐ 客運碼頭 ☐ 其他碼頭				
	碼頭型式		☐ 重力式 ☐ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 混合式(_____)				
	上次檢測日期		年 月 日				
檢測資料	檢測單元 ²		B _____				
	劣化位置 ³						
檢測單位：_____ 檢測人：_____							
碼頭本體							
巡查項目		劣化輕微(D=2)		劣化中等(D=3)		劣化嚴重(D=4)	
岸肩	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	
	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	
	沈陷(雨天檢視)	☐ 岸肩輕微下陷(面積≤5 m ² 、高度≤2.5 cm)		☐ 岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)		☐ 岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)	
壁體	接縫開裂	☐ 有輕微開裂(長度約達 10~20cm，接縫深小於 5 cm)		☐ 有中等開裂(長度約達 20~30cm，接縫深介於 5~10 cm)		☐ 有嚴重開裂(長度約達 30cm 以上，接縫深大於 10 cm)	
	穿孔	☐ 鋼板樁表面穿孔(面積≤5cm ²)		☐ 鋼板樁表面穿孔(面積 5~10cm ²)		☐ 鋼板樁表面穿孔(面積>10cm ²)	
	防蝕系統	☐ 防蝕塊損失≤1/3		☐ 防蝕塊損失介於 1/3~2/3		☐ 防蝕塊損失>2/3	
後線	沈陷(雨天檢視)	☐ 岸肩輕微下陷(高度≤10 cm、面積≤10 m ²)		☐ 岸肩中等下陷(10≤高度≤15 cm、10 m ² ≤面積≤20 m ²)		☐ 岸肩嚴重下陷(高度>15 cm、面積>20 m ²)	
海床	冲刷	☐ 基礎輕微淘刷(冲刷坑深度目視約 50cm 以下)		☐ 基礎中等淘刷(冲刷坑深度目視約 50~100cm)		☐ 基礎嚴重淘刷(冲刷坑深度目視約 100cm 以上)	
附屬設施							
巡查項目		劣化輕微(D=2)		劣化中等(D=3)		劣化嚴重(D=4)	
繫船柱	腐蝕龜裂	☐ 材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形		☐ 材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形		☐ 材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	
防舷材	龜裂破損	☐ 材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損		☐ 材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象		☐ 材質老化、構件變形或掉落	

- 1.巡查評估記錄以每一問題填寫一張表格進行。
- 2.檢測單元：重力與板樁式為連續式結構(重力式沈箱碼頭有結構單元區分)，故針對此類碼頭碼，以 10m 為一單元(Block)進行編碼($B_1...B_n$)，若屬重力式沈箱碼頭，則以各沈箱進行編碼。棧橋式碼頭則依墩柱縱向柱線間距進行單元編碼($B_1...B_n$)(如下圖 1 所示)。



- 3.劣化位置：岸肩構件劣化狀況位置描述以(x、y)座標進行記錄，法線與後線則以 x 座標進行記錄，其座標起使原點如下圖 2 所示。附屬設施除車擋與起重機軌道以整體性狀況進行評估外，繫船柱與防舷材以該單元各別進行編碼(如圖 3)進行評估。

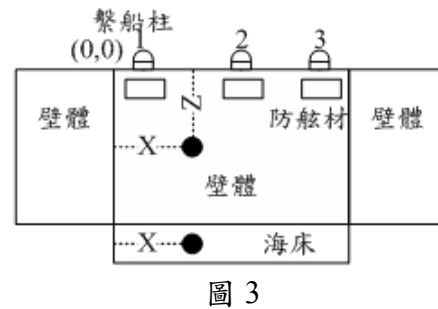
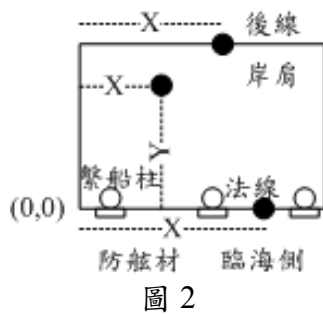


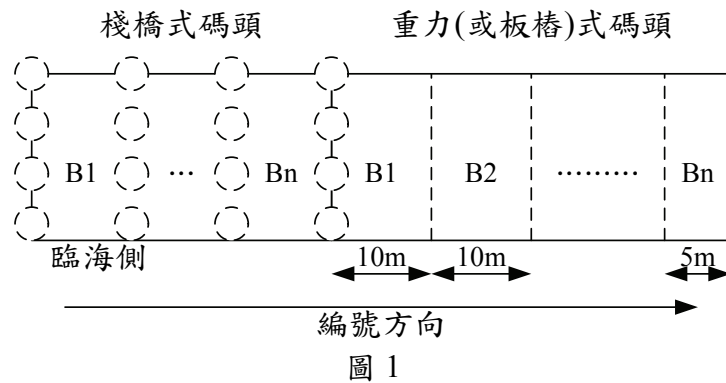
表 4 碼頭定期巡查檢測表(棧橋式)¹

編號：_____

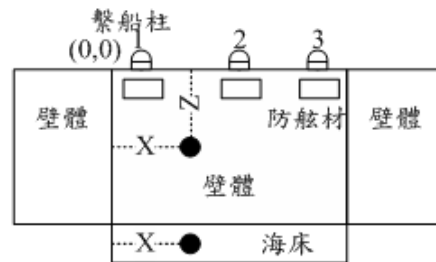
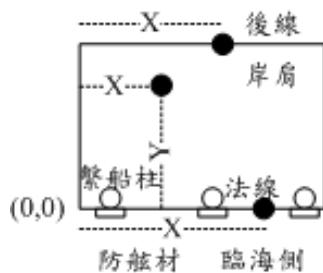
檢測日期		年 月 日		檢測天氣		☐ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨	
碼頭基本資料		港灣名稱		碼頭編號			
		碼頭用途		☐ 貨櫃碼頭 ☐ 散雜貨碼頭 ☐ 客運碼頭 ☐ 其他碼頭			
		碼頭型式		☐ 重力式 ☐ 板樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 混合式(_____)			
		上次檢測日期		年 月 日			
檢測資料		檢測單元 ²		B _____			
		劣化位置 ³					
檢測單位：_____ 檢測人：_____							
碼頭本體							
巡查項目		劣化輕微(D=2)		劣化中等(D=3)		劣化嚴重(D=4)	
梁	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	
	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	
岸肩底部	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	
	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	
岸肩	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	
	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm		☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	
	沈陷(雨天檢視)	☐ 岸肩輕微下陷(面積≤5 m ² 、高度≤2.5 cm)		☐ 岸肩明顯下陷(面積≤5 m ² 、高度>2.5 cm 或面積>5 m ² 、高度≤2.5 cm)		☐ 岸肩嚴重下陷(面積>5 m ² 、高度>2.5 cm)	
墩柱	裂縫	☐ 局部可見到 2~3 個部位有裂縫(裂縫寬度約 3mm 以下)		☐ 局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約 3~5mm 以內)		☐ 裂縫擴散至整個岸肩(裂縫寬度約 5mm 以上)	

混凝土樁)	剝落	☐ 混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑 ≤ 15 cm, 深度 ≤ 2.5 cm	☐ 鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕, 剝落寬度直徑 ≤ 15 cm, 深度 >2.5 cm 或剝落寬度直徑 >15 cm, 深度 ≤ 2.5 cm	☐ 鋼筋混凝土外露腐蝕, 且鋼筋底部混凝土剝落, 且剝落寬度直徑 >15 cm, 深度 >2.5 cm	m^2
墩柱(鋼管樁)	腐蝕	☐ 局部區域有鏽蝕集中	☐ 帶狀區域的鏽蝕, 並有局部小型穿孔	☐ 連續性之鋼管樁鏽蝕, 鋼管樁表面穿孔擴大	
	防蝕披覆破壞	☐ 劣化面積 $\leq 0.3\%$	☐ $0.3\% < \text{劣化面積} \leq 10\%$	☐ 劣化面積 $>10\%$	%
後線	沈陷(雨天檢視)	☐ 岸肩輕微下陷(高度 ≤ 10 cm、面積 $\leq 10 m^2$)	☐ 岸肩中等下陷($10 \leq \text{高度} \leq 15$ cm、 $10 m^2 \leq \text{面積} \leq 20 m^2$)	☐ 岸肩嚴重下陷(高度 >15 cm、面積 $>20 m^2$)	m^2
拋石護坡	破壞	☐ 護坡塊石輕微受損(護坡塊石破壞率約5%以下)	☐ 護坡塊石明顯受損(護坡塊石破壞率約5%~20%)	☐ 護坡塊石嚴重受損(護坡塊石破壞率約20%以上)	%
海床	冲刷	☐ 基礎輕微淘刷(冲刷坑深度目視約50cm以下)	☐ 基礎中等淘刷(冲刷坑深度目視約50~100cm)	☐ 基礎嚴重淘刷(冲刷坑深度目視約100cm以上)	cm
附屬設施					
巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量
繫船柱	腐蝕龜裂	☐ 材質輕微鏽損狀況, 基座無明顯龜裂情形	☐ 材質明顯鏽損狀況, 基座有明顯龜裂情形	☐ 材質嚴重鏽損與剝落, 基座嚴重龜裂	個
防舷材	龜裂破損	☐ 材質表面褪色、輕微劣化, 螺帽鬆脫或缺損	☐ 材質表面劣化明顯, 螺栓缺損, 靠船時能明顯觀察到龜裂現象	☐ 材質老化、構件變形或掉落	個
車擋	龜裂破損	☐ 材質表面輕微龜裂情形	☐ 材質表面有明顯龜裂, 基座有龜裂情形	☐ 材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	個
起重機軌道	腐蝕位移	☐ 兩軌間距高差 <3 mm、兩軌間距左右差 <5 mm	☐ 兩軌間距高差3mm~4.25mm、兩軌間距左右差5mm~10mm、局部區域有生鏽	☐ 兩軌間距高差 ≥ 4.25 mm、兩軌間距左右差 ≥ 10 mm、大範圍生鏽影響功能	m

- 1.巡查評估記錄以每一問題填寫一張表格進行。
- 2.檢測單元：重力與板樁式為連續式結構(重力式沈箱碼頭有結構單元區分)，故針對此類碼頭碼，以 10m 為一單元(Block)進行編碼($B_1...B_n$)，若屬重力式沈箱碼頭，則以各沈箱進行編碼。棧橋式碼頭則依墩柱縱向柱線間距進行單元編碼($B_1...B_n$)(如下圖 1 所示)。



- 3.劣化位置：岸肩構件劣化狀況位置描述以(x、y)座標進行記錄，法線與後線則以 x 座標進行記錄，其座標起使原點如下圖 2 所示。附屬設施除車擋與起重機軌道以整體性狀況進行評估外，繫船柱與防舷材以該單元各別進行編碼(如圖 3)進行評估。



附錄二

港灣設施維護管理系統使用手冊

第一章 系統主畫面說明

本系統網址為「http://140.124.63.38」，在系統登入畫面輸入帳號密碼後點選「登入」，如圖 1.1 所示。



The screenshot shows the login interface of the 'Harbor Facility Maintenance Management System'. At the top, there is a header banner with the system name in large blue characters, a logo, and the affiliation '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.). Below the banner is a dark blue bar with the text '權限登錄' (Authority Login). The main area contains two input fields: '帳號:' (Username) and '密碼:' (Password). Below the password field is a checkbox labeled '記憶密碼供下次使用。' (Remember password for next use). A '登入' (Login) button is located at the bottom right of the form.

圖 1.1 登入畫面

本系統主要畫面如圖 1.2 所示：

1.主功能選單

網站主要功能區，包括基本資料、檢測資料、狀況排序、維修紀錄、權限管理模組

2.資訊展示區

提供各功能選單詳細資訊

3.使用者資訊

顯示目前使用者狀況



圖 1.2 系統主畫面

第二章 系統功能使用說明

本系統各模組功能，必須先選取港灣、碼頭或防波堤，才能進行使用，如圖 2.1~圖 2.2 所示。



圖 2.1 港灣選擇頁面



圖 2.2 碼頭或防波堤選擇頁面

2.1.3 碼頭單元查詢

港灣設施維護管理系統 使用者: mochiu [退出](#)

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

[首頁](#) [基本資料模組](#) [檢測資料模組](#) [狀況排序模組](#) [維修紀錄模組](#) [權限管理模組](#)

基隆港西14碼頭單元基本資料

單元編號	結構型式	碼頭墩柱數量	碼頭墩柱間距	單元長度	冠牆深度	梁數量	梁深度	梁高度	載船柱數量	防眩材料量
B1	樁樁式	9	5	5.7		9			1	1
B2	樁樁式	9	5	5.62		9			1	1
B3	樁樁式	9	5	5.71		9			1	1
B4	樁樁式	9	5	5.76		9			1	1
B5	樁樁式	9	5	5.51		9			1	1
B6	樁樁式	0	0	5.72		9			1	1
H/	電力式	0	0	16.36		0			2	2
B8	樁樁式	9	5	5.72		9			1	1
B9	樁樁式	9	5	5.51		9			1	1
B10	樁樁式	9	5	5.72		9			1	1


建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.5 碼頭單元基本資料頁面

2.2 檢測資料模組

藉由次功能選單(參考圖 2.6)，可針對碼頭及防波堤進行經常檢測、定期檢測及特別檢測資料之查詢與新增功能。



圖 2.6 次功能選單頁面

2.2.1 查詢碼頭檢測資料

請選擇「詳細資料」可以得知碼頭劣化種類及劣化狀況，並可針對檢測資料進行編輯修改(參考圖 2.7~圖 2.9)。



圖 2.7 碼頭檢測資料查詢頁面



圖 2.8 碼頭劣化種類查詢頁面

港灣設施維護管理系統 使用者: mochiu [登出](#)

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

首頁 | 基本資料模組 | 檢測資料模組 | 狀況排序模組 | 維修紀錄模組 | 權限管理模組

功能選單

- 經常檢測
- 定期檢測
- 特別檢測

基隆港西14碼頭定期檢測資料-劣化狀況



編輯資料

劣化程度(D)

劣化位置

劣化數值

單位

[編輯照片](#)



建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.9 碼頭劣化狀況查詢頁面

2.2.2 新增碼頭檢測資料

請選擇「新增檢測資料」(參考圖 2.10)，並依序輸入檢測資料後選擇「儲存」(參考圖 2.11)，即可新增碼頭檢測資料。

港灣設施維護管理系統 使用者: mochiu [登出](#)

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

首頁 | 基本資料模組 | 檢測資料模組 | 狀況排序模組 | 維修紀錄模組 | 權限管理模組

功能選單

- 經常檢測
- 定期檢測
- 特別檢測

基隆港西14碼頭定期檢測資料 **新增檢測資料**

檢測日期	天候狀況	檢測單位	填表人員
2012/06/21	晴	TCRI	邱德誌 詳細資料
2012/06/21	陰	TCRI	邱德誌 詳細資料
2011/12/09	晴	TCRI	簡臣佑 詳細資料
2011/12/05	陰	TCRI	簡臣佑 詳細資料
2010/09/28	晴	TCRI	簡臣佑 詳細資料



建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.10 碼頭檢測資料查詢頁面

港灣設施維護管理系統

使用者: mochiu

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

首頁 基本資料模組 檢測資料模組 狀況排序模組 維修紀錄模組 權限管理模組

功能選單
新增檢測
定期檢測
特別檢測

基隆港西14碼頭定期檢測資料-新增

檢測單位: JIC0 填表人員: 陳信輝
檢測日期: 2012/10/25 大候狀況: 完
清潔編號: KL11 碼頭編號: W14
單元編號: 101 劣化條件: 國際-劣化
劣化類型: 腐蝕 劣化位置: X12 Y11
劣化深度(D): 2

劣化類型	劣化程度	劣化程度說明
腐蝕	2	局部可見銹水
腐蝕	3	局部可見較多銹水，雖無露出但人員腐蝕
腐蝕	4	測筋露出且已腐蝕，可見銹水滲管

劣化數值: 1.2 單位: 厘米
照片:

儲存

建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved

圖 2.11 碼頭檢測資料新增頁面

2.2.3 查詢防波堤檢測資料

請選擇「詳細資料」可以得知防波堤劣化狀況，並可針對檢測資料進行編輯修改(參考圖 2.12~圖 2.13)。

港灣設施維護管理系統

使用者: mochiu

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

首頁 基本資料模組 檢測資料模組 狀況排序模組 維修紀錄模組 權限管理模組

功能選單
經常檢測
定期檢測
特別檢測

基隆港西A防波堤經常檢測資料

新增檢測資料

檢測日期	劣化條件	劣化類型	劣化程度	劣化位置	劣化數值	詳細資料
2012/10/22	覆面層	移動、散亂及下滑	2	X13Y24	1m	詳細資料
2012/10/20	胸牆	裂縫	3	X12Y23	2m	詳細資料
2012/09/23	覆面層	移動、散亂及下滑	2	X45Y54	4m	詳細資料
2012/08/12	堤前(後)坡	裂縫	3	2123	20m2	詳細資料

建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved

圖 2.12 防波堤檢測資料查詢頁面



圖 2.13 防波堤劣化狀況查詢頁面

2.2.4 新增防波堤檢測資料

請選擇「新增檢測資料」(參考圖 2.14)，並依序輸入檢測資料後選擇「儲存」(參考圖 2.15)，即可新增防波堤檢測資料。



圖 2.14 防波堤檢測資料查詢頁面

港灣設施維護管理系統

使用者: mochiu

交通運輸研究所港灣技術研究中心
Maritime & Marine Technology Research Center, M.M.T.C.

首頁 基本資料模組 檢測資料模組 狀況排序模組 維修紀錄模組 權限管理模組

功能選單

基本資料
檢測資料
權限管理

基隆港西A防波堤經常檢測資料 - 新增

檢測單位	TCRI	檢測人員	陳國雄
檢測日期	2012/10/22 (YYYY/MM/DD)	檢測天氣	晴天 陰天 雨天
港段名稱	基隆港	防波堤編號	西A
結構型式		港化構件	護面層
港化類型	移動、散亂及下陷	港化程度	2

港化類型	港化程度	港化程度說明
移動、散亂及下陷	2	港化不明顯(護面層厚度 $\geq 1m^2$)，但並未達到
	3	明顯受損(護面層厚度 $3 \sim 12m^2$)，護面出現孔洞，但並未漏砂
	4	嚴重受損(護面層厚度 $> 12m^2$)，護面砂粒用大型破洞漏出，或孔穴層不到砂

港化位置 X: 13 Y: 24 港化數量 1 6 m C m2

港化照片

檢測員簽名

儲存

系統使用 1E7.0 防波堤檢測 1024X768 視窗大小格式為準 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.15 防波堤檢測資料新增頁面

2.3 狀況排序模組

提供使用者了解碼頭構件狀況排序及狀況指標，並提出相關建議維修工法，有效提升維修效率。其操作流程必須先選擇港灣及碼頭，系統便會自動計算出碼頭的狀況排序與指標(參考圖 2.16~圖 2.18)。

港灣設施維護管理系統

使用者: mochiu

交通運輸研究所港灣技術研究中心
Maritime & Marine Technology Research Center, M.M.T.C.

首頁 基本資料模組 檢測資料模組 狀況排序模組 維修紀錄模組 權限管理模組

基隆港西A碼頭構件狀況排序-結構分析與補強設計

單元編號	港化類型	港化程度	港化位置	狀況指標	港化數量
B17	散亂	2	B9	0.16	1.74
B18	散亂	2	B1	0.16	0.8
B19	散亂	2	B1	0.16	0.8
B20	散亂	2	B9	0.16	1.74
B21	散亂	2	B9	0.16	1.74
B22	散亂	2	B9	0.16	1.74
B23	散亂	2	B9	0.16	1.74
B24	散亂	2	B1	0.16	0.8
B25	散亂	2	B9	0.16	1.74
B26	散亂	2	B1	0.16	1.1

122

系統使用 1E7.0 防波堤檢測 1024X768 視窗大小格式為準 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.16 結構分析與補強設計查詢頁面

2.4 維修紀錄模組

2.4.1 查詢維修紀錄資料

請選擇「詳細資料」可以得知碼頭維修狀況，並可針對維修資料進行編輯修改(參考圖 2.19~圖 2.20)。



圖 2.19 維修紀錄查詢頁面



圖 2.20 維修狀況查詢頁面

2.3.2 新增維修紀錄資料

請選擇「新增檢測資料」(參考圖 2.21)，並依序輸入維修資料後選擇「儲存」(參考圖 2.22)，即可新增維修資料。

維修日期	天氣狀況	維修單位	填表人員
2010/11/08	晴	TCRI	簡臣佑

圖 2.21 維修紀錄查詢頁面

維修單位	填表人員	維修日期	天氣狀況	港灣編號	碼頭編號	單元編號	維修構件	維修類型	維修工法	維修數量	維修金額	照片
TCRI	陳偉誌	2012/10/25	晴	K111	W11	B9	燈柱	剝落				

圖 2.22 維修紀錄新增頁面

2.4 權限管理模組

系統管理者可管理登入帳號之權限，包含系統各模組查詢、新增等權限之設定。



港灣設施維護管理系統

使用者: mochiu 登出

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

首頁 基本資料模組 檢測資料模組 狀況排序模組 維修紀錄模組 權限管理模組

權限管理-查詢 新增使用者

Type	Email	name	org	tel
刪除 admin	mophis1212@gmail.com	邱信諺	TCRI	89195077
刪除 admin	cyjian@gmail.com	簡臣佑	TCRI	02-89195068
刪除 港研中心	jeny@mail.ihtmt.gov.tw	柯正隆	港研中心	04 26587186
刪除 admin	test1@ntut.edu.tw	張亦綱	NTUT	0955033526

建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.23 權限管理查詢頁面



港灣設施維護管理系統

使用者: mochiu 登出

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

首頁 基本資料模組 檢測資料模組 狀況排序模組 維修紀錄模組 權限管理模組

權限管理-新增 新增使用者

帳號

密碼

確認密碼

電子郵件

中文姓名

聯絡單位

連絡電話

類型

新增使用者

建議使用 IE7.0 於解析度為 1024X768 或更高之模式瀏覽 Copyright © 2008 TCRI All Rights Reserved.

圖 2.24 權限管理新增頁面

附錄三

構件權重層級分析法(AHP)問卷

各類型碼頭構件權重訂定問卷

各位學者專家好，本院承接交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣構造物安全檢查評估之研究」乙案為制訂各類型碼頭構件權重以利碼頭狀況指標之計算，在此將國內主要的重力式、板樁式與棧橋式等三類碼頭進行構件拆解後，以層級分析法(AHP)方式，藉由構件兩兩比較方式來求得構件權重，希望能藉由學者專家提供的意見，讓碼頭狀況指標計算能更具合理性。以下圖 1 為重力式碼頭構件拆解圖，表 1 為重力式碼頭。填寫方式以「重力式碼頭 Level 2 階層」為例，若各位學者專家認為碼頭本體相對於海床而言，碼頭本體的重要性頗為重要，則請在偏向碼頭本體側的「頗重要」欄位內填寫「✓」，其餘填寫方式亦同於上述的說明。其餘圖 2 與表 2 為板樁式、圖 3 與表 3 為棧橋式、表 4 為碼頭附屬設施，比較方式亦同於前述之說明，煩請各位學者專家能協助提供您的寶貴意見。

問卷填表人基本資料

姓名	
任職單位	
職稱	
服務時間	
填寫日期	

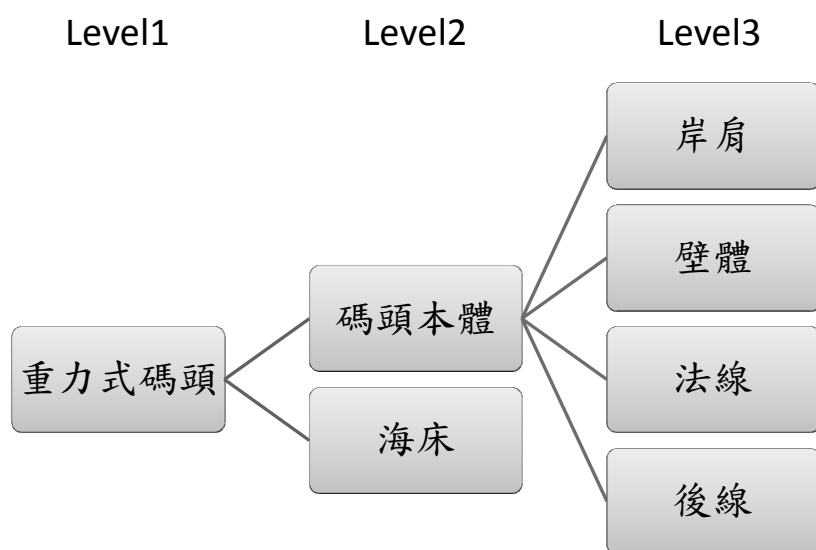


圖 1 重力式碼頭構件拆解圖

表 1 重力式碼頭構件重要性比較

重力式碼頭第 1 層構件						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
碼頭本體						海床
重力式碼頭第 2 層構件						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
岸肩						壁體
						法線
						後線
壁體						法線
						後線
法線						後線

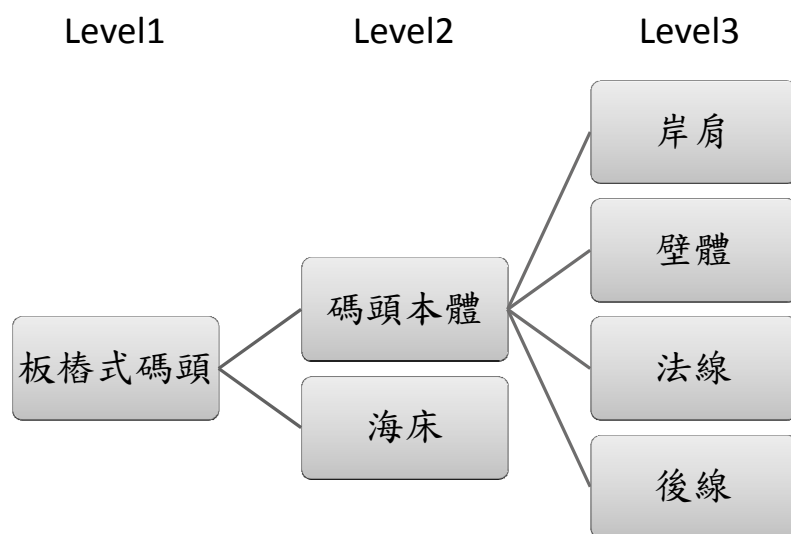


圖 2 板樁式碼頭構件拆解圖

表 2 板樁式碼頭構件重要性比較

板樁式碼頭 Level 2 階層						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
碼頭 本體						海床
板樁式碼頭 Level 3 階層						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
岸肩						壁體
						法線
						後線
壁體						法線
						後線
法線						後線

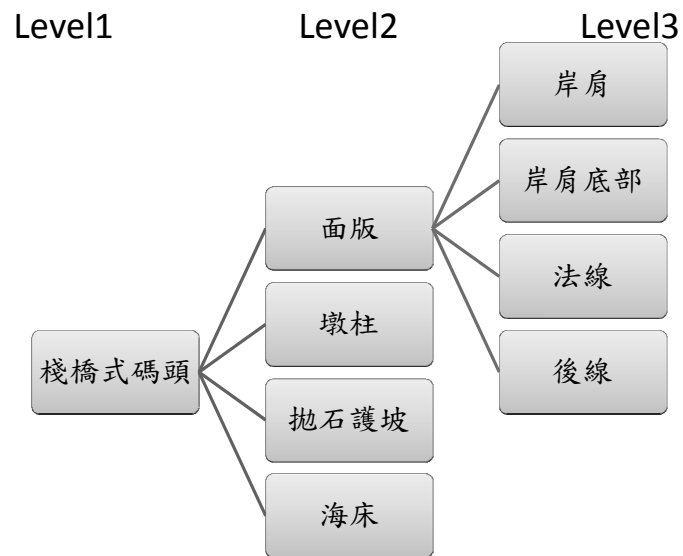


圖 3 棧橋式碼頭構件拆解圖

表 3 棧橋式碼頭構件重要性比較

棧橋式碼頭 Level 2 階層						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
面版						墩柱
						拋石護坡
						海床
墩柱						拋石護坡
						海床
拋石護坡						海床
棧橋式碼頭 Level 3 階層						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
梁						岸肩
						岸肩底部
						法線
						後線
岸肩						岸肩底部
						法線
						後線
岸肩底部						法線
						後線
法線						後線

表 4 碼頭附屬設施

碼頭附屬設施						
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	
繫船柱						防舷材
						車檔
						起重機 軌道
防舷材						車檔
						起重機 軌道
車檔						起重機 軌道

財團法人臺灣營建研究院 工程技術一組組長

張嘉峰 敬上

財團法人臺灣營建研究院 工程技術一組工程師

簡臣佑 敬上

附錄四

歷次季工作會議記錄

第一次季工作會議記錄

採購案編號：MOTC-IOT-101-H1DB006b

採購案名稱：港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

時間：中華民國 101 年 3 月 12 日（星期一）上午 11：00

地點：港研中心 5 樓簡報室

出席者：陳桂清研究員、柯正龍研究員

財團法人臺灣營建研究院張嘉峰博士、簡臣佑工程師

記錄：簡臣佑工程師

討論議題

第一次季工作內容說明及進度報告。

主要結論

1. 檢測作業標準之圖示與照片，目前僅將重力式碼頭完成，後續請再就板樁與棧橋式碼頭部分進行補充。另外，藉由圖示與照片的輔助，各劣化標準已有確定的定性與定量標準，至於是否合乎工程實務，建議可進行座談會議討論。
2. 為求推廣維護管理系統之應用，本系統擬建置執行頻率較高的經常巡查表格及資料庫，以便讓現場工程師使用。依研究成果各碼頭之現有構件拆解，將現地目視可及之岸上構件挑出，作為經常性巡查表單及資料建置之內容，提供檢測人員資料留存之用。
3. 請臺灣營建研究院提供入港檢測人員名單(包含人員姓名、身份證字號、地址、出生日期等)，以便作為申請入港之依據。

第二次季工作會議記錄

採購案編號：MOTC-IOT-101-H1DB006b

採購案名稱：港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

時間：中華民國 101 年 6 月 6 日（星期三）上午 09：00

地點：港研中心 5 樓簡報室

出席者：陳桂清研究員、柯正龍研究員

國立中山大學李賢華教授

財團法人臺灣營建研究院張嘉峰博士、簡臣佑工程師

記錄：簡臣佑工程師

討論議題

第二次季工作內容說明及進度報告。

主要結論

1. 檢測作業標準中，針對部分無法量化描述的部分，請再考量如何讓檢測人員明瞭。
2. 檢測儀器需針對使用環境之適用性進行探討(如透地雷達碰到地層有海水的狀況)。
3. 鋼板樁開裂或鏽蝕雖需注意，但背填漏砂的狀況亦需掌握。
4. 應用紅外線熱影像技術於港灣設施劣化異狀之檢測是否適宜？是否能提供相關資訊？
5. 在目視檢測後之劣化異狀狀況指標計算上，需注意將其轉換為碼頭整體指標後所衍生的劣化狀況平均化之問題。
6. 針對目前尚有指標無法量化問題，後續會再尋找相關文獻，或由訪談專家學者之方式訂定，而對於鋼板樁劣化問題，研究團隊會再針對其較受關注的背填漏砂問題進行考量。檢測技術部分會再增加檢測注意事項，以便讓檢測人員瞭解使用時之環境需求，紅外線熱影

像技術使用時，需有較明顯的溫度差異，方能讓劣化異狀顯現，此部分研究團隊亦會收集此部分資料，並說明適宜性。最後，針對劣化異狀指標計算上，構件修復的考量，以單一構件配合權重考量為主，碼頭整體狀況指標僅為輔助讓管理者瞭解管轄設施的整體狀況。

第三次季工作會議記錄

採購案編號：MOTC-IOT-101-H1DB006b

採購案名稱：港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

時間：中華民國 101 年 9 月 25 日（星期二）下午 02：00

地點：港研中心 5 樓簡報室

出席者：謝明志科長、陳桂清研究員、柯正龍研究員

財團法人臺灣營建研究院張嘉峰博士、簡臣佑工程師

記錄：簡臣佑工程師

討論議題

第三次季工作內容說明及進度報告。

主要結論

1. 維護手冊之內容包含檢測制度、目視檢測標準、儀器檢測建議、初步評估、詳細評估、修復工法與維護管理系統使用手冊等資料。檢測表單亦會依經常、定期與特別巡查表格置於手冊中。
2. 目視檢測標準的劣化數值(如裂縫寬度)放大是否合宜？是否再多請教港務人員以增加客觀性。
3. 碼頭會發生大規模破壞的機率不高，在檢測維護上希望能在經常的巡查將結果記錄於系統資料庫中，且以簡單快速為主，描述的內容輔以基本資料、搭配照片進行劣化狀況的描述，並撰寫修復建議等即可，此方式較符合港灣設施維護管理單位來進行採納。
4. 希望能藉由此案先行建置各類型碼頭岸上之經常巡查案例，作為後續教育訓練之範例，本期之教育訓練於期末審查後舉行。
5. 有關 3D 光達的應用，未來建議藉由測試的方式，瞭解其使用於港灣工程之可行性。基本上此技術應用於港灣設施，希望能藉由快速測繪的方式建置港灣設施的基本圖層，供巡查時記錄之用。

附錄五

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-101-H1DB006b

計畫名稱：港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

執行單位：財團法人臺灣營建研究院

審查日期：101 年 7 月 11 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
清雲科技大學 許書王 教授		
1.檢測標準圖示報告中已顯現，值得鼓勵。惟該標準值的訂定是否有所依循或係自訂？此部份宜做專業性之確定以利應用。例如 p.16 裂縫圖示似不宜以直線表示(與實事不符)，各項設施應有具體圖示參用。	感謝委員的肯定。另已將簡報 p.16 圖示裂縫生成樣式修正，並同時修正同樣型式的劣化圖示。	同意辦理方式
2.整體檢查作業是否需注意務實性，例如要花很多時間才能檢查一項構造，或是要填許多表格才能完成，如果曠時廢日，未來應用程度相對較低，建議考量應用較先進之技術或設備予以克服。	本計畫在檢測階段雖會耗費較多的時間在管理系統的填寫上(由於需針對每個劣化異狀進行記錄)，未來若有劣化方才記錄至系統中，但待資料輸入完成，後續即可自動化處理與分析，在效率上能有效節省時間。	同意辦理方式
3.p.76 為例，拌合程序步驟 1....文字敘述有許多不明確.....。	拌合程序步驟有許多比較偏定性或偏感覺之文字敘述確實較不明確，將依委員建議，按照試驗教材中拌和程序之敘述加以修正。	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
4.港灣設施維護管理系統建置應注意與港研中心相關系統之相容性，避免疊床架屋...	感謝委員提醒，後續會與港研中心就系統內容進行討論。	同意辦理方式
5.附錄 2-1 問卷人員基本資料中建議加一欄服務時間。	感謝委員建議，已於問卷中增加此欄位，詳請參見附錄 2 所示。	
6.對於檢查表格之可行性，建議團隊多做幾次實地檢查測試，配合問卷結果進行修正，以利未來使用。	本年度期末，會進行實地檢測測試，以作為修正改善之用。	同意辦理方式
7.目前已進行期中審查，對於結構安全評估方法部份之試驗尚未就緒，請團隊掌握事項、內容與時間。	有關結構安全評估之試驗，後續會與港研中心就事項、內容與時間與團隊中山大學李教授進行討論，以確保進度如期。	同意辦理方式
中華大學 張奇偉 教授		
1.報告內未針對基隆港相關 3 種碼頭所進行之目視儀器檢測提出完整之結構，只於各項內單獨提供及，建議應以一章或一節說明執行成果。	由於本案為延續計畫之第二期，故執行已進入各部分詳細內容，但忽略整體維護管理架構之說明，後續將會於期末報告中先行說明計畫整體架構，與本期工作重點之關係性，以便增加本期報告之閱讀性。	同意辦理方式
2.建議報告內容應對第 3 章所進行之研究項目說明與本研究計畫之關聯性，並與進行港灣構造物安全檢查評估研究之必要性。	1.首先感謝委員之指導，本計畫中除了目視檢測之項目、執行方式改進及結合檢測系統之應用，以便讓港灣管理更為有效安全之外，並希望促進檢測工作中評估方法之有效性。目前評估方法以簡單之統計方	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
	式延伸，期於基本結構力學或更深入之破壞力學理論結合度較差，但上述理論若全應用於結構破壞評估，則將形成評估方式之過度複雜化，而失去其實用性；因此、有關新型評估理論之發展，目的即在於發展出一簡單)相對於傳統結構分析)可行之結構破壞評估方式，但又能結合結構破壞理論之應用，讓評估之結果更能反映結構破壞之實際狀態。 2. 新型評估方式一旦建立後，其可行性必須經過審慎評估，必要時則必須加以驗證，而在過程中通常必須經過適度之修正，尤其在相關參數之選擇及參數適用範圍之選定等，都是冗長、繁複的過程。 3. 對於理論可行性之驗證則為最困難的部分，尤其是破壞檢測指標及破壞狀況之準確評估，主要因為數據大部分為現場取得，環境條件、使用條件、材料條件等等均無法具體掌控。因此、本研究中除了將以研究過程中取得之現場檢測資料，作為可能相互驗證之資料外，並嘗試以試驗設計之方式，儘可能模擬破壞過程之材料性質及結構變化，並利用此數據來驗證新推導之破壞評估理論。 4. 由於在前一階段之研究中已	

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
	進行以彎矩破壞(懸臂樑)為主之試驗研究，因此在本年度的研究中，將以純剪力之破壞試驗為主，嘗試將破壞理論中之剪力破壞含括進來，研究過程中對於目視檢測之破壞現象，與剪力破壞相關者並能互相參照，必要時進行修正。	
3.建議對各構件劣化及破壞機制之權重分配作較多之說明，使運研所採用本方法進行結構安全評估時，更能當握實際狀況。	權重分配是以層級分析法方式藉由兩兩構件進行相比，並藉由專家訪談進行填寫而成。後續將配合問卷數之增加，使其更符合實際狀況。	同意辦理方式
中央大學 王勇智 教授		
1.在訂定初步檢測安全評估守則，對於目視檢測、非破壞性檢測與破壞性檢測之檢測數量或面積，應做具體規定之訂定。	目視檢測部分會依經常、定期與特別巡查進行不同程度的檢測，除定期巡查會針對設施整體進行外，經常與特別巡查只會針對岸上構件進行檢測。抽樣會參照橋梁為例以目視檢測有劣化的位置，取樣至少 5%為原則進行。	同意辦理方式
2.對於上述結果，如何顯現應做一具體說明，或做一標準範例列入評做守則內。	檢測成果的展現，會以總表型式羅列各劣化異狀位置、類型、程度與數量，並會再有各劣化異狀詳細的資料(包含照片)。	同意辦理方式
3.實驗規劃對於剪力測試，應再詳細說明。如實驗目的為何只做剪力測試，如何模擬現況已	同張奇偉教授審查意見第 2 項之回覆。	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
劣化 RC 結構件情況等。或是只為驗證初步目視打分數之參考，請在期末報告中詳細說明。		
臺灣海洋大學 郭世榮 教授		
1.第三章請補充說明與本計畫研究目的的關連性，並且補充國外相關實驗成果。	同張奇偉教授審查意見第 2 項之回覆。	同意辦理方式
2.第二章 2.3 節，建議將本計畫相關之成果及心得具體說明，其它與橋梁、房屋結構相同的一般性，可放在附錄，提高閱讀性。	檢測技術會依委員意見將較特殊的技術撰寫於本文中，而一般性的檢測(如材料強度試驗則會置於附錄中)。	同意辦理方式
3.第二章應補充檢測作業的時機、頻率及檢測數量。	破壞與非破壞性儀器檢測會參照 ASTM 或 CNS 的相關規範進行撰寫，抽樣會參照橋梁為例以目視檢測有劣化的位置，取樣至少 5%為原則進行。	同意辦理方式
4.檢討防波堤檢測項目及其對應的檢測方式(如儀器)。	防波堤消波塊部分，研究團隊會再確認有何適宜的檢測技術。	同意辦理方式
5.檢討此評估方式是否可簡化為更有效率。	目視檢測作業會配合系統進行資料記錄，後續進行構件維修排序與整體狀況的評估，會由系統自動計算，故其效率可予以提高。	同意辦理方式

附錄六

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-101-H1DB006b

計畫名稱：港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

執行單位：財團法人臺灣營建研究院

審查日期：101 年 11 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
健行科技大學 許書王 教授		
1.本期末報告完成之各項研究項目及進度是否合乎契約規定，請校核，以利完成驗收工作	已遵照委員意見，校核改正報告。	同意辦理方式
2.P2-5 圖 2.7 文字顏色建請修正。	已改正圖 2.7 文字顏色(其他類似圖亦已一併修正)。	同意辦理方式
3.P2-10 所提防波堤之接縫及施工縫位移，因考量檢測判斷不易予以刪除，請考量若發生位移，對該構件是否產生危害，若是，建請保留。	已將防波堤接縫及施工縫位移之劣化異狀保留，詳請參閱報告 2.1.2.3 防波堤設施目視檢測標準圖示。	同意辦理方式
4.表格已近完成，建議找港務人員會填，並做初步檢討，納入本報告中。	此部分將配合本案教育訓練，藉由港務人員提供意見進行檢討。	同意辦理方式
5.P2-11 裂縫寬度以 1 公分上下區分劣化等級，對於寬度 1 公分以上之單一裂縫卻無分級可尋，此與劣化是否嚴重之事實恐有落差，建請考量修正。	裂縫寬度已更正為小於 3mm、3~5mm、大於 5mm 三等級，詳請參閱報告 2.1.2.1 碼頭設施目視檢測標準圖示 1.重力式碼頭-(1)碼頭本體-①岸肩-a.裂縫所 示。	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.P2-23 表 2-1 中材料厚度檢測是否應也包括鋼筋保護層，若是，該項目混凝土品質應有相關。	材料厚度檢測已改正為板(管)樁厚度檢測。	同意辦理方式
7.例如 P2-27 圖、P2-43 圖 2.34、…。文字不清楚，建請全文檢視並改善之。	P2-27 圖、P2-43 圖 2.34、…等已修正文字，請參閱報告圖 2.21、圖 3.32、圖 3.34 所示。	同意辦理方式
8.P2-50、P2-51P2-52 格式請修正。	此部分為 Word 格式跳頁，已修正。	同意辦理方式
9.P4-9 有關等級 4 應緊急維修，其他為年度維修，是否妥適請再酌。	已將圖 1.1 之年度維修中增列經常維修，並於附錄 1、碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊中之第五章碼頭設施修復排序與工法選擇表 14~表 17 配合經常性維修標註於適合執行之構件異狀上。	同意辦理方式
10.裂縫型態與發生原因有關，如果是 AAR 是否仍依此原則辦理，AAR 潛勢部份建議應作確認及因應。	感謝委員意見，此部分會在下一年度考量此劣化於目視標準中。	同意辦理方式
國立中央大學 王勇智教授		
1.檢測手冊是否有範例，會對使用者較容易瞭解。	已於手冊最後增加巡查表格範例。	同意辦理方式
2.檢測結果是否加列結構裂化值計算作參考？可參考混凝土中性化之使用年限經驗式。	依混凝土中性化之使用年限經驗式來作為結構裂化值計算並非本案之目的，未來可另案進行探討。	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.重要性權重，本案採問卷調查，為何 10 人，卻有 20 份問卷？亦建議權重可參考其他國家之研究報告。	原權重已於「基隆港西 14 至西 15 號碼頭結構安全檢測評估與系統建置」依 10 為專家學者計算，為求增加代表性，故今年再增加 10 為專家學者進行訪談調查。	同意辦理方式
港研中心 陳桂清研究員		
1.以力學結構對構造物進行安全評估之部分，是否有規則，對混凝土材料劣化（破壞）指標之相關係數，建立量化的數值（係數），諸如表 3-1 中之判斷依據。	混凝土劣化有考慮中性化深度及保護層厚度損失(參數 α)，強度損失則在個別構件破壞指標中考慮。	同意辦理方式
2.使用敲擊回音法，進行裂縫深度之檢測結果，其可信度為何？如何驗證其正確？	本計畫針對裂縫深度探測，採用 ASTM C1383 的敲擊回音法，對裂縫深度檢測而言，應為目前最為成熟的技術，依據實驗室的比對，其誤差為 3%以內。	同意辦理方式
3.附件 1，表 1 巡查表（經常/特別），檢查項目之判斷準則是否適當，請再考量。	經常/特別巡查檢測表格原考量為針對岸上區別需緊急維修(或緊急搶修)與年度(或經常)維修為目的，故檢測項目上即以是否達到劣化等級 4 為判斷依據，因為每月一次之檢測，亦需顧及快速性，故有此之作法，未免忽略其餘等級(2~3)之劣化異狀，會有定期檢測來因應。	同意辦理方式
4.錯誤更正部分 (1)P.2-10，圖 2.18，應更正為防波堤設施劣化異狀修正圖示。	已更正。	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
(2)P.2-23，表 2-1，建議” 材料厚度檢測”更正 為”鋼材（或板 樁） 厚度檢測”。 (3)P.2-27，圖 2.21 不清 晰，建議改善。 (4)附錄手冊部分第五章 文中，圖號編碼錯誤， 從圖 35 開始，請更正。		
5.附錄 1-2，表 1，定期巡查 時機（每五年一次），是否 適當？	已更正為兩年一次。	同意辦理方式
國立臺灣科技大學 沈得縣教授（書面意見）		
1.本研究為四年期計畫之 第二年計畫，主要之工 作項目為港灣構造物檢 測作業標準之制訂、現 有港灣構造物安全評估 方法之檢討及港灣構造 物維護管理之建置。期 末報告內容豐富，值得 肯定，但期末報告缺英 文摘要，請補充。	已補充。	同意辦理方式
2.依期末報告 P.1-3 所示， 本計畫之研究範圍包括 港灣構造物之檢測探 討，檢測程序探討及安 全評估探討，並研擬維 護管理手冊，其中研擬 港灣夠造物之維護管理 手冊應是本計畫之主要 工作目標，但附錄 1 呈	此為本案計畫契約工作項目，目 前方向先就碼頭結構物撰寫維 護管理手冊，後續再針對防波堤 設施進行撰寫，已完整港灣整體 設施。	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
現者為碼頭構造物，手冊之適用對象應檢討確定。		
3. 期末報告第 2 章港灣構造物檢測作業標準中採用劣化程度 (2、3、4、缺 1) 理由何在？為何採用日本之判定基準以劣化等級 (A、B、C、D) 呈現。	劣化程度(目前已改為劣化狀況)其值為 1 時為狀況良好。因本計畫原劣化等級採用國內橋梁常用之 D.E.R.&U. 之判斷方式，但因維修急迫性(U 值)已依劣化等級之嚴重程度替代(等級 4 需補強等級 3 以下需進行修復)，相對重要性(R 值)本案已依構件權重替代、E 值因判斷不易且如裂縫數量無法依此法之方式填寫(按此法 E=2 為<33%、E=3 為介於 33~66%、E=4 為>66%)，故與劣化程度(D 值)整併，除增加合理性亦可簡化檢測內容，故類似日本採用之判定基準。	同意辦理方式
4. 本計畫之主要工作目標為研擬港灣混凝土構造物之維護管理手冊，因此建議將內容限縮在港灣混凝土構造物，並儘可能配合施工規範及檢測標準撰寫。	因碼頭設施亦包含板樁式碼頭或鋼管樁之棧橋式碼頭，故若限縮於混凝土構造物，恐讓使用者認為不包含其他類型碼頭，且本案手冊亦針對鋼材之修復工法提出建議，雖未盡完善，後續執行將持續補充。	同意辦理方式

附錄七

期末報告簡報資料

附錄七

期末報告簡報資料

港灣構造物安全檢查評估之研究(2/4)

期末報告

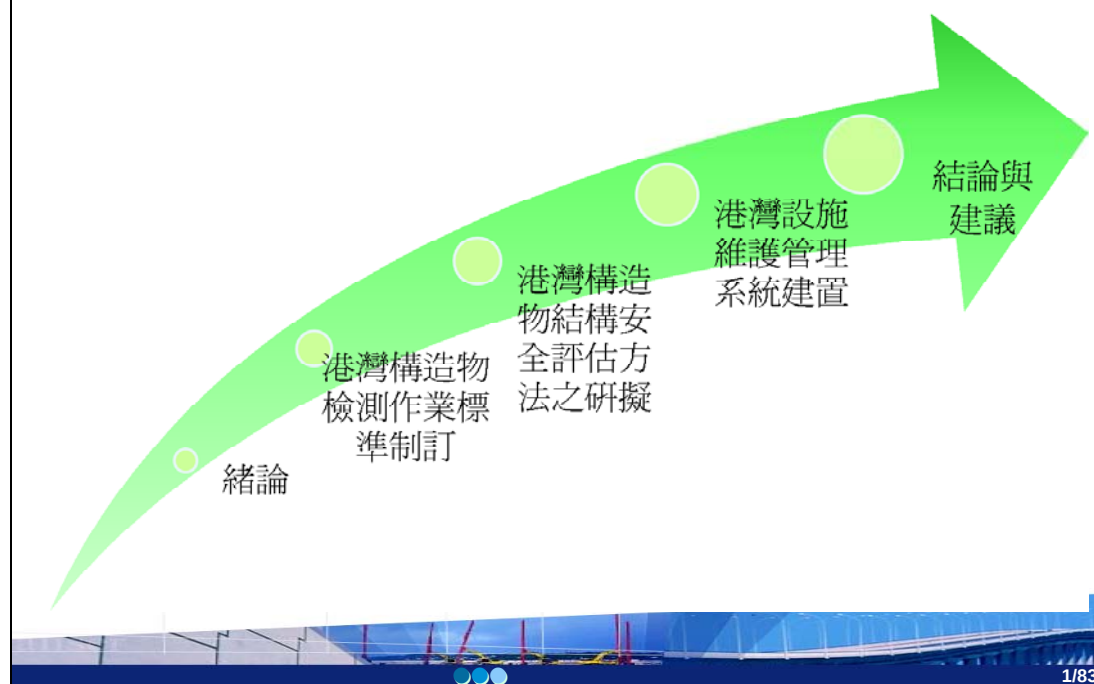
簡報人：張嘉峰

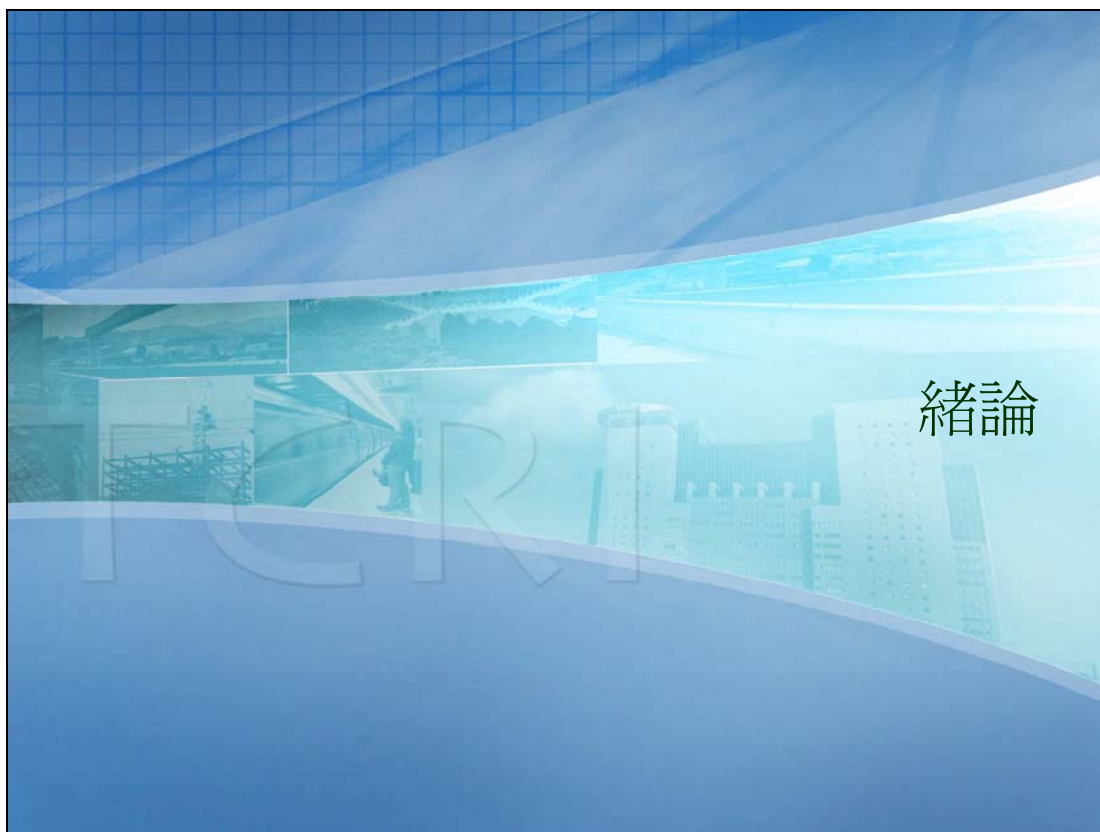
2012.11.14



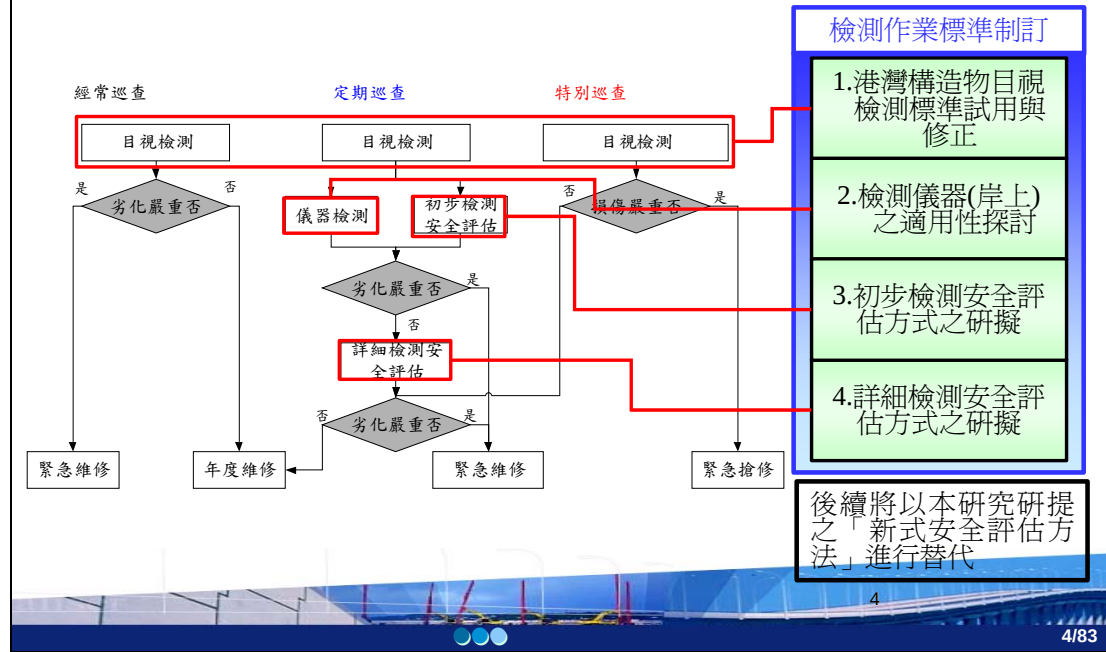
財團法人臺灣營建研究院

簡報大綱

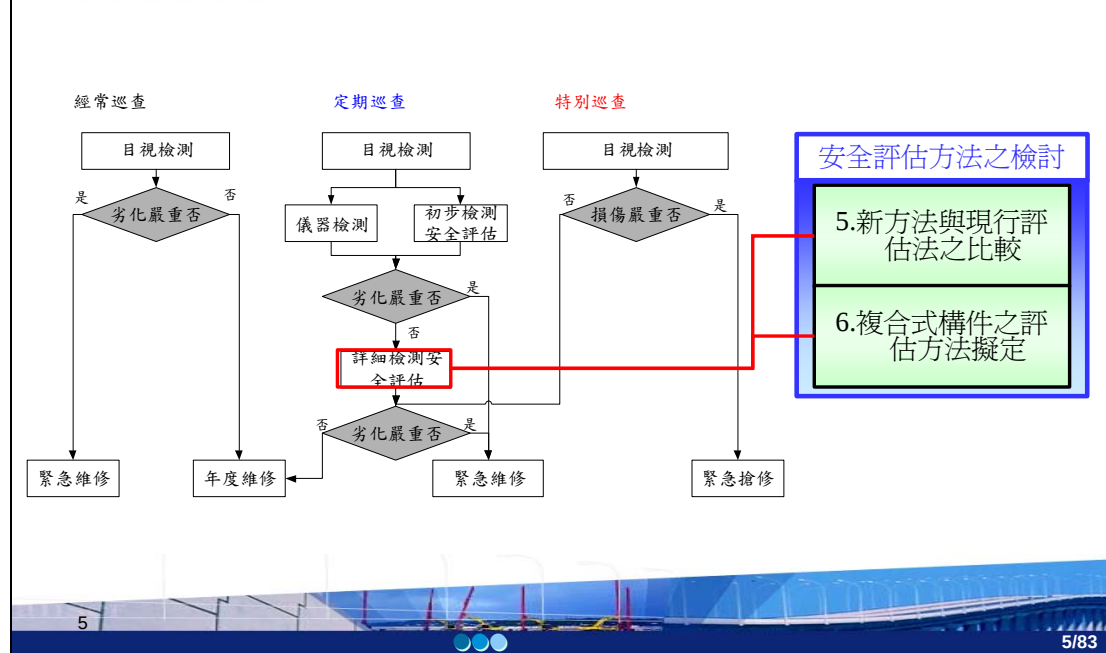




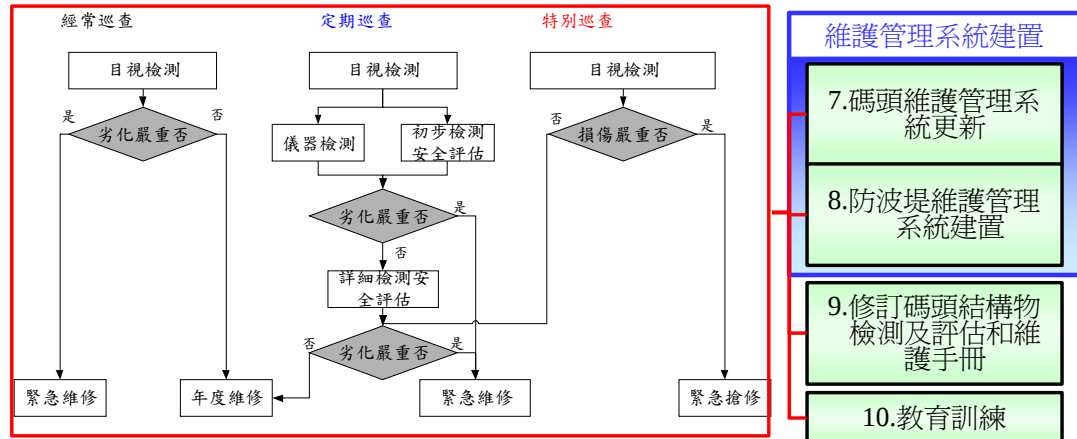
工作項目的關連性(1/3)



工作項目的關連性(2/3)



工作項目的關連性(3/3)



6

6/83

檢測作業標準制訂

目視檢測標準試用與修正

- 參考「李賢華－港灣構造物安全檢測與評估之研究」與「郭世榮－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」等。
- 符合現場實際狀況，將目視檢測標準進行整併與簡化，並呼應期中報告審查委員之建議，以利現場目視檢測作業。

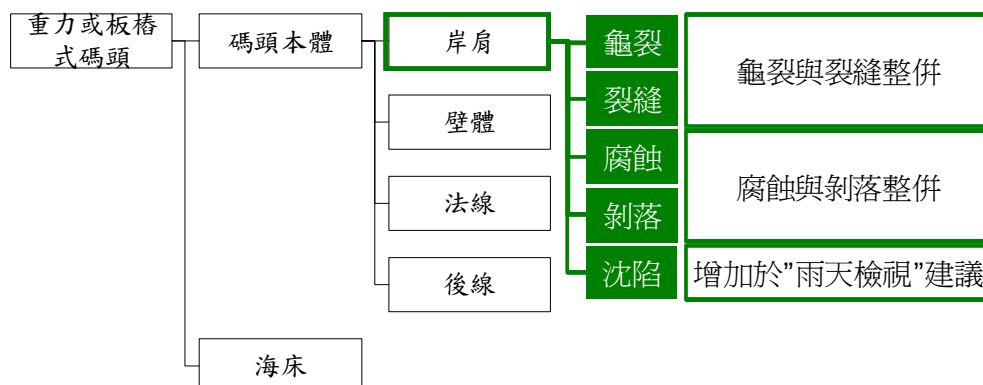


8

8/83

目視檢測標準試用與修正

- 修訂內容(1/12)
- 重力式碼頭



9

9/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(2/12)

重力式碼頭

龜裂	2	鋪面產生輕微裂縫(混凝土鋪面龜裂率目測約0.5m/m ² 以下、瀝青鋪面龜裂率目測約20%以下)
	3	鋪面產生明顯裂縫(混凝土鋪面龜裂率目測約0.5~2m/m ² 、瀝青鋪面龜裂率目測約20~30%)
	4	鋪面產生嚴重裂縫(混凝土鋪面龜裂率目測約2m/m ² 、瀝青鋪面龜裂率目測約30%以上)
裂縫	2	局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約1mm以下)
	3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約3mm以上)
	4	混凝土裂縫擴散至整個岸壁



裂縫	2	局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約1 cm以下)
	3	局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約1 cm以上)
	4	裂縫擴散至整個岸肩

整併「龜裂」與「裂縫」異狀為「裂縫」

10

10/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(3/12)

重力式碼頭

腐蝕	2	局部可見鏽水
	3	局部可見較多鏽水、鋼筋露出但未見腐蝕
	4	鋼筋露出且已腐蝕，可見鏽水顯著
剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部分露出且無腐蝕現象(剝落寬度直徑≤15 cm，深度≤2.5 cm)
	3	混凝土龜裂，鋼筋完全露出，無腐蝕現象。鋼筋部分露出，而且有腐蝕現象(剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm)
	4	可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出(剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm)



剝落	2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑<15 cm，深度<2.5 cm
	3	鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≤15 cm，深度>2.5 cm或剝落寬度直徑>15 cm，深度≤2.5 cm
	4	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm

整併「腐蝕」與「剝落」異狀為「剝落」

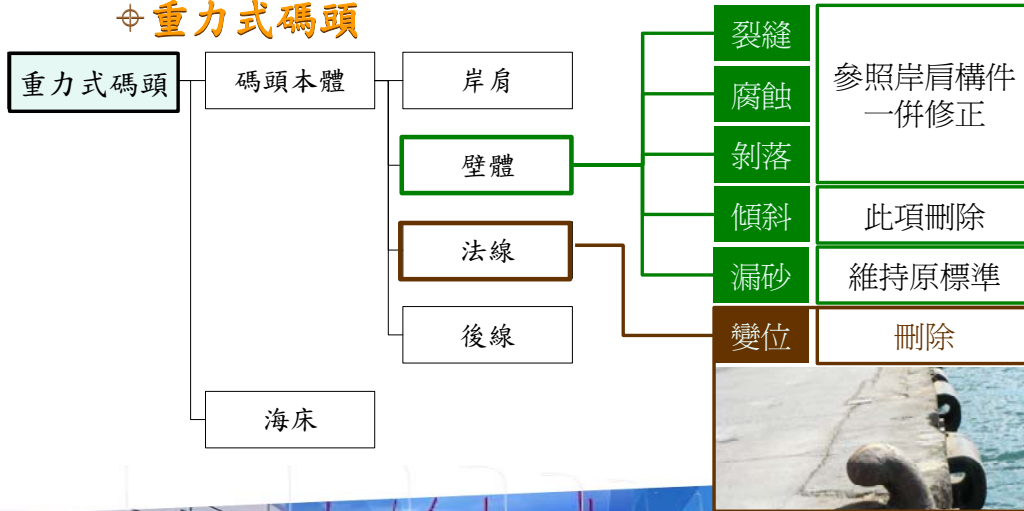
11

11/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(4/12)

⊕ 重力式碼頭



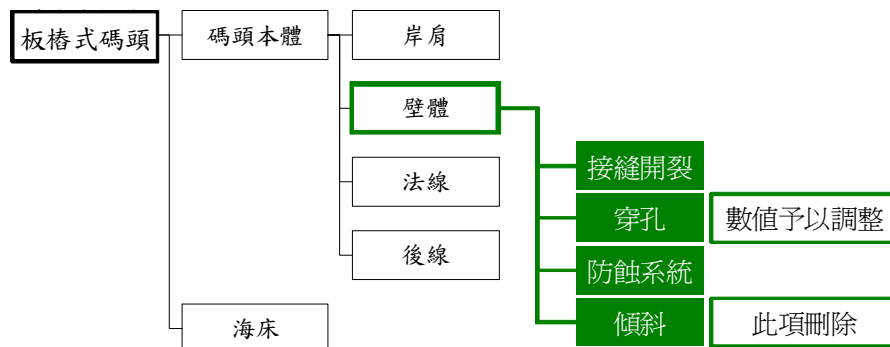
12

12/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(5/12)

⊕ 板樁式碼頭



13

13/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(6/12)

板樁式碼頭

穿 孔	2	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於 1 cm^2)現象
	3	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於 $1\sim 3\text{ cm}^2$)現象
	4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 3 cm^2)擴大且有漏砂現象



穿 孔	2	帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於 5 cm^2)現象
	3	帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於 $5\sim 20\text{ cm}^2$)現象
	4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 20 cm^2)擴大且有漏砂現象

板樁式碼頭壁體穿孔數值修正

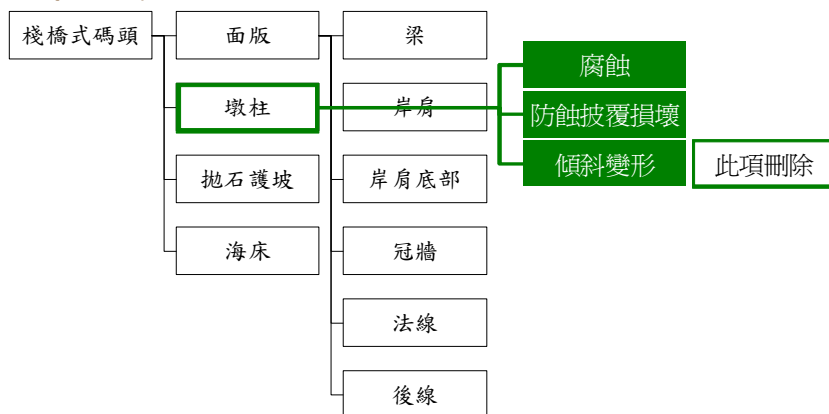
14

14/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(7/12)

棧橋式碼頭



15

15/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(8/12)

碼頭附屬設施

碼頭附屬設施	繫船柱	腐蝕、龜裂	維持原標準
	防舷材	龜裂、破損	補充未考量到之狀況
	車擋	龜裂、破損	劣化標準文字修正
	起重機軌道	腐蝕、位移	劣化標準文字修正

16

16/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(9/12)

碼頭附屬設施

防舷材	龜裂	2 材質表面褪色、輕微劣化，靠船時有輕微龜裂現象
	3 龜裂破損	3 材質表面劣化明顯，靠船時能明顯觀察到龜裂現象
	4 龜裂破損	4 材質老化、構件變形、掉落， 靠船時開裂過大、失去避震功能



防舷材	龜裂	2 材質表面褪色、輕微劣化， 螺帽鬆脫或缺損
	3 龜裂破損	3 材質表面劣化明顯， 螺栓缺損 ，靠船時能明顯觀察到龜裂現象
	4 龜裂破損	4 材質老化、構件變形或掉落

防舷材劣化描述修正



17

17/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(10/12)

碼頭附屬設施

車擋	龜裂破損	2	材質表面 輕微 龜裂情形
		3	材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形
		4	材質嚴重龜裂或 多處破損



車擋	龜裂破損	2	材質表面 明顯 龜裂
		3	材質表面明顯龜裂且基座有龜裂情形
		4	材質嚴重龜裂失去功能或 車擋整體脫落

車擋劣化描述修正



18

18/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(11/12)

碼頭附屬設施

起重機軌道	腐蝕位移	2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm、 小區域的生鏽
		3	兩軌間距高差3mm~4.25mm、兩軌間距左右差5mm~10mm、 局部區域有生鏽
		4	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、 大範圍生鏽



起重機軌道	腐蝕位移	2	兩軌間距高差<3mm、兩軌間距左右差<5mm
		3	兩軌間距高差3mm~4.25mm、兩軌間距左右差5mm~10mm、 局部區域有生鏽
		4	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、 大範圍生鏽影響功能

起重機軌道劣化描述修正



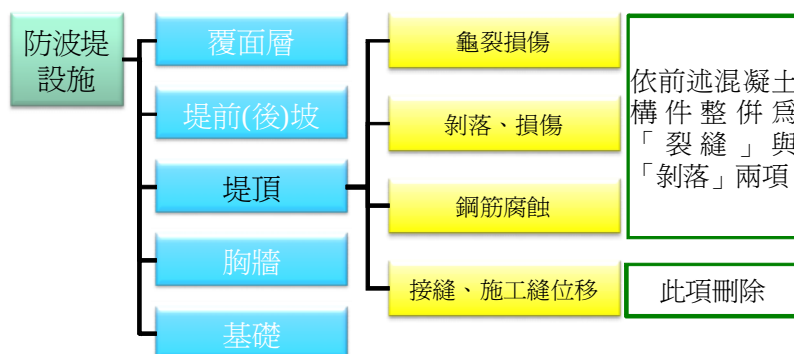
19

19/83

目視檢測標準試用與修正

修訂內容(12/12)

防波堤設施



20

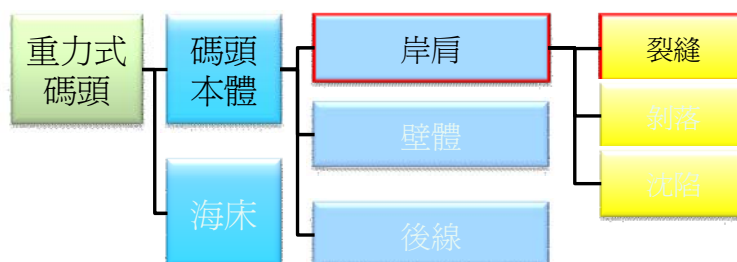
20/83

目視檢測標準試用與修正

港灣設施目視檢測標準圖示

重力式碼頭

碼頭本體—岸肩—裂縫



21

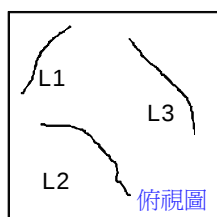
21/83

目視檢測標準試用與修正

港灣設施目視檢測標準圖示

重力式碼頭

碼頭本體—岸肩—裂縫



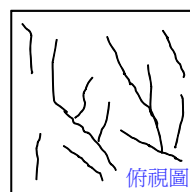
局部可見到2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約1 cm以下)

D=2



局部可見到數個部位有裂縫(裂縫寬度約1 cm以上)

D=3



裂縫擴散至整個構件

D=4

22

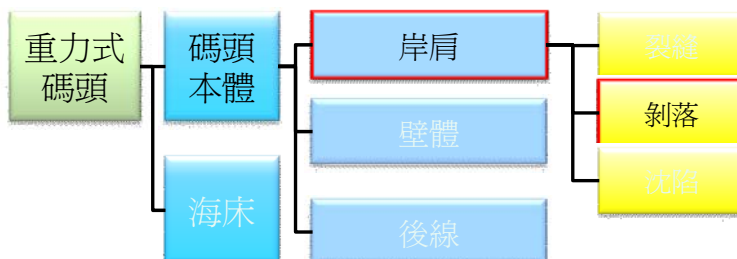
22/83

目視檢測標準試用與修正

港灣設施目視檢測標準圖示

重力式碼頭

碼頭本體—岸肩—剝落



23

23/83

目視檢測標準試用與修正

港灣設施目視檢測標準圖示

重力式碼頭

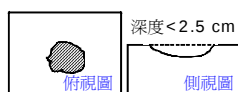
碼頭本體一岸肩一剝落



混凝土輕微剝落且鋼筋尚未
露出或剝落寬度直徑 < 15
cm，深度 < 2.5 cm

D=2

寬度直徑 ≥ 15 cm



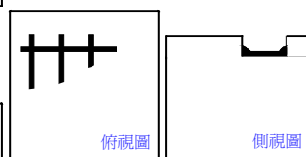
深度 < 2.5 cm

或

寬度直徑 < 15 cm



深度 ≥ 2.5 cm



鋼筋混凝土(或鋼絲網)外露腐蝕，剝落寬度直徑 ≤ 15 cm，深度 > 2.5 cm
或剝落寬度直徑 > 15 cm，深度 ≤ 2.5 cm

D=3

24

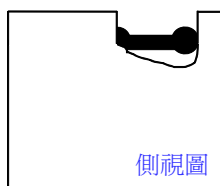
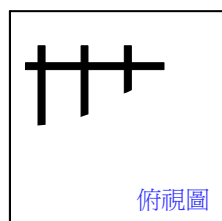
24/83

目視檢測標準試用與修正

港灣設施目視檢測標準圖示

重力式碼頭

碼頭本體一岸肩一剝落



鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑 > 15
cm，深度 > 2.5 cm

D=4

25

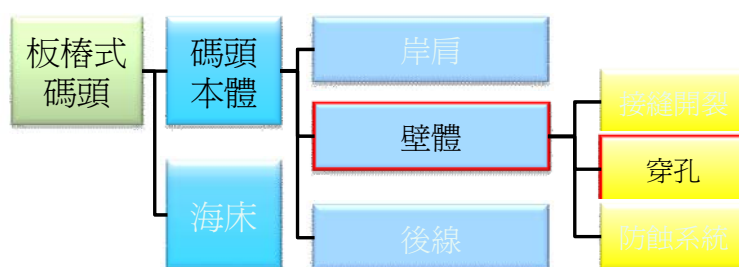
25/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭目視檢測標準圖示

板樁式碼頭

碼頭本體—壁體—穿孔



26

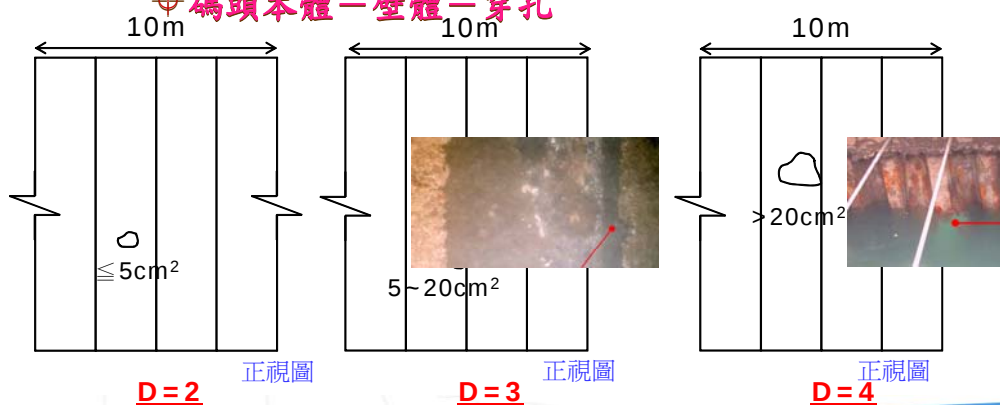
26/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭目視檢測標準圖示

板樁式碼頭

碼頭本體—壁體—穿孔



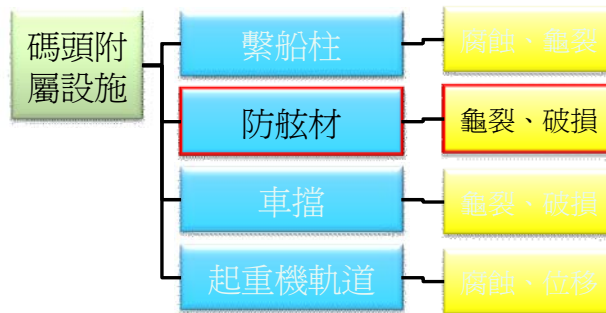
27

27/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

防舷材—龜裂破損



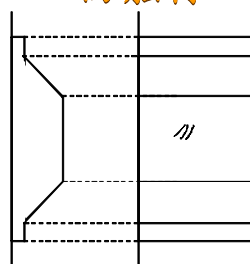
28

28/83

目視檢測標準試用與修正

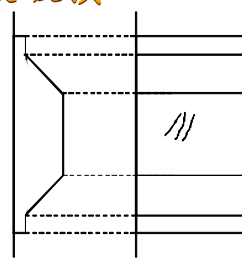
碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

防舷材—龜裂破損



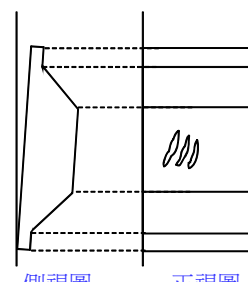
材質表面褪色、輕微劣化，
螺帽鬆脫或缺損

D=2



材質表面劣化明顯，螺栓缺
損，靠船時能明顯觀察到龜
裂現象

D=3



材質老化、構件變形或掉落

D=4

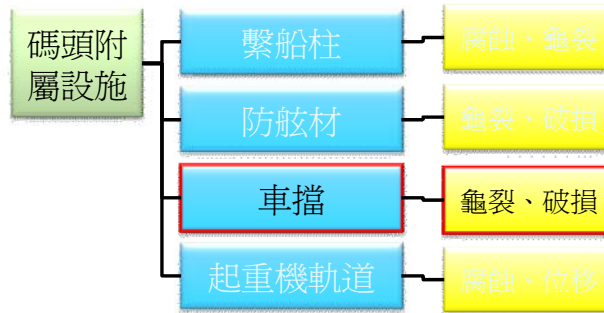
29

29/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

車擋—龜裂破損



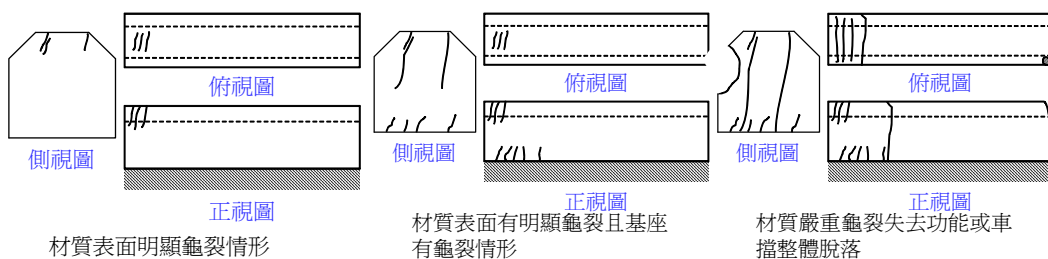
30

30/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

車擋—龜裂破損



D=2

D=3

D=4

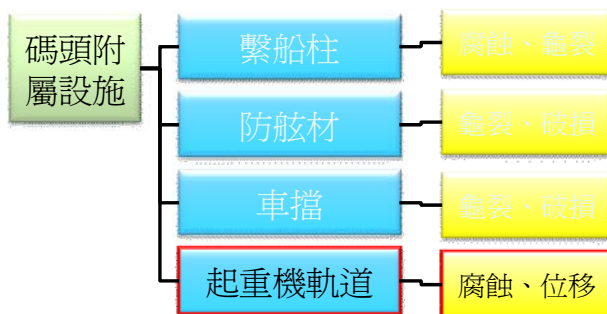
31

31/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

起重機軌道—腐蝕位移



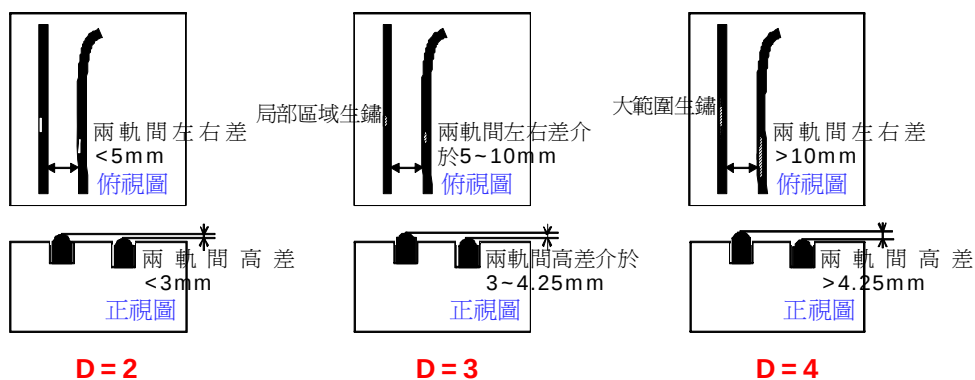
32

32/83

目視檢測標準試用與修正

碼頭附屬設施目視檢測標準圖示

起重機軌道—腐蝕位移

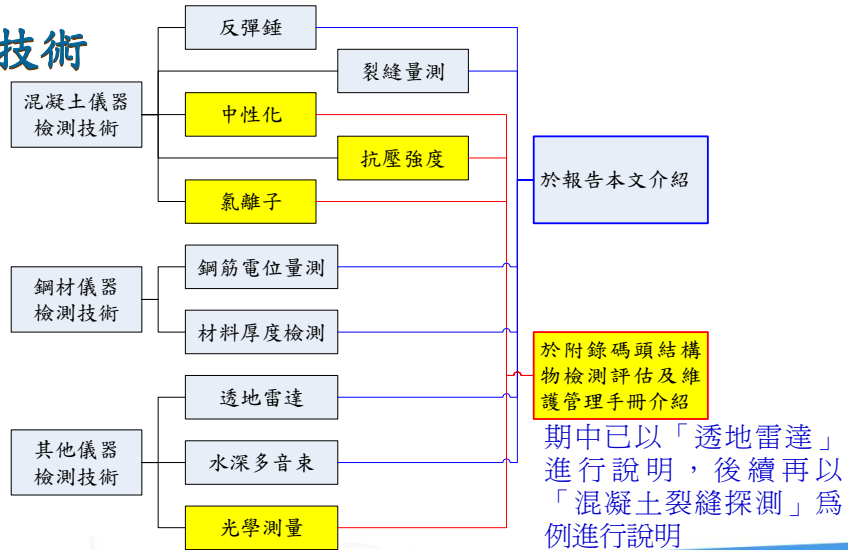


33

33/83

檢測儀器(岸上)之適用性探討

檢測技術



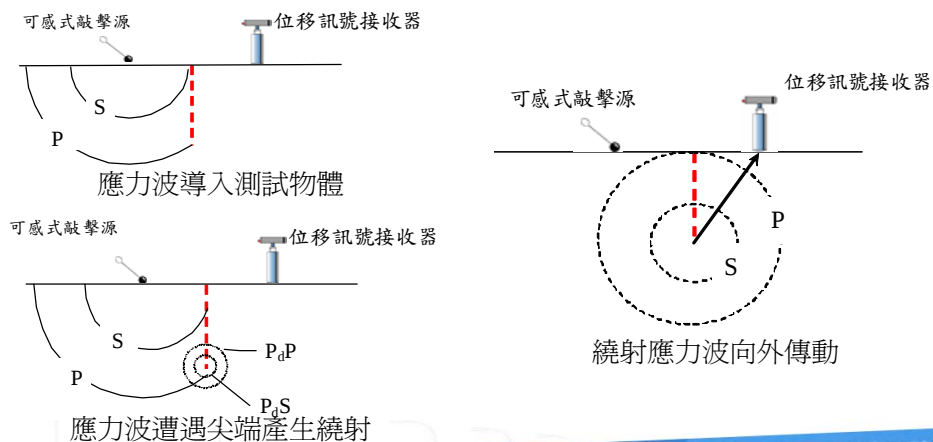
34

34/83

檢測儀器(岸上)之適用性探討

混凝土裂縫探測為例

檢測原理(1/2)



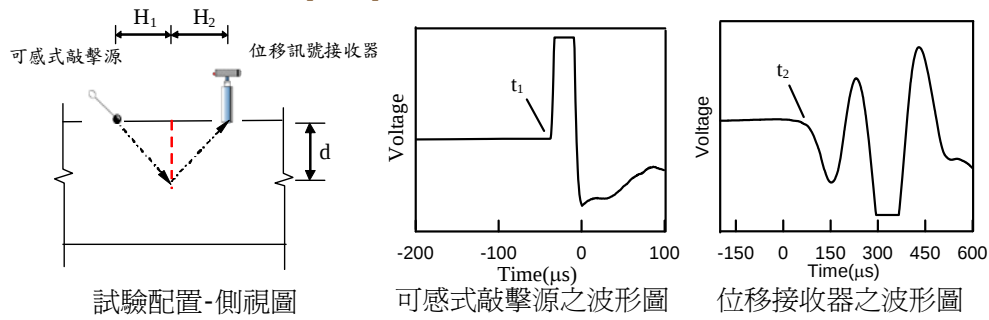
35

35/83

檢測儀器(岸上)之適用性探討

● 混凝土裂縫探測為例

⊕ 檢測原理(2/2)



$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)^2 + H_1^2 - H_2^2}{2 \times C_p \times \Delta t} \right]^2} - H_1^2 \quad d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)}{2} \right]^2} - H^2$$

36

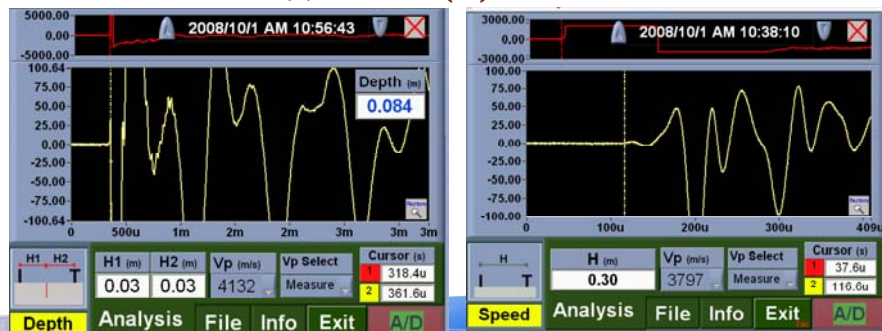
36/83

檢測儀器(岸上)之適用性探討

● 混凝土裂縫探測為例

⊕ 檢測程序

- ⊕ 表面縱波(P波)波速(C_p)量測。
- ⊕ 裂縫深度量測。
- ⊕ 利用公式裂縫深度(D)



37

37/83

檢測儀器(岸上)之適用性探討

● 混凝土裂縫探測為例

⊕ 檢測注意事項

⊕ 表面P波波速量測，敲擊源距接收器應有適當之距離，依經驗約30 cm。

⊕ 裂縫深度量測應小心判斷淺裂縫反向訊號

⊕ 檢測內容

裂縫編號	所處位置	表面波波速 (m/s)	裂縫寬度 (mm)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	裂縫檢測深度 (cm)
C1	西二碼頭車擋	3797	0.55	318.4	364.8	8.3
C2	西三碼頭面版	4132	1.50	318.4	361.6	8.4
C3			0.60	321.6	356.8	6.6
C4			0.65	323.2	358.4	6.6
C5	西四碼頭面版	3927	1.00	312.0	358.4	8.2

38

38/83

檢測儀器(岸上)之適用性探討

	混凝土 強度	混凝土 品質	裂縫 深度	鋼筋 配置	鋼筋腐蝕 狀態	防蝕 性能	海床 狀態	孔洞	沈陷
1.抗壓強度	●	●							
2.中性化		●							
3.氯離子		●							
4.腐蝕電位					●				
5.材料厚度檢測						●			
6.應力波法		●	●	●					
7.反彈錘	●	●							
8.透地雷達				●				●	
9.水深多音束							●		
10.光學測量									●

39

39/83

初步檢測安全評估方式之修正

● 狀況指標計算—單一構件各劣化計算

⊕ 原計算方式

$$DI_i = 100 - 100 \times \frac{(D_i \times E_i)}{(4 \times 4)}$$

DI_i ：單一構件劣化指標(Defect Index)

D_i ：單一構件劣化程度

E_i ：單一構件劣化範圍

i ：構件各劣化狀況(如裂縫、腐蝕等)

⊕ 目前計算方式

$$DI_i = D_i$$

DI_i ：單一構件劣化指標(Defect Index)

D_i ：單一構件各劣化狀況

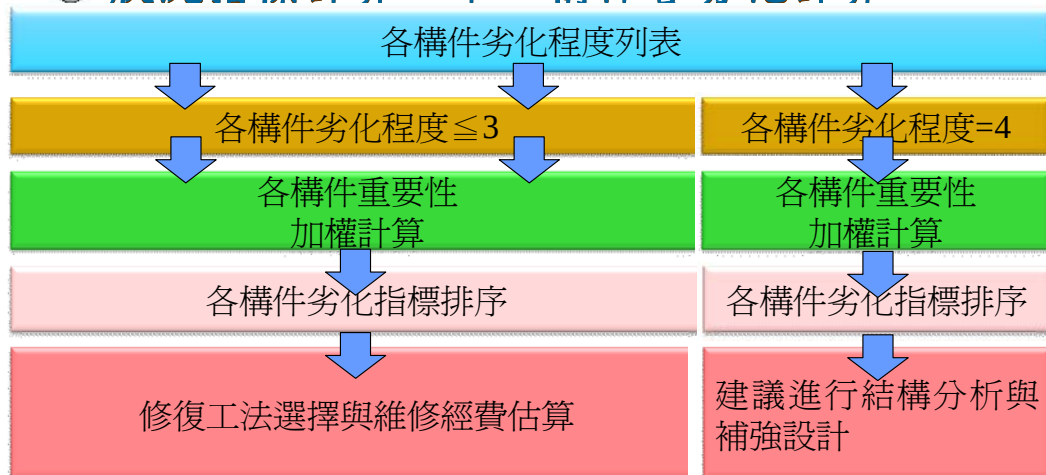
i ：各劣化狀況(如裂縫、腐蝕等)

40

40/83

初步檢測安全評估方式之修正

● 狀況指標計算—單一構件各劣化計算



41

41/83

初步檢測安全評估方式之修正

⊙ 狀況指標計算—整體設施計算

⊕ 原計算方式

$$CI = [DI_i(\max) \times W_i]$$

CI：設施狀況指標(Condition Index)

$DI_i(\max)$ ：各構件劣化狀況最嚴重者

W_i 為各構件重要性權重值

⊕ 目前計算方式

$$CI = [DI_i(\max) \times W_i]$$

CI：設施狀況指標(Condition Index)

$DI_i(\max)$ ：為各構件劣化狀況最嚴重者

W_i 為各構件重要性權重值

若為複合式碼頭，則計算各類型碼頭狀況指標後，選擇最大值作為狀況指標

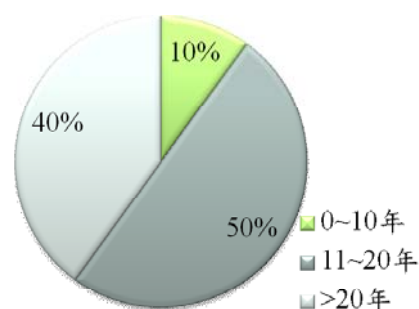
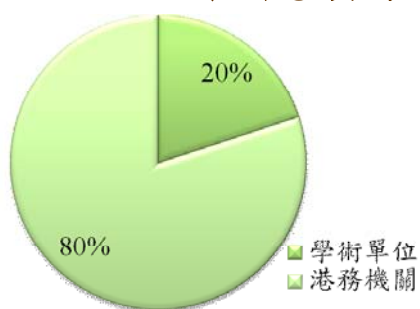
42

42/83

初步檢測安全評估方式之修正

⊙ 各構件重要性權重值計算

⊕ 2012年問卷填寫者資料統計(10份)



43

43/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

問卷設計與發放

- 問卷設計方式：層級分析法是結合定性與定量的一種多目標決策方案，應用於優先順序的決定、資源規劃、分配及投資組合等方面。層級分析法目的是要將複雜的問題系統化，並把各個問題的每個評估面予以層級化，並用層級的運用來劃分成不同階層，以進行兩兩比較

問卷格示範例

重力式碼頭第1層構件					
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要
碼頭本體				✓	海床

評估尺度定義

評估尺度	定義
1	同等重要
5	頗為重要
9	絕對重要

44

44/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

單問卷分析—以重力式碼頭第1層構件為例(1/3)

- 相同構件比值為“1”，再將問卷所得分數輸入矩陣，輸入方式依設計尺度分為同等重要=1，頗重要=5，絕對重要=9，當土堤與海床相較，若專家認為海床對土堤為頗重要，則土堤與海床之值為1/5，其海床與土堤則為倒數關係則為5

9 : 1 5 : 1 1 : 1 1 : 5 1 : 9

構件兩兩比對矩陣

重力式碼頭第1層構件					
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要
碼頭本體		✓			海床
重力式碼頭第2層構件					
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要
岸肩					壁體後緣
壁體					後緣

	碼頭本體	海床
碼頭本體	1.0	0.2
海床	5.0	1.0
Total	6.0	1.2

45

45/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

單問卷分析—以重力式碼頭第1層構件為例(2/3)

在完成矩陣之計算後需進行正規化處理，正規化矩陣每一欄位使用矩陣之每一欄除以該欄縱向之總和，其後每一列需計算其幾何平均數，最後各構件權重為其幾何平均數與其總和之比值

	碼頭本體	海床
碼頭本體	1.000	5.000
海床	0.200	1.000
Total	1.200	6.000

1/1.2

單問卷構件權重計算(第1層)

	碼頭本體	海床	乘積	幾何平均數	權重
碼頭本體	0.833	0.833	0.694	0.833	0.833
海床	0.167	0.167	0.028	0.167	0.167
Total				1	1

46

46/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

後續將以通過率<0.2之問卷進行整體問卷之計算以決定構件權重

全部問卷分析—以重力式碼頭第1層構件為例

單問卷構件權重(以重力式碼頭第1層構件為例)

	碼頭本體	海床	乘積	幾何平均數	權重
碼頭本體	0.167	0.167	0.028	0.167	0.167
海床	0.833	0.833	0.694	0.833	0.833
Total				1	1

全部問卷權重(以重力式碼頭第1層構件為例)

	問卷 1	問卷 2	問卷 3	問卷 4	問卷 5	問卷 6	問卷 7	問卷 8	問卷 9	問卷 10	...	問卷 20	乘積	幾何平均數	權重
碼頭本體	0.90	0.83	0.83	0.17	0.83	0.10	0.50	0.17	0.90	0.50	...	0.83	1.27E-08	0.40	0.53
海床	0.10	0.17	0.17	0.83	0.17	0.90	0.50	0.83	0.10	0.50	...	0.17	7.85E-10	0.35	0.47
合計														0.75	

47

47/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

全部問卷分析—以重力式碼頭第1層構件為例

重力式碼頭第一層權重分析結果以幾何平均數進行計算(如下表)，最後各構件權重為其幾何平均數與其總和之比值

各問卷構件權重計算

	問卷 1	問卷 2	問卷 3	問卷 4	問卷 5	問卷 6	問卷 7	問卷 8	問卷 9	問卷 10	...	問卷 20	乘積	幾何平 均數	權重
碼頭 本體	0.90	0.83	0.83	0.17	0.83	0.10	0.50	0.17	0.90	0.50	...	0.83	1.27E-08	0.40	0.53
海床	0.10	0.17	0.17	0.83	0.17	0.90	0.50	0.83	0.10	0.50	...	0.17	7.85E-10	0.35	0.47
合計														0.75	

各問卷權重分數相乘

48

48/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

全部問卷分析—以重力式碼頭第1層構件為例

重力式碼頭第一層權重分析結果以幾何平均數進行計算(如下表)，最後各構件權重為其幾何平均數與其總和之比值

各問卷構件權重計算

	問卷 1	問卷 2	問卷 3	問卷 4	問卷 5	問卷 6	問卷 7	問卷 8	問卷 9	問卷 10	...	問卷 20	乘積	幾何平 均數	權重
碼頭 本體	0.90	0.83	0.83	0.17	0.83	0.10	0.50	0.17	0.90	0.50	...	0.83	1.27E-08	0.40	0.53
海床	0.10	0.17	0.17	0.83	0.17	0.90	0.50	0.83	0.10	0.50	...	0.17	7.85E-10	0.35	0.47
合計														0.75	

幾何平均
數計算

49

49/83

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

全部問卷分析—以重力式碼頭第1層構件為例

重力式碼頭第一層權重分析結果以幾何平均數進行計算(如下表)，最後各構件權重為其幾何平均數與其總和之比值

各問卷構件權重計算

	問卷 1	問卷 2	問卷 3	問卷 4	問卷 5	問卷 6	問卷 7	問卷 8	問卷 9	問卷 10	...	問卷 20	乘積	幾何平均數	權重
碼頭本體	0.90	0.83	0.83	0.17	0.83	0.10	0.50	0.17	0.90	0.50	...	0.83	1.27E-08	0.40	0.53
海床	0.10	0.17	0.17	0.83	0.17	0.90	0.50	0.83	0.10	0.50	...	0.17	7.85E-10	0.35	0.47
合計														0.75	

0.40/0.75

初步檢測安全評估方式之修正

構件重要性權重值計算

單問卷分析—以重力式碼頭第2層構件為例(3/3)

9:1 5:1 1:1 1:5 1:9

重力式碼頭第1層構件									
碼頭本體	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要	海床	岸肩	壁體	後線
		✓					岸肩	1.000	0.200
	絕對重要	頗重要	同等重要	頗重要	絕對重要		壁體	5.000	1.000
岸肩		✓					後線	0.200	0.111
壁體				✓			total	6.200	1.311
					✓				15.000

1.000/6.200

單問卷構件權重計算(第2層)

	岸肩	壁體	後線	乘積	幾何平均數	權重
岸肩	0.1613	0.1525	0.3333	0.0082	0.2017	0.2067
壁體	0.8065	0.7627	0.6000	0.3691	0.7173	0.7352
後線	0.0323	0.0847	0.0667	0.0002	0.0567	0.0581
total					0.9757	1.0000

初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

重力式碼頭構件權重

構件名稱	第2層	各構件分配權重
碼頭本體 (0.53)	岸肩(0.35)	0.19
	壁體(0.55)	0.29
	後線(0.10)	0.05
海床(0.47)		0.47

板樁式碼頭構件權重

第1層	第2層	各構件分配權重
碼頭本體 (0.55)	岸肩(0.43)	0.24
	壁體(0.44)	0.24
	後線(0.13)	0.07
海床(0.45)		0.45



初步檢測安全評估方式之修正

各構件重要性權重值計算

棧橋式碼頭構件權重

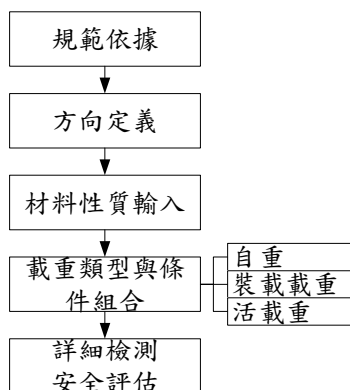
第1層	第2層	各構件分配權重
面版(0.12)	梁(0.58)	0.07
	岸肩(0.20)	0.02
	岸肩底部(0.15)	0.02
	後線(0.08)	0.01
墩柱(0.49)		0.49
拋石護坡(0.24)		0.24
海床(0.15)		0.15



詳細檢測安全評估方式之修正

分析流程

藉由目視檢測之初步評估後有疑慮之構件，進一步配合目視與儀器檢測之量測結果來進行。經現地檢測與後續報告第三章部分研究成果發現，由於碼頭劣化以岸肩受臨海腐蝕環境影響較劇，故後續將以岸肩梁構件鋼筋因氯離子侵蝕造成其斷面損失，作為分析標的

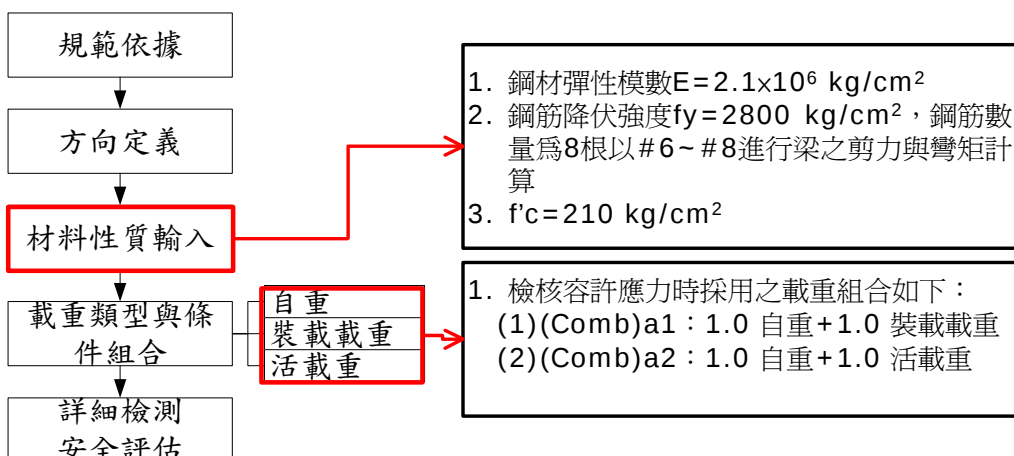


54

54/83

詳細檢測安全評估方式之修正

分析參數

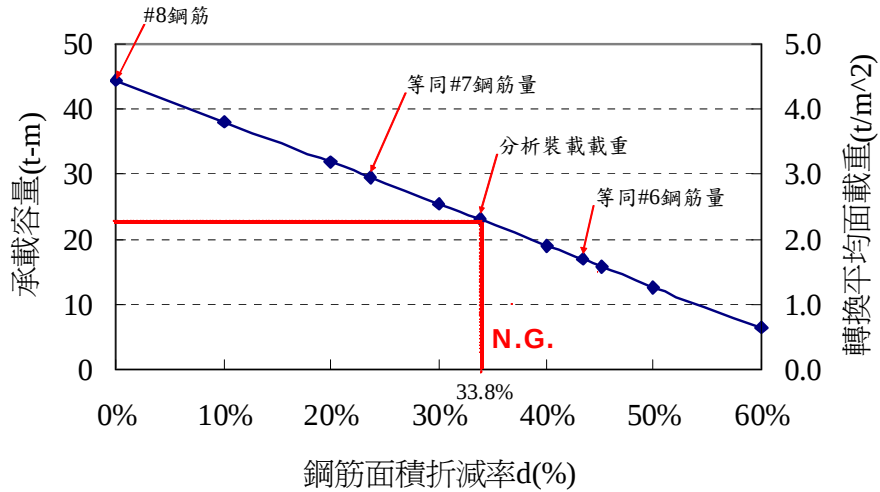


55

55/83

詳細檢測安全評估方式之修正

分析結果範例



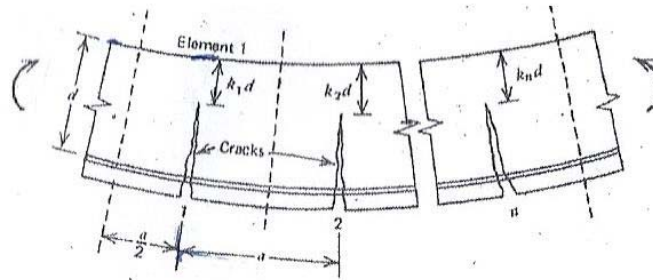
56

56/83

結構安全評估方法研擬

現有港灣構造物安全評估方法之檢討(1/10)

$$D_e = \frac{\delta_{Me}}{\delta_{ue}} + \frac{\beta_e}{pQ_{ye}\delta_{ue}} \sum_i^p E_i^e \quad E_i^e = \sigma_{ri} \delta_{est.i}$$



58/83

現有港灣構造物安全評估方法之檢討(2/10)

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

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

$$\alpha_1 = D_e \quad \alpha_\delta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \left(\frac{\delta_u}{\delta_e} \right)$$

$$\alpha_2 = 5.0 / \alpha_\delta$$

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。

59/83

現有港灣構造物安全評估方法之檢討(3/10)

- β_1 為鋼筋斷面損失係數，表示如下
- $\beta_1 = (1 - \text{線材斷面損失率}) = (1 - R_{sl})$

- β_2 為混凝土材料劣化係數，表示為
- $\beta_2 = (1 - \text{劣化深度比}) = (1 - R_{dl})$

- β_3 為延性及脆性材料間接合情形(或脆性行為之影響範圍) $= (1 - \text{裂縫面積所佔原面積比})$
 $\beta_3 = (1 - A_{tc}/A_0) = (1 - R_{al})$

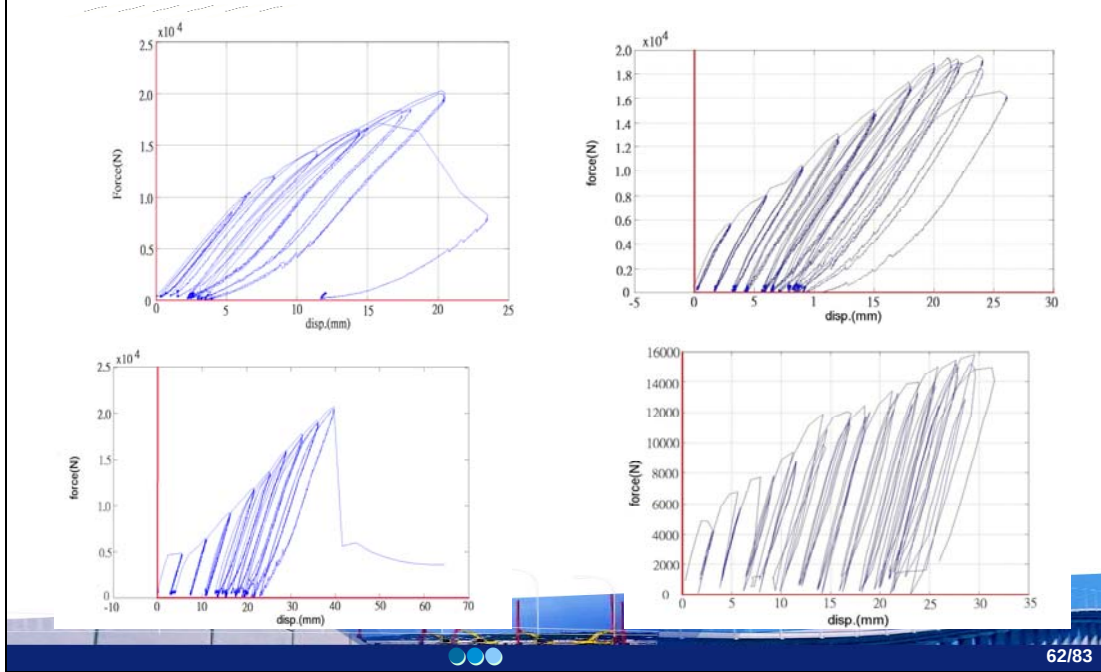
60/83

現有港灣構造物安全評估方法之檢討(4/10)

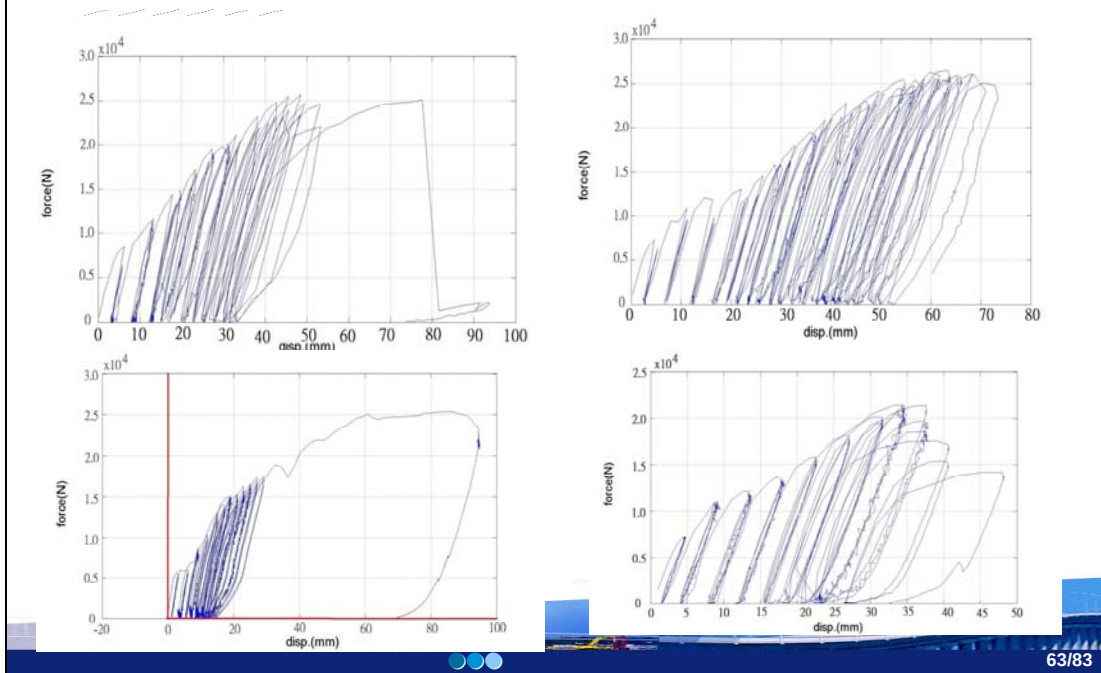
參數	範圍	定義	判斷依據
	? 1.0	構件現況破壞係數	依檢測數據計算
	? 1.0	延展性係數	依檢測數據計算
α_3	1.0~4.0	實測數據變異係數	為1,2,3,4 當變異值分別為 <10%；或介於10%~20% 之間；或介於20%~30% 之間；或>30% 時
	≤ 5.0	延展性損失係數	≥ 1
β_1	$0 < \beta_1 \leq 1$	延展性線材（鋼筋） 斷面損失係數	(1－線材斷面損失率)
β_2	$0 < \beta_2 \leq 1$	構件材料（混凝土） 劣化係數	(1－材料劣化深度比)
β_3	$0 < \beta_3 \leq 1$	脆性材料係數	(1－裂縫面積比)

61/83

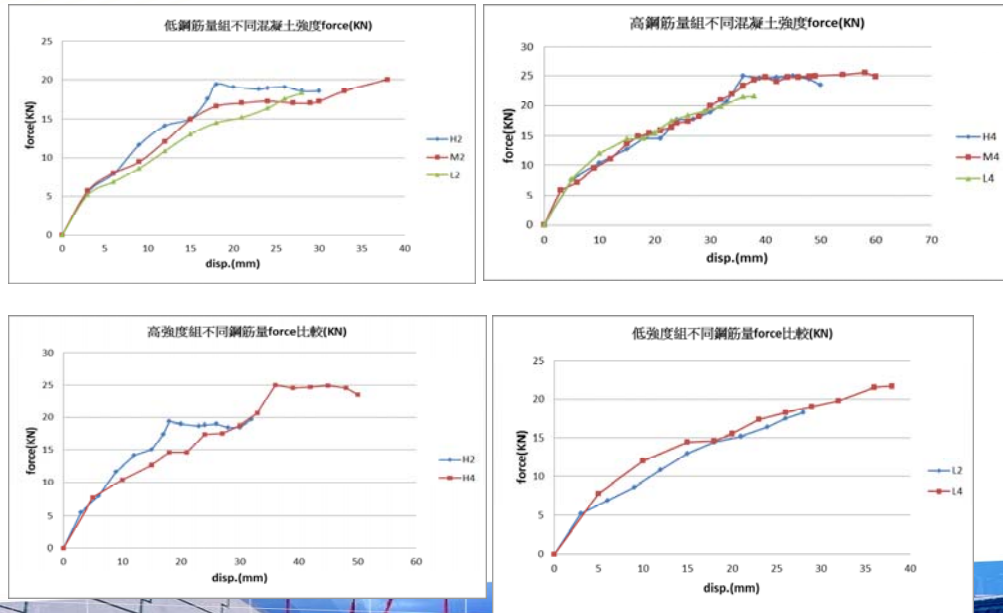
現有港灣構造物安全評估方法之檢討(5/10)



現有港灣構造物安全評估方法之檢討(6/10)

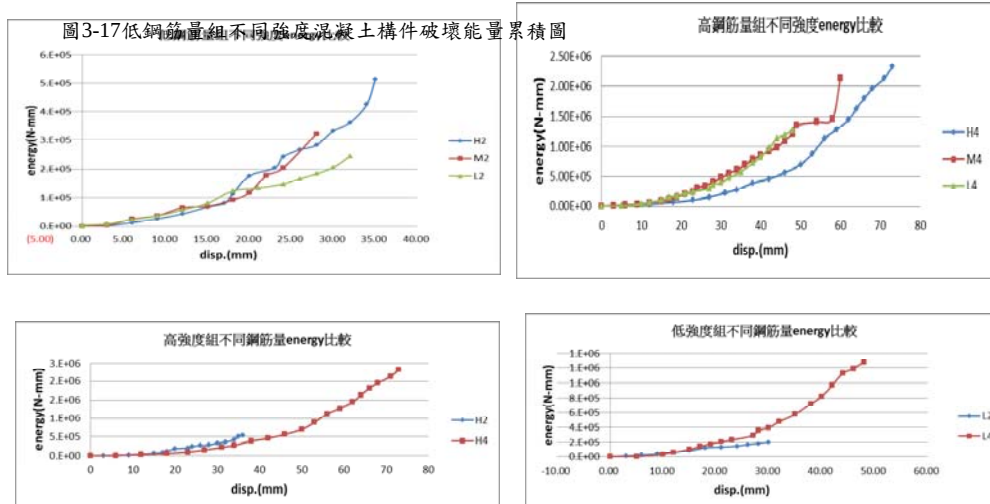


現有港灣構造物安全評估方法之檢討(7/10)



64/83

現有港灣構造物安全評估方法之檢討(8/10)



65/83

現有港灣構造物安全評估方法之檢討(9/10)

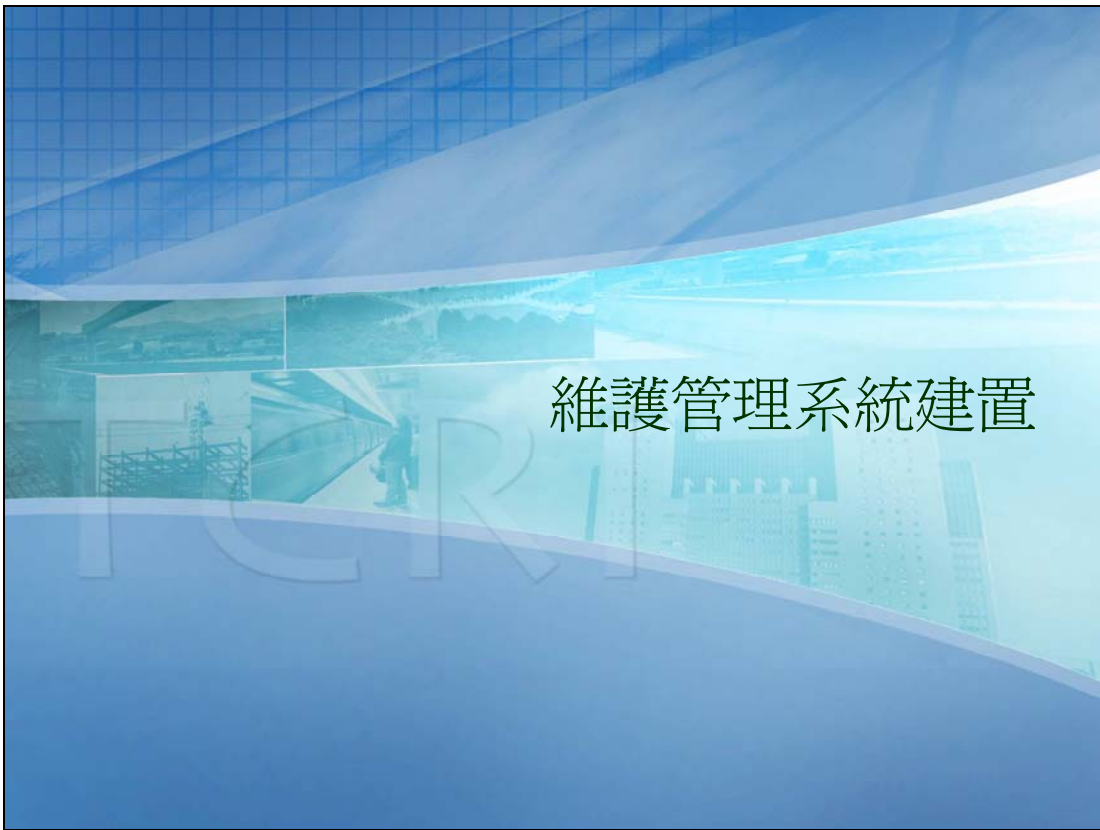
比較	H2	M2	L2	H4	M4	L4
Q_y, N	21629	21304	20816	40036	38736	36792
$\delta u, mm$	31.3	27.6	24.9	53.13	57.49	38.39
$Q_y \times \delta u$	676988	587990	518318	2127112	2226932	1412444
β	1	1	1	1	1	1
$\beta \cdot E$	536,900	321724	244,518	2,317,937	2,137,418	1,272,345
%	79.3	54.7	47.2	108.9	96	90.08
修正 β	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
修正 $\beta \cdot E / Q_y \delta u$	1.58	1.09	.944	1.08	0.96	0.90

66/83

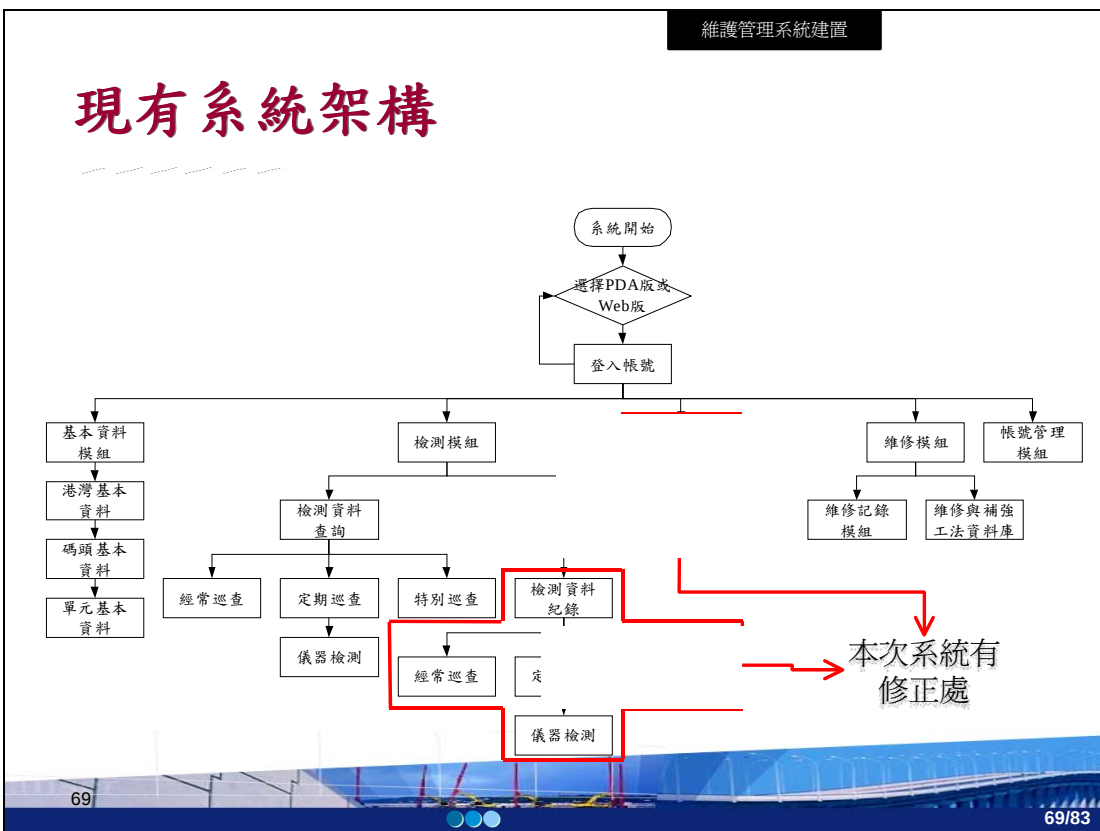
現有港灣構造物安全評估方法之檢討(10/10)

- 高鋼筋構件試驗結果與理論值比較時，其達到之最大強度則較低，約為設計理論值之61%至65%。而低鋼筋量構件之試驗數據則與理論預估值接近，低鋼筋量且為低強度混凝土構件之試驗強度與理論差異較大，但亦達到85%。因此、無論強度或構件延展性，鋼筋量之影響明顯高於混凝土強度。本試驗中發現、高鋼筋量構件之延展性係數(韌性比)約為低鋼筋量構件之1.5至2.0倍。
- 對於鋼筋混凝土結構中破壞指標之影響，鋼筋量之變化較混凝土強度之變化影響較大。換言之，鋼筋腐蝕而造成抗拉材料斷面縮小之影響對於整體結構之安全評估將更為重要。
- 在討論影響延展性係數 α_2 之參數時，鋼筋斷面損失係數 β_1 亦將更為重要。若以本試驗設計，高鋼筋量為低鋼筋量之兩倍，但高鋼筋量構件之破壞能量，在混凝土強度較高時，約為低鋼筋量構件之破壞能量之4倍左右，在混凝土強度較低時，高鋼筋量構件之破壞能量則約為低鋼筋量構件之破壞能量之6倍左右。可見鋼筋混凝土構件之破壞能量與鋼筋量之關係約為二次正關係。

67/83



維護管理系統建置



現有碼頭設施維護管理系統更新

系統檢測標準修正

在檢測資料模組新增頁面中，將劣化範圍(E)選項刪除，使用者僅需針對劣化狀況(D)進行

The screenshot shows a form for recording inspection data. The '劣化範圍(E)' option has been removed. The '劣化狀況(D)' option is highlighted with a red dashed box. The '劣化類型' (Deterioration Type) is set to '裂縫' (Crack) and the '劣化狀況(D)' (Deterioration Status) is set to '2'.

70

70/83

系統檢測標準修正

系統檢測標準修正

在檢測資料模組新增頁面中增加目視檢測標準示意圖，並結合目視檢測標準說明，以利使用者進行判別

The screenshot shows a form for recording inspection data. The '劣化範圍(E)' option has been removed. The '劣化狀況(D)' option is highlighted with a red dashed box. The '劣化類型' (Deterioration Type) is set to '裂縫' (Crack) and the '劣化狀況(D)' (Deterioration Status) is set to '2'.

各構件劣化目視檢測圖示點選後以另開視窗展示



71

71/83

系統檢測標準修正

系統檢測標準修正

針對既有檢測資料，將劣化範圍(E)值刪除

基隆港西14碼頭定期檢測資料-劣化狀況



編輯照片

編輯資料

劣化程度(D)

劣化位置

劣化數量

單位

72

72/83

經常巡查輸入方式修正

經常巡查輸入方式之修正

將各構件(岸上)的劣化狀況以是/否值判斷，而各劣化異狀的描述即為目視檢測標準等級4作為區分，以利快速執行

檢測單位			
檢測人員			
檢測日期	(YYYY/MM/DD)		
檢測天氣	☐ 晴	☐ 陰	☐ 雨
港名名稱	基隆港		
碼頭編號	西14		
碼頭用途	☐ 貨櫃碼頭	☐ 散雜貨碼頭	☐ 客運碼頭
碼頭型式	☐ 重力式	☐ 板橋式	☐ 其他碼頭
檢測單元	B:		
劣化位置	X:	Y:	

碼頭本體		判斷準則	劣化數量								
岸牆	裂縫	裂縫擴散至整個岸牆	☐ 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0m</td> </tr> <tr> <td>沉陷</td> <td>牆底混凝土外露腐蝕，且牆底處部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15cm，深度>2.5cm</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0m2</td> </tr> <tr> <td>沉陷</td> <td>岸牆嚴重下陷(面積>5m2，高度>2.5cm)(雨天檢視)</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0m2</td> </tr> <tr> <td>後緣</td> <td>沉陷</td> <td>岸牆嚴重下陷(高度>10cm，面積>10m2)</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input 1"="" type="text" value="0m2</td> </tr> </tbody> </table> <table border="/> <thead> <tr> <th colspan="2">附屬設施</th> <th>判斷準則</th> <th>劣化數量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>繫船柱</td> <td>腐蝕龜裂</td> <td>材質嚴重磨損與剝落，基座嚴重龜裂</td> <td>☐ 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>防舷材</td> <td>龜裂破損</td> <td>材質劣化、構件變形或掉落</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>車擋</td> <td>龜裂破損</td> <td>材質嚴重龜裂或脫落</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>起重機軌道</td> <td>腐蝕位移</td> <td>兩軌間距高度>4.25mm
兩軌間距左右差>10mm
大範圍主攝影功能</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input 10px;"="" margin-top:="" type="text" value="0m</td> </tr> </tbody> </table> <div style="/> 劣化照片 檢測員意見 </td></tr></tbody>	附屬設施		判斷準則	劣化數量	繫船柱	腐蝕龜裂	材質嚴重磨損與剝落，基座嚴重龜裂	☐ 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>防舷材</td> <td>龜裂破損</td> <td>材質劣化、構件變形或掉落</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>車擋</td> <td>龜裂破損</td> <td>材質嚴重龜裂或脫落</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>起重機軌道</td> <td>腐蝕位移</td> <td>兩軌間距高度>4.25mm
兩軌間距左右差>10mm
大範圍主攝影功能</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input 10px;"="" margin-top:="" type="text" value="0m</td> </tr> </tbody> </table> <div style="/> 劣化照片 檢測員意見
	附屬設施		判斷準則	劣化數量							
	繫船柱	腐蝕龜裂	材質嚴重磨損與剝落，基座嚴重龜裂	☐ 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>防舷材</td> <td>龜裂破損</td> <td>材質劣化、構件變形或掉落</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>車擋</td> <td>龜裂破損</td> <td>材質嚴重龜裂或脫落</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input radio"="" type="text" value="0個</td> </tr> <tr> <td>起重機軌道</td> <td>腐蝕位移</td> <td>兩軌間距高度>4.25mm
兩軌間距左右差>10mm
大範圍主攝影功能</td> <td><input type="/> 是 ☐ 否 <input 10px;"="" margin-top:="" type="text" value="0m</td> </tr> </tbody> </table> <div style="/> 劣化照片 檢測員意見							

73

73/83

系統初步檢測安全評估方式修正

系統初步檢測安全評估方式修正

針對需結構分析與補強設計部份，將劣化狀況(D)=4之構件配合權重進行狀況指標計算

基隆港西14碼頭構件狀況排序-結構分析與補強設計

單元編號	劣化構件	劣化類型	劣化位置	狀況指標	劣化數量
B17	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.74
B5	面板-梁	裂縫	B1	0.28	0.8
B6	面板-梁	裂縫	B1	0.28	0.8
B6	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.25
B3	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.5
B2	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	2
B13	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	2.2
B4	面板-梁	裂縫	B1	0.28	0.6
B14	面板-梁	腐蝕	B9	0.28	1.3
B6	面板-梁	裂縫	B4	0.28	1.1

74

74/83

系統初步檢測安全評估方式修正

狀況排序模組

針對一般性修復部份，將劣化狀況(D)≤3之構件配合權重進行狀況指標計算

基隆港西14碼頭構件狀況排序-一般性修復

請選擇欲查詢維修工法

單元編號	劣化構件	劣化類型	劣化位置	狀況指標	維修工法	劣化數量	維修金額
B18	墩柱	裂縫	P1	1.47	灌注環氧樹脂工法	4	4
B18	墩柱	裂縫	P1	1.47	灌注環氧樹脂工法	2	2
B1	墩柱	裂縫	P9	0.98	樹脂砂漿塗抹工法	0.3	0.3
B16	拋石護坡	破壞	XY	0.72	持續監測	66	66
B15	土堤-岸肩	腐蝕	X22.8Y6.2	0.57	混凝土及鋼筋修補	0.5	0.5
B7	土堤-岸肩	腐蝕	X13Y7.4	0.57	混凝土及鋼筋修補	0.3	0.3
B20	拋石護坡	破壞	X2Y2	0.48	持續監測	22	22
B7	土堤-岸肩	裂縫	X13.5Y10.8	0.38	樹脂砂漿塗抹工法	10.34	10.34
B2	面板-梁	腐蝕	B4	0.21	混凝土及鋼筋修補	0.06	0.06
B6	面板-梁	腐蝕	B4	0.21	混凝土及鋼筋修補	0.6	0.6

12345678910...

維修單價將於
下年度完成

75

75/83

系統初步檢測安全評估方式修正

- ⚽ 針對碼頭整體部份，將各構件劣化程度最嚴重者配合構件權重進行狀況指標計算

基隆港西14碼頭構件狀況指標

將設施各構件最嚴重者，採用其劣化狀況配合各構件權重進行計算後累加，即為設施整體狀況

劣化構件	劣化狀況	狀況指標	分數
面板-梁	4	0.28	2.77
面板-岸肩	3	0.06	
面板-岸肩底部	4	0.08	
面板-後緣	1	0.01	
墩柱	3	1.47	
拋石護坡	3	0.72	
海床	1	0.15	

76

76/83

防波堤維護管理系統建置

- ⚽ 檢測資料輸入

基隆港西A防波堤經常檢測資料 - 新增

檢測單位	TCRI	檢測人員	簡臣南										
檢測日期	2012/10/22 (YYYY/MM/DD)	檢測天氣	☒ 晴 ☐ 陰 ☐ 雨										
港灣名稱	基隆港	防波堤編號	西A										
結構型式		劣化構件	護面層										
劣化類型	移動、散亂及下滑	劣化程度	2										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>劣化類型</th><th>劣化程度</th><th>劣化程度說明</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">移動、散亂及下滑</td> <td>2</td> <td>受損不明顯(護面破壞約≤3m2)，但並未漏砂</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>明顯受損(護面破壞約3~12m2)，堤面出現孔洞，但並未漏砂</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>嚴重受損(護面破壞約>12m2)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂</td> </tr> </tbody> </table>				劣化類型	劣化程度	劣化程度說明	移動、散亂及下滑	2	受損不明顯(護面破壞約≤3m2)，但並未漏砂	3	明顯受損(護面破壞約3~12m2)，堤面出現孔洞，但並未漏砂	4	嚴重受損(護面破壞約>12m2)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂
劣化類型	劣化程度	劣化程度說明											
移動、散亂及下滑	2	受損不明顯(護面破壞約≤3m2)，但並未漏砂											
	3	明顯受損(護面破壞約3~12m2)，堤面出現孔洞，但並未漏砂											
	4	嚴重受損(護面破壞約>12m2)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂											
劣化位置	X: 13 Y: 24	劣化數值	1 m ²										
劣化照片	瀏覽												
檢測員意見													

檢測基本資料：輸入檢測單位、檢測人員、檢測日期、檢測天氣、港灣名稱、防波堤編號、結構型式、與劣化構件

檢測劣化狀況：輸入劣化類型與狀況值輸入

檢測詳細資料：輸入劣化異狀位置、數量與劣化照片

77

77/83

防波堤維護管理系統建置

檢測資料查詢

基隆港西A防波堤經常檢測資料

檢測日期	劣化構件	劣化類型	劣化程度	劣化位置	劣化數值	詳細資料
2012/10/22	覆面層	移動、脫離及下滑	2	X13Y24	1m	詳細資料
2012/10/20	鋼樁	鬆動	3	X12Y23	2m	詳細資料
2012/09/23	覆面層	移動、脫離及下滑	2	X45Y54	4m	詳細資料
2012/08/12	堤前(衝)坡	鬆動	3	2123	20m2	詳細資料

檢測資料查詢(依日期列表)

選擇
"詳細資料"

基隆港西A防波堤經常檢測資料

編輯檢測資料		編輯劣化照片		刪除檢測資料	
檢測單位	TCRI	檢測人員	簡臣佑		
檢測日期	2012/10/22	檢測天氣	晴		
結構型式	重力式	劣化構件	覆面層		
劣化類型	移動、脫離及下滑	劣化程度	2		
劣化位置	X13Y24	劣化數值	1m		
劣化照片					
查看各劣化異狀細部資料					
檢測員意見					

78/83

結論與建議

結論(1/3)

港灣構造物檢測
作業標準制訂

1. **目視檢測標準修訂**：現有目視檢測標準修訂之目的為簡化檢測內容，並藉由圖示輔助增加實用性。
2. **儀器檢測適用性探討**：依港灣設施組成材料，分類為混凝土與鋼材兩種，各檢測技術內容有「檢測原理」、「檢測程序」、「檢測注意事項」與「檢測內容」。
3. **初步檢測安全評估方式研擬**：修正單一構件評估與各設施整體狀況的整體評估，並增加構件權重問卷。
4. **詳細檢測安全評估方式之研擬**：完成以與目視與儀器檢測結果較為相關的碼頭岸肩鋼筋斷面損失進行分析，藉由輸入與檢測結果相關之數據，配合分析流程，檢視原始設計之需求。
5. **碼頭結構物檢測評估及維護管理手冊撰寫**：本手冊依循原有架構與內容，將本期更新的目視檢測標準、新增的劣化圖示(或照片)與修正的初步檢測安全評估方式彙整於其中。

80/83

結論(2/3)

結構安全評估方
法研擬

1. 高鋼筋構件試驗結果與理論值比較時，約為設計理論值之61%至65%。而低鋼筋量構件之試驗數據則與理論預估值接近，低鋼筋量且為低強度混凝土構件之試驗強度與理論差異較大，但亦達到85%。本試驗中發現，高鋼筋量構件之延展性係數(韌性比)約為低鋼筋量構件之1.5至2.0倍。
2. 鋼筋混凝土結構中破壞指標之影響，鋼筋量之變化較混凝土強度之變化影響較大。因此，鋼筋腐蝕而造成抗拉材料斷面縮小之影響對於整體結構之安全評估將更為重要。
3. 高鋼筋量為低鋼筋量之兩倍， β_1 高鋼筋量構件之破壞能量，在混凝土強度較高時，約為低鋼筋量構件之破壞能量之4倍左右，在混凝土強度較低時，高鋼筋量構件之破壞能量則約為低鋼筋量構件之破壞能量之6倍左右。

81/83

結論(3/3)

港灣構造物維護管理建置

1. **現有碼頭設施維護管理系統更新**：已完成修正系統檢測標準、系統初步檢測安全評估方式與經常巡查輸入。
2. **防波堤維護管理系統建置**：防波堤因為連續性結構，故以構件拆解方式或以一間距方式進行編碼會較為繁瑣，且不利現場檢測作業，故檢測作業上，以GPS記錄劣化位置的方式進行檢測記錄。
3. **碼頭設施維護管理系統使用手冊撰寫**：依前述之內容將目視檢測標準如何填寫、初步檢測安全評估方式之操作方式與經常巡查表格填寫之內容等撰寫於此中。

82/83

未來建議

⚽ 港灣構造物檢測作業標準制訂

- ⊕ 修改經常、定期與特別巡查表格
- ⊕ 建置檢測儀器檢測相關表格，作為後續系統留存之標準
- ⊕ 建置港灣設施檢測後之修復表單格式
- ⊕ 建置修復工法單價資料庫

⚽ 港灣構造物維護管理建置

- ⊕ 分析預測工具之研擬
- ⊕ 檢測報告產出模組建置

83

83/83



檢測作業標準制訂

初步檢測安全評估方式之修正

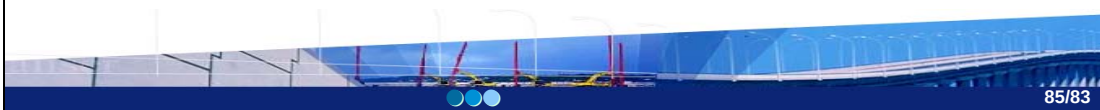
⊙ 構件重要性權重值計算

⊕ 問卷一致性檢定-一致性指標CI(Consistency Index)計算

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \lambda_{\max} = \sum_i^n \frac{(AW)_i}{n \times w_i}$$

⊕ CI < 0.1

⊕ 不一致, 表示矩陣尺度要重調



初步檢測安全評估方式之修正

構件重要性權重值計算

問卷一致性檢定-AW

$$AW = [r_{ij}] \times [W]$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_{m-1} \\ W_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AW_1 \\ \vdots \\ AW_{m-1} \\ AW_m \end{bmatrix}$$

86/83

初步檢測安全評估方式之修正

構件重要性權重值計算

問卷一致性檢定-以一問卷之重力式碼頭計算

$$AW = [r_{ij}] \times [W]$$

$$[r_{ij}]$$

	岸肩	壁體	後線
岸肩	1.000	0.200	5.000
壁體	5.000	1.000	9.000
後線	0.200	0.111	1.000
total	6.200	1.311	15.000

$$1.00 \times 0.2067 + 0.2000 + 0.7352 + 5.000 \times 0.0581 = 0.6443$$

$[W]$

	岸肩	壁體	後線	乘績	幾何平均數	權重
岸肩	0.1613	0.1525	0.3333	0.0082	0.2017	0.2067
壁體	0.8065	0.7627	0.6000	0.3691	0.7173	0.7352
後線	0.0323	0.0847	0.0667	0.0002	0.0567	0.0581
total					0.9757	1.0000

87/83

初步檢測安全評估方式之修正

構件重要性權重值計算

問卷一致性檢定-以一問卷之重力式碼頭計算

$$\lambda_{\max} = \sum_i^n \frac{(AW)_i}{n \times w_i}$$

$$0.6443/(3 \times 0.207) + 2.292/(3 \times 0.735) + 0.181/(3 \times 0.058) = 3.117$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$(3.117 - 3)/(3 - 1) = 0.059$$

88/83

初步檢測安全評估方式之修正

構件重要性權重值計算

問卷一致性檢定-以一問卷之重力式碼頭計算

各問卷碼頭(第一層與第二層)一致性指標計算

問卷編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
重力式碼頭 (C.I.)第1層	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
重力式碼頭 (C.I.)第2層	0.280	0.059	0.059	0.147	0.059	0.633	0.147	0.000	0.000	0.059	0.147	0.280	0.280	0.147	0.019	0.280	0.000	0.000	0.000	0.059
板橋式碼頭 (C.I.)第1層	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
板橋式碼頭 (C.I.)第2層	0.147	0.280	0.280	0.059	0.280	0.147	0.147	0.000	0.000	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.019	0.280	0.000	0.000	0.147	0.147
棧橋式碼頭 (C.I.)第1層	0.000	0.228	0.228	1.880	0.112	0.158	0.085	0.112	0.158	0.112	0.206	0.063	0.063	0.063	0.063	0.014	0.112	0.245	2.880	0.014
棧橋式碼頭 (C.I.)第2層	0.112	0.358	0.376	0.158	0.228	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.214	0.230	0.230	0.112	0.170	0.014	0.158	0.158	0.085	0.029

89/83

初步檢測安全評估方式之修正

● 構件重要性權重值計算

⊕ 問卷一致性檢定-以一問卷之重力式碼頭計算

	問卷不通過率(%)(以20份問卷計算)
	一致性指標<0.2
重力式碼頭(C.I.)第1層	0
重力式碼頭(C.I.)第2層	25
板樁式碼頭(C.I.)第1層	0
板樁式碼頭(C.I.)第2層	25
棧橋式碼頭(C.I.)第1層	30
棧橋式碼頭(C.I.)第2層	30

後續將以通過率<0.2之問卷進行整體問卷之計算以決定構件權重



附錄八

港灣構造物安全檢查評估推廣講習 舉辦成果

港灣構造物安全檢查評估推廣講習舉辦成果

- 一、碼頭維護管理程序與手冊介紹：內容包含維護管理程序介紹、目視檢測評估介紹、儀器檢測技術介紹、修復工法介紹等。
- 二、碼頭維護管理系統介紹：內容包含系統與資料庫架構介紹、系統執行流程介紹(Web 版與 PDA 版)。
- 三、碼頭結構安全分析介紹：內容包含棧橋式碼頭 RC 結構破壞評估方式及理論基礎介紹、碼頭有限元素分析介紹。

主辦單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心、臺灣營建研究院

舉辦日期：2012.11.30(五)

上課地點：臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司第一會議室

員額分配：不限

費用：無

報名方式：請將報名表傳真至主辦單位即可

日期	時 間	課程名稱	主講人
11/30 (五)	09:30-10:00	報	到
	10:00~10:50	碼頭維護管理程序介紹	臺灣營建研究院 張嘉峰 組長
	10:50-11:10	碼頭維護管理系統介紹	臺灣營建研究院 簡臣佑 工程師
	11:10-11:20	休	息
	11:20-12:00	碼頭結構安全分析介紹	國立中山大學 李賢華 教授
	12:00-12:10	綜合討論	
	12:10-13:00	午	餐

基隆港務分司

「港灣構造物安全檢查評估之研究」參加人員簽到簿

講習時間：101 年 11 月 30 日（星期五）上午 10 時至 12 時

講習地點：基港大樓第一會議室

參加講習人員：

單 位	職 稱	姓 名	簽到處	備 註
棧埠處	副工程師	陳雲翹	陳雲翹	
船機處	督導	廖勝樂	廖勝樂	
船機處	副工程師	蘇英順	蘇英順	
勞安處	高級工程師	滕允傑	滕允傑	
港務處	副工程師	丘錦浩	丘錦浩	
蘇澳港營運處	副工程師	嚴文裕	嚴文裕	
工程處	助理工程師	謝榮松	謝榮松	

附錄8-2

單 位	職 稱	姓 名	簽到處	備 註
工程處	助理工程師	陳威志	陳威志	
工程處	助理工程師	陳志岳	陳志岳	
工程處	助理工程師	許皓鈞	許皓鈞	
工程處	助理技術員	陳華中	陳華中	
工程處	助理技術員	李政輝	李政輝	
工程處	督導	王建青	王建青	
工程處	助理工程師	葉倉賓		
工程處	資深技術員	林建興	林建興	
工程處	助理技術員	林石慧	林石慧	
工程處	督導	陳華雄	陳華雄	
工程處	高級工程師	戴益寶	戴益寶	
工程處	助理工程師	林裕裕 郭仕謙	林裕裕	
工程處	高級工程師	陳武順	陳武順	
工程處	副工程師	羅明清	羅明清	
工程處	副工程師	黃維力		

附錄8-3

單 位	職 稱	姓 名	簽到處	備 註
工程處	委派工務員	張家藩	張家藩	
工程處	助理工程師	黃玉燕	黃玉燕	
"	經 理	王淑華	王淑華	
"	助理技術員	李月園	李月園	
"	助理事務員	郭日奇	郭日奇	
	"	陳美華	陳美華	

附錄8-4

港灣構造物安全檢查評估推廣講習

報名 編號	學員姓名	服務單位	身份證字號 (申請學習時數用)	用餐 (筆/套)	簽到	簽退
1	黃偉奇	臺中港務分公司工程處				
2	陳湘婷	高雄港務分公司		素	陳湘婷	
3	柯正輝	華研所		"	柯正輝	
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20			附錄8-5			