102-64-7695
MOTC-IOT-101-H1DB003

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(2/4)

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

102

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究 (2/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010200548
定價：300 元

102-64-7695
MOTC-IOT-101-H1DB003

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(2/4)

著 者：陳桂清、柯正龍、羅建明、葉為忠、黃然

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究. (2/4) / 陳桂清等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 102.04 面 ; 公分

ISBN 978-986-03-6424-8(平裝)

1.港埠工程 2.港埠管理

443.3 102005432

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(2/4)

著　　者：陳桂清、柯正龍、羅建明、葉爲忠、黃然
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10458 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587188
出版年月：中華民國 102 年 4 月
印 刷 者：承亞興企業有限公司
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： 300 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010200548　　ISBN：978-986-03-6424-8 (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。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(2/4)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN978-986-03-6424-8（平裝）</td><td>政府出版品統一編號
1010200548</td><td>運輸研究所出版品編號
102-64-7695</td><td>計畫編號
101-H1DB003</td></tr>
<tr><td colspan="3">主辦單位：港灣技術研究中心
主管：邱永芳
計畫主持人：陳桂清
研究人員：柯正龍、羅建明、葉為忠、黃然
技術人員：陳毓清、陳義松、李春榮、李昭明、何木火、魏瓊蓉、林隆貞、黃如蜜
聯絡電話：04-26587188
傳真號碼：04-26564418</td><td>研究期間
自 101 年 01 月
至 101 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：耐久性、腐蝕、港灣設施、維護管理系統</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
港灣構造物及濱海建物所處之環境，長年處於風浪作用下，隨時間增加逐漸造成材料劣化、結構變形、節點扭曲等損壞現象，一但較大風浪作用時，則嚴重損害，常無法修護而必須花數倍乃至數十倍的經費來重建。因此，若能有完善的檢測與維護機制，則不僅能提早發現有問題的設施，在造成大規模損壞前予以補強，防範於未然，在平常的管理、經營中，更能進一步避免港灣設施災難的發生。
本計畫主要以五大國際商港現有之港灣碼頭與濱海地區構造物進行安全檢查與評估，主要工作包括現地檢測、安全分析與效能評估，蒐集及研擬維修工法，建置維護管理機制及大氣腐蝕環境分類資訊系統，以利於構造物邁向檢測及管理自動化作業及制定防蝕策略，提供未來設計與維護之參考依據。
本年度為4年期計畫之第2年，研究課題包含，子計畫一：港灣碼頭及濱海建物之現況調查；子計畫二：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究；子計畫三：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究等。主要內容包含文獻研析、檢測方法與檢測程序擬訂、構造物劣損評估及維護機制、建置大氣腐蝕環境分類資訊系統。本度年完成項目如下；子計畫一：(1)花蓮港10號至25號碼頭與西防波堤之現況調查與評估；(2)花蓮縣花蓮、石踢漁港；臺東縣長濱、新港、富岡及大武漁港等碼頭及防波堤設施之現況調查；(3)基隆港西19至西23號、東4至東5號鋼板（管）樁碼頭現況調查與評估。子計畫二：(1)蒐集整理分析國內外大氣腐蝕文獻與國內氣象資料；(2)調查臺灣全島之大氣腐蝕劣化因子；(3)製作標準試片與量測現地暴露試驗之腐蝕速率；(4)建置電腦資料庫與腐蝕資訊系統；(5)完成臺灣大氣腐蝕環境分類之工作。子計畫三：(1)完成修補材料配合歐盟規範試驗；(2)完成戶外試體製作與觀測；(3)研擬修補手冊初稿。
本計畫之研究效益，成果可供港務單位做維護策略參考外，採用或建置之檢測方法與實施流程，亦可提供港務公司應用於碼頭設施維護管理作業與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。此外，金屬材料大氣腐蝕試驗成果可提供鐵公路、港務及相關單位作為金屬材料選用依據，以達到符合各地區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 4 月	418	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: Field Surveying And its Maintenance on Harbor and Near Seashore Structures (2/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	ROJECT NUMBER
978-986-03-6424-8 (pbk)	1010200548	102-64-7695	101-H1DB003

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuei-Ching Chen
PROJECT STAFF: Jeng-Long Ko, Chien-Ming Lo, Wei Chung Yeh, Ran Huang
PROJECT TECHNICIAN: Y. Q. Chen,Y. S. Chen, C. R. Lee, Z. M. Lee, M. H. He, Q. R. Wei, J. M. Huang, L.F. Lin
PHONE: 04-26587188
FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD
FROM January 2012
TO December 2012

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

ABSTRACT:

Harbor and near seashore structures suffer long-term confrontation with wave ingression. The damaged phenomena of construct material degradation, structures distortion and nod distortion have gradually taken place. Once huge waves surge, they cause serious damage to structures, even causing them to collapse; a large budget is needed to rebuild. Therefore, if there is a good inspecting method and maintenance mechanism, many structures' deterioration phenomena will be found at an early stage, and further reinforced warning methods can be taken before huge damage takes place to prevent port facility disasters.

The study will focus on structures field surveying and their safety evaluation of five major international harbors and near seashore area. The plan tasks include structures field inspection, safety analysis and its function evaluations. The structures maintenance system and atmospheric corrosion environmental classification will also be executed in the study. Through above mentioned study scopes, structures field inspection, management and anti-corrosion strategies will be founded and provide to related authorities to make the maintenance policy.

The project is a four-year period study. In the second-year phase, the three sub-projects are as follows: sub-project 1; field inspection of harbor and near seashore structures, sub-project 2; the study of atmospheric corrosion factors investigation and its corrosion environmental classification, sub-project 3; repair methods and its materials on marine concrete structures.

The study contents are included as below; research literatures reviewed and studied, inspecting methods and surveying processes drafted, structures deteriorated evaluation and its maintenance mechanism. The second-year achievements were completed as follow; Sub-project 1: (1) Wharf No.10 ~ No.25 of Hualien Harbor were inspected and evaluated. (2) Facilities of Hualien and Sehti fishery ports were inspected and evaluated. (3) Facilities of Chungpin, Xinkang, Fukong and Tawu fishery ports were inspected and evaluated. (4) Physical situations of pile-type wharf at No.4~No.5 of east side and No.19~No.23 of west side at Keelung Harbor were inspected and evaluated. Sub-project 2: (1) collection of atmospheric corrosion related documentation and yearly meteorological data, (2) investigations of atmospheric pollutions in accordance with CNS standard, (3) sample preparation and corrosion rate measurement of metals in accordance with CNS standard, (4) completion of a database for atmospheric corrosion, and (5) classification of atmospheric corrosivity in Taiwan. Sub-project 3: (1) repairing materials trialed with EN testing codes, (2) out door large-scale specimens exposed & monitoring, (3) manuscript of the repairing and maintaining handbook was drafted.

The benefit of the project achievements would provide Harbor Company to draw up a strategy of facilities maintenance. The relative inspecting methods and procedures in the study could also be applied in harbor-facilities management system, and will lead to further study in the future. In addition, results obtained from atmospheric corrosion tests could also provide appropriate metals & alloys applied in construction material and meet local corrosion environmental requirements. Thus, it could assure all public engineering constructions such as bridge, wharf structures to meet the life-service design or even longer, and avoid or reduce engineering tragedies happening. It would also reduce social cost and enhance economic efficiency.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2013	418	300	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

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

港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究(2/4)

目　錄

表 目 錄

圖 目 錄

第一章　緒論

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

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

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

維維護管理機制其主要目的為確保構造物使用安全及延長其使用年限，以往公共工程與重要設施大都較注重興建，或發現嚴重問題後才開始想進行全面修護，對於日常之調查維護作業，經常僅編列少數或無維護經費，故其維護效益甚低至無，設施任其持續劣化終致損壞，最後淪為不能使用之命運。如何將現有之設施達到最有效率之使用，避免修護及龐大重建經費之耗費外，其營運停頓造成之損失更難以估

計。為此，構造物維護管理機制之建立，必為未來各項工程領域刻不容緩之課題，方能達成其永續經營。港灣及濱海橋樑等構造物之維護管理當然不應自外於主流趨勢。因應世界潮流與營建主流趨勢，未來國內公共工程等構造物，其維護管理所佔之權重，將比興建或全面維修更形重要。港灣及濱海構造物之劣化損壞，其維修工法與維修材料之研發應用，將為本計劃重要研究課題之一。

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

本年度為計畫執行之第 2 年，分別已完成花東地區商漁港港灣構造物及其鄰近濱海地區之建物、基隆港西 19 至西 23 號、東 4 至東 5 號碼頭等之現況調查，持續進行臺灣地區大氣腐蝕因子每一季節試樣之佈放試驗與分析、大氣腐蝕環境資訊系統修訂等工作，同時進行修補材料配合歐盟規範進行廣泛試驗、戶外試體製作與觀測，並草擬修補材料及修補工法手冊部份內容。各子計畫之研究結果請參閱後續章節之陳述。

第二章 研究計畫概述

2.1 計畫時程

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

2.2 計畫摘要與研究內容

2.2.1 子計畫(一)：港灣構造物及濱海地區橋梁與建物現況調查

2.2.1.1 計畫摘要

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

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

突發性無預警之損壞事例，不時持續出現。因此，港灣結構物以及其鄰近濱海地區之建物橋樑等公共設施之現況是否安全堪用，必需明確瞭解，俾採必要之防範措施。

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

2.2.1.2 研究內容

第 1 年（民國 100 年）工作內容：

1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。

2.檢測程序之擬定：以澎湖地區之商漁港及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑...)為例，擬定現地調查之標準檢測程序。

3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。

4.儀器檢測適用性探討。

第 2 年（民國 101 年）工作內容：

1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。

2.檢測程序之擬定：以台中港及花蓮港碼頭及其鄰近濱海地區之建物

(諸如一般公共建物、橋樑…)為例，擬定現地調查之標準檢測程序。

3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。

4.構造物劣損機制之研擬。

第 3 年（民國 102 年）工作內容：

1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。

2.檢測程序之擬定：以基隆港、蘇澳港與台北港碼頭及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑…)為例，擬定現地調查之標準檢測程序。

3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。

4.構造物劣損機制之研擬並進行實地操作及驗證。

第 4 年（民國 103 年）工作內容：

1.國內外相關研究文獻及規範蒐集。

2.檢測程序之擬定：以高雄港、安平港碼頭及其鄰近濱海地區之建物(諸如一般公共建物、橋樑…)為例，擬定現地調查時之標準檢測程序。

3.檢測程序（機制）與構造物劣損評估項目之檢討，並進行構造物初步現況檢測分析與評估。

4.構造物劣損機制之研擬並進行實地操作及驗證。

5.細部檢測評估程序之建置。

6.港灣構造物維護管理機制建置。

2.2.2 子計畫(二)：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究

2.2.2.1 計畫摘要

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高溼與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本土大氣腐蝕因子的調查與掌握，對陸上土建構物尤其是金屬結構物之耐久性與防蝕設計之須求，有其重要性。

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

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

2.2.2.2 研究內容

第 1 年（民國 100 年）工作內容：

1.國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

2.大氣腐蝕因子調查：持續現地取樣與試驗調查，氣象資料蒐集分析及相對溼度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)附著量等腐蝕因子調查。

3.現地暴露試驗：針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，持續進行現地暴露試驗。

4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。

5.資料蒐集與分析：將現地取樣與試驗調查，分析歷年累計成果與趨勢。

6.大氣腐蝕因子資料庫建立：增建並持續修正大氣腐蝕環境分類系統之大氣腐蝕因子資料庫。

7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫，提供產官學研各界參考應用。

第 2 年（民國 101 年）工作內容：

1.國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

2.大氣腐蝕因子調查建置：持續現地取樣與試驗調查。

3.現地暴露試驗：持續進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬現地暴露試驗。

4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。

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

6.大氣腐蝕因子資料庫建立。

7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫。

第 3 年（民國 102 年）工作內容：

1.國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

2.大氣腐蝕因子調查建置：持續現地取樣與試驗調查。

3.現地暴露試驗：持續進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬現地暴露試驗。

4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。

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

6.大氣腐蝕因子資料庫建立。

7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫。

第 4 年（民國 103 年）工作內容：

1.國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析。

2.大氣腐蝕因子調查建置：持續現地取樣與試驗調查。

3.現地暴露試驗：持續進行碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬現地暴露試驗。

4.現地金屬試片暴露試驗：持續進行多年期之金屬大型試片暴露試驗。

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

6.大氣腐蝕因子資料庫建立。

7.大氣腐蝕因子資料年報撰寫。

2.2.3 子計畫(三)：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究

2.2.3.1 計畫摘要

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

為提升國內港灣鋼筋混凝土構造物的修復或補強技術水準，降低構造物生命週期成本。本研究主要包括：(1)評估既有修補材料特性，

改良或研發新修補材料。(2)配合修補材料，研擬修補工法。(3)港灣鋼筋混凝土構造物修補實作與觀測。(4)不同工法的效益評估。(5)擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊。

2.2.3.2 研究內容

第 1 年（民國 100 年）工作內容：

1.國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法。

2.進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。

3.試體製作包括實驗室模擬試體以及戶外曝露試驗試體。

4.試體觀測內容包括：力學行為的變化、開電路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、裂縫修補百分率量測。

第 2 年（民國 101 年）工作內容：

1.持續蒐集國內外相關資料。

2.持續進行試驗觀測與數據彙整分析。

3.擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊。

第 3 年（民國 102 年）工作內容：

1.持續蒐集國內外相關資料。

2.持續進行試驗觀測與數據彙整分析。

3.修補工法之擬定。

4.研擬修補工法施作標準程序

第 4 年（民國 103 年）工作內容：

1.持續蒐集國內外相關資料。

2.持續進行試驗觀測與數據彙整分析。

3.修補工法之實地操作與驗證。

4.修補工法施作標準程序之建置。

5.擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊。

第三章 港灣碼頭及濱海建物之現況調查

3.1 緒論

3.1.1 研究動機

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

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

突發性無預警之損壞事例，不時持續出現。因此，港灣結構物以及其鄰近濱海地區之建物等公共設施之現況是否安全堪用，必需明確瞭解，俾採必要之防範措施。

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

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

本計畫研究期程為 4 年，主要以臺灣地區(包含澎湖、金門等)之商漁港區之碼頭設施及其周邊鄰近濱海地區(帶)之重要土建構造物諸如一般建物、橋樑…等，進行現況調查與評估，擬定破壞檢測程序、詳細檢測、安全評估方式，期能建置一套完整之維護管理機制，以利於日後港灣及濱海地區構造物之維護管理。本計畫第 1 年（民國 100 年）已完成澎湖地區與花蓮之港區部份碼頭設施及其鄰近濱海地帶建物之現況調查，本年度（民國 101 年）為第 2 年，將以臺中、花蓮等商港及主要漁港之碼頭與濱海建物為調查主要對象，調查結果詳述於後續章節。

3.1.2 研究目的

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

3.1.3 研究範圍

港灣構造物可大致分為水域設施結構及岸上結構兩大類，水域設施包括碼頭、防波堤等主要結構和碼頭防舷材、繫纜設施、附屬防蝕材料等附屬結構設施。岸上結構主要為倉庫、廠房、儲存槽及相關機具設備。依使用材料分類，主要有鋼筋混凝土及鋼材兩種。其中又以鋼筋混凝土使用最為廣泛。本計畫研究期程為 4 年，本年度（民國 101 年）為第 2 年，研究範圍選定為臺中、花蓮等商港及主要漁港之碼頭、防波堤與濱海建物，並另配合基隆港鋼板樁碼頭防蝕設施效能檢測與現地發生沉陷亟需瞭解原因之需要，增加基隆港西 19 至西 23 號、東 4 至東 5 號碼頭。民國 102 至 103 年則將陸續再分別針對基隆、蘇澳及台北港；及高雄及安平港碼頭及濱海建物等，進行現況調查及檢討檢測程序與構造物劣損評估項目等。

3.2 文獻回顧

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

港灣構造物一般由混凝土(P.C.)或鋼筋混凝土(R.C.)、鋼材、砂石級配及土石方等材料所構成，其中以鋼筋混凝土材料被最廣泛使用。港

灣 R.C.構造物又以碼頭及防波堤結構為主。碼頭為船舶停靠、裝卸物資時，最重要的繫靠設備。防波堤屬於港灣構造中之外廓工程，用以防止海洋波浪傳遞至港池內，維持港灣內水域之靜穩。其他岸上設施包含繫靠設備必要之碼頭附屬設施。由於港灣構造物在海洋環境下，經過波浪及上部荷重等外力長期作用，材料產生變形損壞或位移，甚至材料變質影響整個結構安全，因此必須定期實施安全檢測，俾利結構物之使用安全及維修加固，防止地震或颱風等災害造成更嚴重的損壞。

3.2.1 碼頭結構型式

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

3.2.1.1. 重力式碼頭

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

1. 堤體本身用混凝土做成，較為堅固且較耐久，水深較淺時多採用。
2. 水深較深時，由土壓及水壓所造成之外力增大，所需牆體之重量急遽增加，除岩層及基礎良好之處外，非為經濟之設計。
3. 作為耐震結構時，與牆體重量比例之地震力作用於牆體，較為不利。
4. 沈箱及混凝土塊之製造需廣大場地與起重船、拖船等船隊，因此，如為短期及少量工程配合上述設備時，較不經濟。
5. 與規劃水深相比，如現有地層較淺，亦較不利。

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

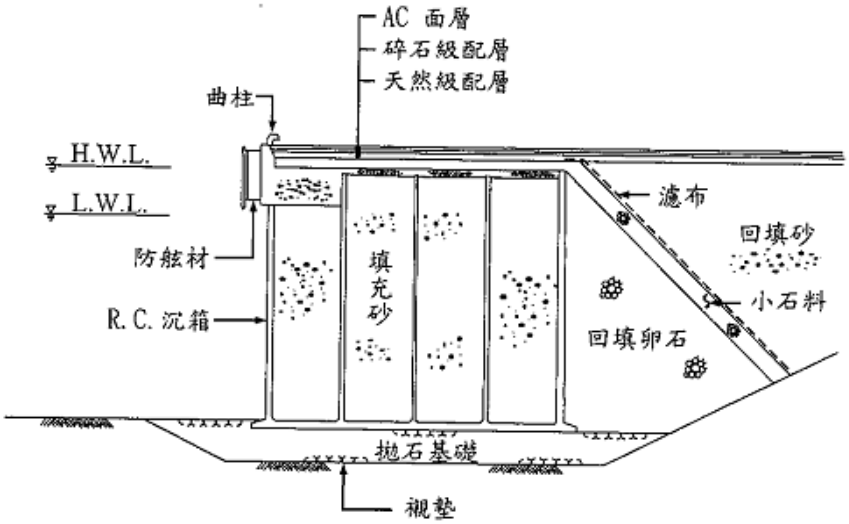


圖 3.1 沈箱式碼頭

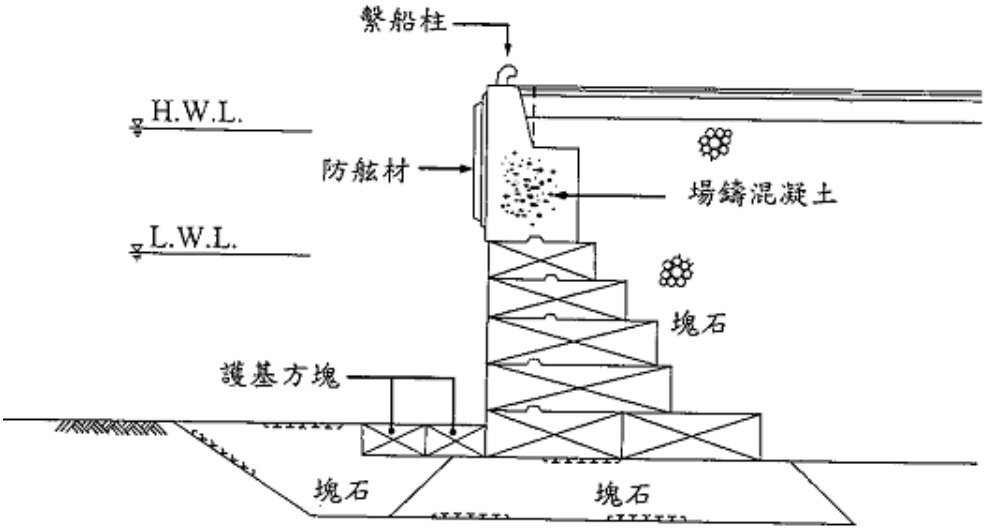


圖 3.2 方塊式碼頭

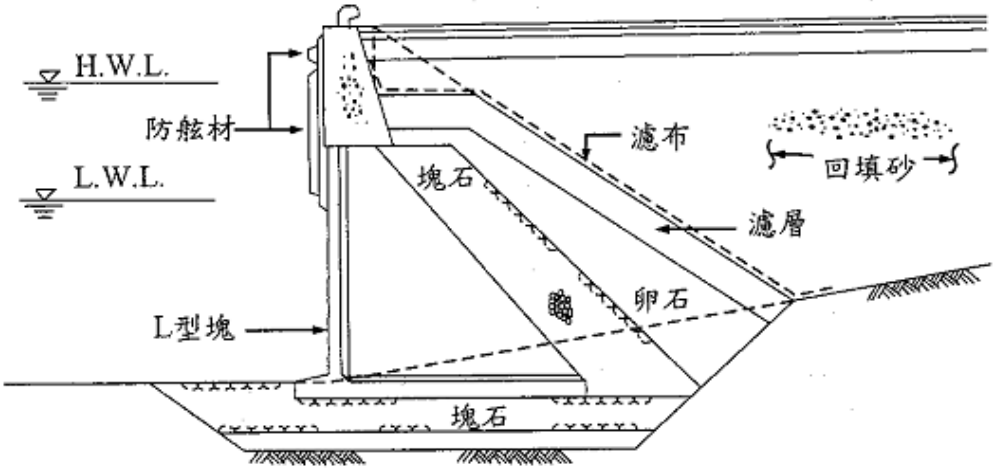


圖 3.3　L 型塊式碼頭

3.2.1.2 板樁式碼頭

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

1. 施工設備比較簡單，工程費較省。
2. 多數場合不需作水下基礎工程，因此施工迅速。
3. 牆體極輕，富彈性，耐震性強，可容許適當之不均勻沈陷。
4. 原地層水深較深時，板樁打設後，如未回填及錨碇設施未放妥時，波浪來襲容易損壞。
5. 鋼板樁於水中易腐蝕，耐久性較重力式差，所以宜採用陰極防蝕法，或依腐蝕程度採用較大斷面。
6. 板樁式碼頭按型式，可分為自立式、錨碇式，臺灣地區各港之板樁碼頭中，以錨碇是板樁最為常見，其結構型式如圖 4 所示。

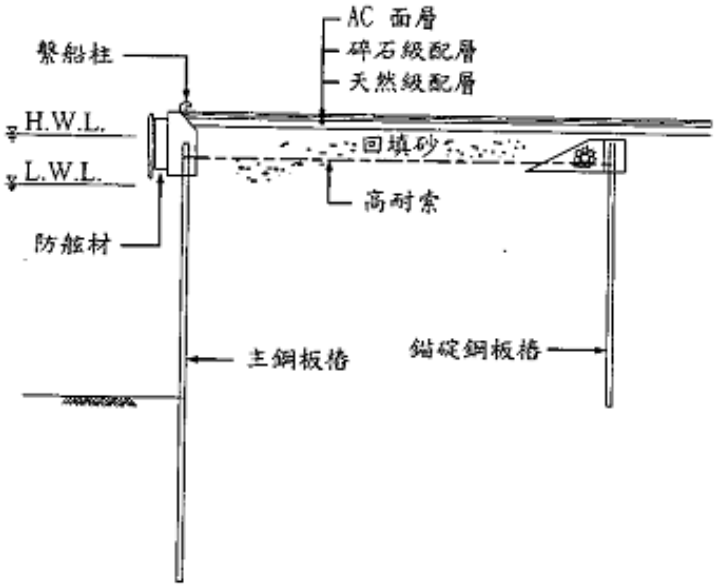


圖 3.4 錨碇板式碼頭

3.2.1.3 棧橋式碼頭

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

1. 結構較其他型式為輕，地層軟弱之處無法構築重力式或板樁式時，可採此法。
2. 不妨礙水流、漂砂，波浪潮流激烈之處亦不致影響自然條件之平衡。
3. 不需新填土。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 碼頭寬大時工程費亦增。
6. 對水平力之抵抗較弱。
7. 水流影響船舶之靠岸。

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

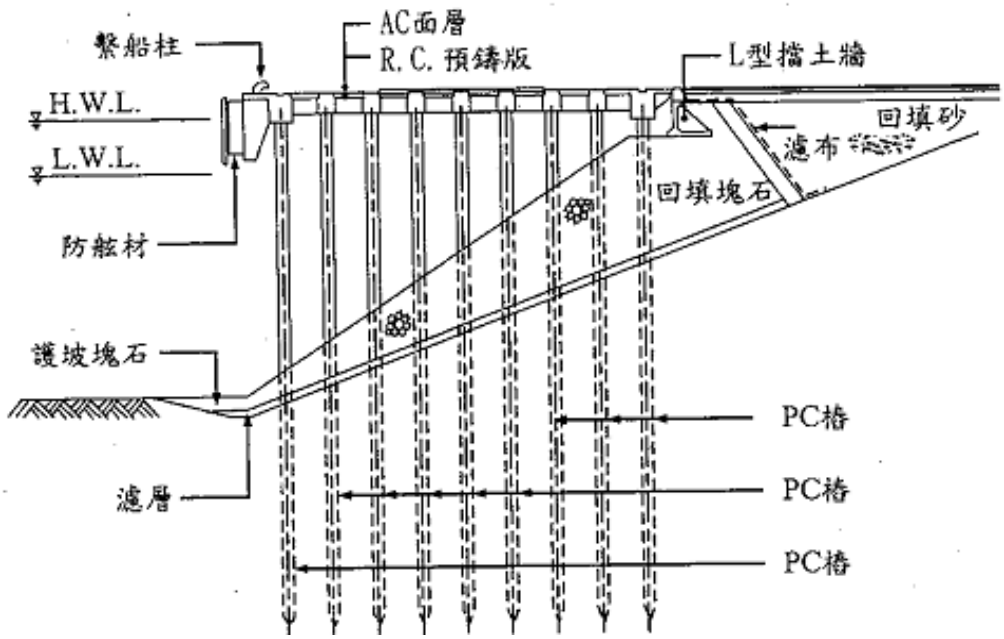


圖 3.5 直樁棧橋式碼頭

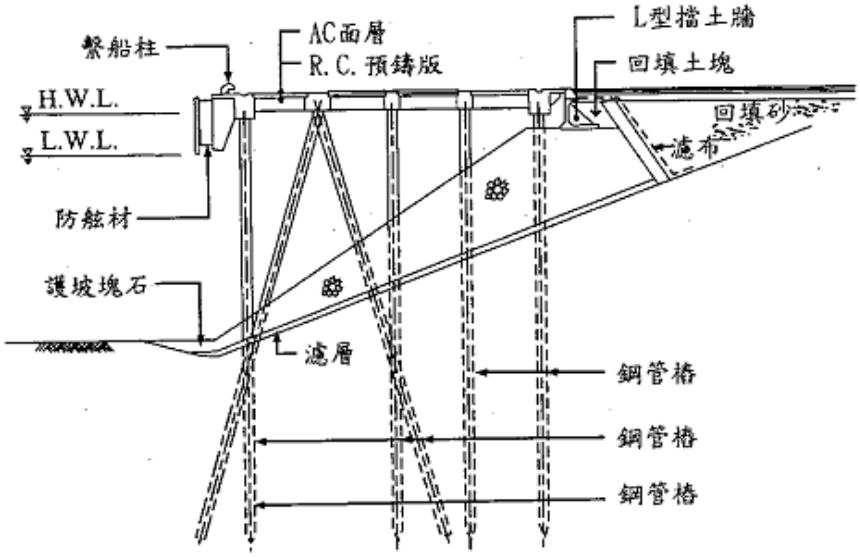


圖 3.6 斜樁棧橋式碼頭

3.2.2 重力式碼頭破壞原因探討

重力式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

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

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

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

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

圖 3.7 至圖 3.8 為重力式碼頭產生外部異狀之示意，各示意圖 3.中所標示之 13 項行為，均為可能導致該類式碼頭外部異狀之基本機制，其所發生之部位並非圖 3.示中之單一點或部位，而是相關之整體或單元，如圖 3.7 中所示機制(12)地震力之影響範圍為碼頭整體，機制(2)不當撞擊力若指船舶未依規定靠岸，其可能產生範圍為岸壁任何部位，若指岸肩任何物體未依規定拋置吊放，其可能產生範圍為岸肩任何部位，機制(5)地表水滲流之可能產生範圍為整個岸肩及後線。由各項或多項合成之基本機制所產生之外部異狀，將不是單一之異狀，異狀所產生之部位與範圍亦將是多處與多面。

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

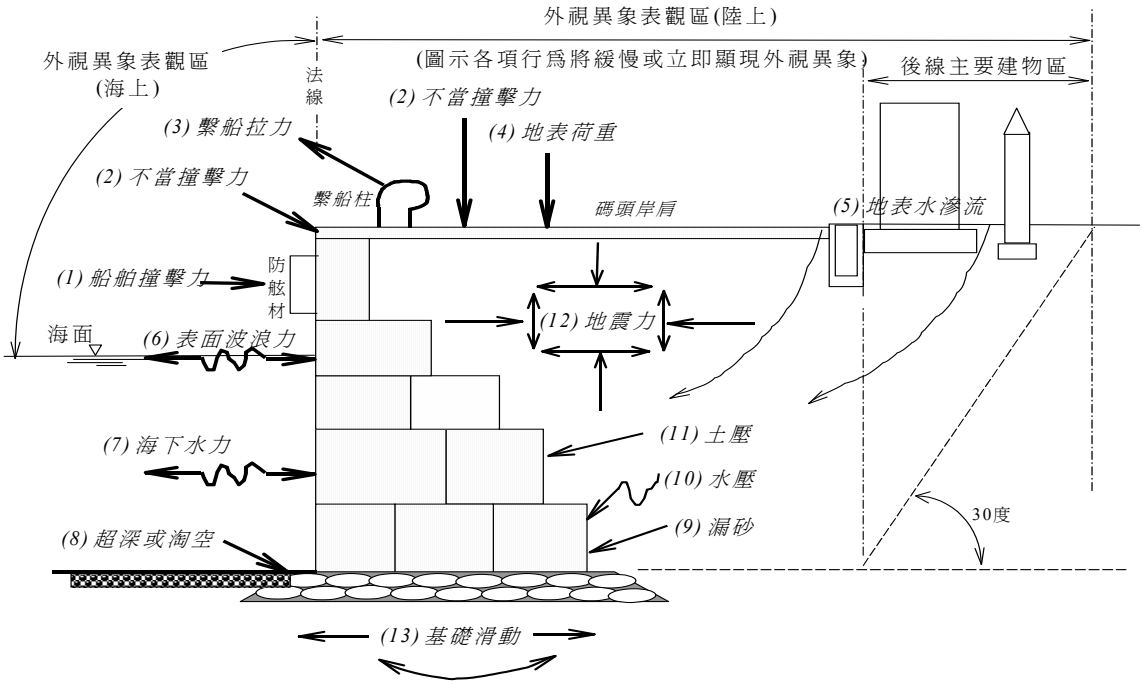


圖 3.7　導致重力式方塊碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

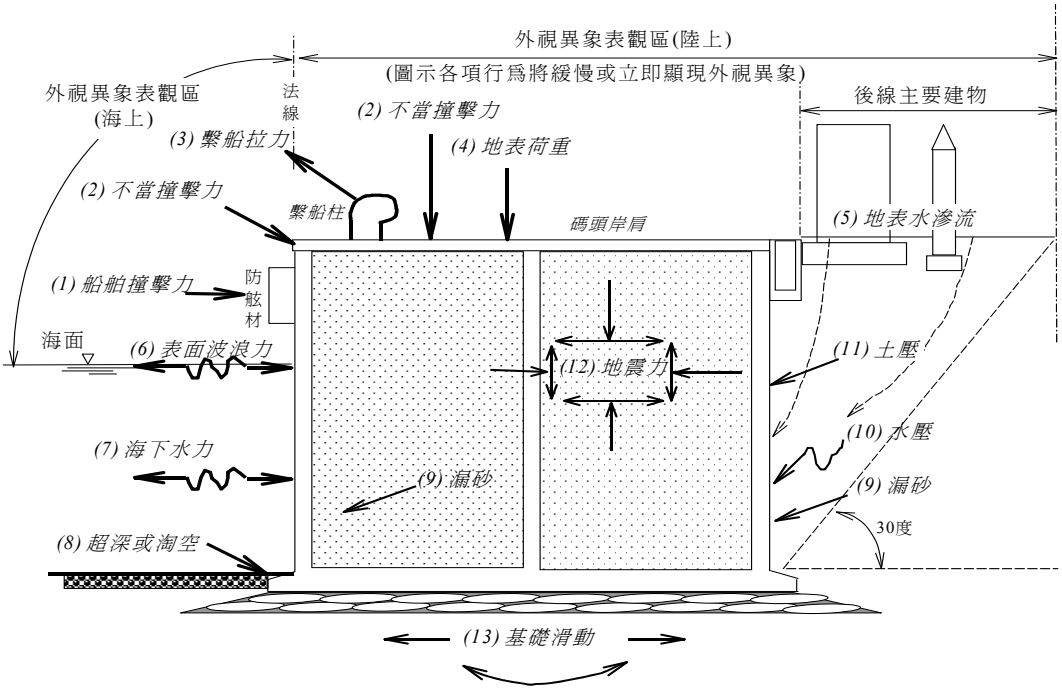


圖 3.8　導致重力式沉箱碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

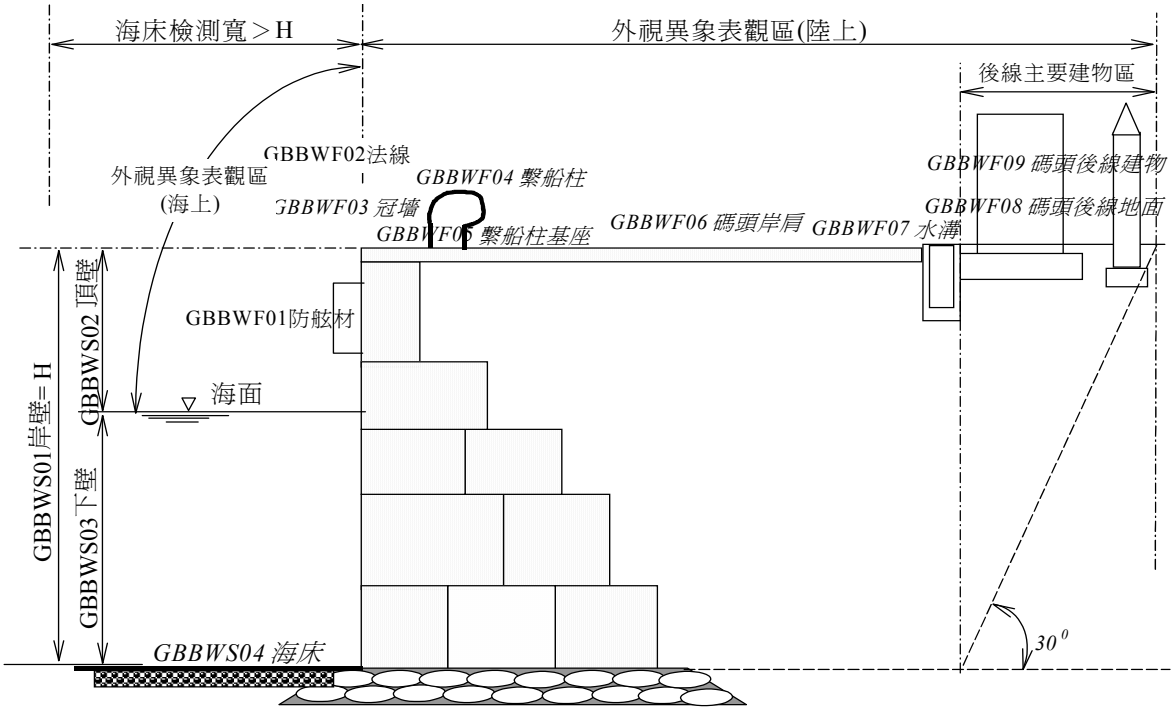


圖 3.9　重力式方塊碼頭構件標示

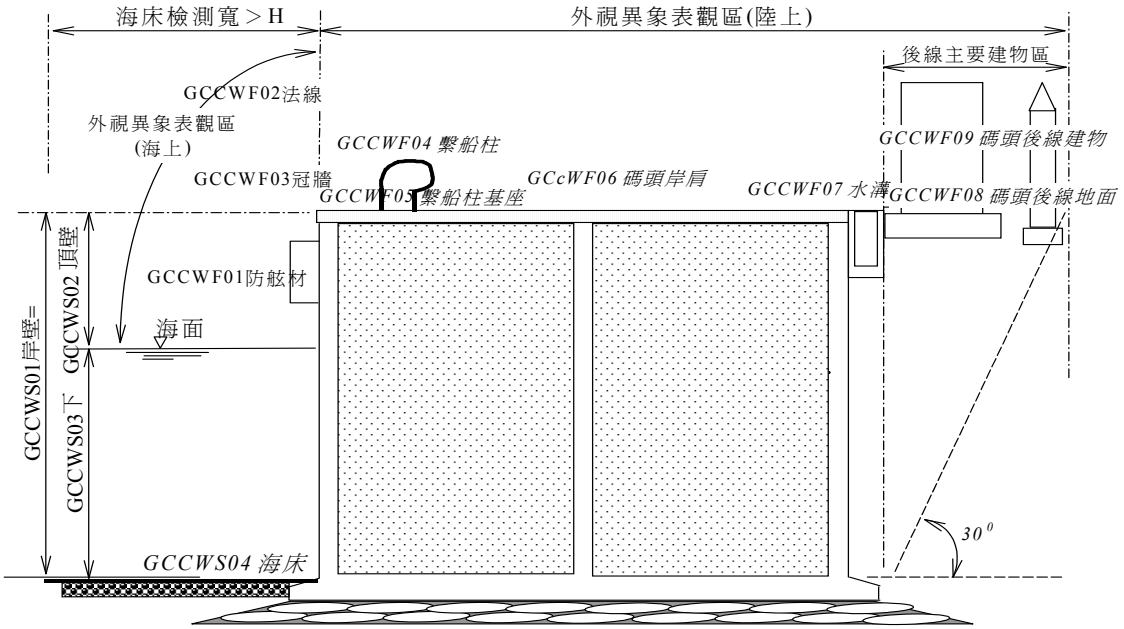


圖 3.10　重力式沉箱碼頭構件標示

表 3-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表

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

3.2.3 板樁式碼頭破壞原因探討

板樁式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

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

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

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

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

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

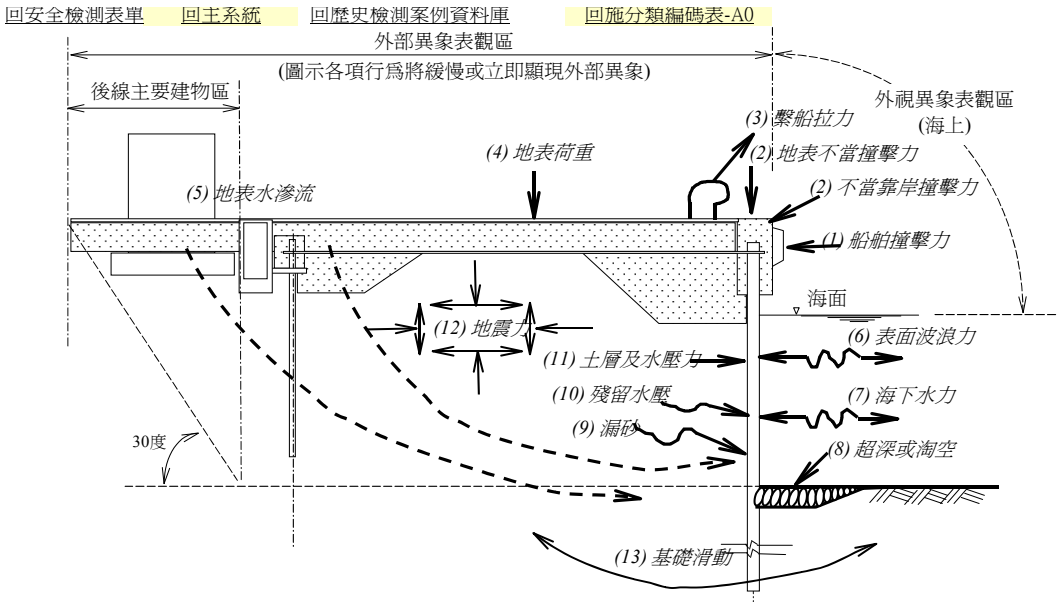


圖 3.11 導致版樁式錨錠樁碼頭結構外部異象之主要機制示意圖

表 3-2 板樁式碼頭各構件產生異狀列表

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

3.2.4 棧橋式碼頭破壞原因探討

棧橋式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

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

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

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

棧橋式碼頭構件發生之異狀列表於表 3-3。

表 3-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀列表

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

3.2.5 港灣 R.C.結構物安全檢測項目

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

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

3.2.5.1 整體結構變形檢測

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

3.2.5.2 細部構材檢測

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

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

表 3-4 港灣構造物細部構材檢測建議項目

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

3.2.5.3 基礎地盤調查

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

3.2.5.4 碼頭附屬設施之檢測

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

3.2.6 檢測及評估實施時機

港灣構造物安全檢測實施可概分為，定期(或不定期)實施之一般性安全檢測，及在重大災害發生時之緊急檢測，檢測時機如颱風過後，重

大地震發生時，碼頭營運中發生重大事故（如大型船隻操船不當而碰撞）以致造成碼頭結構安全受損，以及施工時因故造成之結構破壞等。

3.2.6.1 一般性安全檢測

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

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

3.2.6.2 緊急災變檢測

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

3.2.6.3 分階段檢測及評估

檢測工作可區分為兩個階段實施，第一階段為初步檢測，一般性安全檢測及重大災害發生時之緊急檢測，均必須先經過第一階段之初

步檢測，依初步檢測之結果，經過評估判定後再決定是否必須進行第二階段之檢測。

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

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

1. 結構安全是否有問題。

2. 構造之功能性是否有問題。

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

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

第二階段檢測工作完成後，則進入檢測結果終評階段。

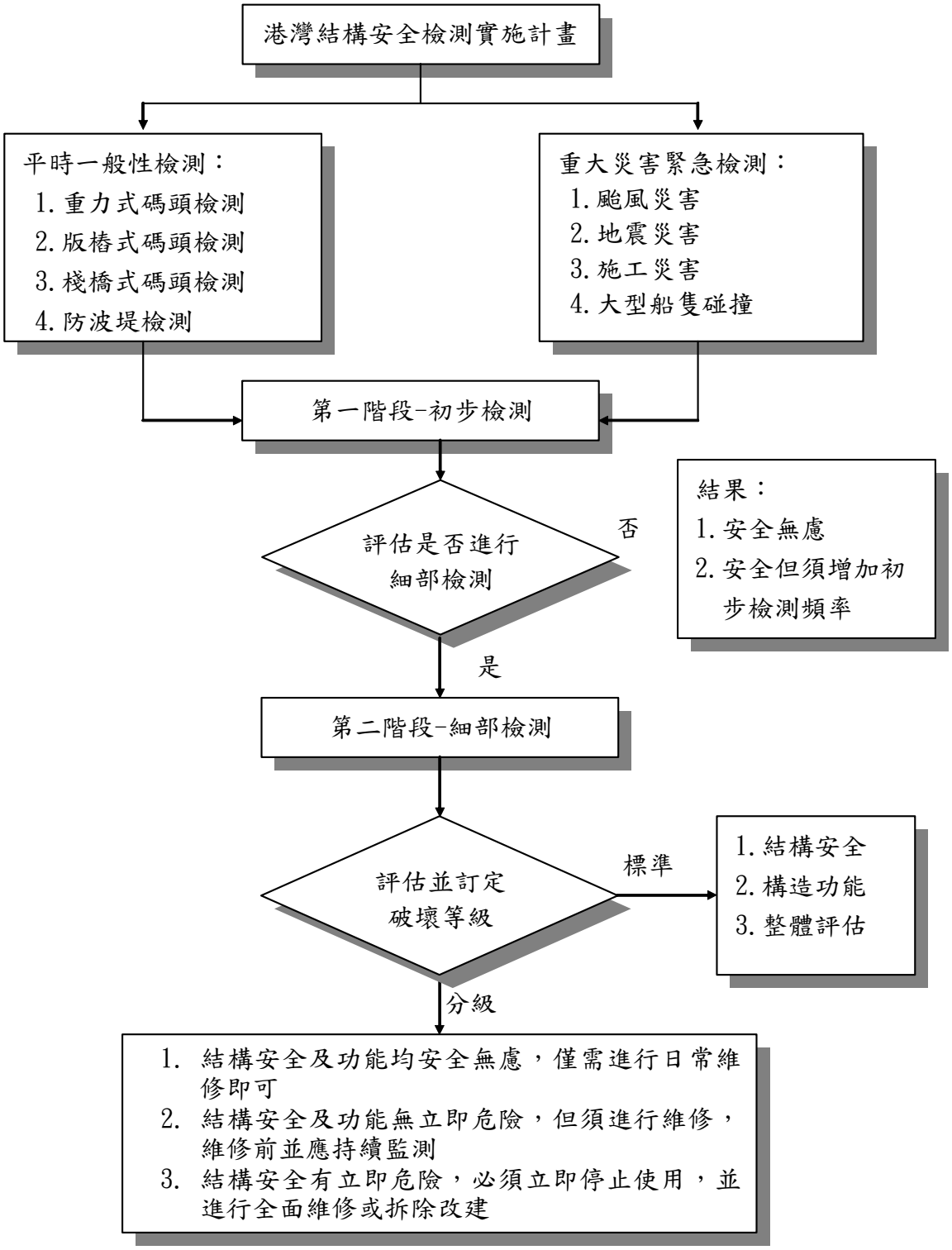


圖 3.12 港灣結構安全檢測實施流程圖

3.2.7 結構物安全檢測評估

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

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

3.2.7.1 初步安全檢測

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

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

整體檢測結果之判定及評估之標準主要分為：

1. 結構安全是否有問題。

2. 構造功能性是否有問題。

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

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

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

初步安全檢測階段判定結果分為以下三個等級：

1. $0 \leqq ID_1 < 2$：安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。
2. $2 \leqq ID1 < 4$：安全無虞，無須進行細部檢測，但於未來必須增加檢測頻率。
3. 非主體結構之 ID≧4，但其他主結構體之 ID＜4：為功能堪虞，小型立即性維修可改善功能狀況者者應立即進行，如主結構體或整體檢測值之 ID≧4，必須進行第二階段之細部檢測以進一步了解構造物破壞狀況。

3.2.7.2 細部安全檢測

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

細部安全檢測適用於：

1. 目視檢測無法判定或檢測對象不易進行者。
2. 經初步檢測結果判定必須進行細部檢測者。
3. 為重大災害或事故發生後之緊急檢測。
4. 工程維修進行中有特殊需求者。

不同型式的港灣構造物，進行細部檢測時檢測重點亦有所不同。依照碼頭及堤防型式不同，細部檢測評估表將有所區分。如初步檢測

過程中，主結構體部份 D 值等級判定為 3 以上時，細部安全檢測時應視情況以較可靠之儀器重新檢測，並會同細部檢測評估表之檢測項目及結果，共同做最後之安全等級評估。

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

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

細部檢測評估包括結構安全性，構造功能性，整體考量等三項原則，說明如下：

3.2.7.3 結構安全性原則

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

3.2.7.4 構造功能性原則

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

改善安全或使用之功能狀況者）應立即進行修復，以維護港口之正常運作。

3.2.7.5 整體性評估原則

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

3.2.7.6 結構整體評估等級

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

1. 第一階段檢測分級

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

2. 第二階段檢測分級

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

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

式中 ID_2 為細部檢測危險度指標，D_i、E_i、R_i 分別為各檢測中檢測人員填寫之檢測值，N 則代表檢測項目之總數，包括細部檢測及初步檢測主結構體之受測項目(若進行重新檢測，以較新的數據為準)。ID 值越高則代表危險度越高，數值分配範圍為 0 到 10 間，其與判定結果關係，與初步檢測階段類似分成三個等級並條列如下：

1. $1.0 \leqq ID_2 < 3$：輕微受損、結構安全及構造功能無虞，僅需進行日常維修即可，但於未來必須增加初步檢測之頻率。
2. $3 \leqq ID_2 < 6$：構造損壞，但結構安全及構造功能均無立即危險、應進行維修；若無法立即實施維修，則必須在維修前進行同步監測工作。
3. $ID_2 \geqq 6$：嚴重損壞，結構安全有立即危險，且構造功能無法發揮，必須立即停用並進行大部維修或拆除重建。

3.3 研究方法與進行步驟

本研究參考交通部港灣構造物安全評估之工作手冊（草案）及相關港務局檢測工作規則等，調查流程如圖 3.1 所示。本年度原以以臺中、花蓮等商港及主要漁港之碼頭與濱海建物為調查主要對象，但因民國 98 年本所曾針對臺中港 24 座棧橋式碼頭完成現況調查，成果並交付港務局作為維護參考依據，臺中港務分公司 101 年度並依其損壞及影響營運程度，完成預算編列並正進行細部評估與施作維修改善工程中，花蓮港 4 至 9 號港板樁碼頭亦因港務局維護需求，提前在 100 年度完成調查，於故本年度實際調查對象為花蓮港 10 至 25 號碼頭、西防波堤，花東地區主要漁港等之碼頭、防波堤與濱海建物，此外，另配合基隆港鋼板樁碼頭防蝕設施效能檢測與現地發生沉陷亟需瞭解原因之需要，增加基隆港西 19 至西 23 號、東 4 至東 5 號碼頭等構造物。

3.3.1 調查範圍

本年度調查範圍包括：花蓮港 10 至 25 號碼頭、西防波堤（重力方塊式、重力沉箱式）；花蓮縣花蓮漁港、石梯漁港（重力式）；台東縣長濱漁港、新港漁港、冨岡漁港、大武漁港（重力式）；基隆港西 19 至西 20 號（鋼板樁棧橋式）、西 21 至西 23 號及東 4 至東 5 號碼頭（鋼板樁式），依初步檢測規定項目進行調查，調查結果將作為後續相關研究之結構安全評估及建置維護管理資料庫之重要數據。調查流程如圖 3.13 所示。

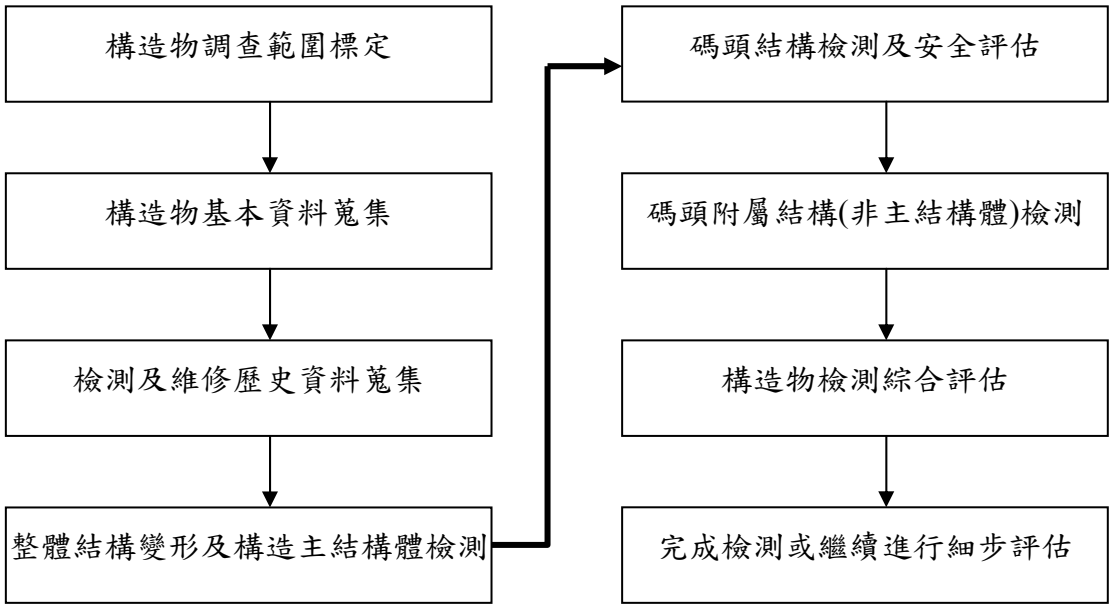


圖 3.13 構造物現況調查流程

3.3.2 構造物基本資料蒐集

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

3.3.3 檢測及維修歷史

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

3.3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測

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

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

表 3-5 碼頭構造物初步檢測評估表

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

3.3.5 鋼筋混凝土材料劣化檢測

3.3.5.1 非破壞性試驗

1. 反彈錘法

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

在反彈錘法的檢測中，只有與衝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。如果表面有用墁刀處理過，其表面會較堅硬，而可以得到較高之反彈值。另外，檢測時儀器與表面的角度也會影響反彈值。

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

2. 鋼筋電阻係數量測

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

3. 鋼筋電位值量測

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

鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能量測儀器連接成一通路，將導線與電錶連接後，移動參考電極即可量測出整個結構物內半電池腐蝕電位(Half Cell)，如圖 3.14 所示。電極棒內之硫酸銅溶液應在飽和狀態，

電極移動時溶液與內部銅棒須完全接觸同時電極前面須用海綿填充。測定前導線應檢查內部銅線是否腐蝕或電阻過大，才能讀出正確的腐蝕電位，結構物表面在量測前應潑水使成面乾內飽和狀態。

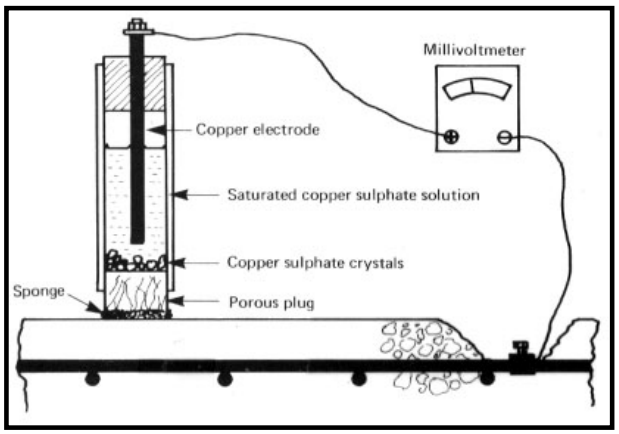


圖 3.14 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

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

表 3-6 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係

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

利用鋼筋電位推估鋼筋腐蝕相當簡便，但其缺點為：

(1)數據只能研判鋼筋是否可能發生腐蝕，無法測知鋼筋之腐蝕速率。

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

(3)無法用於海水下方之構造物。

3.3.5.2 局部破壞性試驗

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

1. 中性化試驗

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

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

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

2. 抗壓試驗

鑽心試體進行抗壓試驗時應依以下之步驟進行：

(1)兩端平整處理：

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

(2)潮濕狀況：

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

(3)蓋平：

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

(4)度量：

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

(5)試驗：

可依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

(6)計算及報告：

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

表 3-7 圓柱試體長度直徑比

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

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

3. 超音波脈波速度量測

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

表 3-8 超音波脈波速度與混凝土品質之關係

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

4. 氯離子檢測

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

3.3.5.3 透地雷達探測

1. 透地雷達探測原理

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 3.15(a)所示，用天線將 15M～3GHz 之電磁波發射出去，使電磁波以 $V_m \approx C/\sqrt{\varepsilon_r}$ 之波速在介質中傳遞，其中 $C = 2.998\times10^8\,m/s$ 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 $R=\frac{\sqrt{\varepsilon_1}-\sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1}+\sqrt{\varepsilon_2}}$，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：

(1)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。

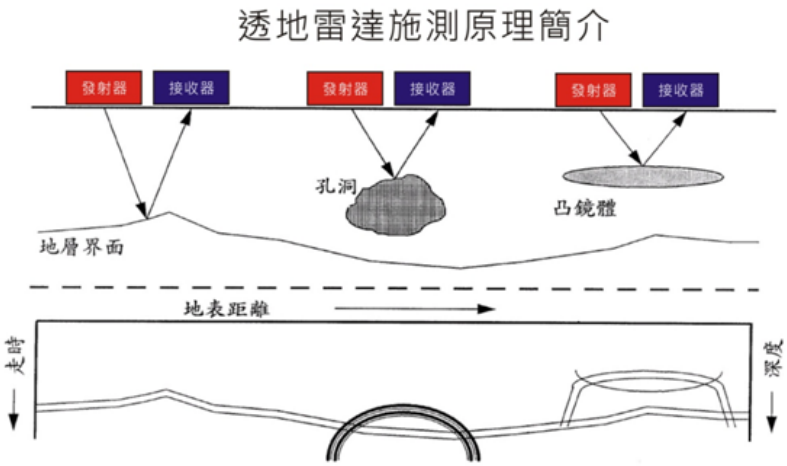
(2)天線罩

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 2GHz，其探測深度可由數十公分到數公尺，依所需之探測深度選擇適用之天線罩頻率。

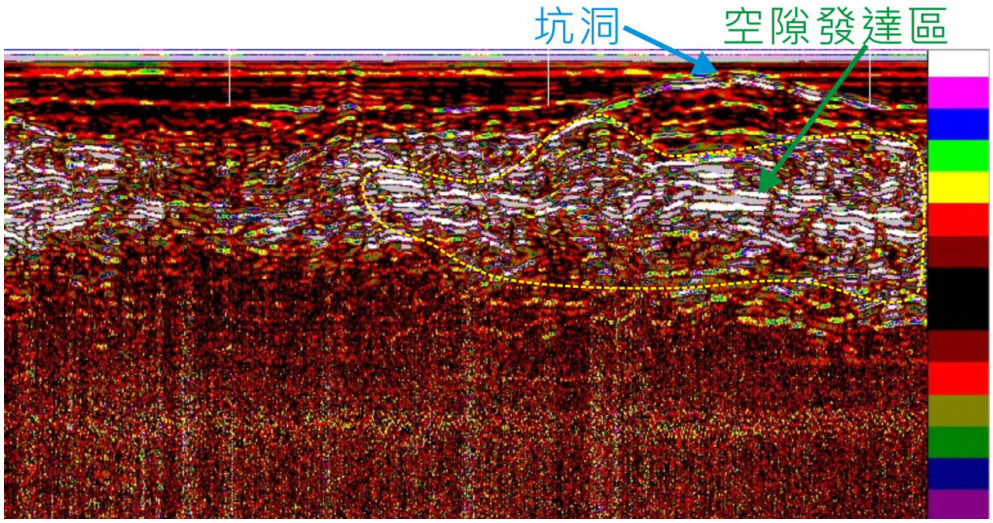
(3)施測成果圖示說明

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 m50 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 3.15b)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 3.15 透地雷達施測圖示說明

3.3.5.4 敲擊回音法檢測

1. 實驗原理

本檢測所採用的非破壞性試驗技術稱為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 3.16(a)所示，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 3.16(b)所示，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 3-16(c)所示；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 3.17(a)可感測敲擊敲擊時間原點之繞射波傳輸時間法試驗示意圖，敲擊源及接收器與裂縫之距離分別為 H_1 及 H_2，當可感測敲擊器敲擊到混凝土表面時，敲擊器內部裝設之壓電材料產生電壓訊號如圖 3.17(b)所示，敲擊時間原點為 t_1，而在接收器記錄到之裂縫繞射波波到時間為 t_2，如圖 3.17(c)，故 P-波由敲擊源至接收器所經歷的總時間(Δt)可依下列公式計算而得：

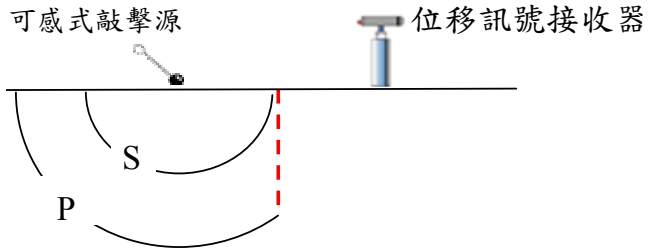
$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \text{.....(3-3)}$$

總歷時得到後，P-波所走的總路徑則等於 P-波波速(C_p)乘於總歷時。因此，表面開裂縫之深度(d)可依下列公式計算得到：

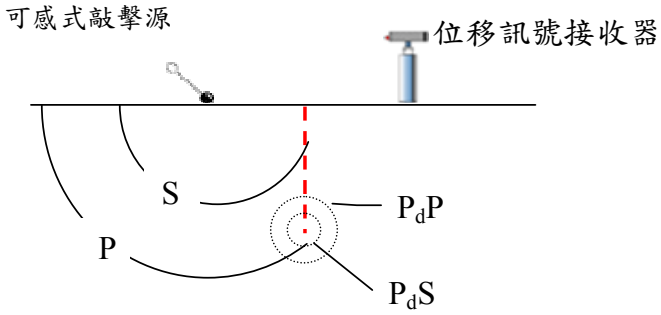
$$d=\sqrt{\left[\frac{(Cp\times\Delta t)^2+H_1^2-H_2^2}{2\times Cp\times\Delta t}\right]^2-H_1^2} \quad \text{.....(3-4)}$$

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：

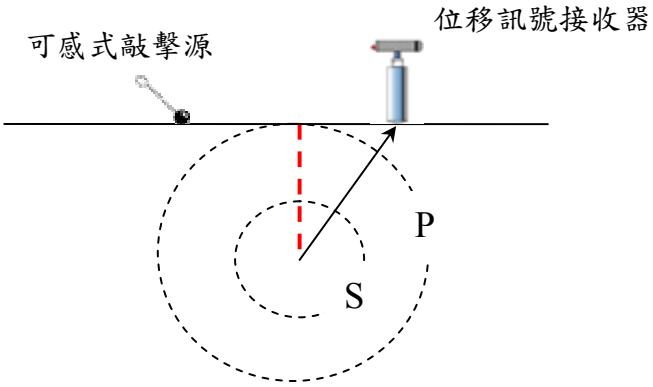
$$d=\sqrt{\left[\frac{(Cp\times\Delta t)}{2}\right]^2-H^2} \quad \text{.....(3-5)}$$



(a)應力波導入測試物體

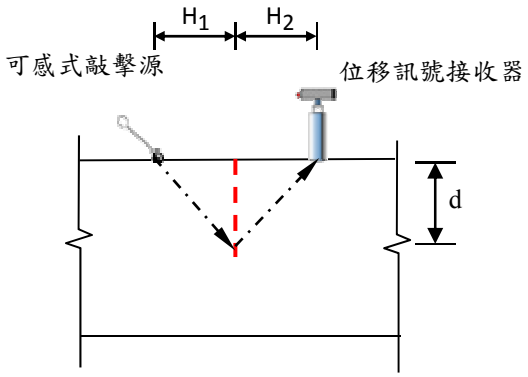


(b)應力波遭遇尖端產生繞射

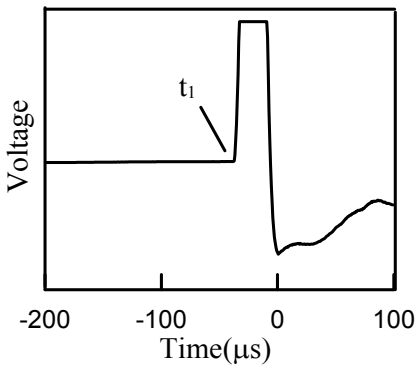


(c)繞射應力波向外傳動

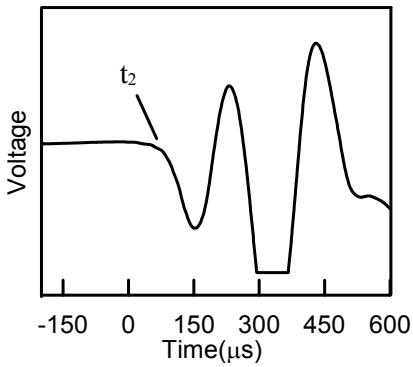
圖 3.16 應力波與表面裂縫之互制作用



(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 3.17 敲擊式繞射波傳輸時間法之裂縫檢測

2. 儀器設備

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。

(1)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。本研究所使用之 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 0.1μs 紀錄一筆資料)，解析度(resolution)為 12 bits。

(2)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。

(3)可感式敲擊源及位移接器其說明如下：

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。本研究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：為一種很小倒錐體形之壓電材料，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。

3.3.5.5 3D 光達測量及光學測量

1. 3D 光達測量

雷射掃描儀的工作原理與雷達非常相似，如圖 3.18 所示。由雷射產生器發射出的雷射射向樹木、道路、橋梁、房屋，引起散射。一部分雷射會經由反射返回到雷射掃描儀的接收器中，接收器光信號轉變為電信號，記錄下來。同時由所配備的計時器記錄下來同一個雷射由發射到被接收的時間 T。於是就能夠得到由雷射掃描儀到目標物的距離 R 為：

$$R = CT/2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3\text{-}6)$$

C 代表光速=300,000 km/s

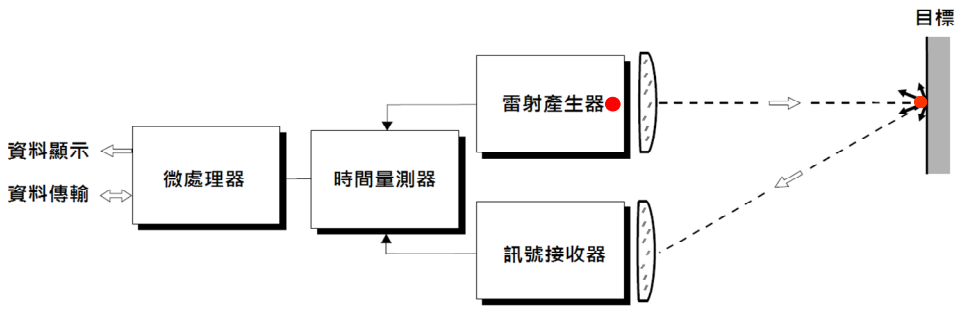


圖 3.18 光達測量原理

2. 光學測量

針對碼頭量測區域進行水準及導線測量 (包含導線點水準高程)，藉以針對沈陷區相對高程進行進一步量測，並將量測結果配合 Surfer 軟體，繪製此區域之地形圖。本研究執行步驟分為 1.導線測量與 2.沈陷區相對高程測量兩部份。

3.3.6 鋼構造物檢測

3.3.6.1 鋼板（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（管）樁表面，讀取鋼板樁厚度，鋼板（管）樁每面於每一水深測點，量取兩次厚度數據，平均後即為現有厚度。

1. 厚度量測之原理：

超音波厚度儀係利用脈衝原理，由於音波在鋼材之傳播速率為一定值，因此，由探頭傳送出之一彈性波，經鋼材表面至內壁之傳播時間，即可算出波通過路徑之距離(鋼材厚度)，精準度可達+/-0.1mm，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 3.19。

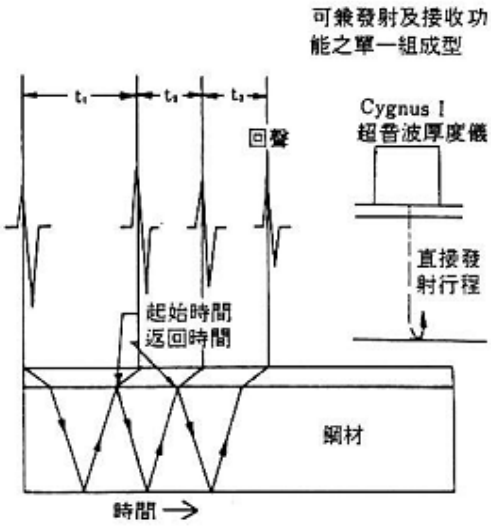


圖 3.19 測厚儀量測之示意圖[8]

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times \frac{1}{2}(T_{i+1} - T_i) \quad \text{.....(3-7)}$$

式中 V：超音波在鋼板樁中之傳播速度(5920m/sec)。

S_i：現有鋼板樁厚度讀數(mm)。

T_{i+1}，T_i：探頭接受回聲及初始傳播的時間。

2. 腐蝕速率計算：

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

腐蝕速率=腐蝕量/使用年期

=(原始厚度-現有厚度)/使用年期 ..... (3-8)

3.3.6.2 防蝕系統檢測

1. 腐蝕電位測定：

電氣防蝕效果的檢測通常是以電位的測定來進行，透過高電阻電壓計與檢驗電極來測定鋼質構造物的電位，掌握防蝕設施的電位分佈狀況進而得知防蝕狀態。如圖 3.20 所示，使用海水氯化銀電極進行電位測定，數值假如比-780 mV(腐蝕電位)低的話，就表示處在防蝕狀態。電位測定示意圖，如圖 3.21 所示，測定儀器包含高電阻電壓計、電極及電位測定儀。實施電位測定的地點通常是在測定裝置設置地點與其相鄰的中間點。但是若在這些測定地點不包括陽極中間點的場合，為了掌握整個防蝕設施電位分佈狀況，則可在距離陽極最遠的地點進行電位測定。在構造物的深度方向的測定是以 1

m 間隔在進行，另外在棧橋式鋼管樁未安裝陽極的場合，必須選定前列樁進行測定。

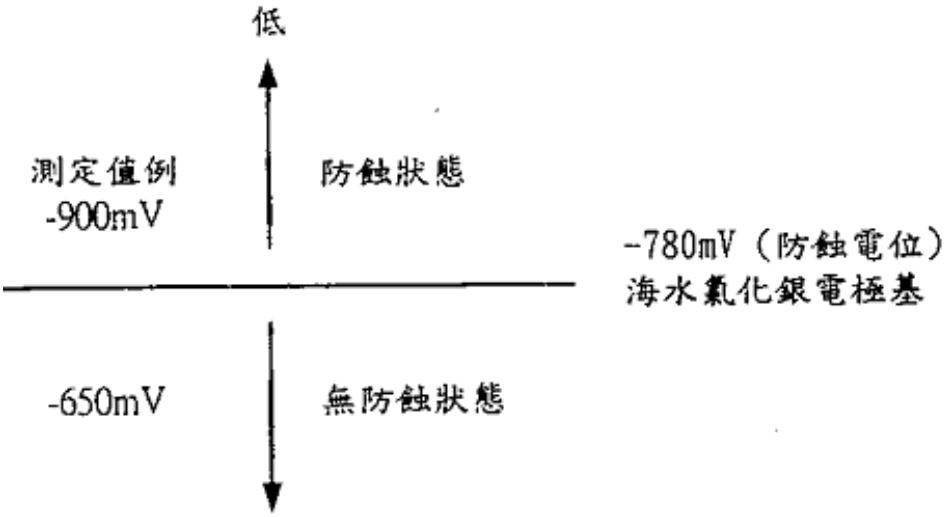


圖 3.20 防蝕效果的判定方法

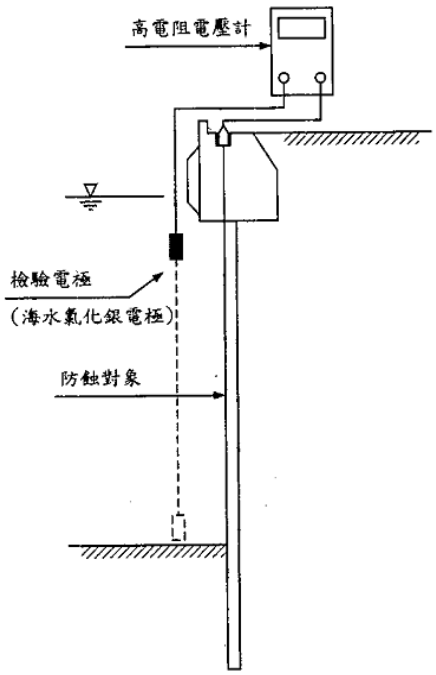


圖 3.21 電位測定示意圖

2. 陽極塊測定

(1) 利用陽極形狀尺寸的殘量計算：利用水中作業除去附在陽極表面的腐蝕生成物，依圖 3.22 所示的要領進行計測。此時必要的話，也需進行攝影。陽極殘量=[$(D/4)^2$×L-蕊棒體積]×陽極密度，在此 D 為平均周長$(D_1+D_2+D_3)/3$，D_1 與 D_3 為距殘存洋極端頭約 10 cm 的位置的外周長，D_2 為殘存陽極中央不為的外周長，L 為殘存陽極長度。

(2) 陽極秤重：切斷陽極蕊棒部位拉上按秤重，扣除蕊棒部份求取陽極的殘量。

(3)陽極殘存壽命計算：陽極的殘存壽命是從消耗的殘存重量及經過數年計算出。

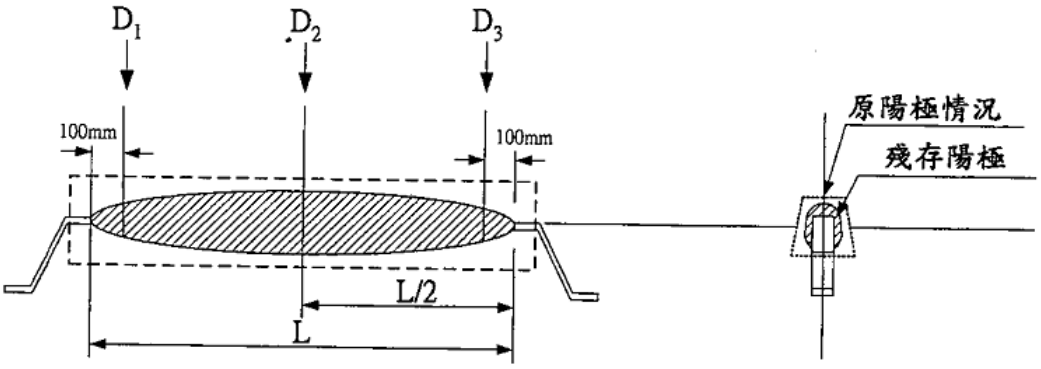


圖 3.22 陽極尺寸測定示意圖

陽極年平均消耗量=(陽極初期重量-陽極殘存重量)/經過年數.... (3-9)

殘存壽命=陽極殘存量/陽極年平均消耗量 ..... (3-10)

另外，也可從陽極平均發生電流求取殘存壽命

殘存壽命=(陽極殘存量×陽極有效電氣量)/陽極平均發生電流 .....(3-11)

3.3.7 非主結構體檢測

非主結構體檢測項目包括：護舷材破損、劣化及裂縫檢測；繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測；其他附屬設施如擋車墻，給水排水設備，照明設備，供電供油相關之管線、管路等。

3.3.8 構造物初步檢測評估

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

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

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

3.3.9 完成檢測或進行細部評估

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

表 3-9 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係

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

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

3.4 結果與討論

本年度調查範圍包括：花蓮港 10 至 25 號碼頭（重力方塊式、重力沉箱式）、西防波堤；花蓮縣花蓮漁港、石梯漁港（重力式）；臺東縣長濱漁港、新港漁港、富岡漁港、大武漁港（重力式）；基隆港西 19 碼頭（鋼管樁棧橋式）、西 20 號至西 23 號、東 4 至東 5 號碼頭（鋼板樁式）等之現況調查。調查結果與討論詳列如下：

3.4.1 花蓮港

本年度調查對象，商港以花蓮港為主，全港共 25 座碼頭，其中 4 至 9 號鋼板樁碼頭已於 100 年度完成調查，本年度為 10 至 25 號碼頭。碼頭位置與基本資料如表 3-10 及圖 3.23 所示。

表 3-10 花蓮港 10 至 25 號碼頭基本資料

碼頭編號	用途	長度(m)	設計水深(m)	碼頭結構
10 號碼頭	水泥石料	368.00	-9.5	混凝土重力式
11 號碼頭	水泥石料	368.00	-9.5	混凝土重力式
12 號碼頭	雜貨	150.00	-7.5	混凝土重力式
13 號碼頭	雜貨	370.00	-9.5	混凝土重力式
14 號碼頭	雜貨	370.00	-9.5	混凝土重力式
15 號碼頭	雜貨	100.00	-8.5	混凝土重力式
16 號碼頭	客運	144.00	-7.5	混凝土重力式
17 號碼頭	雜貨	200.00	-12.0	消波方塊式
18 號碼頭	水泥	200.00	-12.0	消波方塊式
19 號碼頭	水泥	310.00	-14.0	消波沉箱式
20 號碼頭	石料	302.00	-14.0	消波沉箱式
21 號碼頭	石料	200.00	-14.0	消波沉箱式
22 號碼頭	石料	200.00	-14.0	消波沉箱式
23 號碼頭	木片	272.00	-14.0	消波沉箱式
24 號碼頭	油品	271.00	-14.0	消波沉箱式
25 號碼頭	煤	332.00	-16.5	消波沉箱式

圖 3.23 花蓮港碼頭平面圖

3.4.1.1 花蓮港 10 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 183 公尺，水深為 －9.5 公尺，主要用途為停靠運送水泥與石料之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.24，檢測時碼頭現況如圖 3.25 所示。

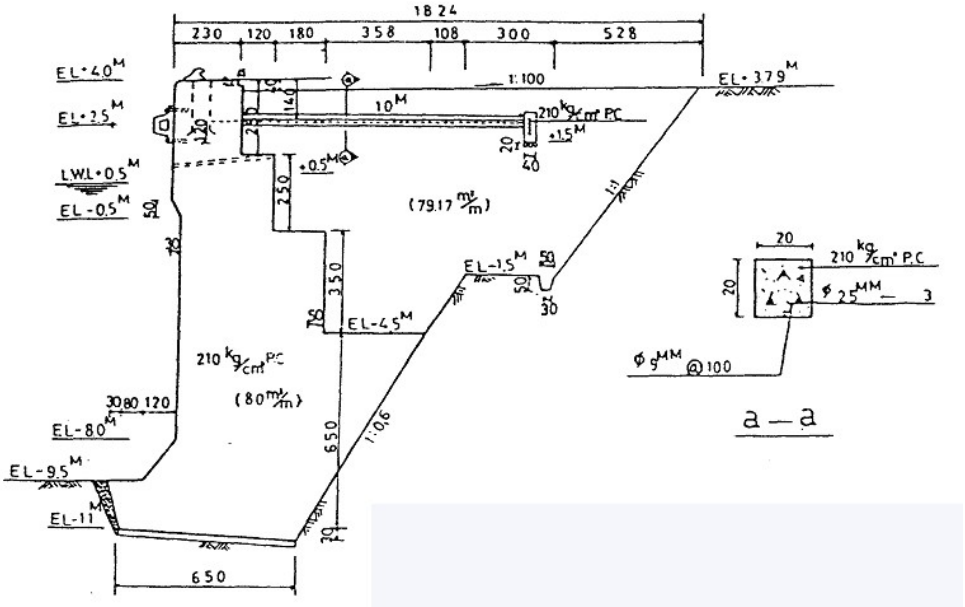


圖 3.24 花蓮港 10-11、13-14 號碼頭結構型式

a.碼頭現況情形 1

b.碼頭現況情形 2

圖 3.25 花蓮港 10 號碼頭現況情形(101.3.26)

2. 過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：檢測重點包含是否傾斜、破損、位移等。本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版檢測時發現少數有輕微沉陷現象。故 D 值=1，E=2，R=3。

(4)混凝土強度檢測：混凝土強度檢測項目之進行時機為，當無重大明顯的破壞發生時，或重大明顯的破壞發生原因不明確時，混凝土強度可視為與設計強度相當，即強度損失不大或可忽略，本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=3。

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

R=2。

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

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-11 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

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

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，故 D 值=0，E=0，R=2。

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-11 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-11 花蓮港 10 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：10 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 80 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：183 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-9.5m 目　前：-9.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐客、貨輪　☑其他_水泥石料			
	碼頭構造型式	☑混凝土重力式　☐版樁式　☑棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	3	9
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i$ =9/21=0.4			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	0	0	2	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i=0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i$ = 9/(21+14)=0.3			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.2 花蓮港 11 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 183 公尺，水深為 －9.5 公尺，主要用途為停靠運送水泥與石料之船隻。碼頭結構型式同 10 號碼頭(圖 3.24)，檢測時碼頭現況如圖 3.26 所示。

a.碼頭現況情形 1(靠 10 號碼頭側)

b.碼頭現況情形 2(靠 12 號碼頭側)

圖 3.26 花蓮港 11 號碼頭現況情形(101.3.26)

2. 過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版檢測時發現少數有輕微沉陷現象。故 D 值=1，E=2，R=3。

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

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕

及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-12 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-12 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-3 花蓮港 11 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：11 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：183 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-9.5 m 目　前：-9.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐ 化學(油)品　☐ 雜貨輪　☑其他_水泥石料			
	碼頭構造型式	☑混凝土重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	3	9
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.4$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.3$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.3 花蓮港 12 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 150 公尺，水深為 －7.5 公尺，，主要用途為停靠運送雜貨之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.27，檢測時碼頭現況如圖 3.28 所示。

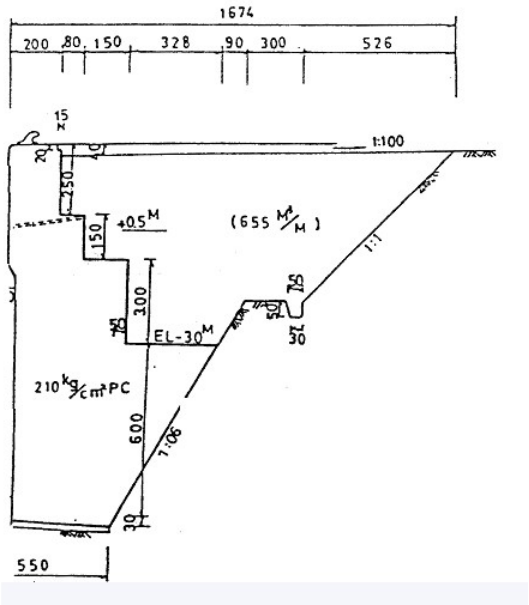


圖 3.27 花蓮港 12、16 號碼頭結構型式

圖 3.28 花蓮港 12 號碼頭現況情形(101.3.26)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-13 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-13 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-13 花蓮港 12 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：12 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：150m 縱深：---m	水域深度	原設計：-7.5 m 目　前：-7.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品 ☑雜貨輪　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i=0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i=0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i=0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.4 花蓮港 13 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 370 公尺，水深為 －9.5 公尺，主要用途為停靠運雜貨之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.24（同 10 號碼頭），檢測時碼頭現況如圖 3.29 所示。

圖 3.29 花蓮港 13 號碼頭現況情形(101.3.26)

2. 過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

   (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

   (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-14 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-14 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-14 花蓮港 13 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：13 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：185m 縱深：---m	水域深度	原設計：-9.5 m 目　前：-9.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.5 花蓮港 14 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 370 公尺，水深為 －9.5 公尺，主要用途為停靠運雜貨之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.24（同 10 號碼頭），檢測時碼頭現況如圖 3.30 所示。

a.碼頭現況情形

b.碼頭後線及倉庫

圖 3.30 花蓮港 14 號碼頭現況情形(101.3.26)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

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

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

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

表 3-15 花蓮港 14 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：14 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：185m 縱深：---m	水域深度	原設計：-9.5 m 目　前：-9.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.6 花蓮港 15 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 100 公尺，水深為 －8.5 公尺，主要用途為停靠運送雜貨之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.31，檢測時碼頭現況如圖 3.32 所示。

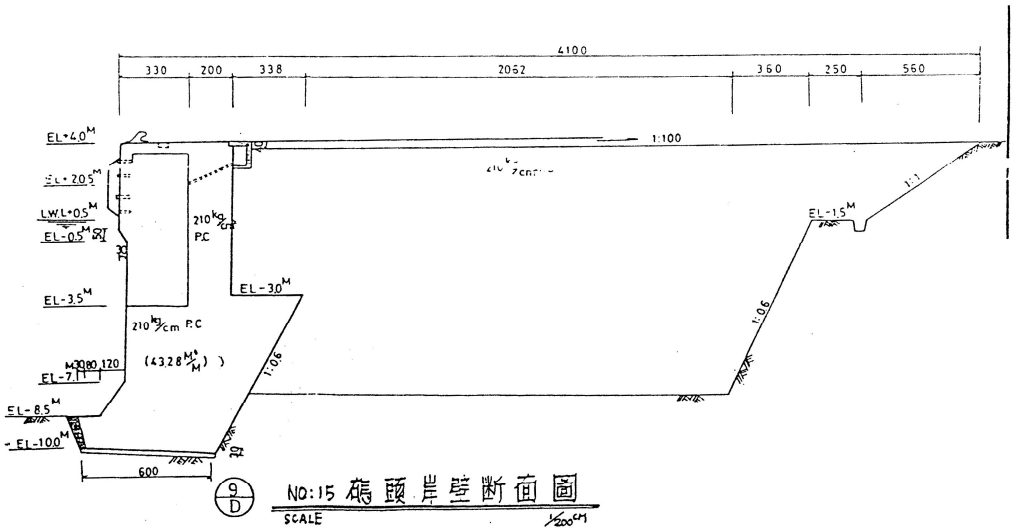


圖 3.31 花蓮港 15 號碼頭結構型式

圖 3.32 花蓮港 15 號碼頭現況情形(101.3.26)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-16 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-16 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-16 花蓮港 15 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：15 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：100m 縱深：---m	水域深度	原設計：-8.5 m 目　前：-8.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.7 花蓮港 16 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為混凝土重力式結構，全長 144 公尺，水深為 －7.5 公尺，主要用途為停靠客運之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.27（同 12 號碼頭），檢測時碼頭現況如圖 3.38 所示。

圖 3.38 花蓮港 16 號碼頭現況情形(101.3.26)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為混凝土重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-17 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-17 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-17 花蓮港 16 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：16 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：144m 縱深：---m	水域深度	原設計：-7.5 m 目　前：-7.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_客運			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i=0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i=0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i=0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 26 日					

3.4.1.8 花蓮港 17 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波方塊重力式結構，全長 200 公尺，水深為 －12.0 公尺，主要用途為停靠運送雜貨之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.34，檢測時碼頭現況如圖 3.35 所示。

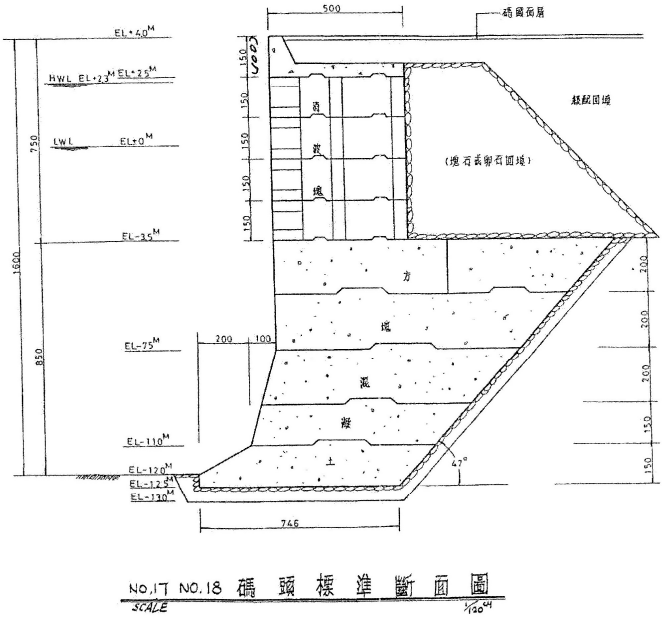


圖 3.34 花蓮港 17 號碼頭結構型式

圖 3.35 花蓮港 17 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭檢測時發現面版有明顯沉陷及積水現象，故 D 值=1，E=2，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波方塊式重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-18 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示

結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-18 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-18 花蓮港 17 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：17 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 81 年 2 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：200m 縱深：---m	水域深度	原設計：-12.0 m 目　前：-12.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☑雜貨輪　☐其他			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	3	9
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.4$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.3$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.9 花蓮港 18 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭為消波方塊重力式結構，全長 200 公尺，水深為 －12.0 公尺，主要用途為停靠運送水泥之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.34(同 17 號碼頭)，檢測時碼頭現況如圖 3.36 所示。

圖 3.36 花蓮港 18 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭檢測時發現面版有明顯沉陷及積水現象，故 D 值=1，E=2，R=3。

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

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

係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波方塊式重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-19 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-19 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-19 花蓮港 18 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：18 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：200m 縱深：---m	水域深度	原設計：-12.0 m 目　前：-12.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_水泥			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.10 花蓮港 19 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 200 公尺，水深為 －12.0 公尺，主要用途為停靠運送水泥之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.37，檢測時碼頭現況如圖 3.38 所示。

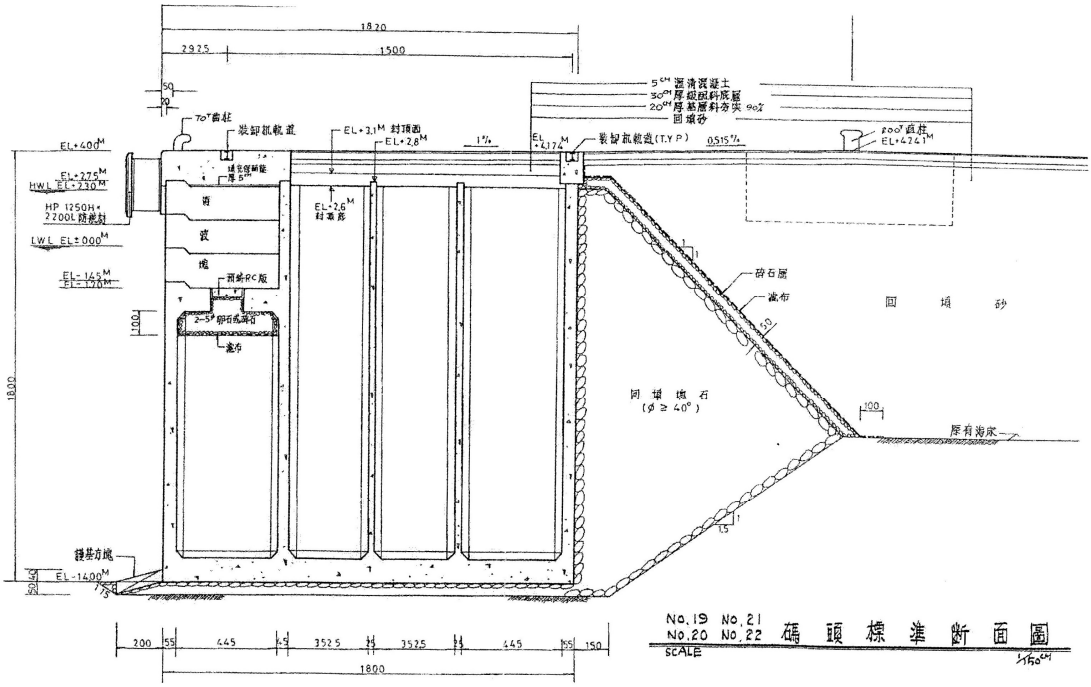


圖 3.37 花蓮港 19-22 號碼頭結構型式

圖 3.38 花蓮港 19 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-20 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示

結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-20 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-20 花蓮港 19 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：19 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：310m 縱深：---m	水域深度	原設計：-14.0m 目　前：-14.0m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品 ☐雜貨輪　☑其他_水泥			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.11 花蓮港 20 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 302 公尺，水深為 －14.0 公尺，主要用途為停靠運送石料之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.37(同 19 號碼頭)，檢測時碼頭現況如圖 3.39 所示。

圖 3.39 花蓮港 20 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

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

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

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

表 3-21 花蓮港 20 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：20 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：302m 縱深：---m	水域深度	原設計：-14.0 m 目　前：-14.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_石料			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.12 花蓮港 21 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 200 公尺，水深為 －14.0 公尺，主要用途為停靠運送石料之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.37(同 19 號碼頭)，檢測時碼頭現況如圖 3.40 所示。

圖 3.40 花蓮港 21 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=0，R=3。

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

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

關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-22 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-22 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-22 花蓮港 21 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：21 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：200m 縱深：---m	水域深度	原設計：-14.0 m 目　前：-14.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_石料			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.13 花蓮港 22 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 200 公尺，水深為 －14.0 公尺，主要用途為停靠運送石料之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.37(同 19 號碼頭)，檢測時碼頭現況如圖 3.41 所示。

圖 3.41 花蓮港 22 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

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

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-23 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-23 花蓮港 22 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：22 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：200m 縱深：---m	水域深度	原設計：-14.0 m 目　前：-14.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_石料			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.14 花蓮港 23 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 272 公尺，水深為 －14.0 公尺，主要用途為停靠運送木片之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.42，檢測時碼頭現況如圖 3.43 所示。

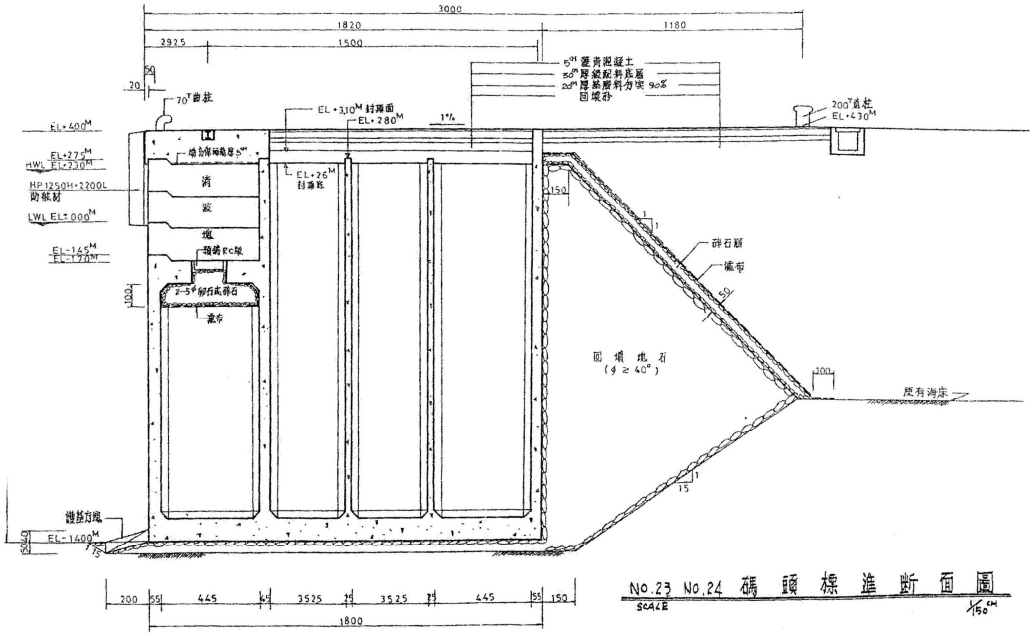


圖 3.42 花蓮港 23、24 號碼頭結構型式

圖 3.43 花蓮港 23 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-24 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示

結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-24 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-24 花蓮港 23 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：23 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：272m 縱深：---m	水域深度	原設計：-14.0m 目　前：-14.0m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_木片			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i=0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i=0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i=0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 6 月 22 日					

3.4.1.15 花蓮港 24 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 271 公尺，水深為 －14.0 公尺，主要用途為停靠運送油品之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.42(同 23 號碼頭)，檢測時碼頭現況如圖 3.44 所示。

圖 3.44 花蓮港 24 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕

及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對保護層厚度做檢測，但推估 D 值=0，E=0，R=2。

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

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

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

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

表 3-25 花蓮港 24 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：24 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：271m 縱深：---m	水域深度	原設計：-14.0 m 目　前：-14.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_油品			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.16 花蓮港 25 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，全長 332 公尺，水深為 －16.5 公尺，主要用途為停靠運送煤礦之船隻。碼頭結構型式示於圖 3.45，檢測時碼頭現況如圖 3.46 所示。

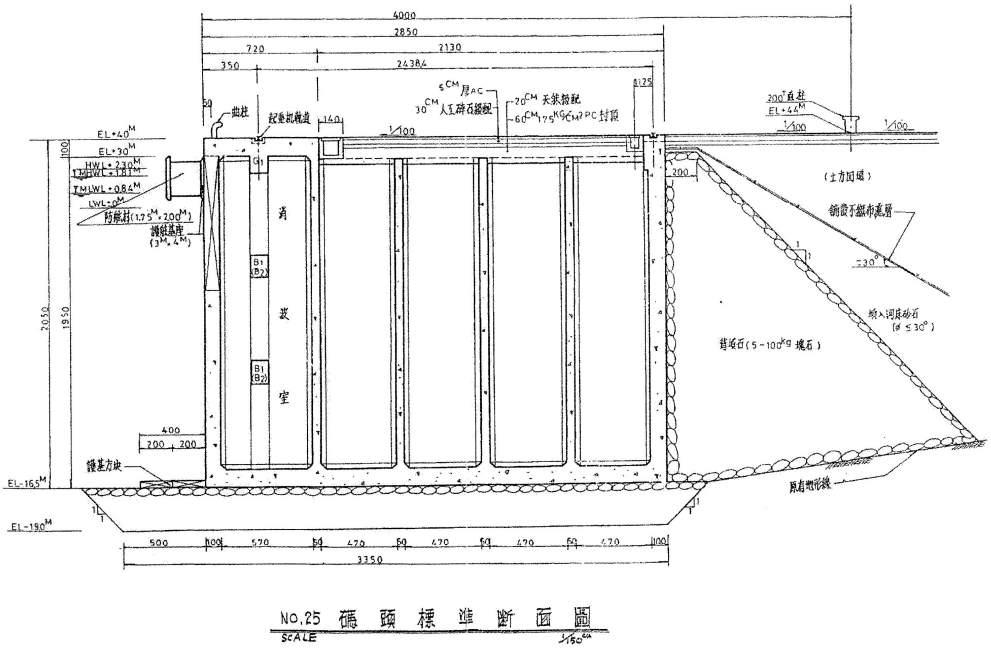


圖 3.45 花蓮港 25 號碼頭結構型式

圖 3.46 花蓮港 25 號碼頭現況情形(101.3.27)

2.過去檢測及維修歷史：本座碼頭無重大損害之檢測及歷史紀錄。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，部份碼頭岸壁雖有輕微劣損現況，且範圍未超過 10%，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：本座碼頭為消波沉箱重力式結構，故本項目未予評分。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-26 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示

結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻無明顯劣損，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-26 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能仍屬完整範圍內，不影響主結構體正常運作。

表 3-26 花蓮港 25 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：花蓮港		碼頭編號：25 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：3.0 m	長度：332m 縱深：---m	水域深度	原設計：-16.5 m 目　前：-16.5 m	
	靠泊船隻屬性	☐貨櫃　☐化學(油)品　☐雜貨輪　☑其他_煤			
	碼頭構造型式	☑重力式　☐版樁式　☐棧橋式　☐其他			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	~~鋼板腐蝕檢測(程度)~~	~~0~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i = 0.0$			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i = 0.0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i = 0.0$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 3 月 27 日					

3.4.1.17 花蓮港西防波堤

西防波堤係自美崙溪口北岸約 65 公尺處;以約與海岸線及等深線垂直之方向延伸 650 公尺，再向海側折轉 19.3。後，延伸 400 公尺，總長成為 1050 公尺，西防波堤內側自距堤頭 70 公尺處起，均填為碼頭用地，其功能變成以保護新生地的海堤為主。經多年來觀察，西防波堤確實已發揮保護其堤內新生地之功能。但在西防波堤外側（即美崙溪口）發生淤積現象及南濱海灘發生侵蝕現象，斷面型式分別示於圖 3.47，檢測時碼頭現況如圖 3.48 所示。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，西防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估或鑽心試體試驗室抗壓試驗，混凝土強度介於 185～226 kg/cm^2 之間；腐蝕電位介於 -368～-212 mV （$Cu/CuSO_4$ 電位）之間；電阻係數介於 9.6～20.16 KΩ 之間；超音波速約為 3000 m/sec，中性化深度約 0.2～1.0 cm。（如表 3-27 至表 3-29 所示）

花蓮港之西防波堤堤身與消波塊混凝土表面發現地圖狀裂縫，並有膠狀反應產物，疑為鹼質與粒料反應之徵候，雖無立即性重大危害發生，建議花蓮、臺東地區後續重大公共工程使用之混凝土材料，使用前應進行鹼質與粒料反應相關檢測，以降低構造物發生崩壞之風險。

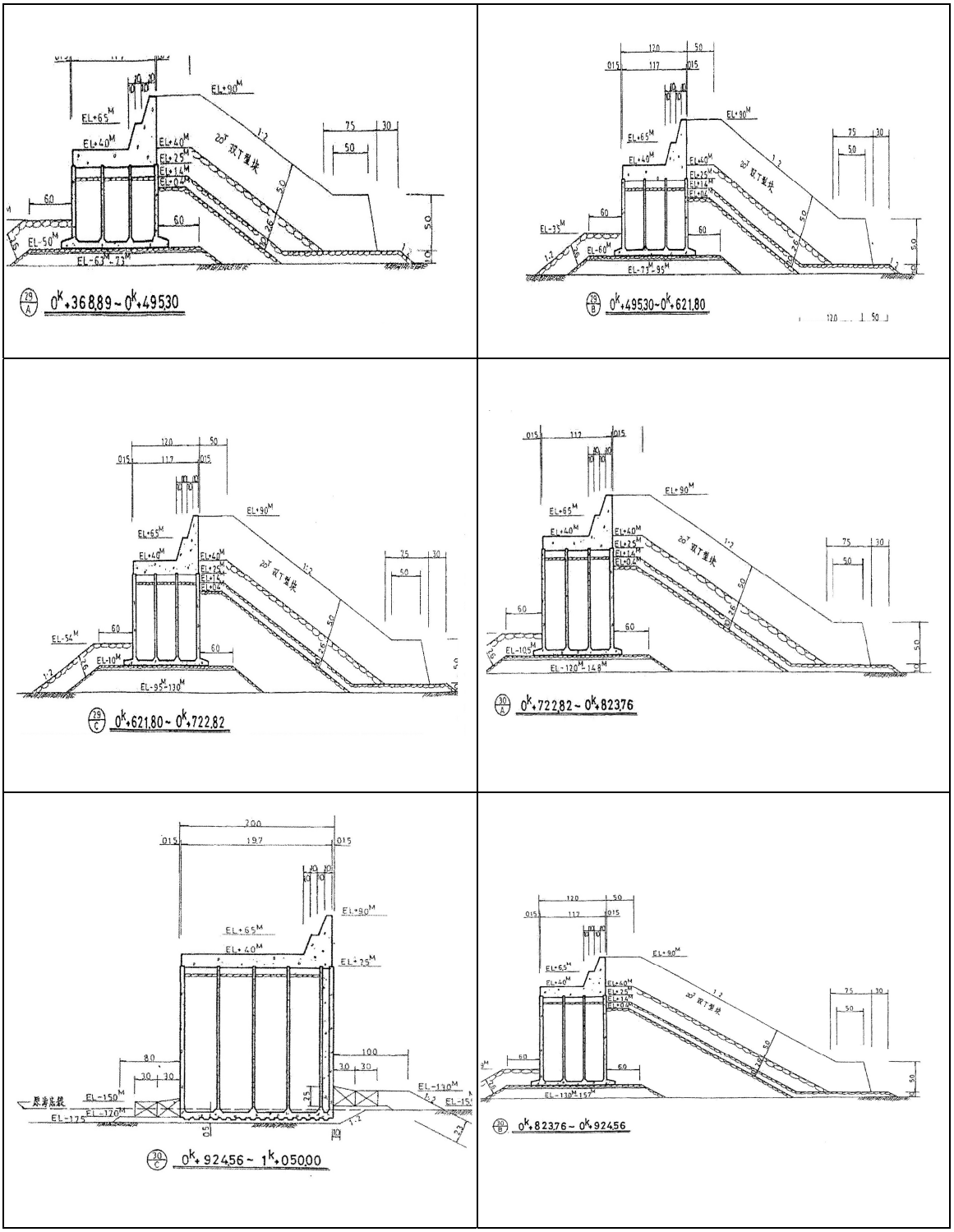


圖 3.47 花蓮港西堤主要斷面圖

圖 3.48 花蓮港西堤現況情形(101.3.27)

表 3-27 花蓮港西堤反彈值等試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	腐蝕電位 (mV 硫酸銅電極)	電阻係數 (KΩ)
消波塊	33.18(250)	412～605	20.6～56.5
防波堤	26.60(162)	192～294	0.9～12.1

表 3-28 花蓮港西堤鑽心試體抗壓強度等試驗結果

試體編號	抗壓強度 (kgf/cm^2)	中性化深度 (cm)
消波塊 1	187	0.2
消波塊 2	195	0.2
消波塊 3	256	1.0

表 3-29 花蓮港西堤鑽心試體之超音波脈波速度

試體編號	超音波速 (m/sec)
消波塊 1	3020
消波塊 2	3185
消波塊 3	3665

3.4.2 花蓮縣漁港

花蓮縣位於臺灣東部，為臺灣地區第一大縣。沿岸及近海皆屬太平洋黑潮主流範圍，海域廣闊，底質多為岩礁，各種洄游性及底棲魚類資源豐富，為本省良好漁場之一。但因中央山脈和海岸山脈相繼逼近太平洋，加上河流切割和沖積，海底坡度陡峭，山勢高聳，較少灣澳，目前主要漁港僅有花蓮、石梯、鹽寮三處，皆為第三類漁港及十餘處小型漁筏停靠據點，近海漁業作業船隻，多以花蓮漁港為主要基地港。

花蓮縣政府為解決漁船碼頭及泊地不足的困境，近年來積極推動漁港建設，期能促進漁業發展，並因應觀光遊憩需要，配合進行港區多元化發展，除擴建花蓮漁港進設置漁港區、漁業專業區、漁業商業區及休閒旅館區外，另配合地方特色及觀光發展之需要，於石梯漁港進行觀光交通船碼頭、港區綠美化及遊客之軟硬體設施等工程，藉以結合右梯坪風景區遊憩資源，促進東海岸之整體發展，並可舒解泊地擁擠的情形。

本次調查花蓮縣共選取花蓮及石梯漁港 2 處主要漁港之碼頭(重力式)、防波提及濱海建物，漁港基本資料及調查結果分述如下：

3.4.2.1 花蓮漁港

花蓮漁港為行政院農業委員指定之第三類漁港，位於花蓮國際商港區內之兼用漁港，距花蓮市約 2 公里，原係由花蓮港務局指定港區內小型船渠之南側水域及殘水碼頭專供漁船停靠，小型船渠水深

-2.01~-3.0 公尺，泊地面積 2.8 公頃，其中雖有一半撥供漁港使用，實際上扣除航道及軍方、海關及工作船所用泊地，僅剩三分之一左右可供漁業使用，平時漁船停泊已擁擠不敷使用，甚多漁船停靠商港航道，危險性大，並影響商港機能運作，颱風時擁擠情形更為嚴重。為改善小型船渠內漁船及工作船泊地穩靜，於「第二期臺灣地區漁港建設方案」中，將船渠開口位置變更，封閉舊有港口，新闢 25 公尺寬港口，並興建東、西突堤碼頭 100 公尺及進行碼頭改善與泊地浚挖工程。

為改善漁民生活及促進東部地區漁業發展，民國 82 年小型船渠擴建為專用漁港，並自 86 年度起將港區向海側擴建，至 89 年止共計興建海堤 922 公尺及進行新泊地之浚挖；90 年後並陸續擴建，完成包括：興建新泊地西碼頭 280 公尺，新泊區東碼頭 165 公尺、北碼頭 60 公尺，及舊泊區原有碼頭 283 公尺改建及新舊泊地間之碼頭拆除，並進行泊地浚挖等工程。

目前水域達 4.5 公頃、碼頭約 1,200 公尺，依功能劃分為漁港區、漁業專業區、漁業商業區、休閒旅館區及廟宇區等，漁港區設置拍賣場、整備場、曳船道及修船廠等;漁業專業區設置拍賣場、製冰廠、冷凍廠、漁會辦公室、漁民住宿及休閒中心、零售魚市場及海鮮飲食店等；漁業商業區具有休閒觀光漁業之功能，以商場及廣場為主;休閒旅館區乃為與休閒漁業結合之休閒住宿設施供旅客、海釣、賞鯨等從事休閒活動人員住宿使用。漁港平面配置如圖 3.49 所示，碼頭及防波堤主要結構型式如圖 3.50 至圖 3.55 所示。

本次調查以目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深介於-2.0～-4.0m 之間，設計水深較淺且後線長度多小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估與基樁式碼頭承受上部及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 100 公噸以下漁船或交通遊樂船艇，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.56 為調查時之漁港現況情形。

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，且不同年度施作之碼頭或防波堤其結構型式相異，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。港區漁會建物及製冰廠等鋼筋混凝土損壞部份，建議應儘早修護。

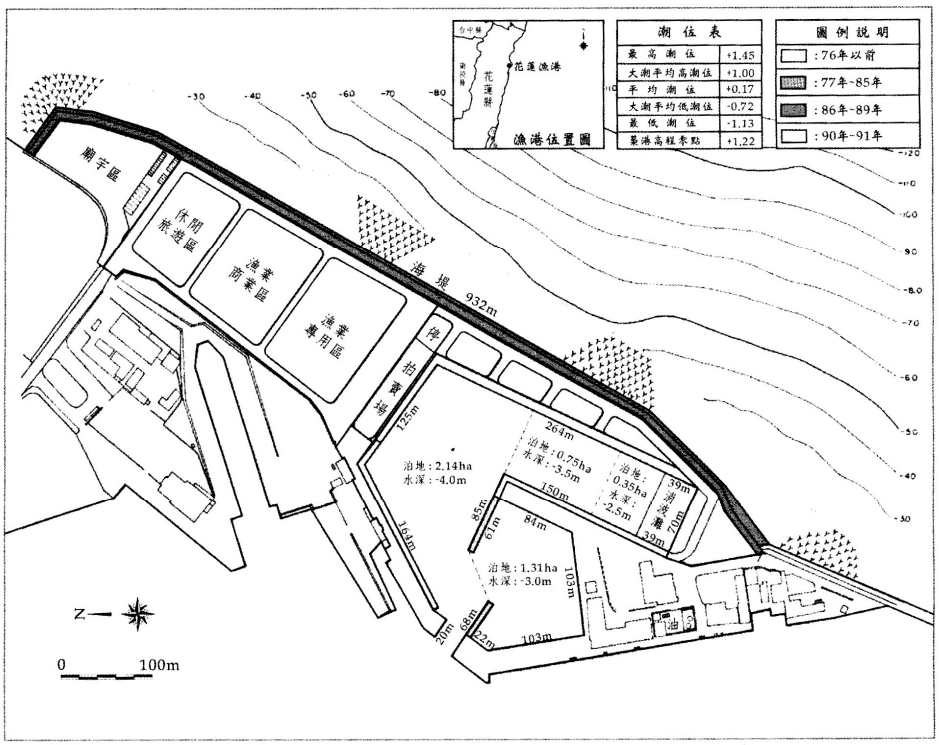


圖 3.49 花蓮漁港平面配置圖

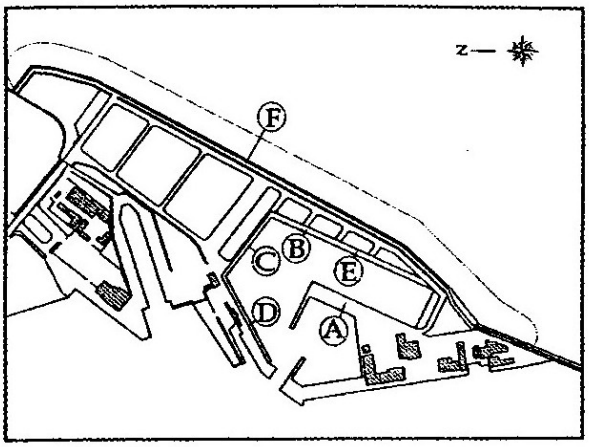


圖 3.50 花蓮漁港主要斷面位置圖

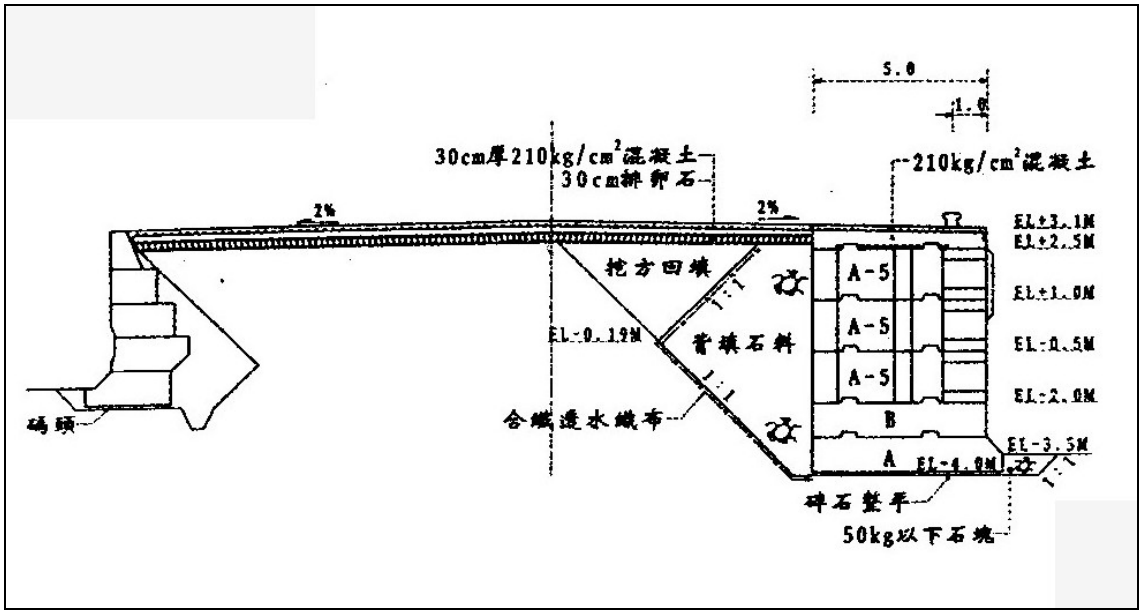


圖 3.51 花蓮漁港碼頭結構型式 A（突堤碼頭）

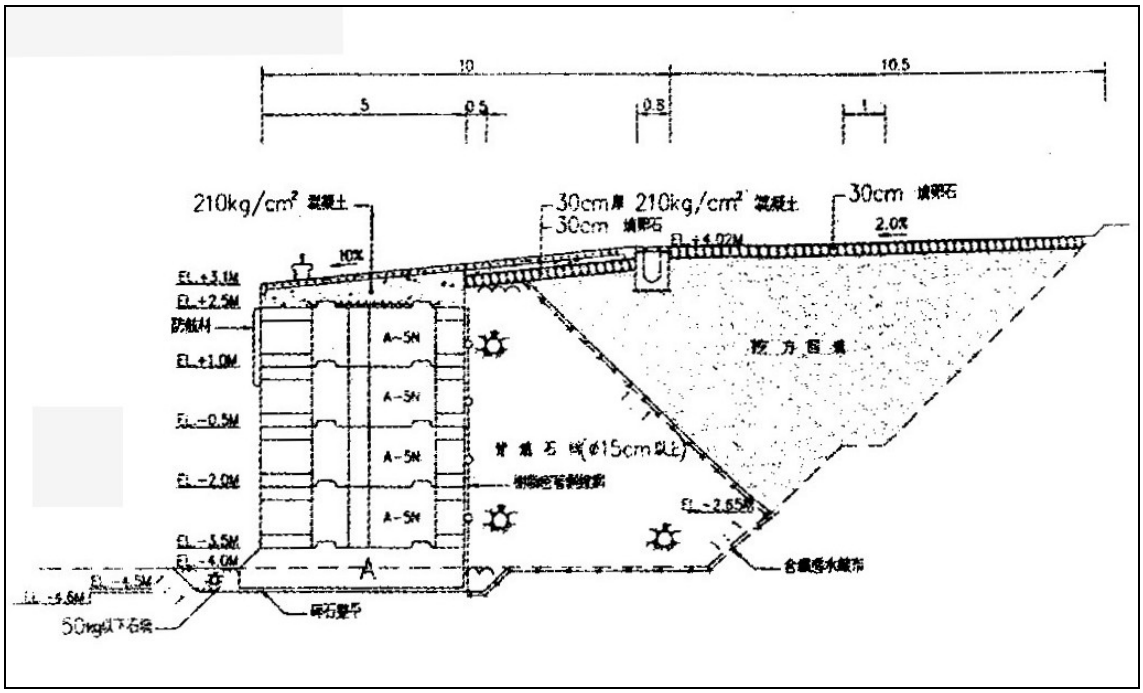


圖 3.52 花蓮漁港碼頭結構型式 B（東碼頭 -4.0m）

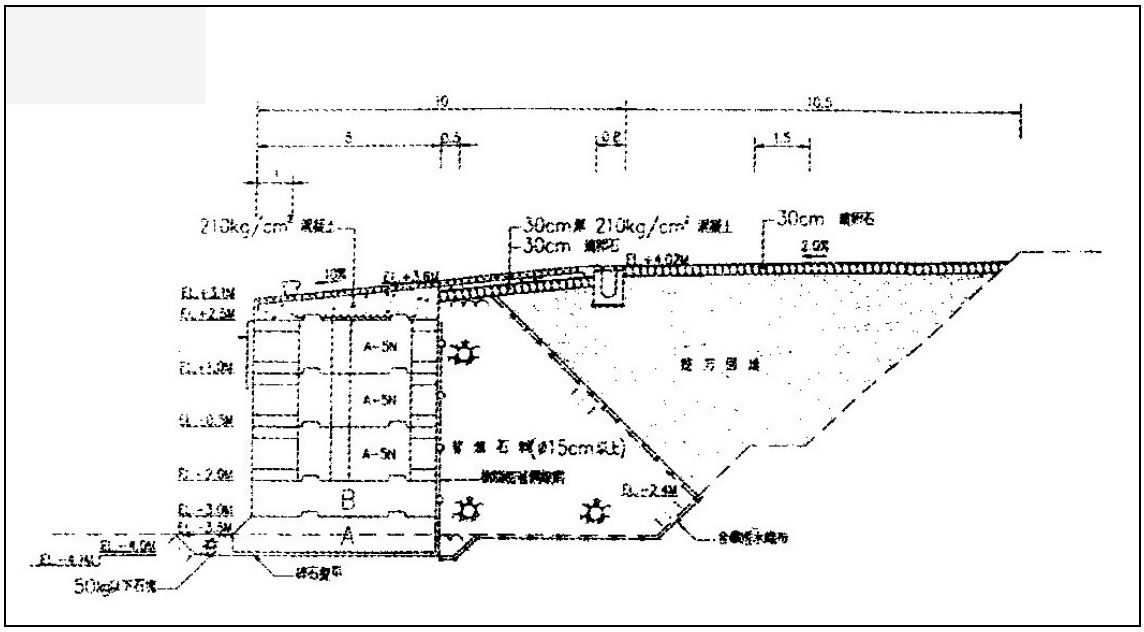


圖 3.53 花蓮漁港碼頭結構型式 C（北碼頭）

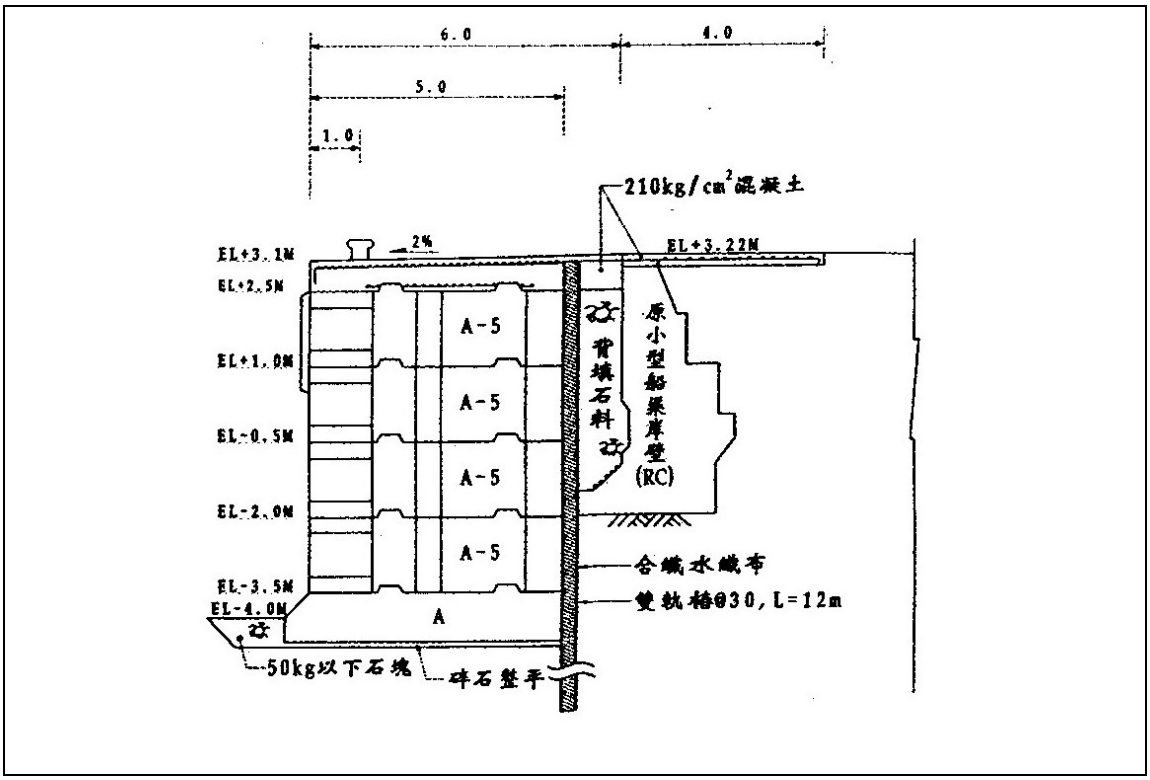


圖 3.54 花蓮漁港碼頭結構型式 D（西碼頭）

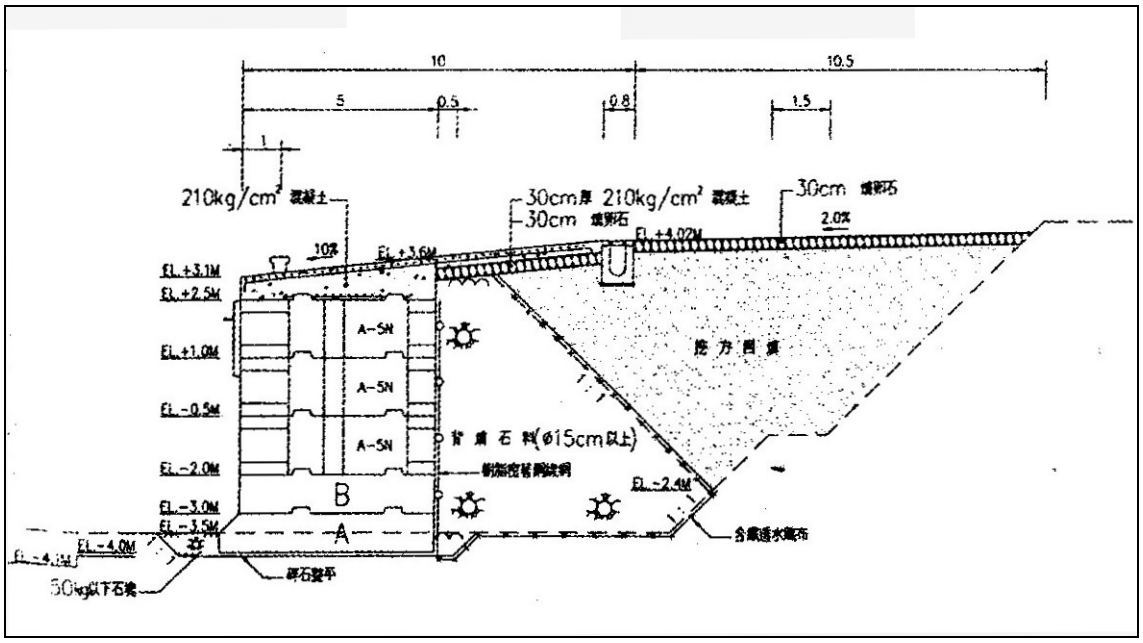


圖 3.55 花蓮漁港碼頭結構型式 E（東碼頭 –3.5m）

a. 漁港全景

b. 碼頭現況情形 1

c. 碼頭現況情形 2

d. 碼頭現況情形 2

e. 漁會建物現況情形

f. 漁會建物樓版腐蝕現況

g. 漁會製冰廠建物劣化現況情形

h. 聯外道路護欄腐蝕現況

圖 3.56 花蓮漁港現況情形（101.3.26）

3.4.2.2 石梯漁港

石梯漁港亦屬為第三類漁港，位於花蓮縣豐濱鄉石梯坪旁，為花蓮漁港與臺東縣新港漁港間，唯一具有天然條件並稍具規模之漁港。

民國 48 年至 52 年間由花蓮港務局闢建完成，惟其港口配置處於東北方向波浪集中處，故道颱風損毀殆盡。自 69 年起至 75 年止，政府為整建原有之殘缺設施，並加強本港之颱風避風及補給功能，積極加以擴建。計完成主要設施有北防波堤 267 公尺、東防波堤 427 公尺，東內堤 38 公尺、西內堤 31 公尺、東突堤 42 公尺、碼頭 4%公尺及泊地 2.35 公頃，岸上設施有魚市場、加油站、漁貝整理場、給水、製冰及道路、照明、排水等設施。

本港為花蓮漁港至臺東縣新港漁港間百餘公里海岸線申唯一之漁港，地理位置重要，亦為東部近海漁船之避風、補給之主要作業基地。目前港內泊地穩靜，但因面對浩瀚之太平洋，每年受颱風影響極大，故常對保護防波堤之海側消波塊造成損耗，因此 81 年起視實際損耗情形而予以補充維護及疏浚航道泊地，以確保防波堤及漁船之安全，並興建漁港安檢站，以利船隻進出港之管理。

近年來，由於國內觀光遊憩風氣興盛，另因受漁業環境之影響，傳統漁業無法繼續成長，衝擊漁民生計，花蓮縣政府自 88 年起配合傳統漁業的轉型之政策，擬定漁港多元化發展方案，積極建設多元化公共設施，在水域改善方面，於 88 年於外泊地東側興建休息碼頭 60 公尺、延長西內堤 20 公尺及興建西突堤 20 公尺;89 年進行港池改善，將東突堤及西突堤加以改建或改善，並於碼頭加設防護飯與防舷材。至於在陸上設施方面，則於 89 年進行港區綠美化與景觀改善工程、旅客服務中心軟硬體設施工程及娛樂漁業漁船專用碼頭設施工程。

90 年持續進行港區景觀設施工程， 希望藉由石梯漁港多元化工程能增加民眾休閒活動之據點，並作為賞鯨豚之休閒漁港，結合鄰近石梯坪風景區之觀光資源，促進臺灣東海岸之整體發展。漁港平面配置如圖 3.57 所示，碼頭及防波堤主要結構型式如圖 3.58 至圖 3.63 所示。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估或鑽心試體試驗室抗壓試驗，混凝土強度介於 185～226kg/cm^{2}之間；腐蝕電位介於-368～-212 mV （Cu/$CuSO_4$電位）之間；電阻係數介於 9.6～20.16 KΩ 之間；超音波速約為 3000m/sec，中性化深度約 0.2～1.0 cm（如表 3-30 至表 3-32 所示）。由於漁港碼頭現有設計水深為-4.0m，因漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 500 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.66 為調查時之漁港現況情形。

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，且不同年度施作之碼頭或防波堤其結構型式相異，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

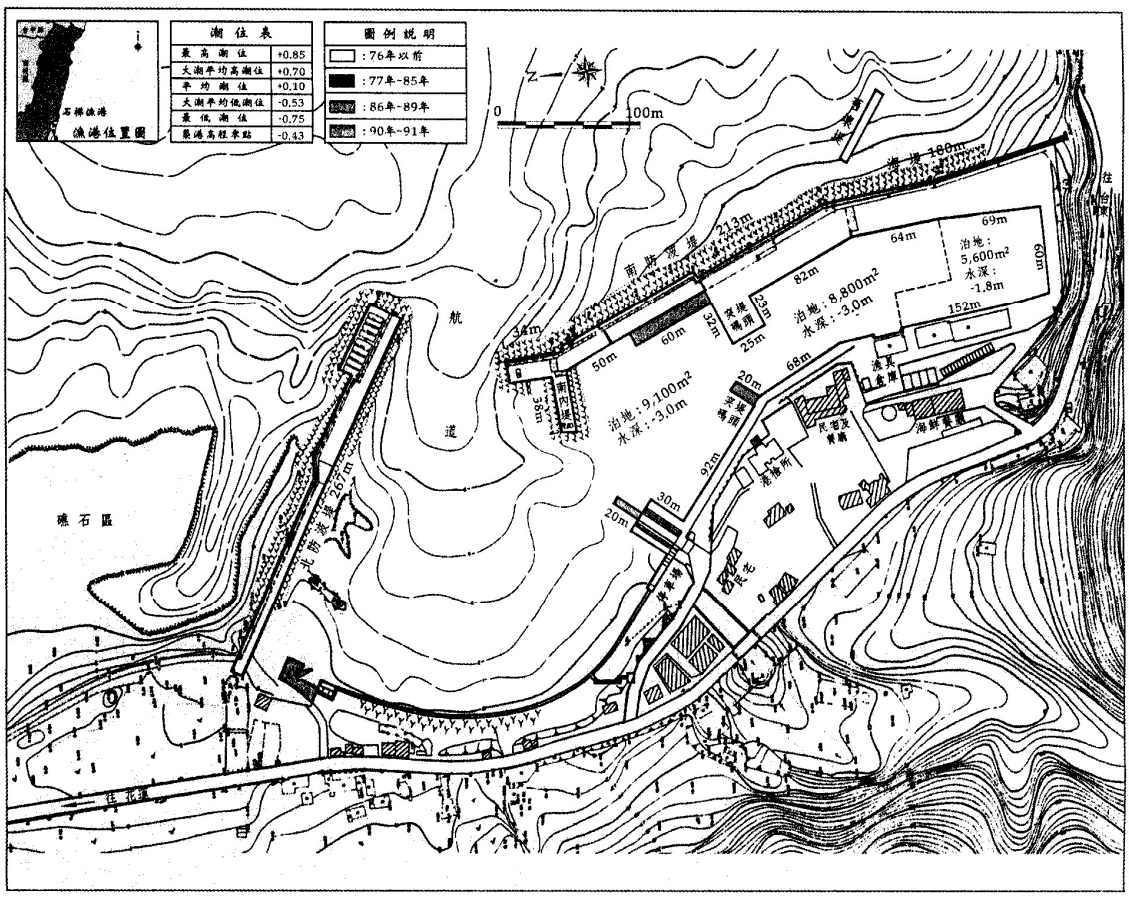


圖 3.57 石梯漁港平面配置圖

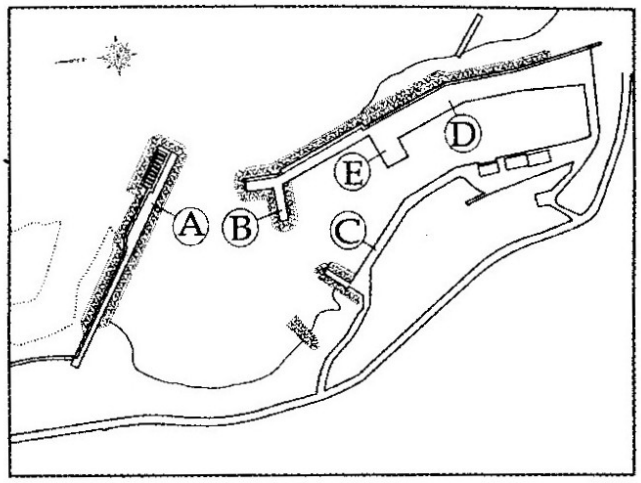


圖 3.58 石梯漁港主要斷面位置圖

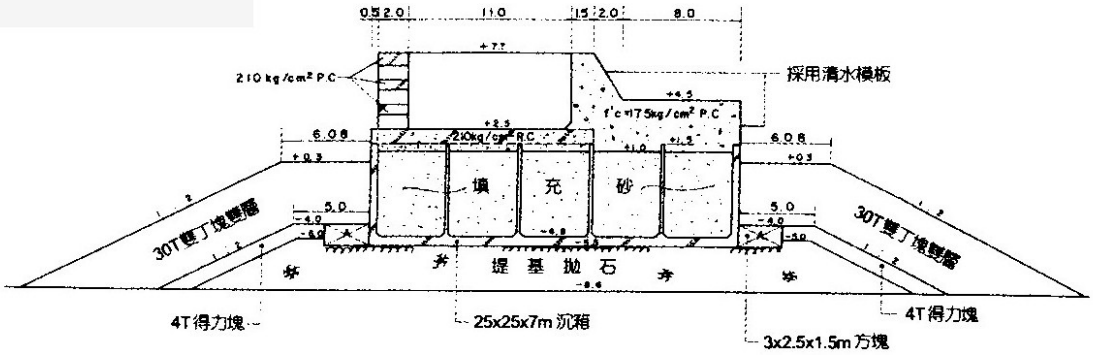


圖 3.59 石梯漁港碼頭結構型式 A（北防波堤）

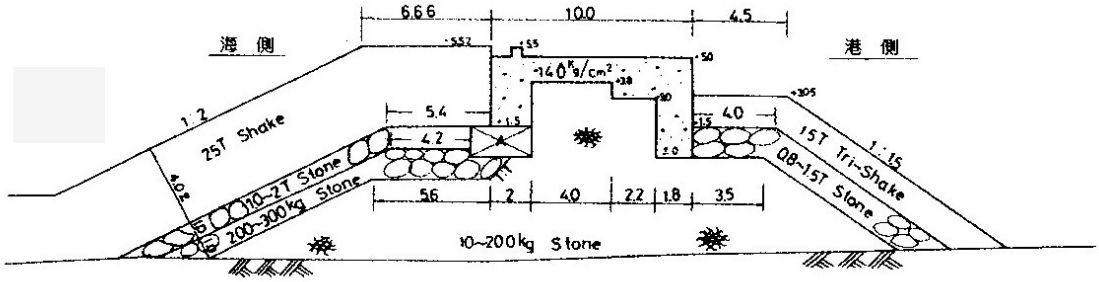


圖 3.60 石梯漁港碼頭結構型式 B（內堤）

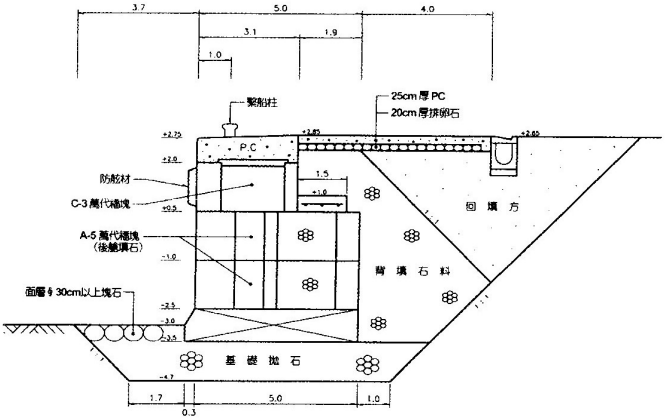


圖 3.61 石梯漁港碼頭結構型式 C（西碼頭）

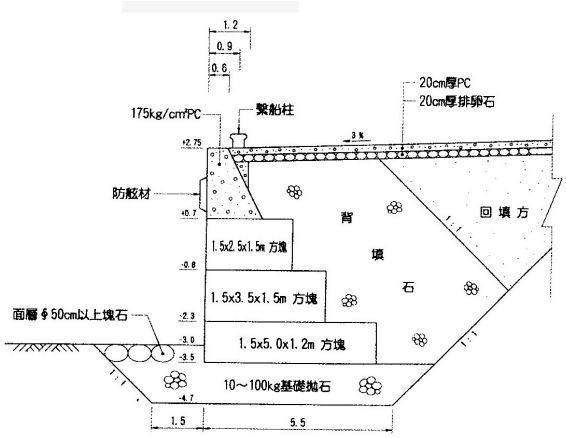


圖 3.62 石梯漁港碼頭結構型式 D（東碼頭）

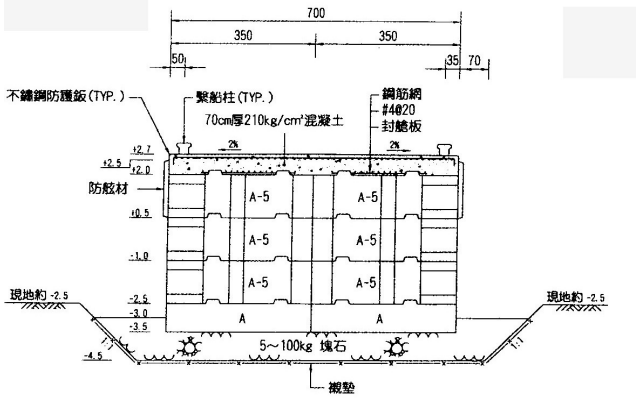


圖 3.63 石梯蓮漁港碼頭結構型式 E（突堤碼頭）

表 3-30 石梯漁港反彈值等試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	腐蝕電位 (mV 硫酸銅電極)	電阻係數 (KΩ)
碼頭岸壁	31.5(226)	-368～-212	12.0～20.1
防波堤	28.5(185)	-272～-215	9.6～15.3

表 3-31 石梯漁港鑽心試體抗壓強度等試驗結果

試體編號	抗壓強度(kgf/cm^2)	中性化深度(cm)
1	205	0.5
2	189	0.2
3	236	0.5

表 3-32 石梯漁港鑽心試體之超音波脈波速度

試體編號	超音波速(m/sec)
1	3320
2	3485
3	3236

圖 3.66 石梯漁港現況情形（101.3.28）

3.4.3 臺東縣漁港

臺東縣位於臺灣東南部，包括綠島、蘭嶼二離島，目前漁港共有 16 處，行政院農業會指定富岡、大武、小港、新港及金樽等 5 處漁港為第三類漁港;綠島、長濱、烏七舅、石雨傘、新蘭、公館、溫泉、中寮、朗島、漁人及開元等口處漁沿為第四類漁港。

臺東縣為黑潮主流流經海域，是一良好之漁場，各種漁類資源極為豐富。並且景秀麗，觀光資源豐富。配合國人休閒旅遊風氣，將漁業經營型態朝更多角化經營，使傳統漁業配合觀光休閒漁業之推展。

本次調查共選取臺東縣 4 處主要漁港之碼頭（重力式）、防波提及濱海建物，包括長濱漁港、新港漁港、富岡漁港及大武漁港，漁港基本資料及調查結果分述如下：

3.4.3.1 長濱漁港

長濱漁港為行政院農業委員會指定之第四類漁港，位於臺東縣長濱鄉，南距新港漁港約 54 公里，本區海岸線平直且有暗礁，為臺東縣境內最北之漁港。

本港自民國 71 年起闢建，興建防波堤兼碼頭 91 公尺，惟受地形變化影響，停靠碼頭不足，乃於民國 77 年起開始延長防波堤兼碼頭，至民國 85 年止已延建防波堤兼碼頭共 294 公尺(其中兼碼頭約 200 公尺)、新建西防波堤 98 公尺，由於本港漁筏使用率高，且增建之碼頭設施尚不敷使用，故 86 年由現有防波堤向東興建護岸兼碼頭 140 公尺及將現有防波堤加高並設置階梯。87 年至 89 年陸續向東側延建護岸 145 公尺、港區西側興建防砂堤 90 公尺；現有防波堤東側闢建碼頭 231.5 公尺、興建新泊地航道護岸 15 公尺、泊地浚挖及後側土地整地、路燈照明、延長西防波堤 30 公尺、堤面整建 100 公尺、加拋消波塊及設置標識燈等；90 年為提高港內穩靜，於防波堤堤頭向西南拋放消波堤 30 公尺，並於護岸轉折處向東南興建防砂堤 130 公尺、新泊區航道護岸加強、外泊地疏浚及石籠護坡等。本港現有碼頭約 417 公尺、泊地約 0.85 公頃。漁港平面配置如圖 3.65 所示，碼頭及防波堤主要結構型式如圖 3.66 至圖 3.73 所示。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估混凝土強度介於 185～238kg/cm^2 之間；中性化深度約 0.8～1.2cm(如表 3-33 所示)。由於漁港碼頭現有設計水深為-4.0m，因漁港碼頭設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 100 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.74 為調查時之漁港現況情形。

表 3-33 長濱漁港反彈值等試驗結果

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

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，且不同年度施作之碼頭或防波堤其結構型式相異，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。堤身與消波塊混凝土表面發現地圖狀裂縫，並有膠狀反應產物，疑為鹼質與粒料反應之徵候，雖無立即性重大危害發生，建議後續使用混凝土材料，使用前應進行鹼質與粒料反應相關檢測，以降低構造物發生崩壞之風險。

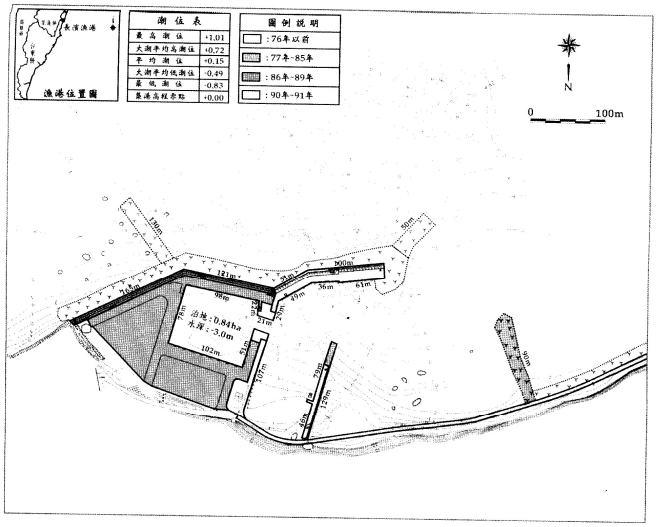


圖 3.65 長濱漁港平面配置圖

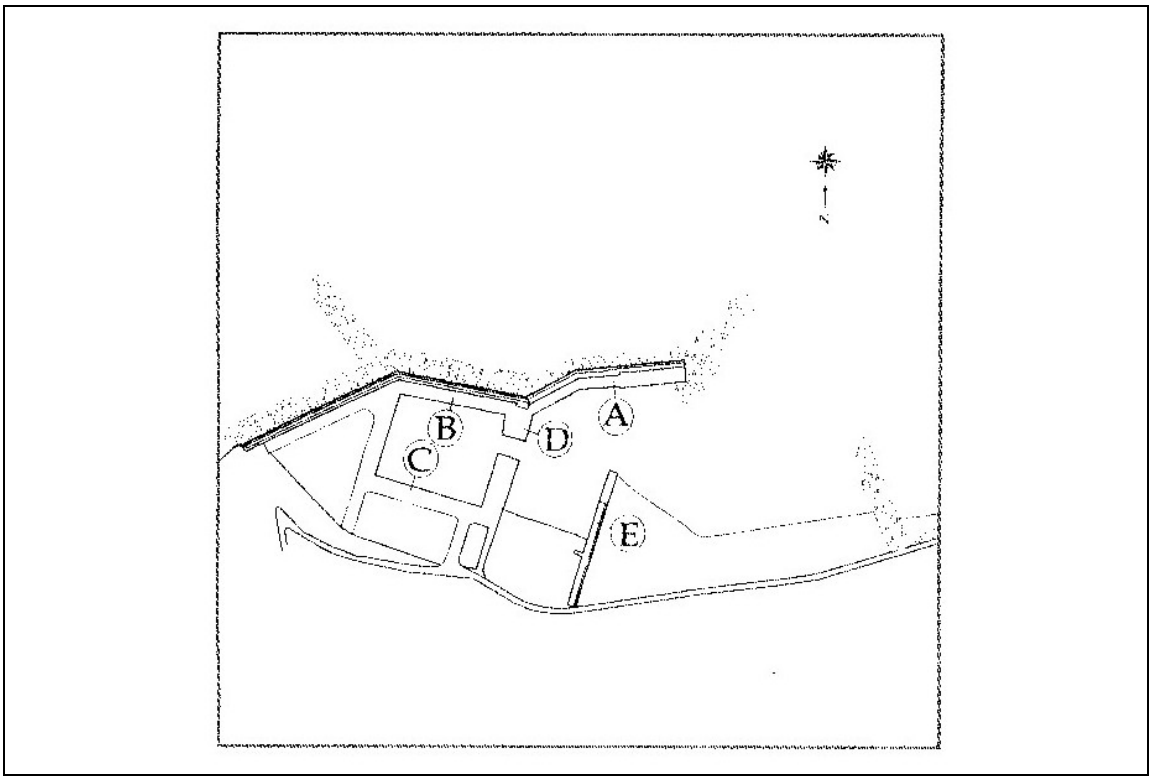


圖 3.66 長濱漁港主要斷面位置圖

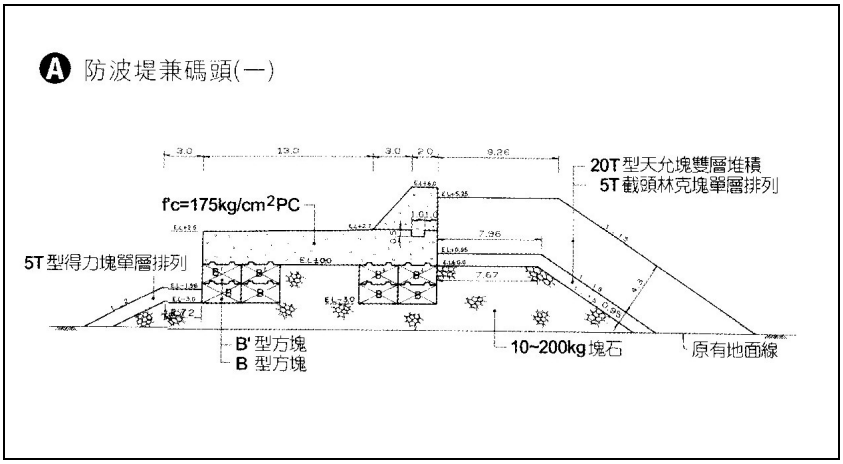


圖 3.67 長濱漁港碼頭結構型式 A（防波堤兼碼頭 1）

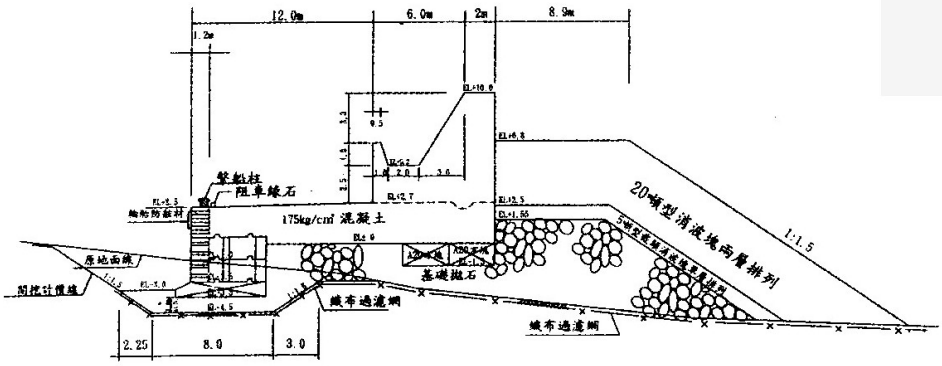


圖 3.68 長濱漁港碼頭結構型式 B（防波堤兼碼頭 2）

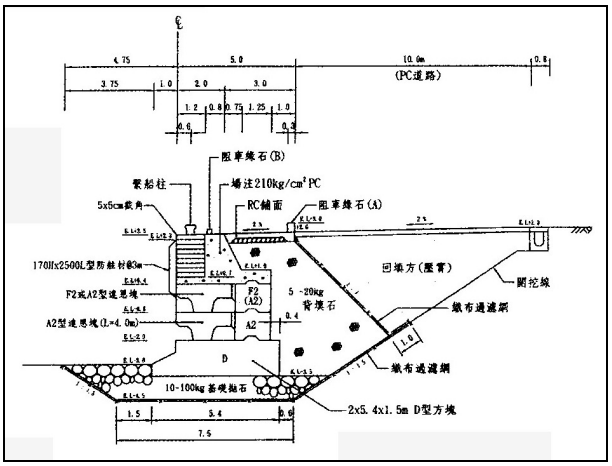


圖 3.69 長濱漁港碼頭結構型式 C（東、北碼頭）

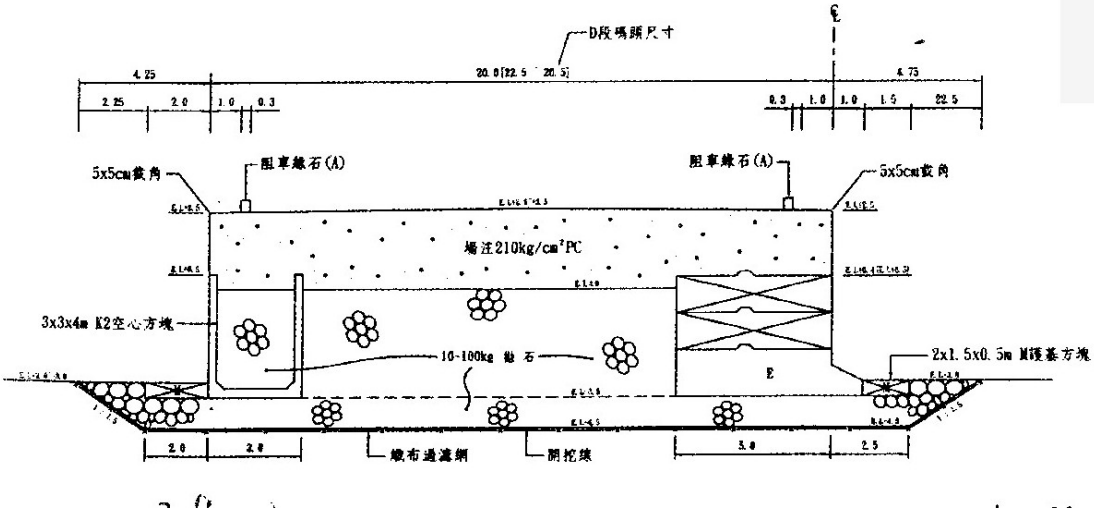


圖 3.70 長濱漁港碼頭結構型式 D（突堤）

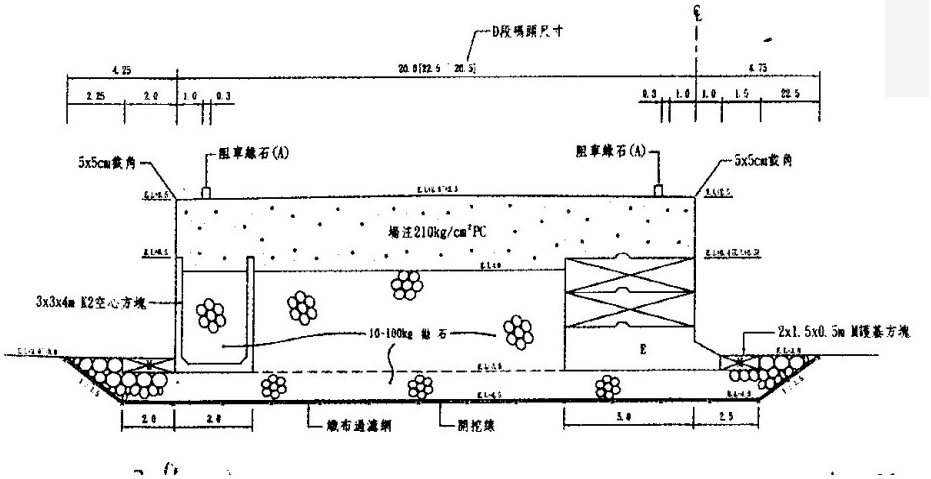


圖 3.71 長濱漁港碼頭結構型式 E（內堤）

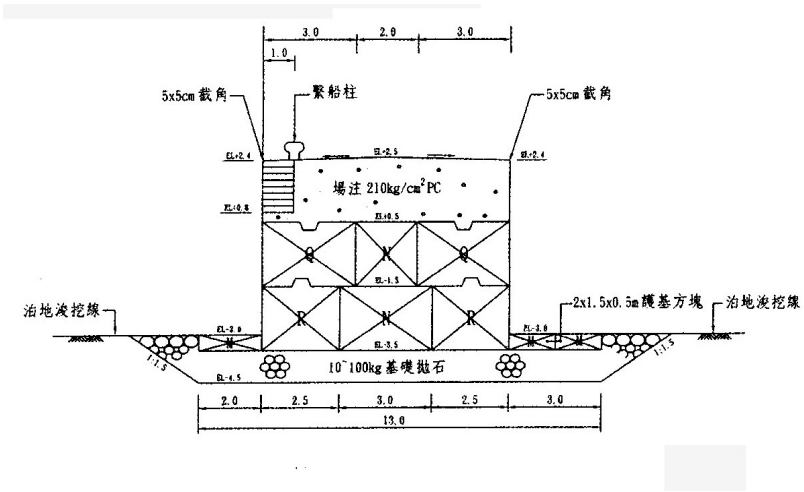


圖 3.72 長濱漁港碼頭結構型式 F（西碼頭）

圖 3.73 長濱漁港防波堤及消波塊混凝土表面地圖狀裂縫（101.3.29）

圖 3.74 長濱漁港現況情形（101.3.29）

3.4.3.2 新港漁港

新港漁港亦屬為第三類漁港位於臺東縣成功鎮，係由山脈環抱而形成一天然港灣，早於日據時代即已開始興建(約民國 18 年開始至 21 年完成)，水域約 4.6 公頃。光復後政府於民國 52 年擴建本港泊地約 0.8 公頃，嗣後陸續投資改善港口及闢建泊地以配合漁業發展，至 76 年本港之設施計有防波堤 520 公尺、護岸海堤 334 公尺、泊地 4.2 公頃、碼頭 1,240 公尺、修船斜道一座以及其他陸上公共設施等。

由於本港為臺東沿海最具規模設備最完善之漁港，除提供本港漁船泊靠外還可供附近地區漁船進港拍寅魚貨，加上交通便利，因此漁船增加迅速，泊地已不敷使用。為配合地方瑯業發展需要，乃於 77 年度於原港區東側進行港區擴建，至 85 年止，完成海堤 175 公尺、防波堤 583 公尺、防波堤兼碼頭 300 公尺、碼頭 437 公尺、道路 480 公尺

及泊地、航道(-3.5 公尺)浚挖 3.3 公頃，並於 85 年開放使用以舒解本港擁擠現象。86 年於東側港區興建突堤碼頭 2 座各 40 公尺及加拋消波塊;88 年除進行突堤修復、航道礁石炸挖及消波塊製外，並於東側港區西碼頭後側興建遊客服務中心一棟，提供遊客旅遊資訊及服務；89 年另於東側港區西碼頭約中段位置興建突堤碼頭40 公尺及東防波堤加拋消波塊；91 年北離岸堤新建 20 公尺及東離岸堤 80 公尺及航道疏浚工程。漁港平面配置如圖 3.75 所示，碼頭及防波堤主要結構型式如圖 3.76 至圖 3.85 所示。

本次調查以目視配合反彈錘試驗等非破壞性檢測實施，結果顯示，本港碼頭及防波堤並無明顯混凝土破損或其內部鋼筋嚴重腐蝕現象，由反彈錘推估混凝土強度介於 185～238kg/cm^2 之間；中性化深度約 0.8～1.2cm（如表 3-34 所示）。由於漁港碼頭之設計水深多小於 -4.0m。設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式碼頭承受之土壓力和水壓力推估，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 100 公噸以下，更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.64 為調查時之漁港現況情形。

表 3-34 新港漁港反彈值等試驗結果

編號	平均反彈值 (推估強度 kg/cm^2)	中性化深度 (cm)
1	33.18 (250)	1.2
2	33.25 (251)	0.8

由歷年記錄顯示，漁港維護主要工作項目仍以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，故建議可不應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔，另建議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

●平面圖

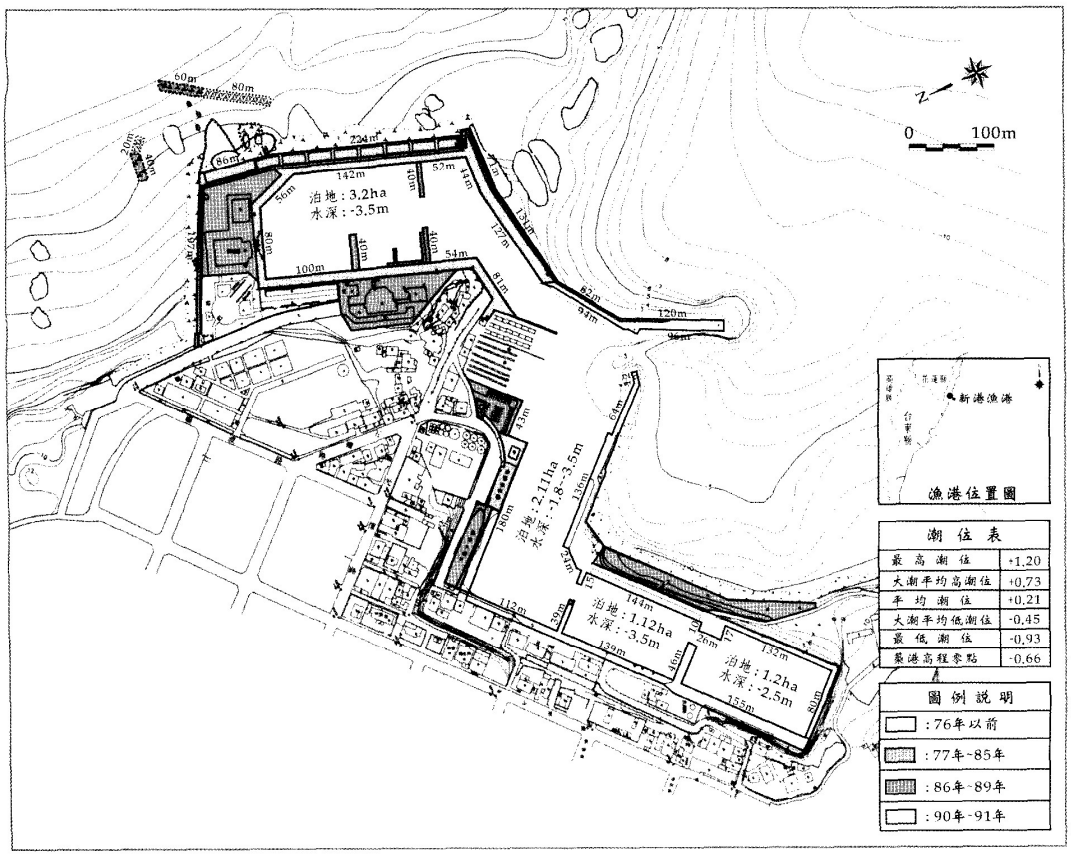


圖 3.75 新港漁港平面配置圖

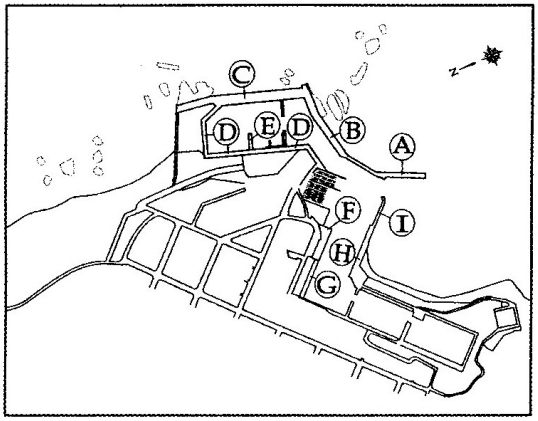


圖 3.76 新港漁港主要斷面位置圖

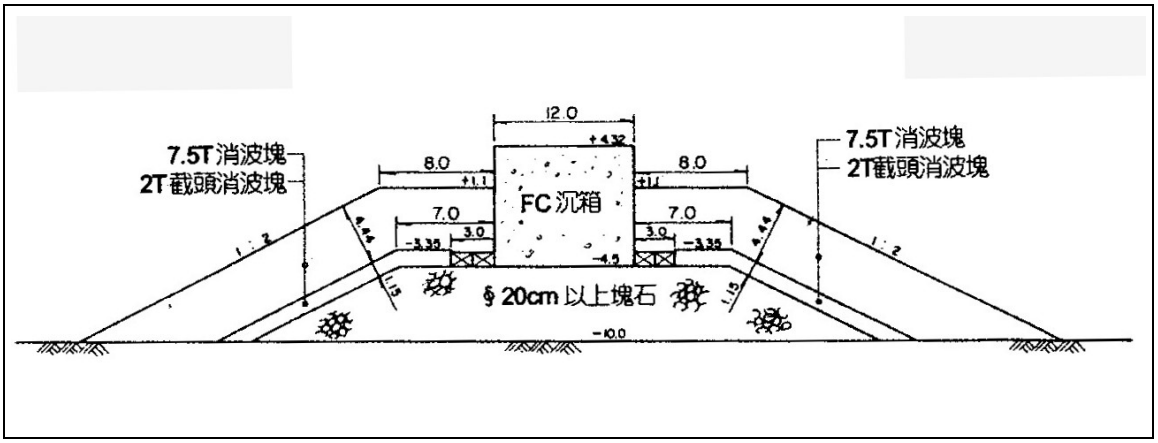


圖 3.77 新港漁港碼頭結構型式 A（東防波堤）

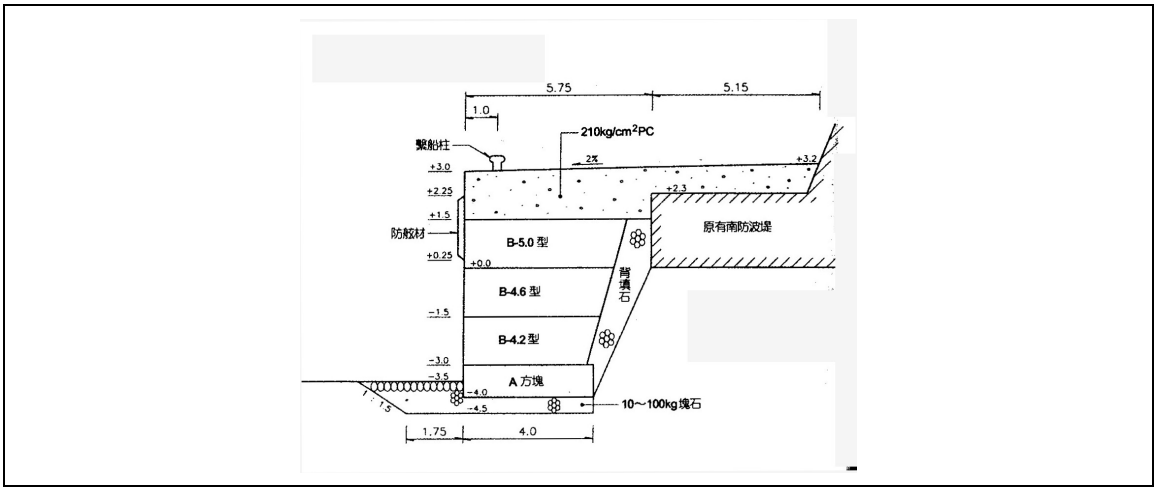


圖 3.78 新港漁港碼頭結構型式 B（東防波堤兼碼頭 1）

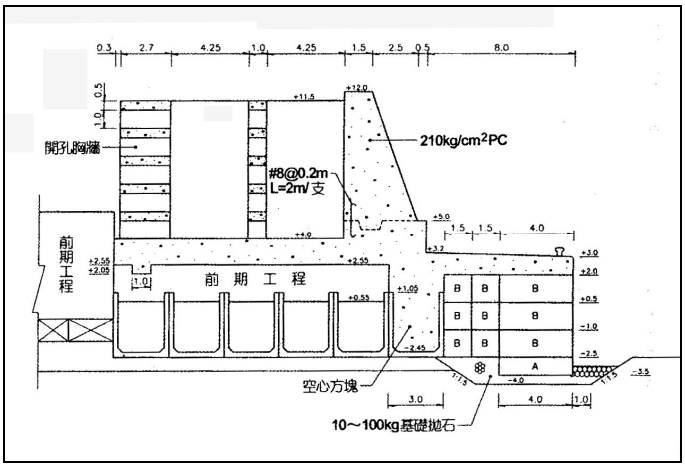


圖 3.79 新港漁港碼頭結構型式 C（東防波堤兼碼頭 2）

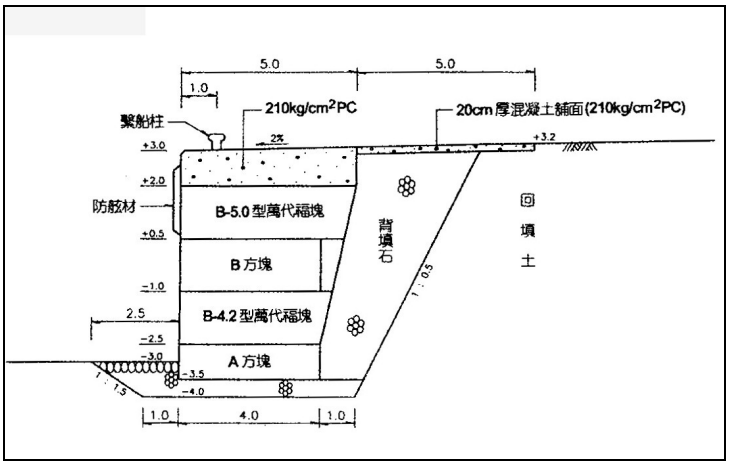


圖 3.80 新港漁港碼頭結構型式 D（碼頭 1）

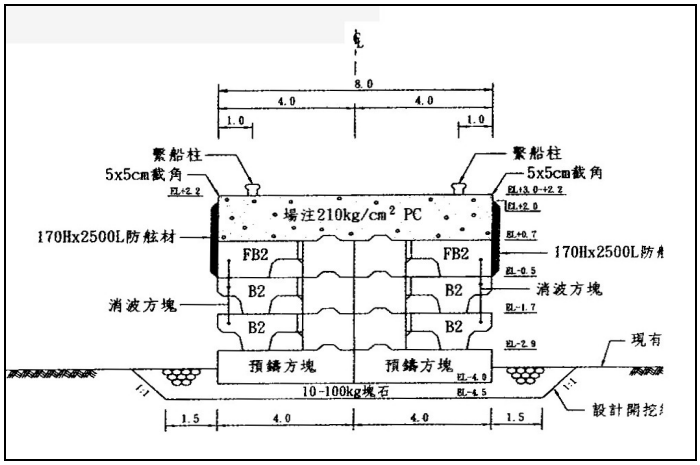


圖 3.81 新港漁港碼頭結構型式 E（突堤碼頭）

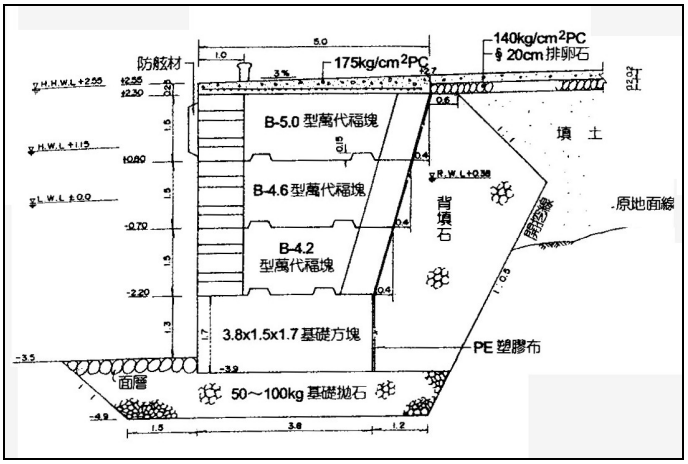


圖 3.82 新港漁港碼頭結構型式 F（碼頭 2）

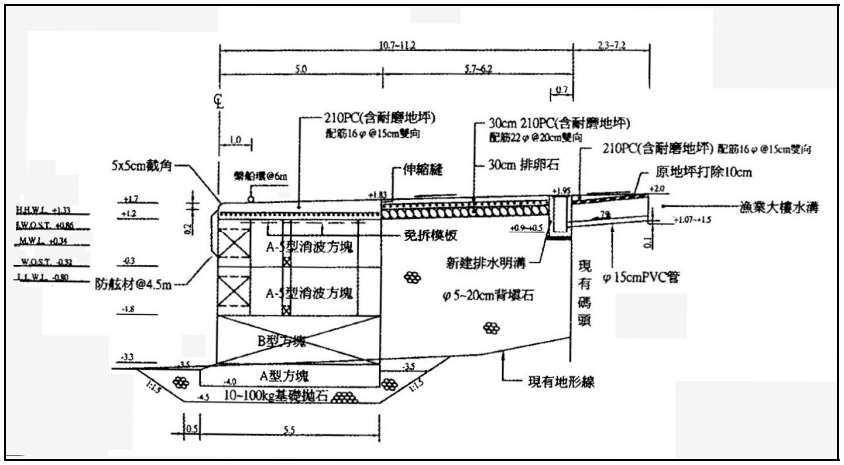


圖 3.83 新港漁港碼頭結構型式 G（碼頭 3）

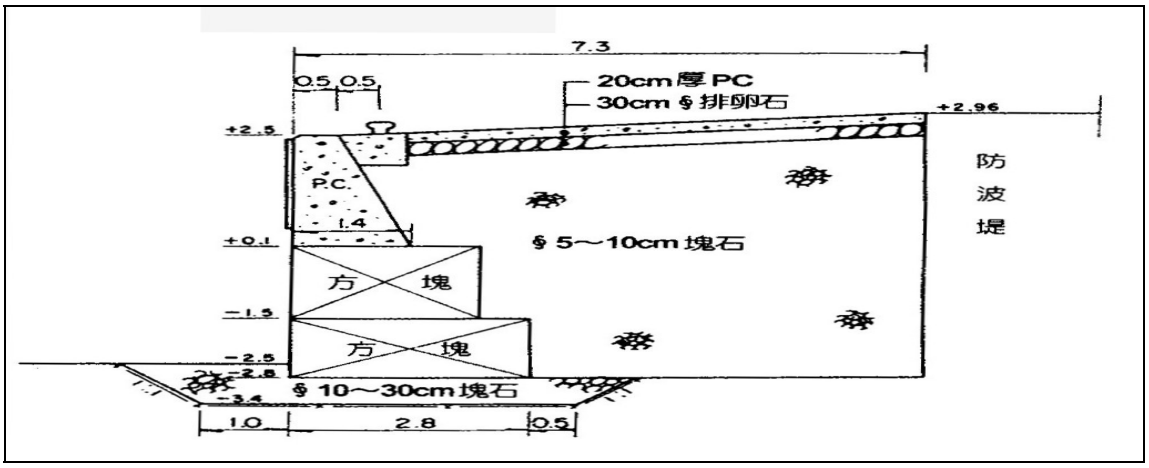


圖 3.84 新港漁港碼頭結構型式 H（碼頭 4）

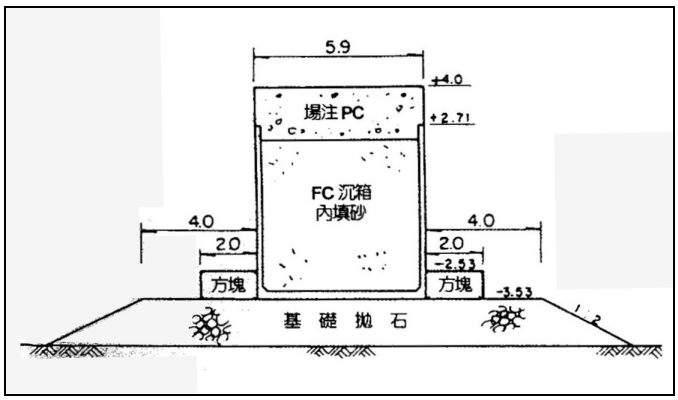


圖 3.85 新港漁港碼頭結構型式 I（西防波堤）

圖 3.86 新港漁港現況情形（101.3.29）

3.4.3.3 富岡漁港

富岡漁港亦屬為第三類漁港，位於臺東市富岡里，距離新港漁港約 46 公里。本港闢建於民國 43 年，69 年至 73 年分別為增加港口穩定，保障漁船作業安全，再投資改善港口及加強防波堤結構安全設施，77 年度起於現有港區北側進行擴建，至 82 年度擴建工程完成止。共計完成防波堤兼碼頭 221 公尺、防波堤 438 公尺、碼頭 370 公尺、曳船道 1 處、港區照明，及進行泊地浚挖及整地工程。86 年加強東防波堤堤頭保護；87 年完成漁民休憩中心；88 及 89 年進行港區陸上設施改善，包括港區綠美化、景觀工程、道路排水改善及照明工程等；另外為改善泊地之靠泊環境，89 年度除於西內堤處另建內突堤碼頭 35 公尺、碼頭面整修及防絃材換裝外，另外延長東防波堤 200 公尺增加港內穩靜，並將漁業大樓前之突堤拆除及航道拓寬、泊地浚深、於航道西側填築新生地及交通碼頭防絃材換裝等工程；90 年則將防波堤胸牆進行美化。現有之主要設施包括防波堤 793 公尺、碼頭 1,060 公尺、泊地 3.6 公頃及曳船斜道一座，陸上設施有魚市場、漁民佈中心、候船室及給水、加油等設備。

本港除提供近沿海之漁船靠泊作業外 尚提供本島與綠島、蘭嶼間之交通船隻使用目前鄰近漁港之漁船漁獲，均以本港為運中心。

由於本港為臺灣本島至綠島、蘭嶼間海運交通樞鈕，為因應交通旅遊事業日益增加之客貨運量，及照顧離島居民生活，同時改善漁船及交通船混雜作業所造成擁擠及管理上之困擾，縣政府乃於 88 年 10 月起逐步興建水深-4.5 公尺客貨運碼頭三個船席、現有港口之東防波堤延長 200 公尺，並於 92 年 5 月完工。漁港平面配置如圖 3.87 所示，碼頭及防波堤主要結構型式如圖 3.88 至圖 3.94 所示。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-2.0～-4.0m 之間，設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估可承受上部荷載及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構

傾斜或面版下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 100 公噸以下，無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.95 為調查時之碼頭現況。

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

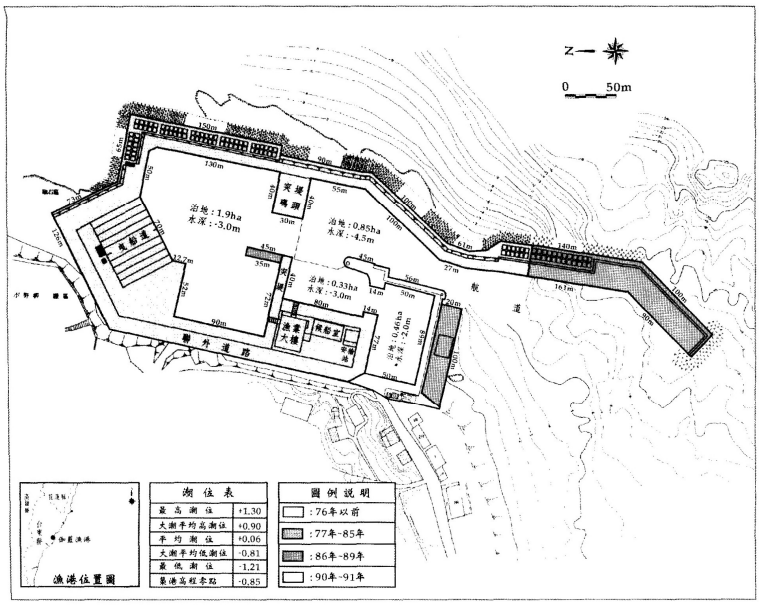


圖 3.87 富岡漁港平面配置圖

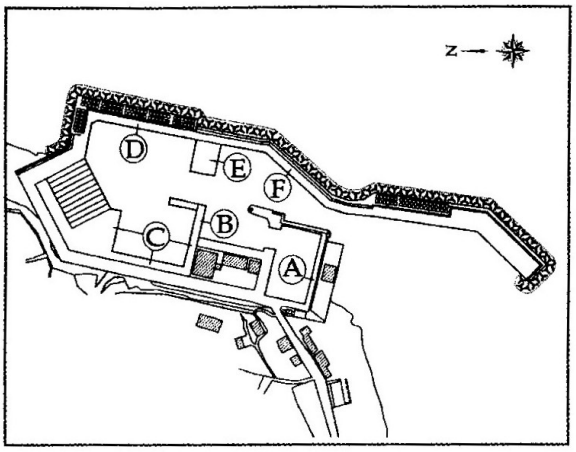


圖 3.88 富岡漁港主要斷面位置圖

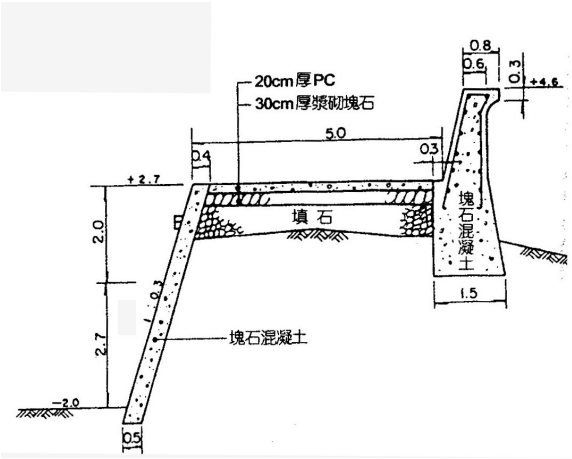


圖 3.89 富岡漁港碼頭結構型式 A（內泊地碼頭）

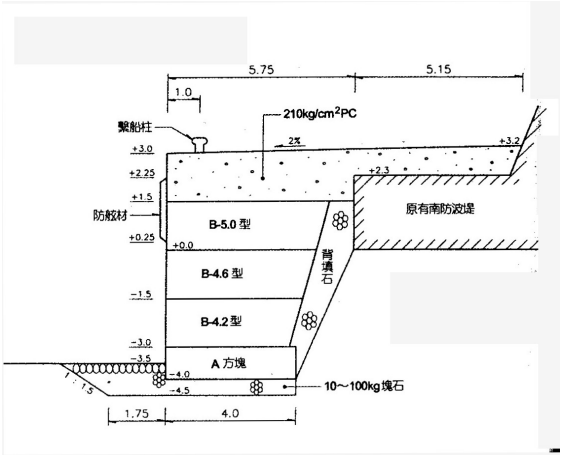


圖 3.90 富岡漁港碼頭結構型式 B（內突堤碼頭）

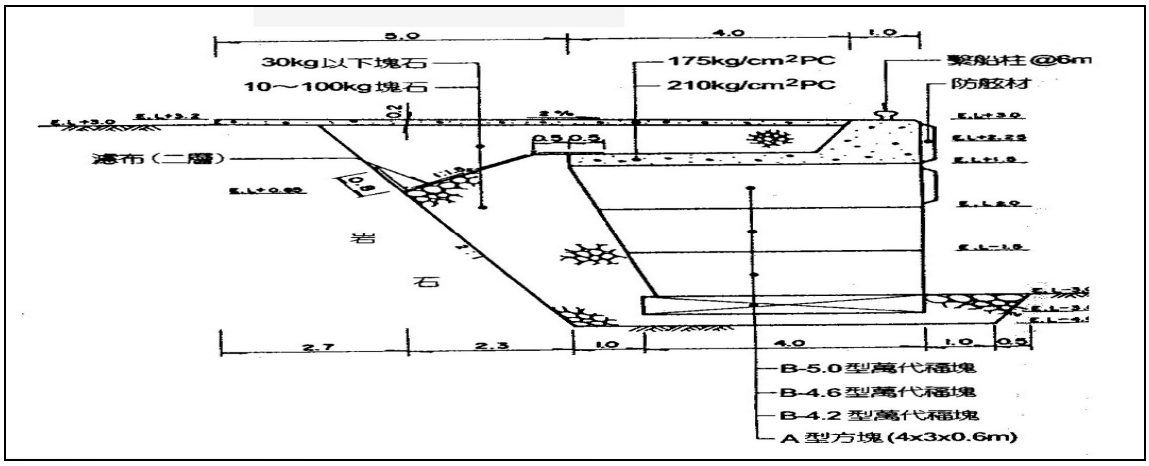


圖 3.91 富岡漁港碼頭結構型式 C（西岸碼頭）

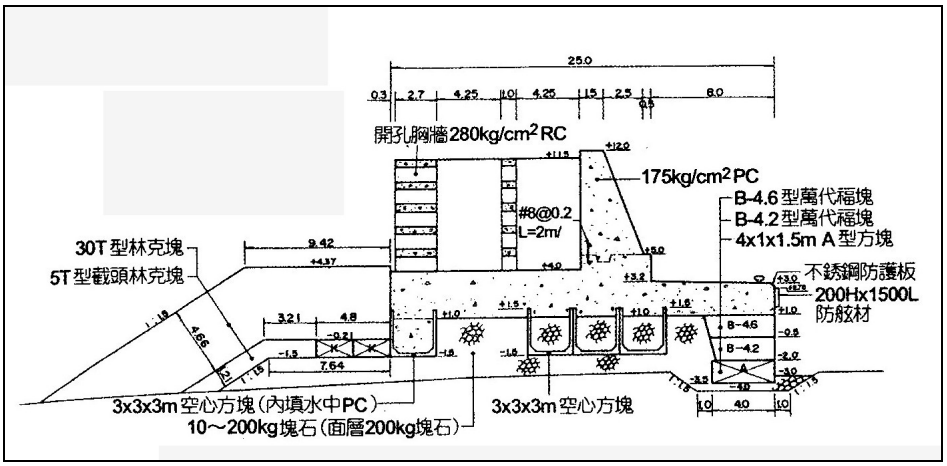


圖 3.92 富岡漁港碼頭結構型式 D（東防波堤兼碼頭 1）

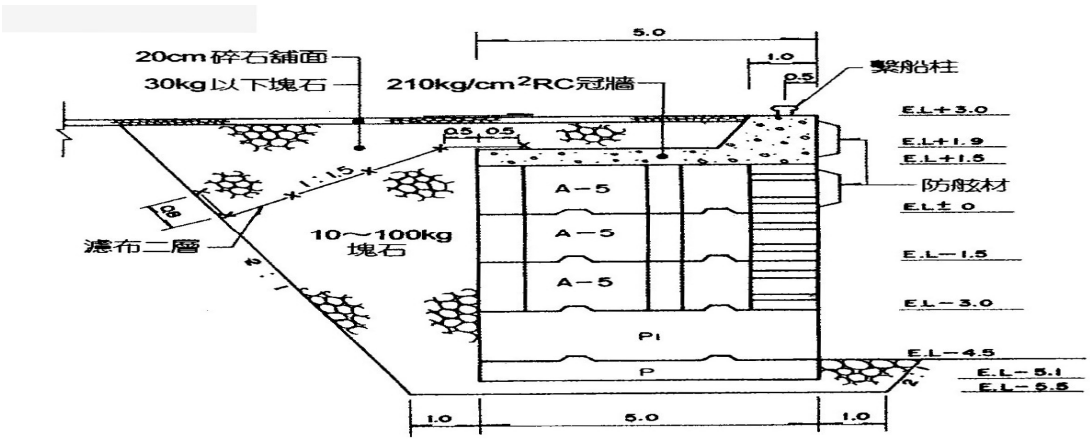


圖 3.93 富岡漁港碼頭結構型式 E（東突堤碼頭）

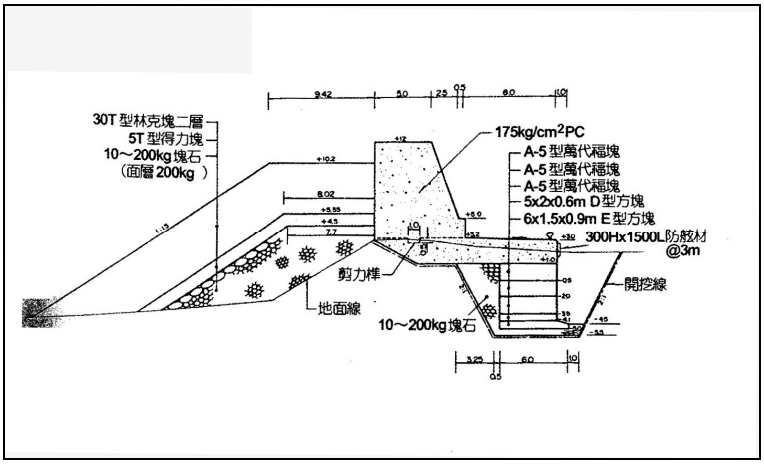


圖 3.94 富岡漁港碼頭結構型式 F（東防波堤兼碼頭 2）








圖 3.95　富岡漁港現況情形（101.3.29）

3.4.3.4 大武漁港

大武漁港亦屬為第三類漁港，位於臺東縣大武鄉尚武村朝庸溪出海口南側，面臨太平洋為颱風侵襲頻率極高地區之一，沿岸漂砂強烈。

本港於民國 42 年起開始興建，45 年時因颱風侵襲，便已完成之防波堤損壞，49 年起將附近朝庸溪改道，並建堤以防洪水。50 年至 56 年共進行六期工程，先後完成南、北防波堤及碼頭泊地等建設。惟天然條件太差，港口度開屢塞，無法發揮預期功效。為解決漂砂之患， 81 年度開始擴建外廓工程，至 85 年度止先後興建北防波堤 290 公尺、南防波堤 130 公尺、南防砂堤 70 公尺、北防砂堤二支共 140 公尺及泊地浚挖等。86 年至 90 年分別完成延長北防波堤 150 公尺、航道入口南側內堤 47 公尺、北防波堤加高 263 公尺並浚挖航道；88 年繼絕加高北防波堤 113 公尺、北防波堤轉折處向海側興建防砂堤 250 公尺。初步已見防止漂砂進入港口之成效，並將原有港口航道南側之護岸改建為護岸兼碼頭 105 公尺及擴寬航道；91 年進行現有港內泊地碼頭之整建、設置港區照明、燈塔及泊地航道疏浚工程。現有碼頭 333 公尺、泊地約 1.19 公頃。漁港平面配置如圖 3.96 所示，碼頭及防波堤主要結構型式如圖 3.97 至圖 3.104 所示。

本次調查已目視檢測為主，由於漁港碼頭之設計水深多介於-3.0～-3.5m 之間，設計水深較淺且後線長度均小於 10 公尺，加上碼頭上部使用機具車輛及荷載均不大於 1 t/m^2，以現有之重力式承受之土壓力和水壓力推估與基樁式碼頭承受上部荷載及側向力，應不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，故部分碼頭雖已老舊，仍屬堪用，且碼頭靠泊船隻之噸數多為 100 公噸以下漁船或觀光遊艇（或客輪），更無大型船隻碰撞或船舶前端撞擊碼頭，造成無法使用之疑慮。圖 3.105 為調查時之漁港現況情形。

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

議碼頭可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。

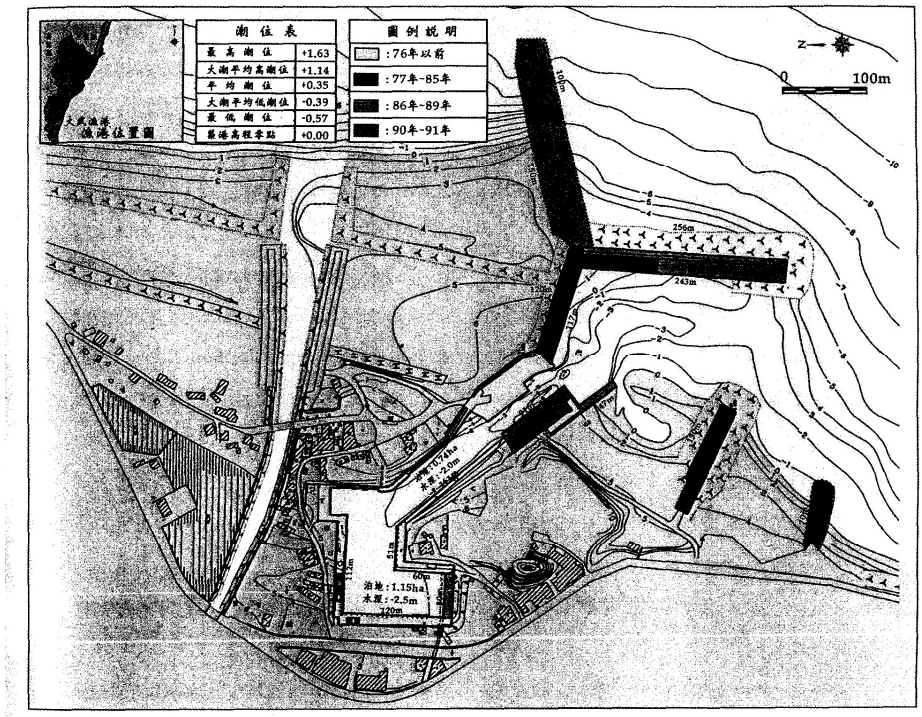


圖 3.96 大武漁港平面配置圖

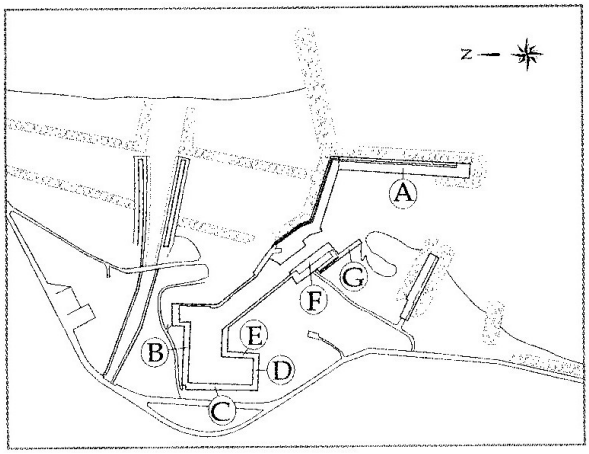


圖 3.97 大武漁港主要斷面位置圖

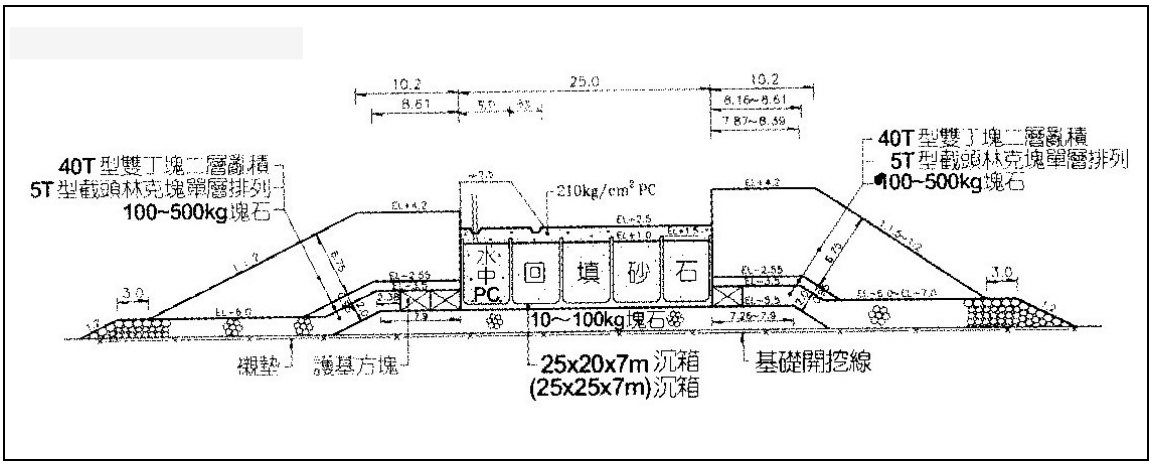


圖 3.98 大武漁港碼頭結構型式 A（南防波堤）

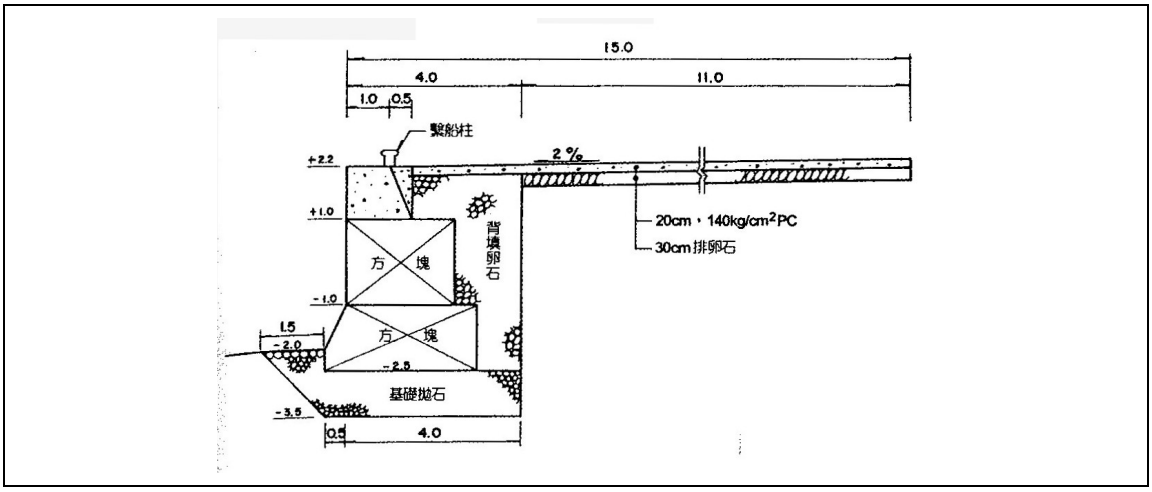


圖 3.99 大武漁港碼頭結構型式 B（南內堤）

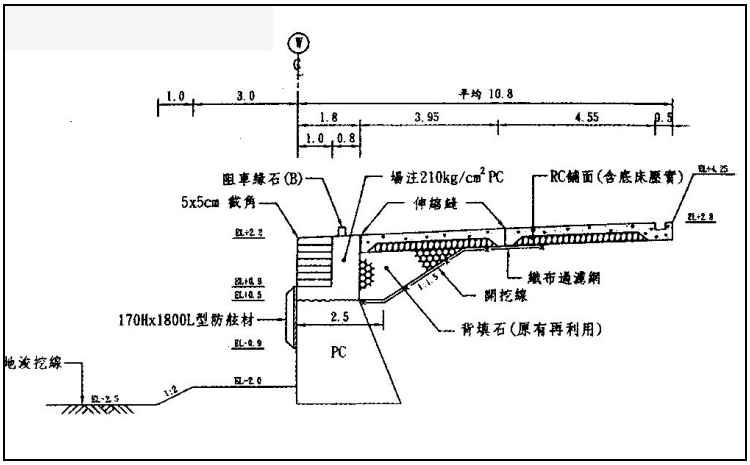


圖 3.100 大武漁港碼頭結構型式 C（南防波堤兼碼頭）

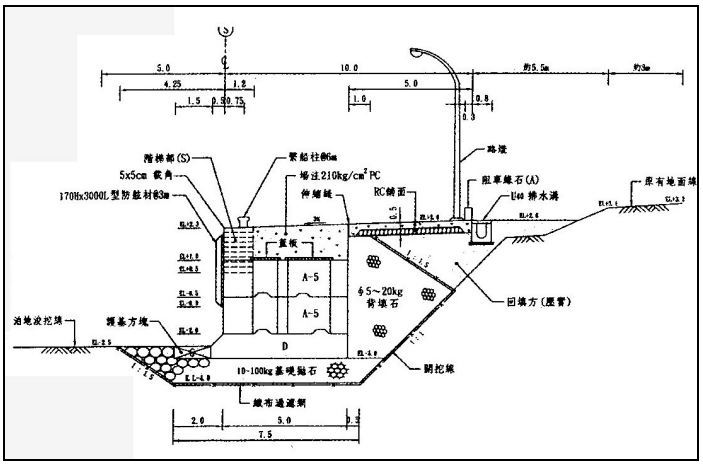


圖 3.101 大武漁港碼頭結構型式 D（交通船專用碼頭 1）

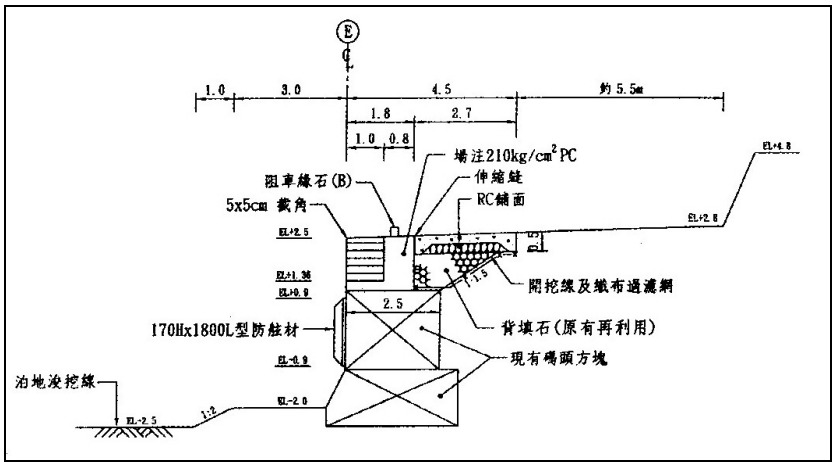


圖 3.102 大武漁港碼頭結構型式 E（交通船專用碼頭 2）

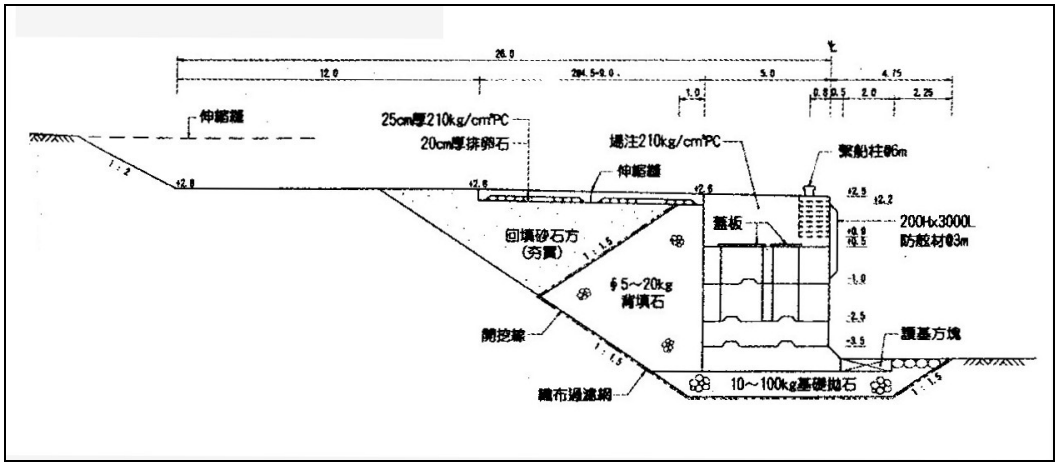


圖 3.103 大武蓮漁港碼頭結構型式 F（北內堤）

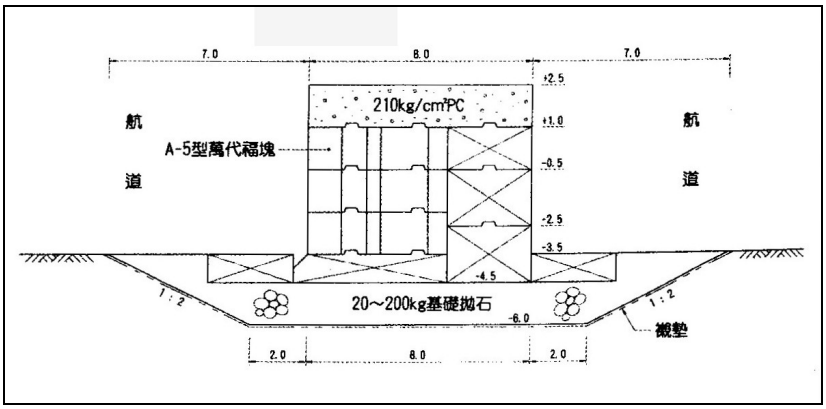


圖 3.104 大武蓮漁港碼頭結構型式 G（西碼頭）






圖 3.105 大武漁港現況情形（101.3.29）

3.4.4 基隆港碼頭

本年度配合基隆港務局實際需要，增加基隆港西 19 至西 20 號（鋼管樁棧橋式）、西 21 至西 23 號、東 4 至東 5 號碼頭(鋼板樁式)等之現況調查，碼頭鋼板樁相關背景資料列如表 3-35，檢測位置如圖 3.106 所示。

表 3-35 **基隆碼頭鋼板(管)樁背景資料**

碼頭編號	長度 (m)	水深 (m)	用途	鋼材種類	原厚度 (mm)	完工日期 (年/月)	防蝕處理
東 4	180	-9.0	客貨	Z-38 鋼板樁	凸凹：17.2 側：11.4	57/3	犧牲陽極法
東 5	170	-9.0	軍用	Z-38 鋼板樁	凸凹：17.2 側：11.4	58/4	犧牲陽極法
西 19	324	-14.5	貨櫃	棧橋式 鋼管樁	12.0	59/7	犧牲陽極法
西 20	325	-12.5	貨櫃	棧橋式 鋼管樁	12.0	67/7	犧牲陽極法
西 21	236	-10.0	貨櫃	Z-38 鋼板樁	凸凹：17.2 側：11.4	59/4	犧牲陽極法
西 22	190	-11.0	貨櫃	Z-38 鋼板樁	凸凹：17.2 側：11.4	63/8	犧牲陽極法
西 23	210	-11.0	貨櫃	Z-45 鋼板樁	凸凹：21.9 側：13.2	63/8	犧牲陽極法

圖 3.106 基隆港平面示意圖

3.4.4.1 基隆港西 19 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭於民國 59 年完工，水深 -9.50 m，碼頭全長 60 m，原為混凝土基樁碼頭，自民國 84 年起分別改用厚度 12 mm 之鋼管樁建造，寬度向海測延伸 20 公尺，設計水深均為 －12.0 公尺，鋼管樁採用陰極防蝕犧牲陽極工法。碼頭結構斷面如圖 3.107，使用鋼板樁型式及陰極防蝕如圖 3.108，以靠泊貨櫃輪船為主。碼頭現況情形示如圖 3.109。

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

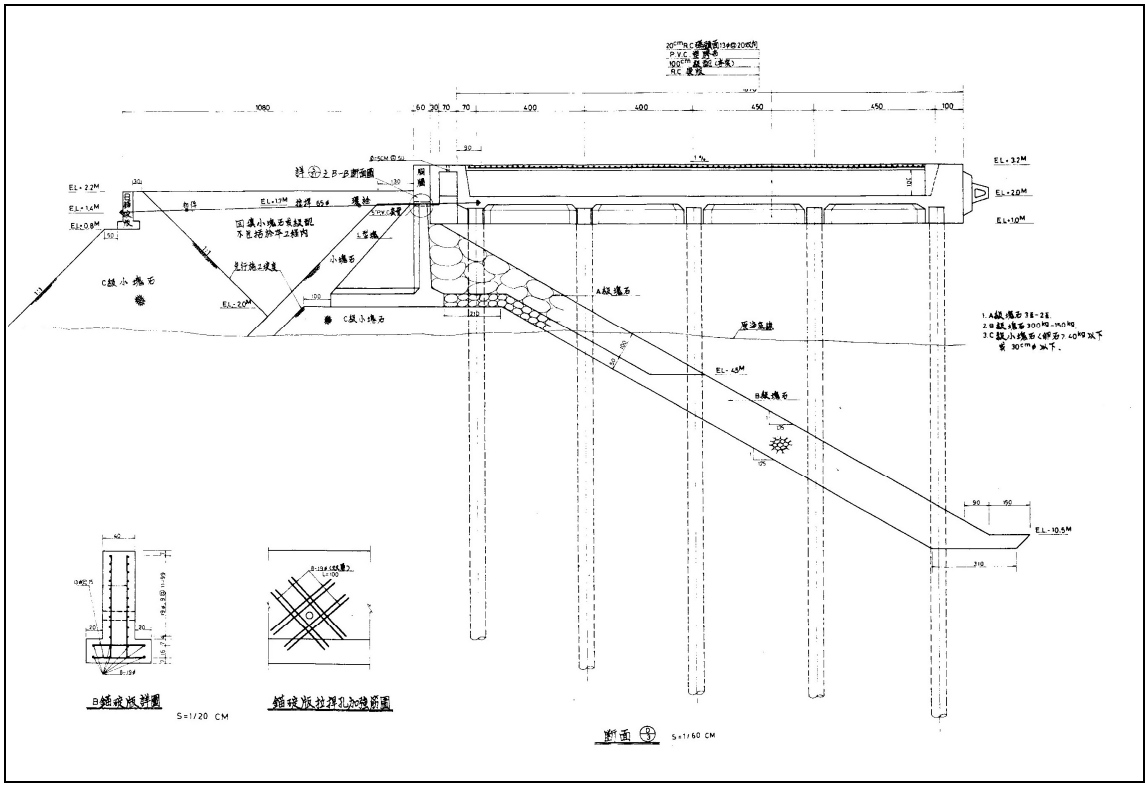
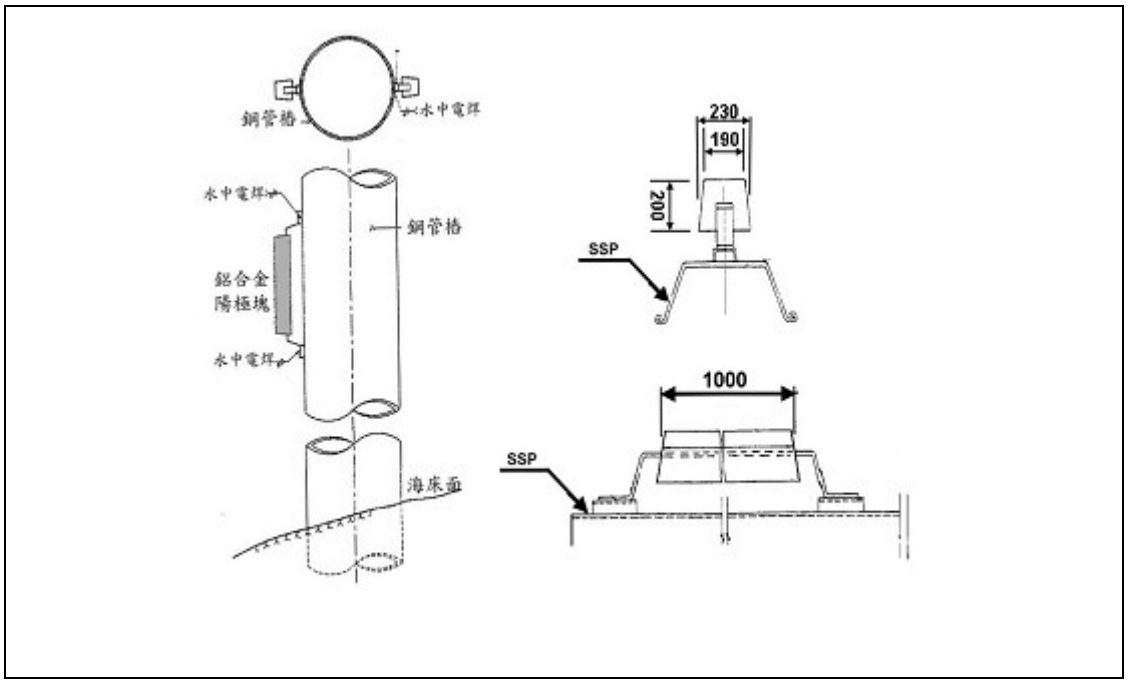


圖 3.107 基隆港西 19 至西 20 號碼頭鋼管樁型式示意圖



4.108 圖 鋼管樁斷面及陰極防蝕

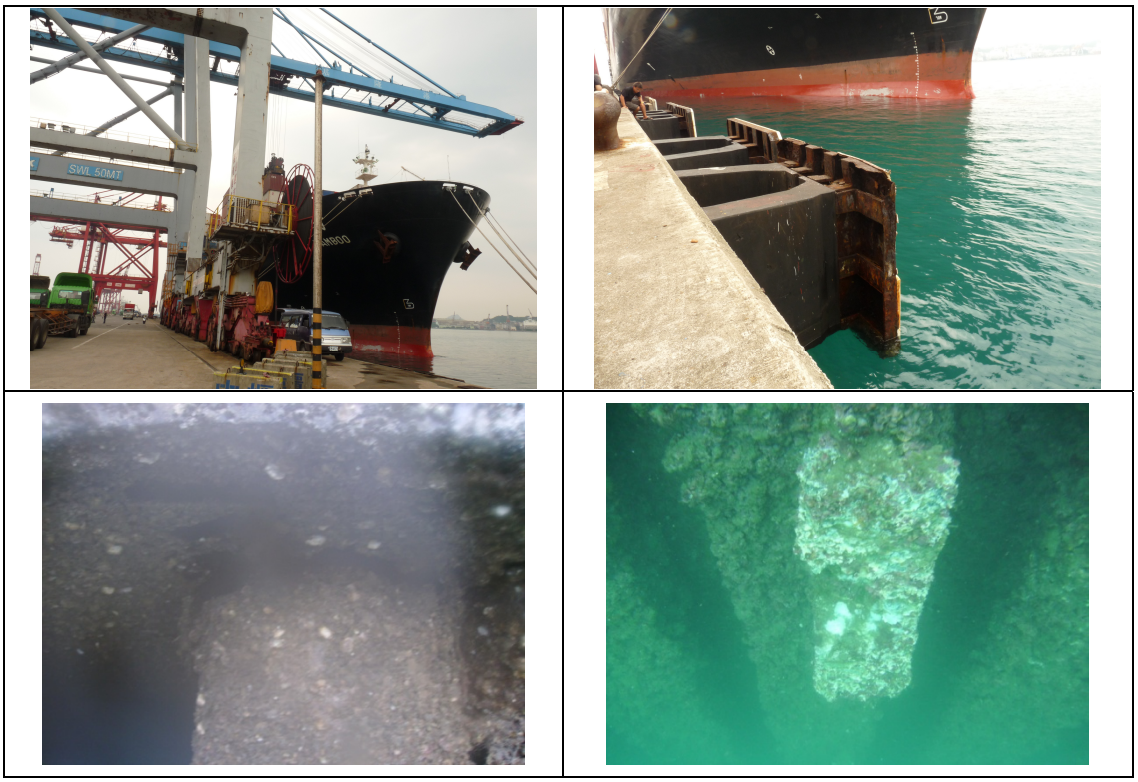


圖 3.109 基隆港西 19 號碼頭現況情形（101.5.8）

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

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

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，另有部份出現沉陷及材質劣化現象，故 D 值=2，E=1，R=3。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，但建造使用時間已超過 40 年，推估其混凝土強度應較原設計強度減少 10% 左右，故 D 值=1，E=2，R=3。

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：裸露於大氣帶中之鋼板，歷年來均有定期做塗覆保護，因此，本所港研中心於民國 79、81 及 89 年等進行三次檢測時，雖然曝露於大氣帶之鋼材，表面均有明顯且大範圍之小點斑蝕出現，腐蝕速率雖未大於規範值(0.20 ㎜/yr.)，但因使用時間已超過 50 年，必須增加檢測頻率。水下部份檢測時無腐蝕生銹、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-40 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.8，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭檢測時發現少數護舷材材料材質出現老化現象， D 值=1，E=1，R=2。

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-36、表 3-37 所示，鋼板樁平均保護電位最大值為 –912 mV，最小值為 –981 mV，均小於–850 mV（v.s. Cu/$CuSO_4$ 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-38 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 –922 mV，最小值為 –1013 mV，亦均小於–850 mV（v.s. Cu/$CuSO_4$ 參考電極），顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-39 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 50 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-40 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.3，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-36 基隆港西 19 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

<table>
<tr><td rowspan="11">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>19 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>84 年</td><td>設計水深</td><td>-14.5 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>324 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="5">☑碼頭全區　　□詳附件圖</td></tr>
<tr><td>靠 泊 船 級</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑鋼管樁　□鋼板樁　□H 型鋼　□其他：</td></tr>
<tr><td>標準電位</td><td colspan="5">☑飽和硫酸銅-850mV</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">本次檢測時間</td><td>101.5.8</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑電位計　☑尺　☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">目視電位測試端子</td><td colspan="5">☑無損壞　□有生鏽但尚未損壞 □已損壞</td></tr>
<tr><td colspan="2">電位測定平均結果</td><td colspan="5">平均電位介於-981 ～-912 mV，
☑平均電位足夠，且所有電位均足夠。
□平均電位足夠，但少部份電位不足。
□平均電位足夠，但大部份電位不足。
□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測
□第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附　　件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖　☑檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-37 基隆港西 19 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港				
碼頭編號	西 19 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.5.8
測站編號	水深（m）			平均防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-917	-925	-925	-922	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕目的
2	-930	-938	-936	-935	
3	-933	-939	-932	-935	
4	-913	-923	-923	-920	
5	-934	-938	-940	-937	
6	-945	-965	-972	-961	
7	-946	-952	-945	-948	
8	-987	-979	-968	-978	
9	-951	-963	-958	-957	
10	-951	-958	-958	-956	
11	-944	-952	-948	-948	
12	-933	-939	-933	-935	
13	-950	-936	-933	-940	
14	-938	-952	-945	-945	
15	-922	-932	-927	-927	
16	-909	-912	-914	-912	
17	-987	-979	-968	-978	
18	-982	-976	-970	-976	
19	-976	-976	-980	-977	
20	-971	-975	-979	-975	
21	-974	-977	-971	-974	
22	-976	-979	-966	-974	
23	-987	-978	-970	-978	
24	-989	-986	-967	-981	

表 3-38 基隆港西 19 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港					
碼頭編號	19 號			檢測種類	詳細檢測	
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍	
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.5.8	
陽極塊編　號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-939	-941	-946	-954	-947	-969
2	-948	-938	-928	-968	-969	-942
3	-937	-934	-932	-942	-948	-942
4	-932	-928	-941	-970	-937	-956
5	-947	-945	-944	-956	-964	-966
6	-939	-940	-948	-950	-950	-978
7	-939	-946	-958	-947	-969	-1013
8	-941	-950	-947	-947	-956	-968
9	-938	-935	-929	-943	-940	-929
10	-939	-940	-943	-947	-959	-956
11	-922	-939	-936	-926	-935	-938
12	-939	-928	-924	-942	-937	-929

表 3-39 基隆港西 19 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

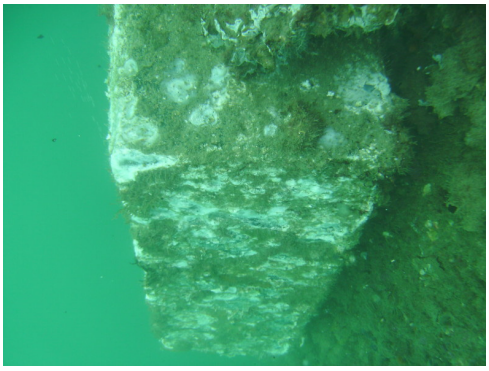
<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>19 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>84 年</td><td>設計水深</td><td>-14.5 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>324 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="3">☑碼頭全區 □詳附件圖</td><td>靠泊船級</td><td></td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑鋼管樁 □鋼板樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">鋼管樁，厚度 12 mm.</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
□有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">☑平均電位及所有電位均足夠。□平均電位足夠，但少部份不足。
□平均電位足夠，但大部份不足。□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
□第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td colspan="2">評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-40 基隆港西 19 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：19 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 59 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：324m 縱深：	水域深度	原設計：-14.5 m 目　前：-14.5 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：			
	碼頭構造型式	☑鋼管樁　□鋼板樁　□H 型鋼　□其他：			
	上次檢測	時間：90 年 7 月　單位：港研中心　區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	0
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i$ =0/24=0.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	1	1	2	4
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i$ = 4/14 =0.3			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i$ = (0+4)/(24+14) =0.1			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火、李昭明　檢測時間：民國 101 年 5 月 8 日					

3.4.4.2 基隆港西 20 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭於民國 59 年完工，水深 -9.50 m，碼頭全長 60 m，原為混凝土基樁碼頭，自民國 84 年起分別改用厚度 12 mm 之鋼管樁建造，寬度向海測延伸 20 公尺，設計水深均為 －12.0 公尺，鋼管樁採用陰極防蝕犧牲陽極工法。碼頭結構斷面及使用鋼板樁型式同西 19 號碼頭，以靠泊貨櫃輪船為主。碼頭現況情形示如圖 3.110。

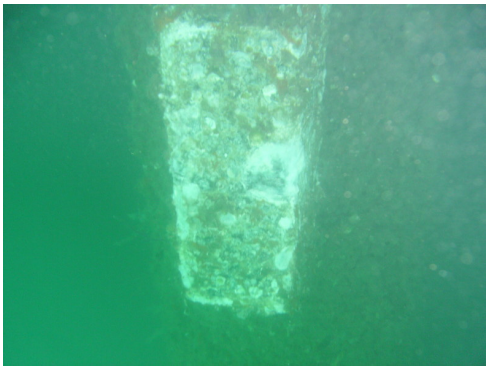


圖 3.110 基隆港西 20 號碼頭現況情形（101.5.8）

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約均小於規範值 0.20 mm/yr. ，但因碼頭使用時間已超過 30 年，建議鋼板樁宜增加檢測頻率。

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

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D

值=0，E=0，R=4。

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版檢測時未發現裂縫或沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=3。

(4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，但建造使用時間已超過 30 年，推估其混凝土強度應與原設計強度相當，故 D 值=0，E=0，R=3。

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：由潛水人員進行水下鋼板樁木是檢測，表面均未發現腐蝕生銹、開裂或穿孔破洞現象，故 D 值=0，E=0，R=2。

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-45 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.8，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-41、表 3-42 所示，鋼板樁平均保護電位最大值為 –969 mV，最小值為 –992 mV，均小於–850 mV（v.s. $Cu/CuSO_4$ 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-43 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 –916 mV，最小值為 –1013 mV，亦均小於–850 mV（v.s. $Cu/CuSO_4$ 參考電極），顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-44 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 30 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-45 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4.41 基隆港西 20 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

<table>
<tr><td rowspan="12">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>20 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>84 年</td><td>設計水深</td><td>-12.5 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>325 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="5">☑ 碼頭全區 □詳附件圖</td></tr>
<tr><td>靠 泊 船 級</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑鋼管樁 □鋼板樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>標準電位</td><td colspan="5">☑飽和硫酸銅-850mV</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">本次檢測時間</td><td>101.05.8</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑電位計 ☑尺 ☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">目視電位測試端子</td><td colspan="5">☑無損壞 □有生鏽但尚未損壞 □已損壞</td></tr>
<tr><td colspan="2">電位測定平均結果</td><td colspan="5">平均電位介於-992 ～-969 mV，
☑平均電位足夠，且所有電位均足夠。
□平均電位足夠，但少部份電位不足。
□平均電位足夠，但大部份電位不足。
□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測
□第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 ☑檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-42 基隆港西 20 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港				
碼頭編號	20 號碼頭			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.5.8
測站編號	水深（m）			平均防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-989	-986	-967	-981	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕目的。
2	-985	-983	-969	-979	
3	-987	-985	-972	-981	
4	-988	-985	-972	-982	
5	-995	-985	-967	-982	
6	-981	-974	-968	-974	
7	-971	-967	-970	-969	
8	-987	-985	-983	-985	
9	-989	-990	-987	-989	
10	-990	-990	-987	-989	
11	-999	-994	-984	-992	
12	-995	-995	-985	-992	
13	-994	-991	-995	-993	
14	-994	-990	-993	-992	
15	-989	-990	-987	-989	
16	-993	-994	-981	-989	
17	-999	-992	-982	-991	
18	-997	-992	-982	-990	
19	-991	-991	-991	-991	
20	-987	-994	-987	-989	
21	-990	-991	-982	-988	
22	-992	-995	-978	-988	
23	-999	-991	-981	-990	
24	-994	-993	-984	-990	

表 3-43 基隆港西 20 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港					
碼頭編號	20 號		檢測種類	詳細檢測		
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員	柯正龍		
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間	101.5.8		
陽極塊編　號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-959	-946	-958	-947	-969	-1013
2	-951	-950	-947	-947	-956	-968
3	-958	-935	-929	-943	-940	-929
4	-939	-940	-943	-947	-959	-956
5	-942	-939	-936	-926	-935	-938
6	-939	-928	-924	-942	-937	-929
7	-935	-938	-953	-916	-922	-921
8	-925	-936	-936	-932	-930	-937
9	-932	-943	-945	-919	-919	-929
10	-950	-955	-957	-967	-988	-984
11	-930	-934	-936	-959	-967	-963
12	-936	-955	-952	-953	-969	-965

表 3-44 基隆港西 20 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>20 號</td><td>防蝕完工日</td><td>84 年</td><td>設計水深</td><td>-12.5 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>325 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="3">☑碼頭全區 □詳附件圖</td><td>靠泊船級</td><td></td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑鋼管樁 □鋼板樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">鋼管樁，厚度 12 mm.</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
□有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">☑平均電位及所有電位均足夠。□平均電位足夠，但少部份不足。
□平均電位足夠，但大部份不足。□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
□第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td colspan="2">柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-45 基隆港西 20 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：20 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 67 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：325 m 縱深：	水域深度	原設計：-12.5 m 目　前：-12.5 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：			
	碼頭構造型式	☑鋼管樁　□鋼板樁　□H 型鋼　□其他：			
	上次檢測	無			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	3	9
	混凝土強度	0	0	3	9
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ =0/24 =0.0			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	1	1	3	6
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ = 6/14=0.4			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ =(0+6)/(24+14)= 0.2			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 5 月 8 日					

3.4.4.3 基隆港西 21 號碼頭

1.碼頭基本資料：本座碼頭於民國 59 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 236 公尺，水深 -10.0 公尺，至今已使用了 42 年，使用初期未採用防蝕措施，港研中心民國 79 年調查發現，碼頭鋼板樁在低潮為線附近有多處發生穿孔及破洞。民國 80 年施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法。碼頭結構結構型式示如圖 3.111、鋼板樁型式及安裝示意如圖 3.112、圖 3.113 所示。碼頭現況情形示如圖 3.114。

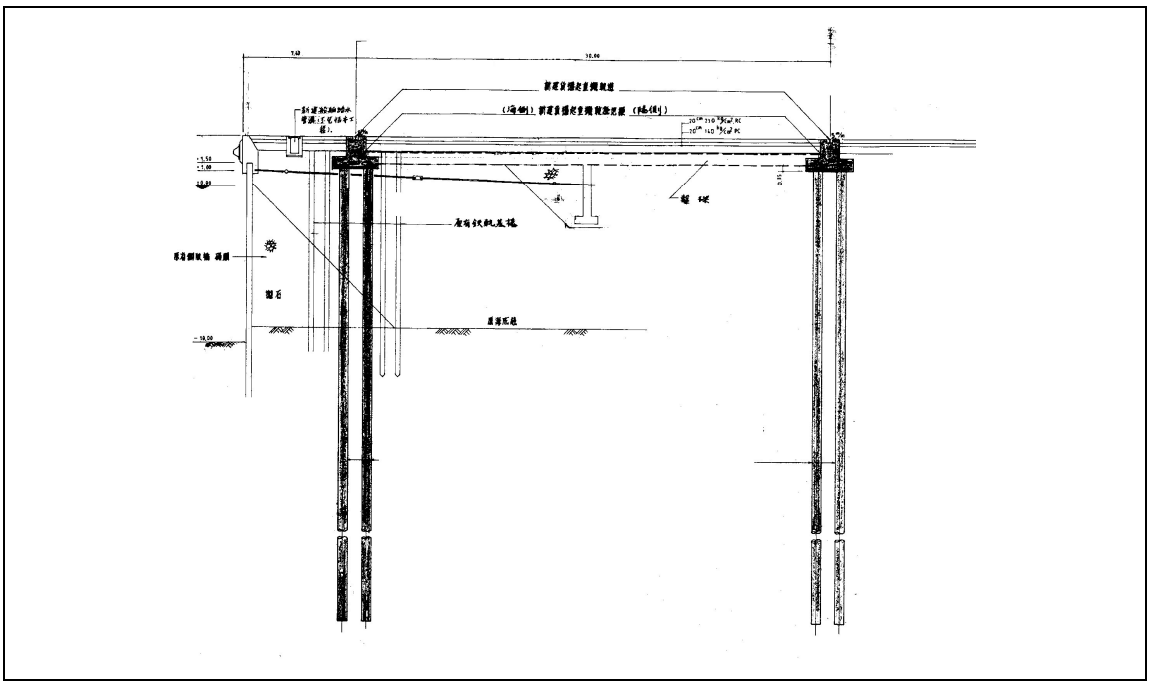


圖 3.111 基隆港西 21 號碼頭結構型式示意圖

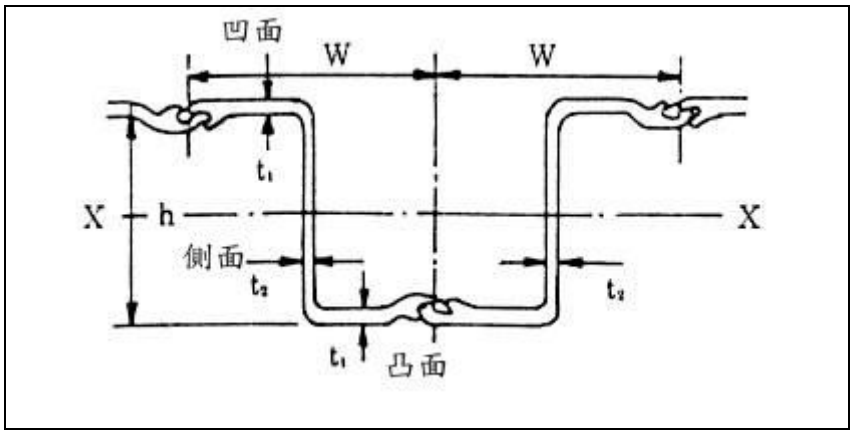


圖 3.112 Z 型鋼板樁型式示意圖

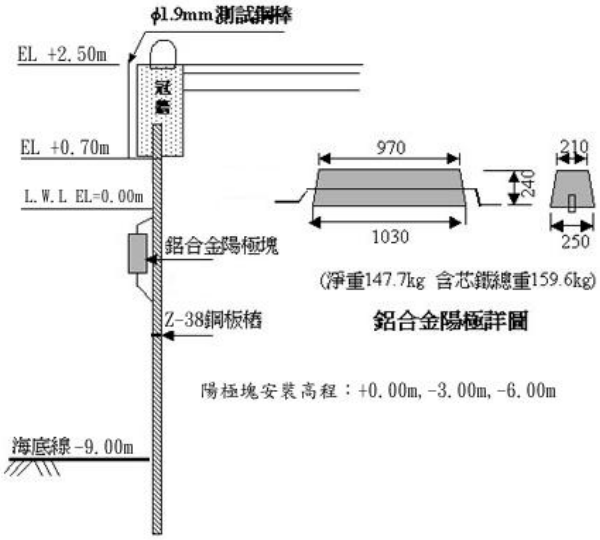


圖 3.113　陽極塊安裝示意圖

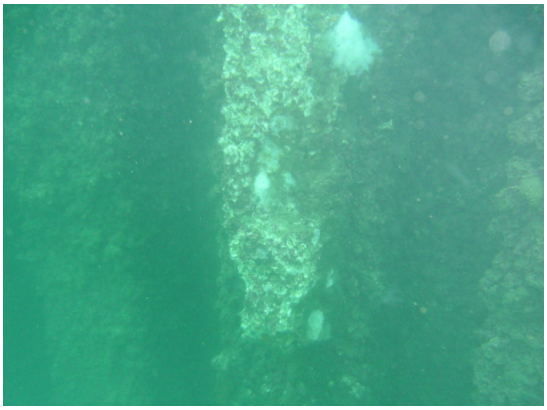


圖 3.114 基隆港西 21 號碼頭現況情形示（101.5.9）

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約均小於規範值 0.20 mm/yr. ，但因檢測時碼頭使用時間已超過 30 年，建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲陽極塊方式之陰極防蝕系統）。

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

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

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，另有部份出現沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

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

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-50 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.8，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-46、表 3-47 所示，鋼板樁平均保護電位最大值為 –923 mV，最小值為 –1011 mV，均小於–850 mV（v.s. $Cu/CuSO_4$ 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-48 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 –900 mV，最小值為 –1036 mV，亦均小於–850 mV（v.s. $Cu/CuSO_4$ 參考電極），顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-49 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 40 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-50 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-46 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

<table>
<tr><td rowspan="11">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>21 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>80 年</td><td>設計水深</td><td>-10.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>236 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="5">☑碼頭全區　　□詳附件圖</td></tr>
<tr><td>靠 泊 船 級</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：</td></tr>
<tr><td>標準電位</td><td colspan="5">☑飽和硫酸銅-850mV</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">本次檢測時間</td><td>100.5.18</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑電位計　☑尺　☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">目視電位測試端子</td><td colspan="5">☑無損壞　□有生鏽但尚未損壞 □已損壞</td></tr>
<tr><td colspan="2">電位測定平均結果</td><td colspan="5">平均電位介於-1036 ～-900 mV，
☑平均電位足夠，且所有電位均足夠。
□平均電位足夠，但少部份電位不足。
□平均電位足夠，但大部份電位不足。
□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測
□第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附　　件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖　☑檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-47 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港				
碼頭編號	21 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.5.9
測站編號	水深（m）			平均防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-913	-960	-903	-925	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕目的
2	-909	-982	-894	-928	
3	-934	-947	-889	-923	
4	-917	-1002	-895	-938	
5	-938	-954	-900	-931	
6	-925	-1028	-906	-953	
7	-938	-961	-910	-936	
8	-975	-1052	-1001	-1009	
9	-975	-1054	-1003	-1011	
10	-976	-1042	-1008	-1009	
11	-970	-1044	-1007	-1007	
12	-965	-1037	-994	-999	
13	-958	-1045	-991	-998	
14	-956	-1035	-986	-992	
15	-953	-1008	-982	-981	
16	-952	-1003	-986	-980	
17	-948	-995	-978	-974	
18	-941	-1018	-993	-984	
19	-936	-1010	-996	-981	
20	-933	-991	-977	-967	
21	-924	-978	-976	-959	
22	-921	-975	-975	-957	
23	-920	-970	-978	-956	
24	-924	-956	-989	-956	

表 3-48 基隆港西 21 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港					
碼頭編號	21 號			檢測種類	詳細檢測	
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍	
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.5.9	
陽極塊編　號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-900	-906	-909	-913	-914	-953
2	-933	-956	-944	-951	-1006	-1036
3	-963	-977	-965	-970	-1003	-993
4	-950	-960	-970	-952	-1002	-983
5	-977	-980	-981	-996	-989	-993
6	-969	-981	-961	-999	-990	-994
7	-927	-928	-927	-957	-932	-932
8	-956	-945	-946	-963	-950	-956
9	-934	-937	-937	-940	-941	-952
10	-934	-932	-940	-962	-950	-950
11	-946	-958	-952	-948	-1010	-1000
12	-955	-953	-941	-973	-972	-952

表 3-49 基隆港西 21 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>21 號</td><td>防蝕完工日</td><td>80 年</td><td>設計水深</td><td>-10.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>236 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="3">☑碼頭全區 □詳附件圖</td><td>靠泊船級</td><td></td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁 □鋼管樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">Z-38 型鋼板樁，凹、凸面為 17.2mm，側面為 11.4mm</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
□有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">☑平均電位及所有電位均足夠。□平均電位足夠，但少部份不足。
□平均電位足夠，但大部份不足。□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
□第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td colspan="2">柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-50 基隆港西 21 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：21 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 60 年		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：236 m 縱深：	水域深度	原設計：-10.0 m 目　前：-10.0 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：			
	碼頭構造型式	☑Z-38 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：			
	上次檢測	時間：90 年 7 月　單位：港研中心　區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	1	3	6
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ =6/24=0.3			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	1	2	3	9
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ = 9/14=0.6			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ = (6+9)/(24+14)=0.4			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火、李昭明　檢測時間：民國 101 年 5 月 9 日					

3.4.4.4 基隆港西 22 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭於民國 63 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 190 公尺，水深-11.0 公尺，至今已使用了 38 年，使用初期未採用防蝕措施，民國 79 年港研所調查發現，碼頭鋼板樁在低潮為線附近有多處發生穿孔及破洞。民國 80 年施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法。碼頭結構斷面如圖 3.115 所示。碼頭現況情形示如圖 3.116。

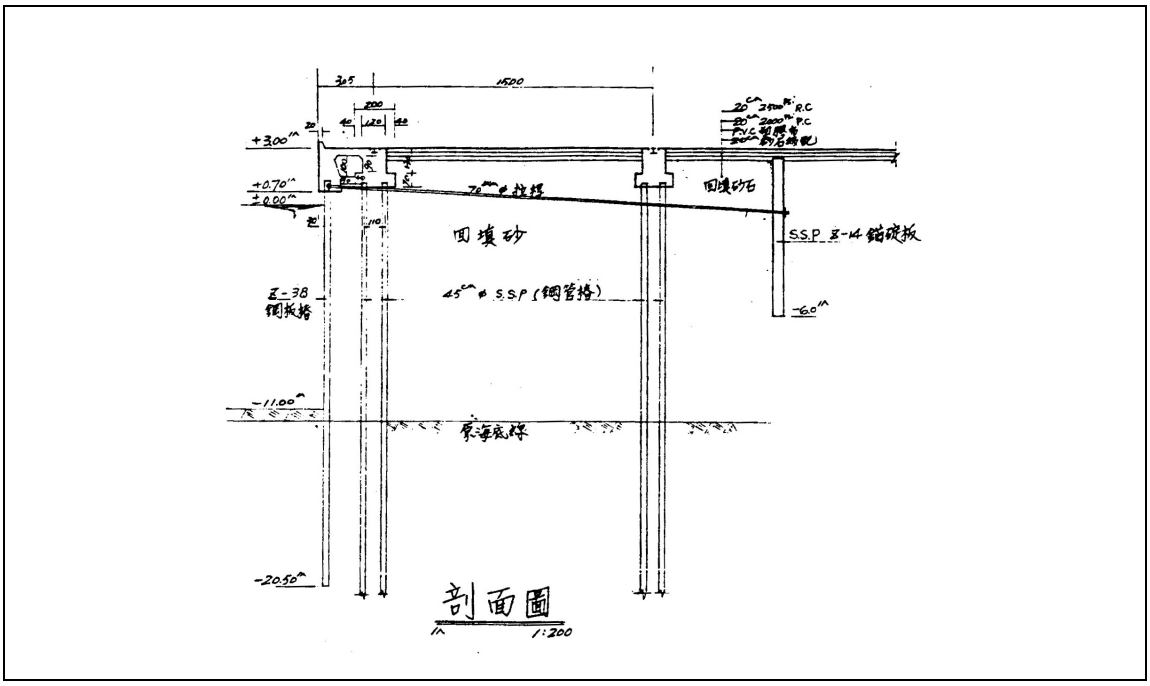


圖 3.115 基隆港西 22 號結構型式示意圖

圖 3.116 基隆港西 22 號碼頭現況情形示（101.5.9）

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約均小於規範值 0.20 mm/yr. ，但因檢測時碼頭使用時間已約 30 年，建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲陽極塊方式之陰極防蝕系統）。

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

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

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

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

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-52 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.3，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測，因岸壁導線桿均已脫落遺失，致無法進行量測。

c. 綜合判斷

由水下目視檢測結果如表 3-51 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 39 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-52 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-51 基隆港西 22 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>22 號</td><td>防蝕完工日</td><td>94 年</td><td>設計水深</td><td>-11.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>190 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="3">☑碼頭全區 □詳附件圖</td><td>靠泊船級</td><td></td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁 □鋼管樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">Z-25 型鋼板樁，凹、凸面為 15.2mm，側面為 10.2mm</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
□有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">**因岸壁導線桿均已脫落遺失，致無法進行量測。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級:安全無虞,無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
□第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-52 基隆港西 22 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：22 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 59 年 4 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：190m 縱深：	水域深度	原設計：-11.0 m 目　前：-11.0 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：			
	碼頭構造型式	☑Z-38 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：			
	上次檢測	時間：90 年 7 月　單位：港研中心　區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	1	3	6
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P} R_i$ = 6/24= 0.3			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	1	1	3	6
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A} R_i$ = 6/14=0.4			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^{N}(D_i + E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N} R_i$ = (6+6)/(24+14)=0.3			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火、李昭明　檢測時間：民國 101 年 5 月 9 日					

3.4.4.5 基隆港西 23 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭於民國 63 年完工，係以 Z-45 之鋼板樁建造，全長約 210 公尺，水深 -10.0 公尺，至今已使用了 38 年，使用初期未採用防蝕措施，港研中心民國 79 年調查發現，碼頭鋼板樁在低潮為線附近有多處發生穿孔及破洞。民國 80 年施作陰極防蝕工程，採犧牲陽極法。碼頭結構型式如圖 3.117 所示。碼頭現況情形示如圖 3.118。

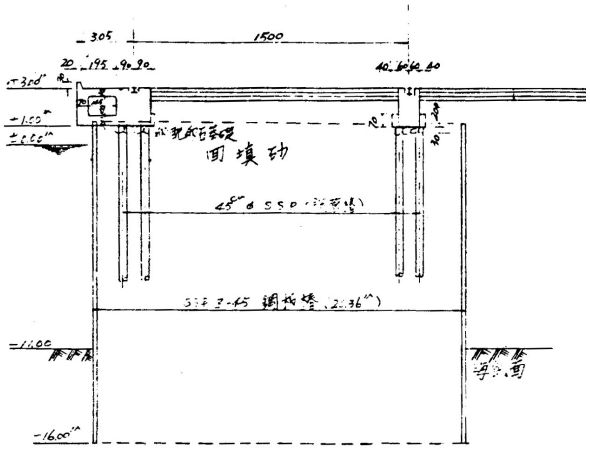


圖 3.117 基隆港西 23 號碼頭結構型式示意圖

圖 3.118 基隆港西 23 號碼頭現況情形（101.5.9）

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測整體正常，鋼板樁外觀無明顯損壞，腐蝕速率約均小於規範值 0.20 mm/yr. ，但因檢測時碼頭使用時間已約 25 年，建議鋼板樁宜安裝防蝕系統及增加檢測頻率（民國 94 年已安裝犧牲陽極塊方式之陰極防蝕系統）。

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

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

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

(3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

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

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

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 3-57 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4.非主結構體檢測

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

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

(3)擋車墻：本座碼頭擋車墻未發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-53、表 3-54 所示，鋼板樁平均保護電位最大值為 –923 mV，最小值為 –1000 mV，均小於–850 mV（v.s. Cu/$CuSO_4$ 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-55 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 –912 mV，最小值為 –978 mV，亦均小於–850 mV（v.s. Cu/$CuSO_4$ 參考電極），顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-56 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 34 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-57 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 3-53 基隆港西 23 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

<table>
<tr><td rowspan="11">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>23 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>94 年</td><td>設計水深</td><td>-11.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>210 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="5">☑ 碼頭全區 □詳附件圖</td></tr>
<tr><td>靠 泊 船 級</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-45 型鋼板樁 □鋼管樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>標準電位</td><td colspan="5">☑飽和硫酸銅-850mV</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">本次檢測時間</td><td>101.5.9</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑電位計 ☑尺 ☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">目視電位測試端子</td><td colspan="5">☑無損壞 □有生鏽但尚未損壞 □已損壞</td></tr>
<tr><td colspan="2">電位測定平均結果</td><td colspan="5">平均電位介於-1000 ～-923 mV，
☑平均電位足夠，且所有電位均足夠。
□平均電位足夠，但少部份電位不足。
□平均電位足夠，但大部份電位不足。
□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測
□第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 ☑檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-54 基隆港西 23 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港				
碼頭編號	23 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.5.9
測站編號	水深（m）			平均防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-955	-1027	-969	-984	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕目的
2	-947	-1004	-969	-973	
3	-952	-1019	-965	-979	
4	-951	-1005	-972	-976	
5	-956	-1051	-974	-994	
6	-958	-1052	-990	-1000	
7	-958	-1033	-984	-992	
8	-947	-1011	-985	-981	
9	-941	-1018	-993	-984	
10	-936	-1010	-996	-981	
11	-933	-991	-977	-967	
12	-924	-978	-976	-959	
13	-921	-975	-975	-957	
14	-920	-970	-978	-956	
15	-924	-956	-989	-956	
16	-938	-957	-943	-946	
17	-935	-971	-933	-946	
18	-1035	-975	-928	-979	
19	-1031	-995	-932	-986	
20	-927	-981	-929	-946	
21	-913	-990	-908	-937	
22	-913	-960	-903	-925	
23	-909	-982	-894	-928	
24	-934	-947	-889	-923	

表 3-55 基隆港西 23 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港					
碼頭編號	23 號		檢測種類	詳細檢測		
檢測人員	李昭明、何木火		記錄人員	柯正龍		
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極		檢測時間	100 年 5 月 18 日		
陽極塊編　號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-912	-913	-931	-929	-922	-947
2	-941	-937	-921	-948	-950	-931
3	-951	-952	-948	-959	-959	-964
4	-926	-935	-944	-928	-941	-961
5	-955	-949	-940	-965	-960	-949
6	-954	-956	-962	-971	-978	-978
7	-940	-940	-950	-965	-948	-971
8	-945	-934	-939	-977	-941	-969
9	-948	-944	-947	-974	-955	-965
10	-944	-943	-951	-955	-949	-963
11	-956	-953	-942	-963	-970	-945
12	-945	-945	-938	-945	-955	-948

表 3-56 基隆港西 23 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>23 號</td><td>防蝕完工日</td><td>94 年</td><td>設計水深</td><td>-11.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>210 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="3">☑碼頭全區 □詳附件圖</td><td>靠泊船級</td><td></td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">☑貨櫃 □化學(油)品 □散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-45 型鋼板樁 □鋼管樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">Z-45 型鋼板樁，凹、凸面為 21.9mm，側面為 13.2mm</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
□有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">☑平均電位及所有電位均足夠。□平均電位足夠，但少部份不足。
□平均電位足夠，但大部份不足。□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">☑第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
□第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td colspan="2">柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-57 基隆港西 23 號碼頭頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：23 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 63 年 8 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.2 m	長度：210m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-11.0 m 目　前：-11.0 m	
	靠泊船隻屬性	☑貨櫃　□化學(油)品　□散雜貨　□其他：			
	碼頭構造型式	☑Z-45 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：			
	上次檢測	時間：90 年 7 月　單位：港研中心　區分：詳細檢測 結果：鋼板樁腐蝕速率仍小於規範值，但建議安裝防蝕設施及增加檢測頻率			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	0	0	4	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	2	3	9
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	0	0	2	0
	岸肩伸縮縫	0	0	3	3
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i$ =9/24=0.4			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	0	0	2	0
	繫船柱	0	0	3	0
	擋車墻	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i=0$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i$ = (9+0)/(24+14)=0.3			
檢測單位：港研中心　檢測人：柯正龍、何木火、李昭明　檢測時間：民國 101 年 5 月 9 日					

3.4.4.6 基隆港東 4 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭於民國 57 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 180 公尺，設計水深 -9.00 公尺，至今已使用了 43 年，在民國 69 年完成陰極防蝕工程，採犧牲陽極法，民國 82 年因接近防蝕設計年限且陽極塊大都消耗殆盡，因此重新加裝陰極防蝕。碼頭結構型式示如圖 3.119。碼頭現況情形示如圖 3.120，鋼板樁破洞情形及其位置如圖 3.121 與表 3-58 所示。

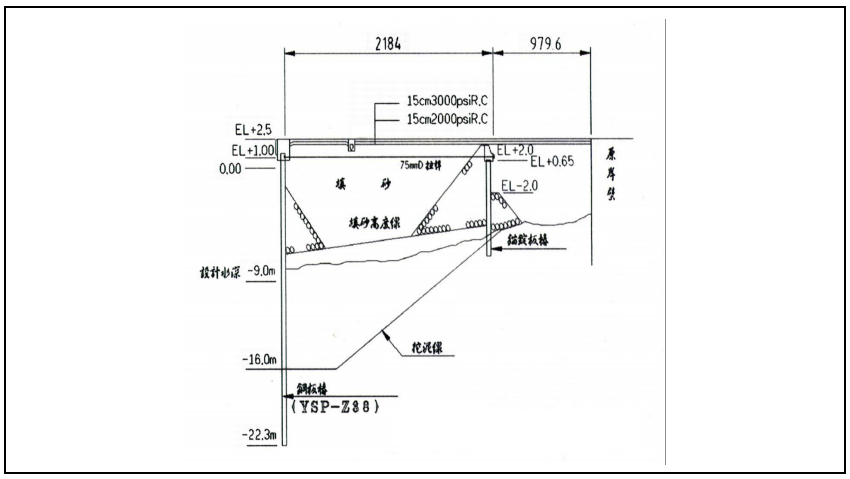


圖 3.119 基隆港東 4 號碼頭結構型式

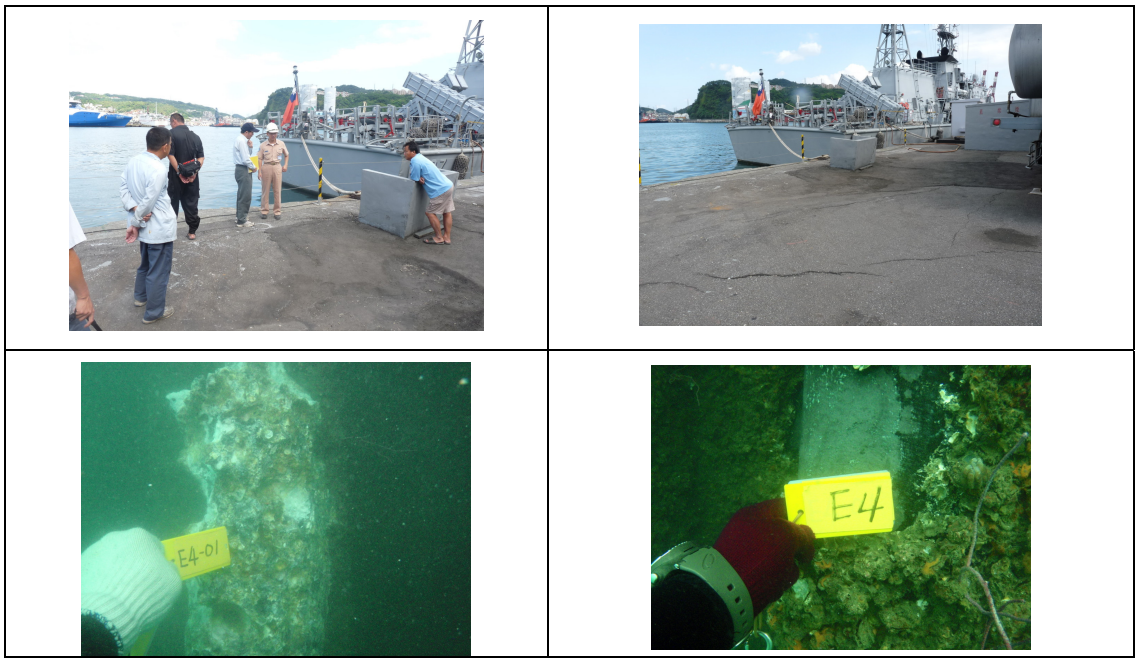


圖 3.120 基隆港東 4 號碼頭現況情形（101.10.4）

圖 3.121 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁破洞掏空情形（101.10.4）

表 3-58 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁破洞位置

調查日期：101 年 10 月 4 日

破洞距起點位置（m）	高程（m）	破洞大小高×寬（cm）	破洞深度（m）	板樁面
15.5	-0.20	30×15	50	側面
19	-0.40	22×20	＞300	側面
20	-0.40	20×3	50	側面
23.5	-0.30	50×20	200	側面
29.5	-0.25	30×20	100	側面
31	-0.25	6×10	25	側面
33	-0.30	15×10	60	側面
35.5	-0.50	20×10	30	側面
38	-0.40	25×15	＞300	側面
40	-0.30	30×15	40	側面
42	-0.35	20×10	60	側面
54	-0.25	40×10	50	側面
56	-0.30	35×10	30	側面
57	-0.25	50×20	60	側面
57.8	-0.30	20×15	280	側面
58.6	-0.20	30×17	250	側面
60.6	-0.30	6×3	15	側面
60.8	-0.25	8×5	10	側面
61.4	-0.30	15×5	50	側面
62.4	-0.25	22×6	50	側面
62.8	-0.30	10×6	10	側面
64.5	-0.25	5×3	10	側面
65.5	-0.30	40×15	260	側面

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測發現部份鋼板樁外觀腐蝕破洞，腐蝕速率少數大於小於規範值 0.20 mm/yr. ，又因檢測時碼頭使用時間已超過 30 年，建議應增加檢測頻率。

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

(1)岸壁體檢測：岸壁本體雖未發現明顯位移，但少數範圍之混凝土以出現化劣現象，功能尚稱完整，故 D 值=1，E=3，R=4。

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

(3)面版檢測：碼頭面版部份有沉陷積水現象，惟情況尚不嚴重，故 D 值=1，E=3，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，岸壁鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：鋼板樁均位於水下，經潛水人員現地目視檢測，發現多處腐蝕與破洞並有掏空情形，故 D 值=3，E=2，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：岸壁岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表

3-63 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.6，小於 2.0 之值，顯示結構體尚屬安全無虞，雖可不進行細部評估，但建議儘速修復鋼板樁。

4.非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：部份護舷材輕微劣損，功能尚稱完整，初步檢測評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：繫船柱柱體輕微腐蝕，初步檢測評估結果為：D 值=1，E=1，R=3。

(3)擋車墻：本座碼頭少數擋車墻發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-59、表 3-60 所示，鋼板樁平均

保護電位最大值為 –823 mV，最小值為 –911 mV，少數大於–850 mV（v.s. $Cu/CuSO_4$ 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-61 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 –905 mV，最小值為 –968 mV，均小於–850 mV（v.s. $Cu/CuSO_4$ 參考電極），顯示防蝕效能部份未達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-62 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 43 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-63 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.4，小於 2.0 之值，雖顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作，但建議儘速修復鋼板樁腐蝕破洞及掏空現象，避免鋼板樁加速破壞。。

表 3-59 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

<table>
<tr><td rowspan="11">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>東 4 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>92 年</td><td>設計水深</td><td>-9.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>180m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="5">☑碼頭全區　　□詳附件圖</td></tr>
<tr><td>靠 泊 船 級</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="5">□貨櫃　□化學(油)品　☑散雜貨　□其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：</td></tr>
<tr><td>標準電位</td><td colspan="5">☑飽和硫酸銅-850mV</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">本次檢測時間</td><td>101 年 10 月 4 日</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑電位計　☑尺　☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">目視電位測試端子</td><td colspan="5">☑無損壞　□有生鏽但尚未損壞 □已損壞</td></tr>
<tr><td colspan="2">電位測定平均結果</td><td colspan="5">平均電位介於 -911 ～ -823 mV，
☑平均電位足夠，且所有電位均足夠。
□平均電位足夠，但少部份電位不足。
□平均電位足夠，但大部份電位不足。
□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">□第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
☑第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測
□第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附　　件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖　☑檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-60 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港				
碼頭編號	東 4 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101 年 10 月 4 日
測站編號	水深（m）			平均防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	-835	-871	-833	-846	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕目的
2	-935	-875	-828	-879	
3	-931	-895	-832	-886	
4	-827	-881	-829	-846	
5	-813	-890	-808	-837	
6	-813	-860	-803	-825	
7	-809	-882	-794	-828	
8	-834	-847	-789	-823	
9	-817	-902	-795	-838	
10	-838	-854	-800	-831	
11	-825	-928	-806	-853	
12	-838	-861	-810	-836	
13	-834	-871	-813	-839	
14	-847	-871	-815	-844	
15	-875	-952	-901	-909	
16	-875	-954	-903	-911	
17	-876	-942	-908	-909	
18	-870	-944	-907	-907	
19	-865	-937	-894	-899	
20	-858	-945	-891	-898	
21	-856	-935	-886	-892	
22	-853	-908	-882	-881	
23	-852	-903	-886	-880	
24	-848	-895	-878	-874	

表 3-61 基隆港東 4 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港					
碼頭編號	東 4 號			檢測種類	詳細檢測	
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍	
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101 年 10 月 4 日	
陽極塊編　號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-941	-950	-947	-947	-956	-968
2	-938	-935	-929	-943	-940	-929
3	-939	-940	-943	-947	-959	-956
4	-922	-939	-936	-926	-935	-938
5	-939	-928	-924	-942	-937	-929
6	-905	-908	-913	-916	-922	-921
7	-913	-913	-928	-932	-930	-937
8	-912	-913	-913	-919	-919	-929
9	-926	-925	-917	-967	-938	-924
10	-919	-924	-916	-919	-927	-933
11	-910	-915	-922	-923	-929	-929
12	-921	-920	-915	-926	-924	-927

表 3-62 基隆港東 4 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>東 4 號</td><td>防蝕完工日</td><td>92 年</td><td>設計水深</td><td>-9.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>180 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="2">☑綱板樁岸壁全區 □詳附件圖</td><td colspan="2">靠泊船級</td><td>無</td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">□貨櫃 □化學(油)品 ☑散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁 □鋼管樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">Z-38 型鋼板樁，凹、凸面為 17.2mm，側面為 11.4mm</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">□無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
☑有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">□平均電位及所有電位均足夠。☑平均電位足夠，但少部份不足。
□平均電位足夠，但大部份不足。□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">□第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
☑第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-63 基隆港東 4 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：東 4 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 57 年 3 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：180 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	□貨櫃　□化學(油)品　☑散雜貨　□其他：			
	碼頭構造型式	☑Z-38 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：			
	上次檢測	時間：　　單位：　　區分：　　結果：			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構體破壞檢測	碼頭岸壁	1	3	4	16
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	3	3	12
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	3	2	2	10
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i$ =38/24=1.6			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	1	2	2	6
	繫船柱	1	1	3	6
	擋車墻	1	1	2	4
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i$ = 16/14=1.1			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i$ = (38+16)/(24+14)=1.4			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 101 年 10 月 4 日					

3.4.4.7 基隆港東 5 號碼頭

1. 碼頭基本資料：碼頭於民國 58 年完工，係以 Z-38 之鋼板樁建造，全長約 260 公尺，設計水深－9.00 公尺，至今已使用了 32 年，由港務局提供資料顯示，並無採用防蝕工法，但實際調查發現，靠近東 4 碼頭約 120 公尺範圍之鋼板樁，有安裝犧牲陽極，研判應為民國 82 年完成。碼頭結構型式示如圖 3.122，碼頭現況情形示如圖 3.123，鋼板樁破洞掏空情形及位置，示如圖 3.124、表 3-64。

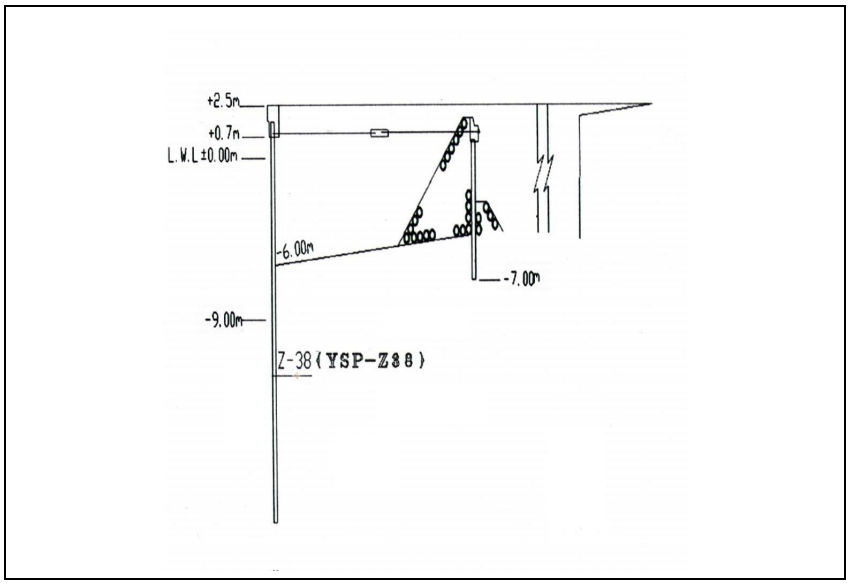


圖 3.122 基隆港東 5 號碼頭結構型式示意圖

圖 3.123 基隆港東 5 號碼頭現況情形

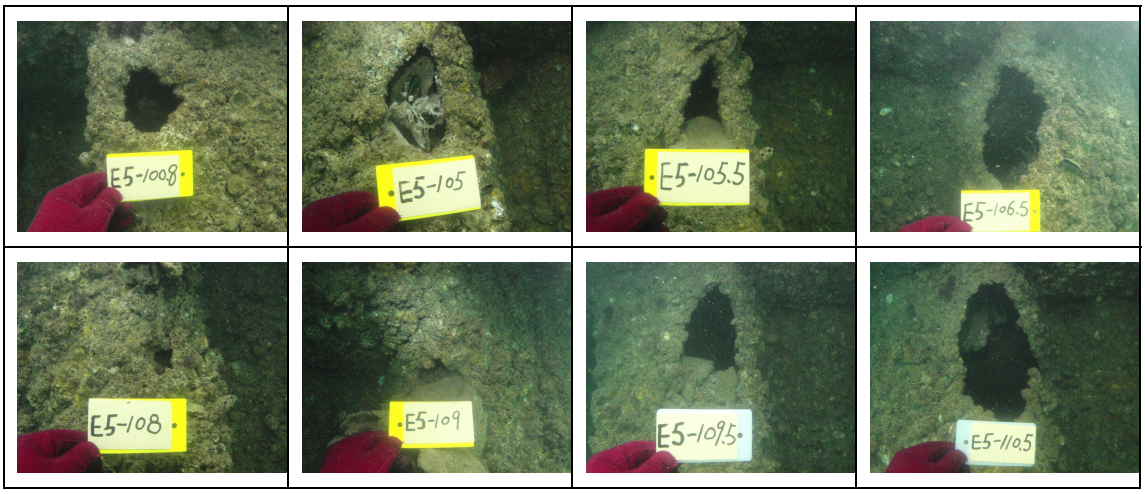


圖 3.124 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁破洞掏空情形（101.10.5）

表 3-64 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁破洞位置

調查日期：101 年 10 月 5 日

破洞距起點位置（m）	高程（m）	破洞大小高×寬（cm）	破洞深度（cm）	板樁面
50	-0.25	5x4	25	側面
60	-0.25	9x6	10	側面
77	-0.30	17x20	35	側面
98	-0.50	12x5	15	側面
98	-0.35	7x2	10	凸面
98.5	-0.25	20x13	45	側面
99	-0.25	10x3	20	側面
99.5	-1.00	8x8	20	側面
100.8	-0.50	10x10	50	側面
105	-0.25	16x10	50	側面
105.5	-0.25	20x19	60	側面
106.5	-0.30	30x20	90	側面
108	-0.25	7x4	60	側面
109	-0.30	5x10	10	側面
109.5	-0.30	30x12	50	側面
110.5	-0.25	30x30	60	側面

2.過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：上次檢測時間：民國 90 年，檢測結果：目視檢測發現部份鋼板樁外觀腐蝕破洞，腐蝕速率少數大於小於規範值 0.20 mm/yr. ，又因檢測時碼頭使用時間已超過 30 年，建議應增加檢測頻率。

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

(1)岸壁體檢測：岸壁本體雖未發現明顯位移，但少數範圍之混凝土以出現化劣現象，功能尚稱完整，故 D 值=1，E=2，R=4。

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

(3)面版檢測：碼頭面版部份有沉陷積水現象，惟情況尚不嚴重，故 D 值=1，E=1，R=3。

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

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

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，岸壁鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故雖未針對鋼筋腐蝕探測進行評估，但推估 D 值=0，E=0，R=3。

(7)鋼板腐蝕檢測（腐蝕程度）：鋼板樁均位於水下，經潛水人員現地目視檢測，發現多處腐蝕與破洞並有掏空情形，故 D 值=3，E=2，R=2。

(8)岸肩伸縮縫：岸壁岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=3。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表

3-69 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.2，小於 2.0 之值，顯示結構體尚屬安全無虞，雖可不進行細部評估，但建議儘速修復鋼板樁。

4.非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：部份護舷材輕微劣損，功能尚稱完整，初步檢測評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：繫船柱柱體輕微腐蝕，初步檢測評估結果為：D 值=1，E=1，R=3。

(3)擋車墻：本座碼頭少數擋車墻發現損壞，初步檢測評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

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

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

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

(7)陰極防蝕效能檢測：

a. 鋼板樁及陽極塊外觀目視檢測

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

b. 鋼板樁保護電位檢測

本座碼頭鋼板樁保護電位量測位置，共選取 24 處，鋼板樁防蝕電位評估結果及檢測紀錄如表 3-65、表 3-66 所示，鋼板樁平均

保護電位最大值為 –859 mV，最小值為 –930 mV，均小於–850 mV（v.s. Cu/$CuSO_4$ 參考電極），犧牲陽極防蝕電位檢測共選取 12 支檢測，結果如表 3-67 所示，犧牲陽極防蝕電位最大值為 –919 mV，最小值為 –1016 mV，亦均小於–850 mV（v.s. Cu/$CuSO_4$ 參考電極），顯示防蝕效能已達到保護鋼板樁之目的。

c. 綜合判斷

綜合水下目視及陰極防蝕效能檢測結果如表 3-68 所示，本座碼頭於目前營運狀狀下，其鋼板樁安全評估應屬安全無虞，惟本次檢測碼頭使用時間已約 43 年，建議鋼板樁宜定期進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 3-69 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.1，小於 2.0 之值，雖顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作，但建議儘速修復鋼板樁腐蝕破洞及掏空現象，避免鋼板樁加速破壞。

表 3-65 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測表

<table>
<tr><td rowspan="12">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>東 5 號</td><td>防蝕完工日期</td><td>92 年</td><td>設計水深</td><td>-9.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>170 m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="5">☑碼頭全區　　□詳附件圖</td></tr>
<tr><td>靠 泊 船 級</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>靠泊船隻屬性</td><td colspan="5">□貨櫃　□化學(油)品　☑散雜貨　□其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁　□鋼管樁　□H 型鋼　□其他：</td></tr>
<tr><td>標準電位</td><td colspan="5">☑飽和硫酸銅-850mV</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">本次檢測時間</td><td>101.10.05</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑電位計　☑尺　☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">目視電位測試端子</td><td colspan="5">☑無損壞　□有生鏽但尚未損壞 □已損壞</td></tr>
<tr><td colspan="2">電位測定平均結果</td><td colspan="5">平均電位介於 -930 ～-859 mV，
□平均電位足夠，且所有電位均足夠。
☑平均電位足夠，但少部份電位不足。
□平均電位足夠，但大部份電位不足。
□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">□第一級：電位均超出標準值5%，安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
☑第二級：電位平均趨近標準值或少部份電位在標準值以下，安全無虞，下一次作詳細檢測
□第三級：電位平均值不足或大部份電位在標準值以下，功能堪慮，必須立即進行詳細檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附　　件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖　☑檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-66 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港				
碼頭編號	東 5 號			檢測種類	詳細檢測
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.10.5
測站編號	水深（m）			平均防蝕電位	備註
	1 m	-4 m	-7 m		
1	−850	−919	−877	-882	防蝕電位均小於-850 mV，已達到鋼板樁防蝕目的
2	−841	−916	−876	-878	
3	−846	−913	−895	-885	
4	−937	−926	−869	-911	
5	−833	−909	−863	-868	
6	−827	−911	−864	-867	
7	−853	−935	−875	-888	
8	−859	−941	−879	-893	
9	−853	−936	−881	-890	
10	−865	−937	−880	-894	
11	−922	−939	−936	-932	
12	−939	−928	−924	-930	
13	−855	−927	−869	-884	
14	−847	−904	−869	-873	
15	−852	−919	−865	-879	
16	−851	−905	−872	-876	
17	−856	−951	−874	-894	
18	−858	−952	−890	-900	
19	−858	−933	−884	-892	
20	−847	−911	−885	-881	
21	−841	−918	−893	-884	
22	−836	−910	−896	-881	
23	−833	−891	−877	-867	
24	−824	−878	−876	-859	

表 3-67 基隆港東 5 號碼頭犧牲陽極防蝕電位檢測記錄表

隸屬港口	基隆港					
碼頭編號	東 5 號			檢測種類	詳細檢測	
檢測人員	李昭明、何木火			記錄人員	柯正龍	
檢測儀器	三用電錶、硫酸銅電極			檢測時間	101.10.5	
陽極塊編　號	海生物清除前			海生物清除後		
	發生電位（mV）			發生電位（mV）		
	上	中	下	上	中	下
1	-963	-977	-965	-970	-1003	-993
2	-950	-960	-970	-952	-1002	-983
3	-977	-980	-981	-996	-989	-993
4	-969	-981	-961	-999	-990	-994
5	-927	-928	-927	-957	-932	-932
6	-956	-945	-946	-963	-950	-956
7	-934	-937	-937	-940	-941	-952
8	-934	-932	-940	-962	-950	-950
9	-946	-958	-952	-948	-1010	-1000
10	-955	-953	-941	-973	-972	-952
11	-946	-957	-948	-1016	-987	-998
12	-919	-931	-935	-937	-947	-966

表 3-68 基隆港東 5 號碼頭鋼板樁碼頭水下檢測結果

<table>
<tr><td rowspan="10">碼頭基本資料</td><td>隸屬港口</td><td colspan="5">基隆港</td></tr>
<tr><td>碼頭編號</td><td>東 5 號</td><td>防蝕完工日</td><td>94 年</td><td>設計水深</td><td>-9.0 m</td></tr>
<tr><td>碼頭長度</td><td>170m</td><td>碼頭面高程</td><td>+3.2 m</td><td>檢測種類</td><td></td></tr>
<tr><td>檢 測 地 點</td><td colspan="2">☑綱板樁岸壁全區 □詳附件圖</td><td colspan="2">靠泊船級</td><td>無</td></tr>
<tr><td>船隻屬性</td><td colspan="5">□貨櫃 □化學(油)品 ☑散雜貨 □其他：</td></tr>
<tr><td>下部結構材料</td><td colspan="5">☑Z-38 型鋼板樁 □鋼管樁 □H 型鋼 □其他：</td></tr>
<tr><td>原始厚度(mm)</td><td colspan="5">Z-38 型鋼板樁，凹、凸面為 17.2mm，側面為 11.4mm</td></tr>
<tr><td>上次檢測時間</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td>上次檢測結果</td><td colspan="5">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測儀器</td><td colspan="5">☑目視□捲尺☑照相機</td></tr>
<tr><td colspan="2">鋼材部份目視檢測結果</td><td colspan="5">□無生鏽、孔蝕、裂縫、開裂 □局部的生鏽呈點狀膨脹
□局部區域有生鏽呈點狀膨脹或有局部小型穿孔現象
☑有大範圍的生鏽與膨脹、表面穿孔擴大且有漏砂現象
□版樁有開裂現象 □樁有挫屈、彎折</td></tr>
<tr><td colspan="2">水下鋼筋混凝土部份目視檢測結果</td><td colspan="5">☑混凝土未發現明顯之龜裂、剝離 □樁與樑或冠牆脫離
□混凝土少部份龜裂、剝離 □混凝土大部份龜裂、剝離
□鋼筋少部份外露鏽蝕 □鋼筋大部份外露鏽蝕</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕塊目視檢測部份</td><td colspan="5">□陰極防蝕塊少部份或無脫落□ 陰極防蝕塊大部份脫落
☑陰極防蝕塊厚度減少輕微□ 陰極防蝕塊厚度減少嚴重</td></tr>
<tr><td colspan="2">防蝕電位量測結果</td><td colspan="5">□平均電位及所有電位均足夠。☑平均電位足夠，但少部份不足。
□平均電位足夠，但大部份不足。□平均電位不足。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測評估</td><td colspan="5">□第一級：安全無虞，無須進行特別檢測或於未來增加檢測頻率。
□第二級：安全無虞，無須進行特別檢測，但未來須增加檢測頻率。
☑第三級：功能堪慮，必須立即進行特別檢測，以進一步瞭解鋼材腐蝕、鋼筋混凝土、防蝕塊狀況。</td></tr>
<tr><td colspan="2">檢測人員</td><td colspan="2">李昭明、何木火</td><td>評估人員</td><td>柯正龍</td></tr>
<tr><td colspan="2">附 件</td><td colspan="5">文件圖表：□碼頭平面圖 □檢測記錄表</td></tr>
</table>

表 3-69 基隆港東 5 號碼頭初步檢測表

碼頭基本資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：5 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 58 年 4 月		
	靠泊船級	原設計：	實際使用：		
	碼頭法線版面標高：4.0 m	長度：170 m 縱深：--- m	水域深度	原設計：-9.0 m 目　前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	☑綱板樁岸壁全區　□詳附件圖			
	碼頭構造型式	□貨櫃　□化學(油)品　☑散雜貨　□其他：			
	上次檢測	時間：　　單位：　　區分： 結果：			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體結構變形及主結構破壞檢測	碼頭岸壁	1	2	4	12
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	1	3	6
	混凝土強度	0	0	3	0
	保護層厚度	0	0	2	0
	鋼筋腐蝕探測	0	0	3	0
	鋼板腐蝕檢測(程度)	3	2	2	10
	岸肩伸縮縫	0	0	3	0
主體結構破壞評估		$ID_P=\sum_{i=1}^{N_P}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_P}R_i$ =28/24=1.2			
非主結構設施破壞檢測	護舷材	1	2	2	6
	繫船柱	1	1	3	6
	擋車墻	1	1	2	4
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	0	0	2	0
	油電管路	0	0	3	0
	附屬設施破壞評估	$ID_A=\sum_{i=1}^{N_A}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N_A}R_i$ = 16/14=1.1			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1=\sum_{i=1}^{N}(D_i+E_i)\times R_i \Big/ \sum_{i}^{N}R_i$ = (28+16)/(24+14)=1.2			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火、李昭明 檢測時間：民國 100 年 5 月 19 日					

3.4.4.8 碼頭面儀器檢測

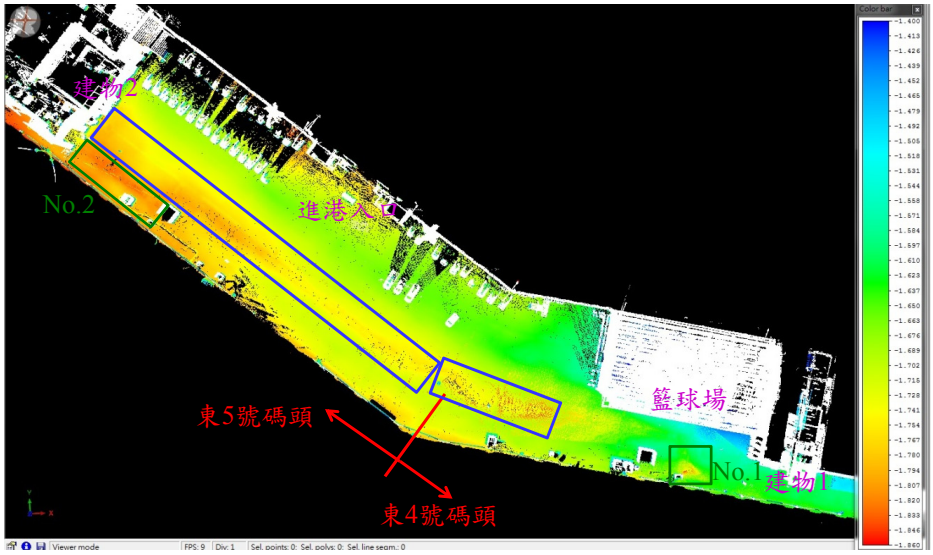
本年度調查基隆港東 4 號碼頭部分範圍沉陷面積達 37.5 平方公尺，最大沉陷深度約 15 公分(如圖 3.110 所示)。由於兩座碼頭水下部份有多處鋼板樁發生破洞及內部填充級配粒料掏空之情形，且東 5 號碼頭民國 95 年間曾發生碼頭面突然塌陷破壞，故以儀器量測碼頭面，希望能瞭解其高程變化、底層可能孔洞等狀況。

檢測項目與內容如下：

1. 光學測量：以 3D 光達進行大範圍測繪地形圖，確立後續進行透地雷達檢測之位置。並針對沈陷區導線與高程量測。
2. 透地雷達量測：於東 4 號碼頭沉陷區域，佈設縱向與橫向測線各 6 條，每條為 15 m，間距為 3 m 進行檢測，共計 180 m。東 5 號碼頭於距臨海側 4.4 m 與 10 m 佈設兩處，每處橫向檢測 45 m，共計 90 m。
2. 裂縫深度探探測：採用敲擊回音法進行，針對兩碼頭面混凝土構件既有裂縫進行深度之探測，藉以瞭解其劣化狀況。

檢測結果如下：

1. 3D 光達光學測量於兩碼頭面設置 5 個測站進行量測，測繪之地形與地物圖如圖 3.125 所示。圖中藍色框於現場為排水溝，其高程相對較低應為合理。後續之透地雷達檢測，即藉由此圖決定綠色框 No.1 與 No.2 為檢測範圍。綠色框 No.1 為圖 3.110 所示之沈陷區；綠色框 No.2 為東 5 號碼頭相對高程較低之臨海區域。圖中東 4 號碼頭亦針對兩碼頭區各地物進行標註。
2. 導線測量作業首先於測量區設置閉合導線點(本案設置 16 個導線點)，各導線點以經緯儀進行測量， 再依其測量結果進行沉陷區域之相對高程，相對座標與高程資料如表 3-70 所示，沈陷深度最大處之座標為 X=24.43 m、Y=39.39 m，高程為-13.4 cm，依此表繪製之地形圖如圖 3.126 所示。



Unit：m

圖 3.125　3D 光達測繪結果

表 3-70 沈陷區域相對座標與高程量測

相對座標 X(m)	相對座標 Y(m)	相對高程 (cm)	相對座標 X(m)	相對座標 Y(m)	相對高程 (cm)
12.48	27.51	-12.60	25.57	29.23	0.60
6.46	3.99	11.68	21.07	31.49	-3.13
8.38	7.87	7.46	32.95	30.95	8.16
4.75	4.20	11.96	29.33	32.80	5.06
1.74	5.55	11.85	22.56	35.65	0.35
0.71	6.75	11.27	19.64	37.21	-0.55
2.29	10.05	7.62	35.63	34.81	11.67
4.16	10.22	6.59	31.80	37.86	9.32
11.11	7.18	7.78	27.89	39.51	6.93
14.34	13.66	1.38	26.46	48.16	-8.70
8.98	9.55	5.70	30.07	45.17	8.80
5.10	11.96	4.62	33.18	47.99	14.20
7.19	15.93	0.13	34.10	52.25	20.20
11.37	14.34	0.62	34.09	55.00	23.20
21.78	10.25	7.01	30.79	53.73	28.70
23.77	12.20	6.43	31.02	50.95	14.20
19.97	14.84	2.12	30.24	50.36	-0.30
15.35	14.48	0.75	24.43	39.39	-13.40
10.57	19.15	-4.02	21.58	41.50	-0.40
26.12	16.99	4.63	17.92	37.89	2.80
19.72	19.91	-2.10	21.76	36.57	6.40
14.96	22.26	-6.79	19.07	33.60	15.10
28.33	21.51	4.35	16.73	28.31	20.10
23.50	24.20	-1.09	19.67	25.76	17.00
18.04	26.79	-6.99	23.61	30.14	22.50
30.51	26.16	5.48	29.17	28.42	36.50

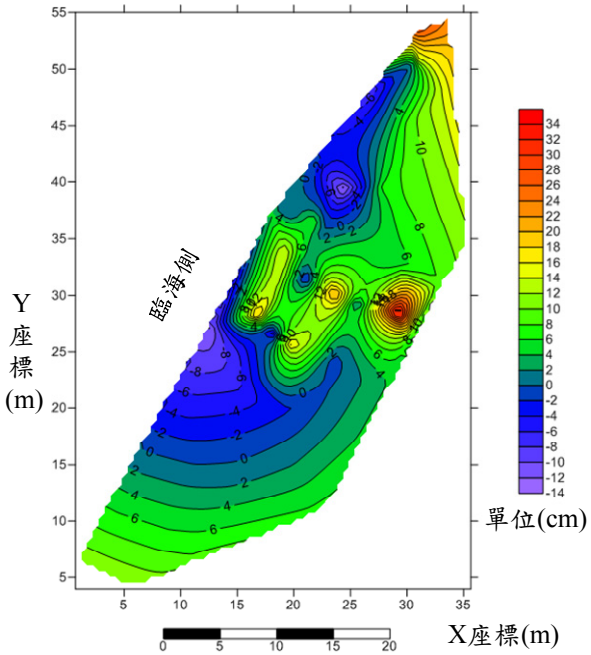
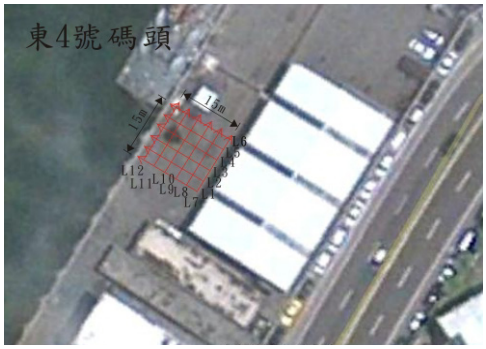


圖 3.126 沈陷區地形圖示意(相對高程)

3. 透地雷達檢測

為瞭解調查區域底層狀況，東 4、5 號碼頭區域共佈置 14 條測線，東 4 號碼頭測線編號為 L1～L12，每條測線長度為 15 m，其中 L1～L6 測線施測方向與碼頭垂直，L7～L12 測線施測方向與碼頭平行，測線間隔 3 m(L1 與 L7 GPS 起使位置為 N25°8’10.3”、E121°44’45.6”)，東五號碼頭測線編號為 L13 到 L14(L14 GPS 起使位置為 N25°8’14.2”、E121°44’50.1”)，每條測線長度為 45 m，測線施測方向與碼頭平行，測線間隔 5.6 m。測線位置如圖 3.127 所示，於民國 101 年 12 月 4 日上下午各施測一次。

檢測前先進行儀器狀況檢視、選定天線頻率、進行距離校正、設定施測參數等相關步驟後，確定一切狀況良好後開始進行現場測試，然後檢視現場測試之資料品質，確定各項參數設定符合現地狀況後開始施測，本次施測依據探查目標使用 400 MHZ 天線，每條描線(trace)取樣 1024 點。



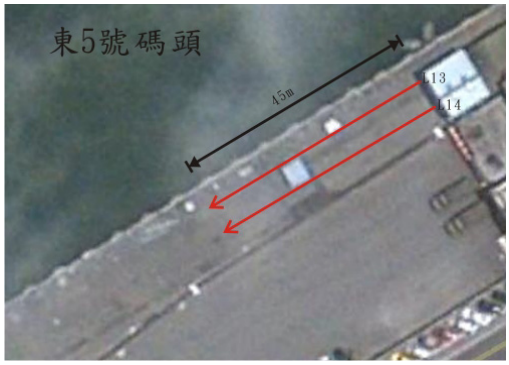


圖 3.127 測線位置佈置圖

本次探測調查範圍共佈置 14 條測線，探測成果剖面圖與統計表分別示如圖 3.128～圖 3.133、圖 3.135～圖 3.136 及表 3-71～表 3-72，剖面圖縱軸方向代表探測之深度，橫軸方向代表探測之距離。探查成果依測區編號依序分述如下：

(1)東 4 號碼頭

東 4 號碼頭測線編號為 L1～L12，每條測線長度為 15 m，其中 L1～L6 測線施測方向與碼頭垂直，L7～L12 測線施測方向與碼頭平行，測線間隔 3 m，成果顯示於東四碼頭區域主要異常狀態包含管線區、配筋區、空隙發達區及下陷區等四大類，各異常區域均以虛線方框標示位置，探測成果敘述如下：

圖 3.128 為 L1、L2 測線探測成果，L1 測線顯示底下異常狀態包含管線區及配筋區，管線區分佈於測線位置 5.2～7.2 m 與 10.3～11.8 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 6.8～10.3 m 與 11.8～15 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

L2 顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區、空隙發達區及下陷區，管線區分佈於測線位置 4.3～5.3 m 與 8～10 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 5.5～7.6 m 與 10～11.7 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 10～11.7 m，下陷區分佈於測線位置 11.7～14.8 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測

剖面，顯示無太大之差異性。

圖 3.129 為 L3、L4 測線探測成果，L3 測線顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區、空隙發達區及下陷區，管線區分佈於測線位置 5～7 m 與 7.8～9.4 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 9.3～10.9 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 9.4～14.7 m，下陷區分佈於測線位置 11.2～14.7 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

L4 測線顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區、空隙發達區及下陷區，管線區分佈於測線位置 2.5～3.8 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 5.4～7.7 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 7.7～15 m，下陷區分佈於測線位置 10～14.7 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

圖 3.130 為 L5、L6 測線探測成果，L5 測線顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區，管線區分佈於測線位置 2.7～3.7 m 與 4.2～5.8 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 5.7～8 m 與 11～13.5 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 8～10 m、11.5～12.5 m 與 13.6～15 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面顯示於測線位置 8～10 m 範圍，空隙發達區位置有隨著潮汐產生變化。

L6 測線顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區，管線區分佈於測線位置 3～3.8 m 與 4.2～5.8 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 6～10.5 m 與 10.5～14.2 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 12.6～14.3 m，測線位置 14.3～15 m 之異常強反射為人孔蓋所造成之影響，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

圖 3.131 為 L7、L8 測線探測成果，L7 測線顯示測線底下無異常狀態，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差

異性。

L8 測線顯示測線底下異常狀態為管線區，管線區分佈於測線位置 8.5～15 m 範圍，測線方向與管線平行，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

圖 3.132 為 L9、L10 測線探測成果，L9 測線顯示測線底下異常狀態包含管線區及配筋區，管線區分佈於測線位置 5.5～7 m 與 9.6～11.1 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 0～5.5 m、7～9.6 m 與 11.1～15 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

L10 顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區，管線區分佈於測線位置 2.8～4 m 與 9.6～11.1 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 0～1.8 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 8.4～9.5 m 與 12.2～14.2 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

圖 3.133 為 L11、L12 測線探測成果，L11 測線測線底下異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區，管線區分佈於測線位置 9～10.7 m 範圍，配筋區分佈於測線位置 0～3.8 m 與 11.2～15 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 1.7～4.5 m、5.1～6.8 m、7.8～9 m 與 12.5～14.7 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面顯示於測線位置 7.8～9 m 範圍，於早上時段空隙較為發達。

L12 測線顯示測線底下異常狀態包含配筋區及空隙發達區，配筋區分佈於測線位置 0～1.9 m，此區域範圍地面下有配置鋼筋，空隙發達區分佈於測線位置 1.9～5.5 m 與 5.8～11 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測剖面，顯示無太大之差異性。

依據透地雷達影像訊號顯示主要異常狀態包含管線區、配筋區、空隙發達區及下陷區等四大類，其中空隙發達區及下陷區研

判應為地基淘空所造成，將東四碼頭空隙發達區及下陷區套繪至測線平面圖如圖 3.134 所示。顯示於下陷區周圍為空隙發達區，研判地基淘空情形有向外擴展之趨勢。

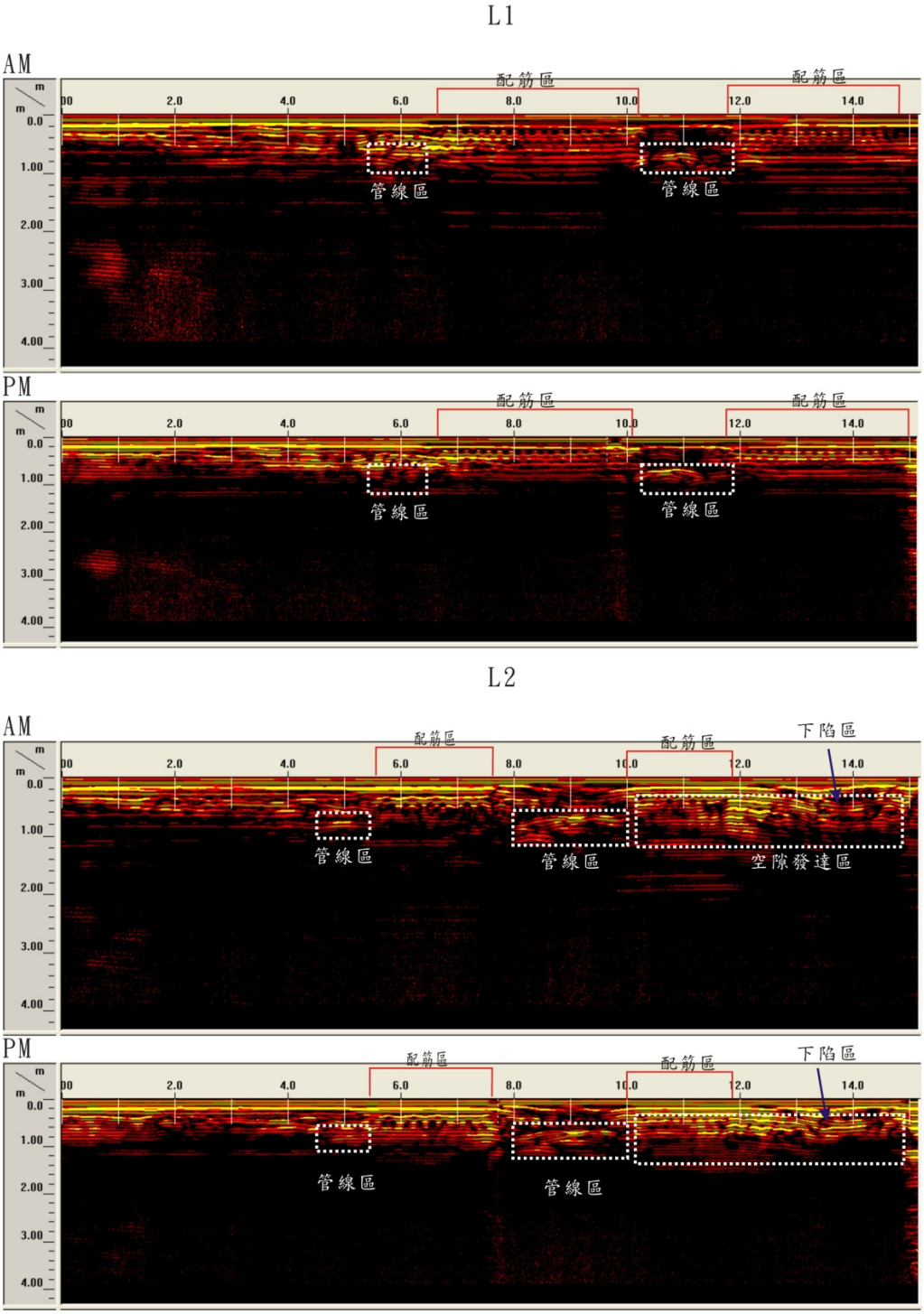


圖 3.128　L1、L2 測線透地雷達施測成果圖

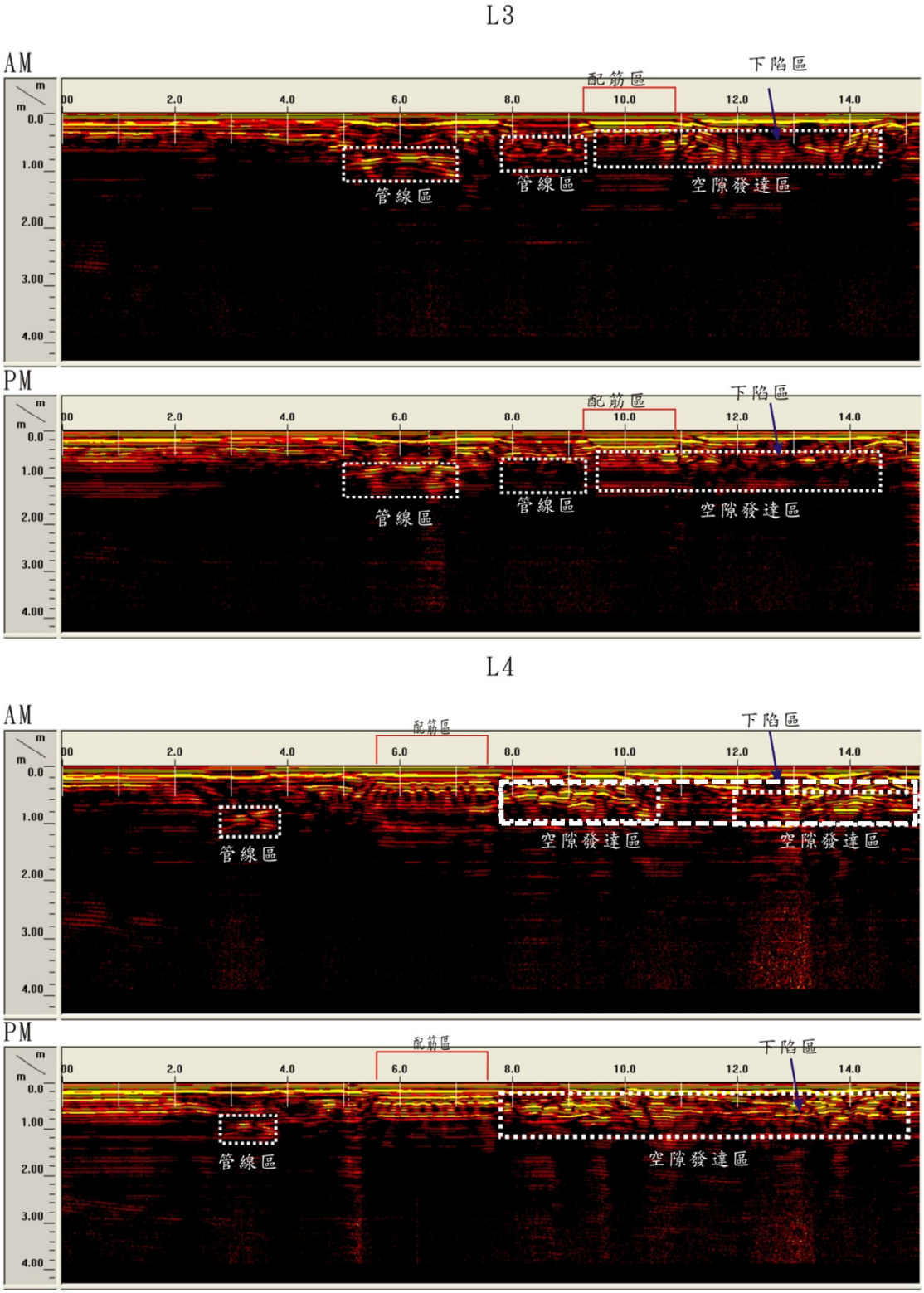
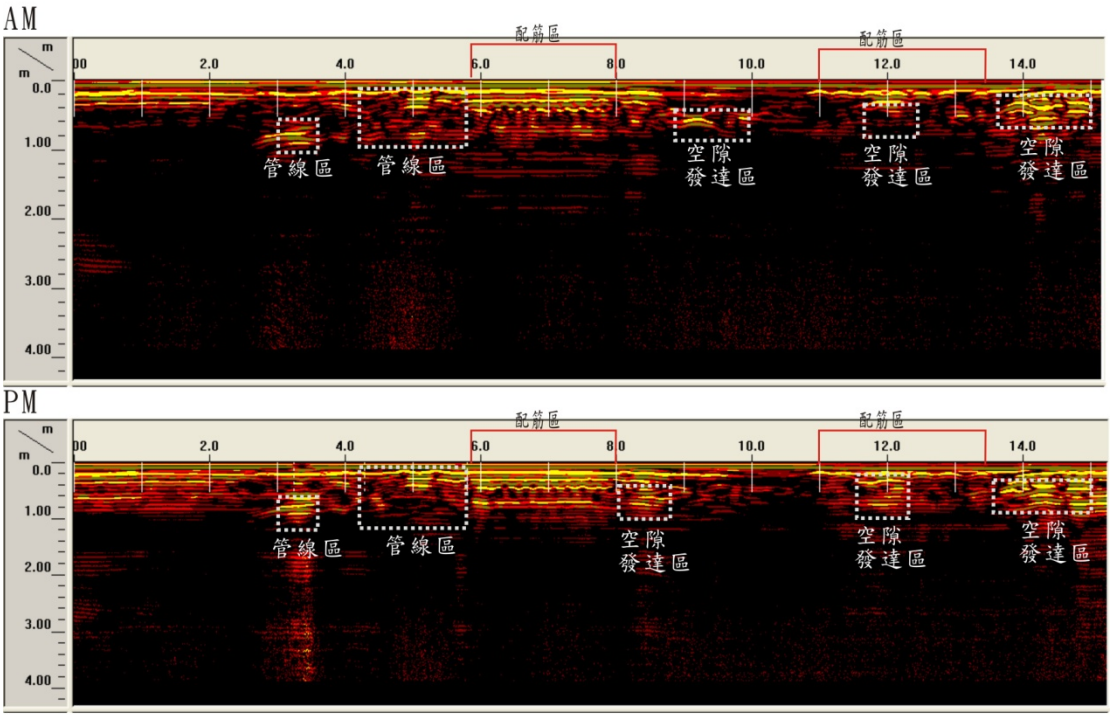


圖 3.129　L3、L4 測線透地雷達施測成果圖

L5



L6

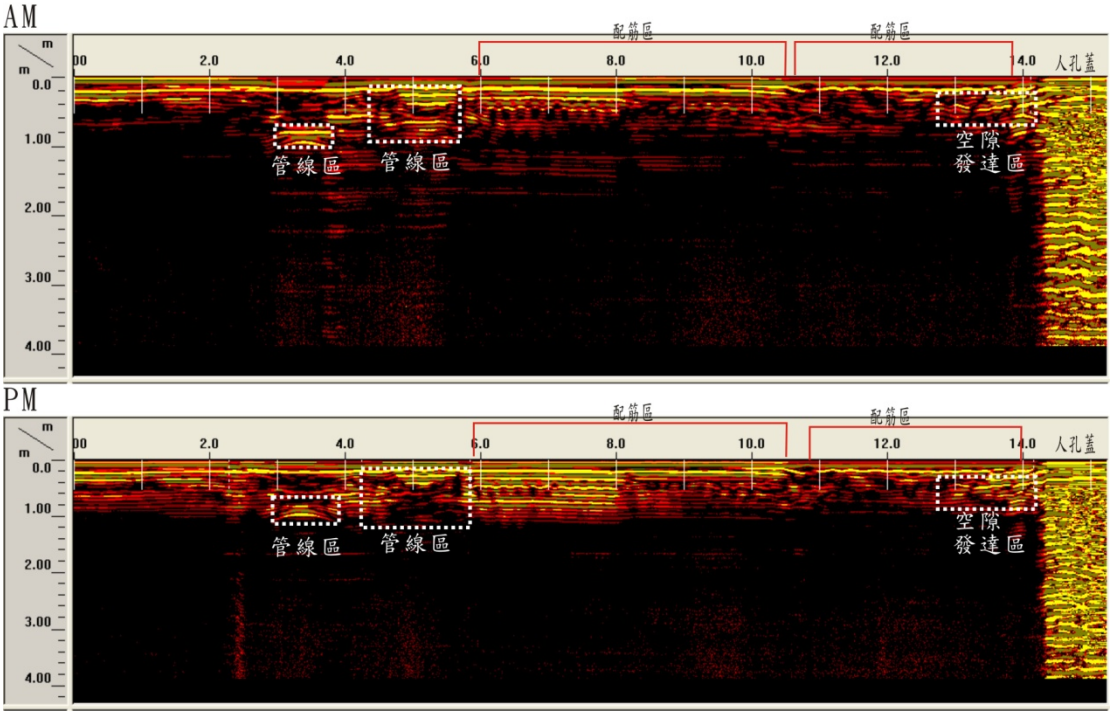
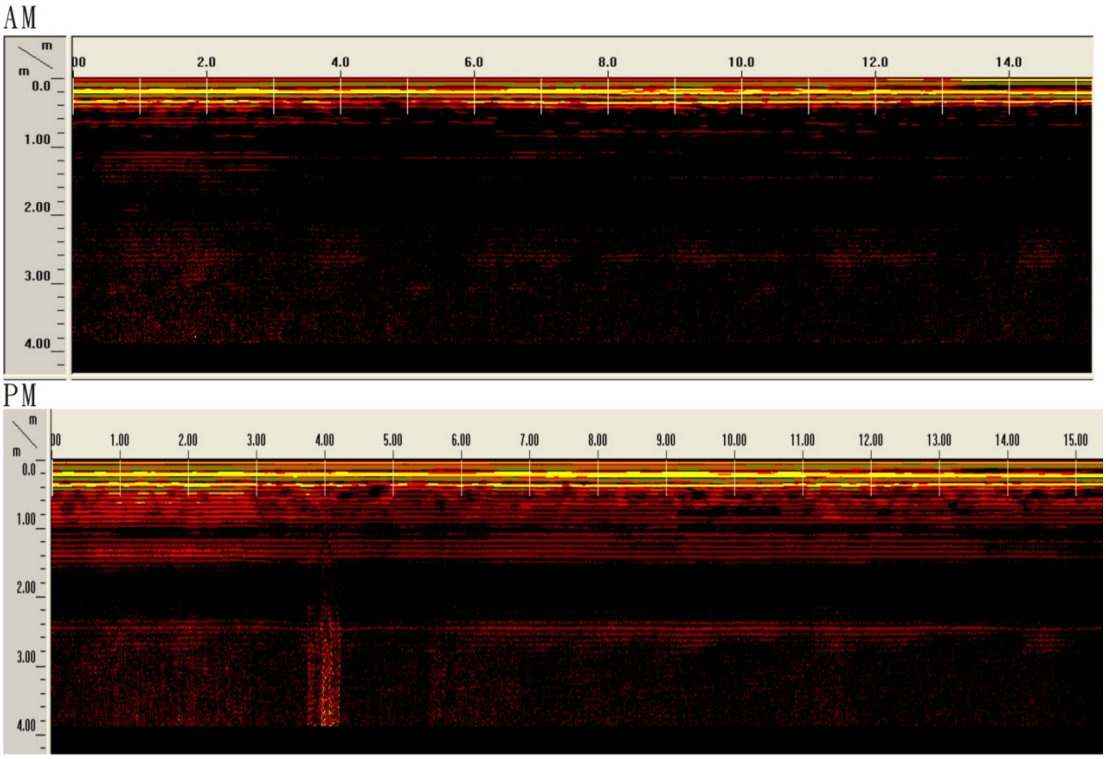


圖 3.130　L5、L6 地雷達施測成果圖

L7



L8

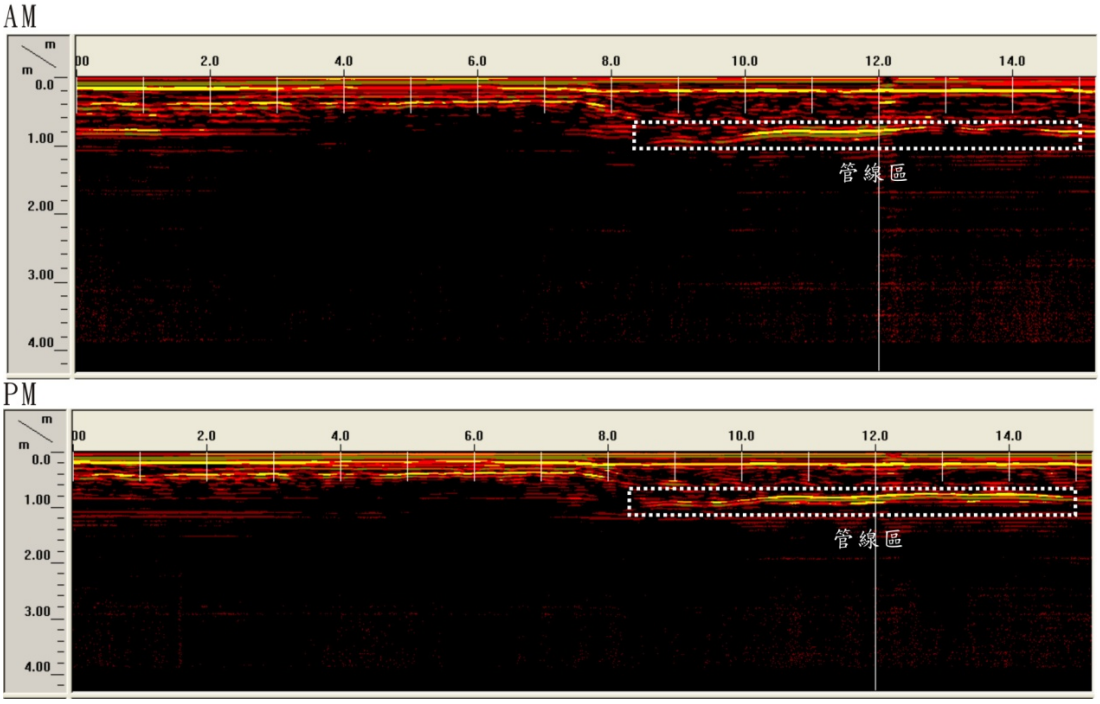


圖 3.131　L7、L8 測線透地雷達施測成果圖

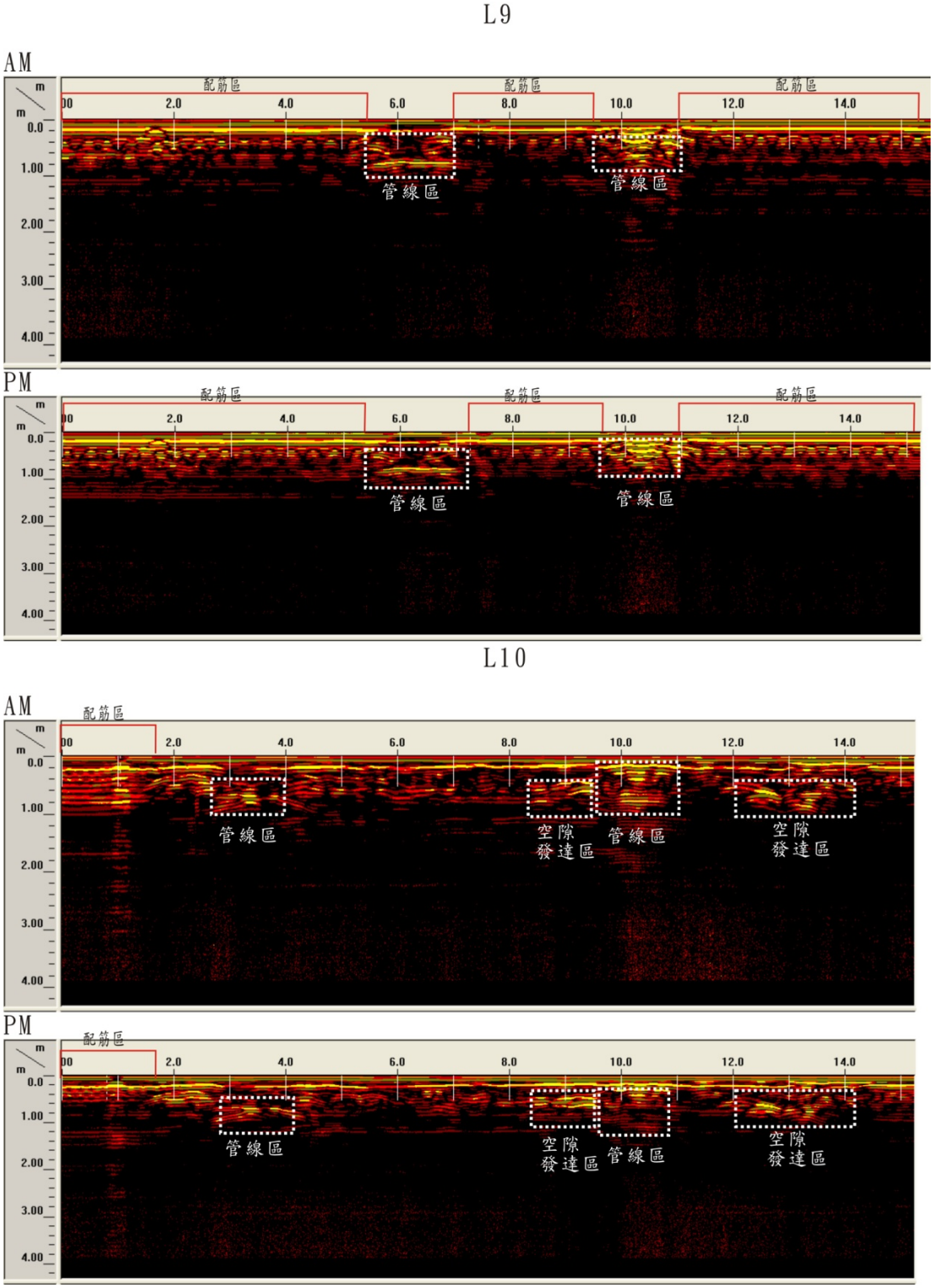


圖 3.132　L9、L10 測線透地雷達施測成果圖

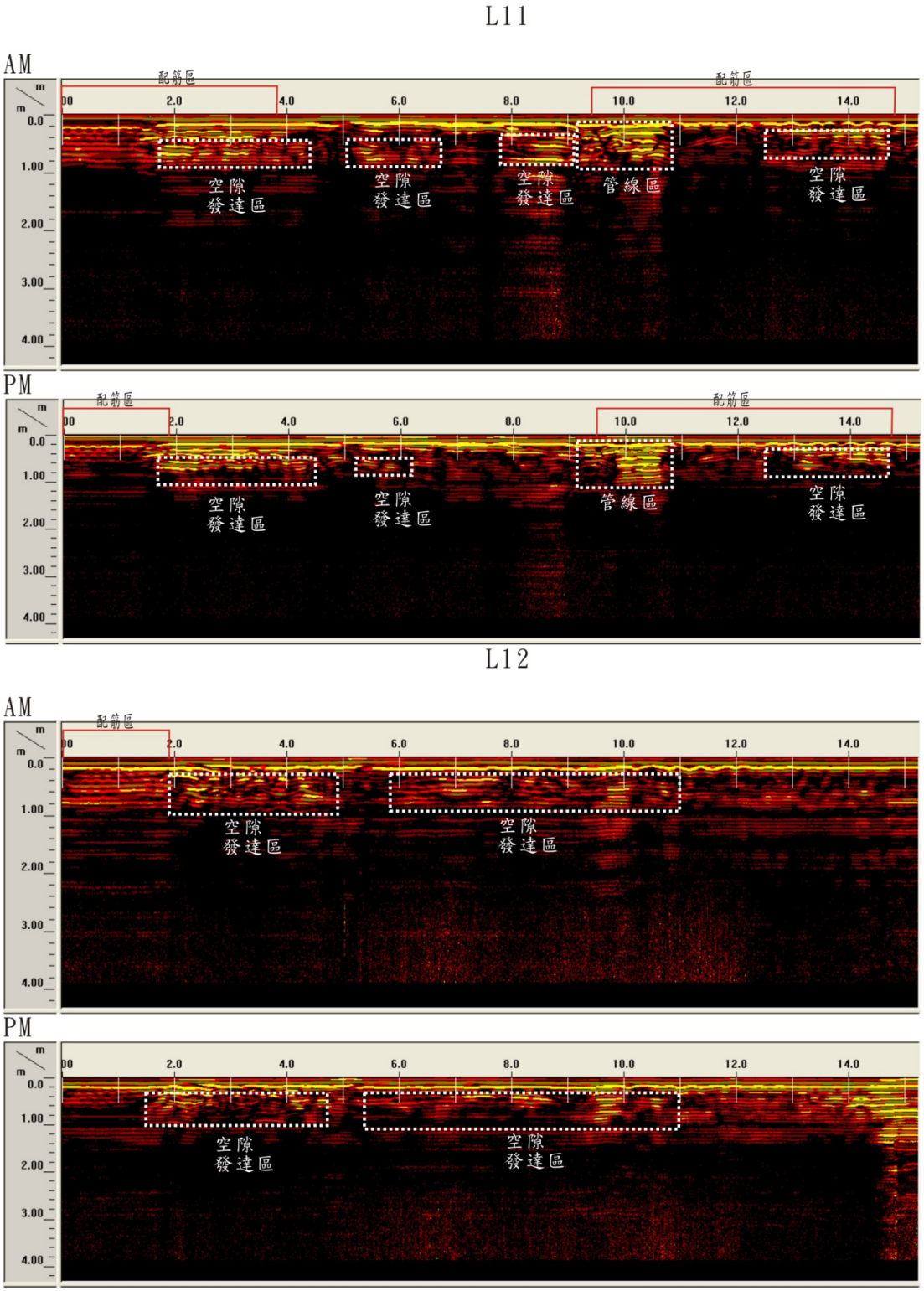


圖 3.133　L11、L12 測線透地雷達施測成果圖

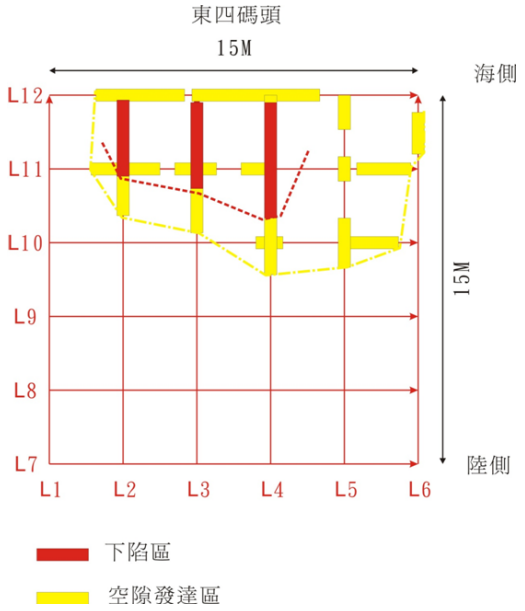


圖 3.134 基隆港東 4 號碼頭透地雷達探測成果示意圖

表 3-71 東 4 號碼頭透地雷達施測成果統計表

測線編號	管線區	配筋區	下陷區	空隙發達區
L1	5.2~7.2 10.3~11.8	6.8~10.3 11.8~15		
L2	4.3~5.3 8~10	5.5~7.6 10~11.7	11.7~14.8	10.1~14.8
L3	5~7 7.8~9.4	9.3~10.9	11.2~14.7	9.4~14.7
L4	2.5~3.8	5.4~7.7	10~14.7	7.7~15
L5	2.7~3.7 4.2~5.8	5.7~8 11~13.5		8~10 11.5~12.5 13.6~15
L6	3~3.8 4.2~5.8	6~10.5 10.5~14.2		12.6~14.3 11.5~12.5 13.6~15
L7				
L8	8.5~15			
L9	5.5~7 9.6~11.1	0~5.5 7~9.6 11.1~15		
L10	2.8~4 9.6~11.1	0~1.8		8.4~9.5 12.2~14.2
L11	9.0~10.7	0~3.8 11.2~15		1.7~4.5 5.1~6.8 7.8~9 12.5~14.7
L12		0~1.9		1.9~5.5 5.8~11

(2)東 5 號碼頭

東 5 號碼頭測線編號為 L13～L14，每條測線長度為 45 m，測線施測方向與碼頭平行，測線間隔 5.6 m，為探討潮汐對調查區域之影響，本計畫於相同測線位置均於早上及下午(滿潮)各施測一次，依據透地雷達探測成果顯示於東五碼頭區域主要異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區等三大類，各異常區域均以虛線方框標示位置，並於探測成果圖上說明，茲將東五號碼頭探測成果敘述如下：

圖 3.135 為 L13 測線透地雷達探測成果，顯示測線底下異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區，管線區分佈於測線位置 24.4～25.7 m 與 39.3～40 m 範圍，L13 測線探測範圍地面下均有配置鋼筋，空隙發達區僅零星分佈於測線位置 27.2～28.9 m，比較早上及下午(滿潮)時段施測透地雷達剖面顯示無太大之差異性。

圖 3.136 為 L14 測線透地雷達探測成果，顯示測線底下異常狀態包含管線區及配筋區，管線區分佈於測線位置 24.4～25.7 m 範圍，L14 測線探測範圍地面下均有配置鋼筋，比較早上及下午(滿潮)時段施測透地雷達剖面顯示無太大之差異性。

依據透地雷達影像訊號顯示主要異常狀態包含管線區、配筋區及空隙發達區等三大類，整體來看東五號碼頭區域調查範圍地下狀態良好，未存在較大範圍之空隙發達區或下陷區，僅於 L13 測線位置 27.2～28.9 m 範圍零星分佈，將東 5 號碼頭空隙發達區套繪至測線平面圖如圖 3.137 所示。

L13

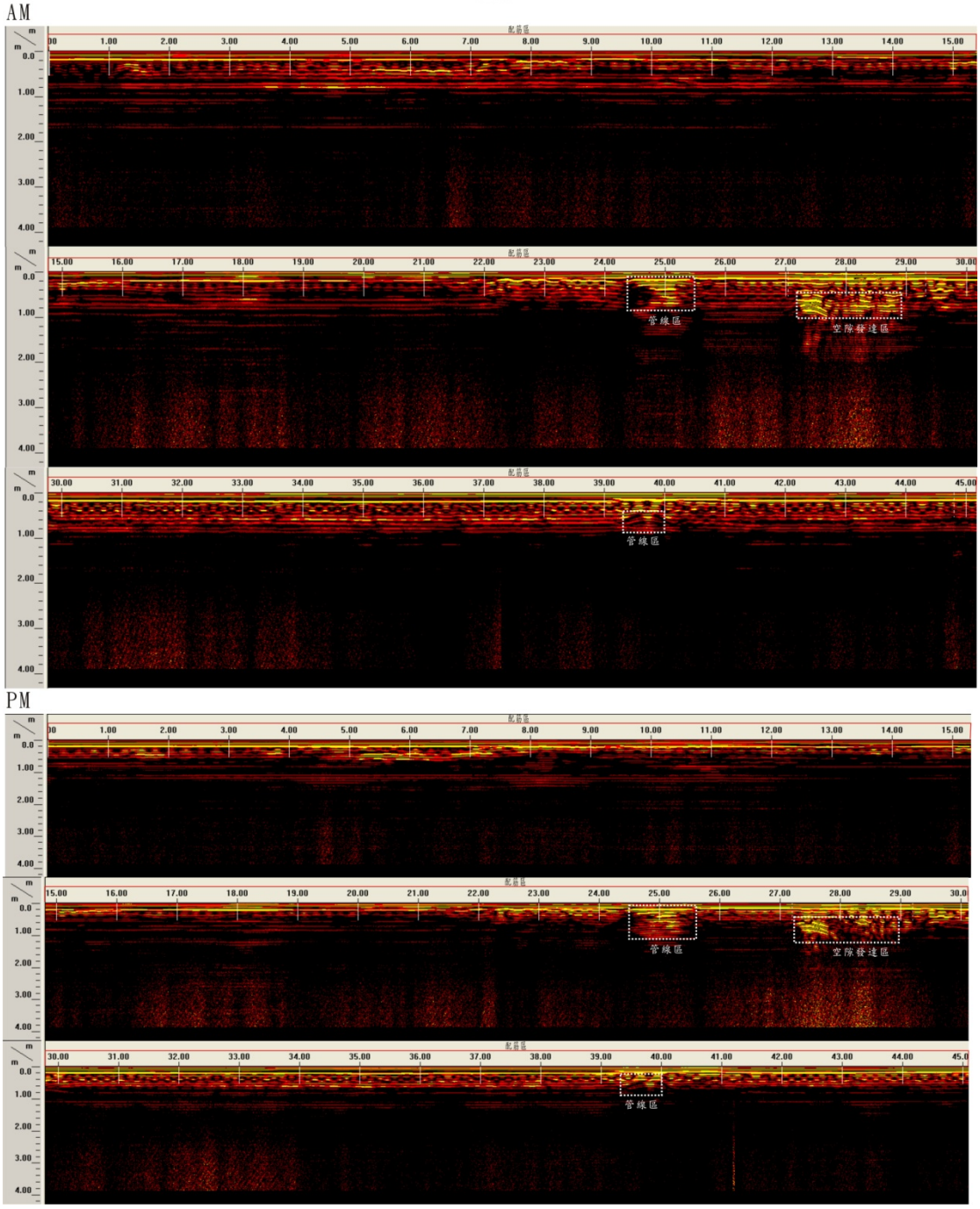


圖 3.135　L13 測線透地雷達施測成果圖

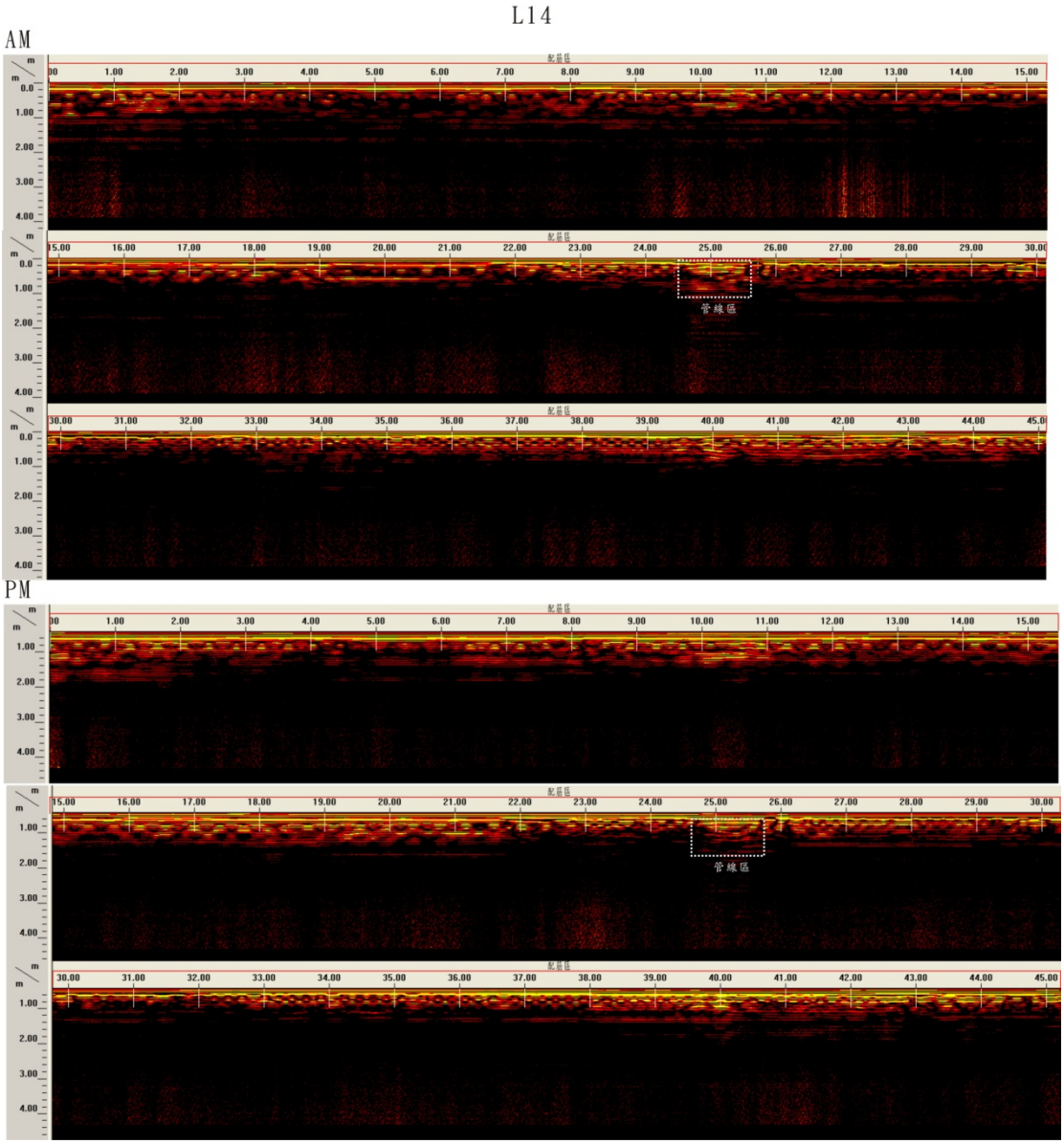


圖 3.136　L14 測線透地雷達施測成果圖

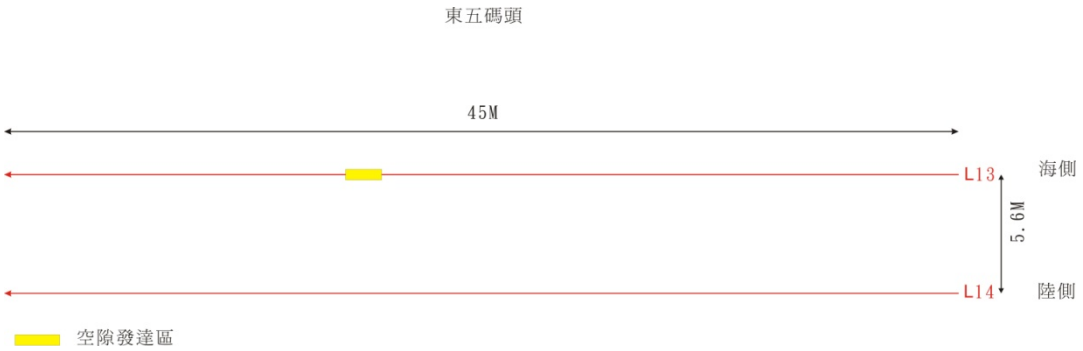


圖 3.137 基隆港東五號碼頭透地雷達探測成果示意圖

表 3-72 東 5 號碼頭透地雷達施測成果統計表

測線編號	管線區	配筋區	下陷區	空隙發達區
L13	24.4~25.7 39.3~40	0~45		27.2~28.9
L14	24.4~25.7	0~45		10.1~14.8

(3)潮汐對調查區域之影響

於相同測線位置均於早上及下午(滿潮)各施測一次，探測結果顯示並無太大之差異，研判受潮汐影響造成地基淘空下陷應為長期間作用所造成。由於水位變化不大，本案分不同時段進行 14 條測線的結果亦變動不大。

4. 裂縫深度檢測

量測前先確立混凝土 P 波波速，再進行裂縫深度試驗。東 4、東 5 號碼頭面由於覆蓋瀝青，無法進行裂縫量測。本案以東 4 號碼頭距離起點約 60 公尺處之岸肩裂縫，作為標的裂縫（編號 SC1），如圖 3.138 所示。

圖 3.138 標的裂縫之現況（編號 SC1）

由於該處岸肩已有修補痕跡，加上修補的混凝土厚度很薄，造成新舊混凝土面交界有所間隙，無法正確取得該標的裂縫處之波速，因此以混凝土性質相仿且曾施測過之西 3 號碼頭混凝土表面波速 4,132 m/s 來輸入，如圖 4-139 所示。

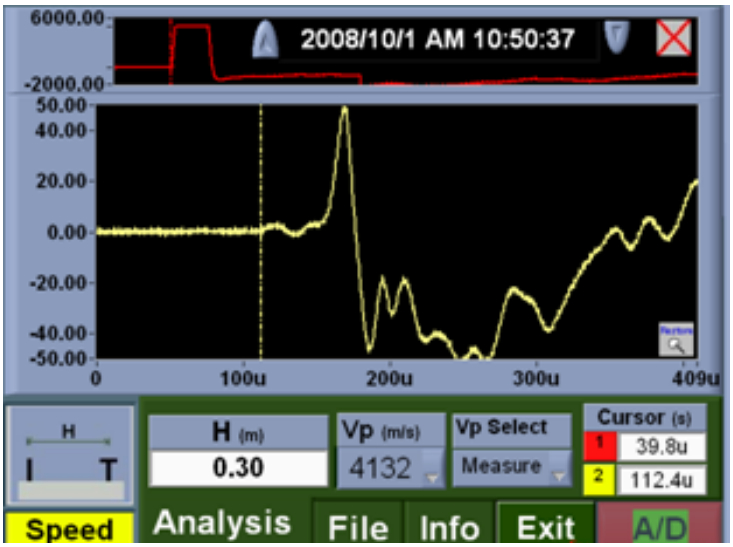
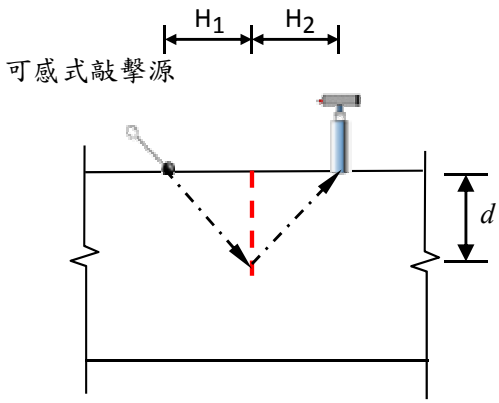
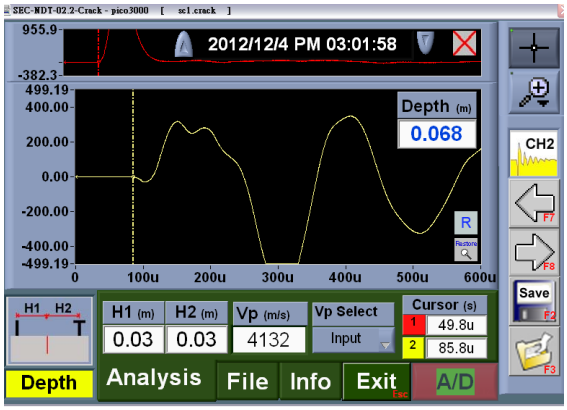


圖 3.139 西 3 號碼頭岸肩的混凝土波速圖

裂縫編號 SC1 的試驗結果為例，如圖 3.140(a)所示。試驗點位 SC1 裂縫檢測儀器配置，H_1=H_2=0.03m，圖 3.140(b)分別為可感式敲擊源及位移接收器之訊號波形圖，敲擊源經敲擊接觸混凝土表面所得之系統啟動時間 t_1=49.8 μs，接收器主要紀錄來自裂縫端點所產生的繞射波，其裂縫繞射波波到時間 t_2=85.8 μs，在歷時($\Delta t=t_2-t_1$=36.0μs)及波速(4,132m/s)已知的情形下，計算裂縫深度為 6.8cm。此一標的裂縫安全應為無慮，然為減少有害物質侵入，造成內部鋼筋鏽蝕劣化，宜盡快填補該裂縫。



(a)儀器配置圖



(b)試驗成果圖檢測

圖 3.140 裂縫編號 SC1 之裂縫深度

第四章 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗

4.1 氯鹽沉積速率調查結果

各試驗點四次採樣與一年期之氯鹽沉積速率計算結果如表 4-1。四次採樣的調查期間分別為 2010.09-2010.12(秋季)，2010.12-2011.03(冬季)，2011.03-2011.06(春季)，2011.06-2011.09(夏季)，而一年期的調查期間則為 2010.09-2011.09。

一般而言，2010.09-2010.12 秋季期間，氯鹽沉積速率介於 0.65 mg/m^2/day (阿里山)至 242.69 mg/m^2/day(桃園試驗線 0m)之間，而較高的沉積速率發生在基隆試驗線 100m、台塑六輕試驗線 0m、台塑六輕試驗線 100m、台塑六輕試驗線 300m、台塑六輕試驗線 1km、王功安檢所、彰濱工業區、臺中火力發電廠、通霄火力發電廠、桃園試驗線 0m、新竹漁港、成功安檢所、核三廠試驗線 0m，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 30 mg/m^2/day；其次為梗枋安檢所、外埔安檢所、桃園試驗線 300m 氯鹽沉積速率介於 20.07mg/m^2/day 與 29.86mg/m^2/day，再者為核三廠試驗線 300m 介於 10.11mg/m^2/day 與 19.92 mg/m^2/day 之間。在北橫巴陵及阿里山氯鹽沉積速率都低於 1.0 mg/m^2/day。

2010.12-2011.03 冬季期間之氯鹽沉積速率介於 0mg/m^2/day (橄仔樹安檢所)至 146.85 mg/m^2/day (桃園試驗線 0m)之間，較高的沉積速率發生在東海岸沿海區域如石梯安檢所、成功安檢所，西部沿海區域如王功安檢所、臺中火力發電廠、台塑六輕試驗線(0m、100m、300m、1km) ，北部如基隆試驗線(0m、100m)，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 30 mg/m^2/day，其次為花蓮港試驗線 100m、台塑六輕試驗線 3km、東北角等，氯鹽沉積速率介於 23.87mg/m^2/day 與 29.63 mg/m^2/day。再者為花蓮港試驗線 0m、金樽安檢所、彰濱工業區、臺中港試驗線(100m、1km)介於 10.32mg/m^2/day 與 19.93mg/m^2/day 之間。在橄仔樹安檢所、北橫巴陵、阿里山等站都低於 1.0 mg/m^2/day。

2011.03-2011.06 春季期間之氯鹽沉積速率介於 0.35 mg/m^2/day (北橫巴陵)至 132.06 mg/m^2/day (桃園試驗線 0m)之間，較高的沉積速率發生在基隆試驗線 100m、核三廠試驗線 300m、台塑六輕試驗線 100m、外埔安檢所，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 30 mg/m^2/day，其次為梗枋安檢所、蘇澳港試驗線 0m、石梯安檢所、台塑六輕試驗線(0m、300m、1km)等地區介於 10.69mg/m^2/day 與 29.31 mg/m^2/day。至於氯鹽沉積速率較小有太魯閣國家公園、北橫巴陵、阿里山都低於 1.00 mg/m^2/day。

2011.06-2011.09 夏季期間之氯鹽沉積速率介於 0.23 mg/m^2/day (北橫巴陵)至 84.38 mg/m^2/day (桃園試驗線 0m)之間，基隆試驗線（100m）、桃園試驗線 0m、新竹漁港，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 30 mg/m^2/day，其次、基隆試驗線 0m、龍德工業區、石梯安檢所高雄港試驗線 0m、台塑六輕試驗線(0m、300m)、王功安檢所、五甲安檢所等地區氯鹽沉積速率亦在 10.77 mg/m^2/day 至 27.29 mg/m^2/day 之間。至於氯鹽沉積速率較小有太魯閣國家公園、高雄左營站、高鐵嘉義站、高鐵臺中站、北橫巴陵、阿里山等地區都低於 1.00 mg/m^2/day。

在 2010.09-2011.09 一年期的暴露時間內，氯鹽沉積速率介於 0.48 mg/m^2/day (阿里山)至 151.5 mg/m^2/day(桃園試驗線 0m)之間，而較高的沉積速率發生在桃園試驗線 0m，所測得的氯鹽沉積速率大於 90 mg/m^2/day；其次為台塑六輕(0m、300m、1km、3km) 、外埔安檢所、通霄火力發電廠氯鹽，沉積速率介於 30mg/m^2/day 與 70mg/m^2/day，再者為梗枋安檢所介於 10.11mg/m^2/day 與 19.92 mg/m^2/day 之間。在北橫巴陵及阿里山氯鹽沉積速率都低於 1.0 mg/m^2/day，氯鹽沉積速率無顯著變化。

表 4-1 氯鹽沉積速率表

單位：mg/m^2/day

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆試驗線 0m	12.60	34.77	16.13	18.66	20.54
2	基隆試驗線 100m	84.88	101.78	57.81	30.00	68.62
3	梗枋安檢所	26.75	13.19	21.84	17.90	19.92
4	龍德工業區	2.87	8.06	9.49	10.77	7.80
5	蘇澳港試驗線 0m	8.11	3.73	12.51	9.23	8.40
6	蘇澳港試驗線 100m	5.19	7.71	6.65	5.22	6.19
7	蘇澳港試驗線 300m	9.39	4.37	4.90	3.18	5.46
8	南澳安檢所	45.91	16.41	6.78	11.19	20.07
9	太魯閣國家公園	1.30	1.84	0.74	0.64	1.13
10	花蓮港試驗線 0m	31.34	19.77	13.23	11.12	18.87
11	花蓮港試驗線 100m	20.43	29.63	15.30	5.07	17.61
12	花蓮港試驗線 300m	10.07	5.72	8.29	4.47	7.14
13	橄仔樹安檢所	5.90	-	28.63	16.42	12.74
14	石梯安檢所	5.99	41.25	19.15	13.11	19.88
15	成功安檢所	46.72	38.24	20.25	14.24	29.86
16	金樽安檢所	20.59	12.06	7.74	15.68	14.02
17	伽蘭安檢所	51.76	10.73	7.09	13.66	20.81
18	尚武安檢所	11.23	7.98	5.88	-	8.36
19	核三廠試驗線 0m	48.91	19.93	12.70	8.33	22.47
20	核三廠試驗線 100m	16.35	5.92	6.65	3.35	8.07
21	核三廠試驗線 300m	11.94	8.94	75.45	2.73	24.77
22	核三廠試驗線 1Km	11.72	4.74	4.58	2.93	5.99
23	中鋼公司	5.07	2.88	2.34	5.82	4.03
24	高雄港試驗線 0m	8.50	3.10	3.43	12.46	6.87
25	高雄港試驗線 100m	3.89	1.77	1.42	2.12	2.30
26	高雄港試驗線 300m	8.39	2.66	2.30	6.90	5.06
27	高雄港試驗線 1Km	5.45	2.24	1.58	3.19	3.12
28	高雄港試驗線 3Km	9.17	2.63	1.45	2.57	3.96
29	高鐵左營站	1.96	1.03	2.20	0.97	1.54

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
30	興達火力電廠	1.91	1.61	1.27	2.37	1.79
31	成大水工所	1.09	1.53	2.13	5.44	2.55
32	東石安檢所	16.10	6.88	1.75	9.11	8.46
33	高鐵嘉義站	2.75	2.48	1.15	0.66	1.76
34	臺塑六輕試驗線 0m	55.73	74.01	20.36	11.35	40.36
35	臺塑六輕試驗線 100m	156.73	124.89	38.64	27.29	86.89
36	臺塑六輕試驗線 300m	61.62	90.79	23.99	17.44	48.46
37	臺塑六輕試驗線 1Km	58.41	74.89	21.36	9.15	40.95
38	臺塑六輕試驗線 3Km	11.63	23.87	2.86	2.08	10.11
39	王功安檢所	90.40	36.49	2.74	11.21	35.21
40	彰濱工業區	93.86	19.72	26.82	26.88	41.82
41	高鐵臺中站	1.43	1.43	1.75	0.45	1.27
42	臺中火力電廠	85.81	34.16	22.76	13.43	39.04
43	臺中港試驗線 0m	21.64	4.72	11.19	5.09	10.32
44	臺中港試驗線 100m	22.22	19.33	2.96	8.00	13.13
45	臺中港試驗線 1Km	16.32	10.32	6.50	4.71	9.46
46	五甲安檢所	36.54	19.22	11.59	13.76	20.28
47	通霄火力電廠	81.98	52.20	29.31	22.78	46.57
48	外埔安檢所	23.84	84.69	31.08	25.26	41.22
49	桃園試驗線 0m	242.69	146.85	132.06	84.38	151.50
50	桃園試驗線 300m	21.52	33.65	25.19	14.74	23.78
51	桃園試驗線 1Km	18.58	17.83	11.27	9.11	14.20
52	臺北市區	2.82	3.73	2.75	1.44	2.69
53	陽明山國家公園	6.29	1.33	1.29	1.26	2.54
54	北橫巴陵	0.93	0.57	0.35	0.23	0.52
55	阿里山	0.65	0.37	0.53	0.37	0.48
56	東北角	31.60	24.85	17.83	7.80	20.52
57	臺北港監測站	19.58	12.75	10.69	6.91	12.48
58	永安安檢所	13.31	13.46	8.56	6.00	10.33
59	新竹漁港	164.89	39.65	18.92	35.70	64.79

註：- 表示試體遺失

4.1.1 氯鹽沉積速率季節性之比較

本研究四次採樣調查的期間分別為 2010.09-2010.12，2010.12-2011.03，2011.03-2011.06，2011.06-2011.09，相當於臺灣氣候之秋季、冬季、春季、夏季期間。圖 4.1 至圖 4.4 為四次採樣期間內之氯鹽沉積速率等位圖，可看出臺灣全島的氯鹽沉積速率四季中以秋季(2010.09-2010.12)較為嚴重。

則為一年期(四次平均)之氯鹽沉積速率調查結果如圖 4.5，圖中，紅色部份表示氯鹽沉積速率大於 10 $mg/m^2/day$ 的區域。根據四次採樣調查結果，而西部海岸一年期氯鹽沉積速率以大潭試驗線 0m 處為 151.5 $mg/m^2/day$ 最高、臺塑六輕試驗線 100m 達 86.89 $mg/m^2/day$、新竹漁港為 64.79 $mg/m^2/day$。自桃園試驗線一直到嘉義縣東石鄉，氯鹽沉積速率約在 8 .46~ 151.5 $mg/m^2/day$ 之間；臺灣東部海岸以成功試驗點較高為 29.86 $mg/m^2/day$，自梗枋至尚武試驗點氯鹽沉積速率介於 8.36 ~29.86$mg/m^2/day$ 之間。北部海岸以基隆試驗線 100m 為 68.62 $mg/m^2/day$ 較高，南部海岸以核三廠試驗線 300m 24.77 $mg/m^2/day$ 較高。在高鐵沿線各站方面，一年期調查結果分別為：臺中站(1.27 $mg/m^2/day$)、嘉義站(1.76 $mg/m^2/day$)與左營站(1.54 $mg/m^2/day$)。

4.1.2 氯鹽沉積速率與垂直海岸線之關係

至於垂直海岸的試驗線，圖 4.6 為四次調查之垂直海岸試驗線於距海岸 0m、100m 之平均氯鹽沉積速率；以桃園大潭試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率較高。在季節性之差異上以秋季(2010.07-2010.11) 較其他季節偏高以桃園大潭試驗線 0m 處 242.7$mg/m^2/day$ 最高。

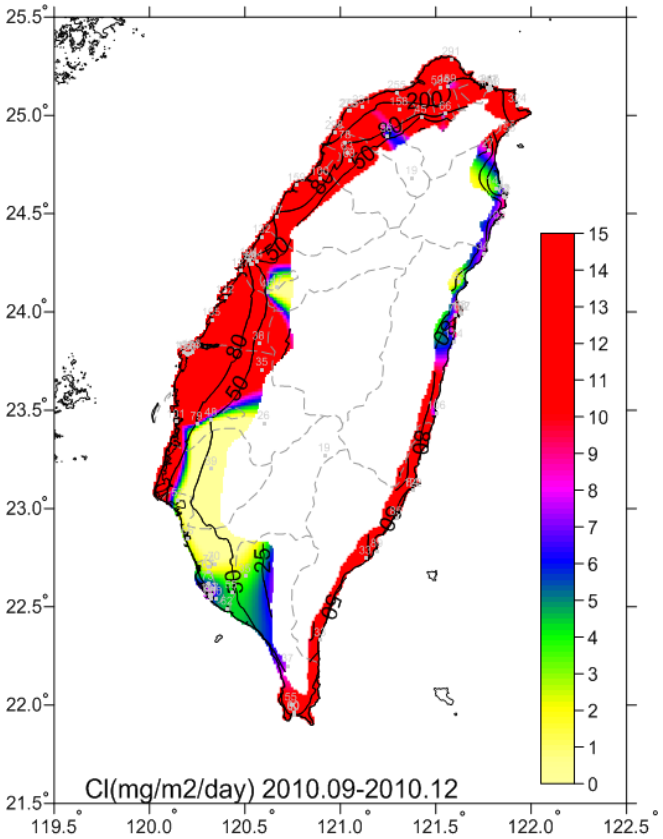


圖 4.1　2010.09-2010.12 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

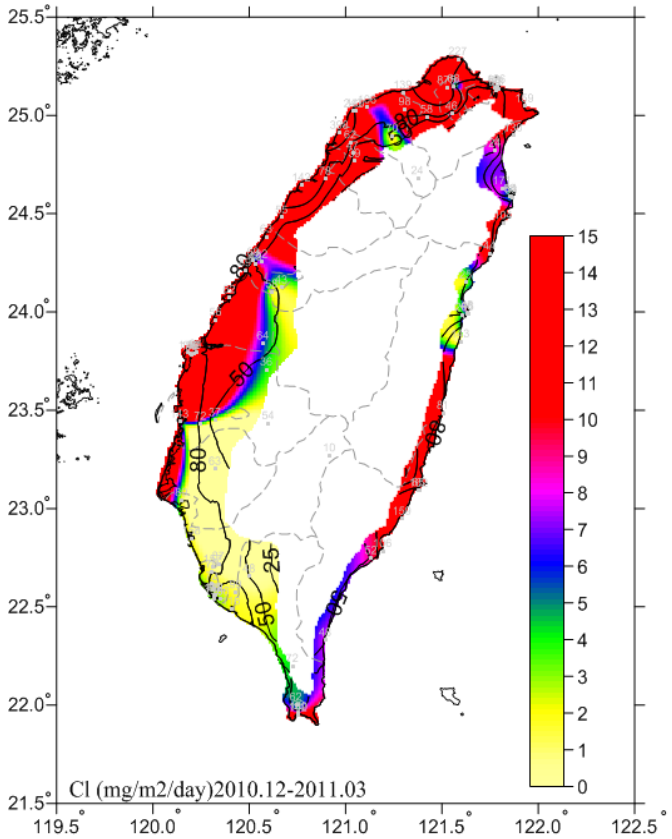


圖 4.2　2010.12-2011.03 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

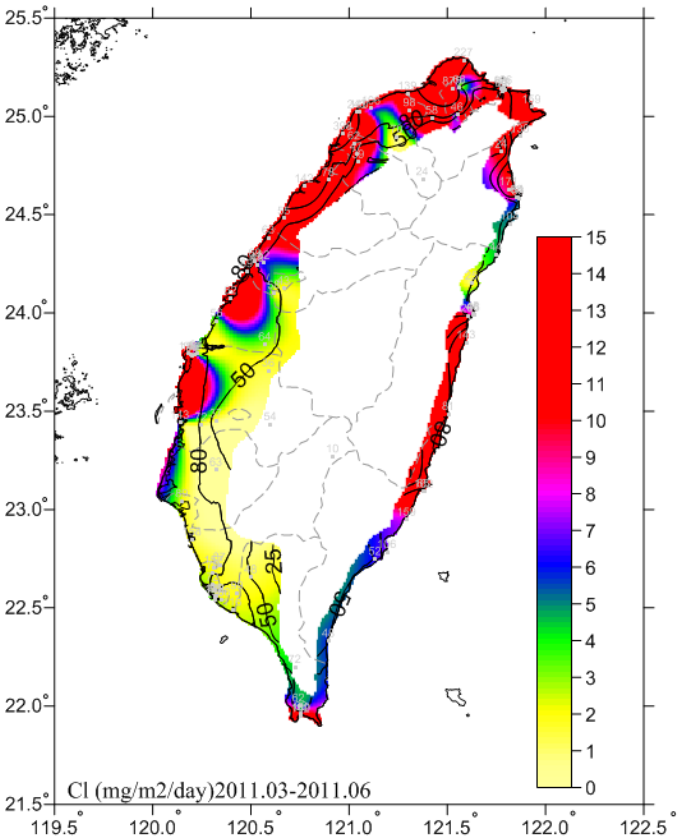


圖 4.3 2011.03-2011.06 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

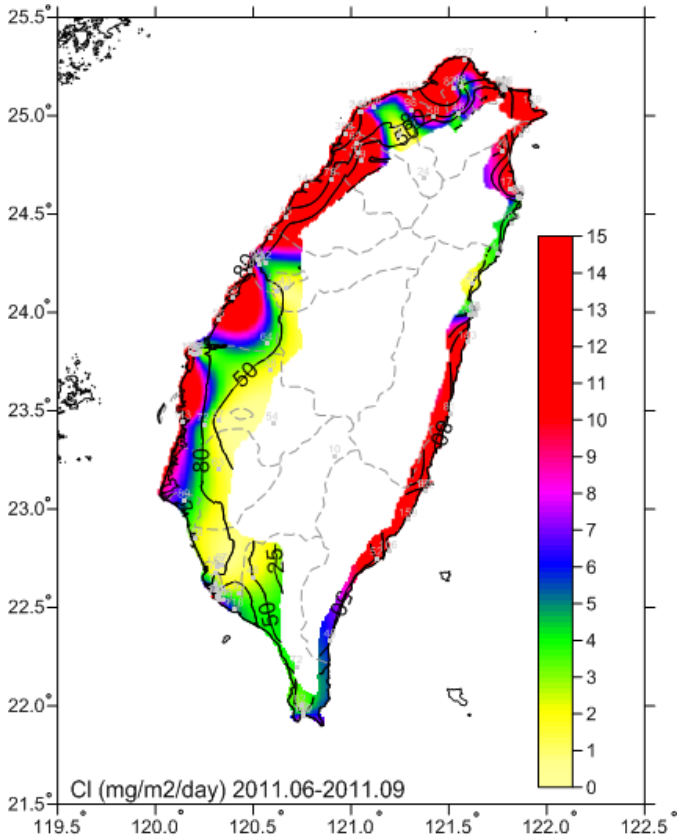


圖 4.4 2011.06-2011.09 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)

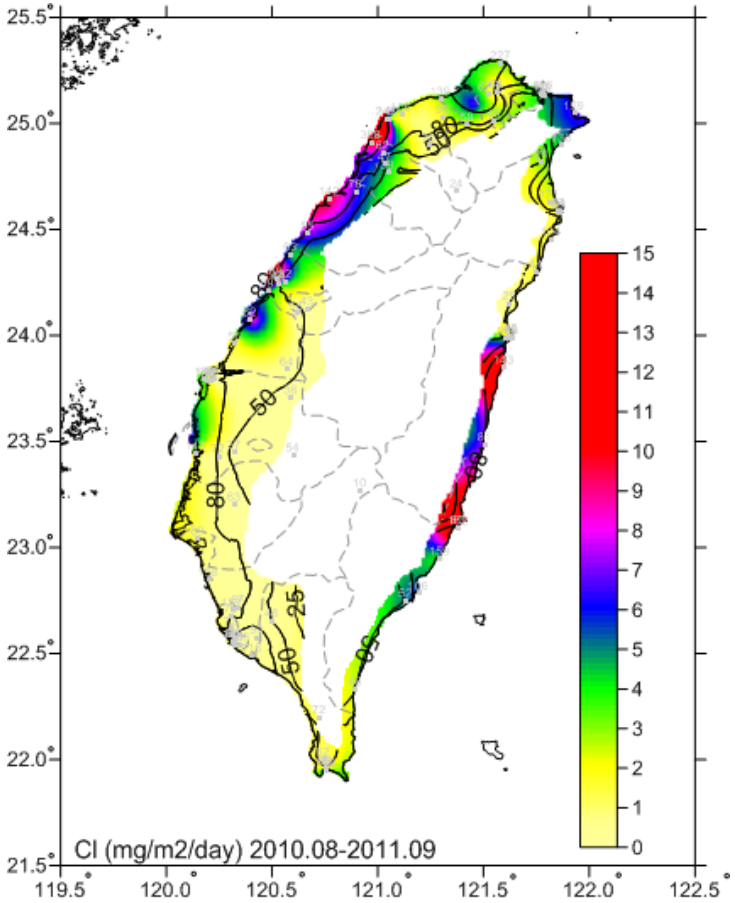
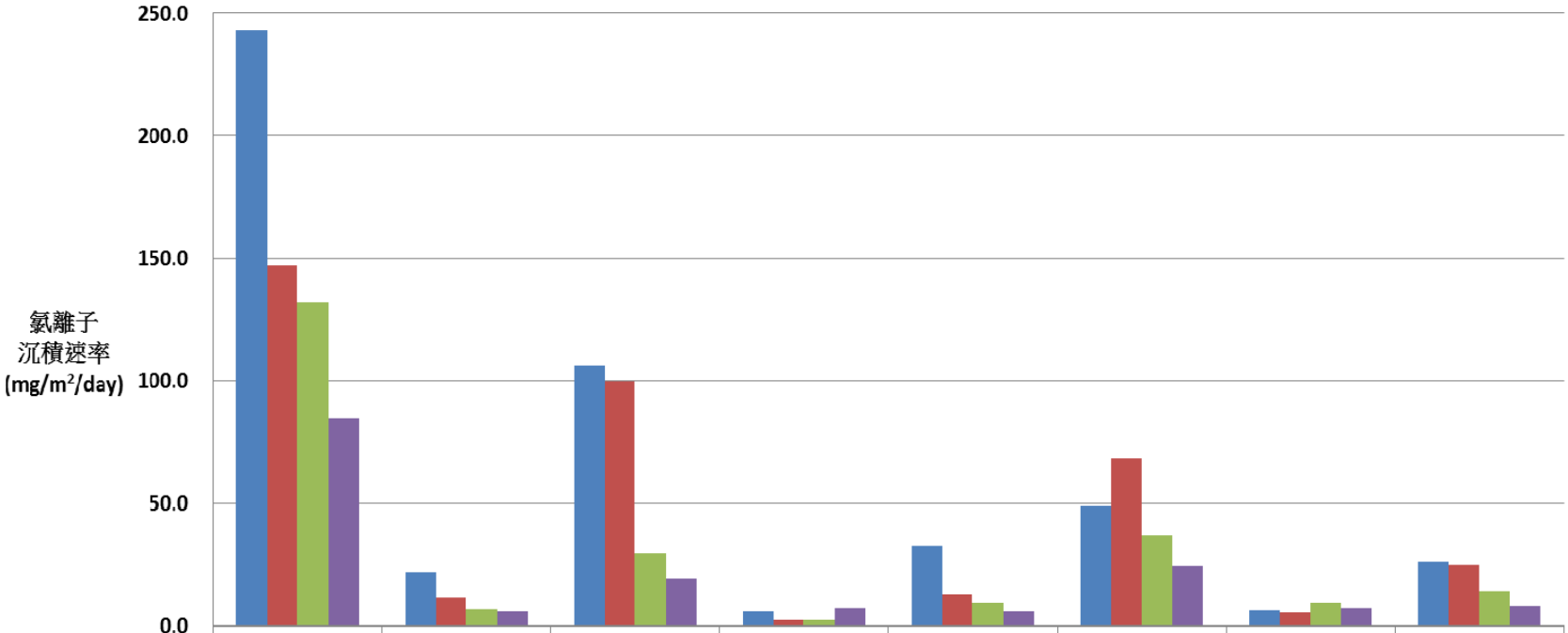


圖 4.5　2010.09-2011.09 氯鹽沉積速率(mg/m^2/day)



	桃園試驗線	台中港試驗線	台塑六輕試驗線	高雄港試驗線	核三廠試驗線	基隆試驗線	蘇澳港試驗線	花蓮港試驗線
2010.7-2010.11	242.7	21.9	106.2	6.2	32.6	48.7	6.7	25.9
2010.11-2011.3	146.9	12.0	99.5	2.4	12.9	68.3	5.7	24.7
2011.3-2011.6	132.1	7.1	29.5	2.4	9.7	37.0	9.6	14.3
2011.6-2011.9	84.4	5.9	19.3	7.3	5.8	24.3	7.2	8.1

註 1：氯離子沉積速率為各試驗線 0m 及 100m 測站平均值

註 2：桃園試驗線為大潭 0m 測站之值

圖 4.6 四次調查之垂直海岸試驗線氯鹽沉積速率

4.2 二氧化硫沉積速率調查結果

表 4-2 為各試驗位址二氧化硫沉積速率計算結果。四次採樣調查的時間與氯鹽沉積速率調查的時間相同，分別為 2010.09-2010.12(秋季)，2010.12-2011.03(冬季)，2011.03-2011.06(春季)，2011.06-2011.09(夏季)，，而一年期的調查時間則為 2010.09-2011-09。

第一次調查期間 2010.09-2010.12(秋季)，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 595.6 mg/m^2/day，其餘介於東北角風景區 6.68 mg/m^2/day 至 533.81 mg/m^2/day 桃園試驗線 0m 之間。較高的沉積速率發生在桃園試驗線 0m 處 533.81 mg/m^2/day、中鋼公司 343.27 mg/m^2/day、龍德工業區 314.94 mg/m^2/day、觀音工業區 302.64 mg/m^2/day、臺中火力發電廠 274.82 mg/m^2/day，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準 P3, 200 mg/m^2/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高 77.76 mg/m^2/day、臺中站次之 44.87 mg/m^2/day、嘉義站最低為 37.48 mg/m^2/day。東部海岸因無石化工業區或電廠的設立，除龍德工業區 314.94 mg/m^2/day 外，二氧化硫沉積速率僅介於 13.63 mg/m^2/day 太魯閣國家公園與 116.86 mg/m^2/day 豐樂工業區之間。

第二次調查 2010.12-2011.03(冬季)，二氧化硫沉積速率以觀音工業區最高，約為 1025.06 mg/m^2/day，其餘介於 9.55 mg/m^2/day 高雄煉油廠至 919.77 mg/m^2/day 陽明山硫磺區之間。其中較高的沉積速率發生在陽明山硫磺區 919.77 mg/m^2/day、彰濱工業區 651.15 mg/m^2/day、桃園試驗線 0m 317.1 mg/m^2/day、竹南工業區 306.53 mg/m^2/day、通霄火力發電廠 276.97 mg/m^2/day、桃園試驗線 1km 206.57 mg/m^2/day 與頭份工業區 186.56 mg/m^2/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以嘉義站最高 91.26 mg/m^2/day、臺中站次之 66.31 mg/m^2/day、最低為左營站 63.34 mg/m^2/day。

第三次調查 2011.03- 2011.06(春季)，二氧化硫沉積速率以桃園試驗線 0m 最高，約為 453.03 mg/m^2/day，其餘介於 19.29 mg/m^2/day 北橫巴陵至 428.69 mg/m^2/day 觀音工業區之間。其中較高的沉積速率發

生在觀音工業區 428.69 mg/m^2/day、龍德工業區 312.76 mg/m^2/day、彰濱工業區 257.70mg/m^2/day、陽明山硫磺區 257.12mg/m^2/day、竹南工業區 242.15mg/m^2/day、中鋼公司 235.19 mg/m^2/day，高雄煉油廠 230.92mg/m^2/day、陽明山國家公園 220.09mg/m^2/day 其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準 P3, 200 mg/m^2/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站最高 93.18 mg/m^2/day、臺中站次之 83.86 mg/m^2/day、最低為嘉義站 66.16 mg/m^2/day。

第四次調查期間 2011.06- 2011.09(夏季)，二氧化硫沉積速率以陽明山硫磺區最高，約為 747.64 mg/m^2/day，其餘介於 11.47 mg/m^2/day 豐樂工業區至 381.1 mg/m^2/day 龍德工業區之間。其中較高的沉積速率發生在龍德工業區 381.1 mg/m^2/day 、中鋼公司 226.79 mg/m^2/day，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準 P3, 200 mg/m^2/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分佈由大到小依序為臺中站、左營站、嘉義站，分別為 138.91、57.3、25.35 mg/m^2/day。

在一年期 2010.09-2011-09 四次調查暴露時間的平均沉積速率，以陽明山硫磺區最高，為 630.03mg/m^2/day，觀音工業區次之，為 466.39mg/m^2/day，其餘試驗站介於 22.18 mg/m^2/day(北橫巴陵)至 434.65 mg/m^2/day(桃園試驗線 0m)之間；較高沉積速率依序發生在龍德工業區 280.31mg/m^2/day、彰濱工業區 269.59 mg/m^2/day、中鋼公司 235.66 mg/m^2/day、竹南工業區 182.14 mg/m^2/day 等，山區的試驗位址二氧化硫沉積速率如北橫巴陵為 22.18 mg/m^2/day，阿里山為 28.18 mg/m^2/day。

各石化廠與火力電廠、高鐵沿線、都市地區以及重要工業區之二氧化硫沉積速率彙整如表 4-3 所示。

表 4-2 二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m^2/day

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆試驗線 3Km	35.91	62.47	41.40	26.76	41.64
2	龍德工業區	314.94	112.45	312.76	381.10	280.31
3	和平工業區	20.41	40.88	37.86	22.93	30.52
4	太魯閣國家公園	13.63	18.21	35.47	25.69	23.25
5	美崙工業區	20.64	20.59	43.72	17.30	25.56
6	豐樂工業區	116.86	41.34	30.85	11.47	50.13
7	屏東工業區	64.77	56.60	44.54	26.35	48.07
8	中油林園廠	125.43	43.97	177.84	101.29	112.13
9	中鋼公司	343.27	137.37	235.19	226.79	235.66
10	鳳山工業區	84.56	116.45	88.42	59.41	87.21
11	大發工業區	151.33	150.82	163.44	132.78	149.59
12	高鐵左營站	77.76	63.34	93.18	57.30	72.90
13	高雄煉油廠	90.18	9.55	230.92	60.34	97.75
14	永安工業區	91.67	129.89	159.59	105.06	121.55
15	興達火力電廠	161.76	80.05	81.48	32.46	88.94
16	安平工業區	91.93	84.31	122.63	53.09	87.99
17	成大水工所	37.38	60.80	74.78	48.63	55.40
18	官田工業區	111.38	138.11	182.90	55.99	122.10
19	朴子工業區	69.36	57.92	116.38	73.57	79.31
20	高鐵嘉義站	37.48	91.26	66.16	25.35	55.06
21	斗六工業區	64.57	67.20	84.41	41.68	64.47
22	彰濱工業區	78.14	651.15	257.70	91.37	269.59
23	田中工業區	91.49	65.96	36.43	45.54	59.86
24	南崗工業區	41.14	38.20	73.13	49.52	50.50
25	大里工業區	24.26	56.42	57.31	29.39	41.85
26	高鐵臺中站	44.87	66.31	83.86	138.91	83.49
27	臺中工業區	31.80	48.65	77.81	69.06	56.83
28	關連工業區	103.43	145.79	107.12	110.83	116.79
29	臺中火力電廠	274.82	128.19	99.32	58.79	140.28
30	臺中港試驗線 100m	83.44	92.20	84.16	70.84	82.66
31	通霄火力電廠	56.89	276.97	98.40	54.58	121.71
32	竹南工業區	108.86	306.53	242.15	71.00	182.14
33	頭份工業區	131.79	186.56	98.79	66.63	120.94
34	工研院	37.29	100.70	103.13	43.18	71.08

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
35	新竹工業區	84.07	99.00	104.68	62.71	87.62
36	平鎮工業區	49.40	123.79	87.46	30.49	72.79
37	桃園試驗線 0m	533.81	317.10	453.03	-	434.65
38	桃園試驗線 300m	81.71	119.31	20.93	175.77	99.43
39	桃園試驗線 1Km	125.70	206.57	167.23	134.62	158.53
40	樹林工業區	30.22	143.31	124.51	70.32	92.09
41	臺北市區	19.47	45.59	60.77	33.72	39.89
42	陽明山國家公園	55.48	183.00	220.09	156.08	153.66
43	陽明山硫磺區	595.60	919.77	257.12	747.64	630.03
44	北橫巴陵	7.15	41.16	19.29	21.13	22.18
45	阿里山	23.19	36.57	36.17	16.80	28.18
46	觀音工業區(中心)	302.64	1025.06	428.69	109.17	466.39
47	東北角風景區	6.68	164.81	50.04	29.13	62.67
48	永安安檢所	83.55	151.62	100.11	63.91	99.80
49	平鎮工業區(中心)	103.13	133.69	128.05	45.86	102.68

表 4-3 特定試驗點之二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m^2/day

試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
高鐵臺中站	44.87	66.31	83.86	138.91	83.49
高鐵嘉義站	37.48	91.26	66.16	25.35	55.06
高鐵左營站	77.76	63.34	93.18	57.30	72.90
高雄煉油廠	90.18	9.55	230.92	60.34	97.75
中油林園廠	125.43	43.97	177.84	101.29	112.13
大潭火力電廠	533.81	317.10	453.03	-	434.65
通霄火力電廠	56.89	276.97	98.40	54.58	121.71
臺中火力電廠	274.82	128.19	99.32	58.79	140.28
興達火力電廠	161.76	80.05	81.48	32.46	88.94
觀音工業區	302.64	1025.06	428.69	109.17	466.39
彰濱工業區	78.14	651.15	257.70	91.37	269.59
大發工業區	151.33	150.82	163.44	132.78	149.59
中鋼公司	343.27	137.37	235.19	226.79	235.66
龍德工業區	314.94	112.45	312.76	381.10	280.31
臺北市區	19.47	45.59	60.77	33.72	39.89

4.2.1 二氧化硫沉積速率季節性之比較

圖 4.7 至圖 4.10 為四次採樣期間內之二氧化硫沉積速率等位圖，圖 4.11 則為一年期累積之二氧化硫沉積速率調查結果；圖中，黃色表示二氧化硫沉積速率為 0~10 $mg/m^2/day$ 的區域，綠色表示沉積速率為 10~35 $mg/m^2/day$ 的區域，藍色表示沉積速率為 35~80 $mg/m^2/day$ 的區域，粉紅色表示 80~200 $mg/m^2/day$ 的區域，紅色則為大於 200 $mg/m^2/day$ 的區域。

四次調查的結果分佈情形。在西海岸秋季(2010.09 -2009.12)與冬季 (2009.12 -2011.03)期間，以觀音工業區、通霄火力電廠、臺中火力電廠、彰濱工業區、中鋼公司、興達火力電廠附近二氧化硫沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東海岸四次調查以龍德工業區沉積速率較高，在冬季 (2010.12 -2011.03)期間發現以觀音工業區二氧化硫沉積速率最高。

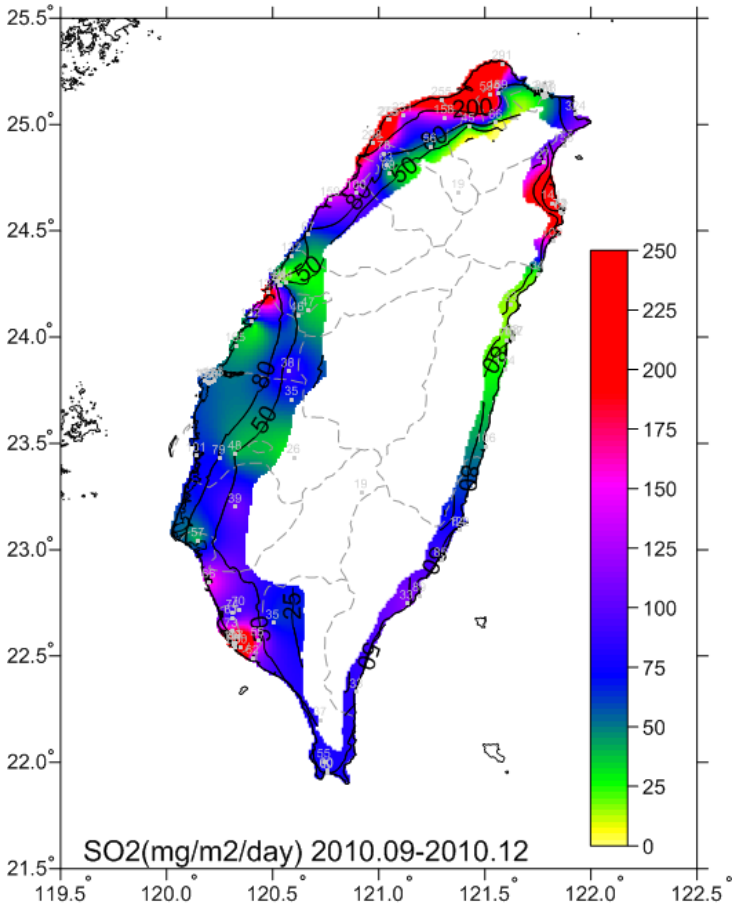


圖 4.7　2010.09-2010.12 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

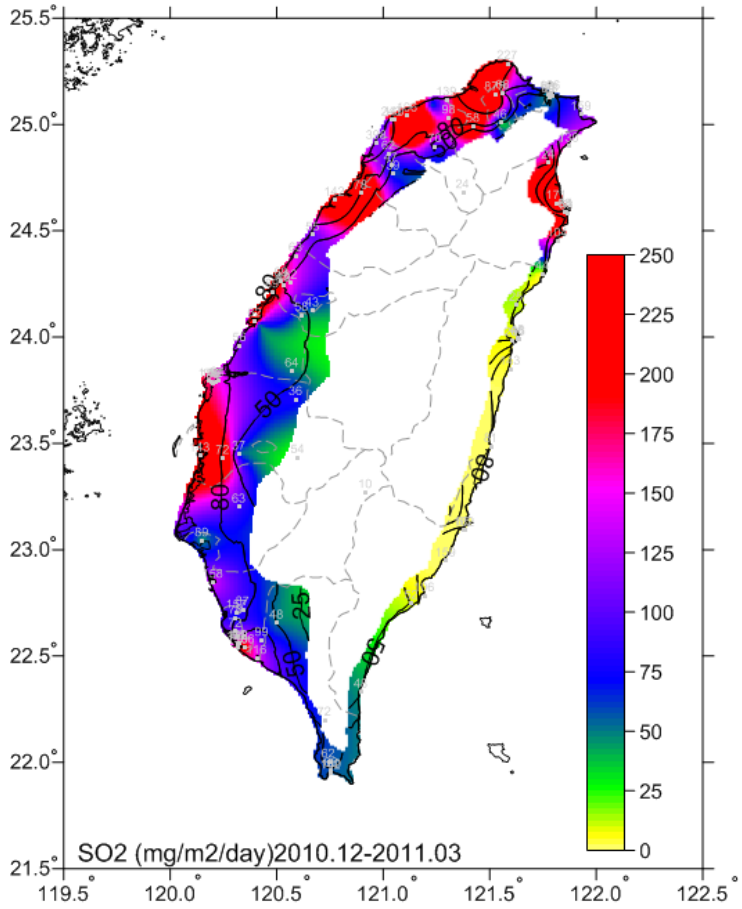


圖 4.8 2010.12-2011.03 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

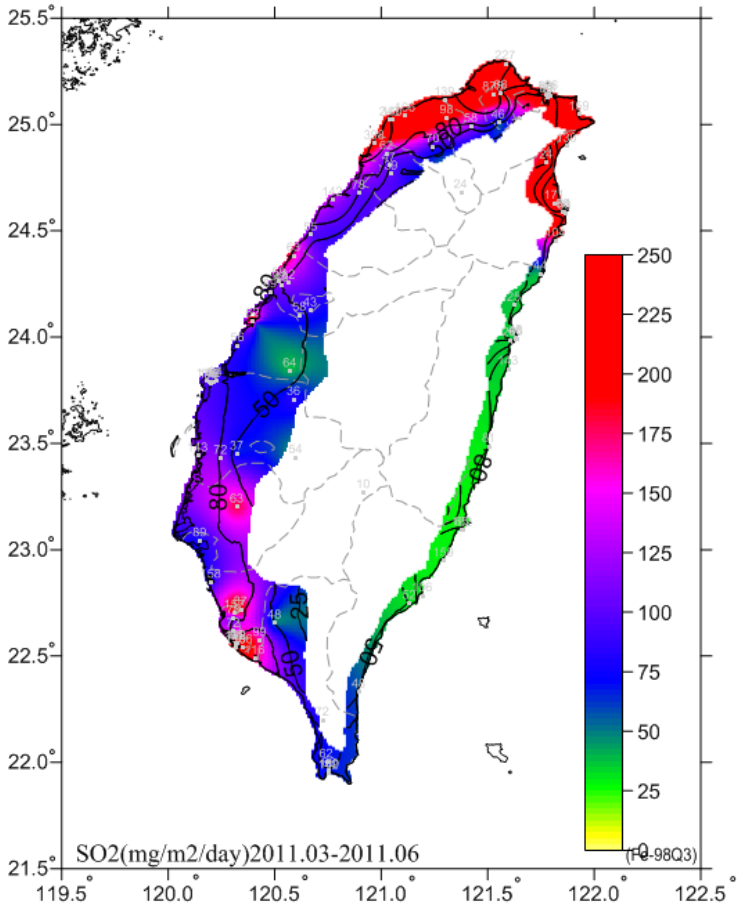


圖 4.9　2011.03-2011.06 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

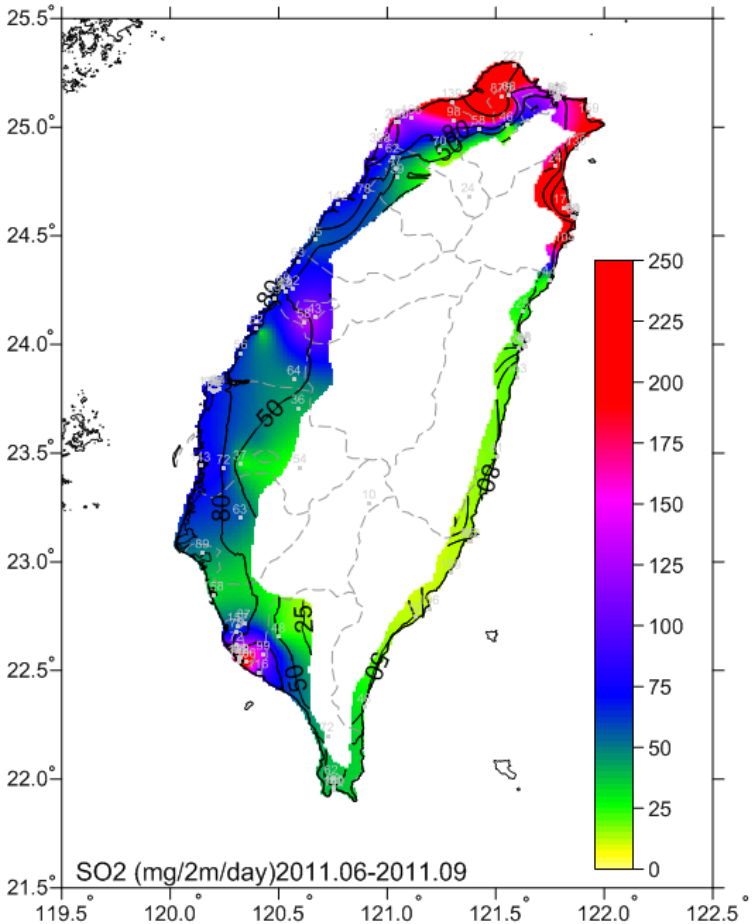


圖 4.10　2011.06-2011.09 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

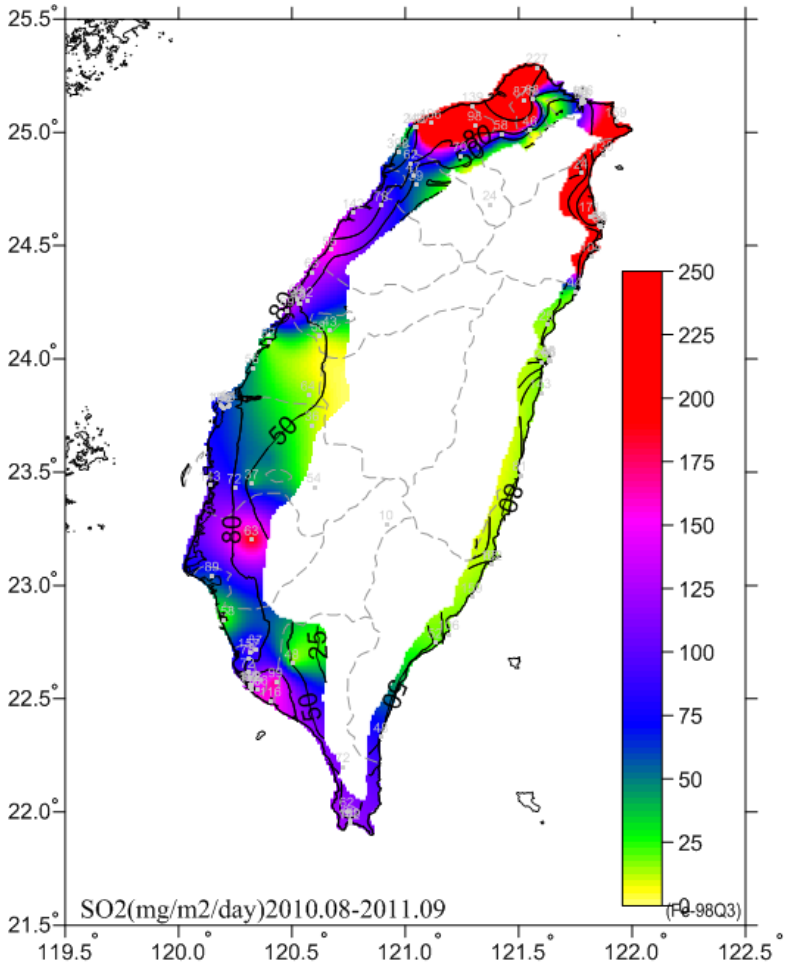


圖 4.11　2009.09-2010.09 SO_2 沉積速率(mg/m^2/day)

4.3 濕潤時間百分比

表 4-4 為各測點四次調查期間與一年期之濕潤時間百分比，其計算方法為利用中央氣象局氣象站逐時記錄之相對濕度資料，統計試體暴露期間內相對濕度大於 80%的小時數，再除以總暴露時間(小時數)。若測點所在位置無氣象站，則以鄰近的氣象站資料推估，選用氣象站的名稱如表中括號內所示。圖 4.12 與圖 4.15 分別為為四次採樣期間內之濕潤時間百分比等位圖，圖 4.16 則為一年期之調查結果。

第一次調查期間 2010.09-2010.12，濕潤時間百分比(%)介於陽明山 78.02%及東石安檢所 23.21%之間，其餘介於 70%至 20%之間，分別為陽明山國家公園、阿里山、台塑六輕試驗線等地區。而濕潤時間較少

有彰濱工業區 29.98%、北橫巴陵 28.04 %、安平工業區 23.44%。

第二次調查期間 2010.12-2011.03，濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 81.58%及豐樂工業區 6.63%之間，而濕潤時間大於 80%則有陽明山國家公園與陽明山硫磺區 81.58%，其餘介於 70%至 50%之間。分別為阿里山、平鎮工業區、臺北港監測站、桃園試驗線、新竹漁港、台塑六輕試驗線、新竹工業區、竹南工業區。而濕潤時間介於 20%以下則發生在東部花蓮試驗線 17.6%及伽蘭安檢所、尚武安檢所、豐樂工業區 6.63%。

第三次調查期間 2011.03-2011.06，濕潤時間百分比介於陽明山 76.27%及高鐵左營 14.45%之間，其餘介於 70%至 50%之間分別為新竹漁港、新竹工業區、平鎮工業區、臺北港監測站、蘇澳港試驗，而濕潤時間介於 20%以下則發生在南部高雄港試驗線 18.12%、安平工業區 16.03。濕潤時間最小發生在高鐵左營 14.45%。

第四次調查期間 2011.06-2011.09，濕潤時間百分比介於陽明山 69.85%及官田工業區 22.64%之間，其餘介於 70%至 50%之間則有新港安檢所、金樽安檢所、核三廠試驗線。而濕潤時間介於 20%附近則發生在臺中工業區、安平工業區、官田工業區而濕潤時間最小發生在成大水工所 22.64%。

一年調查期間 2010.07-2011.09，平均濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 75.56%及東石安檢所 21.87%之間，而濕潤時間大於 80%則無任何地區。濕潤時間百分比大於 70%有陽明山國家公園及陽明山硫磺區 75.56%。其次介於 40%至 60%之間較大濕潤時間有台塑六輕試驗線、蘇澳港試驗線、桃園試驗線等地區。而濕潤時間介於 20%附近發生在安平工業區 21.92%、東石安檢所 21.87%及高鐵臺中站 26.94%。

表 4-4 各試驗點濕潤時間百分比調查表

單位：%

項次	試驗地點 \ 試驗期間	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆試驗線 0m	43.75	48.93	47.82	31.01	41.70
2	基隆試驗線 100m	43.75	48.93	47.82	31.01	41.70
3	基隆試驗線 3Km	43.75	48.93	47.82	31.01	41.70
4	梗枋安檢所	42.67	48.00	49.71	29.55	40.40
5	龍德工業區	55.49	52.17	55.64	36.64	48.81
6	蘇澳港試驗線 0m	55.49	52.17	55.64	36.64	48.81
7	蘇澳港試驗線 100m	55.49	52.17	55.64	36.64	48.81
8	蘇澳港試驗線 300m	55.49	52.17	55.64	36.64	48.81
9	南澳安檢所	55.49	52.17	55.64	36.64	48.81
10	和平工業區	30.13	18.03	36.91	24.59	26.68
11	太魯閣國家公園	30.13	18.03	36.91	24.59	26.68
12	美崙工業區	30.27	17.89	36.91	24.59	26.66
13	花蓮港試驗線 0m	30.27	17.60	36.32	24.89	26.73
14	花蓮港試驗線 100m	30.27	17.60	36.32	24.89	26.73
15	花蓮港試驗線 300m	30.27	17.60	36.32	24.89	26.73
16	橄仔樹安檢所	30.27	17.60	36.32	24.89	26.73
17	石梯安檢所	30.27	17.60	36.32	24.89	26.73
18	成功試驗線 0m	48.67	34.10	59.07	68.96	50.49
19	金樽安檢所	48.67	34.10	59.07	68.96	50.49
20	伽蘭安檢所	33.29	6.63	38.04	36.97	28.34
21	豐樂工業區	33.29	6.63	38.04	36.97	28.34
22	尚武安檢所	33.24	6.63	38.04	36.97	28.34
23	核三廠試驗線 0m	40.06	17.86	30.21	58.37	37.39
24	核三廠試驗線 100m	40.06	17.86	30.21	58.37	37.39
25	核三廠試驗線 300m	40.06	17.86	30.21	58.37	37.39
26	核三廠試驗線 1Km	40.06	17.86	30.21	58.37	37.39
27	屏東工業區	37.06	19.69	18.03	40.42	29.03
28	中油林園廠	37.06	19.69	18.03	40.42	29.07
29	中鋼公司	37.06	19.69	18.03	40.34	28.83
30	鳳山工業區	37.06	19.69	18.03	40.34	28.83

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
31	大發工業區	37.06	19.69	18.03	40.42	29.03
32	高雄港試驗線 0m	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
33	高雄港試驗線 100m	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
34	高雄港試驗線 300m	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
35	高雄港試驗線 1Km	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
36	高雄港試驗線 3Km	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
37	高鐵左營站	34.61	19.99	14.45	38.85	28.43
38	高雄煉油廠	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
39	永安工業區	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
40	興達火力電廠	36.79	19.39	18.12	40.56	28.75
41	安平工業區	23.44	25.98	16.03	22.69	21.92
42	成大水工所	23.21	25.94	16.21	22.64	21.87
43	官田工業區	23.37	26.29	16.21	22.73	21.92
44	東石安檢所	23.21	25.94	16.21	22.64	21.87
45	朴子工業區	62.70	56.05	46.01	43.29	51.88
46	高鐵嘉義站	62.54	56.93	45.32	43.52	51.74
47	斗六工業區	64.60	56.06	46.85	42.21	52.46
48	台塑六輕試驗線 0m	62.70	56.05	46.01	43.73	51.83
49	台塑六輕試驗線 100m	62.70	56.05	46.01	43.73	51.83
50	台塑六輕試驗線 300m	62.70	56.05	46.01	43.73	51.83
51	台塑六輕試驗線 1Km	62.70	56.05	46.01	43.73	51.83
52	台塑六輕試驗線 3Km	62.70	56.05	46.01	43.73	51.83
53	王功安檢所	29.98	44.65	47.13	37.15	39.19
54	彰濱工業區	29.98	44.65	47.13	37.15	39.19
55	田中工業區	38.92	29.17	24.03	25.00	29.12
56	南崗工業區	38.75	29.47	24.21	23.26	29.01
57	大里工業區	38.75	29.47	24.21	23.26	29.01
58	高鐵臺中站	31.17	31.81	23.30	23.11	26.94
59	臺中工業區	42.75	29.47	24.21	23.26	28.10
60	關連工業區	30.03	44.65	47.13	37.15	39.23

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
61	臺中火力電廠	32.51	47.38	41.62	30.07	38.32
62	臺中港試驗線 0m	30.03	44.65	47.13	33.99	38.16
63	臺中港試驗線 100m	33.48	47.88	42.72	34.06	39.59
64	臺中港試驗線 1Km	32.42	49.03	43.12	34.43	38.61
65	五甲安檢所	32.72	43.59	47.13	36.56	39.32
66	通霄火力電廠	34.18	51.92	43.73	34.89	40.35
67	外埔安檢所	32.72	43.59	47.13	36.56	39.32
68	竹南工業區	38.52	61.83	61.81	38.44	49.39
69	頭份工業區	38.52	61.83	61.81	38.44	49.39
70	工研院	38.52	61.83	61.81	38.44	49.39
71	新竹工業區	38.52	61.83	61.81	38.44	49.39
72	平鎮工業區	40.31	72.92	60.56	33.02	49.51
73	桃園試驗線 0m	40.98	73.95	59.03	32.70	49.38
74	桃園試驗線 300m	54.04	63.77	58.10	42.22	53.07
75	桃園試驗線 1Km	54.04	63.77	58.10	42.22	53.07
76	陽明山國家公園	78.02	81.20	38.61	27.95	37.21
77	陽明山硫磺區	78.53	81.50	76.27	69.85	75.56
78	北橫巴陵	28.04	52.12	42.92	31.17	38.56
79	阿里山	75.67	75.92	38.27	27.64	37.63
80	臺北市區	47.96	49.84	38.10	27.95	37.21
81	東北角風景管理處	41.00	50.13	40.29	26.14	36.33
82	臺北港監測站	54.34	73.72	58.10	42.22	51.64
83	樹林工業區(服務中心)	47.96	51.12	38.10	27.24	37.11
84	平鎮工業區(服務中心)	53.91	64.32	58.38	42.14	53.19
85	觀音工業區(服務中心)	54.04	63.77	58.10	42.22	53.07
86	永安安檢所	40.82	75.87	59.92	32.70	49.38
87	新竹漁港	38.52	61.83	61.81	38.44	49.39

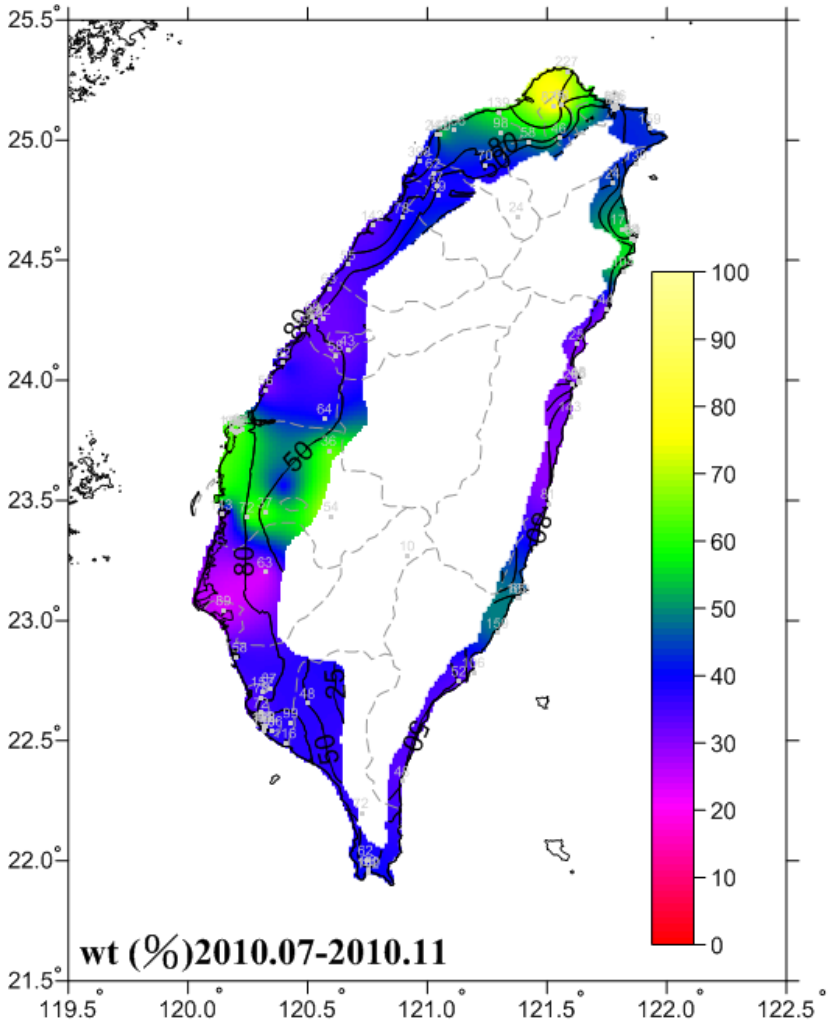


圖 4.12　2010.09-2010.12 濕潤時間百分比

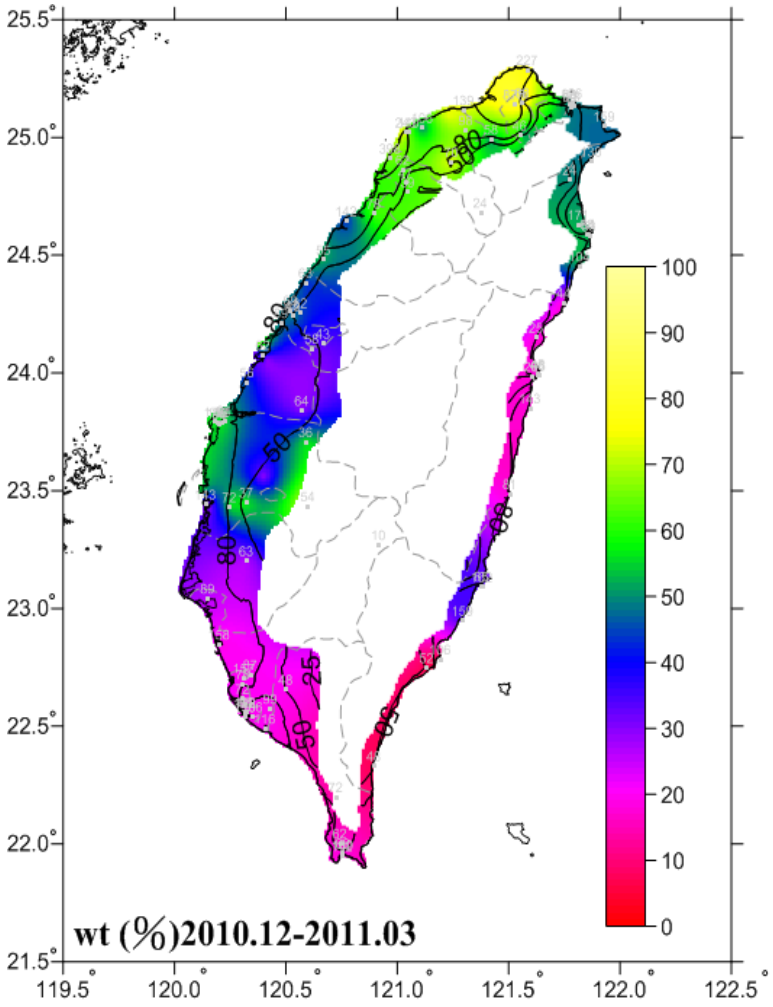


圖 4.13　2010.12-2011.03 濕潤時間百分比

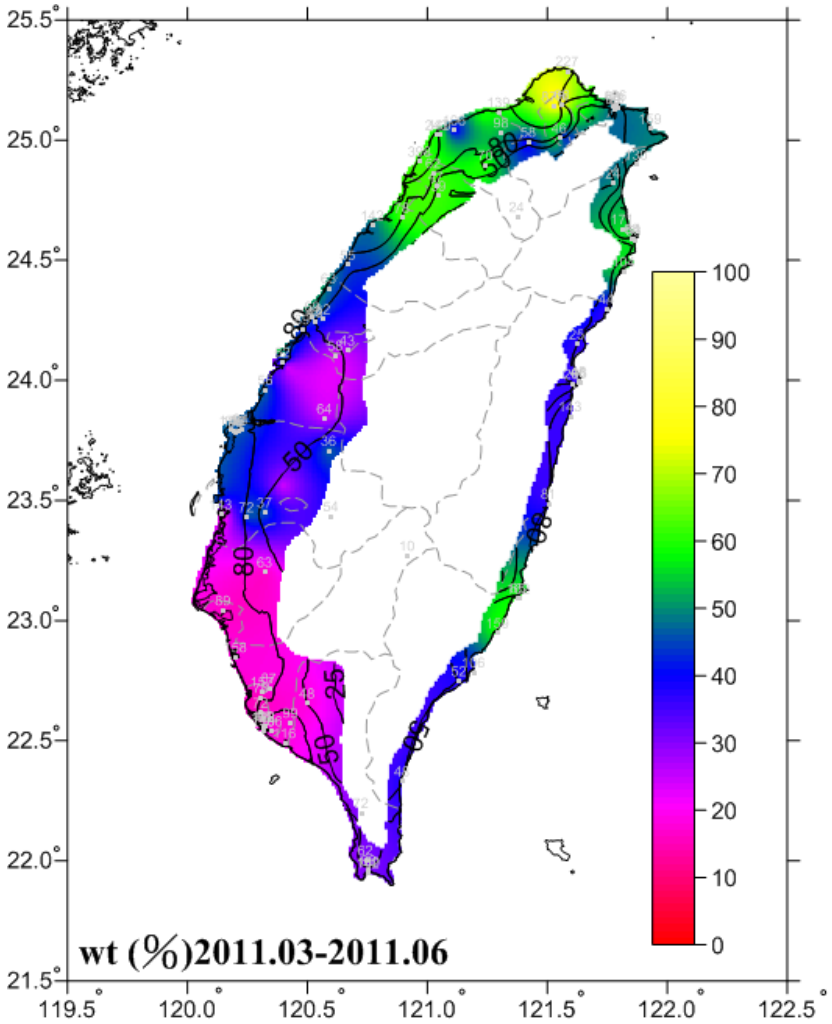


圖 4.14　2011.03-2011.06 濕潤時間百分比

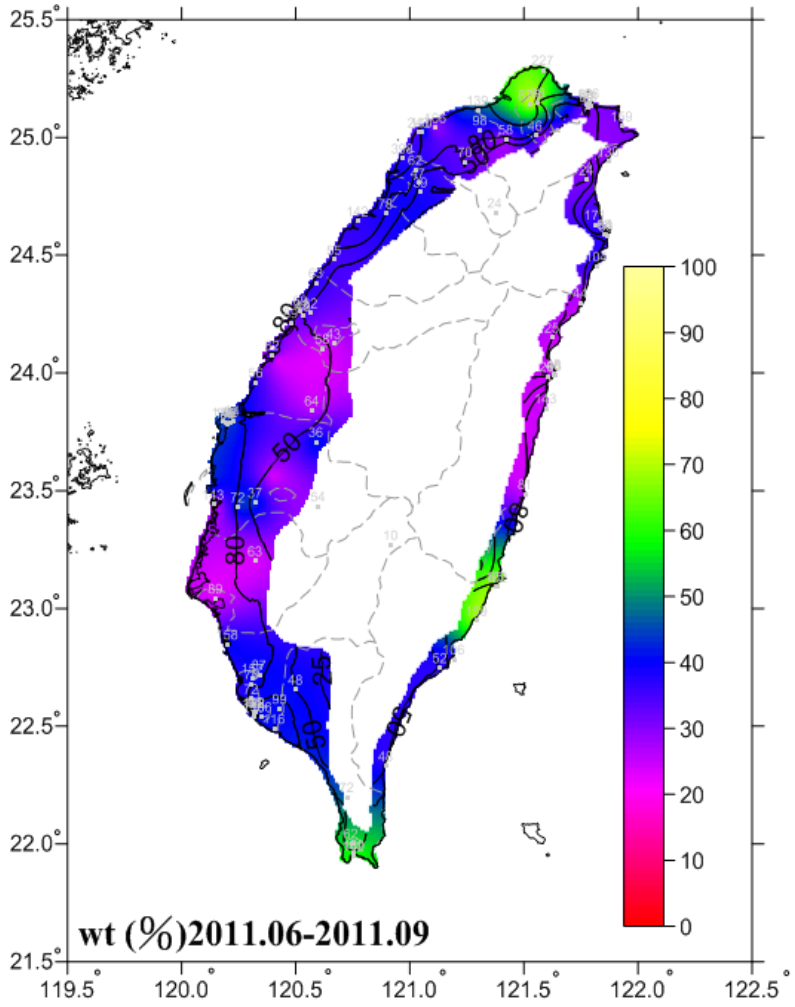


圖 4.15　2011.06-2011.09 濕潤時間百分比

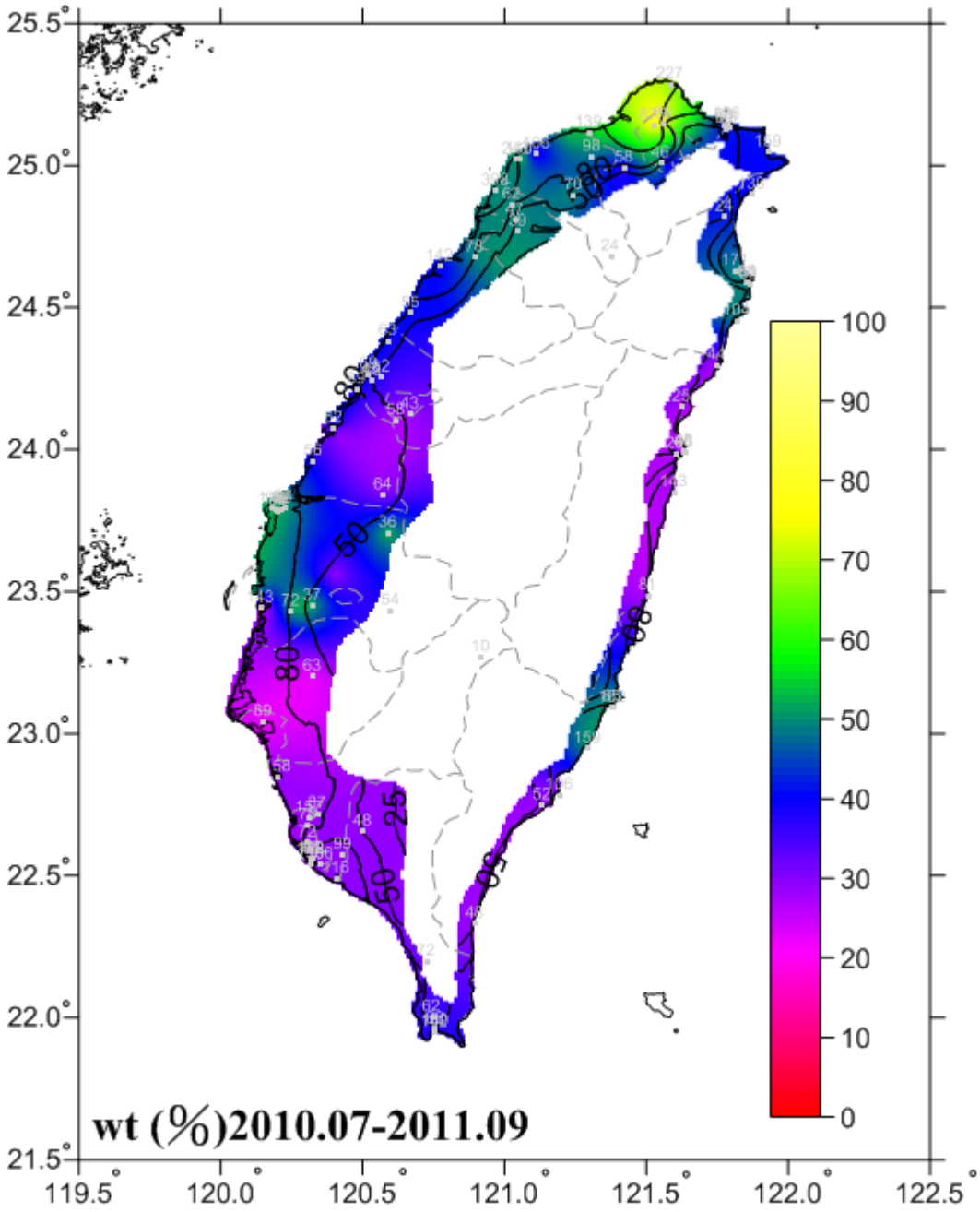


圖 4.16　2010.08-2011.09 一年期濕潤時間百分比等位圖

4.4 腐蝕因子環境分類

表 4-5 試驗點之大氣腐蝕環境分類表(依環境因子分析)(2010.09-2011.09)

項次	試驗地點	濕度時間分類	氯鹽沉積速率分類	SO_2 沉積速率分類	碳鋼腐蝕環境分類	鋅與銅腐蝕環境分類	鋁腐蝕環境分類
1	基隆港試驗線 0m	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
2	基隆港試驗線 100m	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
3	基隆港試驗線 3km	τ 4	S0	P1	C3	C3	C3
4	梗枋安檢所	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
5	龍德工業區	τ 4	S0	P3+	C5	C4orC5	C4orC5
6	蘇澳港試驗線 0m	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
7	蘇澳港試驗線 100m	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
8	蘇澳港試驗線 300m	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
9	南澳安檢所	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
10	和平工業區	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
11	太魯閣國家公園管理處	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
12	美崙工業區	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
13	花蓮港試驗線 0m	τ 3	S1	P0	C2orC3	C3	C3
14	花蓮港試驗線 100m	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
15	花蓮港試驗線 300m	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
16	橄仔樹安檢所	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
17	石梯安檢所	τ 3	S1	P0	C2orC3	C3	C3
18	新港安檢所(成功)	τ 5	S1	P0	C3orC4	C3orC4	C4
19	金樽安檢所(東河)	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
20	伽蘭安檢所(富岡)	τ 3	S1	P0	C2orC3	C3	C3
21	豐樂工業區	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
22	尚武安檢所	τ 5	S3+	P0	C5	C5	C5
23	核三廠試驗線 0M	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
24	核三廠試驗線 100M	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
25	核三廠試驗線 300M	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
26	核三廠試驗線 1KM	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
27	屏東工業區	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
28	中油林園廠	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4

項次	試驗地點	濕度時間分類	氯鹽沉積速率分類	SO_2 沉積速率分類	碳鋼腐蝕環境分類	鋅與銅腐蝕環境分類	鋁腐蝕環境分類
29	中鋼公司	τ 3	S0	P3+	C4	C3	C3orC4
30	鳳山工業區	τ 3	S0	P3+	C4	C3	C3orC4
31	大發工業區	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4
32	高雄港試驗線 0m	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
33	高雄港試驗線 100m	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
34	高雄港試驗線 300m	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
35	高雄港試驗線 1km	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
36	高雄港試驗線 3km	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
37	高鐵左營站	τ 3	S0	P2	C3orC4	C3	C3
38	高雄煉油廠	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4
39	永安工業區	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4
40	興達火力電廠	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
41	安平工業區	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4
42	成大水工所	τ 3	S0	P2	C3orC4	C3	C3
43	官田工業區	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4
44	東石安檢所	τ 3	S0	P0	C2orC3	C3	C3
45	朴子工業區	τ 4	S0	P3	C5	C4orC5	C4orC5
46	高鐵嘉義站	τ 4	S0	P2	C4	C3orC4	C3orC4
47	斗六工業區	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
48	台塑六輕試驗線 0m	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
49	台塑六輕試驗線 100m	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
50	台塑六輕試驗線 300m	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
51	台塑六輕試驗線 1km	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
52	台塑六輕試驗線 3km	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
53	王功安檢所	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
54	彰濱工業區	τ 4	S1	P1	C3	C3	C3
55	田中工業區	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3
56	南崗工業區	τ 3	S0	P2	C3orC4	C3	C3
57	大里工業區	τ 3	S0	P3+	C4	C3	C3orC4
58	高鐵臺中站	τ 3	S0	P1	C2orC3	C3	C3

項次	試驗地點	濕度時間分類	氯鹽沉積速率分類	SO_2 沉積速率分類	碳鋼腐蝕環境分類	鋅與銅腐蝕環境分類	鋁腐蝕環境分類
59	臺中工業區	τ 3	S0	P2	C3orC4	C3	C3
60	關聯工業區	τ 4	S0	P3	C5	C4orC5	C4orC5
61	臺中火力電廠	τ 4	S1	P3	C5	C4orC5	C4orC5
62	臺中港試驗線 0m	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
63	臺中港試驗線 100m	τ 4	S1	P2	C4	C3orC4	C3orC4
64	臺中港試驗線 1km	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
65	五甲安檢所	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
66	通霄火力電廠	τ 4	S1	P3	C5	C4orC5	C4orC5
67	外埔安檢所	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3
68	竹南工業區	τ 4	S0	P3	C5	C4orC5	C4orC5
69	頭份工業區	τ 4	S0	P3	C5	C4orC5	C4orC5
70	工研院	τ 4	S0	P2	C4	C3orC4	C3orC4
71	新竹工業區	τ 4	S0	P2	C4	C3orC4	C3orC4
72	平鎮工業區	τ 4	S0	P2	C4	C3orC4	C3orC4
73	桃園試驗線 0m	τ 4	S1	P1	C3	C3	C3
74	桃園試驗線 300m	τ 4	S1	P3	C5	C4orC5	C4orC5
75	臺北市	τ 4	S0	P1	C3	C3	C3
76	陽明山國家公園管理處	τ 4	S0	P1	C3	C3	C3
77	陽明山硫磺區	τ 5	S0	P3+	C5	C5	C5
78	北橫巴陵	τ 5	S0	P0	C3orC4	C3orC4	C4
79	阿里山	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
80	桃園試驗線 1km	τ 3	S0	P3	C4	C3	C3orC4
81	東北角風景管理處	τ 4	S1	P1	C3	C3	C3
82	臺北港監測站	τ 4	S0	P0	C3	C3	C3
83	樹林工業區(服務中心)	τ 4	S0	P3	C5	C4orC5	C4orC5
84	平鎮工業區(服務中心)	τ 4	S0	P3+	C5	C4orC5	C4orC5
85	觀音工業區(服務中心)	τ 4	S0	P3+	C5	C4orC5	C4orC5
86	永安安檢所	τ 4	S1	P2	C4	C3orC4	C3orC4
87	新竹漁港	τ 4	S1	P0	C3	C3	C3

4.5 現地暴露試驗結果

今彙整四次採樣與一年期之各金屬之腐蝕速率計算結果，如表 4-6 至表 4-9 所示。

第一次調查期間 2010.09-2010.12，秋季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 12.05μm/yr (北橫巴陵)至 885.75μm/yr (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 728.18μm/yr(龍德工業區)、及 703.06μm/yr (臺中火力電廠)、649.05μm/yr(基隆港試驗線 100m)試片腐蝕速率較大。針對鋅金屬介於 1.27μm/yr (太魯閣國家公園管理處)至 66.78μm/yr (成功安檢所)之間；銅金屬介於 1.18μm/yr (北橫巴陵)至 70.31μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 2.17 (官田工業區)至 64.13 $g/m^2/yr$ (王功安檢所)之間。

第二次調查期間 20010.12-2011.03，冬季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 14.89μm/yr (北橫巴陵)至 500.87μm/yr(陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 0.11μm/yr (竹南工業區)至 47.71μm/yr(成大水工所)之間；銅金屬介於 0.77μm/yr (斗六工業區)至 94.77μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 $0.2g/m^2/yr$ (北橫巴陵)至 51.81 $g/m^2/yr$(台塑六輕試驗線 1km)之間。

第三次調查期間 2011.03-2011.06，春季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 17.47μm/yr(臺中火力電廠)至 499.74μm/yr(陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 0.42μm/yr(新竹漁港)至 39.89μm/[illegible]力電廠)之間；銅金屬介於 1.09μm/yr(北橫巴陵)至 80.73μm/yr (陽明山硫磺區)之間;而鋁金屬則介於 0.95g/m2/yr(官田工業區)至 38.73g/m2/yr(台塑六輕試驗線 100m)之間。

第四次調查期間 2011.06-2011.09，夏季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 7.85μm/yr(北橫巴陵)至 793.34μm/yr(陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 0.17μm/yr (蘇澳港試驗線 0m)至 27.5μm/yr(新竹漁港)之間；銅金屬介於 1.97μm/yr(斗六工業區)至 72.4μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 0.17 $g/m^2/yr$ (斗六工業區)至 $32.27g/m^2/yr$ (新竹漁港)之間。

至於一年期暴露試驗 2010.09-2011.09 金屬的腐蝕速率，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 14.69μm/yr (高鐵臺中站)到 584.92μm/yr (陽明山硫磺區)之間；鋅金屬介於 0.81μm/yr (永安工業區)至 29.99μm/yr(桃園試驗線 0m)之間；銅金屬介於 0.52μm/yr (北橫巴陵)至 64.75μm/yr (陽明山硫磺區)之間；而鋁金屬則介於 0.38 $g/m^2/yr$ (臺北市)至 44.49 $g/m^2/yr$(台塑六輕試驗線 3km)之間。

表 4-6 碳鋼之腐蝕速率表

單位：μm/yr

項次	試驗期間 / 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆港試驗線 0m	360.82	341.62	146.50	73.42	159.70
2	基隆港試驗線 100m	649.05	446.92	256.47	154.31	284.80
3	基隆港試驗線 3km	233.37	233.43	129.63	75.49	121.82
4	梗枋安檢所	337.48	259.43	193.09	157.84	110.84
5	龍德工業區	728.18	115.27	326.38	258.50	255.61
6	蘇澳港試驗線 0m	145.33	163.72	131.24	62.81	65.87
7	蘇澳港試驗線 100m	153.62	153.37	144.81	65.49	72.84
8	蘇澳港試驗線 300m	136.67	141.51	112.50	56.88	61.95
9	南澳安檢所	152.41	144.56	115.24	110.91	72.33
10	和平工業區	64.45	88.09	84.77	57.98	33.51
11	太魯閣國家公園管理處	64.80	-	88.13	59.43	39.28
12	美崙工業區	116.54	132.77	123.91	41.18	54.62
13	花蓮港試驗線 0m	204.08	81.75	174.13	138.31	81.52
14	花蓮港試驗線 100m	142.01	87.88	153.87	80.94	58.19
15	花蓮港試驗線 300m	142.93	77.64	136.49	51.62	48.30
16	橄仔樹安檢所	289.95	214.72	260.93	153.83	275.94
17	石梯安檢所	148.89	119.55	166.55	81.29	73.76
18	新港安檢所(成功)	191.00	93.01	154.57	110.09	112.11
19	金樽安檢所(東河)	-	82.93	219.90	146.39	93.10
20	伽蘭安檢所(富岡)	201.28	70.96	154.61	109.75	111.35
21	豐樂工業區	53.10	64.00	42.83	50.86	37.13
22	尚武安檢所	107.66	70.57	71.04	-	-
23	核三廠試驗線 0M	262.81	76.02	90.38	117.40	126.69
24	核三廠試驗線 100M	171.21	67.84	69.35	81.24	67.87
25	核三廠試驗線 300M	180.08	90.18	90.10	90.23	73.13
26	核三廠試驗線 1KM	148.89	56.27	66.00	77.16	60.73
27	屏東工業區	63.02	27.25	42.79	86.04	35.43
28	中油林園廠	125.93	47.48	99.45	124.14	64.16
29	中鋼公司	170.80	59.95	110.65	201.58	93.69
30	鳳山工業區	82.73	49.27	96.66	101.32	47.72
31	大發工業區	149.83	69.15	111.06	145.38	55.84
32	高雄港試驗線 0m	134.47	58.31	117.39	186.82	-
33	高雄港試驗線 100m	99.85	53.20	90.07	133.24	67.19
34	高雄港試驗線 300m	110.36	62.44	132.71	139.20	65.04

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
35	高雄港試驗線 1km	97.94	46.68	101.41	171.04	52.46
36	高雄港試驗線 3km	94.53	31.43	94.82	102.94	48.37
37	高鐵左營站	67.08	42.33	63.84	69.63	39.90
38	高雄煉油廠	87.33	47.28	85.70	153.08	45.61
39	永安工業區	122.06	72.08	117.28	137.94	57.79
40	興達火力電廠	136.14	86.06	111.51	150.99	78.80
41	安平工業區	103.34	81.99	87.38	-	56.49
42	成大水工所	94.77	82.77	77.99	90.00	49.30
43	官田工業區	78.71	95.80	95.59	71.27	47.52
44	東石安檢所	150.27	133.33	122.07	165.43	94.40
45	朴子工業區	140.76	119.29	104.33	106.65	67.08
46	高鐵嘉義站	75.30	78.27	67.84	60.33	45.87
47	斗六工業區	26.39	32.42	67.07	53.85	37.95
48	台塑六輕試驗線 0m	468.48	307.48	492.43	155.54	189.21
49	台塑六輕試驗線 100m	436.99	313.53	416.26	122.00	168.95
50	台塑六輕試驗線 300m	414.45	296.72	264.30	96.44	152.58
51	台塑六輕試驗線 1km	-	243.73	281.11	58.60	162.03
52	台塑六輕試驗線 3km	419.98	272.38	277.66	103.93	168.42
53	王功安檢所	254.93	198.63	277.46	146.23	181.98
54	彰濱工業區	275.55	233.39	406.38	158.46	170.81
55	田中工業區	81.04	55.70	123.39	76.47	28.99
56	南崗工業區	75.46	138.16	82.35	61.17	38.41
57	大里工業區	65.90	52.48	58.56	49.88	34.79
58	高鐵臺中站	68.19	45.17	96.48	125.66	14.69
59	臺中工業區	253.99	82.99	86.31	62.15	47.23
60	關聯工業區	59.19	127.56	161.10	97.53	81.09
61	臺中火力電廠	703.10	181.52	17.47	80.04	137.89
62	臺中港試驗線 0m	223.70	183.06	178.62	156.2	-
63	臺中港試驗線 100m	165.38	118.76	164.65	88.29	86.48
64	臺中港試驗線 1km	137.30	136.38	138.24	88.07	77.86
65	五甲安檢所	205.40	242.17	273.31	167.39	119.71
66	通霄火力電廠	237.70	248.30	212.65	138.67	103.92
67	外埔安檢所	271.30	243.65	470.37	161.29	177.55
68	竹南工業區	111.01	119.27	203.74	93.41	78.57

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
69	頭份工業區	184.20	137.52	61.62	91.29	65.87
70	工研院	89.90	94.19	142.26	59.21	53.99
71	新竹工業區	100.90	121.53	163.71	63.09	56.76
72	平鎮工業區	113.40	158.56	147.14	54.98	66.80
73	桃園試驗線 0m	473.30	220.96	365.24	254.68	205.12
74	桃園試驗線 300m	275.90	244.69	209.99	167.47	133.83
75	臺北市	115.25	117.35	77.70	53.31	49.26
76	陽明山國家公園管理處	351.62	353.91	239.53	118.57	212.72
77	陽明山硫磺區	885.75	500.87	499.74	793.34	584.92
78	北橫巴陵	12.05	14.89	48.27	7.85	19.25
79	阿里山	20.67	29.37	38.93	23.81	22.06
80	桃園試驗線 1km	323.45	323.63	209.79	-	139.21
81	東北角風景管理處	376.38	477.56	317.66	103.88	233.17
82	臺北港監測站	118.01	149.32	135.95	61.51	67.09
83	樹林工業區(服務中心)	102.18	116.70	177.49	88.03	68.90
84	平鎮工業區(服務中心)	202.41	241.68	130.42	63.33	77.79
85	觀音工業區(服務中心)	343.67	321.99	182.87	68.64	83.12
86	永安安檢所	369.48	288.70	212.29	235.46	99.10
87	新竹漁港	271.28	189.18	336.76	320.26	210.33

註：- 表示試片遺失

表 4-7 鋅之腐蝕速率表

單位：μm/yr

項次	試驗地點 \ 試驗期間	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆港試驗線 0m	9.13	15.88	9.64	5.42	5.26
2	基隆港試驗線 100m	21.51	21.52	3.44	8.13	4.84
3	基隆港試驗線 3km	22.32	20.89	10.22	5.80	2.27
4	梗枋安檢所	9.92	11.94	4.11	9.34	4.90
5	龍德工業區	6.64	6.18	6.60	6.35	3.86
6	蘇澳港試驗線 0m	4.12	6.77	5.15	0.17	2.22
7	蘇澳港試驗線 100m	3.55	6.64	4.00	6.28	3.02
8	蘇澳港試驗線 300m	2.48	7.40	3.91	6.36	2.89
9	南澳安檢所	4.72	5.11	4.08	6.67	3.51
10	和平工業區	2.55	4.02	2.75	4.23	2.32
11	太魯閣國家公園管理處	1.27	5.59	4.29	5.72	2.80
12	美崙工業區	7.55	4.82	4.38	6.39	3.70
13	花蓮港試驗線 0m	35.12	5.54	5.79	10.53	3.96
14	花蓮港試驗線 100m	-	4.81	6.05	4.75	3.50
15	花蓮港試驗線 300m	28.77	5.83	4.87	5.42	3.05
16	橄仔樹安檢所	29.84	15.70	5.40	9.61	9.37
17	石梯安檢所	30.88	5.22	3.46	6.55	2.86
18	新港安檢所(成功)	66.78	16.58	6.49	7.02	4.84
19	金樽安檢所(東河)	38.26	13.63	5.67	10.34	2.95
20	伽蘭安檢所(富岡)	28.31	14.25	4.77	6.41	5.87
21	豐樂工業區	18.70	10.06	3.06	6.38	2.51
22	尚武安檢所	16.13	5.60	4.32	-	-
23	核三廠試驗線 0M	25.84	5.51	4.04	-	-
24	核三廠試驗線 100M	37.15	3.92	3.84	6.72	2.87
25	核三廠試驗線 300M	19.32	4.61	4.38	6.59	2.83
26	核三廠試驗線 1KM	25.68	26.48	4.65	4.41	3.61
27	屏東工業區	9.73	6.72	2.96	9.64	3.43
28	中油林園廠	30.08	10.19	2.89	-	3.91
29	中鋼公司	23.78	9.74	3.83	-	4.40
30	鳳山工業區	2.47	6.55	2.49	6.24	2.63
31	大發工業區	4.77	9.08	3.81	7.76	3.77
32	高雄港試驗線 0m	3.87	5.50	3.24	-	-
33	高雄港試驗線 100m	4.14	9.79	36.01	6.83	3.00
34	高雄港試驗線 300m	5.22	10.75	4.80	6.14	3.56

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
35	高雄港試驗線 1km	2.61	7.01	3.20	7.36	2.90
36	高雄港試驗線 3km	1.73	8.40	2.68	5.31	2.72
37	高鐵左營站	3.49	13.01	8.12	4.63	2.41
38	高雄煉油廠	3.50	10.25	3.90	19.07	3.88
39	永安工業區	4.32	4.10	-	2.88	0.81
40	興達火力電廠	13.96	14.96	5.99	8.62	3.35
41	安平工業區	11.66	13.47	5.50	8.80	2.13
42	成大水工所	9.80	47.71	5.26	8.56	2.57
43	官田工業區	14.99	14.88	3.49	7.60	3.57
44	東石安檢所	27.08	15.26	4.26	8.11	3.23
45	朴子工業區	35.41	19.05	4.25	7.15	2.27
46	高鐵嘉義站	17.63	20.15	9.74	4.55	2.10
47	斗六工業區	12.65	10.22	8.75	5.79	-
48	台塑六輕試驗線 0m	22.92	11.45	7.35	7.49	7.04
49	台塑六輕試驗線 100m	11.45	9.68	6.26	8.35	7.66
50	台塑六輕試驗線 300m	9.98	11.90	6.47	7.45	5.89
51	台塑六輕試驗線 1km	-	1.77	7.46	8.27	7.97
52	台塑六輕試驗線 3km	6.64	10.18	6.88	9.16	6.43
53	王功安檢所	2.52	14.40	5.71	9.43	8.32
54	彰濱工業區	9.15	30.17	10.64	7.13	17.41
55	田中工業區	9.52	19.17	6.83	5.97	5.08
56	南崗工業區	27.61	11.56	7.35	6.48	2.29
57	大里工業區	2.87	6.36	5.28	3.97	2.87
58	高鐵臺中站	-	7.41	7.04	-	3.29
59	臺中工業區	3.61	3.36	7.50	5.15	4.48
60	關聯工業區	5.01	7.50	6.59	7.73	5.25
61	臺中火力電廠	12.95	8.45	39.89	7.26	6.80
62	臺中港試驗線 0m	29.85	38.05	8.63	8.40	15.7
63	臺中港試驗線 100m	31.67	3.73	11.81	8.80	6.38
64	臺中港試驗線 1km	22.98	13.62	9.91	6.28	4.74
65	五甲安檢所	15.52	14.10	0.96	15.78	6.75
66	通霄火力電廠	15.65	11.36	5.48	12.08	6.63
67	外埔安檢所	33.74	27.38	2.35	14.08	19.25
68	竹南工業區	6.29	0.11	6.43	7.43	1.61
69	頭份工業區	39.11	20.20	7.36	7.71	8.23
70	工研院	2.40	15.42	6.71	8.03	3.56

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
71	新竹工業區	-	7.46	10.35	8.05	3.45
72	平鎮工業區	2.42	10.59	37.78	3.74	3.55
73	桃園試驗線 0m	-	15.89	11.74	20.39	29.99
74	桃園試驗線 300m	65.13	20.82	7.31	10.86	5.63
75	臺北市	11.17	15.31	8.37	4.61	2.77
76	陽明山國家公園管理處	23.50	20.60	7.66	4.56	2.12
77	陽明山硫磺區	16.33	15.20	7.60	6.81	5.97
78	北橫巴陵	3.27	5.80	9.09	6.75	2.44
79	阿里山	19.81	14.36	3.18	4.01	2.04
80	桃園試驗線 1km	16.77	19.00	11.63	-	7.44
81	東北角風景管理處	23.78	10.17	4.97	6.42	4.12
82	臺北港監測站	2.98	12.71	7.80	6.21	3.75
83	樹林工業區(服務中心)	4.99	14.10	8.76	7.27	3.31
84	平鎮工業區(服務中心)	11.98	23.89	12.19	5.66	3.67
85	觀音工業區(服務中心)	9.47	12.99	8.89	5.53	4.30
86	永安安檢所	18.23	9.49	8.83	17.79	10.19
87	新竹漁港	9.54	11.66	0.42	27.50	5.89

註：- 表示試片遺失

表 4-8 銅之腐蝕速率表

單位：μm/yr

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆港試驗線 0m	12.86	59.09	11.30	15.81	5.08
2	基隆港試驗線 100m	19.00	16.60	17.16	8.55	7.27
3	基隆港試驗線 3km	7.57	6.08	5.85	7.39	2.79
4	梗枋安檢所	14.07	-	12.87	16.05	4.74
5	龍德工業區	37.58	11.38	42.55	37.80	17.96
6	蘇澳港試驗線 0m	6.19	5.88	8.65	3.93	2.96
7	蘇澳港試驗線 100m	-	-	7.93	5.06	3.15
8	蘇澳港試驗線 300m	4.40	3.54	4.42	3.32	2.34
9	南澳安檢所	8.72	5.97	10.29	14.12	3.71
10	和平工業區	3.55	3.02	3.50	3.77	1.76
11	太魯閣國家公園管理處	1.74	2.14	4.75	3.17	1.40
12	美崙工業區	4.50	6.50	5.43	2.45	2.35
13	花蓮港試驗線 0m	10.35	14.94	10.48	18.07	5.91
14	花蓮港試驗線 100m	6.50	10.90	7.57	8.02	3.87
15	花蓮港試驗線 300m	5.73	9.66	7.49	7.75	3.38
16	橄仔樹安檢所	15.30	21.66	13.11	16.96	9.46
17	石梯安檢所	7.74	8.28	8.98	9.65	3.85
18	新港安檢所(成功)	-	11.06	14.52	13.26	8.61
19	金樽安檢所(東河)	9.61	11.81	14.11	14.93	4.88
20	伽蘭安檢所(富岡)	15.01	21.35	19.10	16.35	10.90
21	豐樂工業區	3.51	3.37	2.79	2.60	1.62
22	尚武安檢所	5.53	8.60	9.20	-	-
23	核三廠試驗線 0M	10.65	11.27	15.31	8.82	6.48
24	核三廠試驗線 100M	9.50	7.80	9.81	7.58	5.47
25	核三廠試驗線 300M	8.64	10.90	11.93	7.05	3.88
26	核三廠試驗線 1KM	8.75	8.40	10.44	6.08	5.05
27	屏東工業區	3.75	1.38	3.64	4.47	1.66
28	中油林園廠	4.42	2.05	5.71	-	2.33
29	中鋼公司	6.08	2.89	3.61	-	4.12
30	鳳山工業區	3.00	2.40	3.20	4.13	1.51
31	大發工業區	4.45	2.78	4.69	9.31	3.06
32	高雄港試驗線 0m	3.34	3.07	3.03	-	-
33	高雄港試驗線 100m	2.60	2.00	2.65	4.72	1.65
34	高雄港試驗線 300m	4.42	3.93	6.67	7.54	3.49
35	高雄港試驗線 1km	2.64	1.54	2.80	4.88	1.58

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
36	高雄港試驗線 3km	2.28	1.09	2.02	3.66	1.35
37	高鐵左營站	2.19	1.31	2.54	3.24	1.11
38	高雄煉油廠	3.30	1.88	3.32	-	1.53
39	永安工業區	4.30	3.30	4.36	17.18	1.26
40	興達火力電廠	6.89	6.28	7.24	10.77	3.67
41	安平工業區	-	4.80	7.01	6.99	2.24
42	成大水工所	5.18	5.02	6.60	8.08	2.27
43	官田工業區	7.45	13.54	7.49	4.63	5.86
44	東石安檢所	10.49	9.29	9.38	24.78	4.08
45	朴子工業區	3.94	5.78	5.04	14.51	1.78
46	高鐵嘉義站	5.32	4.90	4.59	10.34	1.82
47	斗六工業區	1.99	0.77	2.34	1.97	1.00
48	台塑六輕試驗線 0m	24.64	27.63	21.77	11.14	11.02
49	台塑六輕試驗線 100m	19.80	21.00	16.05	12.92	8.85
50	台塑六輕試驗線 300m	22.92	22.47	14.79	10.62	8.42
51	台塑六輕試驗線 1km	-	17.30	11.94	8.87	-
52	台塑六輕試驗線 3km	24.30	20.82	17.12	12.47	11.38
53	王功安檢所	19.36	18.62	20.71	14.89	9.33
54	彰濱工業區	17.89	23.76	16.33	13.59	8.16
55	田中工業區	4.62	2.89	4.69	2.82	1.53
56	南崗工業區	2.53	1.54	2.25	22.41	1.44
57	大里工業區	2.67	1.57	2.11	20.69	1.34
58	高鐵臺中站	5.23	2.88	3.93	6.53	2.61
59	臺中工業區	7.70	3.80	3.25	12.34	2.23
60	關聯工業區	7.80	9.98	8.45	21.63	4.04
61	臺中火力電廠	-	13.75	18.39	7.10	11.25
62	臺中港試驗線 0m	14.02	16.90	13.26	13.00	5.70
63	臺中港試驗線 100m	13.80	12.48	9.02	16.76	5.40
64	臺中港試驗線 1km	14.34	11.12	8.36	17.04	5.44
65	五甲安檢所	20.61	21.51	16.49	18.35	10.51
66	通霄火力電廠	18.00	15.44	15.80	17.89	8.29
67	外埔安檢所	19.16	20.80	17.02	24.61	10.25
68	竹南工業區	34.60	-	5.98	20.70	2.78
69	頭份工業區	-	-	5.34	11.75	1.74
70	工研院	5.54	4.13	4.64	6.16	1.89
71	新竹工業區	5.12	4.14	5.67	5.90	2.07

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
72	平鎮工業區	4.05	3.53	3.20	11.85	1.84
73	桃園試驗線 0m	28.09	27.09	22.06	22.34	11.30
74	桃園試驗線 300m	11.29	13.80	11.58	15.47	5.49
82	臺北市	4.88	4.55	3.24	3.29	1.44
76	陽明山國家公園管理處	14.13	20.60	12.89	20.65	9.99
77	陽明山硫磺區	70.31	94.77	80.73	72.40	64.75
78	北橫巴陵	1.18	0.90	1.09	3.66	0.52
79	阿里山	2.86	5.50	3.86	9.62	1.39
80	桃園試驗線 1km	8.09	14.30	9.52	-	3.67
81	東北角風景管理處	12.69	9.95	11.51	10.61	4.65
82	臺北港監測站	5.00	6.30	4.68	5.74	2.44
83	樹林工業區(服務中心)	2.00	2.50	2.46	5.24	8.02
84	平鎮工業區(服務中心)	7.32	7.10	5.40	3.11	2.77
85	觀音工業區(服務中心)	8.06	10.76	8.31	14.00	4.37
86	永安安檢所	15.69	11.02	9.97	35.29	6.88
87	新竹漁港	20.62	18.34	17.69	24.76	8.33

註：- 表示試片遺失

表 4-9 鋁之腐蝕速率表

單位：$g/m^2/yr$

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
1	基隆港試驗線 0m	22.53	15.21	15.54	4.66	7.96
2	基隆港試驗線 100m	24.65	32.83	22.91	11.42	14.07
3	基隆港試驗線 3km	4.35	7.57	6.56	1.64	2.52
4	梗枋安檢所	8.94	11.71	11.50	9.37	6.57
5	龍德工業區	15.80	6.92	18.34	21.63	10.75
6	蘇澳港試驗線 0m	7.61	8.30	9.17	4.27	1.52
7	蘇澳港試驗線 100m	4.26	7.56	14.30	4.10	3.28
8	蘇澳港試驗線 300m	4.47	4.30	4.61	3.49	2.15
9	南澳安檢所	-	7.46	7.06	2.79	2.05
10	和平工業區	-	2.87	2.51	0.96	0.43
11	太魯閣國家公園管理處	-	2.17	2.56	1.18	0.60
12	美崙工業區	2.61	5.62	4.21	0.83	1.03
13	花蓮港試驗線 0m	9.42	16.00	10.65	10.12	8.27
14	花蓮港試驗線 100m	3.72	9.24	7.63	4.27	4.28
15	花蓮港試驗線 300m	6.44	8.40	6.15	2.92	2.34
16	橄仔樹安檢所	11.65	15.46	10.54	7.46	8.25
17	石梯安檢所	4.47	11.07	7.80	5.54	3.06
18	新港安檢所(成功)	47.19	-	11.45	3.66	3.70
19	金樽安檢所(東河)	8.09	8.15	9.57	4.97	3.17
20	伽蘭安檢所(富岡)	6.70	11.31	8.32	4.54	5.62
21	豐樂工業區	4.20	3.75	2.11	0.96	-
22	尚武安檢所	5.48	5.78	2.65	-	-
23	核三廠試驗線 0M	7.61	7.80	6.45	2.85	-
24	核三廠試驗線 100M	7.39	3.85	2.88	2.46	1.72
25	核三廠試驗線 300M	8.25	5.53	6.22	2.51	1.99
26	核三廠試驗線 1KM	6.38	4.40	5.71	2.51	1.28
27	屏東工業區	-	2.02	1.11	1.94	-
28	中油林園廠	59.15	3.17	5.63	-	1.72
29	中鋼公司	-	5.99	11.00	-	5.18
30	鳳山工業區	8.30	4.09	3.26	4.63	4.74
31	大發工業區	6.50	6.17	4.84	4.41	4.53
32	高雄港試驗線 0m	8.94	-	2.00	-	-
33	高雄港試驗線 100m	-	2.71	2.95	-	2.19
34	高雄港試驗線 300m	10.79	8.01	11.00	5.27	9.32
35	高雄港試驗線 1km	8.34	2.71	2.89	1.56	1.96

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
36	高雄港試驗線 3km	-	1.90	1.42	1.51	0.91
37	高鐵左營站	-	2.55	3.88	0.58	1.37
38	高雄煉油廠	4.38	2.71	2.37	-	1.06
39	永安工業區	10.93	6.34	4.26	1.40	-
40	興達火力電廠	12.91	9.11	8.42	8.18	7.36
41	安平工業區	14.85	14.69	8.26	4.09	8.52
42	成大水工所	9.96	6.22	3.63	4.20	3.08
43	官田工業區	2.17	1.96	0.95	0.75	0.90
44	東石安檢所	15.35	10.60	8.89	11.30	10.41
45	朴子工業區	6.92	10.72	4.00	1.78	5.28
46	高鐵嘉義站	6.23	6.93	3.88	0.72	1.00
47	斗六工業區	2.25	1.65	2.42	0.17	-
48	台塑六輕試驗線 0m	23.42	-	30.26	15.07	14.42
49	台塑六輕試驗線 100m	48.78	-	38.73	8.88	20.21
50	台塑六輕試驗線 300m	27.29	33.25	22.63	4.59	32.63
51	台塑六輕試驗線 1km	-	51.81	22.63	2.60	-
52	台塑六輕試驗線 3km	4.20	37.98	26.20	2.79	44.49
53	王功安檢所	64.13	17.21	17.27	10.43	12.81
54	彰濱工業區	34.54	40.39	25.39	9.16	22.70
55	田中工業區	6.14	4.40	30.82	1.61	2.24
56	南崗工業區	3.63	2.00	4.68	2.25	0.76
57	大里工業區	3.44	3.04	3.77	0.92	0.64
58	高鐵臺中站	5.51	4.71	5.44	-	3.64
59	臺中工業區	16.17	9.48	7.69	1.21	1.42
60	關聯工業區	19.01	20.64	15.81	4.44	11.22
61	臺中火力電廠	57.06	23.37	30.44	8.53	16.50
62	臺中港試驗線 0m	21.78	18.04	22.70	14.20	13.60
63	臺中港試驗線 100m	20.23	14.24	11.80	3.74	8.30
64	臺中港試驗線 1km	12.64	17.68	11.84	4.20	8.08
65	五甲安檢所	37.68	47.99	20.39	13.72	22.66
66	通霄火力電廠	27.32	30.54	17.40	-	16.32
67	外埔安檢所	13.91	28.42	16.89	11.12	15.89
68	竹南工業區	21.78	14.60	13.55	7.72	5.86
69	頭份工業區	-	21.60	9.90	3.11	5.61
70	工研院	7.31	6.80	6.83	2.36	3.04
71	新竹工業區	-	9.0	7.69	2.25	-

項次	試驗期間 試驗地點	2010.09-2010.12	2010.12-2011.3	2011.3-2011.6	2011.6-2011.9	2010.9-2011.9
72	平鎮工業區	10.77	12.85	7.15	2.01	4.71
73	桃園試驗線 0m	57.14	-	35.61	25.48	25.47
74	桃園試驗線 300m	32.69	28.43	19.20	14.02	12.51
75	臺北市	8.69	5.6	3.93	0.41	0.38
76	陽明山國家公園管理處	2.57	-	-	2.33	3.11
77	陽明山硫磺區	-	4.2	3.60	1.46	7.44
78	北橫巴陵	4.64	0.20	1.67	0.72	-
79	阿里山	-	2.20	1.58	0.54	-
80	桃園試驗線 1km	36.33	43.1	27.47	-	21.40
81	東北角風景管理處	-	2.20	10.76	5.41	5.53
82	臺北港監測站	5.64	9.56	5.16	1.14	2.47
83	樹林工業區(服務中心)	3.04	22.09	8.12	4.57	16.01
84	平鎮工業區(服務中心)	18.82	13.65	9.84	3.52	4.48
85	觀音工業區(服務中心)	33.35	42.75	23.05	2.65	12.22
86	永安安檢所	20.60	31.34	18.77	14.39	16.74
87	新竹漁港	40.39	48.98	28.99	32.27	31.39

註：- 表示試片遺失

4.5.1 各金屬腐蝕速率季節性之比較

本研究四次採樣調查的期間相當於臺灣氣候之秋季(2010.09-2010.12)、冬季(2010.12-2011.03)、春季(2011.03-2011.06)，夏季(2011.06-2011.09)期間。

(圖 4.17 至圖 4.20)為碳鋼金屬四次調查期間與一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示碳鋼腐蝕速率為 1.3~25 μm/yr 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 25~50 μm/yr 的區域，藍色表示腐蝕速率為 50~80 μm/yr 的區域，粉紅色表示 80~200 μm/yr 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 200 μm/yr 的區域。

(圖 4.21 至圖 4.24)為鋅金屬四次調查期間與一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示鋅腐蝕速率為 0.1~0.7 μm/yr 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 0.7~2.1 μm/yr 的區域，藍色表示腐蝕速率為 2.1~4.2 μm/yr 的區域， 粉紅色表示 4.2~8.4 μm/yr 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 8.4 μm/yr 的區域。

(圖 4.25 至圖 4.28)為銅金屬四次調查期間與一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示銅腐蝕速率為 0.1~0.6 μm/yr 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 0.6~1.3 μm/yr 的區域，藍色表示腐蝕速率為 1.3~2.8 μm/yr 的區域， 粉紅色表示 2.8~5.6 μm/yr 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 5.6 μm/yr 的區域。

(圖 4.29 至圖 4.32)為鋁金屬四次調查期間與一年期之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示鋁腐蝕速率小於 0.6 $g/m^2/yr$ 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 0.6~2 $g/m^2/yr$ 的區域，藍色表示腐蝕速率為 2~5 $g/m^2/yr$ 的區域， 粉紅色表示 5~10 $g/m^2/yr$ 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 10 $g/m^2/yr$ 的區域。

此外，中央山脈區域部份本研究試驗點的設置原有 3 處，其中一處南橫試驗站由於 2009.07 八八風災造成公路坍方試驗維護不易因此未予取樣，故採用內插方式繪製等位圖，可能會因數據過少而有判斷錯誤的可能，所以圖面留以空白並不繪製等位圖。

(圖 4.33 至圖 4.36)分別為碳鋼、鋅、銅、鋁金屬於垂直海岸試驗線 0m、100 m、 300m、1 Km 與 3Km 腐蝕速率平均值之比較。針對碳鋼金屬(圖 4.41)，麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線、基隆試驗線腐蝕速率均較其他地區高，在高雄港試驗線腐蝕速率相對其他地區低。至於鋅金屬以桃園大潭試驗線、臺中港試驗線、基隆試驗線、核三廠試驗線腐蝕速率較大，在高雄港試驗線、蘇澳港試驗線則腐蝕速率相對較低。而針對銅金屬，銅的腐蝕速率以麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線、基隆試驗線、臺中港試驗線較為嚴重(圖 4.43)。而針對鋁金屬，鋁的腐蝕速率以麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線較為嚴重(圖 4.44) 。

(圖 4.37 至圖 4.40)石化廠、火力電廠、工業區、高鐵沿線與都市地區等特定測站各金屬之腐蝕速率比較。在碳鋼金屬以臺中火力發電廠、麥寮六輕、彰濱工業區、大潭火力發電廠、觀音工業區為高，鋅金屬以臺中火力發電廠、彰濱工業區、大潭火力發電廠較高，而銅金屬以臺中火力發電廠、通霄火力發電廠、彰濱工業區、麥寮六輕為高，針對鋁金屬在一年期中以彰濱工業區、麥寮六輕、大潭火力發電廠、通霄火力發電廠、臺中火力發電廠腐蝕速率相對較高。

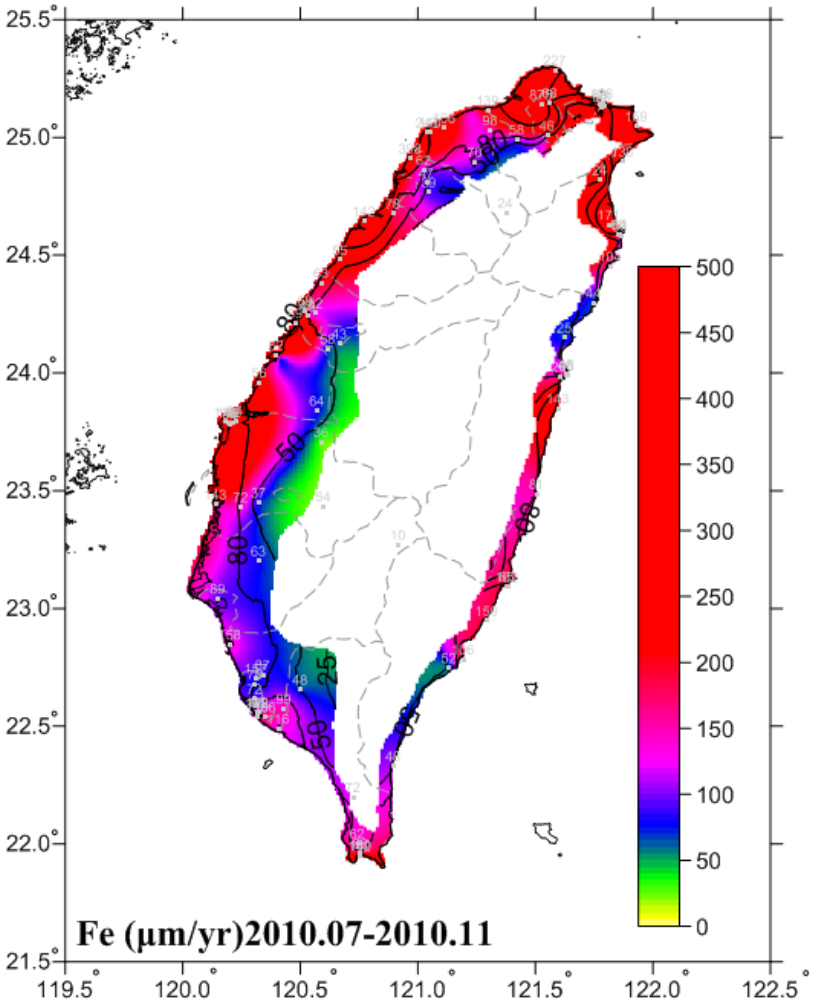


圖 4.17　2010.09-2010.12 碳鋼腐蝕速率(μm/yr)

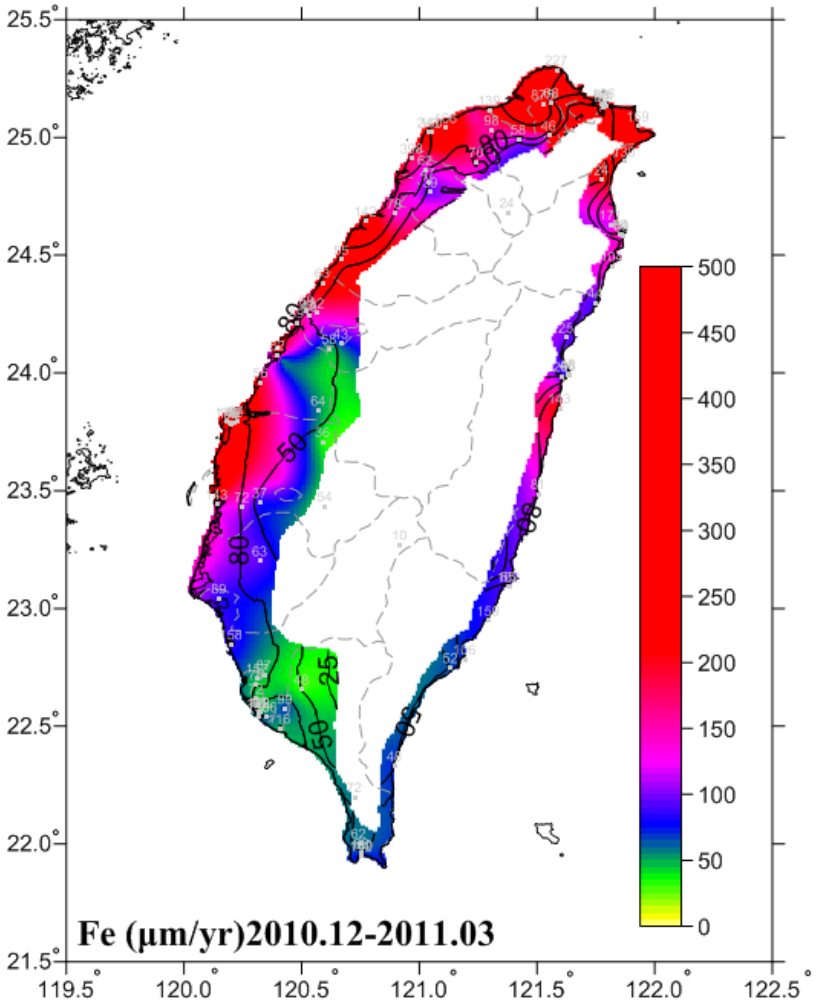


圖 4.18　2010.12-2011.03 碳鋼腐蝕速率(μm/yr)

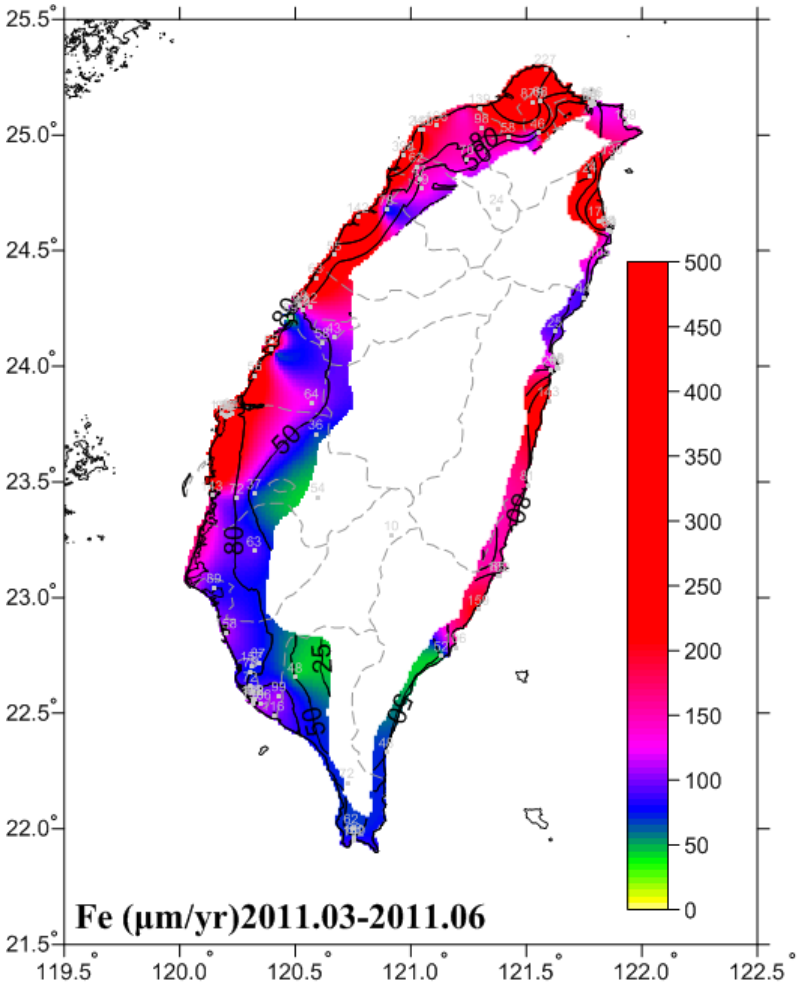


圖 4.19　2011.03-2011.06 碳鋼腐蝕速率(μm/yr)

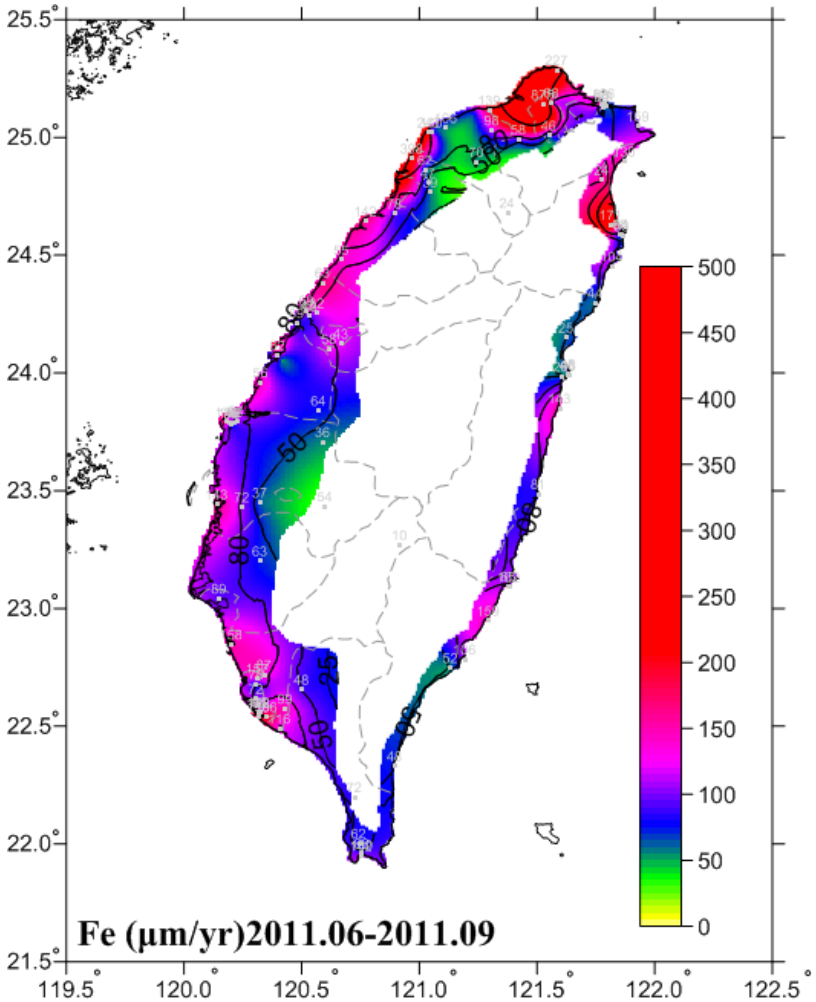


圖 4.20　2011.06-2011.09 碳鋼腐蝕速率(μm/yr)

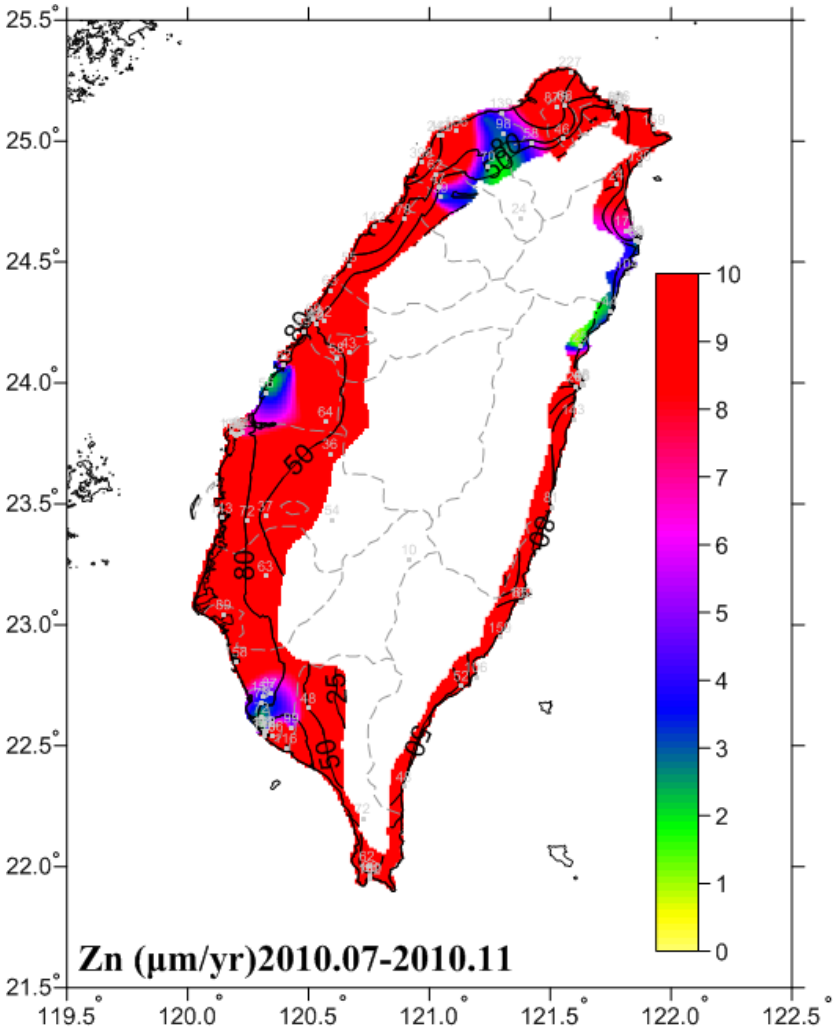


圖 4.21　2010.09-2010.12 鋅腐蝕速率(μm/yr)

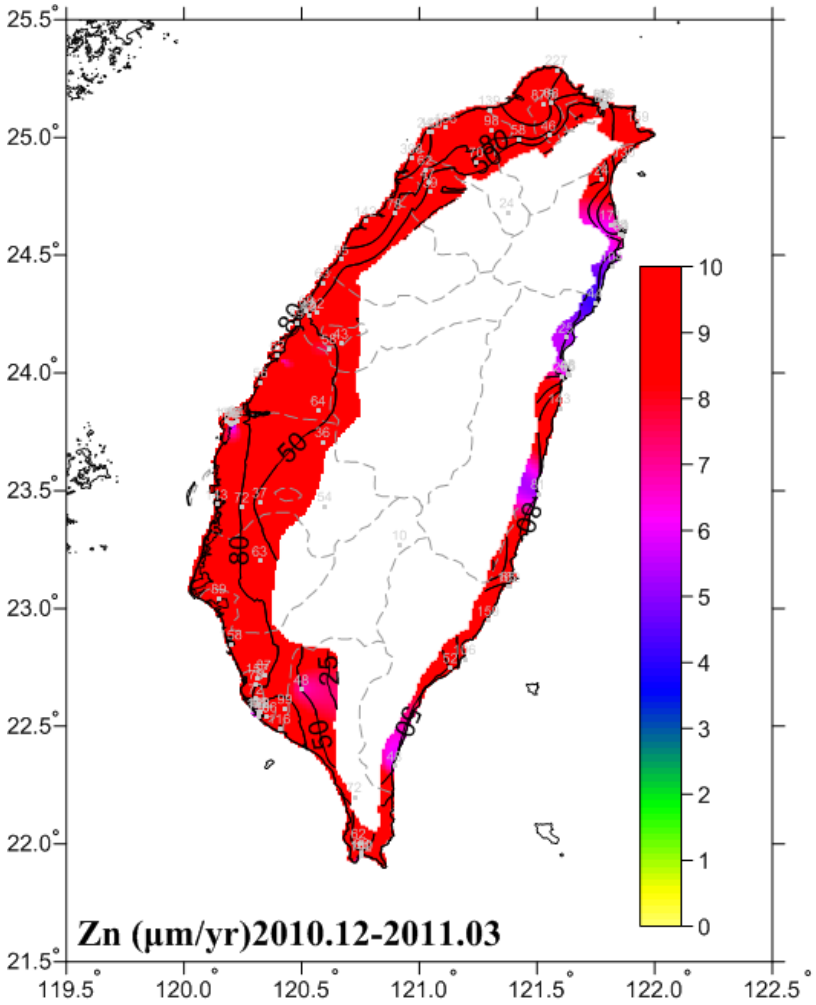


圖 4.22　2010.12-2011.03 鋅腐蝕速率(μm/yr)

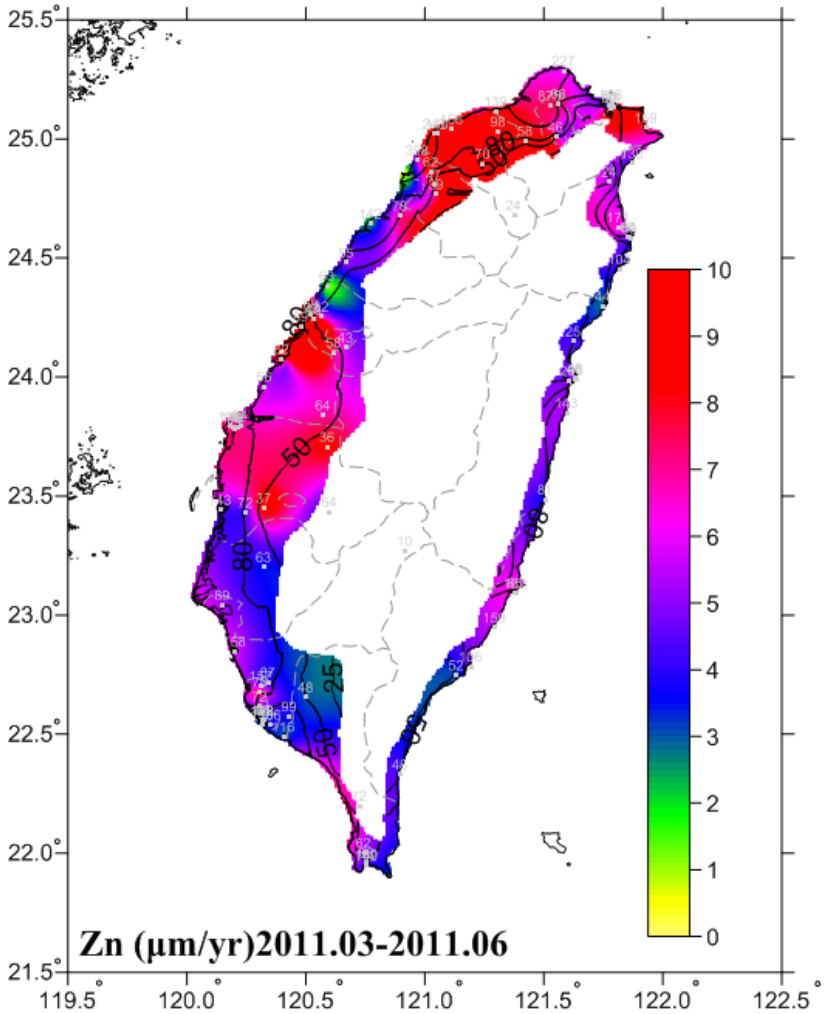


圖 4.23　2011.03-2011.06 鋅腐蝕速率(μm/yr)

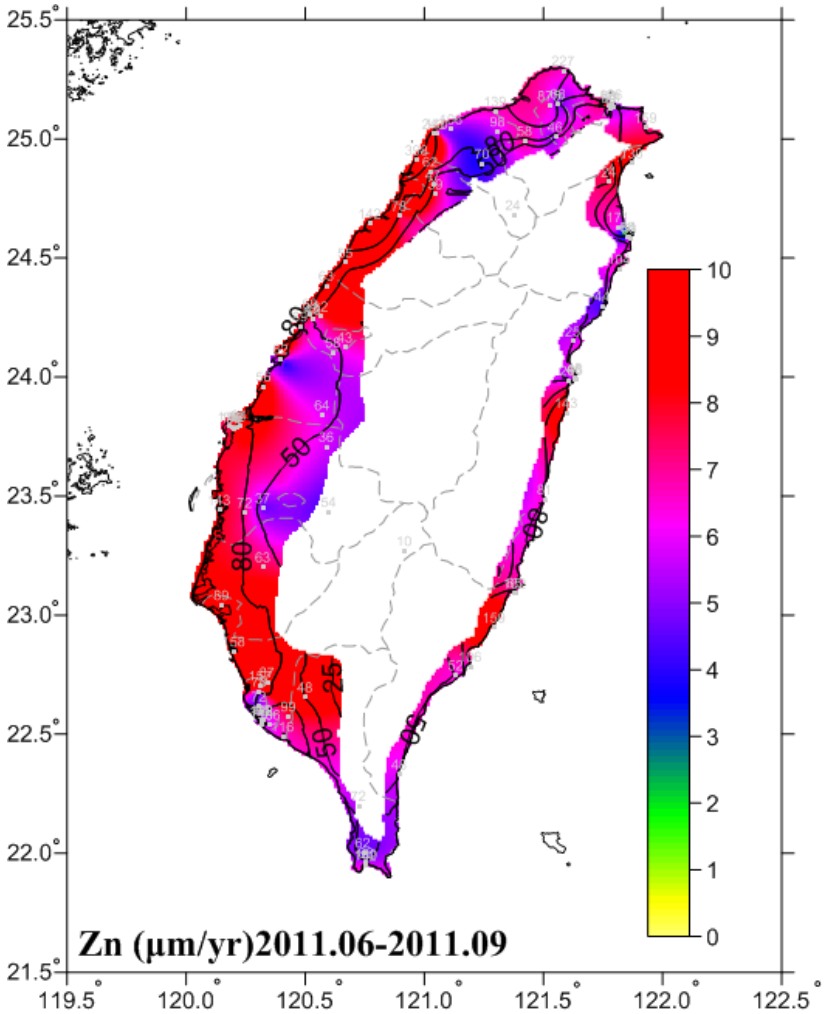


圖 4.24　2011.06-2011.09 鋅腐蝕速率(μm/yr)

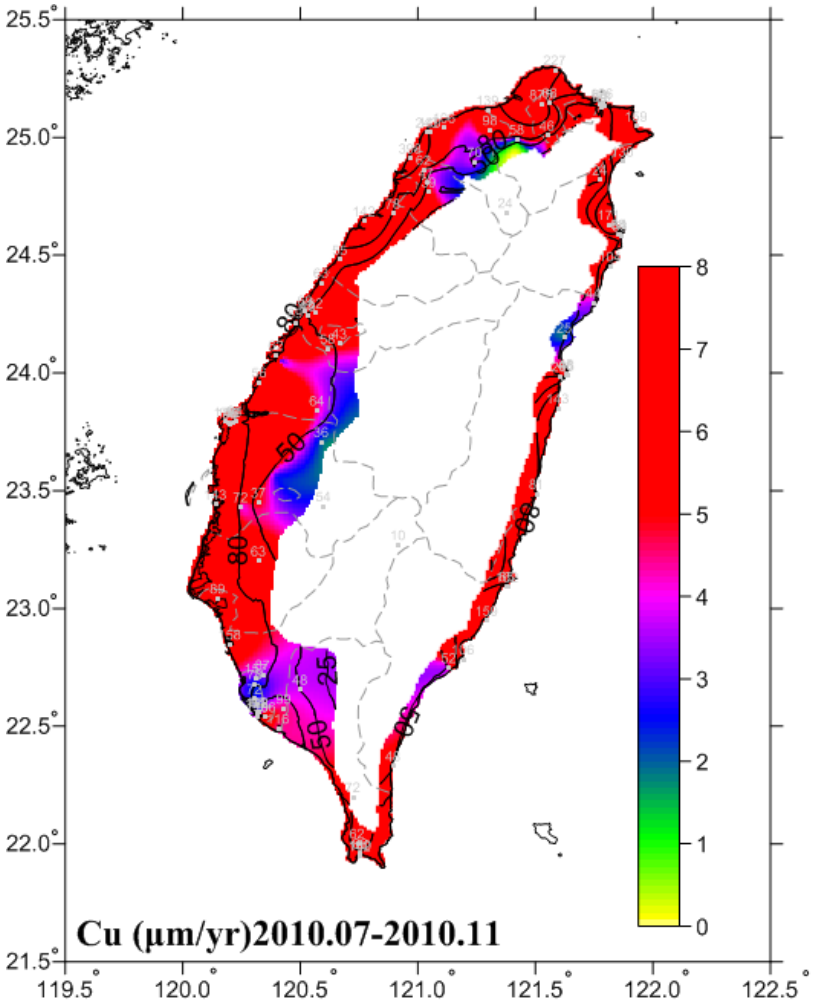


圖 4.25　2010.07-2010.11 銅腐蝕速率(μm/yr)

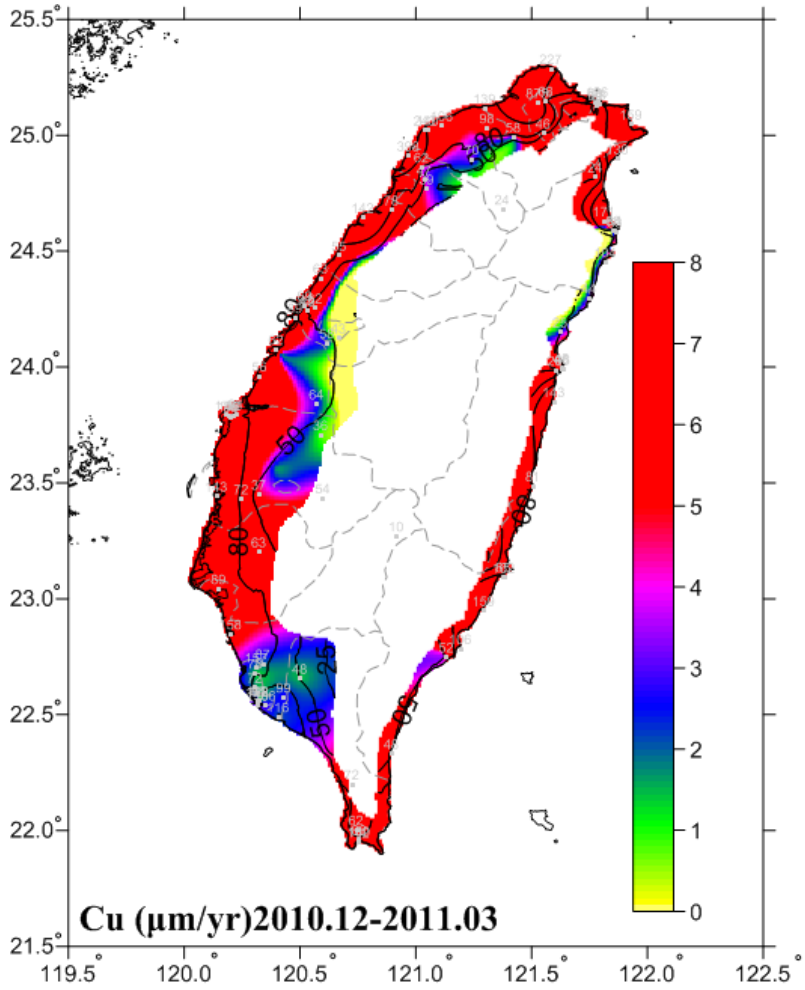


圖 4.26　2010.12-2011.03 銅腐蝕速率(μm/yr)

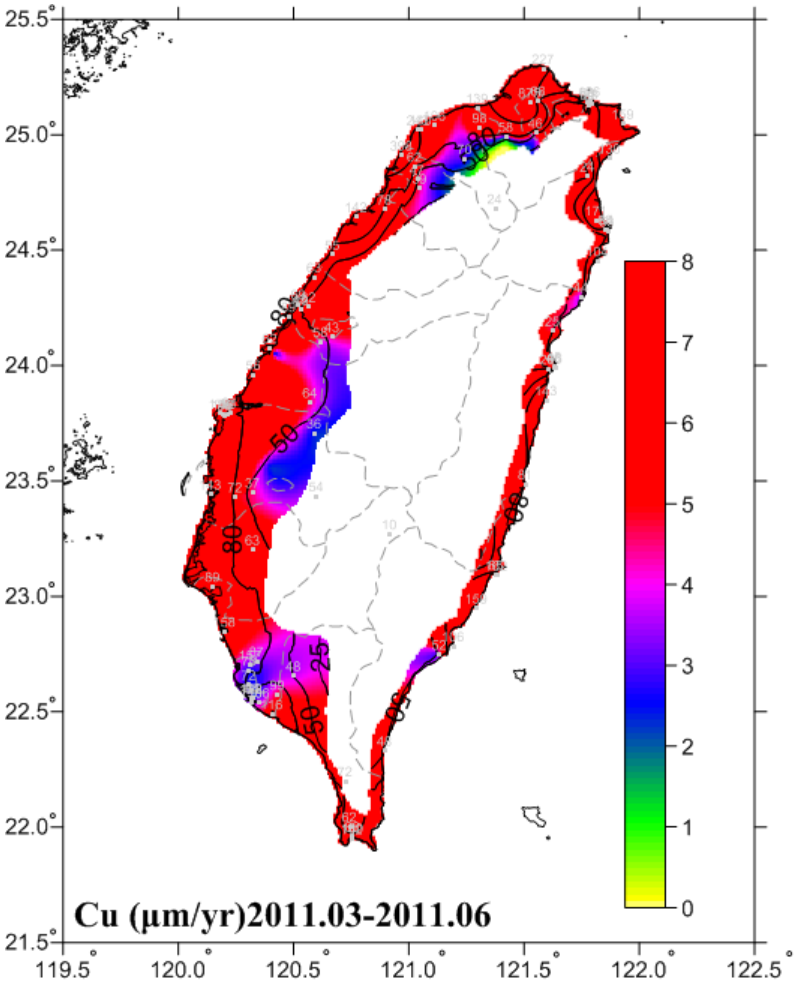


圖 4.27　2011.03-2011.06 銅腐蝕速率(μm/yr)

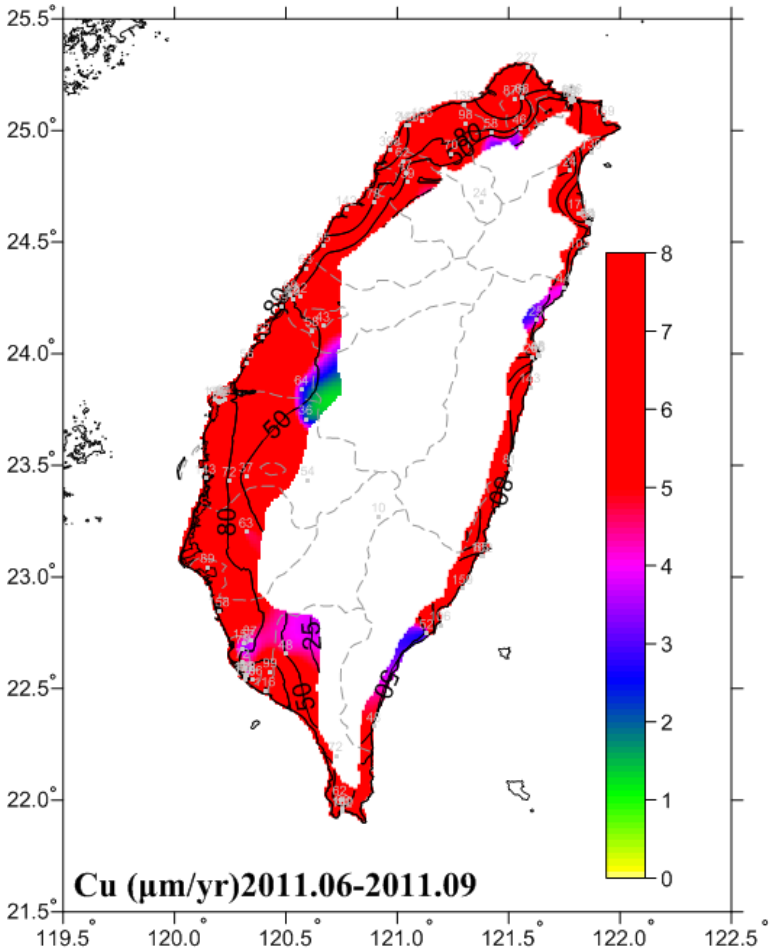


圖 4.28　2011.06-2011.09 銅腐蝕速率(μm/yr)

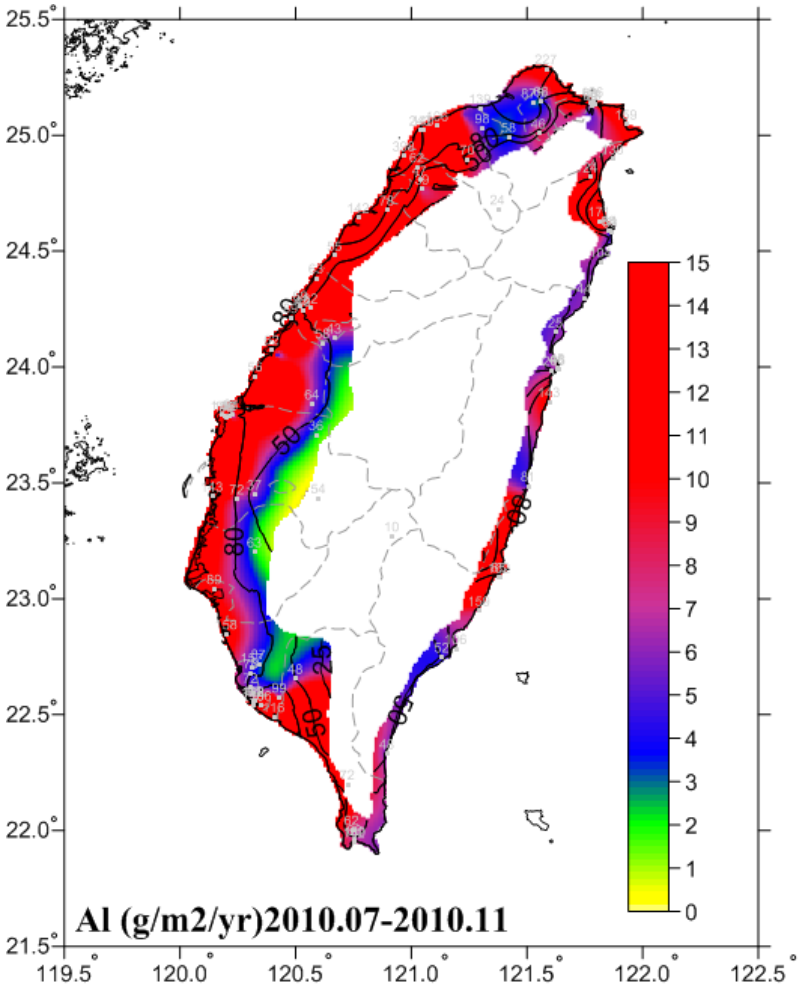


圖 4.29　2010.09-2010.12 鋁腐蝕速率(g/m^2/yr)

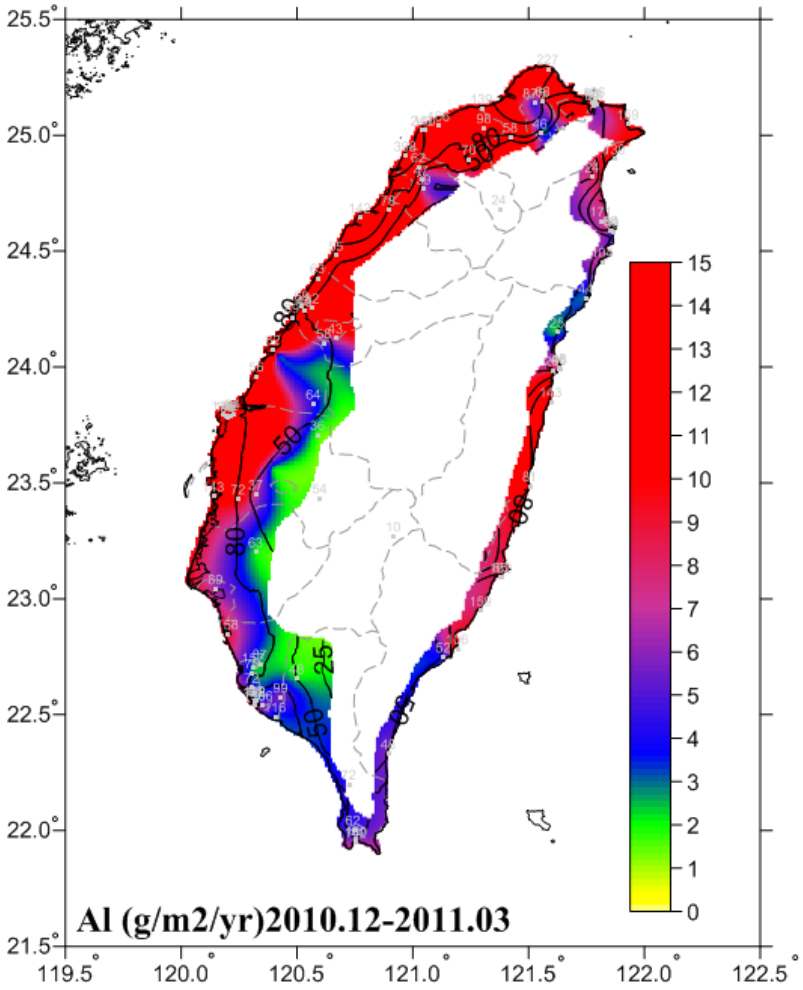


圖 4.30　2010.12-2011.03 鋁腐蝕速率(g/m^2/yr)

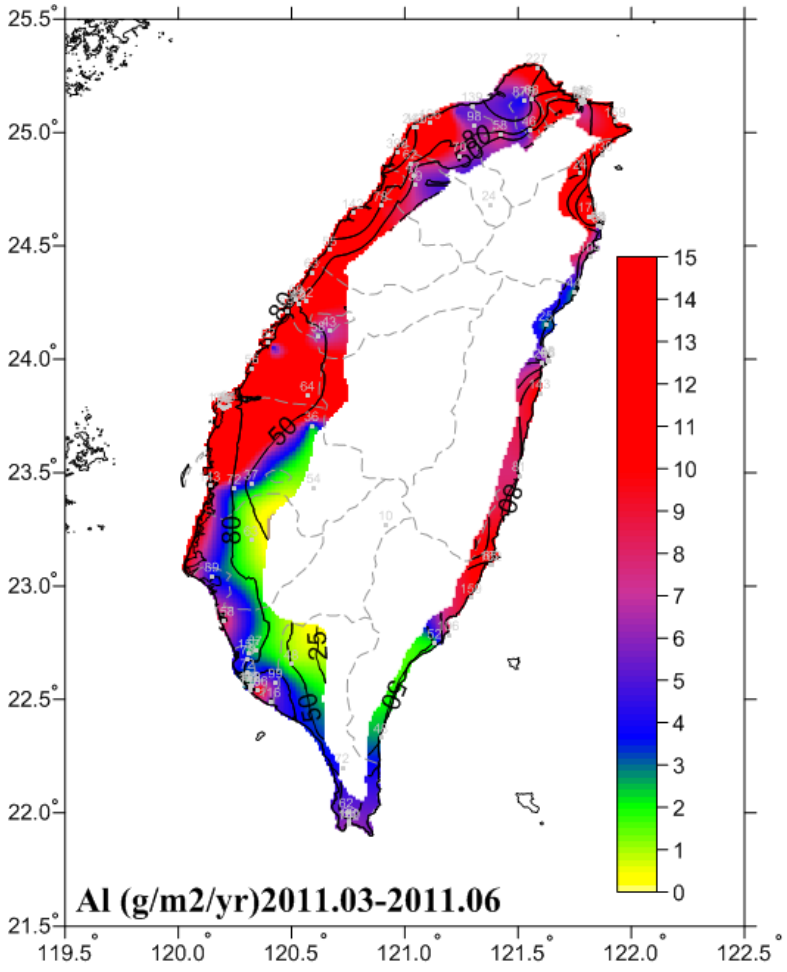


圖 4.31　2011.03-2011.06 鋁腐蝕速率(g/m^2/yr)

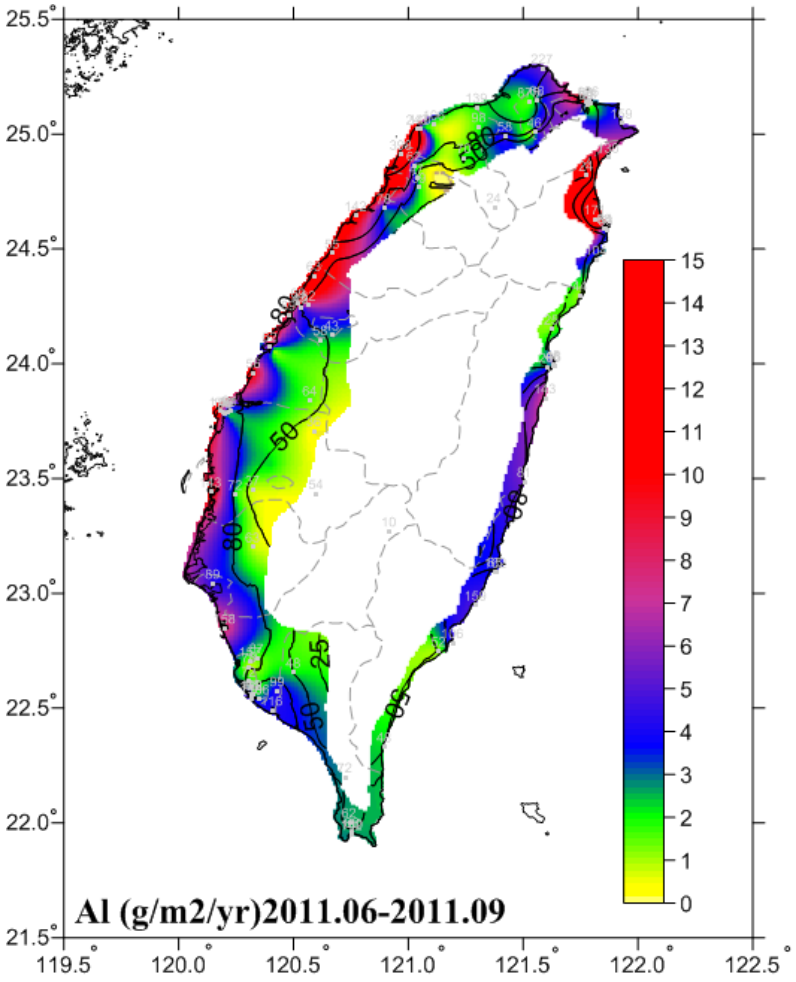


圖 4.32　2011.06-2011.09 鋁腐蝕速率(g/m^2/yr)

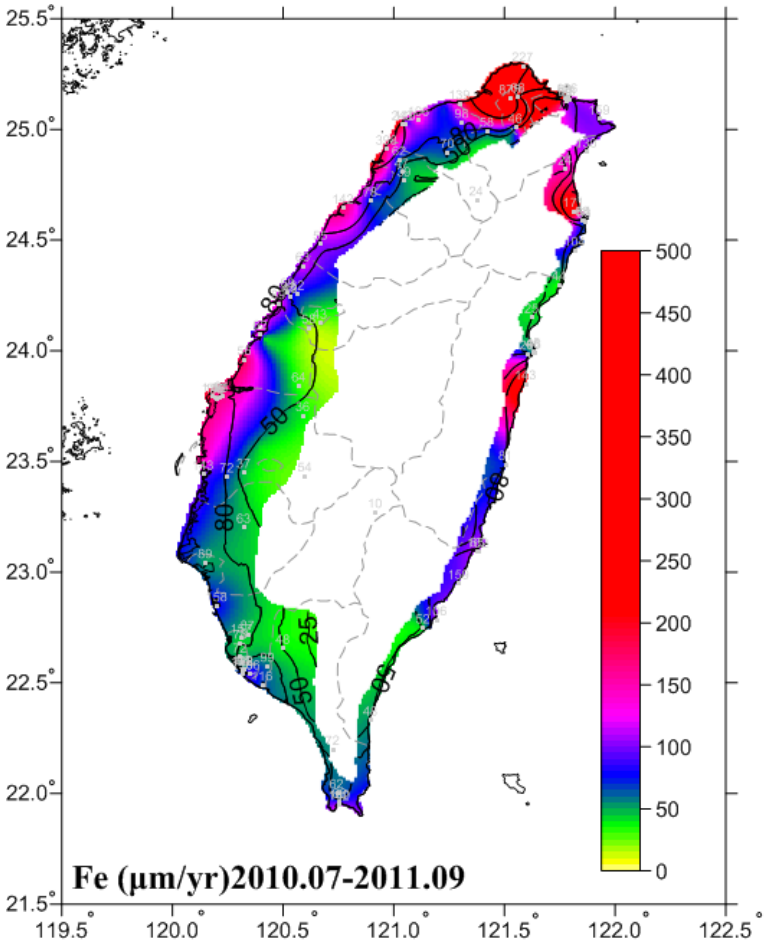


圖 4.33　一年期碳鋼腐蝕速率(μm/yr)

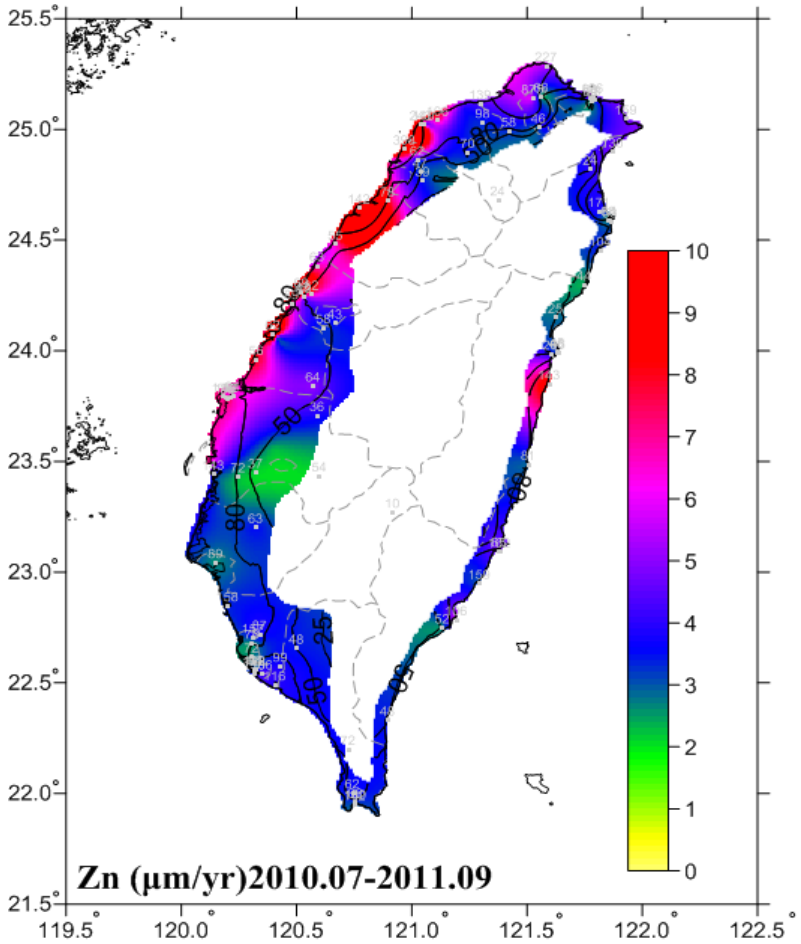


圖 4.34　一年期鋅腐蝕速率(μm/yr)

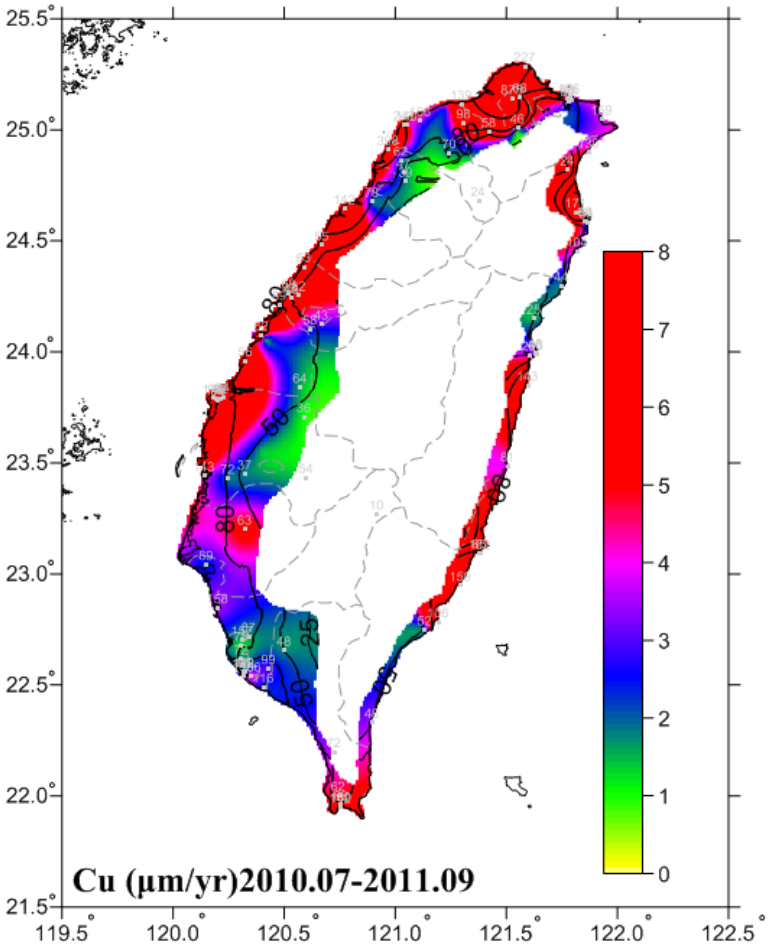


圖 4.35 一年期銅腐蝕速率(μm/yr)

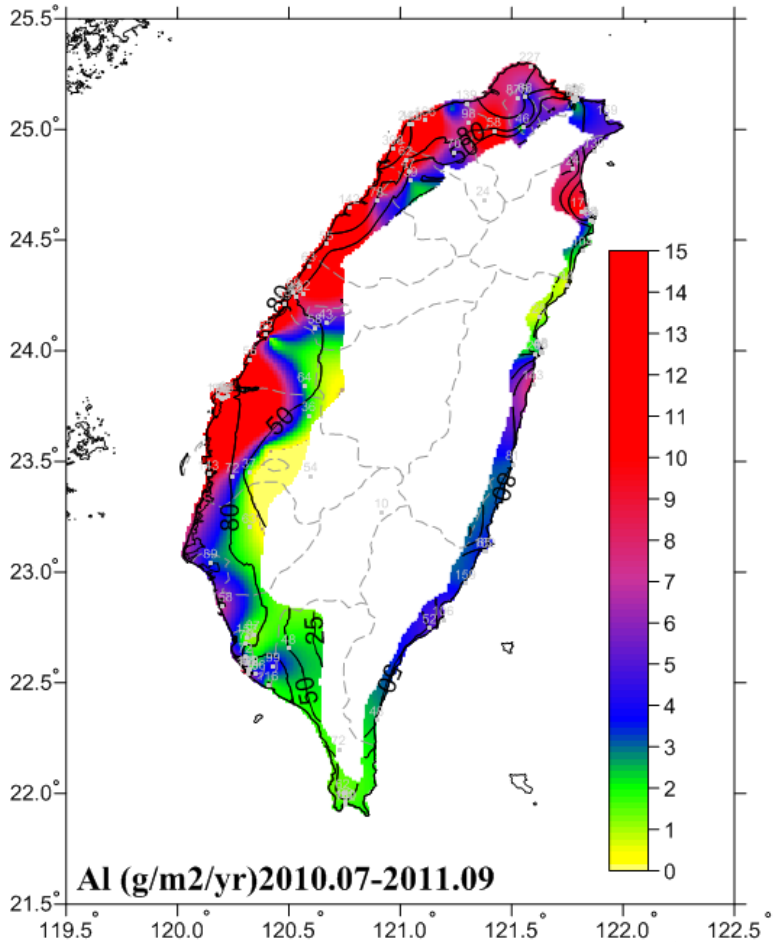
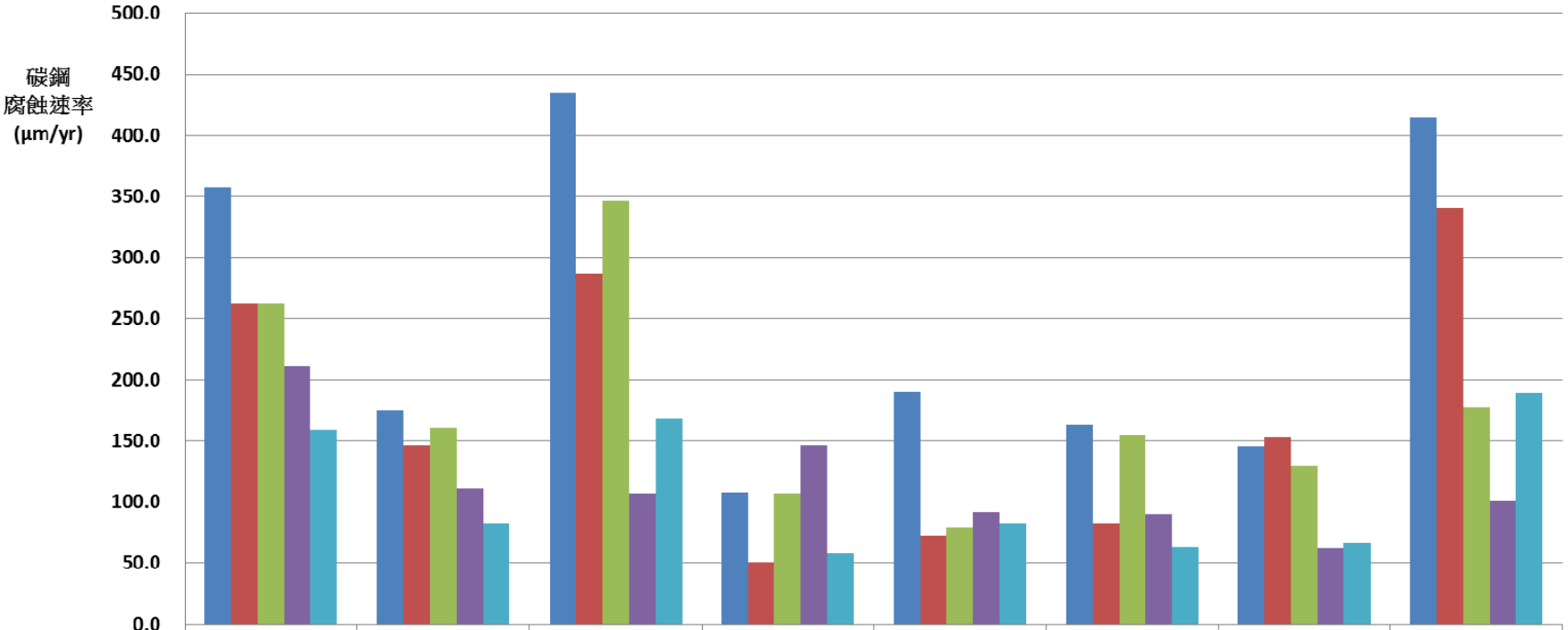


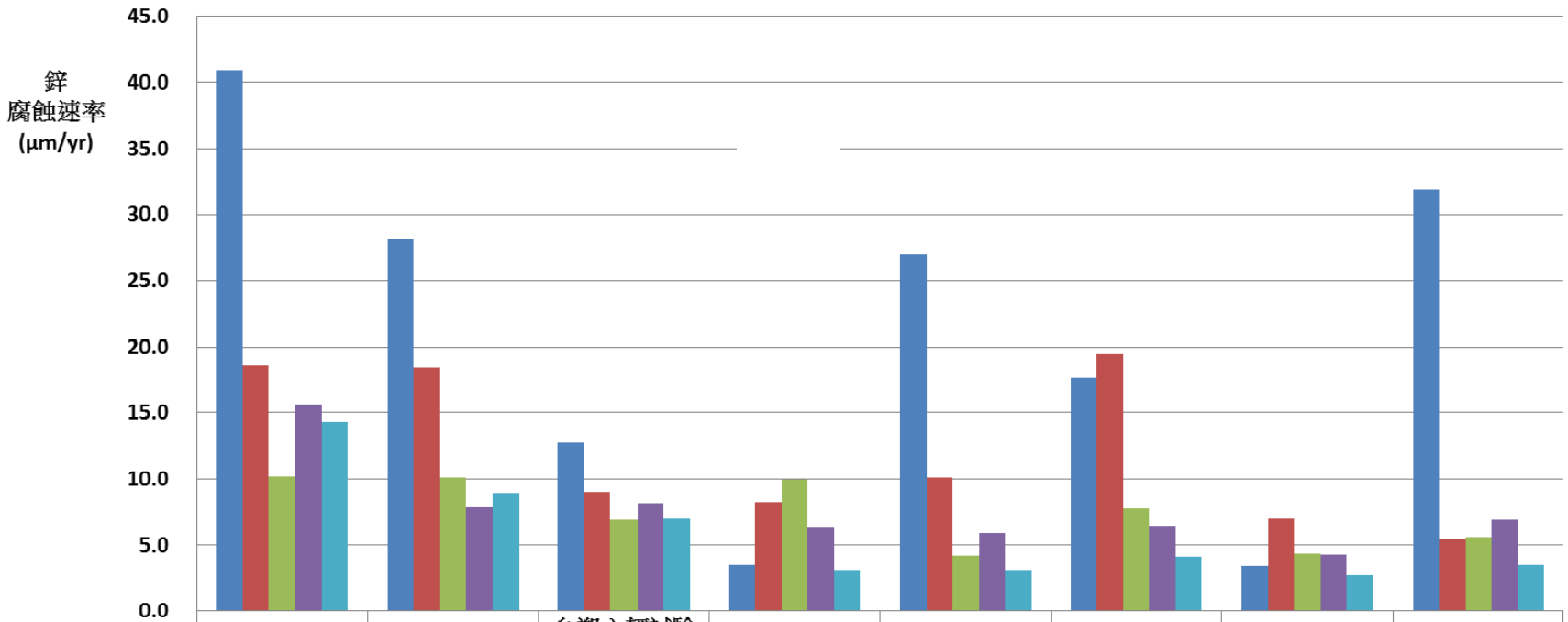
圖 4.36 一年期鋁腐蝕速率(g/m^2/yr)



	桃園試驗線	台中港試驗線	台塑六輕試驗線	高雄港試驗線	核三廠試驗線	花蓮港試驗線	蘇澳港試驗線	基隆試驗線
2010.9-2010.11	357.6	175.5	435.0	107.4	190.8	163.0	145.2	414.4
2010.12-2011.3	263.1	146.1	286.8	50.4	72.6	82.4	152.9	340.7
2011.3-2011.6	261.7	160.5	346.4	107.3	79.0	154.8	129.5	177.5
2011.6-2011.9	211.1	110.9	107.3	146.7	91.5	90.3	61.7	101.1
2010.7-2011.9	159.4	82.2	168.2	58.3	82.1	62.7	66.9	188.8

註 1：腐蝕速率為試驗線測站平均值

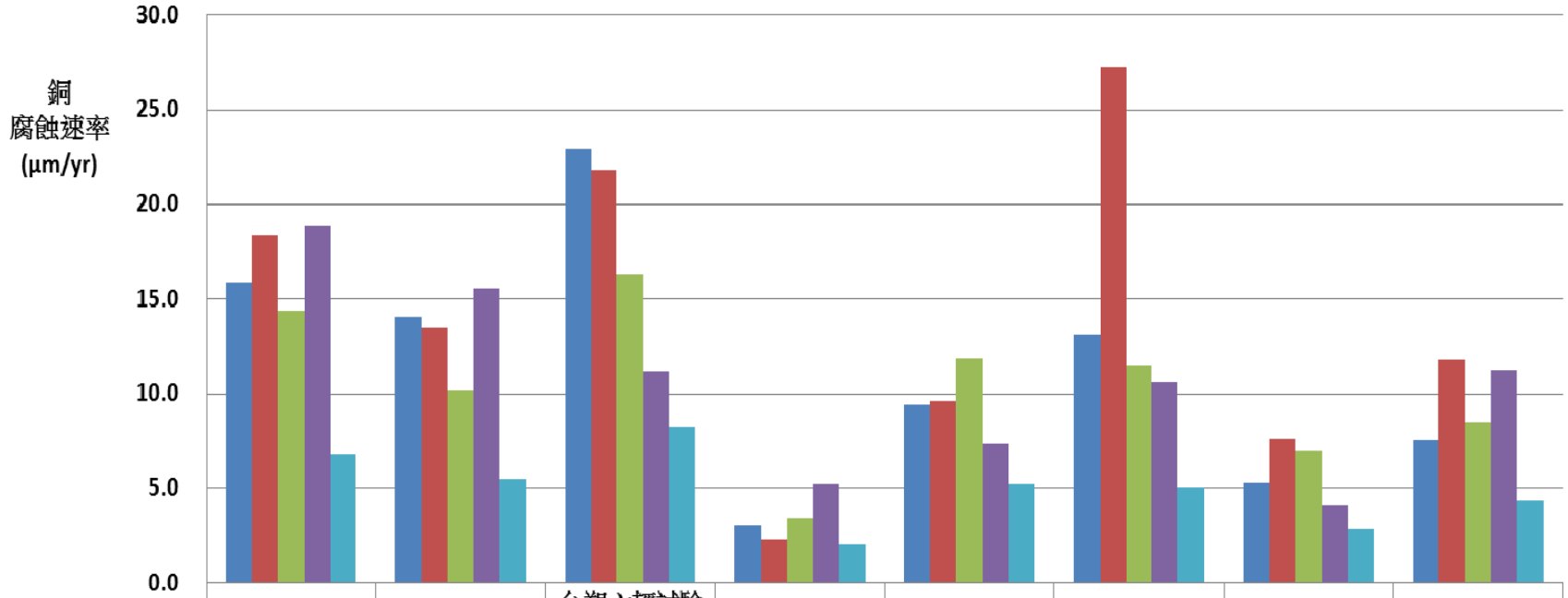
圖 4.37 直海岸試驗線 碳鋼平均腐蝕速率比較



	桃園試驗線	台中港試驗線	台塑六輕試驗線	高雄港試驗線	核三廠試驗線	基隆試驗線	蘇澳港試驗線	花蓮港試驗線
2010.9-2010.11	41.0	28.2	12.8	3.5	27.0	17.7	3.4	32.0
2010.12-2011.3	18.6	18.5	9.0	8.3	10.1	19.4	6.9	5.4
2011.3-2011.6	10.2	10.1	6.9	10.0	4.2	7.8	4.4	5.6
2011.6-2011.9	15.6	7.8	8.1	6.4	5.9	6.5	4.3	6.9
2010.7-2011.9	14.4	8.9	7.0	3.1	3.1	4.1	2.7	3.5

註 1：腐蝕速率為試驗線測站平均值

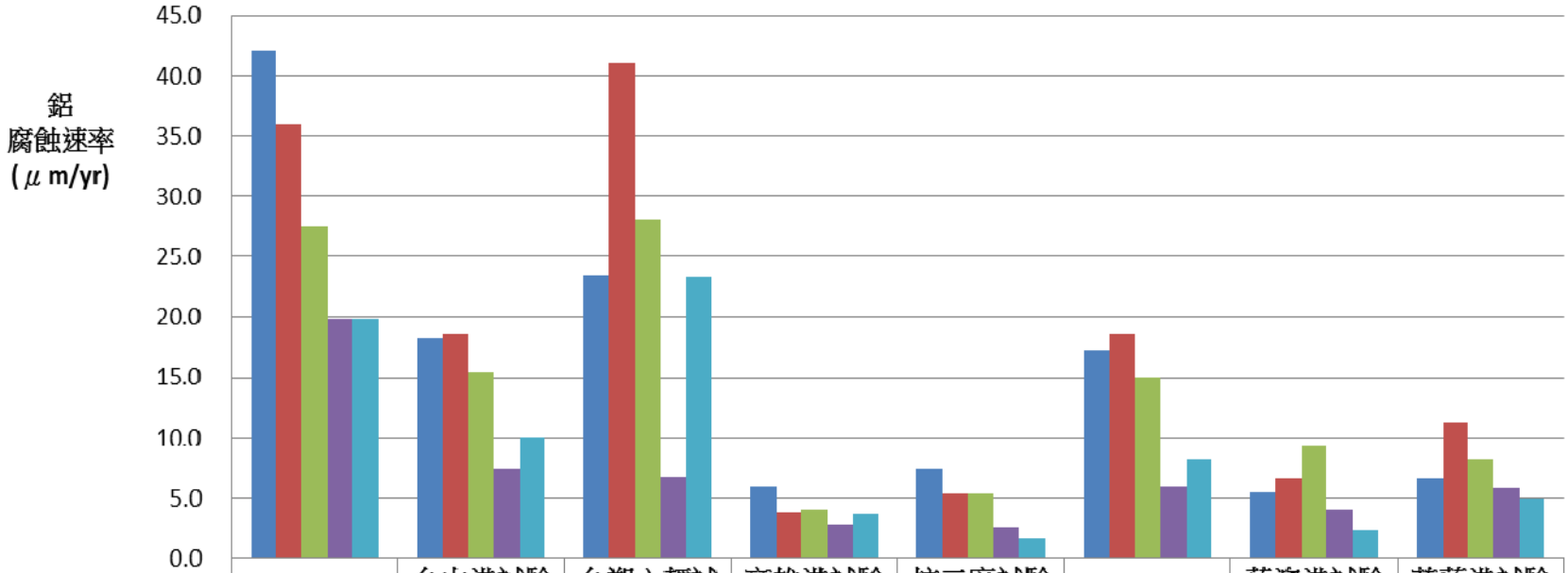
圖 4.38 垂直海岸試驗線 鋅平均腐蝕速率比較



	桃園試驗線	台中港試驗線	台塑六輕試驗線	高雄港試驗線	核三廠試驗線	基隆試驗線	蘇澳港試驗線	花蓮港試驗線
2010.9-2010.11	15.8	14.1	22.9	3.1	9.4	13.1	5.3	7.5
2010.12-2011.3	18.4	13.5	21.8	2.3	9.6	27.3	7.7	11.8
2011.3-2011.6	14.4	10.2	16.3	3.4	11.9	11.4	7.0	8.5
2011.6-2011.9	18.9	15.6	11.2	5.2	7.4	10.6	4.1	11.3
2010.7-2011.9	6.8	5.5	8.2	2.0	5.2	5.1	2.8	4.4

註 1：腐蝕速率為試驗線測站平均值

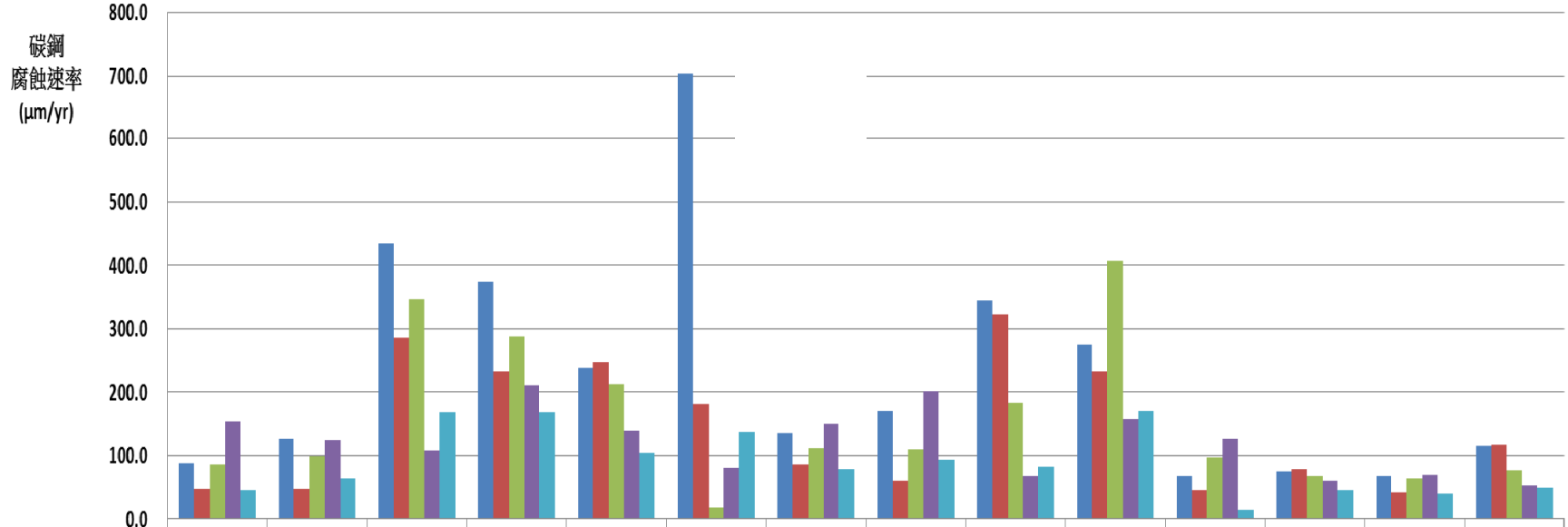
圖 4.39 垂直海岸試驗線 銅平均腐蝕速率比較



	桃園試驗線	台中港試驗線	台塑六輕試驗線	高雄港試驗線	核三廠試驗線	基隆試驗線	蘇澳港試驗線	花蓮港試驗線
2010.9-2010.11	42.1	18.2	23.5	5.9	7.4	17.2	5.5	6.5
2010.12-2011.3	36.0	18.6	41.0	3.8	5.4	18.5	6.7	11.2
2011.3-2011.6	27.4	15.5	28.1	4.1	5.3	15.0	9.4	8.1
2011.6-2011.9	19.8	7.4	6.8	2.8	2.6	5.9	4.0	5.8
2010.7-2011.9	19.8	10.0	23.4	3.6	1.7	8.2	2.3	5.0

註 1：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.40 垂直海岸試驗線 鋁平均腐蝕速率比較

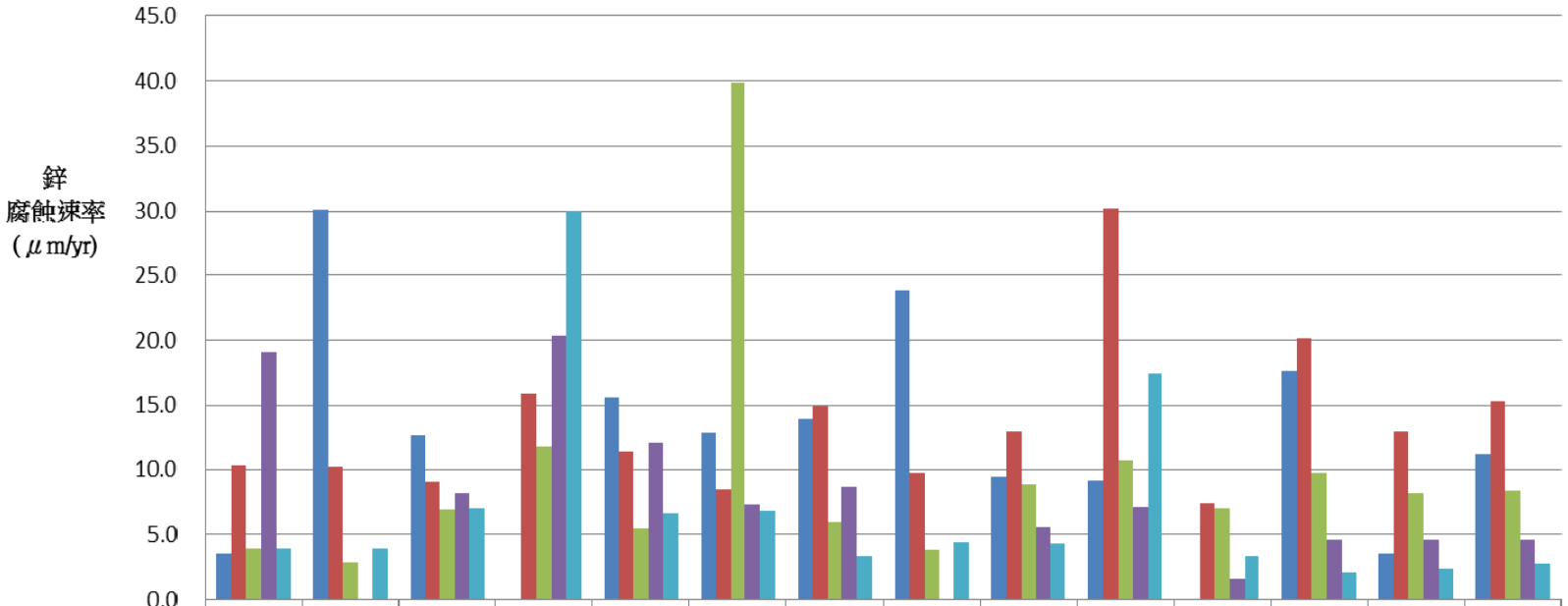


	高雄煉油廠	中油林園廠	台塑六輕	大潭火力電廠	通霄火力電廠	台中火力電廠	興達火力電廠	中鋼公司	觀音工業區	彰濱工業區	高鐵台中站	高鐵嘉義站	高鐵左營站	台北市區
2010.9-2010.11	87.3	125.9	435.0	374.0	237.7	703.1	136.1	170.8	343.7	275.6	68.2	75.3	67.1	115.3
2010.12-2011.3	47.3	47.5	286.8	232.8	248.3	181.5	86.1	60.0	322.0	233.4	45.2	78.3	42.3	117.4
2011.3-2011.6	85.7	99.5	346.4	287.6	212.7	17.5	111.5	110.7	182.9	406.4	96.5	67.8	63.8	77.7
2011.6-2011.9	153.1	124.1	107.3	211.1	138.7	80.0	151.0	201.6	68.6	158.5	125.7	60.3	69.6	53.3
2010.7-2011.9	45.6	64.2	168.2	169.5	103.9	137.9	78.8	93.7	83.1	170.8	14.7	45.9	39.9	49.3

註 1：台塑六輕、大潭火力電廠腐蝕速率為測站平均值

註 2：空白處為遺失

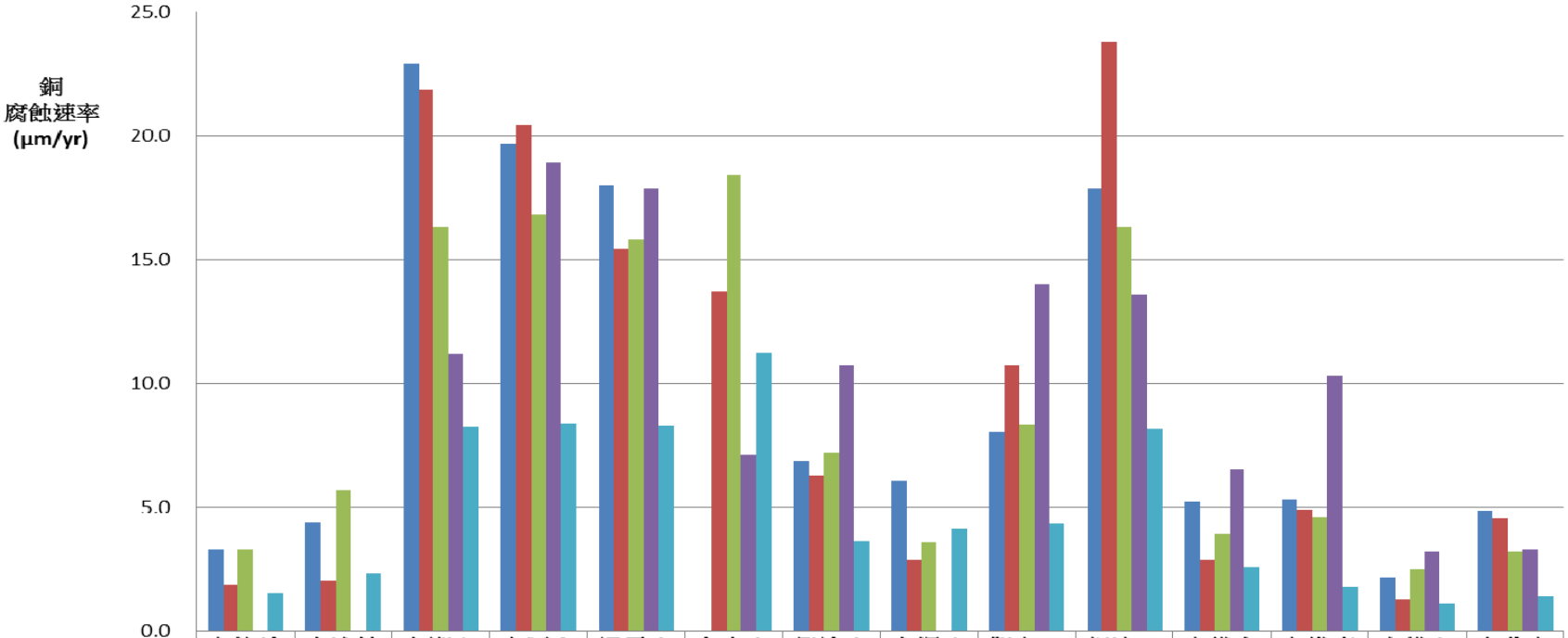
圖 4.41　特定測站碳鋼腐蝕速率比較



	高雄煉油廠	中油林園廠	台塑六輕	大潭火力電廠	通霄火力電廠	台中火力電廠	興達火力電廠	中鋼公司	觀音工業區	彰濱工業區	高鐵台中站	高鐵嘉義站	高鐵左營站	台北市區
2010.9-2010.11	3.5	30.1	12.8		15.7	13.0	14.0	23.8	9.5	9.2		17.6	3.5	11.2
2010.12-2011.3	10.3	10.2	9.0	15.9	11.4	8.5	15.0	9.7	13.0	30.2	7.4	20.2	13.0	15.3
2011.3-2011.6	3.9	2.9	6.9	11.7	5.5	39.9	6.0	3.8	8.9	10.6	7.0	9.7	8.1	8.4
2011.6-2011.9	19.1		8.1	20.4	12.1	7.3	8.6		5.5	7.1	1.6	4.6	4.6	4.6
2010.7-2011.9	3.9	3.9	7.0	30.0	6.6	6.8	3.4	4.4	4.3	17.4	3.3	2.1	2.4	2.8

註 1：台塑六輕、大潭火力電廠腐蝕速率為測站平均值
註 2：空白處為遺失

圖 4.42 特定測站 鋅金屬平均腐蝕速率比較

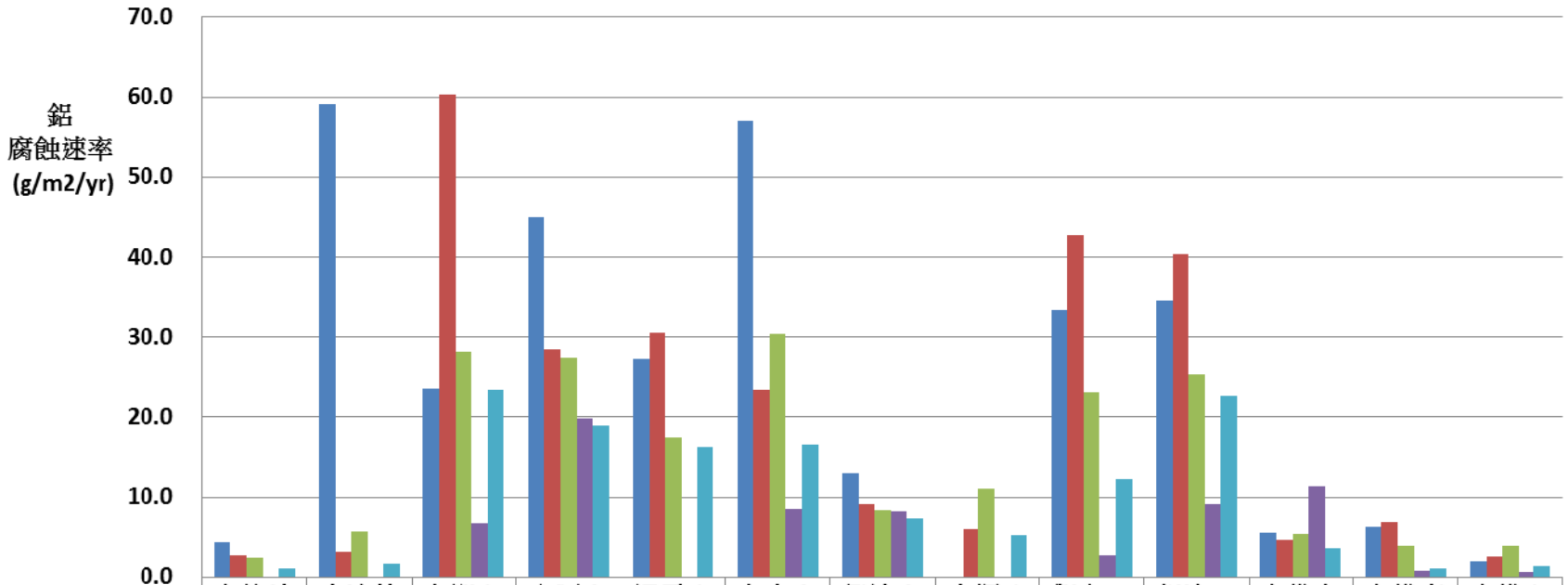


	高雄煉油廠	中油林園廠	台塑六輕	大潭火力電廠	通霄火力電廠	台中火力電廠	興達火力電廠	中鋼公司	觀音工業區	彰濱工業區	高鐵台中站	高鐵嘉義站	高鐵左營站	台北市區
2010.9-2010.11	3.3	4.4	22.9	19.7	18.0		6.9	6.1	8.1	17.9	5.2	5.3	2.2	4.9
2010.12-2011.3	1.9	2.1	21.8	20.5	15.4	13.8	6.3	2.9	10.8	23.8	2.9	4.9	1.3	4.6
2011.3-2011.6	3.3	5.7	16.3	16.8	15.8	18.4	7.2	3.6	8.3	16.3	3.9	4.6	2.5	3.2
2011.6-2011.9			11.2	18.9	17.9	7.1	10.8		14.0	13.6	6.5	10.3	3.2	3.3
2010.7-2011.9	1.5	2.3	8.2	8.4	8.3	11.3	3.7	4.1	4.4	8.2	2.6	1.8	1.1	1.4

註 1：台塑六輕、大潭火力電廠腐蝕速率為測站平均值

註 2：空白處為遺失

圖 4.43 特定測站 銅金屬平均腐蝕速率比較



	高雄煉油廠	中油林園廠	台塑六輕	大潭火力電廠	通霄火力電廠	台中火力電廠	興達火力電廠	中鋼公司	觀音工業區	彰濱工業區	高鐵台中站	高鐵嘉義站	高鐵左營站
2010.9-2010.11	4.4	59.2	23.5	44.9	27.3	57.1	12.9		33.4	34.5	5.5	6.2	2.0
2010.12-2011.3	2.7	3.2	60.3	28.4	30.5	23.4	9.1	6.0	42.8	40.4	4.7	6.9	2.6
2011.3-2011.6	2.4	5.6	28.1	27.4	17.4	30.4	8.4	11.0	23.1	25.4	5.4	3.9	3.9
2011.6-2011.9			6.8	19.8		8.5	8.2		2.7	9.2	11.4	0.7	0.6
2010.7-2011.9	1.1	1.7	23.4	19.0	16.3	16.5	7.4	5.2	12.2	22.7	3.6	1.0	1.4

註 1：台塑六輕、大潭火力電廠腐蝕速率為測站平均值

註 2：空白處為遺失

圖 4.44 特定測站 鋁金屬平均腐蝕速率比較

4.5.2 各金屬大氣腐蝕環境分類

今彙整 2010.07-2011.09 試片之腐蝕速率進行各金屬的大氣腐蝕分類，結果如表 4-10 所示。表中，C5+表示金屬的腐蝕速率已超過 CNS 13401 規範中所規定之 C5 的腐蝕速率。

(圖 4.45 至圖 4.48)分別為碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在 2010.07-2011.09 暴露期間之大氣腐蝕分類等位圖；圖中等位線區間的顏色依表 4-19 中各金屬最初第一年之腐蝕速率來區分，C5 等級以上(C5+)以紅色表示，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準 C5 等級 200μm/yr。C5 等級以粉紅色表示，C4 等級以藍色表示，C3 等級以綠色表示，C2 等級以黃色表示，C1 等級則以淡黃色表示。

一般而言，除了在山區的試驗位址如北橫巴陵及阿里山外，碳鋼、鋅、銅、鋁金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，針對碳鋼金屬(圖 4.45)，基隆試驗線、桃園試驗線、新竹漁港、東北角風景管理處、橄仔樹安檢所、龍德工業區、及陽明山硫磺區腐蝕速率均較其他地區高，為 C5+等級，在北橫巴陵及阿里山為 C2 等級相對其他地區低。至於鋅金屬(圖 4.46)以橄仔樹安檢所、臺中港試驗線、彰濱工業區、外埔安檢所、永安安檢所腐蝕速率達 C5+等級，在阿里山及高鐵嘉義站為 C3 等級相對其他地區低。銅的腐蝕速率以東部及西部沿海地區安檢所及基隆試驗線、桃園試驗線、臺中港試驗線及臺塑六輕試驗線與陽明山硫磺區較為嚴重腐蝕速率達 C5+等級(圖 4.47)。而針對鋁金屬(圖 4.48)，鋁的腐蝕速率以麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線較為嚴重。以西部沿海地區腐蝕速率相對其他地區高。

表 4-10 各試驗地點大氣腐蝕環境分類表-依金屬腐蝕速率分析分類

試驗期間：2010.09-2011.09

項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
1	基隆港試驗線 0m	C5	C5	C5	C5
2	基隆港試驗線 100m	C5+	C5	C5+	C5+
3	基隆港試驗線 3km	C5	C4	C4	C4
4	梗枋安檢所	C5	C5	C5	C5
5	龍德工業區	C5+	C4	C5+	C5+
6	蘇澳港試驗線 0m	C4	C4	C5	C3
7	蘇澳港試驗線 100m	C4	C4	C5	C4
8	蘇澳港試驗線 300m	C4	C4	C4	C4
9	南澳安檢所	C4	C4	C5	C4
10	和平工業區	C3	C4	C4	C4
11	太魯閣國家公園管理處	C3	C4	C4	C3
12	美崙工業區	C4	C4	C4	C3
13	花蓮港試驗線 0m	C5	C4	C5+	C5
14	花蓮港試驗線 100m	C4	C4	C5	C4
15	花蓮港試驗線 300m	C3	C4	C5	C4
16	橄仔樹安檢所	C5+	C5+	C5+	C5
17	石梯安檢所	C4	C4	C5	C4
18	新港安檢所(成功)	C5	C5	C5+	C4
19	金樽安檢所(東河)	C5	C4	C5	C4
20	伽蘭安檢所(富岡)	C5	C5	C5+	C5
21	豐樂工業區	C3	C4	C4	-
22	尚武安檢所	-	-	-	-
23	核三廠試驗線 0M	C5	-	C5+	-
24	核三廠試驗線 100M	C4	C4	C5	C3
25	核三廠試驗線 300M	C4	C4	C5	C3
26	核三廠試驗線 1KM	C4	C4	C5	C3
27	屏東工業區	C3	C4	C4	-
28	中油林園廠	C4	C4	C4	C3
29	中鋼公司	C5	C5	C5	C5
30	鳳山工業區	C3	C4	C4	C4
31	大發工業區	C4	C4	C5	C4
32	高雄港試驗線 0m	-	-	-	-
33	高雄港試驗線 100m	C4	C4	C4	C4
34	高雄港試驗線 300m	C4	C4	C5	C5
35	高雄港試驗線 1km	C4	C4	C4	C3

項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
36	高雄港試驗線 3km	C3	C4	C4	C3
37	高鐵左營站	C3	C4	C3	C3
38	高雄煉油廠	C3	C4	C4	C3
39	永安工業區	C4	C3	C3	-
40	興達火力電廠	C4	C4	C5	C5
41	安平工業區	C4	C4	C4	C5
42	成大水工所	C3	C4	C4	C4
43	官田工業區	C3	C4	C5+	C3
44	東石安檢所	C5	C4	C5	C5+
45	朴子工業區	C4	C4	C4	C5
46	高鐵嘉義站	C3	C3	C4	C3
47	斗六工業區	C3	-	C3	-
48	台塑六輕試驗線 0m	C5	C5	C5+	C5+
49	台塑六輕試驗線 100m	C5	C5	C5+	C5+
50	台塑六輕試驗線 300m	C5	C5	C5+	C5+
51	台塑六輕試驗線 1km	C5	C5	-	-
52	台塑六輕試驗線 3km	C5	C5	C5+	C5+
53	王功安檢所	C5	C5	C5+	C5+
54	彰濱工業區	C5	C5+	C5+	C5+
55	田中工業區	C3	C5	C4	C4
56	南崗工業區	C3	C4	C4	C3
57	大里工業區	C3	C4	C4	C3
58	高鐵臺中站	C2	C4	C4	C4
59	臺中工業區	C3	C5	C4	C3
60	關聯工業區	C5	C5	C5	C5+
61	臺中火力電廠	C5	C5	C5+	C5+
62	臺中港試驗線 0m	-	C5+	C5	C5+
63	臺中港試驗線 100m	C5	C5	C5	C5
64	臺中港試驗線 1km	C4	C5	C5	C5
65	五甲安檢所	C5	C5	C5+	C5+
66	通霄火力電廠	C5	C5	C5+	C5+
67	外埔安檢所	C5	C5+	C5+	C5+
68	竹南工業區	C4	C3	C4	C5
69	頭份工業區	C4	C5	C4	C5
70	工研院	C4	C4	C4	C4
71	新竹工業區	C4	C4	C4	-

項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
72	平鎮工業區	C4	C4	C4	C4
73	桃園試驗線 0m	C5+	C5+	C5+	C5+
74	桃園試驗線 300m	C5	C5	C5	C5+
75	臺北市	C3	C4	C4	C4
76	陽明山國家公園管理處	C5+	C4	C5+	C4
77	陽明山硫磺區	C5+	C5	C5+	C5
78	北橫巴陵	C2	C4	C2	-
79	阿里山	C2	C3	C4	-
80	桃園試驗線 1km	C5	C5	C5	C5+
81	東北角風景管理處	C5+	C4	C5	C5
82	臺北港監測站	C4	C4	C4	C4
83	樹林工業區(服務中心)	C4	C4	C5+	C5+
84	平鎮工業區(服務中心)	C4	C4	C4	C4
85	觀音工業區(服務中心)	C5	C5	C5	C5+
86	永安安檢所	C5	C5+	C5+	C5+
87	新竹漁港	C5+	C5	C5+	C5+

註：- 表示試片遺失

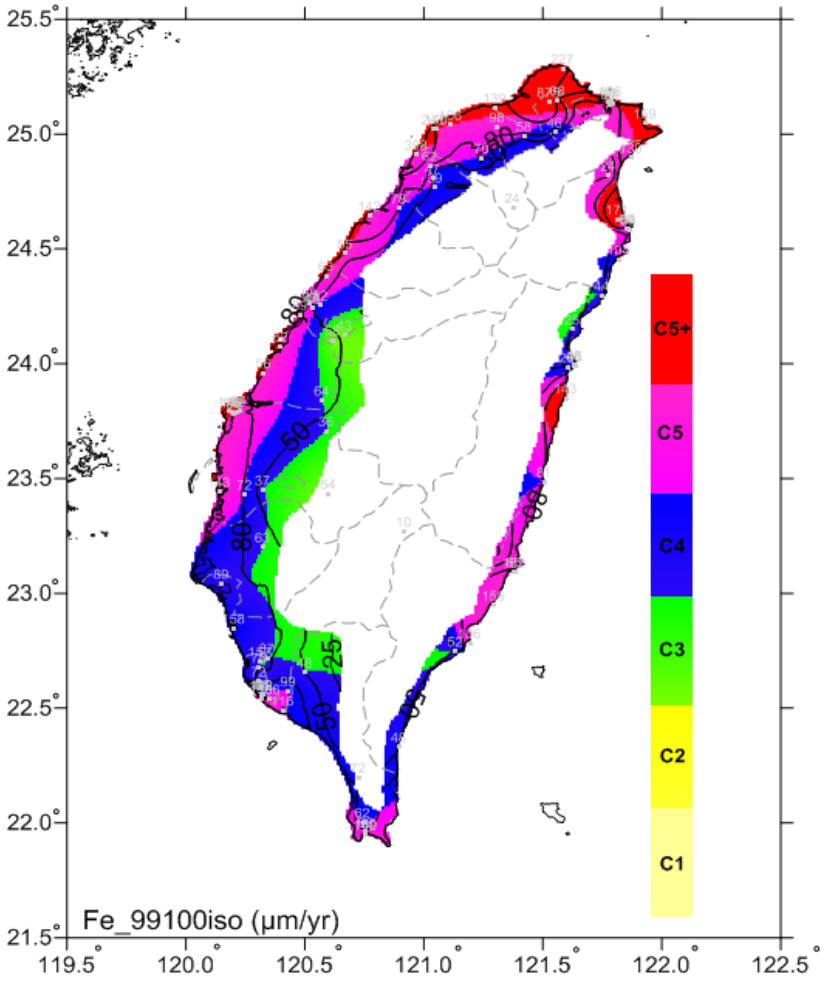


圖 4.45 碳鋼 2010-2011 年腐蝕速率 ISO 分類

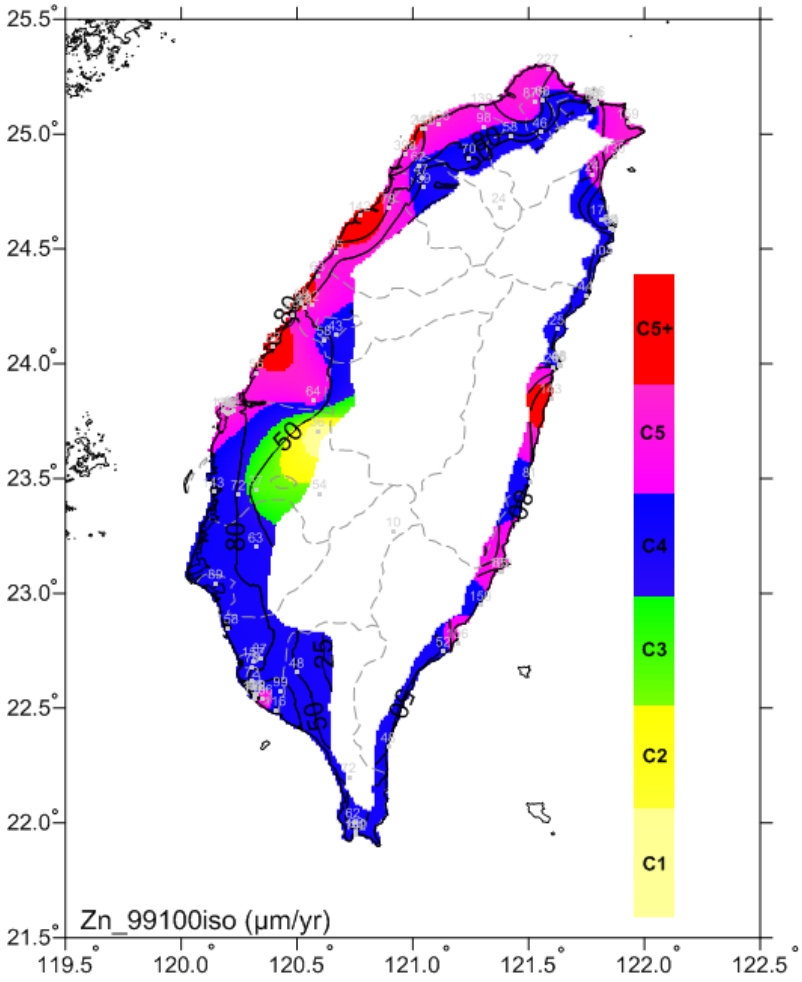


圖 4.46 鋅第 2010-2011 年腐蝕速率 ISO 分類

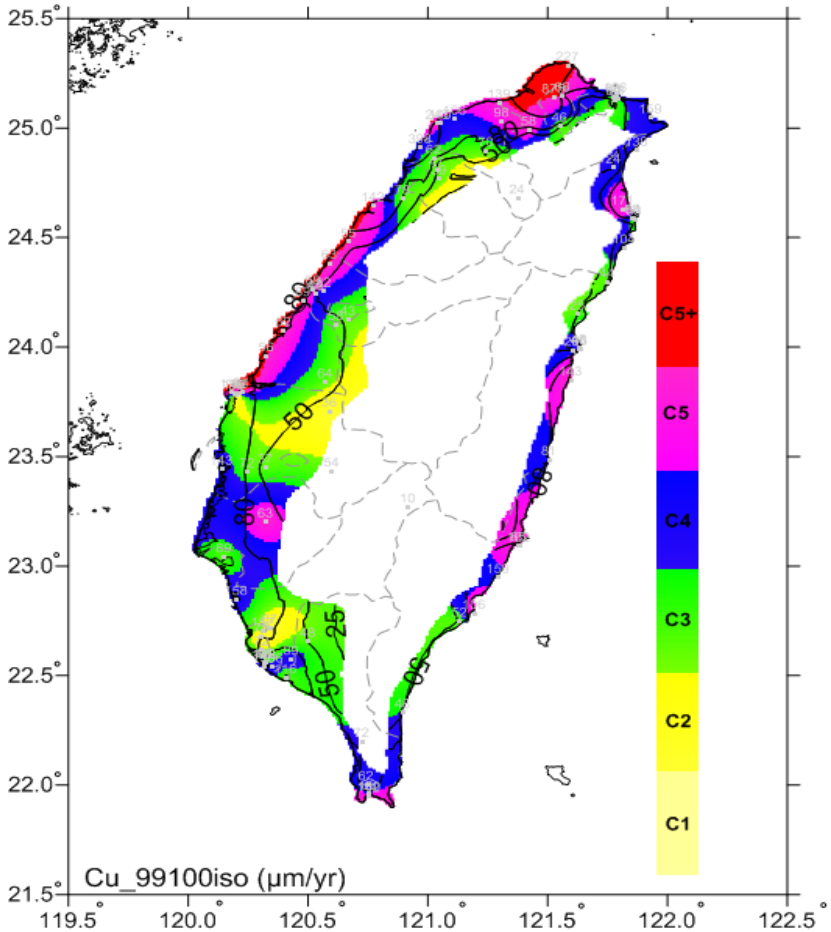


圖 4.47 銅 2010-2011 年腐蝕速率 ISO 分類

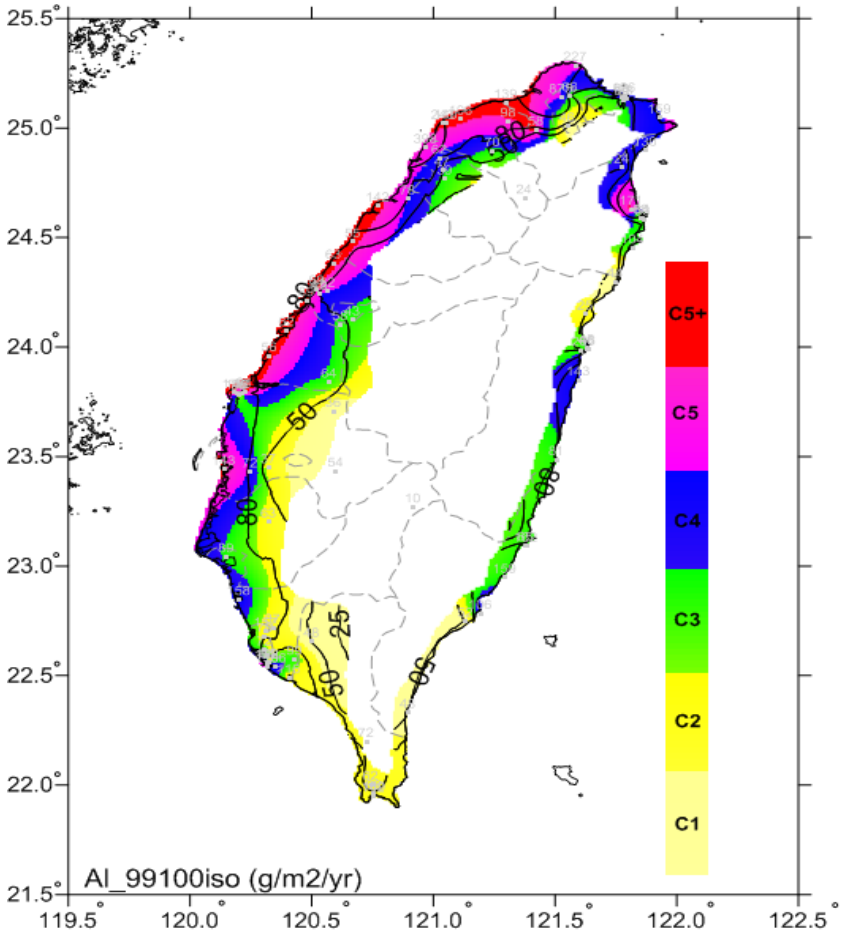


圖 4.48 鋁 2010-2011 年腐蝕速率 ISO 分類

第五章 港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究

5.1 緒論

5.1.1 計畫緣起

港灣鋼筋混凝土構造物暴露於嚴苛的海洋或河川環境，常因沖蝕(erosion)造成混凝土磨蝕(abrasion)、開裂(cracking)、脫層(de-lamination)甚至崩落(spalling)等現象；或因海風、飛沫等挾帶之氯鹽侵入而造成混凝土內部鋼筋腐蝕(corrosion)，銹蝕發生除造成鋼筋有效斷面積減少，混凝土也會因無法抵抗鋼材銹蝕氧化物膨脹所導致之張應力而產生開裂。混凝土劣化造成構造物的服務品質下降，若不加以修補，將導致結構體無法滿足原先設計之安全需求，而須提前拆除重建。

如考量結構物生命週期成本，可採用修補(repair)、復健(rehabilitation)或補強(strengthening)的手段使受損的鋼筋混凝土構造物恢復原有之功能。這些手段除可達到延壽的目標，更可降低大量拆除所引發的廢棄物處理之環境問題以及新建必需面臨的資源問題。

隨著老劣化混凝土結構物的增加，工程界對於修補或補強既有鋼筋混凝土構造物的需求必然會增加。這不但是因拆除重建的成本高，更因若要選址興建新的構造物，在土地資源越來越匱乏的今日，其困難度將大增。

國內在維修補強的研究或案例上，主要集中在建築物耐震補強上。對港灣環境下的鋼筋混凝土構造物的修補或補強，缺乏廣泛的研究，上述環境下混凝土修補與補強，仍可歸屬於廣義的混凝土修補與補強；不過對於修補或補強的材料與工法，必需對其所面對之環境做出適當選擇，否則可能會出現顧此失彼。緣此，港灣結構物的修補與補強，就要對於特殊的暴露環境，做出適當的修補材料、工法等選

擇，如此修補或補強才能達成功效。

5.1.2 研究內容

如何使修補與補強能發揮應有之功效，實為關鍵所在。針對鋼筋混凝土出現損害時，首先必須要透過檢驗病徵瞭解，再透過正確的肇因分析，明瞭是何種因素造成原有的系統失效。藉此，可對修補系統(包括其修補材料與修補工法)做出正確的選擇，讓修補系統得以滿足其服務特性如安全性、美觀性及耐久性等，同時也能讓修補後結構系統面臨與過去相同問題時，不致劣化，保障其使用功能。

第一年（民國 100 年）：

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

第一年期成果包括完成修補材料之基本特性包括力學性質、工作性、收縮性質、彈性模數、透水係數、抗磨耗性質等，並做分析彙整。另外蒐集國內外文獻及各國規範中提及之相關試驗方法並加以評估，對於部份試驗方法之操作步驟進行瞭解，以利未來手冊撰寫時使用。最後完成室內外曝曬試體，供各種長期檢測試驗用以瞭解各種材料進行耐久性行為。修補手冊部份對各國規範以及文獻進行蒐集以及初步瞭解的工作，並完成初步的撰寫。

第二年：(本年度執行，民國 101 年)

第二年期計畫針對常用之修補材料配合國外規範進行後續試驗，並建立工作性與力學性間之關係。第二年的工作內容包括二大部分：

第一部分(試驗室內對常用修補材料進行更廣泛的研究)

1. 頂面與立面修補時所需求之垂流特性試驗。
2. 裂縫注入材料之注入性試驗。
3. 針對滲入型撥水劑作為保護塗料之相關特性研究，如滲透深度、吸水性及抗鹼性、乾燥速率以及氯離子抵抗能力等試驗。

第二部分(戶外試體的製作與觀測)

1. 針對第一年已經完成之修補試體進行各項試驗觀測，觀測週期為三個月。
2. 選定破損梁進行現地修補，先進行鋼筋除鏽，再以修補砂漿修補後，其中部份修補部位在修補處再加以保護塗層，分別為無機滲透結晶材，另一為滲入型撥水劑，完成後進行長期曝曬觀測。

5.1.3 重要性

依據交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等兩大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣 21 世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。本研究主要目的係為提升國內港灣鋼筋混凝土構造物的修復或補強技術水準，降低構造物生命週期成本。

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

5.2 文獻回顧

5.2.1 混凝土表面之黏結劑

國內對於砂漿抗垂流較無完整資訊及規範，一般業界對於抗垂流性以目視法或現地試驗法較多，而本研究中引用歐盟規範 EN 1799，對應用於混凝土表面之黏結材料進行有效之標準，其試驗標準於 EN 1504-4 中指出當應用於水平面之黏結材料於試驗中之表面積直徑不得小於 60mm；當應用於垂直表面之黏結材料，於試驗中其厚度不超過 3mm 時，其下垂度不得超過 1mm。當下垂度超過試驗標準時，一般建議可以添加些微矽灰或添加甲基纖維素，亦或是降低水灰比、添加抗垂流劑等皆可改善垂流情況。

5.2.2 矽烷基撥水劑

撥水劑主要的原理是靠著化合物形成一具有高表面張力的斥水膜(撥水膜)，使水份無法吸附其上。撥水劑共有三類，第一類是以矽烷基的活性成分組成的，最常被使用；第二類是矽氧烷基材料，因分子較大，滲入深度較差；第三類材料因為具有毒性，故很少人在使用。矽烷基撥水劑施作在混凝土或石材上可以形成較薄的防水保護層，可以降低水性汙染物、氯離子和風化現象。在文獻中，作者使用中子照射的技術來探討營建材料所使用的矽烷類滲透型撥水劑的滲入過程。在文獻中，作者使用滲入型撥水劑來修補海洋環境下混凝土之裂縫，並研究其成效如何。

國內常用的撥水劑在市面上有分油性、水性溶液和乳膏狀等三種型態。茲將國內販售的矽烷基撥水劑性質整理如下。

5.2.2.1 高滲透水性撥水劑

這是一種乳膏狀矽烷基潑水劑，它是具有高滲透性的撥水劑，滲透深度可以到達 1cm 以上，是德國進口的保護層塗料。它主要施作於混凝

土、石材等，深層滲透約為 6~12 mm，且具有抗鹼性，可以減少吸水性，石材不易風化、白華與青苔的生長，且提供油漆很好的附著性。材料的基本性質如表 5-1 所示。

表 5-1 高滲透水性撥水劑

性質	試驗方法	標準值	試驗結果
水蒸氣透氣率	PrEN104	>30.0%	未處理：100 % 處理後：48.8%
毛細水吸收率	PrEN104 (已處理防水材試體在水中浸漬 1 天，未處理對照試體浸漬 1 小時)	<7.5%	未處理：100% 處理後：3.1 %
抗鹼性	PrEN104 (浸漬在 0.1M 氫氧化鉀之後，自然乾燥 30 天，再浸漬於清水中測其水吸收率)	<10%	未處理：100% 處理後：2.8 %

5.2.2.2 免克漏2002水性撥水劑

這是一種以矽烷/矽氧烷構成無溶劑的濃縮乳液，它可被水稀釋，產生非常細微的分子乳液。可在石材內部形成保護層，可以防止酸雨、工業汙染及大氣中的化學物，且可以預防混凝土內的鋼筋腐蝕和凍融現象。根據廠商建議可以水加以稀釋，作為降低水吸收率的撥水劑使用，此類撥水劑可以針對無機建材與鹼性底材都可施作，稀釋後剩餘未使用完的撥水劑可以添加酌量的防腐劑則可長期保存。

5.2.3 混凝土裂縫注入

ACI RAP-1 規範中以環氧樹脂注入結構性裂縫，開裂原因及修補程序簡述如下；

5.2.3.1 混凝土開裂之典型原因

進行修補前，應對造成損壞的原因進行瞭解與必要的修正。造成混凝土開裂的常見原因有：

1. 乾燥收縮
2. 熱收縮或膨脹
3. 沉陷
4. 混凝土接合處缺乏適當控制
5. 超載造成彎曲、拉伸，造成混凝土產生剪力裂縫
6. 圍束效應

5.2.3.2 修補裂縫的訴求

此類型之結構性裂縫修補主要目的為修復其結構完整性與防止水份滲透。此方法相較傳統復健方法較能有效填充裂縫，並能提供立面、頂面裂縫修補。

5.2.3.3 修補前注意事項

1. 如果裂縫不危及結構安全、完整性，聚氨酯填縫劑或其他非結構性修補材料可能更為合適。
2. 當引起開裂之原因，屬於結構性缺陷，則在環氧樹脂注入前必須予以修正。
3. 裂縫介面是否潮濕，也是環氧樹脂注入應當考慮之條件。環氧樹脂並非親水性材料，若結合介面處有水份存在，會造成環氧樹脂與基材所產生的黏結力不足。
4. 腐蝕鋼筋造成之膨脹裂縫不應由環氧樹脂注入修復，因為持續的腐蝕會導致新的裂縫，造成裂縫循環。

5.2.3.4 表面處理

為使注入塑膠頂蓋與混凝土表面能適當黏結，必須進行適當之表面處理。

1. 清理沿裂縫紋路兩側各13mm之範圍,並利用鋼絲刷研磨表面粉塵。

2. 也可以使用高壓水、壓縮空氣、真空吸取等方式清除其污垢。當使用水清理裂縫表面後，應加速其乾燥，提供環氧樹脂能在良好的乾燥注入介面下硬固。

3. 如鄰近裂紋的混凝土表面有「V 型槽狀裂紋」惡化，表面處理的範圍應延伸至健全的混凝土。另外在使用高壓注射時，則需要較強有力的封塞體系時，也應類似處理「V 型槽裂紋」一樣將處理範圍擴大至健全的混凝土，以使注入塑膠頂蓋與混凝土間能具有良好黏結。

5.2.3.5 選用材料

因應各種不同現地狀況與裂縫寬度大小,則應選用不同之環氧樹脂。

1. 對應 0.3mm 或更小之表面裂縫寬度，使用低黏度 500cps 以下之環氧樹脂。對應裂縫寬度較寬、僅有一個方向能注射之情況，則應提高黏度。

2. 根據「混凝土環氧樹脂基黏結系統標準規範 ASTM C881」中，環氧樹脂之基本性質如表 5-2。

3. 混凝土版塊尺寸大於 305 mm （12 in)，並遭遇小裂縫時。選用環氧樹脂注入劑應增加其工作時間及降低黏度。

4. 除了表 5-2 環氧樹脂之特性外，以下性質也必須適時地列入考慮。

(1)彈性模數

(2)工作時間

(3)抵抗潮濕能力

(4)顏色

(5)抗壓強度、抗彎強度和拉伸強度

表 5-2 黏結混凝土之環氧樹脂特性

	Type I	Type IV
黏度(cps)		
	2,000	2,000
類別 1(低黏度)最大值	2,000	2,000
類別 2(中黏度)最小值	10,000	10,000
黏稠度 mm (in)		
類別 3(非垂流)最大值	6.25 (1/4)	6.25 (1/4)
凝結時間(分)	30	30
黏結強度最小值 MPa (psi)		
2 天(濕養)	7 (1,000)	7 (1,000)
14 天(濕養)	10.5 (1,500)	10.5 (1,500)
24 小時吸水量最大值(%)	1	1
熱變形溫度		
7 天最小值(°F)	—	120
線性收縮係數		
養護情況最大值	0.005	0.005
抗壓強度		
7 天最小值 MPa (psi)	56 (8,000)	70 (10,000)
壓縮膜數最小值 MPa (psi)	1050 (150,000)	1400 (200,000)
7 天拉伸強度最小值 MPa (psi)	35 (5,000)	49 (7,000)
斷裂伸長率最小值(%)	1	1

5.2.3.6 需求設備

考量工程規模、經費、複雜性等因素，決定不同的材料配給與工方法，基本需求設備如下。

1. 空壓機
2. 手動或自動的注射噴槍
3. 手動或自動的材料配給方式

5.2.3.7 修補程序

一般的裂縫注入工法，修補程序簡述如下；

1. 塑膠頂蓋設置

塑膠頂蓋設置，如圖 5.1。分為表面設置以及嵌入設置兩種類型。塑膠頂蓋必須配置於經過表面處理的混凝土表面。塑膠頂蓋可為任何管狀的設定，只要能成功提供壓力供環氧樹脂進入裂縫。也可以使用對應專用注射噴嘴之注入頂蓋。通常頂蓋間距為 200 mm（8 in），如裂縫寬度增加，應使用更遠之塑膠頂蓋間距。頂蓋間距也可提供混凝土裂縫注入方便性，通常安裝注入頂蓋是足夠的。但如遭遇鈣化混凝土，注入頂蓋端口與裂縫被阻擋時，安裝注入頂蓋也可以經由其他端口位置進行同時注射達到良好效果。

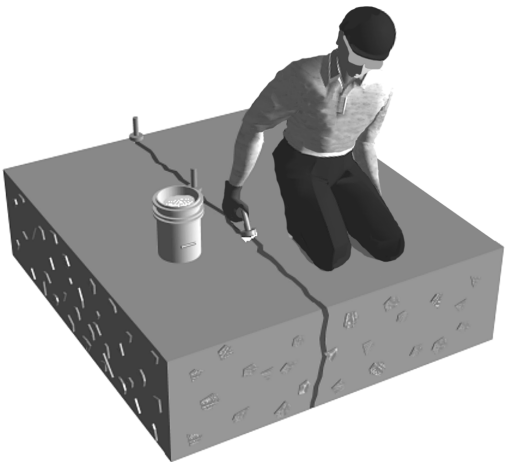


圖 5.1 塑膠頂蓋設置圖

2. 表面塗封

必須連同頂蓋徹底塗封，透過良好的塗封，環氧樹脂得到最佳的向下注入壓力、與兩側壓力。表面塗封可使用環氧樹脂、聚酯樹脂、石蠟、有機矽膠等，見圖 5.2。

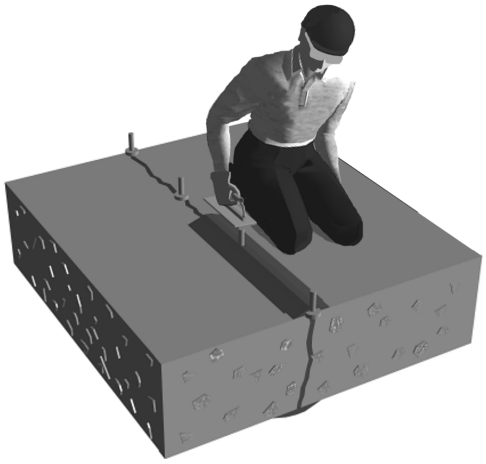


圖 5.2 表面塗封示意圖

密封塗封層必須考慮以下事項：

(1) 表面是否凹凸不平

(2) 塗封層的抗潮濕能力

(3) 塗封材料的工作時間

(4) 塗封材料的彈性模數

表面塗封層可能因為混凝土表面溫度變化導致損壞。如發生此類現象，應在環氧樹脂注入前先將破壞處加以修復。在進行表面塗封層之前，應標記裂縫最寬位置，並注意以下事項：

(1) 使用保存期限內之塗封材料

(2) 批量配置準確，保持小批量，以求新鮮

(3) 頂蓋間距

(4) 一致的塗抹厚度 25 mm 寬，5 mm 厚

3. 注入環氧樹脂

一個成功的環氧樹脂裂縫注入程序，須依照製造商之建議比例進行調配。開始注入前，請檢察注入頂蓋與表面塗封是否完整、發揮作用。見圖 5.3。

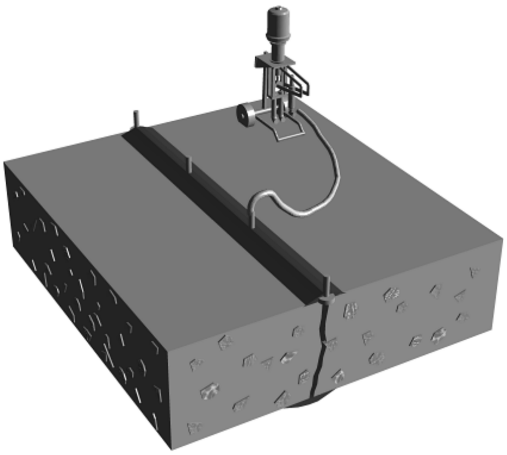


圖 5.3 環氧樹脂注入圖

(1) 由裂縫寬度最大部分開始注射。立面的注射放項通常是由下往上進行。

(2) 進行注射，直至相鄰之頂蓋溢出，密封注入口，並由最遠溢出的頂蓋進行繼續注入。

在處理微細裂縫時，有時不適合”加壓至無法注入”的原則。在此狀況下，嘗試提高注射壓力至每 5 分鐘 1.3 MPa (200 psi) 之環氧樹脂注射壓力。也可以考量使用更緊密的頂蓋間距。當注射到另一個頂蓋完整時，馬上將其密封。高壓可以應用於窄裂縫或提高注射速度。然而，應注意密封壓力管理，防止材料的噴出或漏出。

4. 卸下塑膠頂蓋與密封蓋

注射完成並硬固後，將頂蓋與塗封層利用加熱、撕碎、研磨等方法由混凝土表面移除。如業主對表面塗封層存留並無反感，則可將其保留。如需徹底清除以便後續作業，則應打磨混凝土表面。如圖 5.4。

圖 5.4 移除注入頂蓋與後續表面處理

2.7.8 檢查修補成果

為確保環氧樹脂注射成功，採取評估測試措施，最簡單可靠之方法即進行拉脫試驗，請參照 ACI 或採用非破壞檢測方式，如敲擊回音法、超音波脈波波速法和表面波譜分析法。

5.3 實驗計畫規畫

第二年計畫分為二大部份：第一部份針對常用之修補材料配合歐盟規範進行更廣泛的研究，包括(1)頂面與立面修補時所需求之垂流特性試驗；(2)裂縫注入材料之注入性試驗，以瞭解注入材料之注入流動能力及其硬化後之膠結能力；(3)對滲入型撥水劑作為保護塗料之相關特性研究，包括滲透深度、吸水性及抗鹼性、乾燥速率以及氯離子抵抗能力等試驗。第二部份乃為戶外試體的製作與觀測，包括(1)第一年之修補試體進行各項試驗觀測；(2)選定破損梁進行現地修補。

5.3.1 垂流特性試驗

依照 EN 1779 規範進行垂流特性試驗，衡量修補材料砂漿縱向及橫向表面結構黏接劑應用之適用性。試驗方式為使用垂直或水平之表

面，觀測試驗材塗覆料厚度不同及其流下時間長短，界定材料的垂流性質。

1. 試驗變數

垂流特性試驗材料配比如表 5-3、表 5-4、表 5-5 所示。表 5-3 為純水泥砂漿配比，表 5-4 為環氧樹脂砂漿配比，表 5-5 為高分子改性水泥砂漿配比。

2. 編號說明

以 SBR3-10-1 為例， SBR 表示所添加之改性劑、3 為 0.3 水灰比、10 為改性劑取代水泥量(%)、1 為乾比重比 1：1(水泥：砂)。

英文編號：

CM：卜特蘭水泥砂漿(純水泥沙漿)

EPOXY：環氧樹脂砂漿

SBR：聚丁苯乙烯取代部份水泥之改性砂漿

SSA：固態壓克力粉末取代部份水泥之改性砂漿

LSA：液態壓克力取代部份水泥之改性砂漿

前面數字編號：

水泥砂漿或高分子改性水泥砂漿配比中，數字所代表意義如下：

3：0.3 水灰比

4：0.4 水灰比

5：0.5 水灰比

環氧樹脂漿體配比中，數字所代表意義如下：

5：砂料與硬化劑的重量比為 5：1

8：砂料與硬化劑的重量比為 8：1

中間數字編號：

高分子改性水泥砂漿配比，跟隨第一數字碼後的數字意義如下：

5：高分子材料取代水泥之重量百分率(%) 5%

10：高分子材料取代水泥之重量百分率(%) 10%

後面數字編號：

高分子改性水泥砂漿配比，跟隨中間數字碼後的數字意義如下：

1：(水泥：砂)乾比重比是 1：1

5：(水泥：砂)乾比重比是 1：0.5

表 5-3 一般(純)水泥砂漿配比

配比編號	水灰比 (W/C)	重量比 (水泥：砂)
CM4	0.4	1：2.75
CM5	0.5	1：2.75

表 5-4 環氧樹脂砂漿配比

配比編號	重量比例 (砂：主劑：硬化劑)
EPOXY5	5：2：1
EPOXY8	8：2：1

表 5-5 高分子改性水泥砂漿配比

配比編號	水膠比 (W/B)	重量比 (水泥：砂)	高分子取代水泥重量百分率(%)
SBR351,451	0.3、0.4	1：1	5
SBR351,455	0.3、0.4	1：0.5	5
SBR3101,4101	0.3、0.4	1：1	10
SBR3551,551	0.3、0.5	1：1	5
SBR351,451	0.3、0.4	1：1	5
SBR351,455	0.3、0.4	1：0.5	5
SBR3101,4101	0.3、0.4	1：1	10
SBR3551,551	0.3、0.5	1：1	5
LSA、SSA451	0.4	1：1	5
LSA、SSA455	0.4	1：0.5	5
LSA、SSA4101	0.4	1：1	10
LSA、SSA551	0.5	1：1	5

5.3.2 擠壓試驗

依照 EN 1799 規範進行擠壓試驗，為另一種衡量修補材料垂流特性的試驗。受壓後材料擴展的直徑越小，材料具有較高的內聚性，抵抗垂流的能力越強。

5.3.3 水泥砂漿抗壓強度試驗

依照 CNS 1010 規範對各齡期材料進行抗壓強度測試。探討當添加改善垂流特性的材料時，修補材料的抗壓強度發展，是否仍能滿足設計的需求。

5.3.4 滲入型撥水劑相關試驗

1. 試體準備

依據EN 1766規範，製作水灰比0.7之混凝土基材試體，每立方公尺試體含水泥 260 公斤、粗粒料 984.7 公斤、細粒料 828 公斤、水 182

公斤，粒料最大尺寸 16mm。28 天抗壓強度，立方試體為 30±5Mpa，圓柱形為 25±5MPa。試體養護 24 小時，養護溫度 20±2° C，使用聚乙烯護板控制相對溼度不低於 95％。養護脫模，再水中養護 27 天，溫度控制 20±2° C。

滲透、吸水及抗鹼與乾燥試驗之試體均為 10 cm 立方體，抗氯離子能力試驗為 30x30cm x 10cm 。試體養護後在表面上塗覆不同層數之滲入型撥水劑，操作過程應符合 EN 13579。滲入型撥水劑採用國內 A 公司所提供之 SG-705L 型號產品，為矽烷基類撥水劑，矽烷基含量高達 99%以上。塗裝層數分為一層、兩層與三層，每一層用量為 200 g/m^2。

水中抗磨耗試驗之試體為半徑 15cm 高度 10 cm 之圓柱體，中央圓心處以預留墊片的方式製造一深度 2 cm、寬度 0.6 mm 之人工預裂縫，控制組使用一般之修補水泥砂漿配比，為第一期中所採用之 SBR4-5-5。

2. 滲透深度試驗

混凝土塊破壞，在破壞面上噴灑水，以 0.5 mm 精確度的量測尺，量測水分滲入(或乾燥區域)的深度，此深度定義為滲入深度。試驗需在斷面上取樣最少 5 點，測得平均滲透深度。

3. 吸水及抗鹼性試驗

依照 EN 13580 規範進行吸水及抗鹼性試驗，從同一批次試體比較塗覆與未塗覆滲入型撥水劑後的吸水性，二者比值定義為吸水率。抗鹼性試驗則比較浸漬與未浸漬鹼性溶液試體之吸水率的差異，瞭解滲入型撥水劑的耐鹼能力。

4. 乾燥速率試驗

依照 EN 13579 規範進行乾燥速率試驗，從同一批次試體，比較塗覆與未塗覆滲入型撥水劑處理過試體之乾燥速率，二者乾燥速率比

值定義為乾燥速率係數。

5. 抵抗氯離子能力試驗

依照 AASHTO T259 規範(氯離子貯鹽試驗)進行氯離子抵抗能力試驗，主要乃檢測塗覆與未塗覆滲入型撥水劑處理過之試體，其抵抗氯離子侵入能力之差異。

6. 水中抗磨耗試驗

依 ASTM C1138M-05 規範進行水中磨耗試驗，瞭解修補後抗磨耗之能力，試驗步驟如下：

(1) 將 ϕ30 cm x 10 cm 圓柱試體，於常溫飽和石灰水槽養護，使試體於試驗前達飽和狀態。

(2) 達養護齡期，秤試體於面乾內飽和之空氣中重與水中重並記錄之，以了解初始體積。

(3) 將試體置入試驗桶槽，光滑底面為被磨損面，放入一定數量之鋼珠，加水至攪拌葉片頂端。

(4) 啟動馬達驅使攪動葉片旋轉。每運轉 12 小時取出試體，量測磨耗後面乾內飽和之空氣中重與水中重並記錄之；重複進行試驗 48 小時，大部分試體磨損 48 小時後已可看出趨勢；若趨勢不明者，需延長至 72 小時。

磨耗損失（Abrasion Loss）計算公式如下：

(1) 試體磨耗後體積：

$$V_t = \frac{Wair - W_{water}}{G_w} \quad \text{.....} \quad (3.1)$$

式中，V_t ：試體磨耗後之體積 (cm^3)

W_{air} ：試體於空氣中重量(g)

W_{water}：試體於水中重量(g)

G_w　：水的比重

(2) 試體磨耗後損失之體積：

$$V_{loss} = V_i - V_t \quad (3.2)$$

式中，V_{loss}：t 時間後的磨損體積量(cm^3)

V_i：試體最初體積(cm^3)

V_t：試體磨耗後體積(cm^3)

5.3.5 注入性材料相關試驗

1.注入性試驗

參考 EN 1771 規範進行注入性試驗，瞭解漿體材料使用於裂縫注入之能力與黏結強度。試驗乃以定壓力進行注入，試驗材料經過一預置細粒料之透明壓克力管，量測並紀錄試驗材料上升之高度與所需時間之對應關係。待塑膠管內材料硬固後，利用頂樣器將試體取出進行劈裂試驗，以劈裂強度來比較其硬化後之黏結能力。漿體細粒料選用 1.25mm、1.00mm、0.80mm、0.63mm 等四種篩號(EN 1771 規範)及部份以 ASTM 篩號取代如 1.18mm（#30）、1.00mm（採用 EN 篩網）、0.85mm（採用 EN 篩網）、0.60mm（#16）進行比較，粒料級配累積通過百分比如表 5-6。

表 5-6　EN 粒料選用篩號累計百分比

篩網口徑(mm)	0.63	0.80	1.00	1.25
累積通過百分比(%)	0	30	63	100

2. 劈裂試驗

延用注入性試驗之試體，等切為六份進行劈裂試驗，瞭解修補材

料硬固後所產生之黏結能力，其操作步驟如下；

(1) 將試體切成 6 等份圓柱試體(直徑 3cm、高 6cm)。

(2) 紀錄每等份(個)試體在原始壓克力管內之位置。

(3) 將試體放置至抗壓機上，並橫置在劈裂模具上。

(4) 使用無衝擊固定荷重速率 0.05±0.01N/mm^2/s 進行劈裂。

(5) 紀錄每個對應位置之試體最大破壞荷重 F，公式 3.3 為計算劈裂強度 f。

$$f = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times L} \quad \text{.....} \quad (3.3)$$

式中：

F：最大破壞荷重，以 N 表示。

d：試體直徑，以 mm 表示。

L：試體高度，以 mm 表示。

f ：劈裂強度，以N/mm^{2}表示。

劈裂強度越高表示注入修補材的黏結能力越好。歐盟規範建議，水泥基之裂縫注入修補材料劈裂強度應高於3MPa，環氧樹脂基應高於7MPa。

3. 實驗變數

(1)強塑劑

水泥基漿體應用於注入性質之研究，使用強塑劑可以達到規範要求之工作性標準。

(2)改性添加劑比例

壓克力樹脂作用後，會影響部分性質如強度下降、防水提高、抗磨等。但添加壓克力樹脂改性水泥漿，會增加稠度，大幅影響注入性質之表現 ，依添加量之不同，在工作性及黏結強度之發展，是值得研究的。

(3)水灰比

為改善水泥基漿體材料注入性質，水相較於強塑劑之應用，成本相對低廉。除影響其注入性、工作性質，在裂縫修補中重要之力學行為表現上，黏結強度為一種要之考量要點。對應壓克力樹脂改性添加劑比例之不同，水灰比之影響，相較一般標準水泥漿在注入性質之研究上也會有所差異。

4. 配比設計

(1) 純水泥漿體

以定量水泥、強塑劑之水泥漿體為控制組其配比如表 5-7，用來對應不同水灰比添加改性劑漿體之比較用。

表 5-7 純水泥漿體注入材配比

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量
純水泥漿體	0.5	1000	500	無
純水泥漿體	0.3	1000	300	1%
純水泥漿體	0.4	1000	400	1%
純水泥漿體	0.5	1000	500	1%
純水泥漿體	0.525	1000	525	1%
純水泥漿體	0.55	1000	550	1%
純水泥漿體	0.575	1000	575	1%
純水泥漿體	0.6	1000	600	1%

(2)飛灰改性水泥漿體

設計原則為固定膠結材、強塑劑之比例，與純水泥漿體相同，改變水灰比產生組別，做為實驗組比較，如表 5-8。本項配比設計是

希望瞭解加入飛灰之後，飛灰的球軸效應是否能使改性水泥漿具有較優良的裂縫注入能力。

表 5-8 飛灰改性水泥漿體注入材配比

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	飛灰用量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量
飛灰水泥漿	0.4	800	200	400	1%
飛灰水泥漿	0.4	600	400	400	1%
飛灰水泥漿	0.5	800	200	500	1%
飛灰水泥漿	0.5	600	400	500	1%

(3)壓克力樹脂改性水泥漿體

表 5-9 為壓克力樹脂改性水泥漿體注入材配比。

表 5-9 壓克力樹脂改性水泥漿體注入材配比

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	壓克力樹脂添加量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量
壓克力漿	0.525	1000	60	525	1%
壓克力漿	0.525	1000	90	525	1%
壓克力漿	0.525	1000	120	525	1%
壓克力漿	0.525	1000	150	525	1%
壓克力漿	0.55	1000	60	550	1%
壓克力漿	0.55	1000	90	550	1%
壓克力漿	0.55	1000	120	550	1%
壓克力漿	0.55	1000	150	550	1%
壓克力漿	0.575	1000	60	575	1%
壓克力漿	0.575	1000	90	575	1%
壓克力漿	0.575	1000	120	575	1%
壓克力漿	0.575	1000	150	575	1%
壓克力漿	0.6	1000	60	600	1%
壓克力漿	0.6	1000	90	600	1%
壓克力漿	0.6	1000	120	600	1%
壓克力漿	0.6	1000	150	600	1%

(4)環氧樹脂漿體

表 5-10 環氧樹脂漿體注入材之配比。

表 5-10 環氧樹脂注入材配比

選用材料	主劑：硬化劑	主劑(g)	硬化劑(g)	稀釋劑比例(%)	稀釋劑(g)
環氧樹脂	4：1	1000	250	0	0
環氧樹脂	5：1	1000	200	0	0
環氧樹脂	4：1	1000	250	10	125
環氧樹脂	4：1	1000	250	20	250
環氧樹脂	4：1	1000	250	30	375

5.3.6 戶外試驗

1.長期曝曬試體觀測

第一年計畫，針對不同尺寸之破損以及不同破壞機理(人工預裂縫、抗彎破壞預裂縫及以鋼筋腐蝕製造出之預裂縫)選定修補材料進行修補後，置放於基隆海洋大學靠海環境及其材料所屋頂等曝曬場，進行長期曝曬試驗。以三個月為一週期，對各類試體進行以下試驗：

(1) 反彈錘試驗：推估修補處之抗壓強度，瞭解曝曬時間與環境之影響。

(2) 紫外線老化試驗：以目視配合數位相機記錄，觀測修補處材料是否出現粉化等現象。

(3) 四極式電阻試驗：以四極式電阻測量修補部位之電阻係數，間接了解修補部位之品質。

(4) 變水頭試驗：依照 JIS A6909 規範進行變水頭試驗，瞭解修補部位水密性隨曝曬時間之變化。

(5) 半電池電位試驗：依照 ASTM C-876 規範進行半電池電位試

驗，瞭解修補後鋼筋電位隨曝曬時間之變化。

(6) 腐蝕速率試驗：以腐蝕電流計量測試體修補後內部鋼筋腐蝕速率之變化，瞭解修補後之抗腐蝕能力。

2.本年製作之梁構件

混凝土梁的製作與第一年期所設計的類似，試體尺寸為 15cm x 15cm x 90cm，鋼筋配置如圖 5.5 所示。

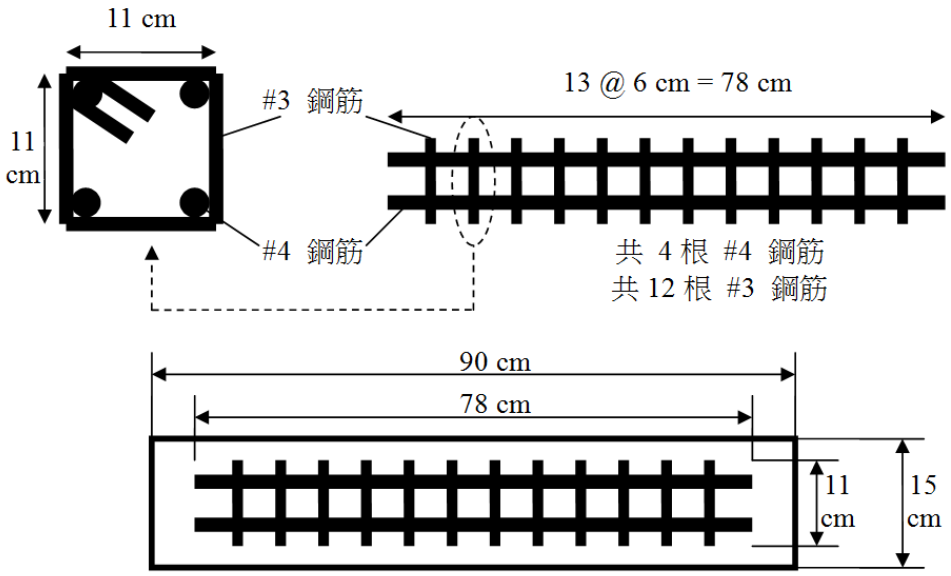


圖 5.5 第二年期戶外試體梁示意圖

梁試體配比水灰比 0.58，每立方公尺漿體含水泥 323 公斤、粗粒料 939 公斤、細粒料 821 公斤、水 188 公斤。梁的中央處以預置墊片的方式製造寬度為 0.4 mm、深度為 2 cm 之人工預裂縫。試體養護 28 天後，以下列三種方式進行修補：

(1) 以一般之修補水泥砂漿將裂縫表面鏝抹，水泥砂漿水灰比為 0.55，水泥與砂的重量比為 1：2.75。修補後再養護 28 天，移至曝曬場進行長期試驗，本項共 C1、C2、C3、C4 四根梁，C 代表一般(純)水泥砂漿。

(2) 以 XYPEX 無機型滲透結晶修補砂漿進行裂縫修補，XYPEX 無機型滲透結晶修補砂漿之水膠比為 0.55，膠結材料(水泥加上 XYPEX 無機型滲透結晶修補材)與 1：2.75，而 XYPEX 無機型滲透結晶修補材佔整體膠結材料的 3%。修補完成後再養護 28 天，然後移至曝曬場進行長期試驗。本項共 X-1、X-2、X-3、X-4 四根梁，X 代表 XYPEX 無機型滲透結晶材改性之修補水泥砂漿。

(3) 先以一般之修補水泥砂漿將裂縫表面鏝抹，水泥砂漿之水灰比為 0.55，水泥與砂的重量比為 1：2.75。修補後再養護 28 天，然後以滲入型撥水劑，分別施作一層當作額外的保護層，試體共四根梁，編號為 CP1-1、CP1-2、CP1-3 與 CP1-4，C 代表普通砂漿、P 代表額外施加滲入型撥水劑作為保護層、後面數碼 1 代表滲入型撥水劑用量為一層，施作兩層編號為 CP2-1、CP2-2、CP2-3 與 CP2-4，施作三層編號為 CP3-1、CP3-2、CP3-3 與 CP3-4。保護層施作後，移至曝曬場進行長期試驗。

5.4 試驗結果與討論

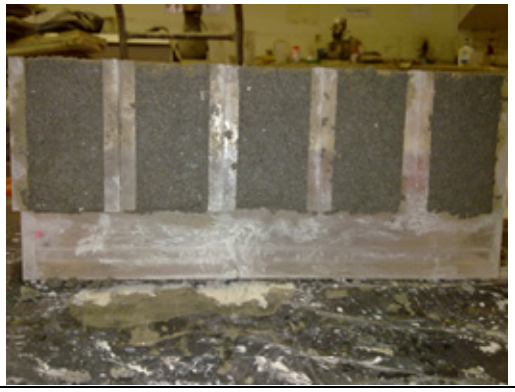
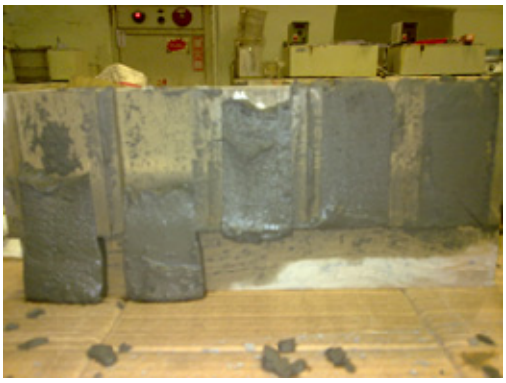
5.4.1 垂流特性試驗

5.4.1.1 垂流試驗

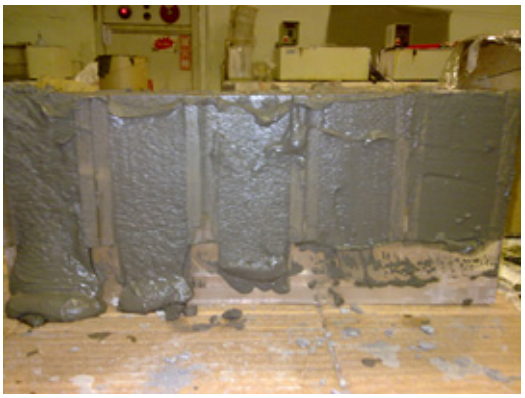
水泥基材及改性後之垂流試驗結果彙整於表 5-11。表中聚丁苯乙烯橡膠樹脂改性水泥砂漿(SBR 砂漿)，水灰比為 0.3 時抗垂流性佳，但改變其它條件如提高水灰比及修補材取代量、降低乾比重後，均會使抗垂流性下降。當水灰比 0.4 時，與兩種(液態、乾粉狀)壓克力樹脂改性水泥砂漿(LSA 砂漿、SSA 砂漿)相較下，其抗垂流性降低許多。除 SBR4-5-1 外，其餘三種配比當塗層厚度達 6mm 時，就無法有效抵抗垂流，其中以 0.5 水灰比之 SBR 砂漿最為嚴重，如塗層厚度達 2mm 有 12mm 之下滑量。LSA 4-5-1 除塗層厚度達 12mm 外，均有不錯之抗垂流性。SSA 砂漿與 LSA 類似，但抗垂流性皆低於相同配比之 LSA 砂

漿。環氧樹脂砂漿抗垂流性皆弱，如提高砂的添加量後略有提升(砂：A 劑：B 劑、5：2：1 提高至 8：2：1)。上述結果顯出這些改性添加劑，均使水泥漿的內聚力下降，相對地抗垂流特性就下降。顯然使用這些改性添加劑能達到一些預設目標(如增大柔性作為彈性材料、增加抗磨性、增加黏結強度等)，若同時考量抗垂流特性，則應添加其他物質來達成。

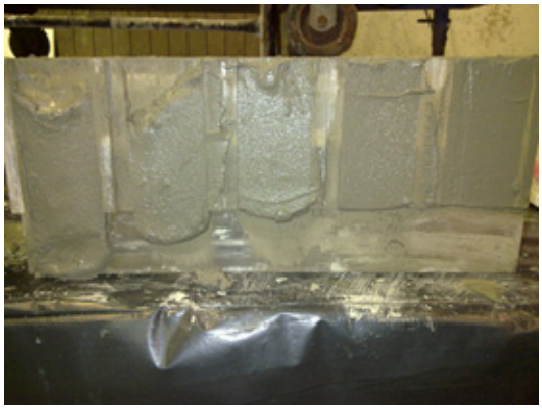
表 5-11 垂流試驗結果

試體編號 CM4			
渠道厚度	下垂深度	材料厚度	
12mm	0 mm	12 mm	
9mm	0 mm	9 mm	
6mm	0 mm	6 mm	
3mm	0 mm	3 mm	
2mm	0 mm	2 mm	
試體編號 CM5			
渠道厚度	下垂深度	材料厚度	
12mm	超過 50 mm	12 mm	
9mm	超過 50 mm	9 mm	
6mm	2 mm	6 mm	
3mm	0 mm	3 mm	
2mm	0 mm	2 mm	
試體編號 SBR4-5-1			
渠道厚度	下垂深度	材料厚度	
12mm	超過 50 mm	16 mm	
9mm	超過 50 mm	14 mm	
6mm	10 mm	1 mm	
3mm	8 mm	0 mm	
2mm	5 mm	0 mm	

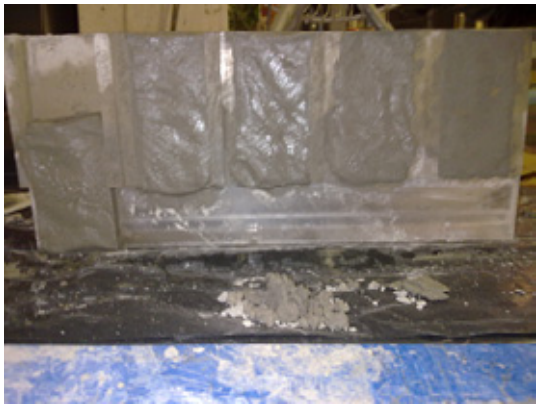
試體編號 SBR4-5-5		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	23 mm
9mm	超過 50 mm	18 mm
6mm	36 mm	11 mm
3mm	2 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



試體編號 SBR4-10-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	20 mm
9mm	超過 50 mm	18 mm
6mm	36 mm	9 mm
3mm	2 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



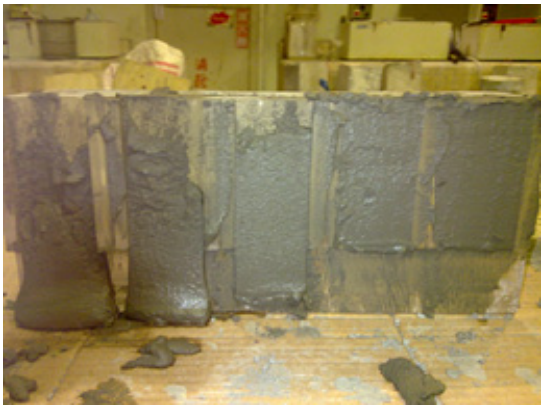
試體編號 SBR5-5-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	27 mm
9mm	超過 50 mm	25 mm
6mm	超過 50 mm	14 mm
3mm	17 mm	5 mm
2mm	12 mm	3 mm



試體編號 LSA4-5-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	12 mm
9mm	0 mm	9 mm
6mm	0 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm

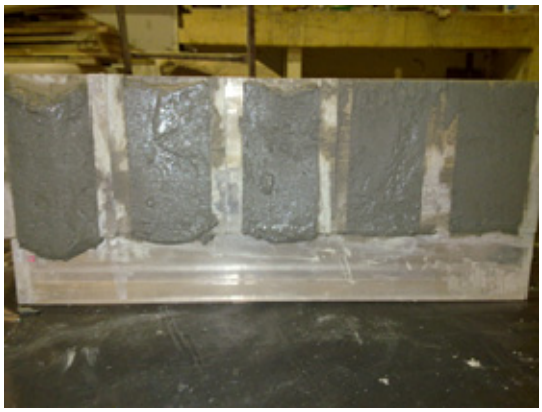
試體編號 LSA4-5-5		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	10 mm	11 mm
9mm	超過 50 mm	12 mm
6mm	2 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm

試體編號 LSA4-10-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	10 mm
9mm	20 mm	8 mm
6mm	6 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



試體編號 LSA5-5-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	22 mm
9mm	超過 50 mm	18 mm
6mm	3 mm	7 mm
3mm	1 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm

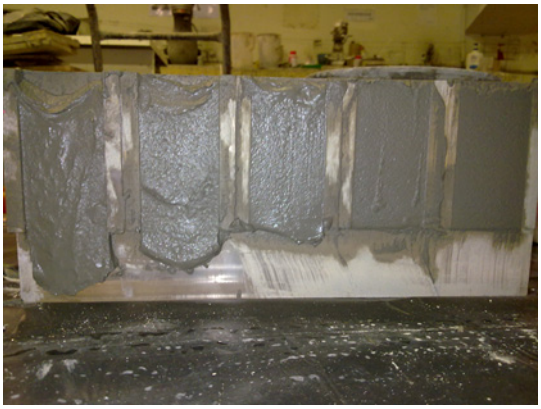
試體編號 SSA4-5-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	10 mm	22 mm
9mm	5 mm	18 mm
6mm	4 mm	7 mm
3mm	1 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



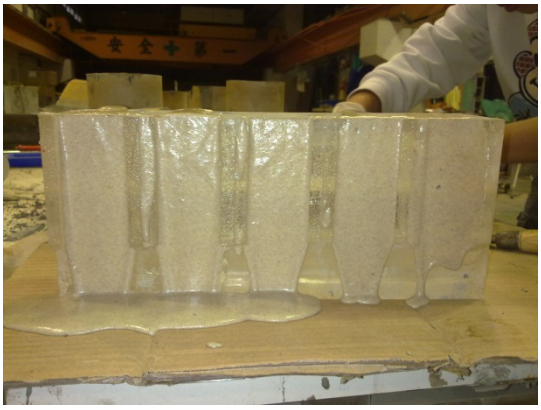
試體編號 SSA4-5-5		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	42 mm	12 mm
9mm	30 mm	10 mm
6mm	12 mm	8 mm
3mm	1 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm

試體編號 SSA4-10-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	23 mm
9mm	22 mm	9 mm
6mm	12 mm	7 mm
3mm	6 mm	4 mm
2mm	0 mm	2 mm

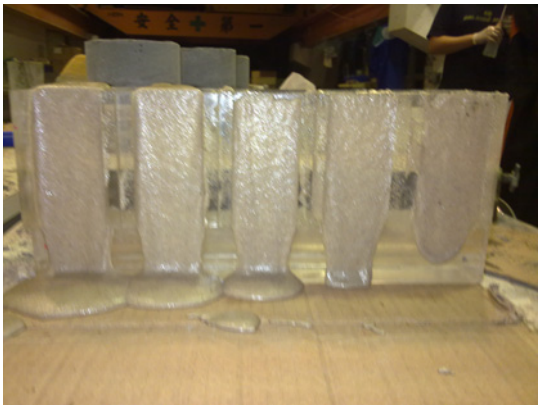
試體編號 SSA5-5-1		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	42 mm
9mm	超過 50 mm	31 mm
6mm	42 mm	4 mm
3mm	9 mm	2 mm
2mm	7 mm	1 mm



試體編號 EPOXY5		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	6 mm
9mm	超過 50 mm	60 mm
6mm	超過 50 mm	50 mm
3mm	超過 50 mm	20 mm
2mm	超過 50 mm	15 mm



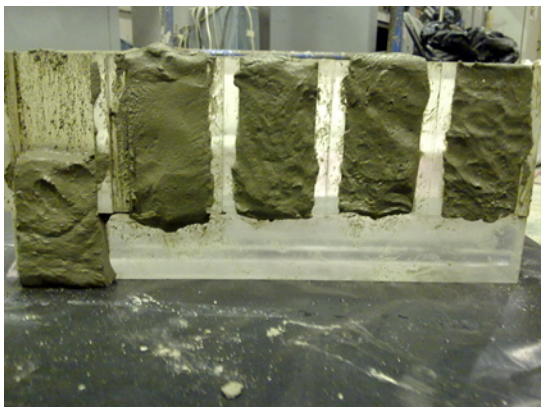
試體編號 EPOXY8		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	60 mm
9mm	超過 50 mm	48 mm
6mm	超過 50 mm	37 mm
3mm	超過 50 mm	18 mm
2mm	49 mm	5 mm



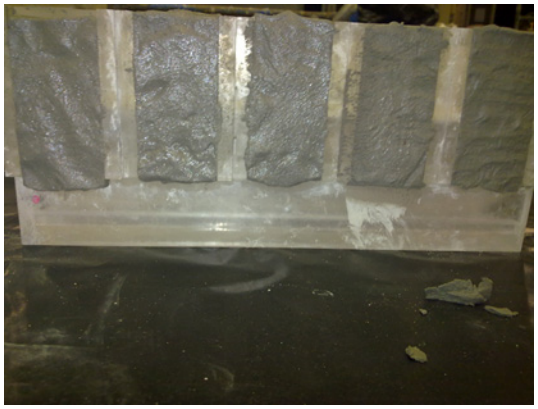
整體而言，當材料塗層厚度到達9mm以上時，大部分材料均無法有效的抵抗垂流，故選擇配比 SBR4-5-1 與 EPOXY5 以添加矽灰、甲基纖維素、以中空輕粒料取代部分矽料等方式進行改良，試驗結果如表 5-12 所示。其中 SBR4-5-1 分別為添加 1%、2%矽灰與依照水量比例 90：1(水：甲基纖維素)添加之甲基纖維素，而環氧樹脂矽漿以 5%、10%、20%中空輕粒料取代原來之石英砂河砂。當添加矽灰量為 1%時，9mm 塗層厚度的下滑量從超過 50mm 改善到 8mm 下滑量，添加量 2%矽灰時，12mm 的塗層厚度有 5mm 之下滑量，但其餘厚度皆無下滑，表示抗垂流性有明顯的提升。添加甲基纖維素其抗垂流性亦有明顯之改善。環氧樹脂砂漿依中空輕粒料取代量的增加，抗垂流性也依序增加，取代量到達 20%時，全厚度無顯著下滑。

表 5-12 改性後垂流試驗結果

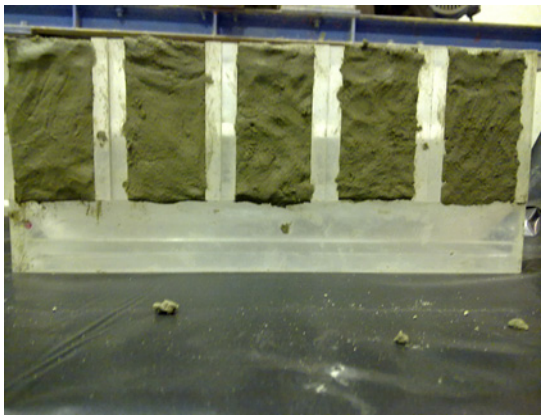
試體編號 SBR4-5-1 添加 1%矽灰		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	14 mm
9mm	8 mm	9 mm
6mm	2 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



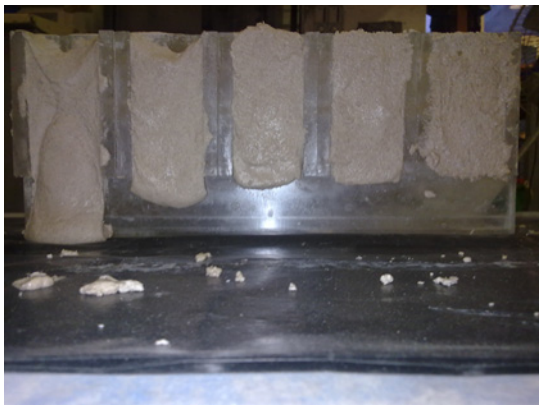
試體編號 SBR4-5-1 添加 2%矽灰		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	5 mm	14 mm
9mm	0 mm	9 mm
6mm	0 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



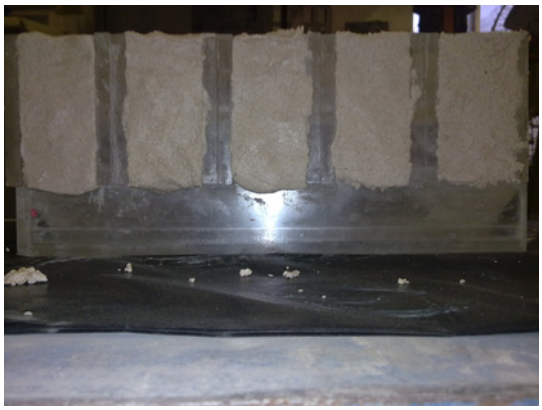
試體編號 SBR4-5-1 添加甲基纖維素		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	0 mm	12 mm
9mm	0 mm	9 mm
6mm	0 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



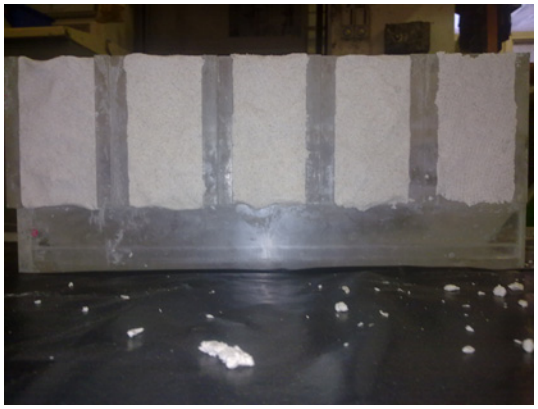
試體編號 EPOXY8 以 5%中空輕粒料取代		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	超過 50 mm	22 mm
9mm	20 mm	8 mm
6mm	10 mm	5 mm
3mm	4 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



試體編號 EPOXY8 以 10%中空輕粒料取代		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	4 mm	10 mm
9mm	0 mm	9 mm
6mm	0 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



試體編號 EPOXY8 以 20%中空輕粒料取代		
渠道厚度	下垂深度	材料厚度
12mm	0 mm	12 mm
9mm	0 mm	9 mm
6mm	0 mm	6 mm
3mm	0 mm	3 mm
2mm	0 mm	2 mm



試驗結果顯示，對丁苯乙烯橡膠改性修補砂漿、液態或固態壓克力樹脂改性修補砂漿，可使用添加矽灰或甲基纖維素來改善抗垂流特性，環氧樹脂砂漿則可以中空輕粒料取代常重粒料來改善，不過需注意取代量增加時，砂漿之抗壓強度會下降。

5.4.1.2 擠壓試驗

EN17.569 規範中，擠壓是檢視修補材料之內聚能力及抗垂流性。定壓下，擠壓出之直徑越大，材料內聚力越低，抗垂流能力越差。擠壓及改性後擠壓試驗結果分別列於表 5-13 與表 5-14，兩表中顯示擠壓與垂流試驗結果大略成正比，亦即擠壓出之直徑較大時，下垂量也較多，試體為 LSA451 之擠壓直徑為 14.8mm，為本試驗中最具抵抗重量(下垂量)之材料配比，主要原因是添加之改性劑液態壓克力樹脂具有良好凝聚性及黏度。當試驗材料為環氧樹脂砂漿時，砂與 AB 劑比例為 5：2：1 時試驗結果直徑為 42mm，8：2：1 時為 38mm 這表示環氧樹脂砂漿與其他改性砂漿相比具有較良好的工作性，但相對抗垂流性較差。

表 5-13 擠壓試驗結果

試體編號	直徑(mm)
CM4	15.7
CM5	18.7
SBR4-5-1	25.0
SBR4-5-5	24.6
SBR4-10-1	24.2
SBR5-5-1	29.6
LSA4-5-1	14.8
LSA4-5-5	18.0
LSA4-10-1	27.3
LSA5-5-1	21.6
SSA4-5-1	24.7
SSA4-5-5	26.8
SSA4-10-1	23.5
SSA5-5-1	33.5
EPOXY5	42.0
EPOXY8	38.0

表 5-14 改性後擠壓試驗結果

試體編號	直徑(mm)
SBR4-5-1 添加 1%矽灰	17.7
SBR4-5-1 添加 2%矽灰	15.6
SBR4-5-1 添加甲基纖維素	16.0
EPOXY8 以 5%中空輕粒料取代	25.0
EPOXY8 以 10%中空輕粒料取代	20.3
EPOXY8 以 20%中空輕粒料取代	15.7

5.4.1.3 水泥砂漿抗壓強度試驗

各種基材之抗壓試驗結果如表5-15所示， SBR4-5-1添加矽灰及EPOXY8以中空輕粒料取代石英砂之抗壓結果分別列於表5-16與表5-17。

表 5-15 抗壓強度結果

強度單位 (MPa)				
編號/時間	3天	7天	14天	28天
CM4	27.24	31.36	37.80	42.40
CM5	17.80	23.00	26.96	32.08
SBR4-5-1	36.44	38.60	45.96	48.64
SBR4-5-5	37.96	40.32	49.76	56.16
SBR4-10-1	32.88	37.60	40.76	43.21
SBR5-5-1	30.40	36.32	42.48	44.24
LSA4-5-1	28.60	34.84	37.16	43.96
LSA4-5-5	30.32	36.04	39.64	48.66
LSA4-10-1	18.16	21.48	23.44	27.48
LSA5-5-1	21.20	26.56	29.08	31.92
SSA4-5-1	25.08	28.92	31.71	36.80
SSA4-5-5	26.71	31.84	34.75	40.44
SSA4-10-1	15.72	19.12	21.44	24.40
SSA5-5-1	20.04	25.20	28.56	30.92
EPOXY5	46.68	49.28	51.52	53.48
EPOXY8	49.16	57.48	59.08	61.31

表 5-16 SBR4-5-1 添加矽灰及海菜粉抗壓強度結果

強度單位 (MPa)		
編號	矽灰添加量(%)	28天抗壓強度(MPa)
SBR4-5-1	0	48.64
SBR4-5-1-1	1	47.40
SBR4-5-1-2	2	37.36
編號	添加甲基纖維素(水：甲=90：1)	28天抗壓強度(MPa)
SBR4-5-1-90		41.92

表 5-17　EPOXY8 以中空輕粒料取代抗壓強度結果

強度單位 (MPa)		
編號	中空輕粒料取代細砂百分率(%)	28天抗壓強度(MPa)
EPOXY8	0	61.31
EPOXY8-5	5	41.10
EPOXY8-10	10	41.06
EPOXY-20	20	13.32

5.4.2 注入性材料相關試驗

5.4.2.1 注入能力試驗

1. 純水泥漿體注入性結果

純水泥漿體因無添加改性材料及固定強塑劑量，僅水灰比為單一變因。其注入性只受到水灰比影響，試驗結果如表 5-18 所示。

表 5-18 純水泥漿體注入性結果

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量	注入性試驗結果
純水泥漿體	0.5	1,000	500	無	無法注入
純水泥漿體	0.3	1,000	300	1%	無法注入
純水泥漿體	0.4	1,000	400	1%	未注滿(7cm)
純水泥漿體	0.5	1,000	500	1%	8 分 40 秒
純水泥漿體	0.525	1,000	525	1%	5 分 46 秒
純水泥漿體	0.55	1,000	550	1%	3 分 52 秒
純水泥漿體	0.575	1,000	575	1%	2 分 07 秒
純水泥漿體	0.6	1,000	600	1%	48 秒

純水注入時間為 7 秒，從以上注入性試驗結果得知，純水泥漿體必須添加強塑劑，才可能到達能將其注入之門檻；而與 EN 規範之 8 分內注滿為可行之注入材料，4 分內注滿為優良注入性材料有段差距，故採用純水泥漿體必須添加強塑劑，並提高水灰比至 0.5 以上，才能有效應用於裂縫注入；對應不同水灰比純水泥砂漿所需注入時間關係如圖 5.6 所示。

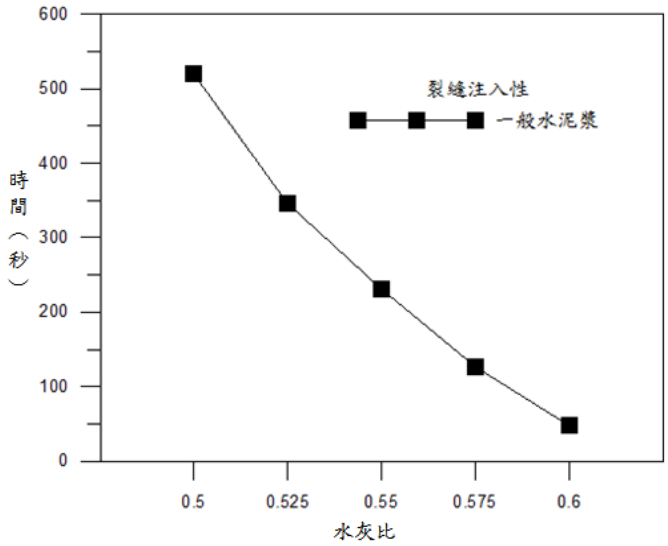


圖 5.6 純水泥漿裂縫注入性試驗結果

圖 5.6 所示，純水泥漿之注入性，對應水灰比之關係，有隨著水灰比的減少，所需注入時間上升之趨勢。根據 EN 規範注入性時間結果之應用，將純水泥漿注入材之試驗整理結果如表 5-19 所示：

表 5-19 純(一般)水泥漿體注入與水灰比之關係

	通過配比組別	水灰比	強塑劑添加量	注入時間
優良注入性 應用於表面寬度 0.1mm 之裂縫	一般水泥漿	0.575	1%	2 分 07 秒
	一般水泥漿	0.6	1%	48 秒
可行注入性 應用於表面寬度 0.2mm 之裂縫	一般水泥漿	0.525	1%	5 分 46 秒
	一般水泥漿	0.55	1%	3 分 52 秒
無法應用於裂縫 注入(超過 8 分)	一般水泥漿	0.5	1%	8 分 40 秒

2. 飛灰改性水泥漿體注入性結果

添加飛灰取代部分水泥之目的在於提高其流動性，欲改善其注入性質，添加飛灰可以改變砂漿或混凝土之工作性。漿體流動性與注入性間之結果，如表 5-20 所示。

表 5-20 飛灰改性水泥漿體注入性結果

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	飛灰用量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量	注入性試驗結果
飛灰水泥漿	0.4	800	200	400	1%	無法注入
飛灰水泥漿	0.4	600	400	400	1%	無法注入
飛灰水泥漿	0.5	800	200	500	1%	未注滿(6cm)
飛灰水泥漿	0.5	600	400	500	1%	未注滿(9cm)

由上表顯示添加飛灰不僅無法增加注入性，反而有減少之趨勢。相較於同樣都是 0.5 水灰比、膠結材量相同之純水泥漿體。飛灰在注入性質表現上不如一般水泥漿，比較如表 5-21；故得知在漿體之注入性質上與流動性質上，並不等同。

表 5-21 一般水泥漿與飛灰改性漿體注入性結果比較

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	飛灰用量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量	注入性試驗結果
一般水泥漿	0.5	1000	無	500	1%	8 分 40 秒
飛灰水泥漿	0.5	800	200	500	1%	未注滿(6cm)
飛灰水泥漿	0.5	600	400	500	1%	未注滿(9cm)

3. 壓克力改性水泥漿體注入性結果

壓克力樹脂經過反應後，產生一類膠質之介面，具有防水能力，在拌合過程中，此類效應反而會造成工作性下降。壓克力樹脂採額外添加形式，方便與同水灰比、膠結材固定之一般水泥漿對照組做相互比較，其注入性結果如表 5-22(a)。

表 5-22(a) 壓克力樹脂改性水泥漿注入性試驗結果(1)

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	壓克力樹脂添加量(g) (相對於水泥用量%)	水用量(g)	強塑劑添加量	注入結果
壓克力樹脂水泥漿	0.525	1000	60(6%)	525	1%	未注滿(32.5cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.525	1000	90(9%)	525	1%	未注滿(31.5cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.525	1000	120(12%)	525	1%	未注滿(13.5cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.525	1000	150(15%)	525	1%	未注滿(4.5cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.55	1000	60(6%)	550	1%	未注滿(33cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.55	1000	90(9%)	550	1%	未注滿(33cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.55	1000	120(12%)	550	1%	未注滿(33.5cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.55	1000	150(15%)	550	1%	未注滿(34.5cm)

由上表可知相較於一般水泥漿體，利用額外添加壓克力樹脂改性，對於注入性有極大之影響；水灰比 0.525、0.55 此兩種組別在一般水泥漿體之注入性結果，歸屬於可行注入性；但額外添加 3%之壓克力樹脂隨即降低至不滿足注入性，並且無法注滿，影響甚大。

為改善壓克力漿體之注入性，並考慮固定膠結材之用量，以及強塑劑之比例，提高水灰比乃顯而易見有效做法。表 5-22(b) 為採用高水灰比之壓克力樹脂改性水泥漿注入性試驗成果。

表 5-22(b) 壓克力樹脂改性水泥漿注入性試驗結果(2)

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	壓克力樹脂添加量(g)(相對於水泥用量%)	水用量(g)	強塑劑添加量(%)	注入時間
壓克力樹脂水泥漿	0.575	1000	60(6%)	575	1	2 分 0 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.575	1000	90(9%)	575	1	4 分 30 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.575	1000	120(12%)	575	1	8 分 22 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.575	1000	150(15%)	575	1	未注滿(39cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1000	60(6%)	600	1	1 分 13 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1000	90(9%)	600	1	1 分 29 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1000	120(12%)	600	1	1 分 40 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1000	150(15%)	600	1	1 分 40 秒

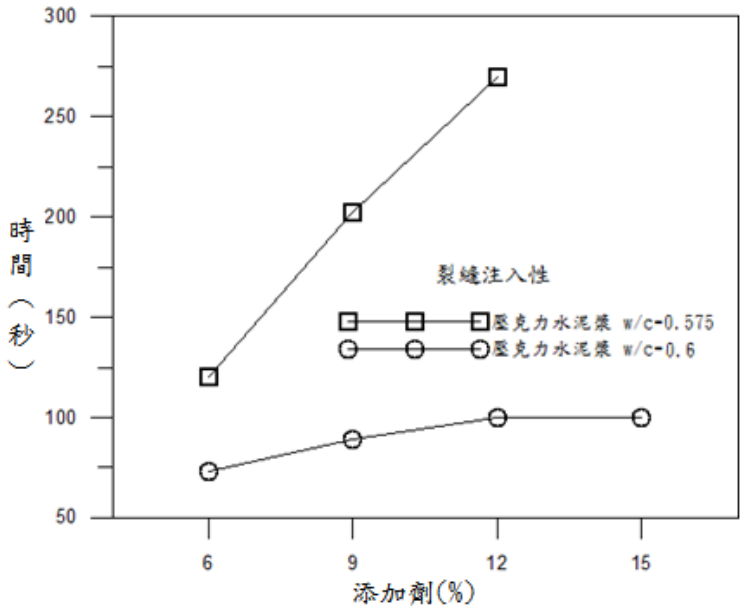


圖 5.7 壓克力改性水泥漿體樹脂添加量注入性對照圖

由圖 5.7 可得知壓克力樹脂改性水泥漿將會造成注入性下降，此現象在低水灰比時格外明顯；原因壓克力樹脂在反應後會增加漿體整體稠度所致。

根據 EN 規範壓克力樹脂改性水泥漿注入性結果整理如表 5-23 與表 5-24 所示：

表 5-23 壓克力樹脂改性水泥漿優良注入性組別

通過配比組別	水灰比	壓克力樹脂添加量(%)	注入時間
壓克力樹脂漿	0.575	6	2 分 0 秒
壓克力樹脂漿	0.575	9	3 分 22 秒
壓克力樹脂漿	0.6	6	1 分 13 秒
壓克力樹脂漿	0.6	9	1 分 29 秒
壓克力樹脂漿	0.6	12	1 分 40 秒
壓克力樹脂漿	0.6	15	1 分 40 秒

註：應用於表面寬度 0.1mm 之裂縫

表 5-24 壓克力樹脂改性水泥漿可行注入性組別

通過配比組別	水灰比	壓克力樹脂添加量(%)	注入時間
壓克力樹脂漿	0.525	12	4 分 30 秒

註：應用於表面寬度 0.2mm 之裂縫，不滿足注入性(無法應用於裂縫注入)
其餘上述未提及組別皆屬此類。

4. 環氧樹脂漿體注入性試驗結果

環氧樹脂拌合過程穩定、可工作時間藉由硬化劑比例方便調整，硬固後力學強度強，注入性優良，廣為目前市面修補業界使用，也為裂縫修補之最大宗材料。其主要注入性質為利用稀釋劑比例做調整。使用稀釋劑後之注入性能力結果如表 5-25 所示，表中稀釋劑使用的比例計算方法是稀釋劑重量與主劑加上硬化劑重量之百分比。

表 5-25 環氧樹脂裂縫注入性試驗結果

選用材料	主劑：硬化劑	主劑(g)	硬化劑(g)	稀釋劑比例(%)	稀釋劑(g)	注入性試驗結果
環氧樹脂	4：1	1000	250	0	0	未注滿(7cm)
環氧樹脂	5：1	1000	200	0	0	未注滿(8cm)
環氧樹脂	4：1	1000	250	10	125	9 分 36 秒
環氧樹脂	4：1	1000	250	20	250	2 分 50 秒
環氧樹脂	4：1	1000	250	30	375	1 分 31 秒

環氧樹脂隨著稀釋劑之增加，注入性隨之提升。不過需注意的是隨著稀釋劑比例提昇，其黏結能力與抗壓強度也將下降。

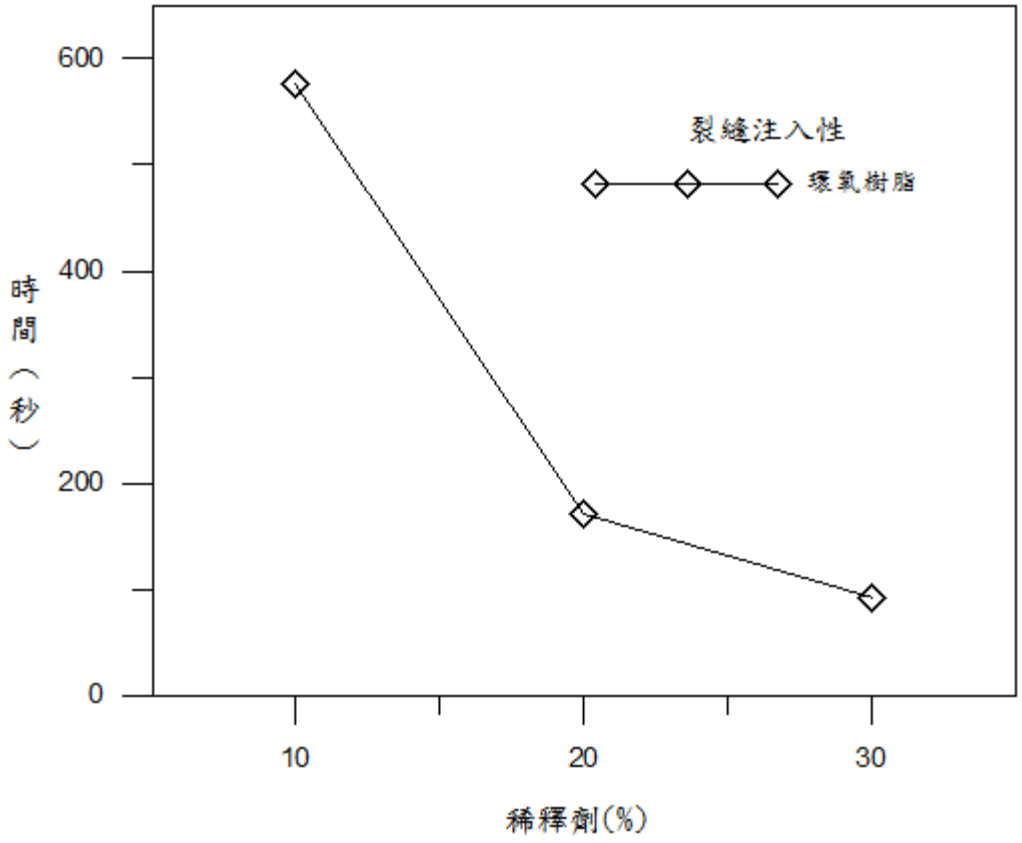


圖 5.8 環氧樹脂裂縫注入性試驗結果

環氧樹脂添加稀釋劑之比例上升時，注入能力表現在通過時間的減短上，如圖 5.8 所示，故稀釋劑在改良環氧樹脂之注入性上格外重要。環氧樹脂各類組合與注入性時間結果之區分，如表 5-26、表 5-27 及表 5-28：

表 5-26 環氧樹脂漿體歸類於優良注入性之組合

通過配比組別	主劑：硬化劑	稀釋劑比例(%)	注入時間
環氧樹脂	4：1	20%	2 分 50 秒
環氧樹脂	4：1	30%	1 分 31 秒

註：應用於表面寬度 0.1mm 之裂縫

表 5-27 環氧樹脂漿體歸類於可行注入性之組合

通過配比組別	主劑：硬化劑	稀釋劑比例(%)	注入時間
環氧樹脂	4：1	10%	9 分 36 秒

註：應用於表面寬度 0.2mm 之裂縫

表 5-28 環氧樹脂漿體不滿足注入性之組合

通過配比組別	主劑：硬化劑	稀釋劑比例(%)	注入時間
環氧樹脂	4：1	無	未注滿(7cm)
環氧樹脂	5：1	無	未注滿(8cm)

註：無法應用於裂縫注入

5. 一般水泥漿潮濕介質注入性試驗結果

預置潮濕之細粒料，用意在於模擬真實情況下潮濕之介面下進行注入修補，或有負壓的情況下，材料注入特性之行為表現；增加之潮濕介質為固定，故同樣僅水灰比單一變因，注入性之結果直接受到水灰比影響，並採用此組別做為潮濕注入性之對照組。一般水泥漿面對潮濕介質的注入性結果見表 5-29 及圖 5.9 所示。

表 5-29 純水泥漿對潮濕介面注入性試驗結果

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	水用量(g)	強塑劑添加量	注入性試驗結果	潮濕注入試驗結果
純水泥漿體	0.5	1000	500	1%	8 分 40 秒	未注滿(7cm)
純水泥漿體	0.525	1000	525	1%	5 分 46 秒	40 秒
純水泥漿體	0.55	1000	550	1%	3 分 52 秒	35 秒
純水泥漿體	0.575	1000	575	1%	2 分 07 秒	35 秒
純水泥漿體	0.6	1000	600	1%	48 秒	24 秒

一般水泥漿隨著水灰比增加，注入性提升。相較於乾燥注入組別，注入性更為良好。

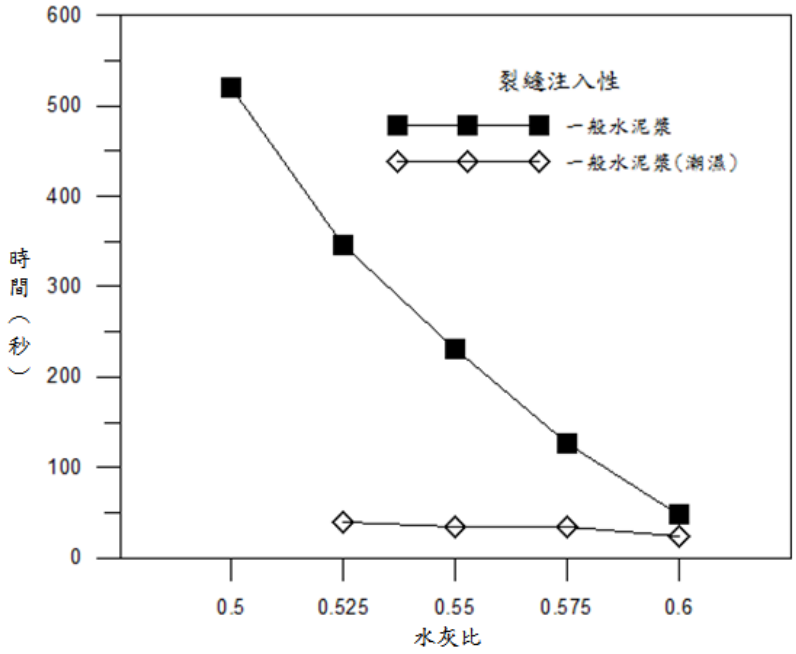


圖 5.9 一般水泥漿潮濕介質注入性試驗結果

由於更換潮濕之細粒料應用於注入性試驗，目的在於模擬有負壓情況下注入性試驗之結果；潮濕之介質應給予注入材料較大之阻力。但由上表可知一般水泥漿應用於潮濕介質注入之結果恰與假設相反，推斷一般水泥漿應用於潮濕介質之注入，產生親水性效應，反而造成注入性質增加。

6. 壓克力樹脂改性水泥漿潮濕介質注入性試驗結果

壓克力樹脂在經過反應後，會產生一類膠質之介面，具有防水能力，但在拌合過程中，此類效應會造成工作性質下降。應用於潮濕介質之注入之實驗結果如下。以下 4 組別皆有添加強塑劑 1%。注入性結果見表 5-30 及圖 5.10 所示。

表 5-30 壓克力樹脂改性砂漿潮濕介質注入性試驗結果

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	壓克力樹脂添加量	水用量(g)	注入性試驗結果	潮濕注入試驗結果
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	60	600	1 分 13 秒	1 分 15 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	90	600	1 分 29 秒	1 分 37 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	120	600	1 分 40 秒	1 分 45 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	150	600	1 分 40 秒	1 分 54 秒

由上表可知壓克力樹脂改性水泥漿應用於潮濕介面之注入性，隨著壓克力添加量之增加，注入性小幅度下降，整體注入性較乾燥注入性稍差。

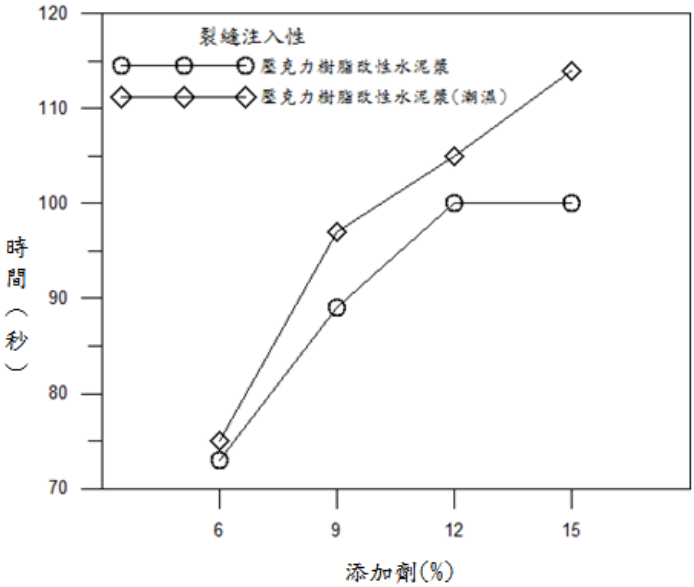


圖 5.10 壓克力樹脂改性水泥漿添加強塑劑注入性試驗結果

更換潮濕之細粒料目的在於模仿有負壓情況下注入性試驗結果；潮濕之介質應給予注入材料較大之阻力。由上表可知壓克力樹脂改性水泥漿作用於潮濕介質之注入性有些微下降，原因在於壓克力樹脂經過反應後產生之類膠質介面具有斥水效應，故在潮濕介質中所受到之注入阻力較大，產生與一般水泥漿之相反結果。

7. 歐規與美規細粒料篩號對注入性之差異

歐規篩號為 1.25mm、1.00mm、0.8mm、0.63mm，與美規篩號為 1.18mm、1.00mm、0.85mm、0.6mm 尺寸相近，兩者注入性能力如表 5-31 所示。表中顯示，美規篩號取代歐規篩號級配之細粒料，注入性結果有明顯差距；樹脂添加量 9%，注入時間相差一個分級，樹脂添加量為 12%及 15%時差異更大。

表 5-31 以歐規篩號與美規篩號比較

選用材料	水灰比	水泥用量(g)	壓克力樹脂添加量	水用量(g)	歐規注入試驗結果	美規注入試驗結果
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	60	600	1 分 13 秒	1 分 49 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	90	600	1 分 29 秒	4 分 34 秒
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	120	600	1 分 40 秒	未注滿 (10cm)
壓克力樹脂水泥漿	0.6	1,000	150	600	1 分 40 秒	未注滿 (34cm)

8. 裂縫注入時間與高度關係圖

圖 5.11 與圖 5.12 分別為一般水泥漿在乾燥與潮濕介質的注入時間與高度關係。圖 5.13 與圖 5.14 分別為壓克力改性水泥漿在乾燥與潮濕介質的時間高度關係。圖 5.15 為環氧樹脂在乾燥介質的時間高度關係。

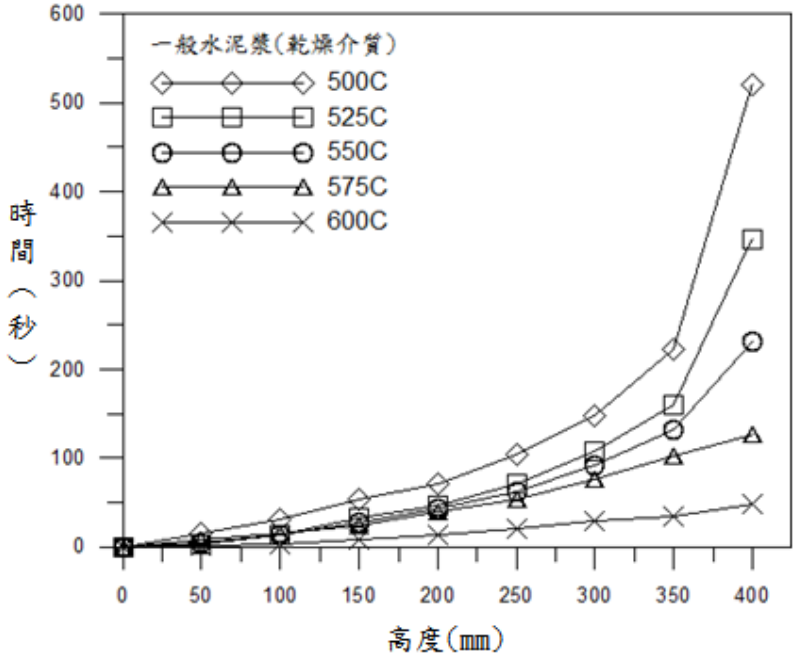


圖 5.11 一般水泥漿乾燥介質注入時間與高度關係圖

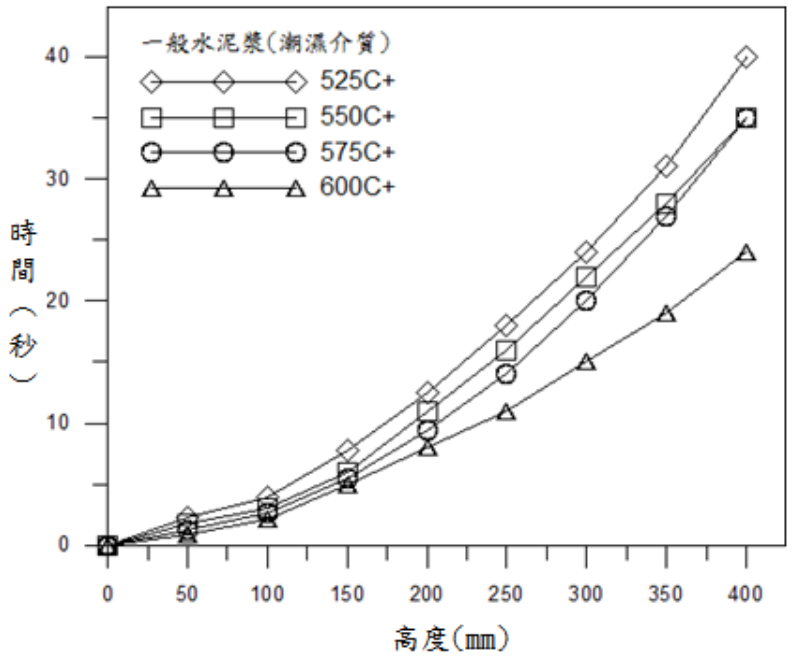


圖 5.12 一般水泥漿潮濕介質注入時間與高度關係圖

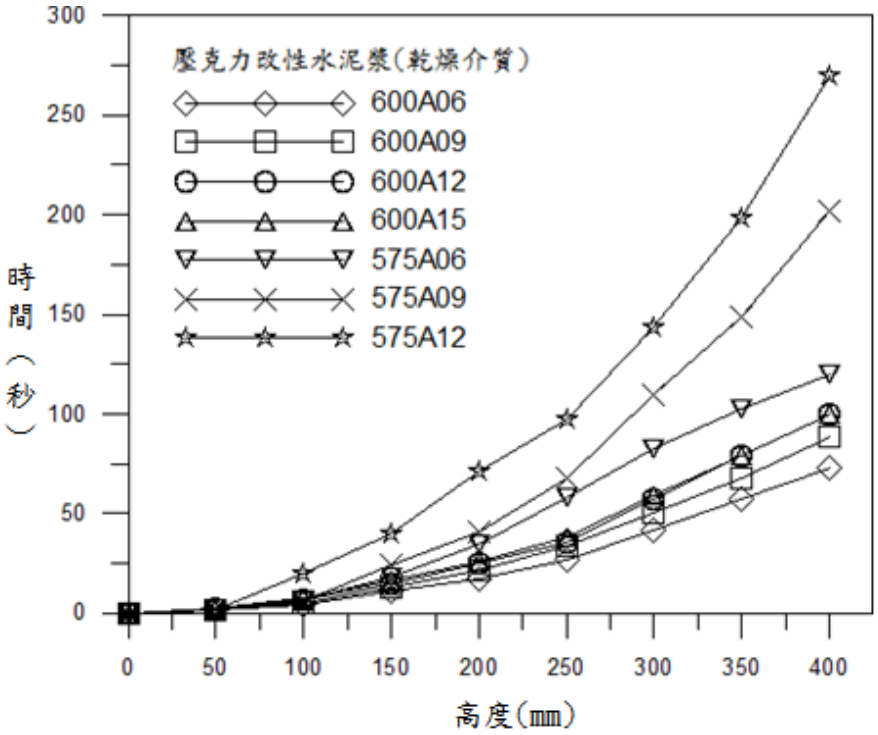


圖 5.13 壓克力改性水泥漿乾燥介質注入時間與高度關係圖

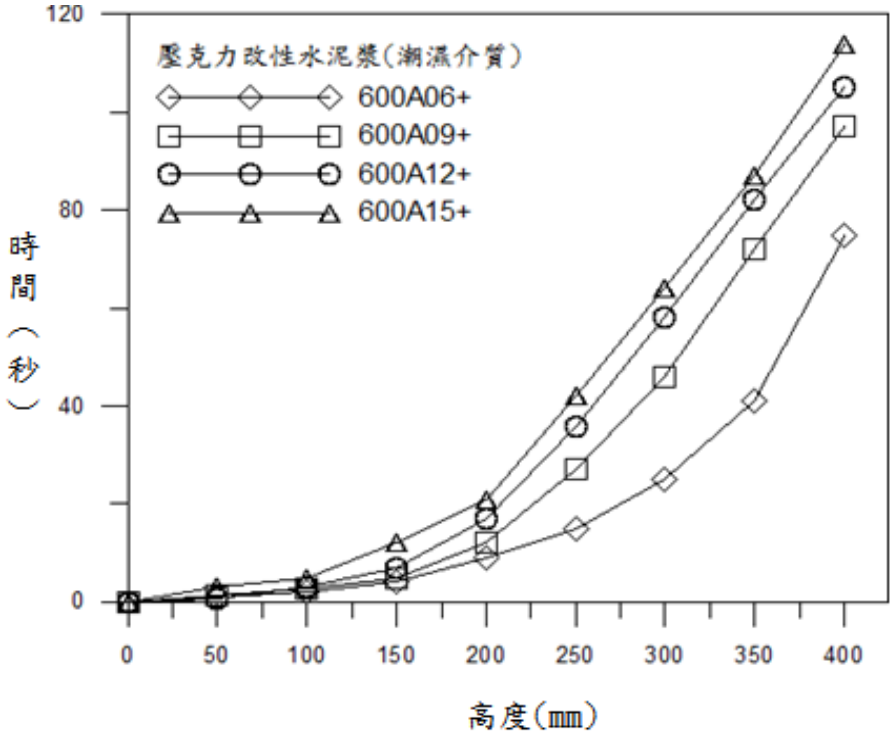


圖 5.14 壓克力改性水泥漿潮濕介質注入時間與高度關係圖

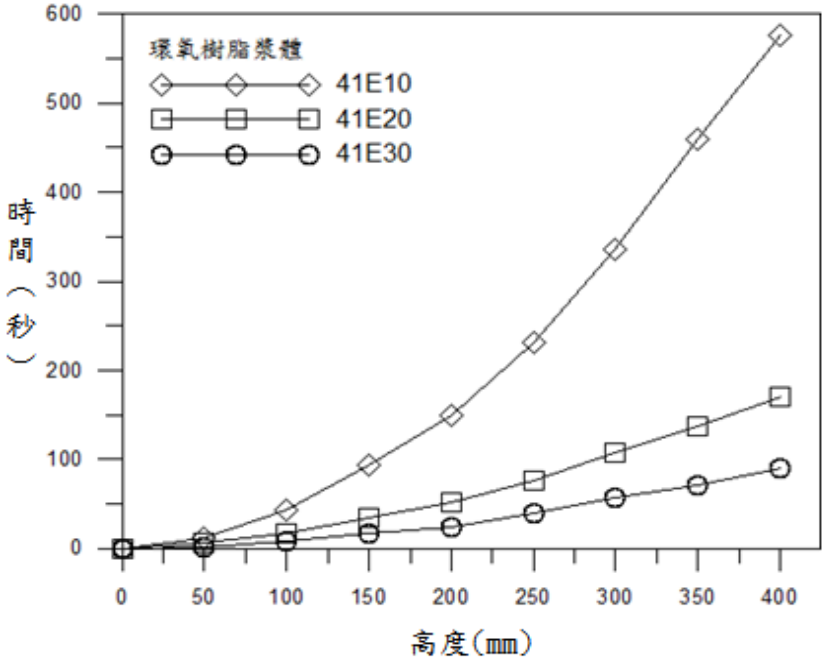


圖 5.15 環氧樹脂乾燥介質注入時間與高度關係圖

5.4.2.2 劈裂試驗結果

根據 EN1504-5 要求，水硬性漿體材料利用裂縫注入性實驗後續劈裂試驗，所得劈裂強度須達 3N/mm^2，而高分子漿體材料須達 7N/mm^2。

1. 一般水泥漿劈裂強度試驗結果

一般水泥漿試體養護 28 天後，分割為 6 等分小圓柱體(直徑 30mm、高 60mm，底部編號為 1 往上依序為 2~6)，進行劈裂試驗結果如表 5-32，表中顯示水灰比增加及編號依序往上之試體其劈裂強度下降。主要原因為試體注入完成靜置至拆模期間擺放為垂直。編號 6 為底，編號 1 為頂；水泥顆粒下沉，水分子上浮，造成底下相對緻密的緣故。注入試驗時，編號 1 為注入口，底部較能得到完整的注入壓力，也為原因之一。

表 5-32 一般水泥漿劈裂強度結果

配比編號	最大荷重(KN)							劈裂強度 (N/mm^2)
	1	2	3	4	5	6	平均	
500C	14	12.5	11	10.5	9.5	8.6	11.02	3.9
525C	13	11.4	11.5	8.6	8.2	7.9	10.25	3.63
550C	10.6	9.2	8.4	7.5	7.8	7.1	8.02	2.84
575C	9.8	8.8	8.2	7.7	7.3	6.8	7.95	2.81
600C	8.6	8.2	7.6	7.7	7.2	6.7	7.82	2.77

2. 壓克力改性水泥漿劈裂強度試驗結果

表 5-33 為壓克力改性水泥漿劈裂強度結果。表中顯示相同水灰比樹脂添加量上升，劈裂強度有下降之趨勢。其中 600A15 試體劈裂強度下降幅度較大，600A06、600A09、600A12 等試體之水灰比，雖較 575A06、575A09、575A12 為高，但其劈裂強度不降反而提高。可能原因為水泥漿體在添加壓克力樹脂改性的情況下，提高水灰比可以使注入更緻密，因此產生更佳的劈裂強度。

表 5-33 壓克力改性水泥漿劈裂強度結果

配比編號	最大荷重(KN)							劈裂強度 (N/mm^2)
	1	2	3	4	5	6	平均	
575C	9.8	8.8	8.2	7.7	7.3	6.8	7.95	2.82
575A06	7.2	6.3	5.5	5.5	5.2	4.7	5.73	2.03
575A09	6.2	5.6	5.3	5.3	5.4	5.3	5.52	1.95
575A12	6	5.8	5.9	5.5	4.8	4.1	5.35	1.89
600C	8.6	8.2	7.6	7.7	7.2	6.7	7.82	2.77
600A06	8.3	7.7	6.9	7	5.8	5.3	6.83	2.42
600A09	7.7	7.2	6.8	6.5	5.1	4.8	6.35	2.25
600A12	7.4	6.8	6.3	5.9	5.4	4.5	6.05	2.14
600A15	5.6	5.1	4.8	4.2	3.6	2	4.22	1.49

3. 環氧樹脂漿體劈裂強度試驗結果

環氧樹脂的注入性主要取決稀釋劑的添加比例，41E30 此組別雖然有著優秀的裂縫注入性，但實際面臨凝結時間不穩定問題，待其 96 小時還是無法達到良好硬固，無法將其整體從壓克力管取出，進行劈裂試驗。考慮其穩定性，故 41E30 此組別不在此小節做討論。而其他兩組環氧樹脂漿體劈裂強度結果如表 5-34。

表 5-34 環氧樹脂漿體劈裂強度表

配比編號	最大荷重(KN)							劈裂強度 (N/mm^2)
	1	2	3	4	5	6	平均	
41E10	25.7	25	24.9	23.7	23.3	19.4	23.67	8.37
41E20	9	8.8	8.8	8.6	6.6	4.9	7.78	2.75

環氧樹脂漿體同一般認知，劈裂強度極佳，其劈裂強度為水泥基材料的 3 至 5 倍。但其劈裂強度也會受稀釋劑添加量的影響，添加量達 20%，其劈裂強度與水泥基漿體相似。將上述之數據整理繪製成圖 5.16。

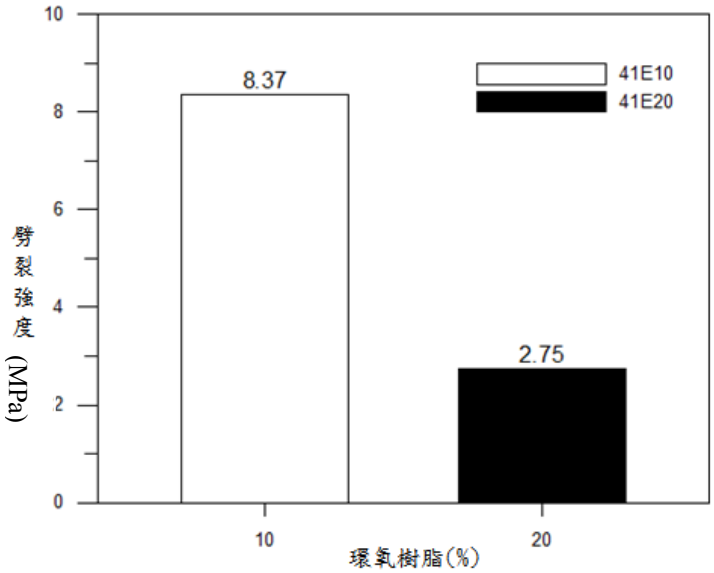


圖 5.16 環氧樹脂漿體劈裂強度圖

試體編號同一般水泥漿、壓克力改性水泥漿，為底部稍強，頂部稍弱的配置。

4. 一般水泥漿潮濕介質劈裂強度試驗結果

一般水泥漿在潮濕介質會有類似親水效應，比乾燥介質容易注入。本小節將驗證後續劈裂強度的變化，比較一般水泥漿劈裂強度，潮濕介質與乾燥介質間的差異性，結果如表 5-35。

表 5-35 一般水泥漿潮濕介質劈裂強度表

配比編號	最大荷重(KN)							劈裂強度 (N/mm^2)
	1	2	3	4	5	6	平均	
500C	14	12.5	11	10.5	9.5	8.6	11.02	3.9
525C	13	11.4	11.5	8.6	8.2	7.9	10.25	3.63
550C	10.6	9.2	8.4	7.5	7.8	7.1	8.02	2.84
575C	9.8	8.8	8.2	7.7	7.3	6.8	7.95	2.81
600C	8.6	8.2	7.6	7.7	7.2	6.7	7.82	2.77
525C+	9	8.2	7.1	6.8	5.5	4.9	6.92	2.45
550C+	8.7	7.6	6.9	6.6	5	4.7	6.58	2.33
575C+	8.3	7.4	6.8	6.4	4.6	4.5	6.33	2.24
600C+	6.1	5.3	4.9	5.1	4.1	2.8	4.72	1.67

由上表結果所示，一般水泥漿的潮濕介質注入之劈裂強度，相較乾燥介質較差。一般水泥漿對應潮濕介質之類似親水效應提升裂縫注入性，並降低劈裂強度。其中 525C 組別在乾燥介質表現良好，由 3.63 降至 2.45(N/mm^2)，將其繪製成圖 5.17，方便比較此組別之差異。由圖可以發現當介質變為潮濕以後，硬固之後的劈裂強度也隨之下降，這應該是因為介質中的水份會使得漿體的水灰比上升，因此力學能力下降。

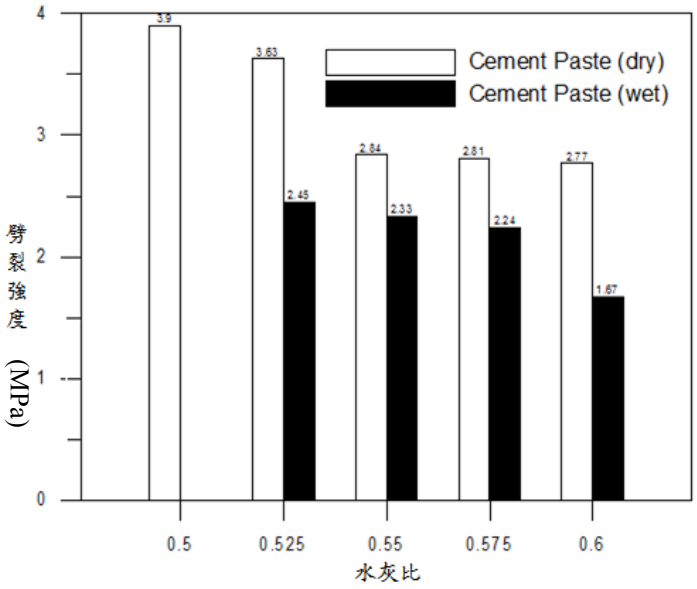


圖 5.17 一般水泥漿潮濕介質劈裂強度圖

試體編號部分，一般水泥漿潮濕介質與乾燥介質表現相同，為底部稍強，頂部稍弱的配置。

5. 壓克力樹脂改性水泥漿潮濕介質劈裂強度結果

壓克力改性水泥漿不具有類似親水的效應，經由潮濕介質會降低裂縫注入性，壓克力樹脂本身與水混合稠度上升，工作性下降，其潮濕介質注入性成果值得關注。其結果如表 5-36 所示。

表 5-36 壓克力改性水泥漿潮濕介質劈裂強度表

配比編號	最大荷重(KN)							劈裂強度 (N/mm^2)
	1	2	3	4	5	6	平均	
600C	8.6	8.2	7.6	7.7	7.2	6.7	7.82	2.77
600A06	8.3	7.7	6.9	7	5.8	5.3	6.83	2.42
600A09	7.7	7.2	6.8	6.5	5.1	4.8	6.35	2.25
600A12	7.4	6.8	6.3	5.9	5.4	4.5	6.05	2.14
600A15	5.6	5.1	4.8	4.2	3.6	2	4.22	1.49
600C+	6.1	5.3	4.9	5.1	4.1	2.8	4.72	1.67
600A06+	4.7	5.3	4.9	4.2	4.4	4.1	4.6	1.63
600A09+	5.4	4.7	4.3	4.6	4	4.1	4.52	1.6
600A12+	4.3	2.4	2.7	3.5	4	4.7	3.6	1.27
600A15+	0.5	0.5	0.5	1.5	1.4	0.8	0.87	0.31

由表 5-36 顯示，壓克力改性水泥漿注入潮濕介質，會產生阻力，較乾燥介質需更長時間。劈裂強度也將大幅下降。

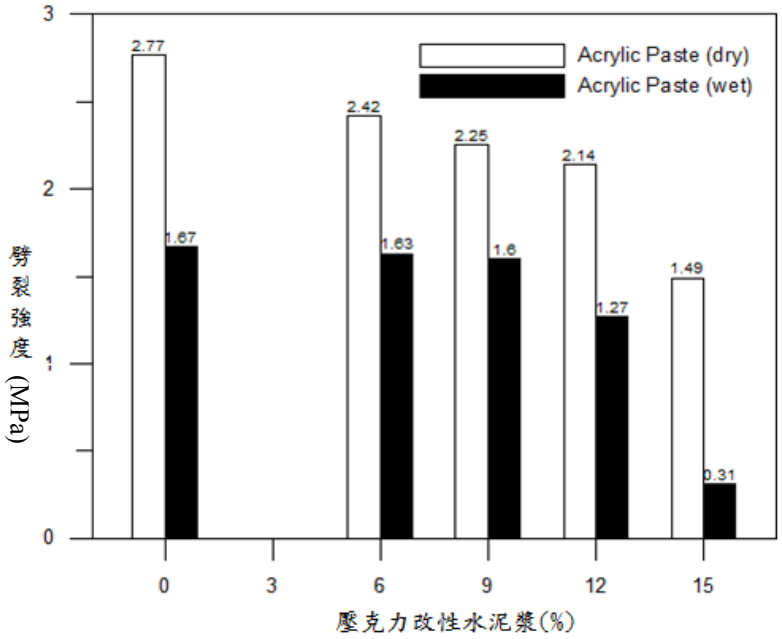


圖 5.18 壓克力改性水泥漿潮濕介質劈裂強度圖

6. 歐規篩號與美規篩號劈裂強度之差異

表 5-37 與圖 5.19 為歐、美規篩號與劈裂強度結果。表中顯示歐規、美規篩網同一配比材料劈裂強度差距達 20~25%。由於注入性不能符合轉換需求，此兩種篩號不能互相轉換。

表 5-37 歐美規篩號劈裂強度結果

篩網規格	配比編號	最大荷重(KN)							劈裂強度 (N/mm^2)	注入時間
		1	2	3	4	5	6	平均		
歐規	600A06	8.3	7.7	6.9	7	5.8	5.3	6.83	2.42	1 分 13 秒
歐規	600A09	7.7	7.2	6.8	6.5	5.1	4.8	6.35	2.25	1 分 29 秒
美規	600A06	5.9	5.4	5.1	5.3	4.7	4.2	5.1	1.80	1 分 49 秒
美規	600A09	5.5	4.8	5.6	4.5	4.1	3.1	4.6	1.63	4 分 34 秒

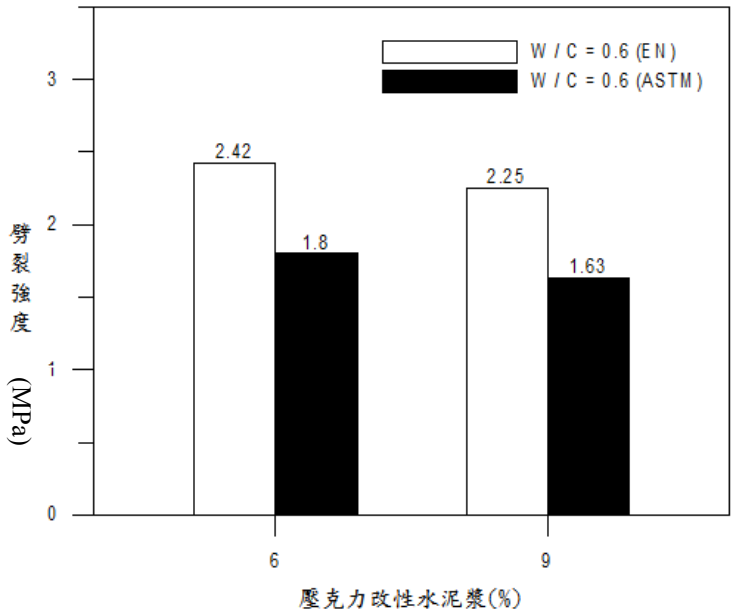


圖 5.19 歐規、美規篩號劈裂強度差異圖

5.4.2.3 注入前後重量差異

注入前後之重量差異，可驗證低壓裂縫注入性的難易程度是否與漿體緻密程度有關，並分析其趨勢。

1. 純水泥漿體注入重量

純水泥漿分為乾燥及潮濕介質之注入重量結果如表 5-38，表中編號有“+”表示潮濕介質下。試驗結果顯示乾燥介質下之注入重量隨著注入時間減少而遞減與原本假設「裂縫注入性越高、越容易注入，漿體的注入緻密性越高、注入重量越大」相反。推論原因，低壓注入法，在壓力不大的情況下，各種配比間注入漿體量相當，水灰比高者比重較小注入重量降低。

潮濕介質注入重量結果也顯示類似現象。各種配比間注入之漿體量大同小異，但潮濕介質本身含有相當程度水分，造成與注入漿體混合後，比重較乾燥介質小。故潮濕介質注入相較乾燥介質注入，注入重量較小。

表 5-38 純水泥漿注入重量表

配比編號	注入重量(g)	注入時間(s)
500C	208	520
525C	203	346
550C	172	232
575C	173	127
600C	169	48
525C+	148	40
550C+	144.3	35
575C+	145	35
600C+	147.2	24

2. 壓克力改性水泥漿體注入重量

表 5-39 為壓克力改性水泥漿分別於乾燥及潮濕介質之注入結果，表中編號有“+”表示潮濕介質下。注入重量結果與純水泥漿相同。

表 5-39 壓克力改性水泥漿體注入重量結果

配比編號	注入重量(g)	注入時間(s)
575A06	201.4	120
575A09	204.4	270
575A12	207.9	202
600A06	21.39	73
600A09	211	89
600A12	213	100
600A15	206	100
600A06+	174	75
600A09+	153	97
600A12+	159	105
600A15+	148	114

3. 環氧樹脂注入漿體注入重量

環氧樹脂依照三種稀釋劑比例，注入重量結果如表 5-40。

表 5-40 環氧樹脂漿體注入重量表

配比編號	注入重量(g)	注入時間(s)
41E10	122.6	576
41E20	128.2	170
41E30	117.8	91

環氧樹脂各配比間注入重量大同小異。由於環氧樹脂本身比重較水泥質系漿體小，故整體注入重量較小。

5.4.2.4 適合裂縫之注入性材料

裂縫注入性材料的選擇，應該考量注入時間及硬固後的劈裂強度要求。本研究所採用的配比來說僅有純水泥漿水灰比 0.525 對裂縫表面為 0.2 與 0.3mm 時，根據歐盟的規範可以隸屬於可用之材料。在水泥基材料，本研究使用一般 I 型水泥，應該考慮使用超微細水泥，因為水泥顆粒變小，可縮短水泥基材通過時間。環氧樹脂基材料，稀釋劑用量應該介於 10%~20%。表 5-41 歸納出最適合應用於裂縫注入之材料配比。

表 5-41 試體漿體配比表現結果

試體漿體	裂縫狀況	綜合表現良好配比
一般水泥漿體	裂縫表面寬度 0.1mm、乾燥介面	無
	裂縫表面寬度 0.2 與 0.3mm、乾燥介面	525C
	裂縫表面寬度 0.1mm、潮濕介面	無
壓克力改性水泥漿體	裂縫表面寬度 0.1mm、乾燥介面	無
	裂縫表面寬度 0.2 與 0.3mm、乾燥介面	無
	裂縫表面寬度 0.1mm、潮濕介面	無
環氧樹脂漿體	裂縫表面寬度 0.1mm、乾燥介面	無
	裂縫表面寬度 0.2 與 0.3mm、乾燥介面	無

5.4.3 撥水劑相關試驗

5.4.3.1 乾燥速率試驗

由表 5-42 及表 5-43 分別為未浸泡與浸泡 100%矽烷基材料的乾燥速率 D_u 與 D_t 結果。D_u 比 D_t 高，原因是 100%矽烷基材料是斥水化學藥劑，導致試體內部與外部的水分交換降低，因此就會影響混凝土乾燥速率。

表 5-42 未浸泡 100%矽烷基材料試驗結果

	d_0(g)	d_1(g)	d_2(g)	D_u
1	2.138	2.13.34	2.133	0.00278
2	2.140	2.137	2.135	0.00185
3	2.163	2.160	2.158	0.00185
			平均	0.00216

表 5-43 浸泡 100%矽烷基材料試驗結果

	d_0(g)	d_1(g)	d_2 (g)	D_t
1	2.194	2.184	2.182	0.00139
2	2.121	2.113	2.111	0.00139
3	2.198	2.191	2.189	0.00139
			平均	0.00139

D_u 比 D_t 之乾燥速率係數為 64%，這表示相對於控制組，以 100%矽烷基材料浸泡仍保有 64%的水氣交換能力。

5.4.3.2 吸水性及抗鹼性試驗

表 5-44 未添加與添加全矽烷類活性滲入型撥水劑試體浸泡去離子水的吸收率分別為 22%與 1.6%。添加潑水劑試體的吸收率相當的低，表示保護系統具有良好的防水能力，如浸泡在氫氧化鉀溶液吸收率為 4.0%，而暴露耐鹼吸水性比率則有 18%。

表 5-44 全矽烷類活性滲入型撥水劑吸水試驗結果

處理過程	未添加全矽烷類活性滲入型撥水劑(浸泡去離子水) Ium	以添加全矽烷類活性滲入型撥水劑(浸泡去離子水)Itm	以添加全矽烷類活性滲入型撥水劑(浸泡氫氧化鉀)Itm(alk)
吸收率	22%	1.6%	4.0%
暴露耐鹼吸水性 ARalk = Itm(alk)/ Ium=18%			

5.4.3.3 滲透深度試驗

表 5-45 顯示，塗覆全矽烷類活性滲入型撥水劑之滲入深度隨塗層數之增加而增加，主要原因當塗佈量(層)增加時，全矽烷類活性滲入型撥水劑濃度上升，由於濃度差效應，造成較深入的滲透效果，每增加一層的塗佈量，增加約 4mm 深度的效果。

表 5-45 滲透深度試驗結果

全矽烷類活性滲入型撥水劑	滲入深度(mm)
一層	4.2
兩層	8.0
三層	11.8

5.4.3.4 水中抗磨耗試驗

表 5-46 顯示表面沒塗佈全矽烷類活性滲入型撥水劑的試體，磨損量非常高，而有塗佈全矽烷類者的試體磨損量相對較少。塗佈量增加其磨損率隨之減少。原來滲入型撥水劑的作用在於防水，卻意外發現有抗水中磨耗的成效。因此，滲入型撥水劑應可為海洋(水)環境下，混凝土的修補材料之一。

表 5-46 水中抗磨耗試驗結果

試體編號	磨損體積量(cm^3)
控制組(0 層)	230
全矽烷類活性滲入型撥水劑(一層)	57
全矽烷類活性滲入型撥水劑(二層)	52
全矽烷類活性滲入型撥水劑(三層)	45

5.4.3.5 氯離子抵抗能力試驗

表 5-47 為試體浸泡在 3%氯離子溶液 90 天後，沒有塗佈全矽烷類活性滲入型撥水劑，其氯離子濃度的含量相當高，是有塗佈全矽烷類試體之好幾倍，間接說明全矽烷類活性滲入型撥水劑是良好的防水層。表面塗上一層至三層者在 3 cm 處，氯離子濃度約 0.007 kg/m^3 左右，大致上，有塗覆全矽烷類活性滲入型撥水劑，能有效抑制氯離子進入混凝土內。

表 5-47 氯離子濃度分佈試驗結果(kg/m^3)

取樣深度	0.3cm	0.6 cm	0.9 cm	1.2 cm	1.5 cm
控制組(0 層)	0.210	0.206	0.137	0.092	0.086
全矽烷類活性滲入型撥水劑(一層)	0.041	0.035	0.023	0.016	0.012
全矽烷類活性滲入型撥水劑(二層)	0.030	0.031	0.027	0.012	0.012
全矽烷類活性滲入型撥水劑(三層)	0.058	0.035	0.027	0.018	0.018
取樣深度	1.8 cm	2.1 cm	2.4 cm	2.7 cm	3 cm
控制組(0 層)	0.083	0.079	0.074	0.061	0.049
全矽烷類活性滲入型撥水劑(一層)	0.012	0.011	0.011	0.010	0.008
全矽烷類活性滲入型撥水劑(二層)	0.012	0.009	0.009	0.009	0.007
全矽烷類活性滲入型撥水劑(三層)	0.018	0.017	0.011	0.011	0.007

5.4.4 戶外試驗

5.4.4.1長期曝曬試體觀測

1. 反彈錘試驗

室內、戶外曝曬及浸泡鹽水六個月後期反彈錘試驗結果分別為表 5-48、表 5-49 與表 5-50 所示。上述 3 表中顯示，戶外曝曬試體不論在修補處或基材，反彈值(強度)均低於室內控制組，但是修補處之反彈值大致相同，因此修補處材料之耐候性還有待後續探討。

表 5-48 反彈錘試驗六個月後結果(室內)

編號	修補處（反彈值）	對照強度 (MPa)	基材（反彈值）	對照強度 (MPa)	修補處材料
A22	20	12.36	29	22.66	環氧樹脂漿
A23	22	14.3	27	20.11	壓克力樹脂水泥漿
B22	21	13.34	27	20.11	環氧樹脂漿
B23	20	12.36	29	22.66	壓克力樹脂水泥漿
B25	20	12.36	30	23.93	壓克力樹脂砂漿(液狀)
B26	22	14.3	23	15.4	壓克力樹脂砂漿(乾粉狀)
B27	24	16.38	23	15.4	聚丁苯乙烯橡膠砂漿(SBR)
C25	21	13.34	22	14.3	壓克力樹脂砂漿(液狀)
C26	21	13.34	21	13.34	壓克力樹脂砂漿(乾粉狀)
C27	20	12.36	20	12.36	聚丁苯乙烯橡膠砂漿(SBR)

表 5-49 反彈錘試驗六個月後結果(戶外曝曬)

編號	修補處（反彈值）	對照強度 (MPa)	基材（反彈值）	對照強度 (MPa)	修補處材料
A1	22	14.3	23	15.4	水泥砂漿
A31	25	17.56	22	14.3	水泥砂漿
A32	24	16.38	24	16.38	環氧樹脂漿
A33	25	17.56	27	20.11	壓克力樹脂水泥漿
A38	20	12.36	28	21.39	XYPEX ADMIX C1000
B1	20	12.36	29	22.66	水泥砂漿
B31	20	12.36	28	21.39	水泥砂漿
B32	21	13.34	28	21.39	環氧樹脂漿
B33	20	12.36	28	21.39	壓克力樹脂水泥漿
B35	20	12.36	28	21.39	壓克力樹脂砂漿(液狀)
B36	22	14.3	30	23.93	壓克力樹脂砂漿(乾粉狀)
B37	21	13.34	23	15.4	聚丁苯乙烯橡膠砂漿(SBR)
B38	20	12.36	25	17.56	XYPEX ADMIX C1000
C31	20	12.36	26	18.8	水泥砂漿
C35	22	14.3	24	16.38	壓克力樹脂砂漿(液狀)
C37	20	12.36	26	18.8	聚丁苯乙烯橡膠砂漿(SBR)
C38	24	16.38	22	14.3	XYPEX ADMIX C1000
D4I	23	15.4	24	16.38	水泥砂漿
D4II	25	17.56	24	16.38	環氧樹脂漿
D4IV	22	14.3	23	15.4	環氧樹脂改性砂漿
E4I	27	20.11	20	12.36	水泥砂漿
E4II	25	17.56	21	13.34	環氧樹脂漿
E4III	24	16.38	25	17.56	壓克力樹脂水泥漿

六個月的觀測中，戶外的試體強度有變弱的趨勢，反彈值較小，可能是受風吹日曬雨淋的影響，變弱的趨勢在合理的範圍，是否持續下降仍需要進一步的觀測。

表 5-50 反彈錘試驗六個月後結果(浸泡鹽水)

編號	修補處（反彈值）	對照強度 (MPa)	基材（反彈值）	對照強度 (MPa)	修補處材料
D1	20	12.36	22	14.3	水泥砂漿
D2II	21	13.34	26	18.8	環氧樹脂漿
D2III	23	15.4	21	13.34	壓克力樹脂水泥漿
D3I	20	12.36	23	15.4	水泥砂漿
D3II	23	15.4	27	20.11	環氧樹脂漿
D3III	25	17.56	20	12.36	壓克力樹脂水泥漿
D3IV	23	15.4	20	12.36	環氧樹脂改性砂漿
E	中空	中空	25	17.56	無
E2II	23	15.4	22	14.3	環氧樹脂漿
E2III	25	17.56	22	14.3	壓克力樹脂水泥漿
E3I	23	15.4	23	15.4	水泥砂漿
E3II	25	17.56	24	16.38	環氧樹脂漿
E3III	21	13.34	21	13.34	壓克力樹脂水泥漿
E3IV	24	16.38	22	14.3	環氧樹脂改性砂漿

2.腐蝕速率試驗

表 5-51、表 5-52、表 5-53 分別為體置於室內、戶外曝曬、浸泡鹽水六個月後之腐蝕速率試驗結果。

表 5-51 腐蝕速率六個月後試驗結果(室內)

編號	Cu/CuSO$_4$ (mV)	腐蝕電流密度(μA/cm^2)	混凝土電阻(kΩ)	編號	Cu/CuSO$_4$ (mV)	腐蝕電流密度(μA/cm^2)	混凝土電阻(kΩ)
B22	-1183●	4.686●	7.1○	B27	-1246●	1.908●	9.1○
B23	-848.5●	0.198◘	37●	C25	-1232●	1.9●	8○
B25	-1229●	9.17.56●	7.5○	C26	-546.2●	0.194○	30●
B26	-1256●	8.795●	6.3○	C27	-1356●	3.14●	6.4○

表 5-52 腐蝕速率六個月後試驗結果(戶外曝曬)

編號	Cu/CuSO$_4$(mv)	腐蝕電流密度(μA/cm^2)	混凝土電阻(kΩ)
B1	-43.34○	0.239	10
B31	-34.56○	0.949	3.7
B32	-41.42○	10.11■	2.3
B33	-380.25	0.105○	26○
B35	-51.57○	1.515●	2.9◘
B36	-310.2◘	8.4●	1.6◘
B37	-47.18○	6.496●	1.7◘
B38	-55.96○	1.506●	3◘
C31	-17.83○	1.356●	3.1◘
C35	-42.56○	3.436●	4◘
C37	-129.7○	1.514●	6.8○
C38	-108.6○	3.436●	4.5○
D4I	-57.14○	1.898●	6.4○
D4II	-18.93○	18.93■	1.7◘
D4III	-100.14○	3.434●	1◘
D4IV	-89.166○	10.32■	1.6
E4I	-502.07●	0.024○	35○
E4II	-876.84●	0.071○	23○
E4III	-358.85●	0.506◘	27○
E4IV	-420.86●	0.071○	51○

表 5-53 腐蝕速率六個月後試驗結果(浸泡鹽水)

編號	Cu/$CuSO_4$(mV)	腐蝕電流密度 ($\mu A/cm^2$)	混凝土電阻 (kΩ)
D1	-239.5	0.7	3.7
D2II	-14.3.5○	0.9	9○
D2III	-242.3	0.6	5○
D3I	-206	0.5	8○
D3II	-166.5○	0.6	6○
D3III	-140.7○	0.5	5○
D3IV	-275.1	0.6	8○
E	-70○	0.4	20○
E2II	-155.6○	0.6	14○
E2III	-108.9○	0.6	34○
E3I	-99.31○	0.3	18○
E3II	-229	0.4	15○
E3IV	-299	0.6	17○
E3III	-82.5○	0.8	16○

3. 滲透性試驗

表 5-54~表 5-56、表 5-57~表 5-59 及表 5-60~表 5-62，分別為試體置於室內、戶外曝曬、浸泡鹽水不同期間後之滲透性試驗結果。

表 5-54 滲透性初始試驗結果(室內)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
A22	$9.36E^{-10}$	B26	$1.77E^{-9}$
A23	$5.78E^{-10}$	B27	$4.34E^{-10}$
B22	$1.24E^{-9}$	C25	$1.44E^{-9}$
B23	$3.10E^{-9}$	C26	$3.09E^{-9}$
B25	$3.71E^{-10}$	C27	$8.91E^{-10}$

表 5-55 滲透性三個月後試驗結果(室內)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
A22	$9.26E^{-10}$	B26	$2.17E^{-9}$
A23	$6.78E^{-10}$	B27	$4.64E^{-10}$
B22	$1.16E^{-9}$	C25	$1.68E^{-9}$
B23	$2.13E^{-9}$	C26	$3.37E^{-9}$
B25	$3.62E^{-10}$	C27	$8.04E^{-10}$

表 5-56 滲透性六個月後試驗結果(室內)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
A22	$8.956E^{-10}$	B26	$2.33E^{-9}$
A23	$6.42E^{-10}$	B27	$3.85E^{-10}$
B22	$1.24E^{-9}$	C25	$1.11E^{-9}$
B23	$3.1E^{-9}$	C26	$3.09E^{-9}$
B25	$3.03E^{-10}$	C27	$8.41E^{-10}$

表 5-57 滲透性初始試驗結果(戶外曝曬)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
A1	$1.55E^{-9}$	C31	$2.12E^{-9}$
A31	$5.04E^{-9}$	C35	$2.28E^{-9}$
A32	$4.34E^{-9}$	C37	$1.53E^{-9}$
A33	$5.75E^{-9}$	C38	$1.79E^{-9}$
A38	$5.11E^{-9}$	D4I	$2.53E^{-9}$
B1	$4.73E^{-10}$	D4II	$6.46E^{-10}$
B31	$2.25E^{-9}$	D4III	$6.74E^{-10}$
B32	$3.1E^{-10}$	D4IV	$4.53E^{-9}$
B33	$5.25E^{-10}$	E4I	$2.86E^{-10}$
B35	$1.61E^{-9}$	E4II	$4.97E^{-9}$
B36	$2.86E^{-9}$	E4III	$7.02E^{-10}$
B37	$4.11E^{-9}$	E4IV	$5.04E^{-9}$
B38	$7.29E^{-9}$		

表 5-58 滲透性三個月後驗結果(戶外曝曬)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
A1	$0.98E^{-9}$	C31	$4.13E^{-9}$
A31	$5.32E^{-9}$	C35	$3.51E^{-9}$
A32	$4.24E^{-9}$	C37	$3.6E^{-9}$
A33	$5.74E^{-9}$	C38	$1.06E^{-9}$
A38	$5.63E^{-9}$	D4I	$2.71E^{-9}$
B1	$4.63E^{-10}$	D4II	$6.6E^{-10}$
B31	$2.55E^{-9}$	D4III	$7.53E^{-10}$
B32	$3.03E^{-10}$	D4IV	$4.46E^{-9}$
B33	$5.76E^{-10}$	E4I	$2.34E^{-10}$
B35	$1.42E^{-9}$	E4II	$3.46E^{-9}$
B36	$2.84E^{-9}$	E4III	$5.89E^{-10}$
B37	$4.76E^{-9}$	E4IV	$6.68E^{-9}$
B38	$7.28E^{-9}$		

表 5-59 滲透性六個月後驗結果(戶外曝曬)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
A1	$1.13E^{-9}$	C31	$2.63E^{-9}$
A31	$5.36E^{-9}$	C35	$2.96E^{-9}$
A32	$4.68E^{-9}$	C37	$1.71E^{-9}$
A33	$4.96E^{-9}$	C38	$1.63E^{-9}$
A38	$6.11E^{-9}$	D4I	$2.46E^{-9}$
B1	$6.73E^{10}$	D4II	$6.64E^{-10}$
B31	$2.46E^{-9}$	D4III	$6.8E^{-10}$
B32	$3.18E^{-10}$	D4IV	$4.06E^{-9}$
B33	$5.29E^{-10}$	E4I	$2.91E^{-10}$
B35	$1.71E^{-9}$	E4II	$4.46E^{-9}$
B36	$2.83E^{-9}$	E4III	$7.63E^{-10}$
B37	$4.56E^{-9}$	E4IV	$5.55E^{-9}$
B38	$7.44E^{-9}$		

表 5-60 滲透性初始試驗結果(浸泡鹽水)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
D1	$3.87E^{-9}$	E2II	$5.94E^{-9}$
D2II	$4.36E^{-9}$	E2III	$3.57E^{-9}$
D2III	$4.97E^{-9}$	E3I	$6.85E^{-9}$
D3I	$5.75E^{-9}$	E3II	$6.85E^{-9}$
D3II	$4.97E^{-9}$	E3III	$5.94E^{-9}$
D3III	$2.26E^{-10}$	E3IV	$6.85E^{-9}$
D3IV	$3.45E^{-9}$		

表 5-61 透性三個月後試驗結果(浸泡鹽水)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
D1	$3.77E^{-9}$	E2II	$6.61E^{-9}$
D2II	$4.23E^{-9}$	E2III	$4.67E^{-9}$
D2III	$4.61E^{-9}$	E3I	$5.75E^{-9}$
D3I	$5.91E^{-9}$	E3II	$8.14E^{-9}$
D3II	$4.76E^{-9}$	E3III	$6.31E^{-9}$
D3III	$2.36E^{-10}$	E3IV	$6.05E^{-9}$
D3IV	$2.74E^{-9}$		

表 5-62 滲透性六個月後試驗結果(浸泡鹽水)

編號	單位(m/s)	編號	單位(m/s)
D1	$3.75E^{-9}$	E2II	$5.64E^{-9}$
D2II	$4.61E^{-9}$	E2III	$4.57E^{-9}$
D2III	$4.56E^{-9}$	E3I	$6.8E^{-9}$
D3I	$5.63E^{-9}$	E3II	$6.43E^{-9}$
D3II	$5.03E^{-9}$	E3III	$2.96E^{-9}$
D3III	$3.87E^{-10}$	E3IV	$3.45E^{-9}$
D3IV	$4.66E^{-9}$		

4. 預裂縫梁構件之試驗(第二年期)

(1) 反彈錘試驗

表 5-63 為第二期長期曝曬試體反彈錘試驗初始值。

表 5-63 第二期長期曝曬試體反彈錘試驗初始值

編號	修補處（刻度）	對照強度 (MPa)	基材（刻度）	對照強度 (MPa)	修補處材料
C-1	21	13.34	21	13.34	純水泥砂漿
C-2	21	13.34	20	12.36	純水泥砂漿
C-3	24	16.38	20	12.36	純水泥砂漿
C-4	23	15.4	21	13.34	純水泥砂漿
X-1	24	16.38	21	13.34	XYPEX 改性砂漿
X-2	20	12.36	21	13.34	XYPEX 改性砂漿
X-3	21	13.34	21	13.34	XYPEX 改性砂漿
X-4	23	15.4	22	14.3	XYPEX 改性砂漿
CP1-1	22	14.3	23	15.4	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-2	22	14.3	21	13.34	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-3	21	13.34	24	16.38	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-4	23	15.4	21	13.34	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP2-1	22	14.3	24	16.38	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-2	21	13.34	22	14.3	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-3	21	13.34	23	15.4	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-4	20	12.36	23	15.4	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP3-1	22	14.3	21	13.34	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-2	21	13.34	22	14.3	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-3	21	13.34	21	13.34	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-4	20	12.36	21	13.34	外加斥水膜 (膜厚 3 層)

(2) 半電池電位試驗

表 5-64 為第二期長期曝曬試體半電池電位初始值。

表 5-64 第二期長期曝曬試體半電池電位初始值

編號	基材	修補	修補處材料
C-1	-17	-12	純水泥砂漿
C-2	-145	-125	純水泥砂漿
C-3	-315	-358	純水泥砂漿
C-4	-57	-95	純水泥砂漿
X-1	-568	-595	XYPEX 改性砂漿
X-2	-65	-163	XYPEX 改性砂漿
X-3	-525	-572	XYPEX 改性砂漿
X-4	-139	-196	XYPEX 改性砂漿
CP1-1	-59	-55	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-2	-48	-39	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-3	-75	-60	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-4	-150	-71	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP2-1	-83	-95	外加斥水膜 (膜厚 2 層))
CP2-2	-77	-78	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-3	-98	-119	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-4	-121	-112	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP3-1	-133	-135	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-2	-313	-293	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-3	-548	-563	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-4	-117	-112	外加斥水膜 (膜厚 3 層)

(3) 腐蝕速率試驗

表 5-65 為第二期長期曝曬試體腐蝕速率試驗結果，腐蝕速率約為 0.1 μA/cm$_2$，尚無嚴重腐蝕現象。

表 5-65 第二期長期曝曬試體腐蝕速率試驗結果

編號	$Cu/CuSO_4$ (mV)	腐蝕電流密度($\mu A/cm^2$)	混凝土電阻 (kΩ)	修補處材料
C-1	-79	0.1	14	純水泥砂漿
C-2	-65	0.1	15	純水泥砂漿
C-3	-106	0.1	13	純水泥砂漿
C-4	-92	0.1	12	純水泥砂漿
X-1	-46	0.1	13	XYPEX 改性砂漿
X-2	-58	0.1	14	XYPEX 改性砂漿
X-3	-67	0.1	15	XYPEX 改性砂漿
X-4	-95	0.1	12	XYPEX 改性砂漿

(4) 滲透性試驗

表 5-66，為純水泥砂漿、XYPEX 改性砂漿、砂漿外加斥水膜塗層(膜厚 1~3)之滲透性試驗結果。純水泥砂漿的滲透性最高，而有塗佈滲入型撥水劑塗層的滲透性相對來說都降低許多，這顯示因著滲入型撥水劑發揮斥水的效應，使得混凝土的滲透性大大降低。另外 XYPEX 改性砂漿的滲透性也略低於以一般水泥砂漿修補的試體，這代表 XYPEX 砂漿確實有發揮作用。

表 5-66 滲透性試驗結果

編號	單位(m/s)	修補處材料
C-1	$4.36E^{-9}$	純水泥砂漿
C-2	$3.45E^{-9}$	純水泥砂漿
C-3	$4.97E^{-9}$	純水泥砂漿
C-4	$3.09E^{-9}$	純水泥砂漿
X-1	$2.23E^{-9}$	XYPEX 改性砂漿
X-2	$1.99E^{-9}$	XYPEX 改性砂漿
X-3	$2.48E^{-9}$	XYPEX 改性砂漿
X-4	$4.36E^{-9}$	XYPEX 改性砂漿

CP1-1	$8.91E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-2	$1.39E^{-9}$	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-3	$1.21E^{-9}$	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP1-4	$1.39E^{-9}$	外加斥水膜 (膜厚 1 層)
CP2-1	$4.73E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 2 層))
CP2-2	$8.91E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-3	$3.47E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP2-4	$8.91E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 2 層)
CP3-1	$1.11E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-2	$8.91E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-3	$4.73E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 3 層)
CP3-4	$8.91E^{-10}$	外加斥水膜 (膜厚 3 層)

第六章　結論與建議

根據國家科技發展總目標、促進海洋永續發展，增強臺灣做為亞太地區商業及物流轉運中心的功能，港灣設施功能扮演重要關鍵角色。如何提升港灣設施之建設、工程品質與耐久性，以及維護、管理與安全等為本計畫之主要目標。此外，由於臺灣地區天然環境上空氣污染之結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，本計畫亦針對本土化大氣腐蝕因子進行調查並建置資料庫，期能提供金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計參考。

本年度研究成果包括：(1)辦理港灣碼頭及濱海建物之現況調查，共計花東地區商港、漁港之碼頭及防波堤設施與其濱海地區建物之現況調查、基隆港西 19 至西 23 號、東 4 至東 5 號鋼板（管）樁碼頭現況調查與評估；(2)完成「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類」，內容包含大氣腐蝕現地金屬試片暴露試驗、臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫更新與維護等；(3)辦理「港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究」，針對 RC 構造物之各種修補材料進行研究。完成完成修補材料配合歐盟規範試驗、戶外試體製作與觀測，並研擬修補手冊初稿等。

本計畫之研究效益，除研究成果可提供港務局等維護港灣設施參考外，研究過程中採用或建置完成之相關檢測方法與實施流程與結果等成果，均可提供國內各港務局應用於相關碼頭設施維護管理作業需要與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。此外，並可提供公路局、港務局及相關單位作為金屬材料選用依據，達到符合各地區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。

6.1 結論與建議

本計畫各子計畫研究結論及建議如下：

子計畫一：港灣構造物及濱海地區橋梁與建物現況調查

1. 本年度調查對象：花蓮港 10 至 25 號碼頭及西防波堤（重力方塊式、重力沉箱式）；花蓮縣花蓮漁港、石梯漁港（重力式）；臺東縣長濱漁港、新港漁港、冨岡漁港（重力式）；基隆港西 19 至西 23 號、東 4 至東 5 號碼頭（鋼板樁式）等港灣構造物或濱海建物。

2. 花蓮港 10 至 25 號等碼頭，除少數岸壁混凝土輕微劣損、護舷材輕微裂縫外，並無明顯影響碼頭功能之跡象，上述劣損狀況係屬輕微與局部性，且其所占範圍比例(E)均小於 10%，故初步評估計算破壞指標皆小於必須進行細部評估之指標值(2.0)，因此不須進行立即性維修，惟碼頭使用時間均已超過或接近 20 年，建議每年仍必須落實例行性之巡查工作。

3. 花蓮港之西防波堤堤身與消波塊混凝土表面發現地圖狀裂縫，並有膠狀反應產物，疑為鹼質與粒料反應之徵候，雖無立即性重大危害發生，建議花蓮、臺東地區後續重大公共工程使用之混凝土材料，使用前應進行鹼質與粒料反應相關檢測，以降低構造物發生崩壞之風險。

4. 花蓮港 18-20 號碼頭，碼頭後線面版有較明顯之不均勻沉陷，雖不影響碼頭營運，且初步評估破壞指標亦均小於 2.0，但該碼頭係以載運水泥石料等重件為主，建議增加巡檢頻率或訂定貨車載重上限在碼頭上部結構可承載能力之範圍，以維碼頭使用安全。

5. 花東地區漁港調查 7 處，各漁港設計水深多介於-2.0～-4.0m 之間，最大水深約-6.0m，碼頭設施皆能承受土壓力和水壓力，不會直接造成碼頭岸壁結構傾斜或面版下陷，部分碼頭雖老舊仍屬堪用，另漁港碼頭無遭受大型船隻碰撞。

6. 花東地區漁港維護以泊地及碼頭區之水深浚挖為主，由於漁港規模不大，設計水深亦淺，建議可不採用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，惟漁港之港灣設施基本資料及歷年維護紀錄，仍需建立資料庫存檔。另規模較大之漁港碼頭，建議可考慮依碼頭型式或建造時間將其分類後，予以分段編號並標示里程，俾利後續建置維護管理資訊系統之應用。

7. 基隆港西 19 至西 23 號碼頭之鋼（管）板樁水下部份，均未發現腐蝕穿孔或破洞等損壞，鋼板樁防蝕電位與陽極塊發生電位皆達到保護鋼板樁防蝕的效應。

8. 基隆港東 4 與東 5 號碼頭部分，東 4 號碼頭部分範圍沉陷面積達 37.5 平方公尺，最大沉陷深度約 15 公分。兩座碼頭水下部份有多處鋼板樁發生破洞及內部填充級配粒料掏空之情形，由於東 5 號碼頭民國 95 年間曾發生碼頭面突然塌陷破壞，建議應儘速改善以維護潮間帶鋼板樁，碼頭後線並採灌漿補強等預防措施。

9. 基隆港碼頭陰極防蝕效能檢測，西 22 號碼頭部份因導線桿損毀遺失而無法進行鋼板樁保護電位與陽極塊發生電位量測，建議應予修復。

10. 透地雷達及敲擊回音等儀器，應用於碼頭面版下陷檢測之效果良好。

11. 碼頭檢測採用 D.E.RU 方法時，由於港灣構造物體積較其他構造物龐大，且大部份位於水線下，不易直接進行目視或儀器檢測，又破壞範圍之 E 值多小於 10 % 以下，其影響值 R 也難以達到符合各種情況之應用，因此，後續研究將探討可行之改善方案為目標。

子計畫二：大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究

1. 在氯鹽沉積速率調查結果發現，垂直海岸試驗線之平均氯鹽沉積速率以桃園大潭試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率較高。在季節性之差異上以秋季(2010.07-2010.11)較其他季節偏高以桃園大潭試驗線 0m 處 242.7mg/m2/day 最高。

2. 臺灣本島一年期累積的氯鹽沉積速率，氯鹽沉積速率介於 0.48 至 151.5 mg/m2/day (阿里山至桃園試驗線)之間，較高的沉積速率發生在桃園試驗線，所測得的氯鹽沉積速率大於 90 mg/m2/day；其次為台塑六輕試驗線、外埔安檢所、通霄火力發電廠，沉積速率介於 30 與 70mg/m2/day。在北橫巴陵及阿里山氯鹽沉積速率都低於 1.0 mg/m2/day，氯鹽沉積速率無顯著變化。在高鐵沿線各站方面，一年期累積調查結果分別為：臺中站 1.27 mg/m2/day、嘉義站 1.76 mg/m2/day 與左營站 1.57 mg/m2/day。

3. 四次調查的結果分佈情形。在西海岸秋季(2010.09 -2009.12)與冬季(2009.12 -2011.03)期間，以觀音工業區、通霄火力電廠、臺中火力電廠、彰濱工業區、中鋼公司、興達火力電廠附近二氧化硫沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東海岸四次調查以龍德工業區沉積速率較高，在冬季 (2010.12 -2011.03)期間發現以觀音工業區二氧化硫沉積速率最高。

4. 在一年期，二氧化硫的平均沉積速率，以陽明山硫磺區最高，觀音工業區次之其餘較高沉積速率依序發生在龍德工業區、彰濱工業區、中鋼公司、竹南工業區等，山區的試驗位址二氧化硫沉積速率如北橫巴陵及阿里山較低。

5. 臺灣各地於一年調查 2009.08-2010.09 期間，平均濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 73.45%及東石安檢所 21.87%之間，而濕潤時間大於 80%則無任何地區。濕潤時間百分比大於 70%有陽明山國家公園及陽明山硫磺區 75.56%。其次介於 40%至 60%之間較大濕潤時間有台塑六輕試驗線、蘇澳港試驗線、桃園試驗線等地區。而濕潤時間介於 20%附近發生在安平工業區 21.92%、東石安檢所 21.87%及高鐵臺中站 26.94%。

6. 碳鋼金屬在臺灣的大氣腐蝕環境分類多為 C3 以上，沿海地區則為 C5 等級，而在麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線、基隆試驗線、龍德工業區、臺塑六輕試驗線、桃園試驗線、陽明山硫磺區腐蝕環境

可達到 C5+等級。在一年期碳鋼的腐蝕暴露試驗，腐蝕速率介於 14.69 μm/yr 臺中高鐵站到 584.92 μm/yr 陽明山硫磺區之間。

7. 鋅金屬以桃園大潭試驗線、臺中港試驗線、基隆試驗線、核三廠試驗線腐蝕速率較大，腐蝕環境可達到 C5+等級。在一年期鋅金屬的腐蝕暴露試驗,腐蝕速率介於 0.81 μm/yr 永安工業區至 29.99 μm/yr 桃園試驗線之間。

8. 銅金屬的腐蝕速率以東部及西部沿海地區安檢所及基隆試驗線、桃園試驗線、臺中港試驗線及臺塑六輕試驗線與陽明山硫磺區較為嚴重腐蝕速率達 C5+等級。在一年期銅金屬的腐蝕暴露試驗，腐蝕速率介於 0.52 μm/yr 北橫巴陵至 64.75 μm/yr 陽明山硫磺區之間。

9. 鋁金屬的腐蝕速率以麥寮六輕試驗線、桃園大潭試驗線較為嚴重，以西部沿海地區腐蝕速率相對其他地區高。在一年期鋁金屬的腐蝕暴露試驗，腐蝕速率介於 0.38 g/m2/yr 臺北市至 44.49 g/m2/yr 台塑六輕試驗線之間。

10. 在平行海岸線方面，以高鐵沿線為例，碳鋼為 C2 ~C3 等級，鋅、銅、鋁為 C3~C4 等級。

子計畫三：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究

1. 水泥砂漿於混凝土　之頂面與立面，有一定抗垂流能力，但是添加甲基纖維素採用中空輕質粒料取代河砂量 10%時，其抗垂流及抗壓效果最佳。

2. 裂縫注入材需同時考量注入能力及硬固之膠結能力。研究顯示水泥漿體配比 0.525(W/C)，可達成注入性(8 分鐘內通過 40cm 管)及硬固後的劈裂強度要求(3MPa)。

3. 塗覆全矽烷類滲入型撥水劑可降低水氣交換能力、提高抵抗氯離子進入之能力、提高抗水中磨耗能力，但是鹼會略微降低該類保護系統之能力。滲入型撥水劑的效能隨塗覆厚度增加而增加。

4. 一般水泥砂漿、XYPEX 無機滲入結晶材改性砂漿及先以一般水泥砂漿修補再加上塗佈滲入型撥水劑 1 層到 3 層之梁試體裂縫，初始數據顯示，使用滲入型撥水劑作為額外的保護系統，透水係數相較於一般水泥砂漿修補試體來說低許多，並且隨著塗佈量增加，效果就越佳。

6.2 研究成果之效益

1. 本計畫碼頭現況調查成果可供港務單位做維護策略參考外，採用或建置之檢測方法與實施流程，亦可提供港務公司應用於碼頭設施維護管理作業與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。

2. 本計畫研究金屬材料大氣腐蝕試驗成果，可提供鐵公路、港務及相關單位作為金屬材料選用依據，以達到符合各地區腐蝕環境，確保各公共工程如橋梁、碼頭等重大建設構造物，達到或超出設計使用年限，並避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。

3. 本計畫針對港灣構造物修補材料與工法之研究，包含開發之抗垂流修補砂漿、全矽烷類滲入型撥水劑保護系統及裂縫修補之注入材料等研究成果，可提供給國內工程、營造及政府機關工程部門等在修補設計與施工上應用。

6.3 提供政府單位應用情形

1. 本計畫利用碼頭現況調查成果，已建置於「碼頭設施維護管理系統」，可提供航港局推動港灣構造物之維護管理政策規劃使用。

2. 本計畫建置之「臺灣大氣腐蝕環境分類資訊系統」，已推廣至公路、港務及相關單位使用。

3. 所建置資料庫含各港圖文屬性資料，隨時可提供本所及港務單位研究分析、開發規劃之需用。

參考文獻

1. "港灣構造物安全檢測與評估之研究 2/2"，交通部委託國立中山大學辦理，2001。

2. "港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）"，交通部委託國立中山大學辦理，2001。

3. "港灣構造物維護管理準則之研究"，交通部運輸研究所委託國立臺灣海洋大學辦理，2004。

4. "「港灣設施維護手冊（草案）"，交通部運輸研究所，2001。

5. "港灣構造物安全檢測與評估研習會"論文集，交通部運輸研究所、國立中山大學海洋環境及工程系，高雄，2002。

6. "高雄港鋼板(管)樁碼頭水下檢測工作規則"，交通部高雄港務局，2004。

7. "基隆港務局港埠設施維護檢修作業規定"，交通部基隆港務局，1998。

8. "花蓮港外港防波堤及碼頭鋼板樁監測"，交通部花蓮港務局委託交通部運輸研究所辦理，2001。

9. "碼頭結構物現況調查研究"，交通部運輸研究所，2006。

10."港灣構造物耐久性與維護機制之研究 2/4"，交通部運輸研究所，2007。

11."臺灣地區商港及漁港設施現況調查(2/2)"，交通部基隆港務局，2011。

12."港灣構造物腐蝕評價手法"，日本運輸省港灣技術研究所，No.501 ,P11，1984。

13.湯麟武、徐忠猶、黃正欣，"港灣及海域工程(中國工程師手冊水利

類第十一篇)2nd"，中國土木水利工程學會，1999。

14."基隆港東防波堤延伸工程規劃評估"，交通部基隆港務局， 2005。

15.J Christopher Ball, "Galvanic corrosion protection of reinforced concrete structure ar cape canaveral",Concrete in Austrial Vol. 34 No.

16.橫田 弘等，"既有棧橋之生命週期分析之檢討"，港灣空港技術研究所資料，2005。

17.岩波 光保，"既有設施考慮機能向上之生命週期分析評價之檢討等"，港灣空港技術研究所資料，2006。

18.高橋 宏直，"港灣設施之維修補強與更新費之將來預測關係之研究"，國土交通省國土技術政策綜合研究所，2002。

19."臺中港九二一地震後災後重建誌-1999 九二一集集大地震臺中港設施復建記錄"，交通部臺中港務局，2001。

20."Port designer’s handbook- recommendations and guidelines”,Carl A Thoresen, 2003.

21.ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.

22.中華民國國家標準 CNS 13754 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，1996。

23.ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.

24.中華民國國家標準 CNS 13753 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，2005。

25.ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.

26.中華民國國家標準 CNS 14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕–試片腐

蝕生成物清除法，1988。

27.ISO 8407/1991: Corrosion of metals and alloys - Removal of corrosion products from corrosion test specimens.

28.ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories.

29.ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 1999.

30.ISO 8565/1992: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.

31.張嘉峰、簡臣佑等，"基隆港西 2 至西 4 號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心報告，2008。

32.李有豐、林安彥，"橋梁檢測評估與補強"，拳華科技圖書股份有限公司，2000。

33.鄭讚慶，"防蝕塗層效能評估及鋼筋腐蝕對握裹強度影響之研究"，國立臺灣海洋大學河海工程學系，碩士論文，2001。

34.林平全，"混凝土施工"，徐氏基金會出板，1998。

35.彭添富，"鋼筋混凝土學"，大中國圖書公司印行，2001。

36.陳保成，"矽灰與纖維砂漿作為修補材料抗撞擊行為之探討"，國立嘉義大學土木與水資源工程研究所，碩士論文，2008。

37.P. K. Mehta and M. Paulo, "Concrete：Structure, Properties, and Materials, "2nd Ed., Prentice Hall, 1992 ,pp.160-171.

38.H. H. Uhlig and R. W. Revie, "Corrosion and Corrosion Control",3rd Edition, Wiley Interscience, N. Y., 1985, pp.28-35.

39.汪士鈞，"鋼筋在高性能混凝土內腐蝕特性"，國立成功大學土木工程研究所，碩士論文，1999。

40.K. K. Creatsil and F. P. Glasser., "Analysis of the Steel：Concrete Interface, " Proc. of Conf. on Corrosion of Reinforcement in Concrete, UK, 1990, pp. 74-86.

41.汪士鈞，"鋼筋在高性能混凝土內腐蝕特性"，國立成功大學土木工程研究所，碩士論文，1999。

42.Beeby., "Corrosion of Reinforcement Steel in Concrete and its Relation to Cracking", The Structural Engineer, No.3, Vol.56A, March, 1978.

43.S. W. Tsai and H. T. Hahn, "Introduction to Composite Materials", Technomic Publishing Co., Inc. Westport, 1980.

44.Peter H Emmons, "Concrete Repair and Maintenance Illustrated", R. S. Means Inc., 1993.

45. "混凝土工程施工規範與解說"，中國土木水利工程學會，混凝土工程委員會，1999。

46.趙志方、周厚貴、袁群、馬金剛，"新老混凝土黏結機理研究與工程應用"，中國水利水電出板社，2003。

47.W. Yeih, J. J. Chang, and C. C. Hung, C. C.,"Selecting an Adequate Procedure for the Electrochemical Chloride Removal", Cement and Concrete Research, Vol. 36, No. 3, pp.562-570, 2006.

48.W. Yeih and J. J. Chang, "A Study on the Efficiency of Electrochemical Realkalisation of Carbonated Concrete", Journal of Construction and Building Materials, Vol. 19, No. 7 , pp.516-524,2005.

49.W. Yeih, H. –M. Hsu, J. J. Chang ,C. C. Hung and R. Huang, "A Study on Repairing Internal Defects inside Concrete Using the Electrochemical Deposition method", Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 18, No. 3,,pp. 424-429, 2009.

50.W. Yeih and J. J. Chang, "Preliminary Study of Electrochemical Treatment for Repairing Mortars Subjected to Alkali-Silica Reaction", The 4th Asia Conference Federation International Conference, Taipei, 2010.

51.Andrew McLeish, "Underwater Concreting and Repair", Elsevier Ltd., London,1994.

52.UEG, "Handbook of Underwater Tools", Report No.UR18, Underwater Engineering Group, CIRIA, London,1983.

53.C. A. Keeney, "Procedures and Devices for Underwater Cleaning of Civil Works Structures", Technical Report REMR-CS-8, US Army Engineer Waterways Experiment Stations, Vicksburg, MS,1987.

54.Concrete Society, "Assessment of Fire Damaged Concrete Structures and Repairs", Concrete. Working Party Report No. 15, Concrete Society, London,1978.

55.J. I. Heneghan, "Shotcrete Repairs of Concrete Structures in Marine Environments",ACI Publication SP65-28, American Concrete Institute, Detroit, MI,1965.