

110-009-7C31

MOTC-IOT-109- H1CA001b

109 年臺灣沿岸地區金屬材料 腐蝕環境調查研究



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

109
年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

交通部運輸研究所

GPN : 1011000191

定價 200 元

110-009-7C31

MOTC-IOT-109- H1CA001b

109 年臺灣沿岸地區金屬材料 腐蝕環境調查研究

著 者：羅建明、莊凱迪、黃宇謙

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究. 109
年 / 羅建明, 莊凱迪, 黃宇謙著. -- 初版.
-- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 110. 02
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-259-6(平裝)

1. 港埠管理 2. 管理資訊系統

557

110001027

109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

著 者：羅建明、莊凱迪、黃宇謙

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 110 年 2 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號 1F•電話：(02) 2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011000191

ISBN：978-986-531-259-6(平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-259-6 (平裝)	政府出版品統一編號 1011000191	運輸研究所出版品編號 110-009-7C31	計畫編號 MOTC-IOT-109-H1CA001b
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：羅建明 研究人員：莊凱迪、黃宇謙 參與人員：陳亭廷、李春榮、何木火、王培源 聯絡電話：04-26587110 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 109 年 1 月 至 109 年 12 月
關鍵詞：金屬腐蝕、腐蝕因子、腐蝕環境 摘要： 臺灣地處亞熱帶，屬高溫、高濕、高鹽的海島型氣候，金屬構件甚易腐蝕。為此，有必要建置屬於本土的水下腐蝕環境資料及腐蝕因子資料庫，以利日後結構物於防蝕設計與維護管理的依據。本研究主要工作項目包括：1.臺灣全島之大氣腐蝕因子調查，2.大氣腐蝕標準試片製作與現地暴露試驗之腐蝕速率量測，3.建立大氣與水下腐蝕因子資料庫，4.近十年研究成果趨勢分析比較，5.完成臺灣大氣腐蝕環境分類之工作。 在氯鹽沉積速率趨勢結果發現，整個102年至108年間，氯鹽沉積速率較高的沉積速率發生在102年、103年105年及106年，以桃園試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線、花蓮港試驗線較高，所測得的氯鹽沉積速率皆大於30 mg/m ² /day。二氧化硫沉積速率趨勢結果發現，較高的沉積速率發生在102年、103及106年，以觀音工業區、龍德工業區、臨海工業區、彰濱工業區較高，所測得的二氧化硫沉積速率皆大於400 mg/m ² /day。 在98年至108年一年期試片之腐蝕速率在垂直試驗線各金屬之腐蝕速率進行比較，碳鋼腐蝕速率介於45.3µm/yr(高雄港試驗線)至282.4µm/yr(桃園試驗線)之間，而較高的沉積速率發生在98年、101及108年，以桃園試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線較高，所測得的碳鋼腐蝕速率皆大於200µm/yr。鋅腐蝕速率介於1.6µm/yr(高雄港試驗線)至50.3µm/yr(桃園試驗線)之間，以桃園試驗線較高，而較高的沉積速率發生在98年、99及104年，所測得的鋅腐蝕速率大於40µm/yr遠遠高於其他垂直試驗線。銅腐蝕速率介於1.6µm/yr(蘇澳港試驗線)至13.7µm/yr(臺塑六輕試驗線)之間，以臺塑六輕試驗線較高，所測得的銅腐蝕速率皆大於5.6µm/yr屬腐蝕分類中CX級。鋁腐蝕速率介於0.8 g/m ² /yr(蘇澳港試驗線)至30.7 g/m ² /yr(桃園試驗線)之間，以桃園試驗線、臺塑六輕試驗線較高，而較高的沉積速率發生在99年、100及105年，所測得的鋁腐蝕速率皆大於25 g/m ² /yr。 研究成果效益及應用： 提供工務單位瞭解構造物所處之腐蝕環境趨勢，可提供臺灣港務公司、中華民國防蝕工程學會、經濟部工業局、臺塑企業、中國鋼鐵公司、工程顧問公司等產官學界參考應用。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110 年 2 月	179	200	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。
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: Investigation on Corrosive Environment of Metal Materials in Coastal Areas of Taiwan in 2020			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-259-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000191	IOT SERIAL NUMBER 110-009-7C31	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-109- HICA001b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Ming Lo RESERACH FELLOW: Kai-Ti Chuang, Yu-Qian Huang PROJECT STAFF: Ting-Ting Chen, Chun-Rong Li, Mu-Huo Ho, Pei-Yuan Wang PHONE: 04-26587110 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2020 TO December 2020
KEYWORDS: Metal Corrosion, Corrosion Factor, Corrosive Environment			
Abstract: Taiwan, located in the subtropical zone, has an island climate of high temperature, high humidity and high salt. Metal components are prone to corrosion. In this regard, it is necessary to set up an indigenous underwater corrosion environment data and corrosion factor database to enable the basis of corrosion protection design and maintenance management of structures in the future. The major work items of this study include: 1. Investigation of atmospheric corrosion factors of the whole island. 2. Preparation of atmospheric corrosion standard test pieces and measurement of corrosion rate of in-situ exposure test. 3. Establishment of atmospheric and underwater corrosion factor database. 4. Trend analysis and comparison of the past-ten-year research results. 5. Completing the classification of Taiwan's atmospheric corrosion environment. Results of the trend of chloride salt deposition rate indicated that during 2013 and 2019, the higher deposition rate of chloride salt occurred in 2013, 2014, 2016, and 2017. The Taoyuan test lead, the Keelung test lead, and the Formosa Plastics Naphtha Cracker #6 test lead and the Hualien Port test lead were higher, and the measured chloride salt deposition rate was greater than 30 mg/m ² /day. The trend of sulfur dioxide deposition rate showed that the higher deposition rate occurred in 2013, 2014, and 2017, wherein Kuan-yin Industrial Park, Longde Industrial Park, Linhai Industrial Park, and Changbin Industrial Park were higher. The measured sulfur dioxide deposition rates all were greater than 400 mg/m ² /day. For the corrosion rate of the one-year test piece between 2009 and 2019 was compared with the corrosion rate of each metal on the vertical test lead, the corrosion rate of carbon steel ranged between 45.3µm/yr (Kaohsiung Port Test Lead) and 282.4µm/yr (Taoyuan Test Lead), while the higher deposition rate occurred in 2009, 2012 and 2019, of which the Taoyuan test lead, the Keelung test lead, and the Formosa Plastics Naphtha Cracker #6 test lead were higher. Their measured corrosion rates of carbon steel were all greater than 200µm /yr. The corrosion rate of zinc ranged between 1.6µm/yr (Kaohsiung Port Test Lead) and 50.3µm/yr (Taoyuan Test Lead), wherein the Taoyuan Test Lead was higher, and the higher deposition rate occurred in 2009, 2010 and 2015, The measured zinc corrosion rate was greater than 40µm/yr which was much higher than other vertical test leads. The copper corrosion rate was between 1.6µm/yr (Suao Port Test Lead) and 13.7µm/yr (Formosa Plastics Naphtha Cracker #6 Test Lead), wherein the Formosa Plastics Naphtha Cracker #6 Test Lead was higher, and the measured copper corrosion rates were all greater than 5.6µm/yr classified in the CX level in corrosion classification. The corrosion rate of aluminum was between 0.8 g/m ² /yr (Suao Port test lead) and 30.7 g/m ² /yr (Taoyuan test lead), of which the Taoyuan test lead and the Formosa Plastics Naphtha Cracker #6 test lead were higher, and the higher deposition rate occurred in 2010, 2011 and 2016, and the measured corrosion rates of aluminum were all greater than 25 g/m ² /yr. Benefits and Applications of Research Results: Available for public works agencies to understand the trend of corrosive environment of structures, providing references for Taiwan International Ports Corporation, The Corrosion Engineering Association of the R.O.C, Industrial Development Bureau of the Ministry of Economic Affairs, Formosa Plastics Corporation, China Steel Corporation, engineering consulting corporations and other industry, government and academia.			
DATE OF PUBLICATION February 2021	NUMBER OF PAGES 179	PRICE 200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XI
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究目的.....	1-1
1.2 計畫之重要性.....	1-1
1.2.1 大氣腐蝕.....	1-1
1.2.2 水下腐蝕.....	1-2
1.3 國內腐蝕研究概況.....	1-2
1.3.1 大氣腐蝕研究概況.....	1-2
1.3.2 水下腐蝕研究概況.....	1-4
1.4 計畫工作項目.....	1-14
1.5 預期效益及其應用.....	1-15
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 大氣腐蝕測試規範.....	2-1
2.1.1 國外 ISO 大氣腐蝕環境分類.....	2-1
2.1.2 國外 CLIMATE TEST 大氣腐蝕環境分類.....	2-2
2.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範.....	2-4

2.2 大氣腐蝕因子介紹	2-4
2.3 影響大氣腐蝕的因素	2-7
2.4 鋼材在海水之腐蝕	2-9
2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子	2-10
2.5.1 曝露區域	2-10
2.5.2 海水的性質	2-12
第三章 研究方法與試驗點位置資料圖表	3-1
3.1 氯鹽沉積速率調查	3-1
3.1.1 氯鹽沉積速率試驗點	3-1
3.1.2 氯鹽沉積速率計算	3-3
3.2 二氧化硫沉積速率調查	3-5
3.2.1 二氧化硫沉積速率試驗點	3-5
3.2.2 二氧化硫沉積速率計算	3-6
3.3 試片腐蝕速率分析方法	3-8
3.3.1 現地暴露試驗點	3-8
3.3.2 現地暴露試驗計算	3-9
3.3.3 試片腐蝕生成物清除與測試	3-10
3.4 腐蝕因子環境分類	3-12
第四章 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析之探討	4-1
4.1 氯鹽沉積速率趨勢探討	4-1
4.2 二氧化硫沉積速率趨勢探討	4-4
4.3 金屬腐蝕速率趨勢探討	4-7
4.3.1 碳鋼腐蝕速率趨勢探討	4-7

4.3.2 鋅腐蝕速率趨勢探討	4-9
4.3.3 銅腐蝕速率趨勢探討	4-11
4.3.4 鋁腐蝕速率趨勢探討	4-13
第五章 成果推廣	5-1
第六章 結論	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-2
6.3 研究成果之效益	6-2
6.4 提供政府單位應用情形	6-3
參考文獻	參-1
附錄一 期末審查意見及辦理情形說明表	附錄 1-1
附錄二 期末審查簡報	附錄 2-1
附錄三 自行研究計畫第 1 次工作會議紀錄	附錄 3-1
附錄四 自行研究計畫第 2 次工作會議紀錄	附錄 4-1
附錄五 自行研究計畫專家學者座談會議紀錄	附錄 5-1

圖目錄

圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類	2-2
圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試	2-3
圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖	2-9
圖 2.4 鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係	2-11
圖 2.5 海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係	2-13
圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係	2-14
圖 2.7 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係	2-15
圖 2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係	2-17
圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形	2-18
圖 3.1 氯鹽沉積速率調查位置	3-2
圖 3.2 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)	3-3
圖 3.3 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)	3-3
圖 3.4 二氧化硫沉積速率調查位置圖	3-6
圖 3.5 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)	3-7
圖 3.6 現地暴露試驗(碳鋼、鋅、鋁、銅螺旋狀試片)試驗點分佈圖	3-8
圖 3.7 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)	3-9
圖 3.8 腐蝕生成物清除法作業流程圖	3-11
圖 4.1 102 年至 108 年垂直海岸試驗線 氯鹽沉積速率趨勢圖	4-3
圖 4.2 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率在特定試驗點趨勢圖	4-6
圖 4.3 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 碳鋼腐蝕速率趨勢圖	4-8
圖 4.4 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 鋅腐蝕速率趨勢圖	4-10
圖 4.5 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 銅腐蝕速率趨勢圖	4-12

圖 4.6	98 年至 108 年垂直海岸試驗線 鋁腐蝕速率趨勢圖	4-14
圖 5.1	109 年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會	5-3
圖 5.2	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(1/13).....	5-4
圖 5.3	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(2/13).....	5-5
圖 5.4	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(3/13).....	5-6
圖 5.5	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(4/13).....	5-7
圖 5.6	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(5/13).....	5-8
圖 5.7	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(6/13).....	5-9
圖 5.8	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(7/13).....	5-10
圖 5.9	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(8/13).....	5-11
圖 5.10	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(9/13).....	5-12
圖 5.11	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(10/13).....	5-13
圖 5.12	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(11/13).....	5-14
圖 5.13	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(12/13).....	5-15
圖 5.14	講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(13/13).....	5-16
圖 5.15	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(1/11).....	5-17
圖 5.16	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(2/11).....	5-18
圖 5.17	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(3/11).....	5-19
圖 5.18	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(4/11).....	5-20
圖 5.19	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(5/11).....	5-21
圖 5.20	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(6/11).....	5-22
圖 5.21	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(7/11).....	5-23
圖 5.22	講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(8/11).....	5-24

圖 5.23	講題 2	腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(9/11)	5-25
圖 5.24	講題 2	腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(10/11)	5-26
圖 5.25	講題 2	腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(11/11)	5-27
圖 5.26	講題 3	臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(1/5)	5-28
圖 5.27	講題 3	臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(2/5)	5-29
圖 5.28	講題 3	臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(3/5)	5-30
圖 5.29	講題 3	臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(4/5)	5-31
圖 5.30	講題 3	臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(5/5)	5-32

表 目 錄

表 1-1	臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程	1-6
表 1-2	臺灣地區水下腐蝕試驗相關研究歷程	1-9
表 3-1	氯鹽沉積速率調查試驗點規劃分類表	3-2
表 3-2	二氧化硫沉積速率調查試驗點分佈表	3-5
表 3-3	化學清洗法使用藥品及條件	3-10
表 3-4	濕潤環境分類表.....	3-13
表 3-5	氯鹽腐蝕環境等級分類表	3-13
表 3-6	二氧化硫腐蝕環境等級分類表	3-13
表 3-7	金屬大氣腐蝕環境分類表 (以環境因子分類).....	3-14
表 3-8	大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分	3-15
表 5-1	109 年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會 議程表.....	5-2

第一章 前言

1.1 研究目的

本研究主要為進行臺灣全島金屬材料在大氣與海水下腐蝕因子之調查與水下試驗研究，建立完整的腐蝕因子資料庫，完成臺灣大氣腐蝕環境分類與水下金屬腐蝕資料建置目的，以利日後新建與既有金屬或鋼筋混凝土結構物耐久性與防蝕設計之參據。

1.2 計畫之重要性

1.2.1 大氣腐蝕

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高濕與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已銹蝕損壞的情形；有鑑於此，大氣腐蝕因子的調查與掌握對金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計的影響，有其重要性。

然而臺灣缺乏完整的本土化大氣腐蝕因子資料庫。自 1971 年起，國內各研究單位曾陸續以試片腐蝕速率的量測方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類，然而因試驗場址維護不易，各地區鮮少有持續 10 年以上的腐蝕數據，且大部份的研究亦止於 1995 年。隨著氣候變遷與工業的發展，為達到結構物耐久性防蝕設計的目的，目前若仍引用過去腐蝕因子之調查數據，腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；有鑑於此，本所乃自 2007 年起迄今^[1-10]規劃「臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究」如表一所示，擬長期針對臺灣全島區域進行大氣腐蝕劣化因子調查，完成臺灣大氣腐蝕環境的分類工作，並根據調查結果建立大氣腐蝕環境分類資料庫，規劃一適合國內環境需求的大氣腐蝕劣化因子查詢系統，以為日後新建與既有金屬及鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

1.2.2 水下腐蝕

臺灣為四面環海，沿海除了有海港碼頭、防波堤等港工設施外，鑽油平臺、跨海大橋等皆處於海洋環境中。而一遇颱風來襲則造成重大損失，如民國八十三年提姆、道格颱風過境，造成花蓮港、蘇澳港、龍洞遊艇港及高雄港等各港口，多處港工設施之破壞、沈陷等重大損害。顯示出相當部分的港工設施，已面臨或提早到達設計之年限，究其原因，各港工結構面臨險惡之海洋環境而被腐蝕、侵襲，造成材料之彈性疲乏，強度損失，以致使用年限大為縮短應為重要因素之一。

港工結構所使用的材料，除了石料之外、主要為鋼構材料及混凝土或鋼筋混凝土材料為主。其中鋼構材料如鋼版樁、鋼管樁及配合使用之拉縴鋼纜等各型鋼料，材質均有不同。其腐蝕之現象，由於在不同海域環境、季節、深度會產生不同腐蝕速率。根據本所過去所做相關研究報告中，在臺灣各大港口中，使用鋼構材料的碼頭大多為鋼版樁式。發現其鋼版樁有嚴重破損、穿孔之腐蝕現象，以致部分碼頭壁後砂石掏空，岸肩沈陷，嚴重影響碼頭之結構安全。如蘇澳港之駁船碼頭，鋼版板樁年腐蝕率超過 0.2mm/yr，其他各港口亦有類似現象。隨著時空、氣候變遷，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完整性全島區域之水下腐蝕因子之調查與研究，因此延續過去相關研究，進行水下環境腐蝕因子及金屬材料水下長期曝放試驗與資料庫建置計畫，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。

1.3 國內腐蝕研究概況

1.3.1 大氣腐蝕研究概況

臺灣地區從事大氣腐蝕試驗的眾多研究單位中以臺灣電力公司最早，自 1971 年起先後於金山、鹽寮、七美風力發電廠址等地進行二年期的金屬材料及塗料塗裝耐蝕性基本資料調查。金屬工業研究所(目前

已併入工業技術研究院)在 1971 年左右亦曾在彰濱一帶從事塗裝耐蝕性暴露試驗調查。工業技術研究院工業材料研究所自 1983 年起與臺電公司合作在林口、澎湖、陽明山、大屯山及其它多處地點從事 1~5 年不等的金屬材料及塗裝系統之暴露試驗。臺灣大學自 1987 年起與臺灣電力公司合作探討腐蝕因子與金屬腐蝕率之關係。中華電信研究所在 1984 年曾進行為期二年之暴露試驗，探討保安盒外殼中密度聚丁烯、及鍍鋅、鍍鋁、55% 鍍鋁鋅鋼絞線的耐久性及耐蝕性。中國鋼鐵公司約自 1990 年起配合鋼材開發需求，開始從事較有系統之鋼鐵材料大氣耐蝕性試驗，數據累積已有 10 年以上。中山科學研究院於 1987~1990 年在臺北市各區利用 A.C.I、M.C.I、I.C.I 等三種腐蝕指標試驗裝置，廣泛調查臺北市各地大氣腐蝕類性變化。綜合言之，1990 年以前各單位從事現地大氣腐蝕暴露試驗的研究頗多，可惜無系統性的調查，數據多為定性或半定量且較無長期試驗數據，以致在試驗結果上整合困難，難以轉化成基本資料。

2001 年，工業技術研究院材料與化工研究所受內政部營建署委託執行「臺灣地區結構物腐蝕潛勢分區研擬」計畫，主要工作內容為協助規劃全國大氣腐蝕試驗(含試驗項目、試驗場址選擇等)，惟一年後因經費問題而未執行相關試驗工作。2004 至 2005 年，工研院材化所協助臺灣高鐵公司進行高鐵沿線大氣腐蝕調查工作，評估熱浸鍍鋅鋼材與軌道碳鋼扣件之大氣腐蝕狀況並進行服務壽命計算；有別於現地大氣腐蝕暴露試驗，工研院材化所於計畫執行期間首次採用 ISO 9223^[1]環境因子分類方法，依據中央氣象局公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO₂ 濃度與過去各單位調查研究之氯離子沉積速率，進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類，並比較過去現地暴露試驗之結果。惟估算時使用之氣象與空氣污染資料僅止於 2000 年，且無 SO₂ 與氯鹽沉積量之實際量測數據，因此多數地區僅推估出一概括性的大氣腐蝕環境分類。因此本所於 2007 年 3 月至 2009 年 10 月委託工研院材化所執行「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」，針對臺灣全島地區進行大氣腐蝕劣化因子調查，目前建置氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點，現地暴露試驗調查 88 個試驗點，進行試驗取樣與分析工作。

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

1.3.2 水下腐蝕研究概況

自 1986 年第 3 屆全國科技會議之決議，將腐蝕防蝕工程技術之研究列為國家重點科技，並整體規劃國內相關技術研究能力，以達到更有效處理國內所遭遇到之問題，因此本所港灣研究中心與工業技術研究院工材所，中鋼公司及中華民國防蝕工程學會等單位，自 1986 年 7 月至 1991 年 6 月共同合作研究臺灣海域腐蝕特性防蝕設計材料選用及開發特性^[1]，各發揮所長共同尋求有效發展防蝕材料與方法。在海洋結構物與鋼筋混凝土材料於各海域腐蝕特性研究，陰極防蝕工程開發設計、防蝕塗料材料、表面被覆構件之腐蝕偵測技術及各種金屬如碳鋼、不銹鋼、鋁合金等水下腐蝕速率比較，並邀請相關國內外學者專家來講述防蝕技術及推廣教育工作並協調各施工單位，擬定長期合作計畫。另外自 1986 年 7 月至 1991 年 6 月，針對港灣 R.C 結構物之耐久性^[2-3]提供良好之設計與施工規範，提出港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究計畫，並對各港之 RC 結構物之腐蝕特性作一通盤性之了解，並提供防蝕良策以為進行維修工作之參考，作為日後建港之參考。於 1988 年展開澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查^[4]，剖析跨海大橋腐蝕原因，建立腐蝕調查及研究之邏輯，以澎湖跨海大橋中間段在改建路堤工程未完工前，原橋樑應作修補工作之建議並提供新建工程防蝕對策。提供國內交通橋樑及主要公共措施定期腐蝕調查與安全評估偵測之參考。從早期的調查研究發現，各港口鋼板樁碼頭腐蝕狀況差異極大，因此於 1989 年 7 月至 1994 年 6 月進行港灣鋼結構物耐久性研究^[5-8]，了解港灣鋼結構物能在設計使用年限內安全發揮功能，建立定期檢查制度及優先考慮裝設適當之防蝕措施。通盤了解及建立現有各港口鋼結構物耐久性之完整資料，以利日後新建鋼結構或維修現有鋼結構物之規範。但由於海洋結構物修理較為困難，修理後常感效果不彰，經常需要再作重覆之修理，浪費人力、物力，於 1992 年 7 月至 1993 年 6 月進行港灣鋼筋混凝土結構物修理系統評估研究^[9]，各大港口鋼筋混凝土結構物之現況作一調

查，並對其修理方法作一通盤瞭解並檢討優劣點。在 1995 年 6 月至 1996 年 7 月港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究^[20]為延續港灣鋼結構物之耐久性研究進行高雄港與基隆港之鋼板(管)樁腐蝕調查，探討水文及污損生物對陰極保護、防污塗料、混凝土、不銹鋼、裸鋼等材料腐蝕之影響。1996 年 6 月至 2001 年 7 月現有結構物安全評估及維護研究^[21-27]，調查基隆港、蘇澳港、高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及海生物附著影響以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。計畫中建立 R.C.結構物劣化非破壞性檢測技術、電化學維修技術工法、港區內水文與海生物附著對結構體(鋼構物)腐蝕之相互關係，並制定完成港灣結構物陰極防蝕準則草案之訂定(R.C.結構物部份)，建立完善之維護制度，提供各港務局使用。2001 年 1 月至 2001 年 12 月碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究^[28]，進行基隆、花蓮、臺中、高雄、蘇澳等五大港口之碼頭鋼板(管)樁調查，藉由對碼頭鋼板(管)樁腐蝕現況之長期監測，得以提供相關之本土資訊，作為設計及維護參考，並整理歸納影響鋼板(管)樁腐蝕之因子探討適用於本島碼頭鋼板(管)樁腐蝕防治方法。

相關國內水下研究歷程與研討會主題內容如表 1-2 所示。

表 1-1 臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間	
臺灣電力公司	Carbon steel, Stainless steel, Galvanized steel, Al, Al alloy, Cu, Cu alloy	金山 (核一廠)	1971.12-1974.7	
		澎湖	1984.9-1985.8	
		土城	1984.7-1986.6	
		林口發電廠	1988.5-1990.4	
	Thermal spray of Zn, Al, Cu, Zn/Al, Cu/Zn on carbon steel	澎湖, 陽明山, 林口發電廠	1989.1-1990.12	
工業技術研究院	Carbon steel with and without painting	林口發電廠	1983.7-1987.6	
		澎湖	1984.7-1987.6	
		金山- 汐止	1984.7-1985.6	
	Carbon steel and weathering steel with and without painting	臺西	1984.11-1987.6	
	Carbon steel, 304, 316 Stainless steel, Cu, Al, Zn, and thermal spray of Al, 5/95 Al/Zn on carbon steel	陽明山	1986.7-1987.6	
	Carbon steel, Stainless steel, Weathering steel, Galvanized steel, Al alloy, Cu alloy, etc.	陽明山, 頭城, 樹林, 新竹, 臺中港, 奮起湖, 興達電廠, 高雄, 花蓮, 澎湖	1987.7-1992.6	
	Carbon steel, Zn, Al, Cu (ISO 9226)	竹東, 小港, 佳洛水, 麥寮, 枋山, 斗南, 臺東, 大武, 新營, 土城, 以及 1987 至 1992 之測試地點	1992.7-1995.6	
	依據 ISO 9223 環境因子分類方法, 使用中央氣象局公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO ₂ 濃度與過去各單位調查研究之氣離子沉積速率數據, 進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類			2004-2005
	執行交通部運研所港灣技術研究中心委託「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」計畫			2007.3-2009.10

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間
中華電信研究所	Galvanized steel wire (Class A, B, C), Al-coated steel wire	澎湖, 基隆, 北投, 高雄, 屏東, 臺東	1984-1986
臺灣大學	SS41, Zn and Zn/Al galvanized steel, 304 Stainless steel, Cu, 953 Cu alloy, Al, 356 Al alloy	蘇澳港, 臺北市, 頭城, 宜蘭, 高雄, 臺中港, 林口發電廠, 興達電廠, 通霄發電廠	1987.5-1990.1
成功大學	SS440, Weathering steel, 304, 430 Stainless steel, Zn and Zn/Al galvanized steel, Cu and Cu alloy	臺南市, 安平工業區	1998.4-2001.4
中國鋼鐵公司	Carbon steel, Weathering steel	中山大學, 中鋼, 新竹	1990.8-present
	Carbon steel, Weathering steel, Galvanized steel	中山大學, 中鋼, 新竹, 樹林, 林口電廠	1993.12-present
交通部運研所 臺灣技術研究中心	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(1/4) ^[1]	氣鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2010.07- 2011.12
	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(2/4) ^[2]	氣鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2012.01-2012.12
	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(3/4) ^[3]	氣鹽沉積量調查 60 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 49 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2013.01-2013.12
	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(4/4) ^[4]	氣鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點, 現地暴露試驗調查 88 個試驗點	2014.01-2014.12
交通部運研所 臺灣技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2) ^[5]	氣鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點, 現地暴露試驗調查 88 個試驗點	2015.01-2015.12

交通部運研所港灣 技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2) ^[6] 水下金屬試驗暴露試驗第1年	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二 氧化硫沉積量調查 50 個試驗點， 現地暴露試驗調查 90 個試驗點	2016.01-2016.12
交通部運研所港灣 技術研究中心	臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究 (1/4) ^[7] 水下金屬試驗暴露試驗第2年	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二 氧化硫沉積量調查 57 個試驗點， 現地暴露試驗調查 94 個試驗點	2017.01-2017.12
交通部運研所港灣 技術研究中心	臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 ^[8]	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二 氧化硫沉積量調查 57 個試驗點， 現地暴露試驗調查 94 個試驗點	2018.01-2018.12
交通部運研所港灣 技術研究中心	108 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 ^[9]	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二 氧化硫沉積量調查 57 個試驗點， 現地暴露試驗調查 94 個試驗點	2019.01-2019.12
交通部運研所港灣 技術研究中心	109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 ^[10]	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二 氧化硫沉積量調查 57 個試驗點， 現地暴露試驗調查 94 個試驗點	2020.01-2020.12

表 1-2 臺灣地區水下腐蝕試驗相關研究歷程

研究單位	研究方向	研究說明	研究期間
臺灣省交通處港灣 技術研究所 中國鋼鐵公司 工業技術研究所 工材所	臺灣海域腐蝕特性防蝕設計材料選用及開發特性 ^[11]	海洋結構物與鋼筋混凝土材料於各海域腐蝕特性研究，陰極防蝕工程開發設計、防蝕塗料材料、表面被覆構件之腐蝕偵測技術及各種金屬如碳鋼、不銹鋼、鋁合金等水下腐蝕速率比較，並邀請相關國內外學者專家來講述防蝕技術及推廣教育工作並協調各施工單位，擬定長期合作計畫。	1986.07-1991.06
臺灣省交通處港灣 技術研究所	基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究 ^[12]	由於碼頭鋼板樁經年累月浸泡在海水中，會受沖蝕、水溫、溶氧、PH 值、鹽度、海流速率、海生物、汙染、風、相對濕度等因素影響而腐蝕，使鋼材厚度變薄，若腐蝕速率超過設計規範(0.20mm/yr)，就會影響其碼頭之安全性。本研究基隆港務局委託本所辦理本為瞭解其東 2 號～東 4 號、東 6 號～東 8 號、及西 27 號碼頭鋼板樁現況調查工作。	1990.03-1990.06
臺灣省交通處港灣 技術研究所	港灣 R. C 結構物之耐久性研究 ^[13]	針對港灣 R. C 結構物之耐久性提供良好之設計與施工規範，提出港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究計劃，並對各港之 RC 結構物之腐蝕特性作一通盤性之了解。	1986.07-1991.06

<p>臺灣省政府交通處 港灣技術研究所</p>	<p>澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查^[14]</p>	<p>1986 年中美聯合防蝕研討會會議結論中指出我國交通橋樑及主要公共措施應定期舉行腐蝕調查及安全性評估。會後行政院科技顧問組即指示進行初步調查研究。成果如下：</p> <p>1 充份了解澎湖跨海大橋腐蝕惡化現象之機理，作為新建工程設計及施工人員應注意防範事項及使用者之維修參考，以提高施工技術及工程品質，減少因腐蝕所造成之損失。</p> <p>2 增進對鋼筋混凝土等營建材料耐久性之認知，俾提供國內各單位作更進一步相關研究之基礎與方向。</p> <p>3 使用之調查方法及研究方法，可作為鋼筋混凝土偵測之參考，以求事先加以防範，以減少修護或重建之浪費。</p> <p>4 提供修補及防蝕對策，以延續橋樑之服務效能。</p>	<p>1987.01-1987.12</p>
<p>臺灣省政府交通處 港灣技術研究所</p>	<p>港灣鋼構造物耐久性研究^[15-18]</p>	<p>了解港灣鋼結構物能在設計使用年限內安全發揮功能，建立定期檢查制度及優先考慮裝設適當之防蝕措施。</p> <p>建立現有各港口鋼結構物耐久性之完整資料，以利日後新建鋼結構或維修現有鋼結構物之規範。</p>	<p>1989.07-1994.06</p>
<p>臺灣省交通處港灣 技術研究所</p>	<p>港灣鋼筋混凝土結構物修理系統評估研究^[19]</p>	<p>各大港口鋼筋混凝土結構物之現況作一調查，並對其修理方法作一通盤瞭解並</p>	<p>臺灣省交通處港灣 技術研究所</p>

		檢討優劣點。	
臺灣省政府交通處 港灣技術研究所 海洋大學	港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究 ^[20]	延續港灣鋼結構物之耐久性研究進行高雄港與基隆港之鋼板(管)樁腐蝕調查，探討水文及污損生物對陰極保護、防污塗料、混凝土、不銹鋼、裸鋼等材料腐蝕之影響。	1995.06-1996.07
交通部運研所 港灣技術研究中心	現有結構物安全評估及維護研究 ^[21-24]	調查基隆港、蘇澳港、高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及海生物附著影響以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。計畫中建立 R. C. 結構物劣化非破壞性檢測技術、電化學維修技術工法、港區內水文、海生物附著對結構體(鋼構物)腐蝕之相互關係，並制定完成港灣結構物陰極防蝕準則草案之訂定(R. C. 結構物部份)，建立完善之維護制度，提供各港務局使用。	1996.06-2001.07
臺灣省政府交通處 港灣技術研究所	水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究 ^[25]	本研究在基隆港東 2、西 21、西 22、西 26、西 27 號碼頭現場擺放試架觀察海生物種類，探討材料 (AISI1015 碳鋼、AISI304 不銹鋼，防止海生物附著油漆塗料，犧牲陽極)，水深 (低潮位線上 1 公尺及低潮位線下 1.0, 3.0, 5.0 公尺) 與水文及污損生物之關係。	1995.01- 1995.12

		<p>經過三及六個月之現場浸漬後，發現</p> <p>(1) 犧牲陽極及防污塗料均能使鋼料防蝕，裸鋼之腐蝕速率則因水深而異，不銹鋼易因海生物附著而產生孔蝕，且易在海水中造成間隙腐蝕。(2) 海生物種類因不同碼頭而異，(3) 西 21、22、26、27 號碼頭，第二次附著生物採樣所採獲種類，均較第一次採樣之種類多。</p> <p>(4) 東 2 碼頭的兩次附著生物採樣，採獲種類與優勢種則沒有明顯的變化。</p> <p>(5) 防污塗料之試片上，附著生物之種類與數量都遠多於其他材料試片；且優勢種都為線蟲與苔蘚蟲。(6) 陰極防蝕、不銹鋼、混凝土與裸鋼等四種試片之附著生物種類皆無明顯不同。(7) 四種深度的附著生物種類與數量也有所不同，以中間兩層深度之種類與數量較多。</p>	
交通部運研所 港灣技術研究中心 中山大學	高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究 ^[26] ^[27]	調查高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及附著影響，以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。	2000.01- 2000.12
交通部運研所 港灣技術研究中心	碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究 ^[28]	進行基隆、花蓮、臺中、高雄、蘇澳等	2001.01-2001.12

		五大港口之碼頭鋼板(管)樁調查，藉由對碼頭鋼板(管)樁腐蝕現況之長期監測，得以提供相關之本土資訊，作為設計及維護參考，並整理歸納影響鋼板(管)樁腐蝕之因子探討適用於本島碼頭鋼板(管)樁腐蝕防治方法。	
交通部運研所 港灣技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2) ^[5] 金屬材料水下腐蝕調查研究(2/2) ^[6]	建立臺灣地區長期金屬材料水下腐蝕資料庫，以作為新建及既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考需要，安裝水下金屬曝露試驗架於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門尖山港等國內商港，藉此了解在不同環境、金屬材料、海洋生物附著、海水水質等對港區金屬材料腐蝕之長期研究。	2015.01-2016.12
交通部運研所 港灣技術研究中心	臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 ^[8]	建立臺灣地區長期金屬材料水下腐蝕資料庫(十年期)，以作為新建及既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考需要，安裝水下金屬曝露試驗架於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門尖山港等國內商港，藉此了解在不同環境、金屬材料、海洋生物附著、海水水質等對港區金屬材料腐蝕之長期研究。	2015.01-2025.12

1.4 計畫工作項目

1. 國內外大氣與水下腐蝕文獻蒐集整理分析。

2. 大氣腐蝕因子調查建置：

調查範圍涵蓋臺灣全島區域之試驗場址(點)選定及相關試樣擺放；包含垂直海岸線與平行海岸線之調查規劃，調查區域的選擇須有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵路沿線等)，最終可繪製各腐蝕因子之等位圖。

3. 大氣腐蝕因子調查項目：

包括氣象資料相對濕度、氯鹽(Cl-)與二氧化硫(SO₂)沉積量之調查，藉以分析季節與區域之關聯性。目前已建置氯鹽沉積量調查 67 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 57 個試驗點。

4. 大氣現地暴露試驗：

針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗，建立腐蝕速率與大氣腐蝕因子之資料庫，目前已建置 94 個試驗點。

5. 大氣資料蒐集與分析：

完成氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積量與金屬現地暴露試驗四次現地取樣及試驗調查分析工作並繪製等位圖。

6. 水下金屬材料腐蝕暴露試驗：

針對港工結構材金屬材料進行十年期暴露試驗，為建立臺灣地區長期水下腐蝕資料庫，目前於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門港等國內商港水下進行金屬暴露試驗，將於 110 年進行全島及外島第 5 年金屬試片取樣及化學分析。

7. 水質調查與分析：

每季於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、

布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門港等商港碼頭進行海水成分中導電度、溶氧量、酸鹼度、溫度、氯鹽、硫酸鹽之水質環境因子等項目現場調查與試驗分析工作，收集之相關數據資料皆建置於「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」提供各界查詢。。

8. 研究成果：

大氣腐蝕研究自 2020.01~2020.12 試驗期間共 4 次採樣，依一年期及各季試驗點所調查之

- (1) 109 年 3 月、6 月、9 月及 12 月完成本島及離島大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，並分別於 4 月、7 月、10 月及 110 年 1 月完成金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析。
- (2) 109 年 5 月 11 日出版「2019 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報」並寄送交通部部屬工程單位與中華民國防蝕工程學會參採，以供工程防蝕設計之引用。
- (3) 109 年 11 月 25 日辦理「109 年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會」，邀請部屬各工程管理人員與會廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，並積極推廣臺灣腐蝕環境分類資訊系統於工程界參酌採用，提供熱浸鍍鋅與橋梁防蝕工法等應用，以利公共工程之防蝕設計。
- (4) 腐蝕研究為長期延續計畫，將過去 10 年來(98 年至 108 年)氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積量等劣化因子及金屬腐蝕數據整理歸納繪製趨勢比較圖。
- (5) 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫，建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫。

1.5 預期效益及其應用

1. 瞭解國內金屬材料與環境因子之關聯性並建立金屬於大氣與水下腐蝕速率資料庫。

2. 提供適合國內本土防蝕設計正確基礎數據，降低維護成本，減少重建費用社會成本提昇公共工程品質，延長交通設施使用年限。
3. 推動臺灣腐蝕環境分類資訊系統，並與產官學研結合大力推廣應用，提供產官學界辦理構造物耐久性與防蝕設計之參據。
4. 擴大公路、鐵路、港灣、機場等設施廣泛應用，仿照部頒公路橋梁設計規範鋼結構物防蝕設計，提供交通設施或建物之防蝕指南使用。

第二章 文獻回顧

2.1 大氣腐蝕測試規範

2.1.1 國外 ISO 大氣腐蝕環境分類

大氣腐蝕測試工作有系統之進行，最早可溯及美國 ASTM 的 D-1 及 A-1 兩委員會自 1906 年起分別測試塗料塗裝及金屬被覆之鋼鐵產品，自此開始美國便陸續展開數個二十年計畫分別測試當時最新產品的大氣腐蝕耐蝕性及耐久性。國際標準化組織-ISO 於 1985 年起於全球 13 國 47 處地點進行大氣腐蝕暴露試驗，根據這試驗工作成果，於 1992 年發佈 ISO 9223^[29] (大氣腐蝕性分類)、ISO 9224^[30] (各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225^[31] (污染量量測方法)、及 ISO 9226^[32] (標準試片腐蝕率量測方法)四項標準規範，根據這四項規範，只要在欲工作地點從事一年期之標準試片腐蝕率量測或潤濕時間量測及總污染量量測，根據量測結果，即可定義該處的腐蝕環境區分，再根據對照表即可得到該腐蝕環境區分之腐蝕率指標值。換句話說，ISO 9223 大氣腐蝕性分類標準是根據金屬標準試片在某環境中進行自然暴露試驗所得之腐蝕速率，或綜合某環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類，其中，潤濕時間(τ , Time of Wetness)是以全年中溫度高於 0°C，相對濕度大於 80%之小時數或百分比來區分，環境中大氣污染物濃度的嚴重性則是以 SO₂ 沉積速率與氯化物(海鹽)沉積速率分別進行區分，之後，將環境之腐蝕性依污染量或最初第一年之腐蝕率大小，分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級，C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)。整體流程如圖 2.1 所示。

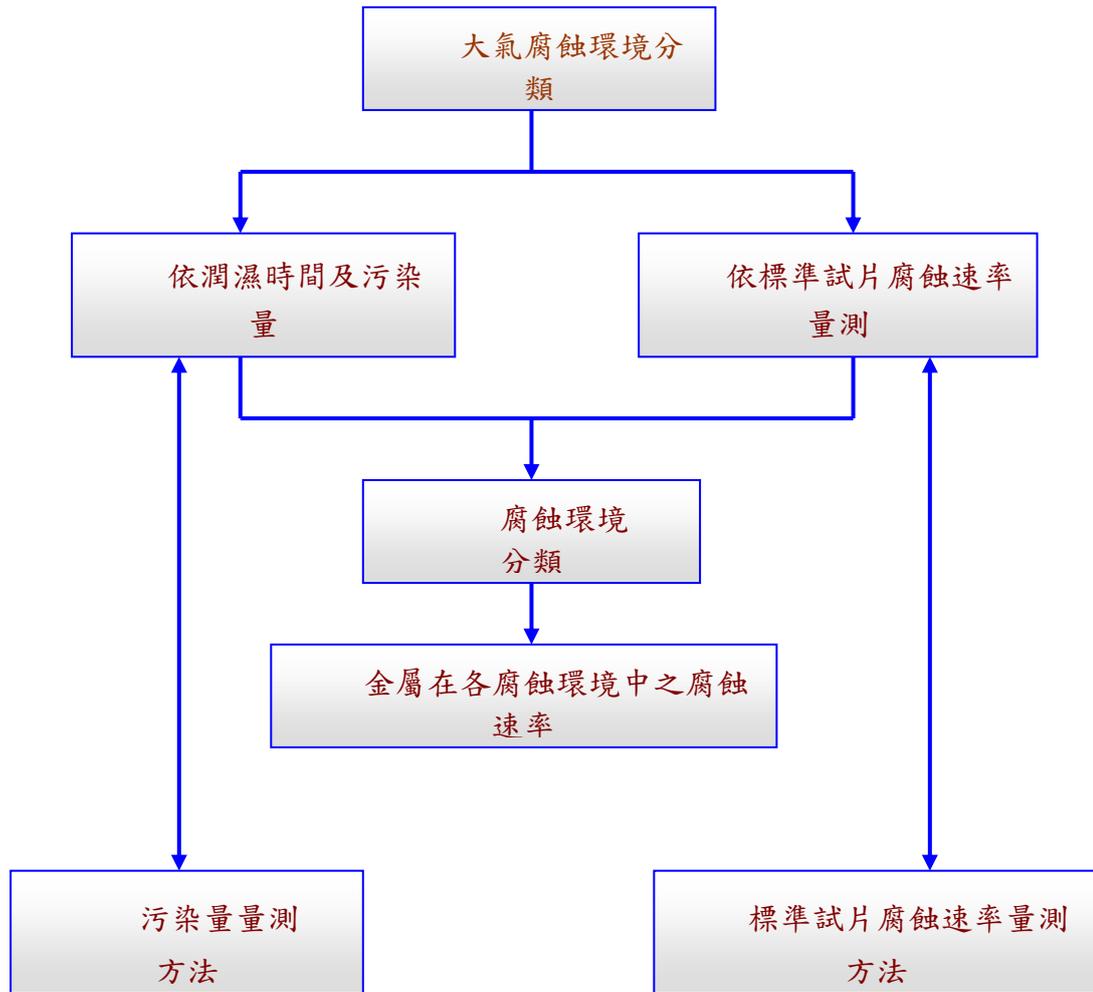


圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類^[19-22]

2.1.2 國外 CLIMATE TEST 大氣腐蝕環境分類

依據 ISO 9226 量測大氣腐蝕速率有兩種方式，板狀試片與螺旋狀金屬試片，板狀試片是傳統的量測方式，而螺旋狀試片 - CLIMATE TEST 則是源自貝爾實驗室(原名為 “Wire-on Bolt Test”)，其目的為用以研究偶合金屬在戶外環境的腐蝕行為，ASTM G116-93^[33]規範為標準測試方式。CLIMATE 是取 Classify Industrial and Marine Atmospheres 的字首，而其測試試片是由兩種不同異金屬(Bi-metallic)所組成，即將細金屬線纏繞在螺桿上產生腐蝕電池，並暴露在大氣環境中約 3-6 個月後，再以細金屬線的重量損失率來評估當地的大氣腐蝕行為。通常金屬線是使用鋁線(AA-1050)纏繞在螺桿上，或者纏繞成螺旋狀，製作規格是螺旋

狀直徑為 2.5cm、鋁線直徑 0.89mm、長度約 90cm、螺桿長度 10cm、直徑 1.27cm、螺牙規格 1/2 UNC。測試裝置由左至右依序為 Al-Plastic、Al-Coil、Al-Cu、Al-Fe 等四個不同組合單元所組成，並且均固定在一方形塑膠板上，如圖 2.2 所示。Al 線繞在塑膠螺桿(Al-Plastic)及 Al 線纏繞成螺旋狀(Al-Coil)兩者皆定義為 Al 線在大氣環境的腐蝕指標 (A.C.I.)。由於鋁線與銅桿在工業性大氣腐蝕環境中有較高的靈敏度，因此取 Al-Cu 組合為工業性環境腐蝕指標，簡稱(I.C.I.) (Industrial Corrosivity Indices)。在海洋性大氣腐蝕環境中則以鋁線繞在鐵桿的靈敏度較高，取 Al-Fe 組合作為海洋性環境腐蝕指標簡稱(M.C.I.) (Marine Corrosivity Indices)，另外；再依據腐蝕指標的高低，將大氣環境區分為腐蝕性"可忽略(Negligible)"，"輕微(Moderate)"，"輕微嚴重(Moderate Severe)"，"嚴重(Severe)"，與"較嚴重(Very Severe)"等五級。

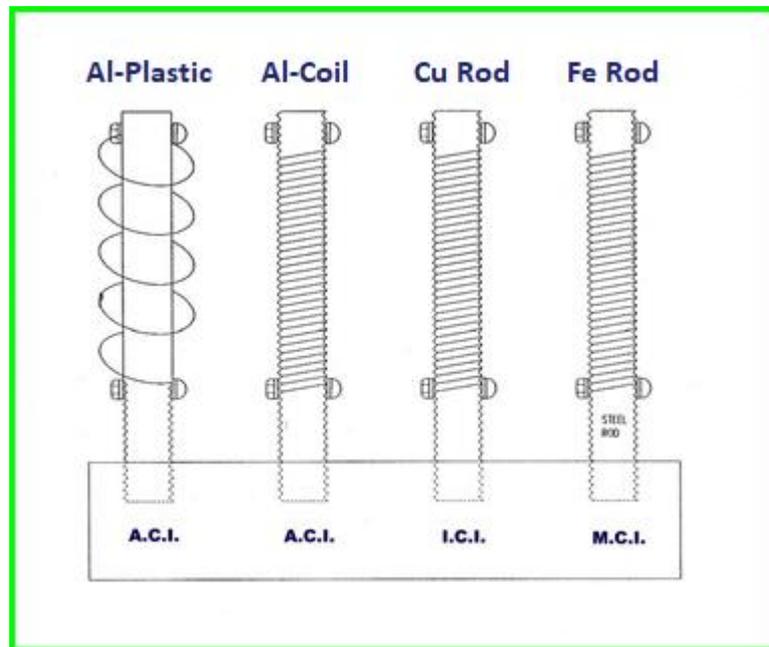


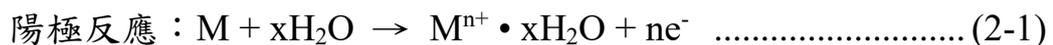
圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試^[23]

2.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範

有鑑於大氣腐蝕測試的重要，經濟部標準檢驗局於民國 83 年起依據國際標準化組織-ISO 規範(ISO 9223、ISO9224、ISO 9225、ISO 9226、ISO8565^[34])，制定一系列之「金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性」國家標準 CNS 規範，包括 CNS13401^[35]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753^[36]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，CNS13754^[37]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122^[38]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，CNS14123^[39]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)等五項規範。其中針對大氣腐蝕劣化因子所須的環境資料，於 CNS14123 中規定，須具備氣溫(°C)、相對濕度(%)、降雨量(mm/day)、日照幅射的時間及強度、二氧化硫沉積量(CNS 13754，mg/m²/day or μg/m³)、與只適用於海邊測試場地之氯鹽沉積速率(CNS 13754，mg/m²/day)等參數；其他因素，如降雨時間、濕潤時間、風速及風向、雨水 pH 值、氣體量及特殊的污染物等，皆可依測試條件的要求而加以蒐集量測。

2.2 大氣腐蝕因子介紹

大氣腐蝕依腐蝕反應可分為化學與電化學反應。在乾燥無水的大氣環境中，金屬表面因氧化、硫化而造成變色或失去金屬光澤等，是為化學腐蝕，而其它劣化行為，則多為電化學反應。即金屬表面為薄層電解液下的腐蝕過程，電解液薄膜是由空氣中的水分於金屬表面吸附、凝聚、及溶有空氣中污染物質所形成，陽極反應為金屬的溶解和水化反應，陰極反應為氧的還原反應，其反應過程如下：



式中，M 代表金屬，Mⁿ⁺為 n 價金屬離子，Mⁿ⁺·xH₂O 為金屬離子化水合物。

陰極反應：在中性或鹼性介質中， $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ (2-2)

酸性介質(如酸雨)中， $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ (2-3)

由於水、氧在水膜間的擴散率、大氣中的氯離子含量、以及空氣中的污染物質如 SO_2 、灰塵等，均會影響金屬在大氣中的腐蝕速率，這些腐蝕因子在金屬大氣腐蝕過程中所扮演的角色如下^[40]：

1. 水

水是引起大氣腐蝕最重要的因素。經驗顯示，唯有當大氣的相對濕度高於某一臨界值時，大氣腐蝕才會發生；因此大氣腐蝕也是一種電化學腐蝕，在特別乾燥地區，大氣腐蝕幾乎不會發生，但在熱帶潮濕地區，腐蝕速率相對較高。大氣腐蝕中，水是以液狀薄膜附著於金屬表面，水固化成冰時，大氣腐蝕便停止。由於雨水、霧氣等是液膜的主要來源，但雨水扮演的角色較複雜，它可能會帶來高溶解度物質而加速腐蝕速率，但也可能沖走一些附著的腐蝕性物質而抑制腐蝕；同時，它亦可能沖走一些具有保護作用的腐蝕生成物，進而加速腐蝕。由霧氣所生成的液膜雖薄，但因氧氣及其他腐蝕性物質的飽和性，反而具有較強的腐蝕性。

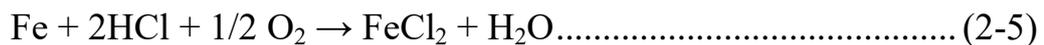
2. 氧

當金屬發生大氣腐蝕時，表面液膜很薄，氧氣容易到達陰極表面，且氧的平衡電位較氫為正，所以，金屬在有氧存在的溶液中，首先發生的反應為氧的還原反應。此外，在大氣腐蝕的條件下，氧通過液膜到達金屬表面的速度很快，所以液膜愈薄，擴散速度愈快，陰極氧的還原反應將促使陽極反應繼續進行；但當液膜未形成時，氧的陰極還原反應將無法進行。

3. 氯離子

氯化物在金屬表面上有助於在較低的相對濕度形成液膜，其在腐蝕過程中會阻止氧化膜(oxide films)的形成，進而有助於陰極上氧的

還原反應；然而當金屬表面已有氧化膜或鈍態膜存在時，氯離子會破壞鈍態膜，造成孔蝕。Cl⁻與鐵的作用較特別，由於 FeCl₂ 不是緊密結合之化合物，所以 Cl⁻很容易從氯化亞鐵中釋放出來，再與其他金屬作用，進而加速腐蝕反應。過程如下：

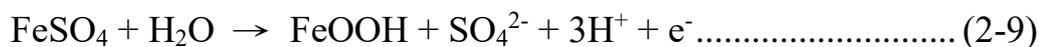


4. 空氣中的污染物質 SO₂

SO₂ 在水溶液中具有極高的溶解度(16.2g SO₂/100g H₂O)，且 SO₂ 與 O₂ 作用形成 SO₄²⁻再和鐵循環作用，將會加速腐蝕反應。Florionovich 等人指出^[41]，在固定電極電位時，陽極溶解溶解電流是 [OH⁻]與[SO₄²⁻]的共同函數，在含 SO₂ 的大氣中，腐蝕反應步驟如下：



由於 FeSO₄ 會與 H₂O 作用生成 FeOOH，而釋放出來的 SO₄²⁻則再次與 FeOH 作用：



因而加速腐蝕反應。

5. 灰塵

不同地區的灰塵有不同的成份，在鄉村地區通常是來自地表的有機或無機物質，而在都市或工業地區則含有高濃度的工業污染物質及水溶性無機物質，如 SO₂，NO₂ 等。灰塵將有助於液膜在較低相對濕度下於金屬表面生成。

2.3 影響大氣腐蝕的因素

1. 大氣的相對濕度

大氣腐蝕是一種水膜下的電化學反應，空氣中水分在金屬表面凝聚生成水膜，與空氣中氧氣通過水膜進入金屬表面，是產生大氣腐蝕的基本條件。水膜的形成與大氣中的相對濕度密切相關，相對濕度的定義是指在某一溫度下，空氣中的水蒸氣含量與在該溫度下空氣中所能容納的水蒸氣最大含量之比值。由於不同物質或同一物質的不同表面狀態，對於大氣中水分的吸附能力不同，因此，當空氣中相對濕度到達某一臨界值時，水分將在金屬表面形成水膜，促使電化學反應產生、腐蝕速率增加，此時的相對濕度值稱為金屬腐蝕臨界相對濕度，如鐵的腐蝕臨界相對濕度為 65%^[42]。此外，空氣中相對濕度還影響金屬表面水膜厚度與乾濕交替的頻率；如金屬表面有較薄的水膜存在時，大氣中的氧容易擴散至金屬表面，加速腐蝕；當水膜變厚時，氧的擴散阻力增加，腐蝕速率下降。

2. 表面潤濕時間

依國際標準 ISO 9223 的定義，表面潤濕時間是指產生大氣腐蝕的電解質膜，以吸附或液態膜型式覆蓋在金屬表面上的時間；潤濕時間愈長，腐蝕總量愈大。而金屬表面的潤濕，則是由露水、雨水、高濕度水分凝聚、甚至溶化的雪水所引起。

3. 日照時間

日照的紫外光會促使高分子材料及塗層老化，因此日照時間對於高分子材料及塗層，關係較為密切；但對金屬材料而言，日照時間長，將使金屬表面水膜消失，降低表面潤濕時間，腐蝕總量減少。

4. 氣溫

溫度的變化能影響金屬表面水蒸氣的凝聚、水膜中各腐蝕氣體和鹽類的溶解度、水膜電阻、以及腐蝕過程中陰、陽極的反應速度。

一般而言，當相對濕度低於金屬臨界相對濕度時，溫度對大氣腐蝕的影響很小，即無論氣溫多高，因環境乾燥，金屬腐蝕輕微；但當相對濕度達到金屬臨界相對濕度時，溫度每升高 10°C，反應速率增加為原來之 2 倍。

5. 降雨

降雨對大氣腐蝕有兩種影響，一方面因降雨增加，大氣中的相對濕度增加，延長了金屬表面的潤濕時間，同時也因降雨的沖刷，破壞了金屬表面腐蝕產物的保護性，加速大氣腐蝕；但另一方面，因降雨沖洗掉金屬表面的污染物與灰塵，減少了液膜的腐蝕性，減緩大氣腐蝕。此外，工業大氣中的雨水溶解了空氣中的污染物，如 SO₂、Cl⁻等，亦加速大氣腐蝕的產生。

6. 風速與風向

風速對表面液膜的乾濕交替頻率有一定的影響，在風沙環境中，風速過大對金屬表面會有磨耗作用。而在污染源的環境中(如工廠的排煙、海邊的鹽粒子)，風向會影響污染物的傳播，直接關係到大氣腐蝕速率。

7. 降塵

固體塵粒對腐蝕的影響可分為 3 類：(1)塵粒本身具有可溶性與腐蝕性，當溶解於液膜中時，成為腐蝕性介質，(2)塵粒本身無腐蝕性，亦不溶解(如碳粒)，但它能吸附腐蝕物質，當溶解於液膜中時，加速腐蝕反應，(3) 塵粒本身無腐蝕性與吸附性(如沙粒)，但落在金屬表面，可能使沙粒與金屬表面間形成縫隙，易於水分凝聚，產生局部腐蝕。

2.4 鋼材在海水之腐蝕

金屬發生腐蝕為一自然的反應程序，大多數的金屬材料曝露於宇宙大氣環境下，都會自然發生物質退化，逐漸被腐蝕的現象，尤其是在酸、鹼或海水等環境下，腐蝕更趨嚴重。腐蝕是電化學反應之行為，其間涉及電子的轉移，如金屬由原子狀態因放出電子而變成金屬離子，或金屬離子因獲得電子而成為金屬，因而構成氧化(陽極)及還原(陰極)反應之發生。因此，任何腐蝕的發生，必須具有陽極反應和陰極反應以及能使電子或離子流動轉移之導電途徑(亦即電解質)，形成一封閉的導電迴路，如圖 2.3 所示。

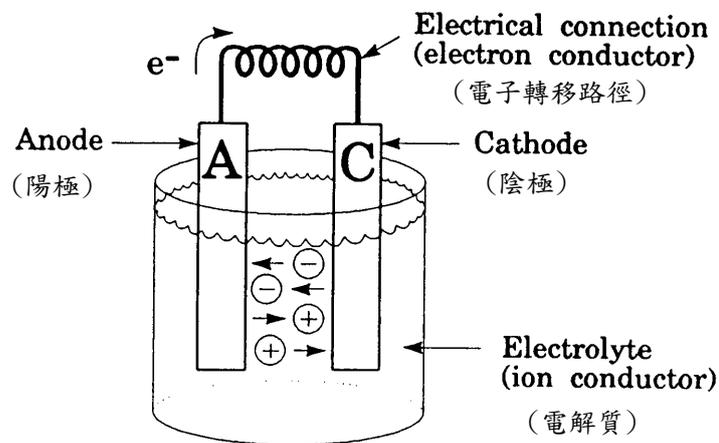
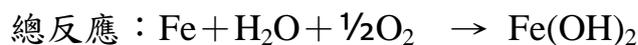
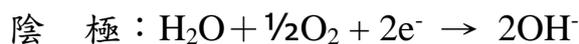
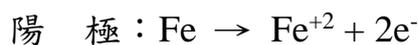
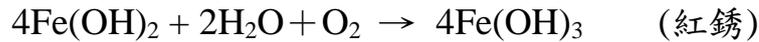


圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖^[42]

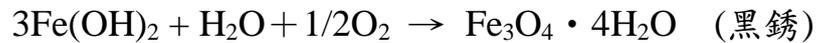
海水中之鋼材如鋼板樁之表面，因同時具有許多高活性區域(陽極反應)與鈍化區域(陰極反應)所形成之許多小腐蝕電池(corrosion cell)系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。鋼材在海水中發生腐蝕之電化學反應程序如下：



總反應式中之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 繼續反應，生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 產物，其化學反應式如下：



或



2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子

2.5.1 曝露區域

從許多調查研究發現，由於彼此接觸(曝露)環境不同，海洋結構物腐蝕的部位及速率有很明顯的差異，其腐蝕形態不同。因此為方便區分與探討，特將海洋環境區分成五個曝露區域，各區域與腐蝕速率之關係如圖 2.4 所示。

1. 大氣帶

這部份之鋼結構物不接觸海水，表面完全曝露接觸大氣中之各種介質，諸如氣體、日照……等大自然介質，由於海洋大氣中含有較高濃度之海鹽粒子，加上濕度大、日照、溫度之變化，致使碳鋼材料外表很容易受到侵蝕，其腐蝕速率為一般內陸地區大氣腐蝕的 2~5 倍。

2. 飛沫帶

自平均高潮位以上至海面大氣帶下端，屬於海洋大氣與海水交界面，鋼板樁曝露於此範圍內時，由於不斷反覆地受到海浪的潑濺以及日曬乾燥，產生乾濕循環作用，致使附著鋼材表面之鹽份及氧氣濃度不斷增濃，腐蝕最為嚴重，腐蝕速率很大，為五個曝露區域中，腐蝕最嚴重的部位。一般低碳鋼如沒有任何防蝕處理時，其腐蝕速率可達 0.5~1.0mm/yr.，約為海中帶(海水全浸區)的 5~10 倍。

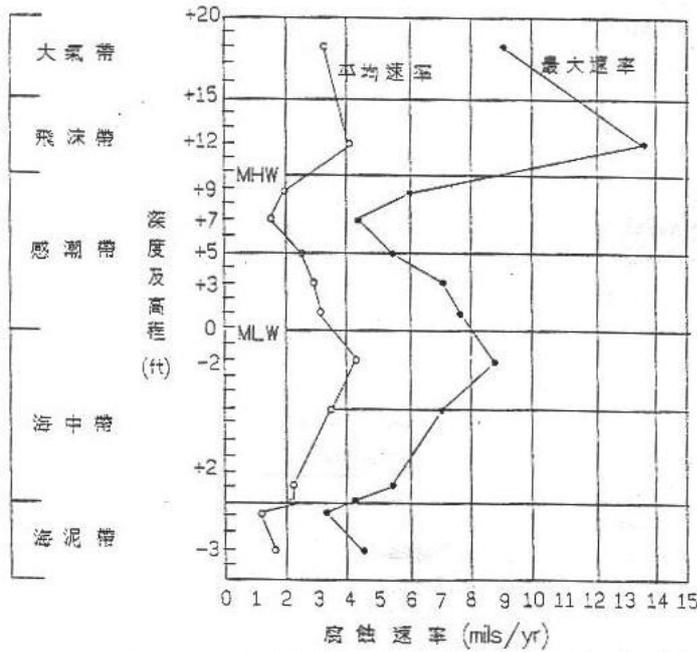


圖 2.4 鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係^[43]

3. 感潮(潮汐)帶

此區域介於高低潮位之間，由於受到海水漲退潮之變化，鋼板樁表面週期性的接觸海水浸泡及曝露於大氣中，猶如進行乾濕循環作用。由於空氣與海水波浪之交夾作用，致使海水中之溶氧濃度高，因而在感潮帶下方緊鄰海中帶之部份，恰可形成一個氧氣濃淡電池作用之現象。因此溶氧量高之感潮帶中之鋼板，可視為一陰極反應面積，腐蝕速率低，而低潮位下約 1 米處(亦即海中帶部份)，因溶氧量低，故可將海中帶內之鋼板當成陽極反應部位，因此腐蝕量較大。由於受到氧氣濃淡電池作用，感潮帶中之腐蝕速率為五個曝露區域中最低者。

4. 海中帶

自低潮位下端至海泥(床)帶間，在此範圍內整個結構體完全浸泡於海水中。此區域之上端邊緣與最低潮位緊鄰的部位，因氧氣濃淡電池之作用，曝露於海中帶之鋼板可視為一陽極反應區域，因此海中帶上端部位之鋼板腐蝕速率很大，極需做適當的防蝕保護措施。

在此區域中，海生物之附著、海流之沖擊、水溫及溶氧量等因素，亦會影響腐蝕速率。海水中鋼鐵之腐蝕速率一般為 0.1~0.2mm/yr。

5. 海泥(床)帶

鋼板(管)樁埋入於海底土層之部份，由於與海水接觸面較小，鋼材之腐蝕速率相對很小。但是在污染的海域中，如有硫化氫(H_2S)或海泥中有硫酸還原細菌存在的話，則鋼材的腐蝕性會增加，腐蝕速率變大。

2.5.2 海水的性質

海水是一個極複雜的水溶液，為大自然環境下一個包容性非常大的緩衝溶液，碼頭鋼板(管)樁絕大部份(約 80%)都浸泡於海水溶液下，其間金屬材料發生腐蝕之變化很大，因此有關海水之化性、物性及相關影響因素都必須深入探討之。

1. 含鹽量

海水與其它水溶液最大的不同點，即海水含有很高的鹽份(以氯離子濃度或鹽度表示之)，亦是鋼鐵材料最易發生電化學腐蝕反應之環境。在廣闊的大海中，海水中大約含有 3.5%(重量百分比)之氯化鈉($NaCl$)或鹽度(Salinity)約介於 32~36 之間。在封閉的海灣水域，由於蒸發作用致使海水鹽度較高，例如紅海其鹽度約為 41，而在有河川流入之海口附近，因受陸地淡水溪流之稀釋，則鹽度較低。

海水中之 Cl^- 能穿透破壞鋼鐵表面之鈍化性質或阻止鈍態保護膜之生成，因而使鋼鐵表面發生腐蝕。據美國海軍研究人員 Reinhart 在太平洋海域所做試驗發現^[44]，海水含鹽量之多寡與溶氧量、pH 值、溫度、水深等均有相互關係，如圖 2.5 所示。

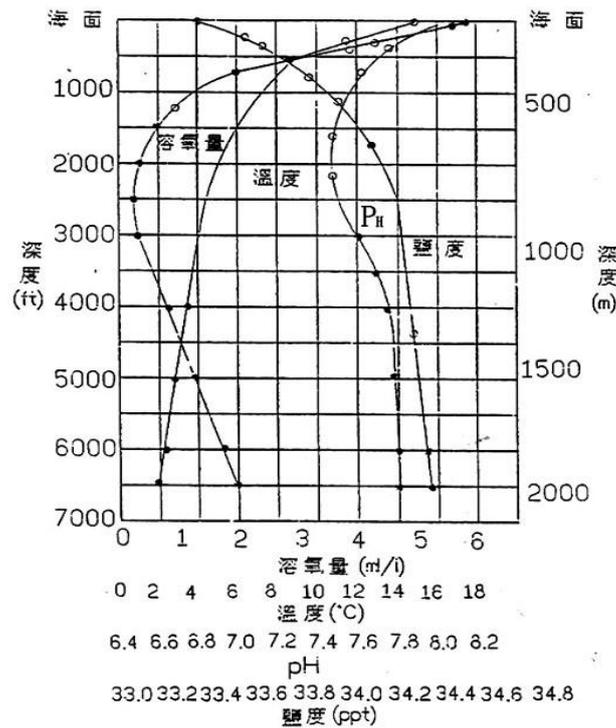


圖 2.5 海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係^[44]

2. 溫度

海水之表面溫度，通常受到地球上緯度之影響而有所變化。其變化範圍從極地 -2°C 至赤道 35°C 之間。溫度之變化，對海水之化性、物性及海洋（微）生物滋長等都有相當密切關係。因此從金屬材料腐蝕反應觀點下，海水溫度之變化就變成一個極複雜的變數。一般而言，溫度是影響動力學上之反應速率及質量傳送。在動力學理論控制下，溫度每上昇 10°K ，腐蝕速率則增加一倍。當海水溫度升高時，致使鋼材變成為較不貴重電位之金屬，此時鋼材之腐蝕電位開始移向電位更負之方向，亦即鋼材更容易進行腐蝕反應。港灣結構物等開放系統，隨溫度上升，溶氧量減少，鋼鐵之腐蝕速率變大，而如海水管線等密閉系統，雖然沒有溶氧量減少之發生，腐蝕速率仍隨溫度之上升而遞增。

3. pH 值

海水通常為一含鹼性之水溶液，海水之 pH 值是表示海水中多種基本離子與大氣層中之二氧化碳(CO_2)進入海水之量，達成平衡狀況之數值。一般海水之 pH 值正常情況下是介於 8.1 至 8.3 之間。但在停滯不流動之港灣海域中或是海水中之有機物體分解，一方面消耗海水中之溶氧量，一方面受到厭氧細菌作用產生大量之 H_2S 下，亦可能使海水變成較酸性，海水之 pH 值降低至 7.0 以下。但在較接近海水表面之部位，當海水中之植物進行光合作用時，將會消耗海水中之 CO_2 量，此時海水之 pH 值可能增高而超過 9.0 以上。又 pH 值之變化隨著海水之深度、溫度、溶氧量…等因素之不同而異，如圖 2.6 所示^[35]。

一般金屬材料在水溶液之腐蝕反應速率與 pH 值有密切關係^[45]，但是當 pH 值介於 4~10 之間時，金屬維持一定腐蝕速率如圖 2.6 所示，而僅與氧氣擴散至金屬表面之速率有關。

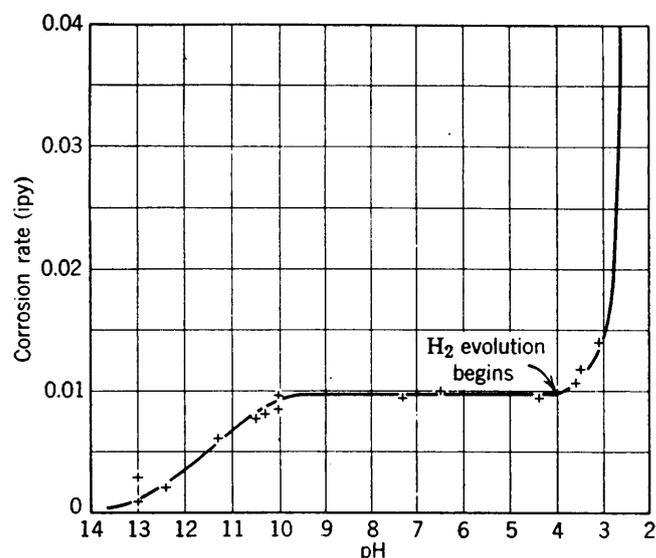


圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係^[45]

通常鋼材在海水中極易發生腐蝕，金屬表面生成一層阻礙氧氣擴散之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 膜，隨著腐蝕之進行，此膜不斷的更新滋長，並與鹼性海水接觸，因此鋼鐵表面之 pH 值約為 9.5。當海水 pH 值低於 4 時，鋼材表面之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 鈍態保護膜被溶解，鋼鐵表面之 pH 值降低。鋼材之次表面層不斷地析出且更能直接與海水接觸，腐蝕速率增大約等於氫氣生成與氧氣去極化作用所產生之腐蝕速率。而 pH 值大於 10 時，增加環境之鹼性，亦增加鋼鐵表面之 pH 值，因此鋼鐵表面之鈍態保護膜不易溶解，腐蝕速率大幅降低。

4. 溶氧量

氧是海水中金屬發生腐蝕最主要的催助劑。主要原因乃是鋼材腐蝕電化學反應過程中，氧在陰極半反應部份中與水作用生成 OH^- ， OH^- 再與陽極半反應部份中溶解出之 Fe^{+2} 作用，形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 之腐蝕生成物，如果氧氣供應充足時，則 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 繼續繁衍生成各種不同之鐵銹生成物。海水中鋼鐵之腐蝕速率依其表面之溶氧量而定，若海水之溶氧量增加時，則接觸鋼鐵表面之氧量增加，其腐蝕速率增大，相對關係如圖 2.7 所示^[46]。在正常的大氣壓下，海水之溶氧量與溫度及鹽度維持一平衡關係。

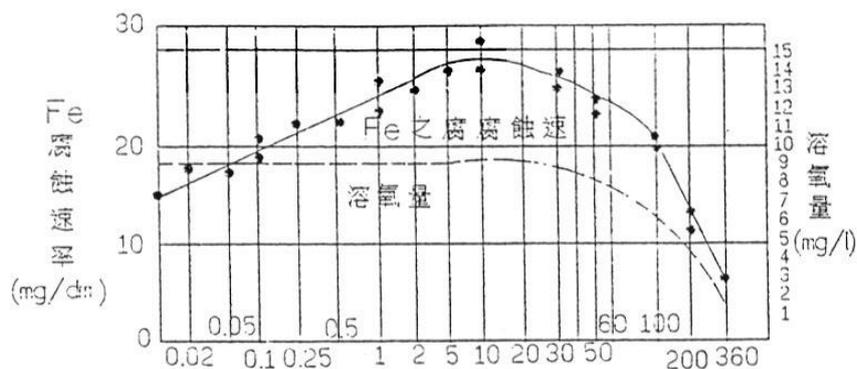


圖 2.7 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係^[46]

溶氧量亦隨海水深度而有所差異，主要受到海中植物進行光合作用或有機生物體之分解作用，而致使溶氧量有所消長。在深海處

溶氧量低，對大多數之金屬而言，其腐蝕速率相對亦低。溶氧量亦受海水流速之增大而增濃，但受某些好氧細菌之作用(消耗)而降低濃度。

5. 導電度(conductivity)

海水之導電度是決定金屬腐蝕量多寡之一個重要因素，尤其是在有伽伐尼偶合作用(Galvanic coupling)及金屬表面局部有間隙存在的地方。從腐蝕工程師之觀點來看，海水與其它水溶液比較時，最主要的特徵是海水具有很高的比導電度，約比一般水溶液高 250 倍以上。海水之高比導電度容易造成金屬表面大面積的發生腐蝕反應，尤其是金屬表面之陽極面積小而陰極面積大時，腐蝕更是嚴重，最後形成局部孔蝕或間隙腐蝕。導電度之倒數謂之比電阻(resistivity)，為陰極防蝕設計上，陽極材料放電(消耗)大小之主要影響因子之一。

6. 深度

海水深度對金屬腐蝕之影響，現有公開的研究調查資料並不多。美國海軍試驗站研究人員於 1966 年，曾在太平洋的試驗站做深海腐蝕試驗，結果顯示：腐蝕速率隨著深度之增加而呈遞減趨勢，但亦有例外。如深至海床泥土時，若有硫化化合物存在時，更能助長厭氧性之硫酸還原菌之滋長，最後更可能加速金屬之腐蝕反應速率。

7. 流速

海水流速對金屬腐蝕速率有多方面的影響，它不但能增加較易到達接觸金屬表面之溶氧量，又能因海流衝擊之機械效應，去除金屬表面鈍態保護膜，更促使氧氣較易對金屬表面進行擴散及濃度極化，造成金屬發生腐蝕^[47]。圖 2.8 為腐蝕速率與海水流速之關係。

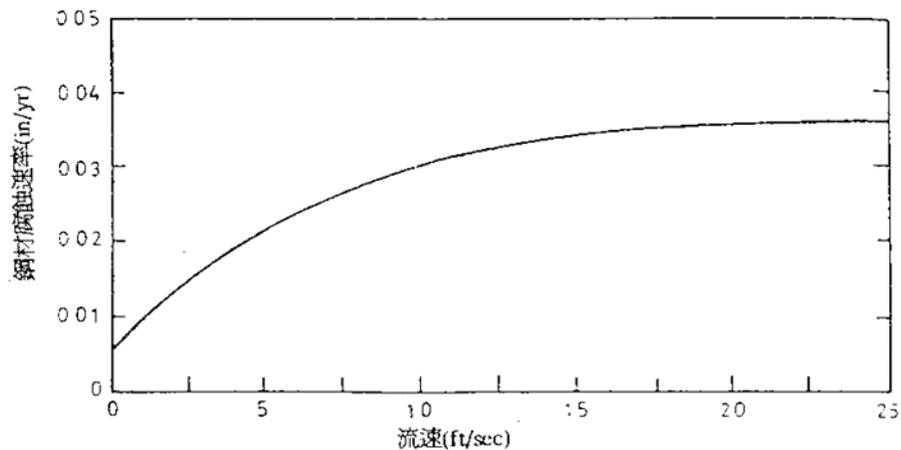


圖2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係^[47]

8. 迷失電流

迷失電流乃指不沿正規路徑，而走其它路徑流通之電流謂之。一旦這種迷失電流進入金屬結構物時，在離開結構物之處，會發生電蝕現象並加速腐蝕速率。海洋結構物諸如碼頭鋼板樁、油井平臺，船舶停泊港口卸貨或進行電焊維修工程時或安裝防蝕系統(外加電流)時，其供電設備，諸如發電機，直流電源供應器等，可能發生斷路或漏電，這些電流可能經由船殼或直接流入海水中，由於海水是良好之電解質，更容易將這些電流傳導至鋼板樁等金屬結構物，迷失電流一旦進入結構物，則會加速腐蝕速率，碼頭鋼板樁遭受迷失電流襲擊的過程如圖 2.9 所示^[48]。通常一片金屬表面，在陽極部位(金屬溶解釋出離子)由於受到迷失電流的影響，所造成腐蝕量可由法拉第定律計算出。例如一安培直流電之迷失電流，流經鋼鐵結構物至海水中，每年將可腐蝕掉結構物約 9.1kg 之鋼鐵。

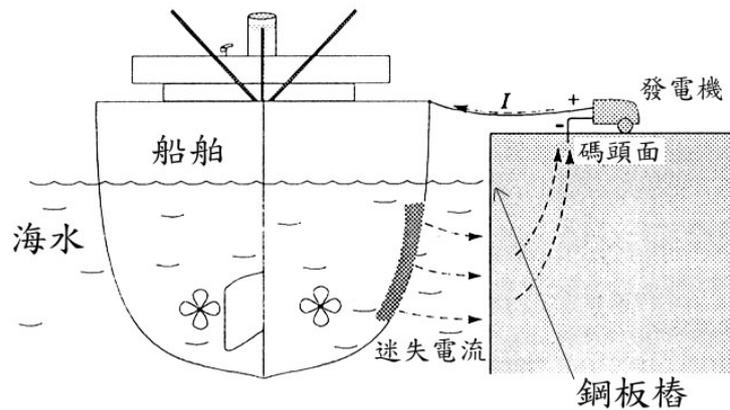


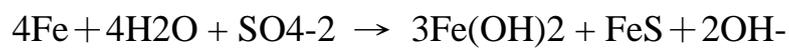
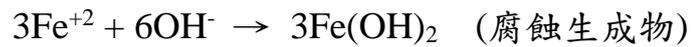
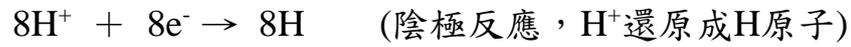
圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形^[48]

9. 海生物附著

海生物附著對鋼鐵之腐蝕，並不是一般腐蝕型態之一。它是一種因海生物有機體附著，致使金屬劣化。海水中包含有許多各種不同的有機生物體等，這些有機生物體有微污生物諸如細菌等，及巨污生物諸如海藻、膝壺、貝類等。海洋結構物浸泡海水中常受到海生物附著所困擾^[38]。由於海生物所排放之黏液(slime)容易附著於結構物表面上，接著形成生物黏液膜，萌芽的固著微生物體持久大量的附著，最後繁殖形成巨大的附著生物體，造成結構體局部的腐蝕劣化及荷重增加。海生物之種類及繁殖受到海水深度、溫度、光度及滋養等因素影響，同時亦因季節、潮汐等變化而異。海生物附著於鋼板樁，其發生腐蝕行為之過程，有下列幾種方式：

- (1) 直接對陰極或陽極產生去極化作用，影響腐蝕之特性或加速腐蝕速率。
- (2) 由於生物新陳代謝作用或分泌物釋出有機酸液，製造具腐蝕性之環境，鋼材更易與酸性反應，造成嚴重局部孔蝕。
- (3) 破壞金屬表面鈍態保護膜。
- (4) 形成金屬表面有氧氣濃淡電池作用。
- (5) 在金屬表面附近因有硫化物生成，使硫酸還原菌更具腐蝕侵蝕。

硫酸還原菌對鋼材之腐蝕機理如下：(厭氧性細菌)



第三章 研究方法與試驗點位置資料圖表

3.1 氯鹽沉積速率調查

3.1.1 氯鹽沉積速率試驗點

本研究以垂直海岸線落鹽量之調查，自距離海岸線 3 km 為邊界，即垂直海岸線試驗點的佈設以離海岸線距離，朝內陸沿一條直線設置，每條測線以離海岸線算起，分別約於臨海、100m、300m、1 km、3 km 之距離處設置試驗點。設置站址如下：

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

綜整如表 3-1 與圖 3.1。

表 3-1 氣鹽沉積速率調查試驗點規劃分類表

	試驗線(點)規劃	所在地區	環境分類
垂直海岸線之試驗線	基隆試驗線	基隆市	海洋環境、鄉村環境
	桃園試驗線(大潭電廠)	桃園市觀音區	海洋環境、鄉村環境
	臺中港試驗線	臺中市梧棲區、沙鹿區	海洋環境、鄉村環境
	臺塑六輕試驗線	雲林縣麥寮鄉	海洋環境、工業環境
	高雄港試驗線	高雄市	海洋環境、都市環境
	核三廠試驗線	屏東縣恆春鎮	海洋環境、鄉村環境
	蘇澳港試驗線	宜蘭縣蘇澳鎮	海洋環境、鄉村環境
	花蓮港試驗線	花蓮市、花蓮縣吉安鄉	海洋環境、鄉村環境



圖 3.1 氣鹽沉積速率調查位置

3.1.2 氯鹽沉積速率計算

本計畫參考 CNS 13754 (ISO 9225) 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)規範，安裝氯鹽採集裝置。氯鹽沉積量採集裝置是以濕燭法進行(如圖 3.2 及圖 3.3)，其原理為使用一個濕纖維織物表面，在已知面積的條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量。計算所得之氯鹽沉積率，以 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 表示。

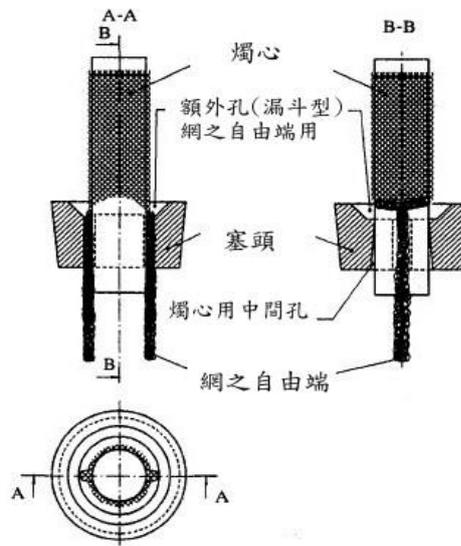


圖 3.2 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)

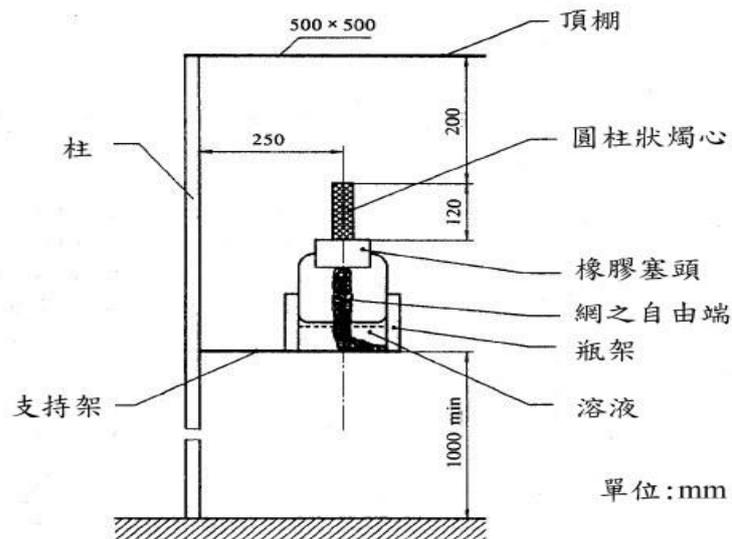


圖 3.3 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)

各試驗點暴露後回收的紗布以定量的去離子水(約 50 ml)沖洗，再依環保署水中陰離子檢測方法-離子層析法(NIEA W415.52B)之離子層析儀測定水中之氯離子含量。氯鹽之沉積速率， $R(\text{Cl}^-)$ ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)，依下式計算：

$$R(\text{Cl}^-) = \frac{m}{A \times t} \dots\dots\dots (3.1)$$

式中， $R(\text{Cl}^-)$ = 氯化物沉積速率($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)

m =試樣溶液之氯離子總質量(mg)

A =暴露網表面積(m^2)

t =暴露時間，天(day)

3.2 二氧化硫沉積速率調查

3.2.1 二氧化硫沉積速率試驗點

大氣中廢氣的污染程度決定了當地大氣的腐蝕性，若排放的廢氣中含有大量的 SO_2 與 H_2S ，這些氣體在大氣中會形成酸雨，且當這些硫化物溶於水以水膜形式存在時，將會形成強腐蝕介質，加速金屬腐蝕。本研究針對二氧化硫沉積速率調查試驗點的佈設，主要以都市地區、工業地區、石化與火力電廠附近為主設置站址如下：

- (1) 都市地區：臺北市，選取交通頻繁處，共 1 個試驗點。
- (2) 工業地區：各工業區服務中心，共 5 個試驗點。
- (3) 石化與火力電廠：高雄煉油廠、中油林園廠、大潭 100m、大潭 500m、通霄、臺中、興達，共有 6 個試驗點。
- (4) 臺灣西部南北縱向：高鐵沿線車站，地點包括高鐵臺中站、嘉義站、左營站，共有 3 個試驗點。

綜整如表 3-2 與圖 3.4。

表 3-2 二氧化硫沉積速率調查試驗點分佈表

縣(市)	試驗點位置
臺北市	臺北市自來水事業處
桃園市	觀音工業區(服務中心)、桃園試驗線 100m(大潭電廠)、桃園試驗線 500m(大潭電廠)
臺中市	臺中火力電廠、通霄火力電廠、高鐵臺中站
彰化縣	彰濱工業區
嘉義縣	高鐵嘉義站
臺南市	興達火力電廠
高雄市	臨海工業區、大發工業區、中油林園廠、高雄煉油廠、高鐵左營站
宜蘭縣	龍德工業區

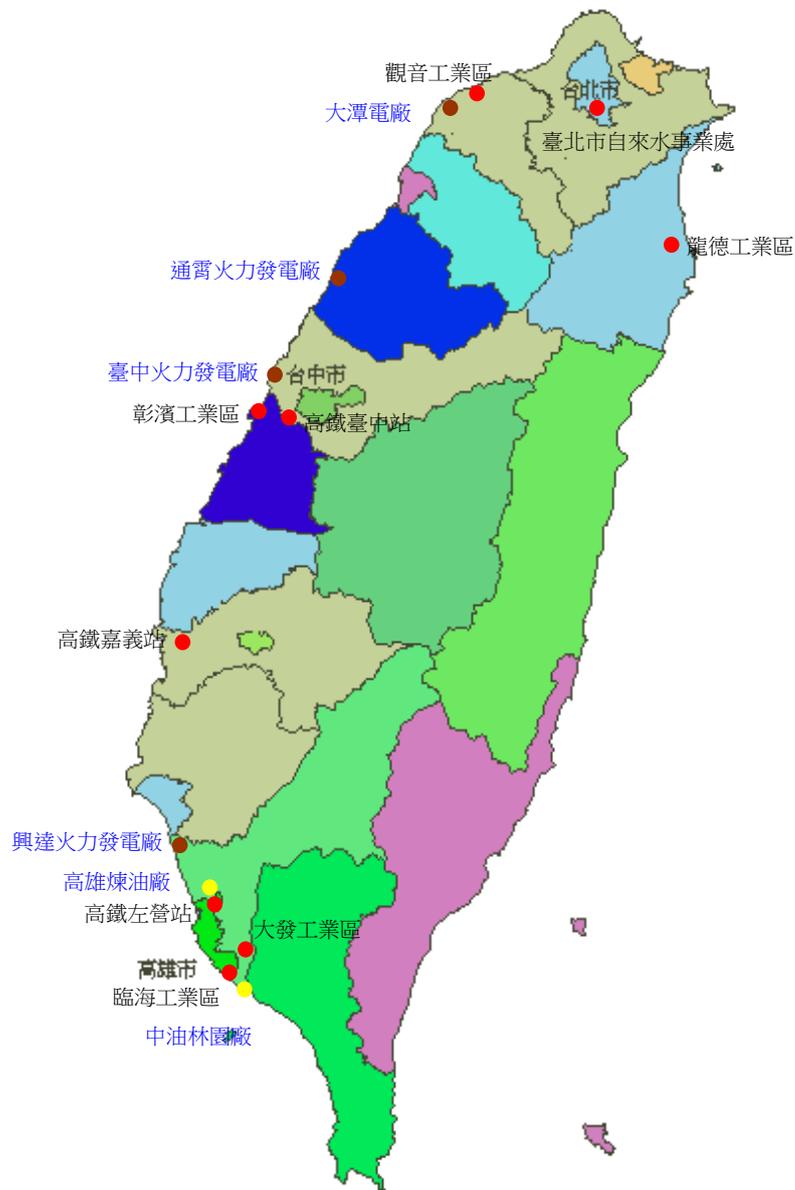


圖 3.4 二氧化硫沉積速率調查位置圖

3.2.2 二氧化硫沉積速率計算

本計畫參考 CNS 13754 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)規範，二氧化硫沉積量採集裝置是以二氧化硫在二氧化鉛硫酸化平板之沉積速率測定(如圖 3.5)，其原理為大氣中二氧化硫與二氧化鉛會反應形成硫酸鉛，暴露一段時間後回收該平板，並針對平板上的附著物進行硫酸鹽分析以測定二氧化硫之含量，二氧化硫的沉積量以 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 表示。

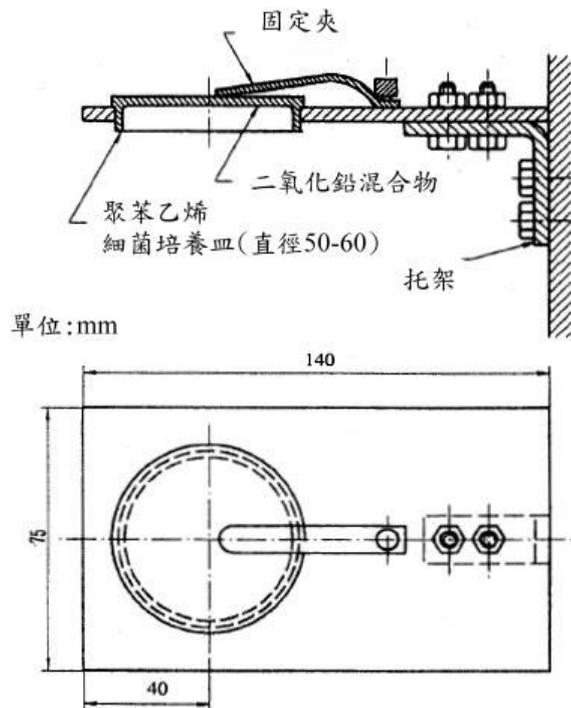


圖 3.5 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

各試驗點暴露後回收的硫酸化平板依環保署水中陰離子檢測方法—離子層析法(NIEA W415.52B)測定，即使用碳酸鈉溶液先移出並溶解硫酸化平板之內容物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量。二氧化硫之沉積速率之計算如下：

$$R(\text{SO}_2) = \frac{(m_1 - m_0) \times 16.67}{A \times t \times 1000} \dots\dots\dots (3.2)$$

式中， $R(\text{SO}_2)$ = 二氧化硫沉積速率($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)

m_0 =空白平板(未暴露)測試之硫酸鹽質量(μg)

m_1 =每一平板之硫酸鹽質量(μg)

A =平板面積(m^2)

t =暴露時間，天(day)

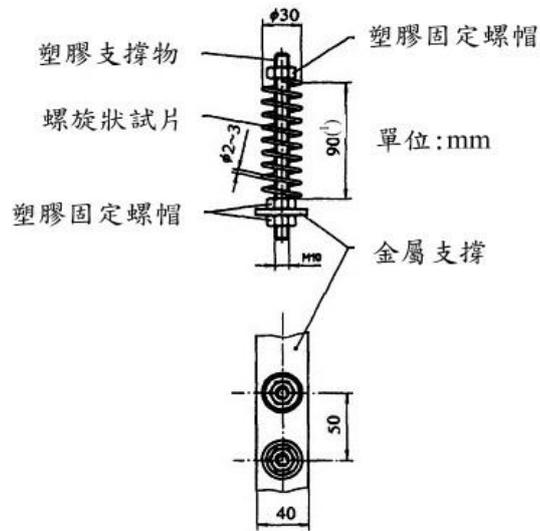
3.3 試片腐蝕速率分析方法

3.3.1 現地暴露試驗點

本研究針對碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗並以重量損失法計算其腐蝕速率。試片製作的方式參考 CNS 13753 (ISO 9226)大氣腐蝕性測定標準試片製作，採用螺旋狀標準試片(如圖 3.8)，試片的材料如下：1)碳鋼：非合金碳鋼($Cu=0.03\sim 0.10\%$, $P < 0.07\%$)，2)鋅：98.5%以上之純度，3)銅：99.5%以上之純度，4)鋁：99.5%以上之純度；將以上金屬之線材，線材直徑 2~3 mm，碳鋼線材直徑為 2.65mm，鋅線材直徑為 2.35mm，銅線材直徑為 3.0mm，鋁線材直徑為 2.4mm 剪取約 1000 mm 長度，纏繞在直徑為 24 mm 的圓棒上，製成螺旋狀試片。設置站址與如圖 3.6 所示。



圖 3.6 現地暴露試驗(碳鋼、鋅、鋁、銅螺旋狀試片)試驗點分佈圖



註1 線材兩端插入支撐物間之距離

圖 3.7 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)

3.3.2 現地暴露試驗計算

將各試驗點測試後每季回收的試片進行腐蝕速率量測。碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬試片之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122 (ISO 8407)金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。螺旋狀金屬試片之腐蝕速率單位以 $\mu\text{m}/\text{y}$ 表示，計算公式依據 CNS 13753 規範，如下：

$$R_{\text{corr}} = 0.25(\Delta m \cdot d / m \cdot t) \dots\dots\dots(3.3)$$

式中， R_{corr} =腐蝕速率($\mu\text{m}/\text{y}$)

Δm =質量損失(mg)

d =線材直徑(mm)

m =試片原始質量(g)

t =暴露時間，年(y)

3.3.3 試片腐蝕生成物清除與測試

碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬線材之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。為確保除去腐蝕生成物的化學清洗方法不會損壞底材金屬，先依照 CNS14122 規範，使用腐蝕試片進行重複清洗，以制定檢量標準，作業流程如圖 3.8 所示。針對不同金屬，化學清洗法使用的化學藥品及各項條件如表 3-3 所示。

表 3-3 化學清洗法使用藥品及條件(CNS14122)

材料	化學藥品	時間 (min)	溫度 (°C)	備註
碳鋼	以 500mL HCl ($\rho=1.19\text{g/mL}$) 與 3.5g 六亞甲四胺 (Hexamethylene tetramine)，加入蒸餾水配成 1000mL	10	室溫 (23.5)	—
鋅	100g 氯化銨 (NH_4Cl)，加入蒸餾水配成 1000mL	2~5	70	—
銅	以 100mL 硫酸 (H_2SO_4 , $\rho=1.84\text{g/mL}$)，加蒸餾水至 1000mL	1~3	室溫 (23.5)	在處理之前，先移除表面的塊狀腐蝕生成物，可使銅的二次沉積產物量減到最少
鋁	硝酸 (HNO_3 , $\rho=1.42\text{g/mL}$)	1~5	室溫 (23.5)	去除額外之沉積物及塊狀之腐蝕生成物，以免造成基底金屬過度流失

大氣腐蝕試片- 腐蝕生成物清除法作業流程

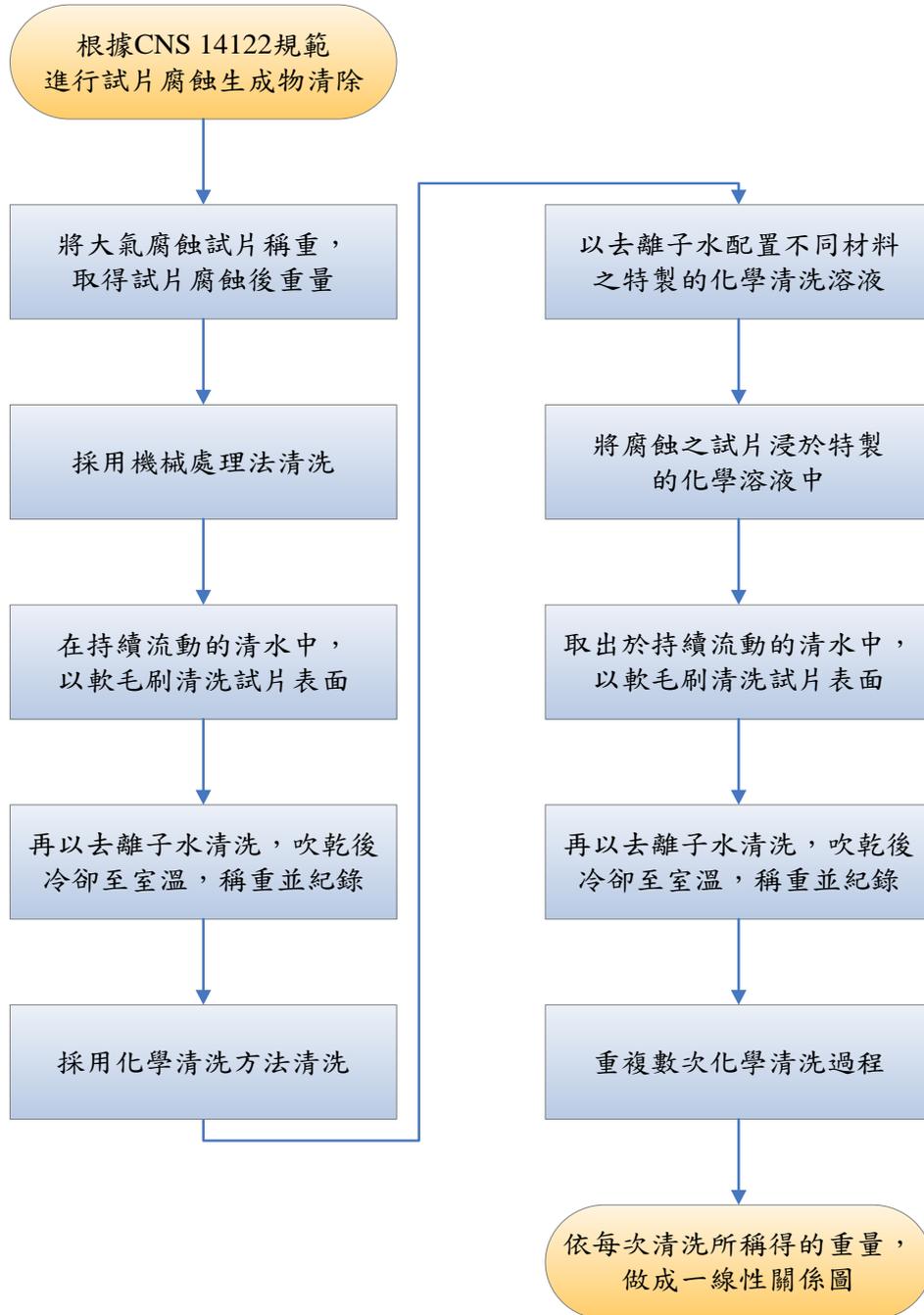


圖 3.8 腐蝕生成物清除法作業流程圖

3.4 腐蝕因子環境分類

表 3-4 至表 3-6 分別為 CNS 13401 (ISO 9223) 規範中對濕潤時間、氯鹽沉積速率與 SO₂ 沉積速率或濃度的分類；表 3-7 則為相對於表 3-4 至表 3-6 之分類結果。參考 CNS 13401 (ISO 9223)，大氣腐蝕環境的分類可採用試片腐蝕速率量測與環境因子進行區分，若採用環境因子進行分類，選擇的參數則包括濕潤時間(τ)、空氣中的氯鹽沉積速率(S)與二氧化硫沉積量(P)。其中，濕潤時間是以全年中溫度高於 0 °C，相對濕度大於 80% 之小時數或百分比計算，氯鹽沉積速率(mg/m²/day)是以 CNS 13754 (ISO 9225) 濕燭法測量，二氧化硫沉積量則是以 CNS 13754 (ISO 9225) 規定之二氧化鉛硫酸化平板量測的沉積速率(mg/m²/day)測定或是空氣中的 SO₂ 濃量($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 計算；其中，各參數的量測時間均至少為一年以上。依據 CNS 與 ISO 規範，若要以腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類，濕潤時間、氯鹽與二氧化硫的沉積速率至少應經過一年以上的連續量測，若測點所在位置無實測的腐蝕因子數據，則以鄰近的腐蝕因子資料推估，選用測點的名稱如表中括號內所示。

表 3-8 為各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區金屬的腐蝕速率在初期暴露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值；表中除鋁金屬外，碳鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率單位均可以 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 表示；主要原因是因碳鋼、鋅、銅金屬在大氣環境中的腐蝕現象為均勻腐蝕，但鋁金屬則為局部腐蝕，所以鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率可以 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 表示，但鋁的腐蝕速率須以 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 表示。

上述分別將大氣腐蝕環境區分為 C1- C2- C3- C4 與 C5 五個等級，C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)，CX 表示腐蝕性極端高(extra high)，應用於特定海洋和海洋工業環境。

表 3-4 濕潤環境分類表

濕潤時間		類別
hour/year	%	
$\tau < 10$	$\tau \leq 0.1$	τ_1
$10 < \tau \leq 250$	$0.1 < \tau \leq 3$	τ_2
$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	τ_3
$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	τ_4
$5500 < \tau$	$60 < \tau$	τ_5

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-5 氯鹽腐蝕環境等級分類表

氯鹽沉積速率 mg/m ² /day	類別
$S \leq 3$	S_0
$3 < S \leq 60$	S_1
$60 < S \leq 300$	S_2
$300 < S \leq 1500$	S_3

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-6 二氧化硫腐蝕環境等級分類表

SO ₂ 沉積速率 mg/m ² /day	SO ₂ 濃度 μ g/m ²	類別
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P_0
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P_1
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P_2
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P_3

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-7 金屬大氣腐蝕環境分類表 (以環境因子分類)

碳鋼															
濕潤 氣鹽 二氧化硫	τ_1			τ_2			τ_3			τ_4			τ_5		
	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3
P_0 - P_1	1	1	1 or 2	1	2	3 or 4	2 or 3	3 or 4	4	3	4	5	3 or 4	5	5
P_2	1	1	1 or 2	1 or 2	2 or 3	3 or 4	3 or 4	3 or 4	4 or 5	4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1 or 2	1 or 2	2	2	3	4	4	4 or 5	5	5	5	5	5	5	5
鋅與銅															
濕潤 氣鹽 二氧化硫	τ_1			τ_2			τ_3			τ_4			τ_5		
	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3
P_0 - P_1	1	1	1	1	1 or 2	3	3	3	3 or 4	3	4	5	3 or 4	5	5
P_2	1	1	1 or 2	1 or 2	2	3	3	3 or 4	4	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1	1 or 2	2	2	3	3 or 4	3	3 or 4	4	4 or 5	5	5	5	5	5
鋁															
濕潤 氣鹽 二氧化硫	τ_1			τ_2			τ_3			τ_4			τ_5		
	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3	S_0 - S_1	S_2	S_3
P_0 - P_1	1	2	2	1	2 or 3	4	3	3 or 4	4	3	3 or 4	5	4	5	5
P_2	1	2	2 or 3	1 or 2	3 or 4	4	3	4	4 or 5	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1	2 or 3	3	3 or 4	4	4	3 or 4	4 or 5	5	4 or 5	5	5	5	5	5

註：依濕潤時間(τ)、氣鹽沉積速率(S)與二氧化硫沉積量(P)三者環境因子等級分類，將金屬腐蝕性環境分類數值區分為 1、2、3、4、5 五個等級。如 1 表示 C1 依序類推。

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-8 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

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

資料來源：CNS 13401 (ISO 9223)

第四章 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析之探討

臺灣為高溫、高濕、高鹽份的海島環境，造成公共工程結構物腐蝕嚴重。因此，瞭解臺灣地區大氣腐蝕劣化因子，尤其重要。今將 98 年 1 月至 108 年 12 月試驗期間，依年度及各垂直試驗線、特定試驗點所調查之氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積量等劣化因子及金屬腐蝕數據整理，繪圖分析趨勢，以利日後新建與既有金屬結構物之防蝕設計與維護管理的參考。

4.1 氯鹽沉積速率趨勢探討

圖 4.1 為 102 年至 108 年間各垂直試驗線平均氯鹽沉積速率之趨勢圖。在整個 102 年至 108 年間，氯鹽沉積速率介於 $1.9 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (高雄港試驗線) 至 $33.2 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (基隆試驗線) 之間，而較高的沉積速率發生在 102 年、103 年 105 年及 106 年，以桃園試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線、花蓮港試驗線較高，所測得的氯鹽沉積速率皆大於 $30 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

從圖 4.1 整體來看，蘇澳港試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 3.0 至 $18.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 105 年 $18.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。花蓮港試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 11.9 至 $33.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 105 年 $33.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。核三廠試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 5.4 至 $19.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 105 年 $19.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。高雄港試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 1.9 至 $6.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 105 年 $6.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。臺塑六輕試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 11.0 至 $27.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 102 年 $27.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。臺中港試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 5.1 至 $25.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 106 年 $25.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。桃園試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 10.8 至 $33.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 103 年 $33.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。基隆試驗線在 102 年至 108 年氯鹽沉積速率介於 15.2 至 $33.1 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發

生在 106 年 $33.1 \mu\text{m/yr}$ 。

102 年與 103 年以臺灣西部海岸的氯鹽沉積速率較高，桃園試驗線與臺塑六輕試驗線氯鹽沉積速率為最高約在 $23.3\sim 33.2 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間。104 年到 105 年，東部及南部海岸的氯鹽沉積速率開始升高，在 105 年時花蓮港試驗線氯鹽沉積速率大幅上升至 $33.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 為當年度最高，而桃園試驗線氯鹽沉積速率反而下降至 $11.6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。基隆試驗線氯鹽沉積速率則逐年升高，於 106 年上升為當年最高 $33.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。107 年至 108 年東部及南部海岸的氯鹽沉積速率皆有降低的趨勢，西部海岸的氯鹽沉積速率則稍稍上升，但還是以基隆試驗線為最高介於 $25.3\sim 27.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間。

102年至108年垂直海岸試驗線 氯鹽沉積速率趨勢圖

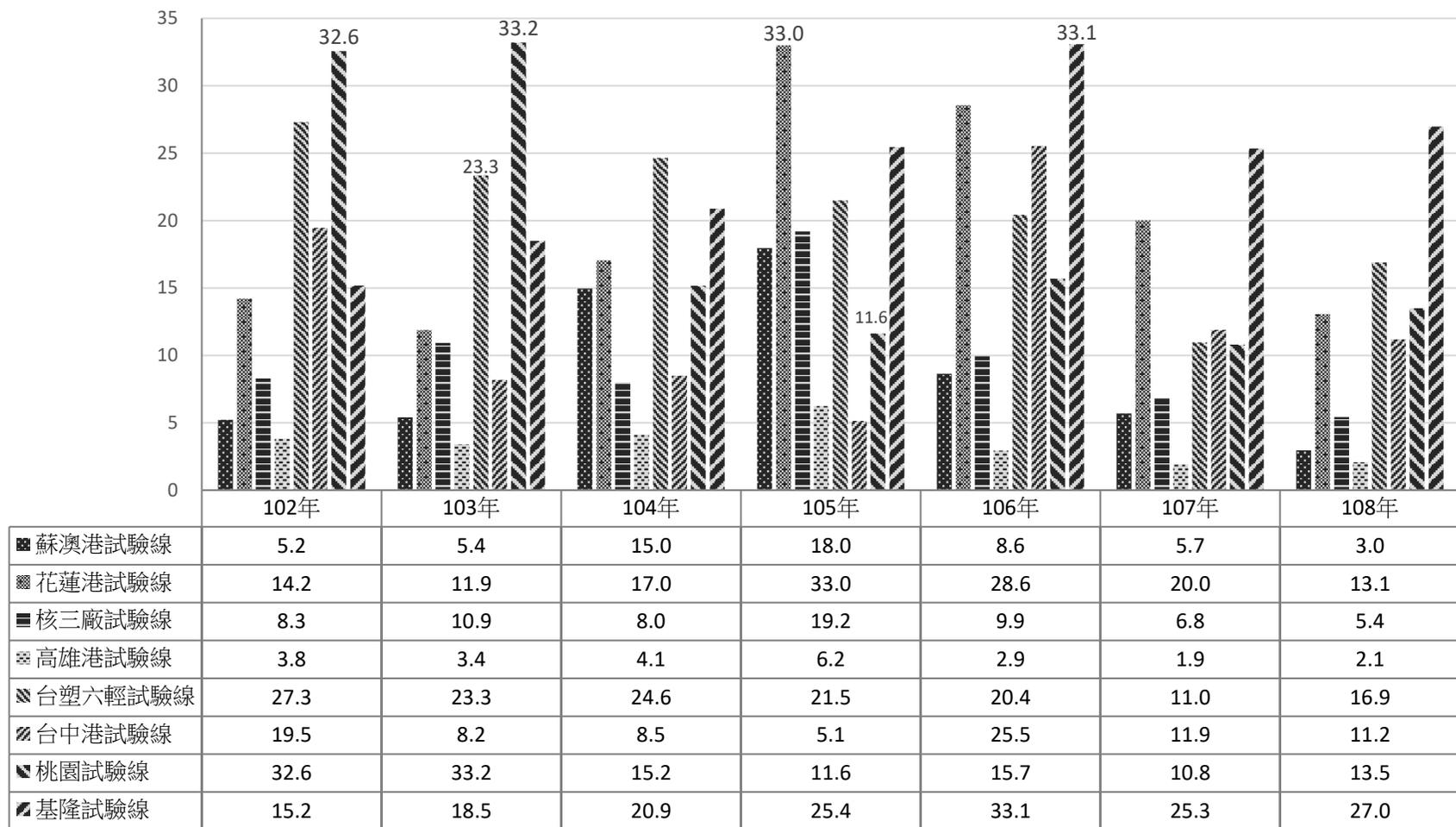


圖 4.1 102 年至 108 年垂直海岸試驗線 氯鹽沉積速率趨勢圖

4.2 二氧化硫沉積速率趨勢探討

圖 4.2 為 102 年至 108 年間各特定試驗點二氧化硫沉積速率之趨勢圖。在整個 102 年至 108 年間，二氧化硫沉積速率介於 $44.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (高雄煉油廠) 至 $569.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (彰濱工業區) 之間，而較高的沉積速率發生在 102 年、103 及 106 年，以觀音工業區、龍德工業區、臨海工業區、彰濱工業區較高，所測得的二氧化硫沉積速率皆大於 $400 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

從圖 4.2 以個別試驗站探討，高雄煉油廠在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 44.7 至 $124.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，在 104 年至 108 年其二氧化硫沉積速率呈現下降趨勢介於 44.7 至 $73.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，探究原因與 104 年 10 月 31 日，煉油廠正式熄爐並辦理都市更新規劃遷廠有關。中油林園廠在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 77.1 至 $297.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 102 年 $297.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。通霄火力電廠在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 92.6 至 $168.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 106 年 $168.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。臺中火力電廠在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 125.1 至 $237.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 105 年 $237.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。興達火力電廠在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 54.2 至 $207.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 103 年 $207.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。觀音工業區在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 116.9 至 $512.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 102 年 $512.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。彰濱工業區在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 118.5 至 $569.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 106 年 $569.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。大發工業區在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 95.3 至 $224.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 102 年 $224.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。臨海工業區在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 129.1 至 $429.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 103 年 $429.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。龍德工業區在 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率介於 61.7 至 $503.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，較高的沉積速率發生在 102 年 $503.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。

另外從三個火力電廠二氧化硫沉積速率趨勢臺中、通霄電廠，皆高於 $500 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。103 年只有臨海工業區二氧化硫沉積速率較 102 年

升高為當年度最高 429.5 mg/m²/day，中油林園廠、觀音工業區、彰濱工業區、龍德工業區二氧化硫沉積速率較 102 年降低外，其餘特定試驗點二氧化硫沉積速率變化不大。104 年至 105 年，大部分特定試驗點二氧化硫沉積速率較 103 年降低或是變化不大，只有臺中火力電廠二氧化硫沉積速率明顯上升。在 106 年時彰濱工業區二氧化硫沉積速率大幅升高為當年最高 569.7 mg/m²/day。107 年至 108 年各特定試驗點二氧化硫沉積速率，除了觀音工業區明顯升高為當年最高 279.0 mg/m²/day，其餘特定試驗點二氧化硫沉積速率呈現降低或是變化不大。

102年至108年二氧化硫沉積速率在特定試驗點趨勢圖

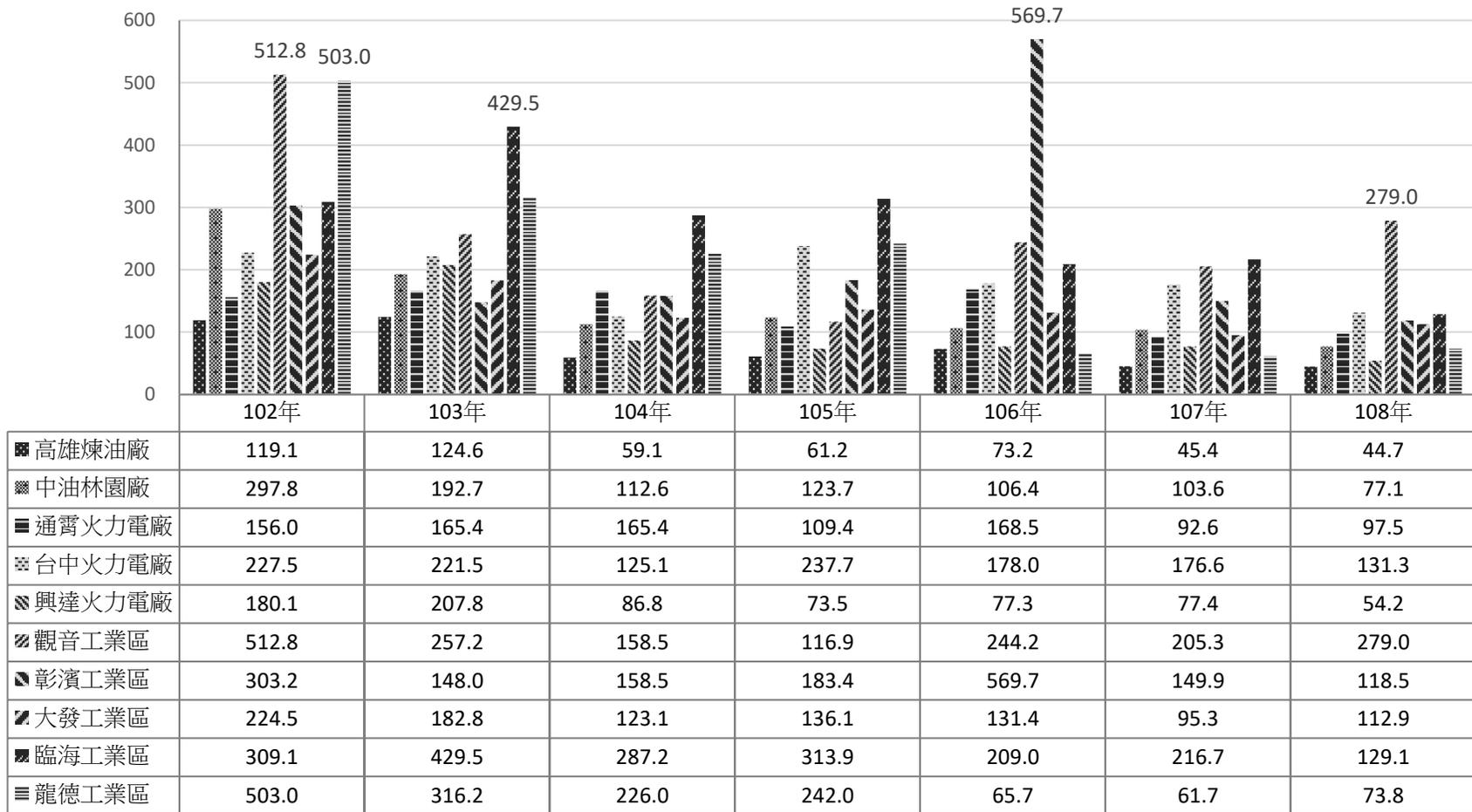


圖 4.2 102 年至 108 年二氧化硫沉積速率在特定試驗點趨勢圖

4.3 金屬腐蝕速率趨勢探討

彙整 98 年至 108 年一年期試片之腐蝕速率在垂直試驗線各金屬之腐蝕速率進行比較。

4.3.1 碳鋼腐蝕速率趨勢探討

圖 4.3 為 98 年至 108 年各垂直試驗線碳鋼腐蝕速率之趨勢圖。在整個 98 年至 108 年間，碳鋼腐蝕速率介於 $45.3 \mu\text{m/yr}$ (高雄港試驗線) 至 $282.4 \mu\text{m/yr}$ (桃園試驗線) 之間，而較高的沉積速率發生在 98 年、101 及 108 年，以桃園試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線較高，所測得的碳鋼腐蝕速率皆大於 $80 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 級。

從圖 4.3 整體來看，蘇澳港試驗線碳鋼腐蝕速率介於 47.5 至 $117.8 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C5 級。花蓮港試驗線碳鋼腐蝕速率介於 52.2 至 $119.6 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。核三廠試驗線碳鋼腐蝕速率介於 48.1 至 $82.1 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C5 級。高雄港試驗線碳鋼腐蝕速率介於 45.3 至 $100.5 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C5 級。臺塑六輕試驗線碳鋼腐蝕速率介於 135.0 至 $207.8 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。臺中港試驗線碳鋼腐蝕速率介於 64.1 至 $128.8 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。桃園試驗線碳鋼腐蝕速率介於 117.6 至 $282.4 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。基隆試驗線碳鋼腐蝕速率介於 102.4 至 $257.7 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。

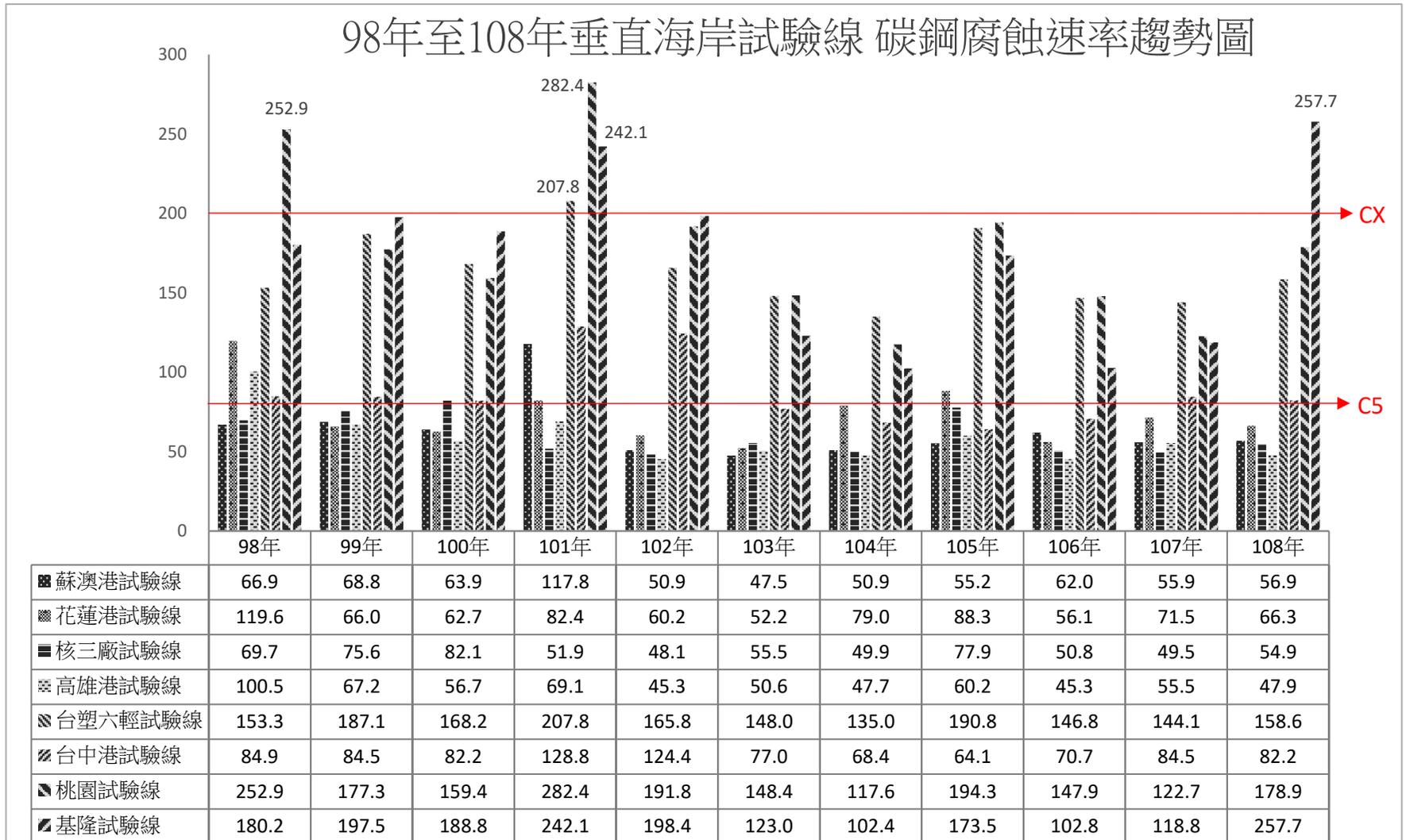


圖 4.3 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 碳鋼腐蝕速率趨勢圖

4.3.2 鋅腐蝕速率趨勢探討

圖 4.4 為 98 年至 108 年各垂直試驗線鋅腐蝕速率之趨勢圖。在整個 98 年至 108 年間，鋅腐蝕速率介於 $1.6 \mu\text{m/yr}$ (高雄港試驗線) 至 $50.3 \mu\text{m/yr}$ (桃園試驗線) 之間，以桃園試驗線較高，所測得的銅腐蝕速率皆大於 $8.4 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。

從圖 4.4 整體來看，蘇澳港試驗線鋅腐蝕速率介於 2.0 至 $6.9 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C5 級。花蓮港試驗線鋅腐蝕速率介於 3.0 至 $9.1 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 CX 級。核三廠試驗線鋅腐蝕速率介於 2.1 至 $6.1 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。高雄港試驗線鋅腐蝕速率介於 1.6 至 $4.0 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C4 級。臺塑六輕試驗線鋅腐蝕速率介於 6.7 至 $18.2 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。臺中港試驗線鋅腐蝕速率介於 5.0 至 $16.5 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。桃園試驗線鋅腐蝕速率介於 9.0 至 $50.3 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。基隆試驗線鋅腐蝕速率介於 4.1 至 $13.9 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 CX 級。

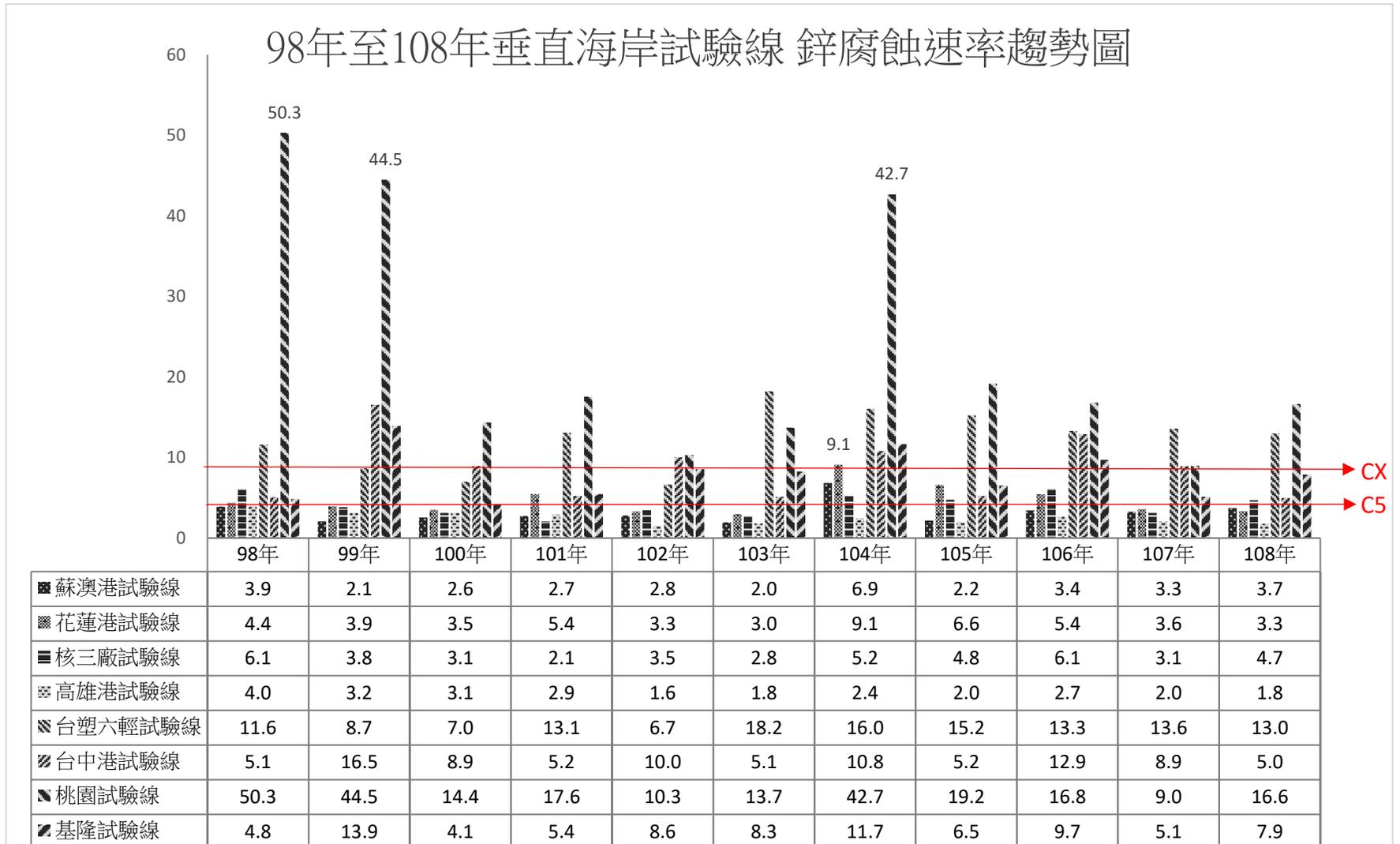


圖 4.4 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 鋅腐蝕速率趨勢圖

4.3.3 銅腐蝕速率趨勢探討

圖 4.5 為 98 年至 108 年各垂直試驗線銅腐蝕速率之趨勢圖。在整個 98 年至 108 年間，銅腐蝕速率介於 $1.6 \mu\text{m/yr}$ (蘇澳港試驗線) 至 $13.7 \mu\text{m/yr}$ (臺塑六輕試驗線) 之間，以臺塑六輕試驗線較高，所測得的銅腐蝕速率皆大於 $5.6 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。

從圖 4.5 整體來看，蘇澳港試驗線銅腐蝕速率介於 1.6 至 $3.4 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。花蓮港試驗線銅腐蝕速率介於 3.2 至 $7.0 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。核三廠試驗線銅腐蝕速率介於 4.7 至 $7.8 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。高雄港試驗線銅腐蝕速率介於 2.1 至 $4.0 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。臺塑六輕試驗線銅腐蝕速率介於 7.8 至 $13.7 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。臺中港試驗線銅腐蝕速率介於 3.5 至 $6.4 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。桃園試驗線銅腐蝕速率介於 4.7 至 $8.2 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。基隆試驗線銅腐蝕速率介於 2.8 至 $6.3 \mu\text{m/yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 CX 級。

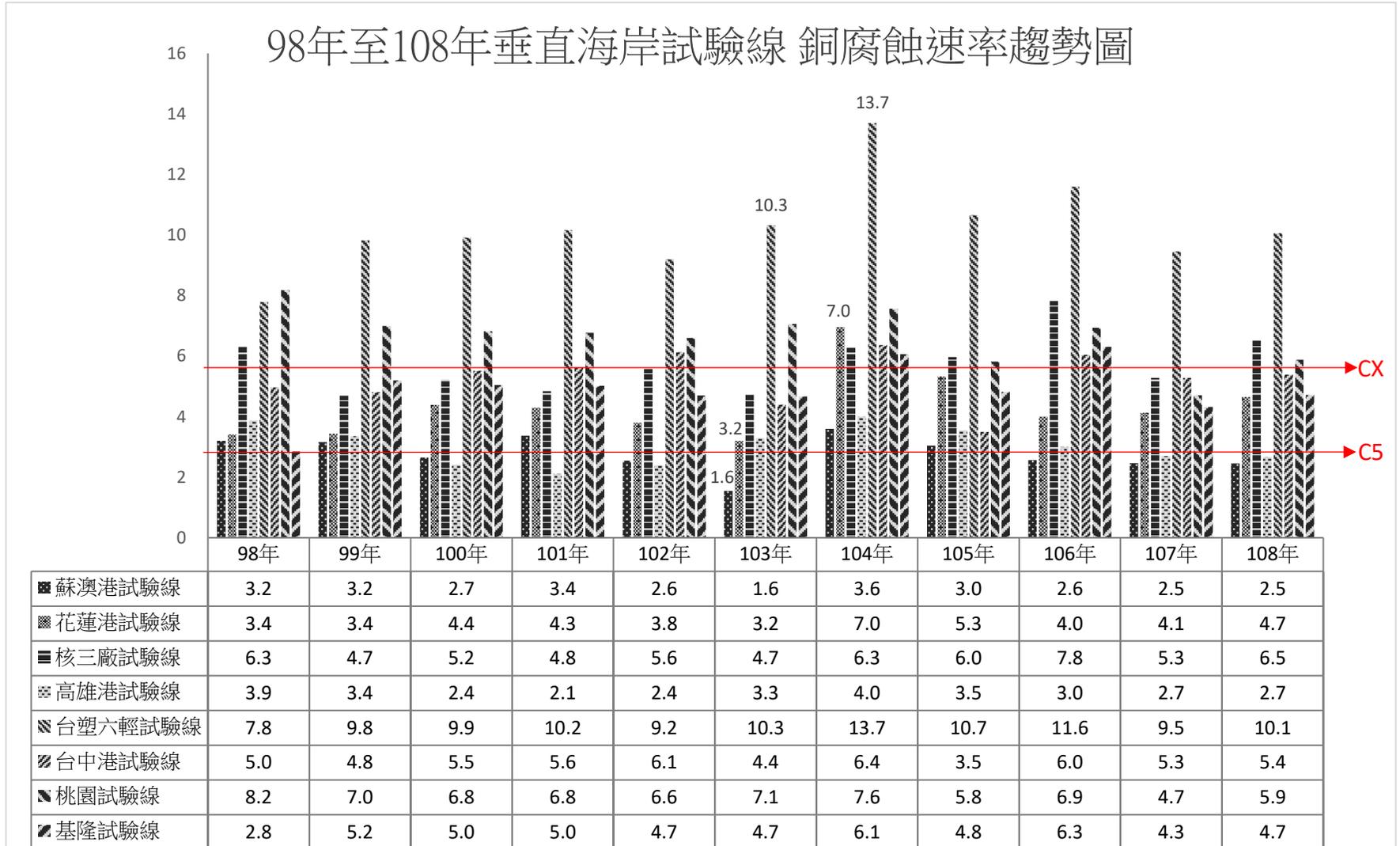


圖 4.5 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 銅腐蝕速率趨勢圖

4.3.4 鋁腐蝕速率趨勢探討

圖 4.6 為 98 年至 108 年各垂直試驗線鋁腐蝕速率之趨勢圖。在整個 98 年至 108 年間，鋁腐蝕速率介於 $0.8 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線) 至 $30.7 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (桃園試驗線) 之間，以臺塑六輕試驗線較高，所測得的鋁腐蝕速率皆大於 $10 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。

從圖 4.6 整體來看，蘇澳港試驗線鋁腐蝕速率介於 0.8 至 $2.9 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C4 級。花蓮港試驗線鋁腐蝕速率介於 2.9 至 $5.1 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。核三廠試驗線鋁腐蝕速率介於 1.7 至 $3.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C4 級。高雄港試驗線鋁腐蝕速率介於 2.0 至 $9.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 C5 級。臺塑六輕試驗線鋁腐蝕速率介於 13.0 至 $27.9 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。臺中港試驗線鋁腐蝕速率介於 3.7 至 $20.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C4 至 CX 級。桃園試驗線鋁腐蝕速率介於 8.1 至 $30.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C5 至 CX 級。基隆試驗線鋁腐蝕速率介於 1.9 至 $8.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中 C3 至 C5 級。

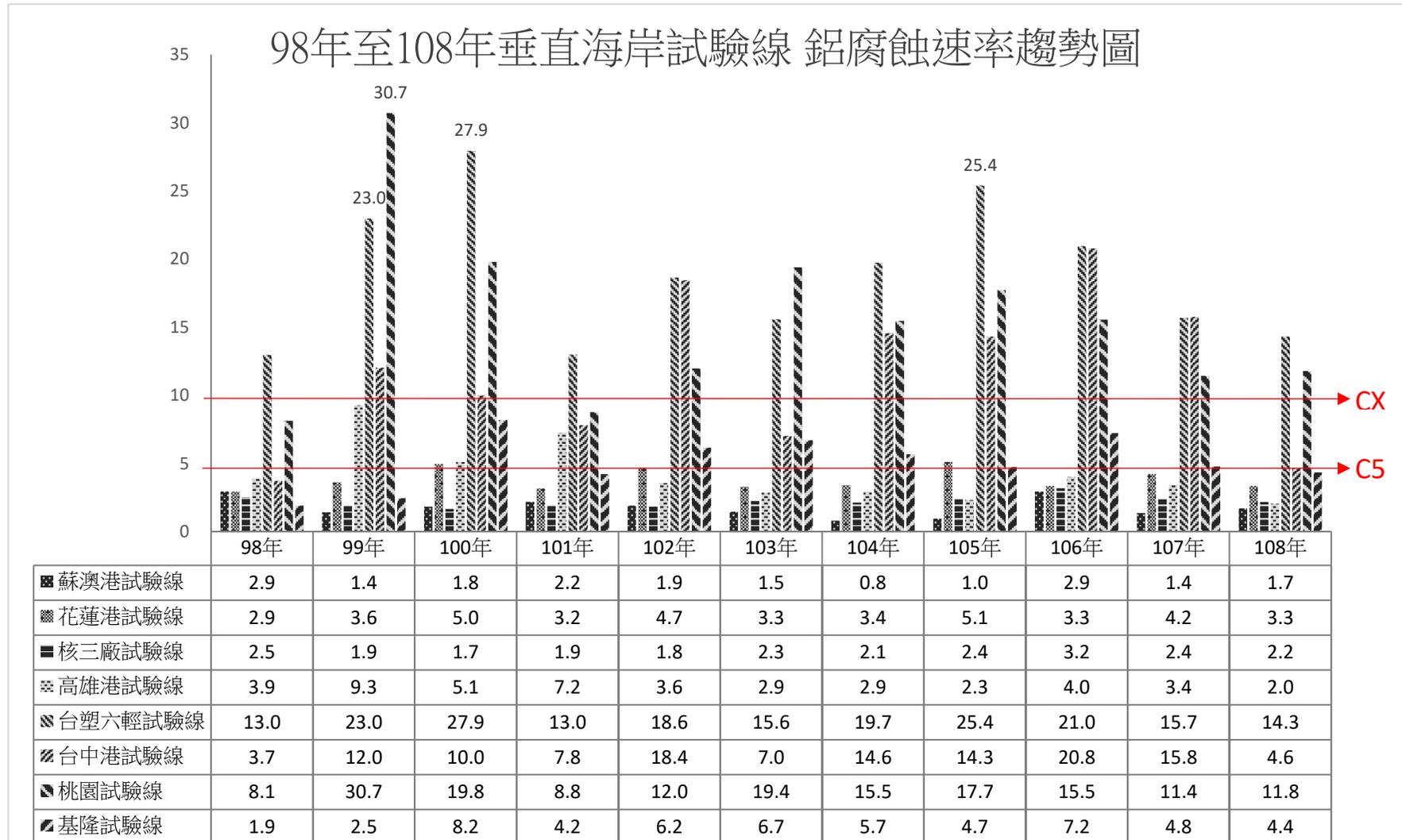


圖 4.6 98 年至 108 年垂直海岸試驗線 鋁腐蝕速率趨勢圖

第五章 成果推廣

鑑於國內交通橋梁工程防蝕實務需求，本所業已完成「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」，適合臺灣本土環境下各類工程構造物諸如鐵路、公路、港灣、濱海橋梁等交通設施或建物之防蝕指南使用，為廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，並積極推廣臺灣腐蝕環境分類資訊系統於工程界參酌採用，特舉辦「臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會」，提供熱浸鍍鋅與橋梁防蝕工法等應用，以及熱浸鍍鋅與鋼橋常見劣化缺失與改善對策，以利公共工程之防蝕設計，延長結構物之使用壽齡降低維護成本，避免或減少工安事件發生，降低社會成本及提高經濟效益。相關議程、研習會及講義如表 5-1、圖 5.1 及圖 5.2~圖 5.30 所示分述之。

表 5-1 109 年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會
議程表

民國 109 年 11 月 25 日(星期三)

日期	時間	講題	主講人	主持人
11 月 25 日 星期 三	08:30-09:00	人員報到		
	09:00-09:10	開幕與貴賓致詞		蔡立宏
	09:10-10:00	熱浸鍍鋅於橋梁之應用	蔡明達 副主委 中華民國熱浸鍍鋅協會	賴瑞應
	10:00-10:10	休息		
	10:10-11:00	腐蝕環境下橋梁常見缺失與 成因探討	李家順 工程司 公路總局	賴瑞應
	11:00-11:10	休息		
	11:10-12:00	臺灣腐蝕環境分類資訊 系統應用介紹	羅建明 博士 港灣技術研究中心	謝幼屏
		(結束賦歸)		

◎ 主持人 ◎

蔡立宏	交通部運輸研究所港灣技術研究中心	主任
賴瑞應	交通部運輸研究所港灣技術研究中心	科長
謝幼屏	交通部運輸研究所港灣技術研究中心	研究員

◎ 講 師 ◎

蔡明達	中華民國熱浸鍍鋅協會	副主委
李家順	公路總局	工程司
羅建明	交通部運輸研究所港灣技術研究中心	博士



圖 1. 簽到



圖 2 主持人開幕致詞



圖 3. 熱浸鍍鋅於橋梁之應用



圖 4. 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討



圖 5. 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹



圖 6. 綜合討論

圖 5.1 109 年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會

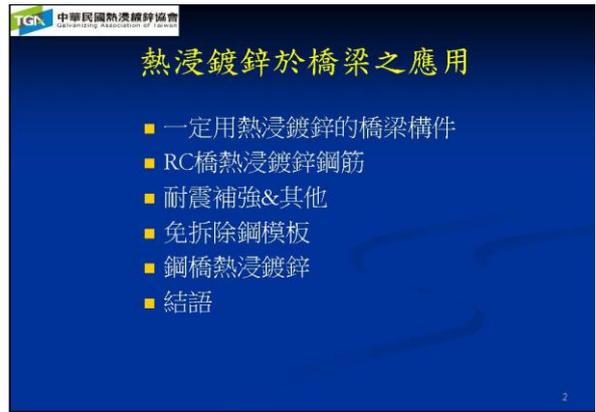


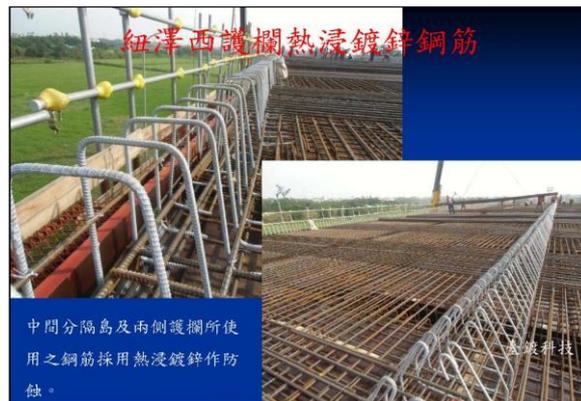
圖 5.2 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(1/13)

TGA 中華民國熱浸鍍鋅協會
Galvanizing Association of Taiwan

熱浸鍍鋅於橋梁之應用

- 一定用熱浸鍍鋅的橋梁構件
- RC橋熱浸鍍鋅鋼筋
- 耐震補強&其他
- 免拆除鋼模板
- 鋼橋熱浸鍍鋅
- 結語

10



TGA 中華民國熱浸鍍鋅協會
Galvanizing Association of Taiwan

部分鍍鋅鋼筋工程費用增加分析

- 案例:WH09-A標
- 鋼筋總重量:29,542kg
- 鍍鋅鋼筋重量:221,850kg(0.75% , 2,755,536元)
- 工程經費: 2,152,500,000元(0.128%)
- 案例:WH10-B標
- 鋼筋總重量:28,044kg
- 鍍鋅鋼筋重量:202,640kg(0.722% , 2,567,760元)
- 工程經費: 2,095,000,000元(0.122%)

12

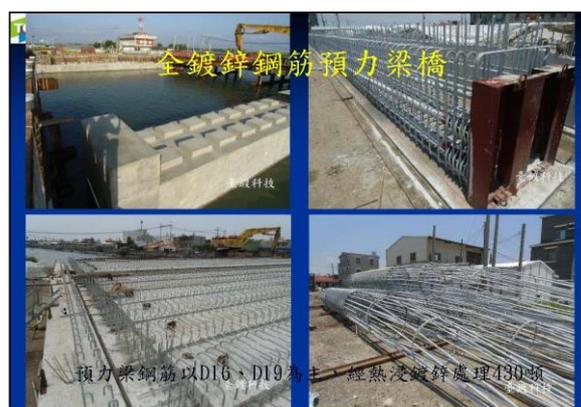


圖 5.3 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(2/13)



中華民國熱浸鍍鋅協會
TGN Hot-dip Galvanizing Association of Taiwan

CNS 14771鋼筋混凝土用熱浸鍍鋅鋼筋

4. 製造方法
4.1 鍍鋅作業
須符合 CNS 8503 之規定。
4.2 鍍鋅層附著量
鍍鋅層附著量依表 1 之規定。

表 1 鍍鋅層附著量

鍍鋅等級		竹節鋼筋編號	單位面積 ⁽¹⁾ 最小鍍鋅層附著量 g/m ²
鋼筋	等級一	D10	915
		D13 以上	1,070
	等級二	D10 以上	610

註⁽¹⁾ 竹節鋼筋之表面積依 CNS 560 之標稱周長計算後，再乘以 1.2 倍以計算鍍鋅層附著量。

4.3 鍍鋅鋼筋表面處理
鍍鋅鋼筋可使用符合環保規範之腐蝕抑制劑後處理，藉以阻絕鍍鋅層與新鮮濕潤土中水特製水泥漿之反應。

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGN Hot-dip Galvanizing Association of Taiwan

CNS 14771鋼筋混凝土用熱浸鍍鋅鋼筋

6. 鋼筋加工
鋼筋加工分為鍍鋅前加工及鍍鋅後加工2種。
6.1 鍍鋅前加工
鍍鋅前加工依下列規定。
(a)鋼筋於鍍鋅前作彎曲加工者，其彎曲直徑不得小於表2之規定。
(b)鋼筋彎曲加工時經過當應力消除⁽²⁾者，可避免鍍鋅脆化現象，其彎曲直徑得不受表2之限制，但不得小於CNS 560 表12之規定。
註(2)應力消除之鋼筋加熱溫度須控制在480°C~560°C之範圍，其加熱時間須為鋼筋直徑每mm加熱1小時。
6.2 鍍鋅後加工
因鍍鋅鋼筋彎曲加工所造成鍍鋅層破裂或剝落，隨著鋼筋直徑、彎曲直徑及彎曲速率加大而增加，依CNS 15257之規定加以修補，以避免鍍鋅鋼筋產生腐蝕。
備考：為避免鍍鋅鋼筋彎曲加工後造成鍍鋅層破裂或剝落，不宜於鍍鋅後加工。

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGN Hot-dip Galvanizing Association of Taiwan

表 2 最小彎曲直徑

鋼筋編號	鋼筋種類		
	SD 280 SD 280 W	SD 420 SD 420 W	SD 490
D 10、D 13、D 16	6 d	6 d	—
D 19	6 d	6 d	6 d
D 22、D 25	6 d	8 d	8 d
D 29、D 32、D 36、D 39	—	8 d	8 d
D 43、D 50、D 57	—	10 d	10 d

本表之代號 d，係指鋼筋標稱直徑。

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGN Hot-dip Galvanizing Association of Taiwan

熱浸鍍鋅問題點

- 熱浸鍍鋅影響鋼筋強度? **不會**
- 熱浸鍍鋅影響鋼筋之握裹力? **不會**

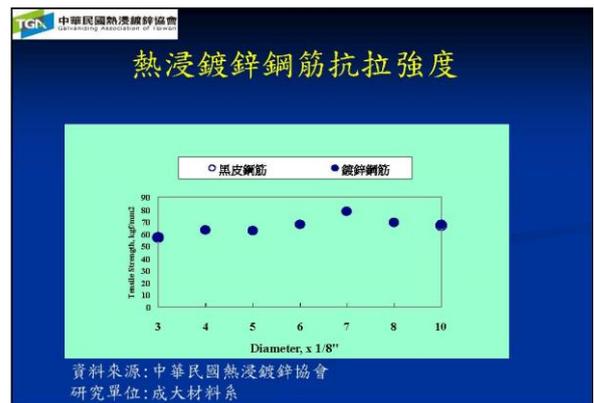
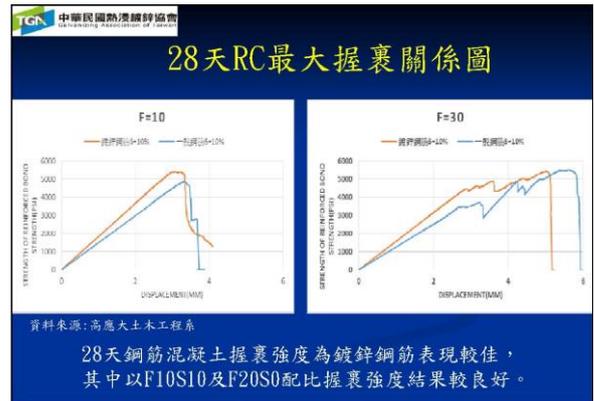
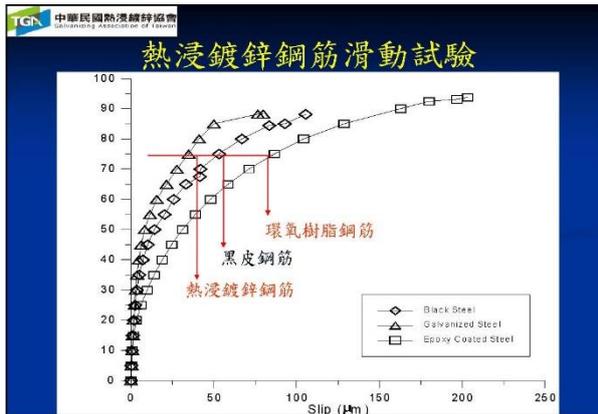


圖 5.4 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(3/13)



鋼筋混凝土耐久性

- 耐久性設計主要係針對中性化環境及海洋鹽害環境對鋼筋混凝土構造物所引起之腐蝕而採取之設計對策。
- 一般規定
 - (1) 海洋和臨海地區接觸海水、飛沫、大氣中氯鹽等氯化物的鋼筋混凝土構件，應按海洋鹽害環境進行耐久性設計。
 - (2) 橋梁之鋼筋混凝土主要構件，當環境作用等級為極嚴重鹽害區時，得採用附加保護措施，不限於使用單一方法。

環境作用等級	離海岸的距離
極嚴重鹽害區	海水中飛沫區
嚴重鹽害區	離海岸300公尺以內之區域
中度鹽害區	離海岸300公尺至3公里以內之區域

資料來源: 公路橋梁設計規範第12章

耐久性之附加保護措施

- 鋼筋表面保護
鋼筋表面處理可鍍鋅來增強抵抗腐蝕環境。鍍鋅鋼筋應符合CNS 14771或ASTM A767之規定。
- 混凝土摻料
- 混凝土表面處理
- 陰極防蝕

熱浸鍍鋅於橋梁之應用

- 一定用熱浸鍍鋅的橋梁構件
- RC橋熱浸鍍鋅鋼筋
- 耐震補強&其他
- 免拆除鋼模板
- 鋼橋熱浸鍍鋅
- 結語

圖 5.5 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(4/13)

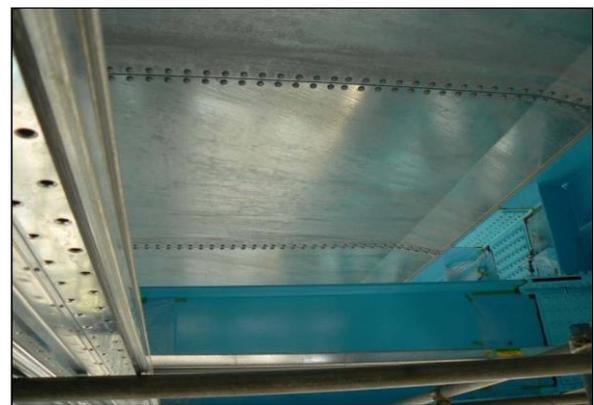
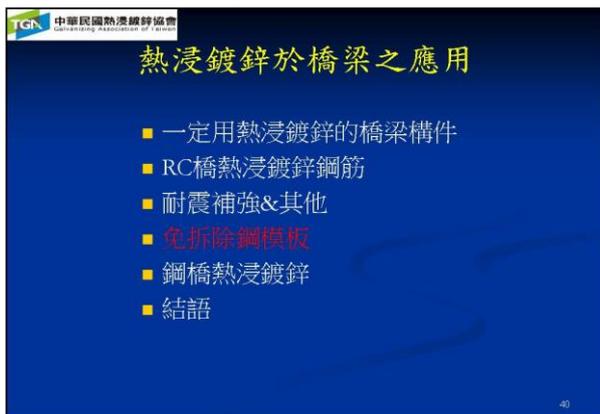
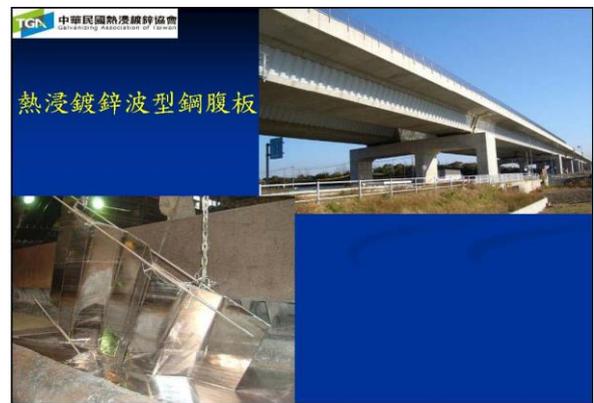
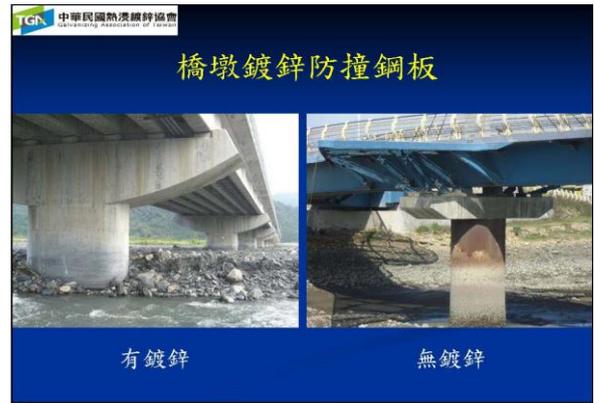


圖 5.6 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(5/13)

TGN 中華民國熱浸鍍鋅協會
The Hot-Dip Galvanizing Association of Taiwan

複合式橋面版特性

- 良好的耐久性
- 屬於長間距橋面板，可使用於少數主梁橋
- 混凝土層鋼筋由雙層減少為單層
- 可降低橋面版厚度，減輕重量
- 施工時不需使用模板支撐架

42

白甲彩虹橋-熱浸鍍鋅免拆鋼模板



43

TGN 中華民國熱浸鍍鋅協會
The Hot-Dip Galvanizing Association of Taiwan

熱浸鍍鋅於橋梁之應用

- 一定用熱浸鍍鋅的橋梁構件
- RC橋熱浸鍍鋅鋼筋
- 耐震補強&其他
- 免拆除鋼模板
- 鋼橋熱浸鍍鋅
- 結語

44

TGN 中華民國熱浸鍍鋅協會
The Hot-Dip Galvanizing Association of Taiwan

橋梁熱浸鍍鋅

- 熱浸鍍鋅鋼橋國內外史
- 鋼橋熱浸鍍鋅處理
- 鋼橋之熱浸鍍鋅設計與製作

45

TGN 中華民國熱浸鍍鋅協會
The Hot-Dip Galvanizing Association of Taiwan

日本熱浸鍍鋅鋼橋史

- 1963年，流藻川橋第一次使用熱浸鍍鋅，為H型鋼（RH）橋
- 1964年，新溫井川橋採用BH組合型鋼經熱浸鍍鋅處理（續接處高強度螺栓未鍍鋅）
- 1973年，日本道路公團開始採用熱浸鍍鋅橋梁
- 1976年，明石SA橋採用熱浸鍍鋅高強度螺栓
- 1982年，熱浸鍍鋅梁大型化，梁高2.6m

46

TGN 中華民國熱浸鍍鋅協會
The Hot-Dip Galvanizing Association of Taiwan

北美熱浸鍍鋅鋼橋史

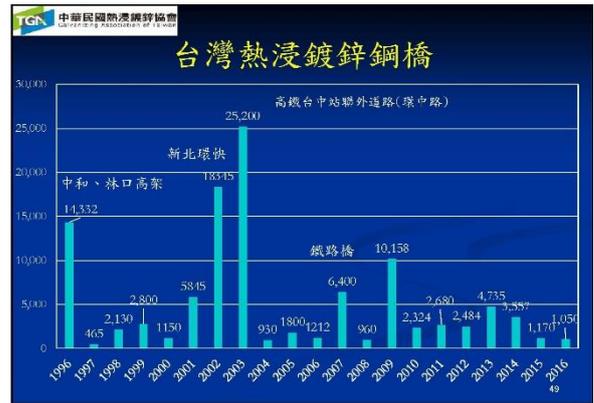
- 1940年，開始運用於倍力橋
- 1963年，加拿大魁北克省Lizotte橋為第一座全熱浸鍍鋅橋，橋長400ft，鋼重400噸
- 1966年，Stearns Bayou橋為美國第一座全熱浸鍍鋅橋，橋長425ft，採用熱浸鍍鋅A325高強度螺栓接合
- 1986年，檢測Stearns Bayou橋發現鍍鋅層尚餘75-125 μ m，估計尚可服務66年

47

圖 5.7 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(6/13)

台灣熱浸鍍鋅鋼橋史

- 1990年，茅山橋，人行吊橋，10噸
- 1991年，馬槽橋，第一座道路熱浸鍍鋅橋梁，SRC結構有800噸鋼結構及1,500噸鋼筋
- 1996年，中和立體交叉工程，營建署第一座熱浸鍍鋅鋼橋
- 1996年，西濱快林口架橋，公路總局第一座熱浸鍍鋅鋼橋
- 1998年，第一座熱浸鍍鋅鋼拱橋(箱梁，再塗裝)
- 1999年，鐵路局冬山河橋改建工程採用熱浸鍍鋅防蝕處理(再塗裝)
- 2002年，鋼箱梁大於鍍鋅槽製作之研發完成
- 2005年，內湖線高架段(民族東路)，捷運局第一熱浸鍍鋅鋼橋(再塗裝)
- 2013年，第一座大於鍍鋅槽組合鋼箱梁道路橋



熱浸鍍鋅軌道工程橋

橋梁名稱	所在地	完成日期	總重(噸)	備註
1 冬山河鐵路橋改建工程	宜蘭冬山	88年	650	桁架橋
2 土治坑橋	新竹香山	89年	300	
3 白沙屯橋 五福圳橋	苗栗通霄	89年	50	箱梁
4 內湖川橋	新竹香山	89年	300	箱梁
5 車後坑溪、海水川溪橋	台中縣	90年	550	箱梁
6 鳳山崎橋	新竹新豐	92年	800	箱梁
7 客城一、二號橋	花蓮玉里	94年	1,800	鋼拱橋
8 捷運內湖線(民族東路口)	台北市	94年	1,200	
9 武荖坑橋	宜蘭冬山	96年	4,600	桁架橋
10 力霸支線橋	宜蘭冬山	96年	1,200	桁架橋

橋梁名稱	所在地	完成日期	總重(噸)	備註
1 冬山河鐵路橋改建工程	宜蘭冬山	88年	650	桁架橋
2 土治坑橋	新竹香山	89年	300	
3 白沙屯橋 五福圳橋	苗栗通霄	89年	50	箱梁
4 內湖川橋	新竹香山	89年	300	箱梁
5 車後坑溪、海水川溪橋	臺中縣	90年	550	箱梁
6 鳳山崎橋	新竹新豐	92年	800	箱梁
7 客城一、二號橋	花蓮玉里	94年	1,800	鋼拱橋
8 捷運內湖線(民族東路口)	臺北市	94年	1,200	
9 武荖坑橋	宜蘭冬山	96年	4,600	桁架橋
10 力霸支線橋	宜蘭冬山	96年	1,200	桁架橋

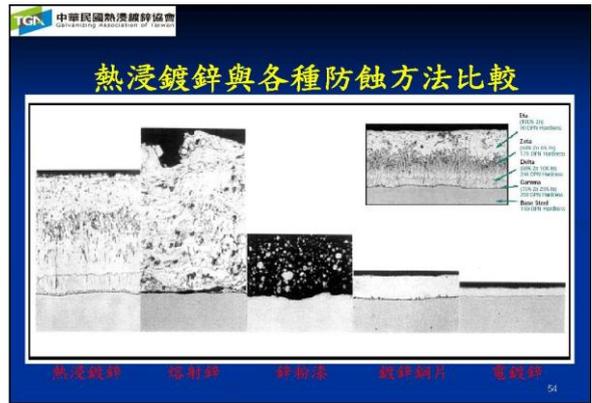
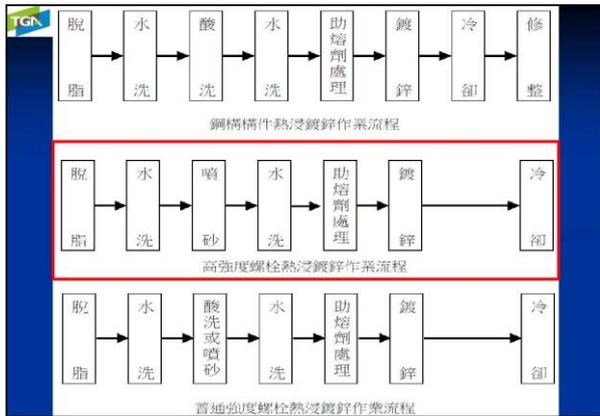
熱浸鍍鋅公路橋

工程名稱	地點	時間	重量(噸)	備註
中和市中正路立體交叉工程	中和	85年	6,958	I型梁
林口高架橋	八里	85年	7,294	I型梁
佛光大學鋼橋	礁溪	86年	180	I型梁
員林大排工程(福興橋)	鹿港	88年	1,075	鋼拱橋
都會快速道路(大中路段)	高雄	90年	2,800	I型梁
臺北縣側快速道路	三重	90年	13,000	I型梁
建國橋	高雄	90年	1,300	箱梁
高鐵台中站聯外道路(環中路)	台中	91年	20,000	I型梁
榮興橋	桃園	92年	800	鋼拱橋
中山高擴寬工程(八掌溪等)	嘉義-台南	93年	1,200	I型梁

橋梁熱浸鍍鋅

- 熱浸鍍鋅鋼橋國內外史
- 鋼橋熱浸鍍鋅處理
- 鋼橋之熱浸鍍鋅設計與製作

圖 5.8 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(7/13)



橋梁熱浸鍍鋅

- 熱浸鍍鋅鋼橋國內外史
- 鋼橋熱浸鍍鋅處理
- 鋼橋之熱浸鍍鋅設計與製作
 1. 熱浸鍍鋅鋼橋設計注意事項
 - a. 熱浸鍍鋅槽尺寸與吊重能力
 - b. 鋼橋設計注意事項
 2. 熱浸鍍鋅鋼橋製作注意事項

熱浸鍍鋅防蝕系統

系統	防蝕層組成	適用環境
Z1	單純熱浸鍍鋅層	C4(含)以下
Z2	熱浸鍍鋅加外觀性塗裝	C4(含)以下並有景觀、視覺需求
Z3	熱浸鍍鋅加防蝕性塗裝	C5及C5 ⁺ , 亦可使用於C1-C4

資料來源: 鋼結構橋梁熱浸鍍鋅技術手冊

曝曬地點	第1年期 (99年)		第2年期 (100年)		第3年期 (101年)		第5年期 (103年)	
	平均腐蝕速率 (μm/yr)	腐蝕環境分類						
臺北市(陽明山)	2.6	C4	1.5	C3	1.56	C3	2	C3
新北市(貢寮區)	2.4	C4	0.4	C2	0.33	C2	2.46	C4
桃園縣(觀音工業區)	2.9	C4	1.1	C3	1.56	C3	1.96	C3
臺南市(安平港)	1	C3	0.6	C2	0.7	C2	1.1	C3
高雄市中(興小港廠區)	2.3	C4	1.5	C3	1.9	C3	2.13	C4
屏東縣(枋山鄉)	2.6	C4	0.07	C1	0.23	C2	0.7	C2
臺東縣(大武壠)	0.8	C3	0.26	C2	0.23	C2	1.36	C3
花蓮縣(花蓮港)	1.1	C3	0.39	C2	0.43	C2	1.2	C3
澎湖縣(馬公市)	1.6	C3	1.26	C3	1.4	C3	3.93	C4
金門縣(金門科技大學)	2.3	C4	0.75	C3	0.93	C3	1.4	C3
雲林縣(麥寮工業區)	4.91	C5	2.43	C4	1.8	C3	1.36	C3
南投縣(溪頭)	1.91	C3	1.23	C3	0.2	C2	0.5	C2
台中市(台中港 臺中火力發電廠、港研中心)	9.03	C5C	4.75	C5	1.3	C3	3.16	C4
台北市(臺灣科技大學 T3大樓)	0.87	C3	0.8	C3	0.6	C2	1.13	C3

資料來源: 港灣技術研究社 47頁

CNS 10007 熱浸鍍鋅附著量

種類	符號	硫酸銅試驗次數	鍍鋅層附著量 g/m ²	全區平均鍍鋅層厚度 μm	局部鍍鋅層厚度 μm	適用基材(參考)
1類A	HDZ A	4次	—	28~42	—	厚度5mm以下之鋼材、鋼鐵製品、鋼管、直徑12mm以上之螺栓、螺帽及厚度超過2.3mm之墊圈。
1類B	HDZ B	5次	—	35~49	—	厚度超過5mm之鋼材、鋼鐵製品、鋼管及鑄鐵製品。
2類35	HDZ 35	—	350以上	49以上	35以上	厚度1mm以上、2mm以下之鋼材、鋼鐵製品，直徑12mm以上之螺栓、螺帽及厚度超過2.3mm之墊圈。
2類40	HDZ 40	—	400以上	56以上	49以上	厚度超過2mm、3mm以下之鋼材、鋼鐵製品及鑄鐵製品。
2類45	HDZ 45	—	450以上	63以上	56以上	厚度超過3mm、5mm以下之鋼材、鋼鐵製品及鑄鐵製品。
2類50	HDZ 50	—	500以上	69以上	63以上	厚度超過5mm之鋼材、鋼鐵製品及鑄鐵製品。
2類55	HDZ 55	—	550以上	76以上	69以上	嚴酷腐蝕環境下使用之鋼材、鋼鐵製品及鑄鐵製品。

圖 5.9 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(8/13)

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGA Generalizing Association of Galvanizers

鍍鋅附著量在各種環境之耐用年限

腐蝕性分類	鋅金屬的穩定態腐蝕速率(γ_{lin} , $\mu\text{m/a}$)	耐用年限(年)		
		600 g/m ²	550 g/m ²	350 g/m ²
C1	$\gamma_{lin} \leq 0.05$	>100	>100	>100
C2	$0.05 < \gamma_{lin} \leq 0.5$	>100	>100	87-100
C3	$0.5 < \gamma_{lin} \leq 2$	37-100	34-100	21-87
C4	$2 < \gamma_{lin} \leq 4$	18-37	17-34	10-21
C5	$4 < \gamma_{lin} \leq 10$	7.5-18	6.5-17	4.0-10

註:年限為推算值

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGA Generalizing Association of Galvanizers

熱浸鍍鋅鋼橋Z2-1系統 (+塗裝)

項目	塗裝系統	塗裝道數	乾膜厚(μm)	調薄劑
1. 表面處理: 附著於表面之塵埃、污泥、油漬應清除, 以確保鍍鋅層與底漆有良好附著性。				
2. 底漆	鍍鋅用環氧樹脂底漆	1	50	環氧樹脂系
3. 第一道面漆	氟樹脂系面漆	1	30	氟樹脂系、聚胺脂系或環氧樹脂系
4. 第一道面漆	氟樹脂系面漆	1	30	氟樹脂系

Z3系統, 係於底漆上增加中塗漆50 μm

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGA Generalizing Association of Galvanizers

熱浸鍍鋅鋼橋Z2-2系統 (+塗裝)

項目	塗裝系統	塗裝道數	乾膜厚(μm)	調薄劑
1. 表面處理: 附著於表面之塵埃、污泥、油漬應清除, 以確保鍍鋅層與底漆有良好附著性。				
2. 底漆	鍍鋅用環氧樹脂底漆	1	50	環氧樹脂系
3. 第一道面漆	聚胺基甲酸脂面漆 (PU)	1	30	聚胺基甲酸脂系或環氧樹脂系
4. 第一道面漆	聚胺基甲酸脂面漆 (PU)	1	30	聚胺基甲酸脂系

Z3系統, 係於底漆上增加M10中塗漆50 μm

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGA Generalizing Association of Galvanizers

Z3設計系統在C5環境之耐用年限

腐蝕性分類	Z3系統耐用年限(年)		
	600g/m ² +塗裝	550g/m ² +塗裝	350g/m ² +塗裝
C5	33-49	32-48	28-37

註: 耐用年限係採用 $D = [D_{鍍鋅} + D_{塗裝}] \times 1.5$ 之公式推算

中華民國熱浸鍍鋅協會
TGA Generalizing Association of Galvanizers

熱浸鍍鋅槽尺寸與吊重能力

鍍鋅廠	區域	鍍鋅槽尺寸(m)			吊重能力(噸)
		長	寬	深	
A	高雄	17	1.8	3.2	30
B	高雄	16.5	1.8	3.3	30
C	桃園	16	1.8	3	40
D	桃園	14	1.8	2.2	15
E	高雄	13	1.8	3.3	14
F	桃園	13	2.0	3.2	13
G	彰化	14	1.9	2.2	16
H	彰化	13	1.85	2.7	15

調查日期: 2015.07.31

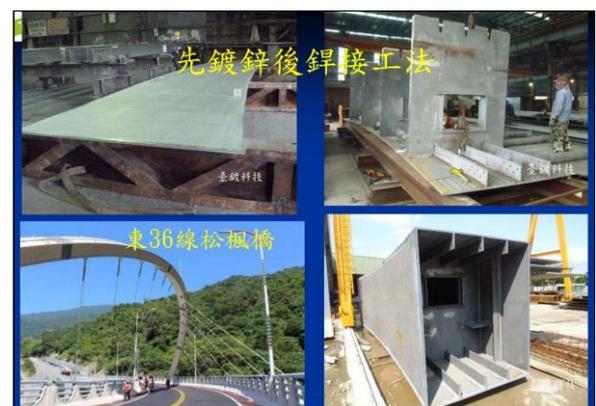
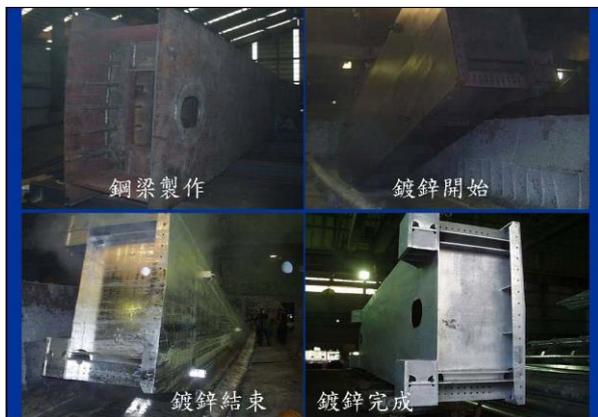
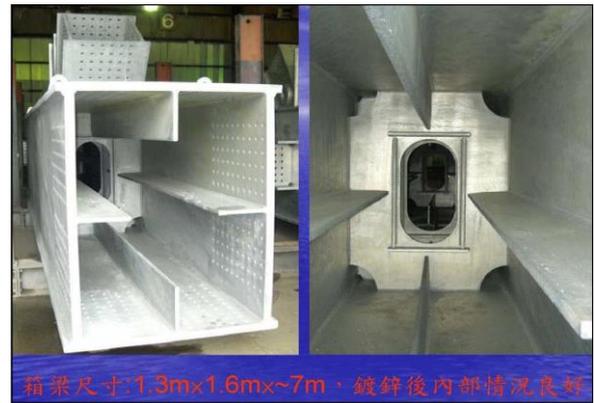
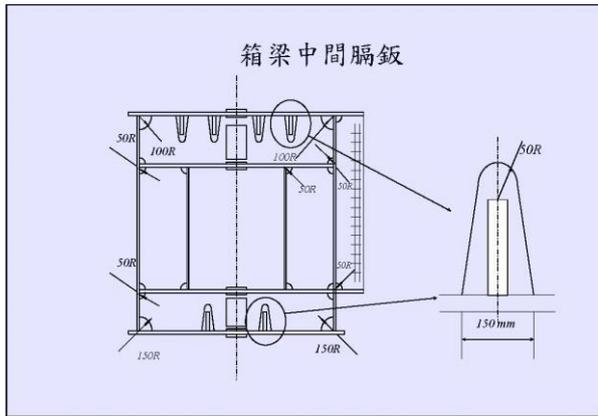


圖 5.10 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(9/13)



ASTM A385箱型梁之建議

(H+W) mm	中央孔 mm	邊孔 mm	開孔面積 比
1200	200	150	
900	150	130	
800	150	100	25%以上
700	150	75	
600	130	75	
500	100	75	30%以上
400	100	50	
300	75	50	40%以上

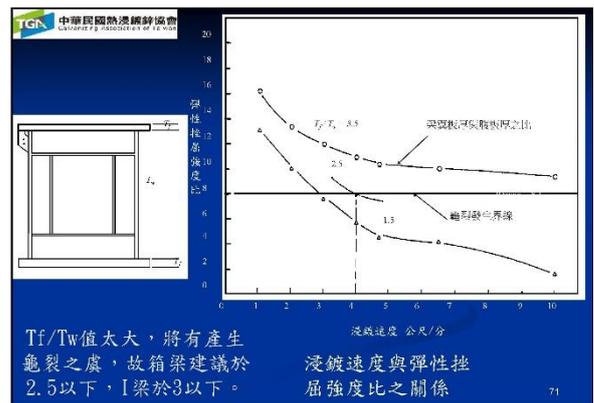


圖 5.11 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(10/13)

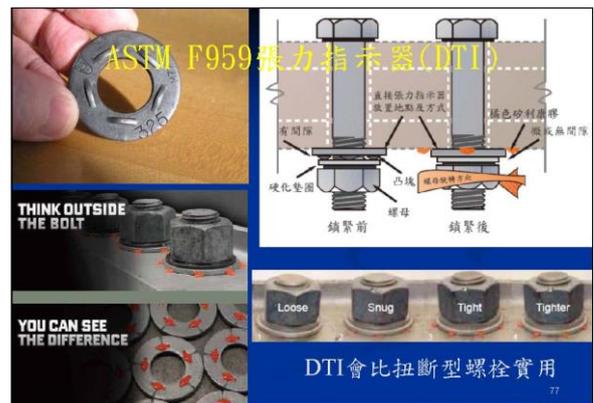
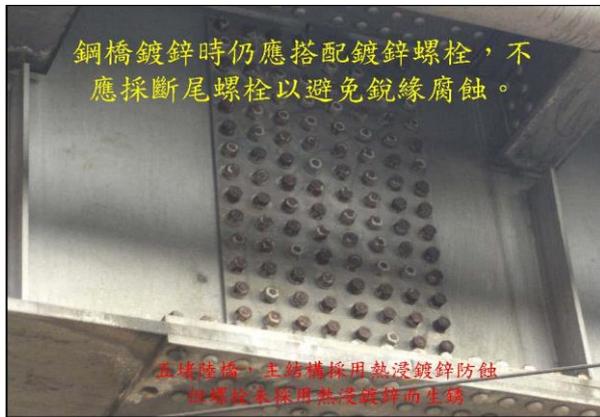
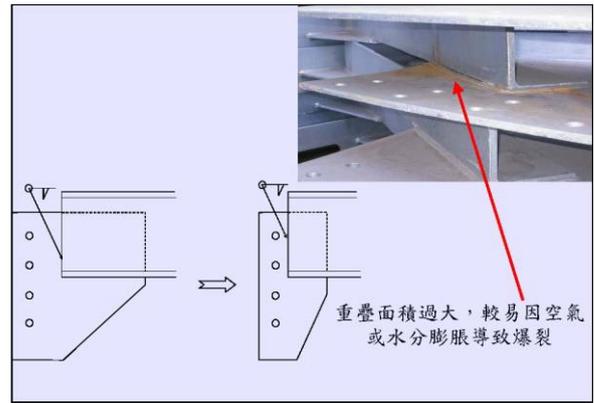
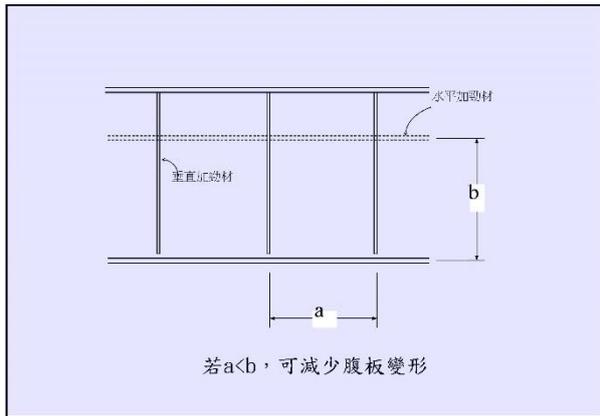


圖 5.12 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(11/13)



2. 熱浸鍍鋅鋼橋製作注意事項

- 一、表面因素
 1. 鋼材表面嚴重腐蝕
 2. 鋼材表面附有塗料
 3. 鋅渣未清除
- 二、構造方面
 1. 封閉構造
 2. 構造中，鋅不易流進或流出者
- 三、材料因素
 1. 鋼材厚度差異大之組合
- 四、工地管理

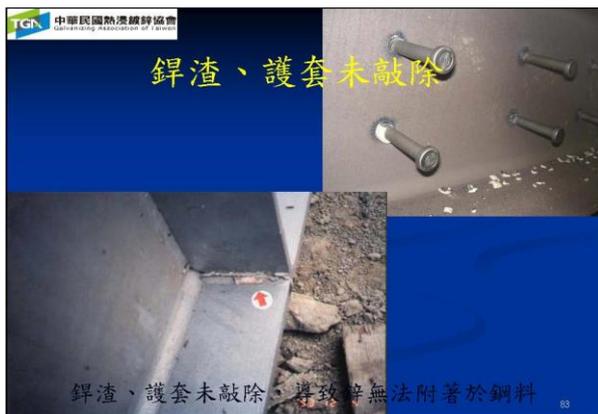
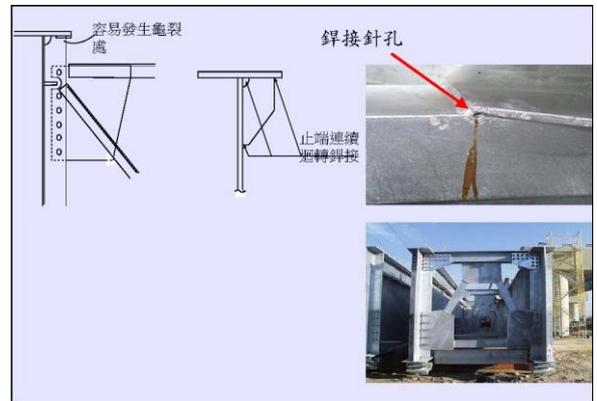
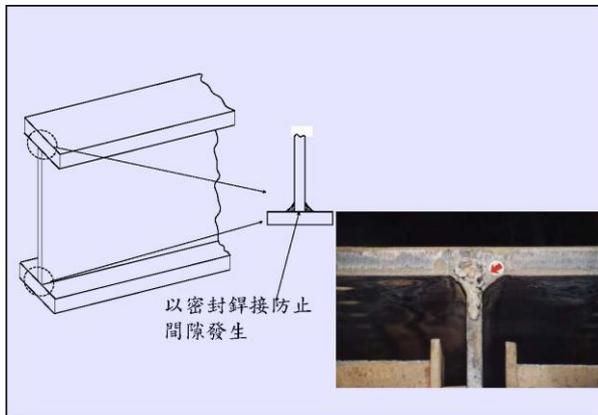


圖 5.13 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(12/13)



鋼橋用鍍鋅高強度螺栓孔徑

螺栓稱呼	螺栓孔徑(mm)	螺栓孔徑容許差(mm)	
		一般	螺栓群組數的20%
M20	22.5	+0.5	+1.0
M22	24.5	+0.5	+1.0
M24	26.5	+0.5	+1.0
M27	30	+1.0	+1.5
M30	33	+1.0	+1.5
M36	39	+1.0	+1.5

資料來源:道路橋示方書、鋼橋設計規範
溶融亜鉛めっきガイドブック

- 總 結**
- 熱浸鍍鋅在橋梁工程具有**很好的防蝕性**，亦可當作油漆系統之底漆。
 - 熱浸鍍鋅，在海洋、臨海區等**CS或C5以上環境**“一定須”採用加油漆之**雙重防蝕**。
 - 鋼橋鍍鋅時應搭配鍍鋅螺栓，不應採斷尾螺栓。
 - 鋼筋可用熱浸鍍鋅當鋼筋混凝土耐久性之方法。上部或局部下部結構使用，經費約增加0.12~1.8%。

圖 5.14 講題 1 熱浸鍍鋅於橋梁之應用(13/13)

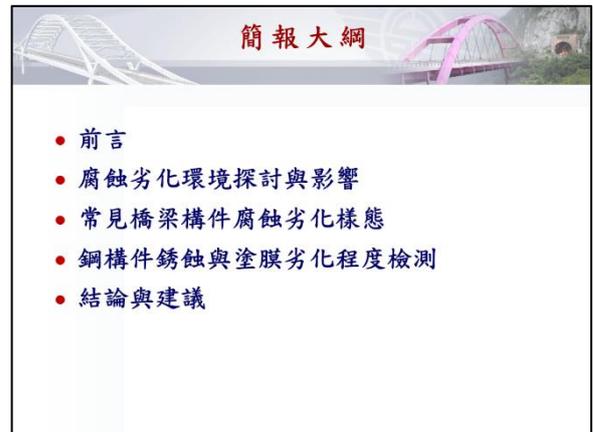
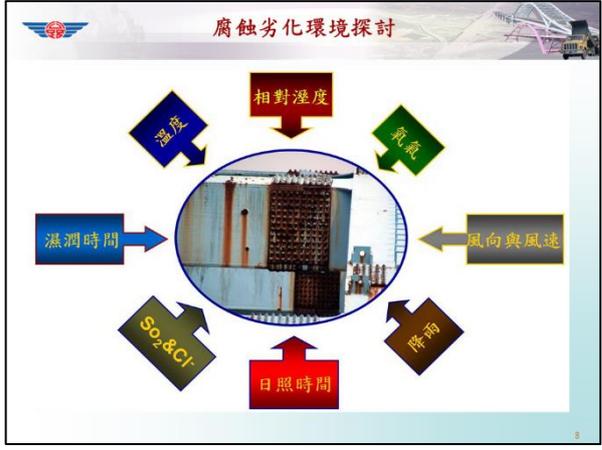


圖 5.15 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(1/11)

腐蝕劣化環境探討與影響

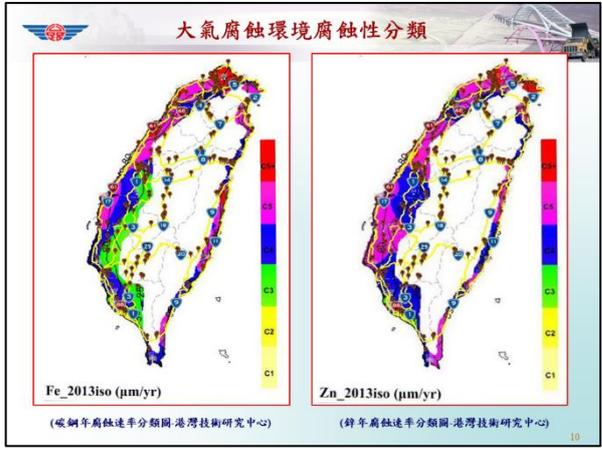
腐蝕劣化環境探討

- 氣候環境對金屬腐蝕有絕對的影響作用，氣候環境之腐蝕劣化影響因素可區分為空氣品質因素與氣象因素。
- 空氣品質因素主要有具腐蝕性物質或塵粒（氣鹽、二氧化硫等）及無腐蝕性塵粒等影響因子。
- 氣象因素包含與水分直接相關的大氣相對濕度、表面濕潤時間、降雨，氣溫及日照時間，另有風速、風向等影響因子。



大氣腐蝕環境腐蝕性分類 (ISO-12944)

腐蝕環境分類	單位面積上重量損失/厚度損失 (經第1年暴露後)				溫帶氣候下的典型環境案例 (僅供參考)
	低碳鋼		鋅		
	重量損失 (g/m ²)	厚度損失 (μm)	重量損失 (g/m ²)	厚度損失 (μm)	
C1 非常低	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	-
C2 低	>10-200	>1.3-25	>0.7-5	>0.1-0.7	低污染之天氣，大部分是鄉村地區
C3 中	>200-400	>25-50	>5-15	>0.7-2.1	都市、工業天氣、中度二氧化硫污染、紙鹽度的沿海區域
C4 高	>400-650	>50-80	>15-30	>2.1-4.2	工業區、中度鹽度的沿海區域
C5 很高	>650-1500	>80-200	>30-60	>4.2-8.4	高濃度和惡劣天氣的工業區域及含高鹽度的沿海區域
CX 極高	>1500-5500	>200-700	>60-180	>8.4-25	熱帶與亞熱帶之高鹽份海上區域及高濃與惡劣天氣腐蝕工業區



鋼材腐蝕原理

- 腐蝕產生之鐵鏽主要成份為鐵的氫氧化物或氧化鐵水化合物，腐蝕反應的第一階段主要係因局部電池的產生而造成鋼材表面特性不均，此表面若處於腐蝕環境中，鐵將形成鐵離子 (Fe²⁺)，若再與水、氧接觸，則鐵離子將遭分解，再持續反應成為水和氧化物 (FeOOH) 或紅鏽 (Fe₂O₃ · 3H₂O)。

混凝土中鋼筋腐蝕主要因素

- 混凝土若具有高緻密性，鋼筋腐蝕現象較難發生，但臺灣四面環海，常年處於高溫多濕的氣候下，若包裹鋼筋之混凝土因施工不良，或養護溫度及濕度未能有效控制，形成孔隙，使得腐蝕因子及中性化因子進入而造成鋼筋腐蝕及混凝土中性化等不利後果，更降低鋼筋和混凝土之間的握裹力，影響橋梁結構的耐久性。

圖 5.16 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(2/11)

混凝土中鋼筋腐蝕主要因素

- 混凝土中造成鋼材腐蝕之必要條件為足夠水份之滲透，足夠之氧氣、足夠氯離子（鹽害）或酸蝕（混凝土中性化）破壞鋼筋之高鹼性鈍態氧化膜及產生良好電通路，



鋼結構橋梁材料腐蝕劣化主要因素

1. 環境因素
 - (1) 大氣相對濕度、表面潤濕時間、降雨，氣溫及日照時間，風速、風向等影響因子。
 - (2) 空氣品質有關因素有具腐蝕性物質或塵粒（氯鹽、二氧化硫）、無腐蝕性塵粒等影響因子。
2. 設計因素
 - (1) 防蝕系統設計因素
 - a. 塗裝系統選用不當。
 - b. 塗膜厚度不足。
 - c. 各層塗料施作時機規劃不當
 - (2) 結構細部設計因素



鋼結構橋梁材料腐蝕劣化主要因素

3. 施工因素
 - (1) 表面處理不當。
 - (2) 塗膜厚度不足。
 - (3) 各層塗裝間隔時間未能嚴守規定。
 - (4) 塗料材質或使用方式未依規定。
 - (5) 塗佈作業未依規定在合宜的環境之中進行。
 - (6) 鋼構材在搬運時未做適當防護。
 - (7) 臨時構材切除後，未作適當防蝕處理



常見橋梁構件腐蝕樣態

常見之橋梁腐蝕樣態及發生位置

1. 伸縮縫附近因排水、導水不良產生鋼材銹蝕



常見橋梁構件腐蝕樣態

1. 伸縮縫附近因排水、導水不良產生鋼材銹蝕



常見之橋梁腐蝕樣態及發生位置

2. 因橋面版或伸縮縫滲水或排水管脫落致箱梁內部排水不良而積水



圖 5.17 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(3/11)

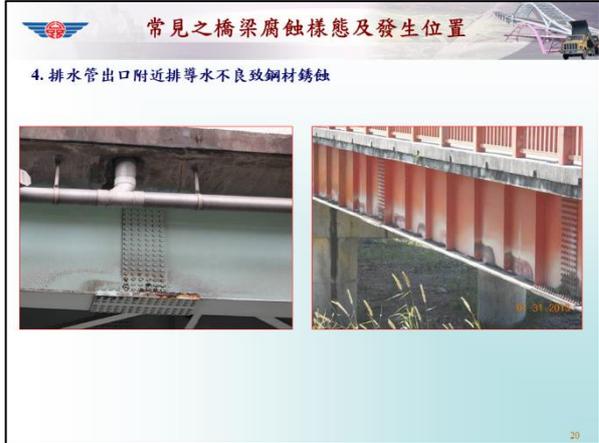


圖 5.18 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(4/11)



圖 5.19 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(5/11)



圖 5.20 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(6/11)

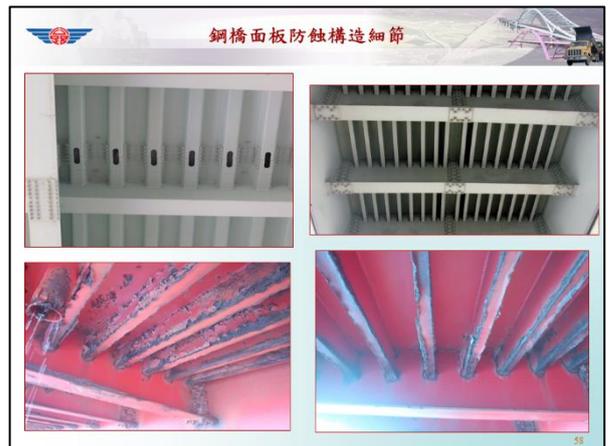
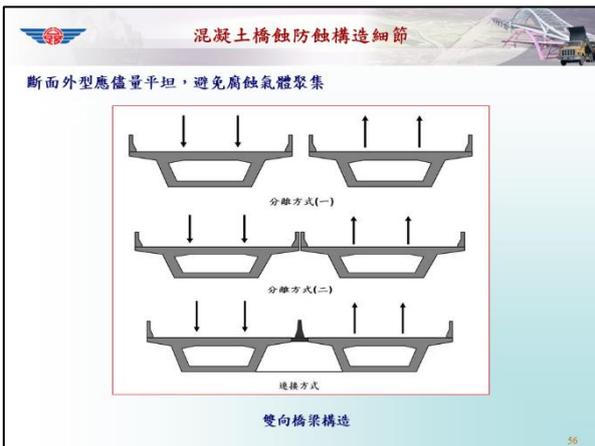
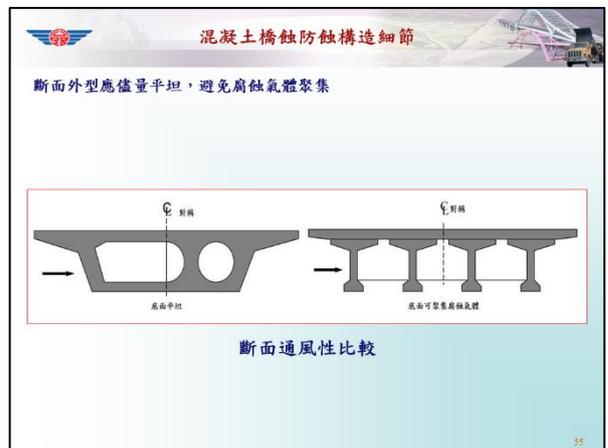
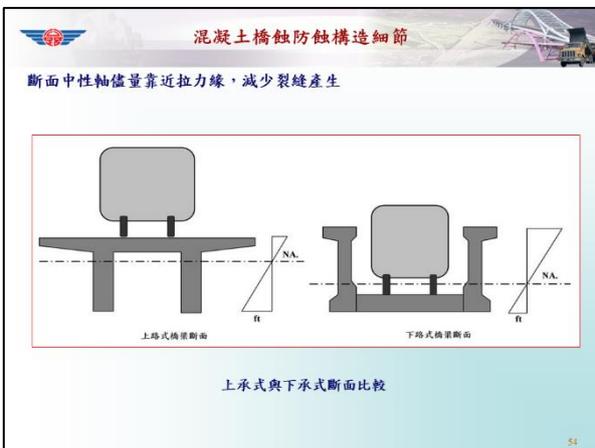


圖 5.21 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(7/11)

混凝土橋防蝕構造細節

混凝土斷面保護層厚度應配合環境與施工條件

橋梁構造是直接與所處環境接觸，各部位都得配合環境條件（包括整體環境與部位局部環境）採用適當保護層厚度，目前交通部橋梁設計規範第12章對橋梁結構耐久性設計部分已有特別規定。



混凝土橋防蝕構造細節

位於梁端底部支承附近鋼筋之防蝕

因梁端底部支承處之調坡塊及墊塊，因鋼筋較密集混凝土澆注若不確實，及梁底與帽梁間空間小，通風不良易有腐蝕因子聚集造成鋼筋腐蝕混凝土剝落如圖所示，該處之鋼筋建議採**熱浸鍍鋅**或**環氧樹脂鋼筋**。

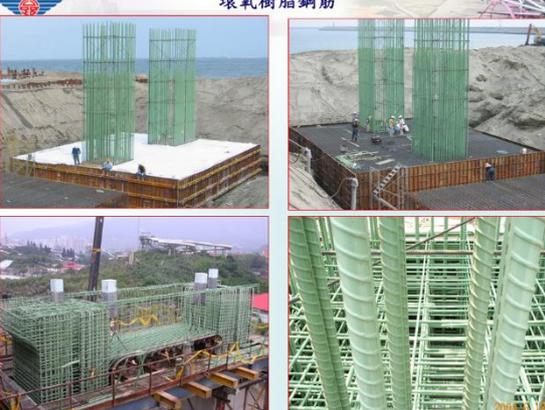


(鍍鋅鋼筋) (環氧樹脂鋼筋)

熱浸鍍鋅鋼筋




環氧樹脂鋼筋



鋼橋檢查執行項目

- 主要檢查項目
 - 鋼材、連接板與螺栓**塗膜劣化**程度
 - 鋼材、連接板與螺栓**腐蝕**程度量測
 - 螺栓**鬆動**或**脫落**
 - 鉚道**品質**檢測
 - 繫索、支承及防落設施
 - 箱內**積沙、積水及雜物**
- 檢查設備與儀器
 - 檢查設備
 - 檢測儀器
 - 輔助設備
 - 勞安設備
- 檢查團隊成員(委外檢測為例)
 - 土木技師或結構技師
 - 鉚接檢驗師
 - 非破壞檢驗師(VT, MT, PT, UT, RT)
 - 鋼構塗裝檢驗員
 - 橋梁檢測培訓合格人員
 - 勞安管理員
 - 缺氧作業主管
 - 急救員
 - 監視員

圖 5.22 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(8/11)



圖 5.23 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(9/11)

高空作業及箱內檢測危害風險評估

潛在危害	風險評估			危害對策	執行人員	殘餘風險		
	可能性	嚴重度	評估值			可能性	嚴重度	評估值
內部作業空間狹窄作業時易產生碰撞挫傷及割擦傷	P3	S2	中度風險	作業時確實穿戴個人防護具並穿著長袖	檢測小組	P1	S1	輕度風險
作業環境高溫悶熱可能有中暑現象	P3	S2	中度風險	定時補充水分若有不適立即撤出，且現場配置急救員隨時待命	檢測小組	P2	S1	低度風險
箱梁進出口地勢高峻，不易到達，恐有墜落危險	P3	S3	高度風險	設置施工架、上下設備、安全護欄、安全母索、安全帶，施工架採用CNS4750材質	檢測小組	P1	S1	輕度風險
局限空間施工，內部氧氣濃度不足	P3	S3	高度風險	設置通風設備、氣體偵測儀定期偵測、氧氣呼吸設備	檢測小組	P1	S1	輕度風險



鋼材銹蝕程度檢測

箱內鋼材塗膜因水氣影響致塗膜劣化後生銹或銹蝕，可經由目視檢測判斷其銹蝕情況，並以檢測工具量測「銹蝕深度」



連接板銹蝕程度檢測

連接板與構件及連接板與螺栓之結合面為「**間隙腐蝕**」最易產生位置，也可經由目視檢測判斷其銹蝕情況，並以檢測工具量測「銹蝕深度」



銲接處銹蝕程度檢測

銲接處除銹後以檢測工具量測「銹蝕深度」



螺栓銹蝕程度檢測

Rank	損傷概要圖	代表写真	健全評估	判定
腐蝕度 1			檢驗健全下未見腐蝕，不需參考應承壓力降損的情況。	健全
腐蝕度 2			檢驗近乎健全，腐蝕狀況幾乎不在要部中，幾乎不需參考應承壓力降損的情況。	健全
腐蝕度 3			螺栓表面塗膜剝離處可見輕微腐蝕狀況，應承壓力降損影響甚小，仍視為健全狀態。	健全
腐蝕度 4			螺栓表面可見明顯腐蝕減少範圍，應承壓力降損影響甚大，必要時應修正。	注意
腐蝕度 5			螺栓表面可見明顯腐蝕的腐蝕，應承壓力降損影響甚大，必要時應修正。	補修



鋼橋塗膜缺失樣態



圖 5.24 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(10/11)

結論與建議

結論

- 橋梁劣化與腐蝕防治是一項全程性之工作，不論是**路線選擇、橋梁位置、橋梁高度、橋梁型式、使用材料、構材斷面、構造細部、構件結合方式、附屬設施、橋梁施工、長期維護之可行性**等問題，於規劃設計階段即應充分考量。
- 目前橋梁**檢查人員與維護經費**極度欠缺下，不完善的設計與不良的施工，如先天體質不良將註定一輩子宿疾纏身，目前中央及各縣市政府財政困難，需維護之橋梁卻與日俱增，爰**提升規劃設計能力及廠商施工品質**，讓橋梁完工後減少維護頻率或免維護為目前最重要課題。

結論與建議

建議(一)

- 若橋管單位缺乏橋梁維護經驗，新建之橋梁型式應參考工址環境分類，對鋼材防蝕特別設計，盡量**採易維護之結構型式**；另設計廠商於設計階段應提出完工後之維護手冊，供後續維護人員據以辦理。
- 落實橋梁**管理維護機制**，提升橋檢人員專業素養，若須委外辦理檢測評估工作，應選擇專業之廠商及對廠商橋檢工作及成果，需有**查核及查證能力**。
- 橋梁劣化係漸進式，在輕微時不及時處理，往往到構件嚴重受損，甚至打除重做或釀成災害。養護單位可適時就重要鋼橋構件且易銹蝕位置即時採**局部塗裝及定期對鋼構面水洗清除污染物**，以減少有害物附著，對於橋梁美觀及延壽有很大助益。

結論與建議

建議(二)

橋梁雖靠維護階段徹底改善劣化缺失而達到延長使用壽命，但需投入大量人力與財力，理應回歸全生命週期的確實管理，方能減少後續維護修繕及費用；由目前橋梁維護階段所發現之橋梁劣化與缺失原因，除部分屬設計未考慮周詳及營運階段使用不當所造成之劣化外，**大部分劣化均為施工階段所造成**，新建橋梁為避免產生前述相關缺失，對於**提升廠商施工水準及鋼構廠與現場監造工程司之施工實務專業訓練**，為當務之急。

**報告結束
敬請指正**

公路總局西濱北工處第三工務段
李家順工程司
0931-092323

圖 5.25 講題 2 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討(11/11)

中華民國交通部 109年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防腐工法應用研習會

臺灣腐蝕環境分類資訊系統 應用介紹

主講人 **羅建明 博士**

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

109年11月25日

簡報大綱

- 壹、臺灣腐蝕環境影響與問題
- 貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置
- 參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用
- 肆、結語

壹、臺灣腐蝕環境影響與問題 -腐蝕環境影響

臺灣腐蝕環境

臺灣四週環海，屬腐蝕嚴苛之海洋環境，工程材料腐蝕對公共工程使用壽命具嚴重危害性，因此腐蝕防治為我國亟需嚴正面對的重要課題。

影響：材料腐蝕之經濟損失

根據美國腐蝕工程師協會(NACE)調查結果顯示，2013年美國的腐蝕造成直接經濟損失，超過GDP的3.4%，2012年歐洲腐蝕年會發佈全球腐蝕年損失約占全球GDP3.0~3.5%。

依美國與歐盟推估材料腐蝕損失，每年約占GDP之3.0%~3.5%，我國材料腐蝕年損失約為新臺幣5,700億元至6,700億元之間。 2020我國GDP新臺幣19兆2,267億元

貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置 (1/14) -建置緣由與目的

緣由

- 往昔國內沒有長期大氣腐蝕因子現地監測機制，缺乏大氣腐蝕環境分類與分級指標提供防蝕設計使用。
- 存在以維修替代防蝕設計之錯誤觀念。
- 採用其他國家防蝕設計條件，常與國內腐蝕環境差異很大，造成防蝕設計不當。

目的

- 依我國海洋環境之現地條件作為防蝕設計與維護管理之依據，可全面改善往昔引用國外設計條件之不足，提升防蝕效能，大幅減低腐蝕之經濟損失，並提高使用年限與安全。

貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置 (2/14) -推動方式

(98年起推動)

1. 辦理材料腐蝕調查與防治方法研究。
2. 建立長期大氣與水下腐蝕監測站。
3. 臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置與應用。
4. 發行大氣腐蝕劣化因子調查研究年報。

貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置 (3/14)

大氣腐蝕 (98年開始執行)

露蝕因子網管及金屬暴露試驗站 (232處)

● 三氧化硫空氣曝露試驗站 (17處)

● 鹽分曝露試驗站 (19處)

● 環境金屬暴露試驗站 (14處)

● 非金屬材料暴露試驗站 (14處)

試驗地址：全洲各海洋區、工業區、都市區、鄉村區、公路沿線等

試驗頻率：每3個月為1年，定期、不定期

水下腐蝕 (103年開始執行) -建立長期監測站

水下腐蝕暴露試驗站 (14處)

● 鋼筋暴露試驗站 (14處)

● 鋼管暴露試驗站 (14處)

● 鋼板暴露試驗站 (14處)

● 鋼絲網暴露試驗站 (14處)

● 鋼管暴露試驗站 (14處)

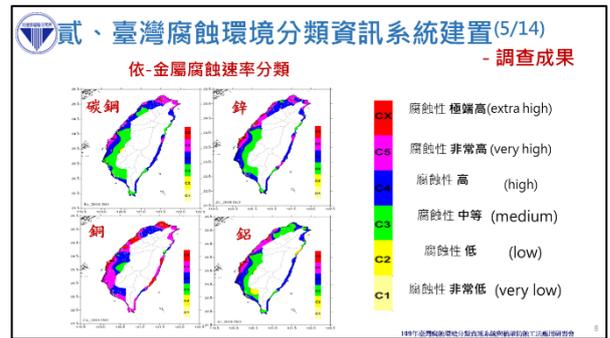
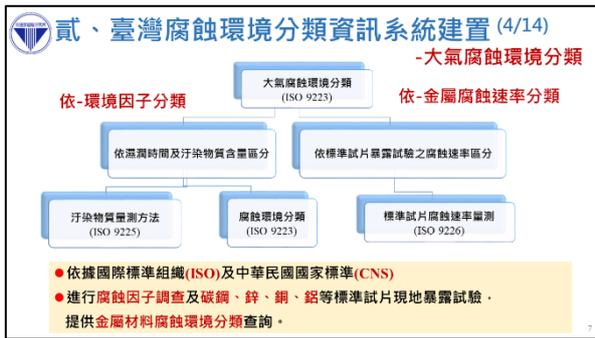
● 鋼板暴露試驗站 (14處)

● 鋼絲網暴露試驗站 (14處)

試驗地址：全洲各大商港碼頭

試驗頻率：第1、2、5、8、10年期復檢

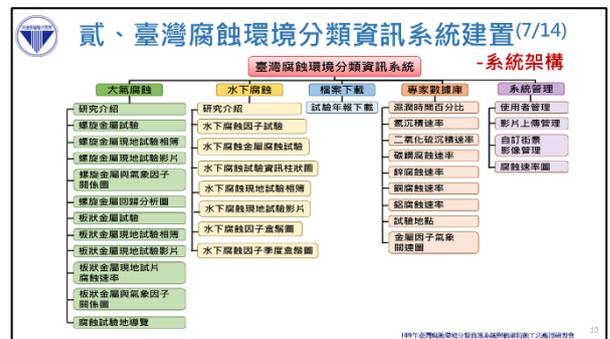
圖 5.26 講題 3 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(1/5)



貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置(6/14)

- 歷年成果 (100年起執行)

- 本網站包括防蝕設計所需之4種防蝕金屬材料的腐蝕速率調查、氣象條件及腐蝕環境等級分類，提供防蝕設計之使用。
- 藉由年報發行，提供歷年來臺灣腐蝕環境分類調查資料與統計相關分析以供材料防蝕與維護使用。



貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置(8/14)

- 系統內容

臺灣腐蝕環境分類資訊系統

- 本系統應用Google map試驗點位分佈，迅速展繪全國腐蝕分類狀況，並提供各試驗點金屬腐蝕速率查詢。

貳、臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置(9/14)

- 系統內容

大氣試驗站資料查詢

圖 5.27 講題 3 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(2/5)

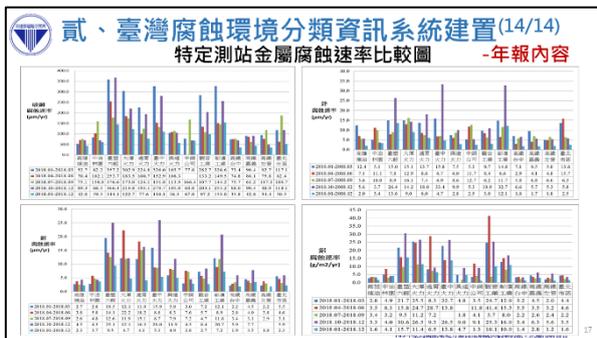
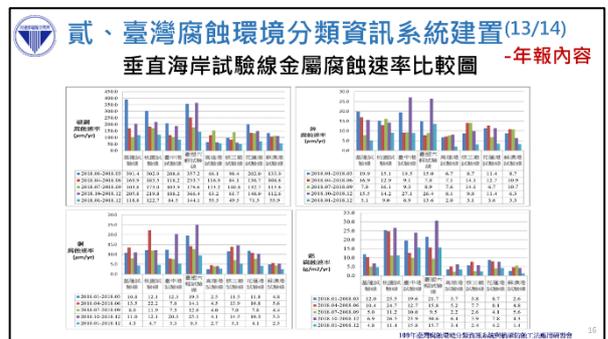
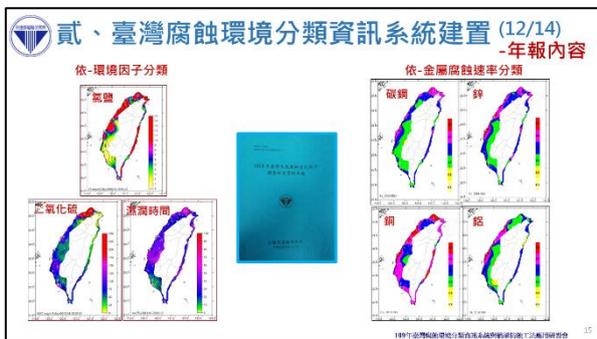
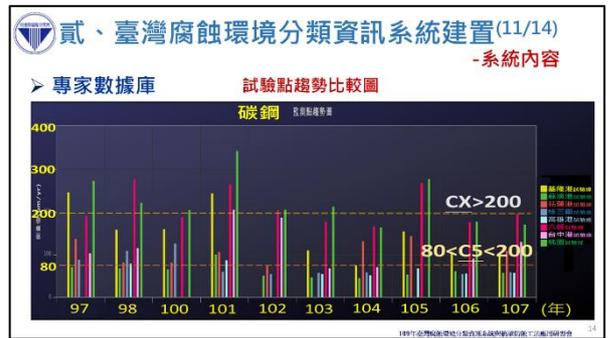


圖 5.28 講題 3 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(3/5)

參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用(2/7) -成果發表與獲獎

➢ 期刊發表

- 於國內外期刊(SCI及EI)發表 6 篇論文，因研究測站密度高，且長期持續執行重要參考價值，成果受國際社會重視。
- 於國際研討會發表相關論文 12 篇，內容包括臺灣金屬腐蝕之分類等級、數據分析、趨勢變化，並建立金屬腐蝕速率預測模式等特性，研究成果深受國際學術交流引用及推廣。

➢ 獲獎紀錄

- 101年榮獲中華民國防蝕工程學會工程論文獎。
- 101年榮獲中國工程師學會工程論文獎。
- 103年榮獲中華民國防蝕工程學會工程論文獎。



參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用(3/7) -應用實例(1/3)

部頒公路橋梁耐久性設計規範 要求參考本所腐蝕環境調查分類

交通部104.4.13 修訂部頒 公路橋梁設計規範 第十二章耐久性設計(原海洋環境下防蝕設計)

12.5 鋼構

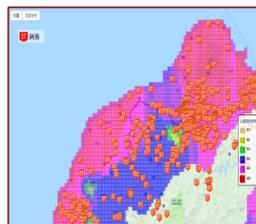
12.5.1 通則
公路鋼構進行防蝕工程設計時，應考量之步驟及內容，並對各種防蝕的方法作原則性之要求。

12.5.2 大氣腐蝕環境調查分類
鋼構防蝕設計應基於環境的認知與大氣腐蝕環境分類，大氣腐蝕環境分類可根據充分可靠的大氣腐蝕環境調查資料為之。橋址附近之大氣腐蝕環境調查資料可參考國內既有之調查成果，若無相關資料時，宜進行大氣腐蝕性調查，並據以進行大氣腐蝕性分類。



參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用(4/7) -應用實例(2/3)

- 公路總局：橋梁養護與設計塗裝分級選用、維護頻率訂定及經費補助順序考量，套疊橋梁位址篩選高鹽害潛勢橋梁，以加強巡檢及採取補強措施。
- 高速公路局：交通設施金屬構件如沿線燈桿、門架等防蝕之應用。
- 臺灣港務公司：港灣結構物如鋼板(管)樁腐蝕防治設計參考。



參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用(5/7) -應用實例(3/3)

- 鐵公路鋼構橋梁結構物之防蝕改善與維護。(永記造漆、柏林塗料、台鐵熱浸鍍鋅...等)
- 高鐵構件防蝕改善與維護。(日商三菱重工、工研院材化所)
- 台塑麥寮廠防蝕改善與維護。(工研院材化所)
- 臺中港中突堤碼頭防蝕改善。(中興工程顧問公司)
- 臺中港中油天然氣廠新建儲油槽防蝕設計及舊儲油槽之維護改善。(台灣世曦工程顧問公司、日商大阪瓦斯公司)



參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用(6/7) -成果宣導

➢ 108-08-23交通部例行記者會

- 推動腐蝕環境監測
推動臺灣腐蝕環境分類資訊系統，並與產官學研結合大力推廣應用。
- 確保公共建設品質
提昇公共工程品質，延長交通設施使用年限。
- 延長交通設施壽齡
提供適合國內本土防蝕設計正確基礎數據，降低維護成本，減少重建費用社會成本。



參、臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用(7/7) -未來展望

自98年起，本所持續進行腐蝕環境調查及資料建置，目前為我國唯一腐蝕環境分類資料庫，未來仍將投入資源推動調查研究並擴充系統應用功能。

➢ 後續推動

- 擴大公路、鐵路、港灣、機場等設施廣泛應用，仿照部頒公路橋梁設計規範鋼結構物防蝕設計，提供交通設施或建物之防蝕指南使用。
- 因應極端氣候、工業區消長等環境變遷，適時擴增試驗站，俾使腐蝕環境資料蒐整分析更為周全。
- 廣泛宣導工程防蝕觀念，並向工程界積極推廣，擴大防蝕應用成效。

圖 5.29 講題 3 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(4/5)

 肆、結語

- 1 「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」所提供各項資訊為公共工程結構材料防蝕設計維護之重要參據。
- 2 建議工程單位，在防蝕設計及維護管理方面，參用本系統相關資料，以確保公共工程結構物使用年限。
- 3 本所將持續推動調查、研究及推廣應用，供各界採用，共同提升設施安全與品質。

109年全國防蝕學術研討會暨防蝕技術研討會(三)研討會



圖 5.30 講題 3 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹(5/5)

第六章 結論

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高濕與高鹽份的環境，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外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，腐蝕因子的調查與掌握對金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計的影響，有其重要性。

本計畫目標包括：1.臺灣全島之大氣腐蝕因子調查，2. 大氣腐蝕標準試片製作與現地暴露試驗之腐蝕速率量測，3.建立大氣與水下腐蝕因子資料庫，4.近十年研究成果趨勢分析比較，5.完成臺灣大氣腐蝕環境分類之工作。

在此目標下，本計畫蒐集大氣氣象資料、氯離子、二氧化硫沉積量等腐蝕劣化因子、金屬標準試片腐蝕速率及大氣腐蝕環境分類資料之分析圖表，建置於臺灣腐蝕環境分類資訊系統，提供工程單位做為材料設計選用及防救災決策支援使用。

6.1 結論

1. 在氯鹽沉積速率趨勢結果發現，整個 102 年至 108 年間，氯鹽沉積速率較高的沉積速率發生在 102 年、103 年 105 年及 106 年，以桃園試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線、花蓮港試驗線較高，所測得的氯鹽沉積速率皆大於 $30 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。107 年至 108 年東部及南部海岸的氯鹽沉積速率皆有降低的趨勢，西部海岸的氯鹽以基隆試驗線為最高介於 $25.3\sim 27.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 之間。
2. 二氧化硫沉積速率趨勢結果發現，較高的沉積速率發生在 102 年、103 及 106 年，以觀音工業區、龍德工業區、臨海工業區、彰濱工業區較高，所測得的二氧化硫沉積速率皆大於 $400 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。
3. 在 98 年至 108 年一年期試片之腐蝕速率在垂直試驗線各金屬之腐蝕速率進行比較，碳鋼腐蝕速率介於 $45.3 \mu \text{ m/yr}$ (高雄港試驗線)至

282.4 $\mu\text{ m/yr}$ (桃園試驗線)之間，而較高的沉積速率發生在 98 年、101 及 108 年，以桃園試驗線、基隆試驗線、臺塑六輕試驗線較高，所測得的碳鋼腐蝕速率皆大於 200 $\mu\text{ m/yr}$ 。

4. 鋅腐蝕速率介於 1.6 $\mu\text{ m/yr}$ (高雄港試驗線)至 50.3 $\mu\text{ m/yr}$ (桃園試驗線)之間，以桃園試驗線較高，而較高的沉積速率發生在 98 年、99 及 104 年，所測得的鋅腐蝕速率大於 40 $\mu\text{ m/yr}$ 遠遠高於其他垂直試驗線。
5. 銅腐蝕速率介於 1.6 $\mu\text{ m/yr}$ (蘇澳港試驗線)至 13.7 $\mu\text{ m/yr}$ (臺塑六輕試驗線)之間，以臺塑六輕試驗線較高，所測得的銅腐蝕速率皆大於 5.6 $\mu\text{ m/yr}$ 屬腐蝕分類中 CX 級。
6. 鋁腐蝕速率介於 0.8 $\text{ g/m}^2\text{/yr}$ (蘇澳港試驗線)至 30.7 $\text{ g/m}^2\text{/yr}$ (桃園試驗線)之間，以桃園試驗線、臺塑六輕試驗線較高，而較高的沉積速率發生在 99 年、100 及 105 年，所測得的鋁腐蝕速率皆大於 25 $\text{ g/m}^2\text{/yr}$ 。

6.2 建議

1. 未來持續建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫，並針對前期累積量測與試驗分析資料，進行統計與大數據分析，研析大氣腐蝕因子與金屬材料之關聯性。
2. 加強推廣「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」於交通部、公路總局、高速公路局、港務公司及顧問公司等選用金屬材料及防蝕工法參考應用，確保公共工程如橋梁、碼頭等構造物，能達到或超過設計使用年限。

6.3 研究成果之效益

1. 學術效益:發行年報及研習會。
 - (1) 2020 年發行交通部運輸研究所專刊，出版 2019 年「臺灣大氣

腐蝕劣化因子調查資料年報」1冊。

(2) 舉辦「臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會」1場。

2. 社會環境安全影響：本計畫建立臺灣大氣腐蝕環境分類資訊系統，目前全島建置 94 個金屬暴露試驗點與 14 個水下金屬長期腐蝕試驗，藉由環境因子調查，了解金屬構造物劣化情形及探討其發生機理，並依腐蝕環境分類特性，選用適當之維修材料與工法。以提升我國之整體防災能力及環境之安全與資源之永續利用。
3. 資料庫建置效益：逐年完成臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫的建立且發行臺灣大氣腐蝕劣化因子調查資料年報提供工程單位瞭解金屬構造物在臺灣各腐蝕環境中的耐久性與其防蝕控制之須要可作為港灣地區之地震災前預防、災時應變計畫與決策之參考依據。

6.4 提供政府單位應用情形

1. 本計畫建置「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」網站並出版年報，提供公民營事業單位營運安全防護採用。例如公路總局橋梁養護與設計塗裝分級選用、維護頻率訂定及經費補助順序考量，套疊橋梁位址篩選高鹽害潛勢橋梁，以加強巡檢及採取補強措施。
2. 完成國內大氣腐蝕環境分類提供產官學研各界參考應用。如：中華民國防蝕工程學會、臺塑企業、中國鋼鐵、公路總局、國道新建工程局、經濟部工業局、臺灣高鐵、臺灣世曦工程顧問公司、中興工程顧問公司等。

參考文獻

1. 羅建明、陳桂清、柯正龍「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(1/4)」，交通部運輸研究所，2012。
2. 羅建明、陳桂清、柯正龍「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(2/4)」，交通部運輸研究所，2013。
3. 羅建明、陳桂清、柯正龍「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(3/4)」，交通部運輸研究所，2014。
4. 羅建明、陳桂清、柯正龍「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(4/4)」，交通部運輸研究所，2015。
5. 羅建明、陳桂清、柯正龍「金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2)」，交通部運輸研究所，2016。
6. 羅建明、陳桂清、柯正龍「臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究(1/4)」，交通部運輸研究所，2017。
7. 羅建明、陳桂清、柯正龍「金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2017。
8. 羅建明、黃宇謙「臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究」，交通部運輸研究所，2018。
9. 羅建明、黃宇謙「108年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究」，交通部運輸研究所，2019。
10. 羅建明、莊凱迪、黃宇謙「109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究」，交通部運輸研究所，2020。
11. 林維明、饒正等「臺灣海域之腐蝕特性防蝕設計及材料選用與開發」，臺灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1991。
12. 林維明、饒正「基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所專刊第59號，1990。
13. 饒正、林維明、陳桂清，「港灣 R.C 結構物修理系統評估研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1994。

14. 林維明、饒正「澎湖跨海大橋腐蝕調查研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所專刊第 41 號，1987。
15. 林維明、饒正等「港灣鋼構造物耐久性研究第一年報告」，臺灣省交通處港灣技術研究所，1990。
16. 饒正、柯正龍等「港灣鋼構造物耐久性研究第二年報告」，臺灣省交通處港灣技術研究所，1991。
17. 陳桂清、饒正、柯正龍等「港灣鋼構造物耐久性研究第三年報告」，臺灣省交通處港灣技術研究所，1992。
18. 陳桂清、饒正、柯正龍「港灣鋼構造物耐久性研究第四年報告」，1993。
19. 饒正、柯正龍等「港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1991。
20. 饒正、林維明，「港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1996。
21. 饒正、陳桂清、柯正龍、羅建明，「現有結構物安全評估及維護研究(一)」臺灣省交通處港灣技術研究所，1997。
22. 陳桂清、饒正、張道光、羅建明，「現有結構物安全評估及維護研究(二)」臺灣省交通處港灣技術研究所，1998。
23. 饒正、李賢華、宋克義、羅俊雄，「現有結構物安全評估及維護研究(三)」臺灣省交通處港灣技術研究所，1999。
24. 饒正、陳桂清、李釗、李賢華，「現有結構物安全評估及維護研究(四)」交通部運輸研究所，2000。
25. 饒正、柯正龍，「水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1995。
26. 饒正、陳桂清、李賢華、羅俊雄，「高雄港工結構材料海生物附著與對策研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所，1997。
27. 饒正、陳桂清、李賢華、羅俊雄，「高雄港港工結構腐蝕與海生物附著研究」，臺灣省交通處港灣技術研究所，1999。

28. 饒正、陳桂清、柯正龍、張道光，「碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究」，交通部運輸研究所，2002。
29. ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
30. ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres –Guiding values for the corrosivity categories.
31. ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
32. ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
33. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 1999.
34. ISO 8565/1992: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
35. 中華民國國家標準 CNS 13401 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，民國 83 年 6 月。
36. 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)，民國 94 年 4 月。
37. 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)，民國 85 年 7 月。
38. 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，民國 87 年 3 月。
39. 中華民國國家標準 CNS14123 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)，民國 95 年 10 月。
40. Metals Handbook- Corrosion, Metals Handbook Ninth Ed., Vol. 13, ASM International, Ohio, 1988.
41. I. Odnevall and C. Laygraf, “Atmospheric corrosion”, ASTM STP 1239, W.W. Kirk and Herbert, H. Lawson, Eds., Philadelphia, 1995.

42. Outdoor atmospheric corrosion”, ASTM STP 1421, H.E. Townsend Ed., West Conshohocken, PA, 2002.
43. K.O.Gray "Environment of Deep Ocean Test Site, U.S.Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note , N-657", p. 41, 1965.
44. W.Whitman, R.Russll, V.Altieri, "Industrial Engineering Chemistry", Vol.16, p. 665, 1924.
45. F.W. Fink, "Corrosion of Metals in Seawater", U.S. Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress Report, No.46, 1960.
46. Uhlig H. H., “The Corrosion Handbook,” (La Que), John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 387-388. 1948.
47. Samuel A. Bradford H.H. "Corrosion Control", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. 1993.
48. LaQue, F. L., Marine Corrosion cause and Prevention, John Wiley & Sons, New York, 1975.

附錄一
期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查委員	審查意見	處理情形
林佑任委員	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="488 477 999 846">1. 本研究很有意義，尤其現在離岸風電發展中幾乎大部分的材料都是金屬材料，研究成果將可提供相關產官學研各界參考與學習，感謝港研中心與羅博士研究團隊。 <li data-bbox="488 891 999 1149">2. p.2-1 有關 SO₂ 有沉積速率或濃度可以描述污染物的累積嚴重性，但是濃度本身無法有時間意義，建議把濃度所使用的時間也寫清楚。 <li data-bbox="488 1417 999 1675">3. p.2-3 圖 2.2 有關大氣腐蝕測試的試樣示意圖，第一支與第二支標示完全相同但有所不同(鉛螺旋)建議寫清楚有所區隔。 <li data-bbox="488 1720 999 1921">4. p.2-6 有關化學平衡式(2-4)，建議再檢視。另有關 SO₂ 腐蝕反應的引用來源請再確認。 	<p data-bbox="1023 477 1257 521">謝謝委員指教。</p> <p data-bbox="1023 902 1366 1361">有關二氧化硫沉積速率與時間之關連性，如報告 P1-7 內容，業已說明時間曝露方式，謝謝委員的建議，日後針對委員意見，二氧化硫沉積速率與時間之關連性，精進做一個表格條列化方式呈現。</p> <p data-bbox="1023 1417 1366 1507">謝謝委員建議，示意圖已更正辦理。</p> <p data-bbox="1023 1731 1366 1821">謝謝委員建議，化學式平衡式已更正辦理。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>5. 有關氯鹽沉積速度不同的時間所得結果變化不小，建議加以說明。</p> <p>6. 臺中港北淤沙區防風柵欄沖孔鍍鋅鋼版往往使用 2~3 年即有破損情形，即為本研究所提到的強風飛砂刮損之腐蝕情形，本研究具高度實用性，建議可持續辦理。</p>	<p>謝謝委員建議，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教。</p>
王朝正委員	<p>1. 第二章 如果是引用的圖，圖說明仍需註明參考文獻，部分不清楚的圖建議重畫。</p> <p>2. 第三章 試片的佈放地點，要讓相關單位知道。例如臺電目前在做廢料儲存地點的評估，但他們似乎不知道核三已進行了多年的調查。</p> <p>3. 第四章 針對數據進行描述，期待能有更深入的原因探討。桃園試驗線的腐蝕速率特別嚴重(鐵、鋅)，是否有特別的原因？腐蝕因子的量測結果是否有一致性？</p>	<p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，未來將積極推廣告知相關應用單位。</p> <p>謝謝委員指教，關於桃園試驗線鐵、鋅已更正說明辦理。</p>
許書王委員	<p>1. 第四章 描述成果現象，採用起伏較大、起伏大、起伏</p>	<p>謝謝委員指教，文字意涵已更正辦理。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>不大、東部較為統一……等部分，建議可在更優化文字意涵。</p> <p>2. 經多年蒐集各線金屬腐蝕速率，或與各線相關範圍內之工廠排放有關，或可供環保單位參考以及分類。</p> <p>3. 綜合多年數據，是否可嘗試考量勾勒出整個試驗之程序，並修正為 SOP 可供未來需求者參用。</p> <p>4. 臺灣工業區或有變遷，長期而言，對於原腐蝕因子或有改變，可於結論或建議中提出供參性，試驗如何區分？</p>	<p>謝謝委員指教，未來將會提供環保單位參考。</p> <p>謝謝委員指教，未來將努力朝 SOP 提供各界參用。</p> <p>謝謝委員指教，關於試驗點變遷，自 105 年已隨工業區變遷陸續進行更換中，腐蝕因子也將於後續進行了解。</p>
賴瑞應委員	<p>1. 報告 3-13 頁表 3-4 有誤請修正。</p> <p>2. 報告 6-1 頁 6.1 結論僅針對環境因子及各金屬的腐蝕速率做呈現，建議能再進一步論述與說明。</p> <p>3. 針對各金屬腐蝕速率的歷年統計圖，建議能補充說明</p>	<p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已於 6-1 頁 6.1 結論補充說明更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，本研究今年先針對歷年趨勢</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>未來使用單位參考使用時，要如何使用，舉例來說，建議設計時能取歷年最大腐蝕速率來設計而不是歷年平均值之建議說明。</p>	<p>繪製統計圖，未來後續再研擬設計腐蝕速率建議參用方式，提供使用單位參考。</p>
<p>蔣敏玲委員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 英文摘要及 p.1-1 第一段結尾「以利日後新建與既有金屬或鋼筋混凝土結構物」似未表達完全，有所疏漏？ 2. p.5-1 “擬邀請……” 等用詞在期末報告宜修正。 3. 圖 4.1 ~圖 4.6 以顏色區分，但黑白印刷後不易辨識，建議以不同底樣區分或彩色印刷。 	<p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p>
<p>許義宏委員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 調查資料豐富，且提出長期腐蝕速率趨勢分析，深具成效且具應用價值。 2. 今年度原規劃水下金屬腐蝕試驗及水質調查分析等 2 項工作(p.1-14)，後面章節似無相關內容，請再釐清確認相關工作是否辦理。 3. 報告中對於已建置試驗點之數量統計前後似有不一 	<p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教，已於 p.1-14 補充說明更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，p.1-3、p.1-8、p.1-14 已檢視更</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>致之狀況(如 p.1-3、p.1-8、p.1-14)，應有誤植，請再檢視確認。</p> <p>4. 參考文獻部分，僅列出 2002 年以前的文獻，近期的參考文獻似未納入(如 p.1-6~p.1-13 所列文獻)。建議補充更新。</p> <p>5. 航港局自 108 年推動進出港區之船舶使用低硫燃油政策，在硫排放量之影響，是否會影響大氣環境改變，建議未來可研議是否納入探討。</p> <p>6. 本研究針對近 10 年腐蝕速率探討，並呈現長期趨勢，建議未來能研議是否進一步探究原因及影響因子。</p>	<p>正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，所列文獻已補充更新。</p> <p>謝謝委員指教，未來將納入探討研議。</p> <p>謝謝委員指教，未來會將金屬與腐蝕影響因子進行趨勢相關探討。</p>

附錄二

期末審查簡報

109年 臺灣沿岸地區金屬材料 腐蝕環境調查研究

報告人：羅建明

中華民國109年12月10日

大綱

- 一、研究緣起與目的
- 二、研究範圍與應用單位
- 三、研究項目
- 四、研究成果
- 五、結論與建議



一、研究緣起與目的(2/3)

臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置

-歷年成果
(100年起執行)



- 本網站包括防蝕設計所需之4種防蝕金屬材料的腐蝕速率調查、氣象條件及腐蝕環境等級分類提供防蝕設計之使用。
- 藉由年報發行，提供歷年來臺灣腐蝕環境分類調查資料與統計相關分析以供材料防蝕與維護使用。

一、研究緣起與目的(1/3)

-建置緣由與目的

➤ 緣由

- 往昔國內沒有長期大氣腐蝕因子現地監測機制，缺乏大氣腐蝕環境分類與分級指標提供防蝕設計使用。
- 存在以維修替代防蝕設計之錯誤觀念。
- 採用其他國家防蝕設計條件，常與國內腐蝕環境差異很大，造成防蝕設計不當。

➤ 目的

- 依我國海洋環境之現地條件作為防蝕設計與維護管理之依據，可全面改善往昔引用國外設計條件之不足，提升防蝕效能，大幅減低腐蝕之經濟損失，並提高使用年限與安全。

規劃國內環境需求的臺灣腐蝕環境分類資訊系統，作為新建與既有金屬之防蝕設計與維護管理的依據。

一、研究緣起與目的(3/3)

臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置



二、研究範圍與應用單位

1. **研究範圍**本所自**96**年起，籌劃建立**全國腐蝕環境觀測網**，著手進行大氣腐蝕因子現地放樣調查研究，於臺灣各地共佈放**232**個試驗站，結合調查資料與分析成果，建置大氣腐蝕環境分類資料庫，並發行大氣腐蝕資料年報，此外，自**104**年起進行水下長期金屬材料腐蝕暴露試驗共佈放**14**個試驗站。
2. **研究成果**可供部屬工程機關如**公路總局**、**高速公路局**與**臺鐵局**及**港務公司**等參考應用，並做為本所相關研究重要參考資料。



三、研究項目

1.大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗

依據中華民國國家標準(CNS)，就金屬及合金之大氣腐蝕性污染測定方法，進行臺灣全島之大氣腐蝕劣化因子調查並進行現地曝露試驗與腐蝕速率量測。

2.增建並修正臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫

彙整232個試驗站現地調查結果，進行大氣腐蝕環境分類，建置於資料庫網站提供外界查詢。

3.發行2019年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報

藉由年報發行能提供相關單位瞭解每年金屬構造物在各腐蝕環境中的耐久性與防蝕之須求。

4.辦理腐蝕資訊系統教育訓練

舉辦腐蝕資訊系統應用研習會，以利產官學研各界瞭解公共工程之防蝕設計。

5.臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析之探討

將2009.01~2019.12試驗期間，依年度及各垂直試驗線、特定試驗點所調查之氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積量等劣化因子及金屬腐蝕數據整理，繪圖分析趨勢。



7

四、研究成果

1.大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗

大氣腐蝕研究自2020.01~2020.12試驗期間共4次採樣，依一年期及各季試驗點所調查。

- 109年3月、6月、9月及12月完成本島及離島大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，並分別於4月、7月、10月及110年1月完成金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析。

大氣腐蝕(98年開始執行)



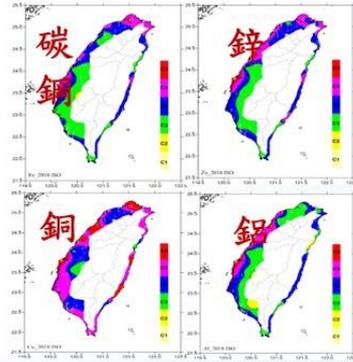
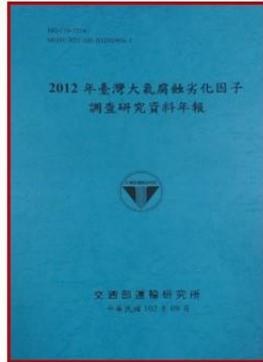
水下腐蝕 (103年開始執行)



8

四、研究成果

- **2.發行2019年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報**
- 109年5月11日出版「2019年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報」並寄送交通部部屬工程單位與中華民國防蝕工程學會參採，以供工程防蝕設計之引用。



9

四、研究成果

- **4.辦理腐蝕資訊系統教育訓練**
- 109年11月25日辦理「109年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會」，邀請部屬各工程管理人員與會廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，並積極推廣臺灣腐蝕環境分類資訊系統於工程界參酌採用，提供熱浸鍍鋅與橋梁防蝕工法等應用，以利公共工程之防蝕設計。



熱浸鍍鋅於橋梁之應用



腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討

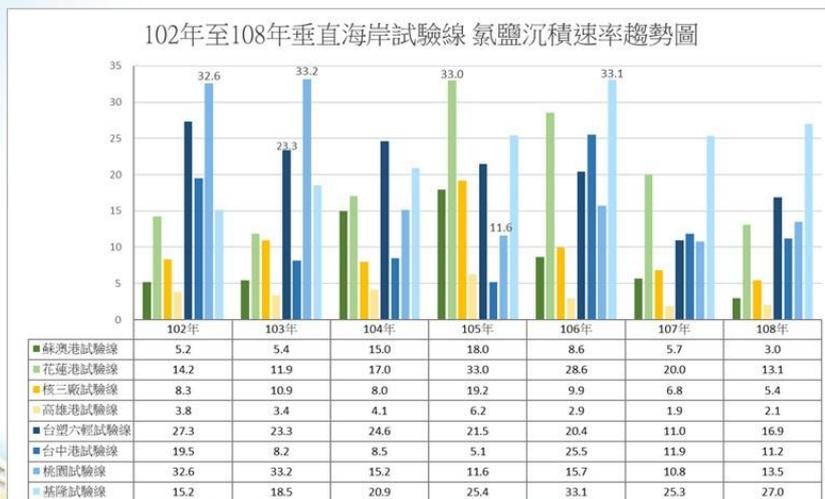


臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹



10

氯鹽沉積速率趨勢圖



12

四、研究成果

■ 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析之探討

氯鹽沉積速率趨勢探討
 二氧化硫沉積速率趨勢探討

金屬腐蝕速率趨勢探討
 碳鋼腐蝕速率趨勢探討
 鋅腐蝕速率趨勢探討
 銅腐蝕速率趨勢探討
 鋁腐蝕速率趨勢探討

11

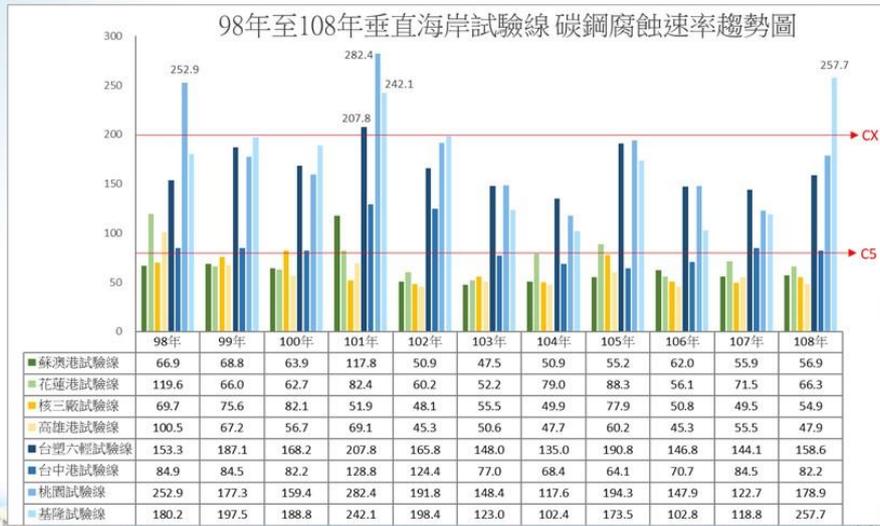
氯鹽沉積速率趨勢圖



二氧化硫沉積速率趨勢圖

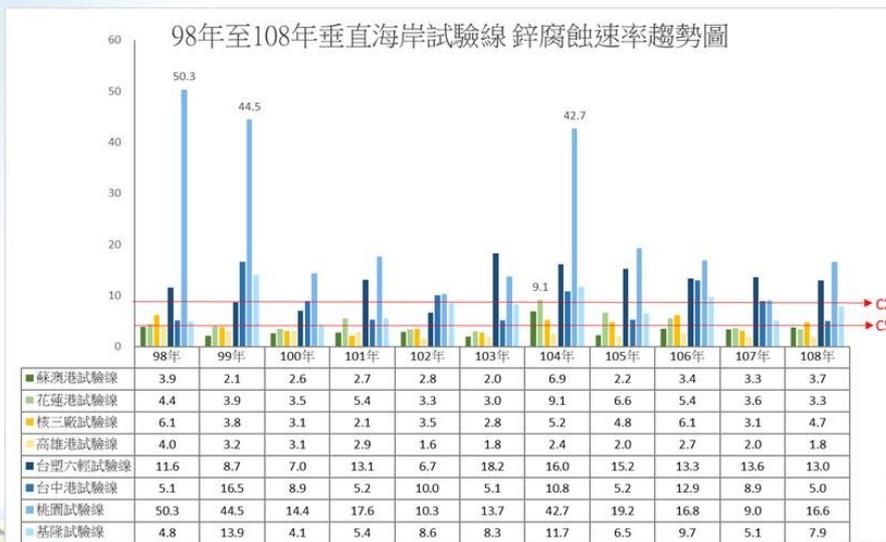


碳鋼腐蝕速率趨勢圖



14

鋅腐蝕速率趨勢圖



15

銅腐蝕速率趨勢圖



鋁腐蝕速率趨勢圖



四、研究成果

臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫

- 本中心「臺灣腐蝕環境分類資訊系統建置與應用」系統於**109年2月27日**,由本所所長率本中心蔡主任,於**交通部部務會報**中介紹該系統使用及應用情形。



四、研究成果

2.增建並修正臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫

- 本案提供**現地調查資料**做為防蝕設計與維護之依據,可改進以往因參考國外資料所造成之防蝕不良現象,並建立符合國內所需的參考數據,有助提升交通施政的安全及品質,值得肯定。
- 請**公路總局、高公局**等相關機關(單位)多加利用運研所所提供之**現地調查分析資料**,做為**材料選用及防蝕處理的參考**,以提升公共工程構造物安全、減低維護人力與經費及提高設施使用年限,共同精進公共工程品質



五、結論

- 在氯鹽沉積速率趨勢結果發現，整個102年至108年間，氯鹽沉積速率較高的沉積速率發生在102年、103年、105年及106年，以桃園試驗線、基隆試驗線、台塑六輕試驗線、花蓮港試驗線較高，所測得的氯鹽沉積速率皆大於30 mg/m²/day。
- 二氧化硫沉積速率趨勢結果發現，較高的沉積速率發生在102年、103及106年，以觀音工業區、龍德工業區、臨海工業區、彰濱工業區較高，所測得的二氧化硫沉積速率皆大於400 mg/m²/day。



五、結論

- 在98年至108年一年期試片之腐蝕速率在垂直試驗線各金屬之腐蝕速率進行比較，碳鋼腐蝕速率介於45.3μm/yr (高雄港試驗線)至282.4μm/yr (桃園試驗線)之間，而較高的沉積速率發生在98年、101及108年，以桃園試驗線、基隆試驗線、台塑六輕試驗線較高，所測得的碳鋼腐蝕速率皆大於200μm/yr。
- 鋅腐蝕速率介於1.6μm/yr (高雄港試驗線)至50.3μm/yr (桃園試驗線)之間，以桃園試驗線較高，而較高的沉積速率發生在98年、99及104年，所測得的鋅腐蝕速率大於40μm/yr遠遠高於其他垂直試驗線。



五、結論

- 銅腐蝕速率介於 $1.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線)至 $13.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線)之間，以台塑六輕試驗線較高，所測得的銅腐蝕速率皆大於 $5.6\mu\text{m}/\text{yr}$ 屬腐蝕分類中CX級。
- 鋁腐蝕速率介於 $0.8\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線)至 $30.7\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (桃園試驗線)之間，以桃園試驗線、台塑六輕試驗線較高，而較高的沉積速率發生在99年、100及105年，所測得的鋁腐蝕速率皆大於 $25\text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 。



簡報完畢
敬請指教



附錄三
自行研究計畫第 1 次工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第1次工作會議

二、時間：109年5月19日(星期二)下午2時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：蔡立宏主任

紀錄：莊凱迪

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1)完成大甲溪下游國3大甲溪橋基本資料蒐集。

(2)完成地工織布現地試驗規劃。

(3)完成國3大甲溪橋P27墩之地工織布現地鋪設。

2.109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1)完成第1季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗。

(2)完成2019年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。

3.109年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1)持續維護各港區地震災況速報系統及地震監測站儀器，使其能正常運作。

(2)於2月及5月完成第1、2季各地區地層分層沉陷及水位量測。

(3)預計於7月辦理第1次各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作，驗收及付款事宜。

4.臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

(1)網頁版港區工程基本資料查詢系統之架構建置。

(2)臺北港區港埠規劃圖資蒐集與查詢模組建置。

(3)臺北港碼頭與堤防設施斷面圖資蒐集與網頁展示模組建置。

5.港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

- (1)國內外港灣構造物維護管理機制相關文獻研析。
- (2)國內外港灣構造物新興科技運用巡檢案例蒐整。
- (3)3月24日邀集港公司辦理第1次需求諮商會議。

6.離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

- (1)持續辦理金屬材料腐蝕現地暴露試驗。
- (2)定期觀測與鑑別金屬試片附著海生物之種類與分佈情形。
- (3)進行臺中港4號碼頭海域水質連續監測及採樣調查分析。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

- (1)後續室內水工模型試驗執行方式討論。
- (2)後續地工織布保護成效觀測方式的討論。
- (3)地工織布的抗紫外線及耐久性問題討論。

2.109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

- (1)後續進行全島109年第2季、第3季及第4季大氣腐蝕劣化因子調查試驗設備取樣維護及化學分析試驗的方式討論。
- (2)精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫的方式討論。
- (3)辦理部屬單位教育訓練或腐蝕資訊系統教育訓練期程討論。

3.109年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

- (1)港區震災速報系統移轉港務公司之問題討論。
- (2)速報系統簡訊傳送內容修改討論。

- 4.臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置
 - (1)港區工程基本資料查詢系統之建置討論。
 - (2)臺北港工程基本資料的蒐集與地質資料模組建置討論。
 - (3)後續公共設施管線查詢模組的討論。
- 5.港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣
 - (1)後續需求研商工作會議時程及內容討論。
 - (2)港灣構造物維護管理資訊系統後續擴充及精進內容討論。
 - (3)教育訓練及應用推廣討論。
- 6.離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)
 - (1)金屬試片取樣作業後續工作討論。
 - (2)金屬試片附著生物調查試驗後續工作討論。
 - (3)臺中港鄰近海域水質連續監測採樣調查分析試驗，監測項目討論。

七、結論：

- (一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究
 - 1.針對後續室內水工模型試驗請依期程完成。
 - 2.地工織布保護成效觀測方式是否能於現地增設攝影設備，以利觀測颱風洪之水流變化及鼎塊保護工之變位情形，請納入後續觀測之評估項目。
- (二)109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究
 - 1.請持續建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫。
 - 2.請加強推廣於交通部、公路總局、高速公路局、港務公司及顧問公司等選用金屬材料及防蝕工法參考應用，確保公共工程如橋梁、碼頭等構造物，能達到或超過設計使用年限。
- (三)109年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

- 1.執行期程於 110 年結束，請提早準備未來與港務公司合作研究相關資料，安排時間討論。
- 2.速報系統簡訊傳送內容修改，增加「建議港務公司派員巡查，僅供參考」，以釐清權責歸屬問題。
- 3.請持續維護各港地震災況速報系統，使其能正常運作。

(四)臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

- 1.針對後續各項網頁查詢模組請依期程完成。
- 2.請針對港區工程基本資料查詢系統之臺北港地質資料與公共設施管線資料的網頁查詢進行更新與建置。

(五)港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

- 1.請於 5 月底前再次邀集港公司代表，進行第 2 次需求諮商會議討論。
- 2.整理之港灣構造物維護管理機制，可歸納並做為後續檢測標準訂定之參採。
- 3.請依預定進度甘梯圖規劃，至各港分公司進行維護管理資訊系統介紹及相關需求諮商，以做為後續系統擴充及精進內容之方向。

(六)離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

- 1.後續進行金屬試片取樣及金屬試片附著生物調查試驗作業請依期程完成。
- 2.請彙整金屬試片腐蝕速率、附著生物數量與連續水質參數資料以統計分析探討其關聯性變化。

八、散會：下午 5 時 30 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：109 年 5 月 19 日(星期二)下午 2 時

地點：本所港研中心五樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

單位	簽名
一科	柯正龍 張道光 賴瑞輝 張建明 林雅雯 曾文序 黃宇強 胡啓文 謝外屏
二科	齊育和 黃茂信
三科	李信穎 張敏玲

附錄四
自行研究計畫第 2 次工作會議紀錄

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科自辦研究計畫第2次工作會議

二、時間：109年8月19日(星期三)下午1時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：陳副所長天賜

紀錄：莊凱迪

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1)完成大甲溪下游國3大甲溪橋基本資料蒐集。

(2)完成地工織布現地試驗規劃。

(3)完成國3大甲溪橋P27墩之地工織布現地鋪設

(4)完成模擬現況之水工模型試驗規劃。

2.109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1)3月及6月完成大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗全島109年第1季及第2季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，7月底完成相關化學分析。

(2)於109年5月11日出版2019年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報並寄送交通部部屬工程單位與中華民國防蝕工程學會參採，以供工程防蝕設計之引用。

3.109年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1)持續維護各港區地震災況速報系統及地震監測站儀器，使其能正常運作。

(2)於2月、5月及7月完成第1-3季各地區地層分層沉陷及水位量測。

(3)預計於9月辦理「臺中火力發電廠地震監測站中央集錄系統儀器更新」安裝事宜。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

- (1)室內水工模型試驗執行方式討論。
- (2)後續地工織布保護成效觀測與效益評估方式討論。
- (3)後續橋墩基礎保護工法之研究方向討論。

2.109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

- (1)精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫討論。
- (2)調查數據之奇異值問題探討與處理。

3.109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

- (1)港區震災速報系統移轉港務公司之問題討論。
- (2)各地區地層分層沉陷及水位量測，資料分析討論。

七、結論：

(一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

- 1.地工織布保護工法施工程序建議可納入施工設計，供高公局、公路總局等相關單位參考。
- 2.後續可將相關保護工法、施作時程、成本效益等做一個統整評估。

(二)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

- 1.請針對使用者回饋意見做為系統精進的依據。
- 2.後續請強化腐蝕預測模式及關連性分析之研究。

(三)109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

- 1.執行期程於 110 年結束，後續退場機制，請先規劃並再與港務公司洽商震災速報系統及地層下陷移轉事宜。
- 2.速報系統於移轉前請先與港務公司說明，簡訊內容之災況初評為建議該公司之處置作為，係屬提供該公司參考性質，並請函文該公司以釐清權責。

八、散會：下午 4 時 50 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科 109 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：109 年 8 月 19 日(星期三)下午 1 時

地點：本所港研中心研究大樓 2 樓簡報室

主持人：陳副所長天賜 陳天賜

單位	簽名
港研中心本部	<p>蔡立宏 柯正龍 林雅雯</p>
港研中心第一科	<p>賴瑞輝 莊凱翔 黃宇謙 吳建國 曹文輝 潘道光</p>
港研中心第二科	<p>黃長信</p>
港研中心第三科	<p>李信穎</p>

附錄五

自行研究計畫專家學者座談會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科109年自行研究計畫專家學者座談會議

二、時間：109年6月23日(星期二)上午10時

三、地點：本所港研中心2樓簡報室

四、主持人：蔡立宏主任

紀錄：林雅雯

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、主席致詞：略。

七、研究單位簡報：略。

八、與會委員與相關人員評論：

(一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關地工織布在橋墩基礎沖刷保護之應用，雖然沈箱保護與橋墩保護之力量來源、作用力方向、淘刷發生機制等不盡相同，但其構想來自港灣工程沈箱或海堤前緣之防淘刷保護，以地工織布保護橋墩基礎應屬合理之方向。

(2)有關織布之鋪設範圍及鋪設方向可再研究其最佳效果，另織布上方可否考慮比照拋石堤及沈箱堤，填以堤心石在鼎型塊下方，可進一步保護織布及下方河床防淘刷。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程師

(1)本研究案對於道路橋梁基礎安全如何加強，是非常正面的，予

以肯定。

- (2) 土工織物:如何鋪設、多大面積、如有經驗案例可參考最好，如無，建議對於沖刷侵蝕之現有資料多予整理分類分析，對於試驗之規劃有所助益，本案是否只作一處，是否在後期增加其他橋段試驗數量資料，可作為實証效果，推廣於他處。
- (3) 建議一般橋梁之常用基礎型式可簡單介紹，對於鐵路及公路、國道橋梁其易沖刷段是位於河川之上、中、下游或何處，或對於舊型橋墩較易於產生沖刷破壞，對於臺灣河流短急坡降大及邊坡易坍之環境，其不利因素建議說明。
- (4) 建議對現地表面或地質作一簡述，對應方案之沖刷效應，過去經驗之一般工法如何，為何效果不彰？
- (5) 建議說明選擇大甲溪國道三號、鐵路橋下游進行現地鋪設之理由及原因。
- (6) 使用織布是創新或是新工法，對於使用方式可以做一簡述，其主要之功能及目的、效果之設想，試驗之印証建議可以圖說說明。
- (7) 因應基礎保護之型式是否會有不同之方法及位置，如橋臺、橋墩、週邊範圍大約是基礎寬或深度之幾倍、消波塊、鼎塊與織布疊放方式，建議未來於報告中可稍加說明，試驗完成亦可探

討假設條件與成果間之異同處。

- (8)室內水工如何模擬水流及濁度、土工織物如何模擬，其比例及特性、相關性及相似性如何建議稍加說明。
- (9)對於洪水刷深之抵抗，未來是否會對於橋梁規範做一些建設性的建議，如在多大的河川或定性下哪些河川、在何位置必須考慮增加類似此工法。
- (10)每月近景攝影，河床變化、鼎塊變位或流失，與附近基礎比較裸露深度等，建議設置監測系統或監視器以作觀察，有無考量用光達測量。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

- (1)現地試驗是一最直接可靠的辦法，值得肯定。今年已完成現場鋪設，預計明年才進行觀測，建議若有洪水發生即隨時觀測。
- (2)水工模型試驗可用較少的經費做多種方案比較，為其優點，但土工織布的強度及泥沙沖刷在縮尺上仍有困難，因此其結果是屬定性而非定量，故與現場試驗做比較可能會有些出入。

4.交通部高速公路局大甲工務段饒書安段長

- (1)本計畫之成效追蹤建議就定期及不定期分別辦理，並就河川流量(不定期、災害)及鼎塊影響沉陷範圍予以同步紀錄。
- (2)建議未來可就鼎塊串聯繩索併入研究探討，因鼎塊串結亦是影

響鼎塊穩定之重要因素。

(3)建議增加現地水文、水理介紹、沖刷侵蝕(過去沖刷歷史介紹)之蒐集。

5.本所港研中心賴聖耀前研究員

(1)本研究計畫以現地試驗鋪設驗證保護工法成效，研究計畫必須且實用，值得肯定。

(2)在水工模型試驗中，很容易嘗試各種地工織布的鋪設方式，以探討保護工法的成效，在現地如何規劃各種鋪設方式？

6.本所港研中心陳桂清前研究員

(1)計畫很實務性，如果成效良好，可應用推廣。

(2)預定甘梯圖中鋪設地工織布時間恰逢颱風季節，是否適當，請可斟酌。

(3)保護成效觀測，鋪設織布之基樁與進行比對之基樁，其兩者條件是否相當？

(4)各種地工織布、工法、施工成本…等分析，建議探討。

(二)109年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關港區震災速報系統，其提供港區地震震度與可能發生災害類型評估，建議可配合港區港灣構造物改建，適時更新通報範

圍及災害評估。

- (2)有關地層下陷調查分析研究，海岸線之地層下陷其範圍大，且時程長，應進行長期之資料蒐集及分析，未來可結合水利署之海岸管理，一併提供研擬海岸下陷及氣候暖化，海平面上升之防制對策。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程師

- (1)本項維護及研究案，已逐步建置長期觀測資料，有系統的統計分析、整理是值得肯定的，對於港區哪些區位易於液化及對於歷史地震、水位資料、工程基本資料資料庫擴建及網頁查詢建置是重要及必要的，可提供港灣工程規劃設計、廠商建置設施之重要參考依據，對於中心此項工作予以肯定。
- (2)地層下陷大區域之相對位置高程是否可以有三度空間的圖形立體呈現或時間歷程與沉陷量的展示。
- (3)對於結構物所在位置之下陷量與鄰近或遠一點之沈陷量相對比較，或許可得到差異沈陷量，大區域之填土區已設置基礎設施，如防波堤頭、堤身、堤根，排水設施、箱涵、建物、地下結構物等，其興建期與現今、未來之下陷量比較，與貴中心之潮汐潮位、暴潮位、附近地面之高程，可否有防災預警系統，如淹水、暴雨、颱風大潮時，地面沈陷量大的地方造成排水系統水

頭差不足而積水，碼頭高程不足、越波量大於設計量等，布袋港即有多次情況。

(4)有些地區、港區下陷狀況較為嚴重，且如有不均下陷發生，對於原設計設施或結構物基礎等之水平高程，大區域或局部排水系統會造成嚴重的影響，因此對於觀測結果，如何能適當的運用在管理面上是重要的，例如在平面上之觀測結果沈陷速率，提供未來新填地填土高程、排水系統、土木、建物、道路高程等規劃設計參考依據。

(5)對於易下陷地區，港公司應有歷年測量高程資料，但對於港區地面高程逐年小幅沈陷變化量，並不足以示警，目前亦尚無對於整區下陷之預警及未來到何程度需先辦理超前佈署之因應措施，建議此部份如可能的話，可以在本研究案內或下次研究案內予以納入研究，未來可提出對港公司維管之建議。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)本計畫為連續性計畫，已執行多年，建議鼓勵港務機關多使用，並把使用心得回饋，使系統更可靠好用。

4.本所港研中心賴聖耀前研究員

(1)震災速報系統建議定期以新的調查資料和研究成果更新液化模組。

(三)臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢模組建置

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

- (1)有關臺北港港區工程基本資料庫建置，建議可結合港灣構造物維護管理系統，未來港區巡查及維修照片均加入 GPS 座標系統，將港區維護管理及維修紀錄與圖形化及 GIS 資料結合。
- (2)亦可納入 3D 港區管線資訊系統，一併管理及顯示。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程師

- (1)本項臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢建置是重要及必要的，可提供港灣工程規劃設計、廠商建置設施之重要參考依據，對於中心此項工作予以肯定。
- (2)建議針對該港填土之來源及後續填築完成之土質資料搜集後做一補充，填築時間、完成時間、地表沈陷量、水位、臺北港監測資料等，未來可提供投資商評估地質條件之參考
- (3)對於原有海床與人工填築高度等資料多搜集，基港分公司可多予提供，以完整資訊系統。
- (4)土壤參數、相關試驗值愈多愈好，離岸風電國外廠商港區或海床地質，有偏好採用荷式錐貫入試驗結果，因此對於與 N 值之試驗結果，建議未來可以試做比較研究，將研究結果供大家參考。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

- (1)本計畫為連續性計畫，已執行多年，建議已建置完成之港區把使用心得回饋，使本系統更可靠好用。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

- (1)港區工程基本資料庫系統已陸續建置多年，過去的基本資料如港區地層鑽探、地下水位變化、鋼板樁厚度及腐蝕速率等，都由本所執行現地調查取得，未來相關資訊可否藉由港務公司取得？

- (2)輔助港及離島地區之港區是否有考慮納入本系統之建置與查詢？

- (3)顧問公司及港務公司運用本資料庫的情形為何？請說明之。

(四)港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

- (1)有關港灣構造物維護管理系統，建議可朝直覺化且資訊化的方式，提供巡查及維護人員最簡便的作業方式，以節省人力及有系統的完整保留維護紀錄。

- (2)有關新興科技應用於港區巡檢案例，在水面及水下部分，建議可考慮納入港區海面油污偷倒之監控系統，及海床高程即時監測系統。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

- (1)中心持續辦理針對港區碼頭與防波堤等港灣構造物進行現況調查與檢測評估，並持續精進擴充既有港灣構造物維護管理系統並優化功能，以利於構造物檢測及管理作業邁向自動化，提供未來設計與維護參考應用，對於港區維護管理單位，實用性非常高，值得肯定的。後續這工作是重要必要的，順便在此也感謝中心的協助及展現很好的成果供港公司使用，成果如中港 8A、30 號碼頭調查。
- (2)提供使用者快速紀錄港灣內各項問題及狀況，以利後續查詢及追蹤使用，可快速紀錄港灣內各項問題與狀況，巡查或檢測時如有發現相關設施有缺失或問題，可立即使用手機瀏覽器連線至管理系統，建議未來在功能上操作流程設計上以簡單快速紀錄為主。
- (3)對於使用新興科技 UAV、AI 辨識應用於港灣設施巡檢，擴充資訊系統及 App 功能，是否包含水下或機器人，未來可否有影像判斷裂縫寬度及長度，以高的解析度判斷高低差距離。
- (4)建議研究案報告內容、資訊系統及 App 可多說明人員數之使用有否限制，如何申請及管理，對於無法立即連網於行動應用上，是否可以離線應用。
- (5)建議說明系統有否整合做出年度各設施總合輸出統計表:如缺

失之金額及件數、整個臺中港年度維護支出，另建議未來搭配船席之使用率或裝載方式與缺失發生之關係，未來亦可作為碼頭規劃管理維護評估改善設計依據或管理手段調整。例如使用行為不同於一般碼頭，使用具侵蝕貨類或經常灑水或含水量高導致滲入版筋腐蝕、道路或鋪面損壞。

(6)本分公司已有委外巡查，對於實務上可請貴中心與本分公司共同搭配，試辦一次放入契約發包內執行。

(7)對於訓練部份，因公司內部為讓同仁多方學習專長，常調整工作單位，建議調查港公司需求，辦理訓練。

(8)對於現有各分公司委外巡查、檢測之辦理，另系統功能如何快速介接委外廠商自己系統之調查結果，或統一運用貴中心之系統，建議此部份可辦理座談會邀集承攬商提供建議。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1) 探討相關新興科技，如 UAV、AI 等應用於港灣設施巡檢之可行性，是未來的趨勢，方向正確，值得肯定。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

(1)港灣構造物維護管理系統已陸續建置並辦理教育訓練多年，港務公司使用的情形如何?請說明。

(2)本系統與港區工程基本資料庫未來可考慮整合，以利後續執行

維護管理決策。

(3)新的科技設備(UAV、AI 辨識、光達…等)應用於港區設施巡檢，

可提升巡檢效力。

(4)本維護管理系統建議與港務公司相關人員溝通，建立可行、便

利、有效的維護管理機制。

(五)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關臺灣沿岸地區腐蝕環境調查研究，建議可納入海氣象觀測

資訊系統，即時顯示腐蝕程度，並可紀錄進行長期回歸分析，

找出各港區各水域之長期腐蝕程度，提供耐腐蝕設計之參考。

(2)港區鋼構造物之耐腐蝕，包括潮間帶及水下部分，是否有其他

新興科技可提供作為防腐蝕作為，例如新興材料、電氣防蝕等。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)臺灣處亞熱帶飛沫帶、潮汐帶、水中帶三位置進行暴露 3 次，

9 月 12 月 15 月(附著生物分析)是有必要的，可與港之水質調查

資料結合，提供防蝕設計參考、選用金屬材料依據、確保達到

設計年限、降低社會成本、提高經濟效益，這項研究是有其重

要性及必要性。

(2)對於大氣腐蝕影響有個案例，如自動機器手臂之工廠設置或組

裝，考慮其精密性，其位於港區，設置成本及維護成本考量，鹽害較一船倉庫高，因此建議考量如何設置或設綠帶、施做林地、隔離海鹽，是否有具成效之對策，可供港務公司及投資商之成本評估參考。

(3)對於耐侯 304 常用，但常出現銹斑，316 情況亦同，同樣位於高鐵站室外，情況就好許多，因此對於港區內選用之材料是否需另作表面處理，及其防蝕效果如何，建議可考量納入探討，例如:對於工程之設計，其鋼材厚度需加厚，因此費用亦會隨之提高。另如何透過這研究成果，作一防蝕設計依據，避免設資商或工程標案之投標商對於設計規範有所質疑，為何鋼板要加厚:例如臺中分公司有一倉庫標案，彩色鋼板設計要耐厚一點，投標廠商說綁標等。

(4)2019 調查報告中，各材料腐蝕速率以中部及鄰近試驗結果值較高，北、南部較低，這部份是否有什麼解釋或未來會更進一步的深入研究有那些相關影響因子，與空氣品質是否有相關，或水中溶解之空氣二氧化碳有相關。

(5)對於試驗結果值與地域、氣候條件、或環境空氣中化學成份條件相關性之分析，是否有做?建議稍作說明。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1) 96 年開始金屬材料腐蝕環境調查，104 年開始水下長期金屬腐蝕暴露試驗，都已經累積可觀的寶貴資料，建議建立向使用單位推廣的機制，讓使用單位能充分使用這些資料。

4. 本所港研中心陳桂清前研究員

(1) 本計畫已進行多年，成果相當豐碩，在國內為金屬腐蝕基礎資料最完整的資訊，但歷年來增加的試驗點不多，涵蓋的面積仍有不足，建議後續可考慮增加若干試驗點，同時可考慮增加離島地區。

(2) 計畫名稱敘及「沿岸」地區，與內容相照，似有不相稱，建議後續計畫在名稱上應妥適修正，以符內容。

(3) 本計畫包括有大氣與水下腐蝕環境的調查，歷年數據相當完整，建議後續可朝環境因子關聯性探討。

(4) 建議統計使用本基本數據的單位、次數，以彰顯推廣成果。

(六) 離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1) 有關離案風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查，是否有包括離岸風機 設置海域之腐蝕因子調查，是否有包括水上大氣腐蝕因子分析。

(2) 本案可考慮離岸風機水下防蝕及大氣防蝕對策之研究。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

- (1)本案因國外環境不同，腐蝕防治規範不一定適用，且缺乏本土化海上風力發電相關防蝕設計研究，有必要進行本土海域腐蝕因子調查，以利防蝕工法設計，可避免或降低工程災損，此研究是重要的，未來離岸風電生產、組裝、維管均需本土化，如何降低本土廠商之成本，亦是必要的研究。
- (2)港之水質調查資料，每個港地形及水質條件不同，建議可以論述對於高雄港、臺中港、基隆港，各港區均有市區大排排入，水質會受影響，這類對金屬材料腐蝕之關聯性是否有影響，可以說明在鹽度、溶氧、導電度(中龍)、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度、水質變化趨勢與影響，研究結果可提供不同港區環境條件下之防蝕設計參考、選用金屬材料依據、確保達到設計年限、降低社會成本、提高經濟效益。
- (3)本次研究期間 15 月(附著生物分析)但工作預定進度表只有 12 個月，建議說明。
- (4)本次與 108 年於臺中港 4 號碼頭飛沫帶、潮間帶、水中帶 6 個週期-2 次取樣-2 次向光背光，109 年有 3 次，多 1 次，建議可說明為何?為何增加次數。
- (5)有無考量對各區之海水內含微生物量之分析與附著生物之關

係。

(6)有無考量與臺電、中鋼合作在海外風機上做調查研究。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)臺中港離岸風電碼頭:#2、#5A、#5B、#36 及#106，本計畫在#4碼頭，而水下金屬腐蝕試驗在#1 碼頭，後者試驗時間較長，建議兩者互相印證並互補。

(2)水質監測範圍建議盡量涵蓋未來離岸風場。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

(1)海生物對金屬的腐蝕機制、影響比例等相當複雜、不易釐清，如果經費不足，建議暫不納入探討範圍。

(2)試驗材料、成份是否與現地風機設備相近？

(3)建議在風機基地架設試驗點，擷取現地實際環境下之腐蝕狀況。

(4)建議可增加防蝕工法的試驗(例如塗裝、陰極防蝕…等)。

(5)本計畫中之水質監測(臺中港#4 碼頭)與實際風機基地海域如何比對？

九、主席裁示：專家學者所提意見，請研究單位列入計畫之研究方向及內容修訂辦理。

十、散會：中午 12 時 10 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科109年自行研究計畫專家學者座談會議

時間：109年6月23日(星期二)上午10時

地點：港灣技術研究中心2樓簡報室

主持人：蔡立安

紀錄：林雅雯

單位	簽名
國立臺灣海洋大學河工系 蔡瑤堂兼任教授	蔡瑤堂
臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司 朱志光總工程司	朱志光
臺灣港務股份有限公司工程處 鄭智文副處長	鄭智文
交通部高速公路局大甲工務段 饒書安段長	饒書安
本所港研中心賴聖耀前研究員	賴聖耀
本所港研中心陳桂清前研究員	陳桂清
本所港研中心柯副主任正龍	柯正龍
本所港研中心第一科賴科長瑞應	賴瑞應
本所港研中心第一科張研究員道光	張道光
本所港研中心第一科曾研究員文傑	曾文傑
本所港研中心第一科羅副研究員建明	羅建明
本所港研中心第一科黃助理研究員宇謙	黃宇謙

