

111-002-7C86

MOTC-IOT-110- H1CA001b

110 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 111 年 3 月

111-002-7C86

MOTC-IOT-110- H1CA001b

110 年臺灣沿岸地區金屬材料 腐蝕環境調查研究

著 者：羅建明、蔡立宏、張道光、莊凱迪、黃宇謙

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究. 110
年 / 羅建明, 張道光, 莊凱迪, 黃宇謙著. --
初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民
111.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-385-2(平裝)

1.CST: 港埠管理 2.CST: 管理資訊系統

557

111001156

110 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

著 者：羅建明、蔡立宏、張道光、莊凱迪、黃宇謙

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>中心出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 111 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 46 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 臺中市中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011100162

ISBN:978-986-531-385-2(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辦研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：110 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 978-986-531-385-2(平裝)	政府出版品統一編號 1011100162	運輸研究所出版品編號 111-002-7C86	計畫編號 MOTC-IOT-110-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：張道光、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 110 年 1 月 至 110 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、高鹽海島型氣候，金屬構件甚易腐蝕。為此，有必要建置屬於本土腐蝕環境資料庫，以利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.臺灣大氣腐蝕因子調查，2.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.金屬腐蝕與環境因子關聯性分析。 在大氣腐蝕因子之氯鹽沉積速率調查結果發現，暴露3個月較暴露6個月的氯鹽沉積速率來的高；二氧化硫沉積速率暴露3個月以大潭火力電廠、通霄火力電廠、觀音工業區、彰濱工業區較高，皆大於200 mg/m²/day；暴露6個月則以龍德工業區最高。現地暴露試驗中碳鋼及鋅金屬皆以大潭火力發電廠在暴露3個月及6個月的腐蝕速率為最高。銅金屬暴露3個月期間以臺塑六輕最高24.5 μm/yr，暴露6個月期間則以大潭火力發電廠腐蝕速率最高11.0 μm/yr。鋁金屬暴露3個月期間以臺塑六輕最高25.3 g/m²/yr，暴露6個月期間以大潭火力發電廠腐蝕速率最高10.0 g/m²/yr。金屬與環境因子關聯性，以沿海地區臺中港0m試驗站為例，選取的9個環境因子進行逐步迴歸分析，經篩選檢驗進入符合迴歸分析基本假設之金屬模式中，碳鋼自變數為平均風速、濕潤時間、氯鹽沉積速率；鋅為平均風速、風向、濕潤時間；銅為平均風速、平均氣溫；鋁為平均風速、風向及濕潤時間。 研究成果效益及應用： 提供工程單位瞭解構造物所處腐蝕環境，如臺灣港務公司、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
111 年 3 月	222	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 for Metal Materials in Coastal Areas of Taiwan in 2021			
ISBN (or ISSN) 978-986-531-385-2 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100162	IOT SERIAL NUMBER 111-002-7C86	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-110-H1CA001b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Ming Lo RESERACHERS: Dun-Kuang Chung 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 2021 TO December 2021
KEYWORDS: Metal Corrosion, Corrosion Factor, Corrosive Environment			
ABSTRACT: Taiwan, located in the subtropical zone, has an island climate of high temperatures, high humidity and high salinity, in which metal components are prone to corrosion. In this regard, it is necessary to build database for Taiwan's local corrosion environment to serve as the basis for corrosion protection design and maintenance management of structures. The main tasks of the present research include: 1. Investigation of atmospheric corrosion factors of the whole island; 2. Measurement of corrosion rate at in-situ exposure tests; 3. Establishment of atmospheric and underwater corrosion factor database; and 4. Relational analysis between metal corrosion and environmental factors. Results of the trend of chloride salt deposition rate indicated that the deposition rate of chloride salt is higher in a 3-month exposure than in a 6-month exposure. Higher sulfur dioxide deposition rates from 3-month exposure were found at Datan Coal Fire Power Plant, Tongxiao Coal Fire Power Plant, Kuan-yin Industrial Park and Changha Coastal Park, all exceeding 200 mg/m²/day, while a highest sulfur dioxide deposition rate from 6-month exposure was seen at Longde Industrial Park. the corrosion rates of carbon steel and of zinc from both 3-month and 6-month exposures all were highest at Datan Coal Fire Power Plant. A highest copper corrosion rate from 3-month exposure was found at the Formosa Plastics Naphtha Cracker #6, at 24.5 µm/yr and another from 6-month exposure at Datan Coal Fire Power Plant, at 11.0 µm/yr. A highest corrosion rate of aluminum from 3-month exposure was found at Formosa Plastics Naphtha Cracker #6, at 25.3 g/m²/yr, and another from 6-month exposure at Datan Coal Fire Power Plant, at 10.0 g/m²/yr. In the study of correlation between metals and environmental factors in coastal areas at Taichung Port 0m for example, 9 selected factors were put to stepwise regression analysis. In the metal models that are consistent with the basic hypothesis of regression analysis after screening test, the independent variables for carbon steel are average wind speed, wetting time and chloride deposition rate. The variables for zinc are average wind speed, wind direction and wetting time; and average wind speed and average temperature for copper, and average wind speed, wind direction and wetting time for aluminum. Benefits and Applications of Research Results: Available for public works agencies to understand the trend of corrosive environment for structures, providing references for Taiwan International Ports Corporation, the Corrosion Engineering Association of the R.O.C, the Industrial Development Bureau of the Ministry of Economic Affairs, Formosa Plastics Corporation, China Steel Corporation, engineering consulting corporations and other industrial, government and academic fields.			
PUBLICATION DATE March 2022	NUMBER OF PAGES 222	PRICE 200	
Remarks: Conclusions and recommendations of this study are not necessarily the view of the Ministry of Transportation and Communications.			

110 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	III
目 錄	IV
圖目錄	VIII
表目錄	X
第一章 前言	1-1
1.1 計畫目的	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	1-16
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.....	2-4
2.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範	2-5

2.2 大氣腐蝕因子介紹	2-6
2.3 影響大氣腐蝕的因素	2-8
2.4 鋼材在海水之腐蝕	2-11
2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子	2-12
2.5.1 曝露區域	2-12
2.5.2 海水的性質	2-14
2.6 大氣腐蝕環境因子之參數建立	2-22
2.7 迴歸分析於大氣腐蝕應用	2-23
2.8 MLR 模式架構.....	2-24
第三章 研究方法與試驗點位置資料圖表.....	3-1
3.1 大氣曝放環境	3-1
3.1.1 氯鹽沉積速率試驗調查	3-1
3.1.2 氯鹽沉積速率計算	3-7
3.1.3 二氧化硫沉積速率調查	3-9
3.1.4 二氧化硫沉積速率計算	3-13
3.1.5 現地暴露試驗	3-15
3.1.6 試片腐蝕速率計算	3-17
3.1.7 試片腐蝕生成物清除與測試	3-17
3.2 腐蝕因子環境分類	3-20
3.3 海洋曝放環境	3-24
3.3.1 研究方法與規劃	3-24
3.3.2 各港區海水下金屬曝露試驗	3-25
3.3.2.1 各港區試片設計與試驗期程	3-25

3.3.3 試片腐蝕速率分析方法	3-32
3.3.3.1 試片定期採樣之處理分析方法	3-32
3.3.3.2 試片腐蝕分析步驟	3-32
3.3.3.3 腐蝕速率計算	3-33
第四章 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗	4-1
4.1 氯鹽沉積速率調查結果	4-1
4.1.1 氯鹽沉積速率與垂直海岸線之關係	4-1
4.2 二氧化硫沉積速率調查結果	4-7
4.2.1 二氧化硫沉積速率在特定試驗點之比較	4-7
4.3 現地暴露試驗結果	4-12
4.3.1 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較	4-29
4.3.2 特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較	4-29
第五章 金屬腐蝕與環境因子關聯性分析	5-1
5.1 臺中港 0m 碳鋼金屬 MLR	5-5
5.2 臺中港 0m 鋅金屬 MLR	5-7
5.3 臺中港 0m 銅金屬 MLR	5-10
5.4 臺中港 0m 鋁金屬 MLR	5-12
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	2-5
圖 2.3	水溶液系統之腐蝕程序示意圖	2-11
圖 2.4	鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係	2-13
圖 2.5	海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係	2-15
圖 2.6	鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係	2-16
圖 2.7	鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係	2-17
圖 2.8	鋼材腐蝕速率與海水流速之關係	2-19
圖 2.9	碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形	2-20
圖 3.1	氯鹽沉積速率調查位置	3-6
圖 3.2	濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)	3-7
圖 3.3	濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)	3-7
圖 3.4	二氧化硫沉積速率調查位置圖	3-12
圖 3.5	二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)	3-13
圖 3.6	螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)	3-15
圖 3.7	現地暴露試驗(碳鋼、鋅、鋁、銅螺旋狀試片)試驗點分佈圖	3-16
圖 3.8	腐蝕生成物清除法作業流程圖	3-19
圖 3.9	水下腐蝕研究方法與規劃	3-24
圖 3.10	水下金屬腐蝕試驗架示意圖	3-30
圖 3.11	基隆港水下金屬曝露試驗架安裝	3-31
圖 3.12	水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖	3-32

圖 4.1	垂直海岸試驗線之氯鹽沉積速率.....	4-6
圖 4.2	特定試驗點之二氧化硫沉積速率.....	4-11
圖 4.3	垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖.....	4-31
圖 4.4	垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-31
圖 4.5	垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-32
圖 4.6	垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖.....	4-32
圖 4.7	特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖.....	4-33
圖 4.8	特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-33
圖 4.9	特定測站銅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-34
圖 4.10	特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖.....	4-34
圖 5.1	臺中港 0m 試驗站位置圖.....	5-1
圖 5.2	臺中港碳鋼逐步回歸分析標準化常態 P-P 圖.....	5-6
圖 5.3	臺中港碳鋼逐步迴歸分析之殘差散佈圖.....	5-7
圖 5.4	臺中港鋅逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖.....	5-9
圖 5.5	臺中港鋅逐步迴歸分析之殘差散佈圖.....	5-9
圖 5.6	臺中港銅金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖.....	5-11
圖 5.7	臺中港銅金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖.....	5-12
圖 5.8	臺中港鋁金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖.....	5-14
圖 5.9	臺中港鋁金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖.....	5-14

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 2-1	大氣腐蝕性分級對比	2-3
表 3-1	氯鹽沉積速率調查試驗點規劃分類表	3-3
表 3-2	二氧化硫沉積速率調查試驗點分佈表	3-11
表 3-3	化學清洗法使用藥品及條件	3-18
表 3-4	濕潤環境分類表.....	3-21
表 3-5	氯鹽腐蝕環境等級分類表	3-21
表 3-6	二氧化硫腐蝕環境等級分類表	3-21
表 3-7	金屬大氣腐蝕環境分類表 (以環境因子分類).....	3-22
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	3-23
表 3-9	各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(1/4) ..	3-26
表 3-10	各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(2/4) ..	3-27
表 3-11	各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(3/4) ..	3-28
表 3-12	各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(4/4) ..	3-29
表 4-1	氯鹽沉積速率表.....	4-3
表 4-2	二氧化硫沉積速率表	4-8
表 4-3	特定試驗點之二氧化硫沉積速率表	4-10
表 4-4	碳鋼金屬之腐蝕速率表	4-13
表 4-5	鋅金屬之腐蝕速率表	4-17
表 4-6	銅金屬之腐蝕速率表	4-21

表 4-7	鋁金屬之腐蝕速率表	4-25
表 5-1	臺中港 0M 金屬腐蝕與環境因子摘要表.....	5-2
表 5-2	臺中港 0M 金屬腐蝕與環境因子統計表 2010~2020	5-3
表 5-3	臺中港 0m 碳鋼逐步迴歸分析之模型摘要表	5-5
表 5-4	臺中港 0m 碳鋼逐步迴歸分析之參數估計表	5-5
表 5-5	臺中港 0m 碳鋼逐步迴歸分析之變異數分析	5-6
表 5-6	臺中港 0m 鋅逐步迴歸分析之模型摘要表	5-8
表 5-7	臺中港 0m 鋅逐步迴歸分析之參數估計表	5-8
表 5-8	臺中港 0m 鋅逐步迴歸分析之變異數分析	5-8
表 5-9	臺中港 0m 銅金屬逐步迴歸分析之模型摘要表	5-10
表 5-10	臺中港 0m 銅金屬逐步迴歸分析之參數估計表	5-10
表 5-11	臺中港 0m 銅金屬逐步迴歸分析之變異數分析	5-11
表 5-12	臺中港 0m 鋁金屬逐步迴歸分析之模型摘要表	5-13
表 5-13	臺中港 0m 鋁金屬逐步迴歸分析之參數估計表	5-13
表 5-14	臺中港 0m 鋁金屬逐步迴歸分析之變異數分析	5-13
表 5-15	逐步迴歸分析選入的自變數	5-15

第一章 前言

1.1 計畫目的

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]規劃並辦理臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究，如表 1-1 所示，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，做為日後新建既有金屬及鋼筋混凝土結構物辦理防蝕設計與維護管理之依據。

1.2.2 水下腐蝕

臺灣四面環海，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。常因颱風來襲造成重大損失，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，多處港工設施破壞、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緯鋼纜等各型鋼料，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 0.2 mm/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，進行大氣及水下環境腐蝕因子與金屬材料水下長期曝放試驗與資料庫建置計畫，做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台灣電力公司最早，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 年起與台灣電力公司合作在林口、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 年起與台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。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，2000 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^[29]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。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，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」。目前建置氯鹽沉積量調查 66 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 55 個試驗點，現地暴露試驗調查 91 個試驗點，進行試驗取樣與分析工作。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沉狀差異極大，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，經常需要再作重複之修理，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
台灣電力公司	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]	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	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]	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	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]	氯鹽沉積量調查 60 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 49 個試驗點, 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]	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	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]	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	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
交通部運研所港灣 技術研究中心	110 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究	氯鹽沉積量調查 66 個試驗點，二氧 化硫沉積量調查 55 個試驗點，現地 暴露試驗調查 91 個試驗點	2021.01-2021.12

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

臺灣省政府交通處 港灣技術研究所	澎湖跨海大橋腐蝕調查研究^[14]	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： 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。 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。 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。 4. 提供修補及防蝕對策，以延續橋樑之服務效能。	1987.01-1987.12
臺灣省政府交通處 港灣技術研究所	港灣鋼構造物耐久性研究^[15-18]	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。 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。	1989.07-1994.06

臺灣省交通處港灣技術研究所	港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究 ^[19]	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。	臺灣省交通處港灣技術研究所
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 (Alsl1015 碳鋼、Alsl304 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。 經過三及 6 個月之現場浸漬後，發現 (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。 (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。 (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。	1995.01- 1995.12
-----------------------------	---	--	-------------------------

交通部運研所港灣技術研究中心 中山大學	高雄港工結構材料海生物附著與對策研究 ^[26] 高雄港港工結構腐蝕與海生物附著研究 ^[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。	2001.01-2001.12
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(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：

彙整蒐集國際標準組織 2012 年 ISO 9223、ISO 9224、ISO 9225、ISO 9226 及中華民國國家標準 108 年 CNS 13401、CNS 13753、CNS 14122 等相關規範及試驗方法。

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、鐵公路沿線等)，最終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(SO_2)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 66 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 55 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 91 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 4 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：

為建立臺灣地區長期水下腐蝕資料庫，針對港工結構材金屬材料進行十年期暴露試驗於基隆港、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導電度、溶氧量、酸鹼度、溫度、氯鹽、硫酸鹽等水質環境因子項目之現場調查與試驗分析工作，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. 關聯性統計分析：

為瞭解金屬在臺灣大氣環境下腐蝕特性，本研究依據 ISO 9223 標準將碳鋼、鋅、銅、鋁四種螺旋狀金屬，將 2009 年至 2019 年大氣腐蝕劣化因子調查與金屬暴露試驗進行進行沿岸地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析。

9. 研究成果：

大氣腐蝕研究自 2021.01~2021.12 試驗期間共 3 次採樣，依一年期及各季試驗點調查：

- (1) 於 110 年 3 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、10 月及 111 年 1 月完成金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析。原訂全島 110 年 6 月第 2 季大氣腐蝕因子調查與現地暴露試驗外業取樣及維護事宜，因疫情影響，為配合防疫作業停止辦理。
- (2) 於 110 年 4 月 13 日完成自辦計畫專家學者座談。
- (3) 完成 2020 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報發行，於 110 年 5 月 11 日出版，並寄送交通部部屬工程單位與中華民國防蝕工程學會等參採應用，以供工程防蝕設計之引用。
- (4) 為廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，於 8 月 27 日投稿於中華民國防蝕工程學會「110 年度防蝕工程年會暨論文發表

會」，投稿題目為「2009 至 2019 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討」。

(5) 110 年 10 月 30 日辦理「110 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员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。

(6) 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，並建立於臺灣腐蝕環境分類資訊系統，期使大氣腐蝕環境分類更為精準，提供工程人員管理、規劃、設計及維護階段之參考，提昇公共工程結構物安全。
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，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 9223-1992 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。但國外學者對熱帶潮濕氣候區（加勒比海地區的古巴、墨西哥、委內瑞拉等）的大氣腐蝕性進行了評估，發現濱海的大氣腐蝕性高於 ISO 標準的 C5 等級^[33-34]。J. Morales 等的研究表明在加那利群島西部的一些島嶼上碳鋼、銅和鋅的腐蝕速率超過了 ISO 9223-1992 標準中規定的 C5 等級^[35-36]。因此，ISO 9223-2012 將大氣腐蝕性分為 6 類，在前 5 類的基礎上

增加了一級 CX：應用於特定海洋和海洋/工業環境。具體的大氣腐蝕性分級對比以及典型環境示例，如表 2-1^[37]所示。

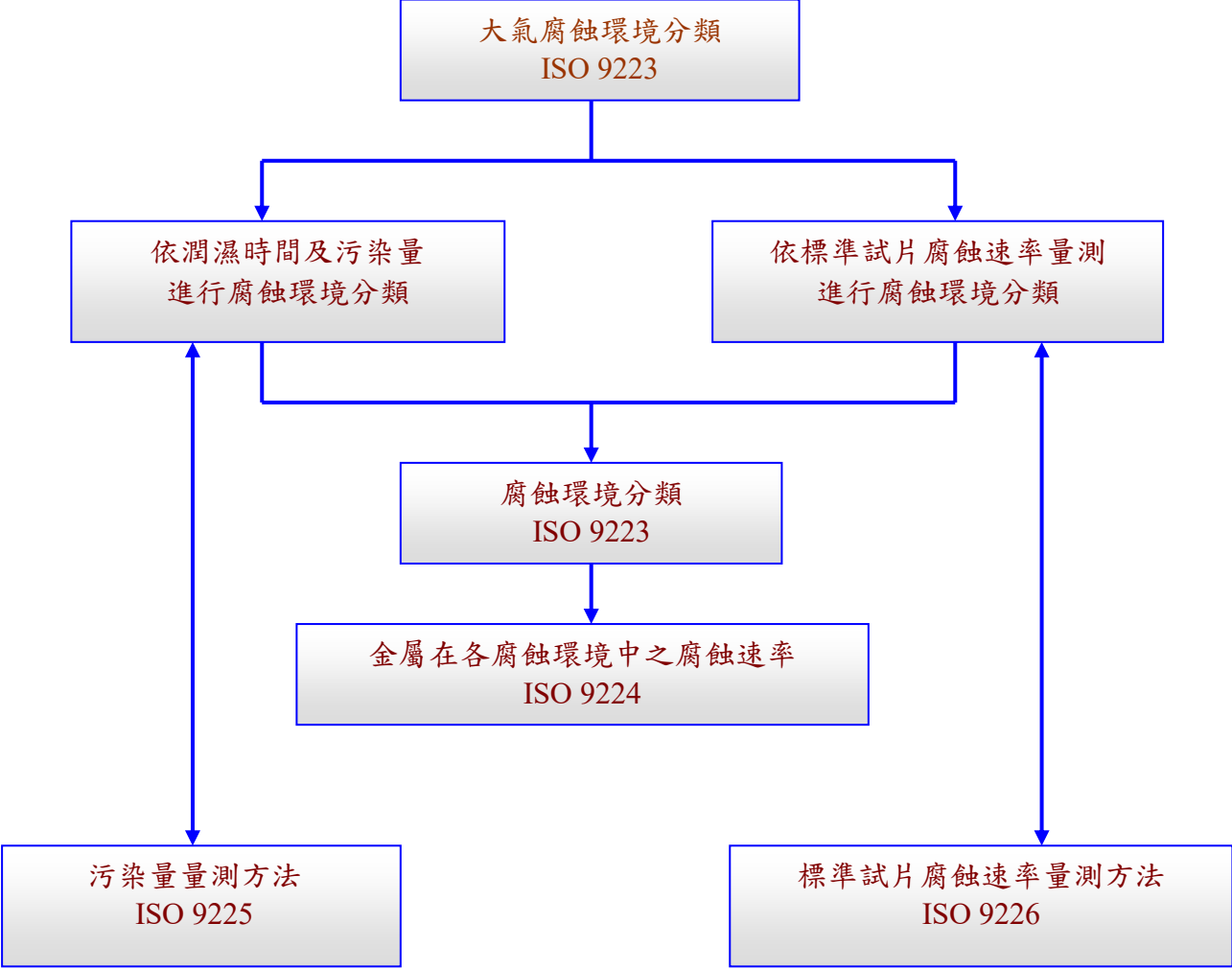


圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類^[19-22]

表 2-1 大氣腐蝕性分級對比^[19-22]

ISO 9223-1992		ISO 9223-2012			
腐蝕性 等級	腐蝕性	腐蝕性 等級	腐蝕性	典型環境示例	
				室內	室外
C1	很低	C1	很低	乾燥清潔的室內場地，如辦公室、學校、博物館。	乾旱寒冷地區、極低的污染和潤濕時間的大氣環境，如特定的沙漠、北極、南極。
C2	低	C2	低	低頻凝結、低污染的常溫室內場地，如倉庫、體育場。	溫帶、低污染物濃度（ $\text{SO}_2 \leq 5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的大氣環境，如鄉村、小鎮。乾旱寒冷地區、潤濕時間短的大氣環境，如沙漠、亞北極區。
C3	中	C3	中	產品生產過程中產生中頻凝結和中度污染的場地，如食品加工廠、洗衣房、啤酒廠、乳製品廠。	溫帶、中等污染物濃度（ $5\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{SO}_2 \leq 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）或低鹽度的大氣環境，如城市、低鹽度海濱地區。亞熱帶和熱帶地區、低污染的大氣環境。
C4	高	C4	高	產品生產過程中產生高頻凝結和重度污染的場地，如工業加工廠、游泳池。	溫帶、高污染物濃度（ $30\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{SO}_2 \leq 90\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）或高鹽度的大氣環境，如污染較重的城市、工業區、中等鹽度海濱地區或暴露於除冰鹽的區域。亞熱帶和熱帶地區、中度污染的大氣環境。
C5	很高	C5	很高	產品生產過程中產生極高頻凝結和重度污染的場地，如礦井、工業洞穴、亞熱帶和熱帶地區不通風工作間。	溫帶和亞熱帶、極高污染物濃度（ $90\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{SO}_2 \leq 250\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）或極高鹽度的大氣環境，如工業區、海濱地區、沿海遮蔽處。
		CX	極端	產品生產過程中產生持續凝結或長期暴露於高濕環境和重度污染的場地，如濕熱帶地區室外有污染物進入的不通風工作間。	亞熱帶和熱帶（非常高的潤濕時間）、極高污染物濃度（ $250\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{SO}_2$ ）和極高鹽度的大氣環境，如極端工業區、海濱和近海地區、偶爾接觸鹽霧。

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^[38]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。

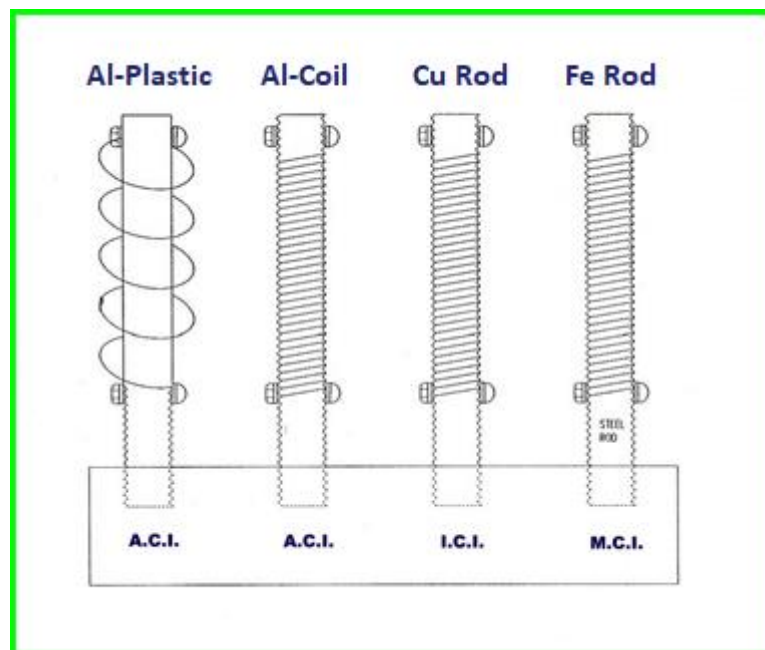


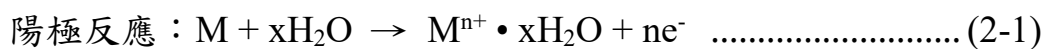
圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試^[23]

2.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範

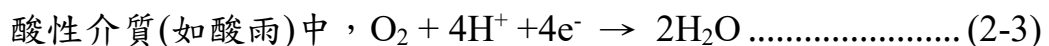
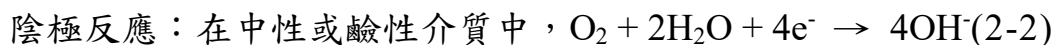
有鑑於大氣腐蝕測試的重要，經濟部標準檢驗局於民國 83 年起依據國際標準化組織-ISO 規範(ISO 9223、ISO9224、ISO 9225、ISO 9226、ISO8565^[39])，制定一系列之「金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性」國家標準 CNS 規範，包括 CNS13401^[40]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753^[41]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，CNS13754^[42]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122^[43]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，CNS14123^[44]金屬及合金之腐蝕-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， M^{n+} 為 n 價金屬離子， $M^{n+} \cdot xH_2O$ 為金屬離子化水合物。



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^[45]：

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

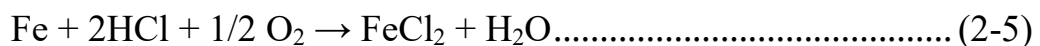
而具有較強的腐蝕性。

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：



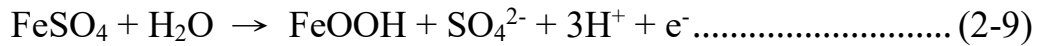
4. 空氣中的污染物質 SO₂

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。Florianovich 等人指出^[46]，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 FeSO_4 會與 H_2O 作用生成 FeOOH ，而釋放出來的 SO_4^{2-} 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 SO_2 ， NO_2 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%^[47]。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℃，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。

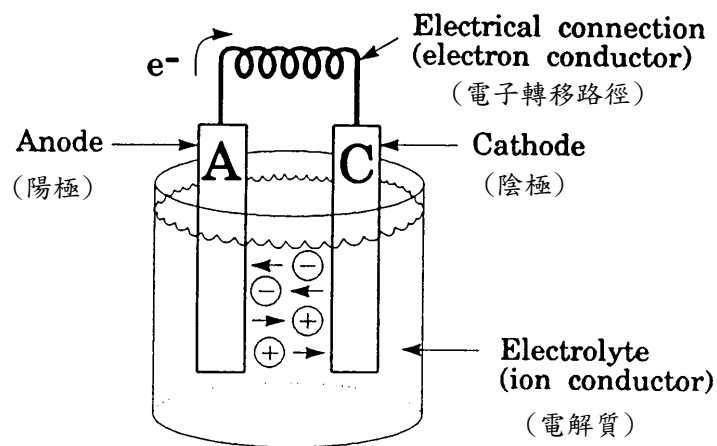
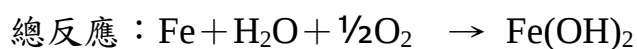
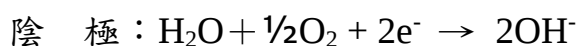
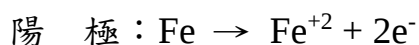
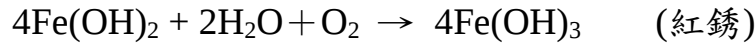


圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖^[47]

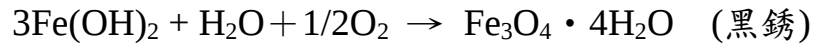
海水中之鋼材如鋼板樁之表面，因同時具有許多高活性區域(陽極反應)與鈍化區域(陰極反應)所形成之許多小腐蝕電池(corrosion cell)系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。鋼材在海水中發生腐蝕之電化學反應程序如下：



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

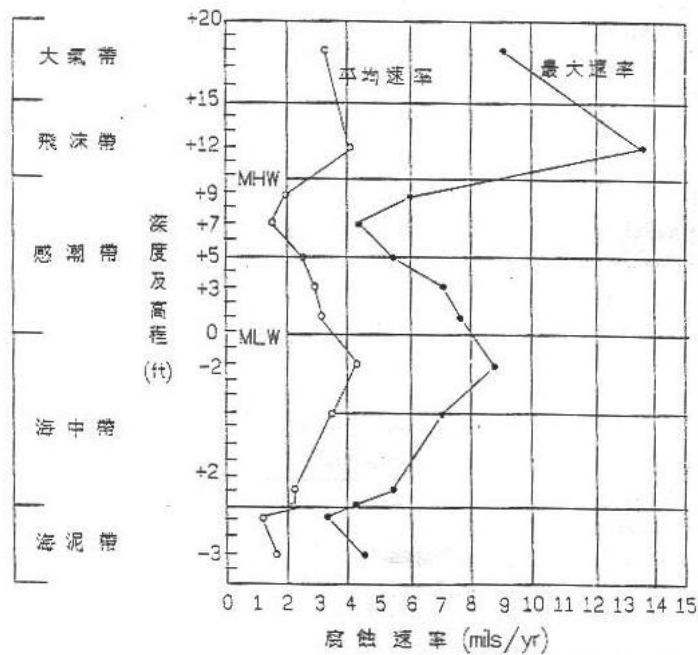
從許多調查研究發現，由於彼此接觸(曝露)環境不同，海洋結構物腐蝕的部位及速率有很明顯的差異，其腐蝕形態不同。因此為方便區分與探討，特將海洋環境區分成五個曝露區域，各區域與腐蝕速率之關係如圖 2.4 所示。

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。



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^[49]，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。

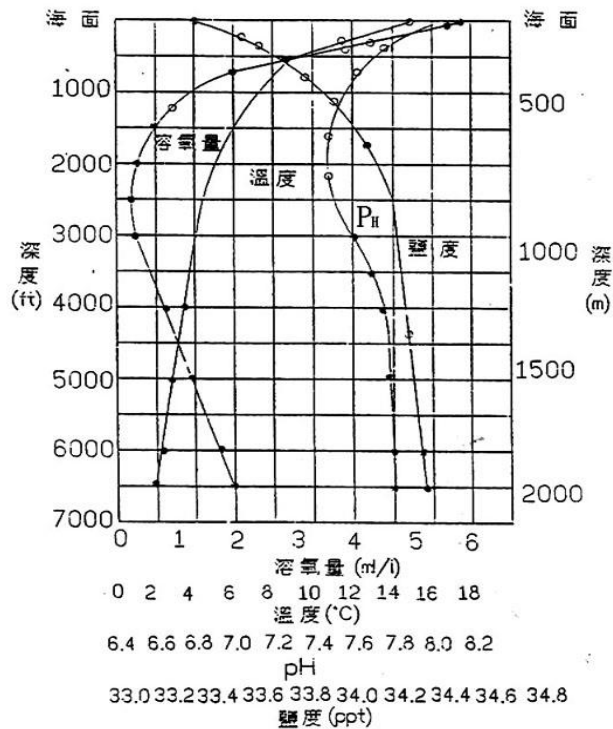


圖 2.5 海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係^[49]

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，溫度每上升 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^[40]。

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^[50]，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。

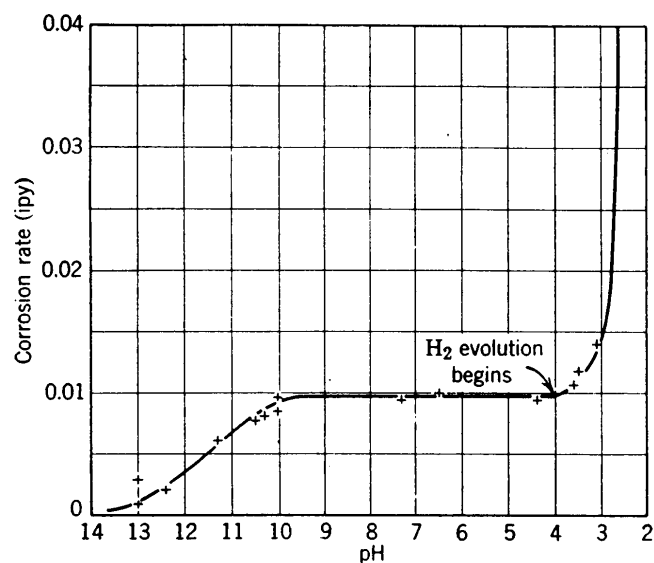


圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係^[50]

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^[51]。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。

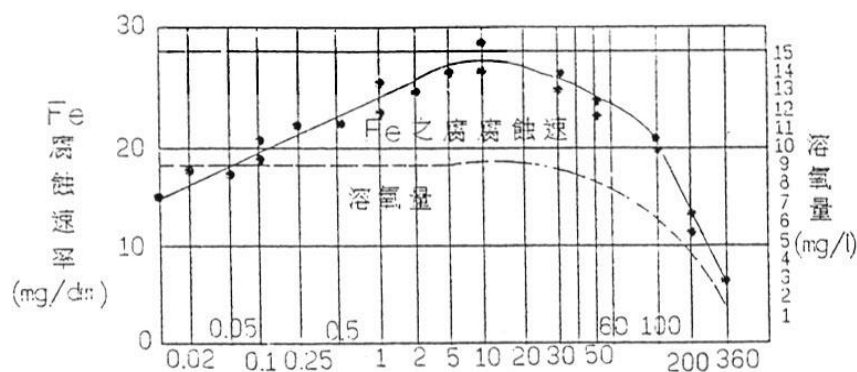


圖 2.7 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係^[51]

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^[52]。圖 2.8 為腐蝕速率與海水流速之關係。

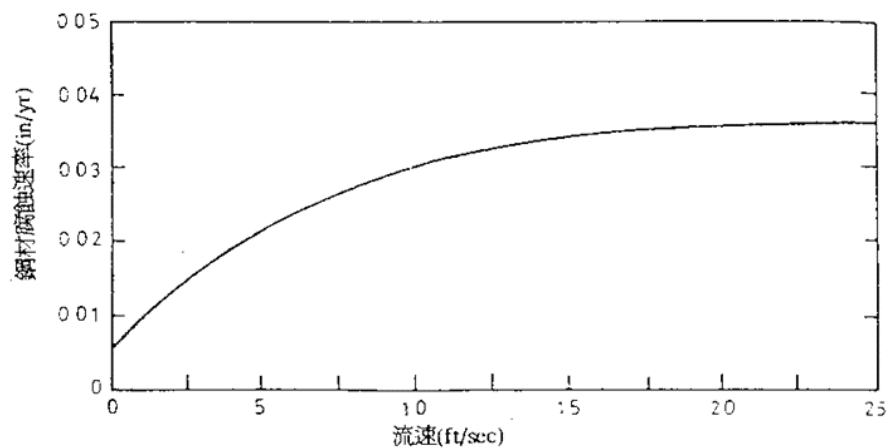


圖2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係^[52]

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^[53]。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。

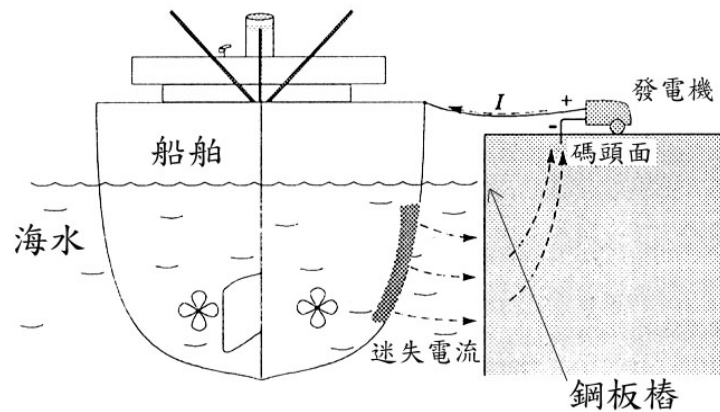


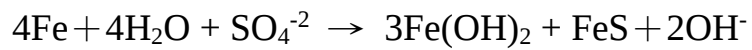
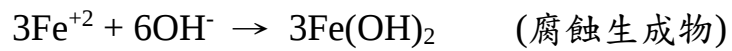
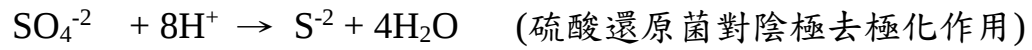
圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形^[53]

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、藤壺、貝類等。海洋結構物浸泡海水中常受到海生物附著所困擾^[43]。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)



2.6 大氣腐蝕環境因子之參數建立

雖然利用上述調查的數據可對照 ISO 9223 之大氣腐蝕性分類，但對照之腐蝕性分類僅為一等級範圍。若能利用調查結果確立腐蝕因子與現地暴露之金屬腐蝕速率的關係，則將來僅需透過腐蝕因子的調查即可預測金屬大氣腐蝕速率，免去現地暴露試驗耗費的龐大資源。過去許多專家學者對於大氣腐蝕環境劣化因子與金屬效應皆有評估，如 Roberge (2002)^[54]認為大氣腐蝕最基本的要求為電解質薄膜的存在，因此相對濕度、大氣中的氣溶膠粒子如氯鹽、灰塵和污染物如二氧化硫等為主要的影響因子。文中顯示國際化標準組織(ISO)基於簡化的原則來做分類，影響腐蝕的因子只考慮濕潤時間、二氧化硫和氯鹽；不包括一些其他可能具有影響力的因子，如環境溫度、風速等以及各種腐蝕機制。因此 ISO 提出的大氣腐蝕分類標準在精度和準度方面有限。Corvo (2008)^[55]在古巴之亞熱帶海洋氣候區不同的暴露條件下，進行室內和室外的長期大氣腐蝕試驗。探討降雨、氯鹽等腐蝕因子對於鋁、銅、碳鋼等金屬的腐蝕曝露情況。結果顯示，金屬暴露於室內但有遮蔽通風的環境下與室外相比，腐蝕速率較高，推測原因是室內雨水和其他氯化物等污染物會附著於金屬表面造成腐蝕加劇的現象；但在室外，雨水會直接洗滌金屬表面，使腐蝕性污染物不會持續殘留於在金屬表面，造成進一步的腐蝕。若日照時間長，將使金屬表面水膜消失，降低表面潤濕時間，腐蝕總量減少。此外，若降雨增加，大氣中的相對濕度增加，延長了金屬表面的潤濕時間，由於日照及降雨反覆交互作用，破壞了金屬表面腐蝕產物的保護性，加速大氣腐蝕。因此亦將降雨時數與日照時數列入影響參數中。另外 Luo (2011)^[56]發現空氣中氯鹽含量傳送到內陸的分佈、受到風速、風向、局部地形的影響，距海岸線愈遠，氯鹽沉積速率愈小。所以環境中風速、風向參數也納入考量評估。

2.7 迴歸分析於大氣腐蝕應用

迴歸分析是一種統計分析方法，它利用一組自變數(independent variable)對某一依變數(dependent variable)建立關係式以便做為預測的依據，也可以做為評估自變數對依變數的效用。其應用於大氣腐蝕研究主要目的在於了解金屬材料與大氣環境腐蝕因子間之數值關係。利用此關係可以由大氣腐蝕因子調查，預測金屬腐蝕速率。在過去國外文獻以迴歸分析進行大氣腐蝕速率評估，如 Mendoza (1999)^[57]於不同氣候條件及區域如沿海、城市工業區、農村等，進行碳鋼大氣腐蝕速率評估。結果顯示，由於二氧化硫與氯鹽及濕潤時間之間存在相互作用，使碳鋼腐蝕速率增加；碳鋼腐蝕速率與氯鹽在沿海區域明顯高於其他地區。並與 ISO9223 標準比較，發現碳鋼腐蝕率與 ISO 標準並不相同，ISO 標準無法套用在全球各地區。Legault(1978)^[58]、Pourbaix(1993)^[59]與 Morales(2007)^[60]等人，也證實金屬材料腐蝕速率與暴露時間存在雙對數線性迴歸模式關係。Su (1988)^[61]利用迴歸分析探討大氣環境中各因子對金屬腐蝕率之影響程度，結果得到不同暴露地點與環境因子分別影響金屬腐蝕速率，驗證出迴歸模式地域性限制的問題。Tsai (1993)^[62]進行環境腐蝕因子迴歸分析，討論溫度、相對溼度、氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量對碳鋼和耐候鋼之腐蝕速率的影響，針對高腐蝕速率區域須分別處理數據，再進行迴歸分析。Chou(2012)^[63]以迴歸分析建立鋅金屬腐蝕速率預測模式研究結果，針對氯鹽、二氧化硫與濕潤時間 3 項環境因子對臺灣地區鋅金屬的腐蝕速率，以氯鹽的影響最為顯著。Lo (2014)^[64]探討臺灣碳鋼與大氣腐蝕環境因子之關聯性，結果得知工業區以二氧化硫與濕潤時間有顯著相關。沿海區以氯鹽與濕潤時間，季節性以冬季與秋季與一年期碳鋼腐蝕有顯著相關。經由上述文獻發現在不同試驗區域環境腐蝕分類標準，其腐蝕等級往往超越 ISO 9223 提出的環境腐蝕性分類之等級。故利用迴歸分析建立專屬於該地區之腐蝕速率與環境因子之數值關係，應可提升預測金屬材料腐蝕的準確性。所以本研究利用 MLR 找出金屬腐蝕速率與環境因子的關係式，以尋求適宜臺中港區環境之金屬腐蝕預測模式。

2.8 MLR 模式架構

本研究利用複線性迴歸分析 MLR (Multiple Linear Regression) 找出金屬腐蝕速率與污染物及氣象因子的關係式，使用之軟體為 SPSS，針對模式之建立，先消除模式中多餘的自變數與降低共線性 (collinearity) 的現象，本研究採用逐步迴歸法 (Stepwise Regression Procedure) 吳明隆(2000)^[65]，其步驟為：首先以在模式中與準則變數相關性最高者，進入迴歸方程式中。其次控制迴歸方程式中之變數，根據每個模擬變數與準則變數間之淨相關 (partial correlations) 的高低來決定進入方程式的順序，而進入方程式的標準在於模擬變數的標準化迴歸係數必須通過 F 值或 F 機率值規定的標準。已被納入方程式的模擬變數必須再經過反向剔除法的考驗，以決定該項變數是否被保留，進入迴歸方程式的變數若符合剔除標準，則會被淘汰，被剔除之模擬變數無法在進入模式中。在模式之建立過程中，需留意共線性的問題，亦即模擬變數間的相關性太高，以致於迴歸模式的參數不能完全被估計出來。而在本研究中，所建立的模式必須先通過共線性的檢定，方可用來模擬大氣腐蝕速率。

第三章 研究方法與試驗點位置資料圖表

3.1 大氣曝放環境

3.1.1 氣鹽沉積速率試驗調查

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 4 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。

另外為使試驗點之數據可作內插推算，於上述調查路線之垂直方向，即沿臺灣南北向再規劃西部二條、東部一條試驗線。臺灣西部之試驗線一為西部濱海沿線，另一則為臺灣高鐵沿線；西部濱海沿線試驗點包括：臺北港監測站、桃園永安安檢所、桃園平鎮工業區、新竹漁港安檢所、臺電通霄電廠、苗栗外埔安檢所、臺中五甲安檢所、臺電臺中電

廠、彰濱工業區、彰化王功安檢所、嘉義東石安檢所、臺南成大安南校區水工試驗所、高雄興達火力電廠、中鋼公司，共 14 個試驗點；高鐵沿線車站試驗點則包括高鐵臺中站、嘉義站、左營站，共 3 個試驗點。臺灣東部濱海公路沿線之試驗點包括：東北角風景區福隆遊客中心、宜蘭梗枋安檢所、宜蘭南澳安檢所、宜蘭龍德工業區、花蓮太魯閣國家公園管理處、花蓮橄仔樹安檢所、花蓮石梯安檢所、臺東東河金樽安檢所、臺東富崗伽蘭安檢所、臺東尚武安檢所、臺東成功安檢所，共 11 個試驗點。

在對照組方面，選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，規劃之試驗點包括臺北市陽明山國家公園管理處、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段及公路總局第五區養護工程處石卓監工站)、公路總局第二區養護工程處新中橫監工站、公路總局第一區養護工程處復興工務段、公路總局第二區養護工程處埔里工務段、公路總局第二區養護工程處霧社監工站、公路總局第二區養護工程處谷關工務段等 8 個試驗點。此外，都會地區於臺北市設置 1 個試驗點及外島地區之金門水頭商港、馬祖福澳港、澎湖馬公市共 3 個試驗點。

綜言之，氣鹽沉積速率的調查位置共有 66 個試驗點，相關涵蓋區域與試驗點所屬環境分類如表 3-1 所示，分佈如圖 3.1 所示。圖 3.1 中，紅色字樣表示垂直海岸線規劃的調查路線共 33 個試驗點，藍色字樣為 24 個平行海岸線之試驗點，綠色字樣則表示 6 個參考對照試驗點。

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	海洋環境、鄉村環境
	台塑六輕試驗線	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	海洋環境、鄉村環境
西部濱海沿線規劃試驗點	樹林工業區	新北市樹林區	工業環境
	平鎮工業區(服務中心)	桃園市平鎮區	都市環境、工業環境
	臺北港監測站	新北市淡水區	海洋環境
	陽明山硫磺區	臺北市北投區	都市環境
	竹南工業區	苗栗縣竹南鎮	工業環境
	頭份工業區	苗栗縣頭份鎮	工業環境
	工業技術研究院	新竹縣竹東鎮	都市環境
	新竹工業區	新竹縣湖口鄉	工業環境
	觀音工業區(服務中心)	桃園市觀音區	工業環境
	新竹安檢所	新竹市	海洋環境、鄉村環境
	永安安檢所	桃園市新屋區	海洋環境、鄉村環境
	平鎮工業區	桃園市平鎮區	工業環境
	臺電通霄電廠	苗栗縣通霄鎮	海洋環境、工業環境
	外埔安檢所	苗栗縣後龍鎮	海洋環境
	五甲安檢所	臺中市大安區	海洋環境、鄉村環境
	台電臺中電廠	臺中市龍井區	海洋環境、工業環境
	福興工業區	彰化縣福興鄉	海洋環境、工業環境
	南崗工業區	南投縣南投市	工業環境
	大里工業區	臺中市大里區	工業環境
	臺中工業區	臺中市西屯區	工業環境
	關連工業區	臺中市梧棲區	海洋環境、工業環境
	彰濱工業區	彰化縣鹿港鎮	海洋環境、工業環境
	王功安檢所	彰化縣芳苑鄉	海洋環境
	東石安檢所	嘉義縣東石鄉	海洋環境
	朴子工業區	嘉義縣朴子區	工業環境
	斗六工業區	雲林縣斗六市	工業環境

試驗線(點)規劃		所在地區	環境分類
	成大水工試驗所	臺南市安南區	海洋環境、鄉村環境
	安平工業區	臺南市安平區	工業環境
	官田工業區	臺南市官田區	工業環境
	興達火力電廠	高雄市永安區	海洋環境、工業環境
	中鋼公司	高雄市小港區	工業環境
	林園工業區	高雄市林園區	工業環境
	鳳山工業區	高雄市鳳山區	工業環境
	大發工業區	高雄市大寮區	工業環境
	永安工業區	高雄市岡山區	工業環境
	屏東工業區	屏東市	工業環境
	高鐵臺中站	臺中市烏日區	都市環境
	高鐵嘉義站	嘉義縣太保市	鄉村環境
	高鐵左營站	高雄市左營區	都市環境
東部濱海沿線 規劃試驗點	東北角風景區福隆遊客中心	新北市貢寮區	海洋環境
	和平工業區	花蓮縣秀林鄉	海洋環境、工業環境
	梗枋安檢所	宜蘭縣頭城鎮	海洋環境
	龍德工業區	宜蘭縣冬山鄉	海洋環境、工業環境
	美崙工業區	花蓮市	海洋環境、工業環境
	南澳安檢所	宜蘭縣南澳鄉	海洋環境
	太魯閣國家公園管理處	花蓮縣秀林鄉	鄉村環境
	橄仔樹安檢所	花蓮縣壽豐鄉	海洋環境
	石梯安檢所	花蓮縣豐濱鄉	海洋環境
	金樽安檢所	臺東縣東河鄉	海洋環境
	伽藍安檢所	臺東市	海洋環境
	尚武安檢所	臺東縣大武鄉	海洋環境
	成功安檢所	臺東縣成功鎮	海洋環境
	豐樂工業區	臺東縣臺東市	海洋環境、工業環境
對照組試驗點	陽明山國家公園管理處	臺北市	鄉村環境
	臺北自來水事業處	臺北市	都市環境
	公路總局第五區養護工程處阿里山工務段	嘉義縣番路鄉	鄉村環境
	金門水頭商港	金門縣	海洋環境
	馬祖福澳港碼頭	連江縣(馬祖)	海洋環境

試驗線(點)規劃		所在地區	環境分類
	公路總局第三區養護工程處澎湖工務段	澎湖縣	海洋環境
	公路總局第二區養護工程處新中橫監工站	南投縣信義鄉	鄉村環境
	公路總局第二區養護工程處埔里工務段	南投縣埔里鎮	鄉村環境
	公路總局第二區養護工程處霧社監工站	南投縣仁愛鄉	鄉村環境
	公路總局第二區養護工程處谷關工務段	臺中市和平區	鄉村環境
	公路總局第一區養護工程處復興工務段	桃園市復興區	鄉村環境
	公路總局第五區養護工程處石卓監工站	嘉義縣阿里山鄉	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

本研究參考 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。

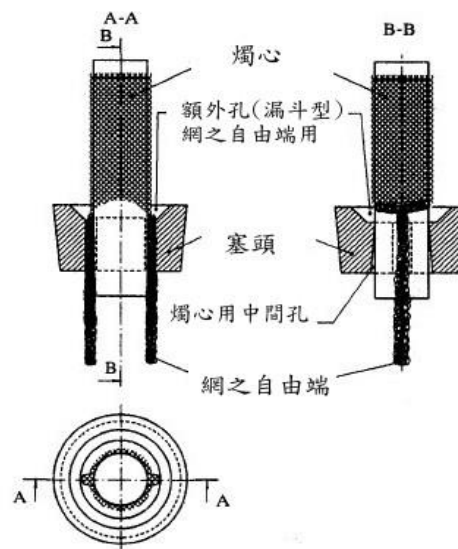


圖 3.2 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)

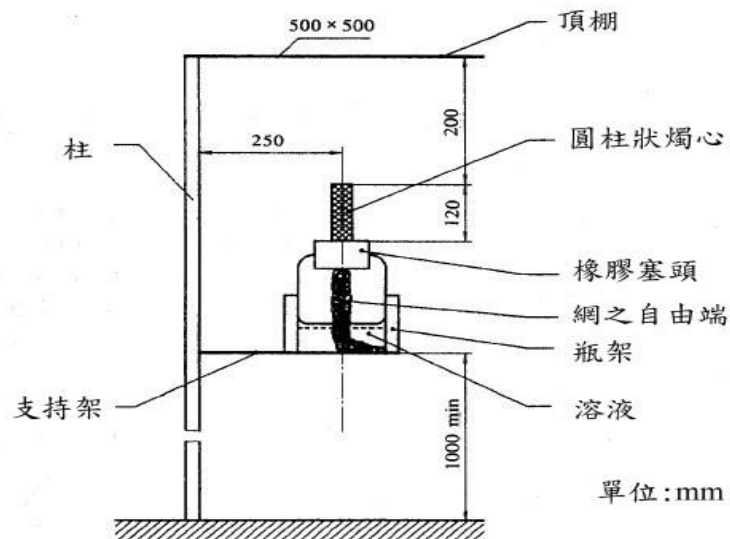


圖 3.3 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)

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)

3.1.3 二氧化硫沉積速率調查

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。一般在石化廠、煉鋼廠、火力電廠等工業區與都市地區，大氣中均可能存在相當程度的硫化物；因此，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，並設置對照組，建置如下：

- (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：於表 3-3 中各工業區服務中心，共 30 個試驗點。
- (3) 石化與火力電廠：林園煉油廠、大潭 0m、大潭 300m、通霄、臺中、興達、核能三廠，共有 7 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。
- (5) 離島地區：金門金城鎮(水頭商港)1 個試驗點、澎湖馬公市(公路總局第三區養護工程處澎湖工務段)1 個試驗點及馬祖南竿鄉(福澳港)1 個試驗點，共有 3 個試驗點。
- (6) 對照組：選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，包括臺北市陽明山國家公園管理處、硫磺區陽明山淨水站、太魯閣國家公園管理處、公路總局第一區養護工程處復興工務段、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段與公路總局第五區養護工程處石卓監工站)、公路總局第二區養護工程處新中橫監工站、公路總局第二區養護工程處埔里工務段、公路總局第二區養護工程處霧社監工站、公路總局第二區養護工程處谷關工務段共 10 個試驗點。

二氧化硫沉積速率調查位置共有 55 個試驗點，包括都市地區 1 個試驗點，全臺工業區 30 個試驗點，石化與火力電廠 7 個試驗點，高鐵沿線 3 個試驗點，離島地區 3 個試驗點，10 個參考對照試驗點與硫磺

溫泉區 1 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、陽明山國家公園管理處、陽明山硫磺區
新北市	樹林工業區、臺北港監測站、東北角風景區福隆遊客中心
桃園市	觀音工業區(服務中心)、平鎮工業區(服務中心)、桃園試驗線 0m(大潭電廠)、桃園試驗線 300m(大潭電廠)、桃園試驗線 2km、公路總局第一區養護工程處復興工務段
新竹縣	新竹工業區、工業技術研究院
苗栗縣	頭份工業區、竹南工業區
臺中市	大里工業區、關連工業區、臺中工業區、高鐵臺中站、臺中火力電廠、臺中港試驗線 100m、通霄火力電廠、公路總局第二區養護工程處谷關工務段
南投縣	南崗工業區、公路總局第二區養護工程處新中橫監工站、公路總局第二區養護工程處埔里工務段、公路總局第二區養護工程處霧社監工站
彰化縣	彰濱工業區、田中工業區
雲林縣	斗六工業區
嘉義縣	朴子工業區、高鐵嘉義站、公路總局第五區養護工程處阿里山工務段、公路總局第五區養護工程處石卓監工站
臺南市	安平工業區、興達火力電廠、成大水工試驗所、官田工業區
高雄市	仁大工業區、永安工業區、鳳山工業區、大發工業區、中油林園廠、中鋼公司、高鐵左營站
屏東縣	屏東工業區
宜蘭縣	龍德工業區
花蓮縣	和平工業區、太魯閣國家公園管理處
花蓮市	美崙工業區
臺東市	豐樂工業區
金門縣	金門水頭商港
澎湖縣	公路總局第三區養護工程處澎湖工務段
連江縣	馬祖福澳港碼頭

3.1.4 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。

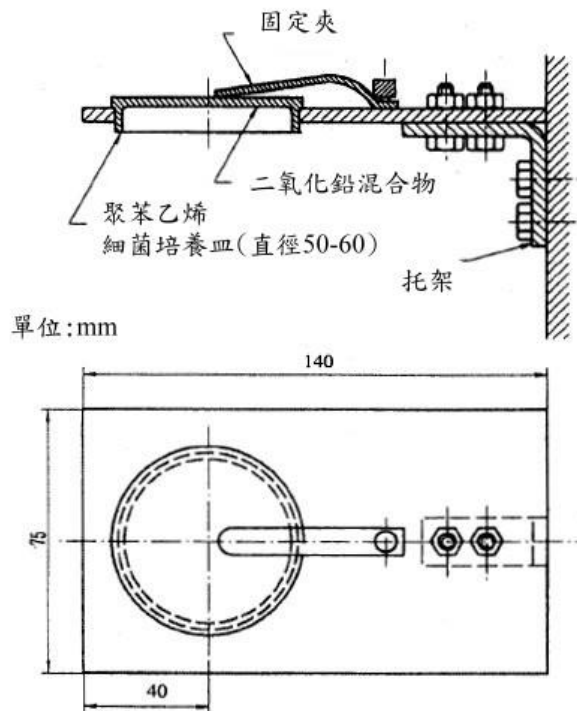


圖 3.5 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

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)

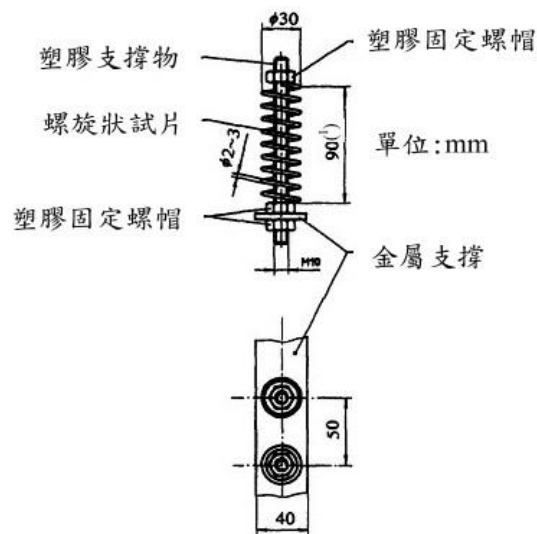
m_1 = 每一平板之硫酸鹽質量(μg)

A = 平板面積(m^2)

t = 暴露時間，天(day)

3.1.5 現地暴露試驗

現地暴露試驗試驗點建置的數量以涵蓋氣鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置之 75% 為原則，全國合計共有 91 個試驗點。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 3.6)，試片的材料如下：1) 碳鋼：非合金碳鋼($\text{Cu}=0.03\sim0.10\%$, $\text{P}<0.07\%$)，2) 鋅：98.5% 以上之純度，3) 銅：99.5% 以上之純度，4) 鋁：99.5% 以上之純度；將以上金屬之線材，線材直徑 2~3 mm，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。設置站址如圖 3.7 所示。



註1 線材兩端插入支撐物間之距離

圖 3.6 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)



圖 3.7 現地暴露試驗(碳鋼、鋅、鋁、銅螺旋狀試片)試驗點分佈圖

3.1.6 試片腐蝕速率計算

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 $\mu\text{m/y}$ 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($\mu\text{m/y}$)

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)

3.1.7 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 ， $\rho=1.84$ 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

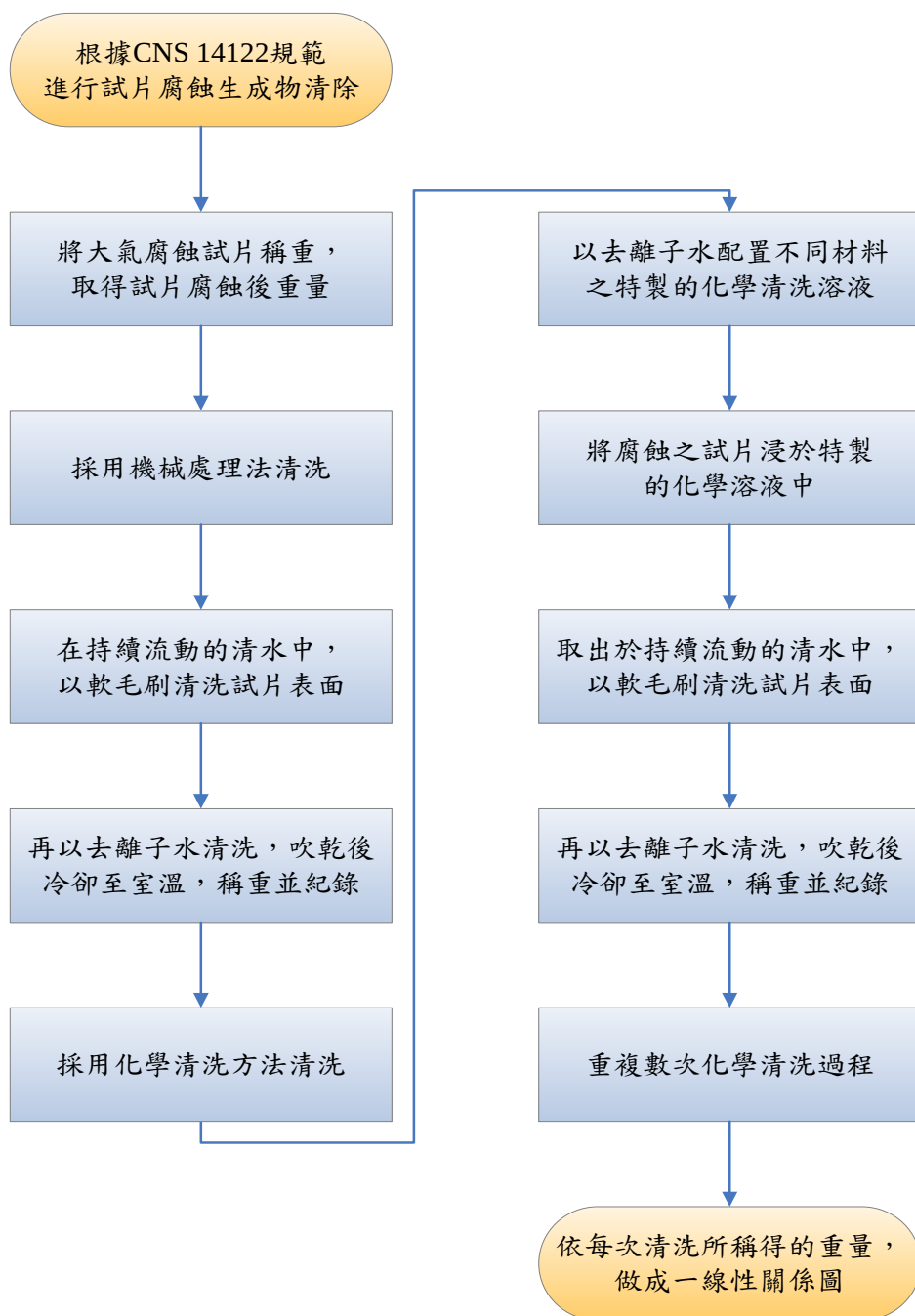


圖 3.8 腐蝕生成物清除法作業流程圖

3.2 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	%	
$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0.1$	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_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3
P_0-P_I	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_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3
P_0-P_I	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_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3	S_0-S_I	S_2	S_3
P_0-P_I	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	$\text{g/m}^2/\text{yr}$ $\mu\text{m/yr}$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 10$ $\gamma_{\text{corr}} \leq 1.3$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.7$ $\gamma_{\text{corr}} \leq 0.1$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.9$ $\gamma_{\text{corr}} \leq 0.1$	可忽視 —
C2	$\text{g/m}^2/\text{yr}$ $\mu\text{m/yr}$	$10 < \gamma_{\text{corr}} \leq 200$ $1.3 < \gamma_{\text{corr}} \leq 25$	$0.7 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5$ $0.1 < \gamma_{\text{corr}} \leq 0.7$	$0.9 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5$ $0.1 < \gamma_{\text{corr}} \leq 0.6$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.6$ —
C3	$\text{g/m}^2/\text{yr}$ $\mu\text{m/yr}$	$200 < \gamma_{\text{corr}} \leq 400$ $25 < \gamma_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < \gamma_{\text{corr}} \leq 15$ $0.7 < \gamma_{\text{corr}} \leq 2.1$	$5 < \gamma_{\text{corr}} \leq 12$ $0.6 < \gamma_{\text{corr}} \leq 1.3$	$0.6 < \gamma_{\text{corr}} \leq 2$ —
C4	$\text{g/m}^2/\text{yr}$ $\mu\text{m/yr}$	$400 < \gamma_{\text{corr}} \leq 650$ $50 < \gamma_{\text{corr}} \leq 80$	$15 < \gamma_{\text{corr}} \leq 30$ $2.1 < \gamma_{\text{corr}} \leq 4.2$	$12 < \gamma_{\text{corr}} \leq 25$ $1.3 < \gamma_{\text{corr}} \leq 2.8$	$2 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5$ —
C5	$\text{g/m}^2/\text{yr}$ $\mu\text{m/yr}$	$650 < \gamma_{\text{corr}} \leq 1500$ $80 < \gamma_{\text{corr}} \leq 200$	$30 < \gamma_{\text{corr}} \leq 60$ $4.2 < \gamma_{\text{corr}} \leq 8.4$	$25 < \gamma_{\text{corr}} \leq 50$ $2.8 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5.6$	$5 < \gamma_{\text{corr}} \leq 10$ —
CX	$\text{g/m}^2/\text{yr}$ $\mu\text{m/yr}$	$1500 < \gamma_{\text{corr}}$ $200 < \gamma_{\text{cor}}$	$60 < \gamma_{\text{cor}}$ $8.4 < \gamma_{\text{corr}}$	$50 < \gamma_{\text{corr}}$ $5.6 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5.6$	$10 < \gamma_{\text{cor}}$ —

資料來源：CNS 13401 (ISO 9223-2012)

3.3 海洋曝放環境

為持續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，自 103 年起陸續安裝水下金屬試驗架於基隆港、臺北港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、金門水頭、金門料羅港、馬祖福澳港、澎湖龍門港等國內商港。藉此了解港區在不同環境、金屬材料、海洋生物附著、海水水質等對金屬材料腐蝕之長期研究，預計 111 年將要進行臺灣全島及離島地區第 5 年試片取樣作業。今將研究方法、規劃、試片設計、與試驗期程如圖 3.9 分述：

3.3.1 研究方法與規劃

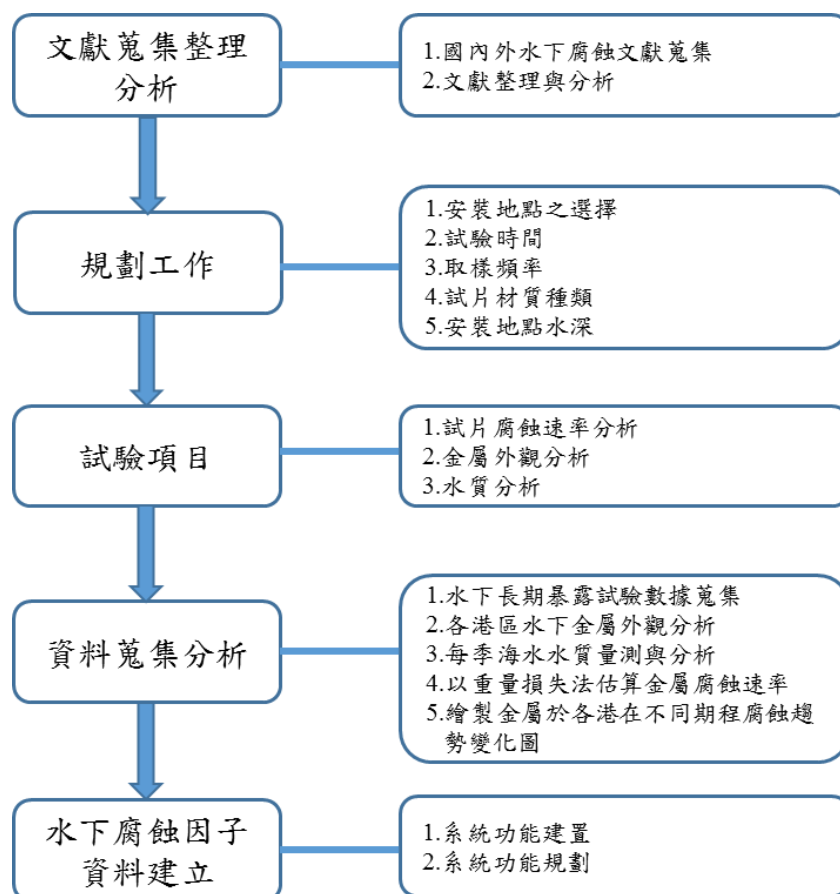


圖 3.9 水下腐蝕研究方法與規劃

3.3.2 各港區海水下金屬曝露試驗

3.3.2.1 各港區試片設計與試驗期程

試片設計、屬性與安裝與試驗期程如表 3-9 至表 3-12 所示，試片大小，試片架之設計，試片架之安放工作以及各階段分批取樣時程，詳述如後：

1. 材質型式: 試片採用港工結構材使用之試片，分三種型式為碳鋼(SM490A)、不鏽鋼(SS316L)、低碳鋼(SS400)。
2. 試片之大小: 為適合海中附生物之附著。軋鋼材質料試片大小均為 15cm×10cm，厚度則分別為碳鋼(SM490A)1.0cm、不鏽鋼(SS316L)1.0cm、低碳鋼(SS400)1.0cm。
3. 試片架設計: 為配合當地港工結構之條件，設計須考慮穩定性、試片置放及取樣難易程度等每一試片皆有兩只通孔，使用不鏽鋼螺栓及螺帽，固定於承載試片主架上，螺栓與螺帽使用絕緣材質墊片，以防止電化學腐蝕效應。
4. 試片架的曝露位置: 分別安放於飛沫帶、潮汐帶、水中帶 3 個位置每層架置 45 個試片，共 135 片，如圖 3.10 所示，以膨脹螺絲接合施作於混凝土牆面固定，現場安裝如圖 3.11 所示。
5. 試驗期程: 依實際需求規劃或 10 年期。
6. 取樣頻率: 第 1、2、3、5、8、10 年期等。

表 3-9 各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(1/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小(cm)	安裝日期 (年/月/日)	取樣期程
基隆港 西33B碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/26	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
臺北港 北#2碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/26	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
蘇澳港 公務船渠	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/06/23	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
花蓮港 西防波堤 燈塔	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/10/03	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			

表3-10 各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(2/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小 (cm)	安裝日期 (年/月/日)	取樣期程 (年)
臺中港 #1碼頭西側	飛沫帶	SM490A	20×10×1.2	2014/10/28 安裝 2017 年受 外力撞擊 毀損	1、2、3、 5、8、10 年 等 6 個期程
		SS316L	20×10×2.0		
		SS400	20×10×1.0		
	潮汐帶	SM490A	20×10×1.2		
		SS316L	20×10×2.0		
		SS400	20×10×1.0		
	水中帶	SM490A	20×10×1.2		
		SS316L	20×10×2.0		
		SS400	20×10×1.0		
臺中港 #1 碼頭西側	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2019/03/26 重新安裝	1、2、5、8、 10 年等 5 個 期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
布袋港 東#3碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/05	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
安平港 #7碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/06	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			

表 3-11 各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(3/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小(cm)	安裝日期 (年/月/日)	取樣期程
高雄港 #10碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/08	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
高雄港 #40碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/07	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
高雄港 #75碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/07	1、2、5、 8、10年等 5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			

表 3-12 各港區金屬材料水下腐蝕試片尺寸與安裝取樣期程(4/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小 (cm)	安裝日期 (年/月/日)	取樣期程 (年)
金門 料羅港區	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0	2015/11/16	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
金門 水頭商港	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0	2015/11/16	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
馬祖福澳港 浮動碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/08/15	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
澎湖龍門港 #9碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/12	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
港研中心 循環水槽	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/22	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			

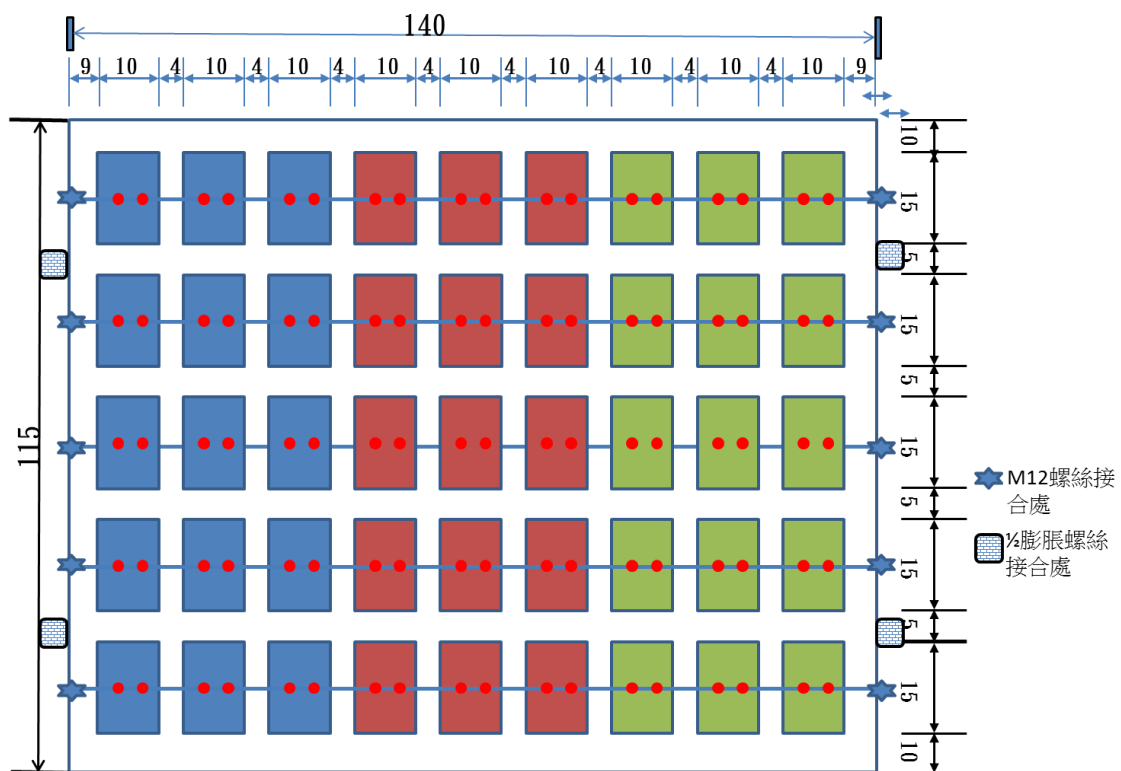


圖 3.10.水下金屬腐蝕試驗架示意圖

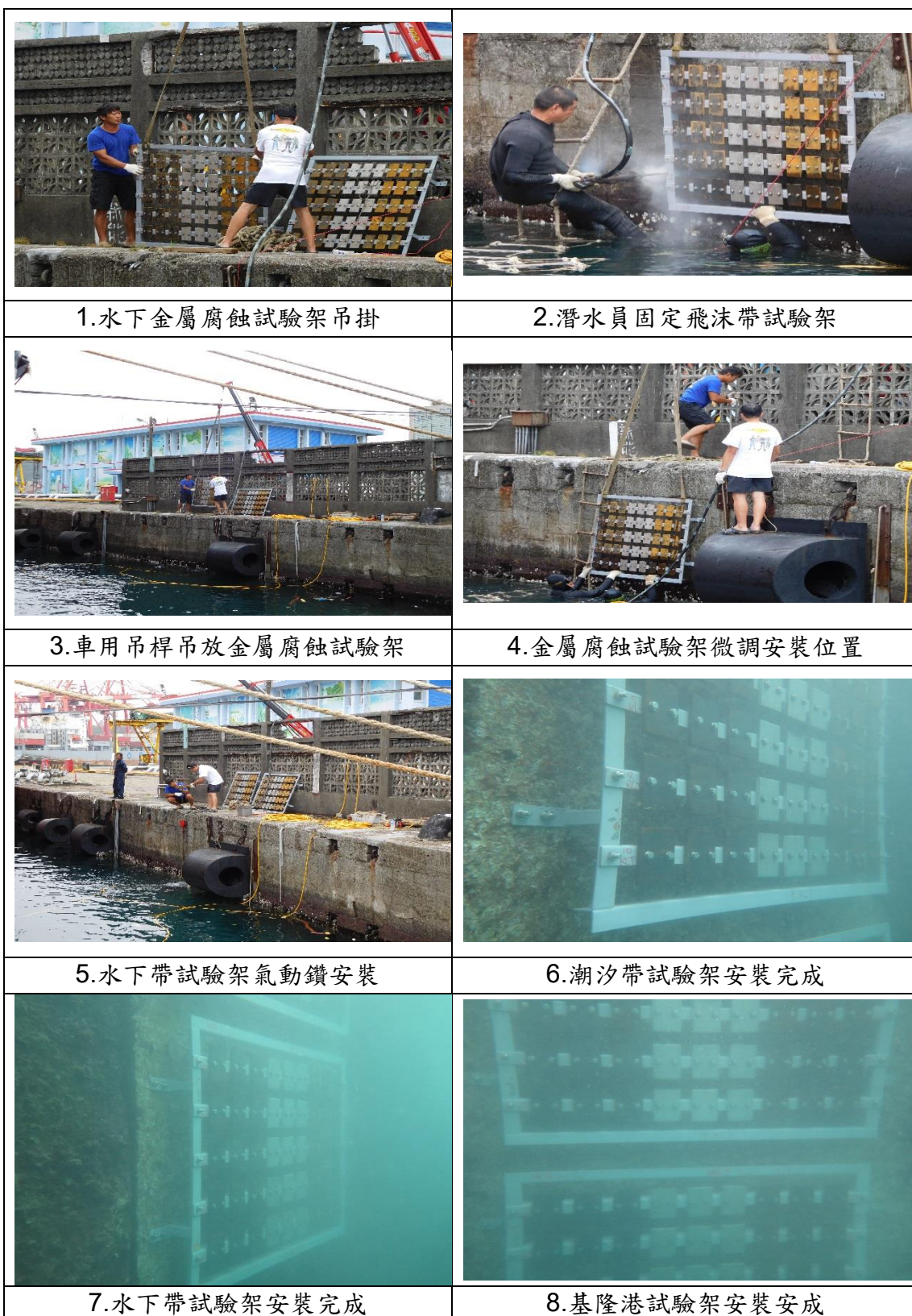


圖 3.11 基隆港水下金屬曝露試驗架安裝

3.3.3 試片腐蝕速率分析方法

3.3.3.1 試片定期採樣之處理分析方法

依規劃時間至安裝現場請潛水人員將試片取出，將樣品收集分類及拍照後，帶回實驗室作進一步海生物清除與腐蝕清洗分析。

3.3.3.2 試片腐蝕分析步驟

採樣後試片於實驗室中進行腐蝕分析作業流程如圖 3.12，先將附著海生物刮去處理後，依據 NACE Standard TM-01-69 方法，以濃鹽酸+40 g/l SnCl₂ 溶液，在室溫下浸泡試片，達到除銹效果，並稱重以量測其平均腐蝕速率（重量損失法）。將試驗點曝放後取回之試片進行腐蝕速率量測。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，先使用腐蝕試片進行重複清洗，以制定檢量線（俟重複清洗後之試片淨重達到一穩定值）。



圖 3.12 水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖

3.3.3.3 腐蝕速率計算

板狀試片的腐蝕速率(R_{corr})單位以 $\mu\text{m/yr}$ 表示，計算公式如下：

$$R_{corr} = \Delta m / (A \cdot \rho \cdot t) \dots\dots\dots (3.1)$$

式中， Δm =質量損失(g)

A =試片曝露面積(m^2)

t =曝露時間，年(year)

ρ =金屬材料之密度 (g/cm^3)

第四章 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗

由於 COVID-19 嚴重特殊傳染性肺炎疫情持續嚴峻，依據行政院公共工程委員會 110 年 5 月 20 日因應全國疫情警戒提升至第三級，請各機關於推動各項公共建設計畫及工程時，需以展延或停工處理方式辦理。致影響原訂全島 110 年第 2 季 6 月外業現地調查停止辦理。因此大氣腐蝕現地暴露試驗於 110 年 3 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、10 月完成金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析，今將大氣腐蝕現地調查 3 個月及 6 個月試驗結果作一比較分析。

4.1 氯鹽沉積速率調查結果

各試驗點之氯鹽沉積速率計算結果如表 4-1。二次採樣的調查期間分別為 2021.01-2021.03(3 個月)，2021.04-2021.09(6 個月)。

2021.01-2021.03(3 個月)期間，氯鹽沉積速率介於 $0.6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (新中橫監工站)至 $65.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (外埔安檢所)之間，而較高的沉積速率發生在外埔安檢所、新竹安檢所、五甲安檢所、橄仔樹安檢所、彰濱工業區，所測得的氯鹽沉積速率均大於 $40 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。在太魯閣國家公園、石卓監工站、埔里工務段、陽明山國家公園與新中橫監工站，所測得的氯鹽沉積速率皆低於 $1.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

2021.04-2021.09(6 個月)之氯鹽沉積速率介於 $0.3 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (霧社監工站、谷關及埔里工務段)至 $30.6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (橄仔樹安檢所)之間，較高的沉積速率發生在橄仔樹安檢所、永安安檢所、外埔安檢所、通霄火力電廠，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。在石卓監工站、復興工務段、新中橫監工站、埔里工務段、谷關工務段、霧社監工站等山區測點所測得的氯鹽沉積速率都低於 $0.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

4.1.1 氯鹽沉積速率與垂直海岸線之關係

圖 4.1 為暴露 3 個月及 6 個月之垂直海岸試驗線於距海岸 0m、

100m、300m、1Km、3Km 等之平均氯鹽沉積速率圖。調查結果發現，暴露 3 個月的氯鹽沉積速率較暴露 6 個月的氯鹽沉積速率來的高。

暴露 3 個月的氯鹽沉積速率以北部及中部的垂直海岸試驗線較高，氯鹽沉積速率皆大於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ；暴露 6 個月的氯鹽沉積速率以基隆港試驗線及花蓮港試驗線較高，氯鹽沉積速率皆大於 $6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

表 4-1 氯鹽沉積速率表

單位：mg/m²/day

項次	試驗地點 試驗期間	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
1	基隆試驗線 0m	5.1	5.8
2	基隆試驗線 100m	24.6	9.0
3	梗枋安檢所	6.3	3.0
4	龍德工業區	3.4	2.2
5	蘇澳港試驗線 0m	4.9	2.7
6	蘇澳港試驗線 300m	1.5	1.1
7	南澳安檢所	4.4	1.9
8	太魯閣國家公園	0.9	0.6
9	花蓮港試驗線 0m	8.2	9.1
10	花蓮港試驗線 100m	3.3	5.9
11	花蓮港試驗線 500m	12.9	4.0
12	橄仔樹安檢所	48.5	30.6
13	石梯安檢所	10.7	4.1
14	成功試驗線 0m	18.6	9.9
15	金樽安檢所	7.6	5.3
16	伽蘭安檢所	19.3	2.4
17	尚武安檢所	18.9	1.9
18	核三廠試驗線 0m	10.7	3.8
19	核三廠試驗線 100m	8.4	1.6
20	核三廠試驗線 300m	3.0	0.8
21	核三廠試驗線 1Km	3.6	2.8
22	中鋼公司	22.3	1.9
23	高雄港試驗線 0m	3.6	1.3
24	高雄港試驗線 300m	3.2	3.1
25	高雄港試驗線 800m	1.7	-
26	高鐵左營站	2.9	1.0
27	興達火力電廠	3.0	1.0

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
28	成大水工所	2.5	1.4
29	東石安檢所	23.5	1.2
30	高鐵嘉義站	2.9	0.8
31	臺塑六輕試驗線 0m	21.3	2.2
32	臺塑六輕試驗線 300m	38.1	7.9
33	臺塑六輕試驗線 800m	24.1	3.2
34	臺塑六輕試驗線 2Km	23.6	2.4
35	臺塑六輕試驗線 3Km	4.2	1.4
36	王功安檢所	25.7	2.6
37	彰濱工業區	44.6	3.9
38	高鐵臺中站	2.7	1.1
39	臺中火力電廠	6.9	5.1
40	臺中港試驗線 0m	31.1	3.0
41	臺中港試驗線 2Km	10.6	1.1
42	五甲安檢所	54.1	1.3
43	通霄火力電廠	37.0	10.4
44	外埔安檢所	65.7	11.3
45	平鎮工業區	3.5	-
46	桃園試驗線 100m	37.8	3.6
47	桃園試驗線 500m	18.1	5.8
48	桃園試驗線 2Km	6.9	3.4
49	臺北市區	3.5	1.5
50	陽明山國家公園	0.7	0.7
51	公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段	1.0	0.8
52	東北角風景區福隆 遊客中心	7.3	4.2
53	臺北港監測站	9.0	1.6
54	永安安檢所	1.3	12.8
55	新竹安檢所	62.4	9.6

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
56	金門水頭商港	24.4	4.5
57	高雄港 39 號碼頭	2.3	1.2
58	高雄港 75 號碼頭	3.1	1.2
59	馬祖福澳港碼頭	16.7	5.4
60	公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站	0.6	0.4
61	公路總局第二區養護 工程處埔里工務段	0.8	0.3
62	公路總局第二區養護 工程處霧社監工站	1.6	0.3
63	公路總局第二區養護 工程處谷關工務段	1.3	0.3
64	公路總局第一區養護 工程處復興工務段	1.2	0.4
65	公路總局第五區養護 工程處石卓監工站	0.8	0.4

註：- 表示試體遺失

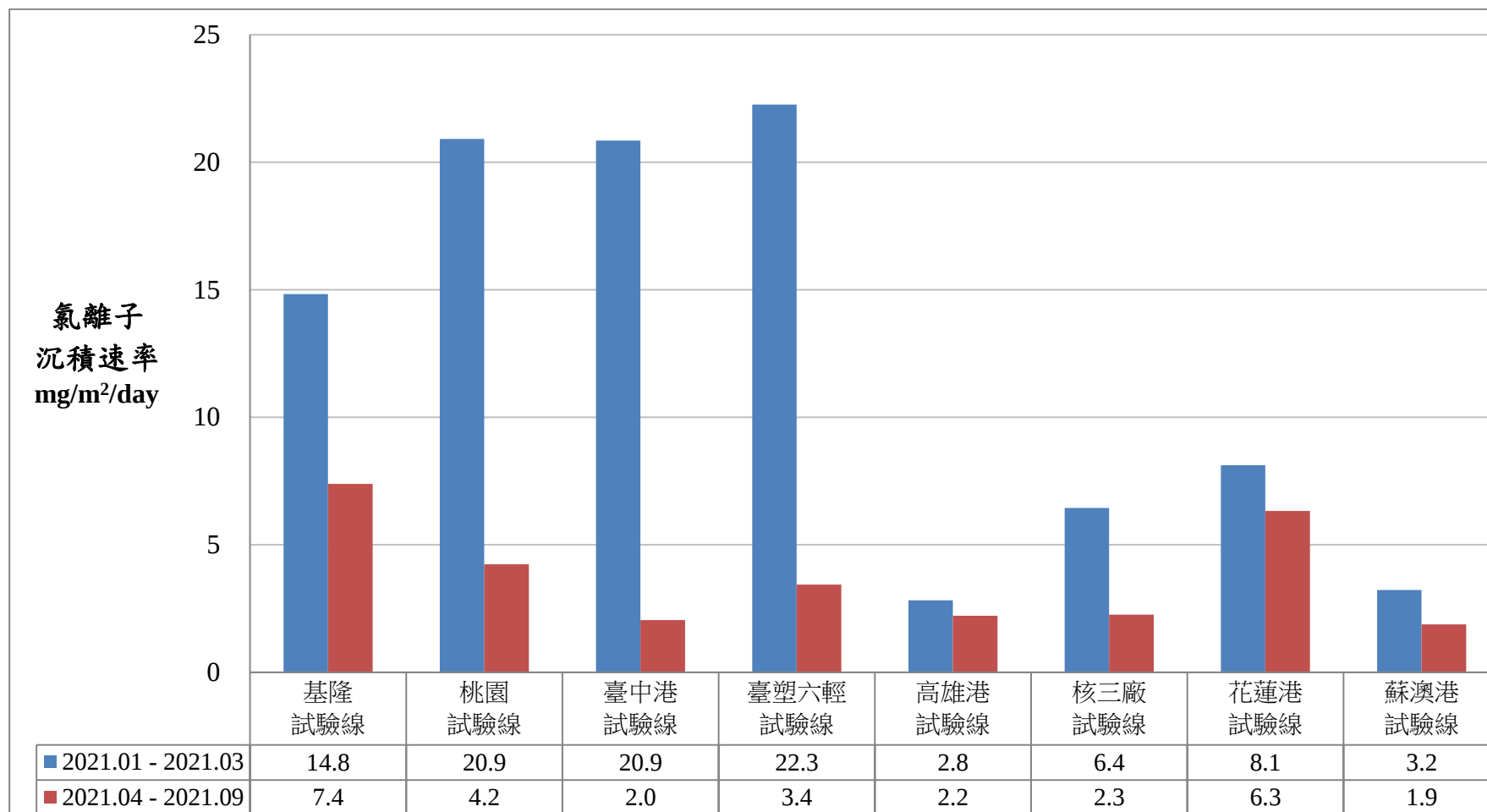


圖 4.1 垂直海岸試驗線之氯鹽平均沉積速率

4.2 二氧化硫沉積速率調查結果

表 4-2 為各試驗位址二氧化硫沉積速率計算結果。二次採樣的調查時間與氯鹽沉積速率調查的時間相同，分別為 2021.01-2021.03(3 個月)，2021.04-2021.09(6 個月)。

2021.01-2021.03(3 個月)暴露期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 2025.3 mg/m²/day，其餘介於霧社監工站 7.0 mg/m²/day 至 374.1 mg/m²/day 桃園試驗線 100m 之間。較高的沉積速率發生在桃園試驗線 100m、官田工業區、彰濱工業區、觀音工業區、通霄火力電廠，其值均超過 CNS 13401 (ISO 9223)的最高分類標準 P3(200 mg/m²/day)。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以嘉義站最高 81.5mg/m²/day、左營站次之 56.7mg/m²/day、臺中站最低為 44.7mg/m²/day。

2021.04-2021.09(6 個月)暴露期間，二氧化硫沉積速率以陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最高為 2638.7mg/m²/day，其餘介於 4.3mg/m²/day 霧社監工站至 180.1 mg/m²/day 陽明山國家公園管理處之間。其次較高的沉積速率依序發生在龍德工業區、中鋼公司、桃園試驗線 100m、彰濱工業區，其值均大於 80 mg/m²/day 為最高分類標準 P3。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以臺中站最高 37.1 mg/m²/day、左營站次之 29.9 mg/m²/day、最低為嘉義站 21.2 mg/m²/day。

4.2.1 二氧化硫沉積速率在特定試驗點之比較

二氧化硫在特定試驗點沉積速率圖表，如圖 4.2、表 4-3，除了龍德工業區外，其餘試驗點暴露 3 個月的氯鹽沉積速率較暴露 6 個月的氯鹽沉積速率來的高。

暴露 3 個月的二氧化硫沉積速率以大潭火力電廠、通霄火力電廠、觀音工業區、彰濱工業區較高，二氧化硫沉積速率皆大於 200 mg/m²/day；暴露 6 個月的二氧化硫沉積速率以龍德工業區最高，其餘依序為臨海工業區、彰濱工業區及大潭火力電廠，二氧化硫沉積速率皆大於 80 mg/m²/day。

表 4-2 二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m²/day

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
1	龍德工業區	55.2	131.6
2	和平工業區	18.9	14.7
3	太魯閣國家公園管理處	8.5	5.9
4	美崙工業區	17.3	8.7
5	豐樂工業區	20.6	10.8
6	屏東工業區	71.6	7.9
7	中油林園廠	113.7	62.0
8	中鋼公司	101.4	96.7
9	鳳山工業區	57.2	27.3
10	大發工業區	103.7	38.1
11	高鐵左營站	56.7	29.9
12	永安工業區	117.2	48.3
13	興達火力電廠	119.2	29.4
14	安平工業區	60.4	31.5
15	成大水工試驗所	62.6	34.8
16	官田工業區	273.0	69.0
17	朴子工業區	83.3	47.7
18	高鐵嘉義站	81.5	21.2
19	斗六工業區	44.7	36.4
20	彰濱工業區	272.7	81.7
21	田中工業區	47.4	51.4
22	南崗工業區	27.9	23.2
23	大里工業區	30.7	18.0
24	高鐵臺中站	44.7	37.1
25	臺中工業區	28.7	28.3
26	關連工業區	38.8	70.3
27	臺中火力電廠	108.9	73.5

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
28	通霄火力電廠	238.5	62.8
29	竹南工業區	20.1	26.4
30	頭份工業區	41.7	44.6
31	工業技術研究院	41.2	27.1
32	新竹工業區	32.9	27.4
33	平鎮工業區	31.3	-
34	桃園試驗線 100m (大潭電廠)	374.1	82.1
35	桃園試驗線 500m (大潭電廠)	119.7	78.0
36	桃園試驗線 2Km	80.4	68.2
37	樹林工業區	29.3	23.6
38	臺北市自來水事業處	15.4	16.9
39	陽明山國家公園管理處	176.3	180.1
40	陽明山硫磺區	2025.3	2638.7
41	公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段	19.3	10.1
42	平鎮工業區(服務中心)	32.3	26.0
43	觀音工業區(服務中心)	247.8	73.4
44	東北角風景區福隆 遊客中心	37.7	60.4
45	永安安檢所	57.4	50.7
46	金門水頭商港	46.6	22.6
47	馬祖福澳港碼頭	27.1	18.2
48	公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站	17.4	6.4
49	公路總局第二區養護 工程處埔里工務段	32.3	34.2
50	公路總局第二區養護 工程處霧社監工站	7.0	4.3
51	公路總局第二區養護 工程處谷關工務段	7.4	8.2

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
52	公路總局第一區養護 工程處復興工務段	13.2	6.5
53	公路總局第五區養護 工程處石卓監工站	11.0	8.6

註：- 表示試體遺失

表 4-3 特定試驗點之二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m²/day

試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
高鐵臺中站	44.7	37.1
高鐵嘉義站	81.5	21.2
高鐵左營站	56.7	29.9
中油林園廠	113.7	62.0
大潭火力電廠(註)	246.9	80.1
通霄火力電廠	238.5	62.8
臺中火力電廠	108.9	73.5
興達火力電廠	119.2	29.4
觀音工業區	247.8	73.4
彰濱工業區	272.7	81.7
大發工業區	103.7	38.1
臨海工業區(中鋼公司)	101.4	96.7
龍德工業區	55.2	131.6
臺北市區	15.4	16.9

註：為桃園試驗線 100m 與 500m 數據之平均值

102年至108年二氧化硫沉積速率在特定試驗點趨勢圖

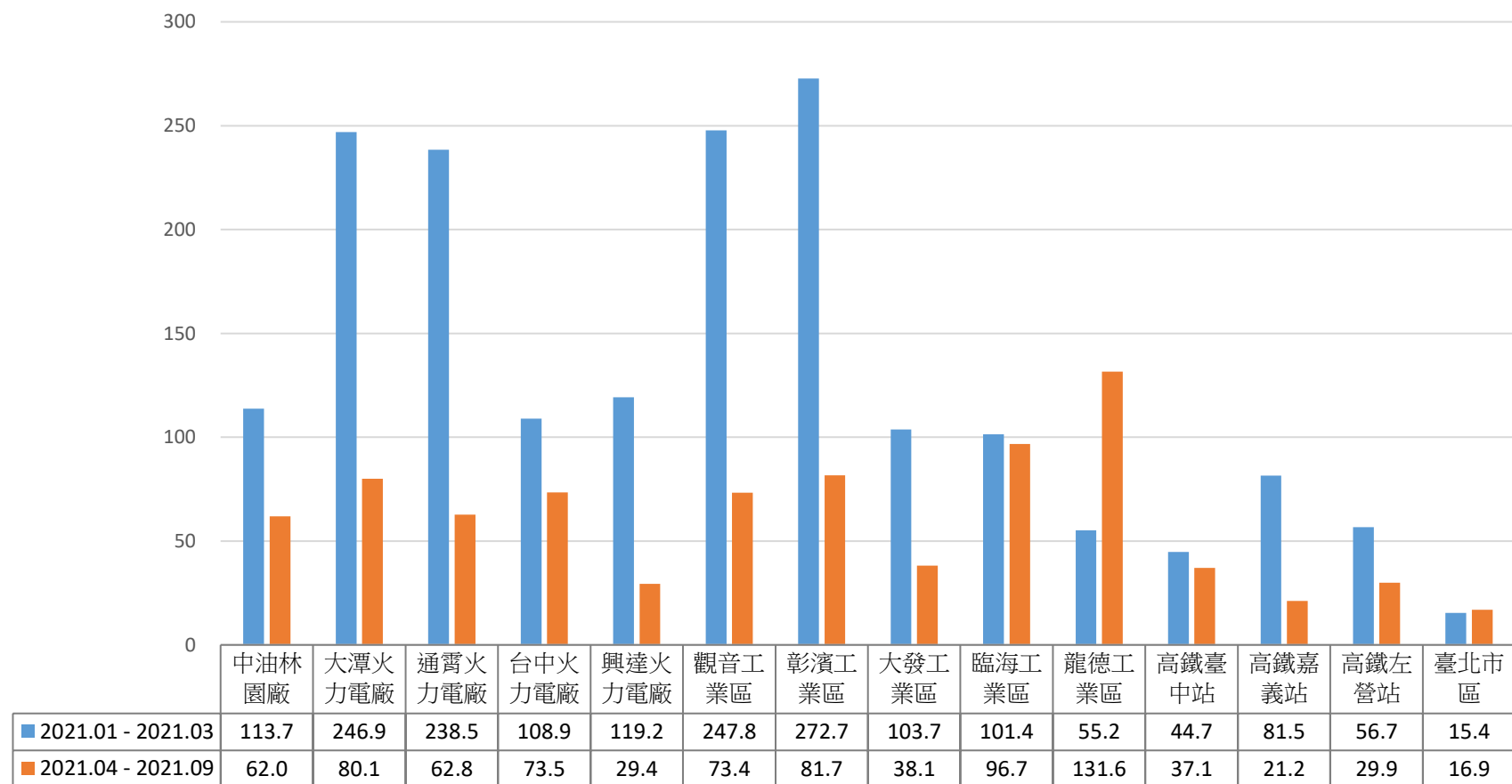


圖 4.2 特定試驗點之二氧化硫沉積速率

4.3 現地暴露試驗結果

今彙整二次採樣之各金屬之腐蝕速率計算結果，如表 4-4 至表 4-7 所示。

第一次調查期間 2021.01-2021.03(3 個月)，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $30.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (霧社監工站)至 $638.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 100m)之間；其他依序以 $586.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆試驗線 100m)、及 $563.3\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、 $530.4\mu\text{m}/\text{yr}$ (外埔安檢所)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 $2.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (高鐵臺中站)至 $33.0\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 100m)之間；其他依序以 $32.4\mu\text{m}/\text{yr}$ (外埔安檢所)、 $29.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 800m)及 $27.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線 0m)試片腐蝕速率較大。銅金屬介於 $0.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (新中橫監工站)至 $75.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 $27.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、 $27.2\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺塑六輕試驗線 0m)及 $26.9\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺塑六輕試驗線 300m)、 $24.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺塑六輕試驗線 800m)試片腐蝕速率較大。而鋁金屬則介於 $1.0\mu\text{m}/\text{yr}$ (石卓監工站)至 $32.9\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (臺中港試驗線 0m)之間，其他依序以 $30.9\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 800m)、 $30.4\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 2Km)、 $29.8\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 300m)。

第二次調查期間 2021.04-2021.09(6 個月)，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $45.3\mu\text{m}/\text{yr}$ (大里工業區)至 $562.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 $245.5\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 100m)及 $219.0\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、 $207.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (永安安檢所)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 $1.4\mu\text{m}/\text{yr}$ (豐樂工業區)至 $34.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 100m)；其他依序以 $21.1\mu\text{m}/\text{yr}$ (新竹安檢所)及 $19.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)試片腐蝕速率較大；銅金屬介於 $1.0\mu\text{m}/\text{yr}$ (新中橫監工站)至 $55.6\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 $21.2\mu\text{m}/\text{yr}$ (伽藍安檢所)、 $15.7\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)及 $15.4\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山國家公園)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 $0.1\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (阿里山工務段)至 $24.8\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間，其他依序以 $11.9\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (永安安檢所)、 $11.8\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (王功安檢所)及 $10.5\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (桃園試驗線 500m)試片腐蝕速率較大。

表 4-4 碳鋼金屬之腐蝕速率表

單位：μm/yr

項次	試驗期間 試驗地點		2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
1	基隆試驗線 0m		394.5	113.1
2	基隆試驗線 100m		586.1	166.7
3	梗枋安檢所		204.9	128.3
4	龍德工業區		153.1	107.8
5	蘇澳港試驗線 0m		162.9	69.0
6	蘇澳港試驗線 300m		153.7	78.6
7	南澳安檢所		111.7	79.0
8	和平工業區		75.0	58.6
9	太魯閣國家公園管理處		92.0	60.6
10	美崙工業區		126.9	56.4
11	花蓮港試驗線 0m		284.0	116.7
12	花蓮港試驗線 100m		140.9	68.6
13	花蓮港試驗線 500m		129.6	64.1
14	橄仔樹安檢所		311.1	192.2
15	石梯安檢所		185.9	85.6
16	成功安檢所		160.5	105.2
17	金樽安檢所		145.6	127.4
18	伽藍安檢所		146.8	180.7
19	豐樂工業區		84.3	65.4
20	尚武安檢所		154.8	85.7
21	核三廠試驗線 0m		93.4	93.6
22	核三廠試驗線 100m		88.2	89.4
23	核三廠試驗線 300m		100.4	107.7
24	核三廠試驗線 1Km		76.8	92.0
25	屏東工業區		69.2	76.8
26	中油林園廠		84.2	95.4
27	中鋼公司		86.1	110.8

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
28	鳳山工業區	70.6	81.3
29	大發工業區	73.4	141.9
30	高雄港試驗線 0m	69.7	103.3
31	高雄港試驗線 300m	89.2	112.2
32	高雄港試驗線 800m	52.0	-
33	高鐵左營站	75.6	57.3
34	永安工業區	75.9	89.7
35	興達火力電廠	167.2	111.6
36	安平工業區	134.9	92.8
37	成大水工試驗所	167.0	80.6
38	官田工業區	190.8	130.1
39	東石安檢所	363.1	109.9
40	朴子工業區	167.5	81.2
41	高鐵嘉義站	138.2	56.1
42	斗六工業區	108.6	51.1
43	台塑六輕試驗線 0m	461.4	142.8
44	台塑六輕試驗線 300m	414.4	135.2
45	台塑六輕試驗線 800m	358.6	122.9
46	台塑六輕試驗線 2Km	325.8	102.2
47	台塑六輕試驗線 3Km	271.8	92.5
48	王功安檢所	563.3	219.0
49	彰濱工業區	411.5	99.5
50	田中工業區	103.9	55.5
51	南崗工業區	94.3	48.8
52	大里工業區	62.8	45.3
53	高鐵臺中站	97.0	65.3
54	臺中工業區	122.8	62.5
55	關連工業區	201.1	76.9
56	臺中火力電廠	320.1	94.5

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
57	臺中港試驗線 0m	240.2	-
58	臺中港試驗線 2Km	241.9	68.0
59	五甲安檢所	474.5	112.7
60	通霄火力電廠	310.5	118.5
61	外埔安檢所	530.4	130.1
62	竹南工業區	113.0	69.5
63	頭份工業區	148.8	73.7
64	工業技術研究院	190.6	74.6
65	新竹工業區	154.0	79.6
66	平鎮工業區	137.8	-
67	桃園試驗線 100m	638.7	245.5
68	桃園試驗線 500m	455.2	157.3
69	桃園試驗線 2Km	421.5	116.6
70	樹林工業區	127.1	122.1
71	臺北市自來水事業處	140.0	53.1
72	陽明山國家公園管理處	286.2	164.9
73	陽明山硫磺區	493.6	562.1
74	公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段	89.8	45.9
75	東北角風景區福隆 遊客中心	237.0	115.7
76	臺北港監測站	199.7	79.7
77	平鎮工業區(服務中心)	146.4	105.0
78	觀音工業區(服務中心)	390.6	90.1
79	永安安檢所	441.7	207.7
80	新竹安檢所	419.1	162.5
81	金門水頭商港	74.9	93.4
82	高雄港 39 號碼頭	89.7	82.6
83	高雄港 75 號碼頭	66.0	82.4
84	馬祖福澳港碼頭	112.5	123.4

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
85	公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站	92.5	48.2
86	公路總局第二區養護 工程處埔里工務段	52.8	59.7
87	公路總局第二區養護 工程處霧社監工站	30.1	49.2
88	公路總局第二區養護 工程處谷關工務段	35.9	56.9
89	公路總局第一區養護 工程處復興工務段	48.4	47.2
90	公路總局第五區養護 工程處石卓監工站	30.3	53.3

註：- 表示試體遺失

表 4-5 鋅金屬之腐蝕速率表

單位：μm/yr

項次	試驗地點 試驗期間	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
1	基隆試驗線 0m	9.9	6.5
2	基隆試驗線 100m	15.5	6.6
3	梗枋安檢所	14.9	7.3
4	龍德工業區	10.8	2.6
5	蘇澳港試驗線 0m	27.1	4.5
6	蘇澳港試驗線 300m	9.5	3.5
7	南澳安檢所	11.2	5.3
8	和平工業區	5.7	6.7
9	太魯閣國家公園管理處	4.8	6.7
10	美崙工業區	13.7	2.8
11	花蓮港試驗線 0m	13.1	9.3
12	花蓮港試驗線 100m	6.3	2.0
13	花蓮港試驗線 500m	6.6	3.4
14	橄仔樹安檢所	17.2	11.8
15	石梯安檢所	7.3	3.0
16	成功安檢所	11.8	5.3
17	金樽安檢所	14.3	5.7
18	伽藍安檢所	22.6	14.9
19	豐樂工業區	4.2	1.4
20	尚武安檢所	19.7	3.5
21	核三廠試驗線 0m	16.4	8.1
22	核三廠試驗線 100m	11.3	4.9
23	核三廠試驗線 300m	11.4	7.0
24	核三廠試驗線 1Km	7.9	3.8
25	屏東工業區	3.9	3.0
26	中油林園廠	2.9	2.5
27	中鋼公司	-	3.2

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
28	鳳山工業區	3.6	2.0
29	大發工業區	4.2	4.5
30	高雄港試驗線 0m	3.0	5.0
31	高雄港試驗線 300m	5.9	4.9
32	高雄港試驗線 800m	3.5	-
33	高鐵左營站	4.6	2.5
34	永安工業區	5.0	3.8
35	興達火力電廠	5.6	3.7
36	安平工業區	5.2	3.1
37	成大水工試驗所	5.8	3.0
38	官田工業區	5.3	2.1
39	東石安檢所	20.6	10.1
40	朴子工業區	5.8	2.0
41	高鐵嘉義站	6.7	1.8
42	斗六工業區	4.1	5.5
43	台塑六輕試驗線 0m	17.2	8.7
44	台塑六輕試驗線 300m	15.2	7.3
45	台塑六輕試驗線 800m	29.6	7.5
46	台塑六輕試驗線 2Km	21.3	7.0
47	台塑六輕試驗線 3Km	19.3	4.8
48	王功安檢所	16.0	16.3
49	彰濱工業區	11.9	6.7
50	田中工業區	5.2	5.4
51	南崗工業區	9.6	4.6
52	大里工業區	8.0	5.0
53	高鐵臺中站	2.7	3.3
54	臺中工業區	11.0	2.6
55	關連工業區	16.8	5.0
56	臺中火力電廠	17.9	4.2

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
57	臺中港試驗線 0m	26.7	7.8
58	臺中港試驗線 2Km	14.4	3.2
59	五甲安檢所	17.1	7.6
60	通霄火力電廠	25.6	8.4
61	外埔安檢所	32.4	9.3
62	竹南工業區	10.7	4.0
63	頭份工業區	11.1	3.0
64	工業技術研究院	8.7	3.5
65	新竹工業區	6.5	3.4
66	平鎮工業區	7.7	-
67	桃園試驗線 100m	33.0	34.7
68	桃園試驗線 500m	25.2	16.3
69	桃園試驗線 2Km	11.7	7.1
70	樹林工業區	7.2	2.5
71	臺北市自來水事業處	6.7	3.1
72	陽明山國家公園管理處	11.0	4.6
73	陽明山硫磺區	15.1	19.6
74	公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段	7.3	1.9
75	東北角風景區福隆 遊客中心	19.9	3.9
76	臺北港監測站	5.9	2.4
77	平鎮工業區(服務中心)	12.8	4.0
78	觀音工業區(服務中心)	11.5	4.6
79	永安安檢所	8.5	17.2
80	新竹安檢所	16.9	21.1
81	金門水頭商港	4.1	2.3
82	高雄港 39 號碼頭	10.0	1.8
83	高雄港 75 號碼頭	4.9	3.9
84	馬祖福澳港碼頭	8.9	4.4

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
85	公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站	7.6	3.7
86	公路總局第二區養護 工程處埔里工務段	3.7	1.5
87	公路總局第二區養護 工程處霧社監工站	5.3	1.8
88	公路總局第二區養護 工程處谷關工務段	6.8	2.3
89	公路總局第一區養護 工程處復興工務段	3.3	2.8
90	公路總局第五區養護 工程處石卓監工站	4.4	2.9

註：- 表示試體遺失

表 4-6 銅金屬之腐蝕速率表

單位：μm/yr

項次	試驗地點 試驗期間	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
1	基隆試驗線 0m	9.7	5.7
2	基隆試驗線 100m	15.9	6.7
3	梗枋安檢所	8.6	12.6
4	龍德工業區	8.6	9.0
5	蘇澳港試驗線 0m	6.0	5.7
6	蘇澳港試驗線 300m	4.0	2.0
7	南澳安檢所	8.9	6.2
8	和平工業區	4.3	2.0
9	太魯閣國家公園管理處	1.4	1.5
10	美崙工業區	-	2.3
11	花蓮港試驗線 0m	15.9	10.4
12	花蓮港試驗線 100m	7.0	4.1
13	花蓮港試驗線 500m	9.2	4.3
14	橄仔樹安檢所	19.6	14.3
15	石梯安檢所	8.4	6.0
16	成功安檢所	14.3	9.4
17	金樽安檢所	13.0	9.1
18	伽藍安檢所	24.2	21.2
19	豐樂工業區	3.4	2.0
20	尚武安檢所	14.7	8.3
21	核三廠試驗線 0m	3.0	11.2
22	核三廠試驗線 100m	12.6	9.8
23	核三廠試驗線 300m	11.5	10.5
24	核三廠試驗線 1Km	12.1	9.1
25	屏東工業區	2.4	3.7
26	中油林園廠	3.3	5.5
27	中鋼公司	3.3	5.4

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
28	鳳山工業區	2.1	2.8
29	大發工業區	2.5	6.5
30	高雄港試驗線 0m	2.7	3.9
31	高雄港試驗線 300m	4.7	7.8
32	高雄港試驗線 800m	1.4	-
33	高鐵左營站	3.7	2.8
34	永安工業區	3.4	4.9
35	興達火力電廠	7.7	7.6
36	安平工業區	4.0	4.3
37	成大水工試驗所	6.3	4.7
38	官田工業區	8.0	8.1
39	東石安檢所	20.1	10.9
40	朴子工業區	1.5	4.4
41	高鐵嘉義站	6.7	3.7
42	斗六工業區	2.1	1.9
43	台塑六輕試驗線 0m	27.2	10.7
44	台塑六輕試驗線 300m	26.9	11.5
45	台塑六輕試驗線 800m	24.7	10.5
46	台塑六輕試驗線 2Km	21.8	7.5
47	台塑六輕試驗線 3Km	22.0	10.3
48	王功安檢所	27.9	15.7
49	彰濱工業區	19.7	8.3
50	田中工業區	4.1	3.1
51	南崗工業區	2.8	2.5
52	大里工業區	2.4	1.3
53	高鐵臺中站	2.7	3.7
54	臺中工業區	6.1	3.3
55	關連工業區	-	8.9
56	臺中火力電廠	20.0	7.6

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
57	臺中港試驗線 0m	17.9	7.3
58	臺中港試驗線 2Km	16.0	7.2
59	五甲安檢所	16.9	9.4
60	通霄火力電廠	12.2	9.9
61	外埔安檢所	18.8	10.6
62	竹南工業區	8.9	5.3
63	頭份工業區	5.6	3.1
64	工業技術研究院	6.4	3.6
65	新竹工業區	4.6	2.6
66	平鎮工業區	5.8	-
67	桃園試驗線 100m	16.1	13.6
68	桃園試驗線 500m	8.3	8.3
69	桃園試驗線 2Km	8.9	5.6
70	樹林工業區	2.3	2.1
71	臺北市自來水事業處	6.3	2.8
72	陽明山國家公園管理處	16.2	15.4
73	陽明山硫磺區	85.7	55.6
74	公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段	2.5	1.9
75	東北角風景區福隆 遊客中心	7.3	8.7
76	臺北港監測站	5.6	2.5
77	平鎮工業區(服務中心)	6.9	3.6
78	觀音工業區(服務中心)	9.1	5.4
79	永安安檢所	11.3	13.4
80	新竹安檢所	16.5	12.9
81	金門水頭商港	3.5	5.4
82	高雄港 39 號碼頭	4.8	4.1
83	高雄港 75 號碼頭	2.6	4.6
84	馬祖福澳港碼頭	11.6	7.3

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
85	公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站	0.6	1.0
86	公路總局第二區養護 工程處埔里工務段	2.6	6.0
87	公路總局第二區養護 工程處霧社監工站	0.7	1.1
88	公路總局第二區養護 工程處谷關工務段	1.3	2.0
89	公路總局第一區養護 工程處復興工務段	2.2	2.8
90	公路總局第五區養護 工程處石卓監工站	1.6	1.7

註：- 表示試體遺失

表 4-7 鋁金屬之腐蝕速率表

單位：g/m²/yr

項次	試驗地點 試驗期間	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
1	基隆試驗線 0m	8.6	3.2
2	基隆試驗線 100m	11.9	4.2
3	梗枋安檢所	5.2	3.9
4	龍德工業區	3.6	2.9
5	蘇澳港試驗線 0m	3.0	2.3
6	蘇澳港試驗線 300m	1.8	1.0
7	南澳安檢所	4.8	1.4
8	和平工業區	2.0	0.8
9	太魯閣國家公園管理處	1.3	0.3
10	美崙工業區	10.7	1.5
11	花蓮港試驗線 0m	10.7	3.7
12	花蓮港試驗線 100m	4.3	1.6
13	花蓮港試驗線 500m	4.2	1.9
14	橄仔樹安檢所	-	3.6
15	石梯安檢所	4.7	1.5
16	成功安檢所	7.2	2.3
17	金樽安檢所	7.6	3.3
18	伽藍安檢所	11.4	4.4
19	豐樂工業區	2.7	0.6
20	尚武安檢所	9.2	1.7
21	核三廠試驗線 0m	3.8	1.6
22	核三廠試驗線 100m	3.3	1.3
23	核三廠試驗線 300m	4.4	2.5
24	核三廠試驗線 1Km	3.4	1.4
25	屏東工業區	2.9	0.5
26	中油林園廠	2.0	2.1
27	中鋼公司	3.7	2.7

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
28	鳳山工業區	1.8	0.9
29	大發工業區	2.0	1.5
30	高雄港試驗線 0m	5.5	0.6
31	高雄港試驗線 300m	6.5	2.9
32	高雄港試驗線 800m	1.9	-
33	高鐵左營站	3.4	1.0
34	永安工業區	4.7	1.8
35	興達火力電廠	4.7	1.8
36	安平工業區	4.4	6.1
37	成大水工試驗所	5.9	0.9
38	官田工業區	4.4	0.4
39	東石安檢所	18.6	5.4
40	朴子工業區	6.8	0.8
41	高鐵嘉義站	4.4	0.6
42	斗六工業區	1.9	0.3
43	台塑六輕試驗線 0m	20.5	7.6
44	台塑六輕試驗線 300m	29.8	8.4
45	台塑六輕試驗線 800m	30.9	7.6
46	台塑六輕試驗線 2Km	30.4	7.7
47	台塑六輕試驗線 3Km	14.7	4.0
48	王功安檢所	28.0	11.8
49	彰濱工業區	16.5	4.8
50	田中工業區	2.6	0.4
51	南崗工業區	5.4	0.8
52	大里工業區	2.5	0.3
53	高鐵臺中站	1.9	0.4
54	臺中工業區	7.4	1.2
55	關連工業區	10.9	0.4
56	臺中火力電廠	20.9	3.2

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
57	臺中港試驗線 0m	32.9	7.3
58	臺中港試驗線 2Km	9.0	1.3
59	五甲安檢所	18.6	3.9
60	通霄火力電廠	8.0	2.9
61	外埔安檢所	13.7	5.0
62	竹南工業區	2.7	5.1
63	頭份工業區	6.1	0.5
64	工業技術研究院	5.6	0.8
65	新竹工業區	4.5	0.6
66	平鎮工業區	4.9	-
67	桃園試驗線 100m	25.4	9.4
68	桃園試驗線 500m	16.0	10.5
69	桃園試驗線 2Km	16.1	7.3
70	樹林工業區	5.5	0.6
71	臺北市自來水事業處	4.2	0.8
72	陽明山國家公園管理處	3.0	1.1
73	陽明山硫磺區	16.7	24.8
74	公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段	2.1	0.1
75	東北角風景區福隆 遊客中心	3.3	2.2
76	臺北港監測站	3.6	0.3
77	平鎮工業區(服務中心)	9.2	4.1
78	觀音工業區(服務中心)	20.4	6.6
79	永安安檢所	11.5	11.9
80	新竹安檢所	18.2	7.1
81	金門水頭商港	-	4.9
82	高雄港 39 號碼頭	8.0	1.4
83	高雄港 75 號碼頭	1.8	0.9
84	馬祖福澳港碼頭	9.7	6.8

項次	試驗期間 試驗地點	2021.01 - 2021.03 (3 個月)	2021.04 - 2021.09 (6 個月)
85	公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站	-	1.3
86	公路總局第二區養護 工程處埔里工務段	8.1	1.1
87	公路總局第二區養護 工程處霧社監工站	1.2	1.1
88	公路總局第二區養護 工程處谷關工務段	2.1	1.2
89	公路總局第一區養護 工程處復興工務段	5.0	1.0
90	公路總局第五區養護 工程處石卓監工站	1.0	0.8

註：- 表示試體遺失

4.3.1 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較

如圖 4.3 至圖 4.6 分別為碳鋼、鋅、銅、鋁金屬於垂直海岸試驗線 0m、100 m、300m、1 Km 與 3Km 腐蝕速率平均值之比較。

針對碳鋼金屬(圖 4.3)，桃園試驗線為暴露 3 個月及 6 個月腐蝕速率最高的垂直海岸試驗線。暴露 3 個月期間以高雄試驗線及核三廠試驗線腐蝕速率較其他地區低，腐蝕速率分別為 $70.3\mu\text{m}/\text{yr}$ 及 $89.7\mu\text{m}/\text{yr}$ ；暴露 6 個月期間則以台中港試驗線為最低，腐蝕速率為 $68.0\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

至於鋅金屬(圖 4.4)桃園試驗線同樣為暴露 3 個月及 6 個月腐蝕速率最高的垂直海岸試驗線，暴露 3 個月期間以高雄試驗線腐蝕速率最低，腐蝕速率為 $4.1\mu\text{m}/\text{yr}$ ；暴露 6 個月期間除了腐蝕速率最高的桃園試驗線($19.4\mu\text{m}/\text{yr}$)以外，其餘垂直海岸試驗線腐蝕速率介於 $4.0 \sim 7.1\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

銅金屬(圖 4.5)暴露 3 個月期間以臺塑六輕試驗線腐蝕速率最高 $24.5\mu\text{m}/\text{yr}$ ，其次為台中港試驗線 $17.0\mu\text{m}/\text{yr}$ ，而高雄試驗線腐蝕速率最低，腐蝕速率為 $2.9\mu\text{m}/\text{yr}$ ；暴露 6 個月期間則以臺塑六輕試驗線及核三廠試驗線腐蝕速率最高，同為 $10.1\mu\text{m}/\text{yr}$ ，蘇澳港試驗線腐蝕速率為最低 $3.9\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

鋁金屬(圖 4.6)暴露 3 個月期間以臺塑六輕試驗線腐蝕速率最高 $25.3\mu\text{m}/\text{yr}$ ，其次依序為台中港試驗線、桃園試驗線及基隆港試驗線，腐蝕速率皆大於 $10.0\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，其餘垂直海岸試驗線腐蝕速率介於 $2.4 \sim 6.4\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間；暴露 6 個月期間則以桃園試驗線腐蝕速率最高 $9.1\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，其次為臺塑六輕試驗線 $7.0\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，其餘垂直海岸試驗線腐蝕速率則介於 $4.3 \sim 1.6\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間。

4.4.2 特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較

如圖 4.7 至圖 4.10 為石化廠、火力電廠、工業區、高鐵沿線與都市地區等特定測站各金屬之腐蝕速率比較。

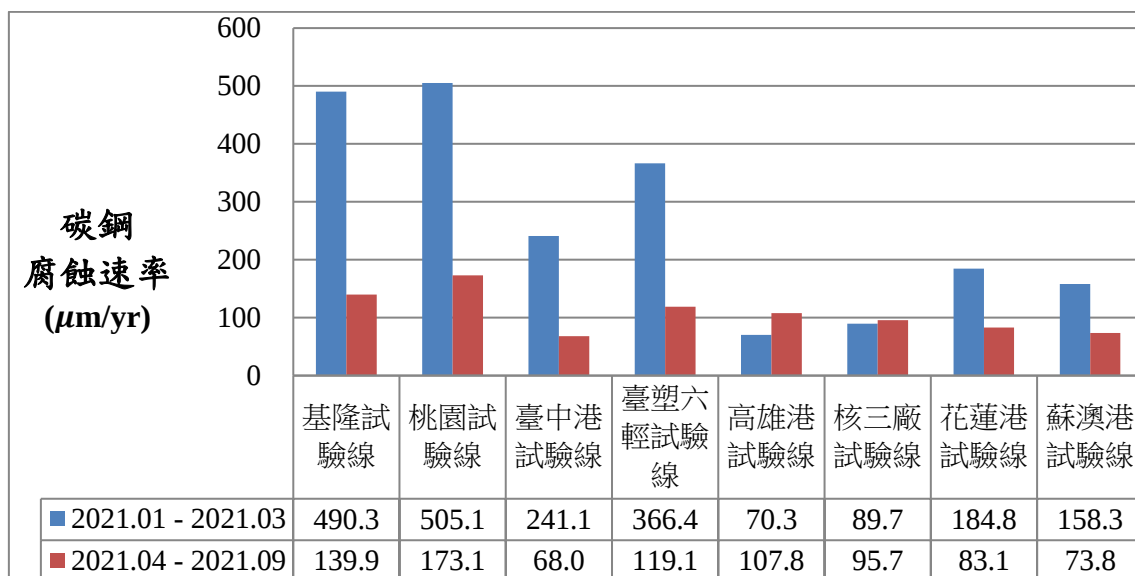
碳鋼金屬(圖 4.7)以大潭火力發電廠在暴露 3 個月及 6 個月的腐蝕

速率為最高。暴露 3 個月期間除了腐蝕速率最高的大潭火力發電廠(547.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$)之外，以中部及北部的火力電廠及工業區腐蝕速率較高介於 411.5 ~ 310.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間，中油林園廠、中鋼公司、高鐵沿線及台北市區則介於 75.6 ~ 167.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間；暴露 6 個月期間仍以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 201.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，其餘火力電廠、工業區腐蝕速率則介於 90.1 ~ 119.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間，而高鐵沿線及台北市區則介於 53.1 ~ 65.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

鋅金屬(圖 4.8)同樣以大潭火力發電廠在暴露 3 個月及 6 個月的腐蝕速率為最高。暴露 3 個月期間以中部及北部的火力電廠及工業區腐蝕速率較高介於 29.1 ~ 11.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間，中鋼公司腐蝕速率最低 0.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，而其餘特定測站腐蝕速率則介於 2.7 ~ 6.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間；暴露 6 個月期間以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 25.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，其餘特定測站腐蝕速率則介於 1.8 ~ 8.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

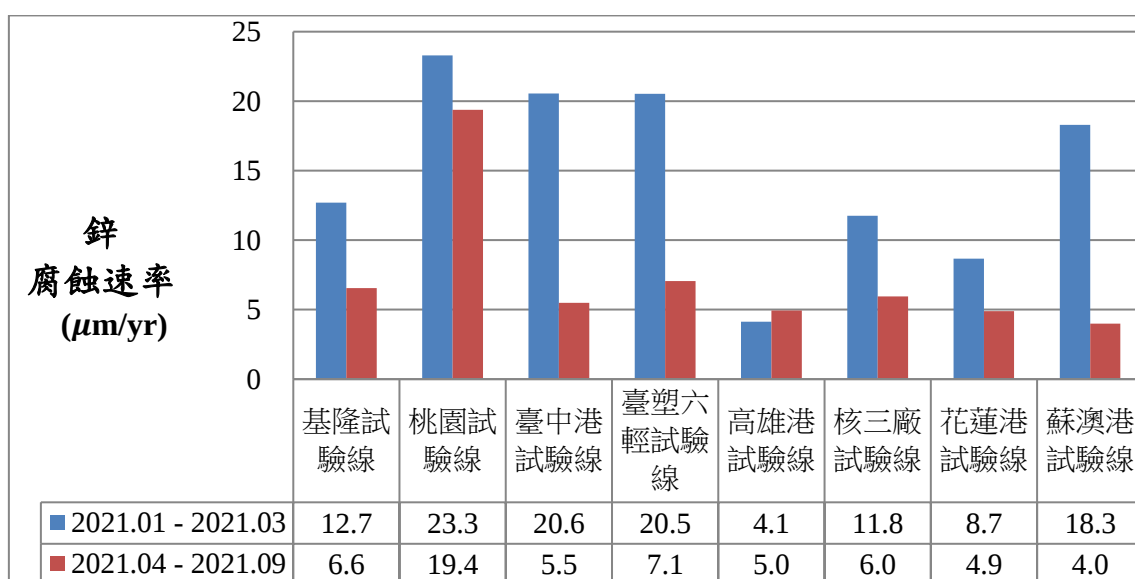
銅金屬(圖 4.9)暴露 3 個月期間以臺塑六輕最高 24.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，其次分別為臺中火力電廠(20.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$)及彰濱工業區(19.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$)，其餘特定測站腐蝕速率則介於 12.2 ~ 2.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間；暴露 6 個月期間則以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 11.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，其餘北部、中部及南部火力電廠及工業區腐蝕速率介於 10.1 ~ 5.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間，而高鐵沿線及台北市區腐蝕速率較低介於 3.7 ~ 2.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

鋁金屬(圖 4.10)暴露 3 個月期間以臺塑六輕最高 25.3 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，其次分別為臺中火力電廠(20.9 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)、大潭火力電廠(20.7 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)、觀音工業區(20.4 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)及彰濱工業區(16.5 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)，其餘特定測站腐蝕速率則介於 8.0 ~ 1.9 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間；暴露 6 個月期間以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 10.0 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，其次分別為臺塑六輕(7.0 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)、觀音工業區(6.6 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)及彰濱工業區(4.8 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)，其餘中部及南部火力電廠及工業區腐蝕速率介於 1.8 ~ 3.2 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間，而高鐵沿線及台北市區腐蝕速率較低介於 0.4 ~ 1.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。



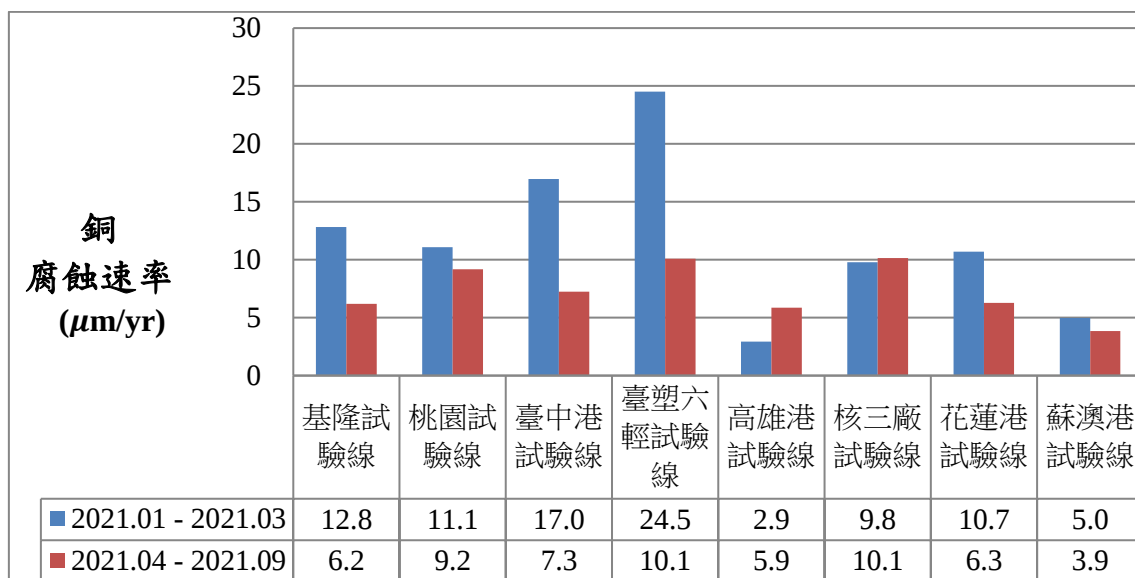
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.3 垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



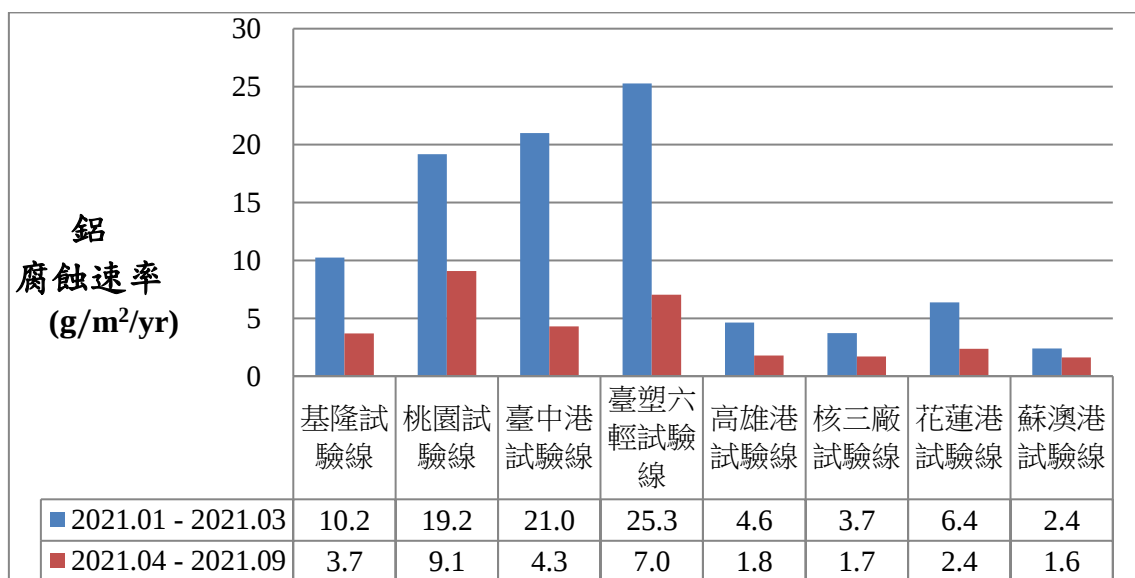
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.4 垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖



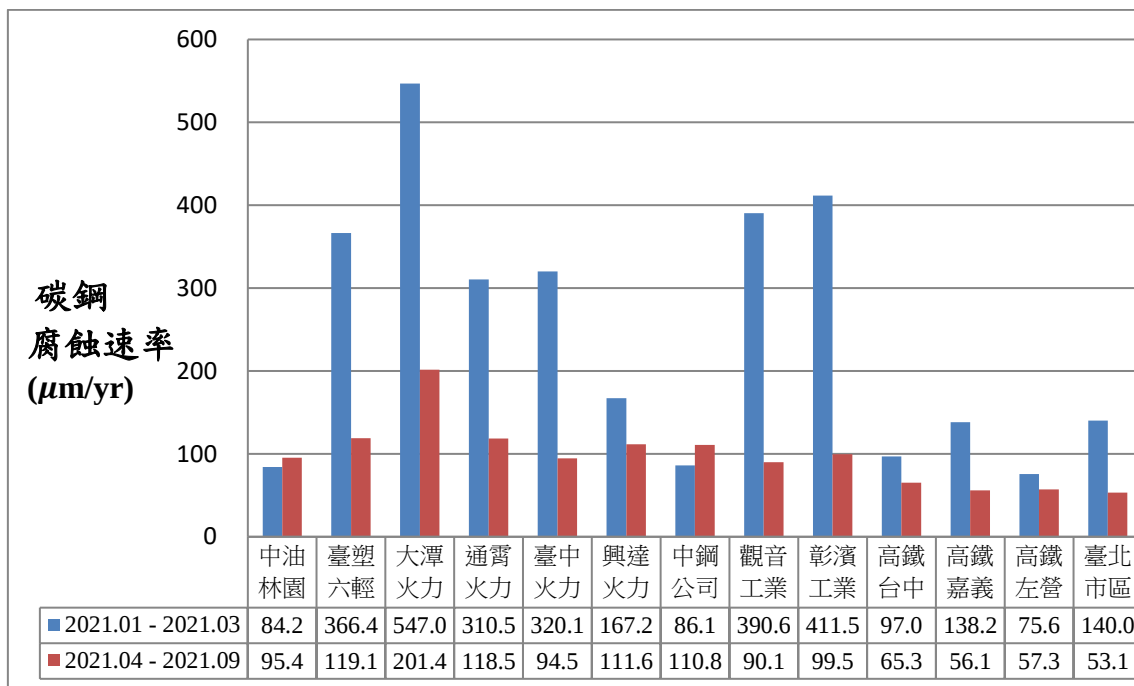
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.5 垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖



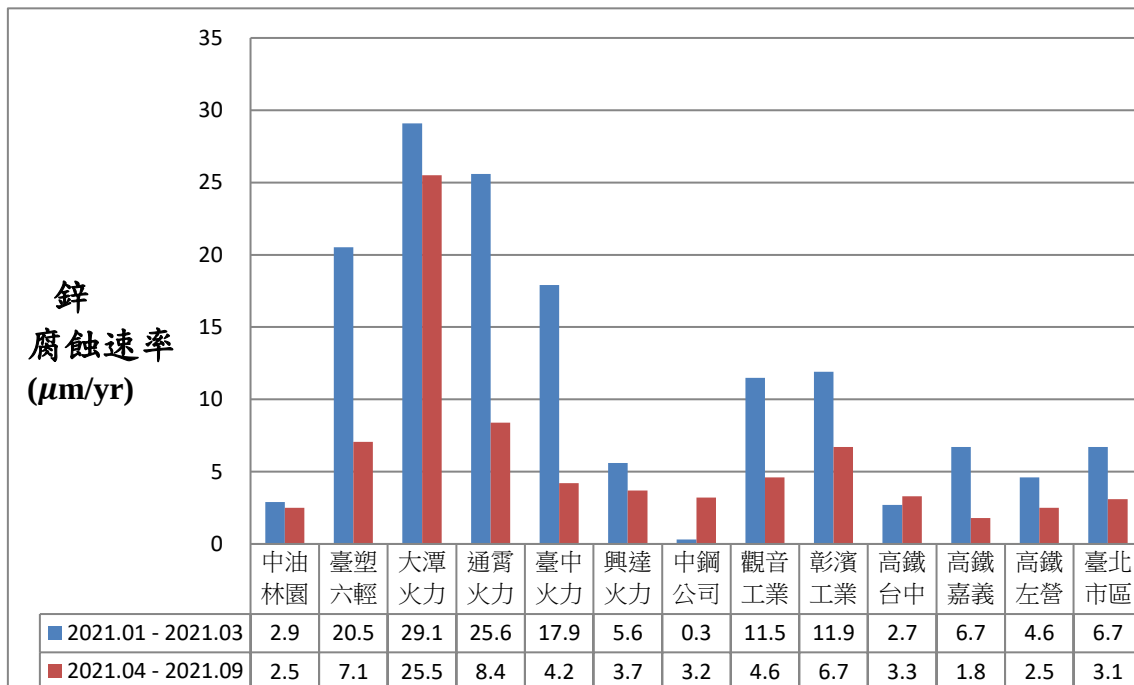
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.6 垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖



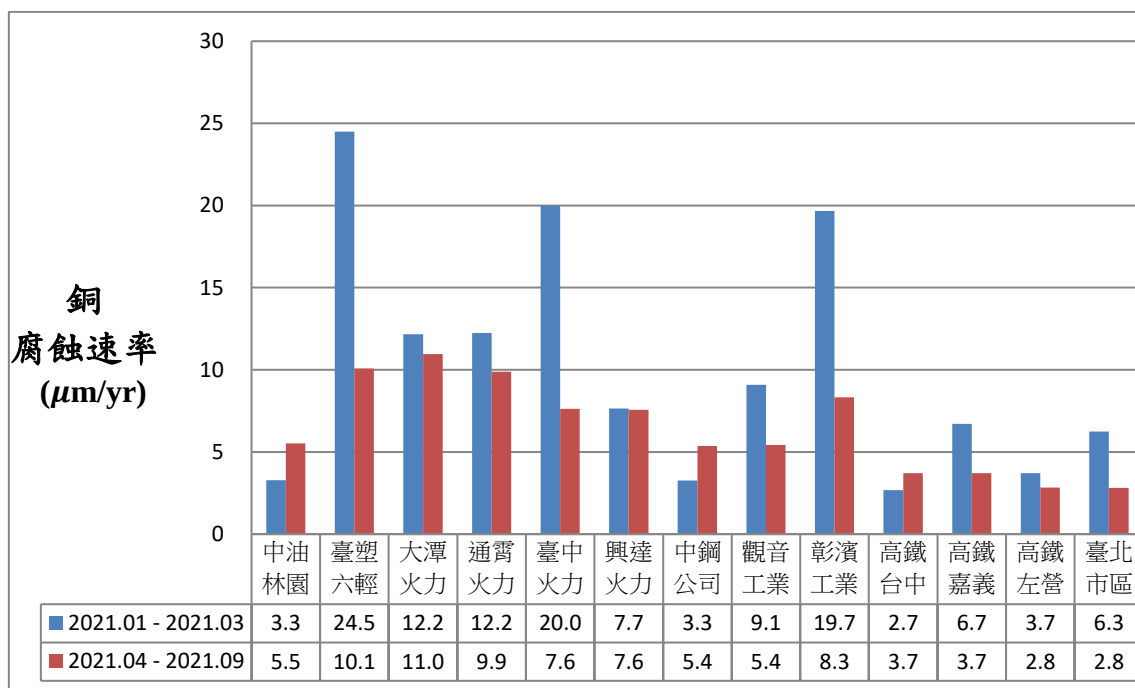
註：臺塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

圖 4.7 特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



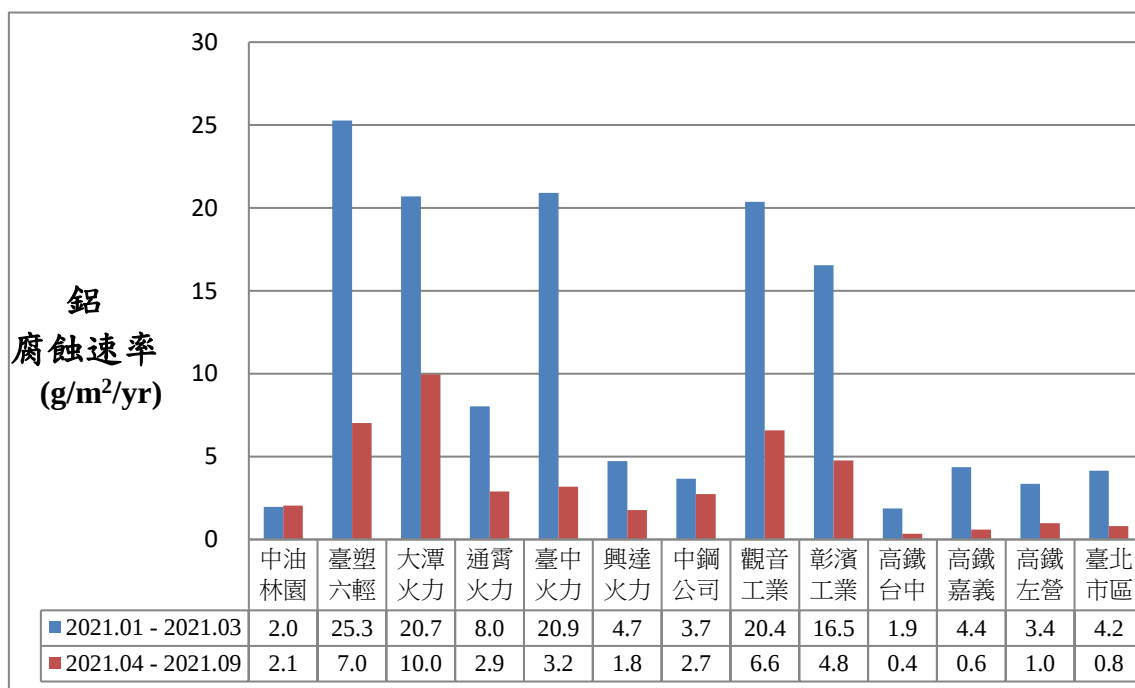
註：臺塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

圖 4.8 特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖



註：臺塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

圖 4.9 特定測站銅金屬腐蝕速率比較圖



註：臺塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

圖 4.10 特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖

第五章 金屬腐蝕與環境因子關聯性分析

由於全球各地氣候條件受緯度、地形、距離海遠近及當地或附近腐蝕性污染物質排放等因素影響，大氣腐蝕具有強烈地域性。而臺灣為一四面環海之海島，具有高溫、高溼與高鹽份的環境，屬高腐蝕環境區域。而臺中港地處臺灣西海岸中點，是臺灣南北交通的中心如圖 5.1。港區附近有台電台中火力發電廠及關連工業區排放污染物，在東北季風的影響下，臺中港區可能會受到來自中國大陸、韓國、日本與臺灣北部的懸浮微粒、大氣污染物、沙塵等腐蝕劣化因子的影響，造成金屬材料銹蝕損壞。有鑑於此，瞭解金屬在大氣環境下腐蝕特性，有其必要性。

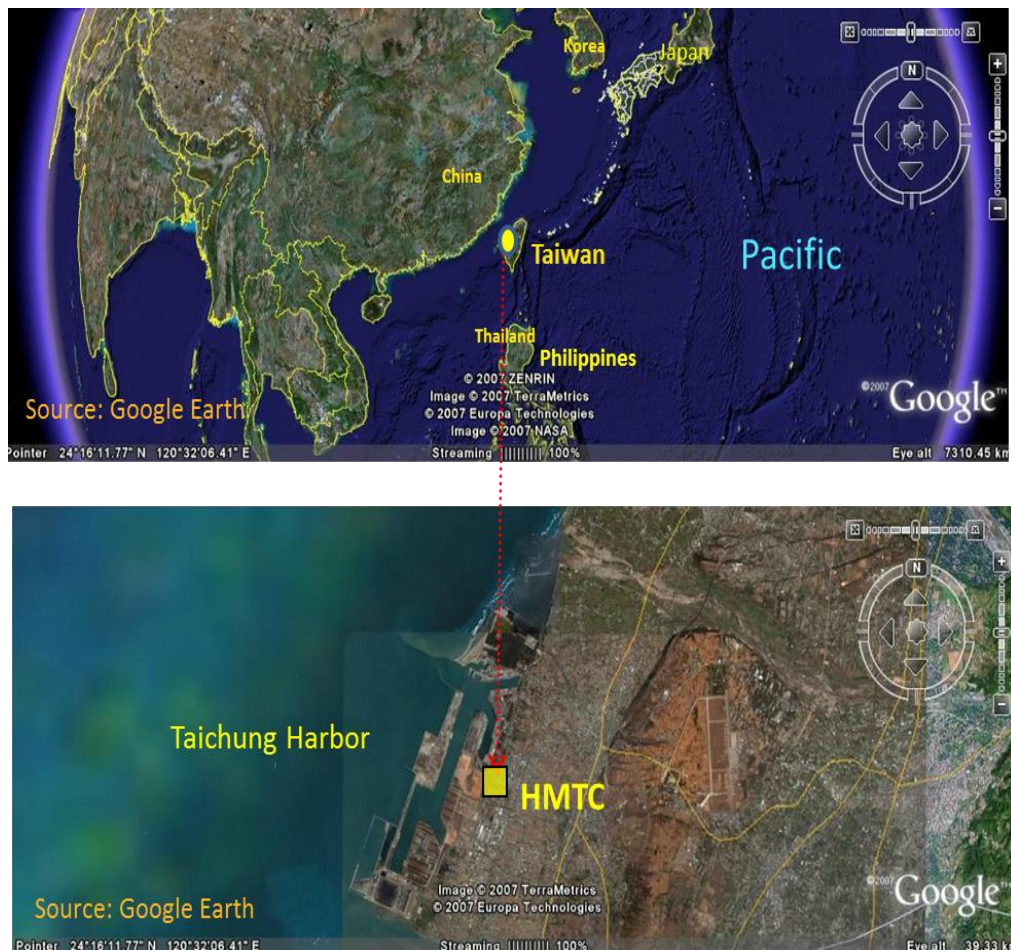


圖 5.1 臺中港 0m 試驗站位置圖

今彙整 2010 至 2020 年臺中港 0m 現地暴露試驗及腐蝕環境因子資料，如表 5-1 摘要表及表 5-2 統計表，每季所調查數據共有 44 個期程，今以碳鋼(μ m/yr)、鋅(μ m/yr)、銅(μ m/yr)、鋁(mg/m²/yr)四種金屬腐蝕速率為依變數、暴露時間(day)、濕潤時間(%)、氯鹽沉積速率(mg/m²/day)、平均氣溫(°C)、平均風速(m/s)、風向(360°)、降雨時數(hr)、降雨量(mm)、日照時數(hr)及共 9 項腐蝕環境因子因子為自變數，進行 MLR，並從中選出符合迴歸分析基本假設之迴歸式，刪減後所選出的輸入變數，再使用 SPSS 軟體進行逐步迴歸分析之後，可得分析結果如下：

表 5-1 臺中港 0M 金屬腐蝕與環境因子摘要表

Descriptive Statistics							
Variable	Unit	Code	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
Day	(day)	(X ₁)	44	65	135	93.00	11.081
TOW	(%)	(X ₂)	44	8.5	75.3	39.230	13.5790
CL	(mg/m ² /day)	(X ₃)	44	1.6	138.3	24.880	25.2527
TEMP	(°C)	(X ₄)	44	15.6	29.5	23.227	4.3590
WDSD	(m/s)	(X ₅)	44	3.20	6.40	4.5023	.88855
WDIR	(360°)	(X ₆)	44	114	303	211.59	44.945
H_24R	(hr)	(X ₇)	44	23	1256	298.55	282.551
AP_HR	(mm)	(X ₈)	44	0	262	102.55	57.771
SUN_hr	(hr)	(X ₉)	44	181	842	539.36	142.853
Fe	(μ m/yr)	(Y ₁)	44	39.7	604.0	184.845	100.5190
Zn	(μ m/yr)	(Y ₂)	44	6.1	62.2	21.730	12.7315
Cu	(μ m/yr)	(Y ₃)	44	1.1	28.0	12.470	6.2476
Al	(g/m ² /yr)	(Y ₄)	44	4.8	93.8	32.302	19.3708

表 5-2 臺中港 0M 金屬腐蝕與環境因子統計表 2010~2020

試驗期程 (季)	暴露 時間 (day)	濕潤 時間 (%)	氯鹽 沉積速率 (mg/m ² /day)	平均 氣溫 (°C)	平均 風速 (m/s)	平均 風向 (360°)	降雨 時數 (hr)	降雨量 (mm)	日照 時數 (hr)	碳鋼腐蝕 速率 (μm/yr)	鋅腐蝕 速率 (μm/yr)	銅腐蝕 速率 (μm/yr)	鋁腐蝕 速率 (g/m ² /yr)
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y1	Y2	Y3	Y4
2010_q1	127	39.2	60.6	19.5	5.4	114	99	108	687	234.7	20.3	16.7	23.1
2010_q2	88	8.5	13.1	20.2	4.3	149	242	138	402	144.3	21.1	8.2	12.5
2010_q3	92	23.6	16.0	27.6	4.0	190	655	135	564	39.7	7.8	7.5	5.7
2010_q4	96	30.0	22.2	26.2	4.6	156	219	96	610	223.7	29.8	14.0	21.8
2011_q1	99	44.7	19.3	16.2	6.1	122	85	71	492	183.1	38.1	16.9	23.4
2011_q2	90	47.1	3.0	20.3	4.4	160	110	82	390	178.6	8.6	13.3	22.7
2011_q3	84	34.0	8.0	28.4	3.7	211	209	69	647	156.2	8.4	13.0	14.2
2011_q4	98	41.0	39.7	25.9	4.5	159	213	119	611	395.3	15.5	16.6	30.2
2012_q1	84	55.3	12.3	16.6	6.4	128	101	96	290	298.6	16.4	20.5	35.2
2012_q2	91	60.0	17.0	20.5	4.4	165	356	109	354	271.5	10.1	12.2	25.3
2012_q3	91	51.9	1.6	28.0	4.1	191	997	174	595	187.4	11.2	9.0	12.2
2012_q4	135	38.8	27.2	23.5	4.4	180	220	154	842	131.9	11.7	15.4	43.3
2013_q1	84	75.3	70.6	17.0	5.4	230	47	50	367	604.0	23.9	15.6	77.5
2013_q2	91	56.0	15.5	24.2	3.6	190	526	204	390	144.0	9.8	7.7	33.4
2013_q3	85	29.5	16.8	28.4	3.4	210	1256	156	627	116.1	18.2	6.9	13.4
2013_q4	90	45.6	42.0	23.1	5.2	202	25	27	613	239.2	30.6	21.8	52.7
2014_q1	90	47.0	17.4	15.6	5.5	208	133	105	420	162.4	14.5	14.1	51.7
2014_q2	92	57.2	4.3	23.5	3.6	213	644	147	388	146.5	13.1	4.6	25.5
2014_q3	91	36.8	6.7	29.3	3.6	212	409	76	772	71.8	11.6	3.2	4.8

2014_q4	110	34.9	16.4	22.5	5.0	209	54	70	715	143.4	16.4	8.9	25.9
2015_q1	91	47.3	6.3	17.0	4.9	231	66	48	507	122.8	21.2	12.9	35.0
2015_q2	85	46.3	5.3	25.8	3.8	200	478	169	573	117.1	17.2	4.4	25.7
2015_q3	100	32.5	11.7	28.2	4.2	214	549	190	683	130.9	27.9	11.8	24.3
2015_q4	88	38.5	13.7	22.6	4.7	251	84	35	530	151.1	36.9	18.6	30.2
2016_q1	91	58.9	8.2	16.0	5.4	256	464	262	311	192.4	17.3	8.7	37.4
2016_q2	65	56.7	7.0	25.1	3.4	215	325	83	339	103.1	20.2	6.4	28.2
2016_q3	91	28.6	3.8	29.3	3.7	190	239	71	506	88.9	7.3	5.8	25.5
2016_q4	97	44.2	22.3	22.3	5.0	227	75	44	181	185.7	20.3	13.4	93.8
2017_q1	111	39.5	66.2	17.8	5.5	251	60	58	558	192.7	33.1	18.9	59.8
2017_q2	91	37.7	25.1	25.2	3.6	198	563	191	509	97.7	18.8	5.1	14.5
2017_q3	79	21.7	24.6	29.4	3.2	206	281	75	636	95.4	25.8	5.8	11.1
2017_q4	103	29.5	138.3	23.2	5.5	272	54	58	600	285.2	47.4	23.2	55.1
2018_q1	91	42.8	33.2	16.9	5.2	274	157	144	416	313.2	30.0	13.6	39.4
2018_q2	92	19.8	31.8	26.0	3.7	229	146	49	648	154.8	19.5	9.8	27.0
2018_q3	91	27.8	22.8	28.6	3.3	203	748	144	610	127.8	14.3	10.5	22.1
2018_q4	90	31.9	20.8	22.4	5.3	283	30	43	582	306.9	45.9	25.8	54.8
2019_q1	91	53.7	16.4	18.3	5.2	284	202	136	411	312.7	39.8	19.1	56.9
2019_q2	91	46.2	11.4	25.0	3.6	218	658	192	494	185.7	20.3	12.9	30.2
2019_q3	91	29.6	42.6	28.6	3.7	204	735	119	637	134.7	9.4	9.0	31.3
2019_q4	91	24.8	22.3	22.3	5.6	294	76	48	713	172.4	44.7	20.1	68.5
2020_q1	91	43.5	38.6	18.2	4.6	279	138	61	565	166.2	26.5	12.2	37.8
2020_q2	91	31.1	12.6	25.0	3.7	227	278	94	605	104.2	6.9	1.1	11.2
2020_q3	91	11.9	4.2	29.5	3.4	202	107	12	773	57.1	6.1	5.5	8.6
2020_q4	91	25.2	75.8	22.8	6.3	303	23	0	569	262.1	62.2	28.0	38.4

5.1 臺中港 0m 碳鋼金屬 MLR

由表 5-3 至表 5-5 可知，研究變數依篩選進入模式之順序分別為平均風速(X_5)、濕潤時間(X_2)、氯鹽沉積速率(X_3)、等，此迴歸模式之配適度 R^2 可達 0.54。其迴歸方程式為：

$$Y_1 = -133.243 + 33.859 X_5 + 3.235 X_2 + 1.556 X_3 \quad (5-1)$$

接下來進行殘差分析，由表 5-3 當 DW (Durbin-Watson)值接近 2 左右，通常沒有違反獨立性的假設，圖 5.2 標準化常態 P-P 圖，可以看出從左下到右上的 45 度直線上接近常態分配，表示殘差符合常態性，圖 5.3 變異數均質性中當圖形呈現水平的隨機分配，即可認定並未違反殘差變異數同質性的假設。由上述迴歸模式檢驗結果可知，此碳鋼逐步迴歸分析符合迴歸分析基本假設，故使用其篩減之變數平均風速、濕潤時間、氯鹽沉積速率等。

表 5-3 臺中港 0m 碳鋼逐步迴歸分析之模型摘要表

	R	R^2	調整後 R^2	Durbin-Watson
迴歸	0.761	0.579	0.547	1.912

表 5-4 臺中港 0m 碳鋼逐步迴歸分析之參數估計表

		β 之估計值	標準誤	t 值	顯著性
(常數)		-133.243	57.017	-2.337	.025
平均風速	X_5	33.859	13.597	2.490	.000
濕潤時間	X_2	3.235	.802	4.036	.000
氯鹽沉積速率	X_3	1.556	.464	3.353	.010

符號『*』表示 P 值<0.05，達統計上顯著。

表 5-5 臺中港 0m 碳鋼逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	<i>F</i> 檢定	顯著性
迴歸	251430.654	3	83810.218	18.315	.000
殘差	183044.375	40	4576.109		
總和	434475.029	43			

符號『*』表示 P 值<0.05，達統計上顯著。

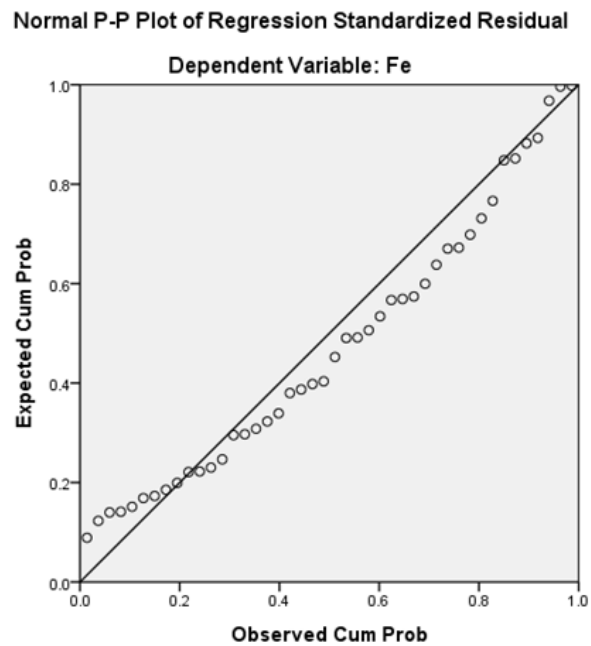


圖 5.2 臺中港碳鋼逐步回歸分析標準化常態 P-P 圖

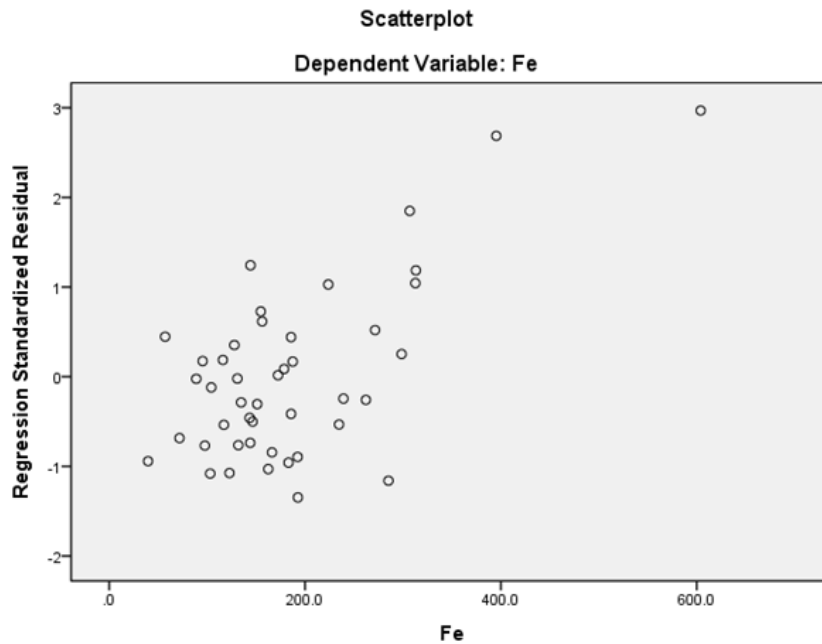


圖 5.3 臺中港碳鋼逐步迴歸分析之殘差散佈圖

5.2 臺中港 0m 鋅金屬 MLR

由表 5-6 至表 5-8 可知，逐步迴歸分析的研究變數依篩選進入模式之順序分別為平均風速(X_5)、風向(X_6)、濕潤時間(X_2)，此迴歸模式之配適度 R^2 為 0.629。其迴歸方程式為：

$$Y_2 = -35.381 + 8.813 X_5 + 0.125 X_6 - 0.228 X_2 \quad (5-2)$$

接下來進行殘差分析，由表 5-6 當 DW 值接近 2 左右，通常沒有違反獨立性的假設，圖 5.4 可以看出從左下到右上的 45 度直線上即越接近常態分配，殘差符合常態性，圖 5.5 變異數均質性中當圖形呈現水平的隨機分配，即可認定並未違反殘差變異數同質性的假設。由上述迴歸模式檢驗結果可知，鋅金屬逐步迴歸模式，經過篩選檢定有平均風速、風向、濕潤時間 3 種環境因子對鋅金屬腐蝕速率具影響力。並且對鋅金屬大氣腐蝕速率模式的解釋能力達 63 %。

表 5-6 臺中港 0m 鉍逐步迴歸分析之模型摘要表

	R	R^2	調整後 R^2	<i>Durbin-Watson</i>
迴歸	0.809	0.655	0.629	1.957

表 5-7 臺中港 0m 鉍逐步迴歸分析之參數估計表

		β 之估計值	標準誤	t 值	顯著性
(常數)		-35.381	8.032	-4.405	.000
平均風速	X5	8.813	1.399	6.298	.000
風向	X6	.125	.027	4.649	.000
濕潤時間	X2	-.228	.090	-2.518	.016

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

表 5-8 臺中港 0m 鉍逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
迴歸	4562.910	3	1520.970	25.275	.000d
殘差	2407.062	40	60.177		
總和	6969.972	43			

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

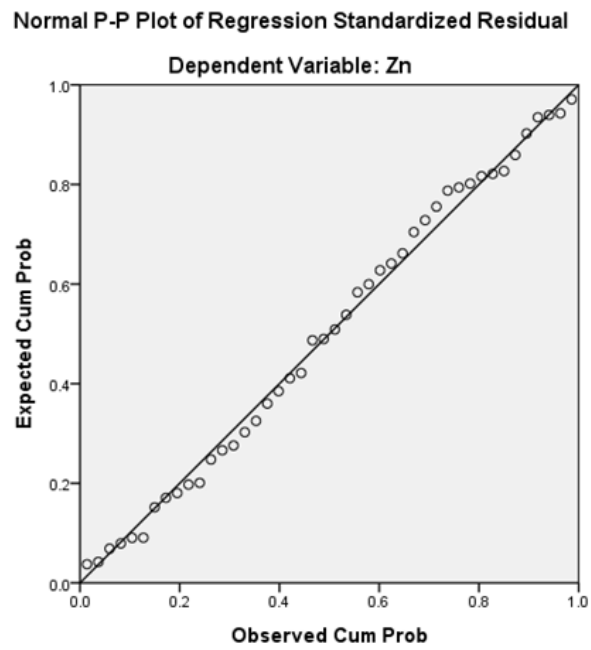


圖 5.4 臺中港鋅逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖

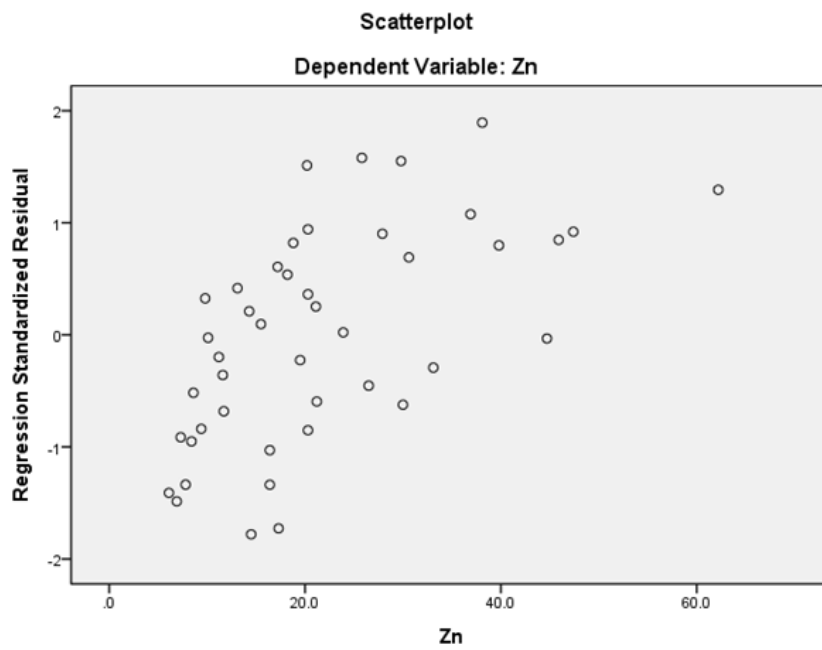


圖 5.5 臺中港鋅逐步迴歸分析之殘差散佈圖

5.3 臺中港 0m 銅金屬 MLR

由表 5-9 至表 5-11 可知，逐步迴歸分析研究變數依篩選進入模式之順序分別為平均風速(X_5)、平均氣溫(X_4)，此迴歸模式之配適度 R^2 為 0.679。其迴歸方程式為：

$$Y_3 = -34.846 + 7.68 X_5 + 0.548 X_4 \quad (5-3)$$

接下來進行殘差分析，由表 5-9 當 DW 值(1.747)接近 2 左右，通常沒有違反獨立性的假設，圖 5.6 標準化常態 P-P 圖，可以看出從左下到右上的 45 度直線上接近常態分配，表示殘差符合常態性，圖 5.7 變異數均質性中當圖形呈現水平的隨機分配，即可認定並未違反殘差變異數同質性的假設。由上述銅金屬迴歸模式檢驗結果可知，此逐步迴歸分析符合迴歸分析基本假設，故使用其篩減之變數平均風速與平均氣溫做為後續 ANN 之建構。

表 5-9 臺中港 0m 銅金屬逐步迴歸分析之模型摘要表

	R	R^2	調整後 R^2	Durbin-Watson
迴歸	0.833	0.694	0.679	1.747

表 5-10 臺中港 0m 銅金屬逐步迴歸分析之參數估計表

		β 之估計值	標準誤	t 值	顯著性
(常數)		-34.846	8.346	-4.175	.000
平均風速	X_5	7.680	.958	8.020	.000
平均氣溫	X_4	.548	.195	2.809	.008

符號『*』表示 P 值<0.05，達統計上顯著。

表 5-11 臺中港 0m 銅金屬逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	<i>F</i> 檢定	顯著性
迴歸	1164.145	2	582.072	46.406	.000c
殘差	514.267	41	12.543		
總和	1678.412	43			

符號『*』表示 P 值<0.05，達統計上顯著。

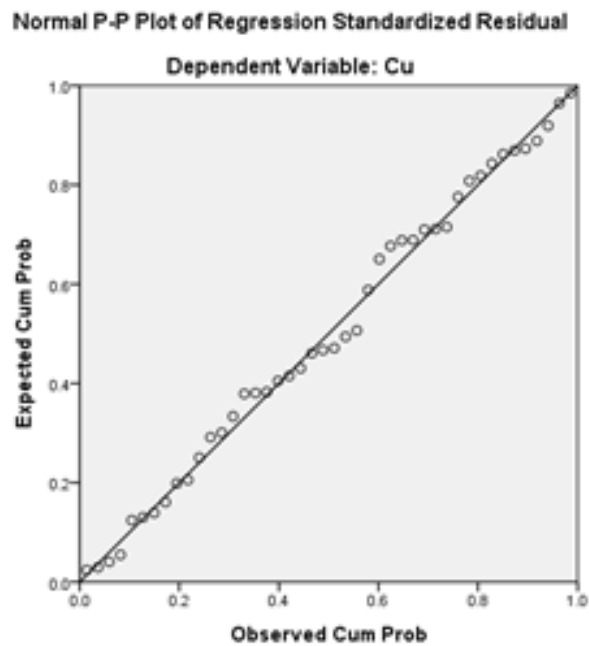


圖 5.6 臺中港銅金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖

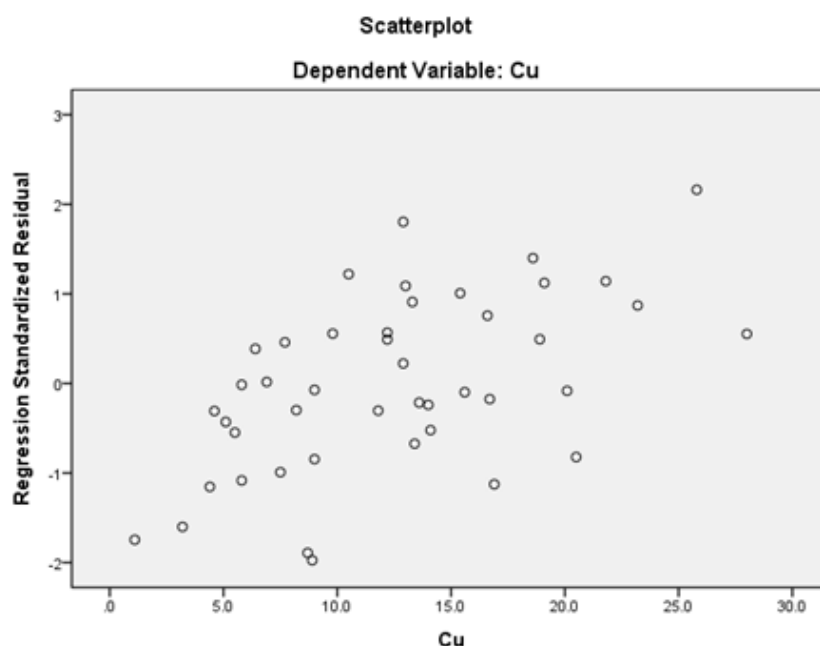


圖 5.7 臺中港銅金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖

5.4 臺中港 0m 鋁金屬 MLR

由表 5-12 至表 5-14 可知，逐步迴歸分析的研究變數依篩選進入模式之順序分別為平均風速(X_5)、風向(X_6)、濕潤時間(X_3)，此迴歸模式之配適度 R^2 為 0.524。其迴歸方程式為：

$$Y_4 = -64.248 + 10.239 X_5 - 0.169 X_6 + 0.373 X_3 \quad (5-4)$$

接下來進行殘差分析，由表 5-12 當 DW 值接近 2 左右，通常沒有違反獨立性的假設，圖 5.8 標準化常態 P-P 圖，可以看出從左下到右上的 45 度直線上接近常態分配，表示殘差符合常態性，圖 5.9 變異數均質性中當圖形呈現水平的隨機分配，即可認定並未違反殘差變異數同質性的假設。由上述鋁金屬迴歸模式檢驗結果可知，此逐步迴歸分析符合迴歸分析基本假設。

表 5-12 臺中港 0m 鋁金屬逐步迴歸分析之模型摘要表

	R	R ²	調整後 R ²	Durbin-Watson
迴歸	0.747	0.558	0.524	1.412

表 5-13 臺中港 0m 鋁金屬逐步迴歸分析之參數估計表

		β 之估計值	標準誤	t 值	顯著性
(常數)		-64.248	13.832	-4.645	.000
平均風速	X5	10.239	2.409	4.250	.000
風向	X6	.169	.046	3.669	.001
濕潤時間	X3	.373	.156	2.397	.021

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

表 5-14 臺中港 0m 鋁金屬逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
迴歸	8997.421	3	2999.140	16.808	.000d
殘差	7137.408	40	178.435		
總和	16134.830	43			

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

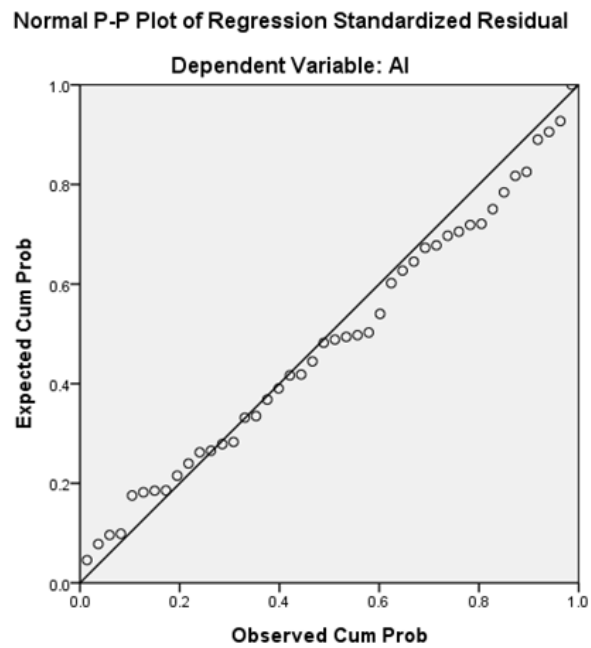


圖 5.8 臺中港鋁金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖

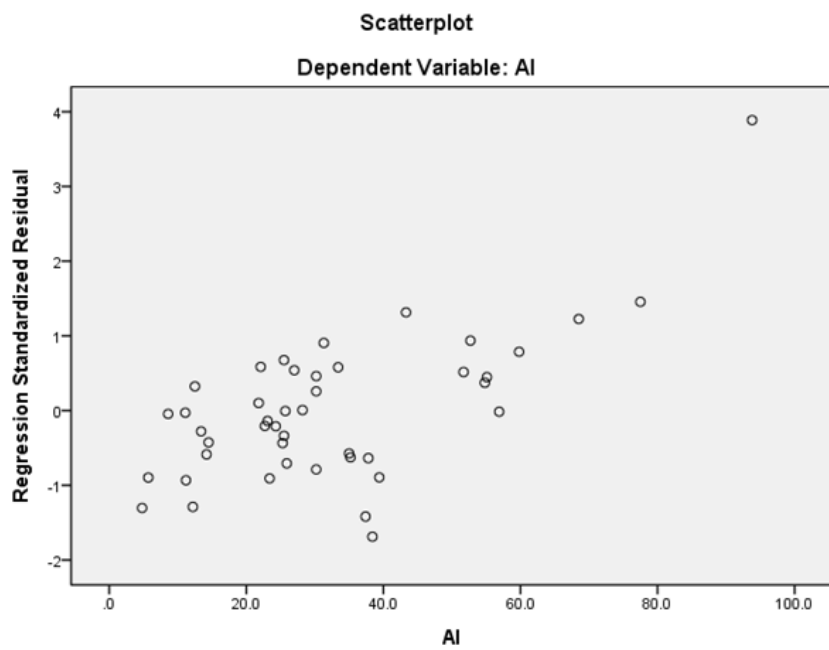


圖 5.9 臺中港鋁金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖

綜合上述:將選取的 9 個因子進行逐步迴歸分析，經篩選檢驗進入符合迴歸分析基本假設之碳鋼、鋅、銅、鋁金屬模式中，所選入的變數整理如表 5-15，碳鋼自變數為平均風速、濕潤時間、氯鹽沉積速率。鋅為平均風速、風向、濕潤時間，銅為平均風速、平均氣溫，鋁為平均風速、風向及濕潤時間。

表 5-15 逐步迴歸分析選入的自變數

金屬 種類	選入的變數	方法
碳鋼	平均風速、濕潤時間、氯鹽沉積速率	逐步迴歸分析法 (準則: F-選入的機率 ≤ 0.05 ，F-刪除的機 率 ≥ 0.10)
鋅	平均風速、風向、濕潤時間	
銅	平均風速、平均氣溫	
鋁	平均風速、風向、濕潤時間	

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.金屬腐蝕與環境因子關聯性分析；5.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」。

在此目標下，本計畫蒐集大氣氣象資料、氯離子、二氧化硫沉積量等大氣腐蝕劣化因子、金屬螺旋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. 在氯鹽沉積速率調查結果發現，暴露 3 個月的氯鹽沉積速率較暴露 6 個月的氯鹽沉積速率來的高，暴露 3 個月的氯鹽沉積速率以北部及中部的垂直海岸試驗線較高，氯鹽沉積速率皆大於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ；暴露 6 個月的氯鹽沉積速率以基隆港試驗線及花蓮港試驗線較高，氯鹽沉積速率皆大於 $6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，造成 3 個月及 6 個月氯鹽沉積速率差異原因，推估受季風影響及氣候因素所致，未來可研究探討。
2. 暴露 3 個月的二氧化硫沉積速率以大潭火力電廠、通霄火力電廠、觀音工業區、彰濱工業區較高，二氧化硫沉積速率皆大於 $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ；暴露 6 個月的二氧化硫沉積速率以龍德工業區最高，其餘依序為臨海工業區、彰濱工業區及大潭火力電廠，二氧化硫沉

積速率皆大於 $80 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

3. 碳鋼金屬以大潭火力發電廠在暴露 3 個月及 6 個月的腐蝕速率為最高。暴露 3 個月期間除了腐蝕速率最高的大潭火力發電廠 ($547 \mu \text{ m/yr}$) 之外，以中部及北部的火力電廠及工業區腐蝕速率較高介於 $411 \sim 310 \mu \text{ m/yr}$ 之間；暴露 6 個月期間仍以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 $201 \mu \text{ m/yr}$ ，其餘火力電廠、工業區腐蝕速率則介於 $90 \sim 119 \mu \text{ m/yr}$ 之間。
4. 鋅金屬以大潭火力發電廠在暴露 3 個月及 6 個月的腐蝕速率為最高。暴露 3 個月期間以中部及北部的火力電廠及工業區腐蝕速率較高介於 $29 \sim 11 \mu \text{ m/yr}$ 之間，暴露 6 個月期間以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 $25 \mu \text{ m/yr}$ 。
5. 銅金屬暴露 3 個月期間以臺塑六輕最高 $24.5 \mu \text{ m/yr}$ ，其次分別為臺中火力電廠 ($20.0 \mu \text{ m/yr}$) 及彰濱工業區 ($19.7 \mu \text{ m/yr}$)，其餘特定測站腐蝕速率則介於 $12.2 \sim 2.7 \mu \text{ m/yr}$ 之間；暴露 6 個月期間則以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 $11.0 \mu \text{ m/yr}$ 。
6. 鋁金屬暴露 3 個月期間以臺塑六輕最高 $25.3 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ ，其次分別為臺中火力電廠 ($20.9 \text{ g/m}^2/\text{yr}$)、大潭火力電廠 ($20.7 \text{ g/m}^2/\text{yr}$)、觀音工業區 ($20.4 \text{ g/m}^2/\text{yr}$) 及彰濱工業區 ($16.5 \text{ g/m}^2/\text{yr}$)，其餘特定測站腐蝕速率則介於 $8.0 \sim 1.9 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ 之間；暴露 6 個月期間以大潭火力發電廠腐蝕速率最高 $10.0 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ ，其次分別為臺塑六輕 ($7.0 \text{ g/m}^2/\text{yr}$)、觀音工業區 ($6.6 \text{ g/m}^2/\text{yr}$) 及彰濱工業區 ($4.8 \text{ g/m}^2/\text{yr}$)。
7. 將選取的 9 個因子進行逐步迴歸分析，經篩選檢驗進入符合迴歸分析基本假設之碳鋼、鋅、銅、鋁金屬模式中，碳鋼自變數為平均風速、濕潤時間、氯鹽沉積速率。鋅為平均風速、風向、濕潤時間，銅為平均風速、平均氣溫，鋁為平均風速、風向及濕潤時間。

6.2 建議

1. 建議使用單位進行金屬腐蝕速率設計條件時，可參考「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」各金屬腐蝕速率的歷年統計圖，選用最大腐蝕速率來設計，並輔以附近區域(海洋區、工業區)試驗點量測數據。
2. 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。
3. 持續加強推廣「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) 2021 年發行交通部運輸研究所專刊，出版 2020 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。
 - (3) 參加 110 年度中華民國防蝕工程年會論文比賽榮獲佳作，論文題目為「2009 至 2019 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討」。
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重要，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「金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2017。
7. 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。
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」，臺灣省交通處港灣技術研究所，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 9223/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
 30. ISO 9224/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres –Guiding values for the corrosivity categories.
 31. ISO 9225/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
 32. ISO 9226/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
 33. Corvo F. Haces C, Betancourt N., et al., Atmospheric corrosivity in the Caribbean Area. Corrosion Science, 1997, 39(5): 823-833.
 34. Veleza L., Pérez G., Acosta M., Statistical analysis of the temperature-humidity complex and time of wetness of a tropical climate in the Yucatán Peninsula in Mexico. Atmospheric Environment. 1997, 31(5): 773-776.
 35. Morales J., Martin-Krijer S., Diaz F., et al., Atmospheric corrosion in subtropical areas: influences of time of wetness and deficiency of the ISO 9223 norm[J]. Corrosion Science, 2005, 47: 2005-2019.
 36. Morales J., Diaz F., Hernandez-Borges J., et al., Atmospheric corrosion in subtropical areas: Statistic study of the corrosion of zinc plates exposed to several atmospheres in the province of Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands, Spain)[J]. Corrosion Science, 2007, 49:526-541.
 37. 孫飛龍，蔣泉，劉婷婷等. 「ISO 9224 大氣腐蝕性等級的指導值標準更新解讀. 環境技術」，2015, 23(2) : 74-76.

38. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 2020.
39. ISO 8565/2011: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
40. 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 108 年 10 月。
41. 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 108 年 10 月。
42. 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。
43. 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 106 年 11 月。
44. 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。
45. Metals Handbook- Corrosion, Metals Handbook Ninth Ed., Vol. 13, ASM International, Ohio, 1988.
46. I. Odnevall and C. Laygraf, "Atmospheric corrosion", ASTM STP 1239, W.W. Kirk and Herbert, H. Lawson, Eds., Philadelphia, 1995.
47. Outdoor atmospheric corrosion", ASTM STP 1421, H.E. Townsend Ed., West Conshohocken, PA, 2002.
48. K.O.Gray "Environment of Deep Ocean Test Site, U.S.Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note , N-657", p. 41, 1965.
49. W.Whitman, R.Russll, V.Altieri, "Industrial Engineering Chemistry", Vol.16, p. 665, 1924.
50. 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.

51. Uhlig H. H., "The Corrosion Handbook," (La Que), John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 387-388. 1948.
52. Samuel A. Bradford H.H. "Corrosion Control", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. 1993.
53. LaQue, F. L., Marine Corrosion cause and Prevention, John Wiley & Sons, New York, 1975.
54. P.R. Roberge, R.D. Klassen, & P.W. Haberecht, Atmospheric corrosivity modeling-a review. Materials and Design, 23, (2002) 321-330.
55. Corvo, F., Perez, T., Dzib, L. R., Martin, Y., Castañeda, A., Gonzalez, E., & Perez, J. Outdoor–indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres. Corrosion Science, 50(1), (2008).220-230.
56. J. S. Luo , Y. H. Liu , H. P. Chen , Y. F. Chiu , K. C. Chen , J. L. Ko Comparison of Seasonal Atmospheric Corrosion in Taiwan Journal of Chinese Corrosion Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 55 ~ 68 (2011)
57. Mendoza, A.R., & Corvo, F. (1999). Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel. Corrosion Science, 41, 75-86.
58. R.A. Legault, and V.P. Pearson, in: Atmospheric factors affecting the corrosion of engineering metals ASTM STO, 646, ASTM, Philadelphia, 1978.engineering metals ASTM STO, 646, ASTM, Philadelphia, 1978.
59. M. Pourbaix, The Linear Bilogarithmic Law for Atmospheric Corrosion in Atmospheric Corrosion, W.H. Ailor, Ed., John Wiley & Sons, 1982.
60. J. Morales, F. Diaz, J. Hernandez-Borges, S. Gonzalez and V. Cano,

Corrosion Science, 49 (2007) 526 ~ 541.

61. F.R. Su, Investigate the corrosion relationship of atmosphere and metal, National Taiwan University Department of Environmental Engineering Master's Thesis, 1988.
62. K.J. Tsai, " Electricity atmospheric corrosion testing and related materials database set up summary report " , Industrial Technology Research Institute, Taiwan Power Research Institute, 1993 。
63. S.F. Chou, C.J. Wang, J.S. Luo, Y.F. Chiu, K.C. Chen, J.L. Ko, A Regression Model for Predicting the Corrosion Rate of Zinc in Taiwan Journal of Chinese Corrosion Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 219 ~ 230 (2011)
64. C. M. Lo, L.H. Tsai, M.D. Lin, Correlation between carbon steel corrosion and Atmospheric factors in Taiwan, in: Proceedings of the 19th International Corrosion Congress, Jeju Korea, 2014.
65. 吳明隆，SPSS 統計應用實務，松岡電腦圖書資料股份有限公司，2000 年。

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	1. 金屬腐蝕與環境的研究除了兼顧傳統的金屬腐蝕，在臺灣近年積極推動發展綠能的能源政策下，不論從風電港口設施的需求、離岸風機的需求、光電面板金屬框架配件的需求到目前有關電力輔助服務儲能系統儲能櫃的發展來看，對於金屬防蝕越來越彰顯出本研究的價值，尤其本研究已經考量的幾種最有關的金屬更是切合使用面的需求。 2. 有關氯鹽、SO₂及現地腐蝕試驗點的部分，試體設置的位置如何選擇決定？是否有統一標準？例如，設在建築物或結構物的北側、南側、上風處、下風處、是否有阻擋或遮蔽...，不同位置結果可能會差很多。 3. 表 4-4 碳鋼金屬之腐蝕速率表感覺試驗線在 300 公尺以內的趨勢不明顯，超過 300 公尺後腐蝕率隨海岸距離之增加而降低的趨勢較明顯，但是臺中港的部分已經差了 2 公里，還是不明顯甚至增加，建議探討原因。	謝謝委員指教。 有關試驗點場址選定之考量，以無遮蔽物且位於制高點為原則考量，並以公務機關提供為主。另外針對不同方向影響，金屬螺旋材料較無影響，但板狀金屬試片則有向光面及背光面之差異。 未來將納入氯鹽與垂直海岸線試驗點距離探討。

審查委員	審查意見	處理情形
	4. p.6-1 結論 1.有關氯鹽沉積速率調查結果，暴露 3 個月的氯鹽沉積速率較暴露 6 個月的氯鹽沉積速率來的高，可能之原因為何？ 5. 結論 3.有關中部、北部火力電廠與工業區的碳鋼腐蝕率甚 310~411$\mu\text{m}/\text{yr}$ 部分，如果以此速率考量 10 年或 20 年後的鋼材可能厚度已經無法滿足設計，可見此區的有效防蝕措施更為重要也攸關國家重要的能源設施等，本數據甚為寶貴重要，建議能宣導並對於防蝕措施也提出建議。 6. 臺中港今年老舊碼頭調查檢測結果，有關腐蝕率最高的部分#14 碼頭屬於鋼板樁碼頭無防蝕塊設計部分，其鋼版(厚度 15.5~27.6mm)腐蝕調查結果其腐蝕速率約介於 83.7~149$\mu\text{m}/\text{yr}$ 間。另外有防蝕塊而腐蝕率最高的部分#西六碼頭鋼管樁(厚度 12mm)腐蝕率約 36$\mu\text{m}/\text{yr}$，提供研究參考。	可能之原因如氣象因子 (例如風速及風向等) 未來研究可進行探討其關聯性。 謝謝委員指教，團隊將加強宣導推廣並對於防蝕措施擬出對策為努力方向。 謝謝委員對於臺中港水下腐蝕設計提供很好建議，後續併入文獻研究參考。
陳桂清委員	1. 港研中心執行金屬材料腐蝕相關研究，前後已近 20 年，累積相當多的本土性金屬材料腐蝕數據，並建置有完整的腐蝕資料庫的查詢系統，研究成果豐碩，中心同仁的努力，深得各界的讚賞。	謝謝委員指教。

審查委員	審查意見	處理情形
	2. 本年度仍延續過去的長期大氣曝放試驗，並將試驗的環境擴增至海水(面)下，研究能量大幅提升，其成果特別對離岸風機發電之構件與設備之防蝕有正面的參考應用。 3. 報告內容，建議事項如下： (1)中文摘要內容，力求簡明扼要。 (2)缺英文摘要內容，請補正。 (3) p.1-3，倒 2 行，將“目前”改為“當時”，並在段落適當處，述明目前之各項調查項目、試驗點、曝放站之正確數量。諸如氯鹽點增至 65 點 (p.4-3，表 4-1)，SO₂ 由 50 增至 53 點(p.4-8，表 4-2)，曝放點由 88 點增至 90 點(p.4-13，表 4-4)或 94 點(p.1-14)，總之報告中多處之數量前後不一，請更正。 (4) p.1-5 頁，倒 2 行，另增列一段文字說明，將海水環境下金屬板狀試片之曝露試驗，做一簡潔的敘述。 (5)p.3-1 頁，第三章 研究方法，本章建議區分成 3.1 大氣曝放環境下；以及 3.2 節海洋曝放環境下，同時在本小結下簡述海水曝放試驗之規畫內容(p.3-15)。	目前相關研究成果已提供經濟部標準局納入離岸風機防蝕規範參酌。 已更正辦理。 已補充說明辦理。 已補充說明辦理。 已更正說明辦理 已補充更正內容。

審查委員	審查意見	處理情形
	(6) p.4-6 頁，圖 4.1 表頭敘述中應加入(平均)兩字，請更正。 (7) p.4-11 頁，圖 4.2 少列 4 個試驗點數據(臺北市、高鐵臺中、高鐵嘉義、高鐵左營)，請更正。 (8) p.5-1 頁，第五章關聯性分析，表 5-1 中，為何沒有 SO₂ 之自變數參與統計迴歸分析？請說明？	已更正說明辦理。 已更正說明辦理。 本研究臺中港 0m 試驗站，其位於沿海地區，試驗項目主要是針對氣鹽劣化因子，SO₂ 未納入考量，後續將視現地環境條件需求進行建置佈放。
許書王委員	1. p.4-1 頁，所提配合防疫作業，應將級數、時間列出，以為後續者參。 2. 第三章、第四章，本報告若有採集試片之照片、紀錄者，建議加入附錄中，以完整累積為完整報告。 3. 建議對於不良空氣品質的內容物中是否有潛在離子，影響腐蝕行為？ 4. 多年試片設置、採集經驗，是否可針對試驗大小、位置，對於試驗研究(後續)之建議。	已補充說明辦理。 關於採集試片之照片紀錄皆會建置(臺灣腐蝕環境分類資訊系統)提供各界查詢下載。 對於不良空氣品質的內容物，未來將納入研究參酌。 相關設置將收集整理納入後續辦理。

審查委員	審查意見	處理情形
	5. p.6-1 頁，在港區、在工業區、在火力發電廠、在六輕各有不同腐蝕速率，此部分相對於各該位置及廠區地理特性，應可理出關聯性。	由於各區域環境因子於各區域有所不同因此數據關聯性將會逐步建立。
賴瑞應委員	1. 腐蝕因子沉積速率及金屬腐蝕速率由歷年的資料顯示，似乎變異性很大，建議報告除了說明分析結果的數值外，建議可以補充說明數值變異的主要環境因素，以利瞭解本研究蒐集調查其他環境因素的原因與目的。 2. 建議後續研究可以針對腐蝕因子沉積速率及金屬腐蝕速率依本所分析的數據，建議上限值、平均值及下限值，以利未來使用單位的應用。 3. 今年增加金屬腐蝕與環境因子關聯性分析的部分，值得肯定，今年以臺中港 OM 試驗線的數據做分析案例，建議補充試驗站的位置及環境說明，以利瞭解環境因子與金屬腐蝕的關聯性。 4. 關聯性分析的 R^2 值似乎不高，其預測公式的說服性可能也會不高，建議後續研究可以再調整相關自變數，以獲得較高的 R^2 值。	已論述更正說明辦理。 未來研究將納入上下限值及平均值提供使用單位的應用。 謝謝委員指教，已補充論述更正辦理。 謝謝委員建議指教，納入後續研究考量。

審查委員	審查意見	處理情形
蔣敏玲委員	1. 本案建置本土水下腐蝕環境資料及腐蝕因子資料庫，以供各單位防蝕設計與維護之依據，極具實際應用價值，值得肯定。	謝謝委員指教。
	2. 在金屬腐蝕速率的比較中，有些地點曝露3個月及曝露6個月的腐蝕速率有明顯差異，請問可能之原因？	可能之原因如氣象因子（例如風速及風向等）未來研究可進行探討其關聯性。
許義宏委員	1. 在2021年氯鹽及二氧化硫沉積速率調查，可發現部分測站在2次調查的差異較大其原因為何？另與歷年之調查結果是否有差異？建議補充說明。	研究成果將出版供各界參考。
	2. 第五章，環境因子分析未納入二氧化硫之原因為何？	本研究臺中港0m試驗站，其位於沿海地區，試驗項目主要是針對氯鹽劣化因子，SO ₂ 未納入考量，後續將視現地環境條件需求進行建置。
	3. 在回歸分析中，鋅、鋁有受到風向影響，較為特殊。在相關文獻中，較無觀察到此一狀況，建議可再進一步探討。	後續將納入研究參酌。
	4. 明年度可以探討其他場域的適用情形並比較分析。	未來將逐步探討比較。

審查委員	審查意見	處理情形
	5. 單一區域(實驗控制),多點採樣(經費允許下)。	未來將視人力、經費酌予進行。

期末審查意見及辦理情形說明表

附錄二

期末審查簡報

110年度自行研究計畫期末審查

110年 臺灣沿岸地區金屬材料 腐蝕環境調查研究

羅建明 張道光

2021.12.14



簡報大綱



1. 前言 (計畫之重要性)

-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齡具嚴重危害性，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6,000億元至7,000億元之間。2020我國GDP新臺幣20兆億元

(如果採用適當的腐蝕保護方法，可能會阻止 25-30% 的腐蝕。)

1. 前言 (計畫工作項目)

本計畫係延續型計畫，本年度(110)廣續辦理之工作項目如下：

✓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)，進行大氣腐蝕劣化因子調查與金屬現地暴露試驗。

✓精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫

- 依據調查與試驗彙整結果，精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資料庫。

✓發行2020年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報

- 提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

✓辦理臺灣腐蝕環境分類資訊系統教育訓練

- 推廣宣導臺灣腐蝕環境分類資訊系統於部屬及縣市政府工程人員參酌採用。

1. 前言 (預期效益及其應用)

✓ 預期成果(效益)

- **完成**110年大氣腐蝕劣化因子調查與金屬現地曝露試驗與分析。
- **建立**臺灣地區腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫。
- **提供**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應用，確保公共工程品質。

✓ 應用

- 研究成果**應用範圍**遍及臺灣地區各種腐蝕環境，**彙整**歷年調查結果，建置大氣腐蝕因子資料庫網站，**提供**產官學研各界不同需求及應用。
- 研究成果可應用於本所**後續**相關研究及**研擬**臺灣地區塗裝防蝕手冊之依據。

2. 文獻回顧(大氣腐蝕測試規範)

-大氣腐蝕環境分類

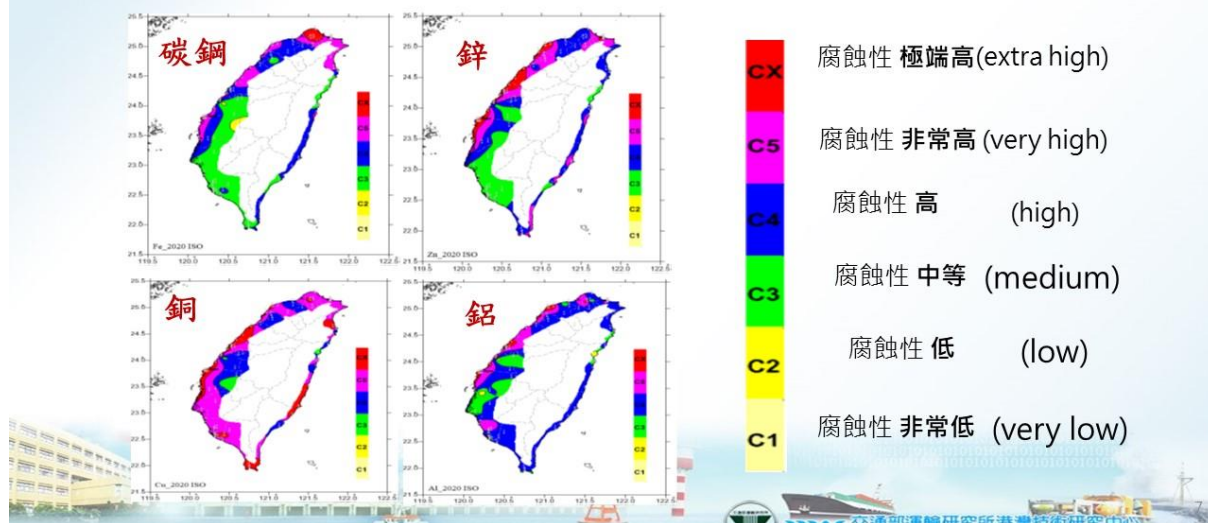


- 依據國際標準組織(ISO)及中華民國國家標準(CNS)
- 進行腐蝕因子調查及碳鋼、鋅、銅、鋁等標準試片現地暴露試驗，提供金屬材料腐蝕環境分類查詢。

2.文獻回顧(大氣腐蝕測試規範)

依-金屬腐蝕速率分類

- 調查成果



2.文獻回顧(大氣腐蝕)

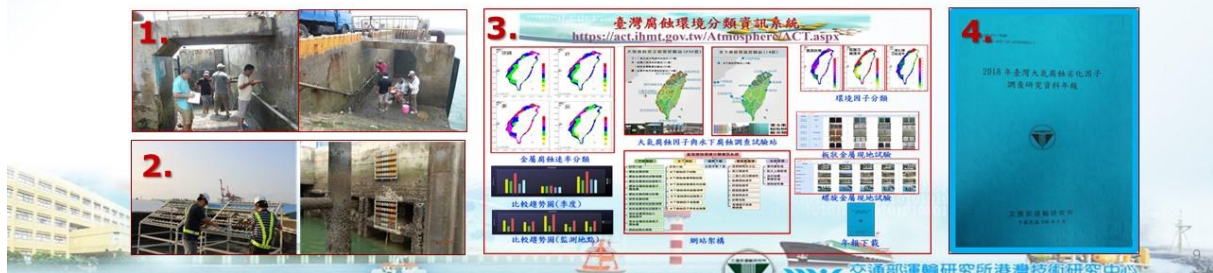
金屬 vs 環境因子



3. 研究方法 (臺灣腐蝕環境分類建置)

-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。



3. 研究方法 (臺灣腐蝕環境分類建置)

大氣腐蝕 (98年開始執行)

水下腐蝕 (103年開始執行)

-建立長期監測站



3. 研究方法 (臺灣腐蝕環境分類建置)

-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。

3. 研究方法 (複迴歸分析)

- 統計軟體

- SPSS 21.0

- 複迴歸分析 (Multiple Linear Regression, MLR)

- 將多個自變數(x)放入迴歸式中，以增加迴歸的預測能力及減少殘差值 (residual value)，其假定自變數(x)與因變數(y)為線性關係，且以複線性迴歸模式表示。

- 常用來求複迴歸方程式的方法主要為最小平方法 (least squares method)，以期能使下式為最小之係數。

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i$$

3. 研究方法 (複迴歸分析)

• 複迴歸分析流程圖



3. 研究方法 (複迴歸分析)

迴歸分析流程



3. 研究方法 (複迴歸分析)

檢定迴歸模式顯著性

- 決定係數(Coefficient of Determination) R^2

因變數(Rcorr)變異量	
自變數(CI、TOW、SUN、...)可解釋	其他因素(ϵ)

- F分配

$$F = (R^2/k) / [(1 - R^2)/(N - k - 1)]$$

- 若F值達顯著水準，表示自變數中至少有一項可以有效的解釋因變數的變異量。

- t檢定

$$t = \beta_k / S_{(\beta_k)}$$

- 若t值達顯著水準，表示該自變數可以有效的解釋因變數的變異量。

3. 研究方法 (複迴歸分析)

提出假設性之迴歸模式



估計迴歸參數



檢定迴歸模式顯著性



檢定迴歸模式適配性



符合迴歸分析基本假設

否

迴歸模式之校正



是

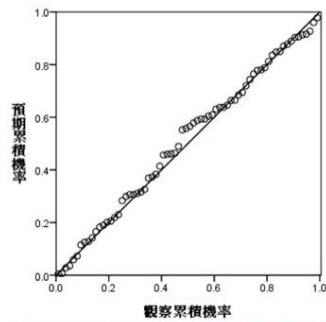
解釋與預測



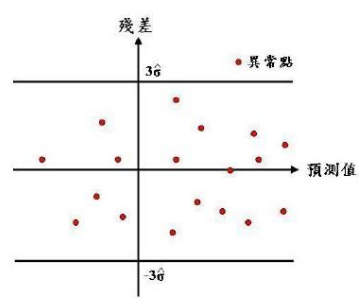
3. 研究方法 (複迴歸分析)

檢定迴歸模式適配性

常態性



均質性



3. 研究方法 (複迴歸分析)

• 獨立性(Durbin-Watson檢定)

殘差值為正的 自我相關	殘差值為負的 自我相關	無自我相關	無法判定
$d < dL$	$d > 4 - dL$	$dU < d < 4 - dU$	$dL < d < dU$ $4 - dU < d < 4 - dL$

• 線性重合檢定

- 變異數波動因數(Variance Inflation Factor, VIF)

$$VIF = 1 / (1 - R_i^2)$$

檢視自變數間相關性

3. 研究方法 (複迴歸分析)



4. 結果與討論

- 垂直海岸試驗線之氯鹽沉積速率
 - 特定試驗點之二氧化硫沉積速率
 - 垂直海岸試驗線金屬腐蝕速率比較圖
 - 特定試驗點金屬腐蝕速率比較圖
 - 金屬腐蝕與環境因子關聯性分析
 - 複迴歸分析
- The background of this section is a collage of maritime and industrial images, including a ship, a lighthouse, and a port facility, with the text '交通部運輸研究所港灣技術研究中心' (Maritime Technology Research Center, Institute of Transportation Research, Ministry of Transportation) at the bottom.

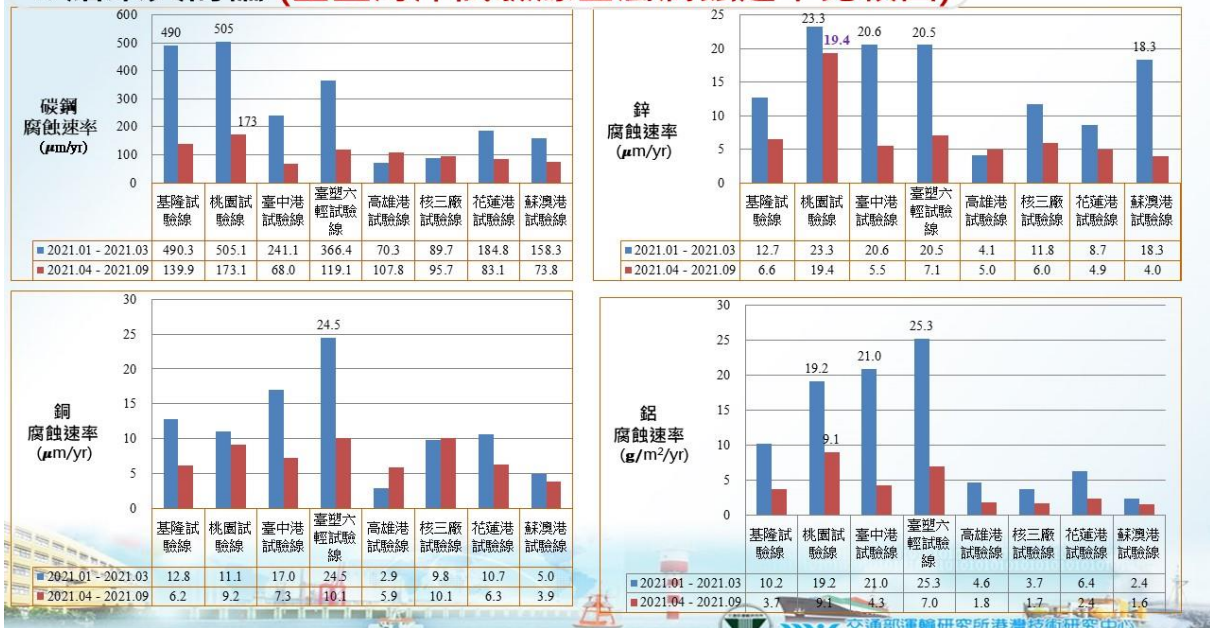
4. 結果與討論 (垂直海岸試驗線之氯鹽沉積速率)



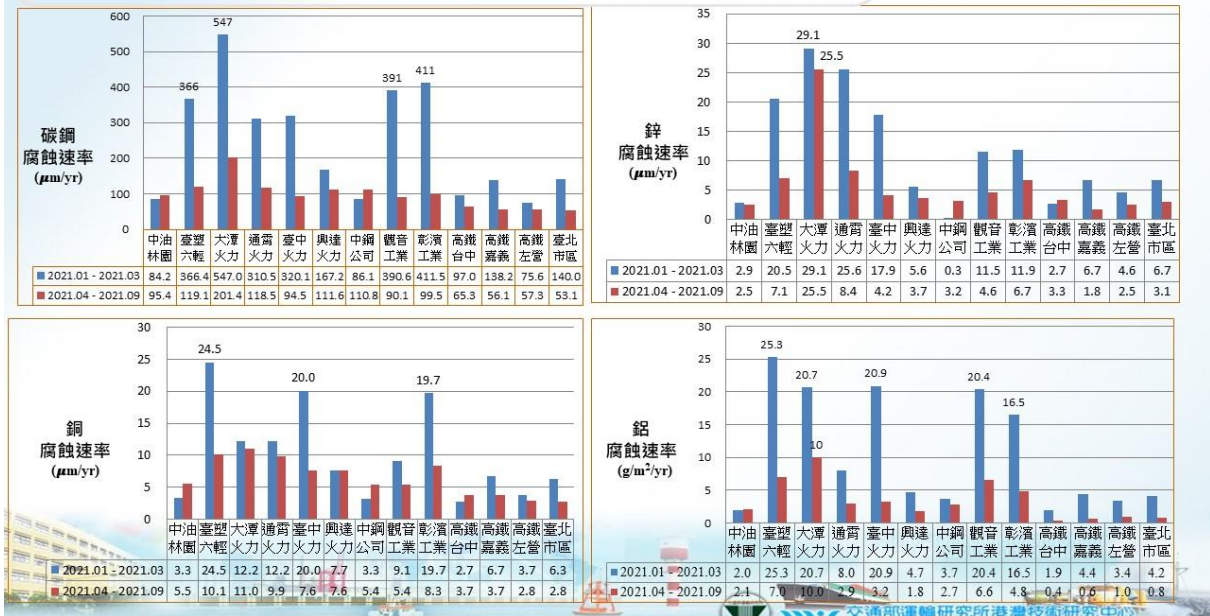
4. 結果與討論 (特定試驗點之二氧化硫沉積速率)



4. 結果與討論 (垂直海岸試驗線金屬腐蝕速率比較圖)



4. 結果與討論 (特定試驗點金屬腐蝕速率比較圖)



4. 結果與討論 (金屬腐蝕與環境因子關聯性分析)

Descriptive Statistics							
Variable	Unit	Code	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
Day	(day)	(X ₁)	44	65	135	93.00	11.081
TOW	(%)	(X ₂)	44	8.5	75.3	39.230	13.5790
CL	(mg/m ² /day)	(X ₃)	44	1.6	138.3	24.880	25.2527
TEMP	(°C)	(X ₄)	44	15.6	29.5	23.227	4.3590
WDSD	(m/s)	(X ₅)	44	3.20	6.40	4.5023	.88855
WDIR	(360°)	(X ₆)	44	114	303	211.59	44.945
H_24R	(hr)	(X ₇)	44	23	1256	298.55	282.551
AP_HR	(mm)	(X ₈)	44	0	262	102.55	57.771
SUN_hr	(hr)	(X ₉)	44	181	842	539.36	142.853
Fe	(μm/yr)	(Y ₁)	44	39.7	604.0	184.845	100.5190
Zn	(μm/yr)	(Y ₂)	44	6.1	62.2	21.730	12.7315
Cu	(μm/yr)	(Y ₃)	44	1.1	28.0	12.470	6.2476
Al	(g/m ² /yr)	(Y ₄)	44	4.8	93.8	32.302	19.3708

3. 結果與討論 (金屬腐蝕與環境因子關聯性分析)

試驗 期程 (季)	暴露 時間 (day)	濕潤 時間 (%)	氯鹽 沉積 速率 (mg/m ² /day)	平均 氣溫 (°C)	平均 風速 (m/s)	平均 風向 (360°)	降雨 時數 (hr)	降雨 量 (mm)	日照 時數 (hr)	破銅 腐蝕 速率 (μm/yr)	鋅 腐蝕 速率 (μm/yr)	銅 腐蝕 速率 (μm/yr)	鋁 腐蝕 速率 (g/m ² /yr)
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y1	Y2	Y3	Y4
2010 _q1	127	39.2	60.6	19.5	5.4	114	99	108	687	234.7	20.3	16.7	23.1
2020 _q4	91	25.2	75.8	22.8	6.3	303	23	0	569	262.1	62.2	28.0	38.4

4. 結果與討論 (逐步迴歸分析)

臺中港0m 金屬逐步迴歸分析之模型摘要表

迴歸	R	R ²	調整後 R ²	Durbin-Watson
破鋼	0.761	0.579	0.547	1.912
鋅	0.809	0.655	0.629	1.957
銅	0.833	0.694	0.679	1.747
鋁	0.747	0.558	0.524	1.412



4. 結果與討論 (逐步迴歸分析)

臺中港0m破鋼逐步迴歸分析之參數估計表

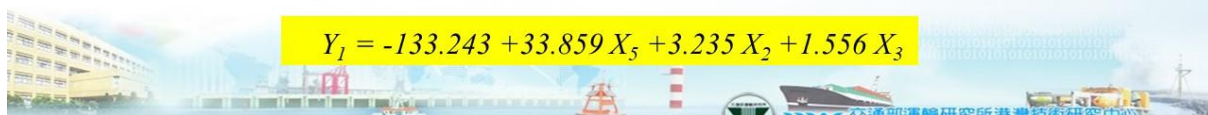
		β之估計值	標準誤	t值	顯著性
(常數)		-133.243	57.017	-2.337	.025
平均風速	X5	33.859	13.597	2.490	.000
濕潤時間	X2	3.235	.802	4.036	.000
氯鹽沉積速率	X3	1.556	.464	3.353	.010

臺中港0m破鋼逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
迴歸	251430	3	83810	18.315	.000
殘差	183044	40	4576		
總和	434475	43			

符號『*』表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_I = -133.243 + 33.859 X_5 + 3.235 X_2 + 1.556 X_3$$



4. 結果與討論 (逐步迴歸分析)

臺中港0m_銹逐步迴歸分析之參數估計表

		β之估計值	標準誤	t值	顯著性
(常數)		-35.381	8.032	-4.405	.000
平均風速	X5	8.813	1.399	6.298	.000
風向	X6	.125	.027	4.649	.000
濕潤時間	X2	-.228	.090	-2.518	.016

臺中港0m_銹逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
迴歸	4562	3	1520	25.275	.000
殘差	2407	40	60		
總和	6969	43			

符號『*』表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_2 = -35.381 + 8.813 X_5 + 0.125 X_6 - 0.228 X_2$$

4. 結果與討論 (逐步迴歸分析)

臺中港0m_銅逐步迴歸分析之變異數分析

		β之估計值	標準誤	t值	顯著性
(常數)		-34.846	8.346	-4.175	.000
平均風速	X5	7.680	.958	8.020	.000
平均氣溫	X4	.548	.195	2.809	.008

臺中港0m_銅逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
迴歸	1164	2	582.072	46.406	.000
殘差	514	41	12.543		
總和	1678	43			

符號『*』表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_3 = -34.846 + 7.68 X_5 + 0.548 X_4$$

4. 結果與討論 (逐步迴歸分析)

臺中港0m鉛逐步迴歸分析之變異數分析

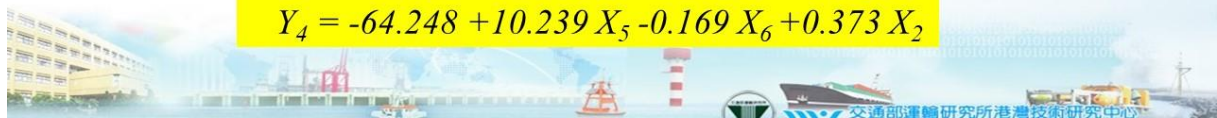
		β之估計值	標準誤	t值	顯著性
(常數)		-64.248	13.832	-4.645	.000
平均風速	X5	10.239	2.409	4.250	.000
風向	X6	.169	.046	3.669	.001
濕潤時間	X3	.373	.156	2.397	.021

臺中港0m鉛逐步迴歸分析之變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
迴歸	8997	3	2999.140	16.808	.000d
殘差	7137	40	178.435		
總和	16134	43			

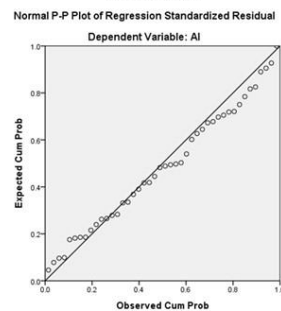
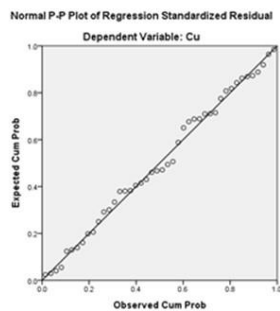
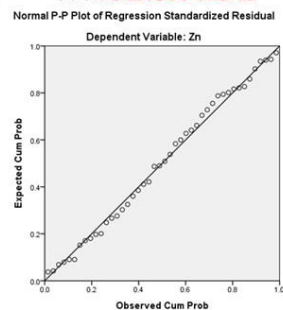
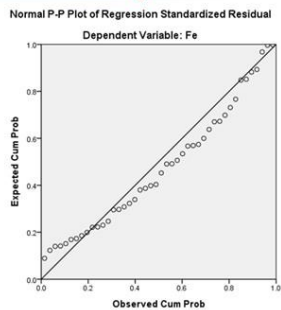
符號『*』表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_4 = -64.248 + 10.239 X_5 - 0.169 X_6 + 0.373 X_3$$



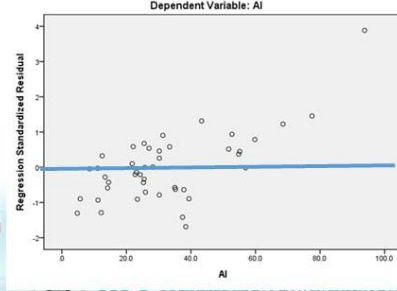
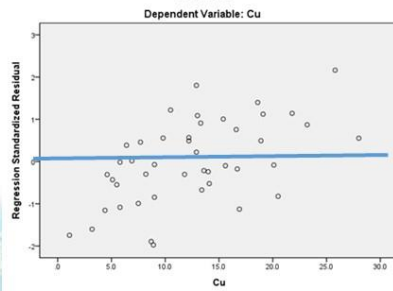
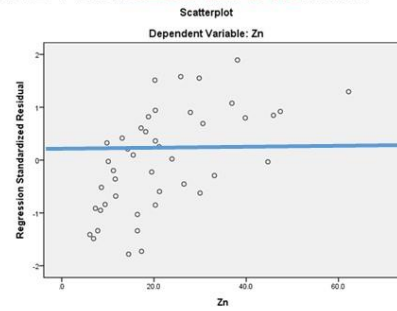
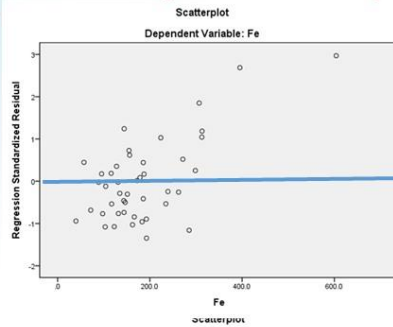
4. 結果與討論 (標準化常態P-P圖)

從左下到右上的45度直線上接近常態分配，表示殘差符合常態性



4. 結果與討論 (殘差散佈圖)

變異數均質性中當圖形呈現水平的隨機分配，即可認定並未違反殘差變異數同質性的假設。



4. 結果與討論 (逐步迴歸分析)

臺中港0m 金屬逐步迴歸分析之選入的變數

金屬種類	選入的變數	方法
碳鋼	平均風速(X_5)、濕潤時間(X_2)、氯鹽沉積速率(X_3)	逐步迴歸分析法 (準則: F-選入的機率 ≤ 0.05 , F-刪除的機率 ≥ 0.10)
鋅	平均風速(X_5)、風向(X_6)、濕潤時間(X_2)	
銅	平均風速(X_5)、平均氣溫(X_4)	
鋁	平均風速(X_5)、風向(X_6)、濕潤時間(X_2)	

$$Y_1 = -133.243 + 33.859 X_5 + 3.235 X_2 + 1.556 X_3$$

$$Y_2 = -35.381 + 8.813 X_5 + 0.125 X_6 - 0.228 X_2$$

$$Y_3 = -34.846 + 7.68 X_5 + 0.548 X_4$$

$$Y_4 = -64.248 + 10.239 X_5 - 0.169 X_6 + 0.373 X_2$$

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

4. 結論

- 氯鹽沉積速率調查結果發現，暴露3個月的氯鹽沉積速率較暴露6個月高，暴露3個月的氯鹽沉積速率以北部及中部的垂直海岸試驗線較高，且皆大於 $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ；暴露6個月的以基隆港試驗線及花蓮港試驗線較高，其沉積速率皆大於 $6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。
- 二氧化硫沉積速率暴露3個月以大潭、通霄火力電廠、觀音工業區、彰濱工業區較高，沉積速率皆大於 $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ；暴露6個月的二氧化硫沉積速率以龍德工業區最高，其餘依序為臨海工業區、彰濱工業區及大潭火力電廠，速率皆大於 $80 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。



4. 結論

- 碳鋼金屬在暴露3個月($547 \mu\text{m}/\text{yr}$)及6個月(201)的皆以大潭電廠腐蝕速率為最高。其次3個月中以彰濱工業區(411)、觀音工業區(391)及臺塑六輕(366)較高；另外暴露6個月以火力電廠、工業區腐蝕速率較高則介於(90 ~ 119)之間。
- 鋅金屬以大潭電廠在暴露3個月(29)及6個月(25)的腐蝕速率為最高。其次暴露3個月期間以臺塑六輕(20)及台中火力電廠(18)較高。



4. 結論

- 銅金屬暴露3個月期間以臺塑六輕最高 $24.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，其次分別為臺中火力電廠(20.0)及彰濱工業區(19.7)，其餘特定測站腐蝕速率則介於(12.2 ~ 2.7)之間；暴露6個月期間則以大潭電廠腐蝕速率最高(11.0)。
- 鋁金屬暴露3個月期間以臺塑六輕最高 $25.3 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，其次分別為臺中火力電廠(20.9)、大潭電廠(20.7)、觀音工業區(20.4)及彰濱工業區(16.5)，其餘特定測站腐蝕速率則介於(8.0 ~ 1.9)之間；暴露6個月期間以大潭電廠腐蝕速率最高(10.0)，其次分別為臺塑六輕(7.0)、觀音工業區(6.6)及彰濱工業區(4.8)。



4. 結論

- 將選取的9個因子進行逐步迴歸分析，經篩選檢驗進入符合迴歸分析基本假設之碳鋼、鋅、銅、鋁金屬模式中：
- 碳鋼為平均風速、濕潤時間、氯鹽沉積速率。
- 鋅為平均風速、風向、濕潤時間。
- 銅為平均風速、平均氣溫。
- 鋁為平均風速、風向及濕潤時間。



4. 結論 (效益及應用)

於**10月22日辦理**「110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」，**推廣**「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」，**提供**橋梁防蝕工法之應用，期許能廣泛宣導防蝕觀念，提升橋梁防蝕能力，以確保運輸之安全。

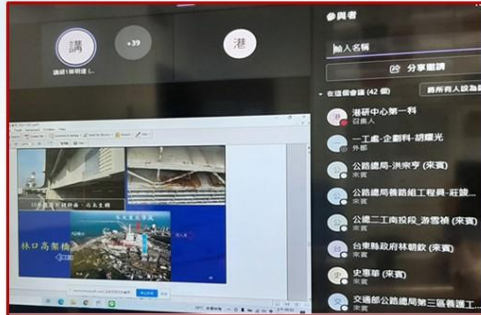


圖1 腐蝕環境下橋梁常見缺失與成因探討課程剪影



圖2 臺灣腐蝕環境分類資訊系統應用介紹課程剪影

4. 結論 (效益及應用)

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2020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。
- 3.參加中華民國防蝕工程學會「110年度防蝕工程年會暨論文發表會」，論文題目為「**2009至2019臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討**」榮獲**佳作**。



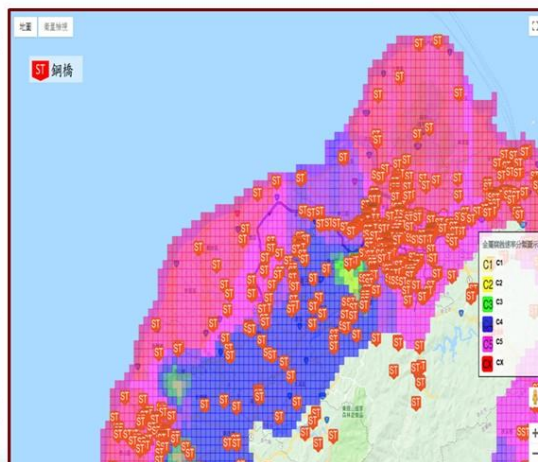
4. 結論 (效益及應用)

- 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。

- 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、台塑企業、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。

提供單位應用情形



簡報結束

恭請指正



附錄三

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

壹、會議名稱：本所港研中心第一科 110 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：110 年 4 月 21 日(星期三) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：胡啟文

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、 饒書安委員

(一)國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 近期已由高公局一工處完成基樁耐震補強，建議於報告中增列資料，另國 3 大甲溪橋過去有埋設無線追蹤粒子，相關沖刷資料亦可提供參考。
2. 請問本年度(110 年)水工模型工作與 109 年有何差異，建議於報告中敘明補充。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

本段轄區國 3 中港溪橋及國 3 烏溪 1 號河川橋隔音牆生銹嚴重，如果經費允許，建議增列並納入本段設施長期觀察，另大甲溪橋亦有此狀況。

(三) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

透地雷達檢測道路孔洞，可建議比較機型(頻率)、深度適用性探討。

二、 呂正安委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證案，有其助益，切合實務:

1. 可分年建置不同場地，防刷工法(如打樁、雙層互鎖、尺寸、加勁版隔護、三明治防刷護坦)之探討。
2. 考量施作時之職安、防風預警之工項。

3. 經費允許，可埋設量測設備、儀器，探討細部運動行為。
4. 後續若有進一步計畫，可與公路橋檢單位聯繫，擇合適地點再進行更多的探討。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

1. 可考量切入實務工程之探討，尤其近年山區工程為利搶通時效，多用鋼結構，如中橫及南橫之鋼橋、鋼明隧道(棚)等。
2. 臨路及臨軌之邊坡防護鋼柵等，亦可考量納入。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

1. 建議可建立橫向聯繫，共同提升震災及下陷災害之即時因應防災體系，擴大系統的效益。
2. 震源發生，震度速報，其後需有人力確定可能受災區，建議可納入經費中編列工項。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究:

建議可加入評比，獎勵機制。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

為利維管，需人力巡查、登載系統、專人審核及維護，皆須耗費經費，建議納入經費工項編列考量。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 現地調查時，建議需進行交維，以利作業安全。
2. 可研擬針對不同路基條件進行檢測。
3. 可洽橫向單位配合執行，共同精研，提升效益。

三、 柯永彥委員

本年度自行研究計畫之主題均屬重要之工程技術議題，預期成果將亟具實務應用價值。針對各項計畫之具體意見如下：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 大甲溪自 2004 年敏督利風災(七二水災)以來，流域特性較以往有大幅變化，進一步導致後續蒙受嚴重之沖刷問

題，並於 2008 年造成后豐橋斷橋事件。本研究利用土工織布提升橋基保護工之耐久性，其成效應可期待；以大甲溪作為實地驗證場域，成果將具實務參考價值。

2. 在研究規劃上，應以室內水工模型試驗先行測試多種方法，再取其中較佳者進行現地試驗[此部分賴科長已經回應]。
3. 另建議文獻回顧時將大甲溪全流域沖刷潛勢做一整體評價，以掌握測試場域(國道三號大甲溪橋)之沖刷危害等級，以彰顯本研究之代表性。

(二)110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

我國現正積極發展離岸風電，未來或可考慮納入離岸風機相關鋼材之腐蝕性實測研究，並可考慮與國內其他長期從事金屬腐蝕相關研究之單位合作(如中鋼公司、金屬研究發展中心等)，結合港研中心之大量試驗站與外單位所能提供之各種材料試樣，達相輔相成之效。

(三)110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

1. 本計畫之前期研究歷年來已累積許多觀測資料，並已用來進行諸多研究，未來宜持續發揮這些寶貴資料之價值，期待能據以產出更多研發成果。
2. 惟需注意因系統建置迄今已有相當時間，部分儀器可能有到達壽限無法繼續提供可信資料的狀況(尤其井下地震儀、水壓計等)，建議於定期維護時進行盤點，確實掌握系統之狀態，必要時應將失效之儀器予以退場，並彈性調整系統之架構。

(四)港區工程基本資料庫移轉建置研究:

資料庫之整合與操作介面單一化將能使其服務效能提升，予以肯定。

(五)港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

本計畫之新興科技應用似主要基於影像判釋，則建議除了近景影像之外，亦可納入遙測影像相關技術，如已應用於

地表與工程構造物變位觀測之干涉合成孔徑雷達(In-SAR)等，除了使含蓋技術更為多元，應有助於提升巡檢效率。

(六)透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 本計畫屬前期研究性質，透地雷達設備發展甚為成熟，本研究重點為透地雷達擷取資料之分析、判讀與處理方式，方向應屬正確，建議執行過程中可諮詢國內學界或實務界相關專家，吸取其實貴經驗。
2. 建議除了道路孔洞，亦可考慮納入碼頭後線鋪面之孔洞檢測。

四、朱志光委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 本案針對現有橋墩，建議說明依流場理論或水工試驗結果或經驗其在橋址多少範圍內，需予納入作評估試驗。
2. 有無需要對現地表面或地下地質作一簡述，有別於傳統工法之抗沖刷效果如何?
3. 對於基礎保護之斷面改善方案，建議可列出先前研選的初始方案及評比結果，並說明採用之理由。
4. 有無該區域雨量、下雨時間、斷面流量、時間相對作成沖刷量的評估、模擬數據?如有，建議可以稍加說明。
5. 以無人機觀測，有其便利性，對於水面以下資料如何取得?建議可略加說明。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

1. 對於試驗位置之地域、氣候、潮位、海水的化學成份如鹽度、環境空氣中化學成份等因子之相關性分析比較，建議可稍作說明?
2. 建議未來是否考量於新、改建工程階段，直接對於工程本體進行實體試驗，如保護層之效果。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

對於地層下陷部份建議如下:

- (1). 地層下陷大區域未來是否可以有三度空間的視覺圖形立體呈現，建議有時間歷程與沈陷量的動態或圖片展示。
- (2). 對於未來港區新填區、關鍵設備區(如化槽區)、結構、管電線等有安全疑慮之區域進行預防性監測，建議後續可考量。
- (3). 儀器用 19 年才壞，表示品質或維管成效不錯，因現今科技發達，建議未來在經費允許下，一些老舊設備可逐年汰換。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究:

1. 對於港區工程基本資料，其蒐集建議對於正確性、精確性、可信度，未來建議可研究稍作說明管理機制。
2. 建議對於提供界面使用平台下載格式、查詢、輸入之編碼方式與港公司暨有之資訊圖資介接，另未來可考量研究參考如 goole map，查詢時有照片、位址、詳細資訊、衛星圖轉平面圖、店家項目、市價等等。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

1. 對於巡檢常發生路面坑洞(含雨後)影響交安，事故後處理均是問題，建議可針對此類型問題進行分析，並探討未來如何應用新興巡檢技術來做到預防之可行性。
2. 重要的設施及重要結構，如大排河岸、護坡、邊坡，建議考量用無人機方式巡檢，臺中港潮差大，巡檢如何掌握低潮，建議可稍加說明。另可以共桿方式設置 AI 監視系統來進行港區智慧監測，用來預防港區偷倒垃圾，即時性鋪面、面版、溝蓋損壞之查報作業，以提升管理效能。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 南堤路海堤邊及附近圍牆內外地均有發生下陷，也多次修補，這部份建議可以納入探討。
2. 對於道路、貨櫃場地 AC 鋪面、露儲場等、管線、水溝、

人孔、箱涵、大排旁建議可以考量先小區、小項目、重點試辦。

五、 陳桂清委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 本計畫為整體水工模擬及現地鋪設工法可行性計畫之驗證及成效評估，研究成果未來對國道及其它道路跨河橋梁橋墩之保護可提供有效之規劃及設計，應予肯定。
2. 研究內容包含地工織布對基樁的保護成效觀測、工法成效評估及後續研擬改善方案等項目，顯示規劃非常務實與具體。
3. 引用高端科技 UAV(無人飛行載具)評估，不但可快速了解整體驗證的成效，同時降低現地觀測風險及人力成本，此技術應予肯定與推廣。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

1. 計畫已執行多年，為一長期性計畫，成果相當豐碩，提供金屬腐蝕基礎資料最完整的資訊，多年來國內產經發展快速加上環境變遷，原規劃之試驗點及涵蓋的面積已呈現不足，如經費及人力許可下，建議後續可增加若干試驗線或地區，諸如彰濱工業區、鄰近離岸風電區…等等。
2. 大氣曝放之螺旋線材如鋁(Al)，其腐蝕量甚微不易量測，線材試樣清洗過程應多加謹慎。
3. 本計畫包括大氣與水下金屬腐蝕之調查，與離岸風電設施所處腐蝕環境相似，建議後續將此議題納入探討。
4. 建議未來計畫可增加防蝕工法、防蝕材料之探討。
5. 建議與產、關、學界合作，致力推廣「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」之應用。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

1. 臺灣位處於頻繁地震帶，港區營運安全乃國人必需關注

的重大交通設施，建置港區震災速報系統有其必要性，它可以即時掌握地震規模及可能災損程度外，同時港務人員亦可即時啟動適當的救災作業，降低損失。

2. 地層下陷量與水位變化等歷年數據，建議未來可考慮納入「港灣構造物維護管理系統」。
3. 定期對各港區監測站之儀器設施，進行更新維護有其必要。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究:

1. 將原來兩個各自不同架構系統，整合為同一架構、模組下之管理系統，便於港務單位操作與管理。
2. 整合後之維護管理系統，除港務單位內部人員使用外，建議可局部開放外界使用，以達資源共享。
3. 整合後之維護管理系統，移轉之資料庫數據必須精確無誤，且須有資安查核機制，以確保系統內資料正確安全。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

1. 本港灣構造物維護管理系統建置已有多多年，歷年來不斷的精進與擴充功能下，本年度本系統應可完整移交給臺灣港務公司運作，港研中心同仁的努力與付出，應予肯定。
2. 港區幅員遼闊，各類型構造物林立分布，引進新興科技諸如 UAV、AI 或光達-3D...等儀器，應用於港灣設施之檢測，有其優勢的地方，諸如可縮減巡檢時間、迅速瞭解狀況、克服許多檢測的困難或障礙及節省人力...等等，值得鼓勵引用。但是，有些檢測結果之準確性，則須經驗及累積實例來輔助判讀。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 透地雷達為一非破壞性檢測儀器，其優點為不須破壞或開挖構造物、道路及邊坡...等，檢測環境除含有海水、黏土、淤泥及不均勻沉陷等外，均能從標的物外觀快速偵測出其內部缺陷或隱藏微型構件，諸如孔洞、塌陷、管線... 等各種狀況。

2. 建議可多選擇其它新興科技探討。

六、 柯正龍副主任

- (一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證
水工模型試驗之模擬條件，建議可將極端氣候因素予以考量。
- (二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究 14 處鈹片試驗
場址目前已無施放試片，資料上是否仍需呈現？
- (三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究建議
可將歷次所發布之地震簡訊彙整，並與氣象局所發布之資料
進行分析比較。
- (四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究於移轉作業上，港灣構造
物維護管理資訊系統是否需另開發新模組以納入港區工程
基本資料庫？其資料整合之移轉，務必確保正確安全。
- (五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討同
仁們應進行相關新興技術之涉略及學識之提升，以瞭解技術
內涵、限制及適用性(導入之可行性)。

柒、 結論：

- 一、感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁
將委員意見納入參採，俾提升研究成果之廣度及實用性。
- 二、因今年度臺中港務分公司預計辦理疊標改建作業，改採桁架結
構設計，應可作為佈設監測設備之適當觀(量)測場址(飛砂、氣
象資料、風剖面、CCTV 等)，各科可依業管計畫所需進行相關
規劃。

捌、散會：下午 12 時 20 分

附錄四

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

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 110 年自辦研究計畫第 1 次工作會議

貳、時間：110 年 6 月 21 日(星期一)下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：蔡主任 立宏

紀錄：鄭登鍵

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、主席致詞：略

柒、單位簡報：略

捌、討論議題：

一、工作進度說明：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 110 年 2 月 26 日拜會高公局中分局大甲段蒐集最新橋梁及河床資料，並至該段轄管具沖刷潛勢橋梁現勘，瞭解鋪設地工織布現地試驗之可行性。
2. 於 110 年 4 月 13 日完成自辦計畫專家學者座談。
3. 於 110 年 4 月 19 日完成 UAV 飛行拍攝試驗場址及建模作業，將初始河床地貌予以數值化紀錄。
4. 俟全國第三級防疫警戒解除後，擇期進行平面及高程量測作業，及以 UAV 進場進行第 2 次拍攝。
5. 預計於今年 7 月開始，以室內水工模型沖刷試驗，研提試驗橋址的橋墩基礎保護工法鋪設斷面改善方案，供未來國道 3 號大甲溪橋橋墩基礎保護工法鋪設之規劃設計應用。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，於 3 月完成全島 110 年第 1 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，4 月完成相關化學分析。原訂全島 110 年第 2 季現場大氣腐

蝕環境調查研究外業取樣維護事宜，因疫情影響為配合防疫作業停止辦理。

2. 於 110 年 4 月 13 日完成自辦計畫專家學者座談。
3. 完成 2020 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報發行，於 110 年 5 月 11 日出版，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。
4. 為廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，將於 8 月 27 日投稿於中華民國防蝕工程學會「110 年度防蝕工程年會暨論文發表會」，投稿題目為「2009 至 2019 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討」目前撰稿整理中。
5. 統整腐蝕資料庫，進行沿岸地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 維護各港區地震災況速報系統，使其能正常運作。
2. 於 2 月、5 月完成第 1-2 季各地區地層分層沉陷及水位量測。
3. 於 4 月完成花蓮港地表地震監測設備遷移工作及專家學者座談會。
4. 於 5 月配合港灣構造物維護管理資訊系統介接速報系統相關事宜，及辦理布袋港區地震監測站中央集錄系統更新工作。
5. 各港防救災管理相關人員經常異動，6 月函請港公司提供最新地震簡訊接收者之名單資料。
6. 於 6 月完成上半年各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 研析港區工程基本資料查詢系統與港灣構造物維護管理系統之系統架構。
2. 分析港區工程基本資料庫可移轉之資料項目。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例及相關文獻，內容包含 UAV(無人飛行載具)、ROV(遠距遙控載具)、三維影像重建技術、劣化影像辨識及比對、透地雷達等，以供未來應用於港灣設施巡檢之可行性及研究方向參採，藉以盤點可實行之標的。
2. 已於 110 年 2 月 4 日、4 月 16 日拜會臺灣港務公司並洽談需求及工作項目。
3. 已於 110 年 3 月 18 日拜會連江縣政府港務處並洽談需求及工作項目。
4. 已於 110 年 4 月 21 日召開專家學者座談會議。
5. 持續依臺灣港務公司、連江縣港務處等使用端需求，更新並精進系統及 APP 相關功能模組。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 報告蒐整之透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討相關文獻。
2. 於 110 年 4 月 13 日完成自辦計畫專家學者座談。
3. 觀摩透地雷達檢測現地案例，學習現地檢測之檢測流程，以及注意相關事項等經驗。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 架設縮時攝影機之可行性。
2. 建議後續年度可增加以數值水理分析方式來探討。
3. 建議可與相關工程顧問公司討論，將本工法於設計階段予以導入。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 建請將國內外最新腐蝕相關規範進行更新整理。
2. 為提供完整準確腐蝕資料，數據品質需掌控並逐一檢

視。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 本計畫預計今年是自辦計畫最後 1 年，後續相關地震設備及地層下陷調查工作之討論。
2. 明年以港務公司代辦計畫方式辦理，建議進行地震可能引起的液化風險做分析，以精進港區震災速報。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 後續報告內容的加強與補充討論。
2. 工程基本資料庫移轉後，相關資料的更新建置問題討論。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 維護管理機制、科技應用案例等相關文獻之蒐整及後續應用討論。
2. 港灣構造物維護管理資訊系統後續擴充及精進內容之討論。
3. 其他後續工作項目討論。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 透地雷達檢測於相關民間航空公司使用狀況，民間航空公司所使用的跑道為剛性鋪面，剛性鋪面裡有埋設鋼筋結構體，透地雷達檢測性質遇到導電度大時，所檢測出的雷達影像會模糊，後續判讀較為困難，透地雷達檢測不太適用剛性鋪面。
2. 分享案例中的超音波檢測儀器，檢測原理為透過音波頻率發射，也依反射原理接收反射波訊號，所接收反射聲波來判讀檢測位置狀況。

玖、結論：

一、國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

後續年度數值水理分析之導入，請主辦同仁可預先規劃。

二、110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

- (一) 相關國內外最新腐蝕相關規範文獻，將積極收集彙整將其納入於研究報告參考文獻。
- (二) 腐蝕數據相關試驗皆以標準化規範作業進行，例如：腐蝕劣化因子中氯離子定量分析檢量線的建立，定量前須先瞭解儀器對於氯離子的最低偵測極限以及最大偵測極限，然後選擇合適濃度範圍製作檢量線，以確保資料數據品質。

三、110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

- (一) 明年以港務公司代辦計畫方式辦理，各港區由於興建及增建碼頭及防坡堤，陸續地質鑽探資料會越來越多，應朝地震可能引起的液化風險進一步分析，以精進港區震災速報。
- (二) 今年報告撰寫應增加引用其他單位研究成果，以突顯本所研究的特色及重要性。
- (三) 港區震災速報及地層下陷調查計畫預計今年是最後 1 年，地層下陷調查工作項目今年將結束，明年將以港務公司委託代辦計畫「港區震災速報系統」繼續維運，相關地震設備於使用期限屆期且不堪使用時應予報廢，後續因應港務公司地震防災需求，應透過代辦計畫經費辦理相關工作。

四、港區工程基本資料庫移轉建置研究

- (一) 後續之報告內容請加強參考文獻與前期計畫的審查意見的彙整。
- (二) 後續移轉到港灣構造物維護管理系統的新增與更動港區基本資料之建置，原則由港公司來自行擴充。

五、港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

- (一) 本計畫建議可參考 TBMS 產出月報，以利瞭解系統運維情形及使用者意見處理狀況。

- (二) 本計畫建議盤點國內外相關新興科技之可行技術，於未來規劃以自辦或合辦方式進行場域試辦並推廣應用。
- (三) 本計畫建議持續加強與港公司之雙向互動及溝通聯繫，瞭解其需求和使用者的回饋建議，並可參考納入部務會報有關今(110)年度臺灣港務公司重點工作簡報內容。
- (四) 本計畫蒐集新興科技應用案例過程，亦可同步瞭解目前港務公司或相關單位之現場需求、執行困難等，以確立後續研究課題方向符合實際需要。

六、透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

- (一) 相關透地雷達檢測儀器設備種類，請收集彙整將其納入於研究報告資料。
- (二) 請蒐集針對透地雷達應用於道路孔洞的案例，如臺中港南堤路案例等。
- (三) 請拜會訪談相關道路管理單位，瞭解應用單位需求，給予本案相關的意見，作為後續研究之參採。

七、通案性建議(柯副主任正龍)：

- (一) 建議參考交通部王部長上任後，部務會報中各部屬單位（公路總局、高速公路局、航港局、港務公司、民航局…）110 年度重點工作之簡報，檢視是否有可供計畫執行參考項目，俾利研究成果落實應用。
- (二) 承上，110 年 6 月 7 日所長指示，1785 次部務會報航港局簡報資料內容精簡，卻能明顯點出重點，易讀易懂，很值得本所學習，請轉知同仁參考。
- (三) 本計畫多為 4 年計畫最後 1 年，建議檢視前期各期末報告審查意見處理情形表及今年 3 月 16 日本所召開本中心自辦計畫討論會議所長及各單位意見，是否仍有委員意見可供本年度持續精進或可加改善部分，做為今年度研究參考。結論及建議內容，並以 4 年期整體成果闡述。
- (四) 建議於 8 月 31 日前辦理之工作會議，各計畫先提出報告前 3 章內容，互相討論。

拾、散會：下午 17 時 0 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科 110 年度自辦研究計畫第 1 次工作會議

時間：110 年 6 月 21 日(星期一)下午 2 時

地點：本所港研中心5樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

單位	簽名
港研中心本部	柯正廷
港研中心第一科	賴瑞尊 胡怡 曾文傑 莊凱迪 吳登鏗 張育光 黃子瑞 謝少輝
港研中心第二科	李修穎
港研中心第三科	林雅雯

附錄五

自行研究計畫第 2 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

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 110 年自辦研究計畫第 2 次工作會議

貳、時間：110 年 8 月 27 日(星期五)上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴科長 瑞應

紀錄：莊凱迪

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、主席致詞：略

柒、單位簡報：略

捌、討論議題：

一、工作進度說明：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地保護成效觀測。
2. 室內水工模型試驗保護工鋪設改善方案研提。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 完成上半年大氣腐蝕劣化因子調查取樣及相關化學分析。
2. 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫，於 8 月 24 日出席 110 年港灣環境資訊系統維護與功能提升第 5 次工作會議，討論整合臺灣腐蝕環境分類資訊事項。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 維護各港區地震災況速報系統。
2. 更新臺灣港務股份有限公司提供之最新地震簡訊接收者之名單資料。
3. 110 年 7 月 2 日及 14 日分別完成上半年各港區地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作驗收及付款。
4. 彙整各地區地層分層沉陷及水位量測資料，並進行資料分析。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 持續分析港區工程基本資料庫可移轉之資料項目。
2. 持續建置港區工程基本資料庫碼頭斷面設計圖資移轉的查詢模組。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例及相關文獻，內容包含 UAV（無人飛行載具）、ROV（遠距遙控載具）、三維影像重建技術、劣化影像辨識及比對、透地雷達等，以供未來應用於港灣設施巡檢之可行性及研究方向參採，藉以盤點可實行之標的。
2. 持續蒐集並研析港灣構造物之維護管理相關文獻，內容包含維護管理計畫制定、巡查與檢測作業類別、方法、頻率和項目、構件劣化度判定及設施整體弱化度評估至維護維修計畫訂定。
3. 持續依臺灣港務公司、連江縣港務處等使用端需求，更新並精進系統及 APP 相關功能模組。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 持續蒐集國內外相關文獻資料。
2. 探討電磁波中的介質特性、儀器參數的設定值等影響透地雷達檢測之因素，俾利後處理影像判讀。
3. 完成報告前 3 章初稿架構。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 架設縮時攝影機之可行性。對於達河床載之河床流速估算，建議可納入考量。
2. 建議後續年度可增加數值水理分析。
3. 本計畫最終之成效評估，將如何規劃及執行？請妥為研擬。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 由於氣候變遷影響，建議評估檢討現有監測站地點，後續是否須更換或新增。
2. 本計畫為多年期連續性計畫，建議規劃研究成果提供研擬臺灣地區塗裝防蝕手冊參採考應用。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 報告內容後續加強與補充。
2. 港區震災速報系統明(111)年將以港務公司委託代辦計畫「港區地震速報精進與維護」繼續維運。原以井下地震設備介接本所港灣環境資訊網部分，後續規劃以地震速報設備進行介接。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 報告內容後續加強與補充。
2. 各港基本資料移轉維護管理系統後，後續資料更新與精進。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 維護管理機制、新興科技應用港務公司辦理情形及後續應用。
2. 後續教育訓練及成果推廣執行方式。
3. 新興科技應用案例等相關文獻之蒐整及後續應用。
4. 其他後續工作項目。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 報告內容後續加強與補充。
2. 透地雷達檢測道路孔洞案例蒐整及其他後續工作項目。

玖、結論：

一、國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

本計畫相關內容成果請先行彙整，以備提報發佈於交通部臉書專頁。

二、110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(一) 本計畫成果，為國內最完整之金屬材料腐蝕環境分類調查資料庫，建議後續可依實際環境增加監測站。

(二) 有關研擬臺灣地區塗裝防蝕手冊，後續請與產官學研各界研商所需提供資料內容。

三、110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(一) 本(110)年為本連續性計畫執行期程之最後1年，報告撰寫應彙整歷年研究成果進行研析，以突顯計畫特色及重要性。

(二) 地層下陷調查工作項目將執行至110年後結束，111年起將改辦理臺灣港務公司委託辦理「港區地震速報精進與維護」，繼續維運，原以井下地震設備介接本所港灣環境資訊網部分，後續將規劃運用地震速報設備進行介接。

四、港區工程基本資料庫移轉建置研究

(一) 本(110)年為本連續性計畫執行期程之最後1年，報告撰寫請併彙整研析歷年研究成果。

(二) 請統計移轉到港灣構造物維護管理系統的基本資料之清單，俾以提供臺灣港務公司後續資料擴充參採應用。

五、港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

(一) 110年6月2日與金門縣政府視訊研商會議之內容及結論，建議考量納入期末報告。

(二) 港灣構造物之特性應於報告完整說明，請依構造物功能容許變位值，加強探討檢測方法，以利擬定相關檢測標準，提供系統引用。

(三) 因應水下檢測困難及潛水人員日趨缺乏，建議加強蒐集並參考國外新興水下檢測技術與相關科技文獻。

六、透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

(一) 透地雷達檢測道路孔洞案例，請加強蒐集並彙整研析。

(二) 請儘速針對相關公路單位進行訪談，以利及早瞭解檢測實務需求，做為規劃後續研究方向之依據。

拾、散會： 12 時 00 分。

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 110 年度自辦計畫第 2 次工作會議

貳、時間：110 年 8 月 27 日(星期五) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
港灣技術研究中心本部	副主任	柯正龍
港灣技術研究中心第一科	研領 副研究員 研究員 研究員 助理研究員 副研領	胡昭文 鄭登鍵 曹文傑 張道光 莊凱迪 顏祈香 翁建明 王浩源
港灣技術研究中心第二科	科長	李伶翔
港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄六

自行研究計畫第 3 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

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 110 年自辦研究計畫第 3 次工作會議

貳、時間：110 年 10 月 26 日(星期二)上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長

紀錄：鄭登鍵

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 大甲溪橋地工織布保護工法現地保護成效觀測。
2. 室內水工模型試驗保護工鋪設改善方案研提。
3. 大甲溪橋地工織布保護工法現地保護成效評估。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 110 年 9 月進行全島 110 年第 3 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，並於 110 年 10 月完成化學酸洗試驗及化學分析。
2. 110 年 10 月 22 日辦理「110 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」，邀集部屬機關及縣市政府相關工程人員共同參與，圓滿完成。
3. 統整腐蝕資料庫，進行沿海地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 維護各港區地震災況速報系統，使其能正常運作。
2. 110 年 9 月完成「布袋港地震監測站中央集錄系統更新工作」驗收及付款。
3. 110 年 10 月 5 日至 7 日完成 110 年第 3 次各地區地層分層沉陷及水位量測。
4. 彙整各地區地層分層沉陷及水位量測資料，進行資料繪圖及趨勢分析。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 持續針對系統功能模組、資料庫及檔案與資料結構進行分析，整理評估可轉移項目之內容進行移轉。
2. 港區工程基本資料庫碼頭及堤防斷面設計圖資、港埠規劃配置及鑽探資料移轉之查詢模組建置。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 完成第 2 次自辦計畫工作會議結論辦理情形說明及回應。
2. 蒐整港灣構造物之維護管理及新興科技運用巡檢相關文獻。
3. 持續依臺灣港務股份有限公司（以下簡稱港務公司）、連江縣政府港務處等使用端需求，更新並精進系統及 APP 相關功能模組。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 持續探討檢測案例之現地問題與需求，規劃透地雷達現場檢測測線，俾利減少施工作業時間、費用及交通影響等問題。
2. 經透地雷達檢測及解析道路下之狀況，並得知目標物位置，大幅減少現地開挖範圍。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 燦樹颱風之影響，建議可納入討論。
2. 取盧碧颱風做為主要保護成效評估之降雨事件，除了考量高流量因素外，亦可將汛期前整備之人為干擾因素列入考量。
3. 簡報 P. 29-「未加固」一詞，建議修改為「未施作保護工」，較為妥適。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 預計於 110 年 12 月進行全島第 4 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，並於 111 年 1 月完成相關化學分析。
2. 預計於 110 年 10 月 29 日出席「110 年港灣環境資訊系統使用者說明會」，推廣臺灣腐蝕環境分類資訊系統。
3. 預計於 110 年 11 月 26-27 日參加中華民國防蝕工程學會「110

年度防蝕工程年會暨論文發表會」，投稿題目為「2009 至 2019 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討」。

4. 彙整調查成果並撰寫本計畫期末報告。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 期末報告內容討論。

2. 111 年以港務公司代辦計畫方式辦理，後續相關工作討論。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 系統移轉項目轉換資料筆數。

2. 鑽探資料移轉建置。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 港灣構造物維護管理及巡查檢測機制。

2. 新興巡檢技術應用。

3. 後續工作項目討論。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 補充與加強後續報告內容。

2. 持續蒐集與研析道路孔洞案例及其他後續工作項目討論。

柒、結論：

一、國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證
自辦計畫期末審查將屆，請掌握時效撰寫研究成果報告。

二、110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(一) 本計畫為本所之亮點計畫，每年舉辦研習會皆須發布新聞稿，
後續年度請留意公文簽稿之時效性。

(二) 持續加強宣導同仁試驗數據品管及工安之重要性。

三、110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(一) 本計畫 111 年規劃以港務公司委託代辦計畫「港區地震速報
精進與維護」繼續維運，後續因應港務公司實務需求，預計
於 110 年底前討論地震速報資料介接其他系統之相關工作。

- (二) 各港地震速報傳送之簡訊內容格式呈現不一致，請於 111 年地震速報精進，統一簡訊格式。

四、港區工程基本資料庫移轉建置研究

- (一) 系統各項設施資料除了移轉總筆數外，各港亦可分開統計。
- (二) 系統移轉後，後續新增設施資料，請建置相關填報格式，俾以提供港務公司進行維護工作。

五、港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

- (一) 建議加入系統及 APP 相關統計數據、教育訓練及使用者意見回饋，以利評估使用成效。
- (二) 原規劃新興科技應用巡查及檢測案例納於報告第 2 章文獻回顧，建議另改立章節詳述。
- (三) 本計畫蒐集國外應用 ROV 進行棧橋式碼頭底板劣化影像自動辨識之相關文獻，未來可做為本中心進行感潮河段梁底或港灣構造物檢測參採。

六、透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

- (一) 請補充說明本計畫針對相關單位有關透地雷達檢測道路孔洞之看法與需求的訪談結果。
- (二) 請掌握時效完成研究成果報告撰寫。

捌、散會：下午 12 時 10 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 110 年度自辦研究計畫第 3 次工作會議

貳、時間：110 年 10 月 26 日(星期二) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	副主任	柯正松
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 副研究員 助理研究員 研究員 助理研究員	王浩源 謝幼屏 胡俊文 鄭金健 曾文傑 黃亨瑞 吳建中 張道光 莊凱迪
本所港灣技術研究中心第二科		
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯