

112-015-7D32

MOTC-IOT-111- H1CA001d

111 年臺灣地區金屬材料腐蝕 環境調查與工業區關聯性研究



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

112-015-7D32

MOTC-IOT-111- H1CA001d

111 年臺灣地區金屬材料腐蝕 環境調查與工業區關聯性研究

著 者：羅建明、蔡立宏、賴俊呈、黃宇謙

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性
研究. 111 年 / 羅建明, 蔡立宏, 賴俊呈, 黃宇
謙著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所,
民 112.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-480-4(平裝)

1.CST: 金屬材料 2.CST: 浸蝕 3.CST: 管理
資訊系統 4.CST: 臺灣

440.35

112001089

111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

著 者：羅建明、蔡立宏、賴俊呈、黃宇謙

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 50 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•電話：(02) 2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-03300

GPN：1011200154

ISBN 978-986-531-480-4(平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

二二一年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

交通部運輸研究所

GPN : 1011200154

定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

| | | | |
|--|-------------------------|----------------------------|--|
| 出版品名稱：111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究 | | | |
| 國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-480-4(平裝) | 政府出版品統一編號 1011200154 | 運輸研究所出版品編號 112-015-7D32 | 計畫編號 MOTC-IOT-111 - H1CA001d |
| 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：賴俊呈、黃宇謙 參與人員：陳亭廷、李春榮、陶德勇、王培源 聯絡電話：04-26587110 傳真號碼：04-26564418 | | | 研究期間 自 111 年 1 月 至 111 年 12 月 |
| 關鍵詞：金屬腐蝕、腐蝕因子、腐蝕環境 | | | |
| 摘要： 臺灣地處亞熱帶，屬高溫、高濕、高鹽的海島型氣候，金屬構件甚易腐蝕。為此，有必要建置本土之水下腐蝕環境資料及腐蝕因子資料庫，以利做為結構物防蝕設計與維護管理應用依據。本計畫主要工作項目包括：1.臺灣全島及離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「大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會」。 本計畫研究成果顯示，氯鹽沉積速率以北部至西部沿海地區的試驗點氯鹽沉積速率較高，東部沿岸的以橄仔樹安檢所較其他試驗點高；平均氯鹽沉積速率在垂直海岸試驗線以冬季和夏季較高，桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及花蓮港試驗線相較其他試驗線高。二氧化硫沉積速率除靠近硫磺區的陽明山國家公園外，較高試驗點在西部的火力電廠及工業區；在特定試驗點，火力電廠由北到南皆呈降低趨勢。金屬腐蝕速率各垂直海岸試驗線之比較，碳鋼金屬以基隆、桃園及臺塑六輕試驗線較高，鋅金屬則以桃園、臺塑六輕及核三廠試驗線，不同季節中秋季較高，銅金屬與鋁金屬皆以臺塑六輕試驗線較為嚴重；特定試驗點則以西部火力電廠及工業區高於其他測站，碳鋼金屬在冬季和春季較高，而鋅、銅和鋁金屬則以秋、冬兩季較高。 金屬與環境因子關聯性研究選用彰濱工業區試驗站之數據進行統計分析，選取10個環境因子做為自變數，經篩選符合迴歸分析基本假設之碳鋼、鋅、銅、鋁金屬模式，碳鋼關聯之自變數為平均氣溫、濕潤時間、平均風向。鋅為平均風速、日照時數、平均風向。銅為平均風向、日照時數。鋁為平均風速、平均風向及氯鹽沉積速率。 | | | |
| 研究成果效益及應用： 提供工務單位瞭解構造物所處之腐蝕環境趨勢，以及臺灣港務公司、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 |
| 112 年 3 月 | 227 | 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 Metal Materials in the Corrosive Environment of Taiwan in 2022 and its association with industrial parks | | | |
| ISBN (OR ISSN) 978-986-531-480-4 (pbk) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200154 | IOT SERIAL NUMBER 112-015-7D32 | PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111- HICA001d |
| DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Ming Lo RESERACH FELLOW: Chun-Chen Lai, Yu-Qian Huang PROJECT STAFF: Ting-Ting Chen, Chun-Rong Li, Te-Yung Tao, Pei-Yuan Wang PHONE: 04-26587110 FAX: 04-26564418 | | | PROJECT PERIOD FROM January 2022 TO December 2022 |
| KEYWORDS: Metal Corrosion, Corrosion Factor, Corrosive Environment | | | |
| <p>Abstract:</p> <p>In Taiwan, which is within subtropical zone, the hot, humid and saline island-type climate makes metal structures prone to be corroded. Thus, it is necessary to establish the data on Taiwan's local underwater corrosive environment and the database of corrosion factors to serve as the basis for future design and maintenance management of corrosion prevention for structures. The main tasks of the present research include 1. A survey on the atmospheric corrosion factors across Taiwan and its offshore islands; 2. Making of standard specimens of atmospheric corrosion and measuring of corrosion rate at on-site exposure tests; 3. Establishment of database for atmospheric and underwater corrosion; 4. An analysis of correlation between metal corrosion and environmental factors; and 5. Holding the "Workshop on applications of atmospheric corrosion and anti-corrosion techniques".</p> <p>The results of survey on chlorides deposition rate revealed that in the four seasons, chlorides deposition rate was higher at the testing points in northern Taiwan to its west coastal areas, and, in east coast, it was higher at the Ganzaihu Inspection Office than other points; the mean chlorides deposition rate in the vertical coast test line was higher in winter and summer, and that in Taoyuan test line, FPG's Sixth naphtha cracker test line and Port of Hualien test line was higher than other test lines. Regarding sulphur dioxide deposition rate, the results of four instances of survey revealed that apart from Yanmingshan National Park which is adjacent to the brimstone zone, higher rates were found at coal fire power plants and industrial parks in the west; the survey results at specific test points revealed that sulphur dioxide deposition rates at coal fire power plant all displayed a tendency of decrease from northern to southern Taiwan. metal corrosion rates in the vertical coast test line were compared, where the corrosion rate of carbon steel was higher in Keelung, Taoyuan and FPG's Sixth naphtha cracker test lines, that of zinc metals was higher in Taoyuan, FPG's Sixth naphtha cracker and 3rd Nuclear power plant test lines, that of copper metals and that of aluminum metals were both more severe in FPG's Sixth naphtha cracker test line. the metal corrosions rates at specific test points were compared, where the corrosion rates were higher at coal fire power plants and industrial parks in the west than at other test stations; the corrosion rate of carbon steel was high in winter and summer, while that of zinc, copper and aluminum was higher in fall and winter.</p> <p>In the study of connection between metals and environmental factors with an example of Changhua Coastal Park test station, 10 independent variables of environmental factors were put to stepwise regression analysis and tested by screening into the metal models for carbon steel, zinc, copper and aluminum that meet the basic hypothesis of regressive analysis. The independent variables of carbon steel were mean air temperature, wet time, mean wind direction; for zinc, those were mean wind speed, sunshine hours, mean wind direction; for copper, those were mean wind direction and sunshine hours; and for aluminum, those were mean wind speed, mean wind direction and chlorides deposition rate.</p> <p>Benefits and Applications:</p> <p>The results are provided for construction bodies to understand the corrosive environmental tendency where the structures are, and can be provided as reference for all industrial, governmental and academic entities such as Taiwan International Ports Corporation, the Corrosion Engineering Association of R.O.C., the Industrial Development Bureau of MOEA, FPG, China Steel Corporation, engineering consultants.</p> | | | |
| DATE OF PUBLICATION | NUMBER OF PAGES | PRICE | |
| March 2023 | 227 | 200 | |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. | | | |

111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境與工業區 關聯性研究

目 錄

| | |
|-------------------------------------|------|
| 中文摘要..... | I |
| 英文摘要..... | II |
| 目 錄..... | III |
| 圖目錄..... | VII |
| 表目錄..... | IX |
| 第一章 前言..... | 1-1 |
| 1.1 研究目的..... | 1-1 |
| 1.2 計畫之重要性..... | 1-1 |
| 1.2.1 大氣腐蝕..... | 1-1 |
| 1.2.2 水下腐蝕..... | 1-2 |
| 1.3 國內腐蝕研究概況..... | 1-3 |
| 1.3.1 大氣腐蝕研究概況..... | 1-3 |
| 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 影響大氣腐蝕的因子 | 2-8 |
| 2.4 鋼材在海水之腐蝕 | 2-10 |
| 2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子 | 2-11 |
| 2.5.1 曝露區域 | 2-11 |
| 2.5.2 海水的性質 | 2-13 |
| 2.6 大氣腐蝕環境因子之參數建立 | 2-21 |
| 2.7 迴歸分析於大氣腐蝕應用 | 2-22 |
| 2.8 MLR 模式架構..... | 2-23 |
| 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 | 3-12 |
| 3.1.5 現地暴露試驗 | 3-14 |
| 3.1.6 試片腐蝕速率計算 | 3-16 |
| 3.1.7 試片腐蝕生成物清除與測試 | 3-16 |
| 3.2 腐蝕因子環境分類 | 3-19 |
| 3.3 海洋曝放環境 | 3-23 |
| 3.3.1 研究方法與規劃 | 3-23 |
| 3.3.2 各港區海水下金屬曝露試驗 | 3-24 |

| | |
|-------------------------------|--------|
| 3.3.2.1 各港區試片設計與試驗期程 | 3-24 |
| 3.3.3 試片腐蝕速率分析方法 | 3-31 |
| 3.3.3.1 試片定期採樣之處理分析方法 | 3-31 |
| 3.3.3.2 試片腐蝕分析步驟 | 3-31 |
| 3.3.3.3 腐蝕速率計算 | 3-32 |
| 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 |
| 4.2 二氧化硫沉積速率調查結果..... | 4-7 |
| 4.3 現地暴露試驗結果..... | 4-13 |
| 4.3.1 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較 | 4-31 |
| 4.3.2 特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較 | 4-31 |
| 第五章 工業區金屬腐蝕與環境因子關聯性分析..... | 5-1 |
| 5.1 彰濱工業區碳鋼金屬 MLR | 5-5 |
| 5.2 彰濱工業區鋅金屬 MLR | 5-7 |
| 5.3 彰濱工業區銅金屬 MLR | 5-10 |
| 5.4 彰濱工業區鋁金屬 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 專家學者座談會議紀錄..... | 附錄 1-1 |

| | |
|-------------------------|--------|
| 附錄二 第 1 次工作會議紀要..... | 附錄 2-1 |
| 附錄三 第 2 次工作會議紀要..... | 附錄 3-1 |
| 附錄四 第 3 次工作會議紀要..... | 附錄 4-1 |
| 附錄五 期末審查簡報..... | 附錄 5-1 |
| 附錄六 期末審查意見及辦理情形說明表..... | 附錄 6-1 |

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 | 2-10 |
| 圖 2.4 | 鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係 | 2-12 |
| 圖 2.5 | 海水含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係 | 2-14 |
| 圖 2.6 | 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係 | 2-15 |
| 圖 2.7 | 鋼材腐蝕速率與溶氧量之關係 | 2-16 |
| 圖 2.8 | 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係 | 2-18 |
| 圖 2.9 | 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形 | 2-19 |
| 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 | 3-11 |
| 圖 3.5 | 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754) | 3-12 |
| 圖 3.6 | 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753) | 3-14 |
| 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 | 3-15 |
| 圖 3.8 | 腐蝕生成物清除法作業流程圖 | 3-18 |
| 圖 3.9 | 水下腐蝕研究方法與規劃 | 3-23 |
| 圖 3.10 | 水下金屬腐蝕試驗架示意圖 | 3-29 |
| 圖 3.11 | 基隆港水下金屬曝露試驗架安裝 | 3-30 |
| 圖 3.12 | 水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖 | 3-31 |

| | | |
|--------|---------------------------------|------|
| 圖 4.1 | 垂直海岸試驗線之氣鹽平均沉積速率..... | 4-6 |
| 圖 4.2 | 特定試驗點之二氧化硫沉積速率..... | 4-12 |
| 圖 4.3 | 垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-33 |
| 圖 4.4 | 垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-33 |
| 圖 4.5 | 垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-34 |
| 圖 4.6 | 垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-34 |
| 圖 4.7 | 特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-35 |
| 圖 4.8 | 特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-35 |
| 圖 4.9 | 特定測站銅金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-36 |
| 圖 4.10 | 特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖..... | 4-36 |
| 圖 5.1 | 彰濱工業區試驗站位置圖..... | 5-1 |
| 圖 5.2 | 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析標準化常態 P-P 圖..... | 5-6 |
| 圖 5.3 | 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析之殘差散佈圖..... | 5-7 |
| 圖 5.4 | 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖..... | 5-9 |
| 圖 5.5 | 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之殘差散佈圖..... | 5-9 |
| 圖 5.6 | 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖..... | 5-11 |
| 圖 5.7 | 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖..... | 5-12 |
| 圖 5.8 | 彰濱工業區鋁金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖..... | 5-14 |
| 圖 5.9 | 彰濱工業區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 | 3-10 |
| 表 3-3 | 化學清洗法使用藥品及條件 | 3-17 |
| 表 3-4 | 濕潤環境分類表..... | 3-20 |
| 表 3-5 | 氯鹽腐蝕環境等級分類表 | 3-20 |
| 表 3-6 | 二氧化硫腐蝕環境等級分類表 | 3-20 |
| 表 3-7 | 金屬大氣腐蝕環境分類表 (以環境因子分類)..... | 3-21 |
| 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 | 3-22 |
| 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) | 3-25 |
| 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) | 3-26 |
| 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) | 3-27 |
| 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) | 3-28 |
| 表 4-1 | 氯鹽沉積速率表..... | 4-3 |
| 表 4-2 | 二氧化硫沉積速率表 | 4-9 |
| 表 4-3 | 特定試驗點之二氧化硫沉積速率表 | 4-11 |
| 表 4-4 | 碳鋼金屬之腐蝕速率表 | 4-15 |
| 表 4-5 | 鋅金屬之腐蝕速率表 | 4-19 |
| 表 4-6 | 銅金屬之腐蝕速率表 | 4-23 |

| | | |
|--------|-----------------------------------|------|
| 表 4-7 | 鋁金屬之腐蝕速率表 | 4-27 |
| 表 5-1 | 彰濱工業區金屬腐蝕與環境因子摘要表 | 5-2 |
| 表 5-2 | 彰濱工業區金屬腐蝕與環境因子統計表 2010~2020 | 5-3 |
| 表 5-3 | 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析之模型摘要表 | 5-5 |
| 表 5-4 | 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析之參數估計表 | 5-5 |
| 表 5-5 | 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析之變異數分析 | 5-6 |
| 表 5-6 | 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之模型摘要表 | 5-8 |
| 表 5-7 | 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之參數估計表 | 5-8 |
| 表 5-8 | 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之變異數分析 | 5-8 |
| 表 5-9 | 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之模型摘要表 | 5-10 |
| 表 5-10 | 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之參數估計表 | 5-10 |
| 表 5-11 | 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之變異數分析 | 5-11 |
| 表 5-12 | 彰濱工業區鋁金屬逐步迴歸分析之模型摘要表 | 5-13 |
| 表 5-13 | 彰濱工業區鋁金屬逐步迴歸分析之參數估計表 | 5-13 |
| 表 5-14 | 彰濱工業區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

臺灣地處亞熱帶，屬高溫、高濕、高鹽的海島型氣候，又因工業蓬勃發展及車輛急劇成長，依據國際標準組織（ISO）的大氣腐蝕環境分類準則，分為 C1 到 CX 等級，臺灣沿岸區域幾乎全為嚴重腐蝕等級 C5，部分地區甚至達到最高的 CX 等級。有鑑於腐蝕環境品質影響交通建設及工業發展甚巨，本所本於交通部之權責支援交通基礎設施設計、維護事宜，進行大氣腐蝕因子調查與金屬腐蝕試驗，目前為國內提供產官學各界完整長期金屬材料腐蝕環境分類應用之唯一單位。為利公共工程之防蝕設計，延長結構物之使用壽齡及降低維護成本，爰賡續辦理本研究。

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^[1-11]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縴鋼纜等各型鋼料，材質均有不同。其腐蝕之現象，由於在不同海域環境、季節、深度會產生不同腐蝕速率。根據本所過去所做相關研究報告中，在臺灣各大港口中，使用鋼構材料的碼頭大多為鋼版樁式。發現其鋼版樁有嚴重破損、穿孔之腐蝕現象，以致部分碼頭壁後砂石掏空，岸肩沈陷，嚴重影響碼頭之結構安全。如蘇澳港之駁船碼頭，鋼版板樁年腐蝕率超過 0.2 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，因此除延續過去相關研究，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 年起與台電公司合作在林口、澎湖、陽明山、大屯山及其它多處地點，從事 1~5 年不等的金屬材料及塗裝系統之暴露試驗。臺灣大學自 1987 年起與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^[30]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^[15]，剖析跨海大橋腐蝕原因，建立腐蝕調查及研究之邏輯，以澎湖跨海大橋中間段在改建路堤工程未完工前，原橋樑應作修補工作之建議並提供新建工程防蝕對策。提供國內交通橋樑及主要公共措施定期腐蝕調查與安全評估偵測之參考。從早期的調查研究發現，各港口鋼板樁碼頭腐蝕狀況差異極大，因此於 1989 年 7 月至 1994 年 6 月進行港灣鋼結構物耐久性研究^[16-19]，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^[14]，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^[21]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^[22-25]，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^[26-28]，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(鋼結構物)腐蝕之相互關係，並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，2000 年後持續進行之水下腐蝕研究計畫甚多，彙整於表 1-2。

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氯離子沉積速率數據, 進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類 | | 2004-2005 |

| 研究單位 | 研究方向 | 測試地點 | 研究期間 |
|----------------|---|--|-----------------|
| | 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 |
| 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 |
| 交通部運研所港灣技術研究中心 | 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 |
| 交通部運研所港灣技術研究中心 | 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 |

| 研究單位 | 研究方向 | 測試地點 | 研究期間 |
|----------------|---|--|---------------------|
| 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 ^[11] | 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 |
| 交通部運研所港灣技術研究中心 | 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究 | 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 | 2022.01- 2022.12 |

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 ^[12] | 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 ^[13] | 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 |
| 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 | 澎湖跨海大橋腐蝕調查研究 ^[15] | 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. 使用之調查方法洗及研究方法，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 |

| 研究單位 | 研究方向 | 研究說明 | 研究期間 |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| 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 ^[16-19] | 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 ^[20] | 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 ^[21] | 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 ^[22-25] | 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(鋼結構物)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 |

| 研究單位 | 研究方向 | 研究說明 | 研究期間 |
|--------------------------------|---|--|---------------------|
| 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 ^[26] | 本研究在基隆港東 2、西 21、西 22、西 26、西 27 號碼頭現場擺放試架觀察海生物種類，探討材料 (AISI1015 碳鋼、AISI304 不銹鋼，防止海生物附著油漆塗料，犧牲陽極)，水深 (低潮位線上 1 公尺及低潮位線下 1.0,3.0,5.0 公尺) 與水文及污損生物之關係。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 ^[27] 高雄港港工結構腐蝕 與海生物附著研究 ^[28] | 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 |

| 研究單位 | 研究方向 | 研究說明 | 研究期間 |
|----------------------------|--|--|---------------------|
| 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 ^[29] | 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 |
| 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] | 進行基隆港、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 國內商港水下試驗架試片第 1 年取樣 作業及水質化學試驗相關分析。 | 2017.01- 2018.12 |

| 研究單位 | 研究方向 | 研究說明 | 研究期間 |
|----------------------------|--|--|---------------------|
| 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] | 進行基隆港、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試驗架試片第 2 年取樣作業及水質化學試驗相關分析。 | 2019.01- 2019.12 |
| 交通部運研 所 港灣技術研 究中心 | 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究 | 進行基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門港等國內商港水下試驗架試片第 5 年取樣作業及水質化學試驗相關分析。 | 2022.01- 2022.12 |

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(SO₂)沉積量之調查，藉以分析季節與區域之關聯性。目前已建置氯鹽沉積量調查 66 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 55 個試驗點，隨計畫持續進行，其曝放試驗點、試樣等數量略有增減。

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，今年完成全島及外島(金門

與澎湖)第 5 年水下金屬試片現地取樣及化學試驗分析，試驗數據結果將於 112 年報告呈現。

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「港灣環境資訊網」圖臺「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 2010 年至 2020 年大氣腐蝕劣化因子調查與金屬暴露試驗進行工業區金屬腐蝕與環境因子關聯性分析。

9. 研究成果：

大氣腐蝕研究自 2021.10~2022.09 試驗期間共 4 次採樣，依一年期及各季試驗點調查：

- (1) 於 111 年 3 月、6 月及 9 月完成本島及離島大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，並分別於 4 月、7 月及 10 月完成金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析。
- (2) 於 111 年 4 月 13 日完成自辦計畫專家學者座談。
- (3) 完成 2021 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報發行，於 111 年 5 月 13 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「111 年度防蝕工程年會暨論文發表會」，投稿題目為「沿岸地區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子關聯

性統計分析」。

(5) 111年11月17日(台北場)及12月13日(高雄場)辦理「大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會」，邀請各工程管理人員與會廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，並積極推廣臺灣腐蝕環境分類資訊系統於工程界參酌採用，提供熱浸鍍鋅與橋梁防蝕。

(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。

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^[30] (大氣腐蝕性分類)、ISO 9224^[31] (各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225^[32] (污染量量測方法)、及 ISO 9226^[33] (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^[34-35]。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^{[36-}

^{37]}。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^[38]所示。

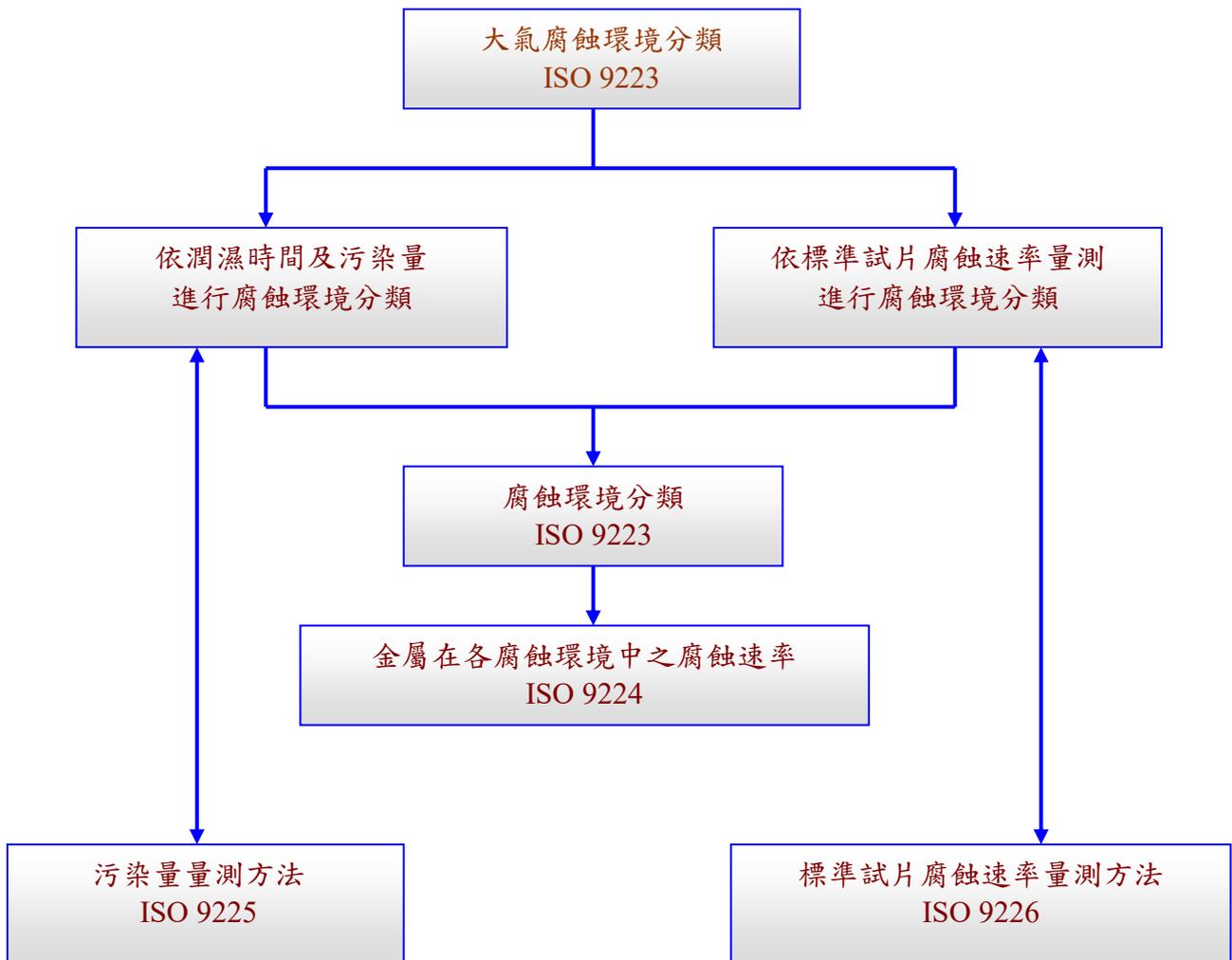


圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類^[30-33]

表 2-1 大氣腐蝕性分級對比^[30-33]

| 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^[39]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。

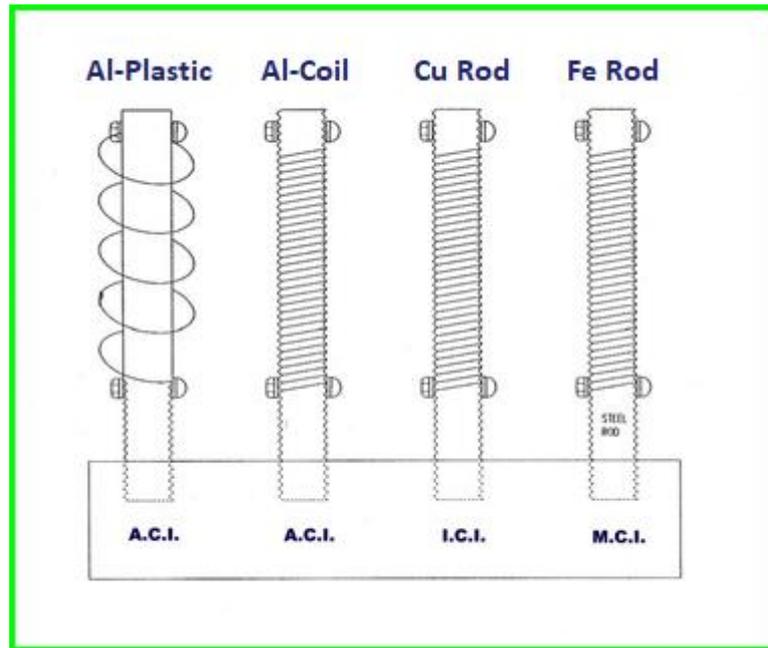


圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試^[39]

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^[40])，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^[41]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753^[42]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^[43]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122^[44]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，CNS14123^[45]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

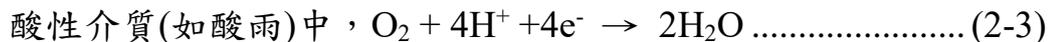
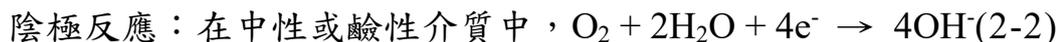
蒐集量測。

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^[46]：

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：



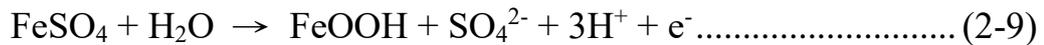
4. 空氣中的污染物質 SO₂

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。Odnevall 等人指出^[47]，在固定電極電位時，陽極溶解溶解電流是[OH⁻]與[SO₄²⁻]的共同函數，在含 SO₂ 的大氣中，腐蝕反應步驟如下：



由於 FeSO₄ 會與 H₂O 作用生成 FeOOH，而釋放出來的 SO₄²⁻則

再次與 FeOH 作用：



因而加速腐蝕反應。

5. 灰塵

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

2.3 影響大氣腐蝕的因子

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%^[48]。此外，空氣中相對濕度還影響金屬表面水膜厚度與乾濕交替的頻率；如金屬表面有較薄的水膜存在時，大氣中的氧容易擴散至金屬表面，加速腐蝕；當水膜變厚時，氧的擴散阻力增加，腐蝕速率下降。

2. 表面潤濕時間

依國際標準 ISO 9223 的定義，表面潤濕時間是指產生大氣腐蝕的電解質膜，以吸附或液態膜型式覆蓋在金屬表面上的時間；潤濕時間愈長，腐蝕總量愈大。而金屬表面的潤濕，則是由露水、雨水、高

濕度水分凝聚、甚至溶化的雪水所引起。

3. 日照時間

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

4. 氣溫

溫度的變化能影響金屬表面水蒸氣的凝聚、水膜中各腐蝕氣體和鹽類的溶解度、水膜電阻、以及腐蝕過程中陰、陽極的反應速度。一般而言，當相對濕度低於金屬臨界相對濕度時，溫度對大氣腐蝕的影響很小，即無論氣溫多高，因環境乾燥，金屬腐蝕輕微；但當相對濕度達到金屬臨界相對濕度時，溫度每升高 10°C ，反應速率增加為原來之2倍。

5. 降雨

降雨對大氣腐蝕有兩種影響，一方面因降雨增加，大氣中的相對濕度增加，延長了金屬表面的潤濕時間，同時也因降雨的沖刷，破壞了金屬表面腐蝕產物的保護性，加速大氣腐蝕；但另一方面，因降雨沖洗掉金屬表面的污染物與灰塵，減少了液膜的腐蝕性，減緩大氣腐蝕。此外，工業大氣中的雨水溶解了空氣中的污染物，如 SO_2 、 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。

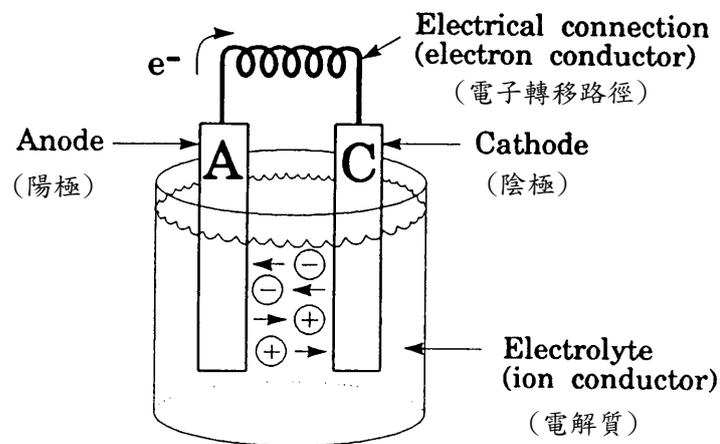
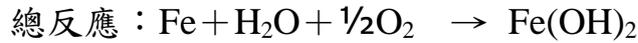
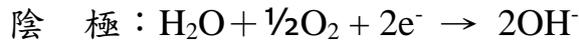
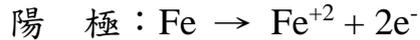
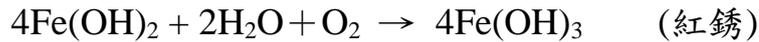


圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖^[49]

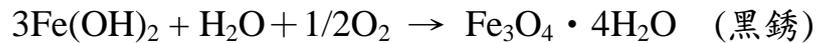
海水中之鋼材如鋼板樁之表面，因同時具有許多高活性區域(陽極反應)與鈍化區域(陰極反應)所形成之許多小腐蝕電池(corrosion cell)系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。鋼材在海水中發生腐蝕之電化學反應程序如下：



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



或



2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子

2.5.1 曝露區域

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

1. 大氣帶

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

2. 飛沫帶

自平均高潮位以上至海面大氣帶下端，屬於海洋大氣與海水交界面，鋼板樁曝露於此範圍內時，由於不斷反覆地受到海浪的潑濺以及日曬乾燥，產生乾濕循環作用，致使附著鋼材表面之鹽份及氧氣濃度

不斷增濃，腐蝕最為嚴重，腐蝕速率很大，為五個曝露區域中，腐蝕最嚴重的部位。一般低碳鋼如沒有任何防蝕處理時，其腐蝕速率可達0.5~1.0mm/yr.，約為海中帶（海水全浸區）的5~10倍。

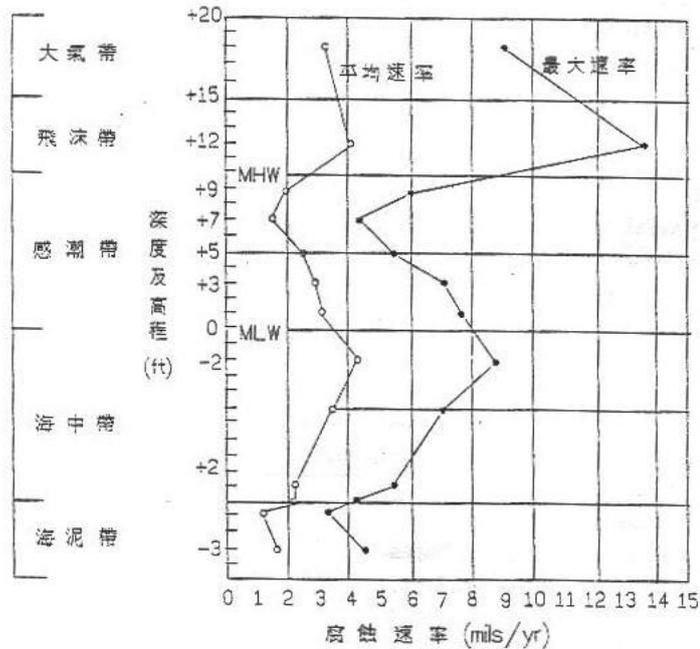


圖 2.4 鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係^[50]

3. 感潮(潮汐)帶

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

4. 海中帶

自低潮位下端至海泥(床)帶間，在此範圍內整個結構體完全浸泡於海水中。此區域之上端邊緣與最低潮位緊鄰的部位，因氧氣濃淡電池之作用，曝露於海中帶之鋼板可視為一陽極反應區域，因此海中帶上端部位之鋼板腐蝕速率很大，極需做適當的防蝕保護措施。在此區域中，海生物之附著、海流之沖擊、水溫及溶氧量等因素，亦會影響腐蝕速率。海水中鋼鐵之腐蝕速率一般為 0.1~0.2mm/yr.。

5. 海泥(床)帶

鋼板(管)樁埋入於海底土層之部份，由於與海水接觸面較小，鋼材之腐蝕速率相對很小。但是在污染的海域中，如有硫化氫(H₂S)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。

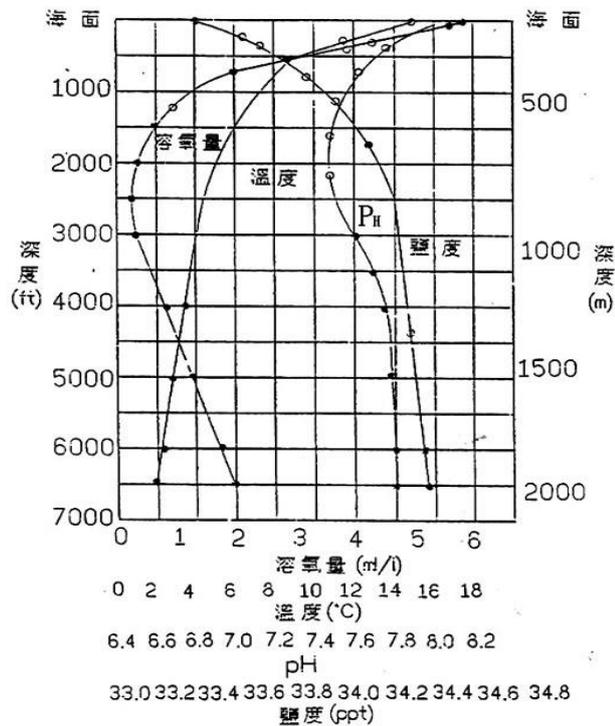


圖 2.5 海水含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係^[49]

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，溫度每上昇 10°K ，腐蝕速率則增加一倍。當海水溫度升高時，致使鋼材變成為較不貴重電位之金屬，此時鋼材之腐蝕電位開始移向電位更負之方向，亦即鋼材更容易進行腐蝕反應。港灣結構物等開放系統，隨溫度上升，溶氧量減少，鋼鐵之腐蝕速率變大，而如海水管線等密閉系統，雖然沒有溶氧量減少之發生，腐蝕速率仍隨溫度之上升而遞增。

3. pH 值

海水通常為一含鹼性之水溶液，海水之 pH 值是表示海水中多種基本離子與大氣層中之二氧化碳(CO_2)進入海水之量，達成平衡狀況之數值。一般海水之 pH 值正常情況下是介於 8.1 至 8.3 之間。但在停滯不流動之港灣海域中或是海水中之有機物體分解，一方面消耗海水中之溶氧量，一方面受到厭氧細菌作用產生大量之 H_2S 下，亦可能使海水變成較酸性，海水之 pH 值降低至 7.0 以下。但在較接近海水表面之部位，當海水中之植物進行光合作用時，將會消耗海水中之 CO_2 量，此時海水之 pH 值可能增高而超過 9.0 以上。又 pH 值之變化隨著海水之深度、溫度、溶氧量…等因素之不同而異，如圖 2.6 所示^[51]。

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^[51]，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。

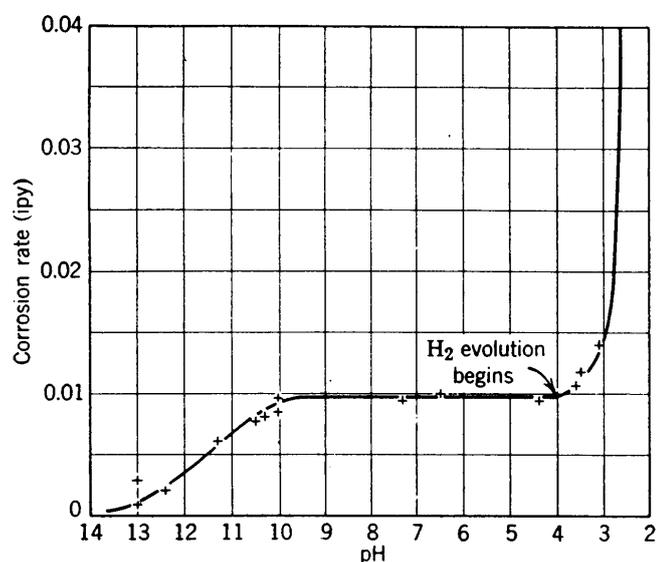


圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係^[51]

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^[52]。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。

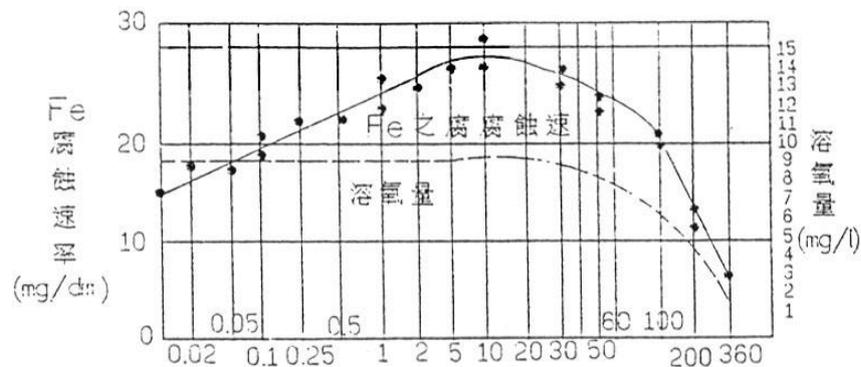


圖 2.7 鋼材腐蝕速率與溶氧量之關係^[52]

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^[53]。圖 2.8 為腐蝕速率與海水流速之關係。

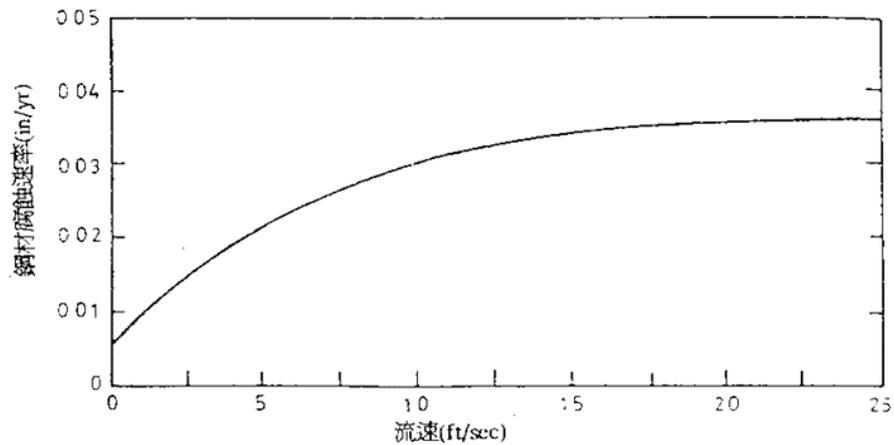


圖2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係^[53]

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^[54]。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。

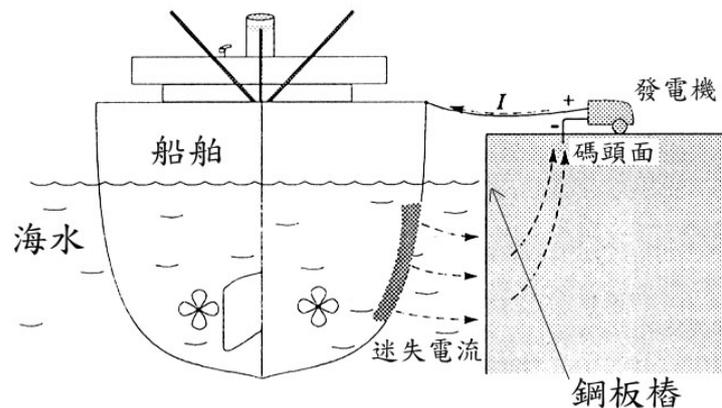


圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形^[54]

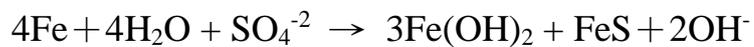
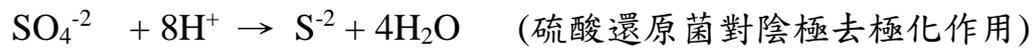
9. 海生物附著

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^[54]。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，則將來也可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)^[55]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氣鹽、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、二氧化硫和氣鹽；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)^[56]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、氣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，金屬暴露於室內雖有遮蔽與室外通風的環境下相比，室內腐蝕速率較高，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；反而在室外，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)^[57]發現空氣中氣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，氣鹽沉積速率愈小。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)^[58] 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)^[59]、Pourbaix(1993)^[60] 與 Morales(2007)^[61] 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)^[62] 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)^[63] 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(2011)^[64] 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、二氧化硫與溼潤時間 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)^[65] 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，以尋求適宜工業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)^[66]，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。當 2 個或以上的自變數互不獨立即彼此相關，就是具有共線性。共線性會使迴歸模型中存在著重複的自變數，提高某一自變數的解釋力與預測力，使得理論的建構不正確。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 氯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、花蓮檳仔樹安檢所、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 |
| | 檳仔樹安檢所 | 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 氣鹽沉積速率計算

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，安裝氣鹽採集裝置。氣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氣鹽沉積量。計算所得之氣鹽沉積率，以 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 表示。

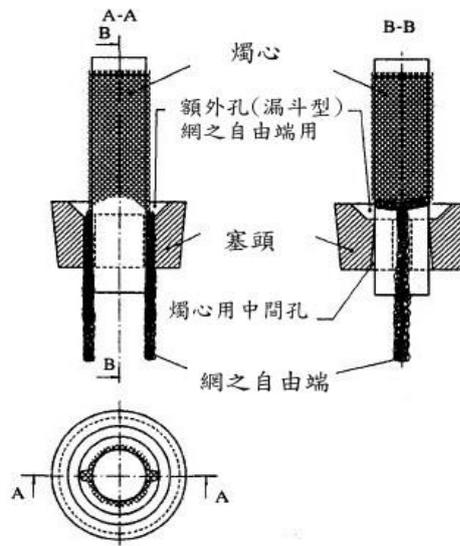


圖 3.2 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)

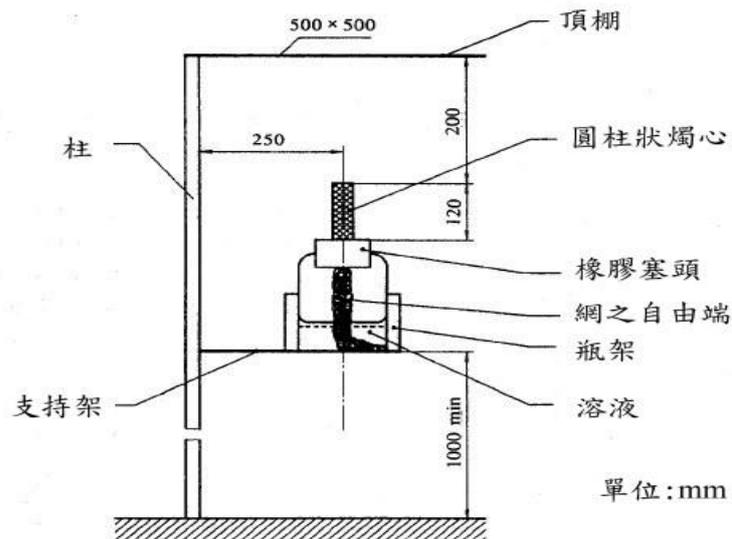


圖 3.3 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)

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：

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

- 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 |

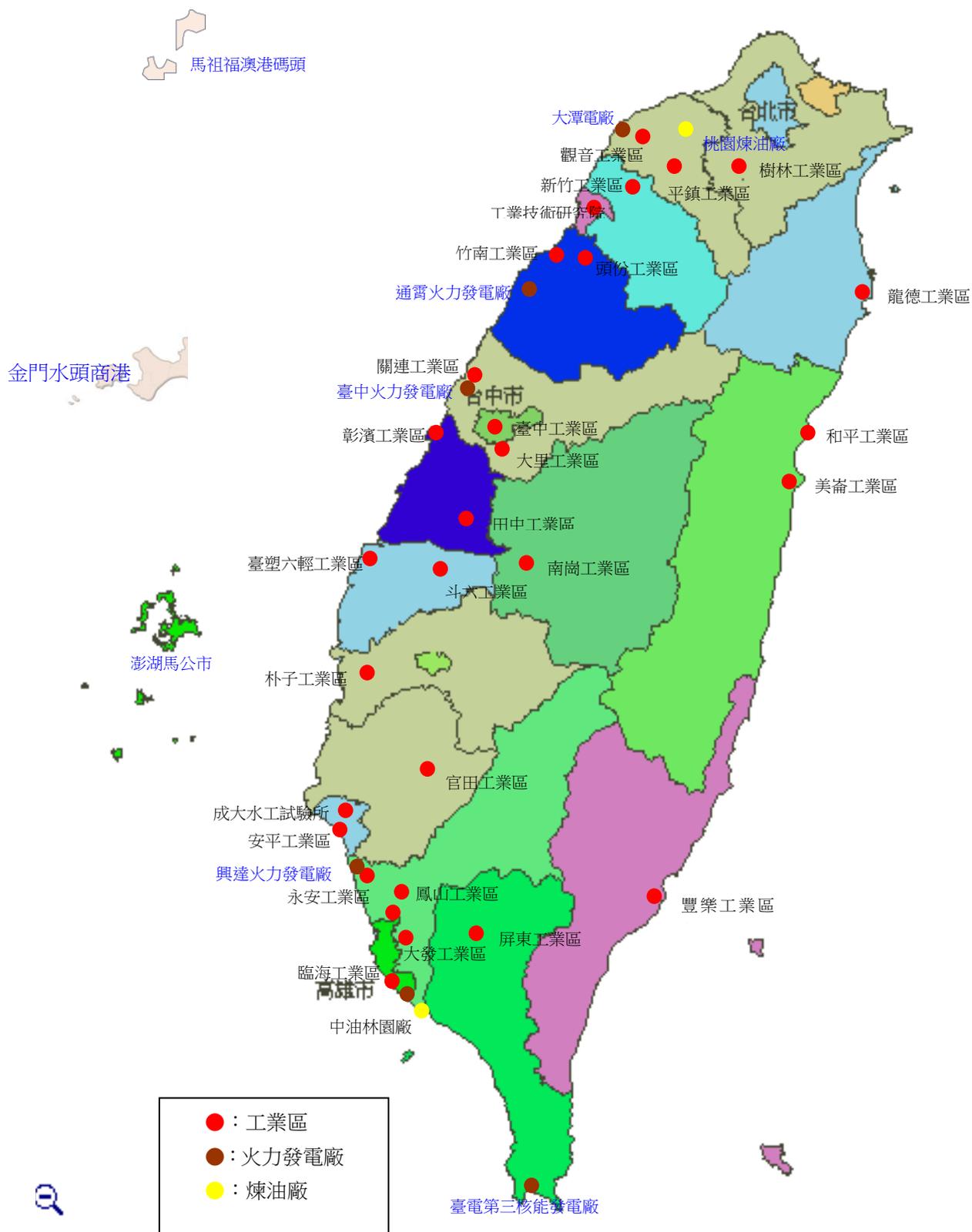


圖 3.4 二氧化硫沉積速率調查位置圖

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。

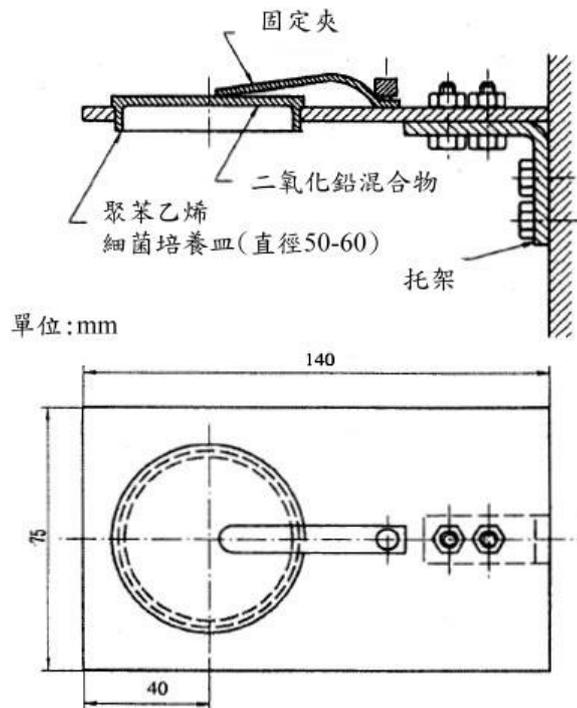


圖 3.5 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

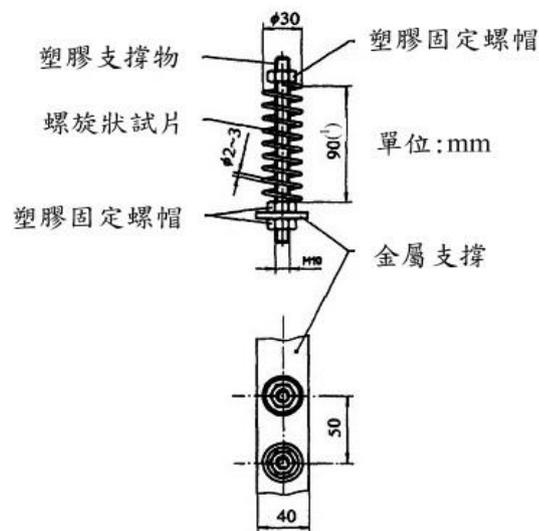
各試驗點暴露後回收的硫酸化平板依環保署水中陰離子檢測方法—離子層析法(NIEA W415.52B)測定，即使用碳酸鈉溶液先移出並溶解硫酸化平板之內容物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量。二氧化硫之沉積速率之計算如下：

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

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，在此環境下，曝放兩種不同試樣，一為螺旋試樣，另一為板狀試樣，相關試驗說明如後，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 個螺旋試樣試驗點。本研究針對螺旋試樣碳鋼、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。螺旋試樣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(Cu=0.03~0.10%, P<0.07%)，(2)鋅：98.5%以上之純度，(3)銅：99.5%以上之純度，(4)鋁：99.5%以上之純度；將以上金屬之線材，線材直徑 2~3 mm，碳鋼線材直徑為 2.65mm，鋅線材直徑為 2.35mm，銅線材直徑為 3.0mm，鋁線材直徑為 2.4mm 剪取約 1000 mm 長度，纏繞在直徑為 24 mm 的圓棒上，製成螺旋狀試片。設置站址如圖 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：

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

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 , $\rho=1.42$ 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

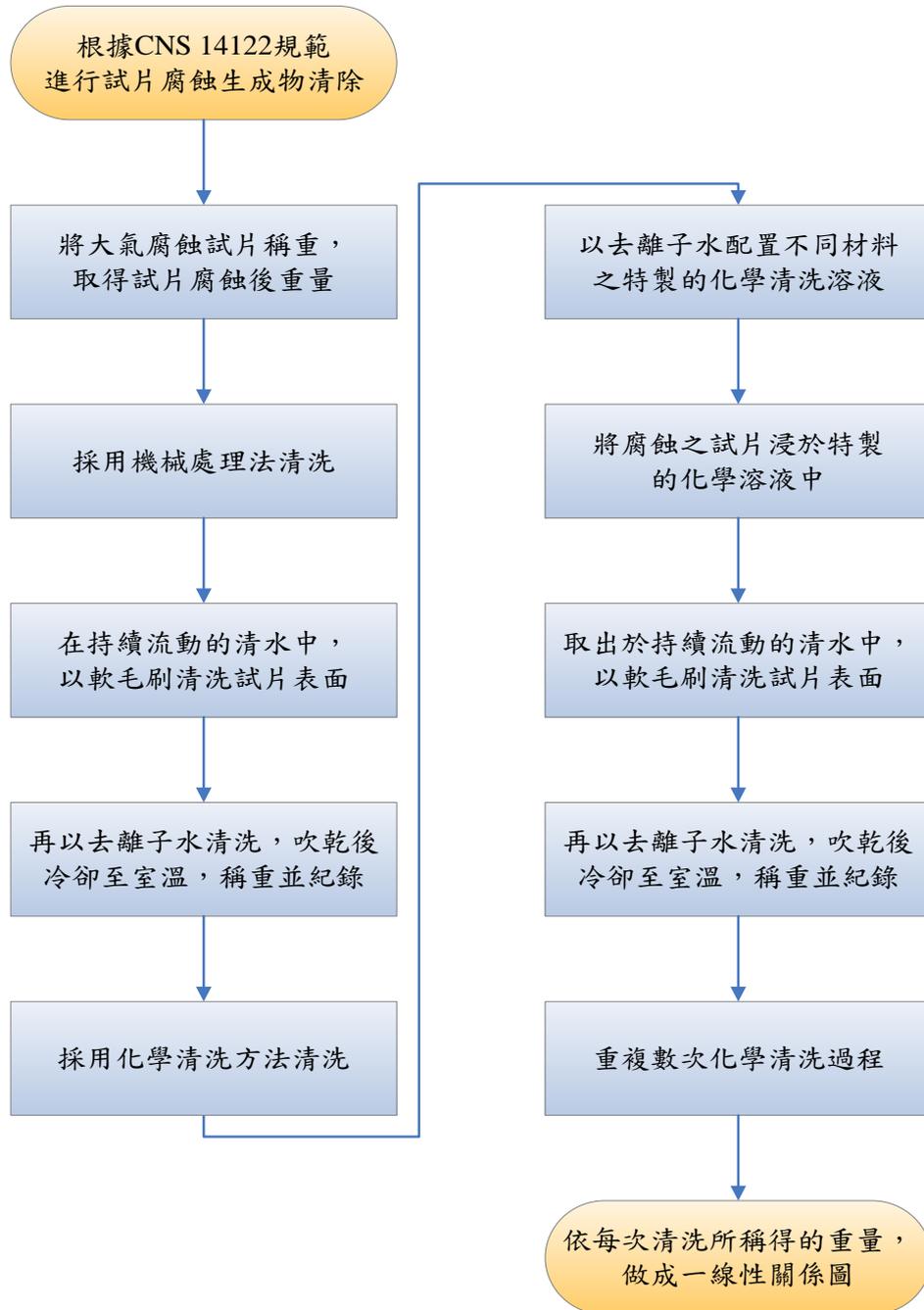


圖 3.8 腐蝕生成物清除法作業流程圖

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(media)，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_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 |
| P_0-P_1 | 1 | 1 | 1 or 2 | 1 | 2 | 3 or 4 | 2 or 3 | 3 or 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 or 4 | 5 | 5 |
| P_2 | 1 | 1 | 1 or 2 | 1 or 2 | 2 or 3 | 3 or 4 | 3 or 4 | 3 or 4 | 4 or 5 | 4 | 4 | 5 | 4 or 5 | 5 | 5 |
| P_3 | 1 or 2 | 1 or 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 or 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 鋅與銅 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 濕潤 氣鹽 二氧化硫 | τ_1 | | | τ_2 | | | τ_3 | | | τ_4 | | | τ_5 | | |
| | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 |
| P_0-P_1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 or 2 | 3 | 3 | 3 | 3 or 4 | 3 | 4 | 5 | 3 or 4 | 5 | 5 |
| P_2 | 1 | 1 | 1 or 2 | 1 or 2 | 2 | 3 | 3 | 3 or 4 | 4 | 3 or 4 | 4 | 5 | 4 or 5 | 5 | 5 |
| P_3 | 1 | 1 or 2 | 2 | 2 | 3 | 3 or 4 | 3 | 3 or 4 | 4 | 4 or 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 鋁 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 濕潤 氣鹽 二氧化硫 | τ_1 | | | τ_2 | | | τ_3 | | | τ_4 | | | τ_5 | | |
| | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 | S_0-S_1 | S_2 | S_3 |
| P_0-P_1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 or 3 | 4 | 3 | 3 or 4 | 4 | 3 | 3 or 4 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| P_2 | 1 | 2 | 2 or 3 | 1 or 2 | 3 or 4 | 4 | 3 | 4 | 4 or 5 | 3 or 4 | 4 | 5 | 4 or 5 | 5 | 5 |
| P_3 | 1 | 2 or 3 | 3 | 3 or 4 | 4 | 4 | 3 or 4 | 4 or 5 | 5 | 4 or 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

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

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-8 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

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

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，今年已進行至第 5 年試片取樣作業，將於 112 年將金屬腐蝕數據撰寫於報告。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

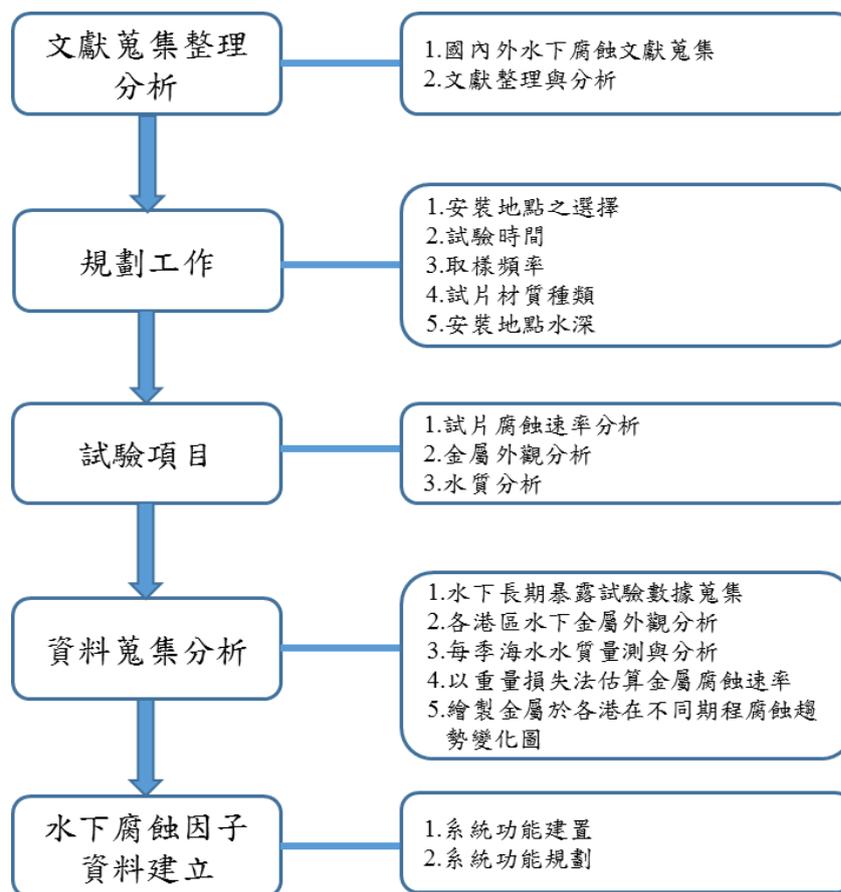


圖 3.9 水下腐蝕研究方法與規劃

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、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 | 15×10×1.0 | 2019/03/26 | 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 | | | |
| 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 | | | |

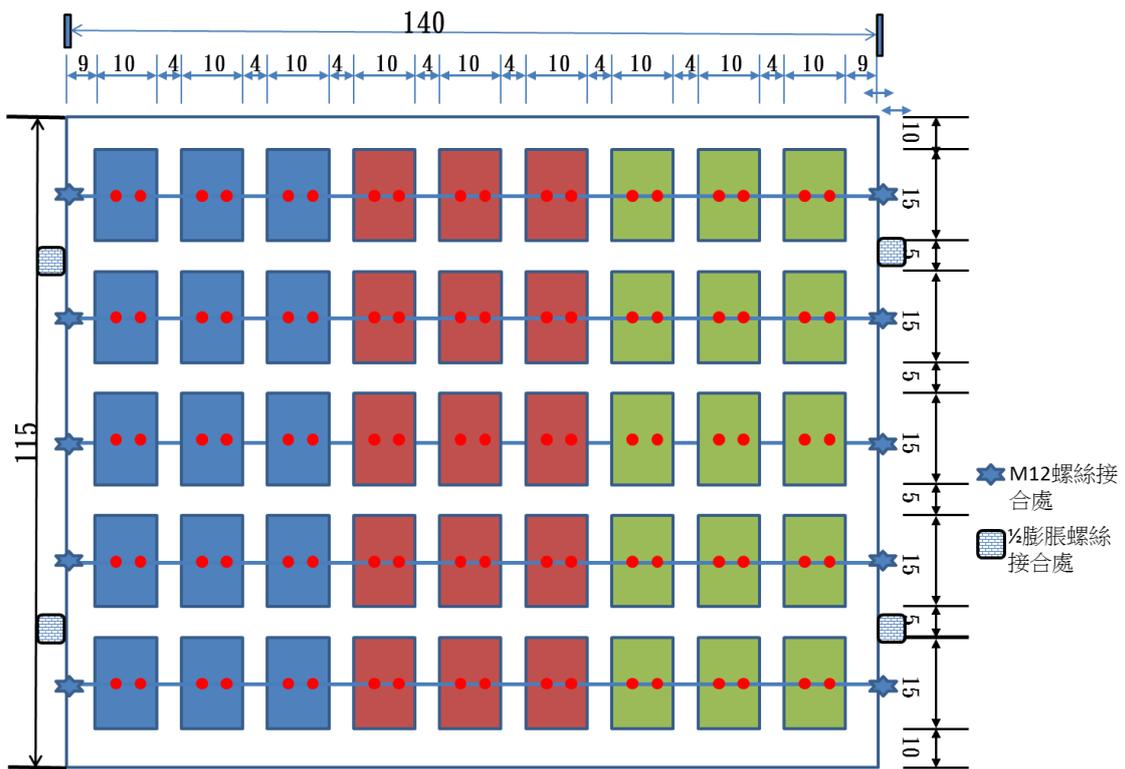


圖 3.10.水下金屬腐蝕試驗架示意圖

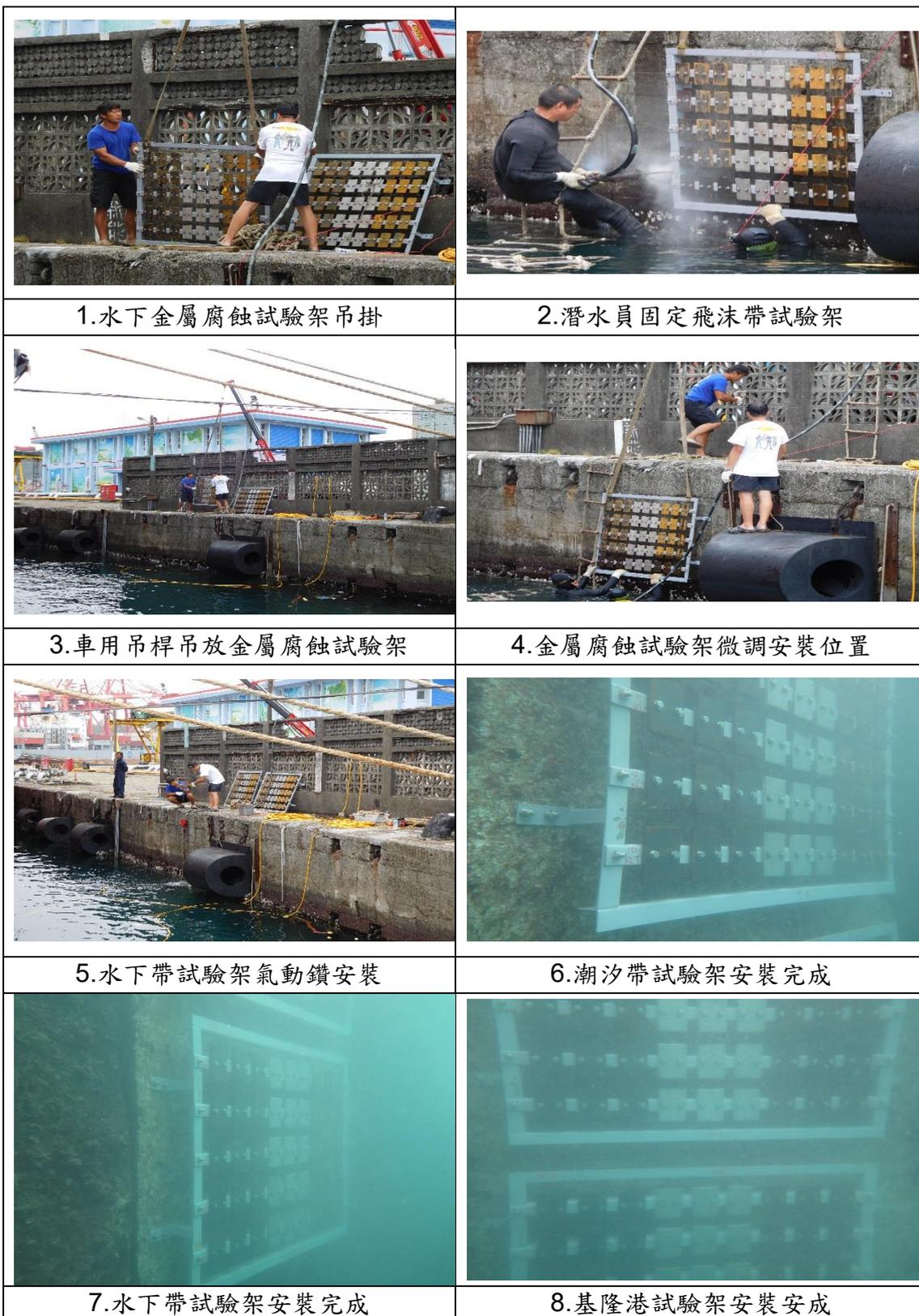


圖 3.11 基隆港水下金屬曝露試驗架安裝

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 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 表示，計算公式如下：

$$R_{corr} = \Delta m / (A \cdot \rho \cdot t) \quad (3.4)$$

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

4.1 氯鹽沉積速率調查結果

各試驗點採樣之氯鹽沉積速率計算結果如表 4-1。採樣的調查期間分別為 2021.10-2021.12(秋季)，2022.01-2022.03(冬季)，2022.04-2022.06(春季)，2022.07-2022.09(夏季)。

2021.10-2021.12 秋季期間，氯鹽沉積速率介於 0.4 mg/m²/day(阿里山石卓)至 95.5 mg/m²/day(檳仔樹安檢所)之間，而相對較高的沉積速率依序為檳仔樹安檢所、彰濱工業區、台塑六輕試驗線 300m、台塑六輕試驗線 0m，所測得的氯鹽沉積速率均為 CNS 13401 (ISO 9223)的分類標準 S2 (60 < S2 ≤ 300 mg/m²/day)。在太魯閣國家公園、埔里工務段、陽明山國家公園、霧社監工站、新中橫監工站與石卓監工站，所測得的氯鹽沉積速率皆低於 1.0 mg/m²/day。

2022.01-2022.03 冬季期間，氯鹽沉積速率介於 2.4 mg/m²/day(新中橫監工站)至 345.3 mg/m²/day(新竹漁港)之間，相對較高的沉積速率發生西部及北部沿岸，在新竹漁港、外埔安檢所、王功安檢所、桃園試驗線 500m，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 200 mg/m²/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皆低於 5 mg/m²/day。

2022.04-2022.06 春季期間，氯鹽沉積速率介於 2.7 mg/m²/day(新中橫監工站)至 203.3 mg/m²/day(檳仔樹安檢所)之間，相對較高的沉積速率依序為檳仔樹安檢所、外埔安檢所、基隆試驗線 100m、台塑六輕試驗線 300m，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 100 mg/m²/day，為分類標準 S2。而石卓監工站、谷關工務段、太魯閣國家公園、霧社監工站、平鎮工業區及新中橫監工站所測得的氯鹽沉積速率皆低於 5 mg/m²/day。

2022.07-2022.09 夏季期間，氯鹽沉積速率介於 3.0 mg/m²/day(陽明山國家公園)至 236.3 mg/m²/day(金門水頭商港)之間，相對較高的沉積

速率依序為金門水頭商港、永安安檢所、外埔安檢所、檳仔樹安檢所，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，為分類標準 S2。山區測點測得的氯鹽沉積速率較低，其中以谷關工務段、新中橫監工站、陽明山國家公園所測得的氯鹽沉積速率皆低於 $5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

圖 4.1 為氯鹽沉積速率與垂直海岸試驗線於距海岸 0m、100m、300m、1Km、3Km 等關係圖。由圖 4.1 結果發現，桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及花蓮港試驗線四季的氯鹽沉積速率明顯較其他試驗線來的高，且各試驗線皆以冬季和夏季的氯鹽沉積速率較高。

表 4-1 氣鹽沉積速率表

單位：mg/m²/day

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 1 | 基隆試驗線 0m | 11.1 | 153.3 | 34.3 | 31.2 |
| 2 | 基隆試驗線 100m | 37.1 | 190.9 | 118.0 | 100.8 |
| 3 | 梗枋安檢所 | 6.7 | 53.4 | 34.1 | 55.5 |
| 4 | 龍德工業區 | 2.3 | 32.1 | 20.4 | 24.0 |
| 5 | 蘇澳港試驗線 0m | 2.7 | 37.7 | 24.5 | 26.8 |
| 6 | 蘇澳港試驗線 300m | 1.7 | 15.0 | 8.4 | 9.7 |
| 7 | 南澳安檢所 | 3.6 | 56.4 | 15.6 | 33.1 |
| 8 | 太魯閣國家公園 | 0.8 | 7.2 | 4.1 | 6.2 |
| 9 | 花蓮港試驗線 0m | 34.4 | 177.0 | 97.8 | 130.1 |
| 10 | 花蓮港試驗線 100m | 13.5 | 90.0 | 18.6 | 51.4 |
| 11 | 花蓮港試驗線 500m | 6.9 | 74.2 | 34.0 | 55.8 |
| 12 | 橄仔樹安檢所 | 95.5 | 169.4 | 203.3 | 203.7 |
| 13 | 石梯安檢所 | 9.8 | 63.5 | 58.2 | 97.2 |
| 14 | 成功試驗線 0m | 17.0 | 63.7 | 93.6 | 58.3 |
| 15 | 金樽安檢所 | 8.4 | 59.5 | 49.7 | 91.8 |
| 16 | 伽蘭安檢所 | 3.4 | 18.8 | 23.9 | 28.3 |
| 17 | 尚武安檢所 | 22.4 | 32.7 | 31.5 | 21.0 |
| 18 | 核三廠試驗線 0m | 4.4 | 46.5 | 44.6 | 40.7 |
| 19 | 核三廠試驗線 100m | 4.3 | 33.3 | 40.1 | 43.0 |
| 20 | 核三廠試驗線 300m | 9.1 | 16.7 | 11.8 | 41.8 |
| 21 | 核三廠試驗線 1Km | 2.7 | | | |
| 22 | 中鋼公司 | 2.3 | 17.9 | 16.4 | 25.9 |
| 23 | 高雄港試驗線 0m | 1.9 | 20.5 | 16.2 | 20.0 |
| 24 | 高雄港試驗線 300m | 2.0 | 24.6 | 25.1 | 23.9 |
| 25 | 高鐵左營站 | 2.7 | 8.9 | 12.5 | 21.8 |
| 26 | 興達火力電廠 | 1.5 | 13.1 | 19.8 | 11.9 |
| 27 | 成大水工所 | 1.7 | 11.7 | 9.6 | 16.8 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 28 | 東石安檢所 | 7.5 | 51.2 | 10.0 | 73.0 |
| 29 | 高鐵嘉義站 | 2.1 | 19.8 | 7.1 | 26.4 |
| 30 | 臺塑六輕試驗線 0m | 76.5 | 110.8 | 35.1 | 103.1 |
| 31 | 臺塑六輕試驗線 300m | 81.1 | 71.2 | 111.0 | 166.5 |
| 32 | 臺塑六輕試驗線 800m | 58.0 | 74.8 | 72.8 | 90.0 |
| 33 | 臺塑六輕試驗線 2Km | 20.0 | 89.2 | 33.2 | 50.5 |
| 34 | 臺塑六輕試驗線 3Km | 4.9 | 31.6 | 17.3 | 30.3 |
| 35 | 王功安檢所 | 36.8 | 248.2 | 35.4 | 107.0 |
| 36 | 彰濱工業區 | 81.1 | - | 23.2 | 55.9 |
| 37 | 高鐵臺中站 | 2.0 | 10.6 | 6.4 | 17.5 |
| 38 | 臺中火力電廠 | 46.2 | 22.4 | 42.2 | 49.8 |
| 39 | 臺中港試驗線 0m | 23.5 | 109.6 | 26.9 | 25.5 |
| 40 | 臺中港試驗線 300m | 6.2 | 52.5 | 21.1 | 20.8 |
| 41 | 臺中港試驗線 2Km | 4.5 | 42.4 | 26.5 | 36.8 |
| 42 | 五甲安檢所 | 44.9 | 64.3 | 20.6 | 128.0 |
| 43 | 通霄火力電廠 | 40.3 | 88.8 | 55.1 | 128.2 |
| 44 | 外埔安檢所 | 46.1 | 302.4 | 196.7 | 224.4 |
| 45 | 平鎮工業區 | - | 5.2 | 3.1 | 7.9 |
| 46 | 桃園試驗線 100m | 40.6 | | | |
| 47 | 桃園試驗線 500m | 29.6 | 200.5 | 48.1 | 127.5 |
| 48 | 桃園試驗線 2Km | 13.4 | 83.0 | 28.6 | 61.3 |
| 49 | 臺北市區 | 2.8 | 26.0 | 6.9 | 23.6 |
| 50 | 陽明山國家公園 | 0.6 | 13.0 | 5.0 | 3.0 |
| 51 | 公路總局第五區養護工程處阿里山工務段 | 1.3 | 8.7 | 6.2 | 6.7 |
| 52 | 東北角風景區福隆遊客中心 | 5.1 | 60.6 | 23.7 | - |
| 53 | 臺北港監測站 | 4.6 | 33.4 | 11.9 | 102.7 |
| 54 | 永安安檢所 | 20.3 | 111.7 | 32.9 | 230.9 |
| 55 | 新竹安檢所 | 55.2 | 345.3 | 68.0 | 177.5 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 56 | 金門水頭商港 | 17.5 | 140.2 | 66.8 | 236.3 |
| 57 | 高雄港 39 號碼頭 | 1.2 | 9.3 | 16.3 | 28.1 |
| 58 | 高雄港 75 號碼頭 | 1.0 | 11.3 | 10.7 | 18.9 |
| 59 | 公路總局第三區養護工程處澎湖工務段 | 51.3 | 179.2 | 73.6 | 13.5 |
| 60 | 馬祖福澳港碼頭 | 23.2 | 97.1 | 42.9 | 150.1 |
| 61 | 公路總局第二區養護工程處新中橫監工站 | 0.4 | 2.4 | 2.7 | 4.1 |
| 62 | 公路總局第二區養護工程處埔里工務段 | 0.7 | 2.4 | 7.3 | 6.4 |
| 63 | 公路總局第二區養護工程處霧社監工站 | 0.5 | 2.5 | 3.5 | 5.2 |
| 64 | 公路總局第二區養護工程處谷關工務段 | 1.1 | 2.6 | 4.6 | 4.5 |
| 65 | 公路總局第一區養護工程處復興工務段 | 1.4 | 4.2 | 5.3 | 7.7 |
| 66 | 公路總局第五區養護工程處石卓監工站 | 0.4 | 3.0 | 4.7 | 6.7 |

註 1：- 表示試體遺失

註 2：核三廠試驗線 1Km、桃園試驗線 100m 試驗點因設置問題於取樣後移除

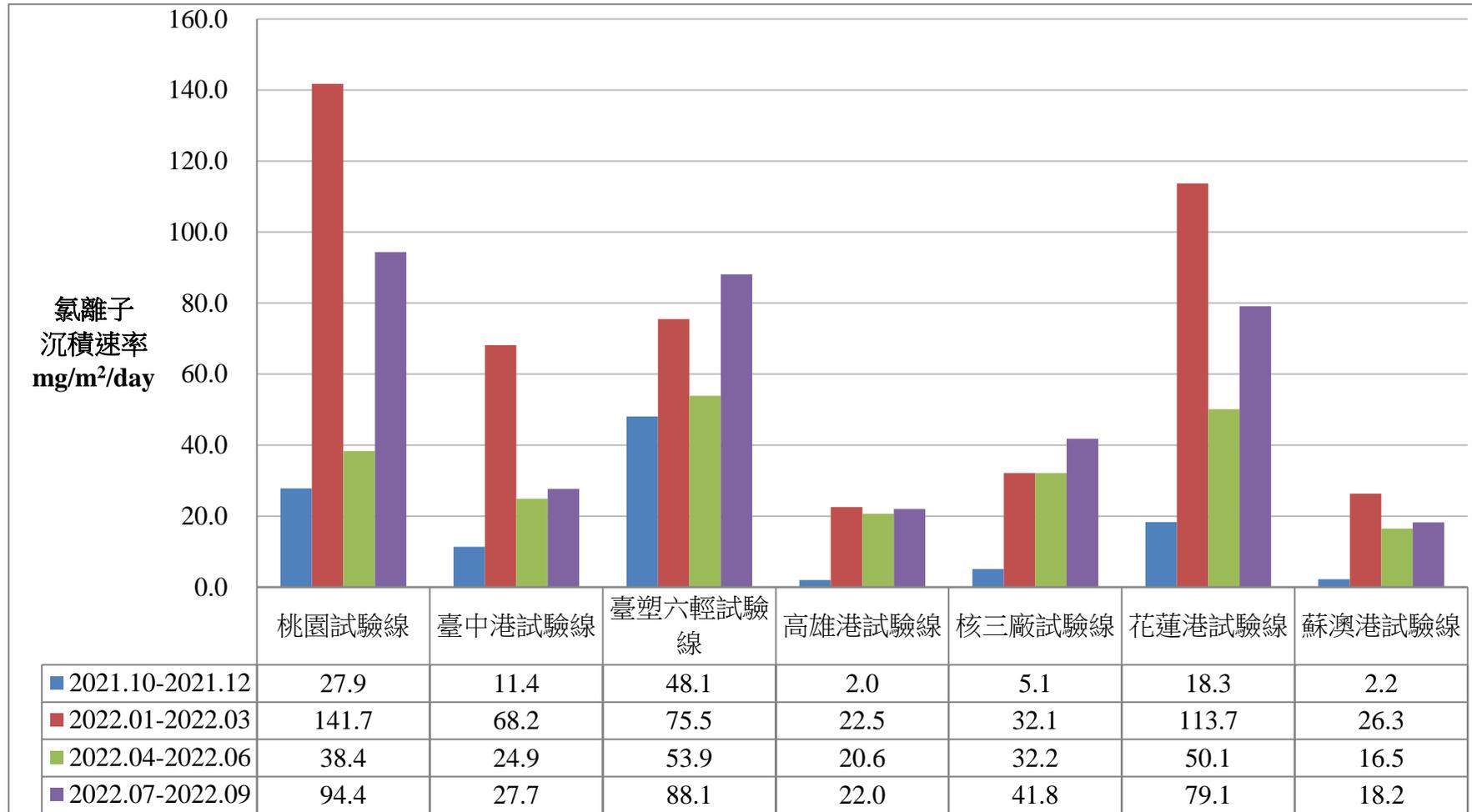


圖 4.1 垂直海岸試驗線之氯鹽平均沉積速率

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。採樣的調查時間與氯鹽沉積速率調查的時間相同，分別為 2021.10-2021.12(秋季)，2022.01-2022.03(冬季)，2022.04-2022.06(春季)，2022.07-2022.09(夏季)。

2021.10-2021.12 秋季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 578.2 mg/m²/day，其餘介於美崙工業區 10.6 mg/m²/day 至 301.8 mg/m²/day 陽明山國家公園之間。較高的沉積速率發生在桃園試驗線 100m、觀音工業區、彰濱工業區，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 56.9mg/m²/day、左營站次之 52.6mg/m²/day、臺中站最低為 44.0mg/m²/day。

2022.01-2022.03 冬季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 670.7 mg/m²/day，其餘介於新中橫監工站 1.6 mg/m²/day 至官田工業區 67.8 mg/m²/day 之間。較高的沉積速率依序發生在官田工業區、觀音工業區、彰濱工業區、陽明山國家公園、桃園試驗線 500m，其值為分類標準 P2(>35, ≤80 mg/m²/day)。高鐵沿線二氧化硫沉積速率皆為分類標準 P1，嘉義站最高 11.8 mg/m²/day、左營站次之 11.1 mg/m²/day、台中站 6.9 mg/m²/day。

2022.04-2022.06 春季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 457.9 mg/m²/day，其餘介於新中橫監工站及霧社監工站 1.2 mg/m²/day 至 71.0 mg/m²/day 彰濱工業區之間。較高的沉積速率依序為彰濱工業區、通霄火力電廠、陽明山國家公園、官田工業區及中鋼公司，其值為分類標準 P2。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以嘉義站最高 20.9 mg/m²/day、左營站次之 10.6 mg/m²/day、臺中站最低為 7.1 mg/m²/day。

2022.07-2022.09 夏季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 631.9 mg/m²/day，其餘介於 1.0 mg/m²/day 太魯閣國家公園及谷關工務段至 40.7 mg/m²/day 中鋼公司之間。較高的沉積速率發生在中鋼公

司及龍德工業區，為分類標準 P2，其餘試驗點絕大部分數值落在分類標準 P1($\leq 10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$)，與其他三季相比二氧化硫沉積速率顯得較低一些。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以臺中站最高 $8.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、左營站次之 $4.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、嘉義站最低為 $3.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

表 4-3 及圖 4.2 為二氧化硫沉積速率在特定試驗點沉積速率，由 4.2 可觀察出秋季二氧化硫沉積速率為四季最高。

高鐵沿線三站二氧化硫沉積速率在秋季皆為最高且高於 $40 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 屬於分類標準 P2。在秋、冬季及春季以嘉義站二氧化硫沉積速率較高，夏季時則以臺中站最高，且臺中站除了秋季數值較高外，另外三季數值介於 $6.9 \sim 8.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，而高鐵左營站在冬季及春季數值相差不大介於 $10.6 \sim 11.1 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，夏季則降低至 $4.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

大潭電廠、通霄電廠、臺中電廠、興達電廠二氧化硫沉積速率依季節順序呈降低趨勢，且由北到南也呈現降低趨勢。興達電廠除了秋季數值較高外，另外三季數值介於 $11.7 \sim 15.2 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，數值變化較另外三個電廠趨緩。

。

表 4-2 二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m²/day

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 1 | 龍德工業區 | 78.4 | 17.2 | 13.9 | 39.8 |
| 2 | 和平工業區 | 25.6 | 2.7 | 4.2 | 1.6 |
| 3 | 太魯閣國家公園管理處 | 14.3 | 1.9 | 1.9 | 1.0 |
| 4 | 美崙工業區 | 10.6 | 2.7 | 3.6 | 2.1 |
| 5 | 豐樂工業區 | 37.8 | 3.9 | 4.7 | 4.0 |
| 6 | 屏東工業區 | 48.3 | 9.6 | 3.0 | 2.0 |
| 7 | 中油林園廠 | 79.5 | 17.3 | 15.5 | 12.6 |
| 8 | 中鋼公司 | 106.7 | 18.5 | 35.5 | 40.7 |
| 9 | 鳳山工業區 | 58.5 | 11.3 | 10.1 | 4.6 |
| 10 | 大發工業區 | 156.3 | 19.5 | 3.4 | 32.9 |
| 11 | 高鐵左營站 | 52.6 | 11.1 | 10.6 | 4.7 |
| 12 | 永安工業區 | 69.8 | 17.8 | 9.4 | 9.2 |
| 13 | 興達火力電廠 | 72.8 | 15.2 | 12.2 | 11.7 |
| 14 | 安平工業區 | 60.0 | 12.7 | 7.8 | 5.5 |
| 15 | 成大水工試驗所 | 53.4 | 10.9 | 7.2 | 7.7 |
| 16 | 官田工業區 | 176.7 | 67.8 | 49.8 | 22.6 |
| 17 | 朴子工業區 | 76.2 | 18.0 | 12.5 | 7.0 |
| 18 | 高鐵嘉義站 | 56.9 | 11.8 | 20.9 | 3.0 |
| 19 | 斗六工業區 | 39.0 | 10.6 | 7.2 | 5.7 |
| 20 | 彰濱工業區 | 217.2 | 58.3 | 71.0 | 14.5 |
| 21 | 田中工業區 | 57.7 | - | 11.5 | 5.7 |
| 22 | 南崗工業區 | 41.9 | 3.4 | 7.6 | 3.4 |
| 23 | 大里工業區 | 37.5 | 3.5 | 5.8 | 3.1 |
| 24 | 高鐵臺中站 | 44.0 | 6.9 | 7.1 | 8.0 |
| 25 | 臺中工業區 | 42.0 | 5.1 | 6.8 | 4.3 |
| 26 | 關連工業區 | 50.6 | 5.9 | 18.5 | 7.9 |
| 27 | 臺中火力電廠 | 104.3 | 22.7 | 15.9 | 11.2 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 28 | 臺中港試驗線 300m | 56.4 | 5.4 | 9.2 | 6.6 |
| 29 | 通霄火力電廠 | 107.0 | - | 58.6 | 7.6 |
| 30 | 竹南工業區 | 43.6 | 3.7 | 8.2 | 3.4 |
| 31 | 頭份工業區 | 40.9 | 3.9 | 6.3 | 2.8 |
| 32 | 工業技術研究院 | 43.6 | 3.4 | 9.2 | 4.2 |
| 33 | 新竹工業區 | 33.4 | 6.8 | 5.6 | 6.1 |
| 34 | 平鎮工業區 | - | 7.6 | 4.2 | 4.9 |
| 35 | 桃園試驗線 100m (大潭電廠) | 267.7 | | | |
| 36 | 桃園試驗線 500m (大潭電廠) | 158.1 | 39.5 | 31.4 | 8.2 |
| 37 | 桃園試驗線 2Km | 77.9 | 11.2 | 12.5 | 15.1 |
| 38 | 樹林工業區 | 40.5 | 4.8 | 6.7 | 5.0 |
| 39 | 臺北市自來水事業處 | - | 2.9 | 6.2 | 3.3 |
| 40 | 陽明山國家公園管理處 | 301.8 | 55.4 | 55.4 | 33.6 |
| 41 | 陽明山硫磺區 | 578.2 | 670.7 | 457.9 | 631.9 |
| 42 | 公路總局第五區養護 工程處阿里山工務段 | 25.1 | 3.4 | 3.4 | 1.3 |
| 43 | 平鎮工業區(服務中心) | 50.1 | 9.7 | 6.0 | - |
| 44 | 觀音工業區(服務中心) | 20.0 | 11.2 | 7.6 | 5.7 |
| 45 | 東北角風景區福隆 遊客中心 | 228.8 | 62.2 | 33.3 | 9.7 |
| 46 | 永安安檢所 | - | 30.6 | 17.8 | 22.0 |
| 47 | 金門水頭商港 | 42.4 | 11.8 | 10.4 | 5.0 |
| 48 | 公路總局第三區養護 工程處澎湖工務段 | 104.8 | 23.6 | 11.8 | 1.6 |
| 49 | 馬祖福澳港碼頭 | 32.1 | 5.8 | 3.7 | 5.6 |
| 50 | 公路總局第二區養護 工程處新中橫監工站 | 26.5 | 1.6 | 1.2 | 1.5 |
| 51 | 公路總局第二區養護 工程處埔里工務段 | 55.5 | 6.4 | 7.9 | 13.1 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 52 | 公路總局第二區養護工程處霧社監工站 | 17.0 | 1.7 | 1.2 | 1.6 |
| 53 | 公路總局第二區養護工程處谷關工務段 | 16.7 | 8.9 | 2.9 | 1.0 |
| 54 | 公路總局第一區養護工程處復興工務段 | 16.3 | 2.1 | 2.2 | 2.0 |
| 55 | 公路總局第五區養護工程處石卓監工站 | 13.3 | 2.1 | 3.5 | 1.9 |

註 1：- 表示試體遺失

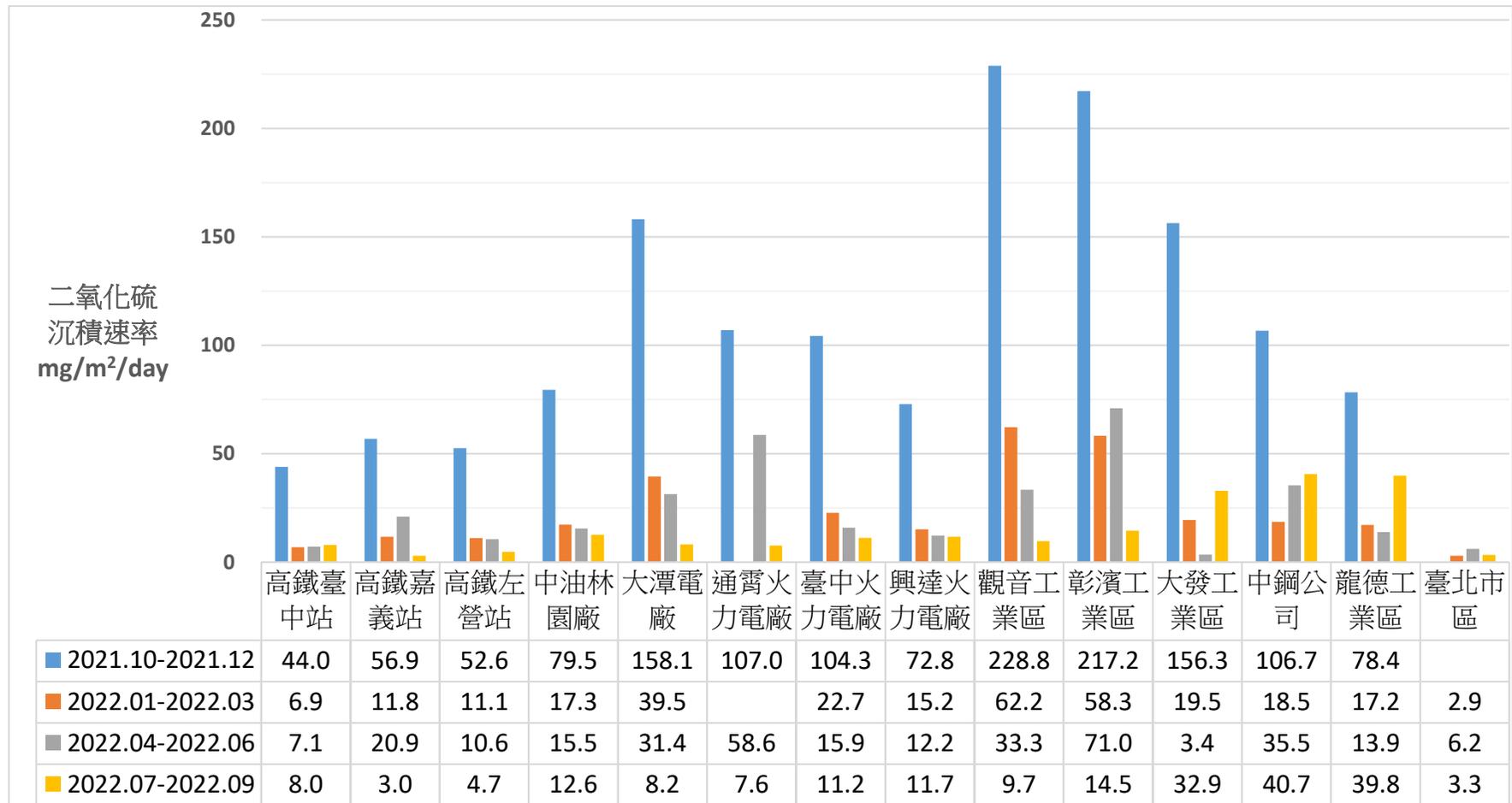
註 2：桃園試驗線 100m 試驗點因設置問題於取樣後移除

表 4-3 特定試驗點之二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m²/day

| 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 高鐵臺中站 | 44.0 | 6.9 | 7.1 | 8.0 |
| 高鐵嘉義站 | 56.9 | 11.8 | 20.9 | 3.0 |
| 高鐵左營站 | 52.6 | 11.1 | 10.6 | 4.7 |
| 中油林園廠 | 79.5 | 17.3 | 15.5 | 12.6 |
| 大潭火力電廠 | 158.1 | 39.5 | 31.4 | 8.2 |
| 通霄火力電廠 | 107.0 | - | 58.6 | 7.6 |
| 臺中火力電廠 | 104.3 | 22.7 | 15.9 | 11.2 |
| 興達火力電廠 | 72.8 | 15.2 | 12.2 | 11.7 |
| 觀音工業區 | 228.8 | 62.2 | 33.3 | 9.7 |
| 彰濱工業區 | 217.2 | 58.3 | 71.0 | 14.5 |
| 大發工業區 | 156.3 | 19.5 | 3.4 | 32.9 |
| 臨海工業區 (中鋼公司) | 106.7 | 18.5 | 35.5 | 40.7 |
| 龍德工業區 | 78.4 | 17.2 | 13.9 | 39.8 |
| 臺北市區 | - | 2.9 | 6.2 | 3.3 |

註：- 表示試體遺失



註：表格空白表示試片遺失

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

本計畫彙整 4 次採樣之各金屬材料腐蝕速率計算結果，如表 4-4 至表 4-7 所示。

秋季調查期間 2021.10-2021.12，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 22.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新中橫監工站)至 550.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 341.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、294.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (澎湖工務段)、266.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)、263.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆試驗線 100m)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 2.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (南崗工業區)至 95.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (核三廠試驗線 1Km)之間；其他依序以 69.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)、50.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)及 47.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (五甲安檢所)試片腐蝕速率較大。銅金屬介於 0.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新中橫監工站)至 85.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 500m)之間；其他依序以 59.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)、43.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、31.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (核三廠試驗線 1Km)、28.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺塑六輕試驗線 300m)試片腐蝕速率較大。而鋁金屬則介於 0.4 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (和平工業區) 至 40.4 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (臺中港試驗線 0m)之間，其他依序以 36.9 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (五甲安檢所)、30.9 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 2Km)及 29.8 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (王功安檢所)。

冬季調查期間 2022.01-2022.03，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 21.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (高鐵左營站)至 551.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)之間；其他依序以 523.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)及 471.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新竹漁港)、461.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (外埔安檢所)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 1.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (高雄港 39 號碼頭)至 59.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (外埔安檢所)；其他依序以 52.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (五甲安檢所)及 30.9 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)試片腐蝕速率較大及 28.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)；銅金屬介於 0.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (霧社監工站)至 63.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 28.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、26.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (澎湖工務段)及 22.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (伽蘭安檢所)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 0.6 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (鳳山工業區)至 35.3 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (王功安檢所)之間，其他依序以 32.2 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台中港試驗線 0m)、27.0 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (新竹漁港)及 25.0 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (五甲安檢所)試片腐蝕速率較大。

春季調查期間 2022.04-2022.06，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 45.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (石卓監工站)至 815.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 493.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆試驗線 100m)及 345.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (澎湖工務段)、335.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 500m)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 2.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (高雄港 39 號碼頭)至 36.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)；其他依序以 23.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (澎湖工務段)及 18.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (通霄火力電廠)試片腐蝕速率較大；銅金屬介於 1.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新中橫監工站)至 110.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 35.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山國家公園)、25.9 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (伽蘭安檢所)及 20.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (澎湖工務段)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 0.5 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (尚武安檢所)至 17.2 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 2Km)之間，其他依序以 15.9 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (永安安檢所)、13.4 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (桃園試驗線 500m)及 13.1 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 300m)試片腐蝕速率較大。

夏季調查期間 2022.07-2022.09，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 33.9 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (和平工業區)至 690.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 230.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (永安安檢所)及 228.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、186.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (澎湖工務段)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 4.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (石梯安檢所)至 90.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (大里工業區)；其他依序以 26.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 500m)、25.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)及 25.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新竹漁港)試片腐蝕速率較大；銅金屬介於 0.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (霧社監工站)至 88.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 23.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山國家公園)、21.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)及 20.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (檳仔樹安檢所)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 0.6 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (桃園試驗線 2Km)至 12.8 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (馬祖福澳港碼頭)之間，其他依序以 11.2 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (永安安檢所)、10.3 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)及 10.1 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ (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 | 試驗地點 | 試驗期間 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
|----|-------------|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 基隆試驗線 0m | 198.0 | 277.5 | 221.5 | 95.0 |
| 2 | 基隆試驗線 100m | 263.7 | 294.0 | 493.7 | 123.6 |
| 3 | 梗枋安檢所 | 229.7 | 177.7 | 219.7 | 99.8 |
| 4 | 龍德工業區 | 141.8 | 118.2 | 163.1 | 61.3 |
| 5 | 蘇澳港試驗線 0m | 127.0 | 122.5 | 168.7 | 61.7 |
| 6 | 蘇澳港試驗線 300m | 128.4 | 134.2 | 179.6 | 62.6 |
| 7 | 南澳安檢所 | 166.5 | 106.6 | 131.5 | 76.8 |
| 8 | 和平工業區 | 82.6 | 56.6 | 130.9 | 33.9 |
| 9 | 太魯閣國家公園管理處 | 61.6 | 55.7 | 101.4 | 53.7 |
| 10 | 美崙工業區 | 113.6 | 127.8 | 157.4 | 78.6 |
| 11 | 花蓮港試驗線 0m | 177.5 | 206.8 | 188.1 | 163.4 |
| 12 | 花蓮港試驗線 100m | 88.7 | 101.3 | 133.7 | 71.8 |
| 13 | 花蓮港試驗線 500m | 97.7 | 102.6 | 141.8 | 64.6 |
| 14 | 橄仔樹安檢所 | 206.0 | 244.0 | 329.8 | 119.4 |
| 15 | 石梯安檢所 | 138.5 | 136.2 | 169.7 | 73.7 |
| 16 | 成功安檢所 | 112.7 | 123.3 | 157.2 | 69.4 |
| 17 | 金樽安檢所 | 113.1 | 104.6 | 193.4 | 84.4 |
| 18 | 伽藍安檢所 | 129.4 | 90.9 | 144.0 | 75.5 |
| 19 | 豐樂工業區 | 59.7 | 75.1 | 89.8 | 45.1 |
| 20 | 尚武安檢所 | 145.0 | 131.0 | 123.5 | 63.8 |
| 21 | 核三廠試驗線 0m | 117.5 | 109.2 | 121.3 | 113.0 |
| 22 | 核三廠試驗線 100m | 88.9 | 102.8 | 103.2 | 91.3 |
| 23 | 核三廠試驗線 300m | 101.2 | 105.1 | 119.2 | 85.0 |
| 24 | 核三廠試驗線 1Km | 128.5 | | | |
| 25 | 屏東工業區 | 68.9 | 73.1 | 98.6 | 36.0 |
| 26 | 中油林園廠 | 79.5 | 91.9 | 110.0 | 76.4 |
| 27 | 中鋼公司 | 100.7 | 101.9 | 137.5 | 87.8 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 28 | 鳳山工業區 | 63.9 | 61.4 | 105.4 | 53.6 |
| 29 | 大發工業區 | 81.6 | 61.1 | 154.1 | 81.2 |
| 30 | 高雄港試驗線 0m | 67.4 | 69.2 | 111.2 | 71.2 |
| 31 | 高雄港試驗線 300m | 77.9 | 80.8 | 127.6 | 68.7 |
| 32 | 高鐵左營站 | 87.8 | 21.5 | 102.3 | 45.6 |
| 33 | 永安工業區 | 94.4 | 78.2 | 102.3 | 71.6 |
| 34 | 興達火力電廠 | 91.2 | 101.1 | 129.7 | 88.3 |
| 35 | 安平工業區 | 75.4 | 121.2 | 113.5 | 69.0 |
| 36 | 成大水工試驗所 | 83.8 | 106.6 | 108.1 | 62.1 |
| 37 | 官田工業區 | 62.6 | 131.7 | 173.7 | 71.6 |
| 38 | 東石安檢所 | 153.0 | 294.3 | 164.2 | 102.6 |
| 39 | 朴子工業區 | 103.8 | 128.7 | 135.7 | 78.6 |
| 40 | 高鐵嘉義站 | 85.0 | 95.8 | 95.5 | 68.2 |
| 41 | 斗六工業區 | 60.2 | 66.0 | 96.3 | 52.3 |
| 42 | 台塑六輕試驗線 0m | 266.8 | 332.4 | 319.2 | 159.7 |
| 43 | 台塑六輕試驗線 300m | 262.8 | 289.3 | 230.0 | 141.6 |
| 44 | 台塑六輕試驗線 800m | 231.6 | 275.2 | 238.1 | 141.6 |
| 45 | 台塑六輕試驗線 2Km | 183.0 | 224.5 | 186.3 | 87.8 |
| 46 | 台塑六輕試驗線 3Km | 202.4 | 240.5 | 159.6 | 103.5 |
| 47 | 王功安檢所 | 341.0 | 551.1 | 248.3 | 228.2 |
| 48 | 彰濱工業區 | 170.6 | 339.7 | 138.7 | 113.0 |
| 49 | 田中工業區 | 94.1 | 84.6 | 79.2 | 73.1 |
| 50 | 南崗工業區 | 66.1 | 48.4 | 73.4 | 78.9 |
| 51 | 大里工業區 | 52.1 | 83.1 | 64.2 | 58.4 |
| 52 | 高鐵臺中站 | 63.2 | 51.4 | 86.6 | 66.1 |
| 53 | 臺中工業區 | 92.6 | 71.6 | 84.9 | 92.8 |
| 54 | 關連工業區 | 104.7 | 71.8 | 103.9 | 121.4 |
| 55 | 臺中火力電廠 | 134.7 | 265.8 | 150.8 | 148.5 |
| 56 | 臺中港試驗線 0m | 132.4 | 249.8 | 104.9 | 135.0 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 57 | 臺中港試驗線 300m | 104.2 | 165.4 | 117.6 | 74.4 |
| 58 | 臺中港試驗線 2Km | 113.7 | 152.9 | 119.6 | 89.1 |
| 59 | 五甲安檢所 | 187.9 | 416.1 | 153.6 | 155.6 |
| 60 | 通霄火力電廠 | 137.1 | 218.7 | 201.2 | 101.3 |
| 61 | 外埔安檢所 | 243.1 | 461.1 | 190.2 | 139.1 |
| 62 | 竹南工業區 | 91.9 | 82.6 | 77.2 | 122.7 |
| 63 | 頭份工業區 | 98.3 | 102.9 | 95.0 | 94.5 |
| 64 | 工業技術研究院 | 98.8 | 120.0 | 97.7 | 128.2 |
| 65 | 新竹工業區 | 65.6 | 101.4 | 118.4 | 84.2 |
| 66 | 平鎮工業區 | - | 67.0 | 106.7 | 76.9 |
| 67 | 桃園試驗線 100m | 221.6 | | | |
| 68 | 桃園試驗線 500m | 158.3 | 321.1 | 335.1 | 126.4 |
| 69 | 桃園試驗線 2Km | 163.5 | 224.7 | 251.4 | 121.8 |
| 70 | 樹林工業區 | 89.0 | 81.5 | 150.0 | 84.1 |
| 71 | 臺北市自來水事業處 | 121.4 | 115.8 | 138.0 | 53.4 |
| 72 | 陽明山國家公園管理處 | 198.4 | 447.9 | 326.3 | 148.9 |
| 73 | 陽明山硫磺區 | 550.1 | 523.3 | 815.6 | 690.4 |
| 74 | 公路總局第五區養護工程處阿里山工務段 | 59.1 | 57.0 | 78.5 | 37.7 |
| 75 | 東北角風景區福隆遊客中心 | 192.3 | 228.9 | 253.0 | - |
| 76 | 臺北港監測站 | 107.7 | 131.2 | 181.1 | 146.6 |
| 77 | 平鎮工業區(服務中心) | 92.3 | 157.3 | 250.1 | 78.5 |
| 78 | 觀音工業區(服務中心) | 133.0 | 122.5 | 176.1 | 112.9 |
| 79 | 永安安檢所 | 135.0 | 244.2 | 291.9 | 230.1 |
| 80 | 新竹安檢所 | 217.2 | 471.4 | 207.6 | 184.9 |
| 81 | 金門水頭商港 | 95.0 | 108.1 | 103.0 | 145.0 |
| 82 | 高雄港 39 號碼頭 | 70.1 | 87.9 | 113.0 | 63.3 |
| 83 | 高雄港 75 號碼頭 | 67.7 | 62.3 | 111.2 | 65.4 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 84 | 公路總局第三區養護工程處澎湖工務段 | 294.8 | 272.5 | 345.7 | 186.0 |
| 85 | 馬祖福澳港碼頭 | 148.9 | 161.7 | 77.9 | 118.1 |
| 86 | 公路總局第二區養護工程處新中橫監工站 | 22.0 | 63.3 | 64.9 | 69.2 |
| 87 | 公路總局第二區養護工程處埔里工務段 | 60.1 | 66.3 | 79.5 | 96.2 |
| 88 | 公路總局第二區養護工程處霧社監工站 | 43.6 | 82.0 | 49.1 | 56.2 |
| 89 | 公路總局第二區養護工程處谷關工務段 | 51.6 | 153.9 | 45.9 | 87.5 |
| 90 | 公路總局第一區養護工程處復興工務段 | 70.0 | 90.7 | 52.1 | 92.7 |
| 91 | 公路總局第五區養護工程處石卓監工站 | 48.1 | 125.7 | 45.8 | 74.4 |

註1：- 表示試體遺失

註2：核三廠試驗線 1Km、桃園試驗線 100m 試驗點因設置問題於取樣後移除

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 | | | |
|----|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 1 | 基隆試驗線 0m | 6.7 | 14.4 | 11.6 | 13.4 |
| 2 | 基隆試驗線 100m | 21.6 | 11.5 | 10.6 | 8.9 |
| 3 | 梗枋安檢所 | 16.3 | 8.6 | 8.6 | 12.2 |
| 4 | 龍德工業區 | 5.6 | 8.9 | 9.5 | 8.7 |
| 5 | 蘇澳港試驗線 0m | 10.7 | 6.8 | 10.7 | 7.3 |
| 6 | 蘇澳港試驗線 300m | 13.0 | 9.4 | 14.1 | 10.5 |
| 7 | 南澳安檢所 | 9.0 | 7.0 | 8.8 | 9.0 |
| 8 | 和平工業區 | 7.1 | 3.5 | 6.4 | 8.1 |
| 9 | 太魯閣國家公園管理處 | 8.8 | 4.5 | 6.1 | 6.5 |
| 10 | 美崙工業區 | 12.3 | 5.5 | 5.7 | 5.7 |
| 11 | 花蓮港試驗線 0m | 14.8 | 11.3 | 6.3 | 12.6 |
| 12 | 花蓮港試驗線 100m | 8.3 | 6.6 | 3.3 | 5.6 |
| 13 | 花蓮港試驗線 500m | 8.8 | 6.2 | 3.6 | 8.2 |
| 14 | 橄仔樹安檢所 | 12.1 | 13.6 | 12.6 | 19.9 |
| 15 | 石梯安檢所 | 13.1 | 8.9 | 8.6 | 4.5 |
| 16 | 成功安檢所 | 11.4 | 8.4 | 11.3 | 7.1 |
| 17 | 金樽安檢所 | 13.2 | 6.3 | 7.5 | 7.2 |
| 18 | 伽藍安檢所 | 11.7 | 22.4 | 9.0 | 6.3 |
| 19 | 豐樂工業區 | 7.4 | 8.9 | 4.0 | 8.9 |
| 20 | 尚武安檢所 | 15.1 | 7.7 | 4.6 | 15.3 |
| 21 | 核三廠試驗線 0m | 10.8 | 10.9 | 7.2 | 12.3 |
| 22 | 核三廠試驗線 100m | 5.2 | 9.0 | 7.3 | 11.5 |
| 23 | 核三廠試驗線 300m | 11.7 | 10.2 | 7.2 | 12.3 |
| 24 | 核三廠試驗線 1Km | 95.5 | | | |
| 25 | 屏東工業區 | 5.1 | 3.6 | 2.8 | 9.6 |
| 26 | 中油林園廠 | 8.9 | 7.8 | 12.3 | 8.5 |
| 27 | 中鋼公司 | 6.9 | 3.8 | 5.0 | 15.7 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 28 | 鳳山工業區 | 4.7 | 2.9 | 3.0 | 5.2 |
| 29 | 大發工業區 | 5.8 | 4.0 | 2.8 | 8.5 |
| 30 | 高雄港試驗線 0m | 5.2 | 2.8 | 5.1 | 6.3 |
| 31 | 高雄港試驗線 300m | 6.6 | 5.5 | 4.2 | 9.7 |
| 32 | 高鐵左營站 | 3.3 | 2.0 | 3.5 | 8.6 |
| 33 | 永安工業區 | 5.7 | 5.2 | 4.7 | 8.9 |
| 34 | 興達火力電廠 | 8.8 | 4.3 | 5.5 | 13.9 |
| 35 | 安平工業區 | 6.1 | 7.6 | 3.2 | 12.4 |
| 36 | 成大水工試驗所 | 5.7 | 5.3 | 3.6 | 9.6 |
| 37 | 官田工業區 | 10.7 | 5.2 | 3.9 | 10.9 |
| 38 | 東石安檢所 | 19.7 | 11.3 | 7.9 | 13.1 |
| 39 | 朴子工業區 | 4.8 | 7.4 | 5.2 | 8.0 |
| 40 | 高鐵嘉義站 | 3.0 | 4.7 | 4.4 | 11.0 |
| 41 | 斗六工業區 | 2.8 | 6.3 | 5.4 | 7.4 |
| 42 | 台塑六輕試驗線 0m | 69.4 | 30.9 | 11.1 | 13.9 |
| 43 | 台塑六輕試驗線 300m | 16.2 | 18.4 | 9.3 | 9.8 |
| 44 | 台塑六輕試驗線 800m | 28.7 | 17.5 | 3.9 | 17.3 |
| 45 | 台塑六輕試驗線 2Km | 13.8 | 12.9 | 7.9 | 10.1 |
| 46 | 台塑六輕試驗線 3Km | 17.4 | 14.7 | 4.5 | 8.6 |
| 47 | 王功安檢所 | 50.2 | 17.7 | 11.1 | 11.7 |
| 48 | 彰濱工業區 | 38.3 | 19.4 | 7.2 | 11.7 |
| 49 | 田中工業區 | 5.9 | 7.8 | 7.3 | 7.2 |
| 50 | 南崗工業區 | 2.0 | 4.0 | 3.5 | 7.2 |
| 51 | 大里工業區 | 2.7 | 8.2 | 4.9 | 90.6 |
| 52 | 高鐵臺中站 | 3.7 | 4.4 | 5.1 | 8.6 |
| 53 | 臺中工業區 | 4.1 | 4.6 | 4.3 | 12.4 |
| 54 | 關連工業區 | 9.7 | 16.5 | 4.3 | 8.4 |
| 55 | 臺中火力電廠 | 20.7 | 18.7 | 3.7 | 7.8 |
| 56 | 臺中港試驗線 0m | 17.6 | 21.8 | 9.7 | 16.3 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 57 | 臺中港試驗線 300m | 10.5 | 9.0 | 8.6 | 8.9 |
| 58 | 臺中港試驗線 2Km | 17.4 | 6.2 | 4.7 | 11.4 |
| 59 | 五甲安檢所 | 47.1 | 52.2 | 7.4 | 11.1 |
| 60 | 通霄火力電廠 | 22.1 | 20.2 | 18.0 | 11.0 |
| 61 | 外埔安檢所 | 37.5 | 59.2 | 8.6 | 14.2 |
| 62 | 竹南工業區 | 4.5 | 9.8 | 4.2 | 9.9 |
| 63 | 頭份工業區 | 4.5 | 10.6 | 3.5 | 11.7 |
| 64 | 工業技術研究院 | 6.3 | 11.6 | 3.1 | 7.8 |
| 65 | 新竹工業區 | 6.5 | 9.7 | 3.8 | 9.7 |
| 66 | 平鎮工業區 | - | 6.1 | 5.1 | 7.5 |
| 67 | 桃園試驗線 100m | 41.5 | | | |
| 68 | 桃園試驗線 500m | 25.4 | 11.9 | 10.6 | 26.4 |
| 69 | 桃園試驗線 2Km | 17.0 | 16.5 | 8.5 | 12.2 |
| 70 | 樹林工業區 | 10.1 | 6.2 | 5.9 | 10.8 |
| 71 | 臺北市自來水事業處 | 4.2 | 7.6 | 5.2 | 4.9 |
| 72 | 陽明山國家公園管理處 | 6.5 | 8.4 | 10.2 | 8.2 |
| 73 | 陽明山硫磺區 | 27.7 | 28.1 | 36.0 | 25.8 |
| 74 | 公路總局第五區養護工程處阿里山工務段 | 10.6 | 5.0 | 3.3 | 9.0 |
| 75 | 東北角風景區福隆遊客中心 | 9.4 | 7.5 | 11.2 | - |
| 76 | 臺北港監測站 | 17.1 | 7.7 | 9.3 | 13.3 |
| 77 | 平鎮工業區(服務中心) | 9.8 | 9.4 | 6.9 | 10.0 |
| 78 | 觀音工業區(服務中心) | 6.7 | 11.8 | 4.8 | 7.9 |
| 79 | 永安安檢所 | 11.4 | 10.9 | 10.5 | 16.9 |
| 80 | 新竹安檢所 | 20.5 | 22.9 | 12.0 | 25.1 |
| 81 | 金門水頭商港 | 7.8 | 3.1 | 4.3 | 10.4 |
| 82 | 高雄港 39 號碼頭 | 7.5 | 1.3 | 2.6 | 9.2 |
| 83 | 高雄港 75 號碼頭 | 5.2 | 2.4 | 4.9 | 9.2 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 84 | 公路總局第三區養護工程處澎湖工務段 | 19.6 | 13.4 | 23.0 | 9.1 |
| 85 | 馬祖福澳港碼頭 | 8.9 | 8.5 | 5.0 | 12.9 |
| 86 | 公路總局第二區養護工程處新中橫監工站 | 7.5 | 5.2 | 6.0 | 9.8 |
| 87 | 公路總局第二區養護工程處埔里工務段 | 5.4 | 7.7 | 6.0 | 13.7 |
| 88 | 公路總局第二區養護工程處霧社監工站 | 4.7 | 5.6 | 7.1 | 11.6 |
| 89 | 公路總局第二區養護工程處谷關工務段 | 7.5 | 6.3 | 7.1 | 6.2 |
| 90 | 公路總局第一區養護工程處復興工務段 | 6.3 | 7.9 | 3.5 | 15.0 |
| 91 | 公路總局第五區養護工程處石卓監工站 | 5.4 | 5.2 | 8.3 | 13.3 |

註1：- 表示試體遺失

註2：核三廠試驗線 1Km、桃園試驗線 100m 試驗點因設置問題於取樣後移除

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 | | | |
|----|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 1 | 基隆試驗線 0m | 10.6 | 10.2 | 9.8 | 6.3 |
| 2 | 基隆試驗線 100m | 18.0 | 13.0 | 13.6 | 10.0 |
| 3 | 梗枋安檢所 | 14.4 | 10.0 | 9.9 | 12.4 |
| 4 | 龍德工業區 | 14.5 | 8.0 | 10.6 | 13.3 |
| 5 | 蘇澳港試驗線 0m | 7.2 | 7.3 | 7.5 | 4.5 |
| 6 | 蘇澳港試驗線 300m | 2.4 | 6.0 | 5.2 | 2.1 |
| 7 | 南澳安檢所 | 7.0 | 7.9 | 7.1 | 9.2 |
| 8 | 和平工業區 | 1.5 | 1.9 | 1.8 | 1.4 |
| 9 | 太魯閣國家公園管理處 | 2.0 | 1.9 | 2.3 | 1.4 |
| 10 | 美崙工業區 | 4.0 | 9.8 | 5.7 | 4.0 |
| 11 | 花蓮港試驗線 0m | 10.8 | 13.6 | 10.2 | 17.7 |
| 12 | 花蓮港試驗線 100m | 5.2 | 6.5 | 6.1 | 5.7 |
| 13 | 花蓮港試驗線 500m | 5.8 | 7.7 | 6.6 | 7.2 |
| 14 | 橄仔樹安檢所 | 12.3 | 16.7 | 15.2 | 20.1 |
| 15 | 石梯安檢所 | 8.0 | 7.4 | 9.2 | 9.1 |
| 16 | 成功安檢所 | 11.1 | 11.0 | 12.4 | 12.8 |
| 17 | 金樽安檢所 | 9.7 | 9.1 | 12.0 | 12.2 |
| 18 | 伽藍安檢所 | 20.3 | 22.3 | 25.9 | 19.7 |
| 19 | 豐樂工業區 | 2.8 | 2.5 | 2.7 | 2.0 |
| 20 | 尚武安檢所 | 9.0 | 11.0 | 7.8 | 5.8 |
| 21 | 核三廠試驗線 0m | 10.2 | 11.9 | 14.0 | 12.6 |
| 22 | 核三廠試驗線 100m | 8.0 | 11.5 | 13.7 | 11.1 |
| 23 | 核三廠試驗線 300m | 7.4 | 9.3 | 9.4 | 9.3 |
| 24 | 核三廠試驗線 1Km | 31.3 | | | |
| 25 | 屏東工業區 | 4.0 | 2.5 | 5.2 | 3.7 |
| 26 | 中油林園廠 | 5.7 | 2.9 | 6.1 | 6.4 |
| 27 | 中鋼公司 | 5.5 | 3.2 | 6.6 | 7.2 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 28 | 鳳山工業區 | 3.3 | 2.1 | 4.2 | 2.9 |
| 29 | 大發工業區 | 6.1 | 2.3 | 6.6 | 6.8 |
| 30 | 高雄港試驗線 0m | 3.6 | 2.3 | 3.9 | 2.8 |
| 31 | 高雄港試驗線 300m | 6.1 | 3.6 | 7.0 | 6.2 |
| 32 | 高鐵左營站 | 2.3 | 2.4 | 3.7 | 3.7 |
| 33 | 永安工業區 | 5.1 | 2.9 | 4.5 | 4.7 |
| 34 | 興達火力電廠 | 8.7 | 5.1 | 6.5 | 7.8 |
| 35 | 安平工業區 | 4.6 | 4.4 | 4.4 | 4.6 |
| 36 | 成大水工試驗所 | 6.5 | 4.9 | 3.7 | 4.9 |
| 37 | 官田工業區 | 7.4 | 12.0 | 9.1 | 6.5 |
| 38 | 東石安檢所 | 18.5 | 13.6 | 14.1 | 10.5 |
| 39 | 朴子工業區 | 4.4 | 4.6 | 5.1 | 4.1 |
| 40 | 高鐵嘉義站 | 6.0 | 4.5 | 4.1 | 3.4 |
| 41 | 斗六工業區 | 2.3 | 1.8 | 3.4 | 1.5 |
| 42 | 台塑六輕試驗線 0m | 25.8 | 20.5 | 15.6 | 15.8 |
| 43 | 台塑六輕試驗線 300m | 28.8 | 18.0 | 15.1 | 18.4 |
| 44 | 台塑六輕試驗線 800m | 85.4 | 18.8 | 14.3 | 15.0 |
| 45 | 台塑六輕試驗線 2Km | 15.4 | 13.9 | 8.7 | 17.5 |
| 46 | 台塑六輕試驗線 3Km | 21.8 | 13.9 | 16.4 | 15.7 |
| 47 | 王功安檢所 | 43.5 | 28.1 | 18.4 | 21.2 |
| 48 | 彰濱工業區 | 23.0 | 17.5 | 11.7 | 8.7 |
| 49 | 田中工業區 | 4.2 | 2.5 | 3.0 | 4.7 |
| 50 | 南崗工業區 | 2.1 | 2.9 | 2.9 | 3.0 |
| 51 | 大里工業區 | 2.0 | 2.1 | 1.9 | 1.9 |
| 52 | 高鐵臺中站 | 2.4 | 2.9 | 3.2 | 3.7 |
| 53 | 臺中工業區 | 5.9 | 5.4 | 3.1 | 4.4 |
| 54 | 關連工業區 | 14.2 | 20.7 | 7.9 | 7.7 |
| 55 | 臺中火力電廠 | 21.5 | 18.7 | 10.7 | 7.9 |
| 56 | 臺中港試驗線 0m | 16.0 | 18.0 | 9.0 | 6.6 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 57 | 臺中港試驗線 300m | 18.6 | 11.3 | 6.7 | 5.6 |
| 58 | 臺中港試驗線 2Km | 17.0 | 12.6 | 10.3 | 7.8 |
| 59 | 五甲安檢所 | 27.6 | 21.9 | 10.1 | 18.2 |
| 60 | 通霄火力電廠 | 18.7 | 14.8 | 10.0 | 14.8 |
| 61 | 外埔安檢所 | 23.3 | 20.0 | 9.4 | 13.6 |
| 62 | 竹南工業區 | 5.1 | 6.7 | 4.3 | 7.7 |
| 63 | 頭份工業區 | 6.0 | 5.8 | 3.0 | 4.8 |
| 64 | 工業技術研究院 | 7.0 | 4.5 | 3.3 | 5.4 |
| 65 | 新竹工業區 | 4.0 | 6.0 | 5.2 | 3.5 |
| 66 | 平鎮工業區 | - | 6.0 | 3.6 | 3.9 |
| 67 | 桃園試驗線 100m | 21.3 | | | |
| 68 | 桃園試驗線 500m | 13.0 | 9.4 | 8.8 | 12.7 |
| 69 | 桃園試驗線 2Km | 7.2 | 8.8 | 7.5 | 4.5 |
| 70 | 樹林工業區 | 2.2 | 1.4 | 3.6 | 2.6 |
| 71 | 臺北市自來水事業處 | 19.2 | 8.5 | 5.5 | 3.3 |
| 72 | 陽明山國家公園管理處 | 14.8 | 11.8 | 35.1 | 23.7 |
| 73 | 陽明山硫磺區 | 59.0 | 63.4 | 110.3 | 88.7 |
| 74 | 公路總局第五區養護工程處阿里山工務段 | 2.3 | 2.2 | 2.9 | 1.9 |
| 75 | 東北角風景區福隆遊客中心 | 14.2 | 7.0 | 8.2 | - |
| 76 | 臺北港監測站 | 5.0 | 4.2 | 3.6 | 2.8 |
| 77 | 平鎮工業區(服務中心) | 7.6 | 10.9 | 8.8 | 4.6 |
| 78 | 觀音工業區(服務中心) | 6.8 | 8.7 | 7.2 | 4.8 |
| 79 | 永安安檢所 | 18.9 | 11.3 | 10.3 | 16.3 |
| 80 | 新竹安檢所 | 22.3 | 21.3 | 11.9 | 19.6 |
| 81 | 金門水頭商港 | 9.5 | 2.3 | 5.0 | 5.9 |
| 82 | 高雄港 39 號碼頭 | 5.3 | 5.5 | 4.8 | 5.6 |
| 83 | 高雄港 75 號碼頭 | 3.6 | 2.3 | 5.1 | 5.5 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 84 | 公路總局第三區養護工程處澎湖工務段 | 25.3 | 26.5 | 20.0 | 6.4 |
| 85 | 馬祖福澳港碼頭 | 11.5 | 7.3 | 7.6 | 14.0 |
| 86 | 公路總局第二區養護工程處新中橫監工站 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 0.7 |
| 87 | 公路總局第二區養護工程處埔里工務段 | 4.7 | 5.5 | 5.1 | 6.0 |
| 88 | 公路總局第二區養護工程處霧社監工站 | 0.9 | 0.7 | 1.4 | 0.6 |
| 89 | 公路總局第二區養護工程處谷關工務段 | 2.2 | 1.2 | 2.8 | 1.5 |
| 90 | 公路總局第一區養護工程處復興工務段 | 2.3 | 1.9 | 4.1 | 4.6 |
| 91 | 公路總局第五區養護工程處石卓監工站 | 1.3 | 1.4 | 1.7 | 1.8 |

註1：- 表示試體遺失

註2：核三廠試驗線 1Km、桃園試驗線 100m 試驗點因設置問題於取樣後移除

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 | | | |
|----|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 1 | 基隆試驗線 0m | 5.8 | 8.2 | 5.7 | 2.2 |
| 2 | 基隆試驗線 100m | 5.2 | 10.0 | 6.0 | 3.6 |
| 3 | 梗枋安檢所 | 4.2 | 6.5 | 4.8 | 8.7 |
| 4 | 龍德工業區 | 5.5 | 1.5 | 4.1 | 4.5 |
| 5 | 蘇澳港試驗線 0m | - | 4.5 | 1.8 | 5.2 |
| 6 | 蘇澳港試驗線 300m | 1.9 | 2.1 | 2.2 | 3.9 |
| 7 | 南澳安檢所 | 1.8 | 1.3 | 2.9 | 4.1 |
| 8 | 和平工業區 | 0.7 | 1.9 | 0.6 | 3.3 |
| 9 | 太魯閣國家公園管理處 | 1.3 | 1.0 | 1.3 | 4.6 |
| 10 | 美崙工業區 | 3.3 | 3.2 | 2.3 | 4.5 |
| 11 | 花蓮港試驗線 0m | 7.3 | 7.5 | 4.0 | 8.8 |
| 12 | 花蓮港試驗線 100m | 5.2 | 2.5 | 2.4 | 2.9 |
| 13 | 花蓮港試驗線 500m | 3.6 | 2.8 | 2.3 | 2.9 |
| 14 | 橄仔樹安檢所 | 6.7 | 7.7 | 5.8 | 6.4 |
| 15 | 石梯安檢所 | 4.1 | 2.6 | 1.5 | 3.8 |
| 16 | 成功安檢所 | 5.4 | 4.4 | 1.6 | 3.5 |
| 17 | 金樽安檢所 | 3.6 | 2.8 | 3.2 | 4.8 |
| 18 | 伽藍安檢所 | 4.2 | 8.1 | 4.6 | 4.3 |
| 19 | 豐樂工業區 | 1.3 | 1.7 | 2.1 | 1.8 |
| 20 | 尚武安檢所 | 1.7 | 2.8 | 0.5 | 2.4 |
| 21 | 核三廠試驗線 0m | 3.4 | 2.6 | 2.2 | 5.2 |
| 22 | 核三廠試驗線 100m | 3.1 | 2.5 | 1.3 | 4.1 |
| 23 | 核三廠試驗線 300m | 3.2 | 4.1 | 2.5 | 4.6 |
| 24 | 核三廠試驗線 1Km | 16.6 | | | |
| 25 | 屏東工業區 | 1.0 | 0.8 | 1.2 | 2.8 |
| 26 | 中油林園廠 | 3.4 | 0.7 | 1.6 | 5.1 |
| 27 | 中鋼公司 | 7.4 | 2.5 | 3.2 | 4.9 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 28 | 鳳山工業區 | 2.2 | 0.6 | 2.0 | 3.0 |
| 29 | 大發工業區 | 2.2 | 1.5 | 3.0 | 3.6 |
| 30 | 高雄港試驗線 0m | 2.6 | 0.8 | 1.6 | 3.6 |
| 31 | 高雄港試驗線 300m | 6.5 | 3.5 | 3.5 | 5.0 |
| 32 | 高鐵左營站 | 2.1 | 1.6 | 2.8 | 3.2 |
| 33 | 永安工業區 | 6.8 | 3.1 | 3.8 | 6.6 |
| 34 | 興達火力電廠 | 4.6 | 2.2 | 1.8 | 5.4 |
| 35 | 安平工業區 | 2.3 | 3.4 | 2.0 | 3.5 |
| 36 | 成大水工試驗所 | 2.8 | 1.8 | 0.9 | 3.9 |
| 37 | 官田工業區 | 1.7 | 1.3 | 1.4 | 2.8 |
| 38 | 東石安檢所 | 18.9 | 13.2 | 8.1 | 8.2 |
| 39 | 朴子工業區 | 3.7 | 4.0 | 2.0 | 4.3 |
| 40 | 高鐵嘉義站 | 4.3 | 3.1 | 1.7 | 3.2 |
| 41 | 斗六工業區 | 1.1 | 2.2 | 1.4 | 1.0 |
| 42 | 台塑六輕試驗線 0m | 17.6 | 12.3 | 10.9 | 8.8 |
| 43 | 台塑六輕試驗線 300m | 28.1 | 17.4 | 13.1 | 7.4 |
| 44 | 台塑六輕試驗線 800m | 24.4 | 13.5 | 9.7 | 8.1 |
| 45 | 台塑六輕試驗線 2Km | 30.9 | 19.0 | 17.2 | 5.3 |
| 46 | 台塑六輕試驗線 3Km | 12.4 | 8.5 | 7.7 | 4.4 |
| 47 | 王功安檢所 | 29.8 | 35.3 | 7.5 | 8.4 |
| 48 | 彰濱工業區 | 17.4 | 18.2 | 6.8 | 5.6 |
| 49 | 田中工業區 | 3.4 | 3.6 | 1.2 | 3.0 |
| 50 | 南崗工業區 | 1.7 | 2.2 | 1.2 | 5.0 |
| 51 | 大里工業區 | 1.6 | 2.6 | 1.3 | 3.9 |
| 52 | 高鐵臺中站 | 2.7 | 2.2 | 1.5 | 2.8 |
| 53 | 臺中工業區 | 4.9 | 5.0 | 3.2 | 4.1 |
| 54 | 關連工業區 | 9.1 | 11.6 | 4.6 | 6.5 |
| 55 | 臺中火力電廠 | 20.0 | 13.1 | 4.9 | 4.5 |
| 56 | 臺中港試驗線 0m | 40.4 | 32.2 | 9.9 | 7.9 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 57 | 臺中港試驗線 300m | 8.4 | 10.5 | 2.8 | 4.1 |
| 58 | 臺中港試驗線 2Km | 6.3 | 5.6 | 3.6 | 5.8 |
| 59 | 五甲安檢所 | 36.9 | 25.0 | 5.7 | 7.7 |
| 60 | 通霄火力電廠 | 11.6 | 5.7 | 5.7 | 7.6 |
| 61 | 外埔安檢所 | 20.8 | 15.5 | 4.6 | 7.5 |
| 62 | 竹南工業區 | 7.5 | 4.8 | 2.8 | 5.8 |
| 63 | 頭份工業區 | 7.1 | 4.3 | 1.0 | 2.7 |
| 64 | 工業技術研究院 | 5.7 | 3.6 | 2.1 | 3.2 |
| 65 | 新竹工業區 | 1.9 | 5.3 | 1.5 | 2.8 |
| 66 | 平鎮工業區 | - | 2.0 | 3.3 | 5.0 |
| 67 | 桃園試驗線 100m | 17.5 | | | |
| 68 | 桃園試驗線 500m | 11.9 | 16.5 | 13.4 | 10.1 |
| 69 | 桃園試驗線 2Km | 10.3 | 11.2 | 7.3 | 0.6 |
| 70 | 樹林工業區 | 2.3 | 5.1 | 3.4 | 2.9 |
| 71 | 臺北市自來水事業處 | 2.9 | 3.6 | 6.5 | 2.5 |
| 72 | 陽明山國家公園管理處 | 1.6 | 2.2 | 2.9 | 3.1 |
| 73 | 陽明山硫磺區 | 13.6 | 9.5 | 8.7 | 10.3 |
| 74 | 公路總局第五區養護工程處阿里山工務段 | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 2.2 |
| 75 | 東北角風景區福隆遊客中心 | 4.5 | 3.5 | 4.0 | - |
| 76 | 臺北港監測站 | 2.2 | 1.9 | 2.5 | 2.8 |
| 77 | 平鎮工業區(服務中心) | 5.3 | 4.3 | 3.8 | 4.1 |
| 78 | 觀音工業區(服務中心) | 8.6 | 12.4 | 8.5 | 5.4 |
| 79 | 永安安檢所 | 10.0 | 8.4 | 15.9 | 11.2 |
| 80 | 新竹安檢所 | 13.2 | 27.0 | 6.0 | 7.3 |
| 81 | 金門水頭商港 | 4.9 | 3.1 | 4.5 | 6.2 |
| 82 | 高雄港 39 號碼頭 | 5.8 | 4.4 | 2.2 | 6.9 |
| 83 | 高雄港 75 號碼頭 | 2.4 | 2.3 | 1.8 | 4.5 |

| 項次 | 試驗地點 | 試驗期間 | | | |
|----|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2021.10 - 2021.12 | 2022.01 - 2022.03 | 2022.04 - 2022.06 | 2022.07 - 2022.09 |
| 84 | 公路總局第三區養護工程處澎湖工務段 | 17.7 | 16.1 | 12.8 | 4.5 |
| 85 | 馬祖福澳港碼頭 | 10.1 | 10.9 | 7.1 | 12.8 |
| 86 | 公路總局第二區養護工程處新中橫監工站 | 1.9 | 2.3 | 1.7 | 1.4 |
| 87 | 公路總局第二區養護工程處埔里工務段 | 7.0 | 2.5 | 2.2 | 1.1 |
| 88 | 公路總局第二區養護工程處霧社監工站 | 1.7 | 1.6 | 2.4 | 1.8 |
| 89 | 公路總局第二區養護工程處谷關工務段 | 2.5 | 2.2 | 2.1 | 1.3 |
| 90 | 公路總局第一區養護工程處復興工務段 | 2.9 | 2.4 | 2.1 | 1.8 |
| 91 | 公路總局第五區養護工程處石卓監工站 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 1.6 |

註1：- 表示試體遺失

註2：核三廠試驗線 1Km、桃園試驗線 100m 試驗點因設置問題於取樣後移除

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)，西半部至北部海岸試驗線的腐蝕速率平均值較南部和東部高，又以基隆試驗線、桃園試驗線及臺塑六輕試驗線四季的腐蝕速率明顯高於其他試驗線，並且在夏季時各海岸試驗線腐蝕速率差異較緩和，介於 $62.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ (蘇澳港試驗線)至 $126.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ (臺塑六輕試驗線)之間。

至於鋅金屬(圖 4.4)，可以觀察到桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及核三廠試驗線四季腐蝕速率差異較大且秋季腐蝕速率明顯高於其他試驗線，桃園試驗線介於 $9.5\sim 28.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、臺塑六輕試驗線介於 $7.3\sim 29.1 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、核三廠試驗線介於 $7.2\sim 30.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ 。

銅金屬(圖 4.5)，臺塑六輕試驗線四季腐蝕速率皆大於其他試驗線，以秋季最高 $35.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，其餘三季介於 $14.0\sim 17.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ 之間；而高雄港試驗線和蘇澳港試驗線四季腐蝕速率明顯要其他試驗線低，高雄港試驗線腐蝕速率介於 $3.0\sim 5.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ 之間、蘇澳港試驗線腐蝕速率介於 $3.3\sim 6.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

鋁金屬(圖 4.6)，西半部至北部海岸試驗線的腐蝕速率平均值較南部和東部高，且四季的腐蝕速率差異較大，其中臺塑六輕試驗線腐蝕速率差異最大，介於 $6.8\sim 22.7 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間；各海岸試驗線在夏季的腐蝕速率平均值較其他三季差異緩和，腐蝕速率介於 $2.9\sim 6.8 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 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。

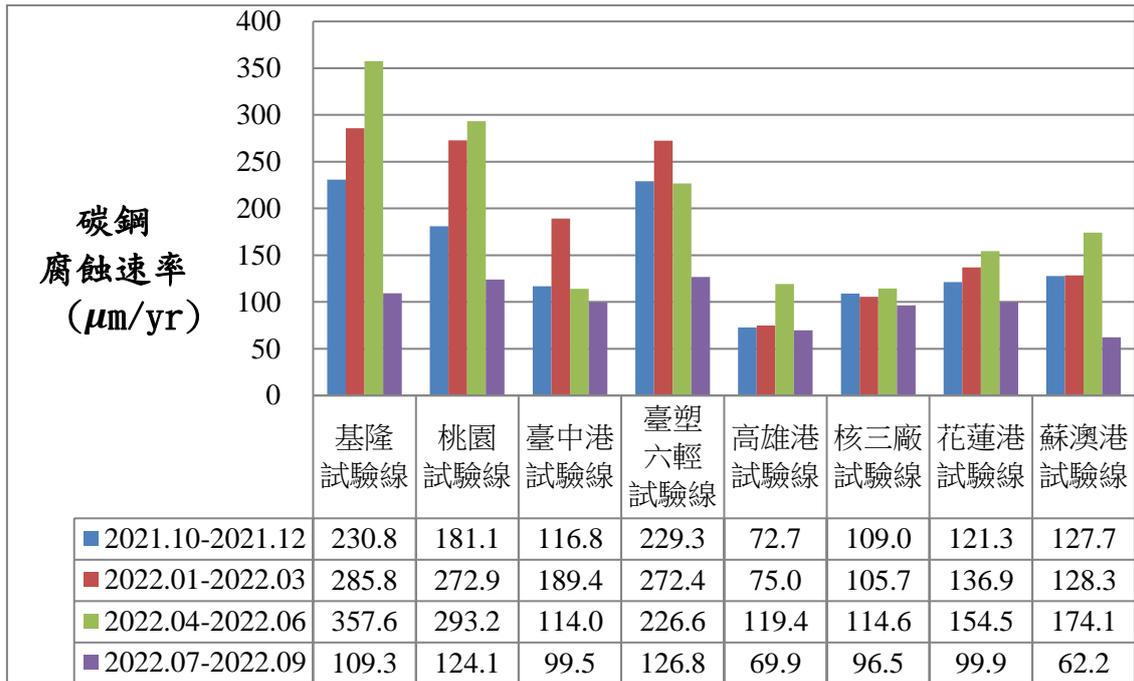
碳鋼金屬(圖 4.7)以西半部火力電廠及工業區腐蝕速率較其他測站高，且冬季和春季腐蝕速率明顯較高，其中彰濱工業區與大潭火力電廠四季腐蝕速率差異較大，彰濱工業區腐蝕速率介於 $113.0\sim 339.7 \mu\text{m}/\text{yr}$

之間、大潭火力電廠腐蝕速率介於 126.4~335.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間；高鐵台中站與高鐵嘉義站腐蝕速率分別介於 51.4~56.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 和 68.2~95.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間，而高鐵左營站四季腐蝕速率差異較大，腐蝕速率介於 21.5~102.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

鋅金屬(圖 4.8)在秋、冬兩季以西半部火力電廠及工業區腐蝕速率較其他測站高，且彰濱工業區為四季腐蝕速率差異較大的測站，腐蝕速率介於 7.2~38.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間；在高鐵三站可以明顯觀察到夏季的腐蝕速率高於其它三季，高鐵台中站夏季最高 8.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 其餘三季介於 3.7~5.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間、高鐵嘉義站夏季最高 11.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 其餘三季介於 3.0~4.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間、而高鐵左營站夏季最高 8.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 其餘三季介於 2.0~3.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

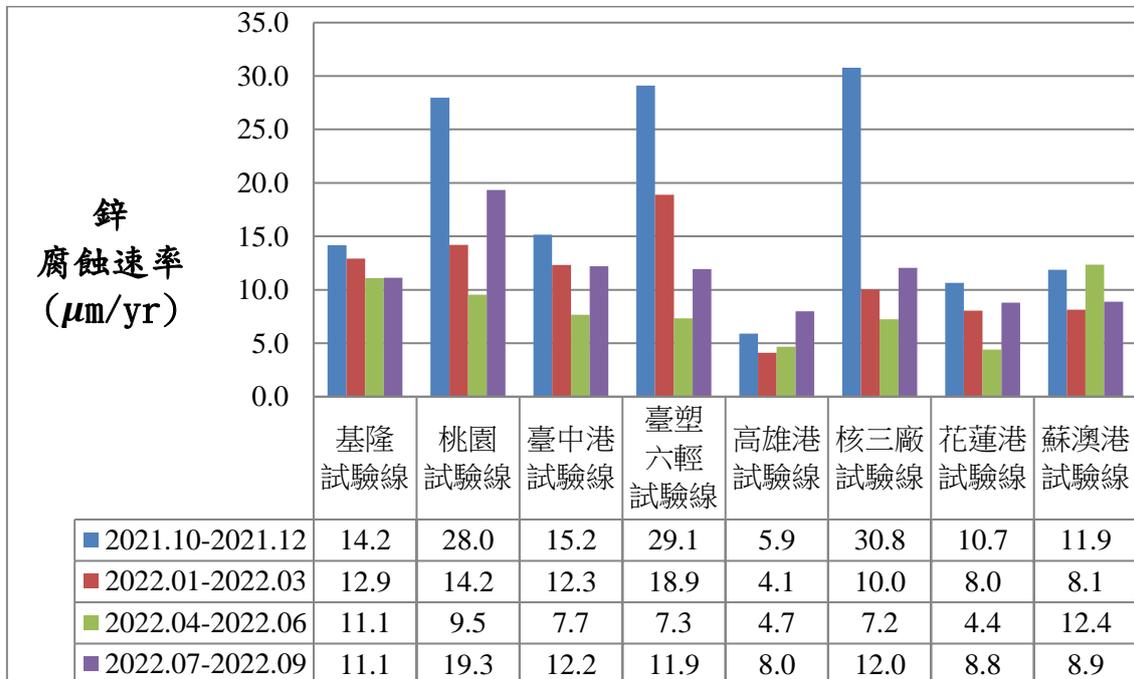
銅金屬(圖 4.9)同樣在秋、冬兩季以西半部火力電廠及工業區腐蝕速率較其他測站高，其中臺塑六輕、臺中火力電廠、彰濱工業區和台北市區四季的腐蝕速率差異較大，腐蝕速率分別介於 14.0~35.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 、7.9~21.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 、8.7~23.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 和 3.3~19.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ；高鐵嘉義站在秋、冬及春季的腐蝕速率略高於其他兩站，於夏季的腐蝕速率則三站差異較小，腐蝕速率介於 3.4~3.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間。

鋁金屬(圖 4.10) 同樣在秋、冬兩季以西半部火力電廠及工業區腐蝕速率較其他測站高，其中臺塑六輕、臺中火力電廠和彰濱工業區的腐蝕速率差異較大，腐蝕速率分別介於 6.8~22.7 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 、4.5~20.0 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 和 5.6~18.2 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ，而大潭火力電廠在四季的腐蝕速率明顯偏高，腐蝕速率介於 10.1~16.5 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間；高鐵嘉義站四季的腐蝕速率差異較其餘兩站大，其腐蝕速率介於 1.7~4.3 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 之間，而高鐵台中站介於 1.5~2.8 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 、高鐵左營站介於 1.6~3.2 $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 。



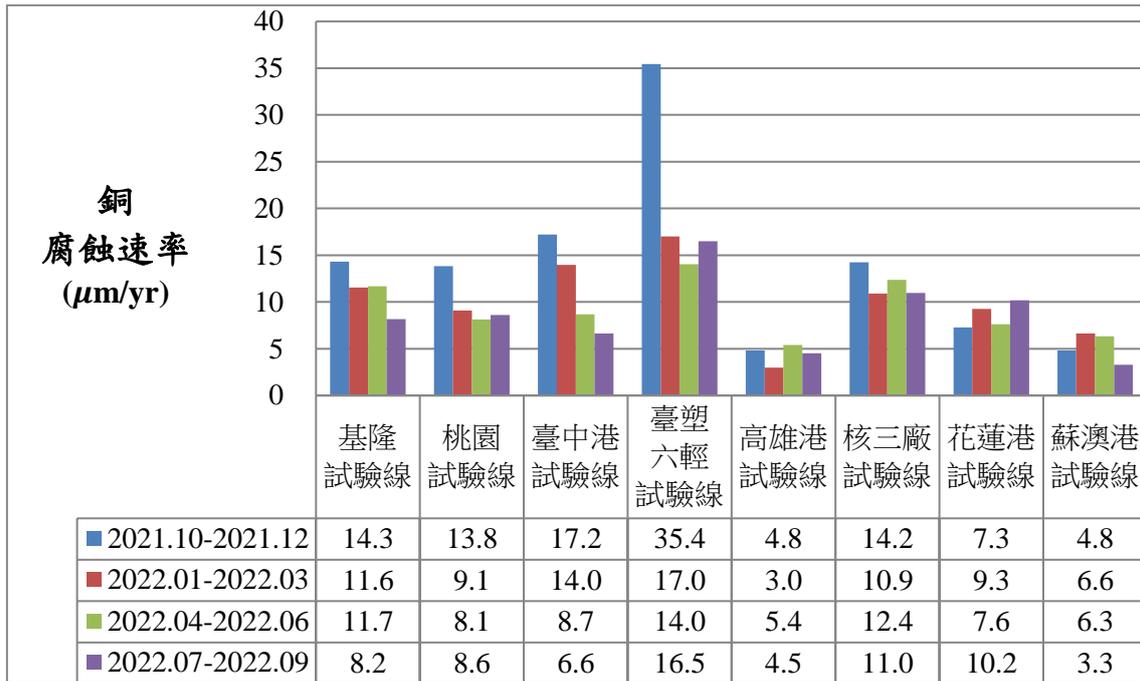
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.3 垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



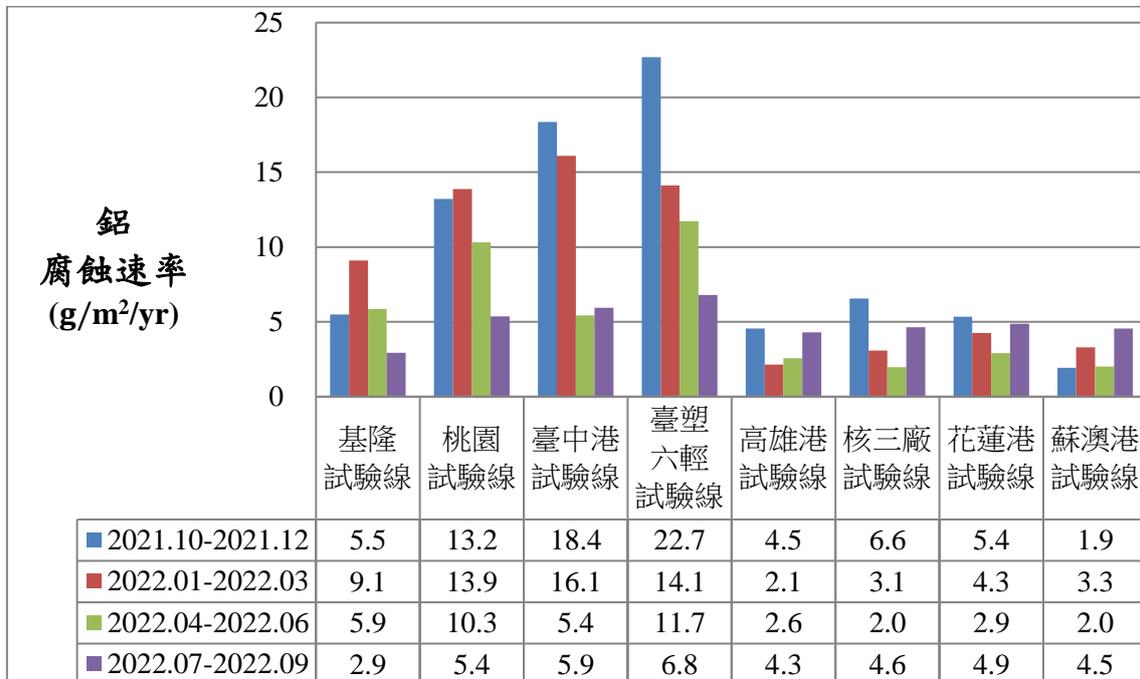
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.4 垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖



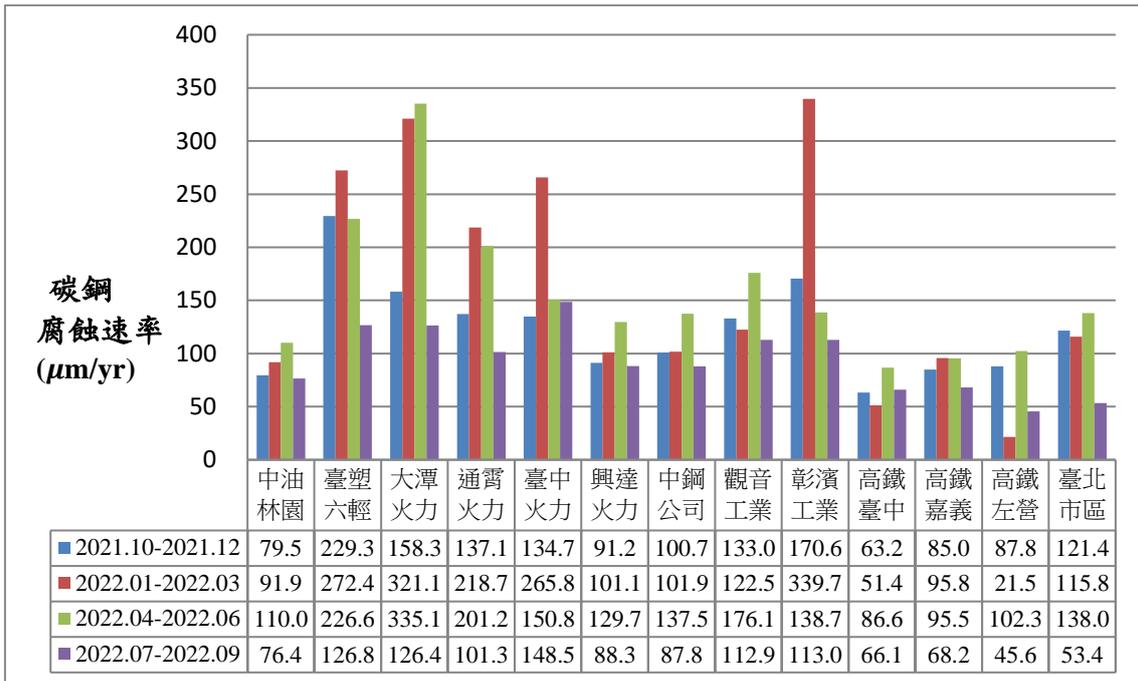
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.5 垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖



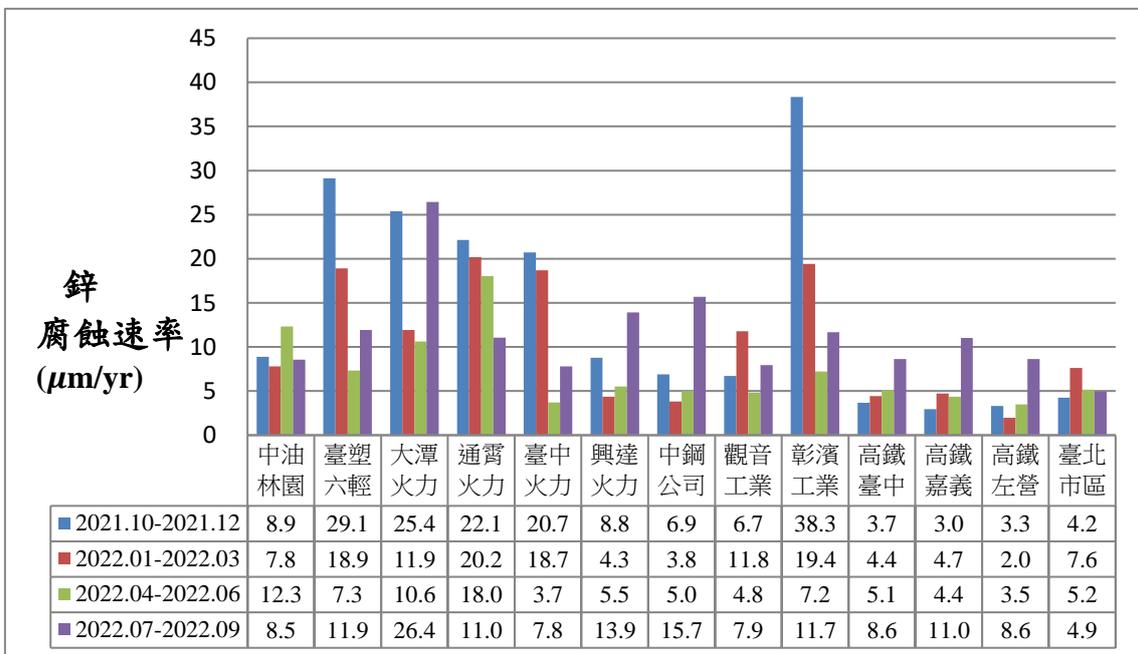
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.6 垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖



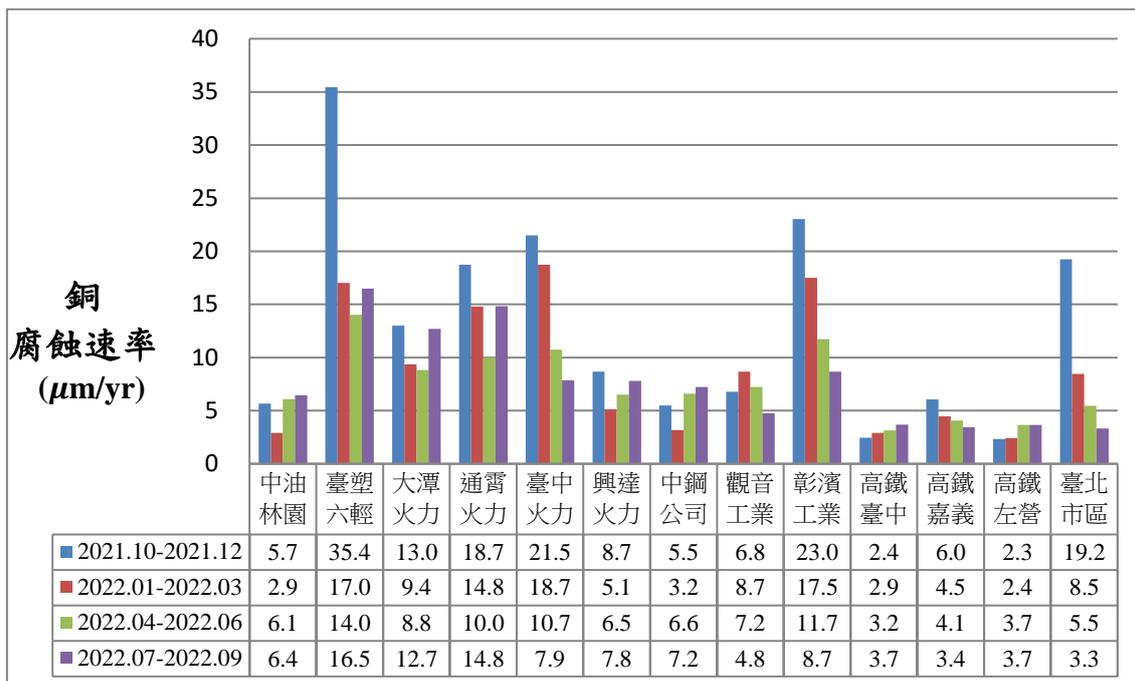
註：臺塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

圖 4.7 特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



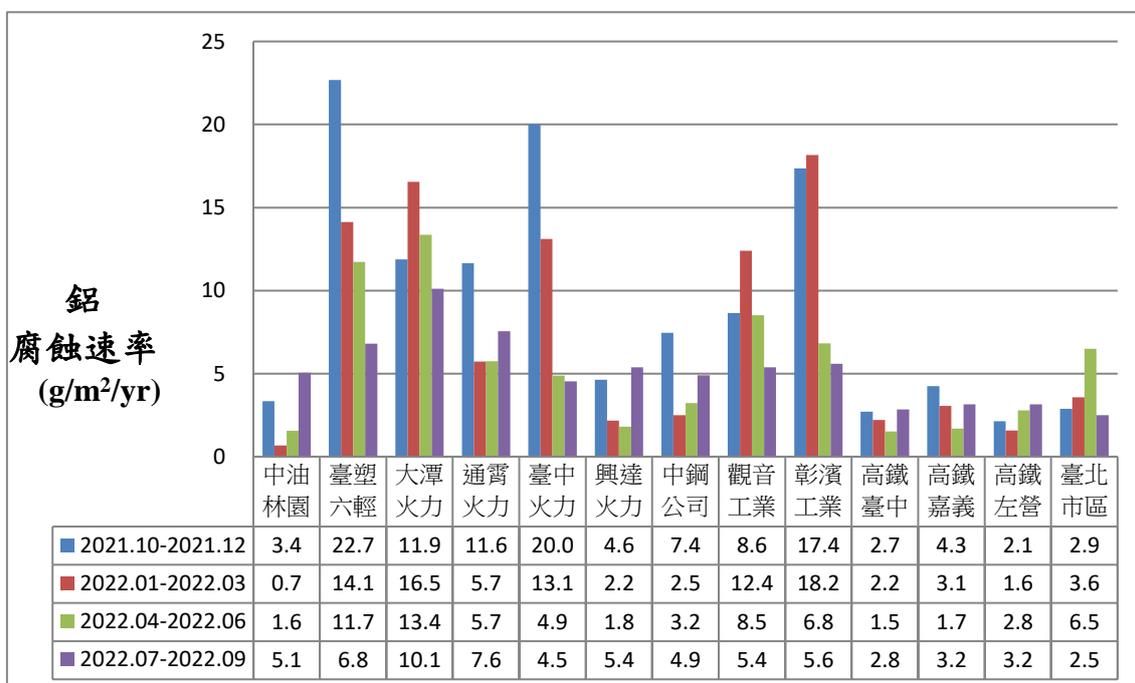
註：臺塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

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 工業區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。而彰濱工業區(彰化濱海工業區，圖 5.1)，位於彰化縣西部海岸地區，北起伸港鄉，南至鹿港鎮，南北長約 12 公里，東西寬約 3.5 公里至 4.5 公里，總開發範圍 3,643 公頃，為全國最大的工業園區，首創大規模填海造地工程開發出的一座離島型工業區，腹地廣大、有發展港口的條件並兼具再生能源、工業生產、休憩觀光等等多功能，其構成了東倚彰化縣本土陸地，西臨臺灣海峽，為彰化縣開發面積最大的工業區，有鑑於此，瞭解金屬在彰濱工業區大氣環境下腐蝕特性，有其必要性。

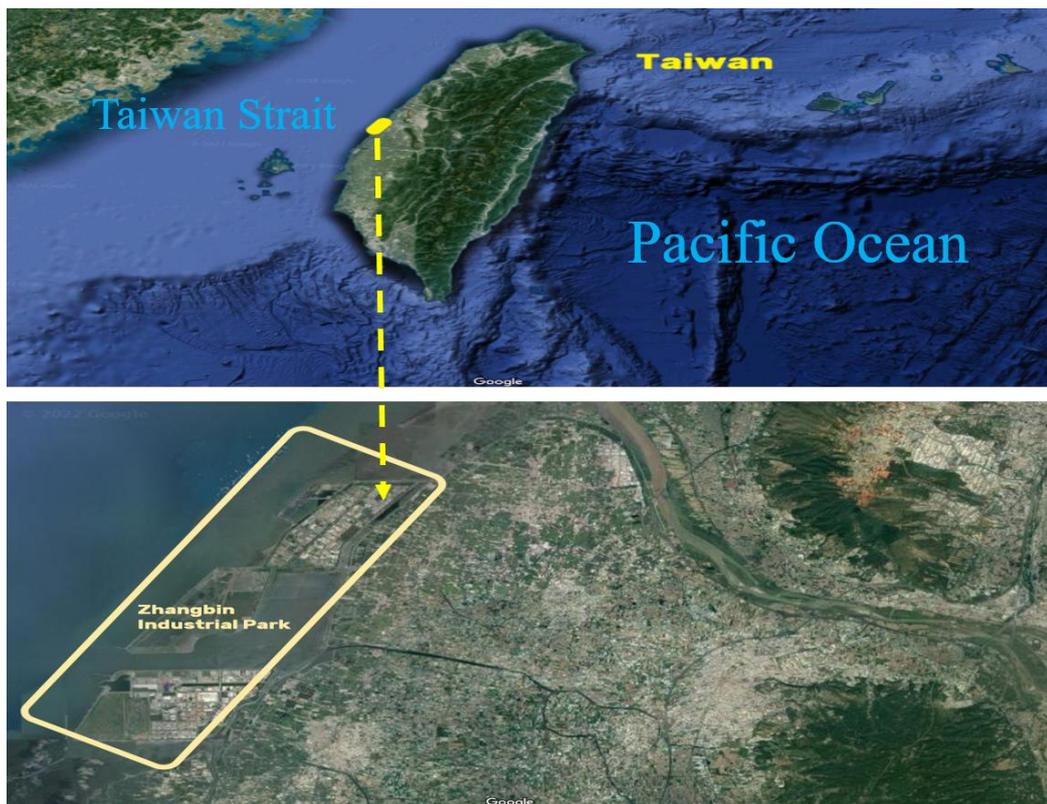


圖 5.1 彰濱工業區試驗站位置圖

本計畫彙整 2010 至 2020 年彰濱工業區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，調查數據共有 43 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)、二氧化硫沉積速率(mg/m²/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)及共 10 項腐蝕環境因子為自變數，進行 MLR(多元線性迴歸分析)，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，分析結果說明如下：

表 5-1 彰濱工業區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) | 43 | 65 | 133 | 92.30 | 9.862 |
| TOW | (%) | (X ₂) | 43 | 9.6 | 73.9 | 39.312 | 13.5723 |
| CL | (mg/m ² /day) | (X ₃) | 43 | .5 | 111.8 | 36.202 | 27.0770 |
| SO ₂ | (mg/m ² /day) | (X ₄) | 43 | 38.6 | 927.6 | 231.430 | 225.4800 |
| TEMP | (°C) | (X ₅) | 43 | 15.6 | 29.5 | 23.247 | 4.3140 |
| WSDS | (m/s) | (X ₆) | 43 | 3.1 | 6.4 | 4.470 | .8700 |
| WDIR | (360°) | (X ₇) | 43 | 122 | 350 | 217.95 | 54.488 |
| H_24R | (hr) | (X ₈) | 43 | 0 | 588 | 116.14 | 93.799 |
| AP_HR | (mm) | (X ₉) | 43 | 23 | 2072 | 351.09 | 390.157 |
| SUN_hr | (hr) | (X ₁₀) | 43 | 181 | 2814 | 602.28 | 388.216 |
| Fe | (μ m/yr) | (Y ₁) | 43 | 78.4 | 573.3 | 233.063 | 116.1797 |
| Zn | (μ m/yr) | (Y ₂) | 43 | 3.5 | 46.2 | 15.130 | 9.9700 |
| Cu | (μ m/yr) | (Y ₃) | 43 | 5.7 | 31.8 | 14.505 | 6.2044 |
| Al | (g/m ² /yr) | (Y ₄) | 43 | 5.5 | 40.4 | 16.837 | 8.7968 |

表 5-2 彰濱工業區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) | 二氧化硫 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 | X10 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 |
| 2010_q1 | 91 | 9.6 | 18.7 | 38.6 | 20.2 | 4.3 | 151 | 138 | 242 | 435 | 261.8 | 7.7 | 8.8 | 16.8 |
| 2010_q2 | 92 | 23.6 | 8.7 | 111.2 | 27.5 | 4.0 | 190 | 136 | 660 | 563 | 139.6 | 3.5 | 8.1 | 17.0 |
| 2010_q3 | 97 | 30.0 | 1.4 | 78.1 | 26.2 | 4.5 | 157 | 96 | 219 | 622 | 275.6 | 9.2 | 17.9 | 34.5 |
| 2010_q4 | 99 | 44.7 | 1.4 | 651.2 | 16.2 | 6.1 | 122 | 71 | 85 | 492 | 233.4 | 30.2 | 23.8 | 40.4 |
| 2011_q1 | 90 | 47.1 | 1.8 | 257.7 | 20.3 | 4.4 | 160 | 82 | 110 | 390 | 406.4 | 10.6 | 16.3 | 25.4 |
| 2011_q2 | 84 | 37.2 | 0.5 | 91.4 | 28.4 | 3.7 | 211 | 69 | 209 | 647 | 158.5 | 7.1 | 13.6 | 9.2 |
| 2011_q3 | 98 | 41.0 | 25.2 | 64.0 | 25.9 | 4.5 | 159 | 119 | 213 | 611 | 392.0 | 12.4 | 17.3 | 24.0 |
| 2011_q4 | 84 | 55.3 | 53.4 | 927.6 | 16.6 | 6.4 | 128 | 96 | 101 | 290 | 510.7 | 19.0 | 26.7 | 37.1 |
| 2012_q1 | 91 | 60.0 | 53.0 | 182.3 | 20.5 | 4.4 | 165 | 109 | 356 | 354 | 290.4 | 8.6 | 13.9 | 19.8 |
| 2012_q2 | 91 | 51.9 | 36.1 | 78.6 | 28.0 | 4.1 | 191 | 174 | 997 | 595 | 183.1 | 12.3 | 10.4 | 9.7 |
| 2012_q3 | 133 | 38.4 | 24.9 | 300.9 | 23.6 | 4.4 | 180 | 154 | 220 | 833 | 203.7 | 13.0 | 21.7 | 22.1 |
| 2013_q1 | 86 | 73.9 | 77.6 | 649.5 | 17.0 | 5.4 | 228 | 50 | 47 | 377 | 573.3 | 10.1 | 20.1 | 19.2 |
| 2013_q2 | 91 | 56.0 | 21.9 | 103.0 | 24.2 | 3.6 | 190 | 204 | 526 | 390 | 184.0 | 8.6 | 8.5 | 17.1 |
| 2013_q3 | 89 | 28.7 | 22.7 | 123.1 | 25.7 | 4.3 | 206 | 182 | 1281 | 1234 | 118.0 | 7.6 | 9.7 | 5.8 |
| 2013_q4 | 86 | 45.4 | 69.3 | 337.1 | 23.3 | 4.4 | 200 | 588 | 2072 | 2814 | 282.6 | 34.7 | 26.2 | 26.5 |
| 2014_q1 | 90 | 47.0 | 52.2 | 90.3 | 15.6 | 5.5 | 208 | 105 | 133 | 420 | 252.0 | 9.4 | 16.7 | 33.3 |
| 2014_q2 | 92 | 57.2 | 15.4 | 72.1 | 23.5 | 3.6 | 213 | 147 | 644 | 388 | 201.8 | 14.5 | 12.2 | 14.2 |
| 2014_q3 | 91 | 31.9 | 22.7 | 141.1 | 29.3 | 3.6 | 212 | 76 | 409 | 772 | 103.1 | 10.5 | 10.3 | 6.2 |
| 2014_q4 | 110 | 34.9 | 105.4 | 288.7 | 22.5 | 5.0 | 209 | 70 | 54 | 715 | 296.3 | 6.2 | 19.4 | 9.4 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|------|
| 2015_q1 | 91 | 40.7 | 36.5 | 159.2 | 17.0 | 4.9 | 231 | 48 | 66 | 507 | 231.4 | 16.1 | 14.9 | 18.0 |
| 2015_q2 | 84 | 46.8 | 20.6 | 95.4 | 25.7 | 3.8 | 200 | 166 | 449 | 567 | 124.2 | 12.9 | 8.7 | 10.0 |
| 2015_q3 | 105 | 37.5 | 73.3 | 191.4 | 28.2 | 4.1 | 215 | 195 | 561 | 726 | 161.6 | 31.6 | 13.8 | 9.2 |
| 2015_q4 | 84 | 46.7 | 31.8 | 187.9 | 22.3 | 4.8 | 252 | 35 | 84 | 493 | 372.4 | 46.2 | 31.8 | 25.5 |
| 2016_q1 | 91 | 58.9 | 27.2 | 72.1 | 16.0 | 5.4 | 256 | 262 | 464 | 311 | 387.8 | 21.5 | 13.4 | 21.9 |
| 2016_q2 | 65 | 56.7 | 21.6 | 88.2 | 25.1 | 3.4 | 215 | 83 | 325 | 339 | 165.6 | 7.8 | 9.8 | 11.2 |
| 2016_q3 | 89 | 29.3 | 13.8 | 93.7 | 29.3 | 3.7 | 190 | 71 | 239 | 506 | 109.4 | 8.3 | 6.9 | 7.7 |
| 2016_q4 | 99 | 43.3 | 49.4 | 479.6 | 22.3 | 4.9 | 227 | 44 | 75 | 181 | 355.5 | 15.1 | 13.4 | 21.1 |
| 2017_q1 | 111 | 39.5 | 41.9 | 731.0 | 17.8 | 5.5 | 251 | 58 | 60 | 558 | 232.1 | 18.7 | 18.4 | 20.7 |
| 2017_q2 | 91 | 37.7 | 37.8 | 231.0 | 25.2 | 3.6 | 198 | 191 | 563 | 509 | 97.9 | 4.8 | 6.5 | 5.5 |
| 2017_q3 | 79 | 21.7 | 38.5 | 220.9 | 29.4 | 3.1 | 206 | 75 | 281 | 636 | 86.0 | 16.0 | 8.4 | 6.3 |
| 2017_q4 | 103 | 29.5 | 111.8 | 757.0 | 23.2 | 5.5 | 272 | 58 | 54 | 600 | 221.3 | 17.7 | 20.6 | 18.5 |
| 2018_q1 | 91 | 42.8 | 46.6 | 199.7 | 16.9 | 5.2 | 274 | 144 | 157 | 416 | 326.6 | 14.8 | 12.1 | 12.9 |
| 2018_q2 | 92 | 19.8 | 30.0 | 84.6 | 26.0 | 3.7 | 229 | 49 | 146 | 648 | 149.5 | 6.6 | 8.9 | 15.3 |
| 2018_q3 | 91 | 27.8 | 28.1 | 79.2 | 28.6 | 3.3 | 203 | 144 | 748 | 610 | 144.2 | 11.7 | 11.8 | 8.0 |
| 2018_q4 | 90 | 31.9 | 24.5 | 236.2 | 22.4 | 5.3 | 283 | 43 | 30 | 582 | 255.2 | 32.7 | 20.7 | 16.9 |
| 2019_q1 | 91 | 53.7 | 18.8 | 210.5 | 18.3 | 5.2 | 284 | 136 | 202 | 411 | 412.5 | 16.1 | 17.8 | 18.5 |
| 2019_q2 | 91 | 46.2 | 10.4 | 71.5 | 25.0 | 3.6 | 218 | 192 | 658 | 494 | 145.5 | 9.5 | 7.0 | 8.7 |
| 2019_q3 | 91 | 29.6 | 45.9 | 69.9 | 28.6 | 3.7 | 204 | 119 | 735 | 637 | 112.9 | 6.8 | 8.3 | 6.6 |
| 2019_q4 | 91 | 24.8 | 81.1 | 122.3 | 22.3 | 5.6 | 294 | 48 | 76 | 713 | 202.6 | 25.7 | 14.5 | 21.7 |
| 2020_q1 | 91 | 43.5 | 35.8 | 202.4 | 18.2 | 4.6 | 350 | 61 | 138 | 565 | 264.6 | 20.0 | 13.8 | 13.3 |
| 2020_q2 | 91 | 31.1 | 24.9 | 43.9 | 25.0 | 3.6 | 350 | 94 | 278 | 605 | 111.9 | 10.3 | 11.0 | 10.1 |
| 2020_q3 | 91 | 11.9 | 8.2 | 63.4 | 29.5 | 3.3 | 140 | 12 | 107 | 773 | 78.4 | 4.2 | 5.7 | 8.3 |
| 2020_q4 | 91 | 25.2 | 85.8 | 674.0 | 22.8 | 6.2 | 350 | 0 | 23 | 569 | 206.3 | 40.3 | 23.9 | 20.4 |

5.1 彰濱工業區碳鋼金屬 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氣溫(X_5)、濕潤時間(X_2)、平均風向(X_7)、等，此迴歸模式之配適度 R^2 可達 0.607。其迴歸方程式為：

$$Y_1 = -23.722 - 5.183 X_5 + 3.327 X_2 + 55.144 X_7 \quad (5-1)$$

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，故使用其篩檢之變數平均氣溫、濕潤時間、平均風向等。

表 5-3 彰濱工業區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 | 0.797 | 0.635 | 0.607 | 2.179 |

表 5-4 彰濱工業區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) | -23.722 | 212.443 | -0.112 | .912 |
| 平均氣溫 X_5 | -5.183 | 4.758 | -1.089 | .283 |
| 濕潤時間 X_2 | 3.327 | .986 | 3.375 | .002* |
| 平均風向 X_7 | 55.144 | 21.139 | 2.609 | .013 |

符號『*』表示 P 值 < 0.05，達統計上顯著。

表 5-5 彰濱工業區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 | F 檢定 | 顯著性 |
|----|------------|-----|------------|--------|-------|
| 迴歸 | 359781.947 | 3 | 119927.316 | 22.582 | .000* |
| 殘差 | 207122.773 | 39 | 5310.840 | | |
| 總和 | 566904.720 | 42 | | | |

符號『*』表示 P 值<0.05，達統計上顯著。

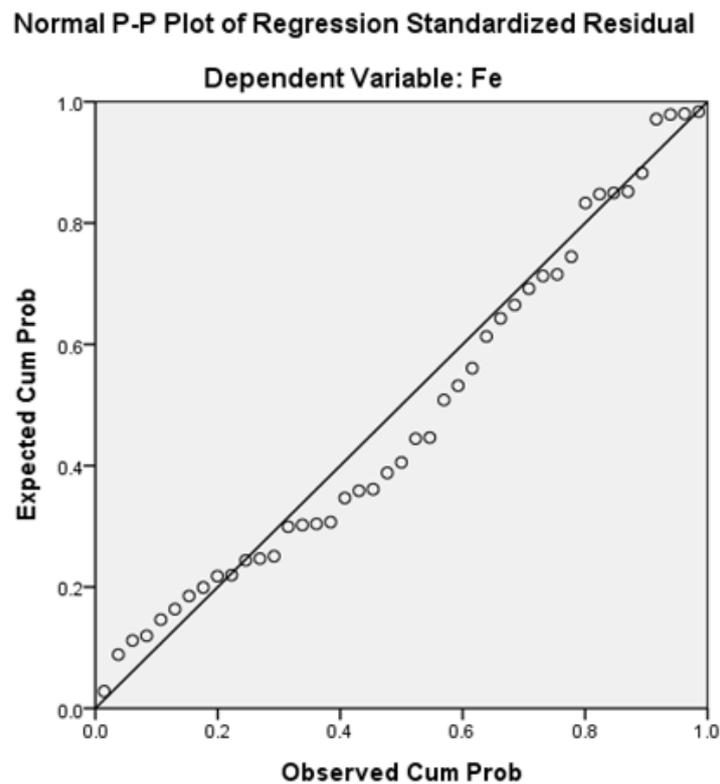


圖 5.2 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析標準化常態 P-P 圖

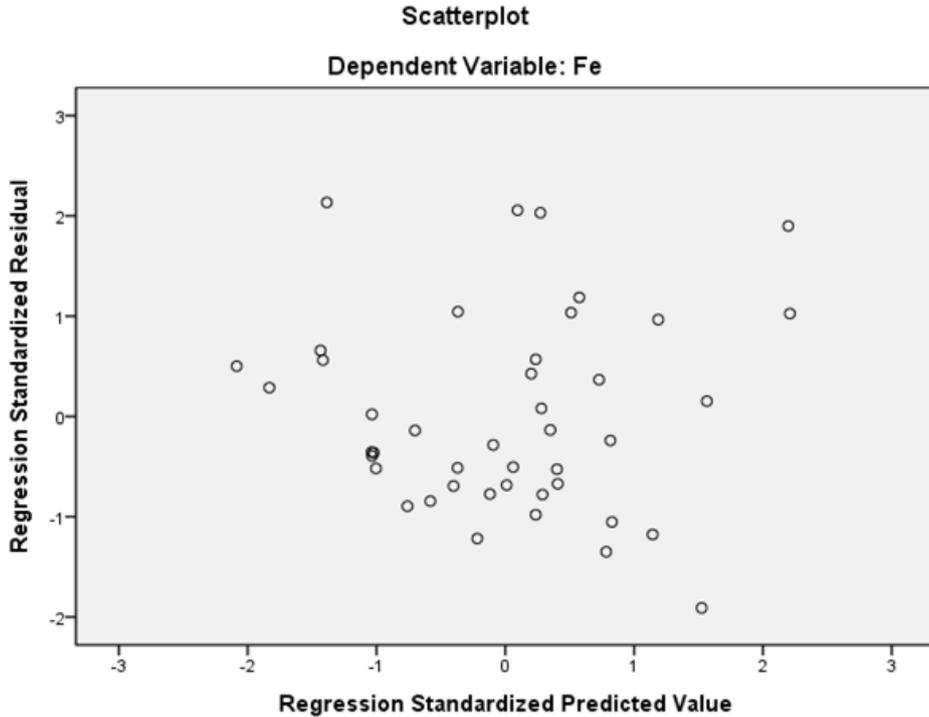


圖 5.3 彰濱工業區碳鋼逐步迴歸分析之殘差散佈圖

5.2 彰濱工業區鋅金屬 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_6)、日照時數(X_{10})、平均風向(X_7)，此迴歸模式之配適度 R^2 為 0.399。其迴歸方程式為：

$$Y_2 = -26.444 + 5.736 X_6 + 0.008 X_{10} + 0.051 X_7 \quad (5-2)$$

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、日照時數、平均風向等 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 40%。

表 5-6 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之模型摘要表

| | R | R^2 | 調整後 R^2 | Durbin-Watson |
|----|------|-------|-----------|---------------|
| 迴歸 | 0665 | 0.422 | 0.399 | 1.589 |

表 5-7 彰濱工業區鋅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) | | -26.444 | 7.639 | -3.462 | .001* |
| 平均風速 | X_6 | 5.736 | 1.415 | 4.053 | .000* |
| 日照時數 | X_{10} | .008 | .003 | 2.571 | .014* |
| 平均風向 | X_7 | .051 | .022 | 2.278 | .028* |

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

表 5-8 彰濱工業區鋅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 | 1843.831 | 3 | 614.610 | 10.283 | .000* |
| 殘差 | 2330.980 | 39 | 59.769 | | |
| 總和 | 4174.811 | 42 | | | |

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

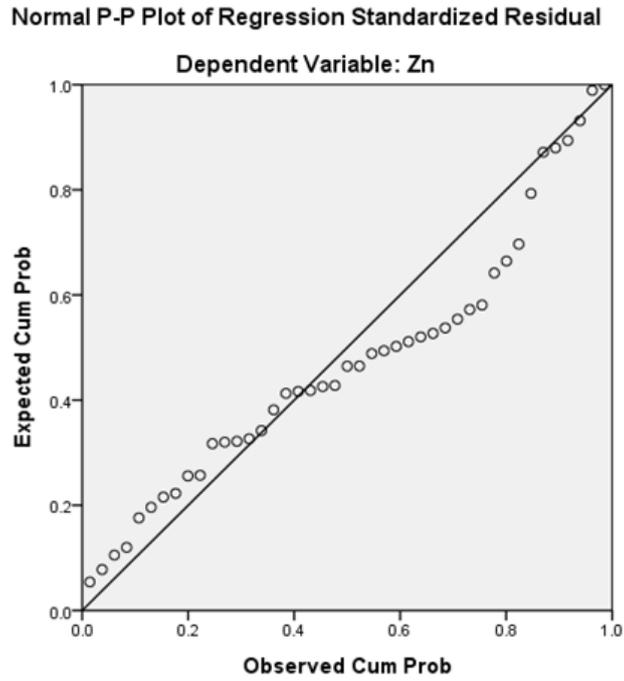


圖 5.4 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖

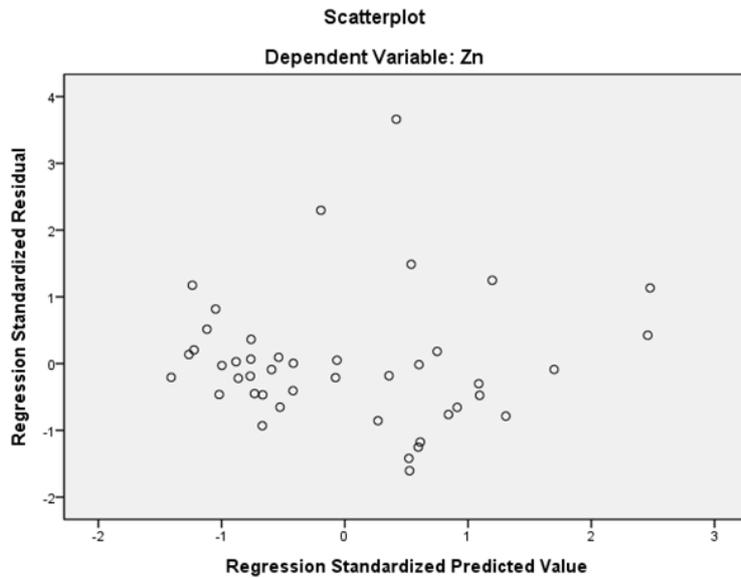


圖 5.5 彰濱工業區鋅逐步迴歸分析之殘差散佈圖

5.3 彰濱工業區銅金屬 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向(X_7)、日照時數(X_{10})，此迴歸模式之配適度 R^2 為 0.592。其迴歸方程式為：

$$Y_3 = -12.6 + 5.433 X_7 + 0.548 X_{10} \quad (5-3)$$

接下來進行殘差分析，由表 5-9 當 DW 值 2.099 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向(X_7)、日照時數(X_{10})可做為後續預測之建構。

表 5-9 彰濱工業區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 | 0.782 | 0.611 | 0.592 | 2.099 |

表 5-10 彰濱工業區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) | -12.600 | 3.471 | -3.630 | .001* |
| 平均風向 X_7 | 5.433 | .708 | 7.670 | .000* |
| 日照時數 X_{10} | .005 | .002 | 2.951 | .005* |

符號『*』表示 P 值 < 0.05，達統計上顯著。

表 5-11 彰濱工業區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 | F 檢定 | 顯著性 |
|----|----------|-----|---------|--------|-------|
| 迴歸 | 988.440 | 2 | 494.220 | 31.463 | .000* |
| 殘差 | 628.319 | 40 | 15.708 | | |
| 總和 | 1616.759 | 42 | | | |

符號『*』表示 P 值<0.05，達統計上顯著。

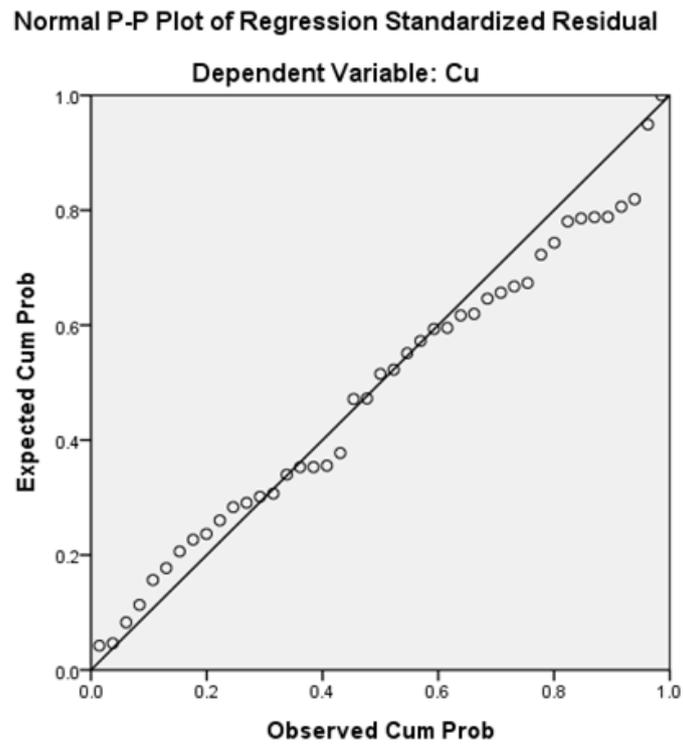


圖 5.6 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖

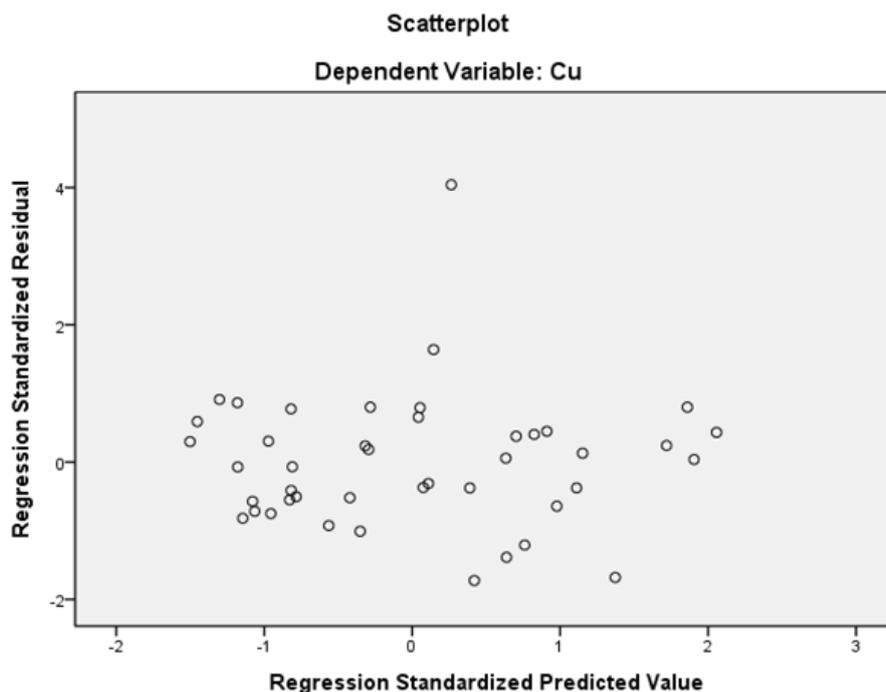


圖 5.7 彰濱工業區銅金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖

5.4 彰濱工業區鋁金屬 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_6)、平均風向(X_7)、氣鹽沉積速率(X_3)，此迴歸模式之配適度 R^2 為 0.663。其迴歸方程式為：

$$Y_4 = -9.059 + 9.015X_6 - 0.052 X_7 - 0.085 X_3 \quad (5-4)$$

接下來進行殘差分析，由表 5-12 當 DW 值 2.325 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 彰濱工業區鋁金屬逐步迴歸分析之模型摘要表

| | R | R2 | 調整後 R2 | Durbin-Watson |
|----|-------|-------|--------|---------------|
| 迴歸 | 0.829 | 0.687 | 0.663 | 2.325 |

表 5-13 彰濱工業區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) | | -9.059 | 5.008 | -1.809 | .078 |
| 平均風速 | X ₆ | 9.015 | 1.020 | 8.834 | .000 |
| 平均風向 | X ₇ | -.052 | .015 | -3.356 | .002 |
| 氣鹽沉積速率 | X ₃ | -.085 | .034 | -2.475 | .018 |

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

表 5-14 彰濱工業區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 | 2234.320 | 3 | 744.773 | 28.595 | .000* |
| 殘差 | 1015.781 | 39 | 26.046 | | |
| 總和 | 3250.100 | 42 | | | |

符號『*』表示 P 值 <0.05 ，達統計上顯著。

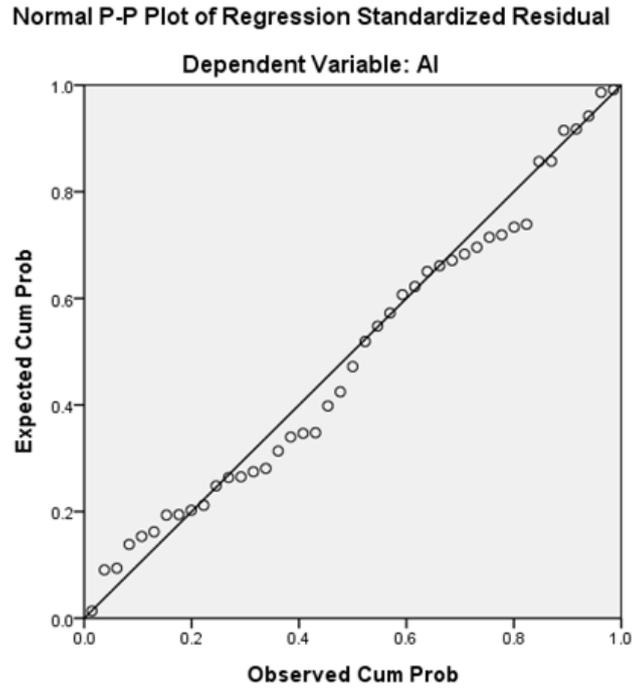


圖 5.8 彰濱工業區鋁金屬逐步迴歸分析之標準化常態 P-P 圖

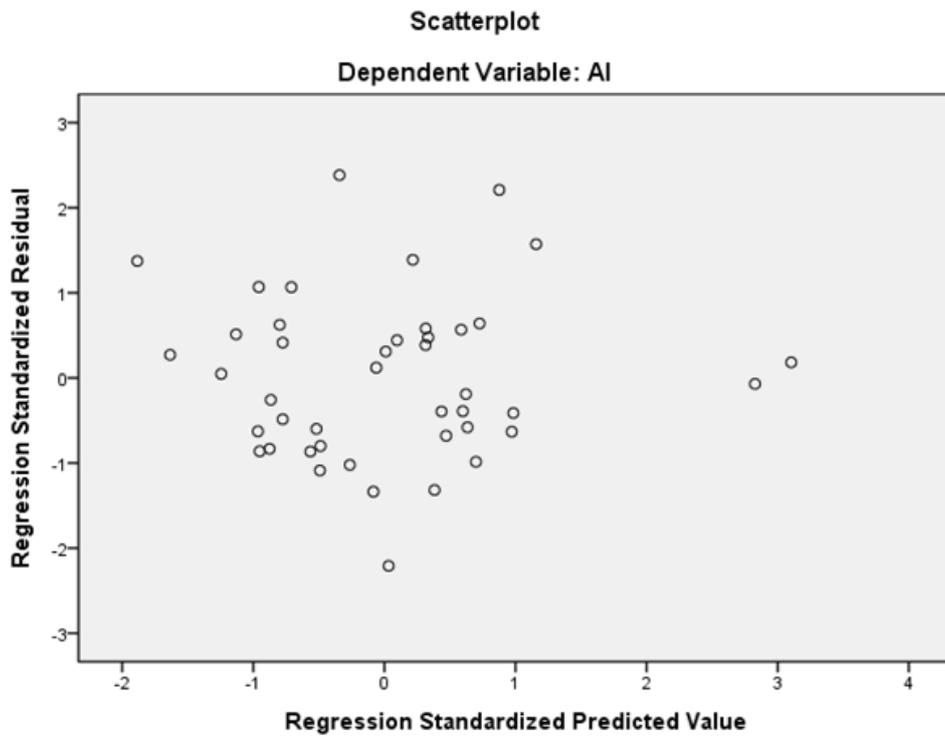


圖 5.9 彰濱工業區鋁金屬逐步迴歸分析之殘差散佈圖

綜合上述:將選取的 10 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，碳鋼自變數為平均氣溫、濕潤時間、平均風向。鋅為平均風速、日照時數、平均風向。銅為平均風向、日照時數，鋁為平均風速、平均風向、氣鹽沉積速率。

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 | 平均氣溫、濕潤時間、平均風向 | 逐步迴歸分析法 |
| 鋅 | 平均風速、日照時數、平均風向 | (準則: F-選入的機率 |
| 銅 | 平均風向、日照時數 | ≤ 0.05 , F-刪除的機 |
| 鋁 | 平均風速、平均風向、氣鹽沉積速率 | 率 ≥ 0.10) |

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.工業地區金屬腐蝕與環境因子關聯性分析；5.完成臺灣大氣腐蝕環境分類之工作。

在此目標下，本計畫蒐集大氣氣象資料、氯離子、二氧化硫沉積量等大氣腐蝕劣化因子、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，四季中以北部至西部沿海地區的試驗點氯鹽沉積速率較高，在東部沿岸的氯鹽沉積速率以橄仔樹安檢所較其他試驗點高；垂直海岸試驗線的平均氯鹽沉積速率以冬季和夏季較高，並且桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及花蓮港試驗線的平均氯鹽沉積速率明顯較其他試驗線高。
2. 二氧化硫沉積速率四次調查結果發現，除了靠近硫磺區的陽明山國家公園外，較高的二氧化硫沉積速率大多發生在西部的火力電廠及工業區；在特定試驗點調查結果發現，高鐵沿線二氧化硫沉積速率在秋季最高，火力電廠二氧化硫沉積速率依季節順序和由北到南皆呈降低趨勢。
3. 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較，碳鋼金屬以基隆試驗線、桃園試驗線及臺塑六輕試驗線的腐蝕速率較高，鋅金屬則以桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及核三廠試驗線，不同季節中腐蝕速率差異較大，

尤其是秋季較高，銅金屬與鋁金屬的腐蝕速率皆以臺塑六輕試驗線較為嚴重。

4. 在特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較，西半部火力電廠及工業區腐蝕速率較其他測站高，碳鋼金屬在冬季和春季腐蝕速率較高，而鋅、銅和鋁金屬則以秋、冬兩季的腐蝕速率較高。
5. 金屬材料與大氣腐蝕因子關聯性，以彰濱工業區為例，選取 10 項腐蝕環境因子進行迴歸分析，結果顯示，碳鋼自變數為平均氣溫、濕潤時間、平均風向。鋅為平均風速、日照時數、平均風向，銅為平均風向、日照時數，鋁為平均風速、平均風向、氣鹽沉積速率。

6.2 建議

1. 未來持續建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫，並針對前期累積量測與試驗分析資料，進行統計與大數據分析，研析大氣腐蝕因子與金屬材料之關聯性。
2. 持續藉由辦理教育訓練、研討會及出版年報，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) 2022 年發行交通部運輸研究所專刊，出版 2021 年「臺灣大氣腐蝕劣化因子調查資料年報」1 冊。
 - (2) 舉辦「大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會」2 場。
 - (3) 參加 111 年度中華民國防蝕工程年會論文比賽榮獲第二名，論文題目為「沿岸地區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子關聯性統計分析」。

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 91 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，可作為臺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產官學研各界參考應用。

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. 羅建明、蔡立宏、張道光「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，2021。
12. 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。
13. 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。

14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 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。
18. 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。
19. 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。
20. 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。
21. 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。
22. 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。
23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 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。
27. 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。
28. 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。
 29. 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。
 30. ISO 9223/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
 31. ISO 9224/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres –Guiding values for the corrosivity categories.
 32. ISO 9225/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
 33. ISO 9226/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
 34. Corvo F. Haces C, Betancourt N., et al., Atmospheric corrosivity in the Caribbean Area. *Corrosion Science*, 1997, 39(5): 823-833.
 35. Veleva 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.
 36. Morales J., Martin-Krijger 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.
 37. 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.

38. 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.
39. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 2020.
40. ISO 8565/2011: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
41. 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。
42. 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。
43. 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。
44. 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。
45. 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。
46. Metals Handbook- Corrosion, Metals Handbook Ninth Ed., Vol. 13, ASM International, Ohio, 1988.
47. I. Odnevall and C. Laygraf, "Atmospheric corrosion", ASTM STP 1239, W.W. Kirk and Herbert, H. Lawson, Eds., Philadelphia, 1995.
48. Outdoor atmospheric corrosion", ASTM STP 1421, H.E. Townsend Ed., West Conshohocken, PA, 2002.
49. K.O.Gray "Environment of Deep Ocean Test Site, U.S.Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note , N-657", p. 41, 1965.
50. W.Whitman, R.Russll, V.Altieri, "Industrial Engineering Chemistry", Vol.16, p. 665, 1924.
51. 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.
52. Uhlig H. H., "The Corrosion Handbook," (La Que), John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 387-388. 1948.
 53. Samuel A. Bradford H.H. "Corrosion Control", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. 1993.
 54. LaQue, F. L., Marine Corrosion cause and Prevention, John Wiley & Sons, New York, 1975.
 55. P.R. Roberge, R.D. Klassen, & P.W. Haberecht, Atmospheric corrosivity modeling-a review. *Materials and Design*, 23, (2002) 321-330.
 56. 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.
 57. 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)
 58. Mendoza, A.R., & Corvo, F. (1999). Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel. *Corrosion Science*, 41, 75-86.
 59. 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.*
 60. M. Pourbaix, The Linear Bilogarithmic Law for Atmospheric Corrosion in *Atmospheric Corrosion*, W.H. Ailor, Ed., John Wiley

& Sons, 1982.

61. J. Morales, F. Diaz, J. Hernandez-Borges, S. Gonzalez and V. Cano, Corrosion Science, 49 (2007) 526 ~ 541.
62. F.R. Su, Investigate the corrosion relationship of atmosphere and metal, National Taiwan University Department of Environmental Engineering Master's Thesis, 1988.
63. K.J. Tsai, ” Electricity atmospheric corrosion testing and related materials database set up summary report ” , Industrial Technology Research Institute, Taiwan Power Research Institute, 1993 。
64. 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)
65. 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.
66. 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

專家學者座談會會議紀錄

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 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 紀錄：鄭登鍵

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、朱金元委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 各年度甘梯圖之工作項目宜更精準。
2. 斷面試驗或現場橋址記錄河床變化、鼎型塊變位或流失情形，宜作三維之量化紀錄。
3. 斷面水槽試驗，建議每次試驗都能全程錄影，尤其在鼎型塊或地工織布即將變位或流失之過程，可於成果說明時清楚呈現。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 在 110 年合作計畫結束即研究擴大應用範圍，是很棒的計畫。
2. 建議對於執行現況探討可就前期研究沒處理的部分深入即可。
3. 加強前期研究成果推廣應用之執行情形，並研究如何精進，畢竟科技發展很快。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 相關 UAV 及山區道路崩塌研究，中心已有相當豐碩之前期研究成果，宜先探討其執行應用情形。
2. 本研究對象建議以山區道路或東部地區易崩塌路段為主，較能突顯成果。
3. 除後續應用於巡查作業外，建議未來能朝預警機制建立等賡續進行。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 本中心進行二十餘年持續性之腐蝕調查建置研究，支持繼續進行。
2. 原始資料紀錄越詳細越好。例如：樣本放置/收取/試驗時間，以作為後續分析使用。
3. 建議未來應用 AI 分析技術，作為後續不同地區金屬材料選用，構造物壽命評估及維護評估使用。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 集中精力於相關新興科技應用案例，蒐集分析可行性應用評估，對於維護管理制度，檢查項目劣化標準等都有多年的探討，除非有必要才再花時間探討。
2. 檢測結果之自動辨識及判讀，後續維護之優先順序自動排序對於節省相關人力及提昇檢測精度可能更為重要。
3. 各項新興科技包括水下機器人都要在本計畫建置？從計畫經費概估表看不出來，如都用現成的東西，建議縮短期程。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 在原有之地理資訊系統(GIS)已有各種評估方法或液化潛勢評估方法，該系統已技術轉移給港務公司，如果有新的鑽探資料，應由港務公司人員自行建置資料，進行評估。
2. 如有更新的建築技術規則，也許可以增加此評估方法或調整相關參數進行比較。

3. 建議期程縮短，評估方法建立後，示範 1 個地點即可，其餘技轉給港務公司，自行建置評估。

二、王錦榮委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

P.19，本案在召開專家學者座談會，建議先找臺鐵員工巡查員座談，確認問題的癥結，及人工智慧辨識的重點，避免產生運用上之盲點。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 建議仿照前期(108-110 年)，以每 3 年為一個研究年期進行長期調查及研究，除可建立更完整的材料腐蝕環境，並可分析各類金屬材料腐蝕變化，並藉此建立環境變遷對應材料腐蝕之變化。
2. 臺灣各港口之水質、環境均有明顯差異，建立各港均應有試驗站，以利比對，分析水質、環境差異對腐蝕之影響性，建立影響因子。
3. 建議增加教育訓練之場次，以利港務公司更多同仁了解研究成果及後續因應作為。
4. 建議長期可以制定一套港灣金屬結構物(設施)全生命週期之防蝕、保養、維護管理手冊或規範。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 本計畫對於未來港務公司執行各類港灣構造物之巡查檢測作業非常有助益，建議可否擴大研究規模，以縮短本研究計畫年期，例如:碼頭+防舷材，防波堤+海堤分兩年完成。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準，感謝運研所先前協助建立，建議 111 年可以重新檢視更新，並導入科技巡檢，以利更準確掌握構造物之現況。
3. 未來檢測巡查導入新興科技應用是必然的趨勢，建議加速推動，港公司全力支援與配合，包括由港公司編列經費來

擴大辦理。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港近期正加速南填區之圍堤造地，建議一併納入評估，以做為後續工程設計之檢討參考。
2. 臺北港及高雄港，此兩港近期已有完成新填土地，建議此二港口之液化風險評估，可併在 112 年來辦理。

三、朱我帆委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案 2 週前與本局機務單位會議，申請調用復興號車箱一輛，做為今年研究案系統模組化安裝測試，車箱之外觀、尺寸已經研究單位現場勘查確認，調用之車箱預計 5 月上旬可運至大甲站。
2. 因車箱前、後構造不同，為考量日後維修車兩側牽引之採作便利，請研究單位應以輕巧、拆裝方便、穩固為主。若裝設於車底，則以易於調整設備角度及更換設備為重點。
3. 待設備安裝於車箱後，可先日間於大甲站側線測試，如成效良好則可改為夜間於正線測試，相關期程請研究單位再與本段確認。
4. 本案初期以時速 60 公里為測試目標，請研究單位評估最高測試車速，本局再予研究是否可連掛於日間列車運轉測試。
5. 前案因裂縫缺失態樣製作不易，辨識效果受限，本年度請研究單位可再提升此功能之成效。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

金屬材料腐蝕環境調查，因本局車站、橋梁均有相關結構，希能將其納入貴所之研究。

四、饒書安委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值

水理分析模型建置

1. 第 1 年工作及後續年度規劃，請考量本分局大甲段實際於國道 3 號大甲溪橋之橋墩基保護工程，原預計定於 111 年汛期前施工，惟考量目前現地主河道水量較大之施工便道目前較難施工，且整體施工工期約兩個月(P22~P23 及 P25-26 各約 1 個月)，將調整於今年汛期後(111.11~111.12)辦理施工，以上期程提供貴中心參考調整研究期程。
2. 有關計畫 111 年預計辦理之二維或三維之數值模擬水槽分析模型，建議未來可多蒐集相關文獻模擬成果。
3. 另外有關 UAV 結合攝影量測技術，後續相關成果希望可洽取供本段養護管理參考，作為兩機關合作成果。
4. 未來若有到現地因涉及國道主線安全，進場請先洽本局承辦人，除考量安全外並可提供本段橋梁承辦人共同參予研討並提升本同仁專業能力。
5. 最後還是肯定港研中心規劃 4 年度研究案，對於國道 3 號大甲溪橋墩保護工程的持續深入模擬與現地相互驗證，對於產官學合作建立良好機制。
6. 有關橋基保護工程分析模擬之成果，建議可辦理教育訓練提供本分局橋梁維護人員及顧問公司學習參考，或由本分局共同協助辦理及經費負擔。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 主要工作項目中，巡檢成效如何？前期成果中，人工智慧辨識成功率有多高？當前遇到的問題是辨識種類增加，還是準確率提高？
2. 各種入侵物的樣態中，如果沒有足夠訓練影像樣本，如何進行？

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

本研究若有需要，高速公路局大甲段可全力配合，不過裸露

坍塌地國道目前較少，建議增納其他模式如局部滑移及改善比對等。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

有關金屬材料腐蝕環境調查建議可將國道 3 號竹南路段或和美路段增列國道位置隔音牆設點納入長期觀測。

五、張志新委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 有關保護成效觀測研究項目第一年到第四年的工作項目都是持續進行記錄周遭變化，鼎型塊流失情形。建議應多論述如何應用科研技術進行量化，量化頻率為何?量化範圍?並且在四年中有何進步的發展。
2. 第 4 年工作項目，本工法技術指引，該項工作沒有出現在第 1~3 年對應工作項目，若保護成效有限如何辦理技術指引與技術移轉?應經過如何的認證或是專利申請始可進行技術移轉?
3. 是不是僅限鼎型塊的應用?
4. UAV 對於水下紀錄如何克服?

(二) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 本研究應釐清適用影像，若以計畫書相關需求建議以衛星影像為主較為合適。
2. 承上，衛星影像用於邊坡裸露判識已有前人研究之豐碩成果，建議應藉以此為基礎，再思考本案如何更強化及精準打擊。
3. 目前判識仍須結合現地地貌特徵，才能為崩塌地研判之可能，建議未來可思考如何解決及突破此問題。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 前期成果為何？
2. 研究項目內容中 P.37 港灣構造物巡檢項目與劣化判定標準之彙整。從兩行的內容文字彙整既有巡檢項目、構件劣化標準。似乎是距離計畫執行還有很長的路要走？
3. 建議盡速釐清前述項目與標準，選擇適合的新興應用科技作為技術提升的研發。
4. 除目前提出的方法外 InSAR 合成孔徑雷達影像適合於小位移變形的偵測可以嘗試看看。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 港區的液化風險不會有太大改變，會改變的是這些年新增設施，抗液化的風險或是易損性有不同，應朝向新增設備或設施抗液化風險評估及其對策研擬。
2. 經濟部中央地質調查所持續更新全臺液化潛勢，建議同樣是政府資源，可以採用中央地質調查所的系統新增鑽探資料，即可完成液化評估。

六、許書王委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 橋基保護工法監測，應確保在需要監測時，相關設備均能使用。
2. 橋基周邊環境會隨降雨條件改變，此對於室內模擬或實驗是否應注意。

(二) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

P.37 新興科技應用於巡查檢測作業部分，由於港灣構造物其環境或有不同，對於研究時，建議針對不同環境最有利的科技產品應用，而不限於用單一科技應用於所有港灣構造物。

七、鄭志宏委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

土工織布之耐久性為何?建議納入評估。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 建議可針對臺鐵的巡察需求，先檢討使用的設備，如小構件的巡查，以無人車巡查可能較符合需求，大範圍大面積巡查，可優先檢討無人機運用，它物入侵等緊急應變處理，可考慮以 CCTV 搭配電子圍籬。
2. AI 辨識技術仍需要持續學習改善正確率，建議可納為持續研究討論改善正確率的做法。

(三) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究：

1. 建議團隊可考慮港口條件的特性，將生物影響及海象外力的影響列為變因來探討。
2. 港口金屬防蝕之工法，現階段常用鍍鋅工法、塗漆、鋁陽極塊等，其使用有一定的壽齡，因此如何提升使用壽齡，建議可納入本案研究。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 港灣構造物巡查檢測作業，以由運研所協助建置了線上使用系統，因此未來智慧化運用於巡查作業後，其巡查結果仍應納入該系統中管理，建議團隊研議如何讓系統互相結合，減少人為作業的程序。
2. 新興科技研究案例中，建議可將側掃聲納納入研究。本公司在研究水下 ROV 過程中，側掃聲納可在高濁度的環境下，取代高精攝影機的功能，傳回鋼板樁式碼頭及棧橋式碼頭的影像以供辨別。
3. 港口碼頭常附著生物蚌殼等，影響判別(版厚檢測需要先去除海生物才能執行)，建議可一併考慮如何解決。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港、高雄港、臺北港等，近期都有填海造地行為，造地材料常用均質、粉質砂岩等，且填築完成初期尚未完成

壓密行為，容易發生液化及沉陷，建議此高風險區域可優先討論。

2. 查以前團隊報告，也一併調查及研究港口的沉陷情形，109年的報告，又以布袋港沉陷最高，建議可併本案持續研究。

柒、 結論：

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，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

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 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

| 出席單位 | 簽名 |
|-------|--|
| 朱金元委員 |  |
| 王錦榮委員 | 王錦榮(視訊) |
| 朱我帆委員 | 朱我帆(視訊) |
| 饒書安委員 | 饒書安(視訊) |
| 張志新委員 | 張志新(視訊) |
| 許書王委員 | 許書王(視訊) |
| 鄭志宏委員 | 鄭志宏(視訊) |

| | |
|------------------------------|--|
| <p>本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任</p> | <p>柯正龍</p> |
| <p>本所港灣技術研究中心 第一科</p> | <p>賴瑞應 張道光 謝幼屏 曾文傑 母怡文 潘建明 黃子謙 鄭望鍵 莊凱迪</p> |
| <p>本所港灣技術研究中心 第二科</p> | <p>李俊穎</p> |
| <p>本所港灣技術研究中心 第三科</p> | <p>林雅雯</p> |

附錄二

第 1 次工作會議紀要

111 年 6 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：111 年 6 月 27 日(星期一)上午 9 時 30 分至 12 時 20 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所港灣技術研究中心第一科

紀錄：莊凱迪

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 前期成果應用說明。
2. 二維數值水理分析模式比較及文獻蒐集。
3. 完成試驗區 UAV 觀測採購案。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 進行臺鐵局 5 項主要軌道檢查作業的檢查頻率、檢查內容探討。
2. 綜整軌道巡查作業各檢查項目之檢查方法與維修處理方法，探討臺鐵局在軌道檢查上不同於高鐵、捷運之特性。
3. 進行軌道巡查紀錄表分析，探討徒步(機車)查道、主管乘車

巡查時主要檢查到的軌道問題，以及各項問題的發生頻率。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 航測技術比較及相關空拍影像取得管道和成本蒐整。
2. 深度學習影像辨識技術探討。
3. 卷積神經網路(CNN)架構探討。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，於 3 月 31 日已進行全島 111 年第 1 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，4 月 8 日已完成第 1 季金屬酸洗化學分析試驗，預計 6 月底完成第 2 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣。
2. 5 月 15 日完成 2021 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。並提供中華民國防蝕工程學會產、官、學、研各界參用交流。
3. 111 年 5 月 27 日完成投稿第 23 屆海洋與水下技術研討會，題目為「臺灣商港 2 年期水下金屬材料腐蝕調查研究」。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 整理與彙整港灣構造物維護管理機制。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準之彙整。
3. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 蒐集彙整液化評估法相關文獻。
2. 5 月函文臺灣港務公司，蒐集臺中港近 10 年新建工程所增加之地質鑽探資料；6 月蒐集地調所臺中港地質鑽探資料。
3. 初步完成臺中港地質鑽探資料盤點。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 本案執行 2 維數值水理分析、斷面渠槽沖刷試驗及 UAV 現場拍攝評估地工織布成效，工作項目相當充實，後續請補充前述三者之相關性。
2. 第三科有購置 MIKE-21 程式，可提供分析使用。
3. GoPro 之縮時攝影規劃因角度及流體混濁度可能影響拍攝成果，請思考因應對策。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案建議先針對人工智慧影像辨識可執行之項目先做篩選，再擇與安全性相關性較高之項目做深入探討。
2. 在各項問題發生頻率分析之後，可將哪些項目對軌道安全影響較高、哪些較低整理出來，做為後續研究之方向。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

水土保持局建置之 BigGIS 巨量空間資訊系統蒐整邊坡衛星、航拍及 UAV 等空拍影像，建議了解該系統操作流程及圖資影像介接使用方式，以供後續研究之參用。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 請補充公務單位高速公路局應用臺灣腐蝕環境分類資訊系統之應用實例。
2. 本所工業區試驗點及主要大氣腐蝕因子之關聯性討論。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準之討論。

2. 新興科技應用於巡查檢測作業，在港務公司目前應用的情形。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 地質鑽探資料盤點、篩選討論。

2. 土壤液化評估相關方法討論。

3. 後續報告內容的加強與補充討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水
理分析模型建置

試驗區 UAV 觀測採購案已完成採購，後續至現場進行拍攝時，請同仁注意相關安全防護工作。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

本案目的以 AI 輔助臺鐵局巡查，可考量 AI 特性、臺鐵局的巡查設備、巡查方式、巡查需求等因素，評估後，先將不適合 AI 執行項目排除，再就 AI 可輔助項目做深入探討。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

請依研究標的決定採用之影像，並瞭解相關影像取得的難易，若無法符合研究需求，亦可考量自行或委外拍攝，以取得研究所需的圖資。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於第 2 次工作會議進行說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測
作業之探討

1. 後續請補充探討目前港務公司在新興科技應用於巡查檢測作

業之項目。

2. 在探討新興科技應用案例過程，請同步分析港務公司目前在巡檢之需求與執行上困難，以利後續精進巡查檢測作業。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

針對今年新增的臺中港區的地質鑽探資料，請於第 2 次工作報告呈現新、舊資料的分佈區域，以利瞭解其分佈，並探討是否能滿足臺中港區液化評估的需求，若有區域鑽探資料不足之處，可再洽詢臺中港務分公司索取。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：111 年 6 月 27 日(星期一) 上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 賴瑞輝 代

伍、出席單位及人員：

| 出席單位 | 職稱 | 姓名 |
|-------------|----------------------------------|--|
| 港灣技術研究中心第一科 | 副研究員 研究員 研究員 助理研究員 = | 曾文輝 吳孔財 謝幼輝 張道光 胡哲文 莊凱迪 黃宇謙 <small>王瑞源</small> |
| 港灣技術研究中心第二科 | | 請假 |
| 港灣技術研究中心第三科 | 科長 | 林雅雯 |

許序瑋
 顏麗香
 黃淑鈺
 孫安夏

附錄三

第 2 次工作會議紀要

111 年 8 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：111 年 8 月 29 日(星期一)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 近期保護成效觀測說明。
2. 二維數值水理分析模式參數選用、模型建置及暑期工讀生協助與學習事項說明。
3. 階段性成果應用說明。
4. 後續研究項目說明。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 學習進行影像辨識的程式語言 Python，理解 AI 影像辨識程式實際執行與作業情形。
2. 學習 AI 影像辨識的理論基礎、Yolo 模式架設、應用限制，做為評估各巡查項目應用 AI 影像辨識可能性的依據。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 影像取得管道說明。
2. 深度學習網路模型探討。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 8 月 8 日至 9 月 30 日進行全島及離島 111 年第 3 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣及水下金屬第 5 年取樣作業。
2. 彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子進行關聯性統計分析。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 既有的港灣構造物的巡查檢測的項目與各構件劣化的判定檢測標準之探討。
2. 新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV, ROV)之探討。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 建置臺中港地質鑽探資料，包括：港研中心地工資料庫 168 筆、港務公司鑽探報告 155 筆、地調所地質資料庫 21 筆，共計 344 筆，並盤點、篩選可用資料共 311 筆地質鑽探資料。
2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 數值模式參數係延續先前計畫之試驗參數，相關文獻引用已有一段時間，可再持續蒐集比對更新。
2. 數值模式各項參數可將參數敏感性分析之探討納入規劃考量。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 今年研究重點在評估可擴大應用之軌道巡查項目，宜優先處理。
2. 本研究重點在提出後續研究方向，影像辨識部分交由合作研究團隊去執行。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

辦理執行計畫過程仍應以交通部利害關係人如：公路邊坡相關轄管單位，為後續執行應用及預期效益為主要評估對象。

(四)111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 工業區金屬腐蝕材料與環境因子關聯性統計分析討論(以彰濱工業區為例)。
2. 後續報告內容的加強與補充討論。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 維護管理設施之巡查檢測之構件劣化度判斷問題之討論。
2. 新興科技應用於港灣構造物巡檢之案例補充。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 土壤液化評估相關方法討論。
2. 後續報告內容的加強與補充討論。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

數值模式為避免有 GIGO(Garbage in, garbage out)的情形，若有需要可適時安排尋求相關專家學者進行訪談與指導。

二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

請依期程完成各主要工作項目(如擴大應用之軌道巡查項目)，影像辨識理論與程式可再慢慢精進。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議訪談公路邊坡管理單位或相關工程顧問公司等專家學者，以利了解相關應用需求和適合蒐集影像之場址。

四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

建議透過統計結果及相關顯著性分析，建立腐蝕預測關係式，也可探討是否可套用於其他試驗站之可行性，另外，數據品質也需加強。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請探討新興科技應用於港灣設施巡檢作業之設施構件劣化度判定標準之適用性，並增加補充與比較新興科技之應用案例。

六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請補充舊的地震液化風險評估模式與新的評估模式 NCEER 法與 HBF 法之比較，以利瞭解其評估模式精進之處。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：111 年 8 月 29 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長(視訊)

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 | 柯正龍 |
| 本所港灣技術研究中心第一科 | 研究員 研究員 副研究員 副研究員 即退研究員 | 謝幼屏 張道光 曹三偉 鄭金鍵 羅建明(視訊) 黃可瑞 |
| 本所港灣技術研究中心第二科 | | 請假 |
| 本所港灣技術研究中心第三科 | | 林雅雯 |

顏研香

附錄四

第 3 次工作會議紀要

111 年 10 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：111 年 10 月 25 日(星期二)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 近期保護成效觀測。
2. 二維數值水理分析模式參數選用及數值模式臨界流速(V_c)之探討。
3. 階段性成果應用。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 分析徒步查道各巡查項目之危安問題肇因、潛在危安態樣及危安案例。
2. 評估徒步查道各巡查項目採人工智慧辨識技術輔助巡查作業之可行性。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 影像蒐集原則及資料庫建立。

2. 專家學者訪談內容說明。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 完成第 3 季大氣腐蝕氯鹽、二氧化硫化學分析及金屬酸洗試驗。

2. 完成臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港等水下金屬試片銹層清除作業與金門料羅及水頭港水下金屬試驗片取樣作業。

3. 工業地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV、ROV、AI、透地雷達)說明。

2. 港灣構造物巡查檢測作業精進案例說明。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港不同地震情境下液化潛勢分析。

2. 臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 數值水理模式之斷面流量為均勻流或是穩定流，兩者流況不同，分析結果亦會不同。

2. 請補充說明數值模式分析工具之詳細介紹，並於期末報告中呈現。

3. 可嘗試分析探討於鋪設不織布下，對於臨界流速(V_c)之影響。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 危安態樣分析可進一步就各項目產生的問題依嚴重性、發生頻率做風險分析。
 2. 道床檢查、軌枕檢查，後續可考慮採用車載光達來輔助巡查。
- (三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討
- 後續可先找出易致災或高風險邊坡所在路段，再以該路段去蒐集其邊坡多期多尺度影像，以提升資料庫建立效率。
- (四)111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究
- 工業區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子之統計分析關聯性討論。
- (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討
1. 新興科技應用水下港灣設施的檢測問題。
 2. 後續工作項目與報告內容。
- (六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進
1. 臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢。
 2. 後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

- 一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置
 - (一)應將甘特圖放入簡報中，以瞭解計畫執行進度，據以管控。
 - (二)建議製作研究過程相關成果影片，做為後續成果推廣、教育訓練、研討會…等活動展示使用。
 - 二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討
- AI除進行影像辨識外，亦可進行聲音、振動辨識，建議後續年度可將影像辨識與聲音、振動辨識結合，以達到更佳辨識結果。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-
影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議未來參照訪談專家學者之內容，結合多期邊坡地貌比對並納入氣象、地質因子及地面監測儀器資料等，進行邊坡崩落類型及預測可能土方量之加值應用。

四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整分析工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於期末報告進行說明。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請加強新興科技應用於港灣設施巡檢的運用與維護管理巡檢作業精進的說明，並請掌握時效撰寫研究成果報告。

六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請依據門檻加速度及高潛勢區面積，推估臺中港區之分區震陷量，俾提供更新臺中港地震簡訊災況初評內容。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：111 年 10 月 25 日(星期二) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

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 | 主任 | 蔡立宏 |
| | 副主任 | 柯正龍 |
| 本所港灣技術研究中心第一科 | 研究員 | 胡敏 |
| | 研究員 | 謝幼屏 |
| | 研究員 | 曹文傑 |
| | 研究員 | 張道光 |
| | 副研究員 | 張建明 |
| | 助理研究員 | 黃道強 王瑞清 顏碩香 |
| 本所港灣技術研究中心第二科 | 科長 | 李玲莉 |
| 本所港灣技術研究中心第三科 | | 請假 |

附錄五

期末審查簡報



111年 臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查 與工業區關聯性研究

羅建明 賴俊呈



2022.12.14



1

簡報大綱

- 1 前言
- 2 文獻回顧
- 3 研究方法
- 4 結果與討論
- 5 結論
- 6 建議及效益

2

01 前言

3

1. 前言 (1/3)

重要性 - 腐蝕環境之影響

• 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。)

4

1. 前言 (2/3)

動機

動機

- 由於大氣腐蝕受**地域性**影響極大，並且全球各地氣候條件也會因其**緯度、地形、距海遠近及產業結構**等影響而各有不同，腐蝕數據無法相互引用參考。
- 大氣腐蝕在臺灣**不同環境**地區如(臨海區、臨海工業區、都市區、工業區、鄉村區、離島地區)等等，其在不同氣候及**環境暴露**條件下也會產生**差異**。
- 雖然**腐蝕環境分類**具有**大尺度**參考價值，但若能再以**小尺度區域性**金屬腐蝕特性及預測模式探討研究，將**提高**大氣腐蝕分類的**準確性和精確度**，

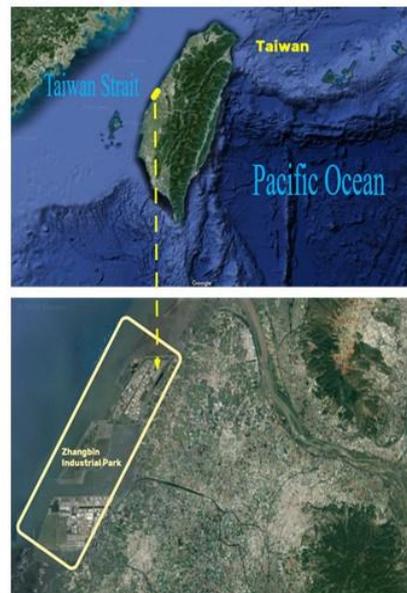
5

1. 前言 (3/3)

目的

目的

- **彰濱工業區(彰化濱海工業區)**，位於彰化縣西部海岸地區，北起伸港鄉，南至鹿港鎮，南北長約12公里，東西寬約3.5公里至4.5公里，總開發範圍3,643公頃，為**全國最大的工業園區**。
- 首創大規模**填海造地**工程開發出的一座離島型工業區，腹地廣大、有發展港口的條件並兼具**再生能源、工業生產、休憩觀光**等等多功能，其構成了東倚彰化縣本土陸地，西臨臺灣海峽，為彰化縣開發面積最大的工業區。
- 有鑑於此，瞭解金屬在**彰濱工業區大氣環境**下腐蝕特性，有其必要性。



6

02 文獻回顧

7

2. 文獻回顧(1/3) 大氣腐蝕測試規範

大氣腐蝕環境分類

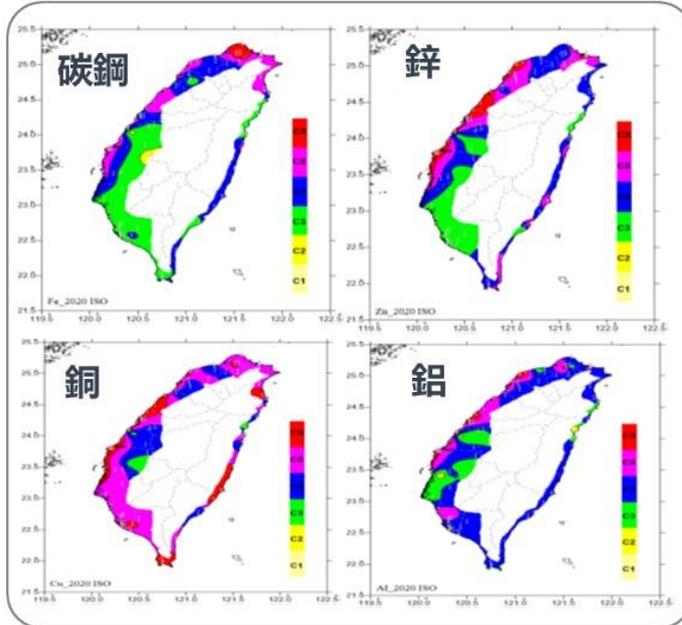


- 依據國際標準組織(ISO)及中華民國國家標準(CNS)
- 進行腐蝕因子調查及碳鋼、鋅、銅、鋁等標準試片現地暴露試驗，提供金屬材料腐蝕環境分類查詢。

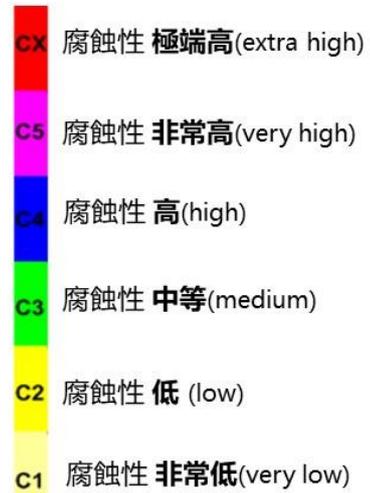
8

2. 文獻回顧(2/3) 大氣腐蝕測試規範

大氣腐蝕環境分類



調查成果



9

2. 文獻回顧(3/3) 大氣腐蝕

金屬 vs 環境因子



10

03 研究方法

3. 研究方法 長期監測站

大氣腐蝕 (98年開始執行)



試驗位址：臺灣各海洋區、工業區、都市區、鄉村區、鐵路沿線等
試驗頻率：每3個月及1年期程取樣

水下腐蝕 (103年開始執行)



試驗位址：臺灣各大商港碼頭
試驗頻率：第1、2、5、8、10年期程取樣

3.研究方法 (1/3)

目的

- 本研究以**彰濱工業區**為例，依據ISO 9223分類標準與ISO 9226試驗方法將碳鋼、鋅、銅、鋁四種螺旋狀金屬，進行大氣腐蝕劣化因子調查與金屬暴露試驗。
- 藉由**複迴歸分析**建立金屬腐蝕預測模式，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，以提昇公共工程結構物安全。

1
3

3. 研究方法

複迴歸分析

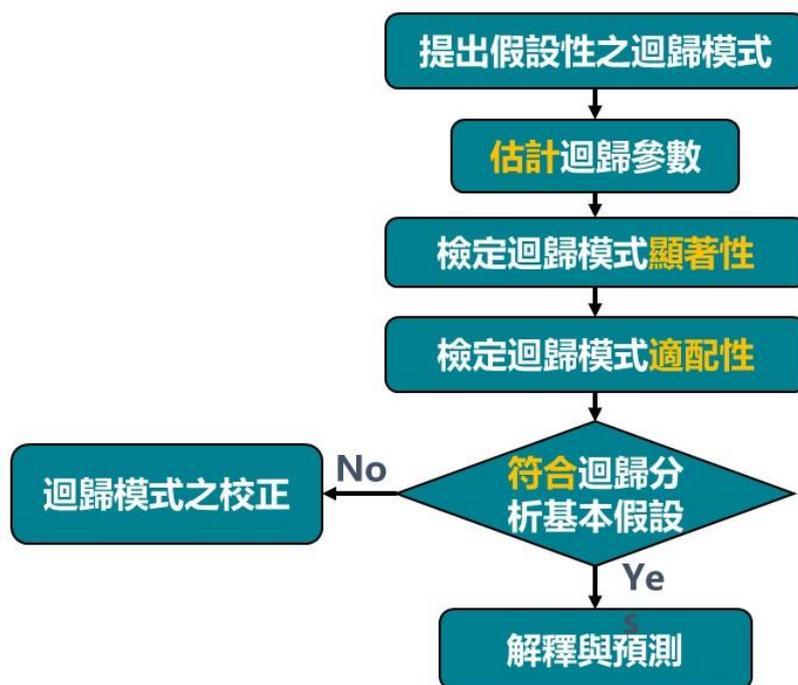
統計軟體
SPSS 21.0

- **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。

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

14

3. 研究方法 複迴歸分析流程圖



15

04 111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

16

4. 結果與討論

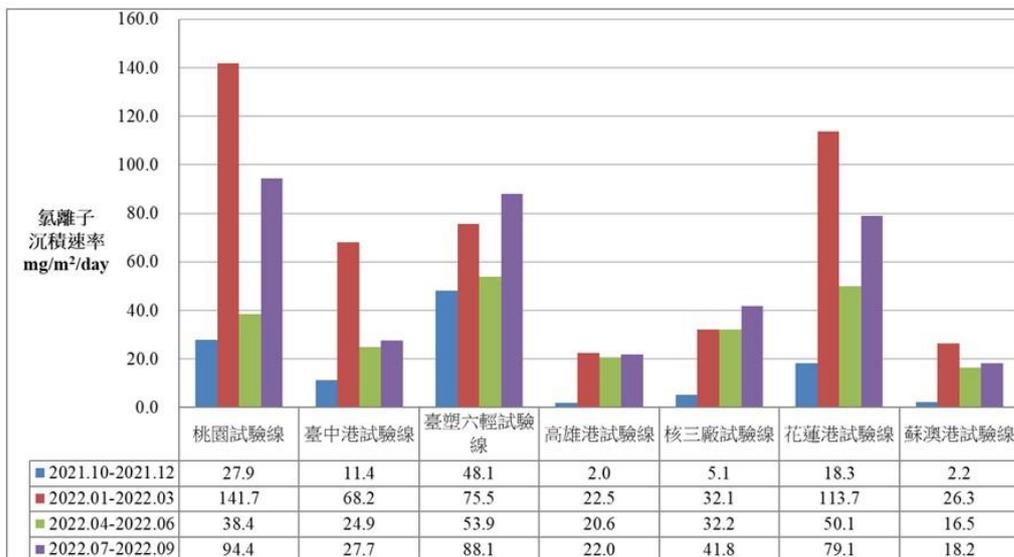
複迴歸分析

- ◆ 4.1 垂直海岸試驗線之氯鹽沉積速率
- ◆ 4.2 特定試驗點之二氧化硫沉積速率
- ◆ 4.3 垂直海岸試驗線金屬腐蝕速率比較圖
- ◆ 4.4 特定試驗點金屬腐蝕速率比較圖

17

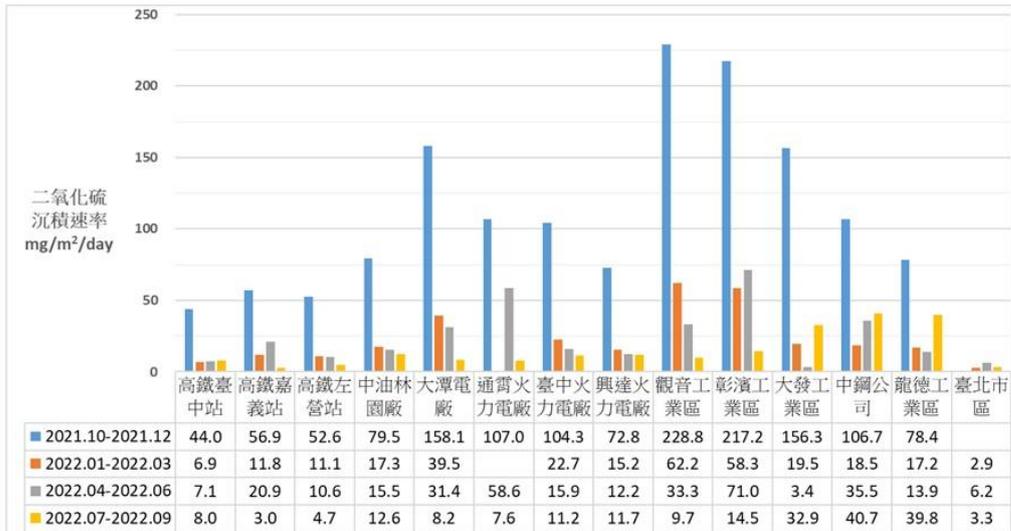
4. 結果與討論

4.1 垂直海岸試驗線之氯鹽沉積速率



4. 結果與討論

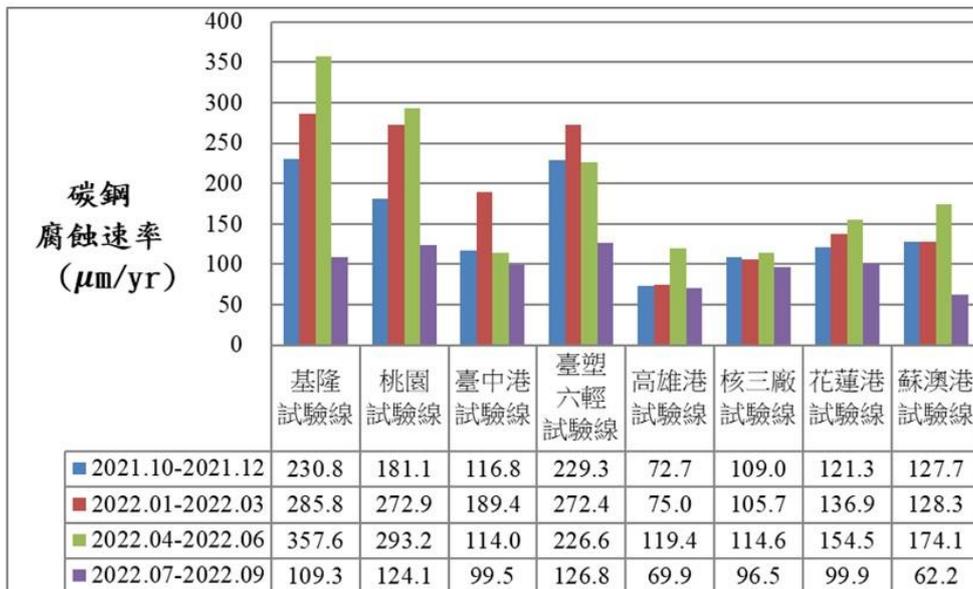
4.2 特定試驗點之二氧化硫沉積速率



註：表格空白表示試片遺失

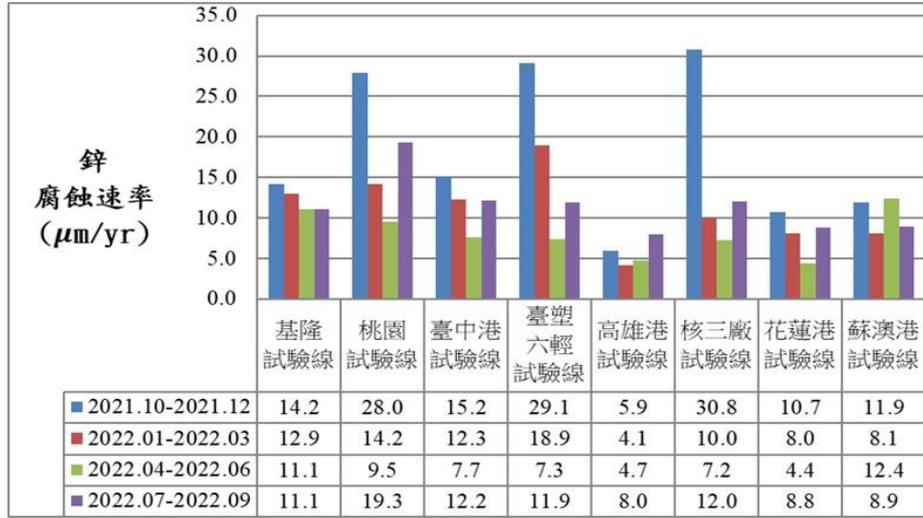
4. 結果與討論

4.3 (垂直海岸試驗線 碳鋼金屬腐蝕速率比較圖)



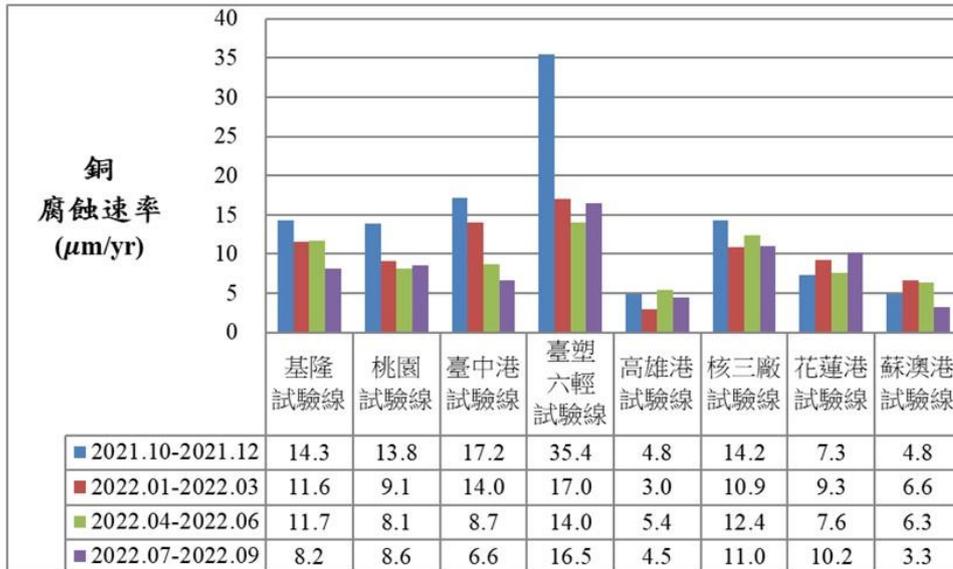
4. 結果與討論

4.3 (垂直海岸試驗線 鋅金屬腐蝕速率比較圖)



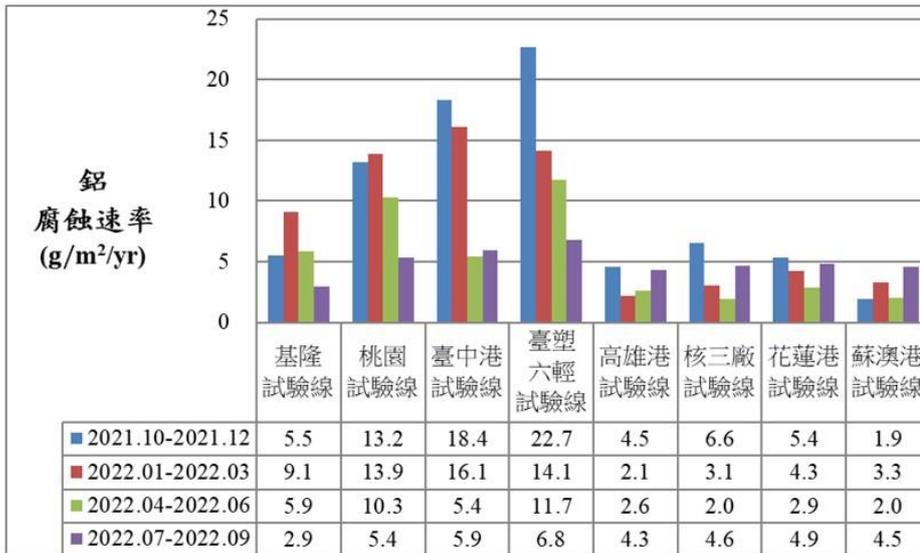
4. 結果與討論

4.3 (垂直海岸試驗線 銅金屬腐蝕速率比較圖)



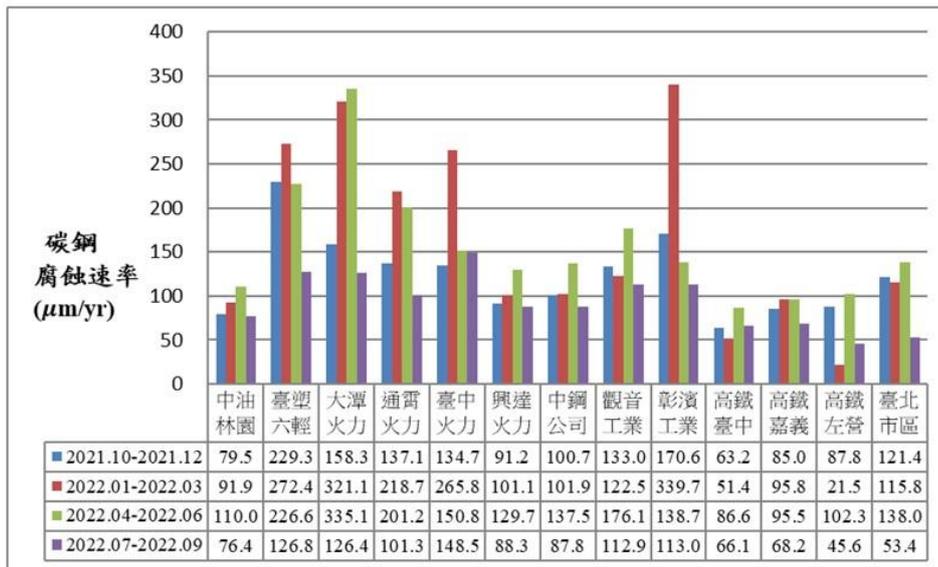
4. 結果與討論

4.3 (垂直海岸試驗線 鋁金屬腐蝕速率比較圖)



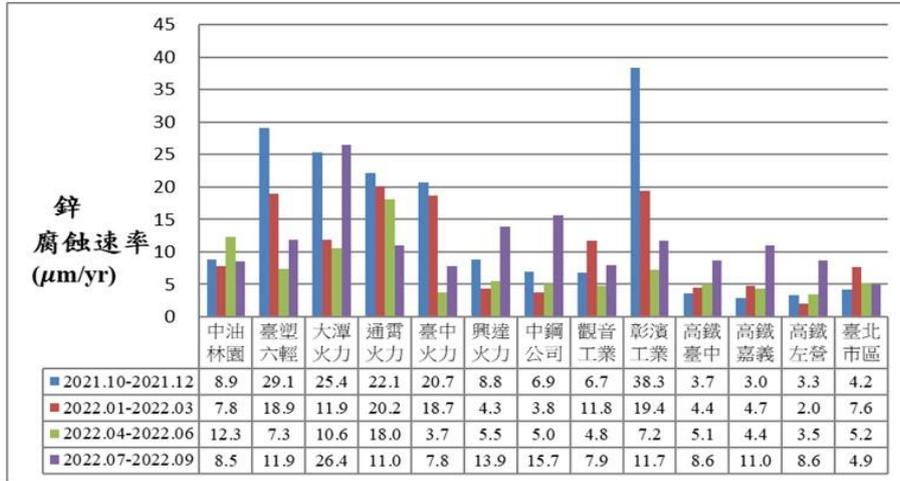
4. 結果與討論

4.4 (特定測站 碳鋼金屬腐蝕速率比較圖)



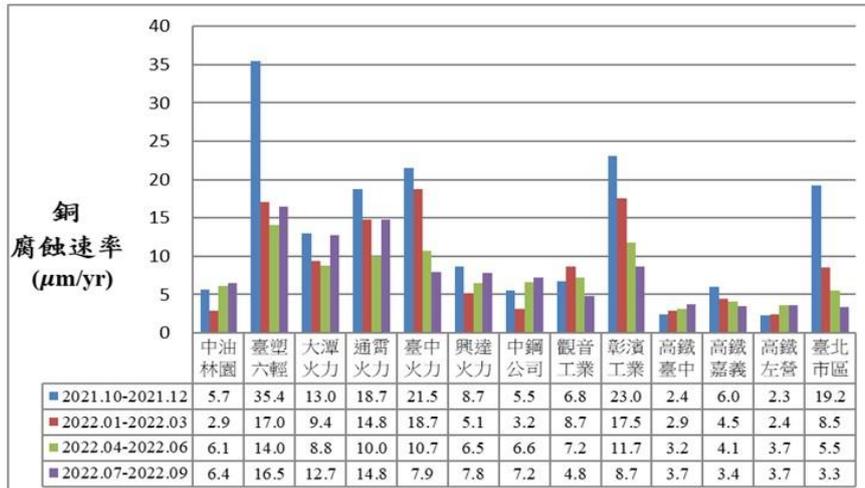
4. 結果與討論

4.4 (特定測站 鋅金屬腐蝕速率比較圖)



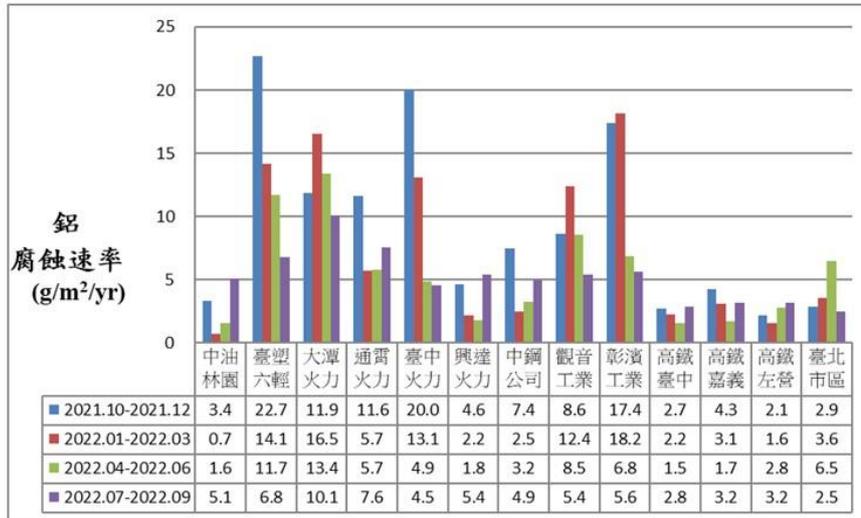
4. 結果與討論

4.4 (特定測站 銅金屬腐蝕速率比較圖)



4. 結果與討論

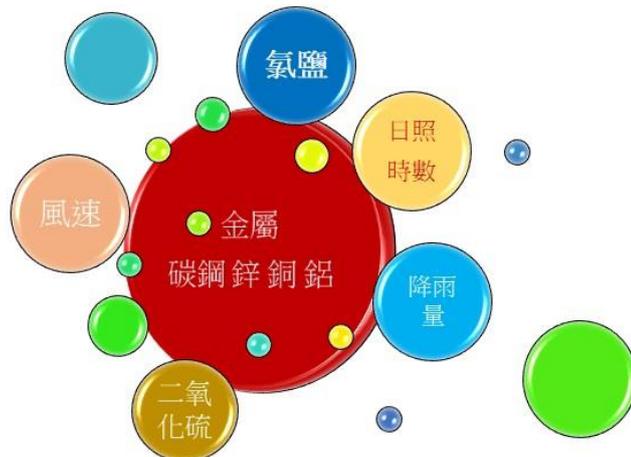
4.4 (特定測站 鋁金屬腐蝕速率比較圖)



4. 結果與討論

4.5 工業區金屬腐蝕與環境因子關聯性分析

- 彙整 彰濱工業區 金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子進行關聯性統計分析，提供工程人員管理、規劃、設計及維護之參考。



4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區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) | 43 | 65 | 133 | 92.30 | 9.862 | |
| TOW | (%) | (X ₂) | 43 | 9.6 | 73.9 | 39.312 | 13.5723 | |
| CL | (mg/m ² /day) | (X ₃) | 43 | .5 | 111.8 | 36.202 | 27.0770 | |
| SO ₂ | (mg/m ² /day) | (X ₄) | 43 | 38.6 | 927.6 | 231.430 | 225.4800 | |
| TEMP | (°C) | (X ₅) | 43 | 15.6 | 29.5 | 23.247 | 4.3140 | |
| WDSD | (m/s) | (X ₆) | 43 | 3.1 | 6.4 | 4.470 | .8700 | |
| WDIR | (360°) | (X ₇) | 43 | 122 | 350 | 217.95 | 54.488 | |
| H_24R | (hr) | (X ₈) | 43 | 0 | 588 | 116.14 | 93.799 | |
| AP_HR | (mm) | (X ₉) | 43 | 23 | 2072 | 351.09 | 390.157 | |
| SUN_hr | (hr) | (X ₁₀) | 43 | 181 | 2814 | 602.28 | 388.216 | |
| Fe | (μm/yr) | (Y ₁) | 43 | 78.4 | 573.3 | 233.063 | 116.1797 | |
| Zn | (μm/yr) | (Y ₂) | 43 | 3.5 | 46.2 | 15.130 | 9.9700 | |
| Cu | (μm/yr) | (Y ₃) | 43 | 5.7 | 31.8 | 14.505 | 6.2044 | |
| Al | (g/m ² /yr) | (Y ₄) | 43 | 5.5 | 40.4 | 16.837 | 8.7968 | |

自變數(x)

因變數(y)

29

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區金屬腐蝕與環境因子關聯性分析

2010 Q1 ~ 2020 Q4

| 試驗 期程 (季) | 暴露 時間 (day) | 濕潤 時間 (%) | 氯鹽沉積 速率 (mg/m ² /day) | 二氧化硫 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 | X10 | V1 | V2 | V3 | V4 |
| 2010_q1 | 91 | 9.6 | 18.7 | 38.6 | 20.2 | 4.3 | 1 | 138 | 242 | 435 | 261.8 | 7.7 | 8.8 | 16.8 |
| 2020_q4 | 91 | 25.2 | 85.8 | 674 | 22.8 | 6.2 | 350 | 0 | 23 | 569 | 206.3 | 40.3 | 23.9 | 20.4 |

30

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區逐步迴歸分析

彰濱工業區_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 |
|----|------|----------------|--------------------|---------------|
| 碳鋼 | 0.79 | 0.64 | 0.61 | 2.179 |
| 鋅 | 0.67 | 0.42 | 0.40 | 1.589 |
| 銅 | 0.78 | 0.61 | 0.59 | 2.099 |
| 鋁 | 0.83 | 0.69 | 0.66 | 2.325 |

31

4. 結果與討論

彰濱工業區逐步迴歸分析

彰濱工業區 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) | | -23.722 | 212.443 | -.112 | .912 |
| 平均氣溫 | X ₅ | -5.183 | 4.758 | -1.089 | .283 |
| 濕潤時間 | X ₂ | 3.327 | .986 | 3.375 | .002* |
| 平均風向 | X ₇ | 55.144 | 21.139 | 2.609 | .013* |

彰濱工業區 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 | F檢定 | 顯著性 |
|----|------------|-----|------------|--------|-------|
| 迴歸 | 359781.947 | 3 | 119927.316 | 22.582 | .000* |
| 殘差 | 207122.773 | 39 | 5310.840 | | |
| 總和 | 566904.720 | 42 | | | |

符號『*』表示P值<0.05,達統計上顯著。

$$Y_1 = -23.722 - 5.183 X_5 + 3.327 X_2 + 55.144 X_7$$

32

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區逐步迴歸分析

彰濱工業區 鋅 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) | | -26.444 | 7.639 | -3.462 | .001* |
| 平均風速 | X6 | 5.736 | 1.415 | 4.053 | .000* |
| 日照時數 | X10 | .008 | .003 | 2.571 | .014* |
| 風向 | X7 | .051 | .022 | 2.278 | .028* |

彰濱工業區 鋅 逐步迴歸分析之變異數分析表

| | 平方和 | 自由度 | 平均平方和 | F檢定 | 顯著性 |
|----|----------|-----|---------|--------|-------|
| 迴歸 | 1843.831 | 3 | 614.610 | 10.283 | .000* |
| 殘差 | 2330.980 | 39 | 59.769 | | |
| 總和 | 4174.811 | 42 | | | |

符號『*』表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_2 = -26.444 + 5.736 X_6 + 0.008 X_{10} + 0.051 X_7$$

33

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區逐步迴歸分析

彰濱工業區 銅 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) | | -12.6 | 3.471 | -3.630 | .001* |
| 平均風速 | X7 | 5.433 | .708 | 7.670 | .000* |
| 日照時數 | X10 | .005 | .002 | 2.951 | .005* |

彰濱工業區 銅 逐步迴歸分析之變異數分析表

| | 平方和 | 自由度 | 平均平方和 | F檢定 | 顯著性 |
|----|----------|-----|---------|--------|-------|
| 迴歸 | 988.440 | 2 | 494.220 | 31.463 | .000* |
| 殘差 | 628.319 | 40 | 15.708 | | |
| 總和 | 1616.759 | 42 | | | |

符號『*』表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_3 = -12.6 + 5.43 X_7 + 0.005 X_{10}$$

34

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區逐步迴歸分析

彰濱工業區 鉛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) | | -9.059 | 5.008 | -1.809 | .078 |
| 平均風速 | X6 | 9.015 | 1.020 | 8.834 | .000* |
| 風向 | X7 | -.052 | .015 | -3.356 | .002* |
| 氯鹽 | X3 | -.085 | .034 | -2.475 | .018* |

彰濱工業區 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 | 2234.320 | 3 | 744.773 | 28.595 | .000* |
| 殘差 | 1015.781 | 39 | 26.046 | | |
| 總和 | 3250.100 | 42 | | | |

符號「*」表示P值<0.05，達統計上顯著。

$$Y_4 = -9.059 + 9.015 X_6 - 0.052 X_7 - 0.085 X_3$$

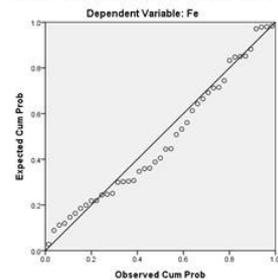
35

4. 結果與討論

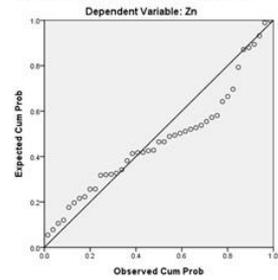
4.5 彰濱工業區標準化常態P-P圖

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

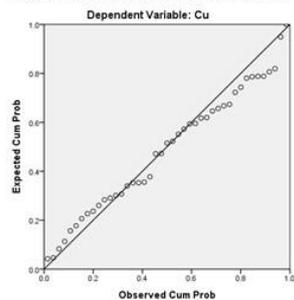
Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



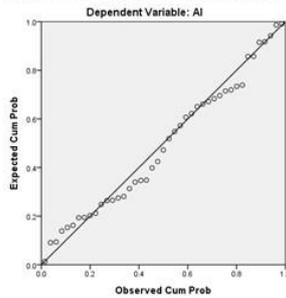
Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

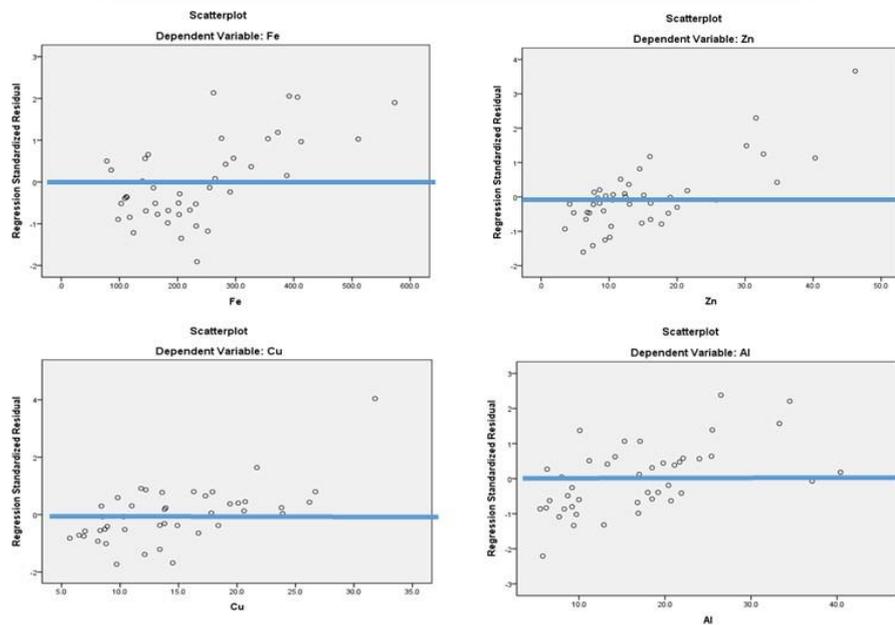


36

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區殘差散佈圖

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。



37

4. 結果與討論

4.5 彰濱工業區逐步迴歸分析模式

彰濱工業區 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 | 平均氣溫(X ₅)、濕潤時間(X ₂)、風向(X ₇) | 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 ₆)、日照時數(X ₁₀)、風向(X ₇) | |
| 銅 | 平均風速(X ₆)、日照時數(X ₁₀) | |
| 鋁 | 平均風速(X ₆)、風向(X ₇)、氯鹽(X ₃) | |

$$Y_1 = -23.722 - 5.183 X_5 + 3.327 X_2 + 55.144 X_7$$

$$Y_2 = -26.444 + 5.736 X_6 + 0.008 X_{10} + 0.051 X_7$$

$$Y_3 = -12.6 + 5.43 X_6 + 0.005 X_{10}$$

$$Y_4 = -9.059 + 9.015 X_6 - 0.052 X_7 - 0.085 X_3$$

38

5. 結論 (1/3)

- **氯鹽沉積速率**，四季中以北部至西部沿海地區的試驗點氯鹽沉積速率較高，在東部沿岸的氯鹽沉積速率以橄仔樹安檢所較其他試驗點高；垂直海岸試驗線的平均氯鹽沉積速率以冬季和夏季較高，並且桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及花蓮港試驗線的平均氯鹽沉積速率明顯較其他試驗線高。
- **二氧化硫沉積速率**四次調查結果發現，除了靠近硫磺區的陽明山國家公園外，較高的二氧化硫沉積速率大多發生在西部的火力電廠及工業區；在特定試驗點調查結果發現，高鐵沿線二氧化硫沉積速率在秋季最高，火力電廠二氧化硫沉積速率依季節順序和由北到南皆呈降低趨勢。

5. 結論 (2/3)

- **垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較**，碳鋼金屬以基隆試驗線、桃園試驗線及臺塑六輕試驗線的腐蝕速率較高，鋅金屬則以桃園試驗線、臺塑六輕試驗線及核三廠試驗線，不同季節中腐蝕速率差異較大，尤其是秋季較高，銅金屬與鋁金屬的腐蝕速率皆以臺塑六輕試驗線較為嚴重。
- **特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較**，以西半部火力電廠及工業區腐蝕速率較其他測站高，碳鋼金屬在冬季和春季腐蝕速率較高，而鋅、銅和鋁金屬則以秋、冬兩季的腐蝕速率較高。

5. 結論 (3/3)

- 將選取的**10項腐蝕環境因子**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**彰濱工業區**碳鋼、鋅、銅、鋁金屬模式中：
 - **碳鋼**：平均氣溫、濕潤時間、平均風向。
 - **鋅**：平均風速、日照時數、平均風向。
 - **銅**：平均風向、日照時數。
 - **鋁**：平均風速、平均風向、氯鹽沉積速率。

6.1 建議

- **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**。
- 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。

6.2 成果效益 (1/2)

1. **學術效益**: 發行年報及研習會。
 - (1) 2022年發行交通部運輸研究所專刊，出版2021年「臺灣大氣腐蝕劣化因子調查資料年報」1冊。
 - (2) 舉辦「大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會」2場。
 - (3) 參加111年度中華民國防蝕工程年會論文比賽榮獲**第二名**，論文題目為「沿岸地區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子關聯性統計分析」。

6.2 成果效益 (2/2)

- 2. **社會環境安全影響**：本計畫建立臺灣腐蝕環境分類資訊系統，目前全島建置91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。

6.3 提供單位應用情形

- 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。
- **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。



THANK YOU

簡報完畢
敬請指教



46

附錄六
期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

| 審查委員 | 審查意見 | 處理情形 |
|-------|---|--|
| 林佑任委員 | <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="470 454 1066 869">1. 台灣近年能源轉型積極推動發展綠能，幾乎都需大量使用金屬材料，本研究已考量幾種最相關的金屬，另再研究屬於相對腐蝕較嚴重之工業區情形，兼顧傳統港灣環境、新的環境需求趨勢與既有敏感區位，符合實務的需求，並建議朝自動監測方向開發研究。 <li data-bbox="470 902 1066 1048">2. 請問工業區的暴露試驗設備之設置地點與設置環境特性是否需規範，俾益統一標準。 <li data-bbox="470 1261 1066 1774">3. 就風向作為自變數而言，風向與試體之關係主要可能是污染源或造成腐蝕之物質之相對位置及相對方向關係較密切，即污染源處上風處將對試體有較大之影響。亦因此有關平均風向作為自變數的意義，若能輔以對可能污染源之相對位置予以定性描述較能理解與判斷其關係，否則似乎無法像風速一般有較相關性的物理意義。 | <p data-bbox="1098 454 1332 488">謝謝委員指教。</p> <p data-bbox="1098 902 1412 1216">謝謝委員指教。大氣暴露試驗主要以無遮蔽為原則且位居高處無影響結構體為優先考量，不需規範及標準。</p> <p data-bbox="1098 1261 1412 1451">謝謝委員指教。有關污染源與風速相關性等影響後續將收集更多文獻補充之。</p> |

| 審查委員 | 審查意見 | 處理情形 |
|--------------|--|---|
| | <p>4. 有關各種金屬於各垂直海岸試驗線不同里程距離之腐蝕速率之觀察有其實際的意義與價值，可以瞭解遠離海岸之距離與金屬腐蝕速率之可能趨勢，雖然少數點位之變化可能較不明顯，但畢竟是實際觀察之結果且本來就有微環境的差異與不易掌握之變數，所取得之數據很珍貴難得，直接取試驗線全部平均有點可惜，建議若可以不同里程來呈現腐蝕率，更能彰顯本研究之詳細與價值。</p> | <p>謝謝委員指教。未來將納入不同里程距離來呈現腐蝕率差異性。</p> |
| <p>陳桂清委員</p> | <p>1. 本研究為長期性計畫，多年來計畫名稱或有不同，研究內容或重點卻持續擴增，並已建立相當完整屬於本土環境下之基本試驗數據，成果豐碩，為國內首驅，應以肯定與支持。</p> <p>2. 建議與產、官、學界等合作，致力推廣中心建置的「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」提供各界使用，發揮最大產值。</p> | <p>謝謝委員指教。</p> <p>中心於 72 年參加中華民國防蝕工程學會舉辦之論文發表及投稿，也共同辦理教育訓練或研討活動，自 100 年起每年都有將「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」推廣應用於與產、官、學各界。</p> |

| 審查委員 | 審查意見 | 處理情形 |
|------|---|---|
| | <p>3. 研究報告內容多處建議更正如下：</p> <p>(1) 2.3 節，3 行，“因素”更正為“因子”。13 行，3.1.1 節，建議刪除“試驗”。17 行，3.1.5 節，“暴”更正為“曝”。</p> <p>(2) P.1-2，倒 3 行，更正為因此“除”……，“待增加”水下……。</p> <p>(3) P.1-5，倒 8 行，刪除“制定”。倒 7 行，“自 2001 年……至倒 2 行”，全部刪除。倒 1 行全部刪除，敘述更正為“2000 年後持續進行之水下腐蝕研究計畫甚多，彙整於表 1-2”。</p> <p>(4) P.1-8，倒 2 列表格內之註腳更正為[11]</p> <p>(5) P.1-16，14 行，建議加入“隨計畫持續進行，其曝放試驗點、試樣等數量略有增減”。</p> <p>(6) P.1-16，倒 1 行，報告中沒有今年(第 5 年)的試驗結果。</p> | <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>今年完成全島及外島(金門與澎湖)第 5 年水下金屬試片現地取樣及化學試驗分析，試驗數據結果將於 112 年報告呈現。</p> |

| 審查委員 | 審查意見 | 處理情形 |
|------|---|--|
| | <p>(7) P.3-1, 在 3.1 節空白處, 建議增加 1~2 行之說明如下: “在此環境下, 曝放兩種不同試樣, 一為螺旋試樣, 另一為板狀試樣, 相關試驗如後。</p> <p>(8) P.3-24, 倒 1 行, 刪除 “3” 年期</p> <p>(9) P.3-26, 表 3-10, 建議刪除第 2 列框內容, 因為是已毀損的試驗。</p> <p>(10) P.3-29, 圖 3.10, 著名單位 “cm”。</p> <p>(11) P.4-1, 建議刪除 “1 行末~3 行”。刪除 4 次採樣說明。</p> <p>(12) P.4-7, 刪除 “1 行末~3 行”。刪除 4 次採樣說明。</p> <p>(13) P.5-2, 2 行, 刪除 “每季所”, “44” 更正為 “43”。</p> <p>(14) P.5-5, 倒 10 行, “篩減” 更正為 “篩檢”。</p> <p>(15) P.5-7, 4 行, R2 值 0.629 與 P.5-8 表 5-6 調整後 R2 0.399 有異, 何者正確請更正。</p> <p>(16) P.5-10, 11 行, “篩減” 更正為 “篩檢”。5 行, 公式中之係數 “0.548” 更正為 “0.005”。</p> | <p>謝謝委員指教。已加註於 P.3-14 3.1.5 現地曝露試驗第 2 行及第 3 行說明。</p> <p>已更正內容。</p> <p>已更正內容。</p> <p>已更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> |

| 審查委員 | 審查意見 | 處理情形 |
|-------|---|--|
| 賴瑞應委員 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 建置完整臺灣地區腐蝕試驗站，並將分析資料藉由資料庫提供給各界查詢應用，研究成果值得肯定。 2. 研究成果透過舉辦學術研討會發表論文及發行年報專刊等方式，將成果推廣應用於產官學研，研究效益值得肯定。 3. 報告第五章針對彰濱工業區金屬腐蝕與環境因子關聯性做分析探討，分析結果顯示碳鋼、鋅、銅、鋁之主要腐蝕環境影響因子不盡相同，建議後續可再進一步探討其原因。 4. 報告第 5-2 頁，建議針對 MLR 首次出現能先以中文說明，以利閱讀。 5. 報告內的沈陷請修正為沉陷。 | <p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員建議指教，納入後續探討考量</p> <p>已補充更正內容。</p> <p>已補充更正內容。</p> |
| 李俊穎委員 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案結合全國現地試驗及數據分析探討，過程辛勞且成果具實用及參考性。 2. 表 5-1 及 5-2 中有關 2013-q3 及 2013-q4 資料欄降雨量、日照時數與其他季差異頗大，建議再檢視數據及修改。 | <p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教，已補充論述更正辦理。</p> |

| 審查委員 | 審查意見 | 處理情形 |
|------|---|---------------------------|
| | <p>3. 環境因子所選入的變數，風速及平均風向為主要因子，是否與試驗站於所在位置或鄰近構造物有關，後續計畫可考量進一步分析？</p> | <p>謝謝委員建議指教，納入後續研究考量。</p> |

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H1CA001d 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究」自辦研究計畫之期末報告審查會議

貳、時間：111 年 12 月 14 日(星期三)下午 1 時 30 分

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 賴瑞應

記錄：賴俊呈

伍、出席單位及人員：

| 審查委員： | 簽名 |
|------------|------------|
| 林佑任委員 | 林佑任 |
| 陳桂清委員 | 陳桂清 |
| 李家順委員 | 清傲 |
| 賴瑞應委員 | 賴瑞應 |
| 李俊穎委員 | 李俊穎 |
| 林雅雯委員 | 清傲 |
| 出席單位： | |
| 本所港灣技術研究中心 | 潘建明 賴俊呈 |

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)