

113-015-7D54

MOTC-IOT-112-H1CA001d

# 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

113-015-7D54

MOTC-IOT-112- H1CA001d

# 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

著 者：謝幼屏、蔡立宏、羅建明

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯  
性研究. 112 年 / 謝幼屏, 蔡立宏, 羅建明著. -  
- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民  
113.03  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-531-567-2(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

113001484

112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

著 者：謝幼屏、蔡立宏、羅建明

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](http://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 113 年 3 月

印 刷 者：綠凌興業社

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 1F•電話：(02) 2518-0207

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

GPN：1011300210

ISBN：978-986-531-567-2 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

二〇〇一年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

交通部運輸研究所

GPN : 1011300210

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：112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-567-2(平裝)	政府出版品統一編號 1011300210	運輸研究所出版品編號 113-015-7D54	計畫編號 MOTC-IOT-112- H1CA001d
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：謝幼屏 研究人員：羅建明 參與人員：陳亭廷、李春榮、陶德勇、王培源 聯絡電話：(04)2658-7200 傳真號碼：(04)2657-1329			研究期間 自 112 年 1 月  至 112 年 12 月
關鍵詞：金屬腐蝕、腐蝕因子、腐蝕環境			
摘要： <p>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.臺灣大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗；2.港區水下腐蝕暴露試驗與海水水質調查；3.精進及擴充腐蝕資料庫；4.碳鋼金屬與腐蝕因子關聯性分析。</p> <p>研究結果顯示，氣鹽沉積速率在秋、冬2季北部至西部沿海地區的試驗點較高，垂直海岸試驗線的平均氣鹽沉積速率，以台塑六輕試驗線較高；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，且以秋、冬2季較高，特定試驗點以彰濱工業區、觀音工業區及官田工業區數值較高。</p> <p>金屬腐蝕速率各垂直海岸試驗線之比較，碳鋼金屬以西部至北部的基隆、桃園、臺中港、台塑六輕等4條試驗線試驗線的腐蝕速率較高，且以秋、冬2季較高；鋅金屬在基隆、桃園、臺中港、台塑六輕及花蓮港等5條試驗線的腐蝕速率均是秋、冬2季高且季節性差異大；銅金屬的腐蝕速率以臺塑六輕、臺中港2條試驗線較為嚴重；鋁金屬以西部的桃園、臺中港、台塑六輕等3條試驗線的腐蝕速率較高，且以秋、冬2季較高。</p> <p>碳鋼金屬與腐蝕因子關聯性分析，運用迴歸分析法建立腐蝕因子與碳鋼腐蝕速率間的迴歸模式，結果顯示，碳鋼腐蝕速率主要受到濕潤時間百分比、氣鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、風速、風向等5項腐蝕因子的影響，兩者間為對數線性關係。</p>			
研究成果效益及應用： <p>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。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 3 月	328	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 of Corrosive Environments for Metal Materials in Taiwan Region in 2023 and Correlation Analysis of Carbon Steel Alloy and Corrosion Factors.			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-567-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300210	IOT SERIAL NUMBER 113-015-7D54	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112- HICA001d
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yu-Ping Hsieh RESERACH FELLOW: Chien-Ming Lo PROJECT STAFF: Ting-Ting Chen, Chun-Rong Li, Te-Yung Tao, Pei-Yuan Wang PHONE: 04-2658-7200 FAX: 04-2657-1329			PROJECT PERIOD  FROM January 2023 TO December 2023
KEYWORDS: Metal Corrosion, Corrosion Factor, Corrosive Environment			
<p>Abstract:</p> <p>Taiwan, situated in the subtropics, experiences a hot, humid, and saline island climate, making metal components highly susceptible to corrosion. Therefore, it is essential to establish a local corrosion database to serve as a basis for corrosion-resistant design and maintenance management of structures. The main tasks of this project include: 1. Investigation of atmospheric corrosion factors in Taiwan and exposure testing of metal materials; 2. Underwater corrosion exposure testing and seawater quality investigation; 3. Refinement and expansion of the corrosion database; 4. Correlation analysis between carbon steel metal corrosion and corrosion factors.</p> <p>The research findings indicate that the deposition rate of chloride salts is higher in the northern to western coastal areas during the autumn and winter seasons. Among the vertical coastal test lines, the average chloride salt deposition rate is higher along the Formosa Plastics Sixth Naphtha Cracker Complex test line. The deposition rate of sulfur dioxide, except for areas near the sulfur region in Yangmingshan National Park, is mostly higher in the western coal-fired power plants and industrial areas, with higher rates observed during the autumn and winter seasons. Specific test points, such as the Changhua Coastal Industrial Zone, Guanyin Industrial Zone, and Guantian Industrial Zone, exhibit higher values.</p> <p>Comparison of the corrosion rates along various vertical coastal test lines for different metal types reveals that the corrosion rate of carbon steel is higher along four test lines in the western to northern regions, including Keelung, Taoyuan, Taichung Harbor, and Formosa Plastics Sixth Naphtha Cracker Complex. Moreover, the corrosion rates are generally higher during the autumn and winter seasons. Zinc metal exhibits higher corrosion rates during the autumn and winter seasons along five test lines, including Keelung, Taoyuan, Taichung Harbor, Formosa Plastics Sixth Naphtha Cracker Complex, and Hualien Harbor, with significant seasonal differences. Copper metal shows more severe corrosion rates along two test lines, namely Formosa Plastics Sixth Naphtha Cracker Complex and Taichung Harbor. Aluminum metal experiences higher corrosion rates along three test lines in the western region, including Taoyuan, Taichung Harbor, and Formosa Plastics Sixth Naphtha Cracker Complex, with higher rates observed during the autumn and winter seasons.</p> <p>The correlation analysis between carbon steel metal and corrosion factors involved the application of regression analysis to establish a regression model between corrosion factors and the corrosion rate of carbon steel. The results indicate that the corrosion rate of carbon steel is primarily influenced by five corrosion factors: percentage of wetting time, chloride salt deposition rate, sulfur dioxide deposition rate, wind speed, and wind direction. The relationship between these factors and the corrosion rate follows a logarithmic linear pattern.</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 2024	328	200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查 與碳鋼金屬關聯性研究

## 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 計畫之重要性.....	1-1
1.2.1 大氣腐蝕.....	1-1
1.2.2 水下腐蝕.....	1-2
1.3 國內腐蝕研究概況.....	1-3
1.3.1 大氣腐蝕研究概況.....	1-3
1.3.2 水下腐蝕研究概況.....	1-7
1.4 計畫工作項目.....	1-13
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	暴露區域 .....	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
第三章 研究方法與試驗點位置資料圖表 .....		3-1
3.1	大氣暴放環境 .....	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 .....	3-6
3.1.3	二氧化硫沉積速率調查 .....	3-7
3.1.4	二氧化硫沉積速率計算 .....	3-11
3.1.5	現地暴露試驗 .....	3-13
3.1.6	試片腐蝕速率計算 .....	3-15
3.1.7	試片腐蝕生成物清除與測試 .....	3-15
3.2	腐蝕因子環境分類 .....	3-18
3.3	海洋暴放環境 .....	3-22
3.3.1	研究方法與規劃 .....	3-22
3.3.2	各港區海水下金屬暴露試驗 .....	3-23
3.3.3	試片腐蝕速率分析方法 .....	3-30
3.3.3.1	試片定期採樣之處理分析方法 .....	3-30

3.3.3.2 試片腐蝕分析步驟 .....	3-30
3.3.3.3 腐蝕速率計算 .....	3-31
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.....	4-6
4.3 現地暴露試驗結果.....	4-12
4.3.1 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較 .....	4-26
4.3.2 特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較 .....	4-27
第五章 金屬材料水下腐蝕速率分析.....	5-1
5.1 各港區腐蝕速率分析.....	5-1
5.1.1 基隆港腐蝕速率分析.....	5-1
5.1.2 臺北港腐蝕速率分析.....	5-2
5.1.3 蘇澳港腐蝕速率分析.....	5-3
5.1.4 花蓮港腐蝕速率分析.....	5-4
5.1.5 臺中港腐蝕速率分析.....	5-5
5.1.6 布袋港腐蝕速率分析.....	5-6
5.1.7 安平港腐蝕速率分析.....	5-7
5.1.8 高雄港區腐蝕速率分析.....	5-8
5.1.9 金門港區腐蝕速率分析.....	5-11
5.1.10 馬祖福澳港腐蝕速率分析.....	5-13
5.1.11 澎湖龍門港腐蝕速率分析.....	5-14
5.2 各港區暴放 5 年後不同位置金屬腐蝕速率分析 .....	5-15
5.2.1 各港區暴放 5 年後飛沫帶金屬腐蝕速率分析.....	5-15

5.2.2 各港區暴放 5 年後潮汐帶金屬腐蝕速率分析.....	5-15
5.2.3 各港區暴放 5 年後水中帶金屬腐蝕速率分析.....	5-16
5.3 各港區暴放 5 年後不同金屬水下腐蝕速率分析 .....	5-17
5.4 水下金屬試片之外觀變化.....	5-21
5.5 海水水質分析.....	5-39
第六章 碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析.....	6-1
6.1 關聯性統計分析方法.....	6-1
6.2 迴歸分析.....	6-4
第七章 結論.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-3
7.3 研究成果之效益.....	7-3
7.4 提供政府單位應用情形.....	7-4
參考文獻.....	參-1
附錄一 腐蝕速率試驗分析結果.....	附錄 1-1
附錄二 海水水質量測分析結果.....	附錄 2-1
附錄三 專家學者座談會會議紀錄.....	附錄 3-1
附錄四 第 1 次工作會議紀要.....	附錄 4-1
附錄五 第 2 次工作會議紀要.....	附錄 5-1
附錄六 第 3 次工作會議紀要.....	附錄 6-1
附錄七 腐蝕產物清除檢量線、腐蝕速率等位線分布圖及腐蝕環境分類 圖.....	附錄 7-1
附錄八 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附錄 8-1
附錄九 期末報告簡報資料.....	附錄 9-1

## 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	鋼板樁暴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	碼頭鋼板樁遭受雜散電流之情形 .....	2-19
圖 3.1	氯鹽沉積速率調查位置 .....	3-5
圖 3.2	濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754) .....	3-6
圖 3.3	濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754) .....	3-6
圖 3.4	二氧化硫沉積速率調查位置圖 .....	3-10
圖 3.5	二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754) .....	3-11
圖 3.6	螺旋狀試片構造圖(CNS 13753) .....	3-13
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 .....	3-14
圖 3.8	腐蝕生成物清除法作業流程圖 .....	3-17
圖 3.9	水下腐蝕研究方法與規劃 .....	3-22
圖 3.10	水下金屬腐蝕試驗架示意圖 .....	3-28
圖 3.11	基隆港水下金屬暴露試驗架安裝 .....	3-29
圖 3.12	水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖 .....	3-30

圖 4.1	垂直海岸試驗線之氣鹽平均沉積速率.....	4-5
圖 4.2	特定試驗點之二氧化硫沉積速率.....	4-11
圖 4.3	垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖.....	4-28
圖 4.4	垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-28
圖 4.5	垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-29
圖 4.6	垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖.....	4-29
圖 4.7	特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖.....	4-30
圖 4.8	特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-30
圖 4.9	特定測站銅金屬腐蝕速率比較圖.....	4-31
圖 4.10	特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖.....	4-31
圖 5.1	基隆港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-1
圖 5.2	臺北港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-2
圖 5.3	蘇澳港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-3
圖 5.4	花蓮港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-4
圖 5.5	臺中港暴放 3 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-6
圖 5.6	布袋港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-7
圖 5.7	安平港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-8
圖 5.8	高雄港 10 號碼頭暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-9
圖 5.9	高雄港 40 號碼頭暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-9
圖 5.10	高雄港 75 號碼頭暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖.....	5-9
圖 5.11	料羅港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖 ..	5-11

圖 5.12	水頭港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖 ..	5-12
圖 5.13	福澳港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖....	5-13
圖 5.14	龍門港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖 ..	5-14
圖 5.15	各港區暴放 5 年後飛沫帶金屬腐蝕速率分析.....	5-15
圖 5.16	各港區暴放 5 年後潮汐帶金屬腐蝕速率分析.....	5-16
圖 5.17	各港區暴放 5 年後水中帶金屬腐蝕速率分析.....	5-17
圖 5.18	各港區暴放 5 年後碳鋼金屬水下腐蝕速率分析.....	5-18
圖 5.19	各港區暴放 5 年後低碳鋼金屬水下腐蝕速率分析.....	5-19
圖 5.20	各港區暴放 5 年後不銹鋼金屬水下腐蝕速率分析.....	5-20
圖 5.21	基隆港飛沫帶試片照片 .....	5-21
圖 5.22	基隆港潮汐帶試片照片 .....	5-22
圖 5.23	基隆港水中帶試片照片 .....	5-22
圖 5.24	臺北港飛沫帶試片照片 .....	5-23
圖 5.25	臺北港潮汐帶試片照片 .....	5-23
圖 5.26	臺北港水中帶試片照片 .....	5-24
圖 5.27	蘇澳港飛沫帶試片照片 .....	5-24
圖 5.28	蘇澳港潮汐帶試片照片 .....	5-25
圖 5.29	蘇澳港水中帶試片照片 .....	5-25
圖 5.30	花蓮港飛沫帶試片照片 .....	5-26
圖 5.31	花蓮港潮汐帶試片照片 .....	5-26
圖 5.32	花蓮港水中帶試片照片 .....	5-27
圖 5.33	臺中港飛沫帶試片照片 .....	5-27
圖 5.34	臺中港潮汐帶試片照片 .....	5-28

圖 5.35 臺中港水中帶試片照片 .....	5-28
圖 5.36 布袋港潮汐帶試片照片 .....	5-29
圖 5.37 布袋港水中帶試片照片 .....	5-29
圖 5.38 安平港飛沫帶試片照片 .....	5-30
圖 5.39 安平港潮汐帶試片照片 .....	5-30
圖 5.40 安平港水中帶試片照片 .....	5-31
圖 5.41 高雄港 10 號碼頭飛沫帶試片照片 .....	5-31
圖 5.42 高雄港 10 號碼頭潮汐帶試片照片 .....	5-32
圖 5.43 高雄港 10 號碼頭水中帶試片照片 .....	5-32
圖 5.44 高雄港 40 號碼頭飛沫帶試片照片 .....	5-33
圖 5.45 高雄港 40 號碼頭潮汐帶試片照片 .....	5-33
圖 5.46 高雄港 75 號碼頭潮汐帶試片照片 .....	5-34
圖 5.47 高雄港 75 號碼頭水中帶試片照片 .....	5-34
圖 5.48 金門料羅港潮汐帶試片照片 .....	5-35
圖 5.49 金門料羅港水中帶試片照片 .....	5-35
圖 5.50 金門水頭港潮汐帶試片照片 .....	5-36
圖 5.51 金門水頭港水中帶試片照片 .....	5-36
圖 5.52 馬祖福澳港飛沫帶試片照片 .....	5-37
圖 5.53 馬祖福澳港潮汐帶試片照片 .....	5-37
圖 5.54 馬祖福澳港水中帶試片照片 .....	5-38
圖 5.55 澎湖龍門港潮汐帶試片照片 .....	5-38
圖 5.56 澎湖龍門港水中帶試片照片 .....	5-39
圖 6.1 迴歸分析的步驟 .....	6-2

圖 6.2	線性模式與無常數項線性模式的常態機率圖.....	6-9
圖 6.3	線性模式與無常數項線性模式的殘差圖.....	6-10
圖 6.4	對數線性模式的常態機率圖.....	6-14
圖 6.5	對數線性模式的殘差圖.....	6-14
圖 6.6	刪離群值之對數線性模式的常態機率圖.....	6-16
圖 6.7	刪離群值之對數線性模式的殘差圖.....	6-17



## 表 目 錄

表 1-1	臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程 .....	1-4
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 .....	3-9
表 3-3	化學清洗法使用藥品及條件 .....	3-16
表 3-4	濕潤環境分類表.....	3-19
表 3-5	氯鹽腐蝕環境等級分類表 .....	3-19
表 3-6	二氧化硫腐蝕環境等級分類表 .....	3-19
表 3-7	金屬大氣腐蝕環境分類表 (以環境因子分類).....	3-20
表 3-8	大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第 1 年之腐蝕速率區分 .....	3-21
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) ..	3-24
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) ..	3-25
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) ..	3-26
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) ..	3-27
表 4-1	氯鹽沉積速率表.....	4-3
表 4-2	二氧化硫沉積速率表 .....	4-8
表 4-3	特定試驗點之二氧化硫沉積速率表 .....	4-10
表 4-4	碳鋼金屬之腐蝕速率表 .....	4-14
表 4-5	鋅金屬之腐蝕速率表 .....	4-17
表 4-6	銅金屬之腐蝕速率表 .....	4-20

表 4-7	鋁金屬之腐蝕速率表 .....	4-23
表 5-1	基隆港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-2
表 5-2	臺北港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-3
表 5-3	蘇澳港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-4
表 5-4	花蓮港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-5
表 5-5	臺中港暴放 3 年後試片腐蝕速率 .....	5-6
表 5-6	布袋港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-7
表 5-7	安平港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-8
表 5-8	高雄港 10 號碼頭暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-10
表 5-9	高雄港 40 號碼頭暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-10
表 5-10	高雄港 75 號碼頭暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-10
表 5-11	料羅港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-12
表 5-12	水頭港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-12
表 5-13	福澳港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-13
表 5-14	龍門港暴放 5 年後試片腐蝕速率 .....	5-14
表 6-1	迴歸模式變數說明 .....	6-5
表 6-2	線性迴歸模式 .....	6-6
表 6-3	無常數項線性迴歸模式 .....	6-8
表 6-4	對數線性模式 .....	6-12
表 6-5	刪離群值之對數線性模式 .....	6-15

# 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，爰廣續辦理本研究。

## 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疑慮；有鑑於此，本所乃自 2007 年起迄今規劃並辦理臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究，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，做為日後新建與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 83 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，在臺灣各大港口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疑慮；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，本計畫延續過去相關研究，進行大氣及水下環境腐蝕因子與金屬材料水下長期暴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 2 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 2 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 3 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(以下簡稱工研院材化所)受內政部國土管理署委託執行「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 1 年後因經費問題而未執行相關試驗工作。2004~2005 年，工研院材化所協助台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<sup>[1]</sup>環境因子分類方法，依據中央氣象署公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 與

氣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 2008 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」<sup>[2-3]</sup>，針對臺灣全島地區進行大氣腐蝕劣化因子調查，並持續執行大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類研究<sup>[4-15]</sup>迄今。目前，建置氣鹽沉積量調查 65 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 90 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。

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	金屬材料耐蝕性基本資料調查(碳鋼、不銹鋼、鍍鋅鋼、鋁、鋁合金、銅、銅合金等)	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
	金屬塗裝耐蝕性調查(在碳鋼上塗裝鋅、鋁、銅、鋅/鋁、銅/鋅等不同塗料)	澎湖,陽明山,林口發電廠	1989.1-1990.12
工業技術研究院	金屬材料及塗裝系統暴露試驗(碳鋼上漆與不上漆)	林口發電廠	1983.7-1987.6
		澎湖	1984.7-1987.6
		金山- 汐止	1984.7-1985.6
	金屬材料及塗裝系統暴露試驗(碳鋼和耐候鋼上漆與不上漆)	臺西	1984.11-1987.6

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間
	金屬材料及塗裝系統暴露試驗(碳鋼、304 與 316 不銹鋼、銅、鋁、鋅，以及碳鋼上塗裝鋁、鋁/鋅(5/95))	陽明山	1986.7-1987.6
	金屬材料及塗裝系統暴露試驗(碳鋼、不鏽鋼、耐候鋼、鍍鋅鋼、鋁合金、銅合金等)	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
	金屬材料暴露試驗 (ISO 9226 規範之碳鋼、鋅、銅、鋁)	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，使用中央氣象署公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO <sub>2</sub> 濃度與過去各單位調查研究之氣離子沉積速率數據，進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類		2004-2005
中華電信研究所	鍍鋅、鍍鋁、55% 鍍鋁鋅鋼絞線的耐久性耐蝕性	澎湖、基隆、北投、高雄、屏東、臺東	1984-1986
臺灣大學	金屬材料試驗(SS41、鍍鋅鋼、鍍鋅/鋁鋼、304 不鏽鋼、銅、953 銅合金、鋁、356 鋁合金)	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	金屬材料試驗(SS440、耐候鋼、304 不鏽鋼、430 不鏽鋼、鍍鋅鋼、鍍鋅/鋁鋼、銅和銅合金)	臺南市、安平工業區	1998.4-2001.4
中國鋼鐵公司	鋼鐵材料大氣耐蝕性試驗(碳鋼、耐候鋼)	中山大學、中鋼、新竹	1990.8-present
	鋼鐵材料大氣耐蝕性試驗(碳鋼、耐候鋼、鍍鋅鋼)	中山大學、中鋼、新竹、樹林、林口電廠	1993.12-present
交通部運輸研究所與工業技術研究院合作辦理	臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究(1/2) <sup>[2]</sup>	氣鹽沉積量調查 77 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 54 個試驗點，現地暴露試驗調查 88 個試驗點	2007.03-2007.10
	臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究(2/2) <sup>[3]</sup>		2008.02-2008.10

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間
交通部運輸研究所	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(1/4) <sup>[4]</sup>	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) <sup>[5]</sup>	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) <sup>[6]</sup>	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) <sup>[7]</sup>	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
交通部運輸研究所	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2) <sup>[8]</sup>	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
	金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2) <sup>[9]</sup> 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
交通部運輸研究所	臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究 (1/4) <sup>[10]</sup> 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
交通部運輸研究所	臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 <sup>[11]</sup>	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
交通部運輸研究所	108 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 <sup>[12]</sup>	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

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間
交通部運輸研究所	109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 <sup>[13]</sup>	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
交通部運輸研究所	110 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 <sup>[14]</sup>	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
交通部運輸研究所	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 <sup>[15]</sup>	氯鹽沉積量調查 64 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 54 個試驗點，現地暴露試驗調查 89 個試驗點	2022.01-2022.12
交通部運輸研究所	112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究	氯鹽沉積量調查 65 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 90 個試驗點	2023.01-2023.12

### 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，因此本所運輸技術研究中心(改隸前為臺灣省政府交通處港灣技術研究所)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<sup>[16]</sup>，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劃<sup>[18]</sup>，並對各港之 RC 結構物之腐蝕特性做一通盤性之瞭解，並提供防蝕良策以為進行維修

工作之參考，做為日後建港之參考。於 1988 年展開澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查<sup>[19]</sup>，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，原橋梁應作修補工作之建議並提供新建工程防蝕對策，提供國內交通橋梁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<sup>[20-23]</sup>，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<sup>[24]</sup>，各大港口鋼筋混凝土結構物之現況做一調查，並對其修理方法進行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<sup>[25]</sup>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<sup>[26-29]</sup>，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<sup>[30-32]</sup>，並檢討其對港灣常用材料，如碳鋼及混凝土等之腐蝕及海生物附著影響，以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。計畫中建立 R.C. 結構物劣化非破壞性檢測技術、電化學維修技術工法、港區內水文與海生物附著對結構體(鋼構物)腐蝕之相互關係，並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。

相關國內水下腐蝕試驗研究歷程與研究主題內容，整理如表 1-2 所示。

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合作辦理	臺灣海域腐蝕特性防蝕設計材料選用及開發特性 <sup>[16]</sup>	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
臺灣省政府交通處港灣技術研究所	基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究 <sup>[17]</sup>	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調查東 2 號~東 4 號、東 6 號~東 8 號、及西 27 號碼頭鋼板樁現況並研提改善對策。	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 <sup>[19]</sup>	1986 年中美聯合防蝕研討會會議結論，指出我國交通橋梁及主要公共設施應定期辦理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： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 充份瞭解澎湖跨海大橋腐蝕劣化現況及機理，做為新建工程設計及施工人員應注意防範事項，及使用之維修參考，以提高施工技術及工程品質，減少因腐蝕所造成之損失。</li> <li>2. 增進對鋼筋混凝土等營建材料耐久性之認知，俾提供國內各單位做更進一步相關研究之基礎與方向。</li> <li>3. 使用之調查及研究方法，可做為偵測鋼筋混凝土腐蝕狀況之參考，以求事先加以防範，減少修護或重建之浪費。</li> <li>4. 提供修補及防蝕對策，以延續橋樑之服務效能。</li> </ol>	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 <sup>[20-23]</sup>	瞭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
臺灣省政府 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 <sup>[24]</sup>	調查各大港口鋼筋混凝土結構物之現況，並對其修理方法進行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 與海洋大學 合作辦理	港灣構造物腐蝕機理 與維修防制之研究 <sup>[25]</sup>	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
交通部運輸 研究所	現有結構物安全評估 及維護研究 <sup>[26-29]</sup>	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，並完成制定港灣結構物陰極防蝕準則草案之 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 <sup>[30]</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究在基隆港東 2、西 21、西 22、西 26、西 27 號碼頭現場擺放試架觀察海生物種類，探討材料（Alsl1015 碳鋼、Alsl304 不銹鋼，防止海生物附著油漆塗料，犧牲陽極），水深（低潮位線上 1 公尺及低潮位線下 1.0,3.0,5.0 公尺）與水文及污損生物之關係。</li> <li>2. 經過 3 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)4 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。</li> </ol>	1995.01- 1995.12
交通部運輸 研究所與中 山大學合作 辦理	高雄港工結構材料海 生物附著與對策研究 <sup>[31]</sup> 高雄港港工結構腐蝕 與海生物附著研究 <sup>[32]</sup>	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。	1997.01- 1999.12

研究單位	研究方向	研究說明	研究期間
交通部運輸研究所	碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究 <sup>[33]</sup>	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，做為設計及維護參考，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
交通部運輸研究所	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2) <sup>[8]</sup> 金屬材料水下腐蝕調查研究(2/2) <sup>[9]</sup>	建立臺灣地區長期金屬材料水下腐蝕資料庫，以做為新建及既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之應用參考，安裝水下金屬暴露試驗架於基隆港、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，藉此瞭解在不同環境、金屬材料、海洋生物附着、海水水質等對港區金屬材料腐蝕之影響。	2015.01-2016.12
交通部運輸研究所	臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究(1/4) <sup>[10]</sup> 臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 <sup>[11]</sup>	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
交通部運輸研究所	108 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究 <sup>[12]</sup>	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
交通部運輸研究所	112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究	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。	2023.01-2023.12

## 1.4 計畫工作項目

本計畫係延續型計畫，主要持續辦理大氣腐蝕與水下腐蝕的現地調查及試驗工作，彙整調查與研究成果，建置臺灣腐蝕環境分類資訊系統及發行大氣腐蝕資料年報，此外，今年並探討碳鋼金屬腐蝕與大氣腐蝕因子之關聯性。本年度辦理之工作項目如下：

### 1. 持續辦理大氣腐蝕劣化因子調查及金屬材料現地暴露試驗

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

2023年1月辦理前(2022)年全年與第4季的金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析工作，並於2~3月、5~6月及8~9月進行今年第1、2、3季的大氣腐蝕劣化因子調查與金屬材料現地暴露試驗之取樣與維護工作，接續於4月、7月及10月進行今年第1、2、3季的金屬酸洗試驗及腐蝕因子化學分析工作，並於11~12月辦理今年第4季的大氣腐蝕劣化因子調查，以及今年第4季與全年的金屬材料現地暴露試驗之取樣與維護工作。

### 2. 持續辦理水下金屬材料現地暴露試驗與海水水質調查分析

在水下金屬材料現地暴露試驗方面：本所自2015年起，針對港工結構材金屬材料進行10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。

在2022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工作，今(2023)年辦理馬祖福澳港第5年水下金屬試片現地取樣及化學試驗分析工作，並整理所有港口的試驗數據。

在海水水質調查分析方面：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。

3. 持續擴增精進「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」資料庫

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

4. 發行 2022 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報

彙整並撰寫 2022 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報，提供相關單位瞭解每年金屬構造物在各腐蝕環境中的耐久性與防蝕之需求。

5. 辦理「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」教育訓練

配合「港灣環境資訊網使用者說明會」辦理「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」教育訓練，以利推廣本研究成果至產官學研各界應用。

6. 進行碳鋼金屬與腐蝕因子關聯性統計分析

彙整臺灣碳鋼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。

## 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<sup>[1]</sup> (大氣腐蝕性分類)、ISO 9224<sup>[34]</sup> (各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225<sup>[35]</sup> (污染量量測方法)、及 ISO 9226<sup>[36]</sup> (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( $\tau$ , 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 SO<sub>2</sub> 沉積速率與氯化物(海鹽)沉積速率分別進行區分，之後，將環境之腐蝕性依污染量或最初第一年之腐蝕率大小，分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級，C1 表示腐蝕性非常低(very low)，C2 表示腐蝕性低(low)，C3 表示腐蝕性中等(medium)，C4 表示腐蝕性高(high)，C5 表示腐蝕性非常高(very high)。整體流程如圖 2.1 所示。

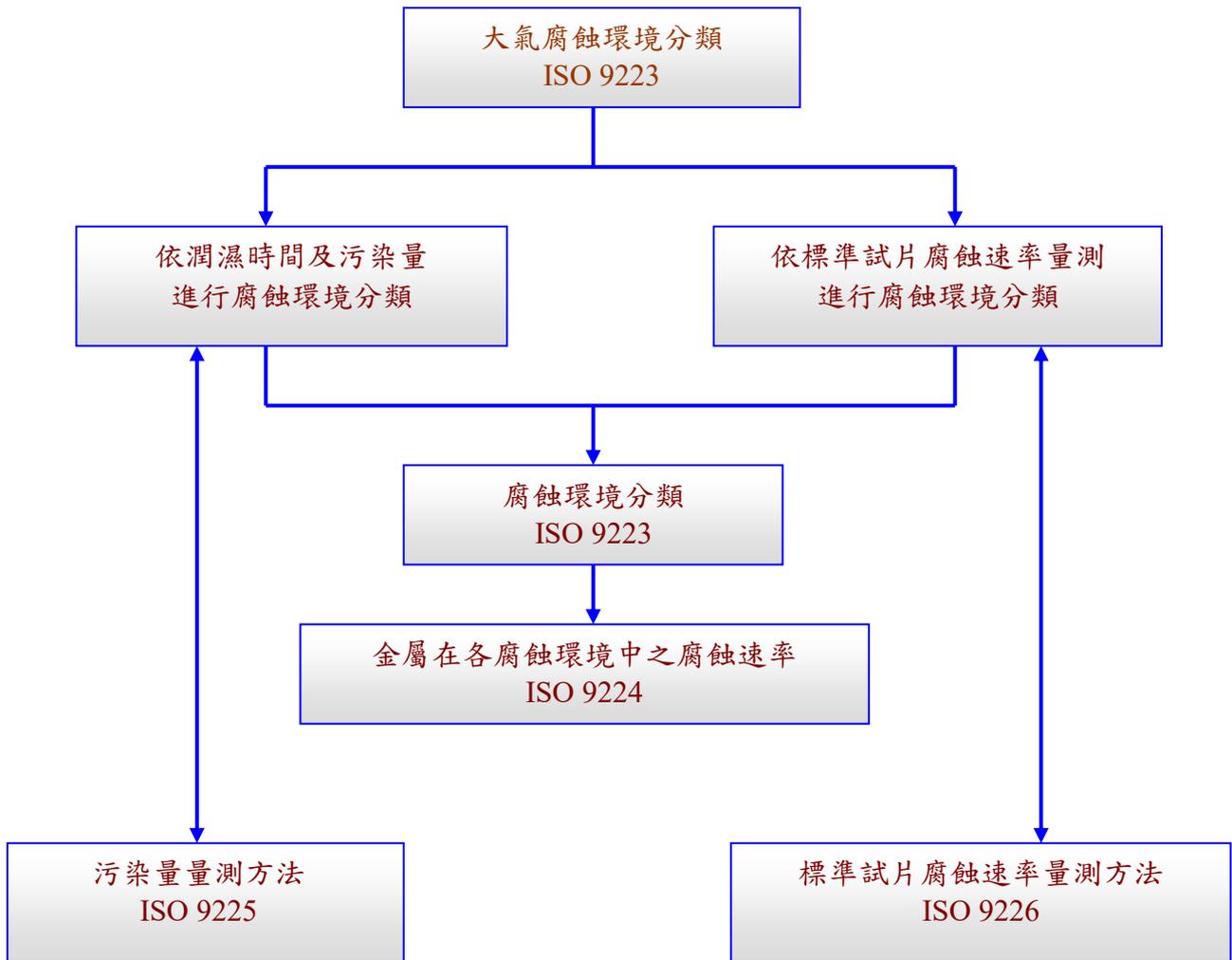


圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類<sup>[1,34-36]</sup>

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<sup>[37-38]</sup>。J.Morales 等人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<sup>[39-40]</sup>。因此，ISO 9223-2012<sup>[41]</sup>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<sup>[42]</sup>所示。

表 2-1 大氣腐蝕性分級對比<sup>[1,34-36,41-45]</sup>

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 9226-1992<sup>[36]</sup>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<sup>[46]</sup>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 組合做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。

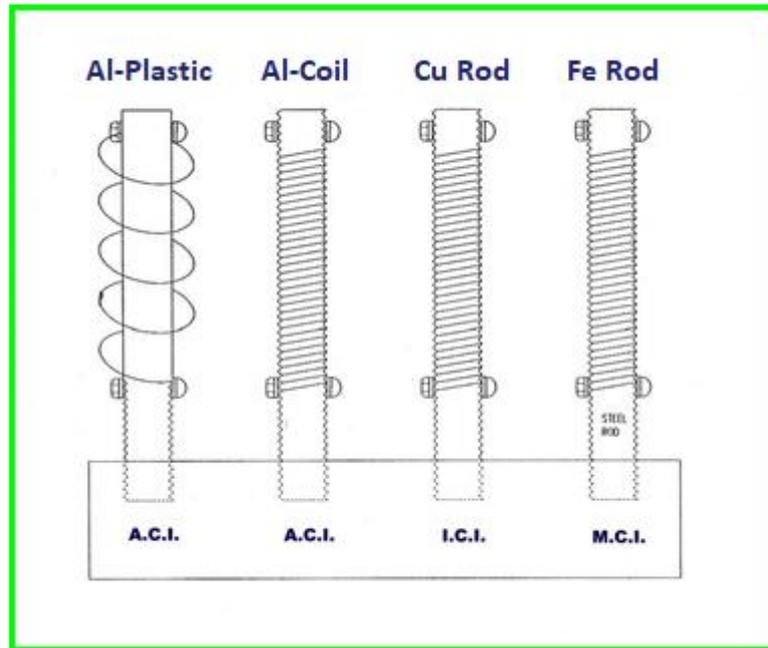


圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試<sup>[46]</sup>

### 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<sup>[47]</sup>)，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<sup>[48]</sup>金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753<sup>[49]</sup>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<sup>[50]</sup>金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122<sup>[51]</sup>金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，CNS14123<sup>[52]</sup>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/m<sup>2</sup>/day or μg/m<sup>3</sup>)、與只適用於海邊測試場地之氯鹽沉積速率(CNS 13754，mg/m<sup>2</sup>/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

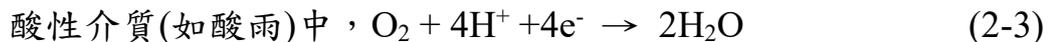
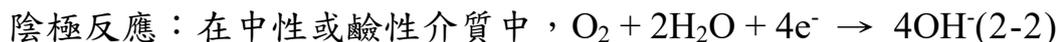
蒐集量測。

## 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<sup>[53]</sup>：

### 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<sup>-</sup>與鐵的作用較特別，由於 FeCl<sub>2</sub> 不是緊密結合之化合物，所以 Cl<sup>-</sup>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：



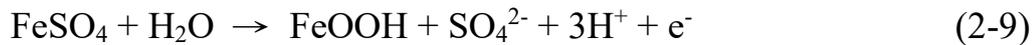
## 4. 空氣中的污染物質 SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub> 在水溶液中具有極高的溶解度(16.2g SO<sub>2</sub>/100g H<sub>2</sub>O)，且 SO<sub>2</sub> 與 O<sub>2</sub> 作用形成 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>再和鐵循環作用，將會加速腐蝕反應。Odnevall 等人指出<sup>[54]</sup>，在固定電極電位時，陽極溶解溶解電流是[OH<sup>-</sup>]與[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]的共同函數，在含 SO<sub>2</sub> 的大氣中，腐蝕反應步驟如下：



由於 FeSO<sub>4</sub> 會與 H<sub>2</sub>O 作用生成 FeOOH，而釋放出來的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>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  $\text{SO}_2$ ， $\text{NO}_2$  等。灰塵將有助於液膜在較低相對濕度下於金屬表面生成。

## 2.3 影響大氣腐蝕的因子

### 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%<sup>[55]</sup>。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 $10^{\circ}\text{C}$ ，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 $\text{SO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 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，大多數的金屬材料暴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。

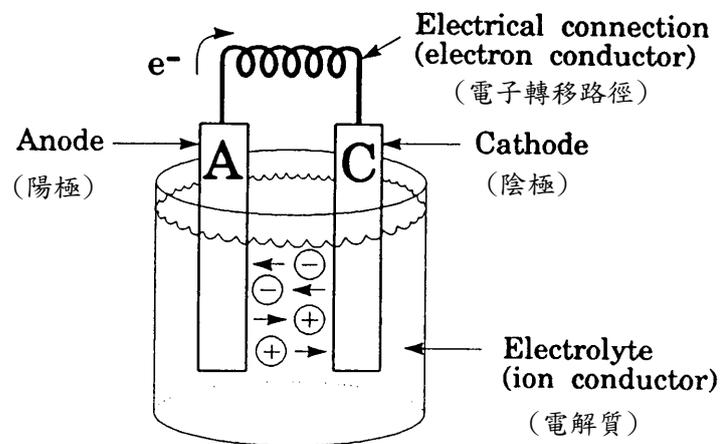
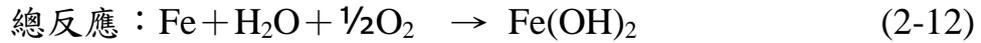
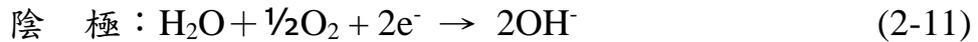


圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖<sup>[56]</sup>

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



總反應式中之  $\text{Fe(OH)}_2$  繼續反應，生成  $\text{Fe(OH)}_3$  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 暴露區域

從許多調查研究發現，由於彼此接觸(暴露)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暴露區域，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，表面完全暴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<sup>[57]</sup>。

#### 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，鋼板樁暴露於此範圍內時，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，為五個暴露區域中，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<sup>[57]</sup>。

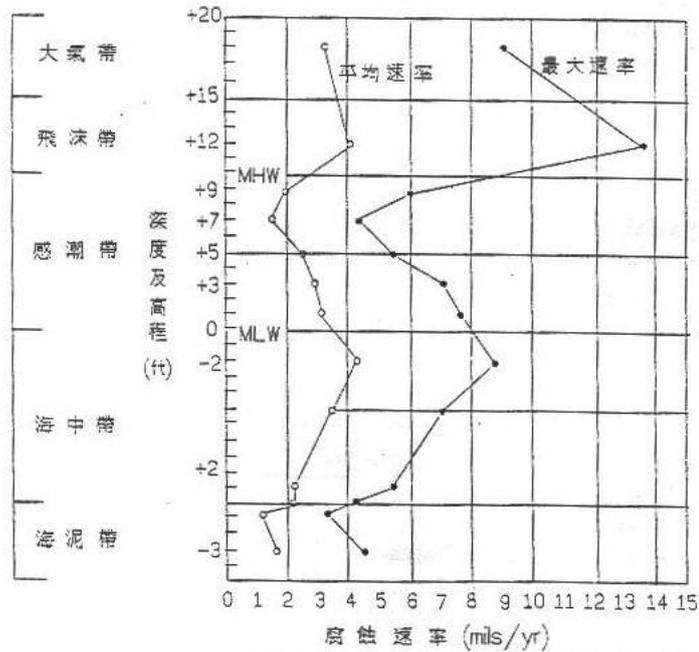


圖 2.4 鋼板樁暴露區域與腐蝕速率之關係<sup>[57]</sup>

### 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暴露於大氣中，猶如進行乾濕循環作用。由於空氣與海水波浪之交互作用，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，恰可形成一個氧濃度差異電池作用之現象。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 公尺處(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。由於受到氧濃度差異電池作用，感潮帶中之腐蝕速率為 5 個暴露區域中最低者。

#### 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，因氧濃度差異電池之作用，暴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，極需採用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. [57]。

#### 5. 海泥(床)帶

鋼板(管)樁埋入於海底土層之部份，由於與海水接觸面較小，鋼材之腐蝕速率相對很小。但是在污染的海域中，如有硫化氫(H<sub>2</sub>S)或海泥中有硫酸鹽還原菌存在的話，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<sup>-</sup>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<sup>[56]</sup>，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。

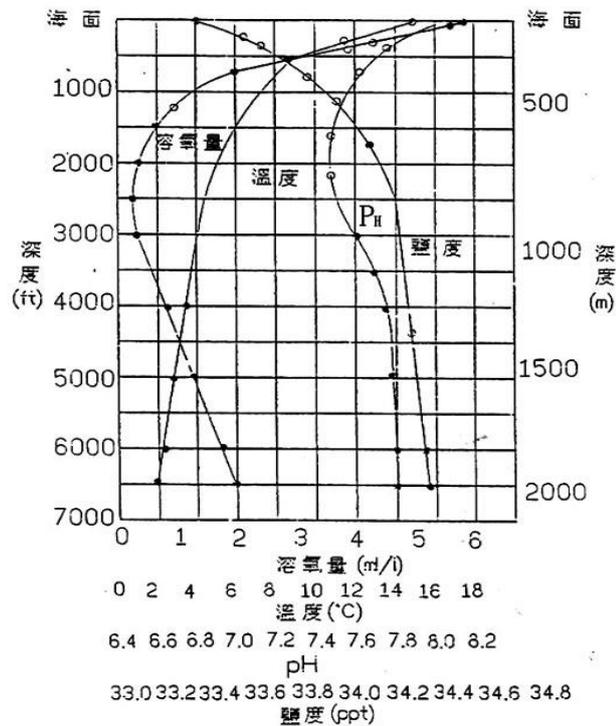


圖 2.5 海水含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係<sup>[56]</sup>

## 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 $-2^{\circ}\text{C}$ 至赤道 $35^{\circ}\text{C}$ 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 $10^{\circ}\text{C}$ ，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，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( $\text{CO}_2$ )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  $\text{H}_2\text{S}$  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  $\text{CO}_2$  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<sup>[58]</sup>。

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<sup>[58]</sup>，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。

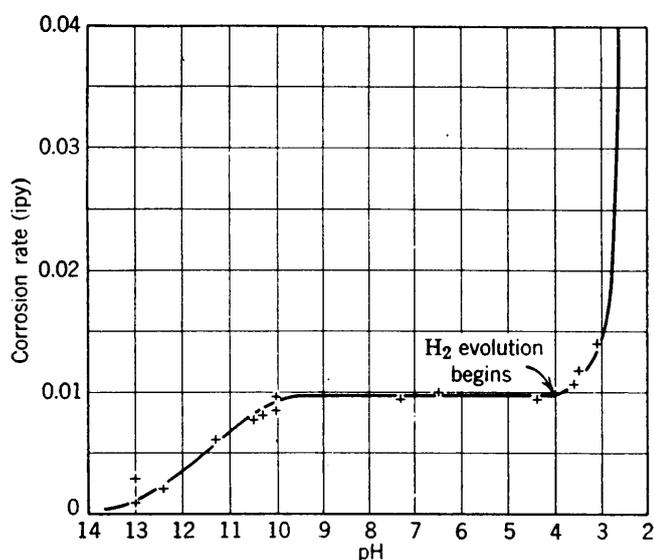


圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係<sup>[58]</sup>

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  $\text{OH}^-$ ， $\text{OH}^-$  再與陽極半反應部份中溶解出之  $\text{Fe}^{+2}$  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<sup>[59]</sup>。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。

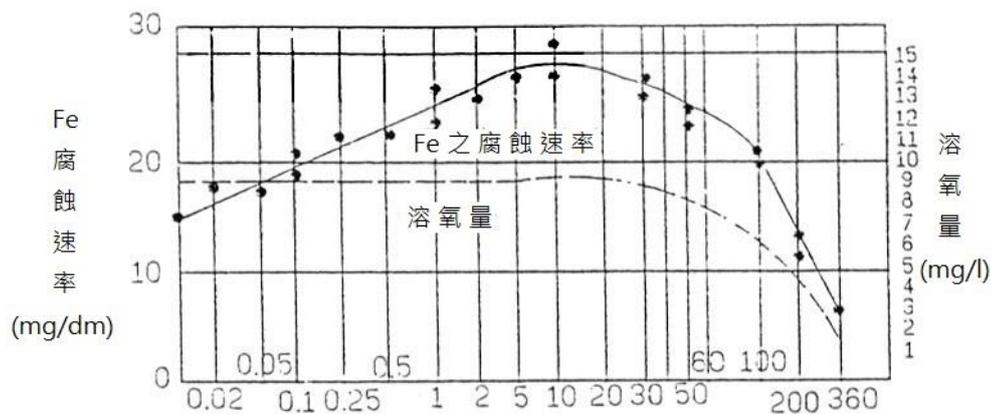


圖 2.7 鋼材腐蝕速率與溶氧量之關係<sup>[59]</sup>

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<sup>[73]</sup>。海水之高比導電度容易造成金屬表面大面積的發生腐蝕反應，尤其是金屬表面之陽極面積小而陰極面積大時，腐蝕更是嚴重，最後形成局部孔蝕或間隙腐蝕。導電度之倒數謂之比電阻(resistivity)，為陰極防蝕設計上，陽極材料放電(消耗)大小之主要影響因子之一。

## 6. 深度

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

## 7. 流速

海水流速對金屬腐蝕速率有多方面的影響，它不但能增加較易到達接觸金屬表面之溶氧量，又能因海流衝擊之機械效應，去除金屬表面鈍態保護膜，更促使氧氣較易對金屬表面進行擴散及濃度極化，造成金屬發生腐蝕<sup>[60]</sup>。圖 2.8 為腐蝕速率與海水流速之關係。

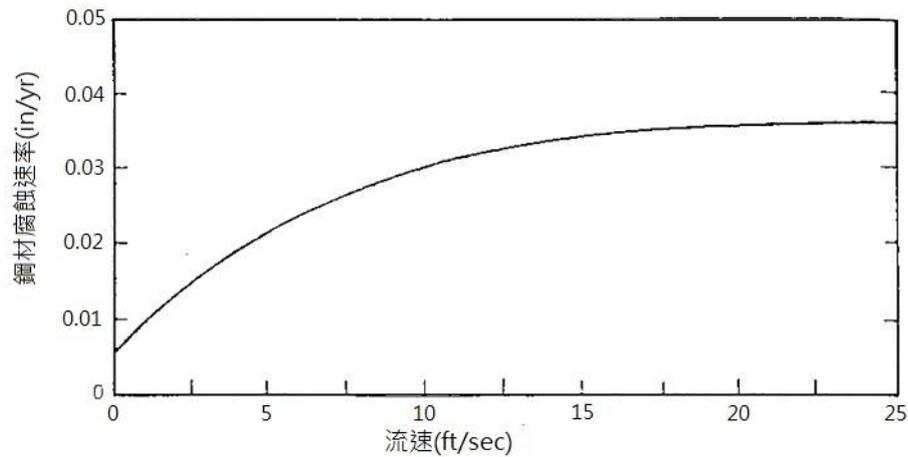


圖2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係<sup>[60]</sup>

## 8. 雜散電流

雜散電流乃指不沿正規路徑，而走其它路徑流通之電流謂之。一旦這種雜散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，雜散電流一旦進入結構物，則會加速腐蝕速率，碼頭鋼板樁遭受雜散電流襲擊的過程如圖 2.9 所示<sup>[61]</sup>。通常一片金屬表面，在陽極部位(金屬溶解釋出離子)由於受到雜散電流的影響，所造成腐蝕量可由法拉第定律計算出。例如：一安培直流電之雜散電流，流經鋼鐵結構物至海水中，每年將可腐蝕損失結構物約 9.1kg 之鋼鐵。

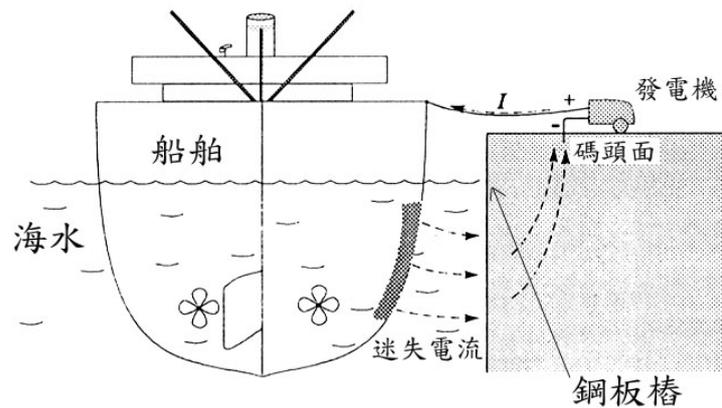


圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受雜散電流之情形<sup>[61]</sup>

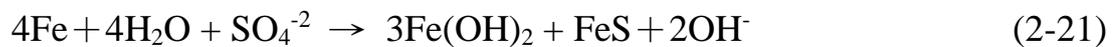
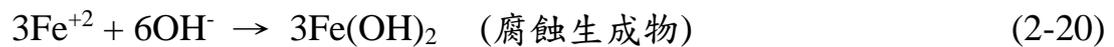
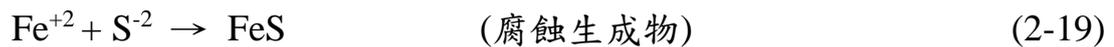
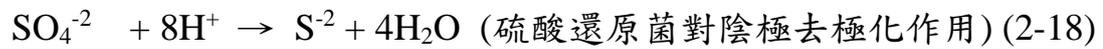
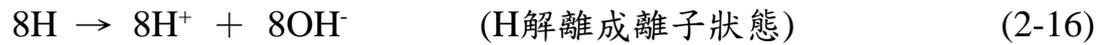
## 9. 海生物附著

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<sup>[61]</sup>。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) 形成金屬表面有氧濃度差異電池作用。

(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)<sup>[62]</sup>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)<sup>[63]</sup>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、碳鋼等金屬的腐蝕暴露情況。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，推測原因是室內相對濕度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)<sup>[64]</sup>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，它利用一組解釋變數 (independent variable) 對某一反應變數 (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瞭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)<sup>[65]</sup> 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 ISO 9223 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)<sup>[66]</sup>、Pourbaix(1993)<sup>[67]</sup> 與 Morales(2007)<sup>[68]</sup> 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)<sup>[69]</sup> 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)<sup>[70]</sup> 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)<sup>[71]</sup> 以迴歸分析建立鋅金屬腐蝕速率預測模式研究結果，針對氯鹽、二氧化硫與濕潤時間 3 項環境因子對臺灣地區鋅金屬的腐蝕速率，以氯鹽的影響最為顯著。Lo(2014)<sup>[72]</sup> 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。

## 第三章 研究方法與試驗點位置資料圖表

### 3.1 大氣暴放環境

#### 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，並依借用場地可行性決定設站。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) 北部地區海域(桃園)：桃園試驗線，包括大潭電廠 1 處與觀音工業區 1 處，共 2 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、運技中心 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 3 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進行內插推算，於上述調查路線之垂直方向，即沿臺灣南北向再規劃西部 2 條、東部 1 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：石門十八王公橋、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、台電通霄電廠、苗栗外埔安檢所、臺中五

甲安檢所、台電臺中電廠、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 15 個試驗點；高鐵沿線車站試驗點則包括高鐵臺中站、嘉義站、左營站，共 3 個試驗點。臺灣東部濱海公路沿線之試驗點包括：東北角風景區福隆遊客中心、宜蘭梗枋安檢所、宜蘭南澳安檢所、宜蘭龍德工業區、花蓮太魯閣國家公園管理處、花蓮橄仔樹安檢所、花蓮石梯安檢所、臺東成功安檢所、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，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、北部山區(公路局北區養護工程分局處復興工務段)、中部山區(公路局中區養護工程分局新中橫監工站、埔里工務段、霧社監工站、谷關工務段)、南部山區(公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段與石卓監工站)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。

綜而言之，氣鹽沉積速率的調查位置共有 65 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 24 個試驗點，藍色字樣為 29 個平行海岸線之試驗點，綠色字樣則表示 12 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	十八王公橋	新北市石門區	海洋環境
	臺北港監測站	新北市淡水區	海洋環境
	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
	新竹安檢所	新竹市	海洋環境、鄉村環境
	台電通霄電廠	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
	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
	成大水工試驗所	臺南市安南區	海洋環境、鄉村環境
	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
東部濱海沿線規劃試驗點	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
	東北角風景區福隆遊客中心	新北市貢寮區	海洋環境
	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
	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	
檄仔樹安檢所	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	

	試驗線(點)規劃	所在地區	環境分類
驗 點	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
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
	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	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
	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	澎湖縣	海洋環境
	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	南投縣信義鄉	鄉村環境
	公路局中區養護工程分局埔里工務段	南投縣埔里鎮	鄉村環境
	公路局中區養護工程分局霧社監工站	南投縣仁愛鄉	鄉村環境
	公路局中區養護工程分局處谷關工務段	臺中市和平區	鄉村環境
	公路局北區養護工程分局復興工務段	桃園市復興區	鄉村環境
公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	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。

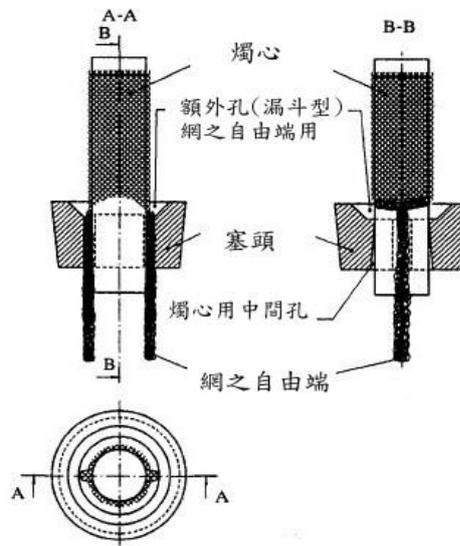


圖 3.2 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)

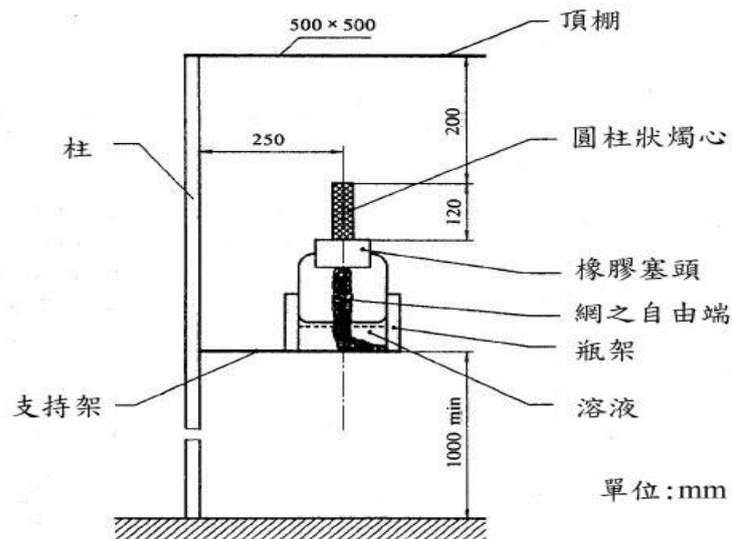


圖 3.3 濕燭法裝置構造圖 (CNS 13754)

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，再依環境部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( $\text{mg}$ )

$A$  = 暴露網表面積( $\text{m}^2$ )

$t$  = 暴露時間，天( $\text{day}$ )

### 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  $\text{SO}_2$  與  $\text{H}_2\text{S}$ ，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：於臺灣各縣市工業區設置試驗點，共 29 個試驗點。
- (3) 石化與火力電廠：林園煉油廠、大潭電廠(桃園試驗線 500m)、通霄火力電廠、臺中火力電廠、興達火力電廠，共有 5 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) 沿海地區：東北角風景區福隆遊客中心、十八王公橋、永安安檢所、臺中港試驗線 300m)，共有 4 個試驗點。
- (6) 離島地區：金門金城鎮(水頭商港)、澎湖馬公市(公路局南區養護工程分局澎湖工務段)及馬祖南竿鄉(福澳港) 各設 1 個試驗點，共有 3 個試驗點。
- (7) 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、太魯閣國家公園管理處、北部山區(公路局北區養護工程分局處復興工務段)、中部山區(公路局中區養護工程分局新中橫監工站、埔里工務段、霧社監工站、谷關工務段)、南部山區(公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段與石卓監工站) 等 9 個試驗點。此外，在硫磺溫泉區(陽明山硫磺區) 設 1 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 29 個試驗點，石化與火力電廠 5 個試驗點，高鐵沿線 3 個試驗點，沿海地區 4 個試驗點，離島地區 3 個試驗點，10 個參考對照試驗點。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	十八王公橋、樹林工業區、東北角風景區福隆遊客中心
桃園市	觀音工業區、平鎮工業區、桃園試驗線 500m(大潭電廠)、桃園試驗線 2Km、公路局北區養護工程分局復興工務段、永安安檢所
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 300m、通霄火力電廠、公路局中區養護工程分局處谷關工務段
南投縣	南崗工業區、公路局中區養護工程分局新中橫監工站、公路局中區養護工程分局埔里工務段、公路局中區養護工程分局霧社監工站
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、公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段、公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站
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	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	公路局南區養護工程分局澎湖工務段
連江縣	馬祖福澳港碼頭

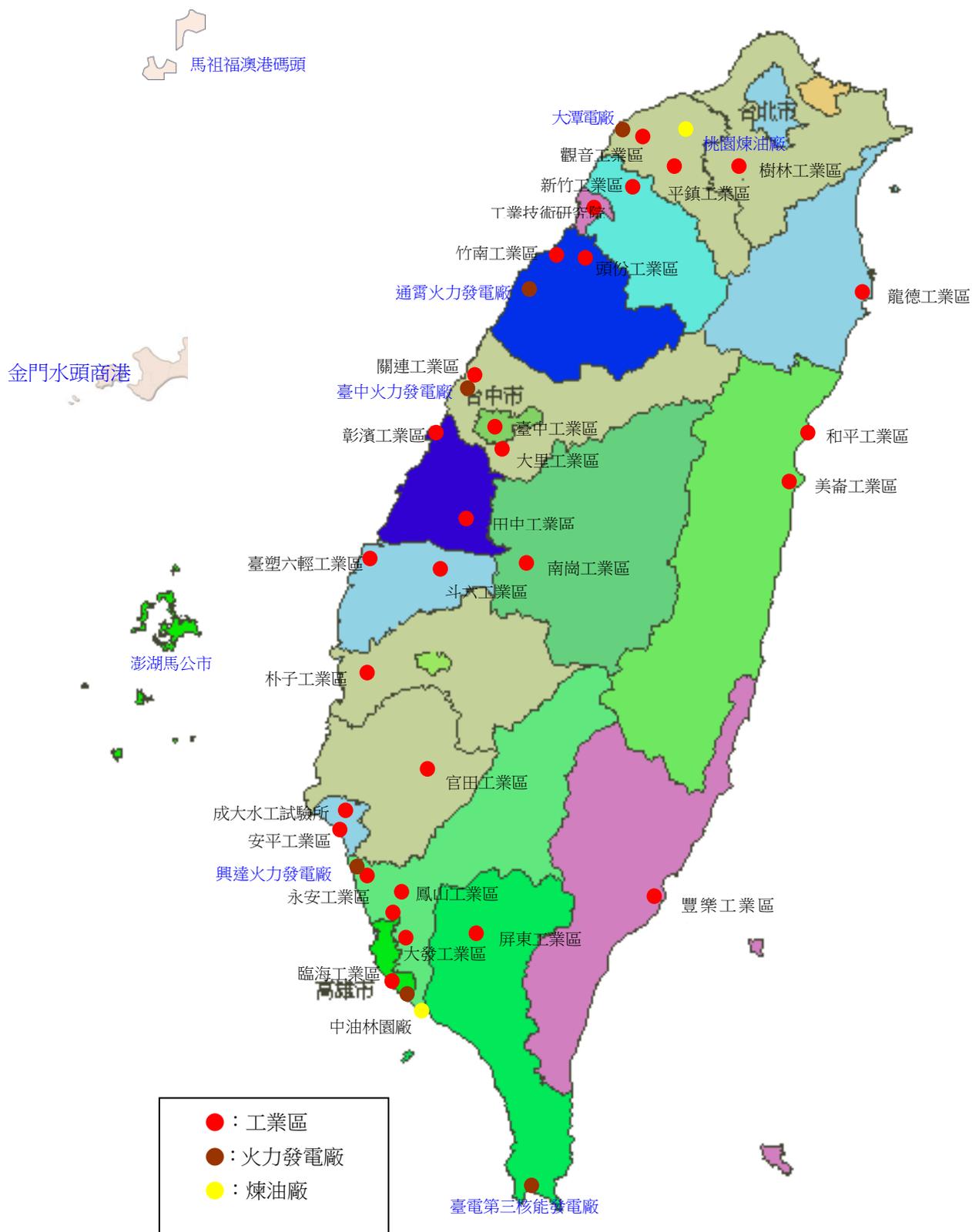


圖 3.4 二氧化硫沉積速率調查位置圖

### 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。

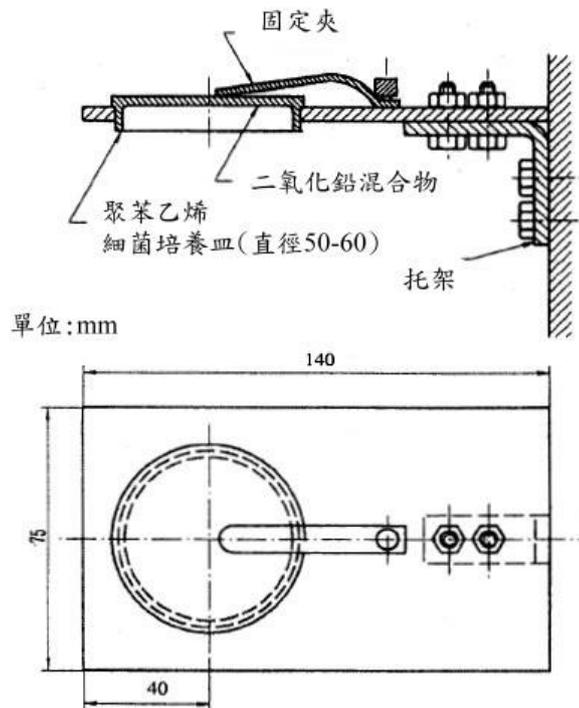


圖 3.5 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

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( $\mu\text{g}$ )

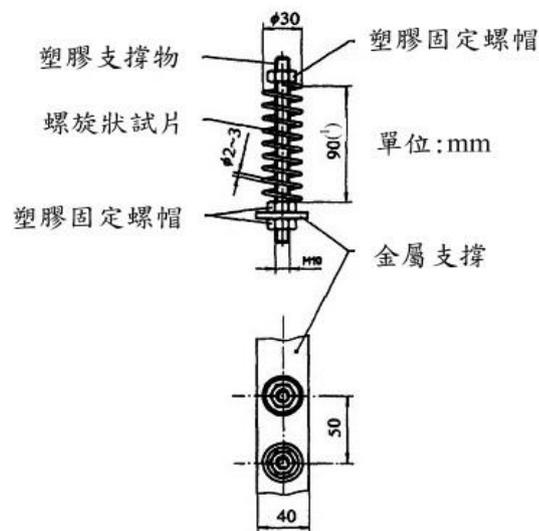
$m_1$  = 每一平板之硫酸鹽質量( $\mu\text{g}$ )

$A$  = 平板面積( $\text{m}^2$ )

$t$  = 暴露時間，天( $\text{day}$ )

### 3.1.5 現地暴露試驗

現地暴露試驗，在此環境下，暴放兩種不同試樣，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 90 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  $\mu\text{m}/\text{y}$  表示，計算公式依據 CNS 13753 規範，如下：

$$R_{\text{corr}} = 0.25(\Delta m \cdot d / m \cdot t) \quad (3-3)$$

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

$\Delta m$  = 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 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), 加入蒸 餾水配成 1000mL	2~5	70	—
銅	以 100mL 硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\rho=1.84$ 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 ( $\text{HNO}_3$ , $\rho=1.42$ 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

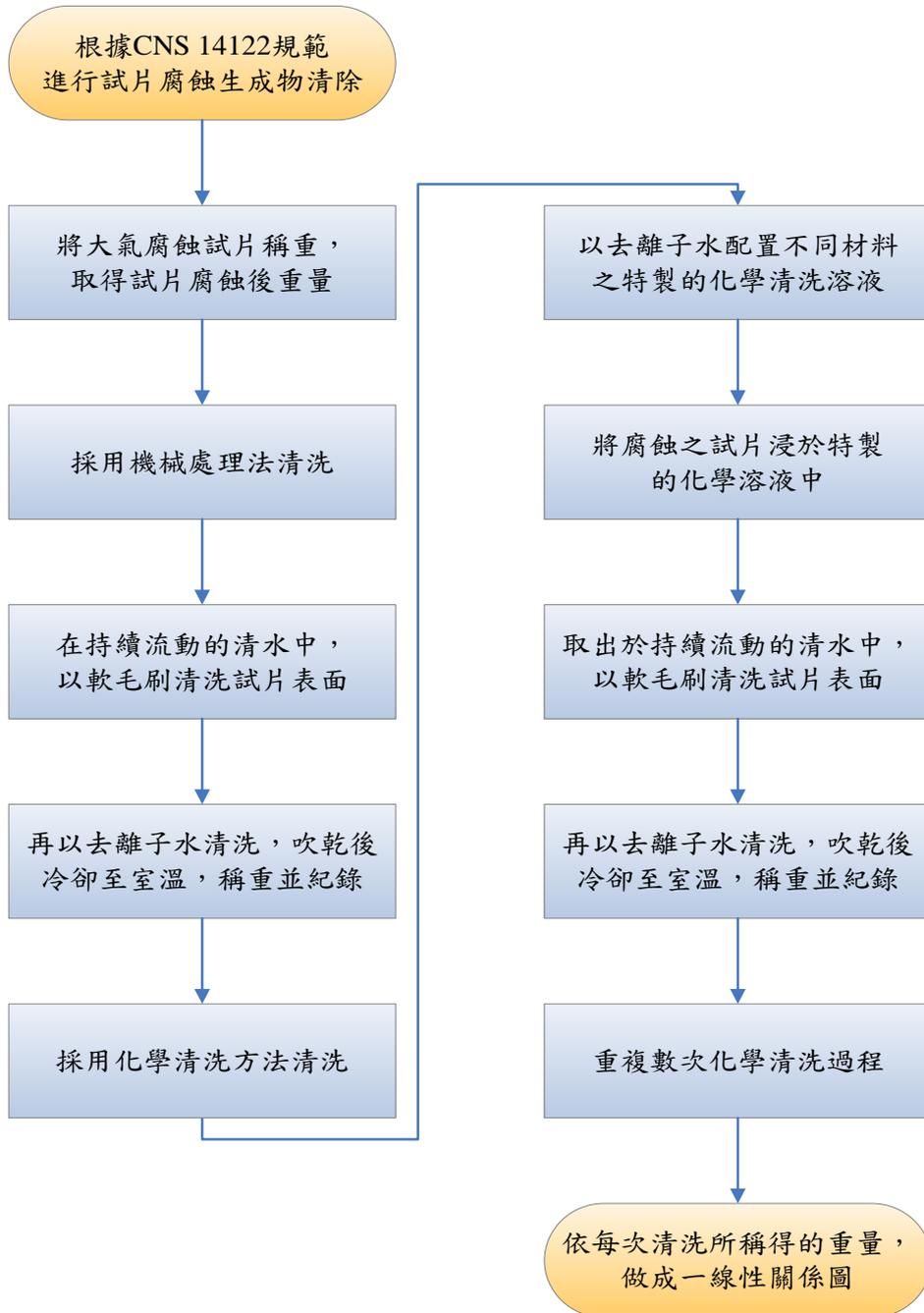


圖 3.8 腐蝕生成物清除法作業流程圖

### 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 SO<sub>2</sub> 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( $\tau$ )、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/m<sup>2</sup>/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/m<sup>2</sup>/day)測定或是空氣中的 SO<sub>2</sub> 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分，金屬的腐蝕速率在初期暴露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值；表中除鋁金屬外，碳鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率單位均可以  $\mu\text{m}/\text{yr}$  表示；主要原因是因碳鋼、鋅、銅金屬在大氣環境中的腐蝕現象為均勻腐蝕，但鋁金屬則為局部腐蝕，所以鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率可以  $\mu\text{m}/\text{yr}$  表示，但鋁的腐蝕速率須以  $\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$  表示。

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

表 3-4 濕潤環境分類表

濕潤時間		類別
hour/year	%	
$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0.1$	$\tau_1$
$10 < \tau \leq 250$	$0.1 < \tau \leq 3$	$\tau_2$
$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	$\tau_3$
$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	$\tau_4$
$5500 < \tau$	$60 < \tau$	$\tau_5$

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 <sup>2</sup> /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 <sub>2</sub> 沉積速率 mg/m <sup>2</sup> /day	SO <sub>2</sub> 濃度 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	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	$\tau_1$			$\tau_2$			$\tau_3$			$\tau_4$			$\tau_5$		
	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$
$P_0-P_1$	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	$\tau_1$			$\tau_2$			$\tau_3$			$\tau_4$			$\tau_5$		
	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$
$P_0-P_1$	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	$\tau_1$			$\tau_2$			$\tau_3$			$\tau_4$			$\tau_5$		
	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0-S_1$	$S_2$	$S_3$
$P_0-P_1$	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( $\tau$ )、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 1 年之腐蝕速率區分

腐蝕性 分類	腐蝕速率 ( $\gamma_{\text{corr}}$ )				
	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 海洋暴放環境

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，今年已完成第 5 年試片取樣作業，並將金屬腐蝕數據撰寫於報告第五章。在此，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

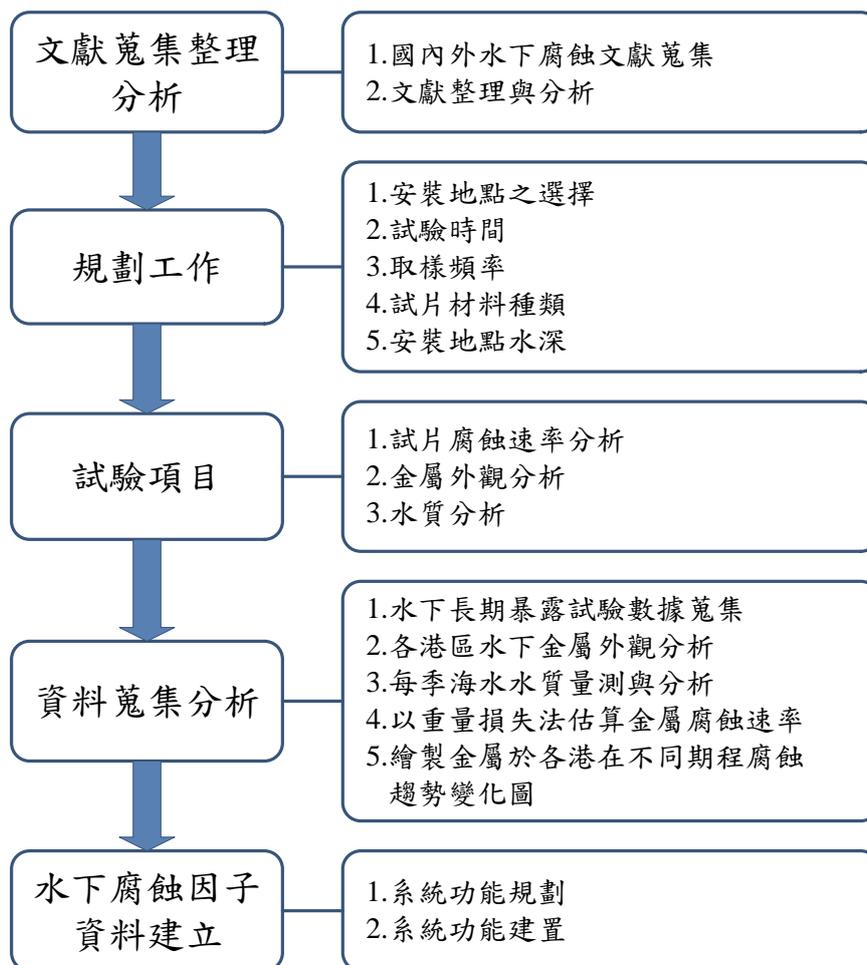


圖 3.9 水下腐蝕研究方法與規劃

### 3.3.2 各港區海水下金屬暴露試驗

#### 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 3 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. 試片架的暴露位置: 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	2014/10/28 (2017 毀損)  2019/03/26 (重新安裝)	1、2、5、8、 10 年等 5 個 期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
布袋港 東#3碼頭	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/05	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		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			

註：臺中港原於 2014 年 10 月 28 日安裝的試片架於 2017 年因外力撞擊毀損，之後於 2019 年 3 月 26 日重新安裝。

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			

註：高雄港#75 碼頭飛沫帶試架於完成取樣 2 年後毀損試片遺失。

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	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/12	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
運技中心 循環水槽	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0	2016/09/22 (2022終止 試驗)	1、2、5、 8、10年等5 個期程
		SS316L			
		SS400			

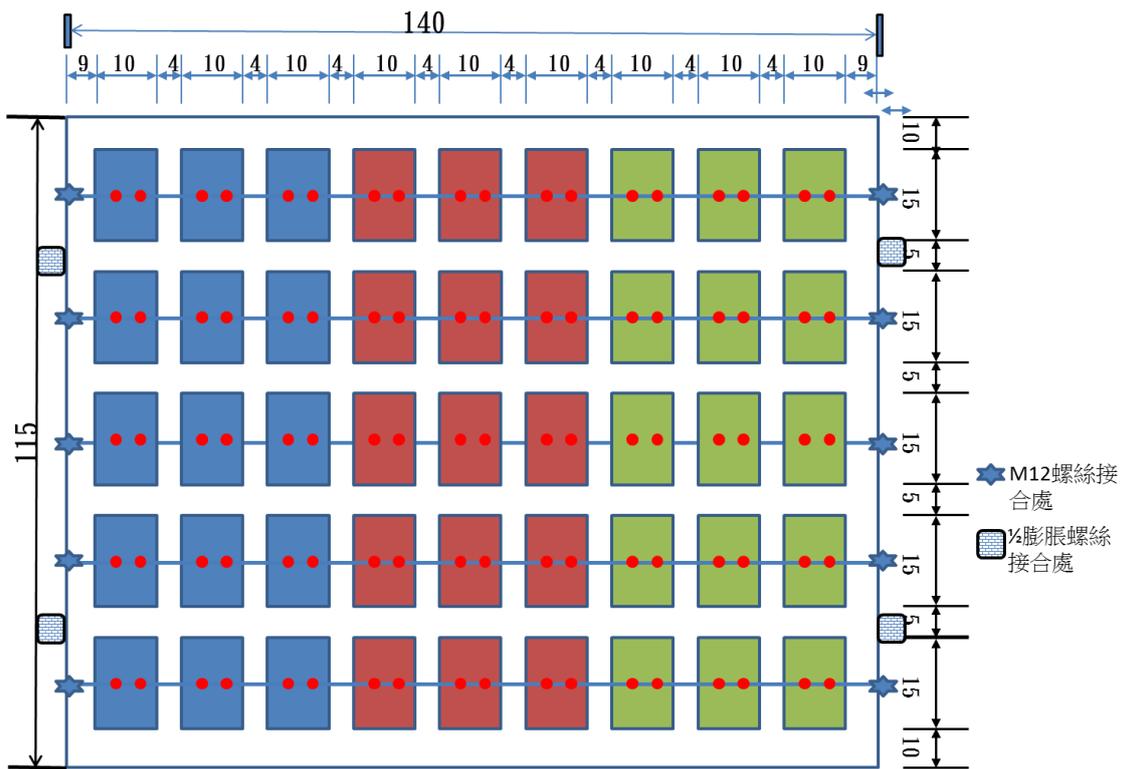


圖 3.10.水下金屬腐蝕試驗架示意圖

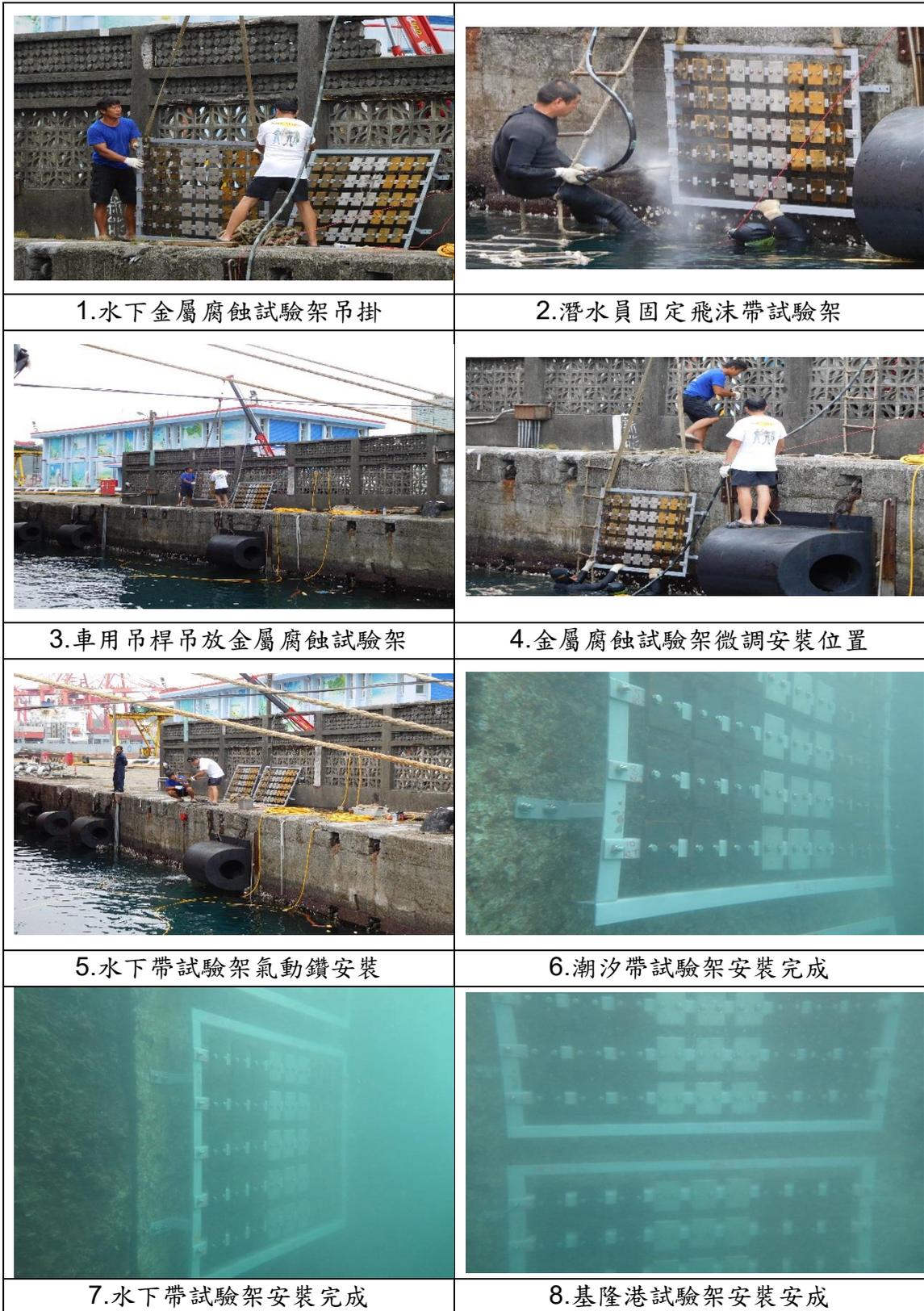


圖 3.11 基隆港水下金屬暴露試驗架安裝

### 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 SnCl<sub>2</sub> 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）。將試驗點暴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( $R_{\text{corr}}$ )單位以  $\mu\text{m}/\text{yr}$  表示，計算公式如下：

$$R_{\text{corr}} = \Delta m / (A \cdot \rho \cdot t) \quad (3-4)$$

式中， $\Delta m$  = 質量損失(g)

$A$  = 試片暴露面積( $\text{m}^2$ )

$t$  = 暴露時間，年(year)

$\rho$  = 金屬材料之密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )



## 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 2022.10-2022.12(秋季)，2023.01-2023.03(冬季)，2023.04-2023.06(春季)，2023.07-2023.09(夏季)。

2022.10-2022.12 秋季期間，氯鹽沉積速率介於 0.4 mg/m<sup>2</sup>/day(霧社監工站)至 120.2 mg/m<sup>2</sup>/day(台塑六輕試驗線 0m)之間，其餘相對較高的沉積速率依序為台塑六輕試驗線 800m、外埔安檢所、王功安檢所、五甲安檢所，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/m<sup>2</sup>/day)。在霧社監工站、埔里工務段、石卓監工站、新中橫監工站，所測得的氯鹽沉積速率皆低於 1.0 mg/m<sup>2</sup>/day。

2023.01-2023.03 冬季期間，氯鹽沉積速率介於 0.2 mg/m<sup>2</sup>/day(新中橫監工站)至 110.1 mg/m<sup>2</sup>/day(檳仔樹安檢所)之間，其餘相對較高的沉積速率依序為新竹漁港、五甲安檢所、彰濱工業區、澎湖工務段、臺中火力電廠、王功安檢所、臺中港試驗線 0m、花蓮港試驗線 0m，所測得的氯鹽沉積速率均為 CNS 13401 (ISO 9223)的分類標準 S2。在新中橫監工站、谷關工務段、霧社監工站、石卓監工站、復興工務段、埔里工務段、太魯閣國家公園測點所測得的氯鹽沉積速率皆低於 1.0 mg/m<sup>2</sup>/day。

2023.04-2023.06 春季期間，氯鹽沉積速率介於 0.2 mg/m<sup>2</sup>/day(谷關工務段)至 29.7 mg/m<sup>2</sup>/day(澎湖工務段)之間，其餘相對較高的沉積速率依序為檳仔樹安檢所、基隆試驗線 100m、台塑六輕試驗線 300m、外埔安檢所，以上各試驗點測得的氯鹽沉積速率均大於 14 mg/m<sup>2</sup>/day。而石卓監工站、新中橫監工站、太魯閣國家公園等山區及核三廠試驗線 300m、高鐵臺中站、平鎮工業區(力鋼)、高鐵嘉義站等部分沿海試驗線、工業區所測得的氯鹽沉積速率皆低於 1.0 mg/m<sup>2</sup>/day。

2023.07-2023.09 夏季期間，氯鹽沉積速率介於  $0.2 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  (石卓監工站)至  $47.3 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  (金門水頭商港)之間，其餘相對較高的沉積速率依序為十八王公橋、外埔安檢所、金樽安檢所、澎湖工務段，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於  $15 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。山區測點測得的氯鹽沉積速率較低，高鐵左營站、東北角風景區、蘇澳港試驗線 0m、核三廠試驗線 300m 等部分沿海試驗線、工業區氯鹽沉積速率皆低於  $1.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

整體而言，4 季中以秋、冬 2 季的氯鹽沉積速率較高，春、夏 2 季較低，且在秋、冬 2 季以北部至西部沿海地區的氯鹽沉積速率較高，多個試驗點測得  $60 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  以上的氯鹽沉積速率，在東部濱海沿線以花蓮壽豐橄仔樹安檢所的氯鹽沉積速率較高；以地區來看，在距離海岸線較遠之山區的氯鹽沉積速率最低，多在  $1 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  以下，在距離海岸線有一段距離的高鐵沿線 3 個車站氯鹽沉積速率亦在  $2 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  以下，沿海地區以臺南、高雄沿海的氯鹽沉積速率較低，東部沿海地區以花蓮壽豐橄仔樹安檢所的氯鹽沉積速率較高，而外島地區的氯鹽沉積速率則介於  $2.2\sim 83.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

圖 4.1 為垂直海岸試驗線的平均氯鹽沉積速率圖。圖中顯示：台塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率在秋、冬 2 季明顯較其他試驗線高，基隆試驗線、臺中港試驗線及花蓮港試驗線次之。

表 4-1 氣鹽沉積速率表

單位：mg/m<sup>2</sup>/day

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
1	基隆試驗線 0m	25.4	27.3	9.7	9.5
2	基隆試驗線 100m	37.5	28.5	14.6	5.3
3	梗枋安檢所	-	-	5.7	1.6
4	龍德工業區	2.1	2.7	0.9	5.9
5	蘇澳港試驗線 0m	3.4	3.6	0.9	0.6
6	蘇澳港試驗線 300m	3.6	2.9	1.0	2.3
7	南澳安檢所	4.0	1.6	2.8	10.1
8	太魯閣國家公園	1.3	0.9	0.4	0.3
9	花蓮港試驗線 0m	19.0	60.5	1.7	9.1
10	花蓮港試驗線 100m	13.6	9.6	0.8	6.5
11	花蓮港試驗線 500m	10.7	6.4	3.0	4.0
12	橄仔樹安檢所	50.7	110.1	14.8	14.4
13	石梯安檢所	15.1	10.7	11.7	1.8
14	成功試驗線 0m	25.0	19.8	12.3	-
15	金樽安檢所	10.2	8.2	5.8	19.6
16	伽蘭安檢所	3.7	2.6	1.9	-
17	尚武安檢所	13.9	12.1	3.1	2.4
18	核三廠試驗線 0m	14.7	6.8	6.1	14.4
19	核三廠試驗線 100m	9.3	5.9	2.0	0.9
20	核三廠試驗線 300m	7.1	3.0	0.3	0.6
21	中鋼公司	3.9	2.7	0.8	2.2
22	高雄港試驗線 0m	2.5	1.2	3.8	11.3
23	高雄港試驗線 300m	2.4	2.2	4.6	1.2
24	高鐵左營站	1.2	1.4	0.9	0.4
25	興達火力電廠	1.5	1.1	0.8	1.2
26	成大水工所	2.2	2.5	1.4	1.0
27	東石安檢所	21.0	18.0	2.7	2.2
28	高鐵嘉義站	1.6	1.5	0.7	1.2
29	台塑六輕試驗線 0m	120.2	38.9	1.7	1.1
30	台塑六輕試驗線 300m	54.8	55.2	14.1	11.1
31	台塑六輕試驗線 800m	97.7	43.4	10.2	8.5
32	台塑六輕試驗線 2Km	50.9	27.9	2.3	2.7

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
33	台塑六輕試驗線 3Km	15.9	18.3	1.7	1.3
34	王功安檢所	83.7	69.0	4.6	4.6
35	彰濱工業區	48.9	87.5	3.9	6.4
36	高鐵臺中站	1.3	1.1	0.6	0.7
37	臺中火力電廠	41.0	69.4	6.4	4.6
38	臺中港試驗線 0m	30.9	66.8	5.1	2.4
39	臺中港試驗線 300m	8.9	9.7	3.3	1.4
40	臺中港試驗線 2Km	9.4	14.4	1.3	1.7
41	五甲安檢所	67.4	92.9	4.8	1.3
42	通霄火力電廠	50.3	16.0	1.7	4.8
43	外埔安檢所	86.7	55.9	14.0	20.2
44	平鎮工業區	2.8	2.4	0.6	0.9
45	桃園試驗線 500m	14.8	20.0	5.6	2.5
46	桃園試驗線 2Km	8.2	6.5	4.3	5.3
47	臺北市區	3.2	1.7	0.8	1.2
48	陽明山國家公園	1.0	1.8	0.5	0.4
49	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	1.5	1.2	0.5	0.2
50	東北角風景區福隆遊客中心	-	-	1.8	0.6
51	臺北港監測站	5.8	6.8	1.7	1.0
52	永安安檢所	7.9	13.4	2.9	7.5
53	新竹安檢所	47.9	107.5	0.8	11.0
54	金門水頭商港	17.4	9.3	2.2	47.3
55	高雄港 39 號碼頭	2.1	1.9	1.2	2.5
56	高雄港 75 號碼頭	3.6	1.5	0.8	5.4
57	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	22.6	83.5	29.7	18.6
58	馬祖福澳港碼頭	26.4	13.6	8.7	10.8
59	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	0.8	0.2	0.2	0.4
60	公路局中區養護工程分局埔里工務段	0.7	0.5	0.3	0.2
61	公路局中區養護工程分局霧社監工站	0.4	0.2	0.6	0.2

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
62	公路局中區養護工程分局谷關工務段	1.8	0.2	0.2	0.5
63	公路局北區養護工程分局復興工務段	1.0	0.5	0.3	0.5
64	公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	0.7	0.3	0.3	0.2
65	十八王公橋				20.8

註 1：- 表示試體遺失

註 2：2023 年 6 月起新增十八王公橋試驗點

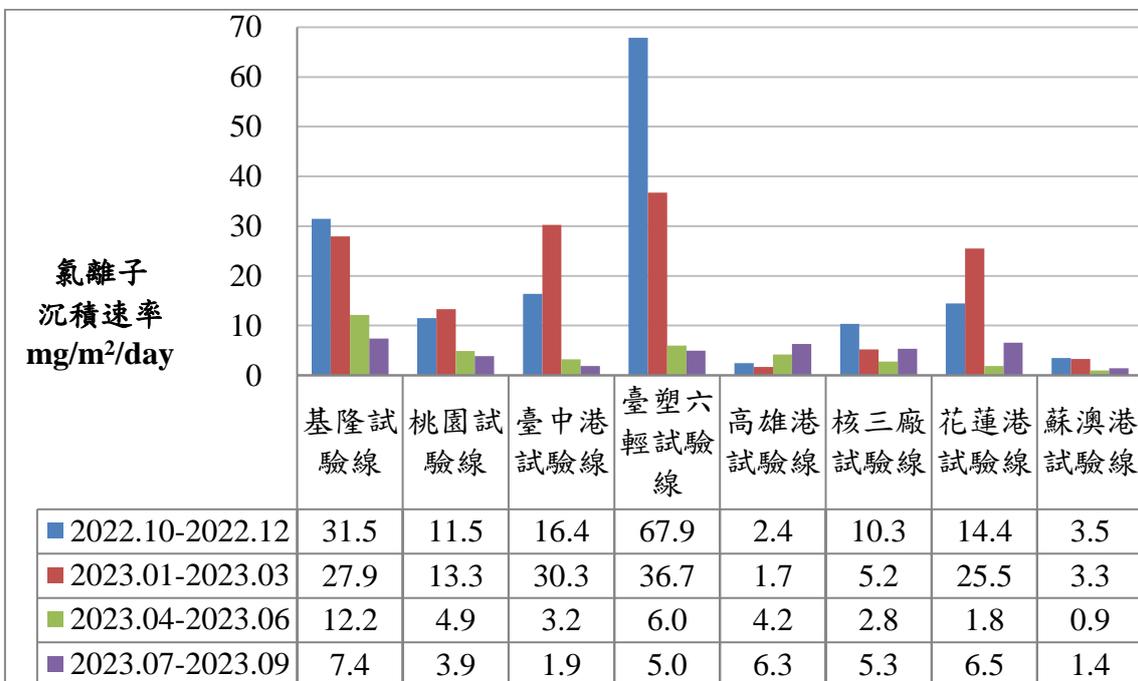


圖 4.1 垂直海岸試驗線之氣鹽平均沉積速率

## 4.2 二氧化硫沉積速率調查結果

表 4-2 為各試驗點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 2022.10-2022.12(秋季)，2023.01-2023.03(冬季)，2023.04-2023.06(春季)，2023.07-2023.09(夏季)。

2022.10-2022.12 秋季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 1514.3 mg/m<sup>2</sup>/day，其餘介於太魯閣國家公園 3.2 mg/m<sup>2</sup>/day 至彰濱工業區 306.8 mg/m<sup>2</sup>/day 之間。較高的沉積速率發生在彰濱工業區、觀音工業區、官田工業區，其值均超過 CNS 13401 (ISO 9223) 的最高分類標準 P3(≤200 mg/m<sup>2</sup>/day)。

2023.01-2023.03 冬季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 2773.9 mg/m<sup>2</sup>/day，其餘介於太魯閣國家公園 7.0 mg/m<sup>2</sup>/day 至彰濱工業區 597.5mg/m<sup>2</sup>/day 之間。較高的沉積速率依序發生在彰濱工業區、觀音工業區、官田工業區、陽明山國家公園、大潭電廠(桃園試驗線 500m)，其值皆超過分類標準 P3。

2023.04-2023.06 春季期間，陽明山硫磺區的二氧化硫沉積速率最大 1456.2 mg/m<sup>2</sup>/day，其次為陽明山國家公園 214.0 mg/m<sup>2</sup>/day，其餘介於霧社監工站 8.6 mg/m<sup>2</sup>/day 至官田工業區 194.0mg/m<sup>2</sup>/day 之間。較高的沉積速率依序為官田工業區、觀音工業區、大潭電廠(桃園試驗線 500m)、彰濱工業區，其值皆超過 90 mg/m<sup>2</sup>/day 為分類標準 P3。

2023.07-2023.09 夏季期間，陽明山硫磺區因試體遺失，以陽明山國家公園的二氧化硫沉積速率最大 188.2mg/m<sup>2</sup>/day，其餘介於和平工業區 7.3 mg/m<sup>2</sup>/day 至龍德工業區 101.6 mg/m<sup>2</sup>/day 之間。較高的沉積速率發生在龍德工業區及永安安檢所，為分類標準 P3。

整體而言，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，且以秋、冬 2 季較高。

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。特定工業區以彰濱工業區、觀音工業區及官田工業區數值較高，在秋、冬 2 季的數值皆達  $200\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  以上，超過最高分類 P3 等級，南部的中油林園廠、中鋼公司、大發工業區及東部的龍德工業區數值較低，除了大發工業區冬季( $104.7\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ )、中鋼公司秋季( $80.5\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ )與冬季( $81.1\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ )、龍德工業區夏季( $101.6\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ )達到分類 P3 等級外，其餘介於  $37.7\sim 79.7\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  屬於分類標準 P2 等級。

4 個電廠的二氧化硫沉積速率以大潭電廠秋、冬 2 季、通霄電廠秋季與臺中電廠冬季超過  $80\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  以上，達分類標準 P3 等級，其他數值均落在  $80\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  以下的 P2 等級；高鐵 3 個車站的二氧化硫沉積速率介於  $19.6\sim 61.2\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ ，大多屬於分類標準 P1 或 P2 等級；臺北市的二氧化硫沉積速率介於  $10.6\sim 28.8\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ ，屬分類標準 P1 等級。

表 4-2 二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m<sup>2</sup>/day

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
1	龍德工業區	45.0	37.7	59.2	101.6
2	和平工業區	11.9	9.5	32.0	7.3
3	太魯閣國家公園管理處	3.2	7.0	10.9	16.1
4	美崙工業區	9.6	11.9	14.3	13.8
5	豐樂工業區	14.6	17.3	17.6	29.4
6	屏東工業區	39.9	36.6	31.7	14.3
7	中油林園廠	67.4	69.5	54.3	40.1
8	中鋼公司	80.5	81.1	79.7	52.2
9	鳳山工業區	30.8	64.3	35.3	30.2
10	大發工業區	66.8	104.7	38.7	10.5
11	高鐵左營站	38.7	51.6	35.6	31.2
12	永安工業區	52.6	78.0	48.3	33.1
13	興達火力電廠	57.8	65.3	45.6	50.8
14	安平工業區	42.9	180.1	34.2	29.8
15	成大水工試驗所	44.0	44.4	34.2	38.6
16	官田工業區	221.8	295.3	194.0	58.4
17	朴子工業區	61.7	81.0	52.5	48.0
18	高鐵嘉義站	44.3	61.2	33.2	19.6
19	斗六工業區	29.0	42.1	32.6	28.8
20	彰濱工業區	306.8	597.5	94.9	53.3
21	田中工業區	29.0	28.7	30.9	33.8
22	南崗工業區	17.8	24.5	23.0	20.7
23	大里工業區	18.3	27.0	21.0	38.4
24	高鐵臺中站	42.3	33.4	30.6	32.4
25	臺中工業區	19.0	29.8	28.8	31.3
26	關連工業區	22.4	46.3	29.5	41.7
27	臺中火力電廠	70.3	139.9	30.6	58.1
28	臺中港試驗線 300m	26.1	41.7	20.8	17.0
29	通霄火力電廠	179.6	47.2	25.7	27.0
30	竹南工業區	16.1	40.6	23.8	27.4
31	頭份工業區	16.6	33.9	22.0	19.0

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
32	工業技術研究院	17.7	27.1	21.2	27.2
33	新竹工業區	19.9	24.3	25.4	27.3
34	平鎮工業區	11.2	38.6	22.0	24.6
35	桃園試驗線 500m(大潭電廠)	123.4	205.9	96.0	54.3
36	桃園試驗線 2Km	45.5	91.4	57.6	62.4
37	樹林工業區	14.5	21.3	23.6	23.2
38	臺北市自來水事業處	10.6	15.5	16.4	28.8
39	陽明山國家公園管理處	190.5	232.2	214.0	188.2
40	陽明山硫磺區	1514.3	2773.9	1456.2	-
41	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	7.9	19.8	18.6	10.1
42	平鎮工業區(服務中心)	21.6	40.1	30.3	24.5
43	觀音工業區(服務中心)	223.7	370.0	146.4	62.1
44	東北角風景區福隆遊客中心	-	-	30.7	30.4
45	永安安檢所	111.5	154.7	45.1	83.3
46	金門水頭商港	23.8	34.5	29.6	59.1
47	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	25.6	137.4	46.1	36.8
48	馬祖福澳港碼頭	26.8	31.6	18.6	40.8
49	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	6.5	11.9	10.3	-
50	公路局中區養護工程分局埔里工務段	29.9	34.5	36.7	46.2
51	公路局中區養護工程分局霧社監工站	9.4	17.8	8.6	12.8
52	公路局中區養護工程分局谷關工務段	13.4	16.0	16.0	-
53	公路局北區養護工程分局復興工務段	20.2	13.4	12.1	11.6
54	公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	5.4	16.6	9.9	13.8
55	十八王公橋				55.7

註1：- 表示試體遺失

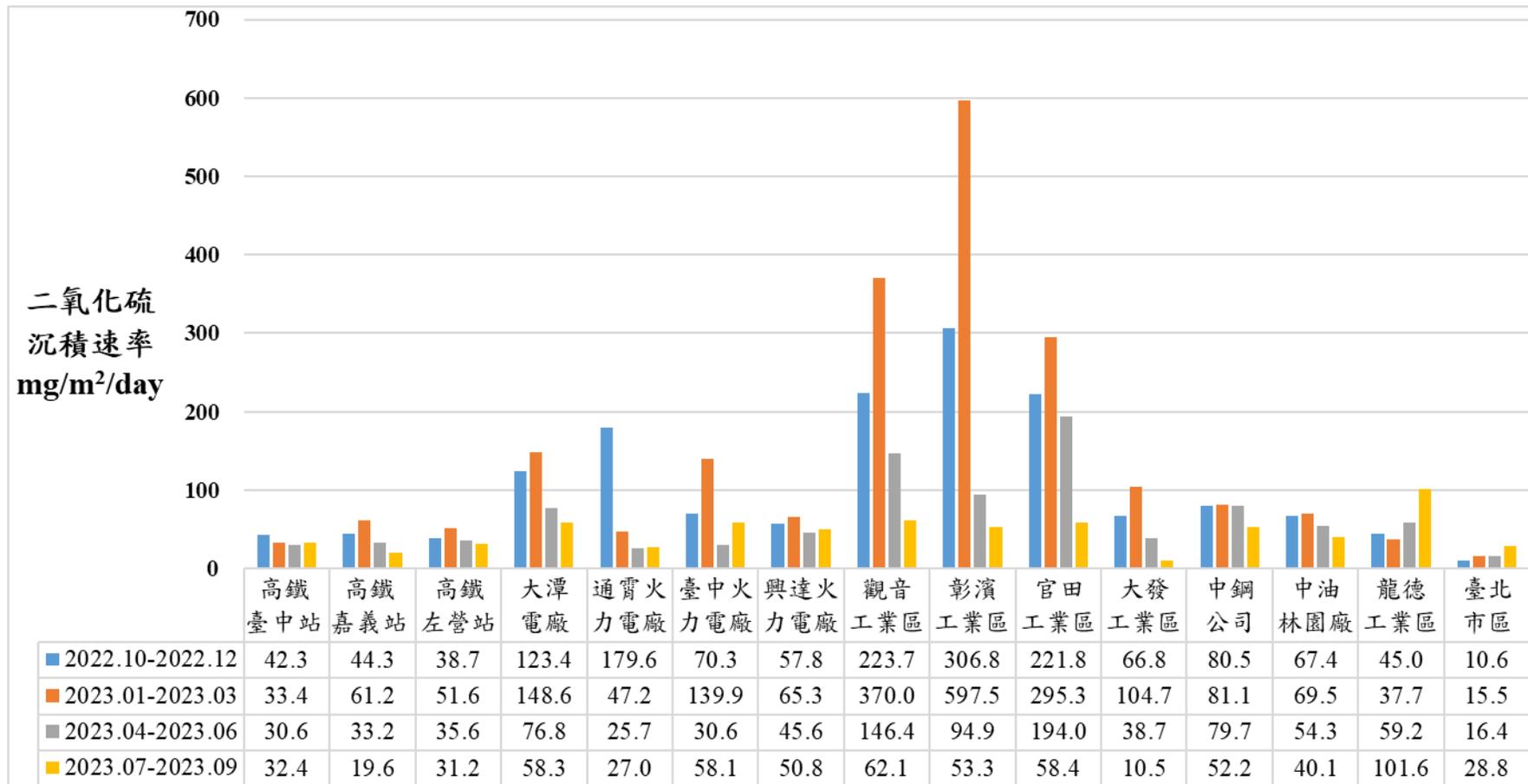
註2：2023年6月起新增十八王公橋試驗點

表 4-3 特定試驗點之二氧化硫沉積速率表

單位：mg/m<sup>2</sup>/day

試驗地點 \ 試驗期間	2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
高鐵臺中站	42.3	33.4	30.6	32.4
高鐵嘉義站	44.3	61.2	33.2	19.6
高鐵左營站	38.7	51.6	35.6	31.2
大潭火力電廠	123.4	205.9	96.0	54.3
通霄火力電廠	179.6	47.2	25.7	27.0
臺中火力電廠	70.3	139.9	30.6	58.1
興達火力電廠	57.8	65.3	45.6	50.8
觀音工業區	223.7	370.0	146.4	62.1
彰濱工業區	306.8	597.5	94.9	53.3
官田工業區	221.8	295.3	194.0	58.4
臨海工業區(中鋼公司)	80.5	81.1	79.7	52.2
中油林園廠	67.4	69.5	54.3	40.1
龍德工業區	45.0	37.7	59.2	101.6
臺北市區	10.6	15.5	16.4	28.8

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

碳鋼、鋅、銅、鋁 4 種金屬 4 季在各試驗點採樣之腐蝕速率計算結果，分別彙整於表 4-4 至表 4-7，以下分別說明各季各金屬試驗結果。(試驗之腐蝕產物清除檢量線、腐蝕速率等位線分布圖、腐蝕環境分類圖詳見附錄七)

秋季調查期間 2022.10-2022.12，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 31.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (斗六工業區)至 727.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 585.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、467.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (台塑六輕試驗線 0m)、445.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 800m)、444.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (桃園試驗線 500m)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 3.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (大里工業區)至 79.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (朴子工業區)之間；其他依序以 58.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新竹漁港)、47.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺中港試驗線 0m)及 39.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (五甲安檢所)試片腐蝕速率較大。銅金屬介於 0.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (新中橫監工站)至 74.1  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 38.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、31.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)、29.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (通霄火力電廠)、28.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 300m)試片腐蝕速率較大。而鋁金屬則介於 1.2g/m<sup>2</sup>/yr (谷關工務段) 至 50.0g/m<sup>2</sup>/yr (王功安檢所)之間，其他依序以 49.3 g/m<sup>2</sup>/yr (臺中港試驗線 0m)、48.1g/m<sup>2</sup>/yr (新竹漁港)及 40.1g/m<sup>2</sup>/yr (台塑六輕試驗線 2Km)。

冬季調查期間 2023.01-2023.03，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 35.5  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (斗六工業區)至 647.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆試驗線 100m)之間；其他依序以 547.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆試驗線 0m)、543.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$  (外埔安檢所)及 511.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 3.5  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (樹林工業區)至 46.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (伽蘭安檢所)；其他依序以 46.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺中港試驗線 0m)、42.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (臺中火力電廠)及 41.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ (彰濱工業區)試片腐蝕速率較大；銅金屬介於 0.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (新中橫監工站)至 76.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫磺區)之間；其他依序以 36.8 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (王功安檢所)、30.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)及 29.0 $\mu\text{m}/\text{yr}$  (台塑六輕試驗線 300m)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 0.9g/m<sup>2</sup>/yr (大發工業區)至 63.2g/m<sup>2</sup>/yr(臺中港試驗線 0m)之

間，其他依序以 58.3 g/m<sup>2</sup>/yr(王功安檢所)、50.2g/m<sup>2</sup>/yr(臺中火力電廠)及 45.1g/m<sup>2</sup>/yr(桃園試驗線 500m)試片腐蝕速率較大。

春季調查期間 2023.04-2023.06，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 52.5  $\mu$  m/yr(南崗工業區)至 639.2  $\mu$  m/yr(陽明山硫磺區)之間；其他依序以 465.0  $\mu$  m/yr(澎湖工務段)、348.2  $\mu$  m/yr(王功安檢所)及 325.1  $\mu$  m/yr(台塑六輕試驗線 300m)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 4.0  $\mu$  m/yr(成大水工所)至 31.0  $\mu$  m/yr(伽蘭安檢所)；其他依序以 25.0  $\mu$  m/yr(彰濱工業區)、24.4  $\mu$  m/yr(外埔安檢所)及 22.7  $\mu$  m/yr(陽明山硫磺區)試片腐蝕速率較大；銅金屬介於 1.0  $\mu$  m/yr(新中橫監工站)至 87.5  $\mu$  m/yr(陽明山硫磺區)之間；其他依序以 37.5  $\mu$  m/yr(伽蘭安檢所)、30.5  $\mu$  m/yr(王功安檢所)及 24.0  $\mu$  m/yr(澎湖工務段)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 2.3g/m<sup>2</sup>/yr(工業技術研究院)至 20.5g/m<sup>2</sup>/yr(桃園試驗線 500m)之間，其他依序以 18.4g/m<sup>2</sup>/yr(王功安檢所)、17.9g/m<sup>2</sup>/yr(桃園試驗線 2Km)及 17.4g/m<sup>2</sup>/yr(台塑六輕試驗線 300m)試片腐蝕速率較大。

夏季調查期間 2023.07-2023.09，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 27.9  $\mu$  m/yr(大里工業區)至 854.6  $\mu$  m/yr(陽明山硫磺區)之間；其他依序以 488.9  $\mu$  m/yr(十八王公橋)及 442.7  $\mu$  m/yr(永安安檢所)、240.8  $\mu$  m/yr(桃園試驗線 500m)試片腐蝕速率較大。鋅金屬介於 5.6  $\mu$  m/yr(平鎮工業區)至 32.2  $\mu$  m/yr(新竹漁港)；其他依序以 32.1  $\mu$  m/yr(陽明山硫磺區)、28.8  $\mu$  m/yr(永安安檢所)及 22.0  $\mu$  m/yr(蘇澳港試驗線 300m)試片腐蝕速率較大；銅金屬介於 1.0  $\mu$  m/yr(新中橫監工站)至 78.6  $\mu$  m/yr(陽明山硫磺區)之間；其他依序以 21.8  $\mu$  m/yr(永安安檢所)、21.2  $\mu$  m/yr(陽明山國家公園)及 21.0  $\mu$  m/yr(伽蘭安檢所)試片腐蝕速率較大；而鋁金屬則介於 0.1g/m<sup>2</sup>/yr(南崗工業區、和平工業區及谷關工務段)至 16.3g/m<sup>2</sup>/yr(永安安檢所)之間，其他依序以 13.4 g/m<sup>2</sup>/yr(桃園試驗線 500m)、11.7 g/m<sup>2</sup>/yr(陽明山硫磺區、桃園試驗線 2Km)及 10.5 g/m<sup>2</sup>/yr(基隆試驗線 100m)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			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
1	基隆試驗線 0m	220.5	547.8	163.5	102.9
2	基隆試驗線 100m	341.5	647.2	269.8	144.9
3	梗枋安檢所	67.4	-	145.6	166.3
4	龍德工業區	193.4	123.4	175.9	97.6
5	蘇澳港試驗線 0m	149.5	145.1	150.0	66.8
6	蘇澳港試驗線 300m	177.4	172.1	102.9	55.6
7	南澳安檢所	134.3	133.3	126.6	146.5
8	和平工業區	46.3	118.2	115.7	59.1
9	太魯閣國家公園管理處	52.2	92.3	121.1	57.9
10	美崙工業區	146.3	126.8	120.3	75.8
11	花蓮港試驗線 0m	309.6	262.9	201.1	155.9
12	花蓮港試驗線 100m	173.4	142.3	94.5	88.5
13	花蓮港試驗線 500m	168.5	152.6	96.4	85.6
14	橄仔樹安檢所	359.8	347.1	279.5	170.2
15	石梯安檢所	225.0	195.3	182.5	108.2
16	成功安檢所	174.2	220.7	171.2	124.3
17	金樽安檢所	173.3	202.3	188.9	170.4
18	伽藍安檢所	223.8	156.7	225.0	173.6
19	豐樂工業區	63.4	85.1	77.9	76.6
20	尚武安檢所	171.5	143.5	185.7	122.8
21	核三廠試驗線 0m	99.5	144.0	146.3	186.2
22	核三廠試驗線 100m	79.9	123.8	156.3	157.0
23	核三廠試驗線 300m	113.7	133.3	128.4	143.1
24	屏東工業區	49.8	48.3	67.1	39.7
25	中油林園廠	72.2	73.4	148.3	111.7
26	中鋼公司	108.4	94.1	143.8	142.7
27	鳳山工業區	46.7	62.7	83.8	96.7
28	大發工業區	65.4	51.3	126.5	152.7
29	高雄港試驗線 0m	53.8	41.8	59.9	120.7
30	高雄港試驗線 300m	89.7	63.8	86.7	144.3
31	高鐵左營站	77.9	60.3	106.1	70.6
32	永安工業區	101.2	76.4	75.3	131.4
33	興達火力電廠	100.5	155.5	123.8	193.7

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
34	安平工業區	75.6	110.2	105.4	153.0
35	成大水工試驗所	64.8	157.4	111.5	124.5
36	官田工業區	59.6	130.2	169.4	130.9
37	東石安檢所	285.6	273.2	120.6	165.2
38	朴子工業區	75.1	166.7	-	87.1
39	高鐵嘉義站	73.1	176.2	66.7	68.7
40	斗六工業區	31.9	35.5	56.7	44.4
41	台塑六輕試驗線 0m	467.8	498.2	249.4	99.9
42	台塑六輕試驗線 300m	411.3	426.4	325.1	106.1
43	台塑六輕試驗線 800m	445.4	381.1	273.2	96.3
44	台塑六輕試驗線 2Km	331.3	385.3	209.2	100.0
45	台塑六輕試驗線 3Km	319.1	269.7	164.1	101.4
46	王功安檢所	585.7	511.4	348.2	103.2
47	彰濱工業區	336.4	351.7	122.6	98.9
48	田中工業區	60.8	78.2	59.0	41.5
49	南崗工業區	59.4	103.3	52.5	46.5
50	大里工業區	40.7	93.6	61.0	27.9
51	高鐵臺中站	53.8	124.9	86.4	90.9
52	臺中工業區	80.9	170.5	67.7	48.2
53	關連工業區	146.3	275.6	92.8	54.7
54	臺中火力電廠	267.5	430.7	122.3	93.1
55	臺中港試驗線 0m	239.1	327.4	93.3	57.5
56	臺中港試驗線 300m	188.7	251.2	113.0	95.6
57	臺中港試驗線 2Km	157.4	281.2	100.2	101.3
58	五甲安檢所	327.7	375.9	172.6	100.1
59	通霄火力電廠	341.4	114.7	99.4	89.8
60	外埔安檢所	431.6	543.4	160.6	120.8
61	竹南工業區	106.7	176.8	135.7	69.7
62	頭份工業區	98.7	191.4	60.2	90.9
63	工業技術研究院	86.8	129.1	85.2	71.1
64	新竹工業區	93.3	84.1	133.1	102.0
65	平鎮工業區	117.8	176.3	84.3	41.8
66	桃園試驗線 500m	444.7	502.6	200.9	240.8
67	桃園試驗線 2Km	424.9	329.1	161.6	167.3
68	樹林工業區	114.4	65.2	138.8	87.1
69	臺北市自來水事業處	132.3	125.8	84.3	45.6

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
70	陽明山國家公園管理處	178.5	200.5	218.9	183.0
71	陽明山硫磺區	727.2	229.1	639.2	854.6
72	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	44.9	98.7	91.4	77.8
73	東北角風景區福隆遊客中心	-	-	209.9	89.0
74	臺北港監測站	115.6	134.9	112.0	128.7
75	平鎮工業區(服務中心)	181.7	231.1	151.0	53.3
76	觀音工業區(服務中心)	276.5	358.7	156.1	97.6
77	永安安檢所	268.4	293.3	192.5	442.7
78	新竹安檢所	191.5	494.6	196.6	176.0
79	金門水頭商港	75.7	100.8	172.5	139.2
80	高雄港 39 號碼頭	101.0	74.5	71.3	126.3
81	高雄港 75 號碼頭	61.6	56.6	61.7	137.2
82	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	320.7	385.2	465.0	184.8
83	馬祖福澳港碼頭	175.6	161.8	185.8	150.0
84	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	34.6	46.6	72.1	55.6
85	公路局中區養護工程分局埔里工務段	48.6	75.6	94.7	70.9
86	公路局中區養護工程分局霧社監工站	47.8	57.5	113.0	54.2
87	公路局中區養護工程分局谷關工務段	47.4	52.8	80.8	54.0
88	公路局北區養護工程分局復興工務段	64.2	83.7	88.8	56.0
89	公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	39.4	57.7	118.8	50.4
90	十八王公橋				488.9

註 1：- 表示試體遺失

註 2：2023 年 6 月起新增十八王公橋試驗點

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			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
1	基隆試驗線 0m	10.9	21.5	9.8	5.8
2	基隆試驗線 100m	11.8	30.5	9.0	10.4
3	梗枋安檢所	8.7	-	8.8	15.3
4	龍德工業區	12.8	10.6	7.8	15.2
5	蘇澳港試驗線 0m	17.0	18.2	9.2	17.0
6	蘇澳港試驗線 300m	14.9	16.2	7.9	22.0
7	南澳安檢所	31.6	11.7	10.6	17.1
8	和平工業區	12.0	7.4	9.0	13.6
9	太魯閣國家公園管理處	21.6	7.9	10.4	14.7
10	美崙工業區	10.1	-	11.9	12.2
11	花蓮港試驗線 0m	28.7	39.3	11.4	16.7
12	花蓮港試驗線 100m	14.4	20.0	7.6	7.5
13	花蓮港試驗線 500m	17.7	23.2	6.6	6.2
14	橄仔樹安檢所	25.2	35.4	17.0	13.7
15	石梯安檢所	18.1	13.7	8.3	6.9
16	成功安檢所	16.2	35.2	8.4	9.4
17	金樽安檢所	15.4	22.6	19.9	10.7
18	伽藍安檢所	26.7	46.4	31.0	10.4
19	豐樂工業區	12.7	11.0	7.7	12.2
20	尚武安檢所	10.1	20.5	14.1	12.8
21	核三廠試驗線 0m	12.6	-	15.2	18.1
22	核三廠試驗線 100m	16.3	25.0	11.5	15.7
23	核三廠試驗線 300m	9.0	15.3	10.9	13.5
24	屏東工業區	6.1	14.0	5.0	7.2
25	中油林園廠	7.2	11.6	11.2	13.8
26	中鋼公司	7.6	11.9	9.0	9.4
27	鳳山工業區	8.5	6.8	8.6	8.3
28	大發工業區	6.6	9.4	12.5	20.8
29	高雄港試驗線 0m	7.4	4.1	4.4	8.3
30	高雄港試驗線 300m	12.6	10.6	12.5	11.7
31	高鐵左營站	7.0	5.4	5.3	9.7
32	永安工業區	13.2	4.8	6.5	8.7
33	興達火力電廠	7.7	12.4	8.0	11.9

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
34	安平工業區	5.7	6.4	5.5	6.9
35	成大水工試驗所	6.2	6.6	4.0	7.5
36	官田工業區	8.2	5.4	4.4	8.4
37	東石安檢所	26.8	28.5	12.2	13.7
38	朴子工業區	79.8	11.3	-	7.8
39	高鐵嘉義站	5.9	8.8	7.4	6.3
40	斗六工業區	7.0	8.6	5.3	7.1
41	台塑六輕試驗線 0m	29.8	23.2	14.7	8.1
42	台塑六輕試驗線 300m	22.3	21.2	14.6	6.9
43	台塑六輕試驗線 800m	27.9	37.4	15.1	7.1
44	台塑六輕試驗線 2Km	13.3	20.4	8.7	7.5
45	台塑六輕試驗線 3Km	13.4	20.8	7.9	10.2
46	王功安檢所	15.8	-	20.1	6.7
47	彰濱工業區	20.8	41.2	25.0	9.1
48	田中工業區	5.2	10.4	5.3	8.0
49	南崗工業區	6.3	6.1	5.7	6.2
50	大里工業區	3.8	5.3	5.9	9.5
51	高鐵臺中站	4.8	4.9	9.0	8.3
52	臺中工業區	7.2	13.8	5.0	7.1
53	關連工業區	14.7	24.9	9.7	7.1
54	臺中火力電廠	23.7	42.2	11.3	7.9
55	臺中港試驗線 0m	47.8	46.3	15.0	7.8
56	臺中港試驗線 300m	15.2	20.1	11.0	6.5
57	臺中港試驗線 2Km	17.6	31.2	12.0	7.3
58	五甲安檢所	39.2	24.4	16.7	10.7
59	通霄火力電廠	35.4	11.1	6.6	10.2
60	外埔安檢所	34.0	32.1	24.4	11.4
61	竹南工業區	9.2	8.9	7.3	6.7
62	頭份工業區	7.2	11.4	7.6	5.8
63	工業技術研究院	8.6	12.2	6.6	5.9
64	新竹工業區	7.8	6.0	7.1	6.6
65	平鎮工業區	11.8	7.8	6.6	5.6
66	桃園試驗線 500m	30.9	28.8	12.9	13.5
67	桃園試驗線 2Km	21.9	18.9	12.1	13.7
68	樹林工業區	6.8	3.5	8.5	6.7
69	臺北市自來水事業處	9.5	16.2	6.5	8.7

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
70	陽明山國家公園管理處	18.5	18.2	15.6	7.3
71	陽明山硫磺區	36.6	25.7	22.7	32.1
72	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	6.2	11.3	9.1	8.5
73	東北角風景區福隆遊客中心	-	-	9.1	12.6
74	臺北港監測站	7.4	7.0	5.7	9.8
75	平鎮工業區(服務中心)	12.1	6.3	8.4	6.6
76	觀音工業區(服務中心)	14.4	22.2	12.1	15.6
77	永安安檢所	26.1	20.2	21.2	28.8
78	新竹安檢所	58.9	15.9	20.0	32.2
79	金門水頭商港	6.2	6.9	11.5	9.1
80	高雄港 39 號碼頭	14.0	13.5	5.0	6.7
81	高雄港 75 號碼頭	6.9	8.1	6.0	10.0
82	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	19.6	38.1	20.9	12.1
83	馬祖福澳港碼頭	18.8	14.0	10.5	12.6
84	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	6.0	9.6	5.4	8.5
85	公路局中區養護工程分局埔里工務段	6.5	7.9	5.0	10.0
86	公路局中區養護工程分局霧社監工站	6.7	7.3	4.9	10.8
87	公路局中區養護工程分局谷關工務段	6.4	10.2	6.8	10.7
88	公路局北區養護工程分局復興工務段	7.2	6.6	5.5	7.2
89	公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	4.0	7.9	4.8	7.1
90	十八王公橋				16.5

註 1：- 表示試體遺失

註 2：2023 年 6 月起新增十八王公橋試驗點

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			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
1	基隆試驗線 0m	12.4	11.9	9.5	12.9
2	基隆試驗線 100m	15.3	15.3	11.9	18.2
3	梗枋安檢所	3.8	-	8.7	12.0
4	龍德工業區	12.1	9.4	10.2	15.3
5	蘇澳港試驗線 0m	8.2	4.4	3.8	1.6
6	蘇澳港試驗線 300m	11.7	5.8	4.1	4.4
7	南澳安檢所	6.6	6.3	6.9	9.6
8	和平工業區	2.5	3.9	2.0	1.7
9	太魯閣國家公園管理處	1.5	1.8	1.9	2.0
10	美崙工業區	9.6	10.7	6.0	3.0
11	花蓮港試驗線 0m	16.6	17.6	11.9	16.2
12	花蓮港試驗線 100m	11.0	9.9	7.2	4.6
13	花蓮港試驗線 500m	10.9	10.0	7.4	4.5
14	橄仔樹安檢所	16.3	21.6	15.0	15.4
15	石梯安檢所	13.4	11.3	10.6	8.0
16	成功安檢所	14.2	16.0	13.2	12.3
17	金樽安檢所	11.6	11.5	16.1	12.1
18	伽藍安檢所	13.1	20.1	37.5	21.0
19	豐樂工業區	3.6	6.3	2.8	2.9
20	尚武安檢所	13.4	10.4	15.9	5.6
21	核三廠試驗線 0m	13.6	16.9	16.5	12.2
22	核三廠試驗線 100m	11.5	17.4	15.5	10.1
23	核三廠試驗線 300m	10.0	11.9	13.3	8.1
24	屏東工業區	3.8	2.1	3.8	4.0
25	中油林園廠	4.4	3.0	7.0	8.9
26	中鋼公司	4.5	4.7	6.0	9.5
27	鳳山工業區	3.1	2.9	4.9	4.2
28	大發工業區	5.2	3.3	7.6	6.4
29	高雄港試驗線 0m	2.6	1.5	2.1	3.0
30	高雄港試驗線 300m	8.9	7.8	7.5	8.7
31	高鐵左營站	3.1	3.1	3.2	4.9
32	永安工業區	6.7	7.6	5.1	7.2
33	興達火力電廠	12.1	17.7	11.3	10.6

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
34	安平工業區	5.6	6.5	4.6	6.3
35	成大水工試驗所	9.1	10.8	8.1	6.5
36	官田工業區	8.7	9.3	10.8	6.5
37	東石安檢所	24.2	22.6	17.5	19.3
38	朴子工業區	8.6	11.0	-	2.8
39	高鐵嘉義站	7.2	10.4	2.9	2.2
40	斗六工業區	1.3	5.1	1.6	1.6
41	台塑六輕試驗線 0m	31.0	30.3	21.0	13.5
42	台塑六輕試驗線 300m	28.9	29.0	20.6	15.4
43	台塑六輕試驗線 800m	26.5	28.8	13.9	10.9
44	台塑六輕試驗線 2Km	16.8	21.2	10.9	9.7
45	台塑六輕試驗線 3Km	23.0	22.0	17.9	15.3
46	王功安檢所	37.8	36.8	30.5	14.5
47	彰濱工業區	22.1	28.0	15.1	6.0
48	田中工業區	6.7	7.3	2.5	3.3
49	南崗工業區	2.5	2.4	2.8	2.7
50	大里工業區	1.6	1.2	1.1	1.7
51	高鐵臺中站	2.6	3.7	2.7	3.1
52	臺中工業區	6.9	14.8	3.1	3.6
53	關連工業區	19.7	21.4	9.1	3.3
54	臺中火力電廠	24.2	25.2	16.0	6.5
55	臺中港試驗線 0m	26.6	22.3	13.9	4.6
56	臺中港試驗線 300m	19.6	18.8	8.1	3.9
57	臺中港試驗線 2Km	19.9	19.9	10.5	4.0
58	五甲安檢所	28.7	27.2	16.9	12.9
59	通霄火力電廠	29.4	16.1	7.3	5.4
60	外埔安檢所	27.8	25.4	13.8	13.8
61	竹南工業區	13.4	13.7	5.2	10.6
62	頭份工業區	8.6	13.7	15.5	3.0
63	工業技術研究院	8.3	11.7	5.3	4.3
64	新竹工業區	7.3	7.0	2.5	3.7
65	平鎮工業區	5.8	6.6	5.1	3.3
66	桃園試驗線 500m	23.0	10.9	10.7	16.1
67	桃園試驗線 2Km	12.9	7.5	10.2	9.3
68	樹林工業區	2.7	1.9	2.2	2.4
69	臺北市自來水事業處	7.4	8.4	7.7	3.1

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
70	陽明山國家公園管理處	15.1	14.7	15.8	21.2
71	陽明山硫磺區	74.1	76.4	87.5	78.6
72	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	2.5	2.3	2.1	1.5
73	東北角風景區福隆遊客中心	-	-	8.1	9.2
74	臺北港監測站	8.9	7.5	3.7	1.6
75	平鎮工業區(服務中心)	11.9	9.9	5.7	4.9
76	觀音工業區(服務中心)	12.3	8.9	10.7	6.6
77	永安安檢所	18.2	10.1	16.8	21.8
78	新竹安檢所	28.4	25.9	15.0	17.2
79	金門水頭商港	11.1	3.1	3.9	7.8
80	高雄港 39 號碼頭	6.6	9.2	4.3	6.8
81	高雄港 75 號碼頭	3.5	3.6	4.4	5.9
82	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	10.7	24.0	24.0	14.6
83	馬祖福澳港碼頭	14.2	11.8	10.7	12.2
84	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	0.9	0.4	1.0	1.0
85	公路局中區養護工程分局埔里工務段	6.9	2.8	6.0	6.4
86	公路局中區養護工程分局霧社監工站	0.9	0.8	1.2	1.0
87	公路局中區養護工程分局谷關工務段	2.1	1.5	1.7	1.4
88	公路局北區養護工程分局復興工務段	3.9	3.7	3.8	2.2
89	公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	2.0	1.4	1.8	1.3
90	十八王公橋				18.7

註 1：- 表示試體遺失

註 2：2023 年 6 月起新增十八王公橋試驗點

表 4-7 鋁金屬之腐蝕速率表

單位：g/m<sup>2</sup>/yr

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
1	基隆試驗線 0m	6.6	14.5	7.3	2.1
2	基隆試驗線 100m	8.0	18.6	7.4	10.5
3	梗枋安檢所	5.0	-	6.0	1.9
4	龍德工業區	5.8	6.3	5.2	3.0
5	蘇澳港試驗線 0m	6.0	5.5	4.0	0.6
6	蘇澳港試驗線 300m	4.7	6.0	4.3	0.5
7	南澳安檢所	3.8	6.5	5.9	0.8
8	和平工業區	3.9	5.3	3.2	0.1
9	太魯閣國家公園管理處	4.3	4.4	2.8	0.5
10	美崙工業區	5.0	8.3	4.1	0.4
11	花蓮港試驗線 0m	13.3	18.6	8.3	3.1
12	花蓮港試驗線 100m	6.0	12.5	5.4	1.0
13	花蓮港試驗線 500m	6.0	11.3	4.7	0.9
14	橄仔樹安檢所	11.5	23.1	7.2	3.0
15	石梯安檢所	7.0	8.4	8.2	1.1
16	成功安檢所	7.7	9.0	7.0	2.0
17	金樽安檢所	8.6	8.7	6.6	1.2
18	伽藍安檢所	10.8	12.8	11.7	3.2
19	豐樂工業區	4.3	4.6	4.6	0.6
20	尚武安檢所	7.7	6.4	9.3	1.4
21	核三廠試驗線 0m	8.5	6.8	6.3	2.0
22	核三廠試驗線 100m	6.2	10.4	6.5	1.7
23	核三廠試驗線 300m	8.0	11.2	5.8	1.9
24	屏東工業區	3.9	3.4	4.3	0.7
25	中油林園廠	5.1	5.0	6.7	4.0
26	中鋼公司	8.3	6.7	9.2	2.9
27	鳳山工業區	3.3	3.2	3.7	1.5
28	大發工業區	4.6	0.9	5.6	1.0
29	高雄港試驗線 0m	4.1	4.0	3.3	0.7
30	高雄港試驗線 300m	7.2	10.3	7.6	2.2
31	高鐵左營站	4.7	4.7	3.7	0.8
32	永安工業區	7.1	9.6	7.1	4.3
33	興達火力電廠	6.3	11.9	5.9	4.7

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
34	安平工業區	5.0	7.6	4.3	3.8
35	成大水工試驗所	5.7	9.2	4.5	4.6
36	官田工業區	4.4	7.3	2.9	3.0
37	東石安檢所	17.4	23.0	11.1	6.0
38	朴子工業區	6.2	10.5	-	2.1
39	高鐵嘉義站	5.4	8.0	-	1.2
40	斗六工業區	2.6	4.5	2.9	1.5
41	台塑六輕試驗線 0m	26.2	26.5	9.1	3.0
42	台塑六輕試驗線 300m	34.3	39.4	17.4	3.4
43	台塑六輕試驗線 800m	29.2	36.2	13.6	2.4
44	台塑六輕試驗線 2Km	40.1	37.1	12.1	2.1
45	台塑六輕試驗線 3Km	12.9	20.8	8.1	1.2
46	王功安檢所	50.0	58.3	18.4	4.1
47	彰濱工業區	19.3	27.6	10.3	2.1
48	田中工業區	4.0	6.2	2.6	1.3
49	南崗工業區	3.6	1.9	3.2	0.1
50	大里工業區	2.3	3.1	2.8	0.2
51	高鐵臺中站	4.1	4.6	3.3	1.6
52	臺中工業區	3.9	11.0	3.5	0.6
53	關連工業區	11.0	15.9	6.2	1.7
54	臺中火力電廠	26.0	50.2	7.0	5.2
55	臺中港試驗線 0m	49.3	63.2	11.4	4.1
56	臺中港試驗線 300m	9.0	16.1	5.6	1.3
57	臺中港試驗線 2Km	12.1	19.6	5.8	2.6
58	五甲安檢所	39.5	39.1	10.9	3.8
59	通霄火力電廠	35.5	23.5	4.5	2.9
60	外埔安檢所	22.8	26.7	7.9	4.2
61	竹南工業區	10.9	10.2	4.0	2.4
62	頭份工業區	4.9	12.1	2.6	1.9
63	工業技術研究院	4.2	-	2.3	3.2
64	新竹工業區	5.4	1.5	3.9	4.3
65	平鎮工業區	4.7	8.5	4.7	0.3
66	桃園試驗線 500m	32.1	45.1	20.5	13.4
67	桃園試驗線 2Km	12.6	3.0	17.9	11.7
68	樹林工業區	3.2	4.0	2.8	3.4
69	臺北市自來水事業處	4.7	10.5	4.0	2.1

項次	試驗地點	試驗期間			
		2022.10 - 2022.12	2023.01 - 2023.03	2023.04 - 2023.06	2023.07 - 2023.09
70	陽明山國家公園管理處	10.1	5.7	3.5	1.9
71	陽明山硫磺區	24.1	21.2	11.6	11.7
72	公路局雲嘉南區養護工程分局阿里山工務段	3.8	3.7	3.1	1.4
73	東北角風景區福隆遊客中心	-	-	5.2	0.7
74	臺北港監測站	5.0	6.4	2.7	2.9
75	平鎮工業區(服務中心)	9.2	10.8	4.7	5.2
76	觀音工業區(服務中心)	14.0	27.1	16.8	2.5
77	永安安檢所	13.5	20.5	15.1	16.3
78	新竹安檢所	48.1	8.1	11.5	6.0
79	金門水頭商港	8.1	4.9	4.8	4.1
80	高雄港 39 號碼頭	8.3	12.6	4.8	1.9
81	高雄港 75 號碼頭	5.1	4.8	4.5	2.0
82	公路局南區養護工程分局澎湖工務段	11.4	21.5	15.9	6.8
83	馬祖福澳港碼頭	28.3	18.2	14.1	6.1
84	公路局中區養護工程分局新中橫監工站	1.2	3.4	3.7	0.3
85	公路局中區養護工程分局埔里工務段	1.9	3.2	3.3	0.2
86	公路局中區養護工程分局霧社監工站	1.6	2.9	3.4	0.3
87	公路局中區養護工程分局谷關工務段	1.2	3.8	4.5	0.1
88	公路局北區養護工程分局復興工務段	1.8	3.6	3.9	0.5
89	公路局雲嘉南區養護工程分局石卓監工站	2.0	5.7	3.3	0.2
90	十八王公橋				9.0

註 1：- 表示試體遺失

註 2：2023 年 6 月起新增十八王公橋試驗點

#### 4.3.1 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較

圖 4.3 至圖 4.6 分別顯示碳鋼、鋅、銅、鋁 4 種金屬於垂直海岸試驗線試驗點腐蝕速率平均值之比較。

針對碳鋼金屬(圖 4.3)，西部至北部試驗線(基隆試驗線、桃園試驗線、臺中港試驗線、台塑六輕試驗線)的腐蝕速率平均值較南部和東部試驗線(高雄試驗線、核三試驗線、花蓮港試驗線、蘇澳港試驗線)高，又以秋季與冬季的腐蝕速率明顯高於其他試驗線，腐蝕速率平均值多超過  $200 \mu\text{m}/\text{yr}$ ；在夏季時各試驗線腐蝕速率差異較緩和，介於  $61.2 \mu\text{m}/\text{yr}$  (蘇澳港試驗線)至  $204.1 \mu\text{m}/\text{yr}$  (桃園試驗線)之間。

至於鋅金屬(圖 4.4)，可以觀察到基隆試驗線、桃園試驗線、臺中港試驗線、台塑六輕試驗線及花蓮港試驗線等 5 條試驗線的腐蝕速率平均值均是秋、冬 2 季較高且季節性差異大，基隆試驗線介於  $8.1\sim 26.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、桃園試驗線介於  $12.5\sim 26.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、臺中港試驗線差異最大介於  $7.2\sim 32.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、台塑六輕試驗線介於  $8.0\sim 24.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、花蓮港試驗線介於  $8.5\sim 27.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ ；高雄港試驗線腐蝕速率平均值最低且 4 季變化差異最小，介於  $7.3\sim 10.0 \mu\text{m}/\text{yr}$  之間。

銅金屬(圖 4.5)，台塑六輕試驗線 4 季的腐蝕速率平均值明顯較高，介於  $12.9\sim 26.3 \mu\text{m}/\text{yr}$  之間，臺中港試驗線則是次高且 4 季腐蝕速率平均值差異較大，介於  $4.2\sim 22.1 \mu\text{m}/\text{yr}$  之間，而高雄港試驗線腐蝕速率平均值的 4 季變化差異最小，介於  $4.7\sim 5.8 \mu\text{m}/\text{yr}$  之間。

鋁金屬(圖 4.6)，西部 3 條試驗線(桃園試驗線、臺中港試驗線、台塑六輕試驗線)的腐蝕速率平均值較高，又以秋季與冬季的腐蝕速率明顯高於其他試驗線，腐蝕速率平均值多超過  $20 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ；其中臺中港試驗線及台塑六輕試驗線的季節性差異極大，且在秋、冬 2 季明顯高於其他試驗線，臺中港試驗線腐蝕速率平均值介於  $2.7\sim 33.0 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 、台塑六輕試驗線腐蝕速率平均值介於  $2.4\sim 32.0 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 。而夏季是 4 季中數值最低的，除了基隆試驗線和桃園試驗線腐蝕速率平均值分別為  $6.3 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$  和  $12.5 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$  之外，其餘試驗線數值不超過  $3.0 \text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 。

### 4.3.2 特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較

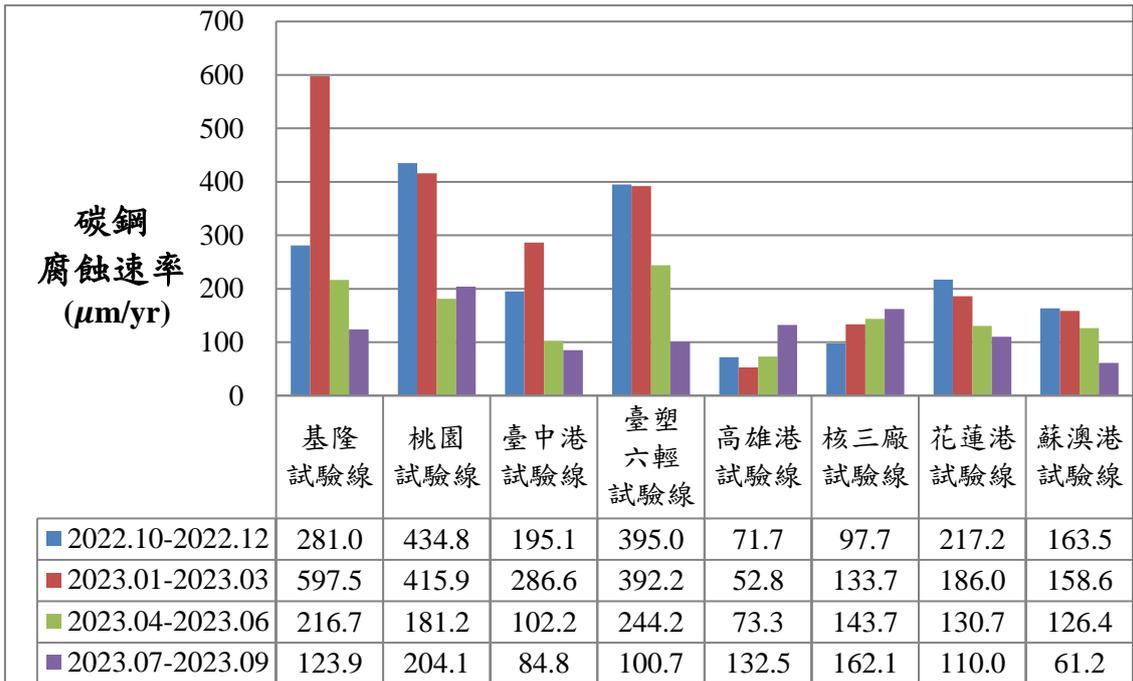
圖 4.7 至圖 4.10 顯示石化廠、火力電廠、工業區、高鐵沿線與都市地區等特定測站各金屬之腐蝕速率比較。

碳鋼金屬(圖 4.7)以西部沿海電廠及工業區的腐蝕速率較南部沿海電廠及工業區高，且前者的秋、冬 2 季腐蝕速率明顯高於春、夏 2 季；4 個電廠以大潭電廠的腐蝕速率最高，工業區以台塑六輕工業區的腐蝕速率最高；臺北市區與高鐵 3 個車站的腐蝕速率相對較低，除高鐵嘉義站冬季腐蝕速率達  $176.2 \mu\text{m/yr}$  外，其他均在  $135 \mu\text{m/yr}$  以下。

鋅金屬(圖 4.8)同樣以西部沿海電廠及工業區的腐蝕速率較南部沿海電廠及工業區高，且前者的秋、冬 2 季腐蝕速率明顯高於春、夏 2 季；4 個電廠以臺中電廠的冬季腐蝕速率最高，工業區以彰濱工業區的腐蝕速率最高；臺北市區與高鐵 3 個車站的腐蝕速率除臺北市區冬季腐蝕速率達  $16.2 \mu\text{m/yr}$  外，其他均在  $10 \mu\text{m/yr}$  以下。

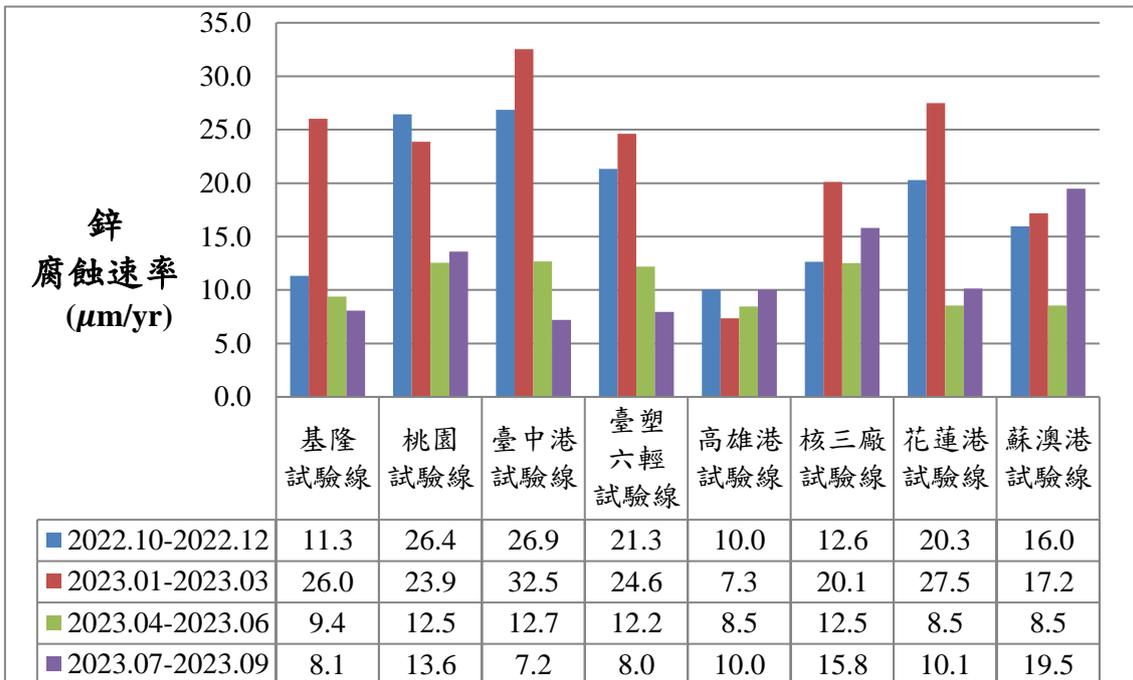
銅金屬(圖 4.9)以台塑六輕工業區、彰濱工業區以及 4 個電廠的腐蝕速率較高；臺北市區與高鐵 3 個車站中，高鐵嘉義站與臺北市區的腐蝕速率相對於高鐵臺中站、左營站高。

鋁金屬(圖 4.10)同樣以西部沿海電廠及工業區的腐蝕速率較南部沿海電廠及工業區高，且前者秋、冬 2 季腐蝕速率明顯高於春、夏 2 季；4 個電廠以臺中電廠的冬季腐蝕速率最高，工業區以台塑六輕工業區的腐蝕速率最高；臺北市區與高鐵 3 個車站的腐蝕速率相對較低，除臺北市區冬季腐蝕速率達  $10.5 \text{g/m}^2/\text{yr}$  外，其他均在  $10 \text{g/m}^2/\text{yr}$  以下。



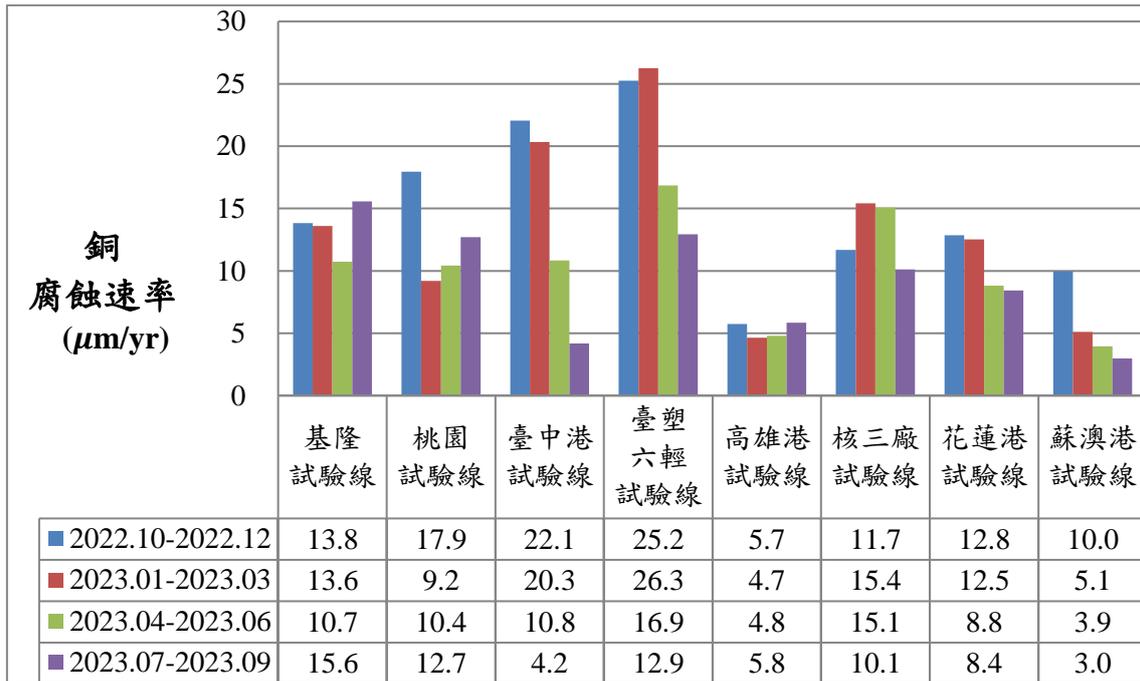
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.3 垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



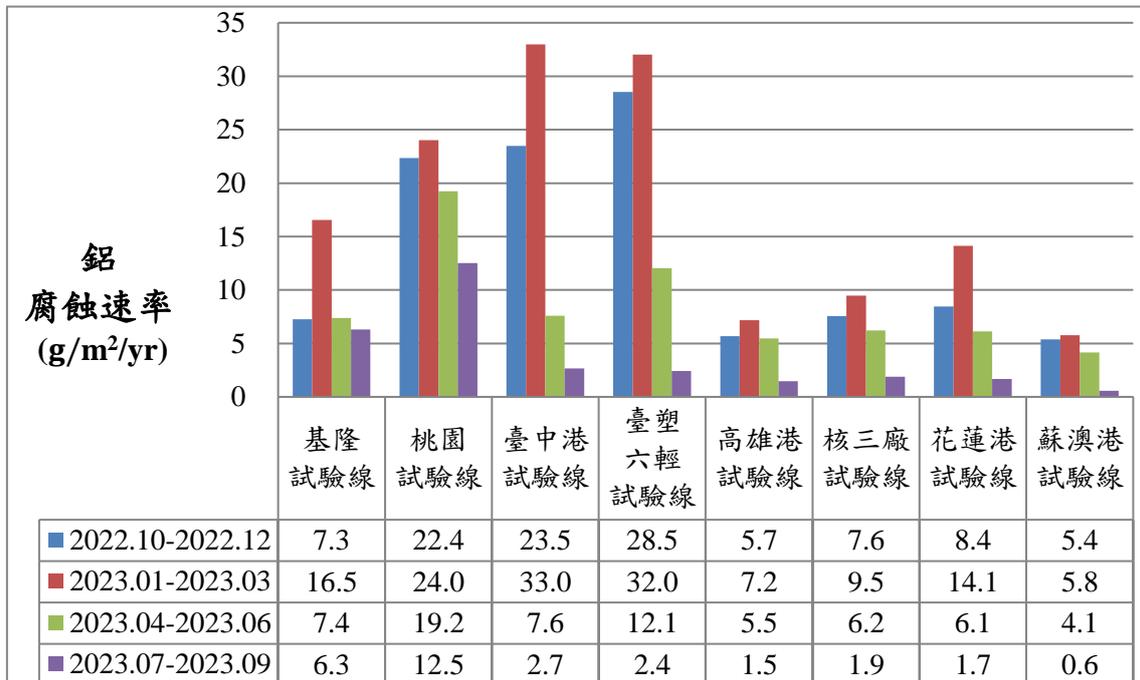
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.4 垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖



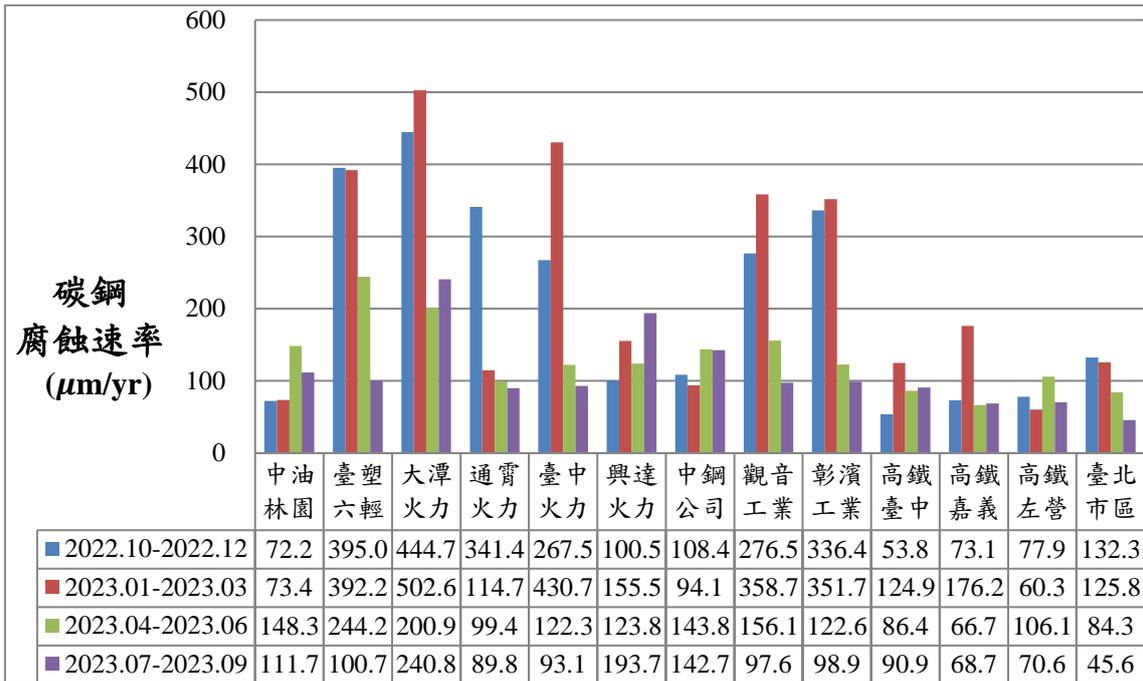
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.5 垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖



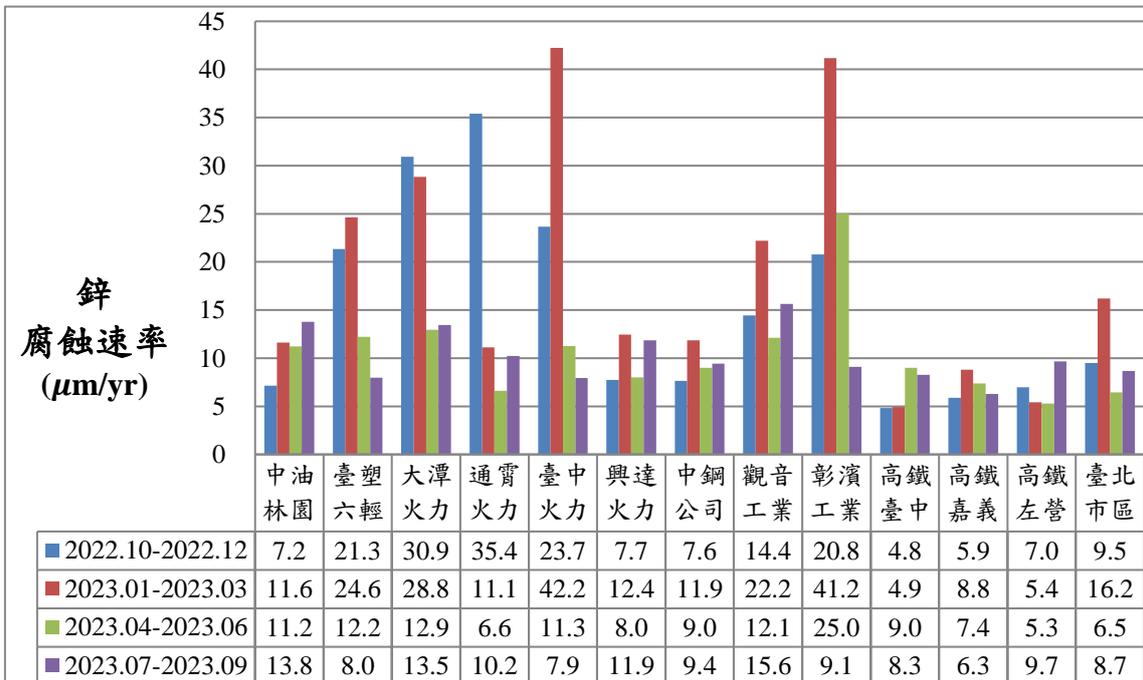
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.6 垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖



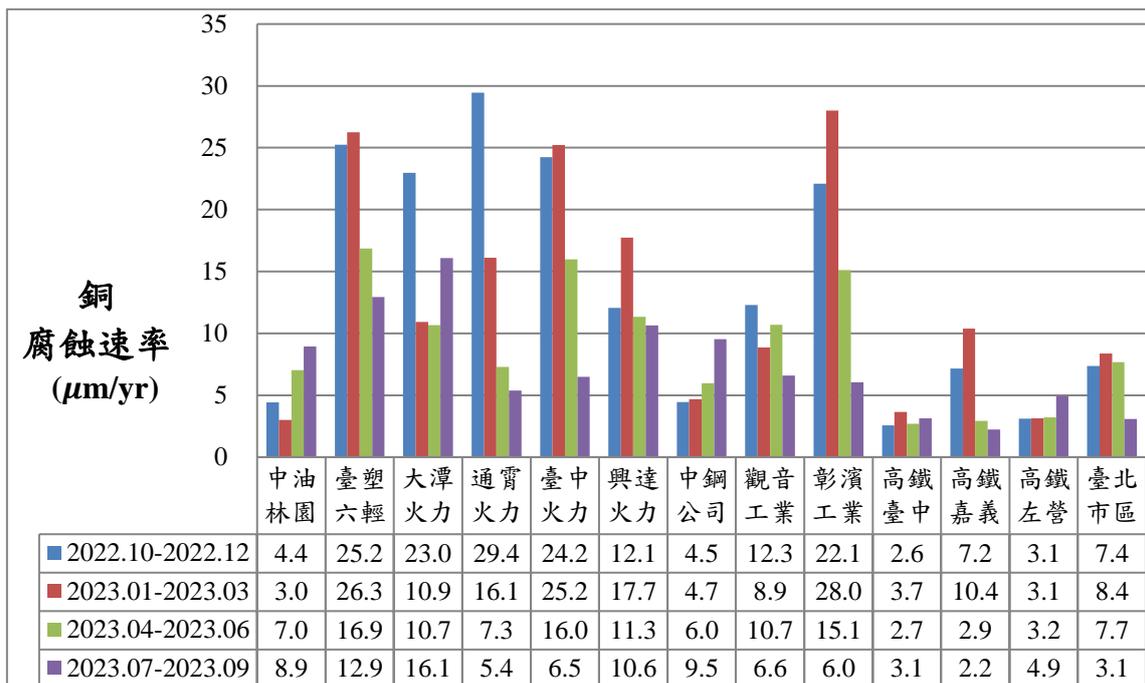
註：台塑六輕腐蝕速率為測站平均值

圖 4.7 特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



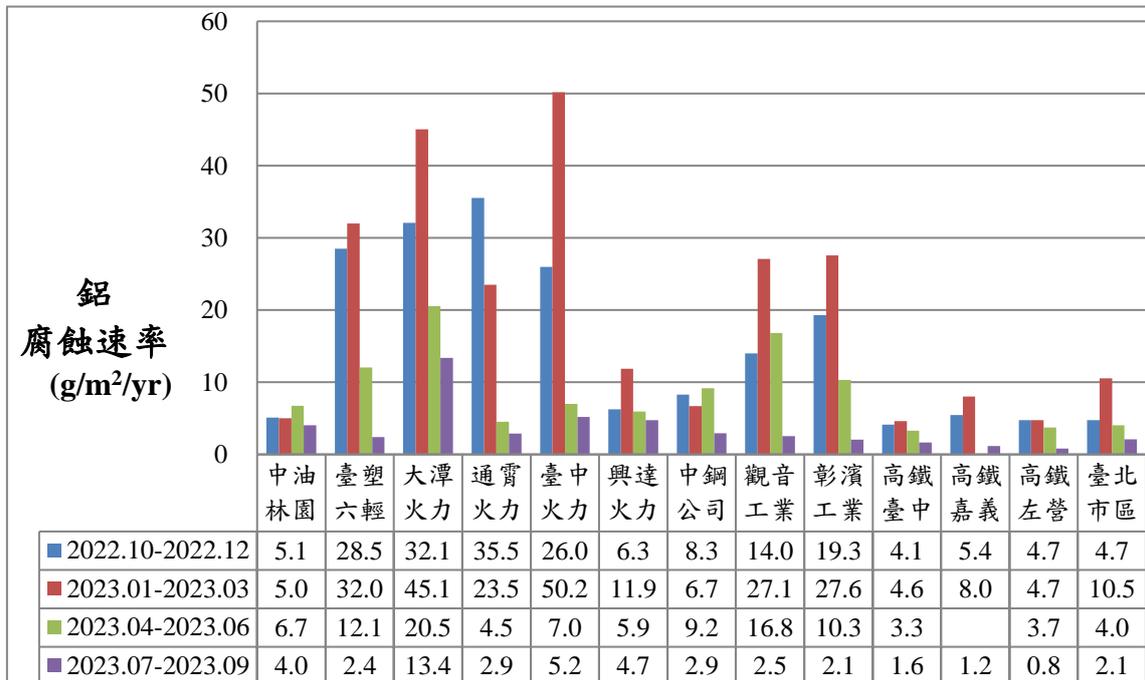
註：台塑六輕腐蝕速率為測站平均值

圖 4.8 特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖



註：台塑六輕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 1：台塑六輕腐蝕速率為測站平均值

註 2：空白為試體遺失

圖 4.10 特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖



## 第五章 金屬材料水下腐蝕速率分析

依過去國內外文獻研究報告指出，金屬在海水中的腐蝕行為會因海水中的 pH 值、氯離子濃度、溫度、溶氧量、水流速度、海生物附著等參數的影響而產生不同的腐蝕現象。為推估港區內金屬腐蝕速率與水深變化的關係，將不同形式港工結構材料，如碳鋼(SM490A)、不鏽鋼(SS316L)、低碳鋼(SS400) 三種金屬於不同位置(飛沫帶、潮汐帶與水中帶)進行水下金屬材料腐蝕速率分析及各試驗站所調查每季水質分析。

### 5.1 各港區腐蝕速率分析

各港區腐蝕速率分析詳細資料彙整於附錄一，以下分別說明各港情況。

#### 5.1.1 基隆港腐蝕速率分析

由基隆港暴放 5 年後(2016/9/26-2022/8/23，約 5.9 年)之金屬暴露試驗結果，如圖 5.1 與表 5-1 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為低碳鋼(SS400) 313.3 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼(SM490A) 304.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼(SS316L) 0.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。潮汐帶依序為低碳鋼 392.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 370.4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.08 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水中帶依序為低碳鋼 426.7 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 304.1 $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

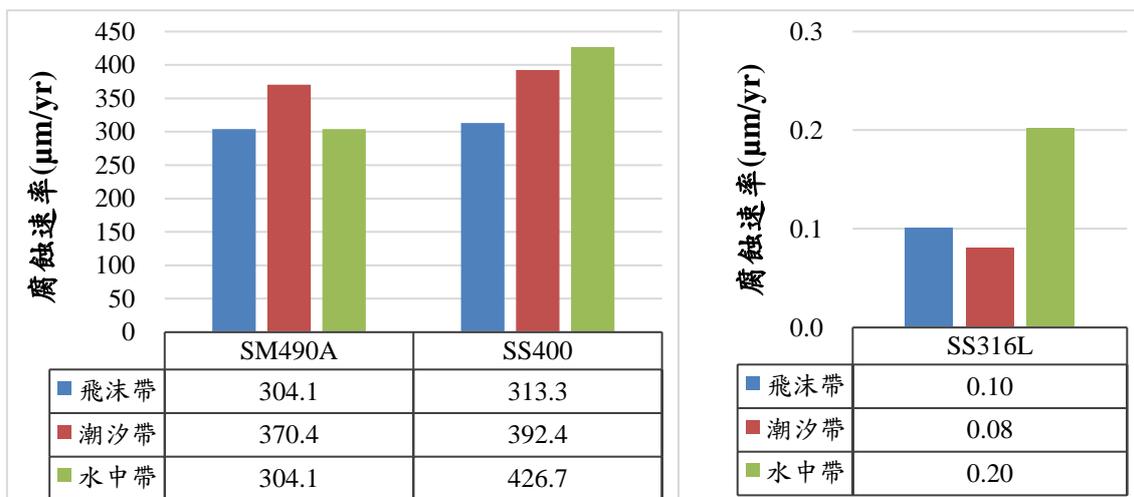


圖 5.1 基隆港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-1 基隆港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
飛沫帶	297.2	304.1	0.18	0.10	316.8	313.3
	296.6		0.06		312.9	
	318.5		0.06		310.2	
潮汐帶	351.2	370.4	0.06	0.08	437.7	392.4
	403.8		0.12		356.9	
	356.0		0.06		382.8	
水中帶	249.7	304.1	0.36	0.20	373.3	426.7
	295.4		0.18		444.9	
	367.2		0.06		461.8	

### 5.1.2 臺北港腐蝕速率分析

由臺北港暴放 5 年後(2016/9/26-2022/8/22 約 5.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.2 與表 5-2 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為碳鋼(SM490A) 376.2μm/yr，低碳鋼(SS400) 335.3μm/yr，不鏽鋼(SS316L) 0.06μm/yr。潮汐帶依序為碳鋼 322.9μm/yr，低碳鋼 291.9μm/yr，不鏽鋼 0.14 μm/yr。水中帶依序為低碳鋼 115.0μm/yr，碳鋼 106.6μm/yr，不鏽鋼 0.69 μm/yr。

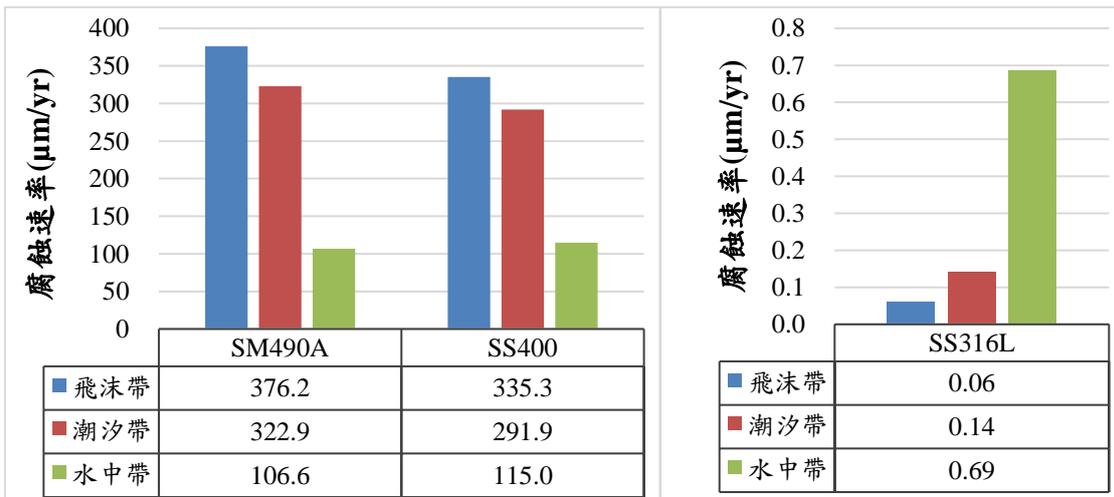


圖 5.2 臺北港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-2 臺北港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
飛沫帶	346.4	376.2	0.06	0.06	321.5	335.3
	395.0		0.06		349.2	
	357.3		0.06		391.1	
潮汐帶	330.4	322.9	0.00	0.14	294.5	291.9
	311.4		0.24		296.4	
	326.9		0.18		284.9	
水中帶	115.3	106.6	0.42	0.69	109.2	115.0
	100.2		1.39		124.3	
	104.3		0.24		111.5	

### 5.1.3 蘇澳港腐蝕速率分析

由蘇澳港暴放 5 年後(2016/6/23-2022/8/24 約 6.2 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.3 與表 5-3 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為低碳鋼(SS400) 269.0μm/yr，碳鋼(SM490A) 257.7μm/yr，不鏽鋼(SS316L) 2.01 μm/yr。潮汐帶依序為低碳鋼 245.3μm/yr，碳鋼 241.7μm/yr，不鏽鋼 0.0 μm/yr。水中帶依序為碳鋼 242.0μm/yr，低碳鋼 235.2μm/yr，不鏽鋼 0.0 μm/yr。

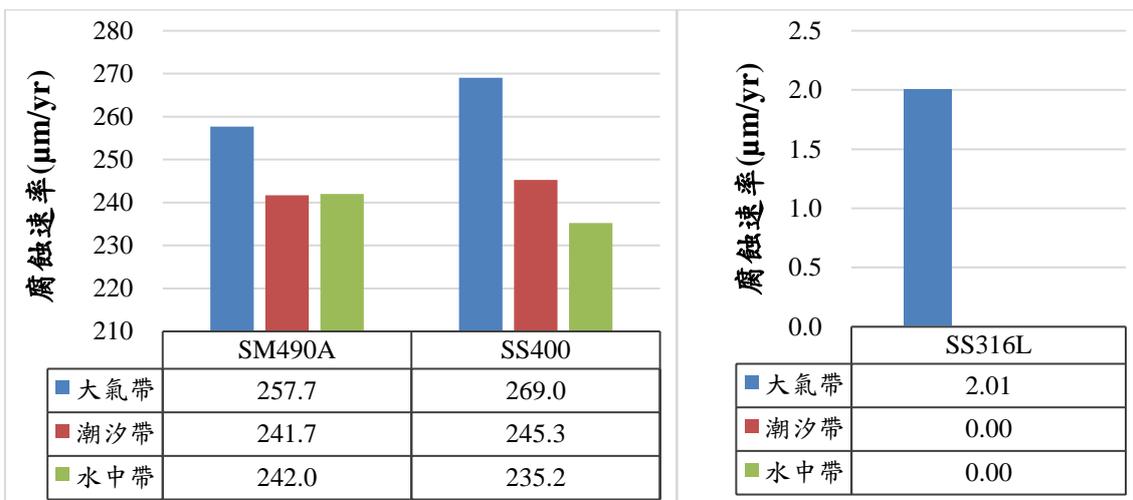


圖 5.3 蘇澳港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-3 蘇澳港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
飛沫帶	267.7	257.7	6.03	2.01	263.4	269.0
	247.9		0.0		251.5	
	257.5		0.0		292.2	
潮汐帶	283.5	241.7	0.0	0.00	241.4	245.3
	228.0		0.0		263.2	
	213.5		0.0		231.3	
水中帶	210.7	242.0	0.0	0.00	236.2	235.2
	278.4		0.0		234.8	
	236.9		0.0		234.7	

#### 5.1.4 花蓮港腐蝕速率分析

由花蓮港暴放 5 年後(2016/10/3-2022/8/25 約 5.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.4 與表 5-4 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為低碳鋼(SS400)271.3μm/yr，碳鋼(SM490A)254.1μm/yr，不鏽鋼(SS316L)0.16μm/yr。潮汐帶依序為低碳鋼 278.0μm/yr，碳鋼 183.2μm/yr，不鏽鋼 0.30 μm/yr。水中帶依序為碳鋼 218.6 μm/yr，低碳鋼 201.0 μm/yr，不鏽鋼 0.00 μm/yr。

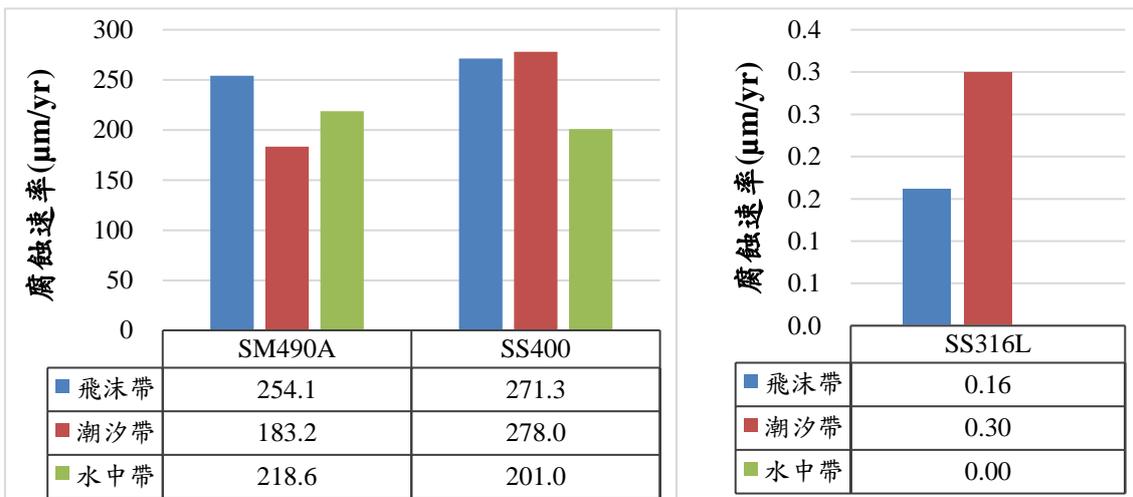


圖 5.4 花蓮港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-4 花蓮港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
飛沫帶	254.8	254.1	0.18	0.16	285.3	271.3
	254.7		0.18		268.2	
	253.5		0.12		260.3	
潮汐帶	168.5	183.2	1.32	0.30	237.9	278.0
	170.3		0.31		288.0	
	210.9		0.00		308.1	
水中帶	245.1	218.6	0.00	0.00	254.5	201.0
	204.2		0.00		193.3	
	192.0		12.05 <sup>1</sup>		155.3	

註 1：因該數據與其他數據差異過大，刪除後計算平均值。

### 5.1.5 臺中港腐蝕速率分析

臺中港原於 2014 年 10 月 28 日安裝的試片架於 2017 年因外力撞擊毀損，之後於 2019 年 3 月 26 日重新安裝，爰此次辦理各港區第 3 次取樣工作時臺中港為 3 年期數據(2019/3/26-2022/8/19 約 3.4 年)；在下一節進行各港區暴放 5 年後金屬腐蝕速率比對時不納入比對，但相關數據仍整理於此，作為參考數據。

由臺中港暴放 3 年之金屬暴露試驗結果，如圖 5.5 與表 5-5 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為碳鋼(SM490A)348.8 μm/yr，低碳鋼(SS400)337.3 μm/yr，不鏽鋼(SS316L)0.35 μm/yr。潮汐帶依序為低碳鋼 165.6 μm/yr，碳鋼 153.1 μm/yr，不鏽鋼 1.72 μm/yr。水中帶依序為低碳鋼 204.7 μm/yr，碳鋼 141.4 μm/yr，不鏽鋼 7.89 μm/yr。

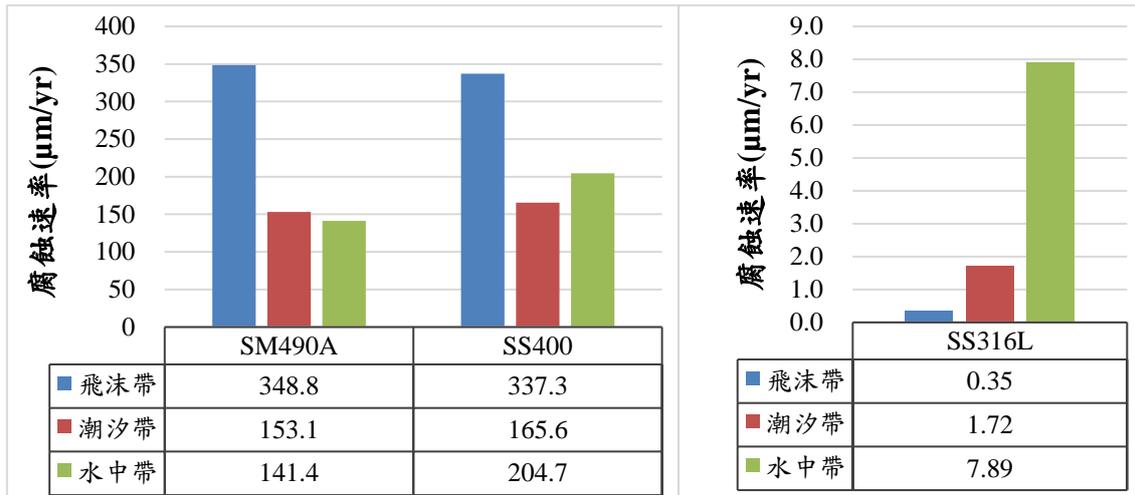


圖 5.5 臺中港暴放 3 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-5 臺中港暴放 3 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )
飛沫帶	336.1	348.8	0.21	0.35	346.0	337.3
	358.6		0.42		328.6	
	339.0		0.42		350.8	
潮汐帶	153.6	153.1	1.37	1.72	158.7	165.6
	149.9		1.89		167.6	
	155.8		1.89		170.5	
水中帶	119.4	141.4	11.36	7.89	142.4	204.7
	196.0		6.52		286.2	
	108.9		5.79		185.5	

### 5.1.6 布袋港腐蝕速率分析

由布袋港暴放 5 年後(2016/9/5-2022/8/8 約 5.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.6 與表 5-6 之試片平均腐蝕速率，可發現

潮汐帶平均腐蝕速率依序為碳鋼(SM490A)320.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼(SS400)269.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼(SS316L)0.18  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水中帶依序為低碳鋼 135.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 101.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.79  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

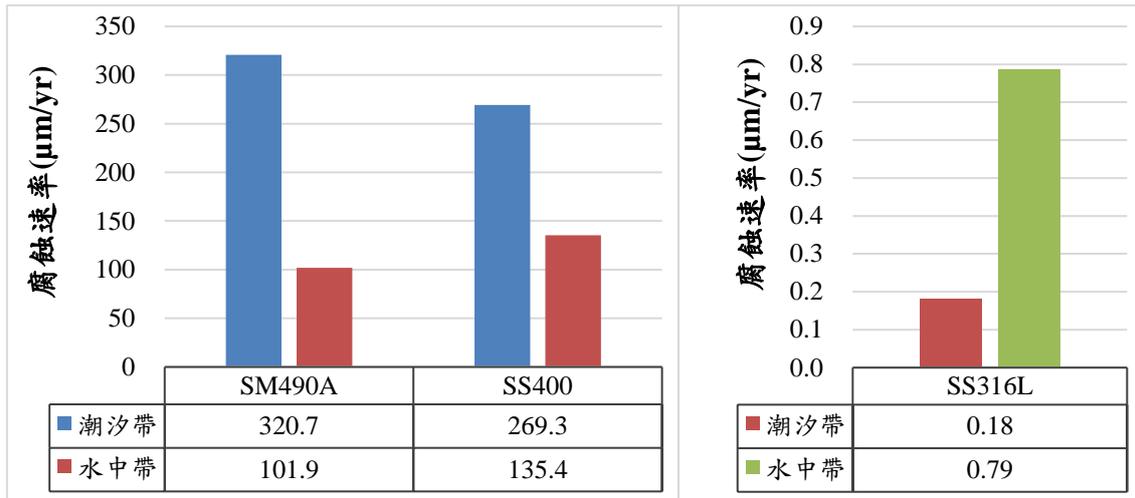


圖 5.6 布袋港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-6 布袋港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率(μm/yr)	平均腐蝕速率(μm/yr)	各試片腐蝕速率(μm/yr)	平均腐蝕速率(μm/yr)	各試片腐蝕速率(μm/yr)	平均腐蝕速率(μm/yr)
潮汐帶	324.4	320.7	0.12	0.18	275.4	269.3
	319.5		0.24		255.4	
	318.3		0.18		277.1	
水中帶	105.0	101.9	0.73	0.79	136.5	135.4
	112.8		1.39		133.7	
	87.8		0.24		136.0	

### 5.1.7 安平港腐蝕速率分析

由安平港暴放 5 年後(2016/9/6-2022/8/8 約 5.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.7 與表 5-7 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為碳鋼(SM490A)200.3 μm/yr，低碳鋼(SS400)177.8 μm/yr，不鏽鋼(SS316L)0.40 μm/yr。潮汐帶依序為碳鋼 212.5 μm/yr，低碳鋼 169.7 μm/yr，不鏽鋼 0.40 μm/yr。水中帶依序為碳鋼 159.7 μm/yr，低碳鋼 150.3 μm/yr，不鏽鋼 1.55 μm/yr。

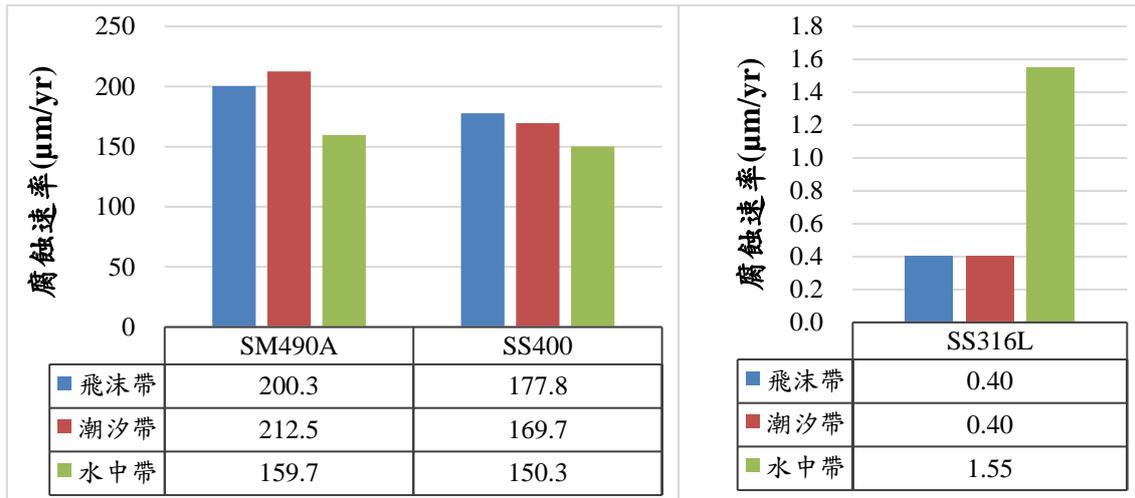


圖 5.7 安平港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-7 安平港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )
飛沫帶	203.9	200.3	0.42	0.40	173.6	177.8
	197.2		0.36		169.6	
	199.8		0.42		190.1	
潮汐帶	223.7	212.5	0.54	0.40	157.9	169.7
	189.7		0.42		181.5	
	224.0		0.24		238.4	
水中帶	175.0	159.7	0.91	1.55	117.9	150.3
	108.3		0.85		152.5	
	196.0		2.90		180.5	

### 5.1.8 高雄港區腐蝕速率分析

由高雄港 10 號碼頭、40 號碼頭和 75 號碼頭暴放 5 年後(2016/9/7-2022/8/18 約 5.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.8 至圖 5.10 與表 5-8 至表 5-10 之試片平均腐蝕速率，可發現

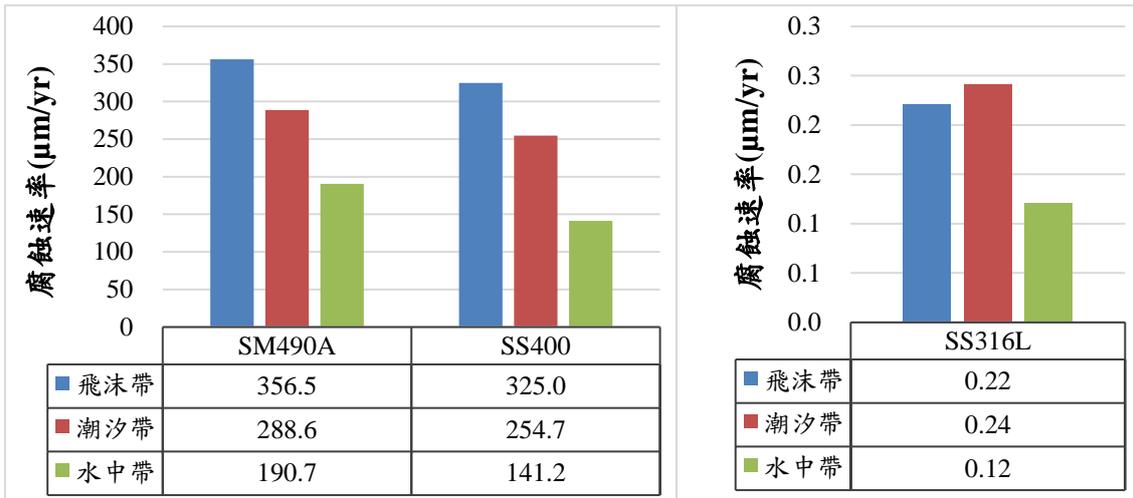


圖 5.8 高雄港 10 號碼頭暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

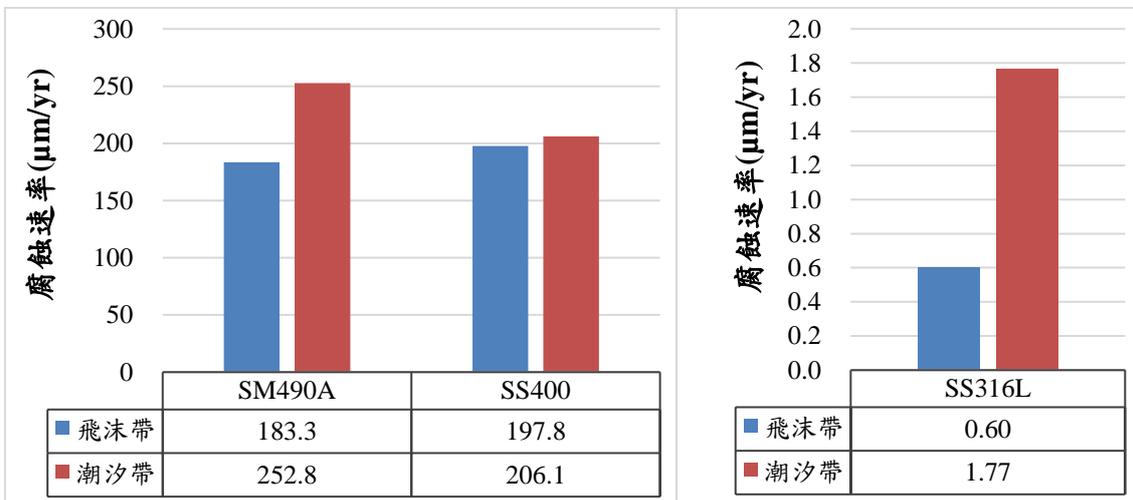


圖 5.9 高雄港 40 號碼頭暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

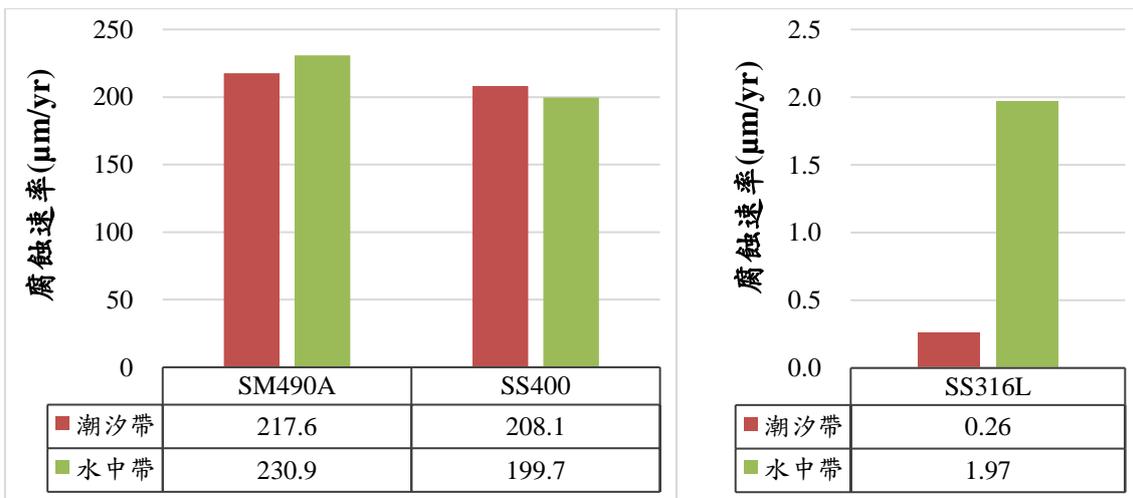


圖 5.10 高雄港 75 號碼頭暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-8 高雄港 10 號碼頭暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
飛沫帶	366.1	356.5	0.18	0.22	339.1	325.0
	323.0		0.24		325.6	
	380.2		0.24		310.3	
潮汐帶	284.3	288.6	0.12	0.24	244.5	254.7
	266.2		0.18		246.7	
	315.2		0.42		262.7	
水中帶	268.1	190.7	0.12	0.12	129.1	141.2
	136.2		0.12		142.0	
	167.9		0.12		152.5	

表 5-9 高雄港 40 號碼頭暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
飛沫帶	186.9	183.3	0.54	0.60	188.1	197.8
	157.0		0.78		220.2	
	206.1		0.48		184.9	
潮汐帶	230.8	252.8	1.99	1.77	195.1	206.1
	225.1		0.18		198.6	
	302.4		3.13		224.7	

表 5-10 高雄港 75 號碼頭暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
潮汐帶	231.7	217.6	0.24	0.26	214.6	208.1
	218.8		0.24		195.2	
	202.5		0.30		214.4	
水中帶	257.4	230.9	3.55	1.97	216.5	199.7
	192.8		1.69		191.7	
	204.3		0.66		190.9	

高雄港 10 號碼頭飛沫帶平均腐蝕速率依序為碳鋼(SM490A) 356.5  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼(SS400)325.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼(SS316L)0.22  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。潮汐帶依序為碳鋼 288.6  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 254.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.24  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水中帶依序為碳鋼 190.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 141.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.12  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。高雄港 40 號碼頭飛沫帶平均腐蝕速率依序為低碳鋼 197.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 183.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.60  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。潮汐帶依序為碳鋼 252.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 206.1  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 1.77  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。高雄港 75 號碼頭潮汐帶平均腐蝕速率依序為碳鋼 217.6  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 208.1  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.26  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水中帶依序為碳鋼 230.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 199.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 1.97  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

### 5.1.9 金門港區腐蝕速率分析

由料羅港和水頭港暴放 5 年後(2015/11/16-2022/10/17 約 6.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.11、圖 5.12 與表 5-11、表 5-12 之試片平均腐蝕速率，可發現

料羅港潮汐帶依序為低碳鋼 (SS400)169.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 (SM490A)122.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼(SS316L)0.21  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。料羅港水中帶依序為低碳鋼 143.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 140.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.07  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水頭港潮汐帶依序為碳鋼 109.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 105.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.12  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水頭港水中帶依序為低碳鋼 171.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 158.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.03  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

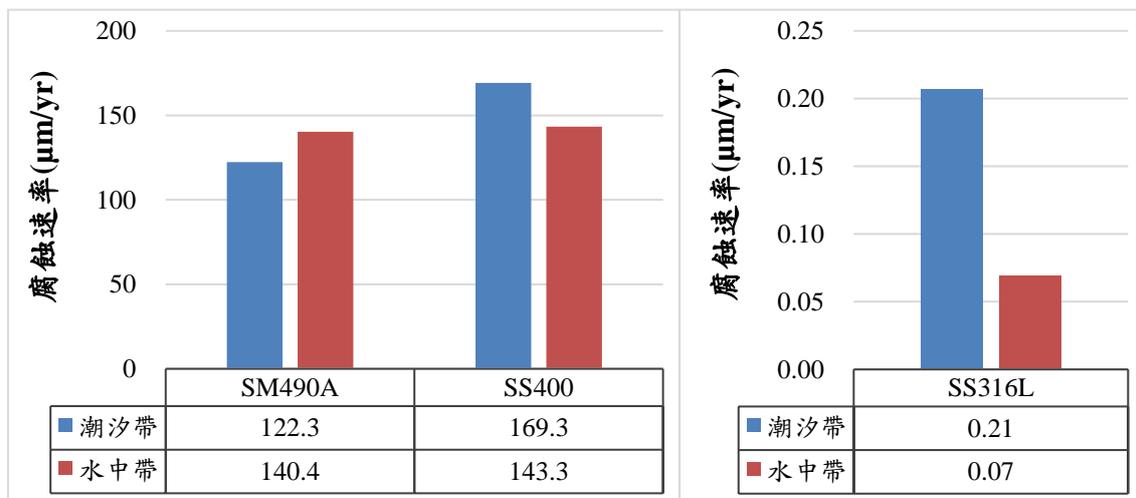


圖 5.11 料羅港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

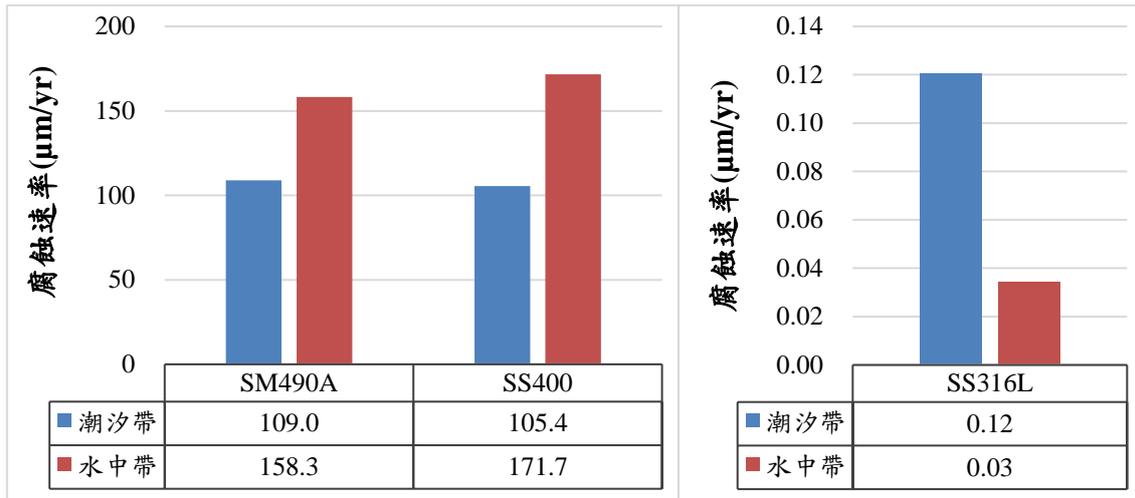


圖 5.12 水頭港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-11 料羅港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
潮汐帶	117.3	122.3	0.16	0.21	172.2	169.3
	121.2		0.26		173.2	
	128.2		0.21		162.4	
水中帶	131.4	140.4	0.05	0.07	143.2	143.3
	167.4		0.10		194.4	
	122.3		0.05		92.3	

表 5-12 水頭港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)	各試片腐蝕速率 (μm/yr)	平均腐蝕速率 (μm/yr)
潮汐帶	112.0	109.0	0.05	0.12	110.9	105.4
	101.6		0.26		97.9	
	113.4		0.05		107.5	
水中帶	153.5	158.3	0.00	0.03	176.9	171.7
	160.8		0.05		168.5	
	160.6		0.05		169.6	

### 5.1.10 馬祖福澳港腐蝕速率分析

由福澳港暴放 5 年後(2016/8/15-2023/3/7 約 6.5 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.13 與表 5-13 之試片平均腐蝕速率，可發現

飛沫帶平均腐蝕速率依序為低碳鋼(SS400)261.5  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼(SM490A)261.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼(SS316L)0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。潮汐帶依序為低碳鋼 136.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼 118.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水中帶依序為碳鋼 208.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 205.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

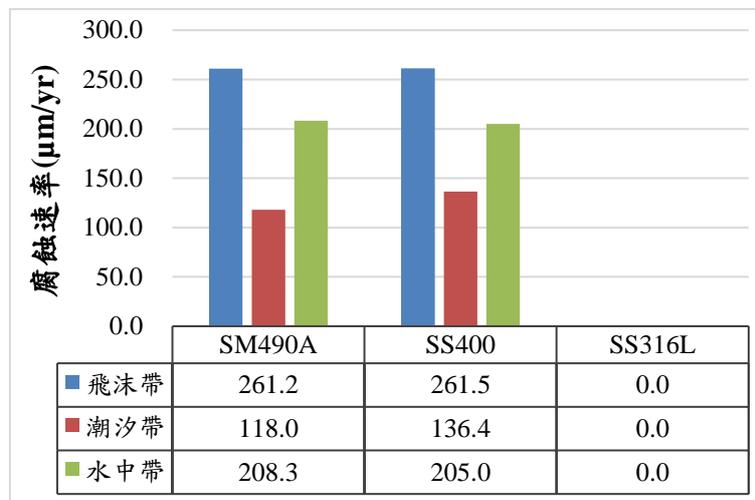


圖 5.13 福澳港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-13 福澳港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )
飛沫帶	260.3	261.2	0.0	0.0	274.0	261.5
	251.1		0.0		271.0	
	272.3		0.0		251.9	
潮汐帶	116.8	118.0	0.0	0.0	132.2	136.4
	129.1		0.0		157.4	
	108.2		0.0		119.5	
水中帶	232.6	208.3	0.0	0.0	203.3	205.0
	198.3		0.0		190.4	
	193.9		0.0		206.6	

### 5.1.11 澎湖龍門港腐蝕速率分析

由龍門港暴放 5 年後(2016/9/12-2022/8/23 約 5.9 年)金屬暴露試驗結果，如圖 5.14 與表 5-14 之試片平均腐蝕速率，可發現

潮汐帶平均腐蝕速率依序為低碳鋼(SS400)102.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，碳鋼(SM490A)79.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼(SS316L)0.66  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。水中帶依序為碳鋼 103.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，低碳鋼 77.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，不鏽鋼 1.04  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

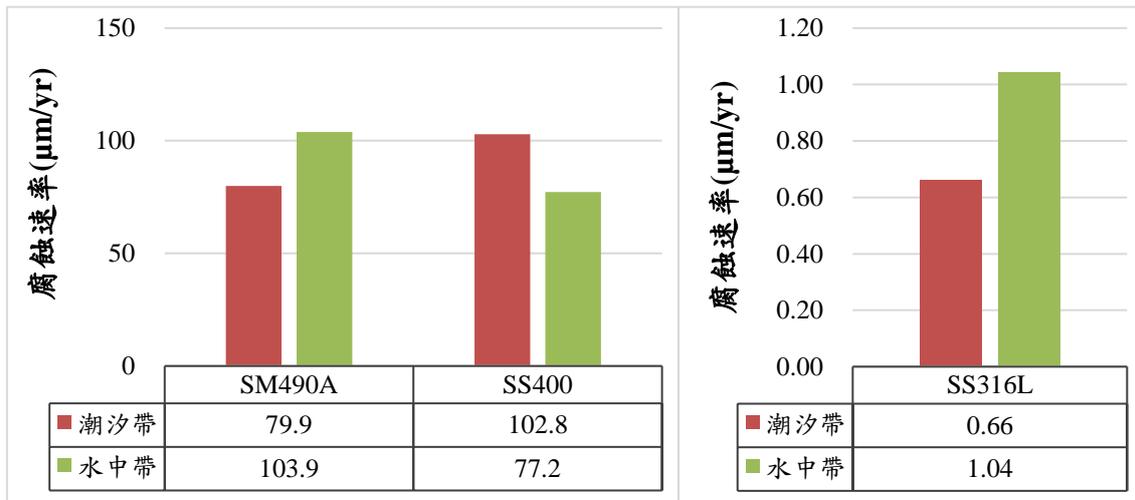


圖 5.14 龍門港暴放 5 年後金屬試片腐蝕速率與佈放位置比較圖

表 5-14 龍門港暴放 5 年後試片腐蝕速率

暴放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	各試片腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )	平均腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )
潮汐帶	73.4	79.9	0.72	0.66	91.4	102.8
	66.4		0.66		111.0	
	99.9		0.60		106.1	
水中帶	81.9	103.9	0.18	1.04	61.4	77.2
	150.3		2.77		92.4	
	79.6		0.18		77.8	

## 5.2 各港區暴放 5 年後不同位置金屬腐蝕速率分析

### 5.2.1 各港區暴放 5 年後飛沫帶金屬腐蝕速率分析

由各港區暴放 5 年後飛沫帶金屬暴露試驗結果，如圖 5.15 試片平均腐蝕速率，可發現碳鋼介於 376.2~183.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於臺北港，低碳鋼介於 335.3~177.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率亦發生於臺北港，不鏽鋼介於 2.01~0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於蘇澳港。

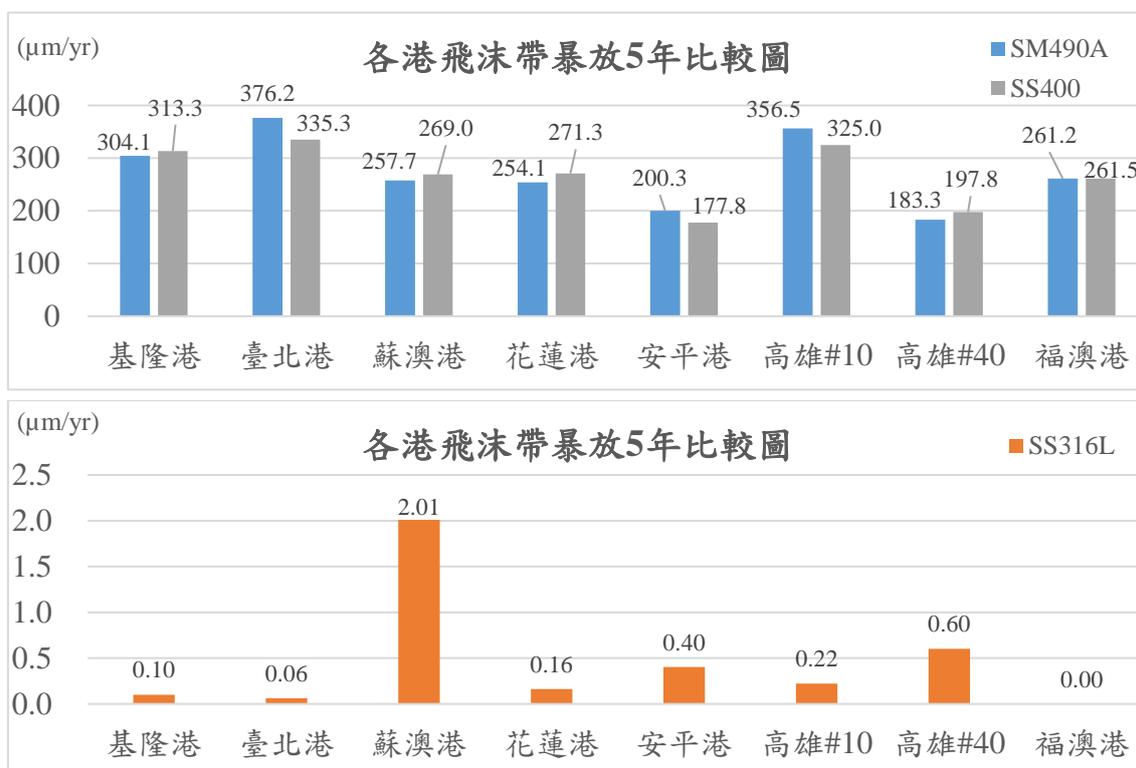


圖 5.15 各港區暴放 5 年後飛沫帶金屬腐蝕速率分析

### 5.2.2 各港區暴放 5 年後潮汐帶金屬腐蝕速率分析

由各港區暴放 5 年後潮汐帶金屬暴露試驗結果，如圖 5.16 試片平均腐蝕速率，可發現碳鋼介於 370.4~79.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於基隆港，低碳鋼介於 392.4~102.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率亦發生於基隆港，不鏽鋼介於 1.77~0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於高雄港 40 號碼頭。

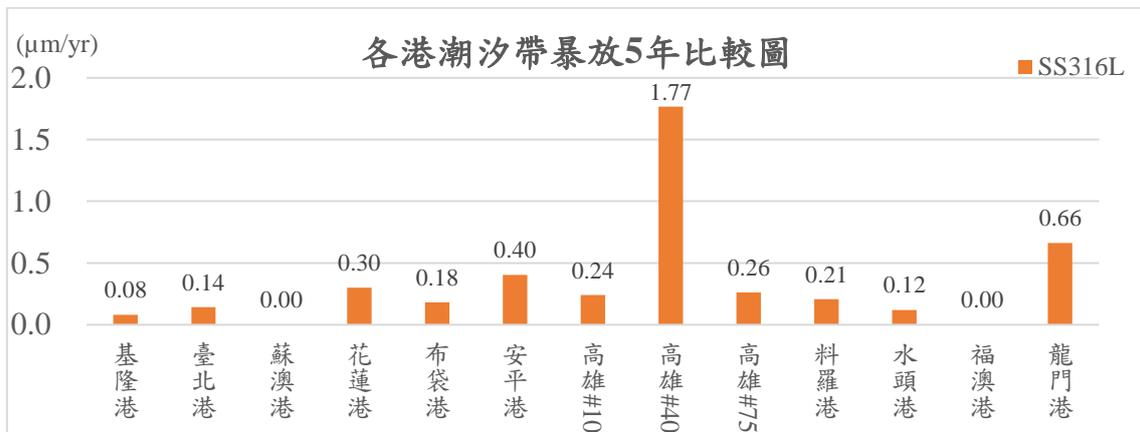
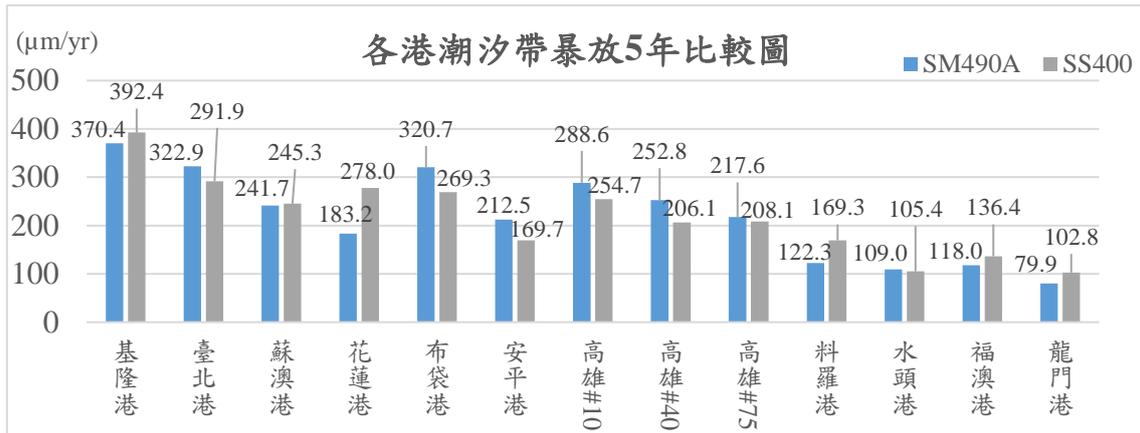


圖 5.16 各港區暴放 5 年後潮汐帶金屬腐蝕速率分析

### 5.2.3 各港區暴放 5 年後水中帶金屬腐蝕速率分析

由各港區暴放 5 年後水中帶金屬暴露試驗結果，如圖 5.17 試片平均腐蝕速率，可發現碳鋼介於 304.1~101.9 μm/yr，最大腐蝕速率發生於基隆港，低碳鋼介於 426.7~77.2 μm/yr，最大腐蝕速率也發生於基隆港，不鏽鋼介於 4.02~0.0 μm/yr，最大腐蝕速率發生於花蓮港。

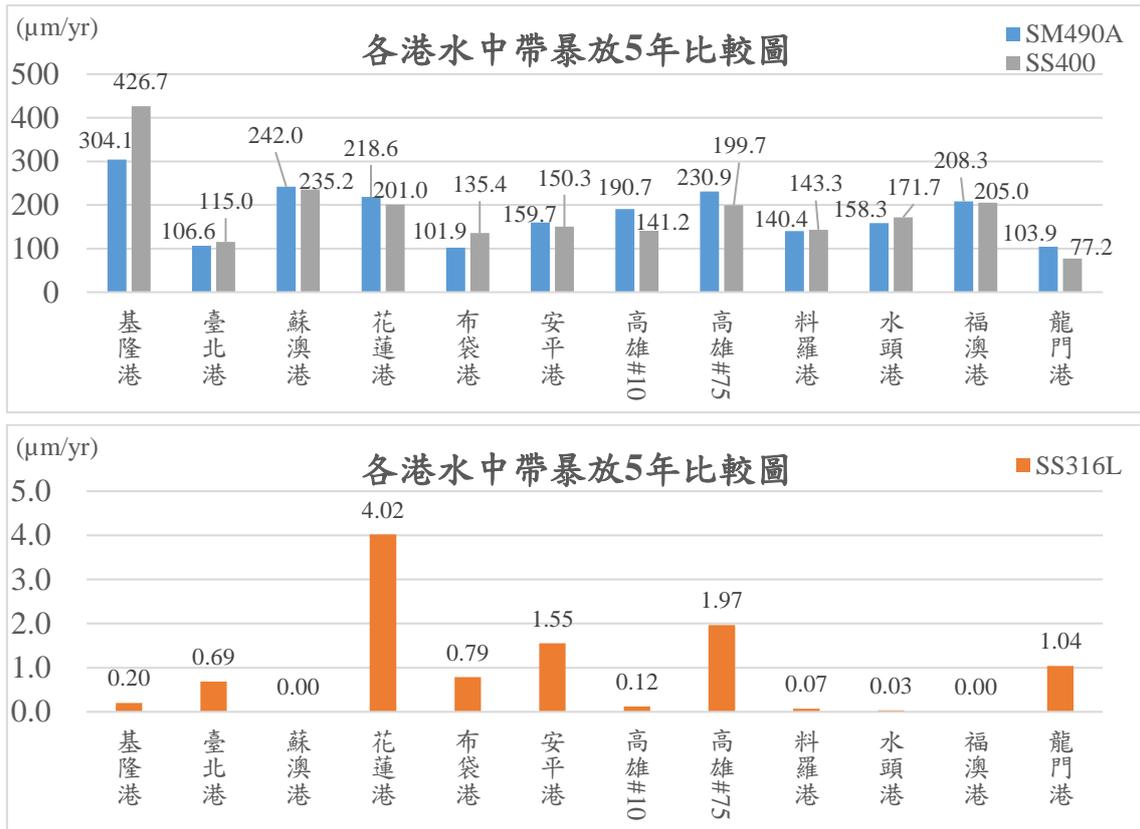


圖 5.17 各港區暴放 5 年後水中帶金屬腐蝕速率分析

### 5.3 各港區暴放 5 年後不同金屬水下腐蝕速率分析

由各港區暴放 5 年後碳鋼金屬暴露試驗結果，如圖 5.18 試片平均腐蝕速率，可發現飛沫帶最大腐蝕速率發生於臺北港 376.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，潮汐帶最大腐蝕速率發生於基隆港 370.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，水中帶最大腐蝕速率發生於基隆港 304.1  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

低碳鋼金屬暴露試驗結果如圖 5.19 試片平均腐蝕速率，可發現飛沫帶最大腐蝕速率發生於臺北港 335.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，潮汐帶最大腐蝕速率發生於基隆港 392.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，水中帶最大腐蝕速率發生於基隆港 426.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

不銹鋼金屬暴露試驗結果如圖 5.20 試片平均腐蝕速率，可發現飛沫帶最大腐蝕速率發生於蘇澳港 2.01  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，潮汐帶最大腐蝕速率發生於高雄港 40 號碼頭 1.77  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，水中帶最大腐蝕速率發生於花蓮港 4.02  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

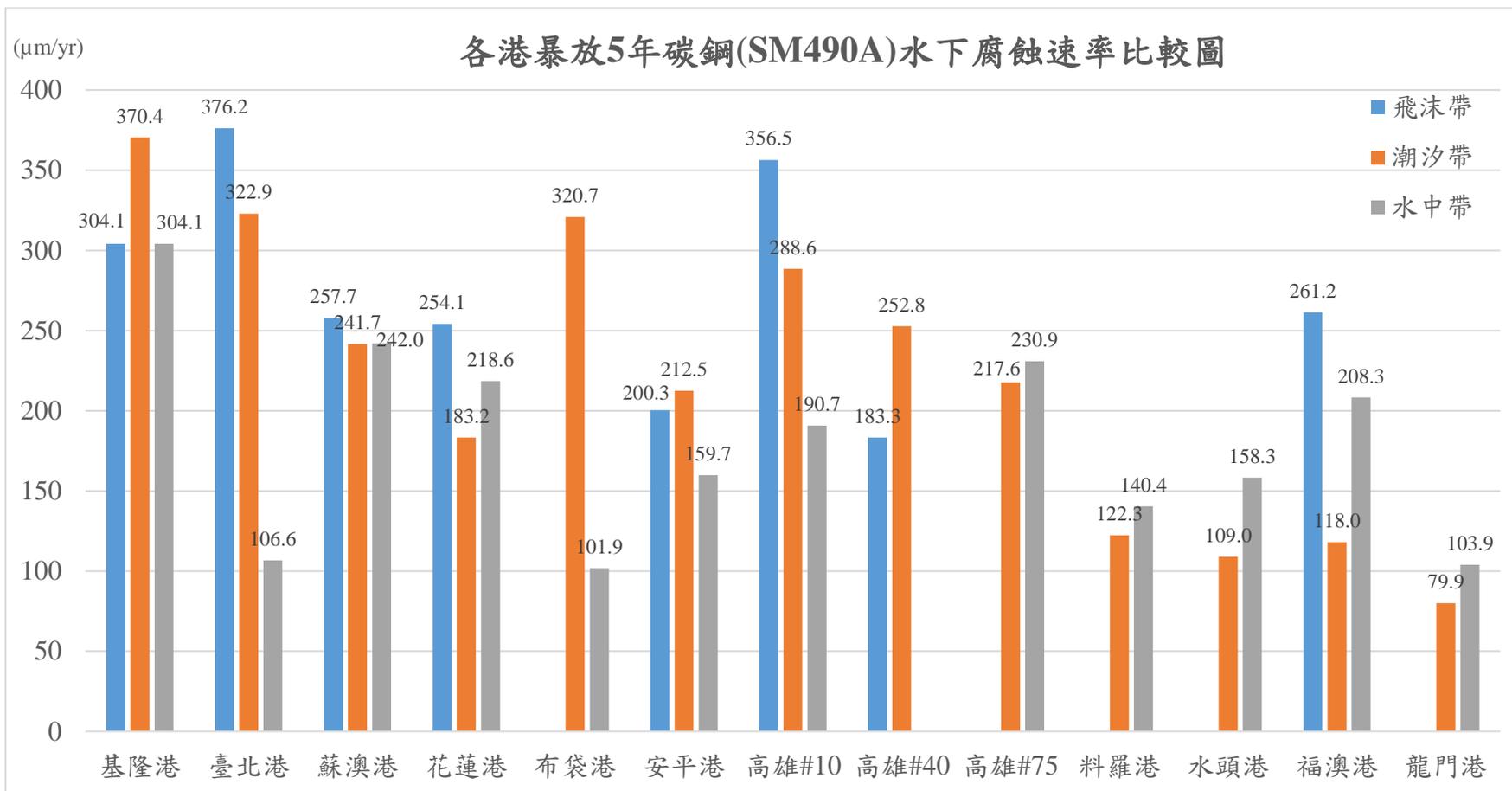


圖 5.18 各港區暴放 5 年後碳鋼金屬水下腐蝕速率分析

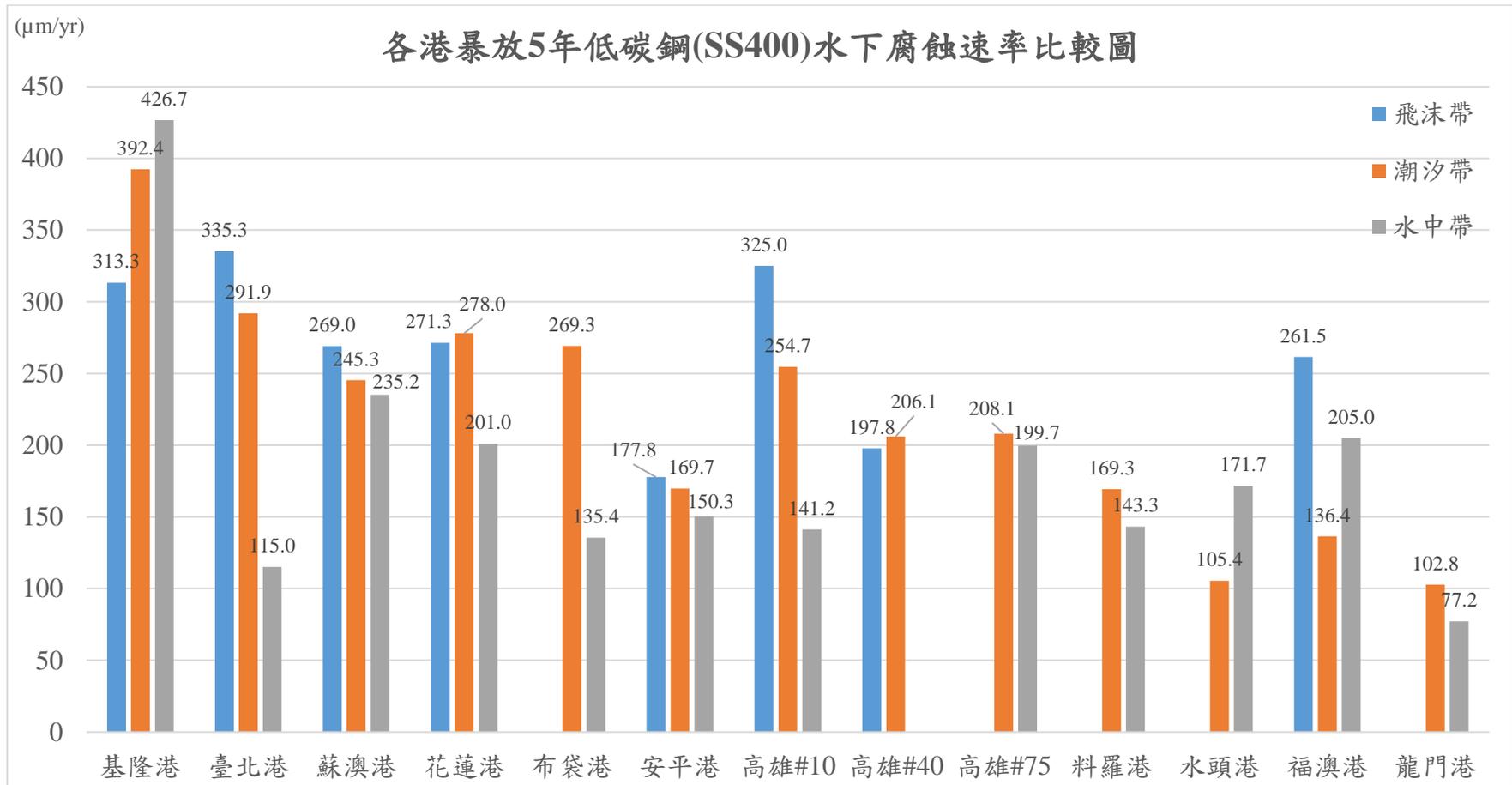


圖 5.19 各港區暴放 5 年後低碳鋼金屬水下腐蝕速率分析

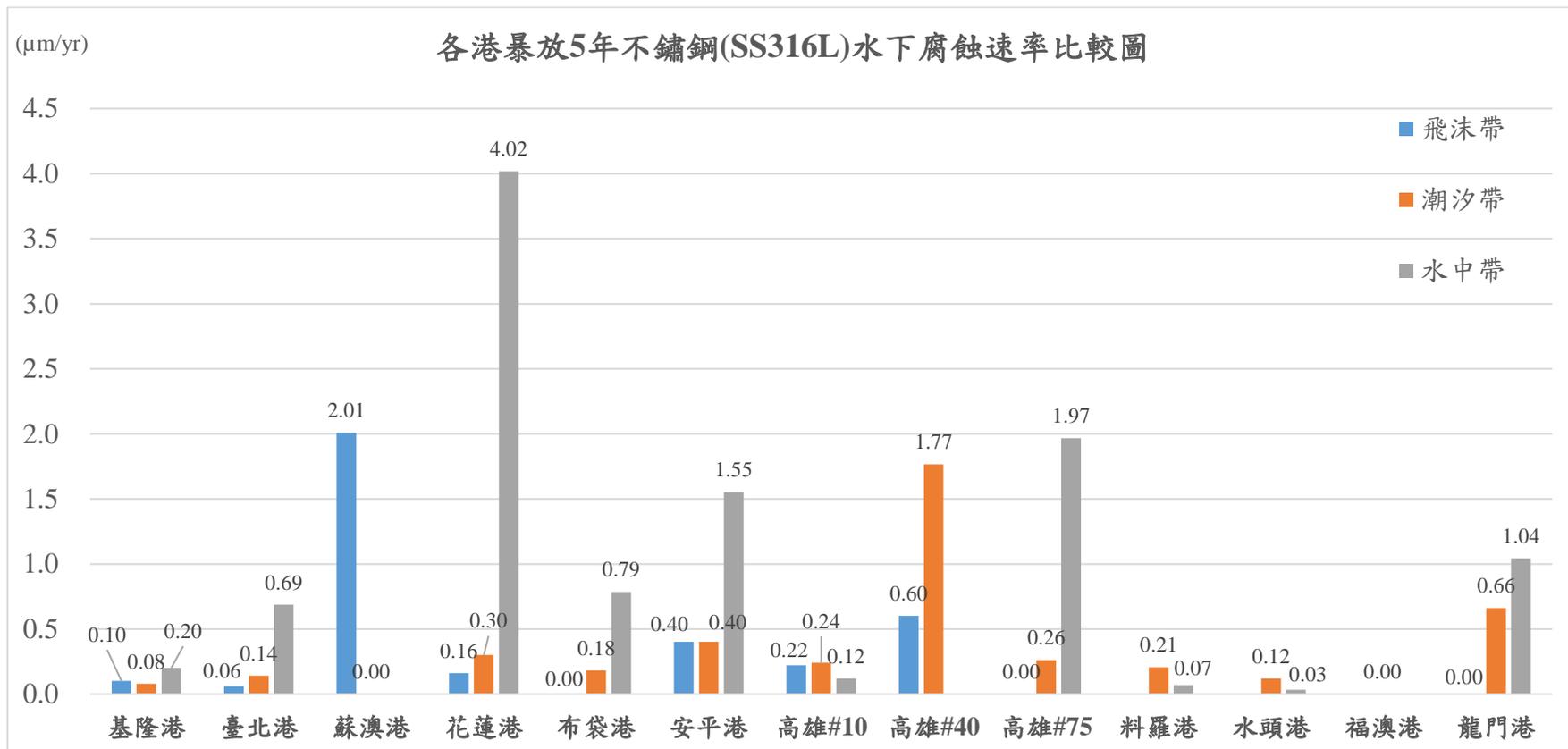


圖 5.20 各港區暴放 5 年後不銹鋼金屬水下腐蝕速率分析

## 5.4 水下金屬試片之外觀變化

本研究為長期水下暴露試驗，定期採集不同地點、位置、金屬材料試片之附著海生物樣本現場進行拍照，以了解附著海生物之種類差異，期能完整了解各港附著海生物之種類與變化，進而建置於水下腐蝕資料庫之展示。

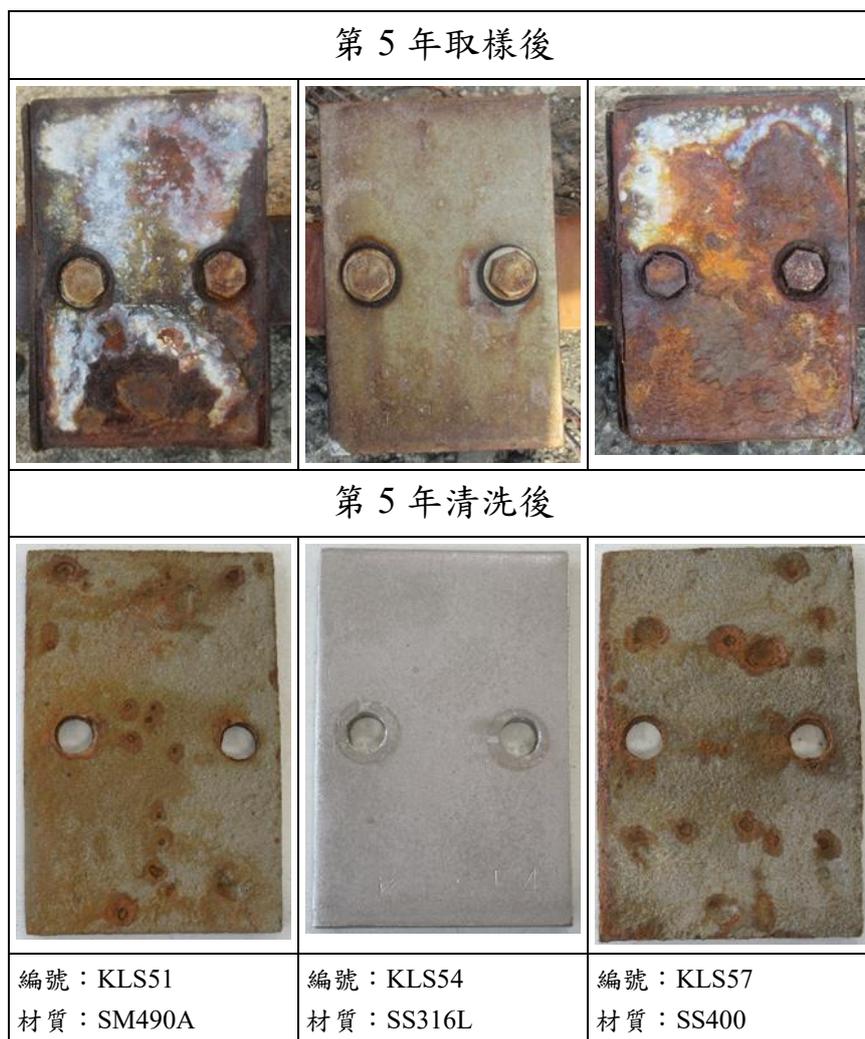


圖 5.21 基隆港飛沫帶試片照片

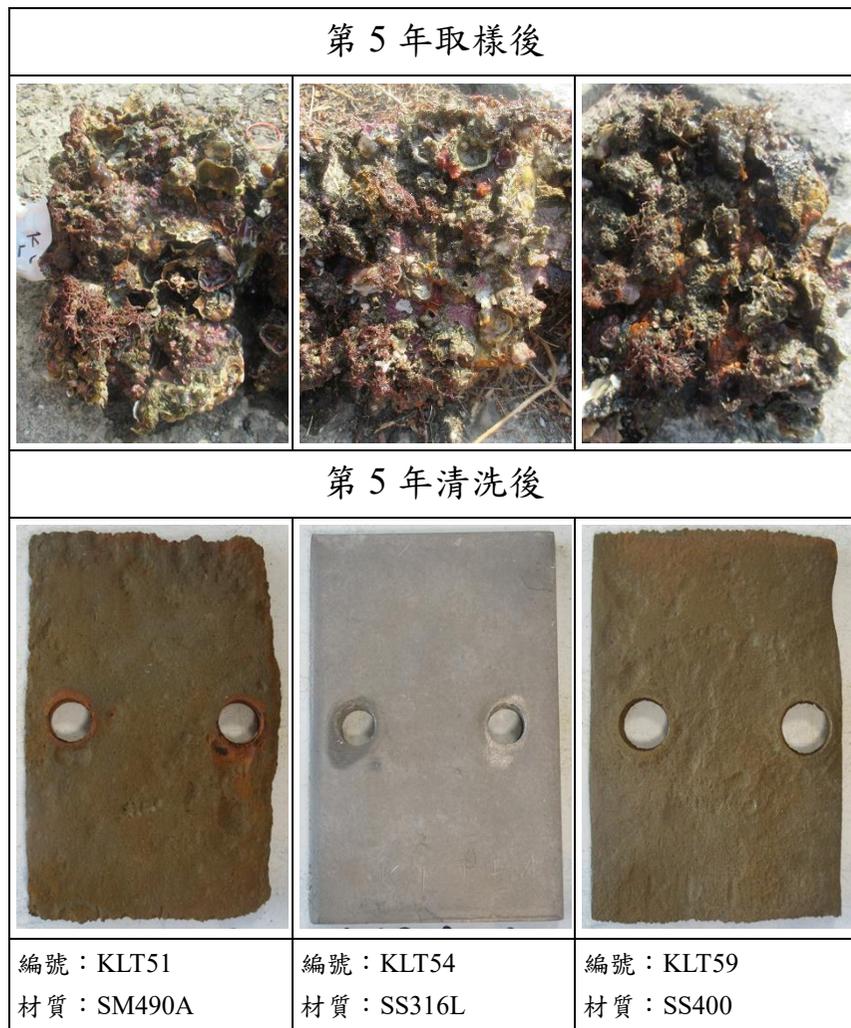


圖 5.22 基隆港潮汐帶試片照片

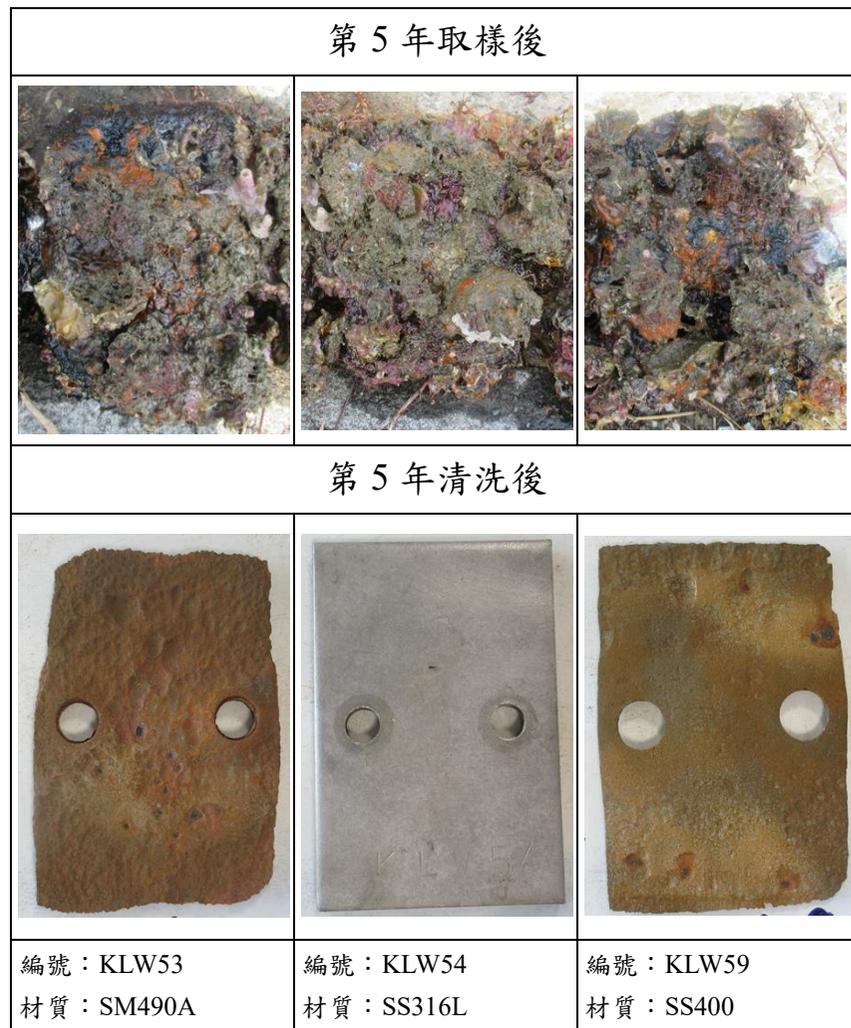


圖 5.23 基隆港水中帶照片

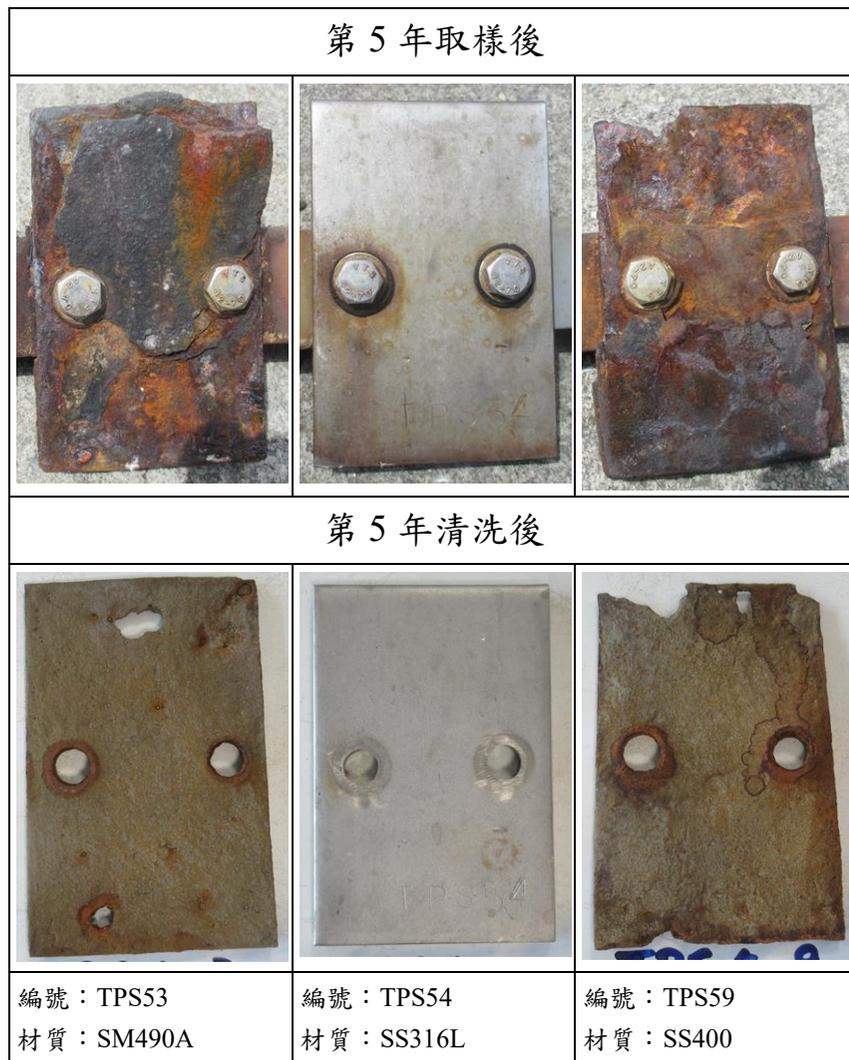


圖 5.24 臺北港飛沫帶試片照片

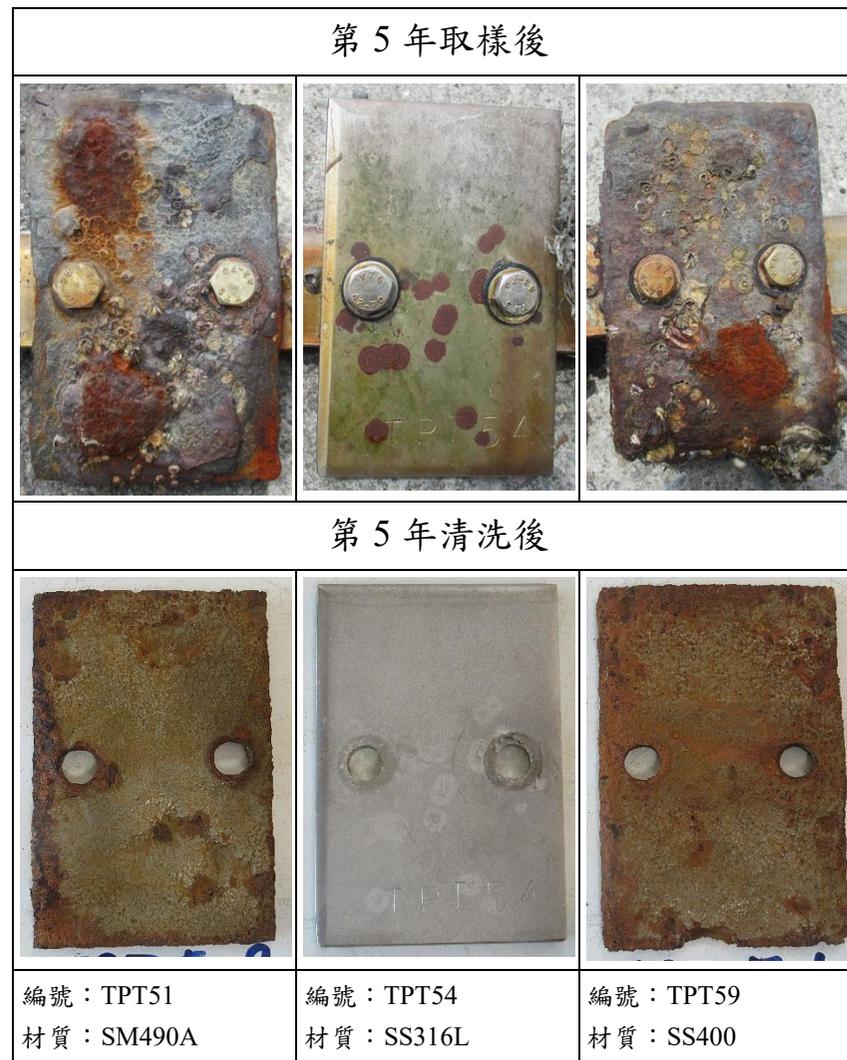


圖 5.25 臺北港潮汐帶試片照片

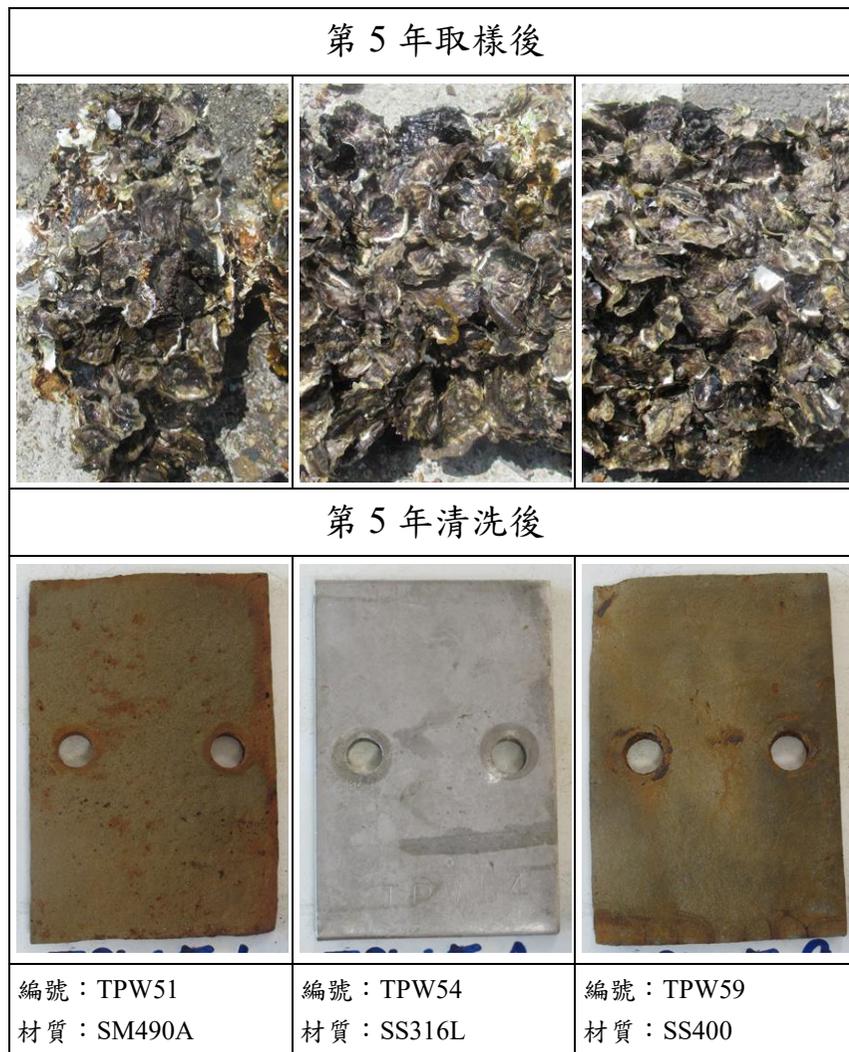


圖 5.26 臺北港水中帶試片照片



圖 5.27 蘇澳港飛沫帶試片照片



圖 5.28 蘇澳港潮汐帶試片照片

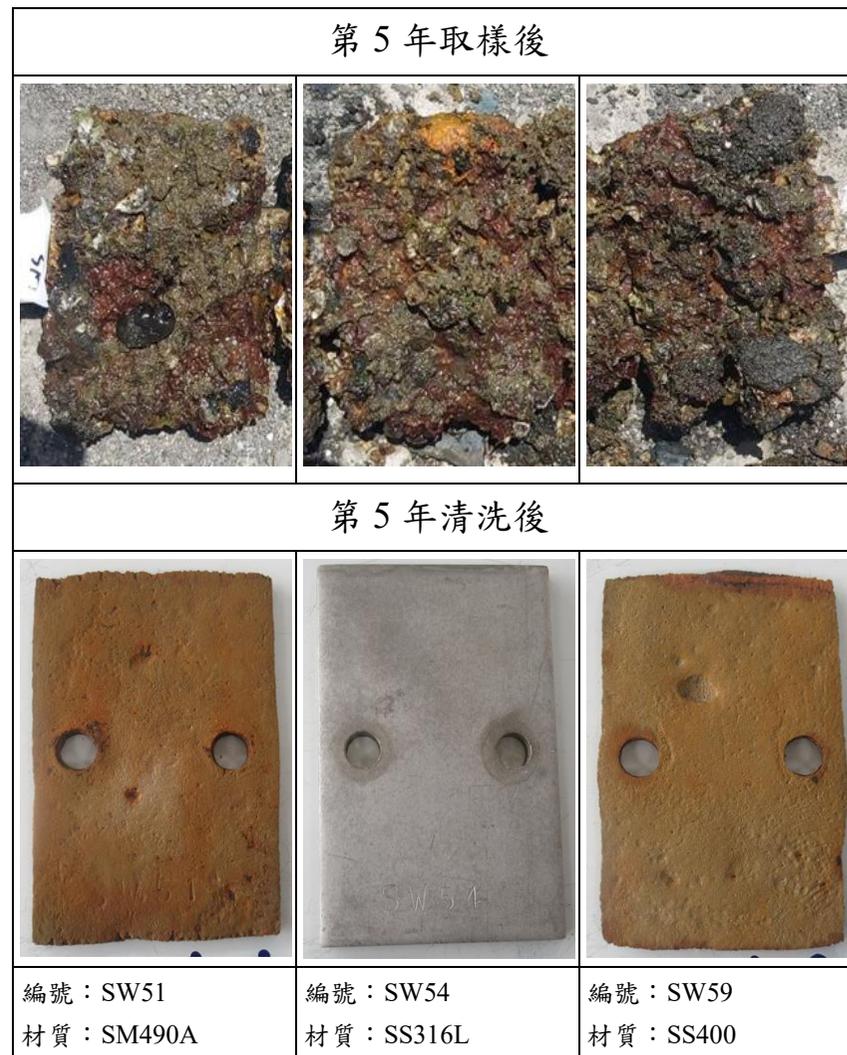


圖 5.29 蘇澳港水中帶試片照片



圖 5.30 花蓮港飛沫帶試片照片

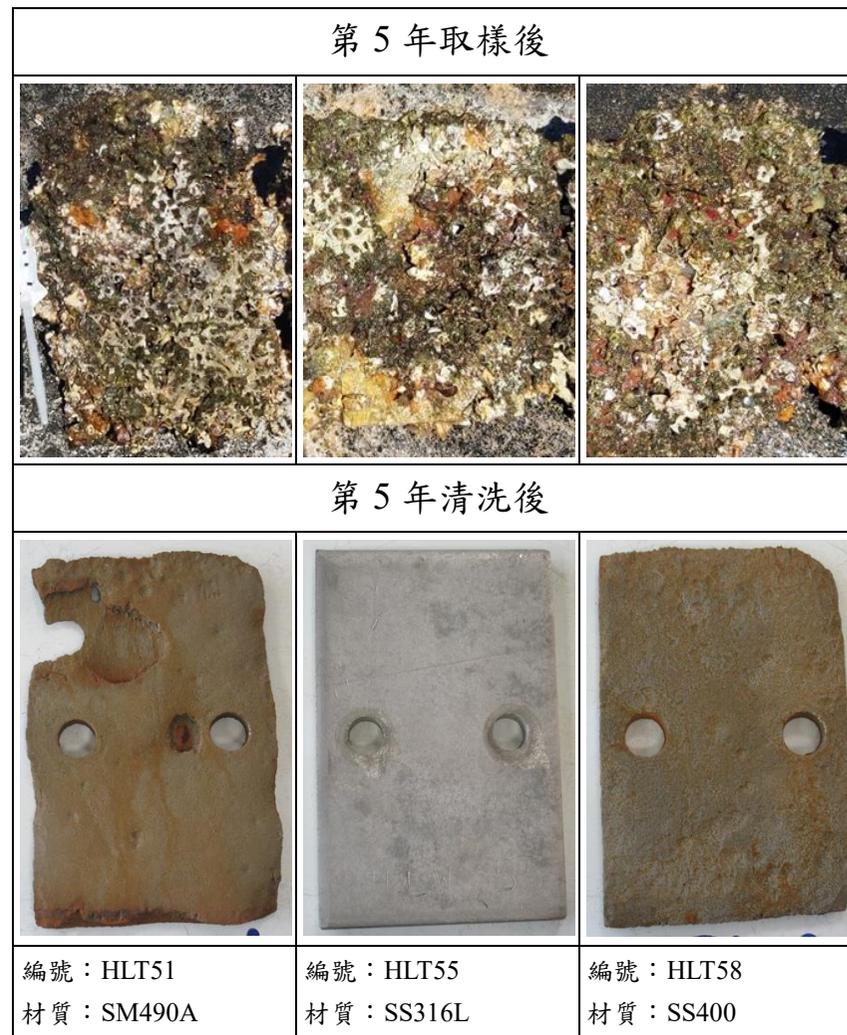


圖 5.31 花蓮港潮汐帶試片照片

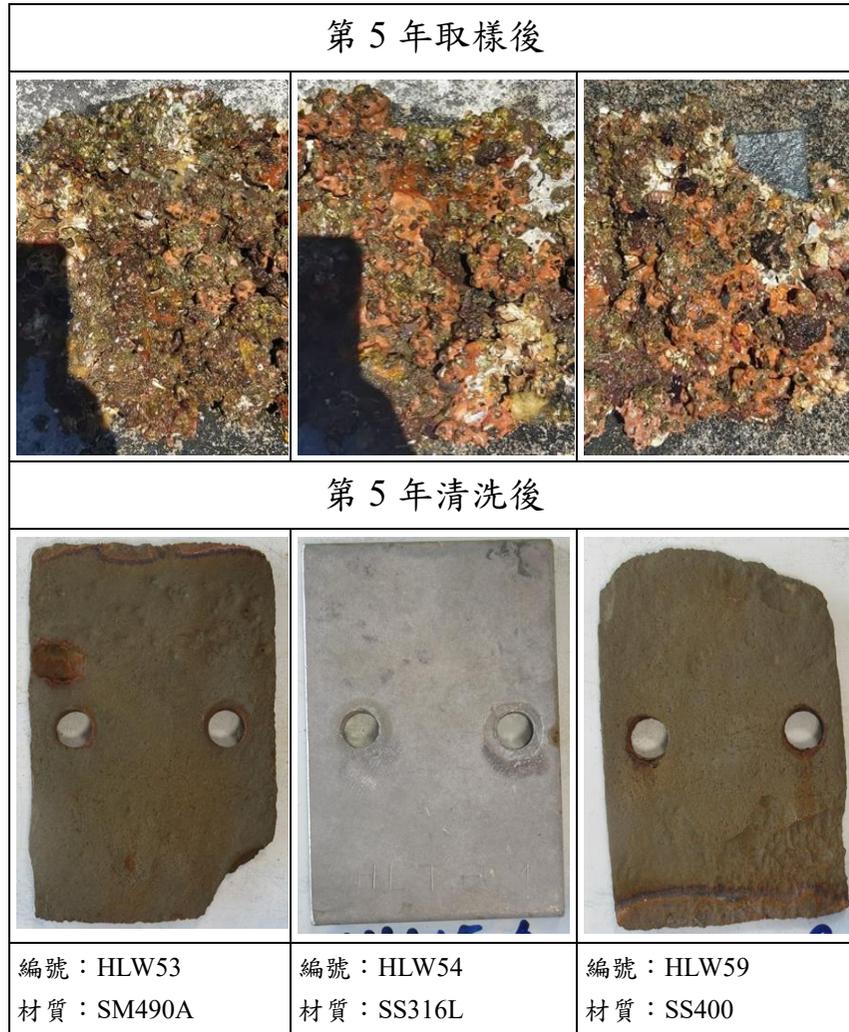


圖 5.32 花蓮港水中帶試片照片



圖 5.33 臺中港飛沫帶試片照片

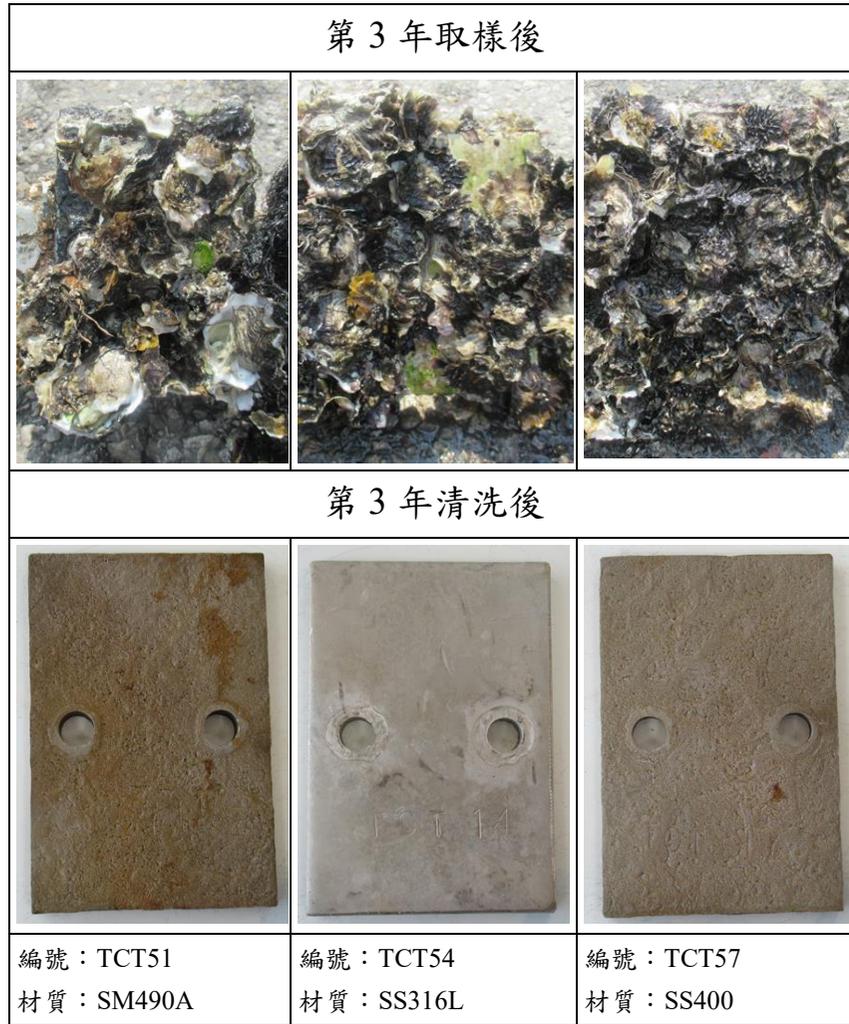


圖 5.34 臺中港潮汐帶試片照片

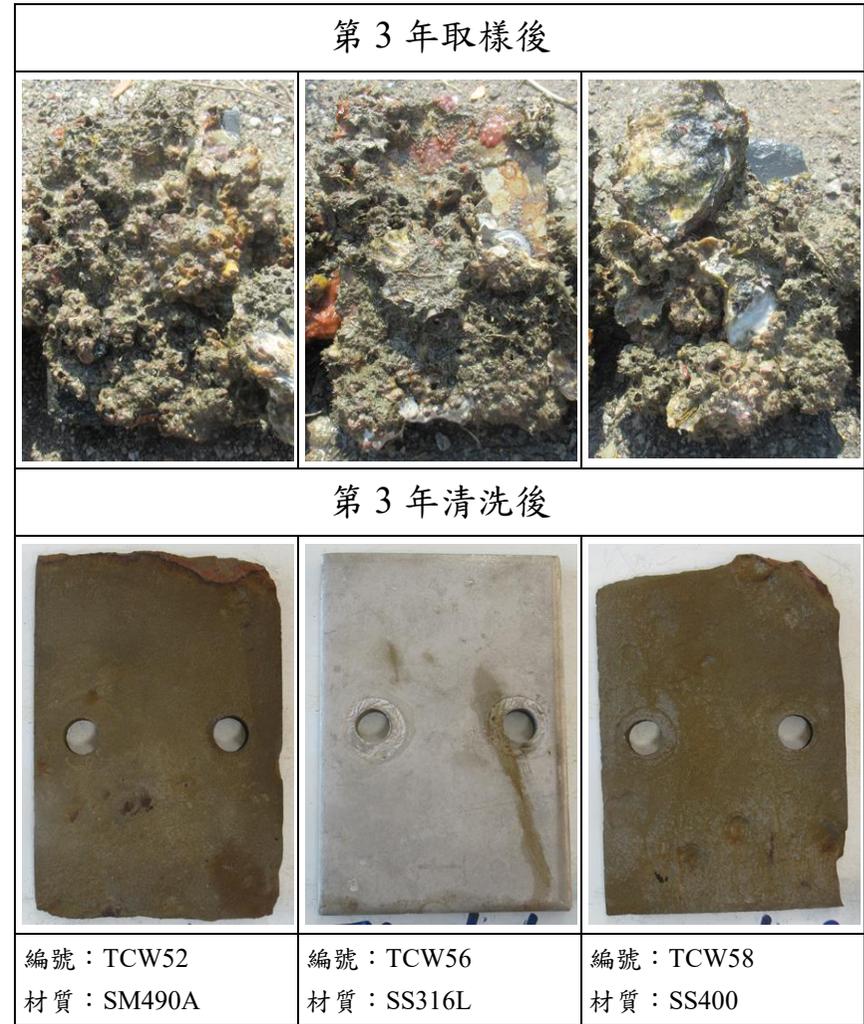


圖 5.35 臺中港水中帶試片照片

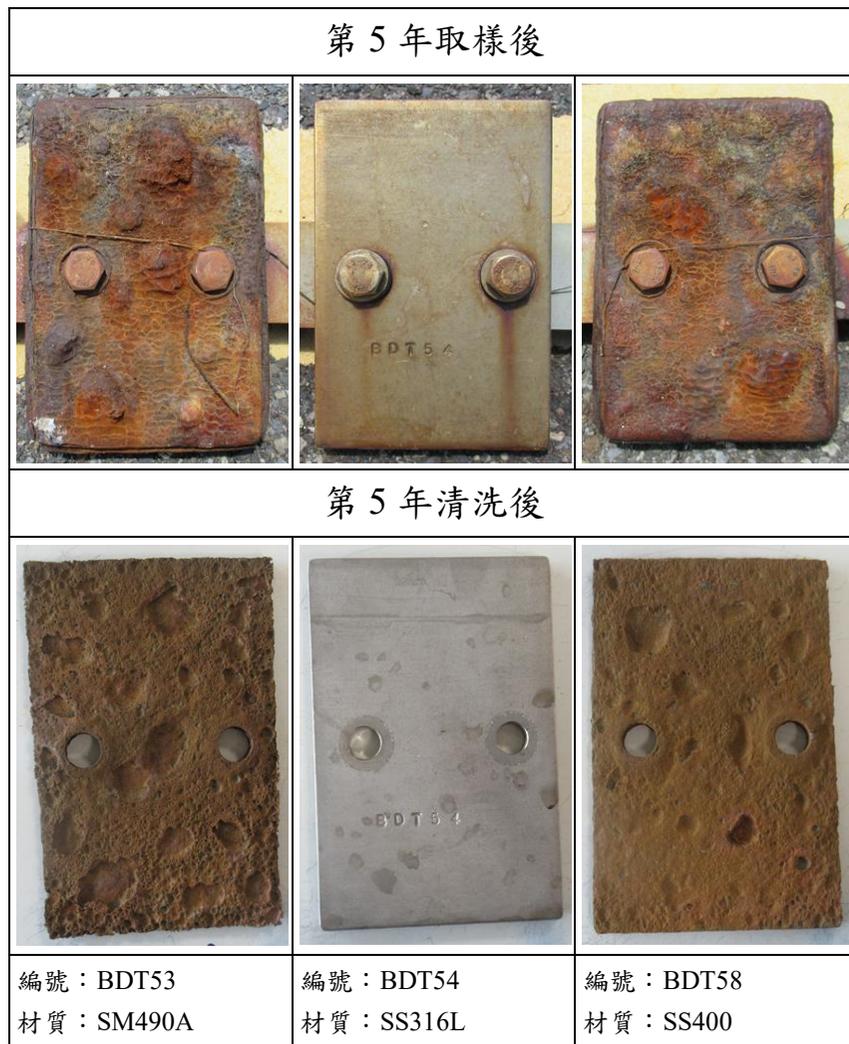


圖 5.36 布袋港潮汐帶試片照片

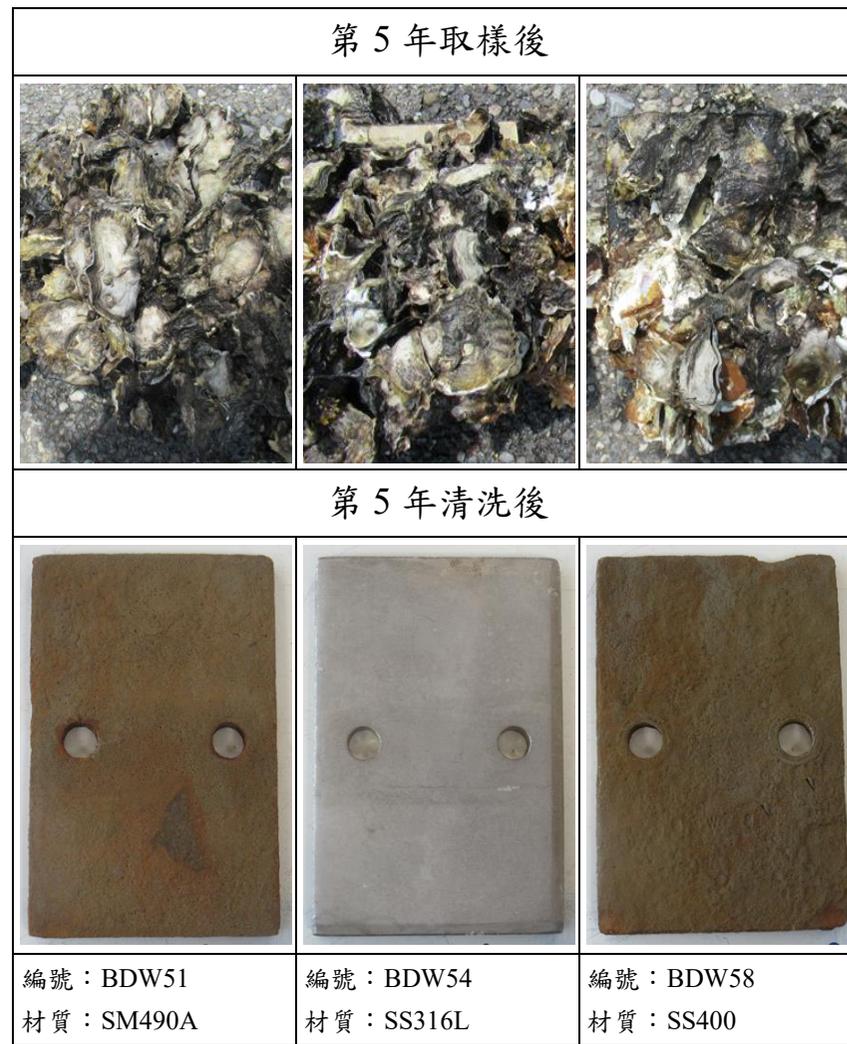


圖 5.37 布袋港水中帶試片照片

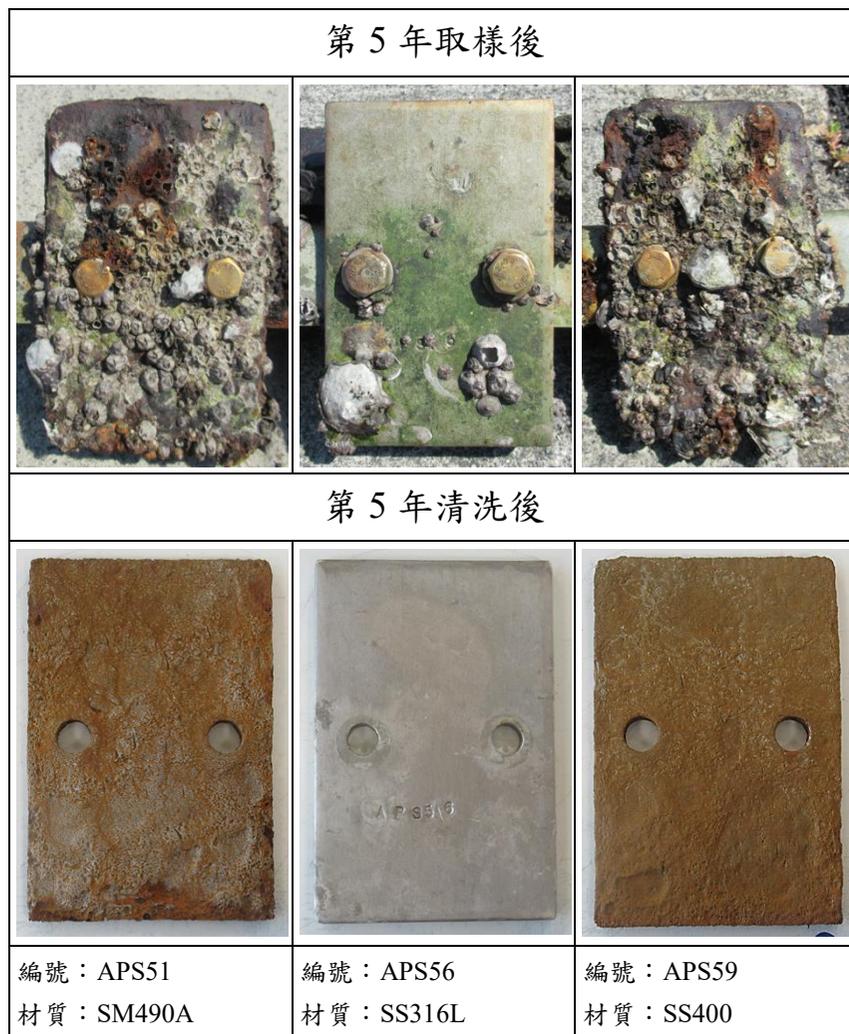


圖 5.38 安平港飛沫帶試片照片



圖 5.39 安平港潮汐帶試片照片



圖 5.40 安平港水中帶試片照片

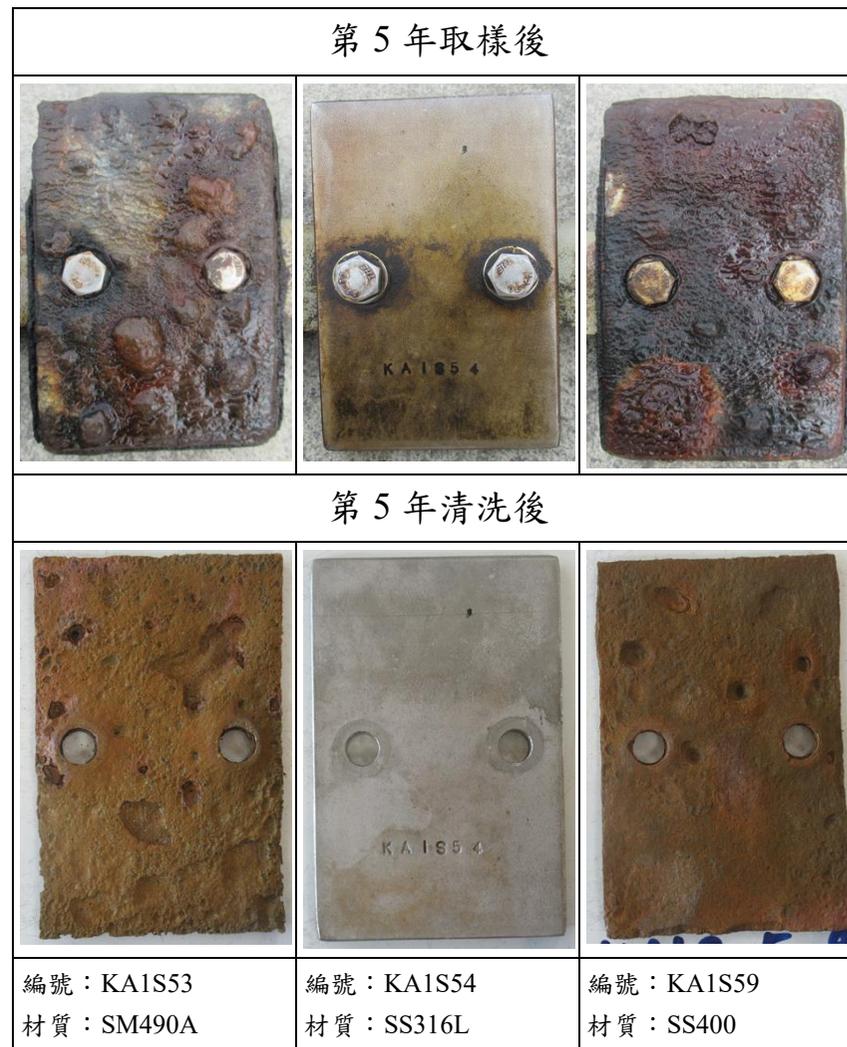


圖 5.41 高雄港 10 號碼頭飛沫帶試片照片



圖 5.42 高雄港 10 號碼頭潮汐帶試片照片

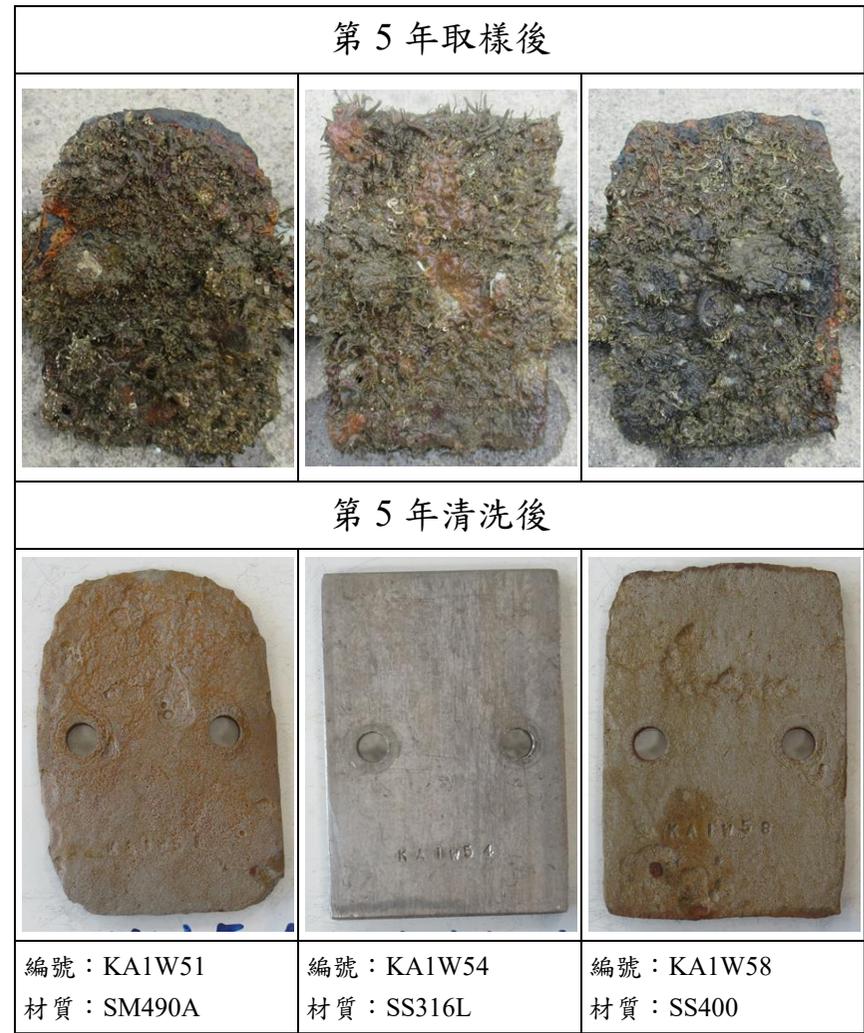


圖 5.43 高雄港 10 號碼頭水中帶試片照片



圖 5.44 高雄港 40 號碼頭飛沫帶試片照片

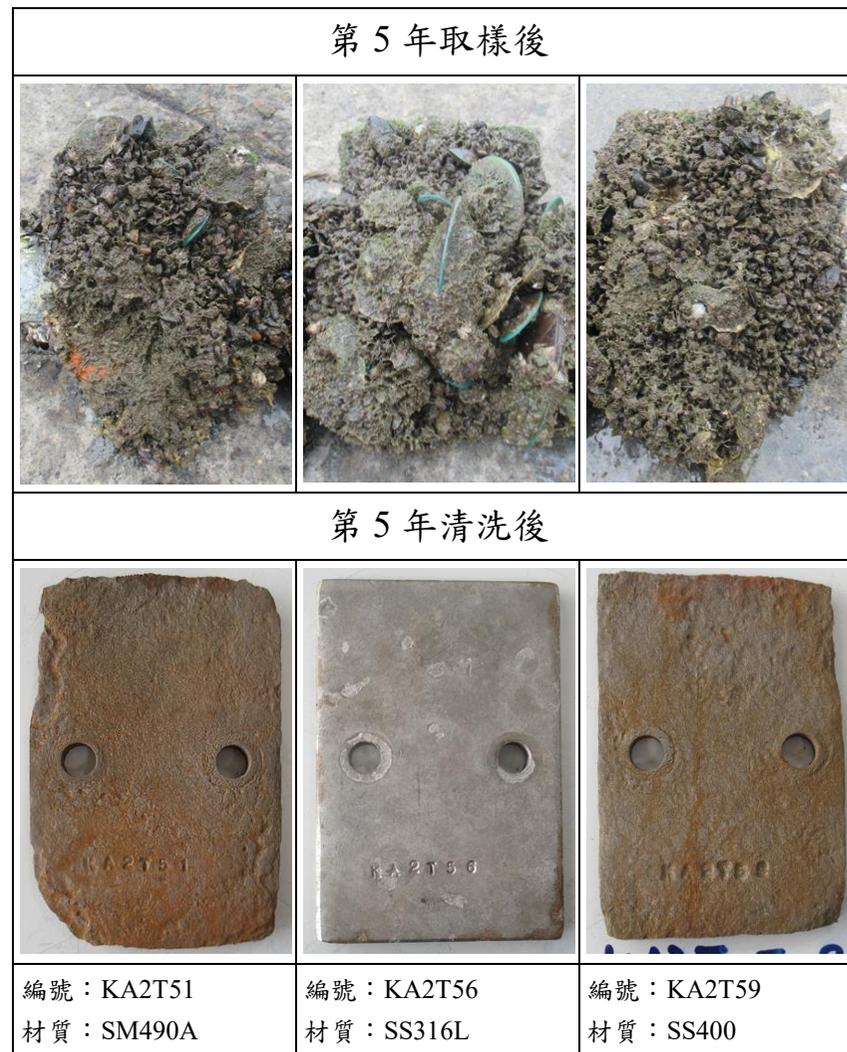


圖 5.45 高雄港 40 號碼頭潮汐帶試片照片



圖 5.46 高雄港 75 號碼頭潮汐帶試片照片

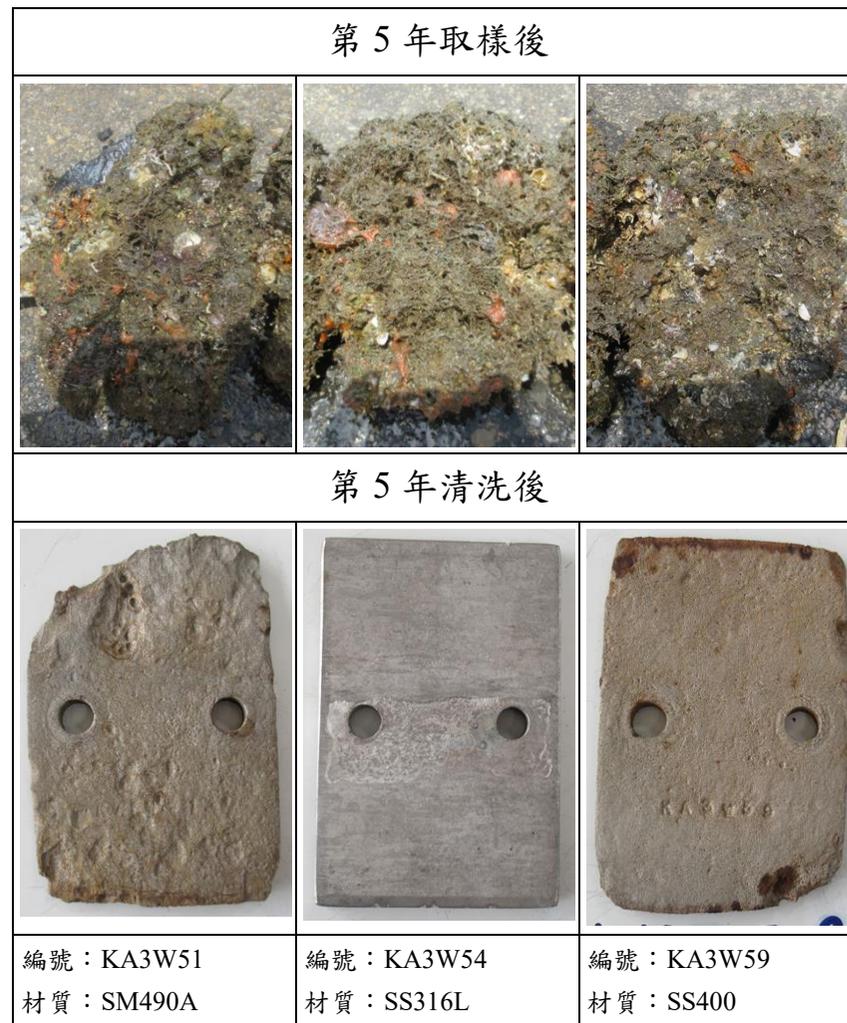


圖 5.47 高雄港 75 號碼頭水中帶試片照片

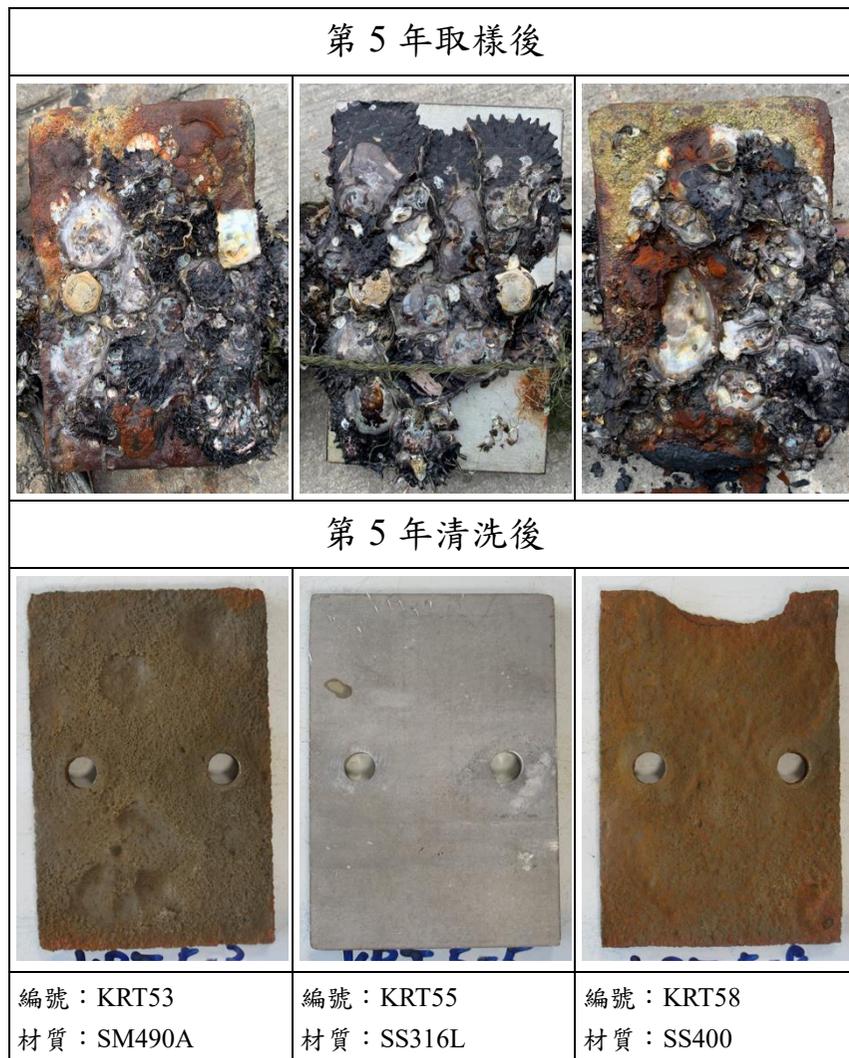


圖 5.48 金門料羅港潮汐帶試片照片

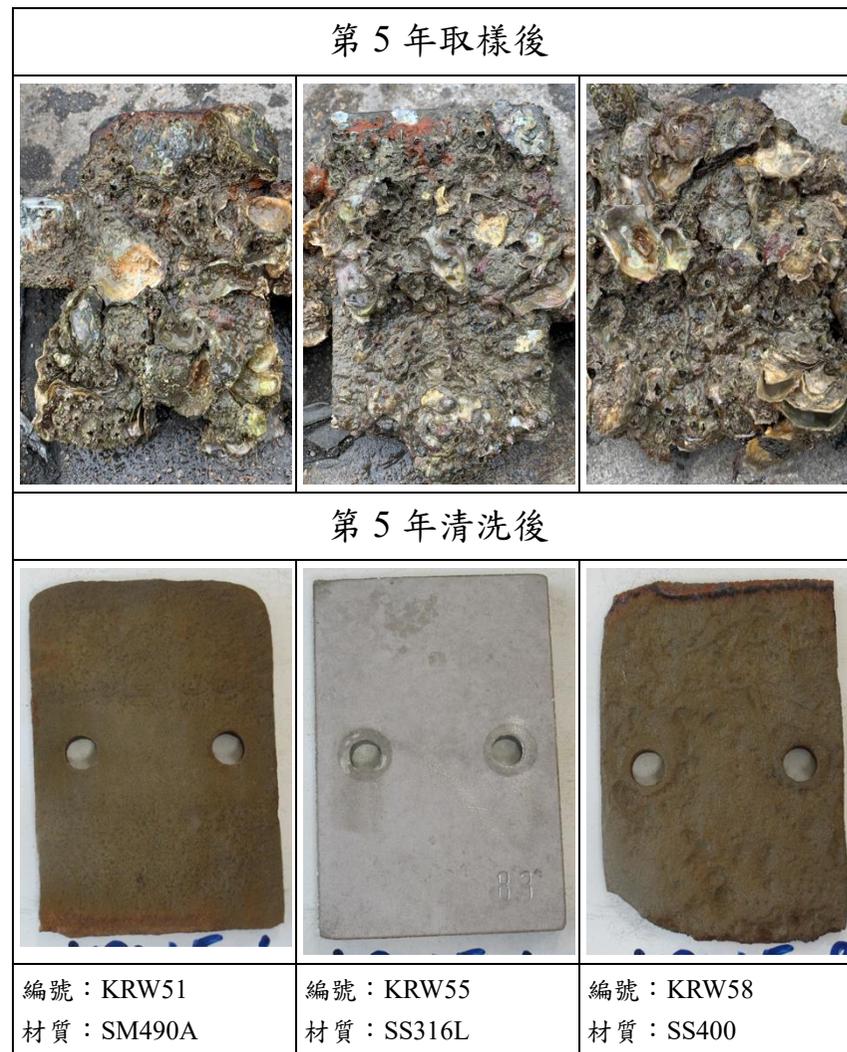


圖 5.49 金門料羅港水中帶試片照片

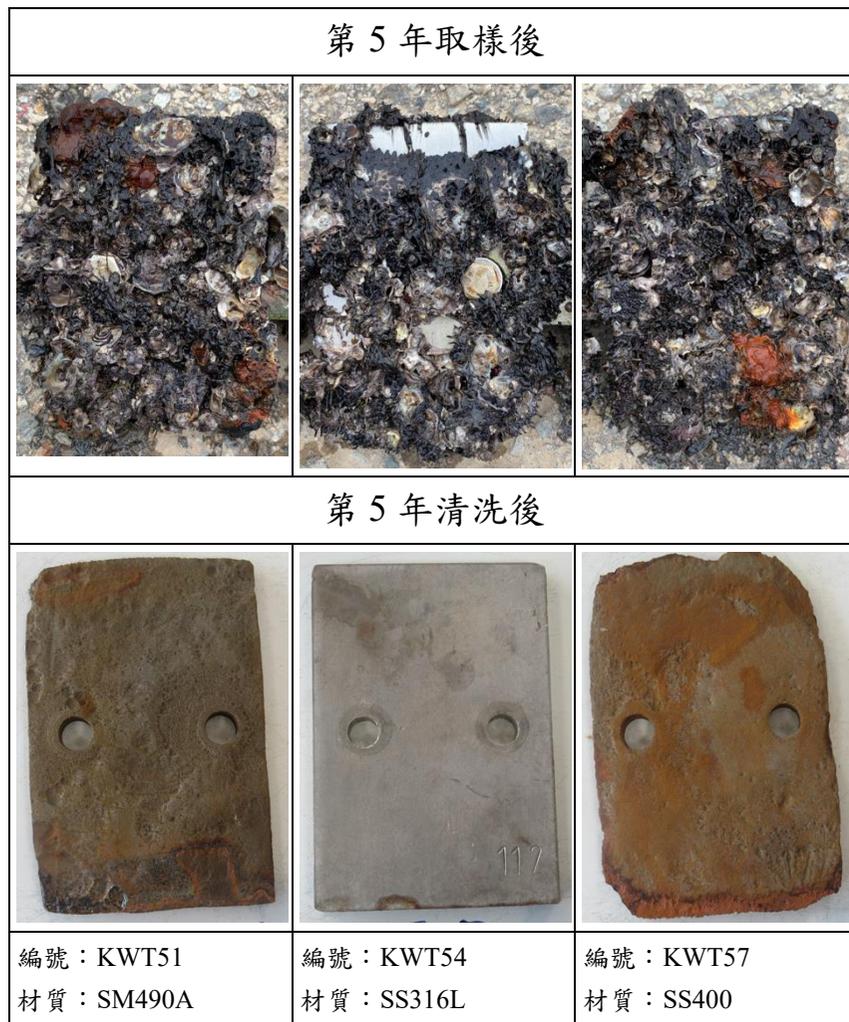


圖 5.50 金門水頭港潮汐帶試片照片

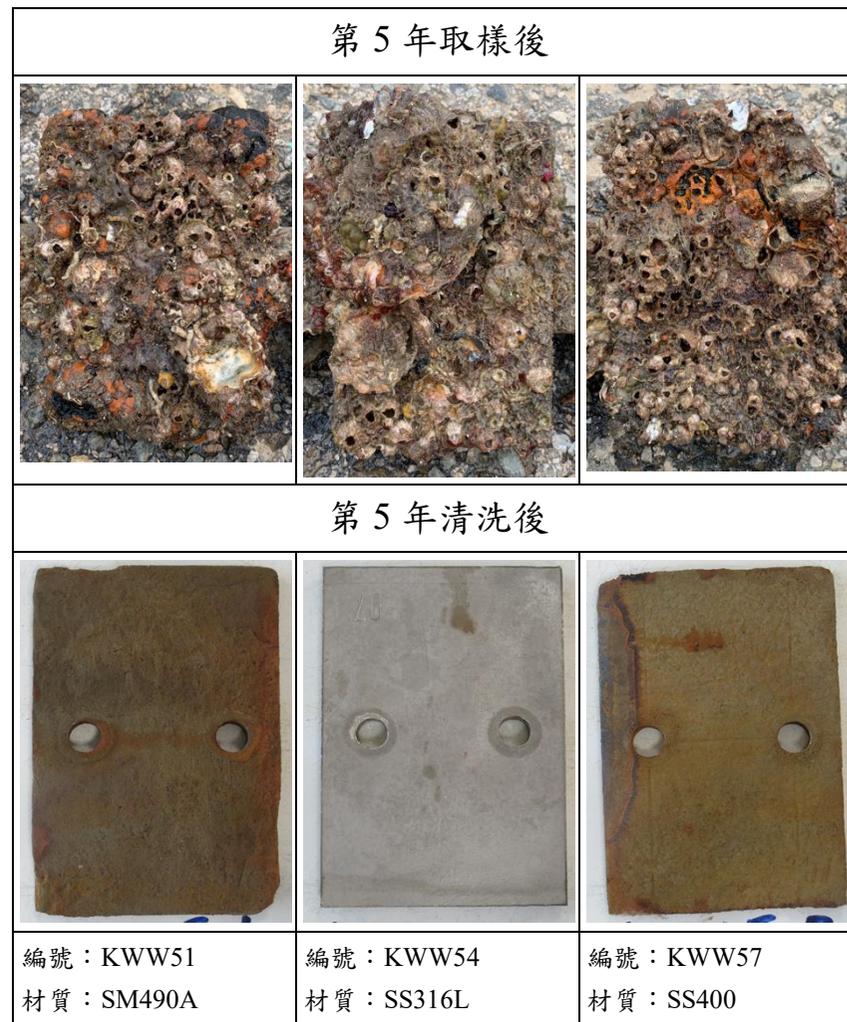


圖 5.51 金門水頭港水中帶試片照片

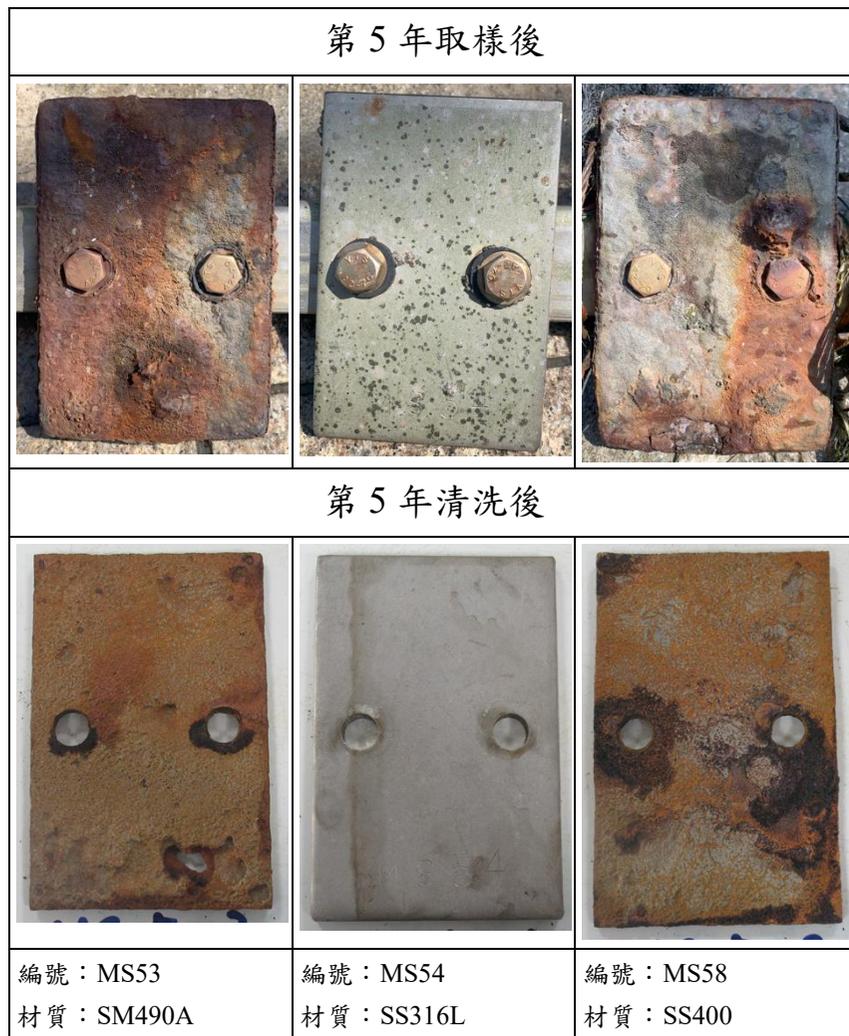


圖 5.52 馬祖福澳港飛沫帶試片照片

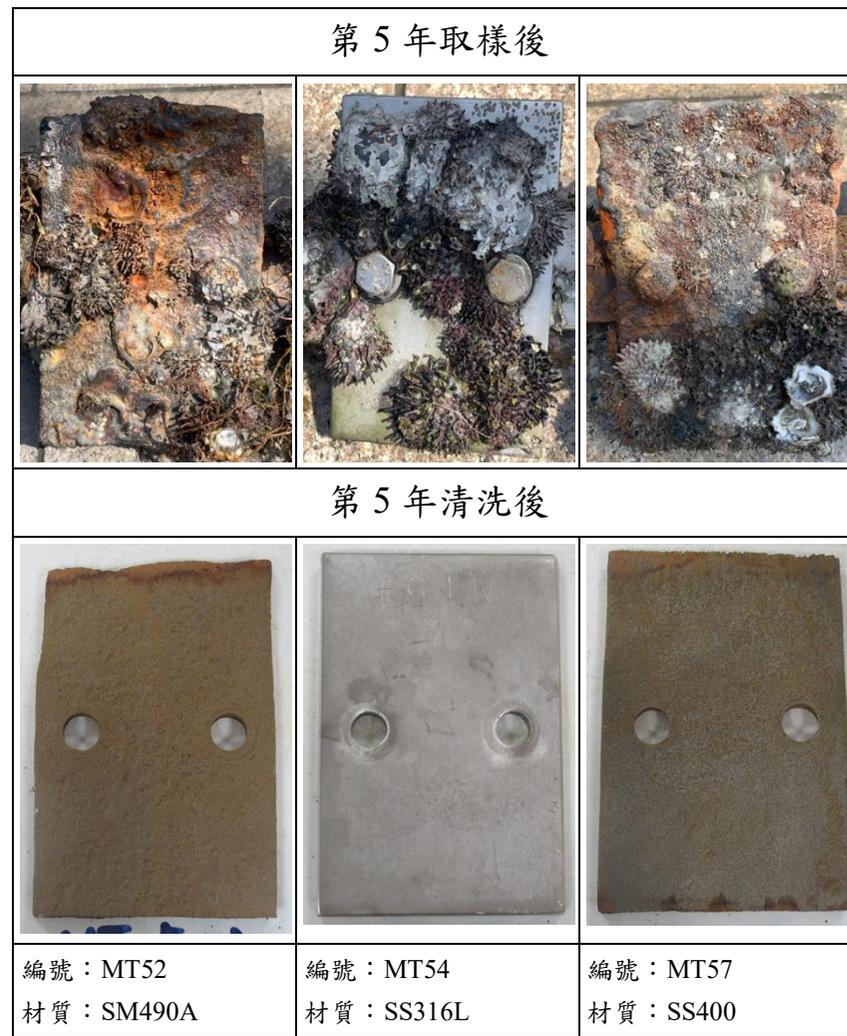


圖 5.53 馬祖福澳港潮汐帶試片照片

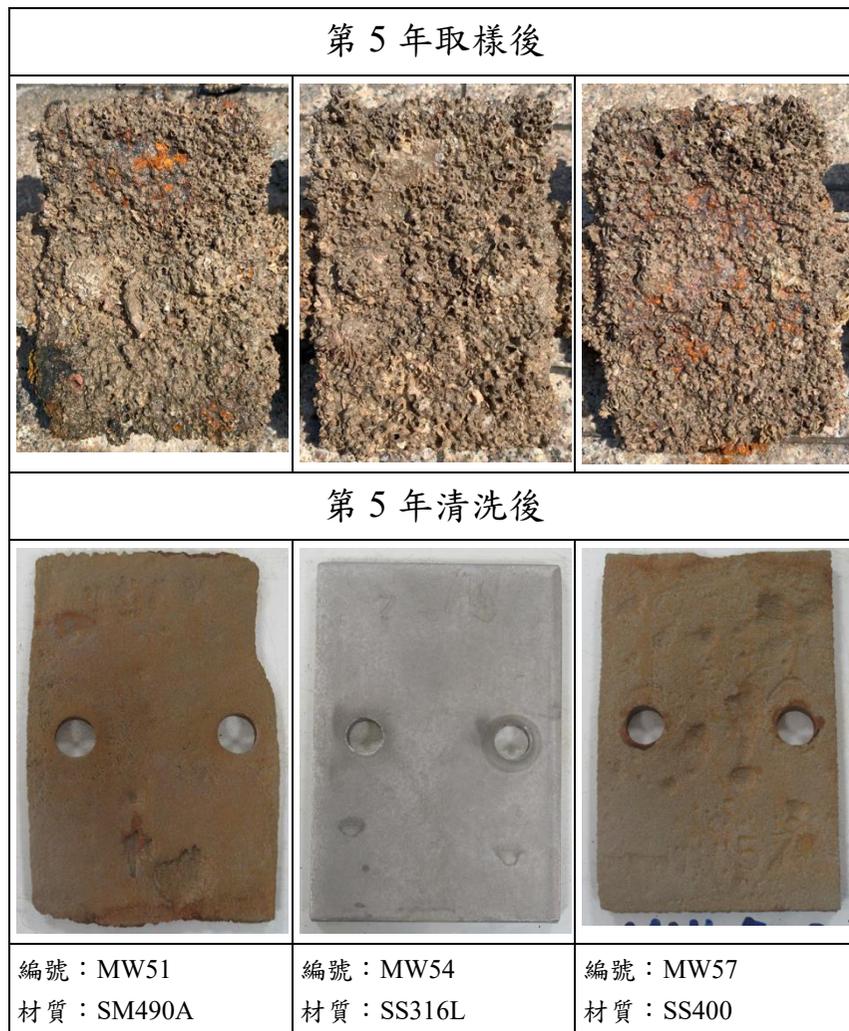


圖 5.54 馬祖福澳港水中帶試片照片



圖 5.55 澎湖龍門港潮汐帶試片照片

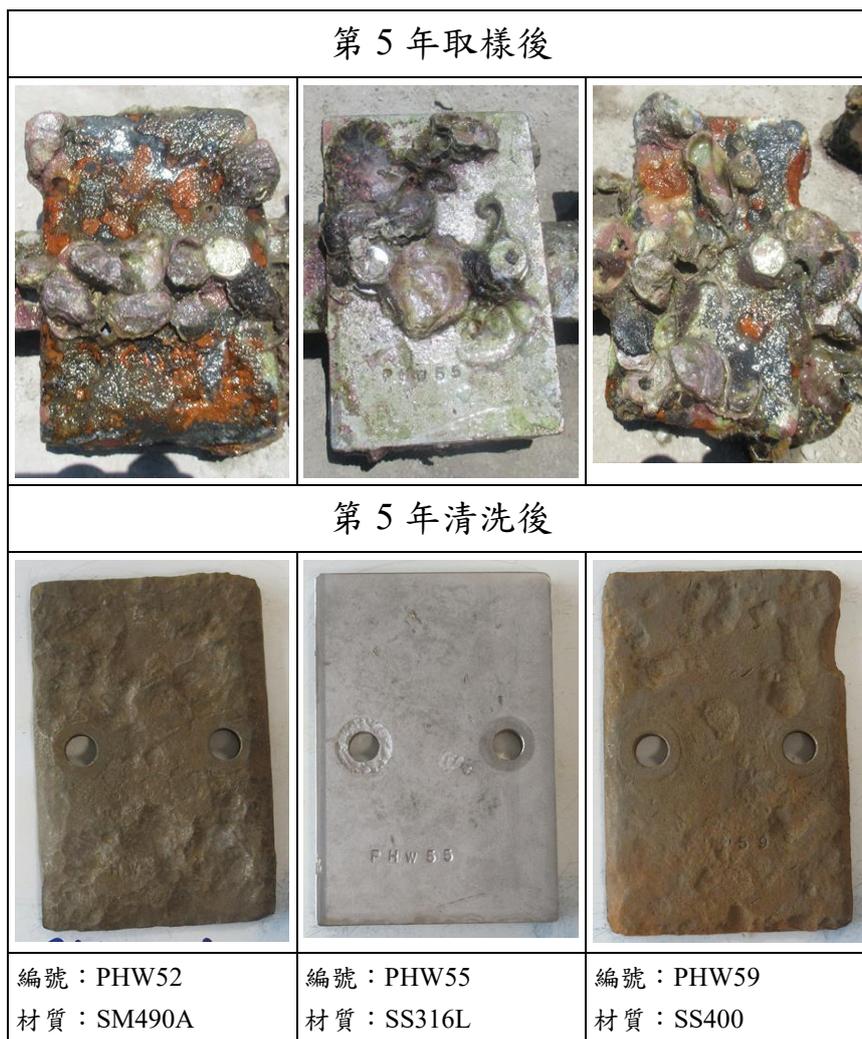


圖 5.56 澎湖龍門港水中帶試片照片

## 5.5 海水水質分析

為了解金屬材料於海水中之變化，於每季進行全島商港海水水質取樣，利用水質檢測儀器測定鹽度、水溫、pH 值、溶氧量、導電度等，並使用離子分析儀分析海水中  $\text{Cl}^-$  及  $\text{SO}_4^{2-}$  含量，暴放期間詳細資料彙整於附錄二。

基隆港區於暴放期間(2016/9/26 - 2022/8/23)分析結果範圍如下，鹽度 17.8~36.9，導電度 28.70~71.10(ms/cm)，溫度 16.48~29.95(°C)，溶氧量 3.22~8.72(mg/L)，pH 值 6.90~8.33，氯離子含量 8628~22288(mg/L)，

硫酸根離子含量 1075~2620(mg/L)。

臺北港區於暴放期間(2016/9/26 - 2022/8/22)分析結果範圍如下，鹽度 20.9~25.1，導電度 39.20~68.10(ms/cm)，溫度 16.50~30.10(°C)，溶氧量 5.66~9.75 (mg/L)，pH 值 6.83~8.23，氯離子含量 13944~22577(mg/L)，硫酸根離子含量 1625~3757(mg/L)。

蘇澳港區於暴放期間(2016/6/23 - 2022/8/24)分析結果範圍如下，鹽度 20.1~35.0，導電度 35.11~63.82(ms/cm)，溫度 19.73~29.70(°C)，溶氧量 5.64~9.23 (mg/L)，pH 值 6.93~8.35，氯離子含量 10725~22916(mg/L)，硫酸根離子含量 1412~2614 (mg/L)。

花蓮港區於暴放期間(2016/10/3 - 2022/8/25)分析結果範圍如下，鹽度 19.5~34.1，導電度 36.36~68.20(ms/cm)，溫度 20.17~29.80(°C)，溶氧量 5.87~12.98(mg/L)，pH 值 6.82~8.40，氯離子含量 12562~21362(mg/L)，硫酸根離子含量 1557~2458 (mg/L)。

臺中港區於暴放期間(2019/3/26 - 2022/8/19)分析結果範圍如下，鹽度 16.5~34.7，導電度 26.93~62.09(ms/cm)，溫度 18.10~30.70(°C)，溶氧量 5.61~9.43(mg/L)，pH 7.13~8.27 值，氯離子含量 14724~23268(mg/L)，硫酸根離子含量 1654~2720 (mg/L)。

布袋港區於暴放期間(2016/9/5 - 2022/8/8)分析結果範圍如下，鹽度 20.6~35.1，導電度 38.40~75.30(ms/cm)，溫度 17.50~31.50(°C)，溶氧量 4.26~9.00(mg/L)，pH 值 6.85~8.30，氯離子含量 12752~22907(mg/L)，硫酸根離子含量 1582~2823 (mg/L)。

安平港區於暴放期間(2016/9/6 - 2022/8/8)分析結果範圍如下，鹽度 19.5~34.4，導電度 37.45~66.51(ms/cm)，溫度 19.15~33.20(°C)，溶氧量 4.61~11.77(mg/L)，pH 值 6.84~8.66，氯離子含量 12069~19978(mg/L)，硫酸根離子含量 1080~2482 (mg/L)。

高雄港區於暴放期間(2016/9/7 - 2022/8/18)分析結果範圍如下，鹽度 20.1~35.1，導電度 19.00~64.13(ms/cm)，溫度 21.4~33.8(°C)，溶氧量

3.99~10.41(mg/L)，pH 值 6.56~8.64，氯離子含量 10811~36585(mg/L)，硫酸根離子含量 1302~3510 (mg/L)。

金門港區於暴放期間(2015/11/16 - 2022/10/17)分析結果範圍如下，鹽度 25.3~36.5，導電度 32.50~65.96(ms/cm)，溫度 14.58~33.25(°C)，溶氧量 4.06~10.01(mg/L)，pH 值 6.27~8.88，氯離子含量 10493~23255(mg/L)，硫酸根離子含量 1497~3918 (mg/L)。

馬祖港區於暴放期間(2016/8/15 - 2023/3/7)分析結果範圍如下，鹽度 16.1~37.8，導電度 33.90~67.48(ms/cm)，溫度 11.90~30.85(°C)，溶氧量 5.67~11.6(mg/L)，pH 值 6.22~8.86，氯離子含量 11617~20483(mg/L)，硫酸根離子含量 1407~2676 (mg/L)。

澎湖港區於暴放期間(2016/9/12 - 2022/8/23)分析結果範圍如下，鹽度 25.7~36.6，導電度 36.98~81.51(ms/cm)，溫度 17.18~32.68(°C)，溶氧量 5.59~9.78(mg/L)，pH 值 6.30~8.53，氯離子含量 14347~24430(mg/L)，硫酸根離子含量 1574~3547(mg/L)。



## 第六章 碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析

臺灣為一海島，地處熱帶、亞熱帶，高溫、高濕與高鹽份的環境，造成金屬在大氣中容易腐蝕劣化。金屬材料的大氣腐蝕機制主要是受大氣中所含水分、氧氣、和腐蝕性物質聯合作用而產生的破壞；因此，為瞭解臺灣地區大氣腐蝕狀況，本所自 2009 年起進行臺灣地區大氣腐蝕劣化因子與金屬材料腐蝕之調查與研究，做為辦理公共工程設計與維護管理之參考。

大氣腐蝕調查內容包括：(1)依據中華民國國家標準(以下簡稱 CNS)，就金屬及合金之大氣腐蝕性污染測定方法，進行臺灣全島及澎湖、金門與馬祖等地區之大氣腐蝕劣化因子調查，(2)依據 CNS 製作碳鋼、鋅、銅、鋁標準試樣，並進行現地暴露試驗與腐蝕速率量測，(3)彙整調查試驗結果，進行大氣腐蝕環境分類與建立網站，提供外界查詢及應用。

基於全球各地氣候條件受緯度、地形、距離海洋遠近及當地或附近腐蝕污染物質排放等因素影響，大氣腐蝕具有強烈地域性。臺灣具有高溫、高濕與高鹽份的環境，屬於高腐蝕環境。為評估臺灣地區大氣腐蝕劣化因子對於碳鋼腐蝕的影響，本章將運用前期調查得到的數據，以迴歸分析法(Regression Analysis)建立大氣腐蝕劣化因子與碳鋼腐蝕速率間的迴歸模式，據以說明在臺灣地區目前的氣候條件與污染情境下，各項大氣腐蝕劣化因子對於碳鋼腐蝕之影響。

接下來在 6.1 節先說明研究方法，在 6.2 節進行迴歸分析。

### 6.1 關聯性統計分析方法

研究方法採用迴歸分析法，迴歸分析是統計上常用來研究多個變數關係的一種方法，可依據統計數據配適一條合適的直線或曲線，找出解釋變數(或稱自變數、影響變數)與反應變數(或稱依變數)間的函數關係，據以說明變數間的關聯性。迴歸分析法在大氣金屬腐蝕與腐蝕因子

關聯性分析上經常使用，例如：Mendoza (1999)<sup>[65]</sup>、Legault(1978)<sup>[66]</sup>、Pourbaix(1993)<sup>[67]</sup>、Morales(2007)<sup>[68]</sup>、Su (1988)<sup>[69]</sup>、Tsai (1993)<sup>[70]</sup>、Chou(2011)<sup>[71]</sup>、Lo (2014)<sup>[72]</sup>等。

迴歸分析的步驟如圖 6.1 所示。以下分別說明各步驟的主要內容：

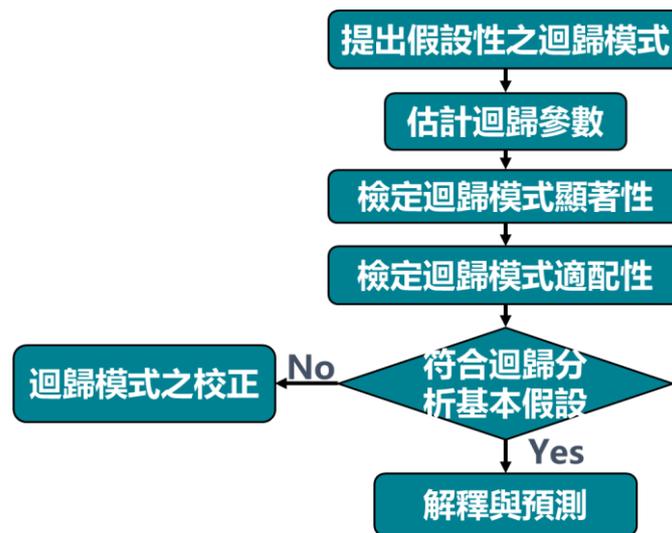


圖 6.1 迴歸分析的步驟

### 1. 提出假設性之迴歸模式

依照變數與變數之間的關係，針對問題選擇適當的反應變數與解釋變數，提出假設性的迴歸模式。

### 2. 估計迴歸參數

整理各變數的統計數據，據以配適一條迴歸方程式，估計模式中的迴歸參數。

### 3. 檢定迴歸模式的顯著性

顯著性檢定係在確定解釋變數與反應變數之間是否有顯著的線性關係，通常以 F 檢定值來檢定整個模式的顯著性，以 t 檢定值來檢定常數項與各解釋變數參數值的顯著性，並以 95% 為判斷是否具顯著性的顯著水準。

#### 4. 檢定迴歸模式的適配性

適配性檢定係在確定模式具有說明能力，迴歸模式的調整後判定係數  $R^2_{adj}$  表示模式可說明反應變數的變異比例， $R^2_{adj}$  值愈高代表模式可說明反應變數的變異量愈大。

#### 5. 確認迴歸模式的基本假設

在確認迴歸模式的顯著性與適配性之後，必須進一步確認迴歸模式是否符合迴歸分析之基本假設，包含常態性、均質性、獨立性和線性重合等基本假設。

常態性可利用常態機率圖(又稱 P-P 圖)作為判斷方法，當數據來自一個常態分配的母體時，在常態機率圖上殘差值的累積機率會約略呈現一條左下至右上的  $45^\circ$  直線。

均質性可由殘差與反應變數預測值之殘差圖(以下簡稱殘差圖)檢視。因為殘差是不可解釋的部分，如果模式符合均質性，則殘差圖應是沒有規則性的散佈，若殘差有一規則性，則應再將它抽離放在可解釋的部分。若殘差圖呈現非線性狀，表示模式中解釋變數與反應變數間的關係可能是非線性關係，若殘差圖呈現外張喇叭狀或大小不一狀，表示殘差可能不具有相同的變異數，違反均質性。

獨立性亦透過檢視殘差圖來判斷，如果模式符合獨立性，殘差彼此獨立、無自我相關問題，殘差圖應是沒有規則性的散佈，若數據是時間序列資料，則可再進行 DW 檢定。

線性重合問題可由變異數波動因數(variance inflation factor, VIF)檢視，通常 VIF 值大於 10 時，表示解釋變數間可能有高度線性重合的問題。

此外，在以殘差圖確認迴歸模式的基本假設時，亦會同時檢視離群值，避免模式受到極端值的影響而產生不妥當的迴歸模式，一般在迴歸分析時視 3 個標準差以上的數值為離群值。

## 6. 校正迴歸模式

若確認模式符合迴歸分析的基本假設，則完成模式的建置工作，可進行後續的解釋與預測工作，若不符合則需進行迴歸模式之校正。

### 6.2 迴歸分析

以下將運用本所大氣腐蝕調查得到的數據，以迴歸分析法建立大氣腐蝕劣化因子與碳鋼腐蝕速率間的迴歸模式。

#### 1. 提出假設性之迴歸模式

##### (1) 確定反應變數與解釋變數

建立迴歸模式的目的是說明大氣腐蝕劣化因子與碳鋼腐蝕速率間的關聯性，因此，模式中的反應變數為碳鋼腐蝕速率，解釋變數為大氣腐蝕劣化因子。

關於解釋變數的選擇，依據 CNS13401 選定溫度—濕度複合因子(濕潤時間百分比)、二氧化硫與氯鹽等 3 項為金屬的主要腐蝕因子，爰選擇濕潤時間百分比、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率 3 項因子為解釋變數；另考量臺灣位處季風地帶，前期研究指出冬天東北季風期之金屬腐蝕速率較夏季西南季風時高，因此再加入風速、風向 2 項解釋變數以評估季風對腐蝕的影響。

也就是說，迴歸模式中的反應變數為碳鋼腐蝕速率，解釋變數 5 項，分別是濕潤時間百分比、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、風速、風向，各變數說明如表 6-1。

表 6-1 迴歸模式變數說明

變數名稱	變數代號	單位	說明
碳鋼腐蝕速率	Fe <sub>corr</sub>	μ m/yr	反應變數
濕潤時間百分比	TOW	%	解釋變數
氯鹽沉積速率	Cl	mg/m <sup>2</sup> /day	解釋變數
二氧化硫沉積速率	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>2</sup> /day	解釋變數
風速	W <sub>s</sub>	m/s	解釋變數
風向	W <sub>d</sub>	0：東北風 1：西南風	解釋變數

註：風向資料原為 0~360 度的數值資料，為反應臺灣地區主要受到東北季風與西南季風影響，將風向資料簡化為東北風、西南風 2 項，改以指標變數 (indicator variable) 表示，0 表示東北風，1 表示西南風。

## (2) 資料說明

為說明目前大氣環境下臺灣地區碳鋼腐蝕速率與 5 項大氣腐蝕劣化因子間的關聯性，將以去年(2022 年)全臺 89 個大氣腐蝕試驗站的季資料為分析基礎。89 個試驗站的 4 季資料共計有 356 筆數據，扣除試樣遺失的 6 筆數據，共計有 350 筆數據。

各試驗站均有碳鋼腐蝕速率的現地試驗資料；部分試驗站無調查氯鹽沉積速率或二氧化硫沉積速率，在分析時引用鄰近試驗站的調查數據；各試驗站的濕潤時間百分比、風速、風向 3 項資料引用中央氣象署的鄰近氣象站資料，取各季平均值。

## (3) 模式假設

假設在真實情況下臺灣地區碳鋼腐蝕速率，主要受到濕潤度、氯鹽、二氧化硫、風速、風向等 5 項大氣腐蝕劣化因子影響；碳鋼腐蝕速率與 5 項大氣腐蝕劣化因子之間的關係是線性關係模式；且此一關係模式可以用本所在臺灣地區各試驗站的數據來推估。

令臺灣地區碳鋼腐蝕速率與 5 項大氣腐蝕劣化因子濕潤度、氯鹽、二氧化硫、風速、風向之迴歸模式為：

$$Fe_{corr} = b_0 + b_1TOW + b_2 Cl + b_3SO_2 + b_4W_S + b_5W_d + e \quad (6-1)$$

式中  $b_0$  為常數項， $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$ 、 $b_5$  為各大氣腐蝕劣化因子的迴歸參數。

## 2. 配適迴歸模式

### (1) 估計迴歸參數

以 2022 年 89 個試驗站的季資料 350 筆應用統計軟體 SPSS 22.0 進行迴歸分析、估計迴歸參數。配適得到線性迴歸模式如下：

$$Fe_{corr} = -32.551 + 1.761TOW + 0.822 Cl + 0.524SO_2 + 19.672W_S - 21.649W_d \quad (6-2)$$

線性迴歸模式的摘要表、變異數分析表與參數估計表，彙整如表 6-2。

表 6-2 線性迴歸模式

(a) 摘要表

模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
線性模式	0.731	0.535	0.528

(b) 變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	2411100.340	5	482220.068	79.171	0.000*
殘差	2095256.972	344	6090.863	-	-
總計	4506357.312	349	-	-	-

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

(c) 參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	-32.551	18.521	-1.758	0.080	-
TOW	1.761	0.264	6.676	0.000*	1.071
Cl	0.822	0.085	9.630	0.000*	1.082
SO <sub>2</sub>	0.524	0.043	12.224	0.000*	1.064
W <sub>s</sub>	19.672	3.806	5.169	0.000*	1.083
W <sub>d</sub>	-21.649	8.753	-2.473	0.014*	1.037

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

## (2) 檢定模式顯著性

由模式的 F 檢定值 = 79.171 ( $P = 0.000$ ) 達 95% 顯著水準，可知模式顯著；檢視各參數的 t 檢定值，資料顯示除常數項的 t 檢定值未達 95% 顯著水準，其他各解釋變數參數的 t 檢定值均達 95% 顯著水準，可知各解釋變數的影響亦均顯著。

常數項的 t 檢定未通過，顯示常數項  $b_0$  可能為 0。因此，另配適一個無常數項線性模式。以同樣 350 筆數據配適得到無常數項線性模式如下：

$$Fe_{\text{corr}} = 1.388TOW + 0.826 Cl + 0.531SO_2 + 16.063W_s - 26.741W_d \quad (6-3)$$

無常數項線性模式的摘要表、變異數分析表與參數估計表，彙整如表 6-3。

表 6-3 無常數項線性迴歸模式

(a)摘要表

模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
無常數項線性模式	0.909	0.826	0.824

(b)變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	10066737.940	5	2013347.588	328.563	0.000*
殘差	2114071.087	345	6127.742	-	-
總計	12180809.027	350	-	-	-

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

(c)參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
TOW	1.388	0.157	8.822	0.000*	4.570
Cl	0.826	0.086	9.644	0.000*	1.632
SO <sub>2</sub>	0.531	0.043	12.430	0.000*	1.128
W <sub>s</sub>	16.063	3.214	4.998	0.000*	4.446
W <sub>d</sub>	-26.741	8.285	-3.228	0.001*	1.490

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

無常數項線性模式的 F 值=328.563 (P=0.000)，各解釋變數參數的 t 值均達 95% 顯著水準，可知模式顯著、各解釋變數的影響亦均顯著。

### (3)檢定模式適配性

線性模式的  $R^2_{adj}=0.528$ ，表示模式中解釋變數能說明碳鋼腐蝕速率變異的 52.8%，基於本研究試驗站是設置在戶外，較易受地區環境不可控制因素影響，因此此一  $R^2_{adj}$  值達 50%，應屬可接受範圍。

另外，無常數項線性模式的  $R^2_{adj}=0.824$ ，表示模式中解釋變數能說明碳鋼腐蝕速率變異的 82.4%，顯示無常數項線性模式的

適配性高於線性模式( $R^2_{adj}=0.528$ )，因此，比較 2 模式的適配性，以無常數項線性模式較佳。

#### (4) 確認模式的基本假設

進一步確認迴歸模式是否符合迴歸分析之基本假設，包含常態性、均質性、獨立性和線性重合等基本假設，並一併檢視離群值。

常態性：由線性模式與無常數項線性模式的常態機率圖(圖 6.2)上各點分佈情形來看，2 圖形均略有偏離直線，判斷模式可能違反常態分配之假設。

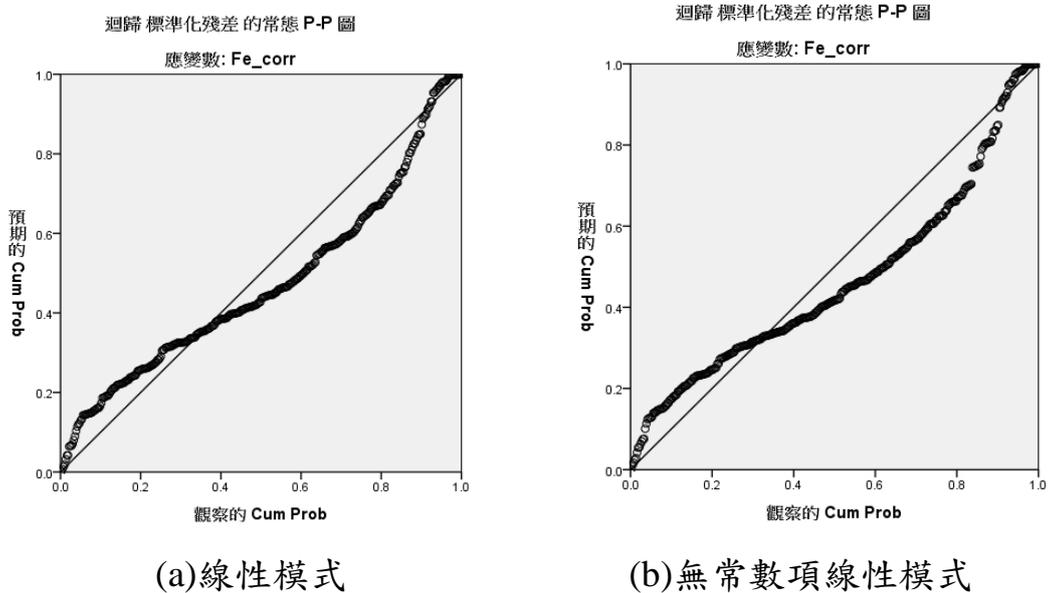
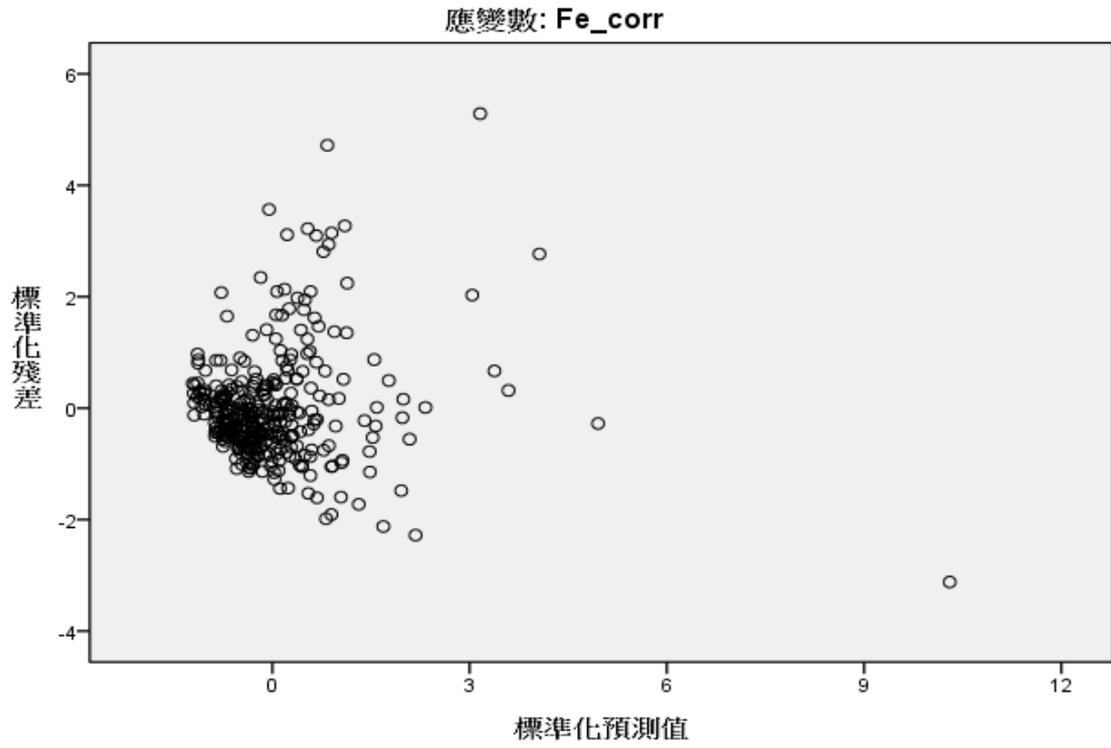
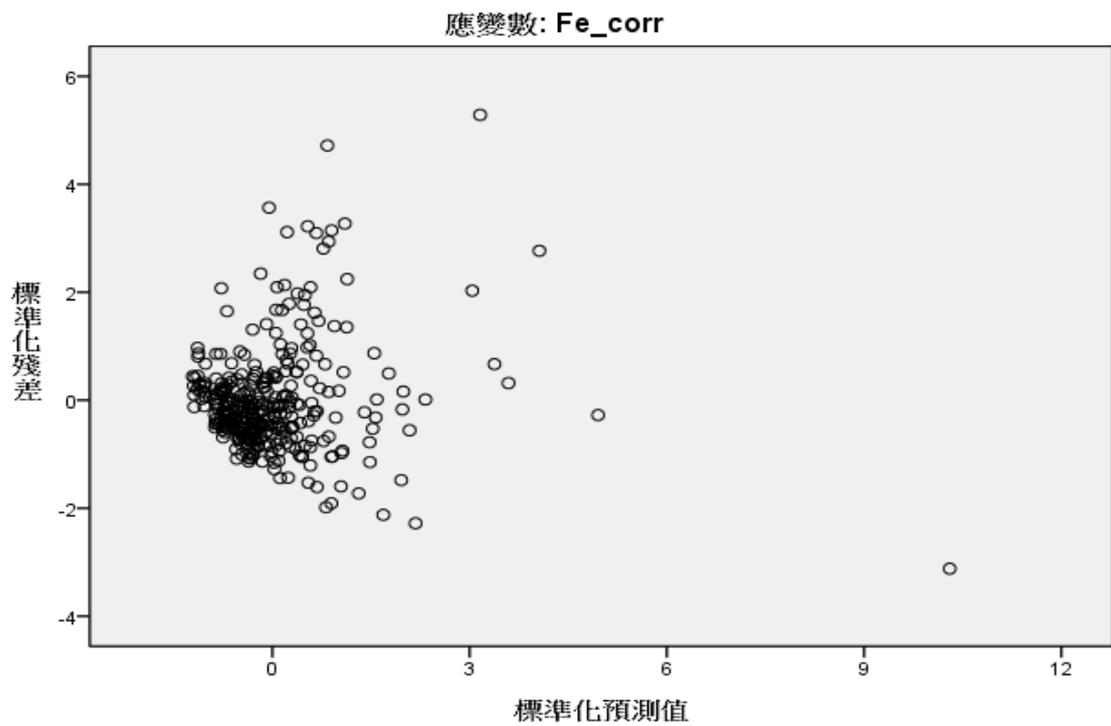


圖 6.2 線性模式與無常數項線性模式的常態機率圖

均質性：由線性模式與無常數項線性模式的殘差圖(圖 6.3)上各點分佈情形來看，2 者殘差圖均略有外張喇叭狀，判斷 2 模式可能違反變異數相同之均質性假設。



(a) 線性模式



(b) 無常數項線性模式

圖 6.3 線性模式與無常數項線性模式的殘差圖

獨立性：由 2 個模式的殘差圖(圖 6.3)上各點分佈情形來看，殘差值均隨機分布在 0 的中心線周圍，無明顯規律性，判斷殘差可能彼此獨立，無自我相關問題，另基於資料非時間序列資料，不再進行 DW 檢定。

線性重合：由 2 個模式中各解釋變數的 VIF 值均小於 10，判斷解釋變數間無高度線性重合問題。

離群值：2 個模式均有 9 個反應變數預測值在 3 個標準差之外。

### (5)綜合判斷

綜而言之，線性模式與無常數項線性模式 2 模式的顯著性檢定均通過；適配性以無常數項線性模式的適配性較高，線性模式亦達可接受範圍；但在基本假設方面，2 模式可能均違反迴歸分析常態性、均質性的基本假設。依此分析結果判斷配適的線性迴歸模式可能不太妥適，有需要進行模式校正，重新配適一個新的模式。

## 3.校正迴歸模式

經檢視殘差圖與常態機率圖，判斷建立的線性模式與無常數項線性模式 2 模式可能違反常態性與均質性的基本假設，在此嘗試進行模式轉換。

考慮到大氣腐蝕是一種水膜下的電化學反應，空氣中水分子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；濕潤時間是指能在金屬表面上產生水膜而發生腐蝕的時間，而氯鹽、二氧化硫、風速、風向等環境因子是在水膜產生後加速大氣腐蝕的因子。

並考慮到在 CNS13401 中建議由環境條件與暴露情境計算出適用於碳鋼腐蝕速率的公式為：

$$r_{\text{corr}}=1.77P_d^{0.52}\exp(0.02RH+f_{St})+0.102S_d0.62\exp(0.033RH+0.040T)$$
$$f_{St}=0.15(T-10)\text{當 } T\leq 10^{\circ}\text{C} ; \text{除此外}-0.054(T-10) \quad (6-4)$$

式中 rcorr 是碳鋼腐蝕速率；Pd 是二氧化硫沉積速率；Sd 是氯鹽沉積速率；RH 是相對濕度；T 是溫度。

此一公式顯示：在溫度、濕度為定值時，碳鋼腐蝕速率與氯鹽、二氧化硫沉積速率間的關係是線性關係；在氯鹽、二氧化硫沉積速率為定值時，碳鋼腐蝕速率與溫度、濕度間的關係是指數關係。

參考大氣腐蝕理論與上述公式所顯示碳鋼腐蝕速率與溫度、濕度、氯鹽、二氧化硫沉積速率，嘗試將腐蝕速率取對數值為反應變數，以氯鹽、二氧化硫、風速等 3 項腐蝕因子各取對數值為解釋變數，加上濕潤時間、風向 2 項既有解釋變數，建立一個新的對數線性迴歸模式，轉換後的模式如下：

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = b_0 + b_1 \text{TOW} + b_2 \ln(\text{Cl}) + b_3 \ln(\text{SO}_2) + b_4 \ln(\text{W}_s) + b_5 \text{W}_d + e \quad (6-5)$$

式中  $b_0$  為常數項， $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$ 、 $b_5$  為各解釋變數的迴歸參數。

估計迴歸參數後，配適得到對數線性模式如下：

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = 2.789 + 0.012 \text{TOW} + 0.231 \ln(\text{Cl}) + 0.24 \ln(\text{SO}_2) + 0.246 \ln(\text{W}_s) - 0.11 \text{W}_d \quad (6-6)$$

對數線性模式的摘要表、變異數分析表與參數估計表詳如表 6-4。

表 6-4 對數線性模式

(a)摘要表

模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
對數線性模式	0.751	0.564	0.558

(b)變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	76.255	5	15.251	89.040	0.000*
殘差	58.921	344	0.171	-	-
總計	135.176	349	-	-	-

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

(c)參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	2.789	0.110	25.437	0.000*	-
TOW	0.012	0.001	8.617	0.000*	1.044
ln(Cl)	0.231	0.018	12.507	0.000*	1.302
ln(SO <sub>2</sub> )	0.237	0.021	11.480	0.000*	1.119
ln(W <sub>S</sub> )	0.246	0.056	4.391	0.000*	1.236
W <sub>d</sub>	-0.110	0.047	-2.321	0.021*	1.078

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

### (1)檢定模式的顯著性、適配性

由模式的 F 檢定值=89.040( $P=0.000$ )，可知模式顯著；由各參數的 t 檢定值均達 95% 顯著水準，可知常數項不為零，各解釋變數對反應變數的影響均顯著。

由模式的  $R^2_{adj}=0.558$ ，表示模式中解釋變數能說明碳鋼腐蝕速率變異的 55.8%，基於本研究試驗站是設置在戶外，較易受地區環境不可控制因素影響，因此此一  $R^2_{adj}$  值達 50%，應屬可接受範圍。

### (2)確認迴歸分析的基本假設

接下來確認常態性、均質性、獨立性和線性重合等迴歸分析之基本假設。在常態性方面，由常態機率圖(圖 6.4)上各點分佈情形來看，圖形接似直線，推論模式無嚴重違反常態分配之假設；在均質性方面，由殘差圖(圖 6.5)上各點分佈情形來看，殘差隨機分布無明顯圖形，推論模式無嚴重違反變異數相同之假設；在獨立性方面，由殘差與預測值散佈圖(圖 6.5)上各點分佈情形來看，殘差隨機分布在 0 的中心線周圍，無明顯規律性，推論殘差可能彼此獨立，無自我相關問題；在線性重合方面，由各解釋變數的 VIF 值 $<10$ ，顯示解釋變數間無高度線性重合問題。此外，模式中有 2 個反應變數預測值在 3 個標準差之外的離群值。

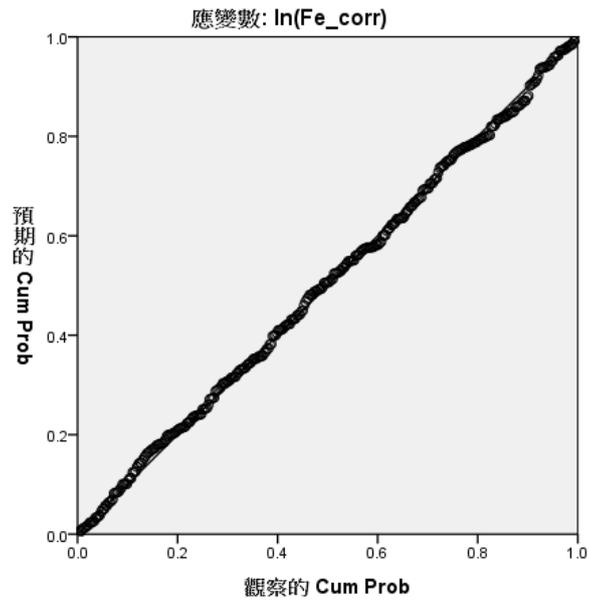


圖 6.4 對數線性模式的常態機率圖

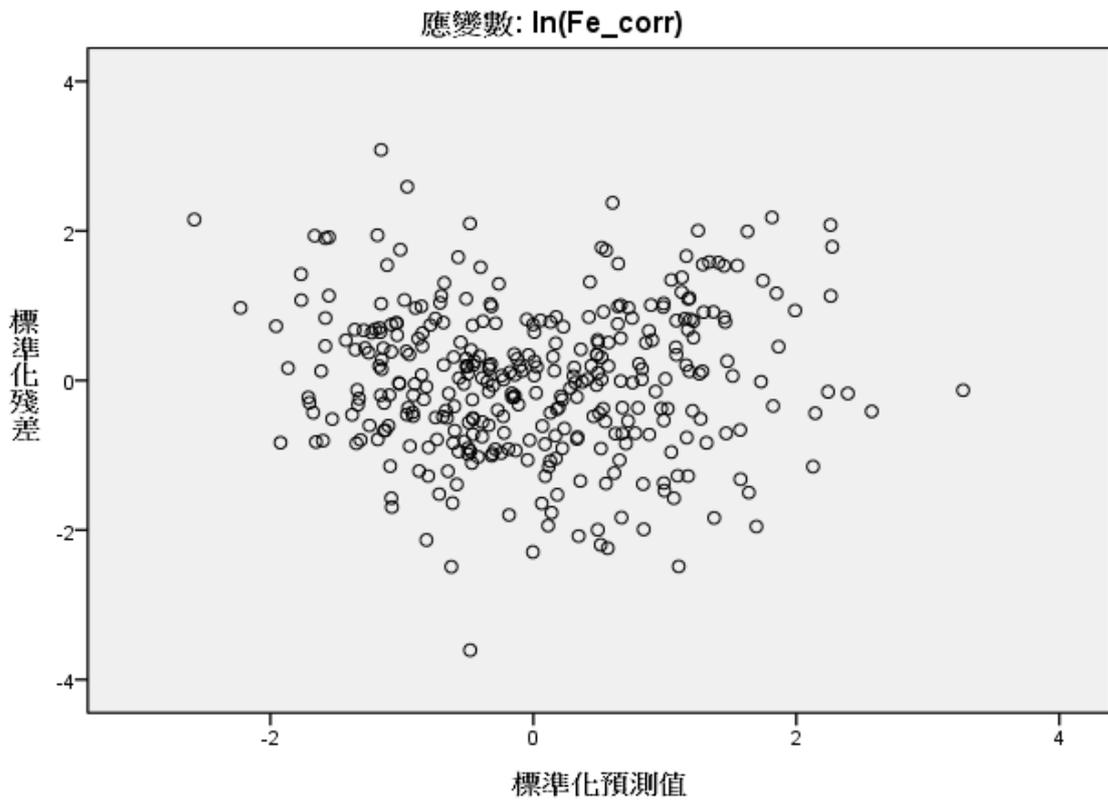


圖 6.5 對數線性模式的殘差圖

### (3)綜合判斷

綜而言之，對數線性模式的顯著性檢定通過，適配性達可接受範圍，並確認模式沒有嚴重違反迴歸分析基本假設的問題。關於模式有 2 項離群值的問題，基於試驗站是設置在戶外，調查到的數值較易受地區環境不可控制因素影響，為避免模式受到極端值的影響，將刪除 2 項離群值後，再次估計迴歸參數。

重新配適得到刪除離群值後的對數線性模式如下：

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = 2.798 + 0.012\text{TOW} + 0.233 \ln(\text{Cl}) + 0.240 \ln(\text{SO}_2) + 0.254 \ln(\text{Ws}) - 0.116\text{W}_d \quad (6-7)$$

刪除離群值後的對數線性模式摘要表、變異數分析表與參數估計表詳如表 6-5，常態機率圖、殘差圖如圖 6.6、圖 6.7。分析結果顯示：刪除離群值後之對數線性模式的顯著性檢定通過；適配性達可接受範圍且較原對數線性模式略高( $R^2_{\text{adj}} = 0.576$ )；常態機率圖上的圖形近似直線，殘差圖上各殘差值隨機分布無明顯圖形，且 VIF 值 $<10$ ，確認模式無違反迴歸分析之基本假設；模式亦無離群值。

**表 6-5 刪離群值之對數線性模式**

(a)摘要表

模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
對數線性模式	0.763	0.582	0.576

(b)變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	76.657	5	15.331	95.289	0.000*
殘差	55.026	342	0.161	-	-
總計	131.683	347	-	-	-

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

(c) 參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	2.803	0.106	26.327	0.000*	-
TOW	0.012	0.001	8.629	0.000*	1.045
ln(Cl)	0.234	0.018	13.060	0.000*	1.303
ln(SO <sub>2</sub> )	0.242	0.020	11.946	0.000*	1.120
ln(W <sub>S</sub> )	0.243	0.054	4.477	0.000*	1.234
W <sub>d</sub>	-0.129	0.046	-2.800	0.005*	1.080

註：符號「\*」表示顯著性  $P \leq 0.05$ ，達統計上 95% 顯著水準。

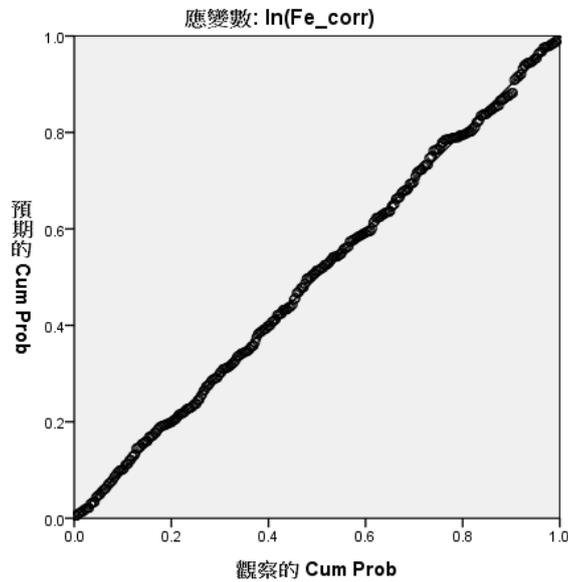


圖 6.6 刪離群值之對數線性模式的常態機率圖

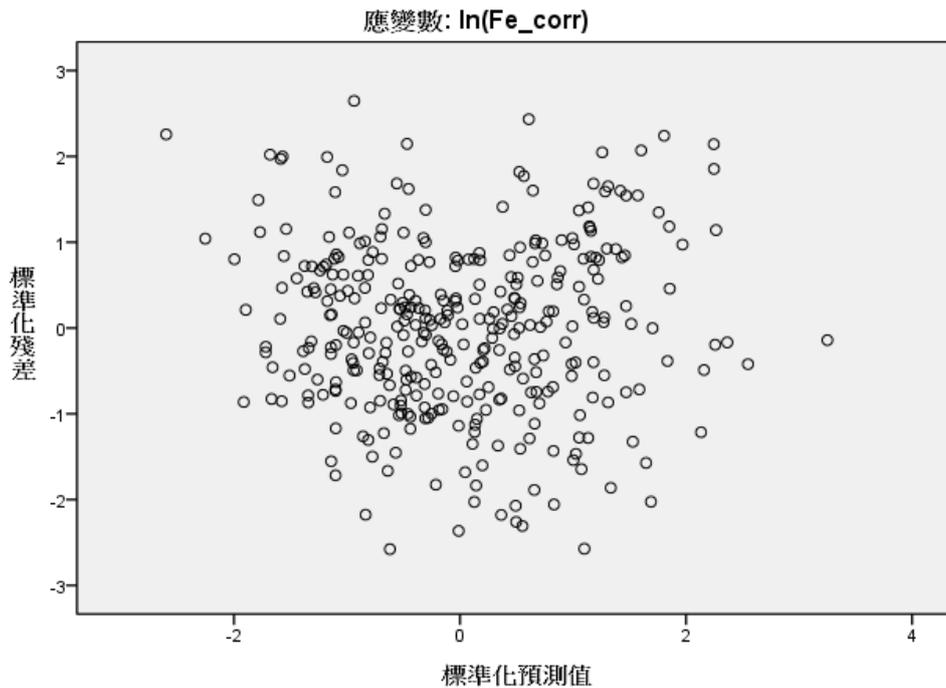


圖 6.7 刪離群值之對數線性模式的殘差圖

#### 4. 解釋與說明

迴歸分析結果顯示在臺灣地區目前的氣候條件與污染情境下，碳鋼腐蝕速率主要受到濕潤時間百分比、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、風速、風向等 5 項腐蝕因子的影響，碳鋼腐蝕速率與 5 項腐蝕因子間的關係是對數線性關係，關係模式如下：

$$\begin{aligned} \ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = & 2.798 + 0.012\text{TOW} + 0.233 \ln(\text{Cl}) + 0.240 \ln(\text{SO}_2) \\ & + 0.254 \ln(\text{W}_s) - 0.116\text{W}_d \end{aligned} \quad (6-6)$$

依此關係模式，5 項腐蝕因子的變動可說明碳鋼腐蝕速率變動的 57.6%。



## 第七章 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.臺灣大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗；2.港區水下腐蝕長期暴露試驗與海水水質調查；3.精進及擴充大氣與水下腐蝕資訊系統資料庫；4.碳鋼金屬腐蝕與環境因子關聯性分析之工作。

在此目標下，本計畫調查分析全臺各大氣腐蝕試驗站之氯離子、二氧化硫沉積量等大氣腐蝕劣化因子沉積速率、金屬螺旋試樣腐蝕速率，並調查分析各港區水下腐蝕試驗站各季海水水質與各年期金屬材料腐蝕速率，歸納整理數據並繪製比較圖，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。

### 7.1 結論

1. 在氯鹽沉積速率調查結果發現，4季中以秋、冬2季的氯鹽沉積速率較高，春、夏2季較低，較高的氯鹽沉積速率大多發生在秋、冬2季北部至西部沿海地區的試驗點；在距離海岸線較遠山區的氯鹽沉積速率最低，多在 $1\text{ mg/m}^2/\text{day}$ 以下，沿海地區以臺南、高雄沿海的氯鹽沉積速率較低；垂直海岸試驗線的平均氯鹽沉積速率以台塑六輕試驗線的氯鹽沉積速率在秋、冬2季明顯較其他試驗線高，基隆試驗線、臺中港試驗線及花蓮港試驗線次之。
2. 二氧化硫沉積速率調查結果發現，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，且以秋、冬2季較高；在特定試驗點調查結果發現，特定工業區以彰濱工業區、觀音工業區及官田工業區數值較高，在秋、冬2季的二氧化硫沉積速率達 $200\text{ mg/m}^2/\text{day}$ 以上，超過最高分類P3等級。

3. 垂直海岸試驗線各金屬腐蝕速率之比較，碳鋼金屬以西部至北部的基隆、桃園、臺中港、台塑六輕等 4 條試驗線試驗線的腐蝕速率較高，且以秋、冬 2 季較高；鋅金屬在基隆、桃園、臺中港、台塑六輕及花蓮港等 5 條試驗線的腐蝕速率均是秋、冬 2 季高且季節性差異大；銅金屬的腐蝕速率以臺塑六輕、臺中港 2 條試驗線較為嚴重；鋁金屬以西部的桃園、臺中港、台塑六輕等 3 條試驗線的腐蝕速率較高，且以秋、冬 2 季較高。
4. 在特定試驗點各金屬腐蝕速率之比較，碳鋼、鋅和鋁金屬以西部沿海電廠及工業區的腐蝕速率較南部沿海電廠及工業區高，且前者的秋、冬 2 季腐蝕速率明顯高於春、夏 2 季；銅金屬以台塑六輕工業區、彰濱工業區以及 4 個電廠的腐蝕速率較高；臺北市區與高鐵 3 個車站的腐蝕速率均相對較低。
5. 由各港區暴放 5 年後飛沫帶金屬暴露試驗結果，可發現碳鋼介於 376.2~183.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於臺北港，低碳鋼介於 335.3~177.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率亦發生於臺北港，不鏽鋼介於 2.01~0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於蘇澳港。
6. 由各港區暴放 5 年後潮汐帶金屬暴露試驗結果，可發現碳鋼介於 370.4~79.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於基隆港，低碳鋼介於 392.4~102.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率亦發生於基隆港，不鏽鋼介於 1.77~0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於高雄港 40 號碼頭。
7. 由各港區暴放 5 年後水中帶金屬暴露試驗結果，可發現碳鋼介於 304.1~101.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於基隆港，低碳鋼介於 426.7~77.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率也發生於基隆港，不鏽鋼介於 4.02~0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於花蓮港。
8. 由各港區暴放 5 年後碳鋼金屬暴露試驗結果，可發現飛沫帶最大腐蝕速率發生於臺北港 376.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，潮汐帶最大腐蝕速率發生於基隆港 370.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，水中帶最大腐蝕速率發生於基隆港 304.1  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。
9. 由各港區暴放 5 年後低碳鋼金屬暴露試驗結果，可發現飛沫帶最大

腐蝕速率發生於臺北港 335.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，潮汐帶最大腐蝕速率發生於基隆港 392.4  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，水中帶最大腐蝕速率發生於基隆港 426.7  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。

10. 由各港區暴放 5 年後不銹鋼金屬暴露試驗結果，可發現飛沫帶最大腐蝕速率發生於蘇澳港 2.01  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，潮汐帶最大腐蝕速率發生於高雄港 40 號碼頭 1.77  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，水中帶最大腐蝕速率發生於花蓮港 4.02  $\mu\text{m}/\text{yr}$ 。
11. 在碳鋼金屬與大氣腐蝕因子關聯性分析，運用迴歸分析法建立腐蝕因子與碳鋼腐蝕速率間的迴歸模式，結果顯示碳鋼腐蝕速率主要受到濕潤時間百分比、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、風速、風向等 5 項腐蝕因子的影響，兩者間是對數線性關係。

## 7.2 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。

## 7.3 研究成果之效益

1. 學術效益：
  - (1) 2023 年發行交通部運輸研究所專刊，出版「2022 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」1 冊。
  - (2) 在 2023 年 11 月 3 日「112 年度港灣環境資訊網使用者說明會」中簡報「臺灣腐蝕環境分類資訊系統介紹」。
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 90 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。

#### 7.4 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. 國內大氣腐蝕環境分類成果提供中華民國防蝕工程學會、台塑企業、中國鋼鐵、公路局、國道新建工程局、經濟部工業局、台灣高鐵、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. ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
2. 陳桂清、柯正龍、羅建明、羅俊雄，「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2009。
3. 陳桂清、柯正龍、羅俊雄、羅建明、陳新北、劉益雄、翁榮洲，「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究(1/2)」，交通部運輸研究所，2008。
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(1/4)」，交通部運輸研究所，2012。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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，2018。
11. 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，2019。
12. 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，2020。
13. 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，2021。

14. 羅建明、蔡立宏、張道光、莊凱迪、黃宇謙，「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，2022。
15. 羅建明、蔡立宏、賴俊呈、黃宇謙，「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，2023。
16. 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。
17. 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。
18. 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。
19. 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。
20. 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。
21. 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。
22. 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。
23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 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。
27. 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。
28. 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。
  29. 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。
  30. 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。
  31. 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。
  32. 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。
  33. 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。
  34. ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres –Guiding values for the corrosivity categories.
  35. ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
  36. ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
  37. Corvo F. Haces C, Betancourt N., et al., Atmospheric corrosivity in the Caribbean Area. *Corrosion Science*, 1997, 39(5): 823-833.
  38. 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.
  39. Morales J., Martin-Krijer S., Diaz F., et al., Atmospheric corrosion in subtropical areas: influences of time of wetness and deficiency of the ISO 9223 norm[J]. *Corrosion Science*, 2005, 47: 2005-2019.

40. 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.
41. ISO 9223/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
42. 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.
43. ISO 9224/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres –Guiding values for the corrosivity categories.
44. ISO 9225/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
45. ISO 9226/2012: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
46. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 2020.
47. ISO 8565/2011: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
48. 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。
49. 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。
50. 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。
51. 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。
52. 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。

53. Metals Handbook- Corrosion, Metals Handbook Ninth Ed., Vol. 13, ASM International, Ohio, 1988.
54. I. Odnevall and C. Laygraf, "Atmospheric corrosion", ASTM STP 1239, W.W. Kirk and Herbert, H. Lawson, Eds., Philadelphia, 1995.
55. "Outdoor atmospheric corrosion", ASTM STP 1421, H.E. Townsend Ed., West Conshohocken, PA, 2002.
56. K.O.Gray "Environment of Deep Ocean Test Site, U.S.Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note, N-657", p. 41, 1965.
57. W.Whitman, R.Russll, V.Altieri, "Industrial Engineering Chemistry", Vol.16, p. 665, 1924.
58. 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.
59. Uhlig H. H., "The Corrosion Handbook," (La Que), John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 387-388. 1948.
60. Samuel A. Bradford H.H. "Corrosion Control", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. 1993.
61. LaQue, F. L., Marine Corrosion cause and Prevention, John Wiley & Sons, New York, 1975.
62. P.R. Roberge, R.D. Klassen, & P.W. Haberecht, Atmospheric corrosivity modeling-a review. Materials and Design, 23, (2002) 321-330.
63. 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.
64. 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)

65. Mendoza, A.R., & Corvo, F. (1999). Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel. *Corrosion Science*, 41, 75-86.
66. 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.
67. M. Pourbaix, The Linear Bilogarithmic Law for Atmospheric Corrosion in Atmospheric Corrosion, W.H. Ailor, Ed., John Wiley & Sons, 1982.
68. J. Morales, F. Diaz, J. Hernandez-Borges, S. Gonzalez and V. Cano, *Corrosion Science*, 49 (2007) 526 ~ 541.
69. F.R. Su, Investigate the corrosion relationship of atmosphere and metal, National Taiwan University Department of Environmental Engineering Master's Thesis, 1988.
70. K.J. Tsai, "Electricity atmospheric corrosion testing and related materials database set up summary report", Industrial Technology Research Institute, Taiwan Power Research Institute, 1993。
71. 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)
72. 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.
73. 羅建明、陳桂清，「臺灣五大港區海水水質調查分析」，交通部運輸研究所，2003。

附錄一  
腐蝕速率試驗分析結果



### 基隆港區暴放5年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	KLS51	1107.8	625.3	482.5	350	7.85	297.2
		KLS52	1116.8	635.2	481.6	350	7.85	296.6
		KLS53	1118.8	601.6	517.2	350	7.85	318.5
	SS316L	KLS54	1148.3	1148.0	0.3	350	7.85	0.18
		KLS55	1140.8	1140.7	0.1	350	7.85	0.06
		KLS56	1148.4	1148.3	0.1	350	7.85	0.06
	SS400	KLS57	1117.2	602.9	514.3	350	7.85	316.8
		KLS58	1119.4	611.4	508.0	350	7.85	312.9
		KLS59	1116.5	612.8	503.7	350	7.85	310.2
潮汐帶	SM490A	KLT51	1119.7	549.4	570.3	350	7.85	351.2
		KLT52	1106.2	450.5	655.7	350	7.85	403.8
		KLT53	1089.2	511.2	578.1	350	7.85	356.0
	SS316L	KLT54	1149.7	1149.6	0.1	350	7.85	0.06
		KLT55	1145.6	1145.4	0.2	350	7.85	0.12
		KLT56	1147.4	1147.3	0.1	350	7.85	0.06
	SS400	KLT57	1111.2	400.6	710.6	350	7.85	437.7
		KLT58	1135.5	556.1	579.4	350	7.85	356.9
		KLT59	1107.8	486.3	621.5	350	7.85	382.8
水中帶	SM490A	KLW51	1122.7	717.2	405.5	350	7.85	249.7
		KLW52	1104.5	624.9	479.6	350	7.85	295.4
		KLW53	1098.6	502.4	596.2	350	7.85	367.2
	SS316L	KLW54	1153.8	1153.2	0.6	350	7.85	0.36
		KLW55	1147.7	1147.4	0.3	350	7.85	0.18
		KLW56	1149.9	1149.8	0.1	350	7.85	0.06
	SS400	KLW57	1103.5	497.5	606.0	350	7.85	373.3
		KLW58	1118.3	395.9	722.4	350	7.85	444.9
		KLW59	1125.6	375.8	749.8	350	7.85	461.8

### 臺北港區暴放5年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	TPS51	1122.1	559.9	562.2	350	7.85	346.4
		TPS52	1105.3	464.2	641.1	350	7.85	395.0
		TPS53	1098.1	518.2	579.9	350	7.85	357.3
	SS316L	TPS54	1152.5	1152.4	0.1	350	7.85	0.06
		TPS55	1160.0	1159.9	0.1	350	7.85	0.06
		TPS56	1149.7	1149.6	0.1	350	7.85	0.06
	SS400	TPS57	1122.7	601.0	521.7	350	7.85	321.5
		TPS58	1102.3	535.5	566.8	350	7.85	349.2
		TPS59	1113.9	479.3	634.6	350	7.85	391.1
潮汐帶	SM490A	TPT51	1116.1	579.8	536.3	350	7.85	330.4
		TPT52	1121.8	616.5	505.3	350	7.85	311.4
		TPT53	1117.0	586.5	530.5	350	7.85	326.9
	SS316L	TPT54	1152.1	1152.1	0.0	350	7.85	0.00
		TPT55	1145.6	1145.2	0.4	350	7.85	0.24
		TPT56	1145.0	1144.7	0.3	350	7.85	0.18
	SS400	TPT57	1132.9	655.0	477.9	350	7.85	294.5
		TPT58	1127.2	646.1	481.1	350	7.85	296.4
		TPT59	1125.1	662.7	462.4	350	7.85	284.9
水中帶	SM490A	TPW51	1110.9	923.7	187.2	350	7.85	115.3
		TPW52	1095.2	932.6	162.6	350	7.85	100.2
		TPW53	1094.7	925.4	169.3	350	7.85	104.3
	SS316L	TPW54	1150.9	1150.2	0.7	350	7.85	0.42
		TPW55	1158.1	1155.8	2.3	350	7.85	1.39
		TPW56	1141.5	1141.1	0.4	350	7.85	0.24
	SS400	TPW57	1123.9	946.7	177.2	350	7.85	109.2
		TPW58	1114.9	913.2	201.7	350	7.85	124.3
		TPW59	1122.0	941.0	181.0	350	7.85	111.5

### 蘇澳港區暴放5年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	SS51	1139.8	685.8	454.0	350	7.85	267.7
		SS52	1123.3	702.9	420.4	350	7.85	247.9
		SS53	1133.9	697.2	436.7	350	7.85	257.5
	SS316L	SS54	1154.6	1144.2	10.4	350	7.85	6.03
		SS55	1139.2	1139.2	0.0	350	7.85	0.0
		SS56	1138.0	1138.0	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	SS57	1119.5	672.8	446.7	350	7.85	263.4
		SS58	1127.5	701.0	426.5	350	7.85	251.5
		SS59	1187.0	691.4	495.6	350	7.85	292.2
潮汐帶	SM490A	ST51	1136.8	656.0	480.8	350	7.85	283.5
		ST52	1136.6	749.9	386.7	350	7.85	228.0
		ST53	1135.9	773.8	362.1	350	7.85	213.5
	SS316L	ST54	1144.1	1144.1	0.0	350	7.85	0.0
		ST55	1157.0	1157.0	0.0	350	7.85	0.0
		ST56	1157.5	1157.5	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	ST57	1149.3	739.9	409.4	350	7.85	241.4
		ST58	1125.2	678.8	446.4	350	7.85	263.2
		ST59	1119.1	726.9	392.2	350	7.85	231.3
水中帶	SM490A	SW51	1138.2	780.8	357.4	350	7.85	210.7
		SW52	1125.9	653.8	472.1	350	7.85	278.4
		SW53	1135.9	734.1	401.8	350	7.85	236.9
	SS316L	SW54	1136.6	1136.6	0.0	350	7.85	0.0
		SW55	1138.8	1138.8	0.0	350	7.85	0.0
		SW56	1134.9	1134.9	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	SW57	1120.4	719.9	400.5	350	7.85	236.2
		SW58	1127.7	729.5	398.2	350	7.85	234.8
		SW59	1111.0	713.0	398.0	350	7.85	234.7

### 花蓮港區暴放5年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	HLS51	1111.4	698.6	412.8	350	7.85	254.8
		HLS52	1121.5	708.9	412.6	350	7.85	254.7
		HLS53	1123.9	713.2	410.7	350	7.85	253.5
	SS316L	HLS54	1158.2	1157.9	0.3	350	7.85	0.18
		HLS55	1145.1	1144.8	0.3	350	7.85	0.18
		HLS56	1149.8	1149.6	0.2	350	7.85	0.12
	SS400	HLS57	1118.5	656.3	462.2	350	7.85	285.3
		HLS58	1113.1	678.7	434.4	350	7.85	268.2
		HLS59	1123.9	702.2	421.7	350	7.85	260.3
潮汐帶	SM490A	HLT51	1111.9	838.9	273.0	350	7.85	168.5
		HLT52	1109.1	833.3	275.8	350	7.85	170.3
		HLT53	1112.1	770.4	341.7	350	7.85	210.9
	SS316L	HLT54	1145.1	1142.9	2.2	350	7.85	1.32
		HLT55	1145.3	1144.8	0.5	350	7.85	0.31
		HLT56	1153.0	1153.0	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	HLT57	1124.2	738.8	385.4	350	7.85	237.9
		HLT58	1121.1	654.5	466.6	350	7.85	288.0
		HLT59	1123.2	624.1	499.1	350	7.85	308.1
水中帶	SM490A	HLW51	1120.4	723.3	397.1	350	7.85	245.1
		HLW52	1099.3	768.6	330.7	350	7.85	204.2
		HLW53	1116.3	805.3	311.0	350	7.85	192.0
	SS316L	HLW54	1153.7	1153.7	0.0	350	7.85	0.0
		HLW55	1151.2	1151.2	0.0	350	7.85	0.0
		HLW56	1172.5	1152.6	19.9	350	7.85	12.05
	SS400	HLW57	1126.3	714.1	412.2	350	7.85	254.5
		HLW58	1122.3	809.2	313.1	350	7.85	193.3
		HLW59	1143.5	892.0	251.5	350	7.85	155.3

### 臺中港區暴放3年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	TCS11	1148.1	833.9	314.2	350	7.85	336.1
		TCS12	1147.2	811.9	335.3	350	7.85	358.6
		TCS13	1154.0	837.1	316.9	350	7.85	339.0
	SS316L	TCS14	1166.5	1166.3	0.2	350	7.85	0.21
		TCS15	1164.6	1164.2	0.4	350	7.85	0.42
		TCS16	1174.9	1174.5	0.4	350	7.85	0.42
	SS400	TCS17	1117.6	794.1	323.5	350	7.85	346.0
		TCS18	1103.5	796.3	307.2	350	7.85	328.6
		TCS19	1116.0	788.0	328.0	350	7.85	350.8
潮汐帶	SM490A	TCT11	1138.0	994.4	143.6	350	7.85	153.6
		TCT12	1153.9	1013.8	140.1	350	7.85	149.9
		TCT13	1144.6	998.9	145.7	350	7.85	155.8
	SS316L	TCT14	1174.0	1172.7	1.3	350	7.85	1.37
		TCT15	1174.8	1173.0	1.8	350	7.85	1.89
		TCT16	1168.7	1166.9	1.8	350	7.85	1.89
	SS400	TCT17	1113.8	965.4	148.4	350	7.85	158.7
		TCT18	1105.3	948.6	156.7	350	7.85	167.6
		TCT19	1099.2	939.8	159.4	350	7.85	170.5
水中帶	SM490A	TCW11	1133.2	1021.6	111.6	350	7.85	119.4
		TCW12	1138.6	955.4	183.2	350	7.85	196.0
		TCW13	1155.3	1053.5	101.8	350	7.85	108.9
	SS316L	TCW14	1174.9	1164.1	10.8	350	7.85	11.36
		TCW15	1173.9	1167.7	6.2	350	7.85	6.52
		TCW16	1174.6	1169.1	5.5	350	7.85	5.79
	SS400	TCW17	1104.9	971.8	133.1	350	7.85	142.4
		TCW18	1117.0	849.4	267.6	350	7.85	286.2
		TCW19	1101.8	928.4	173.4	350	7.85	185.5

布袋港區暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
潮汐帶	SM490A	BDT51	1172.2	644.0	528.2	350	7.85	324.4
		BDT52	1159.1	638.9	520.2	350	7.85	319.5
		BDT53	1164.7	646.5	518.2	350	7.85	318.3
	SS316L	BDT54	1156.1	1155.9	0.2	350	7.85	0.12
		BDT55	1163.5	1163.1	0.4	350	7.85	0.24
		BDT56	1126.6	1126.3	0.3	350	7.85	0.18
	SS400	BDT57	1139.9	691.5	448.4	350	7.85	275.4
		BDT58	1137.8	722.0	415.8	350	7.85	255.4
		BDT59	1139.3	688.2	451.1	350	7.85	277.1
水中帶	SM490A	BDW51	1145.8	974.8	171.0	350	7.85	105.0
		BDW52	1153.4	969.8	183.6	350	7.85	112.8
		BDW53	1156.7	1013.8	142.9	350	7.85	87.8
	SS316L	BDW54	1136.3	1135.1	1.2	350	7.85	0.73
		BDW55	1151.3	1149.0	2.3	350	7.85	1.39
		BDW56	1149.4	1149.0	0.4	350	7.85	0.24
	SS400	BDW57	1136.0	913.7	222.3	350	7.85	136.5
		BDW58	1136.3	918.6	217.7	350	7.85	133.7
		BDW59	1139.3	917.9	221.4	350	7.85	136.0

### 安平港暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	APS51	1163.6	831.7	331.9	350	7.85	203.9
		APS52	1156.8	835.8	321.0	350	7.85	197.2
		APS53	1156.0	830.9	325.1	350	7.85	199.8
	SS316L	APS54	1187.4	1186.7	0.7	350	7.85	0.42
		APS55	1152.7	1152.1	0.6	350	7.85	0.36
		APS56	1147.6	1146.9	0.7	350	7.85	0.42
	SS400	APS57	1133.9	851.3	282.6	350	7.85	173.6
		APS58	1141.9	865.9	276.0	350	7.85	169.6
		APS59	1139.3	830.0	309.3	350	7.85	190.1
潮汐帶	SM490A	APT51	1172.6	808.5	364.1	350	7.85	223.7
		APT52	1166.2	857.5	308.7	350	7.85	189.7
		APT53	1161.5	797.0	364.5	350	7.85	224.0
	SS316L	APT54	1148.1	1147.2	0.9	350	7.85	0.54
		APT55	1138.8	1138.1	0.7	350	7.85	0.42
		APT56	1123.5	1123.1	0.4	350	7.85	0.24
	SS400	APT57	1141.1	884.1	257.0	350	7.85	157.9
		APT58	1136.2	840.9	295.3	350	7.85	181.5
		APT59	1144.1	756.1	388.0	350	7.85	238.4
水中帶	SM490A	APW51	1160.3	875.5	284.8	350	7.85	175.0
		APW52	1150.8	974.6	176.2	350	7.85	108.3
		APW53	1165.9	847.0	318.9	350	7.85	196.0
	SS316L	APW54	1126.0	1124.5	1.5	350	7.85	0.91
		APW55	1155.8	1154.4	1.4	350	7.85	0.85
		APW56	1132.2	1127.4	4.8	350	7.85	2.90
	SS400	APW57	1137.8	946.0	191.8	350	7.85	117.9
		APW58	1140.6	892.4	248.2	350	7.85	152.5
		APW59	1135.1	841.4	293.7	350	7.85	180.5

### 高雄港區 10 號碼頭暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	KA1S51	1173.3	575.3	598.0	350	7.85	366.1
		KA1S52	1154.0	626.4	527.6	350	7.85	323.0
		KA1S53	1142.1	521.0	621.1	350	7.85	380.2
	SS316L	KA1S54	1141.8	1141.5	0.3	350	7.85	0.18
		KA1S55	1123.9	1123.5	0.4	350	7.85	0.24
		KA1S56	1123.8	1123.4	0.4	350	7.85	0.24
	SS400	KA1S57	1144.0	590.2	553.9	350	7.85	339.1
		KA1S58	1140.5	608.7	531.8	350	7.85	325.6
		KA1S59	1139.3	632.4	506.9	350	7.85	310.3
潮汐帶	SM490A	KA1T51	1150.3	685.9	464.4	350	7.85	284.3
		KA1T52	1179.2	744.3	434.9	350	7.85	266.2
		KA1T53	1153.4	638.6	514.8	350	7.85	315.2
	SS316L	KA1T54	1150.2	1150.0	0.2	350	7.85	0.12
		KA1T55	1137.8	1137.5	0.3	350	7.85	0.18
		KA1T56	1124.6	1123.9	0.7	350	7.85	0.42
	SS400	KA1T57	1137.7	738.4	399.3	350	7.85	244.5
		KA1T58	1140.2	737.2	403.0	350	7.85	246.7
		KA1T59	1139.4	710.3	429.1	350	7.85	262.7
水中帶	SM490A	KA1W51	1179.8	741.9	437.9	350	7.85	268.1
		KA1W52	1161.8	939.4	222.4	350	7.85	136.2
		KA1W53	1163.9	889.6	274.3	350	7.85	167.9
	SS316L	KA1W54	1122.7	1122.5	0.2	350	7.85	0.12
		KA1W55	1136.3	1136.1	0.2	350	7.85	0.12
		KA1W56	1127.0	1126.8	0.2	350	7.85	0.12
	SS400	KA1W57	1137.9	927.0	210.9	350	7.85	129.1
		KA1W58	1140.3	908.4	231.9	350	7.85	142.0
		KA1W59	1133.5	884.4	249.1	350	7.85	152.5

### 高雄港區 40 號碼頭暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	KA2S51	1149.6	844.2	305.4	350	7.85	186.9
		KA2S52	1159.8	903.2	256.6	350	7.85	157.0
		KA2S53	1163.5	826.7	336.8	350	7.85	206.1
	SS316L	KA2S54	1145.1	1144.2	0.9	350	7.85	0.54
		KA2S55	1127.3	1126.0	1.3	350	7.85	0.78
		KA2S56	1127.6	1126.8	0.8	350	7.85	0.48
	SS400	KA2S57	1137.3	829.9	307.4	350	7.85	188.1
		KA2S58	1134.4	774.5	359.9	350	7.85	220.2
		KA2S59	1139.6	837.4	302.2	350	7.85	184.9
潮汐帶	SM490A	KA2T51	1157.1	779.9	377.2	350	7.85	230.8
		KA2T52	1169.8	801.9	367.9	350	7.85	225.1
		KA2T53	1161.5	667.4	494.1	350	7.85	302.4
	SS316L	KA2T54	1156.5	1153.2	3.3	350	7.85	1.99
		KA2T55	1155.6	1155.3	0.3	350	7.85	0.18
		KA2T56	1121.7	1116.5	5.2	350	7.85	3.13
	SS400	KA2T57	1138.9	820.0	318.9	350	7.85	195.1
		KA2T58	1143.6	819.1	324.5	350	7.85	198.6
		KA2T59	1135.8	768.6	367.2	350	7.85	224.7

### 高雄港區 75 號碼頭暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
潮汐帶	SM490A	KA3T51	1154.8	776.2	378.6	350	7.85	231.7
		KA3T52	1172.4	814.9	357.5	350	7.85	218.8
		KA3T53	1162.8	831.9	330.9	350	7.85	202.5
	SS316L	KA3T54	1122.8	1122.4	0.4	350	7.85	0.24
		KA3T55	1138.9	1138.5	0.4	350	7.85	0.24
		KA3T56	1139.5	1139.0	0.5	350	7.85	0.30
	SS400	KA3T57	1135.4	784.7	350.7	350	7.85	214.6
		KA3T58	1131.0	812.0	319.0	350	7.85	195.2
		KA3T59	1139.3	789.0	350.3	350	7.85	214.4
水中帶	SM490A	KA3W51	1152.8	732.1	420.7	350	7.85	257.4
		KA3W52	1148.7	833.6	315.1	350	7.85	192.8
		KA3W53	1168.7	834.8	333.9	350	7.85	204.3
	SS316L	KA3W54	1115.2	1109.3	5.9	350	7.85	3.55
		KA3W55	1122.9	1120.1	2.8	350	7.85	1.69
		KA3W56	1154.8	1153.7	1.1	350	7.85	0.66
	SS400	KA3W57	1139.0	785.2	353.8	350	7.85	216.5
		KA3W58	1136.9	823.6	313.3	350	7.85	191.7
		KA3W59	1132.2	820.3	311.9	350	7.85	190.9

### 金門港區料羅港暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
潮汐帶	SM490A	KRT51	1180.9	957.7	223.2	350	7.85	117.3
		KRT52	1177.9	947.3	230.6	350	7.85	121.2
		KRT53	1180.1	936.2	243.9	350	7.85	128.2
	SS316L	KRT54	1177.6	1177.3	0.3	350	7.85	0.16
		KRT55	1159.1	1158.6	0.5	350	7.85	0.26
		KRT56	1169.2	1168.8	0.4	350	7.85	0.21
	SS400	KRT57	1142.0	814.5	327.5	350	7.85	172.2
		KRT58	1144.6	815.1	329.5	350	7.85	173.2
		KRT59	1141.6	832.7	308.9	350	7.85	162.4
水中帶	SM490A	KRW51	1181.0	931.1	249.9	350	7.85	131.4
		KRW52	1181.4	863.0	318.4	350	7.85	167.4
		KRW53	1171.1	938.4	232.7	350	7.85	122.3
	SS316L	KRW54	1176.3	1176.2	0.1	350	7.85	0.05
		KRW55	1174.5	1174.3	0.2	350	7.85	0.10
		KRW56	1157.8	1157.7	0.1	350	7.85	0.05
	SS400	KRW57	1139.7	867.4	272.3	350	7.85	143.2
		KRW58	1141.0	771.2	369.8	350	7.85	194.4
		KRW59	1138.6	963.1	175.5	350	7.85	92.3

### 金門港區水頭港暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
潮汐帶	SM490A	KWT51	1180.2	967.2	213.0	350	7.85	112.0
		KWT52	1179.4	986.2	193.2	350	7.85	101.6
		KWT53	1182.3	966.5	215.8	350	7.85	113.4
	SS316L	KWT54	1159.0	1158.9	0.1	350	7.85	0.05
		KWT55	1175.3	1174.8	0.5	350	7.85	0.26
		KWT56	1152.7	1152.6	0.1	350	7.85	0.05
	SS400	KWT57	1140.7	929.7	211.0	350	7.85	110.9
		KWT58	1143.7	957.5	186.2	350	7.85	97.9
		KWT59	1140.1	935.7	204.4	350	7.85	107.5
水中帶	SM490A	KWW51	1181.7	889.7	292.0	350	7.85	153.5
		KWW52	1179.7	873.9	305.8	350	7.85	160.8
		KWW53	1179.2	873.7	305.5	350	7.85	160.6
	SS316L	KWW54	1158.9	1158.9	0.0	350	7.85	0.00
		KWW55	1175.2	1175.1	0.1	350	7.85	0.05
		KWW56	1175.4	1175.3	0.1	350	7.85	0.05
	SS400	KWW57	1140.1	803.6	336.5	350	7.85	176.9
		KWW58	1137.0	816.4	320.6	350	7.85	168.5
		KWW59	1141.6	819.0	322.6	350	7.85	169.6

馬祖福澳港暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
飛沫帶	SM490A	MS51	1117.5	648.2	469.3	350	7.85	260.3
		MS52	1126.1	673.5	452.6	350	7.85	251.1
		MS53	1101.5	610.6	490.9	350	7.85	272.3
	SS316L	MS54	1149.5	1149.5	0.0	350	7.85	0.0
		MS55	1147.5	1147.5	0.0	350	7.85	0.0
		MS56	1150.1	1150.1	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	MS57	1111.6	617.7	493.9	350	7.85	274.0
		MS58	1116.1	627.5	488.6	350	7.85	271.0
		MS59	1105.0	650.9	454.1	350	7.85	251.9
潮汐帶	SM490A	MT51	1113.4	902.8	210.6	350	7.85	116.8
		MT52	1113.3	880.6	232.7	350	7.85	129.1
		MT53	1111.4	916.4	195.0	350	7.85	108.2
	SS316L	MT54	1148.5	1148.5	0.0	350	7.85	0.0
		MT55	1150.5	1150.5	0.0	350	7.85	0.0
		MT56	1149.4	1149.4	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	MT57	1129.9	891.5	238.4	350	7.85	132.2
		MT58	1109.9	826.1	283.8	350	7.85	157.4
		MT59	1122.3	906.8	215.5	350	7.85	119.5
水中帶	SM490A	MW51	1113.3	693.9	419.4	350	7.85	232.6
		MW52	1113.8	756.3	357.5	350	7.85	198.3
		MW53	1117.0	767.5	349.5	350	7.85	193.9
	SS316L	MW54	1147.5	1147.5	0.0	350	7.85	0.0
		MW55	1146.8	1146.8	0.0	350	7.85	0.0
		MW56	1151.1	1151.1	0.0	350	7.85	0.0
	SS400	MW57	1130.0	763.4	366.6	350	7.85	203.3
		MW58	1103.8	760.6	343.2	350	7.85	190.4
		MW59	1135.9	763.4	372.5	350	7.85	206.6

澎湖龍門港暴放 5 年後腐蝕速率試驗分析結果

試片環境	試片材質	試片編號	原始重量 (g)	腐蝕後實際重量(g)	重量變化 (g)	表面積 (cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	腐蝕速率 (μm/year)
潮汐帶	SM490A	PHT51	1160.3	1040.4	119.9	350	7.85	73.4
		PHT52	1152.3	1043.8	108.5	350	7.85	66.4
		PHT53	1158.3	995.0	163.3	350	7.85	99.9
	SS316L	PHT54	1156.0	1154.8	1.2	350	7.85	0.72
		PHT55	1132.7	1131.6	1.1	350	7.85	0.66
		PHT56	1128.7	1127.7	1.0	350	7.85	0.60
	SS400	PHT57	1143.2	993.8	149.4	350	7.85	91.4
		PHT58	1137.0	955.6	181.4	350	7.85	111.0
		PHT59	1138.4	965.0	173.4	350	7.85	106.1
水中帶	SM490A	PHW51	1158.0	1024.2	133.8	350	7.85	81.9
		PHW52	1151.4	905.8	245.6	350	7.85	150.3
		PHW53	1162.3	1032.2	130.1	350	7.85	79.6
	SS316L	PHW54	1157.3	1157.0	0.3	350	7.85	0.18
		PHW55	1154.5	1149.9	4.6	350	7.85	2.77
		PHW56	1149.9	1149.6	0.3	350	7.85	0.18
	SS400	PHW57	1138.0	1037.6	100.4	350	7.85	61.4
		PHW58	1131.9	980.9	151.0	350	7.85	92.4
		PHW59	1132.1	1004.9	127.2	350	7.85	77.8

附錄二  
海水水質分析結果



基隆港區水質分析結果(暴放期間2016/9/26 - 2022/8/23)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/9/6	東 5 碼頭	0	30.4	43.90	27.30	3.22	7.72	15756	1903
		3	31.1	44.90	27.10	4.29	7.94	15772	1877
		6	31.5	45.40	26.90	4.85	8.00	16681	1976
	西 2 碼頭	0	30.2	43.70	26.90	3.45	7.65	16189	1921
		3	31.3	45.20	26.90	4.14	7.94	16182	1989
		6	31.6	45.50	26.70	4.85	8.00	16703	1995
	東 5 碼頭	0	29.5	42.80	26.20	4.33	7.80	14898	1772
		3	30.6	44.10	26.80	4.40	7.92	15786	1901
		6	31.6	45.50	26.90	5.05	8.03	16409	2009
	西 2 碼頭	0	30.7	44.40	26.90	4.31	7.87	16017	1908
		3	31.4	45.50	27.00	4.38	8.00	16218	1985
		6	31.7	45.70	26.90	5.01	8.05	16566	1922
2016/12/13	西 33 碼頭	0	29.7	43.60	22.60	7.47	8.03	15358	1920
		3	30.7	43.90	21.30	8.15	8.03	16045	1889
		6	31.2	44.30	21.10	8.36	8.11	15885	1852
	東 2 碼頭	0	28.3	41.00	21.50	7.07	7.86	14182	1714
		3	30.4	43.10	21.00	7.50	7.96	15788	1846
		6	30.8	43.40	20.70	7.65	8.00	17788	1865
2017/3/7	西 33 碼頭	0	29.7	39.00	17.30	8.72	7.72	15820	1931
		3	30.5	39.60	16.90	8.42	7.74	16900	2058
		6	30.5	39.50	16.80	8.42	7.77	16595	1986
	東 2 碼頭	0	24.5	32.50	17.00	7.39	7.86	12473	1601
		3	29.8	38.90	17.10	7.94	7.95	15582	1842
		6	30.3	39.50	17.10	8.23	8.03	16273	2015
2017/6/6	西 33 碼頭	0	23.1	50.14	25.90	5.92	7.90	14625	1762
		3	29.3	61.60	25.40	5.68	8.00	15973	1900
		6	30.2	63.00	24.90	6.04	8.00	16553	1996
	東 2 碼頭	0	21.7	49.27	25.60	-	7.50	17121	2016
		3	28.5	59.97	25.10	-	7.90	16441	1950
		6	29.4	60.72	24.80	-	8.00	16179	1904
2017/9/5	西 33 碼頭	0	29.1	63.62	27.60	5.33	8.32	15979	1881
		3	31.2	66.17	27.70	5.39	8.33	17724	2005
		6	29.2	62.71	27.60	5.43	8.31	15701	1937
	東 2 碼頭	0	29.3	46.21	27.70	3.33	8.04	15621	1970
		3	30.2	64.17	28.18	3.78	8.18	15522	1841
		6	31.1	65.77	27.80	4.55	8.24	16298	1898
2017/12/5	西 33 碼頭	0	-	41.62	19.90	7.43	7.94	14956	1834
		3	21.3	45.40	19.80	7.10	8.05	15210	1858
		6	22.3	47.59	19.70	7.14	8.07	15888	2035
	東 2 碼頭	0	-	35.68	19.38	6.78	7.93	13081	1664
		3	20.1	42.51	19.70	6.30	7.93	14538	1769
		6	22.5	47.50	19.80	6.50	8.04	15627	1957
2018/3/5	西 33 碼頭	0	36.0	69.50	17.60	7.00	8.10	17157	1957
		3	36.4	70.00	17.50	6.90	8.10	16392	1821
		6	36.9	71.10	17.30	7.00	8.10	16230	1840
	東 2 碼頭	0	30.9	61.45	18.43	6.00	8.00	16955	1897
		3	34.2	66.55	17.85	6.50	8.00	16755	1967
		6	35.5	68.70	17.10	6.60	8.00	16861	1915

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2018/6/4	西 33 碼頭	0	34.5	46.10	26.10	5.50	7.95	17558	1968
		3	35.8	47.30	26.50	5.80	8.00	18239	2044
		6	35.8	47.20	26.00	5.80	8.00	18154	2046
	東 2 碼頭	0	35.2	46.30	24.60	5.80	7.90	16533	1847
		3	35.6	46.80	25.50	5.30	7.90	17816	2034
		6	36.2	47.40	25.60	5.10	7.90	18244	2070
2018/9/3	西 33 碼頭	0	27.6	39.64	27.38	6.27	7.91	17873	1985
		3	27.1	42.95	28.63	5.79	7.98	17731	2017
		6	27.1	41.74	27.93	5.82	8.01	18262	2070
	東 2 碼頭	0	29.3	45.42	29.50	4.69	7.79	17918	2001
		3	27.4	42.37	28.30	5.28	8.00	18164	2099
		6	27.3	42.14	27.83	5.67	8.05	18326	2051
2018/12/3	西 33 碼頭	0	29.1	49.55	22.80	6.33	7.00	-	-
		3	29.0	54.83	21.78	7.43	7.01	-	-
		6	29.0	54.54	21.20	6.60	7.01	-	-
	東 2 碼頭	0	29.3	50.74	20.10	6.56	7.02	-	-
		3	30.6	52.22	21.98	6.01	7.04	-	-
		6	30.0	52.89	21.48	6.29	7.05	-	-
2019/3/4	西 33 碼頭	0	29.8	59.05	19.60	6.28	7.38	21409	2427
		3	31.1	62.51	19.70	6.35	7.47	16682	1937
		6	31.4	63.19	19.90	6.55	7.51	17157	1943
	東 2 碼頭	0	29.0	58.77	22.25	5.90	7.29	16934	1903
		3	31.3	62.47	20.00	5.75	7.43	15913	1830
		6	32.7	65.32	29.95	6.18	7.47	17816	2076
2019/6/4	西 33 碼頭	0	26.1	56.30	24.70	6.40	6.95	17952	1967
		3	26.1	56.39	25.30	6.26	6.96	17954	1961
		6	26.1	56.38	25.30	6.25	6.97	18005	1991
	東 2 碼頭	0	26.5	56.98	25.10	6.87	6.94	18001	2006
		3	28.6	60.72	25.45	6.02	6.97	17911	1943
		6	28.5	61.05	25.40	5.98	6.98	17686	1868
2019/9/9	西 33 碼頭	0	25.2	56.58	28.00	6.46	7.25	16693	1917
		3	27.5	59.51	28.10	6.21	7.31	16369	1909
		6	29.5	60.81	27.10	6.09	7.44	16019	1877
	東 2 碼頭	0	29.3	64.26	29.45	5.59	7.42	16895	1887
		3	30.6	65.17	27.93	6.68	7.48	17097	1859
		6	30.6	64.96	27.23	5.97	7.50	16724	1897
2019/12/3	西 33 碼頭	0	28.0	56.90	18.53	6.95	7.13	17680	1945
		3	29.1	58.81	19.31	6.53	7.27	20014	2112
		6	30.2	61.06	19.70	6.54	7.33	18201	1911
	東 2 碼頭	0	29.6	45.36	18.85	5.97	7.30	15306	1657
		3	29.1	59.00	18.70	5.98	7.46	15990	1740
		6	30.1	60.53	19.83	6.34	7.48	17732	1932
2020/3/2	西 33 碼頭	0	28.9	46.90	17.70	7.61	7.71	17466	2100
		3	28.7	46.50	17.80	7.49	7.68	17468	2110
		6	28.7	46.40	17.80	7.64	7.69	16800	1981
	東 2 碼頭	0	27.7	45.10	20.18	6.13	7.74	17211	1996
		3	29.6	44.35	18.00	6.90	7.73	17520	2041
		6	30.0	43.40	18.00	7.37	7.77	18297	2219
2020/6/1	西 33 碼頭	0	25.0	45.90	27.00	5.59	7.70	16662	1990
		3	27.3	49.70	27.13	5.50	7.63	17285	2041
		6	27.7	50.10	26.25	5.50	7.54	17305	2047

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/6/1	東 2 碼頭	0	26.7	48.40	25.15	5.91	7.60	18596	2158
		3	26.6	48.30	26.75	5.68	7.83	18689	2169
		6	29.5	52.80	26.10	5.58	7.70	22288	2620
2020/9/2	西 33 碼頭	0	29.8	45.50	28.70	5.29	7.77	-	-
		3	30.2	45.90	28.70	5.27	7.78	19688	2248
		6	30.6	46.50	28.50	5.57	7.81	18757	2164
	東 2 碼頭	0	27.7	42.50	29.20	4.46	7.57	17782	1911
		3	29.6	46.60	29.00	4.91	7.74	18702	2064
		6	30.0	45.60	28.70	5.07	7.76	19091	2121
2020/12/1	西 33 碼頭	0	18.8	30.40	21.50	6.46	7.95	9616	1185
		3	23.7	36.90	20.00	5.68	7.88	12556	1502
		6	28.4	43.70	19.80	5.23	7.84	15593	1823
	東 2 碼頭	0	17.8	28.70	19.60	6.52	7.93	8628	1075
		3	23.8	37.20	19.50	4.96	7.84	12593	1548
		6	26.1	40.50	20.00	4.64	7.81	14443	1713
2021/3/2	西 33 碼頭	0	26.9	41.70	16.80	6.65	7.52	15840	1876
		3	29.6	45.50	16.70	6.11	7.61	16180	1924
		6	31.6	48.20	16.80	6.10	7.65	17135	2037
	東 2 碼頭	0	23.7	37.00	16.48	7.10	6.90	12156	1482
		3	26.1	40.50	16.83	6.04	6.93	13686	1651
		6	31.1	47.70	17.00	5.96	6.94	16735	1983
2021/9/6	西 33 碼頭	0	31.7	49.70	-	-	7.60	15285	1728
		3	32.2	50.30	-	-	7.59	16330	1871
		6	32.5	50.80	-	-	7.60	18157	1929
	東 2 碼頭	0	29.2	46.40	-	-	7.62	14743	1724
		3	30.3	47.80	-	-	7.57	15207	1777
		6	32.8	51.20	-	-	7.58	16634	1837
2021/11/29	西 33 碼頭	0	31.4	47.80	23.10	8.39	7.24	10009	1280
		3	31.4	46.10	23.00	7.53	7.25	11150	1376
		6	32.8	47.50	22.60	7.63	7.08	16811	1991
	東 2 碼頭	0	31.3	46.50	23.40	7.82	7.26	15757	1864
		3	32.7	47.90	23.10	7.90	7.21	16607	1945
		6	33.3	48.50	22.80	8.02	7.27	16722	1955
2022/3/8	西 33 碼頭	0	29.0	40.40	19.90	7.38	7.81	14972	1738
		3	30.9	42.20	19.30	7.56	7.79	15594	1816
		6	31.6	43.10	19.40	7.77	7.76	16008	1866
	東 2 碼頭	0	27.8	38.70	19.50	7.05	7.86	13085	1579
		3	26.7	37.30	19.60	6.79	7.86	13570	1603
		6	31.8	43.50	19.50	7.37	7.81	16005	1864
2022/6/7	西 33 碼頭	0	30.2	45.90	24.50	6.97	7.57	15425	1981
		3	30.8	47.10	24.70	6.90	7.56	17123	2129
		6	33.1	50.60	25.00	6.97	7.57	16739	2096
	東 2 碼頭	0	29.3	44.70	24.50	6.34	7.63	14793	1908
		3	32.0	49.10	25.10	6.79	7.60	15206	1936
		6	33.0	50.50	25.20	6.89	7.56	17152	2131
2022/9/6	西 33 碼頭	0	27.6	45.90	28.50	5.74	7.60	14749	1714
		3	30.1	49.70	28.60	5.93	7.74	16668	1812
		6	31.6	51.70	28.30	6.15	7.91	19179	1872

註：- 為電極異常或水樣遺失，故無資料

臺北港區水質分析結果(暴放期間2016/9/26 - 2022/8/22)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/9/6	東 1 碼頭	0	31.9	45.50	24.50	6.62	8.07	16180	1940
		3	32.1	46.00	27.90	5.94	8.09	16906	2006
		6	31.9	45.70	28.40	5.82	8.09	16314	1962
	東 3 碼頭	0	31.7	45.60	27.50	6.48	8.10	16390	1926
		3	31.7	45.60	28.40	5.99	8.08	16054	1892
		6	32.0	46.10	28.40	5.66	8.07	16835	2019
2016/12/13	北 2 碼頭	0	30.1	44.70	24.80	8.32	7.83	15488	1819
		3	30.5	44.50	23.20	8.70	7.92	15664	1813
		6	30.6	44.40	22.50	8.76	8.00	16315	1843
	東 3 碼頭	0	30.5	44.20	22.30	8.80	8.02	15616	1839
		3	30.7	44.10	21.90	8.86	8.14	15442	1836
		6	30.8	44.10	21.70	8.86	8.15	16023	1899
2017/3/7	北 2 碼頭	0	30.5	39.20	16.50	9.61	7.95	16804	2032
		3	30.4	39.20	16.60	9.64	8.09	17452	2156
		6	30.4	39.30	16.70	9.57	8.12	17124	2064
	東 3 碼頭	0	30.4	39.30	16.60	9.67	8.08	17099	2072
		3	30.4	39.20	16.60	9.63	8.12	17194	2050
		6	30.4	39.30	16.70	9.62	8.14	17809	2262
2017/6/6	北 2 碼頭	0	25.3	56.20	27.01	6.89	8.00	14718	1804
		3	25.7	56.30	27.07	6.75	8.00	14739	1773
		6	26.6	57.09	26.80	6.89	8.00	14591	1774
	東 3 碼頭	0	26.5	58.50	27.50	6.80	7.90	14140	1690
		3	26.5	57.00	27.80	6.40	8.00	14809	1781
		6	27.6	59.00	26.50	6.30	-	14377	1726
2017/9/5	北 2 碼頭	0	25.3	57.18	28.60	6.54	7.95	16684	2022
		3	25.7	57.25	29.35	6.08	8.15	16409	1923
		6	25.9	57.46	28.60	5.99	8.19	16475	1925
	東 3 碼頭	0	25.6	57.35	28.90	6.43	8.23	16357	1905
		3	25.7	57.30	29.20	6.24	8.22	16311	1940
		6	25.9	57.60	29.00	6.19	8.21	16776	1967
2017/12/5	北 2 碼頭	0	20.9	45.07	19.70	7.96	7.97	21403	3415
		3	21.0	45.45	20.30	7.96	8.10	21646	3374
		6	21.2	45.62	20.40	7.89	8.11	21261	3210
	東 3 碼頭	0	21.3	45.86	20.10	7.92	8.11	21138	3757
		3	21.4	46.12	20.30	7.90	8.12	19984	3204
		6	21.5	46.16	20.30	7.88	8.11	20665	3205
2018/3/6	北 2 碼頭	0	29.1	60.50	17.00	8.30	8.20	16443	1897
		3	34.7	67.50	17.10	8.20	8.10	16343	1825
		6	34.8	67.70	17.10	8.10	8.10	15727	2059
	東 3 碼頭	0	33.3	64.90	17.30	8.20	8.20	16087	1798
		3	35.0	67.90	17.10	8.40	8.00	16025	1757
		6	35.1	68.10	17.10	8.60	8.20	16172	1919
2018/6/5	北 2 碼頭	0	33.1	44.90	26.60	6.40	7.80	18189	2023
		3	33.0	44.90	28.50	6.32	7.80	17931	2047
		6	33.2	45.00	28.10	6.20	7.80	17663	1997
	東 3 碼頭	0	33.6	45.50	27.60	6.30	7.90	18265	2111
		3	34.2	46.20	28.20	6.10	7.90	18211	2054
		6	34.7	46.60	27.90	7.10	7.90	18068	2038

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2018/9/4	北 2 碼頭	0	27.2	42.62	28.90	7.38	7.71	17214	1963
		3	27.2	42.65	29.20	7.38	7.87	16931	1908
		6	27.2	42.66	29.20	7.31	7.93	17040	1926
	東 3 碼頭	0	27.2	42.55	29.20	7.35	7.90	-	-
		3	27.3	42.90	29.20	7.42	7.95	-	-
		6	27.1	42.83	29.20	7.36	7.97	-	-
2018/12/4	北 2 碼頭	0	29.0	53.63	22.43	7.64	7.81	-	-
		3	28.8	53.01	22.93	7.48	8.10	-	-
		6	29.0	53.20	22.38	7.42	8.16	-	-
	東 3 碼頭	0	29.1	53.02	23.00	7.68	8.16	-	-
		3	28.7	53.23	22.10	7.30	8.17	-	-
		6	29.0	53.38	22.08	7.37	8.17	-	-
2019/3/5	北 2 碼頭	0	28.9	58.66	19.45	7.75	7.35	17815	2027
		3	29.1	59.14	19.80	7.62	7.54	17698	2033
		6	29.3	59.43	19.80	7.53	7.71	17137	1959
	東 3 碼頭	0	29.2	59.15	19.80	7.65	7.77	20216	2236
		3	29.4	59.55	19.85	7.64	7.86	21190	2350
		6	29.4	59.71	19.88	7.54	7.93	17990	2053
2019/6/4	北 2 碼頭	0	25.9	56.78	23.40	7.15	6.83	17976	1990
		3	25.0	55.10	26.50	6.70	6.97	19522	2168
		6	25.5	55.63	26.50	6.77	7.04	18156	2024
	東 3 碼頭	0	24.4	54.04	26.55	6.79	6.97	18638	2059
		3	24.7	54.65	26.70	6.49	6.97	18459	2096
		6	24.9	54.85	26.60	6.39	6.97	18845	2033
2019/9/10	北 2 碼頭	0	25.4	56.95	29.05	7.71	7.52	17504	1939
		3	25.9	57.44	29.10	7.70	7.53	18214	2069
		6	26.4	58.16	28.70	6.61	7.54	18690	2081
	東 3 碼頭	0	26.2	57.90	28.80	7.52	7.53	18842	2128
		3	26.7	58.69	28.80	7.31	7.56	17880	2048
		6	26.8	59.14	28.60	6.57	7.57	18369	2063
2019/12/3	北 2 碼頭	0	28.9	59.68	19.60	7.61	7.43	18974	2118
		3	30.0	61.20	20.20	7.33	7.52	18669	1995
		6	29.7	60.20	20.20	7.34	7.53	16848	2049
	東 3 碼頭	0	30.9	61.73	19.55	7.56	7.50	18704	2026
		3	31.3	62.66	20.10	7.37	7.58	19788	2286
		6	31.9	63.81	20.20	7.33	7.61	17228	1993
2020/3/3	北 2 碼頭	0	31.2	45.51	19.93	8.04	7.64	18867	2277
		3	31.2	46.88	18.20	8.17	7.62	18963	2260
		6	31.2	46.99	18.20	8.14	7.61	19289	2161
	東 3 碼頭	0	31.1	48.02	18.33	8.23	7.69	18950	2239
		3	30.9	48.24	18.30	8.26	7.65	18728	2176
		6	31.1	48.55	18.20	8.27	7.66	18725	2243
2020/6/2	北 2 碼頭	0	29.8	53.90	26.73	7.13	7.64	21176	2616
		3	29.7	53.70	27.80	7.41	7.78	19593	2338
		6	30.3	54.70	27.80	7.18	7.75	20517	2465
	東 3 碼頭	0	30.2	54.40	27.70	7.42	7.66	22577	2784
		3	30.5	54.90	27.90	7.78	7.83	19818	2701
		6	30.4	54.70	27.90	7.33	7.78	21193	2395
2020/9/2	北 2 碼頭	0	30.7	46.60	30.10	6.91	7.87	18474	2157
		3	30.7	46.70	29.90	7.03	7.86	18512	2162
		6	30.7	46.60	29.90	6.96	7.85	18828	2195

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/9/2	東 3 碼頭	0	30.7	46.70	29.80	6.95	7.90	18669	2230
		3	30.8	46.90	29.80	7.19	7.89	19272	2311
		6	30.8	46.80	29.70	7.19	7.88	19037	2135
2020/12/2	北 2 碼頭	0	32.1	48.00	20.58	6.13	8.10	17336	2002
		3	32.0	48.70	20.80	5.98	8.10	17679	2009
		6	32.0	48.60	20.90	5.92	8.10	17306	1980
2021/3/3	東 3 碼頭	0	31.9	48.50	16.82	7.14	7.87	17305	2033
		3	31.9	48.60	16.88	7.04	7.92	17908	2100
		6	32.0	48.70	16.90	7.03	7.95	17630	2075
2021/9/7	北 2 碼頭	0	33.4	52.10	-	-	7.66	20290	2228
		3	33.4	51.90	-	-	7.90	16945	1940
		6	33.5	52.10	-	-	7.82	16721	1913
	東 3 碼頭	0	33.5	52.10	-	-	7.74	16990	1862
		3	33.4	52.10	-	-	7.81	16576	1756
		6	33.5	52.10	-	-	7.82	16806	1772
2021/11/30	北 2 碼頭	0	33.9	49.40	23.00	8.53	7.19	16872	2004
		3	34.0	49.10	22.50	8.67	7.19	16278	1945
		6	34.0	48.90	22.40	7.64	7.23	16737	2015
	東 3 碼頭	0	34.0	49.20	22.90	8.62	7.16	16810	2000
		3	33.9	49.10	22.70	7.62	7.20	18621	2273
		6	33.9	48.80	22.40	8.66	7.22	18815	2113
2022/3/9	北 2 碼頭	0	33.9	47.00	20.70	7.00	7.75	17146	1967
		3	33.7	46.50	20.20	9.75	7.75	17345	1993
		6	33.6	46.30	20.10	9.71	7.78	17674	2022
	東 3 碼頭	0	32.9	45.60	20.20	8.75	7.79	16557	1909
		3	33.1	45.50	19.90	8.90	7.80	16991	1961
		6	33.3	45.60	19.90	8.95	7.82	17145	1957
2022/6/8	北 2 碼頭	0	29.5	46.00	25.40	7.85	7.71	14869	1998
		3	31.4	49.20	26.00	7.50	7.70	15449	2023
		6	32.0	50.10	26.20	7.54	7.70	15797	2062
	東 3 碼頭	0	28.6	44.60	25.40	8.35	7.73	13944	1625
		3	32.1	50.10	25.90	8.46	7.69	16433	1871
		6	33.0	51.70	26.20	8.24	7.71	16354	1885
2022/9/7	北 2 碼頭	0	32.9	53.70	28.30	7.12	7.84	17702	1879
		3	32.9	54.00	28.70	7.13	7.91	18108	1961
		6	32.8	54.10	28.90	7.05	7.82	19066	2016
	東 3 碼頭	0	32.7	53.70	28.80	6.96	7.86	16994	1815
		3	32.8	54.00	28.80	7.17	7.95	18273	1945
		6	32.9	54.20	28.90	7.35	7.96	19165	2079

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

蘇澳港區水質分析結果(暴放期間2016/6/23 - 2022/8/24)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/6/22	7 號碼頭	0	30.3	45.90	27.43	8.49	8.35	18091	2092
		3	30.6	46.30	27.95	8.55	8.29	17995	2050
		6	31.1	47.10	27.65	7.99	8.21	18723	2142
	10 號碼頭	0	30.2	45.80	28.00	7.37	7.95	20120	2273
		3	30.3	46.00	28.30	7.27	8.18	18725	2162
		6	31.6	47.80	27.83	6.90	8.20	18890	2147
	13 號碼頭	0	30.7	46.50	27.60	7.02	8.12	20821	2334
		3	31.0	47.00	27.30	6.72	8.20	17726	2044
		6	31.9	48.10	26.80	6.53	8.21	17962	2073
2016/9/22	7 號碼頭	0	29.3	42.50	25.70	7.20	7.99	15391	1827
		3	30.8	44.50	25.70	6.80	8.10	16110	1921
		6	30.6	44.30	25.50	6.70	8.07	15626	1877
	10 號碼頭	0	30.0	43.40	24.50	6.60	7.89	15921	1895
		3	30.3	44.00	25.50	6.20	8.00	15827	1936
		6	30.9	45.00	25.50	6.20	8.01	16263	1904
	13 號碼頭	0	29.9	43.70	25.40	6.90	7.98	15796	1868
		3	30.0	43.90	25.50	6.50	8.00	15272	1862
		6	30.3	44.40	25.50	6.50	7.89	15670	1893
2016/12/22	公務船渠	0	30.4	46.10	24.30	8.42	7.93	16052	1859
		3	30.8	46.30	24.00	8.37	7.81	15756	1787
		6	30.9	46.30	23.70	8.26	7.90	15907	1789
	6 號碼頭	0	29.8	45.60	24.60	8.55	7.91	15391	1773
		3	30.2	45.40	23.90	8.29	8.03	15599	1745
		6	30.3	45.40	23.60	8.33	8.06	15568	1772
2017/3/16	公務船渠	0	32.3	46.30	21.60	8.52	7.91	15867	1941
		3	32.1	46.10	21.80	8.62	7.87	17478	2115
		6	32.1	46.20	22.10	8.72	8.02	17667	2149
	6 號碼頭	0	29.6	43.00	21.90	9.23	7.97	17386	2093
		3	31.9	46.20	22.30	8.86	8.02	18109	2148
		6	32.0	46.20	22.50	8.75	8.04	18635	2238
2017/6/15	公務船渠	0	22.1	47.90	23.53	7.50	7.60	15925	1899
		3	27.9	59.40	24.85	7.21	7.95	16405	1976
		6	28.0	59.66	25.65	7.21	7.67	16347	1974
	6 號碼頭	0	26.5	56.90	24.70	6.78	7.90	15086	1794
		3	27.8	59.12	25.40	6.69	7.90	15747	1872
		6	28.4	60.20	25.50	6.77	8.07	16114	1904
2017/9/28	公務船渠	0	27.5	59.49	27.35	6.74	8.14	16539	1896
		3	28.4	61.06	27.40	7.03	8.21	16100	1908
		6	28.8	61.67	27.18	6.85	8.19	16354	1943
	6 號碼頭	0	26.4	57.79	27.20	7.87	8.13	19308	2235
		3	27.7	60.00	28.00	7.78	8.18	16057	1844
		6	27.9	60.32	27.75	7.29	8.18	16073	1847
2017/12/14	公務船渠	0	-	35.11	20.70	7.61	7.69	11307	1478
		3	20.1	44.19	21.78	7.04	7.90	11719	1486
		6	22.5	48.51	22.35	6.74	8.09	11179	1412
	6 號碼頭	0	-	42.20	21.60	8.67	7.80	10725	1452
		3	20.4	44.78	21.48	7.12	7.89	12848	1586
		6	21.4	50.31	22.15	6.91	7.97	13219	1873

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2018/3/15	公務船渠	0	29.6	51.12	21.30	8.11	7.90	16147	1819
		3	30.4	61.84	21.55	8.16	8.07	14475	1674
		6	31.4	63.82	22.10	7.91	8.12	16204	1821
	6 號碼頭	0	29.2	59.33	20.38	7.37	8.00	17051	1929
		3	30.1	61.34	21.80	7.17	8.08	18009	2061
		6	30.5	62.13	21.90	7.19	8.09	16626	1894
2018/6/14	公務船渠	0	30.6	45.70	23.70	7.94	7.88	17325	2001
		3	31.0	45.90	23.20	8.12	7.92	17243	1949
		6	30.9	46.70	24.50	8.06	7.90	17410	1976
	6 號碼頭	0	31.2	46.40	23.80	7.99	7.93	17248	1920
		3	31.2	46.60	23.70	8.03	8.01	17349	1931
		6	31.2	46.60	23.70	8.03	8.01	17349	1931
2018/9/13	公務船渠	0	26.4	40.49	27.40	7.03	7.95	16393	1898
		3	27.0	41.49	27.70	6.91	8.04	17042	1897
		6	27.8	42.43	27.53	6.59	8.08	16981	1880
	6 號碼頭	0	26.8	39.17	27.15	6.76	7.86	17320	1916
		3	26.9	41.01	27.40	6.21	8.02	16779	1908
		6	27.3	41.85	27.38	6.05	8.06	17457	1992
2018/12/13	公務船渠	0	29.5	46.70	21.60	7.54	7.85	17102	1975
		3	30.1	47.70	22.35	6.48	7.95	17080	1970
		6	29.3	42.77	21.60	7.81	7.92	15183	1798
	6 號碼頭	0	30.5	47.12	22.75	7.46	8.02	16933	1986
		3	31.0	48.00	22.61	7.32	8.05	17056	1977
		6	31.0	48.00	22.61	7.32	8.05	17056	1977
2019/3/14	公務船渠	0	23.7	50.33	22.50	7.58	7.17	16275	1894
		3	24.8	52.77	22.40	7.38	7.21	17164	1989
		6	25.0	53.29	22.60	7.21	7.22	17080	2032
	6 號碼頭	0	25.1	53.16	20.90	6.84	7.13	17361	2025
		3	25.1	53.31	22.03	6.52	7.19	17216	2001
		6	25.4	54.02	22.40	6.68	7.21	17132	1925
2019/6/13	公務船渠	0	27.0	39.74	25.18	7.13	7.40	16315	1834
		3	27.8	42.68	25.10	6.94	7.50	16828	1839
		6	26.1	38.23	24.70	7.28	7.41	18805	2081
	6 號碼頭	0	26.6	41.23	25.20	7.08	7.07	17555	2006
		3	28.4	42.60	25.20	7.03	7.48	17223	1904
		6	28.4	42.60	25.20	7.03	7.48	17223	1904
2019/9/5	公務船渠	0	33.3	50.51	26.70	7.03	6.98	15800	1964
		3	33.9	51.27	26.60	6.91	6.99	18377	2089
		6	33.7	47.98	25.40	7.29	7.50	17830	2028
	6 號碼頭	0	33.8	51.64	26.30	7.14	6.93	18203	2076
		3	33.6	52.53	26.40	7.21	6.95	18690	2062
		6	33.6	52.53	26.40	7.21	6.95	18690	2062
2019/12/12	公務船渠	0	24.4	44.21	21.40	7.69	7.16	16460	1856
		3	24.3	51.50	21.60	7.39	7.20	16648	1846
		6	24.1	53.03	21.70	7.11	7.29	15251	1810
	6 號碼頭	0	23.6	36.17	21.80	7.87	7.13	15622	1878
		3	23.8	49.22	21.60	7.62	7.14	17011	1924
		6	24.7	52.66	21.70	7.39	7.14	16697	2028
2020/3/12	公務船渠	0	30.2	47.60	20.00	7.43	7.85	18457	2120
		3	30.1	50.85	21.95	7.12	7.81	18872	2170
		6	27.5	51.50	22.30	6.90	7.86	18752	2168
	6 號碼頭	0	30.4	48.70	19.73	8.25	7.80	18434	2109
		3	30.7	49.30	20.93	7.80	7.75	18019	2108
		6	30.9	49.70	21.90	7.54	7.77	16231	1927

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/6/11	公務船渠	0	28.0	50.60	28.10	7.41	7.85	17773	2234
		3	30.7	54.90	27.70	6.96	7.82	19853	2470
		6	30.2	54.30	26.90	6.32	7.84	18792	2313
	6 號碼頭	0	28.4	51.20	27.13	8.01	7.85	20033	2518
		3	29.5	53.00	27.60	7.56	8.01	19285	2349
		6	30.6	54.70	27.20	6.82	7.92	20285	2387
2020/9/10	公務船渠	0	30.2	46.20	27.50	6.78	7.65	18644	1920
		3	30.9	47.10	27.83	6.39	7.74	18652	1920
		6	30.6	46.70	23.40	6.94	7.43	19449	2056
	6 號碼頭	0	30.8	47.00	27.20	5.64	7.61	19463	1932
		3	31.0	47.30	27.80	5.81	7.71	18259	1900
		6	31.0	47.30	27.80	5.81	7.71	18259	1900
2020/12/10	公務船渠	0	26.1	40.40	22.00	6.05	7.98	14511	1640
		3	27.3	42.10	22.90	5.64	7.97	14653	1709
		6	26.8	41.50	20.58	6.46	8.03	14517	1691
	6 號碼頭	0	27.8	43.00	22.90	6.13	8.05	14328	1795
		3	28.6	44.00	23.40	5.86	7.99	15774	1842
		6	28.6	44.00	23.40	5.86	7.99	15774	1842
2021/3/11	公務船渠	0	32.1	48.80	21.40	6.82	7.72	18094	2127
		3	32.4	49.10	21.40	6.68	7.78	19571	2278
		6	31.0	47.40	19.75	7.57	7.73	17360	2023
	6 號碼頭	0	31.5	48.00	21.13	6.66	7.79	19958	2310
		3	32.0	48.80	21.30	6.37	7.82	22916	2614
		6	32.0	48.80	21.30	6.37	7.82	22916	2614
2021/9/2	公務船渠	0	32.9	51.50	27.73	6.83	7.78	16347	1834
		3	33.3	51.90	28.20	7.03	7.76	17353	1875
		6	31.8	49.90	26.25	7.03	7.79	16011	1803
	6 號碼頭	0	32.5	50.90	27.80	7.50	7.79	16895	1886
		3	33.4	52.20	27.50	6.66	7.79	16975	1888
		6	33.4	52.20	27.50	6.66	7.79	16975	1888
2021/12/9	公務船渠	0	32.8	48.30	23.10	7.98	7.24	16247	1943
		3	32.9	48.50	23.20	8.02	7.13	16454	1959
		6	32.5	47.80	23.00	7.68	6.96	15954	2074
	6 號碼頭	0	32.6	48.20	23.30	7.94	6.99	16199	1952
		3	33.4	49.60	23.70	7.71	6.99	16708	2016
		6	33.4	49.60	23.70	7.71	6.99	16708	2016
2022/3/16	公務船渠	0	32.9	48.90	23.70	9.21	7.66	16352	1901
		3	33.9	50.40	23.80	8.83	7.65	16831	1929
		6	32.8	49.00	23.80	8.75	7.58	15895	1800
	6 號碼頭	0	34.5	51.10	23.70	8.64	7.57	17228	2005
		3	35.0	51.30	23.30	8.51	7.57	18426	2107
		6	35.0	51.30	23.30	8.51	7.57	18426	2107
2022/6/15	公務船渠	0	30.7	49.50	27.40	8.14	7.70	16451	2085
		3	33.0	52.30	27.70	8.18	7.69	16400	1909
		6	30.4	49.40	27.90	8.29	7.71	15142	2038
	6 號碼頭	0	32.0	51.30	27.30	8.31	7.72	16993	2164
		3	33.5	53.00	27.00	8.27	7.72	16999	2237
		6	33.5	53.00	27.00	8.27	7.72	16999	2237
2022/9/21	公務船渠	0	32.9	54.00	28.70	7.78	7.84	19082	1871
		3	33.2	53.90	28.30	7.55	7.86	19026	1912
		6	33.1	54.30	29.70	8.88	7.77	18919	1916
	6 號碼頭	0	33.2	54.40	28.70	8.69	8.01	19598	1973
		3	33.1	54.60	28.80	8.78	7.92	19334	1914
		6	33.1	54.60	28.80	8.78	7.92	19334	1914

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

花蓮港區水質分析結果(暴放期間2016/10/3 - 2022/8/25)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/9/21	4 號碼頭	0	27.1	40.10	26.00	7.20	7.96	13696	1669
		3	29.1	42.90	26.30	6.90	8.15	15012	1810
		6	29.7	43.70	26.60	6.70	8.15	15208	1882
	23 號碼頭	0	24.8	36.90	25.50	7.35	8.13	12562	1557
		3	28.8	42.40	25.90	7.10	8.16	14521	1803
		6	29.8	43.80	26.10	7.50	8.05	15243	1829
2016/12/21	4 號碼頭	0	29.8	45.90	24.90	8.92	8.21	15372	1750
		3	29.8	45.50	24.60	8.96	8.29	15754	1782
		6	30.7	46.70	24.40	8.83	8.26	15483	1777
	23 號碼頭	0	28.9	44.60	24.70	8.95	8.12	14901	1706
		3	29.8	44.80	24.30	8.77	8.21	15233	1739
		6	30.4	45.90	24.20	8.50	8.20	15530	1805
2017/3/15	4 號碼頭	0	32.1	-	22.50	8.66	8.06	16779	2134
		3	32.1	46.20	21.90	8.49	8.12	16565	2031
		6	32.5	47.40	22.60	9.05	8.18	16267	2016
	23 號碼頭	0	32.5	46.50	21.70	8.87	8.14	16767	2089
		3	32.3	47.00	22.50	8.59	8.18	16304	2026
		6	32.2	47.10	22.50	8.62	8.15	16362	2039
2017/6/14	4 號碼頭	0	22.5	49.50	26.00	6.89	8.08	14470	1740
		3	24.6	54.23	26.10	6.65	8.11	15910	1965
		6	25.2	54.93	26.20	6.56	8.13	16134	1934
	23 號碼頭	0	20.9	49.07	26.00	7.70	8.05	16212	1921
		3	23.5	52.41	26.00	7.36	8.11	18541	2184
		6	24.4	53.85	26.30	7.27	8.13	17751	2085
2017/9/27	4 號碼頭	0	25.6	56.51	27.60	7.43	8.12	16573	1930
		3	27.5	59.70	28.13	7.43	8.24	16568	1944
		6	29.2	62.03	27.53	7.23	8.26	15663	1858
	23 號碼頭	0	28.5	54.48	28.60	7.77	8.40	15234	1817
		3	26.7	58.56	29.35	7.68	8.34	15856	1856
		6	28.4	60.92	27.75	6.74	8.28	15501	1811
2017/12/13	4 號碼頭	0	22.4	47.71	21.30	7.62	8.12	16495	2074
		3	23.2	49.91	22.10	7.34	8.15	16253	1993
		6	23.4	50.42	22.50	7.32	8.15	16652	2136
	23 號碼頭	0	22.8	48.67	22.50	7.50	7.63	16548	2016
		3	23.7	50.99	22.70	7.45	8.07	16860	2021
		6	23.6	50.77	22.70	7.47	8.03	16638	1968
2018/3/14	4 號碼頭	0	30.8	62.96	21.70	7.84	8.24	15954	1756
		3	31.5	64.40	23.20	7.68	8.23	16358	1887
		6	32.5	66.10	23.40	7.51	8.22	16974	1848
	23 號碼頭	0	31.8	65.05	21.68	7.75	7.95	16439	1862
		3	32.7	66.32	23.60	7.64	8.09	16718	1877
		6	33.9	68.20	23.60	7.51	8.13	15044	1734
2018/6/13	4 號碼頭	0	27.6	59.75	27.75	5.95	8.03	17292	1911
		3	28.2	61.38	28.33	6.17	8.05	18388	2045
		6	28.6	61.98	28.50	5.95	8.03	17795	1964
	23 號碼頭	0	26.8	58.24	24.43	6.86	8.04	17789	2049
		3	27.3	59.70	27.65	6.76	8.07	17728	1990
		6	27.2	59.71	28.40	6.78	8.08	17526	1955

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2018/9/12	4 號碼頭	0	26.0	37.86	27.70	7.08	7.19	15700	1790
		3	26.2	39.94	27.68	7.09	7.21	15871	1814
		6	26.7	40.93	27.40	7.14	7.23	15928	1818
	23 號碼頭	0	27.0	36.36	28.00	6.98	7.20	16063	1816
		3	27.8	39.05	28.00	6.76	7.21	16284	1826
		6	27.7	40.69	27.15	6.55	7.22	16808	1860
2018/12/12	4 號碼頭	0	30.5	45.52	23.18	7.18	7.38	17470	2033
		3	30.5	46.41	23.30	7.12	7.43	16857	1969
		6	31.0	46.70	23.50	7.14	7.40	17243	1977
	23 號碼頭	0	30.9	46.66	21.93	7.41	7.45	17252	1976
		3	31.1	47.06	23.70	7.41	7.90	17221	1995
		6	31.0	47.03	24.15	7.41	8.03	17411	1970
2019/3/13	4 號碼頭	0	21.6	47.30	22.10	7.63	7.35	16696	1886
		3	21.7	47.66	22.80	7.45	7.36	16376	1837
		6	22.3	49.02	23.03	7.25	7.45	16536	1913
	23 號碼頭	0	23.0	49.91	20.17	7.91	7.32	16372	1907
		3	21.9	48.24	22.75	7.56	7.43	19128	2060
		6	22.8	49.97	23.05	7.46	7.47	17268	1998
2019/6/12	4 號碼頭	0	22.0	49.20	24.35	6.92	7.02	16928	1851
		3	23.2	53.64	25.40	6.61	7.29	17258	1873
		6	25.4	54.64	25.43	6.45	7.37	18142	1906
	23 號碼頭	0	23.9	52.67	24.35	6.97	7.41	18095	1954
		3	24.1	53.34	25.40	7.01	7.51	17739	1913
		6	23.5	41.99	26.40	7.56	7.08	18148	2035
2019/9/4	4 號碼頭	0	23.5	41.99	26.40	7.56	7.08	18148	2035
		3	24.2	53.68	27.30	7.18	7.35	15585	1783
		6	25.7	54.76	27.50	7.16	7.40	15994	1797
	23 號碼頭	0	26.5	58.45	24.35	7.66	7.80	16184	1852
		3	26.1	57.21	27.43	7.26	7.15	15711	1798
		6	28.4	59.43	27.80	7.08	7.21	16400	1858
2019/12/11	4 號碼頭	0	20.3	44.30	21.50	7.63	7.20	18042	2004
		3	19.8	43.57	21.70	7.76	7.34	17246	2010
		6	19.8	43.70	21.70	7.68	7.42	18585	1990
	23 號碼頭	0	19.7	43.76	22.20	7.80	7.13	15946	1952
		3	19.5	43.60	22.40	7.84	7.35	18546	2013
		6	19.6	43.76	22.50	7.92	7.42	18861	2292
2020/3/11	4 號碼頭	0	31.5	46.94	22.40	7.51	7.88	19354	2238
		3	31.3	47.02	23.13	7.07	7.87	19015	2244
		6	31.5	47.81	23.14	7.00	7.83	19335	2272
	23 號碼頭	0	31.5	47.34	22.15	7.68	7.92	19301	2268
		3	31.8	47.38	23.13	7.66	7.90	19448	2245
		6	31.6	47.41	23.40	7.71	7.91	19481	2257
2020/6/10	4 號碼頭	0	31.1	55.30	29.10	6.89	7.85	19517	2124
		3	31.0	55.20	28.65	6.77	7.89	20555	2407
		6	31.3	55.40	27.70	6.43	7.86	21362	2451
	23 號碼頭	0	31.3	55.60	27.55	7.20	7.81	18765	2066
		3	31.3	55.60	27.53	7.06	7.82	20628	2326
		6	31.3	55.70	27.20	6.93	7.89	20589	2458
2020/9/9	4 號碼頭	0	30.2	46.20	25.70	6.97	7.98	18089	2089
		3	29.3	44.90	28.43	6.69	7.93	17892	1949
		6	30.5	46.50	28.70	6.18	7.90	18449	2151

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/9/9	23 號碼頭	0	29.7	45.50	27.10	6.28	7.92	17865	1937
		3	30.1	46.00	29.30	6.44	7.91	18618	2147
		6	30.4	46.50	29.15	6.10	7.89	18984	2174
2020/12/9	4 號碼頭	0	31.9	48.50	22.70	6.30	8.04	17800	2031
		3	32.4	49.10	23.10	6.10	8.04	18059	2062
		6	32.5	49.30	23.10	6.05	8.05	17869	2050
	23 號碼頭	0	33.2	50.10	21.55	6.18	8.07	18993	2167
		3	33.2	50.20	23.90	5.97	8.08	18615	2151
		6	33.1	50.10	24.10	5.91	8.09	18075	2082
2021/3/10	4 號碼頭	0	32.9	49.80	21.65	6.68	7.04	18989	2218
		3	33.1	50.20	22.00	6.57	7.10	18905	2210
		6	33.1	50.20	22.40	6.46	7.12	18995	2221
	23 號碼頭	0	33.5	50.70	20.73	7.27	6.82	19560	2280
		3	33.4	50.50	22.68	7.04	6.93	18985	2216
		6	33.4	50.60	22.90	6.95	6.97	18578	2165
2021/9/1	4 號碼頭	0	32.6	51.10	27.73	7.40	7.83	16175	1764
		3	32.8	51.40	28.60	6.88	7.84	16609	1853
		6	33.3	52.00	27.25	6.09	7.85	16824	1823
	23 號碼頭	0	33.1	51.50	27.98	6.33	7.81	16521	1782
		3	33.7	52.30	28.30	5.87	7.85	18036	1878
		6	34.1	52.90	27.65	5.92	7.79	17476	2062
2021/12/8	4 號碼頭	0	31.8	47.80	23.90	8.52	7.49	16255	1947
		3	32.4	48.70	24.00	8.50	7.49	16413	1961
		6	33.4	50.30	24.30	8.53	7.55	16883	1949
	23 號碼頭	0	31.3	46.90	23.60	8.77	7.27	15944	1885
		3	31.1	46.60	23.70	8.87	7.21	15549	1879
		6	32.5	48.70	24.10	8.58	7.32	17702	2105
2022/3/15	4 號碼頭	0	30.9	48.20	25.80	12.98	7.64	15472	1814
		3	32.6	50.00	25.10	11.29	7.62	16396	1907
		6	33.0	51.10	25.70	9.58	7.62	16530	1913
	23 號碼頭	0	31.7	49.10	25.60	11.47	7.59	15254	1815
		3	33.9	51.50	25.00	10.35	7.60	16381	1913
		6	33.9	51.60	25.00	9.71	7.59	16313	1905
2022/6/14	4 號碼頭	0	29.4	49.30	29.30	7.87	7.87	16037	1867
		3	32.1	52.90	29.10	7.95	7.85	16258	2076
		6	33.1	54.20	28.40	8.03	7.86	17451	1993
	23 號碼頭	0	31.6	53.40	29.80	8.17	7.86	17769	2032
		3	33.6	55.20	28.90	8.08	7.84	17286	2281
		6	33.6	54.60	28.40	8.14	7.86	17420	2291
2022/9/20	4 號碼頭	0	33.4	54.40	28.30	8.20	8.00	19171	2033
		3	33.3	54.10	28.30	8.07	7.77	19223	1987
		6	33.5	54.50	28.40	8.05	7.95	19447	2082
	23 號碼頭	0	33.7	54.30	28.10	8.15	8.01	19176	2022
		3	33.6	54.40	28.00	8.16	7.81	19671	2127
		6	33.6	54.30	27.90	8.22	8.02	18980	1937

註：- 為電極異常或水樣遺失，故無資料

臺中港區水質分析結果(暴放期間2019/3/26 - 2022/8/19)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2019/3/25	1 號碼頭	0	29.0	45.28	20.85	8.01	7.40	18228	2044
		3	28.9	44.74	22.20	7.58	7.49	17392	2013
		6	29.1	45.06	22.40	7.52	7.35	15792	1820
	30 號碼頭	0	28.2	43.82	19.90	8.23	7.28	14724	1735
		3	28.2	43.68	21.48	7.70	7.42	17133	1955
		6	28.5	43.94	21.70	7.65	7.46	18430	2090
2019/6/24	1 號碼頭	0	23.5	53.39	27.90	6.51	7.57	16109	1703
		3	28.4	62.09	28.00	6.39	7.65	16248	1846
		6	27.3	59.45	28.10	6.73	7.65	16064	1870
	30 號碼頭	0	26.4	60.50	24.85	6.71	7.51	16485	1795
		3	28.1	59.53	26.90	6.95	7.39	15445	1654
		6	27.7	60.62	27.75	6.93	7.37	16599	1832
2019/9/23	1 號碼頭	0	29.0	44.58	25.53	6.75	7.39	17982	1992
		3	29.7	45.91	24.88	6.77	7.52	18031	2011
		6	29.4	45.52	24.60	6.79	7.55	18398	2010
	30 號碼頭	0	28.2	43.79	24.33	6.80	7.44	18501	2049
		3	28.3	43.84	24.50	6.82	7.47	18270	2013
		6	28.2	43.76	24.60	6.86	7.47	18452	2077
2019/12/23	1 號碼頭	0	22.1	34.99	20.53	8.10	7.13	17999	2179
		3	18.3	29.56	20.40	8.26	7.16	19476	2099
		6	16.5	26.93	20.40	8.34	7.18	18633	1984
	30 號碼頭	0	23.9	37.83	20.30	8.10	7.33	17910	2145
		3	23.2	36.36	20.30	8.07	7.35	19031	2085
		6	23.2	36.63	20.30	8.08	7.37	17541	2057
2020/3/23	1 號碼頭	0	31.8	46.26	23.40	8.10	7.66	18778	2593
		3	31.8	46.39	23.30	8.06	7.70	20001	2134
		6	31.8	47.17	23.30	8.03	7.74	19590	2176
	30 號碼頭	0	31.7	41.01	23.30	8.01	7.78	22210	2492
		3	31.8	41.49	23.20	8.13	7.79	19183	2155
		6	31.7	42.45	23.20	8.16	7.85	18756	2184
2020/6/22	1 號碼頭	0	30.6	55.40	29.50	5.94	7.74	18782	2582
		3	30.6	55.30	29.40	5.92	7.72	18732	2105
		6	30.8	55.80	29.33	5.98	7.70	19235	2179
	30 號碼頭	0	30.8	55.80	29.20	6.06	7.74	19469	2720
		3	30.9	56.00	29.30	5.98	7.71	19239	2255
		6	30.8	55.60	29.30	6.01	7.80	19302	2179
2020/9/21	1 號碼頭	0	31.2	47.40	29.20	5.61	7.90	18353	1889
		3	31.1	47.30	29.20	5.68	7.92	18590	1845
		6	31.2	47.50	29.20	5.71	7.96	18383	1856
	30 號碼頭	0	31.0	47.30	28.80	6.00	7.96	18486	1897
		3	31.1	47.40	29.00	5.84	7.97	18418	1844
		6	31.1	47.40	29.10	5.76	8.01	18686	1900
2020/12/21	1 號碼頭	0	32.4	48.90	18.10	6.90	8.06	18453	2145
		3	32.3	49.10	18.30	6.83	8.04	17998	2432
		6	32.3	48.90	18.30	6.83	8.05	18616	2141
	30 號碼頭	0	32.2	48.80	18.00	6.85	8.06	17722	2051
		3	32.2	48.90	18.20	6.85	8.07	17940	2103
		6	32.2	48.90	18.20	6.88	8.07	17451	2015

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2021/3/22	1 號碼頭	0	33.4	50.60	19.08	6.77	8.10	18555	2111
		3	33.4	50.40	19.40	6.68	8.14	18723	2137
		6	33.5	50.70	19.60	6.60	8.27	19020	2165
	30 號碼頭	0	33.4	50.70	18.90	6.84	7.83	19072	2171
		3	33.4	50.50	19.30	6.79	8.00	18905	2157
		6	33.4	50.60	19.40	6.78	8.10	18244	2138
2021/9/22	1 號碼頭	0	33.8	57.10	30.50	8.05	7.41	16741	1928
		3	33.7	57.10	30.70	8.03	7.43	19386	2134
		6	33.8	57.30	30.70	7.98	7.43	23268	2364
	30 號碼頭	0	33.9	56.70	30.00	8.19	7.55	16916	1874
		3	33.8	57.10	30.50	8.23	7.55	18547	2051
		6	33.8	57.20	30.70	8.21	7.55	17651	1950
2021/12/20	1 號碼頭	0	34.7	47.60	20.00	9.16	7.42	18649	2142
		3	34.0	46.60	19.90	9.22	7.27	18763	2144
		6	34.2	46.80	19.90	9.15	7.39	17932	2018
	30 號碼頭	0	33.8	46.30	20.00	9.21	7.48	18298	2122
		3	33.7	46.20	19.90	9.31	7.44	18361	2131
		6	33.8	46.20	19.80	9.39	7.55	18332	2130
2022/3/4	1 號碼頭	0	32.8	45.60	20.40	9.43	7.51	16283	1888
		3	33.5	46.50	20.40	9.22	7.54	16806	1956
		6	33.6	46.70	20.60	9.29	7.51	17085	1970
	30 號碼頭	0	32.6	46.00	21.10	9.08	7.75	16778	1974
		3	33.3	46.40	20.60	9.20	7.75	16376	1930
		6	33.4	46.60	20.60	9.22	7.79	16942	1968
2022/6/27	1 號碼頭	0	32.7	55.40	30.50	7.33	7.65	16128	2064
		3	33.1	56.00	30.60	7.34	7.66	16036	2006
		6	33.0	55.80	30.50	7.37	7.66	17971	2214
	30 號碼頭	0	32.9	55.60	30.40	7.43	7.65	16393	2093
		3	33.0	55.80	30.50	7.19	7.63	16156	2034
		6	33.2	56.10	30.40	7.15	7.64	16992	2127
2022/9/12	1 號碼頭	0	33.6	53.50	27.40	7.49	7.99	18018	1860
		3	33.6	53.60	27.40	7.55	8.10	18468	1905
		6	33.5	53.40	27.40	7.58	8.08	18328	1848
	30 號碼頭	0	33.5	53.00	26.90	7.55	8.03	18160	1893
		3	33.6	53.40	27.00	7.64	8.12	19319	1836
		6	33.5	53.40	27.10	7.56	8.15	20750	1927

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

布袋港區水質量測分析結果(暴放期間 2016/9/5 - 2022/8/8)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/9/5	東 3 碼頭	0	25.7	38.40	30.35	-	8.24	13698	1763
		3	28.5	42.20	29.40	-	8.24	15547	1968
2016/12/27	東 3 碼頭	0	31.2	44.60	23.90	9.00	7.94	15864	1868
		3	31.4	44.80	24.00	8.40	8.07	15560	1797
2017/3/30	東 3 碼頭	0	30.9	61.51	23.95	7.65	7.84	16920	2096
		3	33.2	67.42	22.50	7.50	8.12	16735	2021
2017/6/19	東 3 碼頭	0	-	42.66	27.50	6.94	7.80	12752	1582
		3	22.9	52.25	27.60	5.69	7.96	14703	1812
		6	22.1	50.40	27.80	5.39	7.98	14233	1721
2017/9/18	東 3 碼頭	0	22.6	52.24	30.10	6.63	8.30	16203	1911
		3	23.1	53.60	30.10	6.60	8.30	16919	1963
2017/12/18	東 3 碼頭	0	22.5	46.50	17.53	8.55	8.00	16502	1949
		3	23.2	47.70	17.50	8.48	8.10	15910	2003
2018/3/19	東 3 碼頭	0	30.2	62.11	24.85	7.48	7.83	16398	1853
		3	31.2	63.84	24.33	7.42	8.03	16464	1825
2018/6/19	東 3 碼頭	0	29.3	41.00	23.50	7.98	7.98	15428	1759
		3	29.3	43.40	23.20	8.04	7.96	16415	1896
		6	28.2	41.60	22.70	8.06	7.99	15441	1784
2018/9/17	東 3 碼頭	0	28.6	45.30	30.20	7.85	7.92	16180	1913
		3	28.9	45.70	30.30	7.85	7.93	16659	1915
2018/12/17	東 3 碼頭	0	29.5	72.20	20.70	8.00	7.00	18240	2045
		3	30.2	75.30	19.60	8.00	7.00	19115	2227
2019/3/18	東 3 碼頭	0	24.6	52.12	21.95	7.59	7.17	17438	2021
		3	24.7	52.24	21.50	7.39	7.24	17308	2506
2019/6/24	東 3 碼頭	0	24.7	56.10	25.06	6.65	7.40	16876	1888
		3	24.1	54.63	28.85	5.72	7.52	18159	2025
		6	24.7	55.76	29.08	4.26	7.57	17236	1925
2019/9/18	東 3 碼頭	0	20.6	49.04	29.65	6.69	7.65	17532	1934
		3	20.8	49.30	29.50	6.95	7.67	17896	1980
2019/12/16	東 3 碼頭	0	29.0	41.31	21.18	7.98	6.87	18153	2042
		3	27.2	38.43	20.60	8.34	6.85	13882	1638
		6	27.3	38.47	20.30	8.19	6.86	18066	2114
2020/3/18	東 3 碼頭	0	31.8	49.40	21.66	7.93	7.82	19422	2294
		3	31.7	51.53	22.20	7.73	7.82	19128	2238
2020/6/17	東 3 碼頭	0	30.7	56.00	25.50	7.50	7.72	20439	2823
		3	30.7	55.70	29.20	6.56	7.75	19054	2381
2020/9/16	東 3 碼頭	0	30.6	46.60	27.90	7.44	7.96	19163	2297
		3	30.6	46.60	29.60	7.42	7.96	19127	2219
2020/12/16	東 3 碼頭	0	32.0	48.60	20.30	6.86	7.98	17755	2065
		3	32.1	48.70	20.70	7.06	8.00	17260	1916
		6	32.2	48.80	20.70	6.99	8.00	17803	2067
2021/3/17	東 3 碼頭	0	33.5	50.60	22.23	6.76	7.79	22907	2607
		3	33.6	50.90	21.43	6.90	7.91	19954	2310
		6	33.7	50.90	-	-	-	19324	2248
2021/9/13	東 3 碼頭	0	32.2	54.20	29.90	6.69	7.53	16063	1758
		3	31.9	53.70	29.50	6.51	7.00	15935	1727
2021/12/13	東 3 碼頭	0	34.7	49.50	22.00	8.57	7.40	17451	2058
		3	33.5	47.90	21.90	8.83	7.38	19524	2267

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2022/3/22	東 3 碼頭	0	35.1	54.10	25.80	8.22	7.26	17431	2010
		3	34.8	53.40	25.70	8.26	7.28	17476	2014
		6	34.3	53.40	26.30	-	-	-	-
2022/6/21	東 3 碼頭	0	33.5	57.70	31.50	7.93	7.84	17351	1992
		3	33.9	58.00	31.30	7.85	7.85	17798	2038
2022/9/26	東 3 碼頭	0	33.0	55.60	30.30	7.28	7.87	19247	1870
		3	33.1	55.20	29.60	7.35	7.90	19219	1901
		6	33.3	55.40	29.50	7.45	7.84	19284	1907

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

安平港水質測分析結果(暴放期間 2016/9/6 - 2022/8/8)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/9/8	7 號碼頭	3	29.4	43.30	22.70		7.43	15153	1888
		6	29.5	43.20	22.70	-	7.45	15757	1947
2016/12/27	7 號碼頭	0	31.3	45.50	22.60	8.21	7.92	15723	1814
		3	31.1	45.80	22.80	8.14	7.90	15838	1793
		6	31.2	45.80	22.90	8.15	7.96	15189	1763
2017/3/22	7 號碼頭	0	27.8	54.30	25.23	7.61	7.67	14298	1802
		3	32.1	66.20	25.30	7.22	7.88	16604	2003
		6	32.7	66.51	24.23	6.76	7.92	16181	1906
2017/6/21	7 號碼頭	0	-	43.71	29.73	11.65	8.35	16031	1904
		3	23.7	53.90	30.43	9.13	8.04	15838	1925
		6	24.0	54.46	29.00	7.23	8.05	15762	1864
2017/9/18	7 號碼頭	0	-	45.60	28.20	9.60	8.40	15159	1810
		3	23.9	54.60	31.30	7.80	8.30	15648	1834
		6	24.8	55.90	29.60	5.90	8.20	16036	1907
2017/12/20	7 號碼頭	0	-	42.20	20.50	7.56	7.80	15492	1883
		3	22.0	47.20	21.00	7.00	7.90	15830	1917
		6	22.5	48.20	20.90	6.90	7.90	16150	1929
2018/3/19	7 號碼頭	0	29.3	53.28	24.90	10.92	8.31	14798	1676
		3	30.9	60.52	26.60	9.68	8.21	15024	1702
		6	30.1	62.53	24.40	7.72	8.66	16061	1808
2018/6/19	7 號碼頭	0	28.0	43.00	22.80	7.84	7.81	12069	1493
		3	27.0	40.00	22.70	7.94	7.77	14856	1723
		6	28.5	41.90	22.60	8.16	7.84	15924	1802
2018/9/17	7 號碼頭	0	29.1	39.00	28.00	7.82	7.89	14086	1582
		3	29.6	46.70	30.40	7.84	7.86	16942	1929
		6	29.8	47.10	29.20	7.85	7.92	17394	1973
2018/12/17	7 號碼頭	0	30.4	47.05	22.60	6.67	7.00	16701	2009
		3	32.1	50.10	22.58	6.33	7.70	17040	1990
		6	32.4	50.50	23.10	5.80	8.00	18125	2035
2019/3/18	7 號碼頭	0	19.5	44.49	24.10	10.82	7.25	13740	1672
		3	23.0	50.10	25.03	8.70	7.34	15999	1913
		6	24.0	51.47	23.43	6.53	7.37	15738	1832
2019/6/24	7 號碼頭	0	22.2	51.07	22.45	6.42	7.41	16178	1796
		3	23.0	52.44	27.50	4.98	7.54	15825	1793
		6	24.1	54.34	28.40	4.61	7.61	16356	1778
2019/9/18	7 號碼頭	0	27.9	44.52	29.00	5.76	7.67	15288	1735
		3	27.5	61.60	29.50	5.41	7.72	14217	1612
		6	27.8	61.10	29.40	5.22	7.75	16839	1926
2019/12/16	7 號碼頭	0	26.0	37.45	22.55	10.11	6.84	15919	1808
		3	28.0	40.08	23.10	10.04	6.85	16396	1831
		6	28.6	41.69	22.70	8.95	6.85	17714	2088
2020/3/18	7 號碼頭	0	27.9	48.72	24.10	10.67	7.80	18624	2221
		3	28.6	47.19	24.25	8.47	7.79	17945	2096
		6	29.7	61.62	24.18	6.81	7.77	18000	2189
2020/6/17	7 號碼頭	0	23.7	44.30	33.20	11.77	7.81	15873	2482
		3	25.8	47.80	31.98	9.68	7.80	17617	2087
		6	29.8	54.30	31.65	7.37	7.86	18621	2210

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/9/16	7 號碼頭	0	25.2	39.10	28.80	7.92	7.91	15560	1897
		3	27.2	41.80	30.30	6.99	7.88	16887	1940
		6	30.0	45.80	30.00	5.60	7.92	19084	2112
2020/12/16	7 號碼頭	0	30.9	47.10	19.15	5.85	7.99	17441	2007
		3	31.1	47.40	22.98	5.48	8.00	17266	1970
		6	31.3	47.70	23.10	5.37	8.00	17546	2047
2021/3/17	7 號碼頭	0	31.0	47.40	24.40	7.99	7.60	19136	2236
		3	31.5	47.90	24.70	7.31	7.70	19978	2323
		6	32.0	48.70	23.85	5.81	7.60	19236	2236
2021/9/15	7 號碼頭	0	20.2	46.50	31.30	6.98	7.61	-	1080
		3	27.3	47.70	31.20	6.36	7.58	13284	1480
2021/12/15	7 號碼頭	0	30.6	47.30	25.40	9.00	7.25	14920	1796
		3	32.8	50.00	25.00	7.94	7.22	17186	2039
		6	33.7	50.90	24.60	8.21	7.20	17667	2090
2022/3/23	7 號碼頭	0	33.6	50.00	23.80	7.03	7.43	16700	1952
		3	34.2	51.20	24.20	7.02	7.45	17274	1963
		6	34.4	51.60	24.30	6.51	7.44	17090	1973
2022/6/22	7 號碼頭	0	29.1	51.80	32.40	7.71	7.72	14829	1734
		3	32.0	55.40	31.70	8.10	7.73	16873	1948
		6	33.3	56.70	30.80	7.80	7.72	17096	1960
2022/9/27	7 號碼頭	0	28.5	50.00	31.60	8.00	7.65	17004	1690
		3	31.1	53.50	31.10	7.42	7.73	18232	1799
		6	32.1	54.40	30.50	7.14	7.85	19114	1919

註：- 為電極異常或水樣遺失，故無資料

### 高雄港區水質分析結果(暴放期間 2016/9/7 - 2022/8/18)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/10/6	10 號碼頭	0	-	25.40	26.30	5.60	7.80	12876	1624
		3	26.1	38.60	28.00	4.60	7.80	14982	1851
		6	28.3	41.50	28.60	4.81	7.96	14825	1839
	40 號碼頭	0	28.6	41.80	27.80	6.20	7.90	-	-
		3	29.0	42.60	28.00	5.83	8.02	13296	1642
		6	29.3	42.80	28.10	5.76	8.05	14545	1795
	75 號碼頭	0	24.8	36.70	29.50	4.76	7.87	14591	1778
		3	26.9	31.60	29.00	4.91	7.88	14467	1727
		6	28.4	41.60	29.50	5.04	7.91	14604	1744
2016/12/28	10 號碼頭	0	32.7	49.30	22.60	7.90	7.81	16320	1830
		3	32.3	49.60	22.80	8.23	8.14	16561	1929
		6	32.0	49.60	22.90	8.25	8.15	16752	1868
	40 號碼頭	0	32.0	48.40	23.10	8.13	7.89	16611	1895
		3	31.9	48.40	25.30	7.94	7.79	16367	1911
		6	29.2	44.70	25.50	-	-	15504	1750
	75 號碼頭	0	32.4	48.40	24.00	8.12	8.06	16639	1892
		3	32.1	48.10	24.40	8.22	8.18	16746	1930
		6	32.2	48.70	24.50	8.29	8.23	16403	1841
2017/3/21	10 號碼頭	0	28.7	61.04	26.90	6.56	7.99	16060	1962
		3	29.4	62.28	26.30	6.61	8.05	17515	2134
		6	29.6	62.54	26.10	6.63	8.06	16183	1976
	40 號碼頭	0	29.8	62.71	26.30	6.82	8.03	16201	2006
		3	30.3	63.76	26.10	6.81	8.08	16594	2006
		6	30.7	64.13	25.40	6.82	8.10	16275	1960
	75 號碼頭	0	27.2	58.02	25.80	7.25	8.21	17522	2131
		3	28.9	60.98	25.20	7.22	8.21	17097	2032
		6	29.1	61.30	25.05	7.23	8.20	16344	2008
2017/6/20	10 號碼頭	0	-	48.97	29.95	10.41	8.44	15769	1845
		3	23.4	54.91	31.53	8.04	8.07	15114	1829
		6	23.9	55.15	30.95	6.48	8.04	16163	1955
	40 號碼頭	0	23.1	54.46	30.45	9.01	8.31	15420	1850
		3	23.6	54.65	31.60	7.88	8.08	16454	1962
		6	24.2	55.41	30.30	6.69	8.06	15351	1866
	75 號碼頭	0	24.2	54.85	27.45	5.65	8.05	16804	1959
		3	24.3	54.95	28.70	5.65	8.07	16020	1976
		6	24.4	55.01	28.60	5.77	8.08	16289	1908
2017/9/19	10 號碼頭	0	23.9	55.40	29.80	5.80	7.32	16889	1829
		3	24.1	56.00	31.20	5.84	7.30	16237	1857
		6	24.3	56.00	30.90	5.76	7.40	18225	2019
	40 號碼頭	0	23.6	54.90	28.50	7.07	7.35	16103	1835
		3	24.2	56.00	30.90	6.35	7.34	16631	1957
		6	24.3	55.80	30.70	6.10	7.35	15664	1849
	75 號碼頭	0	22.2	51.60	29.20	4.88	7.35	16119	1898
		3	23.7	54.22	29.50	5.58	7.36	15944	1856
		6	24.1	55.00	29.40	5.65	7.35	16588	1938
2017/12/19	10 號碼頭	0	23.0	49.60	22.90	6.71	8.12	16299	1950
		3	23.4	50.90	23.90	6.54	8.10	16735	2119
		6	23.7	51.40	23.90	6.50	8.10	16746	1985

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2017/12/19	40 號碼頭	0	23.0	50.33	23.20	6.97	8.11	16661	2019
		3	23.4	51.10	24.20	6.70	8.11	16483	2017
		6	23.6	51.60	24.50	6.50	8.09	17323	2290
	75 號碼頭	0	23.8	51.10	22.50	7.52	8.16	16883	2024
		3	24.4	52.40	23.70	7.02	8.15	16915	2001
		6	24.8	53.10	23.60	6.87	8.13	16504	1957
2018/3/20	10 號碼頭	0	27.4	57.44	26.55	7.94	8.23	17374	2477
		3	27.9	58.60	26.90	7.91	8.21	16911	2379
		6	28.5	59.19	26.90	7.61	8.35	17662	2551
	40 號碼頭	0	27.4	56.88	26.25	7.34	8.20	16881	2309
		3	28.3	59.56	26.98	7.24	8.17	17463	2245
		6	28.2	60.30	26.78	7.20	8.39	17468	2389
	75 號碼頭	0	28.4	51.74	25.53	6.60	7.84	15693	1816
		3	28.6	61.65	25.53	7.08	8.05	16256	1890
		6	29.2	61.14	25.00	7.22	8.64	16104	1812
2018/6/16	10 號碼頭	0	27.4	41.20	23.40	8.26	7.93	15164	1748
		3	27.8	41.50	23.10	8.22	7.96	15506	1784
		6	28.1	41.70	22.90	8.17	7.92	15301	1803
	40 號碼頭	0	28.2	42.10	23.10	8.10	7.94	15543	1778
		3	28.5	42.40	23.10	8.27	7.97	15766	1787
		6	28.6	42.50	22.90	8.22	7.95	15754	1829
	75 號碼頭	0	28.3	42.20	23.10	7.88	7.66	15442	1766
		3	28.5	42.40	23.10	8.05	7.71	15298	1763
		6	29.0	43.10	23.10	8.05	7.75	15829	1812
2018/9/18	10 號碼頭	0	28.4	40.50	29.20	7.88	7.85	16049	1834
		3	28.7	45.50	30.50	7.85	7.80	16807	1914
		6	29.3	46.50	30.40	7.85	7.87	16453	1868
	40 號碼頭	0	29.1	46.20	28.75	7.82	7.84	16669	1964
		3	29.1	46.30	30.48	7.80	7.84	16658	1902
		6	29.2	46.30	29.80	7.83	7.89	17563	2009
	75 號碼頭	0	29.3	46.00	29.20	7.83	7.87	14448	1649
		3	29.4	46.50	28.90	7.87	7.90	16596	1983
		6	29.6	46.70	28.50	7.85	7.91	17420	1887
2018/12/18	10 號碼頭	0	29.8	45.00	23.70	6.70	7.60	16626	1918
		3	29.6	44.50	26.00	6.20	7.70	16745	1906
		6	29.3	44.10	26.40	6.30	7.80	18459	2092
	40 號碼頭	0	28.8	43.80	24.20	6.60	7.80	17283	1943
		3	28.7	43.40	25.70	6.23	8.10	15919	1824
		6	29.0	44.00	25.40	6.22	8.00	17674	2039
	75 號碼頭	0	28.6	42.80	24.35	6.70	8.00	17513	2055
		3	28.3	42.10	24.90	6.73	8.10	17484	2030
		6	28.4	42.90	24.90	6.78	8.22	19077	2141
2019/3/19	10 號碼頭	0	21.7	48.40	24.78	8.13	7.16	16815	1904
		3	22.0	48.99	25.20	8.25	7.23	15587	1789
		6	22.2	49.38	25.18	7.94	7.27	17079	1985
	40 號碼頭	0	20.8	47.16	25.80	7.72	7.09	17615	2018
		3	21.3	48.13	25.80	7.68	7.21	15413	1765
		6	21.7	48.53	25.68	7.32	7.26	17288	2027
	75 號碼頭	0	20.2	46.05	23.85	5.92	7.28	16768	1908
		3	22.4	49.50	25.13	6.30	7.34	17260	2058
		6	23.0	50.35	24.70	6.84	7.35	14384	1672

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2019/6/25	10 號碼頭	0	-	33.19	25.00	4.28	7.36	10811	1302
		3	20.5	48.19	28.08	4.78	7.46	13351	1470
		6	21.3	49.51	29.10	5.44	7.55	15896	1809
	40 號碼頭	0	-	44.78	25.33	4.18	7.48	-	-
		3	20.7	48.13	27.48	3.99	7.58	-	-
		6	21.4	49.61	28.50	4.95	7.62	14620	1642
	75 號碼頭	0	21.4	49.49	26.45	6.28	7.61	17709	1944
		3	22.2	50.92	27.98	6.24	7.65	17759	1932
		6	22.4	51.33	28.10	6.28	7.72	15826	1777
2019/9/17	10 號碼頭	0	21.6	51.00	29.68	8.42	7.34	16655	2243
		3	22.1	51.80	30.20	8.78	7.47	16729	1844
		6	22.8	52.90	30.20	7.30	7.49	17020	1916
	40 號碼頭	0	20.3	49.51	30.98	7.89	7.42	17149	2170
		3	21.1	50.45	30.90	7.13	7.55	16875	1886
		6	21.4	50.98	31.10	7.22	7.56	16942	1895
	75 號碼頭	0	20.1	47.99	29.30	7.02	7.39	18845	1909
		3	20.8	49.38	29.70	6.70	7.43	18324	1995
		6	21.5	50.31	29.48	6.21	7.46	17003	1895
2019/12/17	10 號碼頭	0	26.1	55.25	24.00	6.88	7.36	21040	3406
		3	26.1	55.99	24.40	6.53	7.39	19246	2136
		6	27.2	50.27	24.30	6.39	7.42	18853	2038
	40 號碼頭	0	23.8	52.49	23.95	7.07	7.36	19323	2307
		3	24.4	52.81	25.48	6.17	7.45	18697	2130
		6	24.8	53.50	24.88	6.17	7.48	19426	2177
	75 號碼頭	0	24.4	52.81	24.35	6.73	7.45	21575	3510
		3	24.3	52.28	24.25	6.75	7.51	18840	2065
		6	24.6	52.99	24.10	6.77	7.53	18389	2016
2020/3/17	10 號碼頭	0	31.5	56.66	26.30	6.73	7.70	19273	2249
		3	31.5	58.34	26.50	6.18	7.65	21246	2502
		6	31.5	59.57	26.15	5.86	7.75	19440	2244
	40 號碼頭	0	31.6	55.74	26.13	6.71	7.76	19269	2172
		3	31.6	56.48	26.65	5.96	7.76	19102	2266
		6	31.5	56.95	26.58	5.74	7.78	19538	2350
	75 號碼頭	0	31.7	54.53	23.53	6.32	7.78	19504	2274
		3	31.7	55.68	24.70	6.18	7.78	19301	2300
		6	31.8	56.70	24.70	6.30	7.82	19305	2365
2020/6/16	10 號碼頭	0	30.3	54.90	28.95	6.75	7.77	20627	2439
		3	30.3	55.00	30.56	6.14	7.79	19251	2248
		6	30.3	55.00	30.48	5.45	7.78	19359	2273
	40 號碼頭	0	30.4	54.90	30.38	6.07	7.88	19407	2409
		3	30.2	54.60	30.70	5.96	7.87	19148	2209
		6	30.3	54.90	30.70	5.92	7.91	19692	2408
	75 號碼頭	0	29.0	52.70	28.65	4.41	7.84	18410	2286
		3	29.6	53.60	29.83	5.14	7.81	18999	2244
		6	30.3	54.60	29.65	5.43	7.81	20002	2798
2020/9/15	10 號碼頭	0	29.2	44.70	31.40	6.52	7.84	18007	2057
		3	30.1	45.80	30.95	6.68	7.93	18091	2029
		6	30.1	45.90	30.70	6.61	7.95	18587	2158
	40 號碼頭	0	30.1	45.90	28.75	7.19	7.98	18281	2131
		3	30.1	45.70	30.65	6.38	7.97	18232	2143
		6	30.2	45.90	31.10	5.73	7.99	18111	2148

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/9/15	75 號碼頭	0	27.6	42.40	27.68	6.22	7.86	16870	1962
		3	29.3	44.80	28.98	5.79	7.85	17679	2041
		6	30.2	46.10	29.50	5.66	7.94	18642	2103
2020/12/15	10 號碼頭	0	32.3	48.90	23.45	5.69	8.01	17913	2052
		3	32.1	48.80	25.00	5.51	8.03	18325	2078
		6	32.3	49.00	25.30	5.44	8.02	18634	2103
	40 號碼頭	0	32.3	49.00	24.95	6.46	7.96	18641	2106
		3	32.3	19.00	26.38	6.12	7.87	17971	2055
		6	32.2	48.90	26.25	5.85	7.99	18094	2096
	75 號碼頭	0	32.6	49.40	21.40	5.97	8.03	21883	2151
		3	32.8	49.60	25.00	5.91	8.00	18267	2092
		6	32.9	49.70	25.10	5.90	8.01	17636	2000
2021/3/16	10 號碼頭	0	32.8	50.00	25.70	6.16	7.20	18493	2146
		3	32.9	50.30	24.70	6.27	7.13	36585	2438
		6	32.9	50.20	24.60	6.21	7.10	19471	2272
	40 號碼頭	0	32.8	50.00	25.50	6.37	7.10	18755	2182
		3	32.8	50.10	25.80	6.32	7.28	18477	2166
		6	32.9	50.20	25.70	6.25	7.32	18925	2179
	75 號碼頭	0	32.5	49.70	23.40	6.00	7.18	18344	2156
		3	32.8	49.80	24.70	5.96	7.58	18694	2191
		6	33.0	50.30	24.40	5.89	7.57	18598	2176
2021/9/14	10 號碼頭	0	28.8	50.00	31.00	6.70	7.48	15613	1713
		3	29.5	51.00	31.10	6.55	6.56	14457	1657
		6	31.0	53.10	30.70	6.29	7.47	15385	1706
	40 號碼頭	0	25.4	44.80	31.20	5.96	7.48	12369	1485
		3	28.3	49.50	31.50	5.43	7.46	13679	1592
		6	30.8	53.40	31.60	5.52	7.49	15866	1677
	75 號碼頭	0	30.3	51.40	30.20	6.53	7.50	14708	1628
		3	31.1	52.80	30.10	6.66	7.50	15442	1697
		6	31.3	53.00	30.20	6.37	7.51	15410	1689
2021/12/14	10 號碼頭	0	34.2	53.20	26.10	7.48	7.30	19063	2213
		3	34.2	53.20	26.20	7.52	7.22	21049	2442
		6	34.3	53.20	26.10	7.89	7.33	18821	2183
	40 號碼頭	0	34.6	54.30	26.70	7.97	7.16	17833	2103
		3	34.5	54.70	27.20	7.65	7.38	17344	2062
		6	34.5	54.40	27.00	7.44	7.38	17486	2093
	75 號碼頭	0	34.9	54.50	26.30	7.46	7.38	17466	2150
		3	35.1	54.40	26.30	7.56	7.38	17652	2116
		6	33.9	52.90	26.40	7.38	7.14	17467	2070
2022/3/22	10 號碼頭	0	33.9	54.30	27.70	7.52	7.43	17107	2001
		3	34.1	54.30	27.50	7.64	7.42	17768	2046
		6	34.1	54.30	27.50	7.54	7.46	17419	2001
	40 號碼頭	0	34.8	56.30	28.30	7.45	7.50	17001	1973
		3	34.5	55.80	28.10	7.55	7.49	17974	2072
		6	34.4	55.10	27.70	7.58	7.48	16890	1891
	75 號碼頭	0	33.1	52.60	27.10	7.75	7.50	16644	1950
		3	33.9	53.30	26.70	7.57	7.50	16977	1966
		6	34.3	53.40	26.30	7.83	7.49	17454	2025
2022/6/21	10 號碼頭	0	33.9	58.20	31.50	7.49	7.85	15652	1810
		3	34.1	58.40	31.40	7.70	7.84	17843	2034
		6	34.1	57.90	30.80	7.73	7.84	17653	2041

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2022/6/21	40 號碼頭	0	33.8	58.90	32.20	7.43	7.85	17557	2001
		3	34.0	59.00	32.00	7.57	7.86	17181	1976
		6	33.8	58.30	33.80	7.66	7.55	18002	2038
	75 號碼頭	0	33.9	58.10	31.30	7.49	7.86	17359	1999
		3	34.1	57.80	30.80	7.71	7.86	18015	2064
		6	34.0	57.40	30.50	7.76	7.88	17702	2034
2022/9/26	10 號碼頭	0	33.0	56.50	31.10	7.73	7.89	21227	2088
		3	33.1	56.40	31.00	7.64	7.87	22099	2153
		6	33.0	56.20	30.80	7.52	7.96	19903	1939
	40 號碼頭	0	33.4	58.30	32.40	7.24	7.88	20789	2041
		3	33.3	57.70	31.90	7.38	7.92	23168	2228
		6	33.3	57.60	31.80	7.50	7.94	20496	2018
	75 號碼頭	0	31.9	55.50	31.90	6.72	7.47	20236	2000
		3	33.0	56.30	30.80	7.91	7.87	21170	2089
		6	33.2	56.30	30.60	7.90	7.96	22920	2172

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

金門港區水質分析結果(暴放期間 2015/11/16 - 2022/10/17)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2015/11/16	水頭港	0	28.0	43.00	24.7	8.30	7.65	14748	1826
		3	28.1	42.70	23.9	8.31	7.68	15828	1918
	料羅港	0	28.6	43.20	23.8	8.20	7.68	13938	1681
		3	28.4	42.90	23.6	8.46	7.68	15425	1930
		6	28.4	42.80	23.6	8.63	7.46	15733	1892
	九宮港	0	27.9	42.70	24.3	8.06	7.69	15411	1867
		3	27.9	42.60	24.1	8.25	7.69	16063	1859
		6	28.0	42.60	23.9	8.16	7.69	14998	1824
	2016/3/30	水頭港	0	25.3	32.50	15.6	9.61	7.49	15232
3			25.8	32.80	15.2	9.78	7.63	15757	1816
6			25.8	32.80	15.3	9.68	7.54	15771	1828
料羅港		0	27.6	36.20	16.8	10.01	7.63	16253	1882
		3	27.7	34.80	15.0	9.76	7.68	17073	1995
		6	27.8	34.90	14.8	9.90	7.62	16177	1902
九宮港		0	25.8	33.20	15.8	9.63	7.59	16845	1952
		3	25.8	32.90	15.4	9.64	7.56	14736	1747
		6	25.8	32.90	15.4	9.64	7.56	14736	1747
2016/6/14	水頭港	0	28.3	44.00	27.68	6.64	8.16	15811	2179
		3	28.2	43.90	27.10	6.86	8.23	15688	1858
		6	28.6	44.50	26.43	5.89	8.20	15928	1868
	料羅港	0	30.0	46.30	26.00	6.45	8.22	17088	2020
		3	30.3	46.70	25.50	5.81	8.24	17717	3918
		6	30.6	47.10	25.50	6.09	8.25	17167	1991
	九宮港	0	28.4	44.20	26.90	6.30	8.20	15803	1860
		3	28.4	44.20	26.70	6.34	8.22	15564	1839
		6	28.4	44.20	26.70	6.34	8.22	15564	1839
2016/9/19	水頭港	0	28.1	46.60	28.60	6.76	7.52	14320	1747
		3	28.0	46.20	28.20	6.66	7.78	14221	1730
		6	28.2	46.30	28.00	6.70	7.70	14151	1724
	料羅港	0	28.7	49.40	30.60	7.06	7.79	15805	1849
		3	28.9	48.50	29.30	7.32	7.81	15161	1879
		6	28.9	48.10	28.80	6.92	7.82	15095	1835
	九宮港	0	27.4	46.60	29.60	7.09	7.85	14408	1750
		3	27.6	46.20	28.80	6.92	7.83	14743	1791
		6	27.6	46.20	28.80	6.92	7.83	14743	1791
2017/1/18	水頭港	0	26.3	34.40	16.80	9.47	7.99	12234	1557
		3	27.2	35.20	16.40	9.52	8.12	12565	1561
		6	27.2	35.20	16.20	9.57	8.10	13348	1650
	料羅港	0	27.4	35.50	16.40	9.45	8.18	12852	1605
		3	27.4	35.30	16.10	9.58	8.20	13032	1642
		6	27.4	35.30	16.00	9.55	8.18	10493	1594
	九宮港	0	26.7	34.90	16.90	9.48	7.97	13188	1607
		3	26.7	34.70	16.40	9.48	8.09	12321	1497
		6	26.7	34.70	16.40	9.48	8.09	12321	1497
2017/3/20	水頭港	0	27.3	50.82	22.28	7.71	7.85	14397	1748
		3	27.2	53.11	16.95	8.54	7.98	13413	1658
		5	27.1	54.02	15.33	8.84	8.00	14683	1717
	料羅港	0	27.7	54.84	17.40	8.39	7.01	13896	1754
		3	28.1	55.89	15.00	8.84	7.80	14756	1876
		6	27.7	54.84	17.40	8.39	7.01	13896	1754
	九宮港	0	27.4	47.79	22.30	7.45	8.03	14226	1772
		3	27.5	51.98	16.30	8.63	8.04	14000	1750
		4.5	27.5	52.84	15.30	8.74	8.04	13928	1715

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2017/6/12	水頭港	0	27.5	59.76	33.25	7.24	7.83	17647	2094
		3	29.0	62.18	28.45	7.58	7.97	16586	2035
		6	29.4	63.01	27.58	7.49	8.00	16417	1956
	料羅港	0	29.6	63.25	32.03	7.74	7.85	16297	1973
		3	30.7	64.92	28.50	8.20	8.11	16306	1962
		6	31.4	65.96	27.35	7.59	8.08	16244	1911
	九宮港	0	28.1	60.64	30.18	6.85	7.79	16608	1958
		3	29.3	62.75	27.60	7.08	7.97	16034	1900
	2017/9/12	水頭港	0	29.5	45.46	28.90	6.61	8.71	16788
3			29.7	45.83	28.90	6.48	8.71	16798	1971
6			30.0	46.13	28.80	6.42	8.68	17975	2071
料羅港		0	29.2	44.72	29.00	6.95	8.88	16698	1925
		3	29.4	45.36	28.50	6.87	8.47	16330	1903
		5	29.2	45.13	28.50	6.74	8.45	-	-
九宮港		0	29.1	45.02	30.15	6.92	8.73	16493	1888
		3	29.0	44.90	28.80	6.58	8.72	16256	1884
		4.5	29.3	45.70	28.70	6.46	8.78	17054	1974
2017/12/27	水頭港	0	29.1	44.60	20.45	8.26	7.41	14655	1774
		3	30.8	47.22	16.15	9.18	7.17	14652	1771
	料羅港	0	29.8	45.01	20.65	8.25	7.98	14657	1743
		3	31.1	47.51	15.03	9.38	7.45	14609	1813
	九宮港	0	29.8	44.42	21.35	8.15	7.74	14317	1753
		3	31.1	47.32	15.15	9.11	7.77	14445	1905
2018/3/6	水頭港	0	31.4	48.31	16.15	9.35	6.88	15546	1762
		3	30.9	47.70	15.60	9.26	7.95	15503	1721
		6	30.7	47.23	15.50	9.29	8.21	15775	1762
	料羅港	0	30.5	36.40	15.50	9.32	6.74	15550	1727
		3	30.3	46.73	14.80	9.27	8.29	15305	1743
		6	30.4	46.82	14.60	9.30	8.16	15791	1786
	九宮港	0	33.4	46.50	19.20	8.41	6.74	15116	1713
		3	31.3	48.27	15.50	9.11	6.93	14959	1901
		6	30.7	47.22	15.00	9.20	7.74	15195	1654
2018/6/20	水頭港	0	31.2	50.90	28.50	8.16	7.84	17655	2034
		3	31.1	50.60	28.00	8.75	7.81	17577	1968
		6	31.3	50.60	27.80	8.51	7.84	17617	2038
	料羅港	0	30.9	51.90	29.80	8.49	7.80	17648	2085
		3	30.5	50.90	29.30	7.68	7.83	18450	2215
		6	30.7	50.50	28.40	8.28	7.87	17459	2031
	九宮港	0	31.1	49.80	26.90	8.04	7.84	17266	2046
		3	30.9	49.80	27.50	7.84	7.85	17133	1928
		6	30.8	49.80	27.90	7.64	7.85	17175	1956
2018/9/10	水頭港	0	28.2	43.31	27.75	6.88	7.29	17306	1944
		3	28.8	44.26	27.10	6.79	7.27	16657	1887
		6	29.2	44.97	27.03	6.89	7.28	16971	1915
	料羅港	0	28.3	43.40	28.25	6.74	7.18	17252	1936
		3	29.1	44.81	26.13	6.80	7.21	18357	2046
		6	27.2	48.47	26.80	6.65	7.34	17737	2017
	九宮港	0	27.8	42.61	28.50	6.05	7.14	17742	2016
		3	28.5	43.93	27.30	6.88	7.18	16870	1931
		6	28.8	44.48	27.10	6.85	7.20	16971	1939

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)	
2018/12/18	水頭港	0	27.3	52.98	19.45	8.12	7.09	15432	1820	
		3	29.5	59.29	17.68	8.32	7.24	14999	1831	
		6	28.4	55.59	17.10	8.34	7.53	16364	2060	
	料羅港	0	27.3	54.09	21.28	7.89	6.68	14540	1734	
		3	29.2	56.69	17.48	8.60	7.47	14712	1680	
	九宮港	0	27.7	51.29	18.80	8.49	6.53	15080	1787	
3		28.0	53.05	19.30	8.82	6.73	14542	1838		
2019/3/11	水頭港	0	33.6	50.67	19.30	8.46	6.74	15124	1839	
		3	34.5	52.09	16.45	9.06	6.99	15117	1759	
		6	35.1	53.90	15.60	9.16	6.99	14883	1813	
	料羅港	0	34.3	53.70	18.43	8.32	6.27	16129	1818	
		3	35.7	53.42	15.95	8.89	6.49	14955	1794	
		6	35.3	59.77	15.33	8.78	6.73	15244	1795	
	九宮港	0	35.1	51.60	19.70	8.06	6.41	14333	1696	
		3	33.6	51.01	16.28	8.95	6.50	14111	1762	
		6	34.0	51.70	15.90	8.84	6.51	14911	1745	
2019/5/21	水頭港	0	34.7	52.85	21.95	7.62	7.30	17480	1846	
		3	34.8	52.85	23.20	7.21	7.46	17069	1892	
		6	35.1	53.17	23.20	7.09	7.50	17070	1807	
	料羅港	0	35.5	53.03	23.20	7.28	7.71	18151	1999	
		3	36.2	54.67	22.20	7.24	7.83	17720	1989	
		6	36.5	55.12	22.10	7.16	7.59	18027	1932	
	九宮港	0	33.3	50.48	24.28	7.24	7.64	17005	1869	
		3	33.8	51.46	23.20	7.33	7.75	16477	1795	
	2019/8/22	水頭港	0	30.9	47.49	28.70	6.40	7.77	17809	2012
3			31.1	47.66	28.40	6.05	7.80	17905	1997	
6			31.7	48.53	28.90	6.03	7.36	17857	1998	
料羅港		0	31.7	48.59	28.50	6.17	7.38	18002	2071	
		3	31.9	48.83	28.50	6.19	7.39	19814	2143	
		6	31.9	48.83	28.50	6.19	7.39	19814	2143	
九宮港		0	30.4	46.05	28.60	6.63	7.34	18004	2025	
		3	30.4	46.87	28.90	6.53	7.37	17592	1974	
2019/11/25		水頭港	0	34.9	52.15	20.75	7.89	6.78	15721	1819
	3		35.2	52.61	21.10	8.06	6.78	16353	1894	
	料羅港	0	32.3	47.25	21.40	7.94	7.10	16436	1938	
		3	32.9	48.51	20.20	8.26	7.20	15757	1916	
		6	33.0	48.81	20.20	8.21	7.27	15759	1900	
	九宮港	0	33.4	49.35	24.90	7.44	7.04	16386	1874	
		3	34.5	51.02	21.03	7.89	7.11	16518	1862	
	2020/2/20	水頭港	0	28.4	53.71	16.38	9.17	7.48	17201	2026
			3	28.5	54.46	15.25	9.60	7.45	18128	2169
6			28.6	55.10	14.65	9.64	7.39	18411	2157	
料羅港		0	28.6	52.49	16.85	8.61	7.53	17061	2093	
		3	28.6	54.49	14.83	8.93	7.63	16298	1900	
		6	28.6	55.47	14.58	8.97	7.72	17119	2026	
九宮港		0	28.4	53.73	17.63	8.70	7.63	16956	1922	
		3	28.4	55.10	15.28	9.12	7.69	17224	2073	
2020/5/12		水頭港	0	30.3	47.90	25.10	7.52	7.56	19565	2821
	3		30.4	48.20	24.20	7.33	7.67	18963	2323	
	6		30.4	47.90	23.60	6.74	7.71	19803	2425	
	料羅港	0	30.5	48.00	23.40	7.10	7.65	23255	3257	
		3	30.5	47.90	23.10	7.10	7.64	20166	2505	
		6	30.4	47.80	23.00	7.01	7.66	21446	2538	

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2020/5/12	九宮港	0	30.2	48.10	23.90	7.07	7.46	20288	3116
		3	30.2	48.20	23.60	7.05	7.51	19238	2375
		6	30.1	47.50	23.50	7.01	7.38	19303	2408
2020/8/12	水頭港	0	31.3	48.50	27.60	6.46	7.53	18867	2117
		3	31.4	48.60	27.40	6.54	7.53	19554	2236
	料羅港	0	31.3	48.50	27.00	5.89	7.54	20003	2319
		3	31.4	48.50	26.60	6.37	7.53	19301	2352
	九宮港	0	31.3	48.50	27.70	6.46	7.54	19067	2211
		3	31.2	48.30	27.50	6.50	7.54	19331	2290
2020/11/10	水頭港	0	29.3	44.50	20.10	7.58	7.84	16146	1887
		3	29.2	44.60	19.90	7.59	7.85	16106	1854
		6	29.3	44.80	19.70	7.52	7.81	17705	1949
	料羅港	0	29.2	44.70	22.50	7.51	7.84	16178	1880
		3	29.2	44.60	19.30	7.77	7.81	16022	1876
	九宮港	0	29.2	44.70	20.45	7.59	7.84	16207	1934
3		29.2	44.70	20.10	7.63	7.85	15995	1844	
2021/2/22	水頭港	0	29.7	45.70	19.50	6.87	7.20	16879	2003
		3	29.6	45.60	16.58	7.20	7.75	16811	2014
		6	29.4	45.30	15.90	7.53	7.93	17031	2001
	料羅港	0	30.1	46.30	20.55	7.18	6.51	17165	2036
		3	30.1	46.30	18.25	7.74	6.53	17245	2040
	九宮港	0	29.6	45.80	20.25	7.04	6.88	16747	1990
3		29.6	45.60	16.65	7.75	6.61	17139	2062	
2021/8/10	水頭港	0	32.80	50.40	28.40	6.08	7.36	16762	1844
		3	33.00	50.90	28.40	5.91	7.35	16894	1900
		6	33.20	50.90	28.30	5.41	7.40	17464	1915
	料羅港	0	33.40	51.20	27.90	5.50	7.42	17365	1929
		3	33.40	51.20	27.70	4.65	7.42	16697	1901
		6	33.30	51.30	27.15	4.06	7.43	17228	1875
九宮港	0	32.40	49.80	29.00	5.63	7.44	16577	1884	
	3	32.40	49.90	28.45	5.39	7.42	17996	1973	
2021/11/9	水頭港	0	31.6	46.70	23.20	8.61	7.36	16522	2029
		3	31.6	46.60	23.00	8.60	7.32	16630	1978
		6	31.6	46.30	22.70	8.55	7.40	17210	2053
	料羅港	0	32.4	46.80	22.20	8.59	7.25	16409	1960
		3	32.1	46.30	22.00	8.73	6.79	17187	1974
	九宮港	0	31.4	46.50	23.40	8.38	7.35	16120	1926
3		31.5	46.30	22.90	8.49	7.32	16311	1966	
6		31.6	46.20	22.70	8.45	7.32	16159	1931	
2022/3/9	水頭港	0	28.2	37.40	18.00	9.74	7.36	15120	1638
		3	28.0	36.30	16.80	9.87	7.36	14881	1751
		6	28.4	36.20	16.30	9.89	7.37	14565	1714
	料羅港	0	28.3	36.50	16.60	9.77	7.40	14811	1738
		3	28.4	35.80	15.70	9.96	7.35	14388	1684
		6	28.5	35.70	15.20	9.99	7.39	14939	1736
九宮港	0	27.9	36.50	17.00	9.58	7.33	14695	1832	
	3	28.3	36.00	16.10	9.83	7.37	14500	1716	
	6	28.3	35.80	15.70	9.90	7.37	14616	1711	
2022/6/14	水頭港	0	29.2	46.00	26.10	7.91	7.71	15131	1755
		3	29.5	46.20	25.80	7.79	7.70	15159	1751
		6	29.6	46.20	25.70	7.66	7.72	14891	1746

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2022/6/14	料羅港	0	32.5	50.50	26.00	7.65	7.76	17022	1948
		3	32.5	50.00	25.40	7.77	7.75	16818	1917
		6	32.5	49.90	25.30	7.43	7.77	16816	1938
	九宮港	0	29.7	46.10	25.30	7.48	7.79	14841	1911
		3	29.8	46.00	25.10	7.57	7.78	15655	1760
2022/8/23	水頭港	0	33.2	57.50	32.10	6.85	7.86	19331	2040
		3	33.3	56.00	30.50	6.87	7.89	19281	2016
		6	33.3	55.20	29.60	6.19	8.02	19412	1983
	料羅港	0	33.5	57.80	31.60	6.88	7.94	19163	1929
		3	33.4	57.20	31.20	6.34	7.81	19703	2051
	九宮港	0	33.1	55.40	30.00	7.90	7.93	19367	2069
		3	33.2	55.50	29.90	7.90	7.89	18911	1982
2022/11/14	水頭港	0	31.7	46.50	23.00	9.01	7.83	18157	1820
		3	31.7	46.20	22.40	9.10	8.30	16128	1643
		6	31.8	46.00	22.20	9.00	8.31	16132	1638
	料羅港	0	31.8	46.20	22.40	8.53	8.09	16471	2012
		3	31.8	45.90	22.20	8.61	7.76	15969	1629
		6	31.8	45.80	22.10	8.62	7.80	15872	1693
	九宮港	0	31.5	47.00	23.50	8.43	7.93	16309	1659
		3	31.8	46.30	22.40	8.52	7.82	16383	2009

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

馬祖港區水質分析結果(暴放期間 2016/8/15 - 2023/3/7)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2016/8/16	福澳港	0	31.2	51.50	29.00	6.65	7.63	16429	1971
		3	31.1	51.80	29.50	6.90	7.70	16441	1986
		6	31.2	51.60	28.90	7.19	7.76	16214	1961
2016/12/21	福澳港	0	36.3	54.69	16.80	8.60	7.95	13433	1609
		3	35.7	54.12	16.50	8.74	8.03	12813	1529
		6	35.8	54.29	16.50	8.73	8.05	13054	1557
	白沙港	0	37.7	56.32	16.90	8.51	7.98	13462	1554
		3	37.8	56.81	16.50	8.55	8.07	12934	1541
2017/3/13	福澳港	0	34.5	66.04	14.88	8.82	7.91	15934	1948
		3	29.2	57.61	12.60	9.47	8.08	16805	2076
		6	27.8	54.99	12.40	9.55	8.11	16514	2016
	白沙港	0	29.9	57.82	14.25	9.19	7.61	17211	2099
		3	30.7	59.55	12.40	9.43	8.01	15808	1922
		6	31.1	60.03	12.20	9.41	8.07	16418	1995
2017/6/20	福澳港	0	28.4	65.19	23.50	6.88	8.21	16849	1985
		3	28.6	67.48	23.50	6.65	8.23	15166	1835
	白沙港	0	29.5	44.97	25.00	7.20	8.21	11617	1407
		3	35.3	53.34	23.80	7.19	8.21	13630	1600
2017/9/27	福澳港	0	26.4	41.23	28.18	7.14	8.86	15836	1831
		3	26.2	40.84	28.58	7.14	8.63	15093	1774
		6	26.3	40.96	28.60	7.08	8.09	15207	1772
	白沙港	0	23.3	36.67	30.85	7.20	7.86	14914	1742
		3	24.4	38.19	28.88	7.19	8.08	14866	1770
		6	25.1	39.16	28.15	7.10	8.16	15092	1773
2017/12/20	福澳港	0	30.8	48.79	12.60	9.90	8.30	13506	1648
		3	30.8	47.32	12.90	9.65	7.72	13983	1786
	白沙港	0	28.8	43.86	16.00	9.07	8.06	13446	1654
		3	29.7	45.86	13.45	9.52	7.76	13594	1691
		6	30.0	46.17	13.20	9.58	7.77	12976	1618
		0	26.7	40.93	15.53	9.26	7.51	15152	1753
2018/3/14	福澳港	3	27.9	43.26	13.23	9.92	7.63	14947	1677
		0	27.8	36.93	22.55	8.41	7.28	14985	1782
	白沙港	3	28.4	42.15	14.68	9.69	7.56	15067	1695
		0	31.9	65.33	24.20	7.29	6.26	17120	1939
2018/5/25	福澳港	3	31.1	64.71	23.90	7.41	6.24	17889	1987
		6	32.3	54.95	23.90	7.76	6.22	-	-
		0	33.7	51.37	24.70	8.07	6.29	17635	2009
	白沙港	3	34.4	52.22	24.50	8.07	6.34	17816	1985
		0	29.7	54.23	27.03	6.92	7.37	17520	2028
		3	29.6	55.20	26.45	6.38	7.31	18207	2108
2018/9/3	福澳港	6	30.8	47.20	25.05	7.67	7.52	17482	1992
		0	28.3	58.34	27.80	7.41	7.53	16713	1889
		3	28.4	56.70	27.70	7.58	7.52	16430	1887
	白沙港	6	28.1	56.90	26.60	7.04	7.48	16745	1905
		0	33.8	48.18	19.43	8.29	7.39	13959	1671
		3	33.8	53.39	17.20	8.61	7.71	13760	1745
2018/12/10	福澳港	6	34.2	52.38	17.08	8.62	7.80	14321	1643

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2018/12/10	白沙港	0	31.5	48.30	19.20	8.48	7.24	13668	1621
		3	32.9	49.98	17.70	8.47	7.57	13281	1531
		6	33.2	53.09	17.30	8.45	7.65	13068	1549
2019/3/18	福澳港	0	29.9	45.24	20.30	8.15	6.82	15850	1855
		3	32.5	48.92	14.53	9.43	7.23	14419	1733
		6	34.5	54.97	13.20	9.62	7.35	14313	1654
	白沙港	0	30.6	46.60	16.25	8.93	6.88	14275	1700
		3	32.0	49.01	13.65	9.48	7.00	14411	1700
		6	32.6	49.78	12.95	9.56	7.23	14578	1713
2019/5/15	福澳港	0	22.1	46.93	20.15	8.59	7.08	16000	2676
		3	22.2	46.86	19.20	9.04	7.08	14662	1837
	白沙港	0	16.1	37.64	25.38	8.46	7.36	15011	2314
		3	24.2	50.30	19.10	8.68	7.59	15920	1774
2019/8/26	福澳港	0	28.2	44.09	29.18	7.09	8.05	17413	1935
		3	28.3	44.54	28.40	6.90	8.10	17947	2030
		6	28.9	44.56	28.10	6.65	8.40	17756	1956
	白沙港	0	27.2	41.82	29.48	7.95	7.34	16212	1835
		3	27.7	42.87	28.70	7.99	7.79	16009	1790
		6	27.7	42.87	28.70	7.99	7.79	16009	1790
2019/11/12	福澳港	0	29.4	59.91	20.60	7.53	6.77	16132	1817
		3	29.3	59.84	20.60	7.56	6.78	15827	1756
	白沙港	0	30.9	62.58	20.70	7.43	7.46	15973	1715
		3	30.7	62.32	20.70	7.48	7.47	14934	1622
2020/2/17	福澳港	0	28.2	56.09	12.90	9.20	7.57	16927	2109
		3	28.2	57.17	12.50	9.30	7.65	17035	1924
		6	28.2	57.70	12.40	9.34	7.48	17158	2014
	白沙港	0	27.9	65.37	12.65	9.21	7.62	16887	2045
		3	28.2	65.00	12.60	9.11	7.67	17089	2053
		6	28.3	63.88	12.60	9.15	7.61	18398	2145
2020/5/18	福澳港	0	27.1	44.40	23.13	7.94	7.61	16936	2219
		3	27.3	44.50	21.90	7.86	7.64	17108	2257
	白沙港	0	26.1	42.50	23.70	8.23	7.61	16575	2107
		3	26.1	42.40	23.30	8.41	7.58	16932	2078
2020/8/26	福澳港	0	31.2	48.60	28.78	5.67	7.82	19243	2174
		3	31.3	49.00	27.60	5.74	7.83	19217	2240
		6	31.3	48.80	27.30	5.73	7.83	19353	2257
	白沙港	0	30.5	48.00	27.80	6.31	7.72	19219	2179
		3	30.7	48.20	27.30	6.14	7.78	20482	2288
		6	30.7	48.20	27.30	6.14	7.78	20482	2288
2020/11/5	福澳港	0	26.9	41.90	19.90	6.93	7.84	14482	1714
		3	27.0	41.80	19.90	6.90	7.85	14576	1771
	白沙港	0	26.8	41.40	28.25	7.07	7.86	14779	1740
		3	26.8	41.40	20.00	6.99	7.85	14574	1757
2021/3/10	福澳港	0	29.2	44.70	13.83	8.11	6.79	16258	1942
		3	29.1	44.80	13.40	8.10	6.81	16321	1947
		6	29.1	44.90	13.40	8.10	6.50	16250	1921
	白沙港	0	29.0	44.80	14.95	7.45	7.85	16535	1990
		3	29.1	45.00	13.30	7.78	8.09	16414	1958
		6	29.2	45.00	13.20	7.77	8.23	16415	1963
2021/8/17	福澳港	0	32.5	50.10	26.83	6.17	7.37	16586	1893
		3	32.7	50.50	26.10	6.87	7.40	16504	1819
	白沙港	0	32.1	49.20	27.88	7.39	7.38	16656	1924
		3	32.3	49.70	27.20	7.61	7.38	16595	1864

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2021/11/16	福澳港	0	28.7	40.80	20.80	7.76	7.35	15725	1935
		3	28.7	40.80	20.70	8.78	7.36	15548	1880
	白沙港	0	29.9	42.47	21.10	8.36	7.35	14706	1782
		3	29.8	42.40	20.90	8.72	7.36	15009	1839
		6	29.8	42.20	20.80	7.69	7.34	15814	1904
	2022/3/2	福澳港	0	28.9	34.40	12.70	11.60	7.54	14578
3			29.1	34.40	12.00	11.51	7.55	14716	1761
6			29.2	33.90	11.90	11.20	7.50	14707	1714
白沙港		0	29.9	36.80	14.90	10.90	7.50	14593	1736
		3	29.7	36.90	14.80	10.96	7.52	14942	1764
		6	29.8	36.50	14.10	10.97	7.49	15102	1739
2022/6/7	福澳港	0	29.5	43.70	22.90	8.60	7.74	15342	1833
		3	29.6	43.80	22.80	8.59	7.81	15087	1755
		6	29.9	44.20	22.80	8.38	7.79	15065	1759
	白沙港	0	30.0	44.60	23.40	8.85	7.76	14987	1748
		3	30.1	44.50	23.00	8.76	7.77	15492	2013
		6	30.5	45.10	22.90	8.60	7.74	15255	1783
2022/10/3	福澳港	0	32.1	52.10	27.60	9.49	8.09	18929	1946
		3	31.9	52.20	28.10	9.88	8.05	18650	1908
		6	31.8	51.90	28.30	9.32	8.12	18600	1919
	白沙港	0	31.9	52.50	28.70	8.22	8.05	18727	1943
		3	31.8	51.70	28.00	8.27	8.11	18284	1899
		6	31.8	51.50	27.90	8.21	8.10	18533	1933
2023/1/9	福澳港	0	29.6	36.60	14.40	8.98	7.65	16517	1618
		3	29.9	36.70	14.30	9.12	7.78	16418	1920
		6	30.0	36.50	13.90	9.30	7.93	16562	1620
	白沙港	0	30.0	37.20	14.50	9.21	7.70	16518	1663
		3	30.2	37.10	14.50	9.26	7.84	16518	1920
		6	30.3	36.90	14.00	9.13	7.86	16319	1607
2023/3/7	福澳港	0	27.6	35.10	15.50	10.32	7.73	16280	1589
		3	28.4	34.80	13.70	11.48	7.75	16270	1608
	白沙港	0	27.6	35.60	15.90	10.69	7.82	16252	1592
		3	28.6	35.20	13.70	10.97	7.81	16482	1608

註：- 為電極異常或水樣遺失，故無資料

澎湖港區水質測分析結果(暴放期間 2016/9/12 - 2022/8/23)

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
20106/8/16	龍門港	0	31.9	46.90	23.20	-	7.88	16493	2002
		3	31.8	46.90	23.20	-	7.71	16029	1936
2016/12/28	馬公港	0	35.7	68.38	17.18	8.16	7.88	16491	1883
		3	36.3	70.45	18.53	7.74	8.12	16503	1938
		6	36.6	71.08	18.70	7.63	8.48	16685	1960
	龍門港	0	35.6	69.69	19.60	7.67	8.11	16838	1963
		3	35.5	69.77	19.80	7.64	8.17	17379	1980
		6	35.6	69.81	20.00	7.55	8.18	16855	1906
2017/3/7	馬公港	0	33.2	65.82	20.50	7.79	7.09	17817	2258
		3	33.2	66.23	20.50	7.62	7.99	17392	2150
		6	32.9	65.81	20.60	7.59	8.09	17094	2108
	龍門港	0	32.5	57.56	18.68	8.12	7.43	18183	2268
		3	32.5	58.01	21.28	7.67	8.09	17298	2166
		6	32.5	58.01	21.28	7.67	8.09	17298	2166
2017/6/6	馬公港	0	27.6	60.72	30.70	6.82	7.78	17886	2149
		3	29.0	61.74	27.20	6.60	8.00	19981	2484
		6	28.8	60.97	26.05	6.57	8.04	18047	2150
	龍門港	0	27.3	60.19	30.38	7.37	7.90	17515	2106
		3	29.5	62.43	28.95	7.14	8.13	18322	2251
		4	30.3	63.38	26.15	7.17	8.13	19253	2377
2017/9/7	馬公港	0	33.8	51.02	28.25	6.37	7.64	17668	2101
		3	35.1	52.03	28.20	6.22	7.67	17323	1969
		6	35.1	53.18	28.30	6.36	8.15	16358	1917
	龍門港	0	31.1	47.36	32.25	6.53	8.53	16720	1966
		3	31.5	48.44	29.15	6.97	8.21	16271	1909
		6	31.8	48.69	28.10	7.01	8.44	16076	1896
2017/12/5	馬公港	0	26.4	54.57	21.03	7.89	6.33	17105	2022
		3	26.5	55.03	20.80	7.94	6.46	16701	2105
		6	26.4	55.06	20.75	7.95	6.30	16890	1990
	龍門港	0	29.7	59.91	20.40	7.92	6.63	17067	2039
		3	26.9	56.30	20.60	8.39	6.79	17043	2099
		6	25.7	53.97	20.60	7.90	6.51	17021	2020
2018/3/21	馬公港	0	29.7	45.98	21.58	8.09	7.56	16623	1898
		3	29.7	45.80	22.10	7.96	7.84	18415	2013
		6	29.5	45.56	22.10	7.86	7.70	17292	1944
	龍門港	0	29.3	45.55	21.18	8.07	7.38	17689	1914
		3	29.2	45.02	22.50	7.87	6.92	17373	1953
		6	29.2	45.02	22.50	7.87	6.92	17373	1953
2018/6/14	馬公港	0	32.1	50.40	26.40	7.57	7.78	18117	2027
		3	32.2	50.50	26.20	7.44	7.85	21681	2136
		6	32.3	50.50	26.30	7.41	7.84	19198	2071
	龍門港	0	32.0	52.50	29.80	7.86	7.80	18497	2025
		3	32.0	51.70	28.10	7.75	7.80	18077	1984
		6	32.0	51.50	27.90	7.63	7.75	24430	2101
2018/9/19	馬公港	0	28.8	37.65	28.80	7.41	7.18	16625	1986
		3	28.7	40.05	27.30	7.45	7.39	17430	1949
		6	28.2	39.76	27.30	7.26	7.41	17217	1985
	龍門港	0	28.6	36.98	30.20	7.02	7.39	17875	2066
		3	28.6	40.11	29.65	6.94	7.11	18162	2053
		6	28.0	40.58	28.45	7.04	7.12	18353	2103

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2018/12/3	馬公港	0	30.4	63.39	24.68	6.99	8.38	16418	1891
		3	31.9	65.08	23.93	7.01	8.35	16305	1914
	龍門港	0	33.1	67.50	24.70	7.37	6.66	16794	1951
		3	33.4	68.13	24.30	7.63	6.89	16984	2007
2019/3/5	馬公港	0	33.6	67.67	23.20	7.23	8.13	18779	2064
		3	33.0	66.81	22.73	7.35	7.92	18013	2012
		6	32.5	66.15	22.50	7.33	7.84	18569	2082
	龍門港	0	32.2	65.90	23.90	7.53	6.56	17812	2050
		3	33.1	67.29	23.50	7.70	6.81	17145	1928
2019/5/28	馬公港	0	27.7	59.27	26.53	6.85	7.39	24256	2132
		3	28.5	60.38	25.93	6.84	7.40	18229	2103
		6	28.9	60.87	25.40	6.76	7.41	17840	2022
	龍門港	0	30.5	64.40	27.48	6.89	7.51	18399	2122
		3	30.7	64.84	26.90	6.86	7.53	18640	2056
2019/8/19	馬公港	0	32.1	48.99	27.20	6.81	7.32	17327	1894
		3	33.1	50.38	26.90	7.13	7.33	17619	1954
		6	33.2	50.56	26.60	7.13	7.34	17871	1955
	龍門港	0	31.7	48.66	27.40	7.86	7.30	16674	1892
		3	34.5	52.34	27.10	7.28	7.32	17163	1888
		6	34.3	52.06	26.50	6.94	7.33	17860	1975
2019/11/21	馬公港	0	32.5	65.56	21.80	7.14	6.82	19272	2032
		3	33.1	66.26	21.50	7.10	6.81	18802	2366
		6	33.0	66.45	21.30	7.07	6.81	19850	2193
	龍門港	0	29.7	72.72	22.00	7.23	7.50	19418	2141
		3	29.5	76.73	21.80	7.20	7.57	17551	1993
		6	32.7	81.51	21.80	7.12	7.59	17701	2022
2020/2/12	馬公港	0	31.9	79.92	20.85	7.37	7.72	21823	3332
		3	31.9	73.66	20.80	7.46	7.76	18563	2092
		6	32.0	69.14	20.70	7.52	7.77	18310	2013
	龍門港	0	32.0	68.06	20.40	7.65	7.80	21308	3547
		3	32.0	66.69	20.30	7.75	7.81	18466	2121
		6	32.1	66.33	20.20	7.74	7.79	19061	2088
2020/5/27	馬公港	0	30.8	49.20	26.50	7.57	7.19	19286	2531
		3	31.1	50.10	26.01	6.77	7.33	18898	2185
		6	31.5	50.70	25.14	6.54	7.37	18371	2190
	龍門港	0	30.6	49.60	27.19	7.07	7.43	18247	2218
		3	31.0	50.00	26.70	7.09	7.48	19414	2303
		6	31.4	50.60	26.30	6.79	7.55	19383	2241
2020/8/18	馬公港	0	31.0	48.70	29.50	7.30	7.46	18537	1973
		3	31.1	48.50	29.30	6.96	7.49	18238	1962
		6	31.3	48.70	29.00	7.00	7.49	18495	1983
	龍門港	0	31.3	48.70	29.20	6.29	7.51	19081	1968
		3	31.3	48.60	29.10	6.69	7.56	18158	1930
		6	31.3	48.60	29.90	6.90	7.63	18250	1907
2020/11/16	馬公港	0	33.5	50.70	24.83	6.99	7.80	19255	2256
		3	33.3	50.50	23.60	6.49	7.84	18729	2166
		6	33.4	50.50	23.40	6.46	7.85	19041	2171
	龍門港	0	33.3	50.30	24.50	6.13	7.86	18714	2176
		3	33.6	50.60	24.20	6.02	7.88	18570	2142
		6	33.6	50.80	23.90	6.09	7.87	18322	2088

取樣日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
2021/3/3	馬公港	0	33.6	50.60	18.80	6.51	7.50	17840	2051
		3	33.5	50.50	18.90	6.22	7.59	17954	2058
		6	33.5	50.50	18.98	6.04	7.59	17886	2052
	龍門港	0	33.5	50.70	19.20	6.02	6.85	18075	2084
		3	33.6	50.60	19.20	6.43	7.44	18168	2069
		6	33.5	50.50	19.00	5.90	7.71	18340	2098
2021/9/1	馬公港	0	34.0	52.40	32.68	6.13	7.58	14790	1574
		3	33.9	52.20	29.73	6.39	7.61	14347	1602
		6	34.0	52.30	28.45	6.42	7.62	19374	1983
	龍門港	0	33.7	52.40	29.80	6.46	7.53	16432	1884
		3	33.6	52.30	29.40	6.39	7.55	19387	2146
		6	33.7	52.40	28.43	5.59	7.55	17138	1880
2021/11/22	馬公港	0	35.0	52.30	24.00	8.10	7.39	17618	2112
		3	34.8	52.20	24.30	8.19	7.41	17690	2107
		6	34.9	52.20	24.10	8.28	7.41	17748	2115
	龍門港	0	35.3	53.60	24.30	8.61	7.52	18142	2071
		3	35.4	53.20	24.60	8.49	7.50	17295	2055
		6	35.3	53.20	24.70	8.46	7.52	17529	2080
2022/2/10	馬公港	0	35.1	46.20	18.10	9.66	7.31	17179	2008
		3	35.1	46.10	18.00	9.78	7.29	17372	2004
		6	35.1	46.00	17.90	9.69	7.31	16975	1976
	龍門港	0	35.4	47.80	19.40	9.49	7.27	17661	2029
		3	35.3	47.80	19.40	9.58	7.30	17324	2003
		6	35.3	47.80	19.40	9.58	7.30	17324	2003
2022/5/9	馬公港	0	35.3	53.90	25.50	8.50	7.31	17446	2221
		3	35.7	53.90	25.00	8.16	7.29	18201	2262
		6	35.6	53.80	24.90	8.56	7.34	18144	2262
	龍門港	0	36.0	55.90	26.50	8.14	7.30	18388	2260
		3	35.9	55.60	26.40	8.45	7.36	17843	2239
		6	35.8	55.20	25.90	8.29	7.34	18541	2316
2022/8/9	馬公港	0	32.6	56.70	31.50	7.68	7.77	17460	1803
		3	33.2	56.40	30.70	8.16	7.78	17465	1839
		6	33.1	55.70	30.20	7.57	7.71	17456	1787
	龍門港	0	32.6	56.80	31.70	8.39	7.93	17267	1807
		3	32.4	57.00	31.80	8.66	7.99	17983	1976
		6	32.4	57.00	31.80	8.66	7.99	17983	1976

註： - 為電極異常或水樣遺失，故無資料

## 附錄三

### 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 112 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 24 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：賴俊呈

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

### 一、林委員鎮華

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 鼎型塊排列方式亦會影響沖刷深度，建議可探討。
2. 是否有設置現場水位及流速監測設備？
3. 本工法設置於橋墩 P24L 有淤積之效果，保護成效如何量化？

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

1. 透地雷達 AI 辨識，需要大量資料進行訓練、測試。
2. 目前深度學習以 CNN 為主，故可做圖像識別。
3. 若要即時識別，建議需建置雲端運算。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異辨識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 邊坡多尺度主要針對那些圖像？將會影響其適用性、實務應用。
2. 邊坡影像是以處理前/後為基準資料進行學習？

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 本計畫以碳鋼金屬於大氣曝露下做腐蝕關聯性探討，如何應用於鋼筋混擬土及鋼構。
  2. 腐蝕劣化因子如何回饋至實務構件？
- (五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業
- 港區為地上物、水中物如何即時回饋、即時影像？
- (六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進
- 港區大多為回填土層，是否有相關監測如水位計、地下土壤含水量及土壤層次監測。

## 二、謝委員明志

港研中心一科 112 年 6 項自辦計畫，在計畫書裡每個計畫的緣起、目的、研究範圍、利害關係人、工作內容及作業時程，都有詳實的描述，是一份架構完整，描述清晰的計畫書。

- (一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析
- 本計畫是橋梁沖刷數值模型建置分析，分 4 年執行，是個循序漸進的計畫，規劃完整，且計畫完成後產出之三維水理分析模型具有實用性。
- (二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討
- 本計畫是透地雷達應用於省道巡查及 AI 辨識應用，為未來合作計畫的先期研究，藉此可先打下後續研究需求，更能明確知道目的及預期成效。
- (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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討
- 本計畫是空拍影像、深度學習在邊坡地貌變異判識之應用，符合交通部年度施政重點，引進新興科技，值得鼓勵。
- (四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

腐蝕環境與碳鋼金屬關聯性，為本土環境資料的調查，全臺灣只有港研中心有這類資料庫的建置，應持續推動。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

本計畫是港灣構造物巡查檢測作業精進，也引入新興科技，應用於巡檢及風險判識，是個值得鼓勵的研究業務。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

本計畫是港區地震液化風險評估模式精進，針對臺北港進行評估，除了進行地工資料庫更新，也新增了這幾年國內外的液化分析方法，應會更加精確的推估，值得持續推動。

### 三、何委員鴻文

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估 (2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

本計畫成果產出之技術指引具有實用性，另地工織布之耐久性為何？

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

本計畫期待可擴及使用範圍至省道以外道路。

(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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

本計畫之利害關係人建議增列各縣市政府。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

本計畫建議其成果提供交通部技監室辦理橋梁相關設計規範訂定之參考。

### 四、吳委員松旺

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估 (2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 本計畫是多年期的計畫，在第 1 年的計畫即與高公局中

區分局大甲工務段密切的配合，在國道 3 號大甲溪橋現場設置鼎型塊織布橋基保護工法，目前已初步驗證有效減緩向下沖刷作用，尚待長期性觀測及超大豪雨事件來驗證，大甲工務段會持續配合本計畫。

2. 建議本計畫能擬訂鼎型塊織布橋基保護工法現場佈設的標準作業程序，讓現場佈設時有所依循。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

無論省道或者是國道都是線型的，都有一定的長度，標的物很大，所以建議目標要收斂，比如說在行車舒適度不佳的路段做試驗，要收斂調查，這樣對道路主管機關來說會更有幫助。

(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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 無論是省道或是國道尚需注意路權以外的邊坡，路權外的邊坡產生變異(開發行為)間接影響到省道或國道的邊坡，因為邊坡是一體的，不會說崩塌到國道的路權內就不崩塌，所以建議本計畫需把路權外的邊坡狀況納入探討。

2. 另大甲工務段轄區亦有邊坡場址，例如：後龍至苑裡路段，可提供本計畫做為探討的標的，或是若需要相關空拍圖資進行分析和訓練，也可洽詢大甲工務段提供、合作。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

大甲工務段所轄管國道是最靠近海邊，若是本計畫有需要到大甲工務段的轄區來設置觀測站(點)，大甲工務段樂意配合。

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。

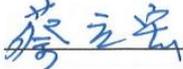
捌、 散會：下午 4 時 10 分

### 會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 24 日(星期一)下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任 

伍、出席單位及人員：

出席單位及人員	簽名
王委員錦榮	請假
林委員鎮華	
吳委員松旺	
何委員鴻文	
謝委員明志	

出席單位及人員	簽名
本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心 第一科	賴瑞堯  胡哲文 張道光 鄭堯鏗 黃子強 謝少屏 曾文傑 賴俊呈
本所港灣技術研究中心 第二科	李俊穎
本所港灣技術研究中心 第三科	林雅雯

## 附錄四

### 第 1 次工作會議紀要



# 112 年 6 月工作會議紀要

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：112 年 6 月 28 日(星期三)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 三維數值水理分析及文獻蒐集情形說明。
2. 本年度試驗區 UAV 第 1 次地形觀測辦理情形說明。
3. FLOW 3D 教育訓練辦理情形，及三維數值模型初步建置情形說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 蒐集並研析交通部公路總局(研究對象)省道養護巡查作業相關規定、柔性路面鋪面損壞分類、現象及原因。
2. 透地雷達應用於「地下埋設物及不明物體調查」、「地下水位深度及含水量變化探測」及「人工智慧辨識透地雷達訊號圖像」相關研究之文獻回顧。
3. 112 年 3 月 21 日訪談交通部公路總局陳進發總工程司，瞭解

研究對象在政策面上對本計畫的看法及提供相關意見。

4. 112年5月24日訪談交通部公路總局第一區養護工程處陳俊堯處長，瞭解研究對象在管理面上對本計畫的看法及提供相關意見。

(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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 蒐集彙整國內外AI應用於邊坡之相關文獻。
2. 辦理本案專家學者訪談。

(四)112年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，完成第1、2季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗取樣維護作業，完成111年第4季、全年與112年第1季大氣腐蝕劣化因子化學分析及金屬試樣酸洗工作。
2. 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫，完成111年度大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗資料綜整分析並繪製等位圖，並將相關資料擴增於「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」資料庫，並公開於本中心網站供外界查詢。
3. 完成撰寫及出版「2022年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」工作，提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 彙整港區各型式碼頭的巡檢項目。
2. 彙整與探討碼頭常見的劣化項目。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 彙整液化評估法相關文獻。
2. 蒐集臺灣港務股份有限公司於臺北港近10年新建工程所增

加之地質鑽探資料。

3. 蒐集經濟部中央地質調查所於臺北港之地質鑽探資料。

4. 初步完成臺北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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 討論文獻所提數模參數敏感性分析，其背景條件與本計畫之差異及適用性。

2. 討論渠槽試驗除規劃使用 GoPro 縮時攝影外，可增加其它監測設備，如流速計。

### (二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初探

1. 討論訪談透地雷達領域之業界專家，蒐集業界對於本計畫執行及 AI 智慧化判識應用之看法。

2. 討論後續於「AI 智慧化辨識透地雷達訊號圖像可行性探討」章節中，如何蒐集 AI 訓練之相關資料及建立 AI 訓練資料庫。

### (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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 討論邊坡原始資料取得、資料處理方法及 AI 模型建置於後續的實務應用。

2. 討論 AI 監督式學習、非監督式學習及半監督式學習優缺點。

### (四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 討論工業區碳鋼金屬腐蝕與二氧化硫關聯性。

2. 討論金屬腐蝕與腐蝕因子關聯性相關文獻。

### (五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施

## 巡查檢測作業

1. 討論碼頭維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。
2. 討論各港之碼頭構件劣化項目。

## (六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。
2. 討論地質鑽探資料盤點、篩選。
3. 討論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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

- (一)試驗區 UAV 觀測航拍活動於今年度 4 月初獲民航局申請許可，申請期間一次為 3 個月，迄今即將到期，請提醒委外廠商儘早再提出下一段申請，以避免下次豪大雨事件後，無法進場航拍觀測，影響計畫執行。
- (二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理。

### 二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

本計畫係為後續合作研究計畫的先期研究，需確認應用單位的需求、想法且要能落地應用。

### 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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

- (一)建議依專家訪談提供之意見，於本計畫探討未來何種邊坡型式或破壞類型應用 AI 介入判識較具可行性和實務應用性，以利後續再以此為基礎進行深入探究。
- (二)若時間允許建議可針對公路總局及轄下工程處、工務段、高速公路局和相關利害關係人等皆安排進行訪談，藉以瞭解實務需

求和後續研究著力點，達以終為始之目的。

#### 四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

- (一)建議找出金屬腐蝕與大氣腐蝕因子氯鹽、二氧化硫間的關聯性。
- (二)後續建立碳鋼金屬與環境因子迴歸模式時，建議說明模式中各環境因子對金屬腐蝕的影響是否符合腐蝕理論。

#### 五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

- (一)建議統計並分類各型式碼頭構件的劣化項目，瞭解碼頭常見的損壞構件，提供後續碼頭維護的參考數據。
- (二)建議彙整各港區特別巡查的構造物遭撞損的意外事故資料與劣化項目。

#### 六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

- (一)今年針對臺北港進行液化評估，除進行地工資料庫更新，也建議運用近年來國內、外的液化分析方法，推估臺北港液化範圍及深度，提供地震速報之應用。
- (二)請於第 2 次工作報告時，呈現今年新增臺北港區的地質鑽探資料，其新、舊資料之分佈區域，以利瞭解其分佈是否能滿足臺北港區液化評估之需求。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：112 年 6 月 28 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 副研究員 研究員 研究員 副研究員 助理研究員	謝幼屏 胡哲了 黃子濤 曾文傑 張道光 鄭登鍵 賴俊星 王浩翔 顏研香
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李修穎
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

## 附錄五

### 第 2 次工作會議紀要



## 112 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 112 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：112 年 8 月 28 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 112 年度前 3 季現場試驗觀測結果說明。
2. 三維數值模型建置情形。
3. 後續工作項目說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 探討透地雷達如何應用於省道一般道路柔性鋪面養護巡查及其可行性。
2. 訪談交通部公路總局(以下簡稱公路總局)第二區養護工程處彰化工務段陳禎康段長及中華大學土木工程系林鎮華助理教授之摘要說明。

3. 後續工作項目說明。

(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  
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 探討邊坡破壞類型及遙測技術適用性。

2. 彙整公路邊坡維管機制與訪談公路邊坡維管單位。

3. 後續工作項目說明。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作。

2. 進行碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析。

3. 後續工作項目說明。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施  
巡查檢測作業

1. 檢討碼頭設施維護管理制度與構件劣化標準。

2. 新興科技行動應用程式應用於碼頭巡檢作業。

3. 後續工作項目說明。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 建置臺北港地質鑽探資料，並盤點、篩選可用資料共 148 筆地質鑽探資料。

2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。

3. 後續工作項目說明。

## 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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 討論三維數值分析結果，提供橋梁維管單位應用之方式。
  2. 補充三維數值模型建置之模型尺寸及穩定沖刷時間說明。
- (二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探
1. 討論透地雷達可以檢測探查之道路下潛在損壞因素，除了孔洞外，尚可檢測探查路基問題、回填材料問題、地下水及滲漏水等問題。
  2. 討論不同廠牌透地雷達檢測後所輸出的訊號圖像，對於後續 AI 智慧化辨識的影響。
- (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  
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討
1. 討論訪談公路邊坡之實務單位看法及需求。
  2. 討論後續 AI 切入實務應用之方向及目標。
- (四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究
1. 討論以迴歸分析法進行碳鋼金屬腐蝕與環境因子關聯性分析過程中的相關考量。
  2. 討論教育訓練辦理方式，以及在網站上展示的腐蝕成果。
- (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業
1. 有關維護管理制度定期檢測與詳細檢測的探討。
  2. 討論行動應用程式應用在碼頭巡檢作業。
- (六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進
1. 討論土壤液化評估相關方法。
  2. 討論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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

(一)請儘速辦理部務會報相關資料簽報作業，另創新提案請妥為準備以爭取佳績。

(二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理。

二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

(一)透地雷達可以檢測探查道路下潛在損壞因素不只有孔洞，建議可以針對公路養護手冊所列的柔性鋪面損壞樣態進行探討，探討透地雷達檢測切入的可行性。

(二)本計畫研究對象是公路總局，主要應用對象是道路主管機關，建議可以將研究成果投稿至公路相關的期刊。

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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

(一)過去訪談多針對公路總局，亦可針對交通部高速公路局進行訪談，藉以瞭解實務需求和應用遙測技術於邊坡巡查之機制。

(二)本研究可針對不同尺度空拍影像後續如何結合 AI 應用之方向進行整理探討和適用性分類。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

(一)在建立碳鋼金屬與環境因子迴歸模式的分析過程中，若模式配適度不佳，可考慮同時納入氯鹽、二氧化硫，或採用分季資料分析等不同方法來改善模式。

(二)進行迴歸模式校正時，可補充說明變數轉換、模式轉換的理由依據。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

後續請再探討新興科技應用於碼頭巡檢作業之設施構件劣化度判

定標準之適用性，並增加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(2/5)-臺北港模式精進

- (一)請使用最新的臺北港配置現況圖資，以利後續臺北港液化風險評估分析。
- (二)下次工作會議請補充液化風險評估 Cetin 機率法，以利瞭解機率分析與定值分析之差異處。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：112 年 8 月 28 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心	副主任	柯正光
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 助理研究員 副研究員 副研究員 研究員 研究員	曾文輝 胡啟文 賴俊星 鄭登建 黃宇謙 張道光 謝少峰
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李俊穎
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

## 附錄六

### 第 3 次工作會議紀要



# 112 年 10 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 27 日(星期五)下午 2 時至 5 時

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

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(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 112 年度前 3 季現場試驗觀測結果。

2. 三維數值模型建置情形-矩形樁基礎+鼎型塊，矩形樁基礎+鼎型塊+織布。

3. 階段性成果應用。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 透地雷達應用於省道一般道路柔性鋪面養護巡查可行性及落地應用對策。

2. 應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像的可行性。

(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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 公路邊坡維管機制與流程彙整。
2. 公路邊坡結合 AI 之加值應用。
3. 空拍影像處理技術。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 112 年第 1~3 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗工作。
2. 碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 依維護管理制度執行碼頭巡檢作業時所遭遇之問題。
2. 新興科技行動應用程式與水下無人載具應用於碼頭巡檢作業。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 臺北港不同地震情境下液化潛勢分析。
2. 臺北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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 織布具透水性，建議可將織布分離成幾小塊來模擬透水性。
2. 數值軟體雖無對應之保護工模組可應用，但利用土中應力增加方式來近似模擬，其模擬結果與試驗結果接近，說明具有其可行性，後續可再諮詢相關專家。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探

1. 透地雷達檢測省道柔性鋪面於經常性或重複性損壞路段之成因，相較採用現場直接開挖方式有其優勢。

2. 應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，在市售商業軟體及客製化專案研發方式之區別。
- (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(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討
1. 訪談公路邊坡之實務單位看法及後續切入方向。
  2. 後續年度工作內容及目標。
- (四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究
1. 碳鋼金屬腐蝕與腐蝕因子關聯模式建立後的模式說明、應用與推廣。
  2. 探討臺灣不同環境下金屬腐蝕差異性的方法。
- (五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業
1. 碼頭巡檢作業時所遭遇問題。
  2. 應用新興科技強化港灣構造物之巡查與檢測作業。
- (六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進
1. 臺北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(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析
- (一) 國道 3 號大甲溪橋橋墩 UAV 航拍勞務案，若 11 月中旬時無預期之颱風消息，可於 11 月下旬著手辦理相關結案驗收事宜，以利主計年度結算作業執行。
- (二) 請依所規劃之後續研究事項積極辦理，並如期完成提交期末報告初稿。

## 二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

- (一)透地雷達檢測省道柔性鋪面經常性或重複性損壞的成因具有一定的成效及優點，因此應用於省道養護巡查的「特別檢查」是具可行的且符合交通部公路局之需求。
- (二)應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，目前在臺灣市面上有相關的商業軟體可使用，但選擇性不多，也有依使用者需求進行客製化專案研發的方式，若要應用 AI 辨識道路下潛在損壞因素，則使用客製化專案研發的方式較為合適。
- (三)本計畫為後續合作計畫的先期計畫，故對於後續合作計畫時程、內容等需詳加規劃考量，俾利能落地應用。

## 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(2/2)- 影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

- (一)針對空拍影像之處理方法應考量不同尺度載具及其搭載儀器間的區別，並對本案欲蒐集之公路邊坡影像進行適用性探討。
- (二)經處理之邊坡空拍影像如何挑選適當之 AI 深度學習模型進行訓練，以獲得較佳的結果，係本研究之精隨所在，建議於期末報告中強化敘述。
- (三)今年度已針對交通部公路局和交通部高速公路局進行實務單位訪談，建議後續可依實務單位意見延續相關研究課題，以配合實務需求並結合現行邊坡巡檢之機制。

## 四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

後續研究可分區進行關聯性統計分析，探討臺灣各地區不同大氣環境、不同污染特性區域間的腐蝕差異性。

## 五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

請加強新興科技應用於碼頭的檢測與維護管理作業的精進說明，並請掌握時效撰寫研究成果報告。

## 會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：112 年 10 月 27 日(星期五) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員	黃子謙 謝幼屏 張道光 曾文偉 胡哲文 賴俊呈
本所運輸技術研究中心第二科	副研究員	李俊穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯



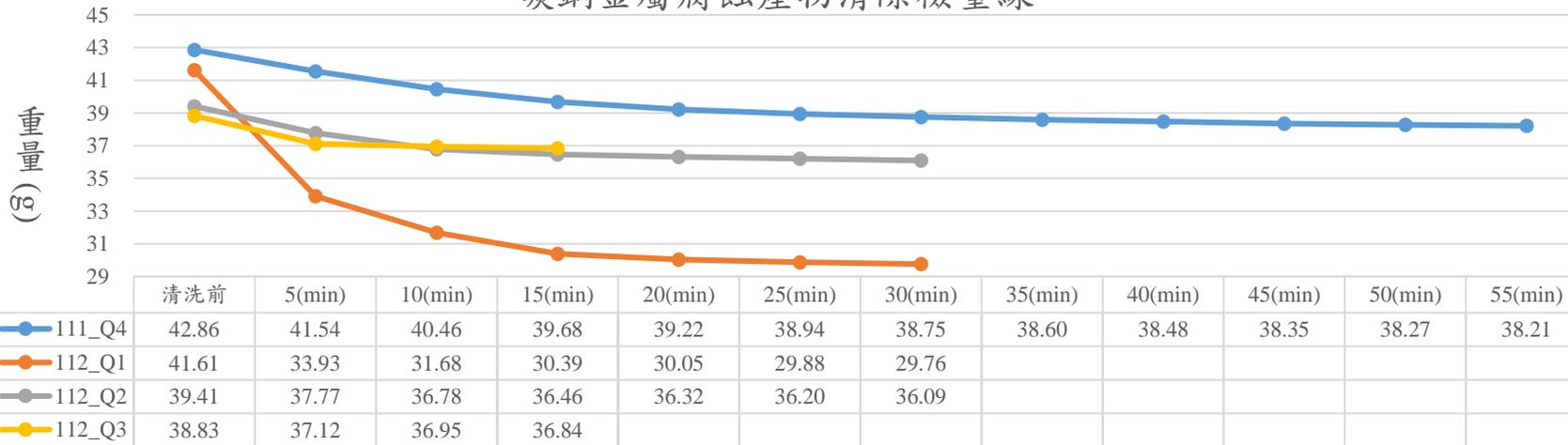
## 附錄七

腐蝕產物清除檢量線、腐蝕速率等位  
線分布圖及腐蝕環境分類圖

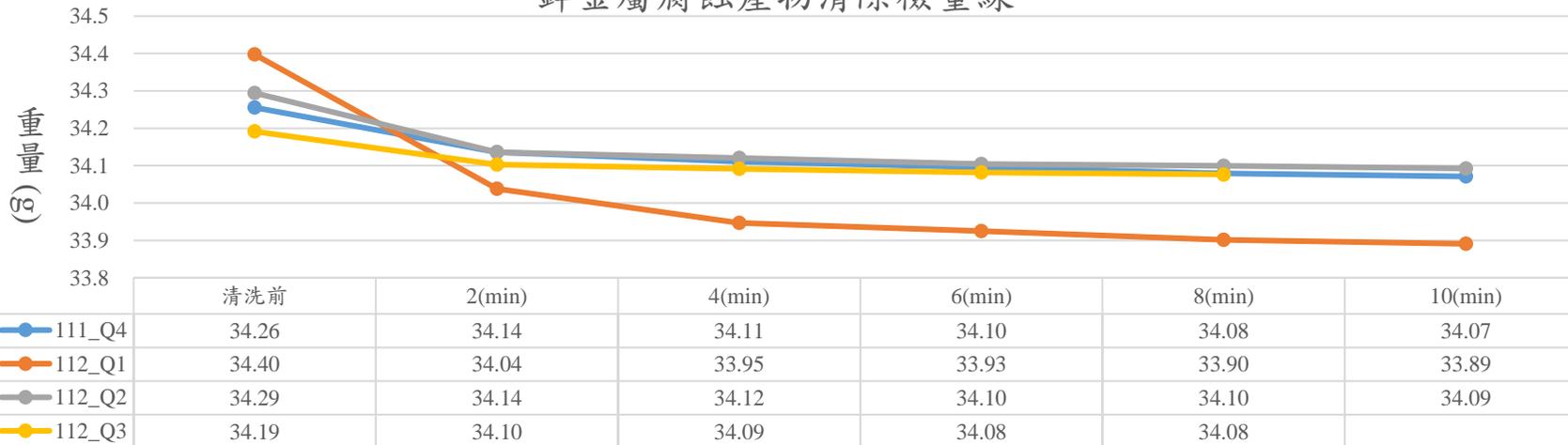


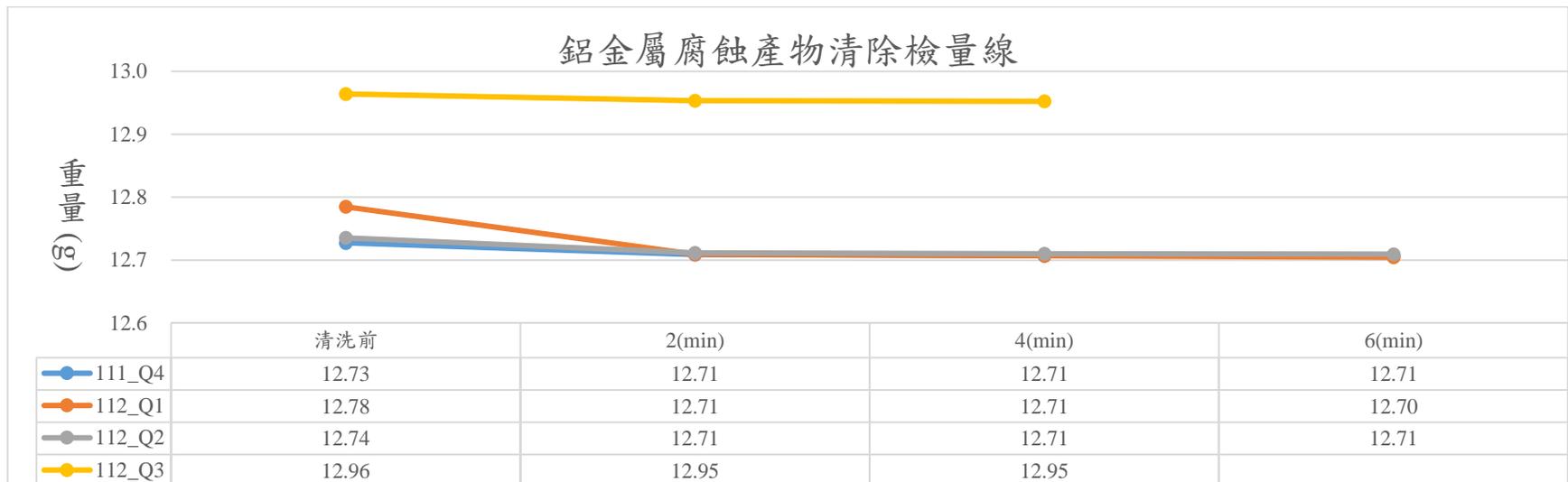
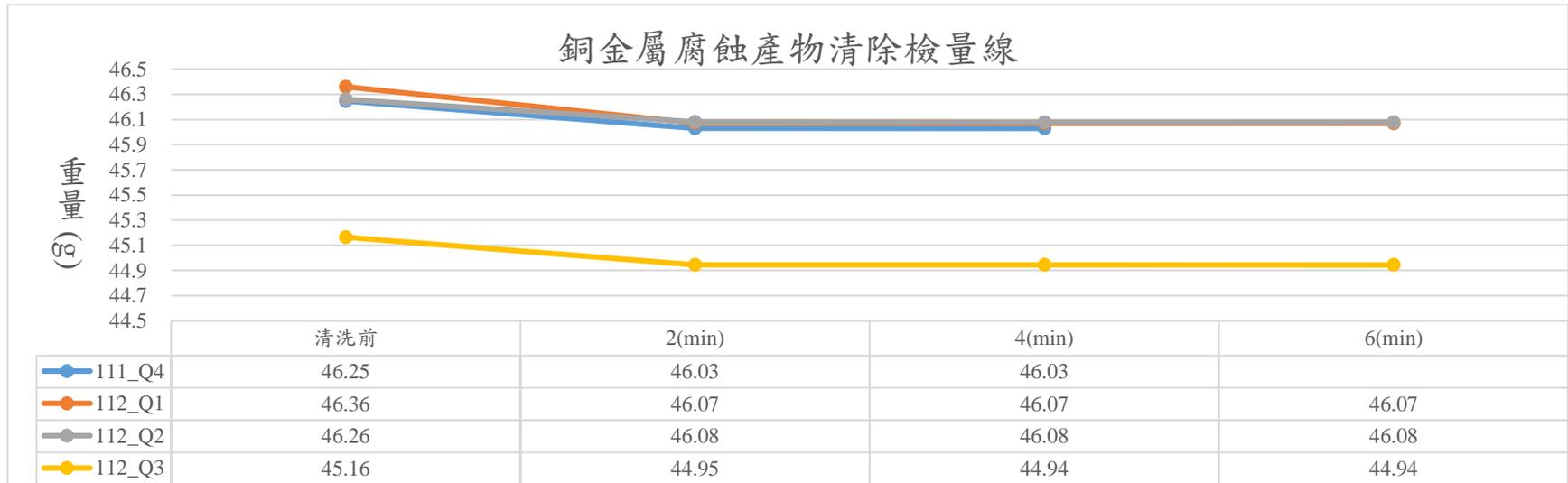
## 腐蝕產物清除檢量線

### 碳鋼金屬腐蝕產物清除檢量線



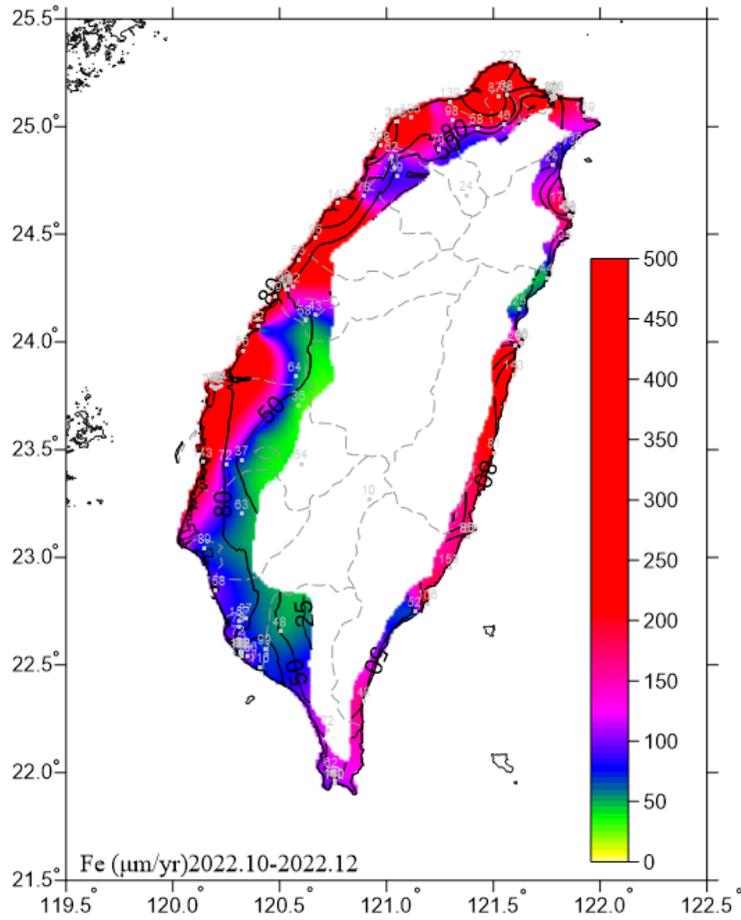
### 鋅金屬腐蝕產物清除檢量線



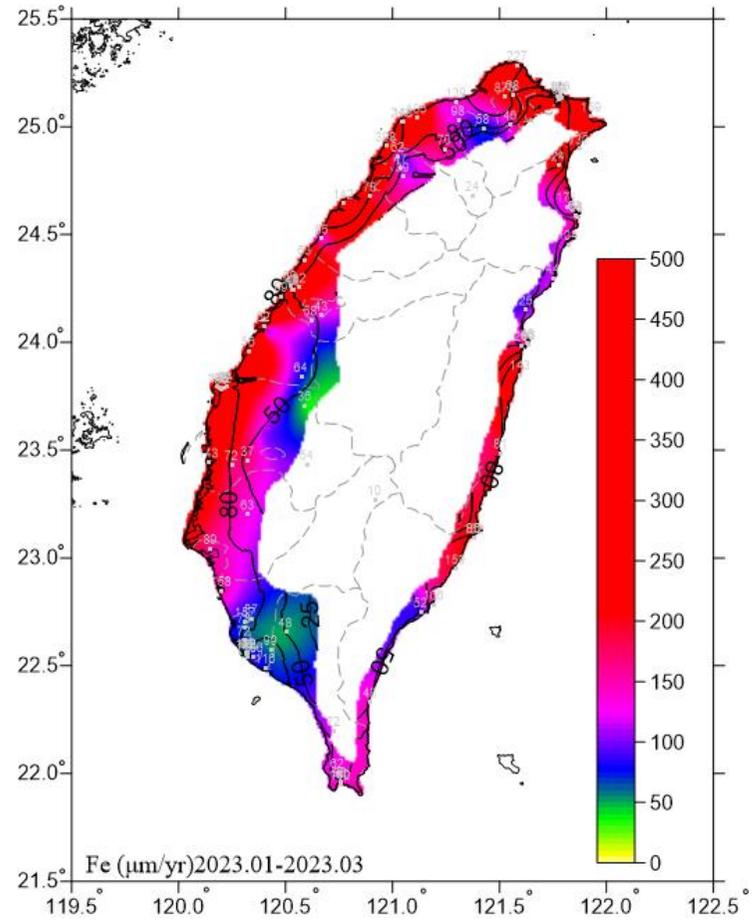


### 腐蝕速率等位線分布圖

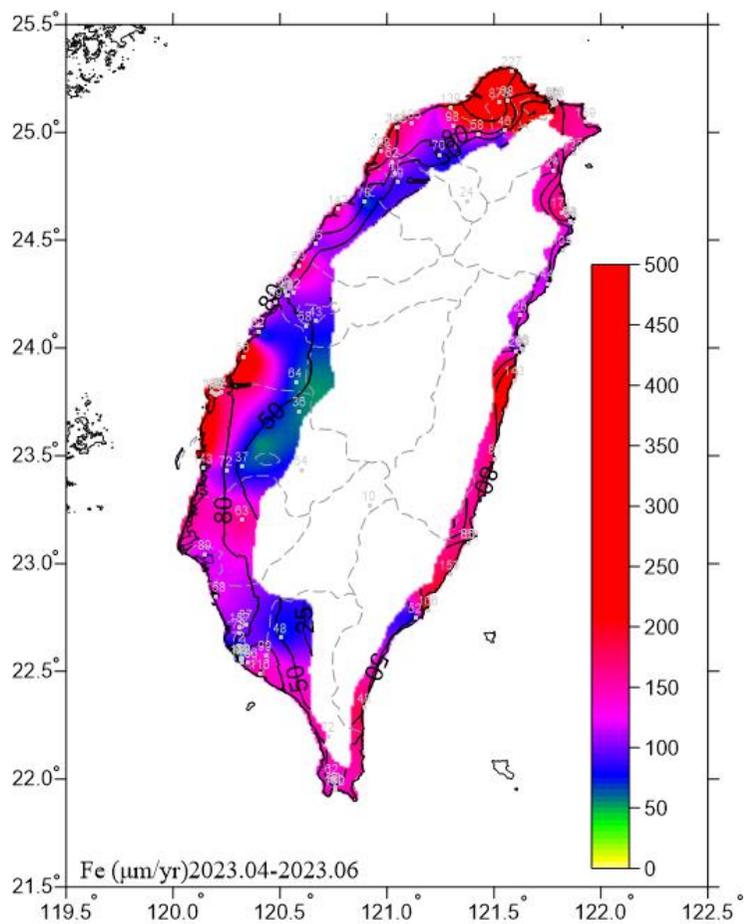
附錄 7-3



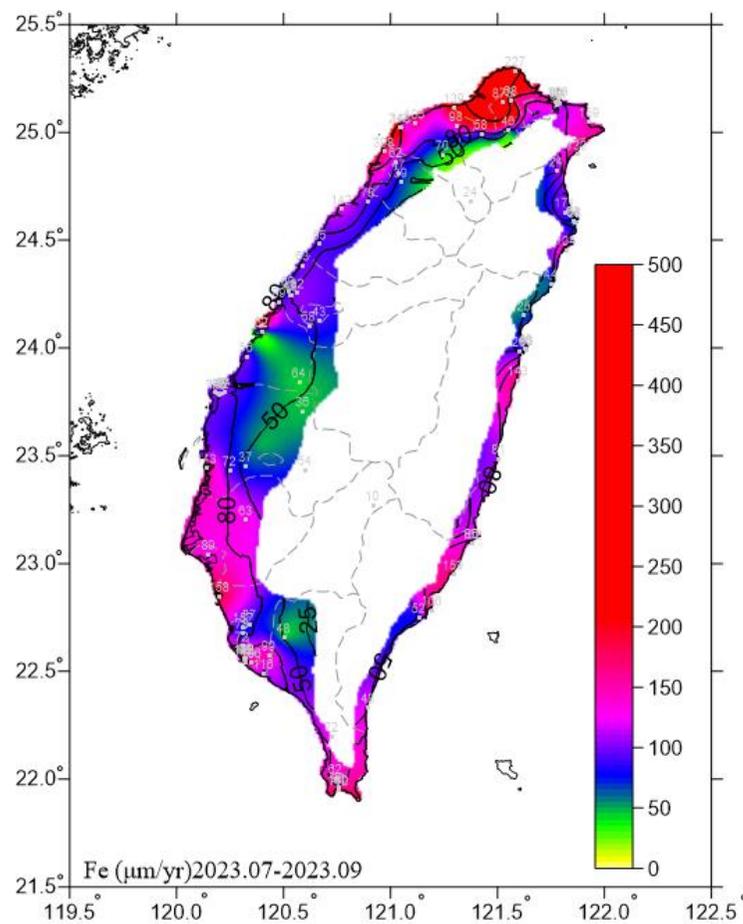
2022.10-2022.12 碳鋼腐蝕速率圖



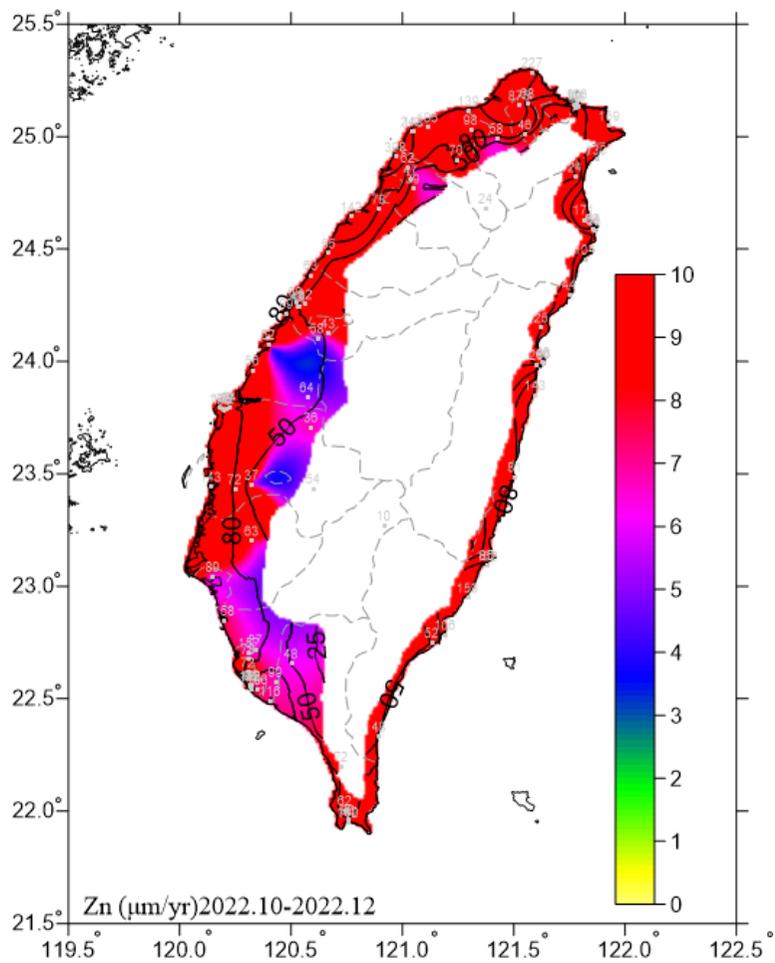
2023.01-2023.03 碳鋼腐蝕速率圖



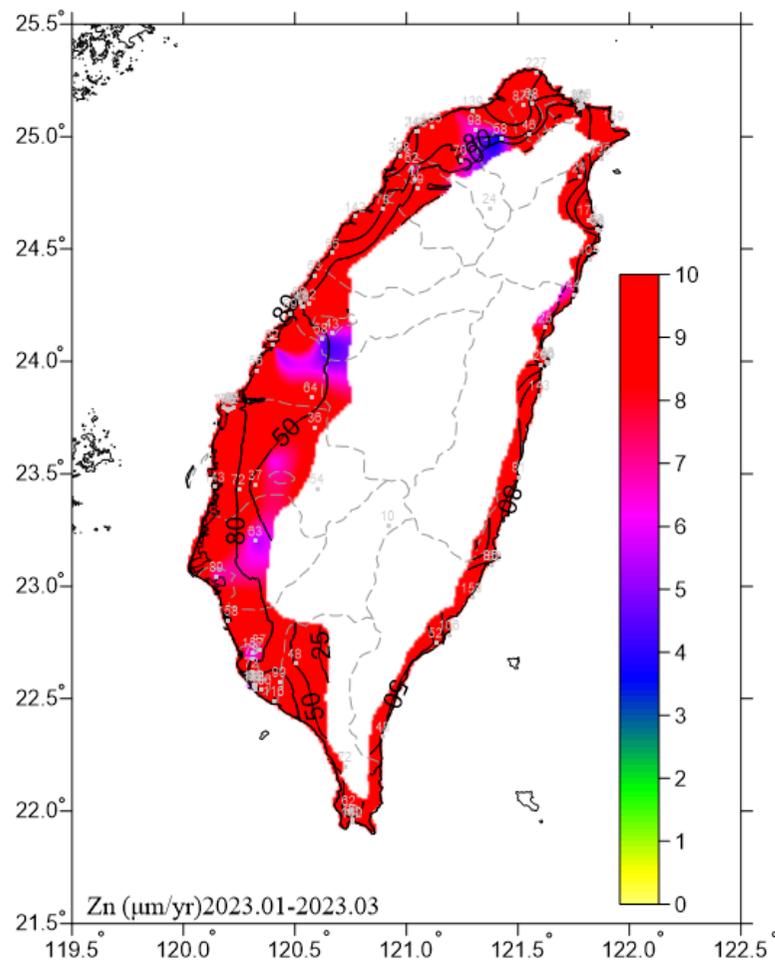
2023.04-2023.06 碳鋼腐蝕速率圖



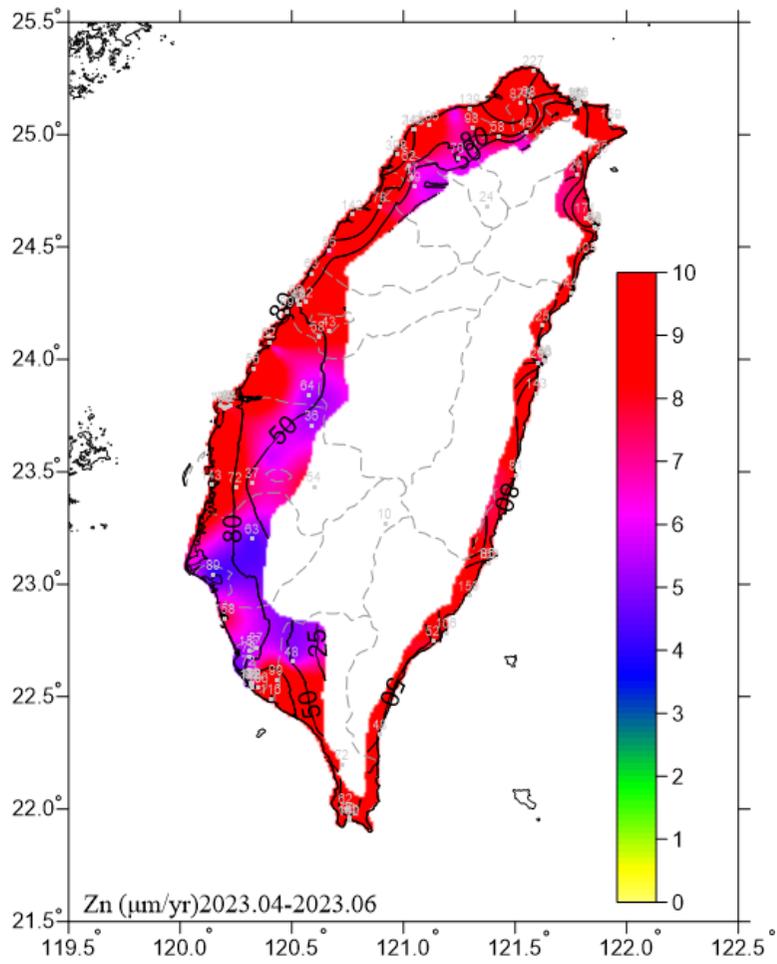
2023.07-2023.09 碳鋼腐蝕速率圖



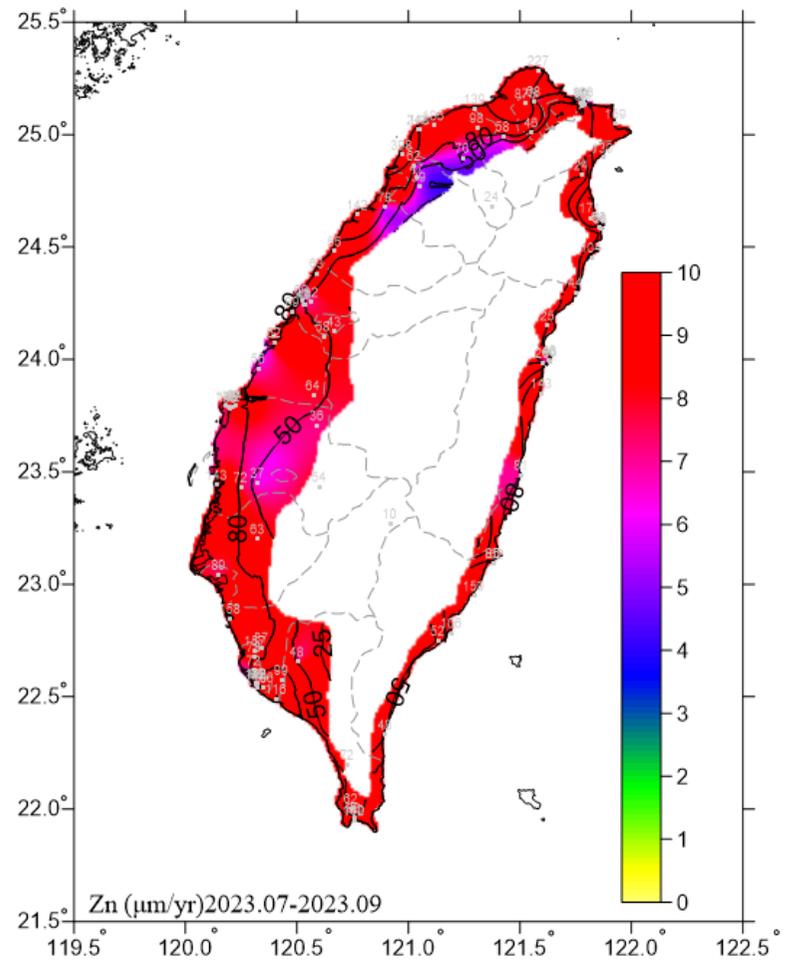
2022.10-2022.12 鋅腐蝕速率圖



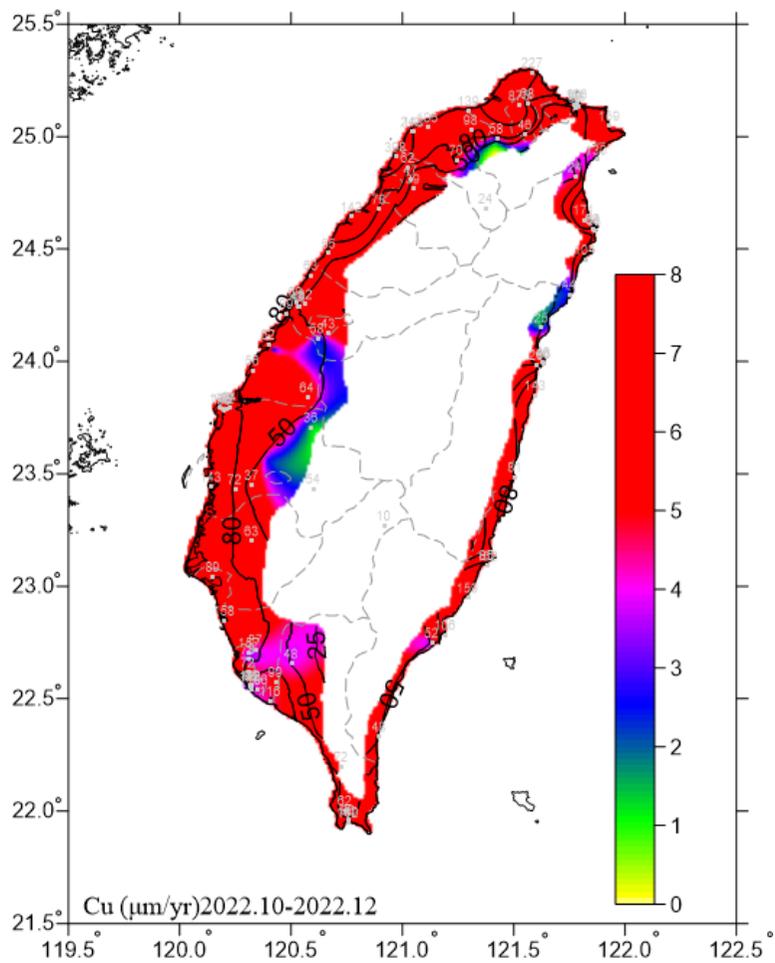
2023.01-2023.03 鋅腐蝕速率圖



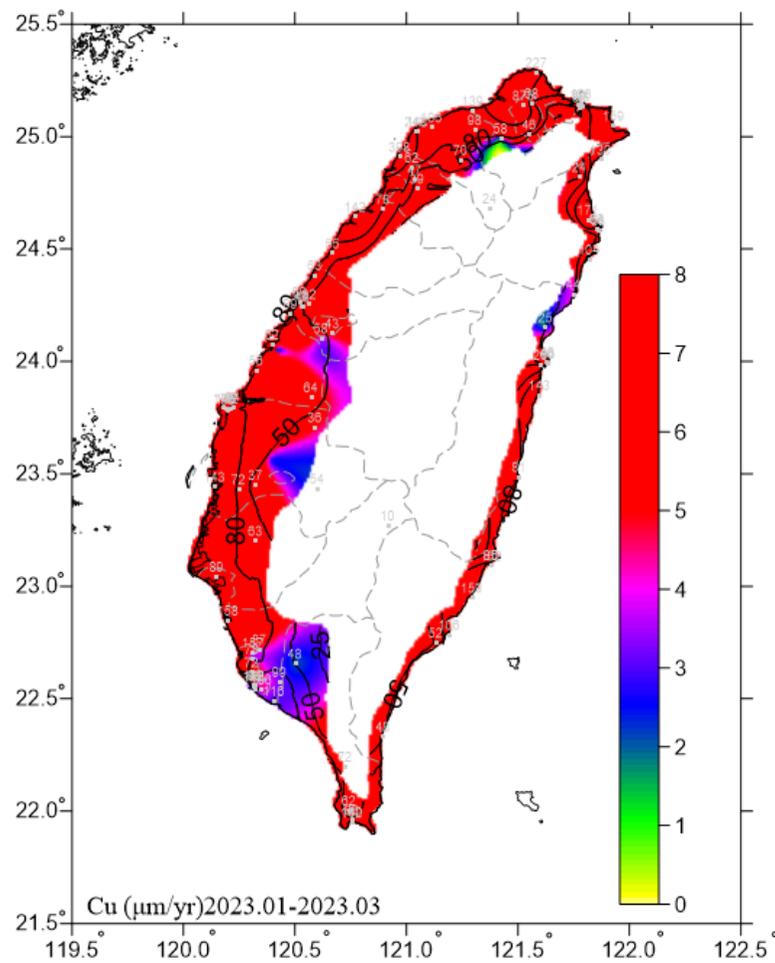
2023.04-2023.06 鋅腐蝕速率圖



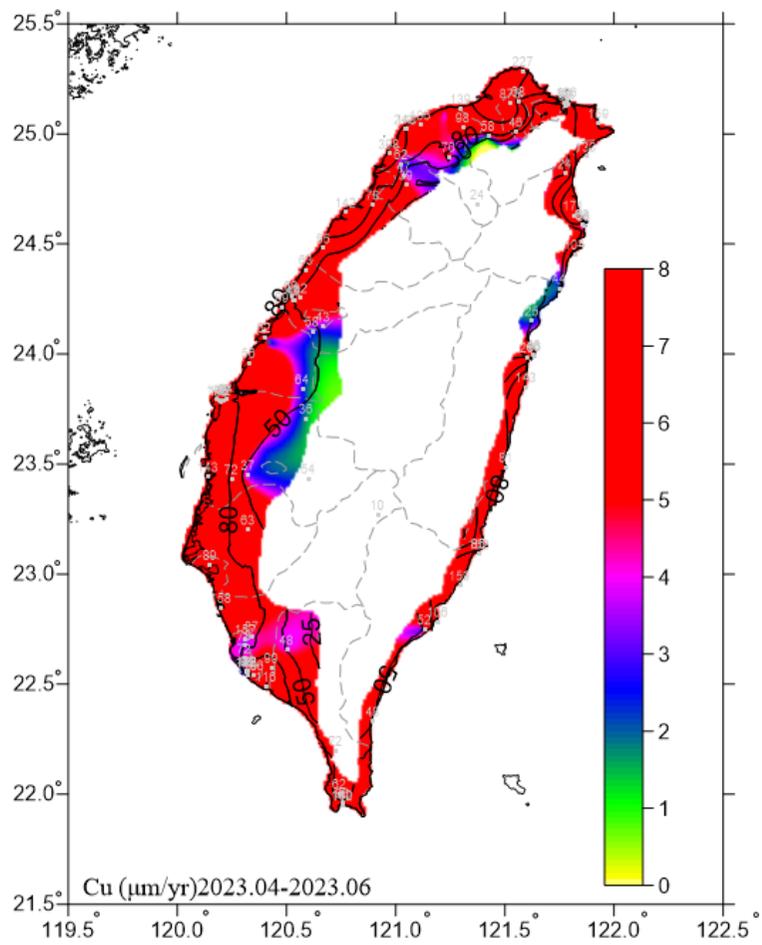
2023.07-2023.09 鋅腐蝕速率圖



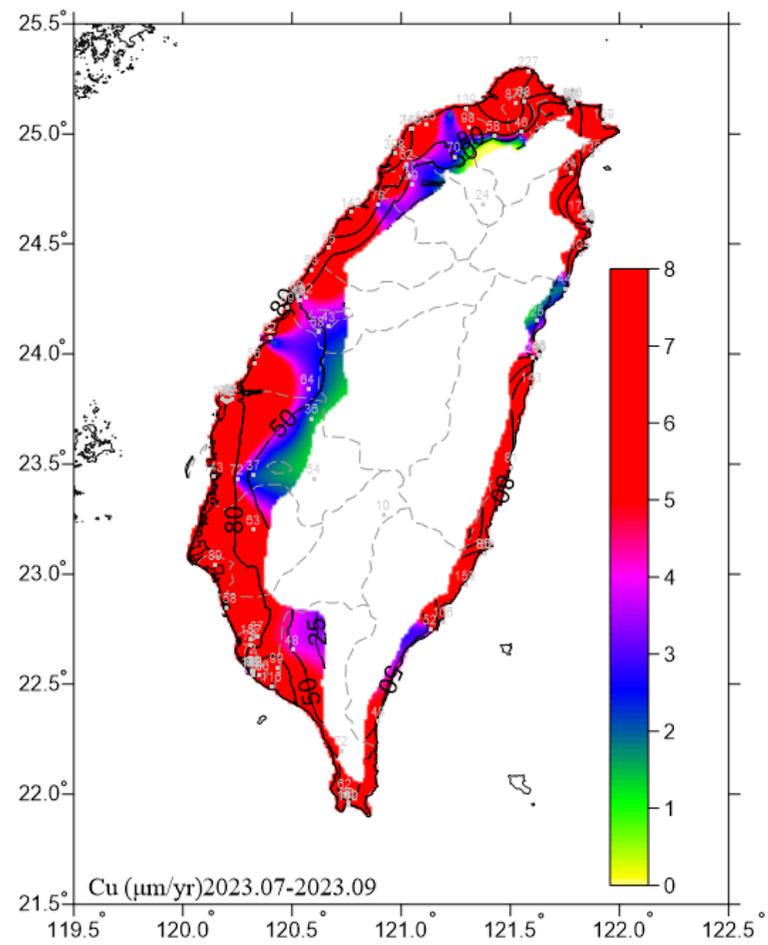
2022.10-2022.12 銅腐蝕速率圖



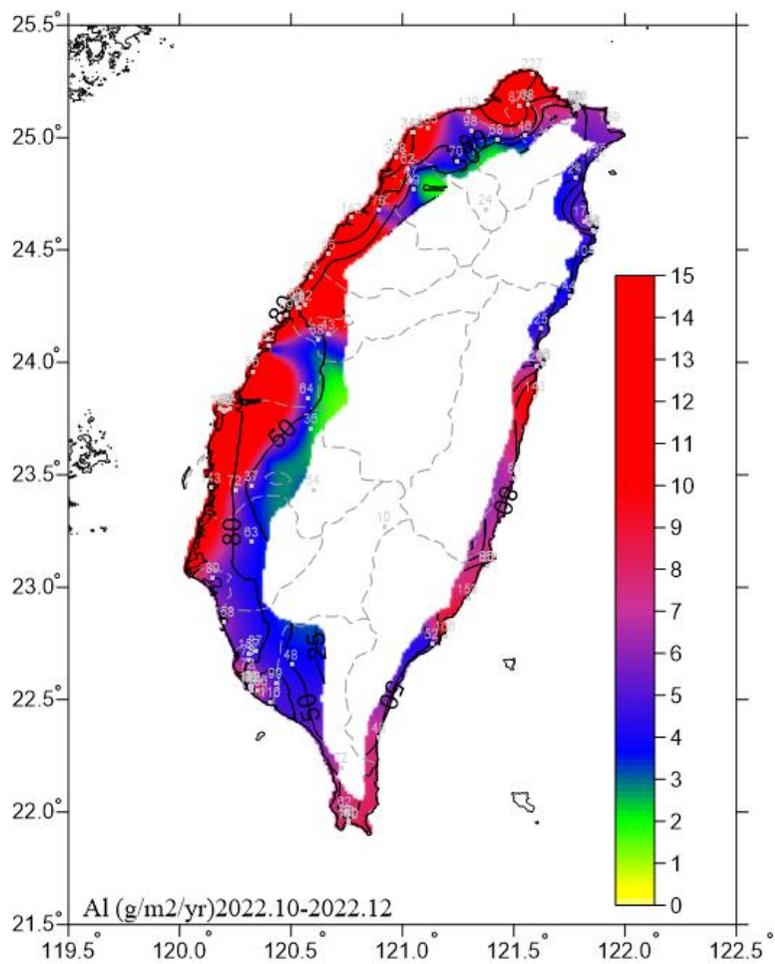
2023.01-2023.03 銅腐蝕速率圖



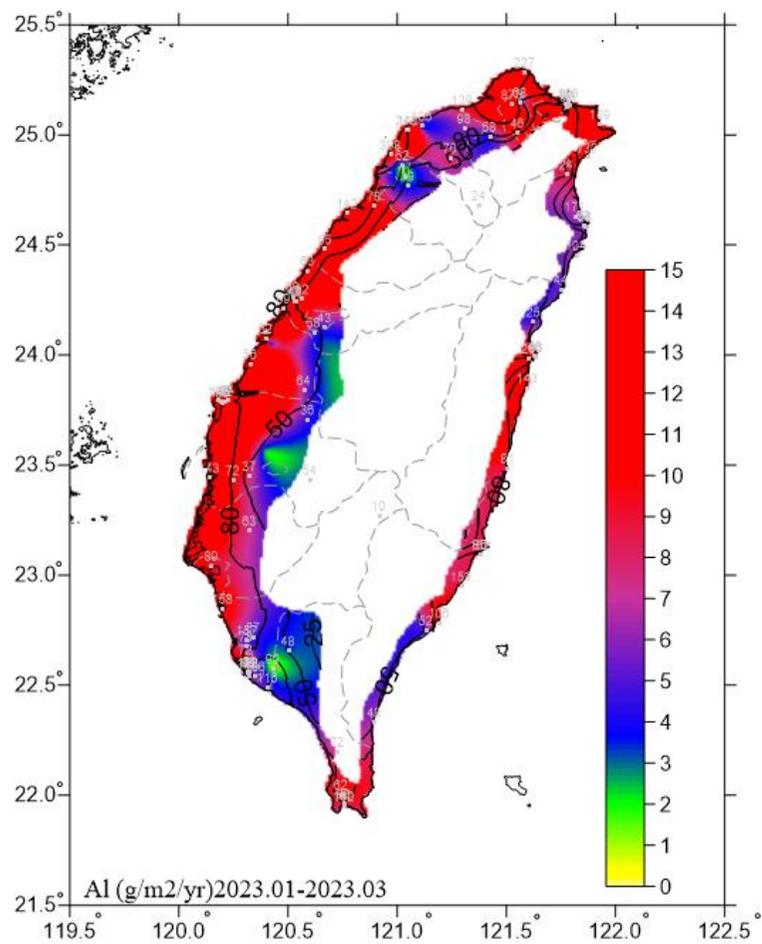
2023.04-2023.06 銅腐蝕速率圖



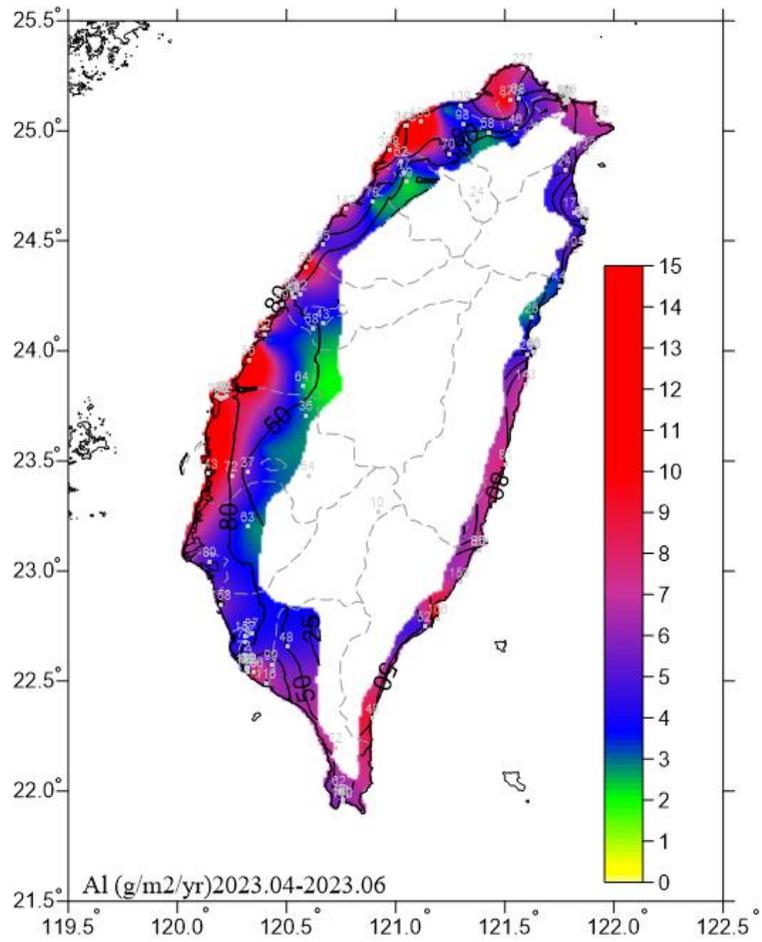
2023.07-2023.09 銅腐蝕速率圖



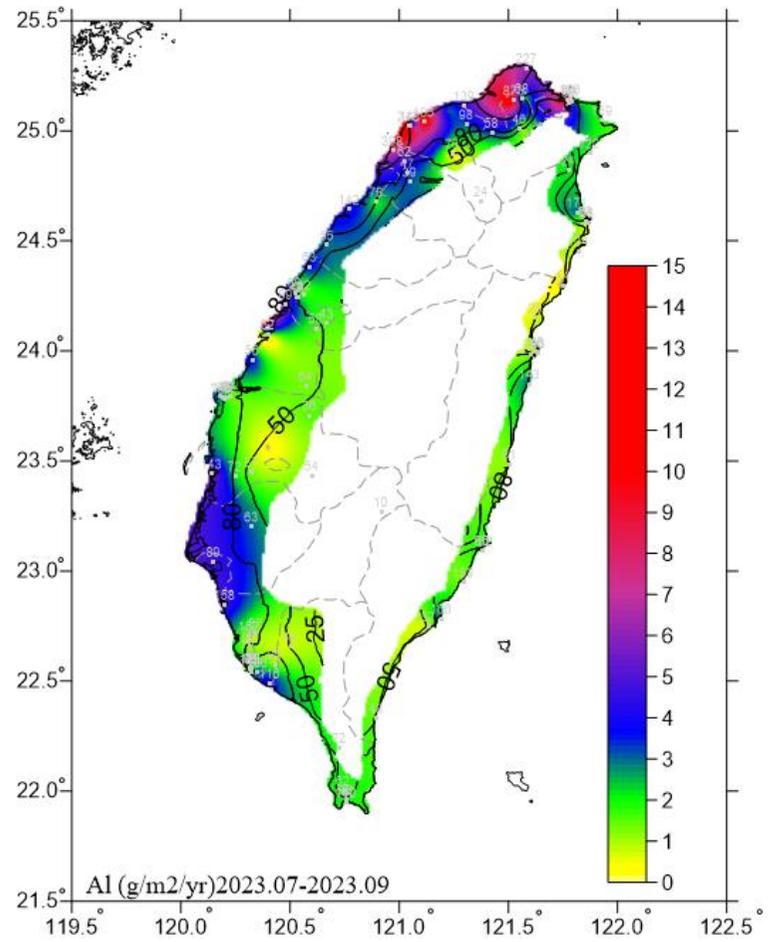
2022.10-2022.12 鋁腐蝕速率圖



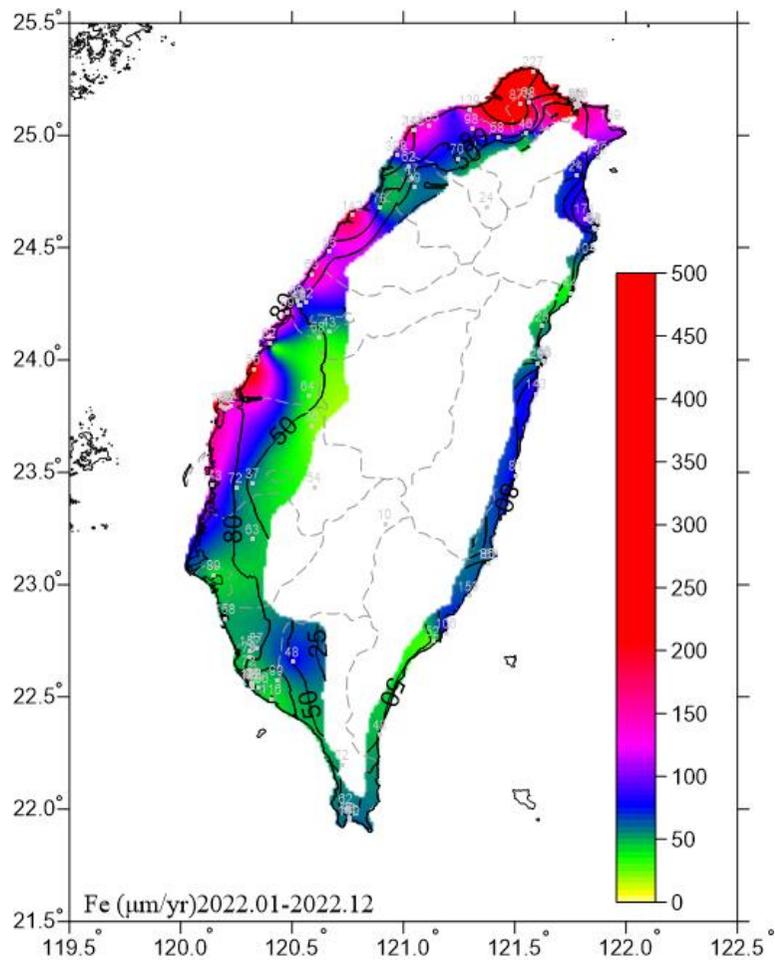
2023.01-2023.03 鋁腐蝕速率圖



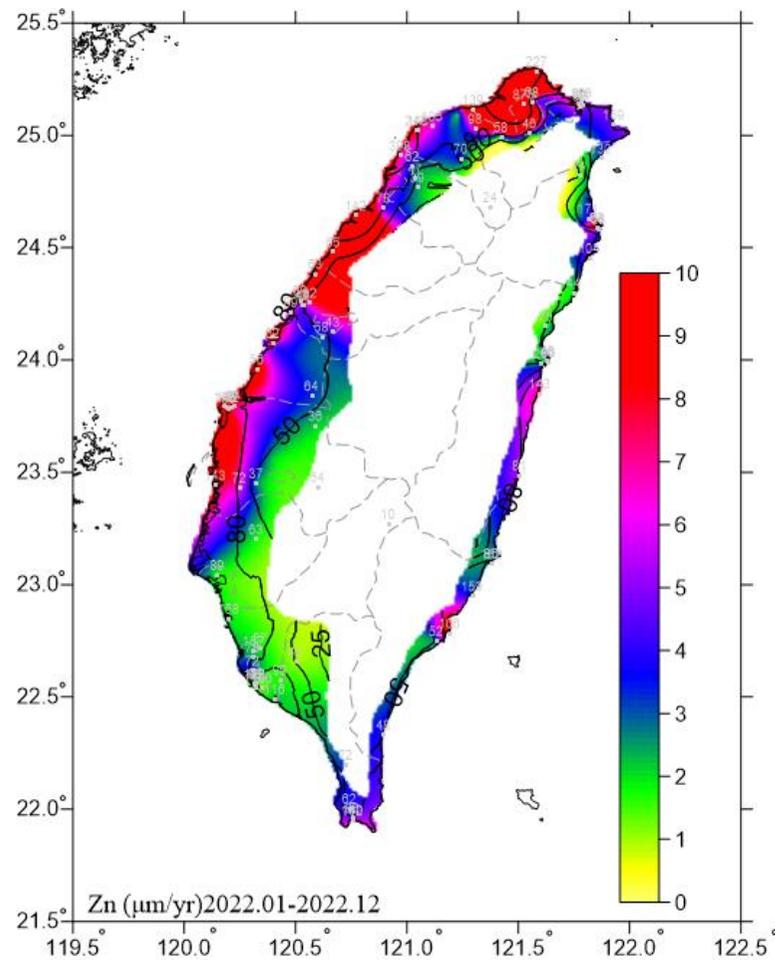
2023.04-2023.06 鋁腐蝕速率圖



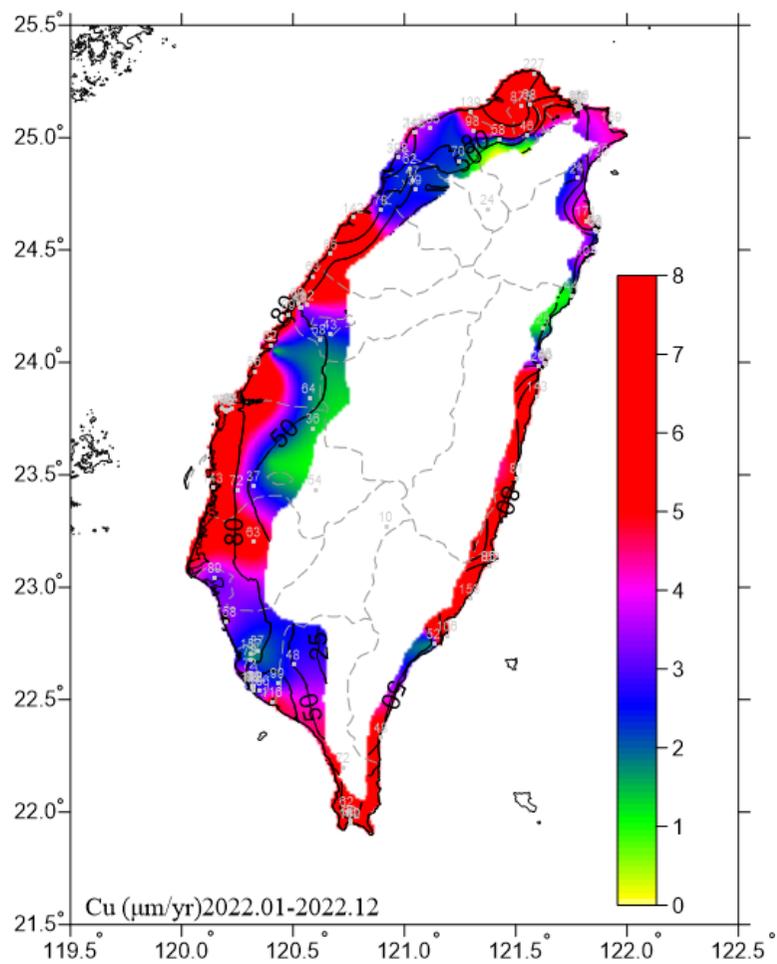
2023.07-2023.09 鋁腐蝕速率圖



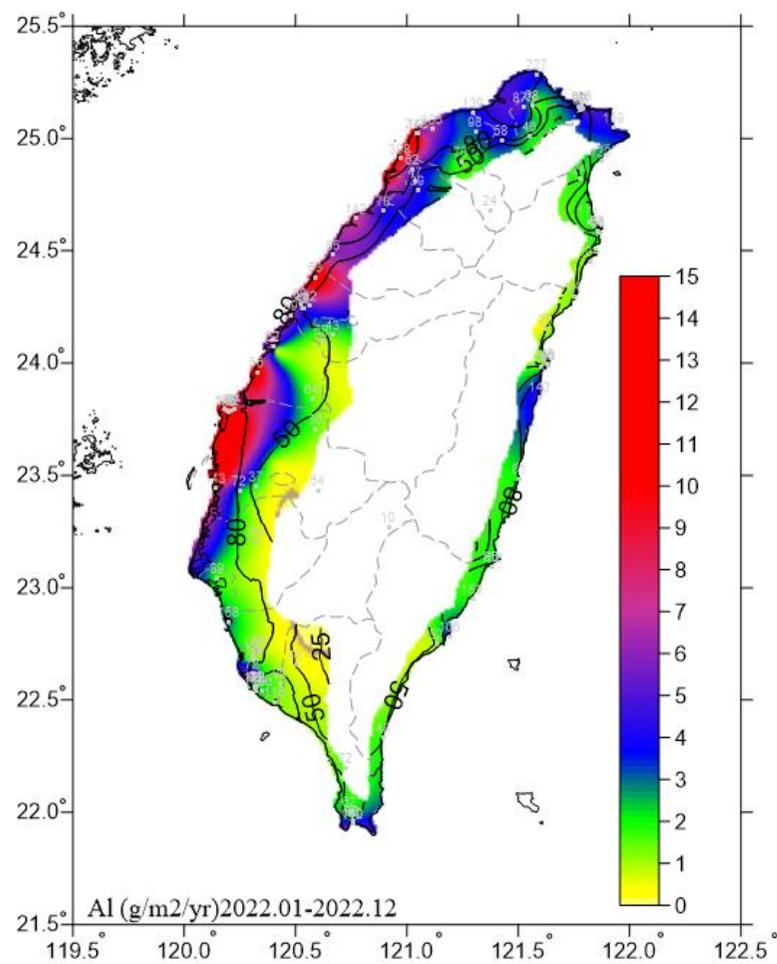
2022 年一年期碳鋼腐蝕速率



2022 年一年期鋅腐蝕速率



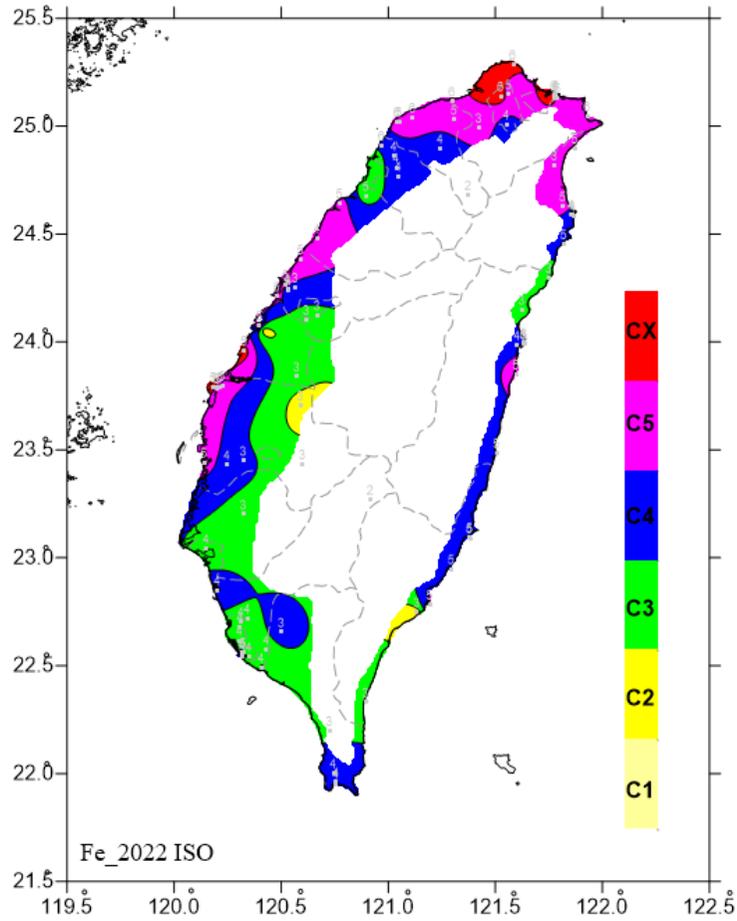
2022 年一年期銅腐蝕速率



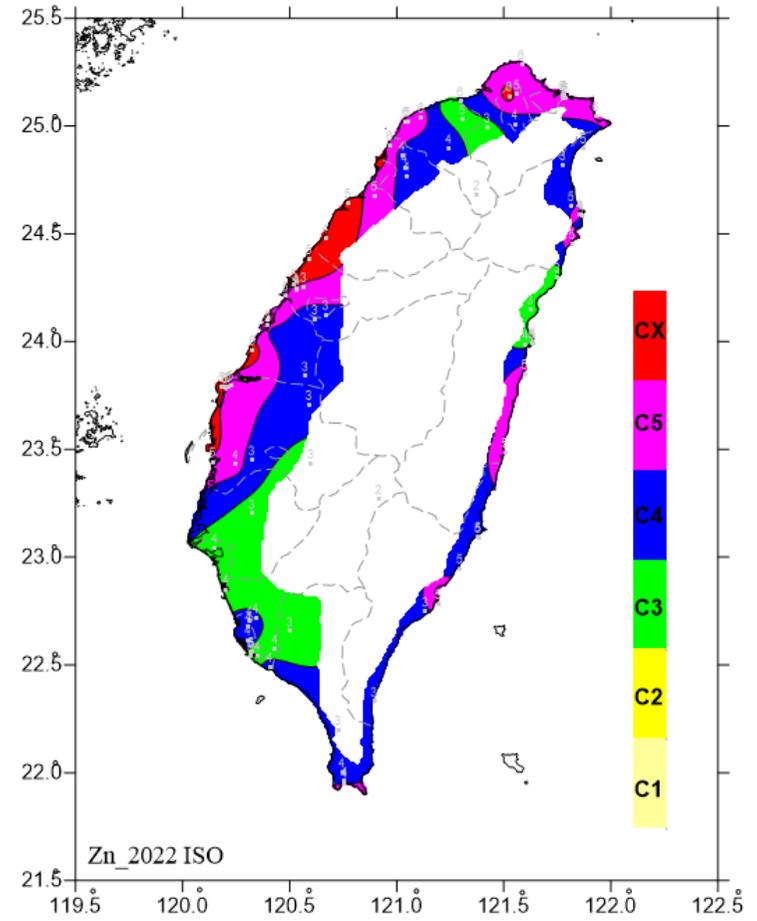
2022 年一年期鋁腐蝕速率

### 腐蝕環境分類圖

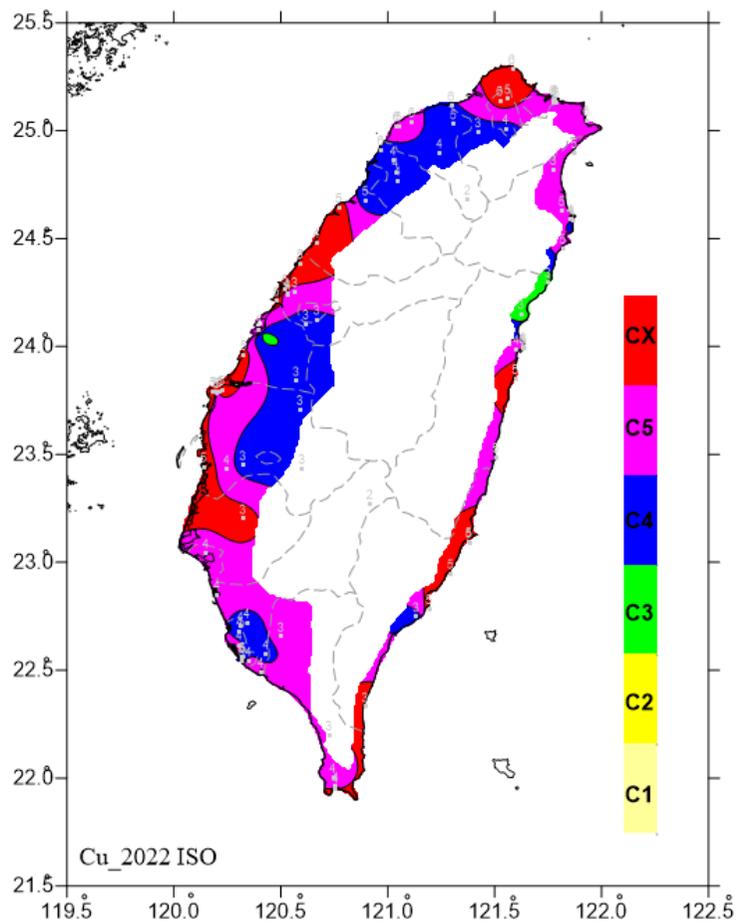
附錄 7-13



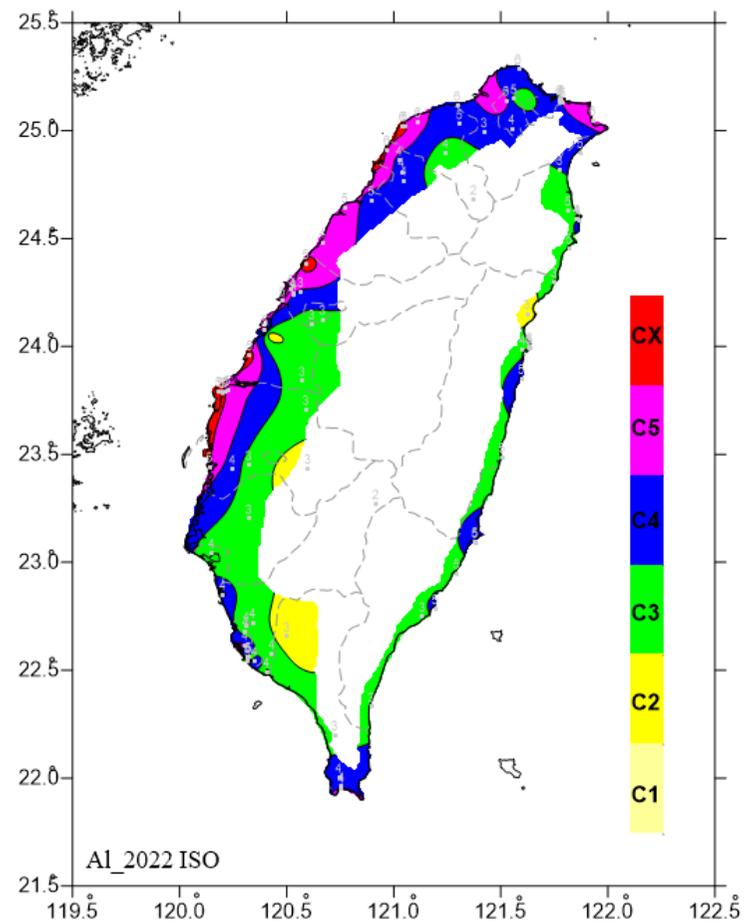
2022 年碳鋼年腐蝕速率 ISO 分類



2022 年鋅年腐蝕速率 ISO 分類圖



2022 年銅年腐蝕速率 ISO 分類圖



2022 年鋁年腐蝕速率 ISO 分類圖

## 附錄八

### 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

審查意見	處理情形
<b>陳委員桂清</b>	
1. 中心多年來對金屬材料於大氣環境下之腐蝕調查試驗相當完整，成果豐碩，應予肯定。海水(面)下之試驗迄今調查時程尚短，研究仍待持續進行。	1. 感謝肯定與建議。
2. 本計畫為一基礎型研究案，如規劃為一長期持續計畫時，建議必須再提升人力及經費，擴充研究內容，特別是海水下之部分。	2. 感謝建議。
3. 板片海水下試驗，部分港區(布袋、高雄#40、#75、金門水頭、料羅、澎湖龍門...)於飛沫/水中帶沒有試驗數據？請說明之。	3. 5年前設置試驗架時，部分港區無設置飛沫帶或水中帶試驗架(各港區實際安裝位置詳如表 3-9~表 3-12)，爰無試驗數據。
4. 各港區 5 年期海水下板片何時取樣分析？建議補充說明。	4. 已補述各港區取樣時間於報告第五章。
5. 不鏽鋼(SS316L)大部份試片腐蝕損耗量微小，但有部份組別之數據差異很大，建議數據差異過大者，應予刪除，較為合理。	5. 感謝建議，已將數據差異過大者刪除。
6. 關連性統計分析，迴歸模式受所選定自變數而有不同，除了 5 項選定自變數外，請說明為何沒有考慮其它的腐蝕因子，諸如溫度、降雨量、暴放時間...等。	6. 在建構迴歸模式時已嘗試將溫度、降雨量、暴放時間等氣候因素以逐步迴歸法納入模式，但均未達顯著水準，爰未納入。
7. P.7-1，7.1 結論第 2 小項，請刪除「及安平工業區」，因為該區秋冬 2 季並未達 200mg/m <sup>2</sup> /day。	7. 感謝指正，已修正。
8. 報告內容需勘正如下： (1) P.5-17，圖 5-17 與 P.5-20，圖 5-20 標題「2」更正為「5」。	8. 感謝指正，已修正。

審查意見	處理情形
(2) P.5-1, 5.1.1 小節之數據與圖 5.1 表 5-1 及附錄 1-1, 均不一致, 請詳細查核後更正。	
<b>羅委員俊雄</b>	
1. 本研究計畫工作量大且內容豐富, 數據可供國內產學研各界參考使用。	1. 感謝肯定。
2. 文獻回顧 p.2-11 敘述「大氣帶腐蝕速率為一般內陸地區大氣腐蝕的 2~5 倍」、「飛沫帶腐蝕速率可達 0.5~1.0mm/yr, 約為海中帶(海水全浸區)的 5~10 倍」、「海中帶海水中鋼鐵之腐蝕速率一般為 0.1~0.2mm/yr」, 請註明文獻出處。	2. 遵照辦理。
3. 報告全文「氧氣濃淡電池」請修正為「氧濃度差異電池」; 「硫酸還原細菌」請修正為「硫酸鹽還原菌」; 「迷失電流」請修正為「雜散電流」。	3. 遵照辦理。
4. p.2-14, 溫度每上升 10°K, 腐蝕速率則增加一倍, 請修正為 10°C。	4. 遵照辦理。
5. p.2-14, 「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」的敘述請修正。	5. 遵照辦理。
6. p.2-17, 「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」, 導電度 (conductivity, S/m) 與比導電度 (specific conductance, S/m <sup>2</sup> ) 的定義為何? 標題為導電度, 但敘述為比導電度, 有何特別意義? 另外, 「海水具有很高的比導電度, 約比一般水溶液高 250 倍以上」請註明文獻出處。	6. (1) 導電度: 指的是物質導通電流的能力, 用每單位電壓下所能通過的電流大小做為表達的數據, 以西門子(siemens)為單位。 (2) 比導電度: 比導電度(或稱電導率、比電導)是測量電解質導電能力的物

審查意見	處理情形
	<p>理量，國際單位制中單位為西門子每米(S/m)。</p> <p>(3) 兩者關係：比導電度是量測導電度的單位。</p> <p>(4) 文獻出處已補註。</p>
<p>7. 本計畫腐蝕試片是以重量損失法來計算腐蝕速率，但試片腐蝕產物的清除過程未看到檢量線的制定，請補充。</p>	<p>7. 各季試片腐蝕產物的清除過程檢量線補述在附錄一。</p>
<p>8. 為便於內插數據的推算，請補充鋅、鋁、銅、鐵試片在臺灣的大氣腐蝕速率與大氣腐蝕分類之等位線分布圖。</p>	<p>8. 遵照辦理。</p>
<p><b>羅委員勝方</b></p>	
<p>1. P.5-1，P.5-2 中圖 5.1 內的數據與表 5-1 內數據不一致，請釐清。</p>	<p>1. 表 5-1 數據誤植，已修正。</p>
<p>2. 為何 P.5-6 布袋港、P.5-9 高雄港#40、#75 碼頭，P.5-11 料羅港及水頭港的腐蝕速率分析未包含飛沫帶、潮汐帶、水中帶 3 個位置，有特別的因素或考量嗎？請補充說明。</p>	<p>2. 5 年前設置試驗架時，部分港區無設置飛沫帶或水中帶試驗架(各港區實際安裝位置詳如表 3-9~表 3-12)，推測當時設置試驗架時考量該處碼頭型式、水深等因素，爰部分港口只在碼頭 2 個位置設置試驗架。</p>
<p>3. 各港區暴放 5 年後水中帶金屬腐蝕速率分析中，似缺少臺中港的測試，有特別的考量嗎？P.5-15~P.5-20。</p>	<p>3. 臺中港原於 2014 年 10 月 28 日安裝的試片架於 2017 年因外力撞擊毀損，之後於 2019 年 3 月 26 日重新安裝，爰此次辦理各</p>

審查意見	處理情形
	港區第 3 次取樣工作時臺中港為 3 年期數據，在進行各港區暴放 5 年後金屬腐蝕速率比對時不納入比對。
<b>本所運輸技術研究中心第二科許義宏副研究員</b>	
1. 金屬腐蝕研究為本所重要的亮點成果，其對於交通運輸系統之運轉安全有相當重要的應用價值。特別是碳鋼分析資料對鐵路工程是十分重要的參考資料。	1. 感謝肯定。
2. 第四章 P4-28~4-29 垂直海岸線試驗分析部分，其冬季腐蝕速度似乎較往年同期高，建議後續加以分析探討。另外，圖 4.8 及圖 4.10 圖名有誤，亦請一併修正。	2. 感謝建議，圖名錯誤已修正。
3. 第五章各港試片腐蝕速率試驗結果，部分碼頭區之試片腐蝕速度差異甚大，直接平均可能容易導致誤差產生，建議後續可導入相關資料檢核機制，亦可有助於模式建立。	3. 感謝建議，納入後續研究。
4. 第五章多數圖表名稱誤植為「暴放 2 年後」，建議檢視修正。	4. 感謝指正，誤植已修正。
<b>本所運輸技術研究中心第三科劉清松副研究員</b>	
1. 有關目前於數位發展部政府資料開放平台上所放置腐蝕速率資料集，現有資料集為金標章，建議後續提升為白金標章。	1. 感謝建議，後續再努力。
2. 本研究計畫所產出資料庫，為本所重要研究成果，也提供展示於政府資料開放平台與本所臺灣環境資訊網，目前資料庫為數值資料，建議納入照片或其它相關資料，以供保存與研究使用。	2. 感謝建議，後續規劃將各試驗站照片納入資料庫。

審查意見	處理情形
<p>3. 目前腐蝕性等級區分為 C1 至 CX 6 類，以展示角度來看，可否如海氣象資訊方式，將等級區分更細，以貼近使用者查詢或展示應用。</p>	<p>3. 感謝建議，後續會構思改善數據呈現方式，以貼近使用者查詢或展示應用。至於腐蝕等級區分為 C1 至 CX 6 類，是依據國家標準 CNS 所做的分類。</p>



## 附錄九

### 期末報告簡報資料





112年度一科自辦研究計畫

# 112年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查 與碳鋼金屬關聯性研究

研究人員：羅建明、謝幼屏  
研究助理：陳亭廷、李春榮、陶德勇、  
王培源



運輸技術研究中心  
112.12.21

1

## 大綱

- 01 前言
- 02 金屬材料腐蝕環境調查研究
- 03 碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析
- 04 結論與建議

2

# 01 前言

3

01

研究緣起與目的

研究緣起  
與目的  
(WHY)

- 本所為國內目前可提供臺灣地區長期金屬材料**腐蝕環境分類資訊**之唯一單位。本於支援交通基礎設施維護管理權責，宜持續進行**本土化腐蝕環境分類研究**。
- 本計畫係**延續型計畫**，主要持續辦理**現地調查及試驗工作**，另進行腐蝕資料分析工作，今年研析**碳鋼金屬材料與腐蝕因子**之關聯性。
- 研究成果提供公共工程金屬結構物**防蝕設計**，**延長使用壽齡及降低維護成本**之參考。

研究範圍  
與應用單位  
(WHO)

- 目前於臺灣地區佈放**大氣腐蝕調查試驗站210處**，並彙整調查與研究成果，建置臺灣腐蝕環境分類資訊系統及發行大氣腐蝕資料年報，另設置**水下腐蝕調查試驗站14處**，進行水下腐蝕調查。
- 提供**公路局、高速公路局、臺鐵局、港務公司及相關產學等單位**應用，並做為本所相關研究重要參考資料。

4

本計畫係延續型計畫，本年度(112)辦理之工作項目如下：

➤ 延續性工作

• 1.辦理大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗

依據中華民國國家標準(CNS)，進行大氣腐蝕劣化因子調查與金屬現地暴露試驗。

• 2.辦理水下腐蝕金屬材料現地暴露試驗與海水水質調查

針對港工結構材金屬材料進行10年期暴露試驗與海水水質調查。

• 3.精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫

依據調查與試驗彙整結果，精進及擴充大氣腐蝕環境分類資料庫。

• 4.發行2022年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報

提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

• 5.推廣宣傳臺灣腐蝕資訊系統

推廣宣導臺灣腐蝕環境分類資訊系統於相關人員參酌採用。

➤ 腐蝕資料分析工作

• 6.進行碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析

彙整臺灣碳鋼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。

5

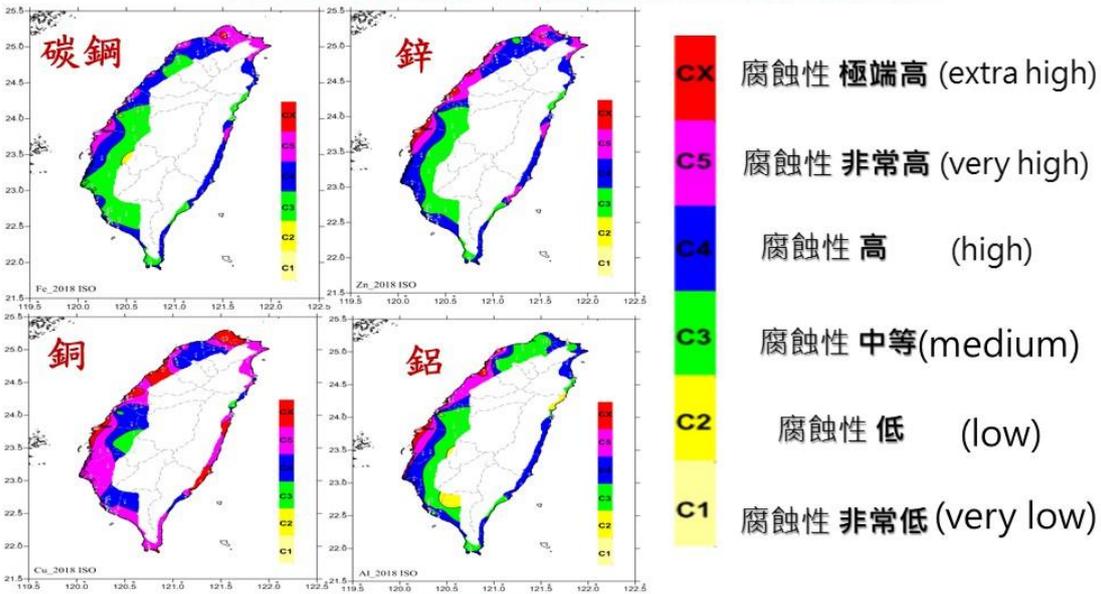
## 02 金屬材料腐蝕環境調查研究

6

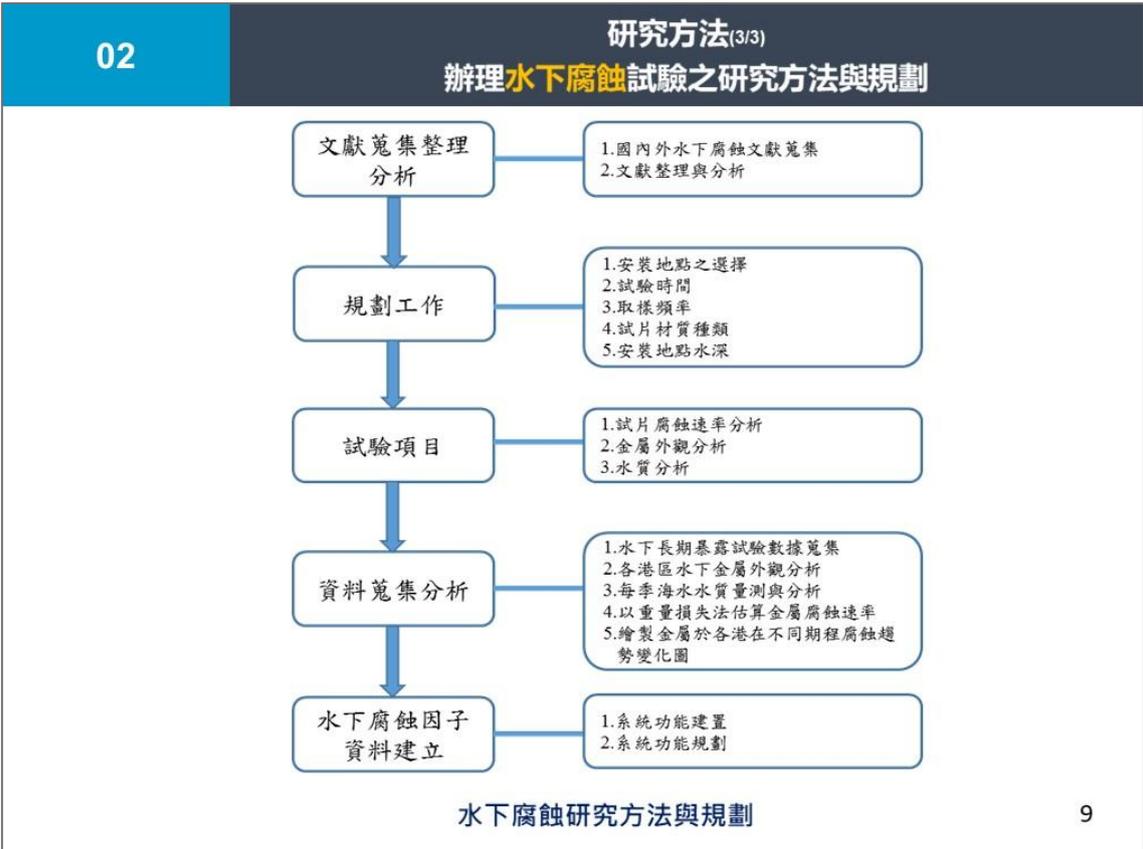


- 依據國際標準組織規範(ISO)及中華民國國家標準規範(CNS)
- 進行腐蝕因子調查及碳鋼、鋅、銅、鋁等標準試片現地暴露試驗，提供大氣腐蝕環境分類查詢。

金屬材料大氣腐蝕環境分類-依金屬腐蝕速率



- 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
- 金屬腐蝕性環境分類數值依序類推區分為C1、C2、C3、C4、C5、CX 6個等級。資料來源：ISO 9223-2012



**執行內容<sup>(1/6)</sup>**  
**建立與維護長期試驗站**

**大氣腐蝕 (96年開始執行)**

**腐蝕因子調查及金屬暴露試驗站 (210處)**

- : 二氧化硫沉積速率試驗站 (55處)
- ▲ : 氯鹽沉積速率試驗站 (65處)
- ★ : 螺旋金屬暴露試驗站 (90處)

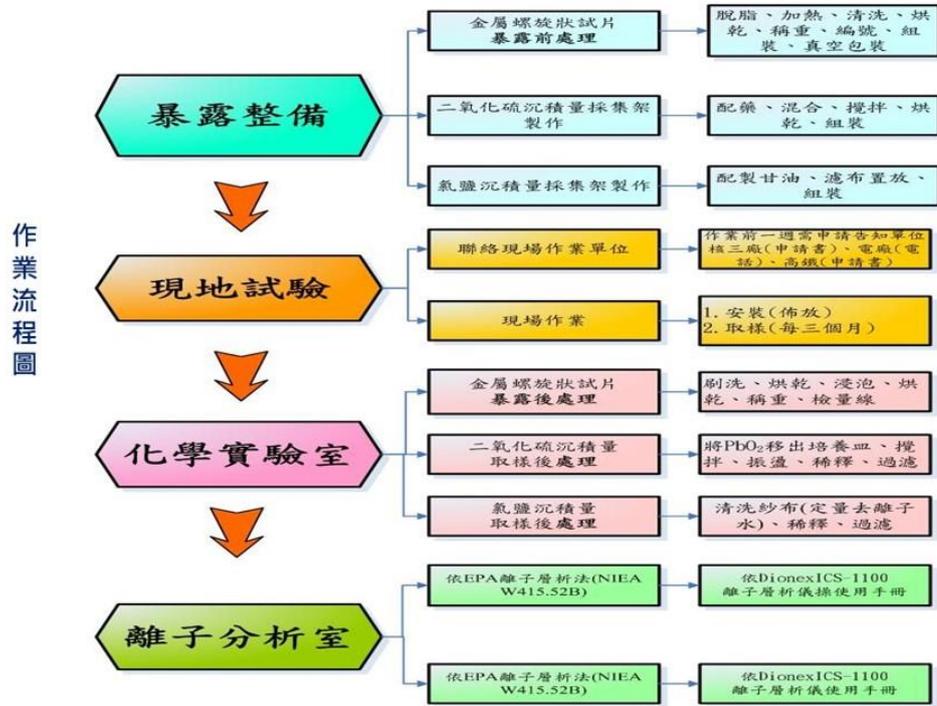
試驗位址：臺灣各海洋區、工業區、都市區、鄉村區、鐵公路沿線等  
試驗頻率：每3個月及1年期程取樣

**水下腐蝕 (104年開始執行)**

**水下腐蝕調查試驗站 (14處)**

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

10



大氣腐蝕試驗材料整備作業



螺旋金屬暴露試驗

氯鹽沉積量試驗

二氧化硫沉積量試驗

大氣腐蝕取樣維護作業

13



第1、2、5、8、10年期程進行金屬試片取樣維護(112.3.7馬祖取樣)

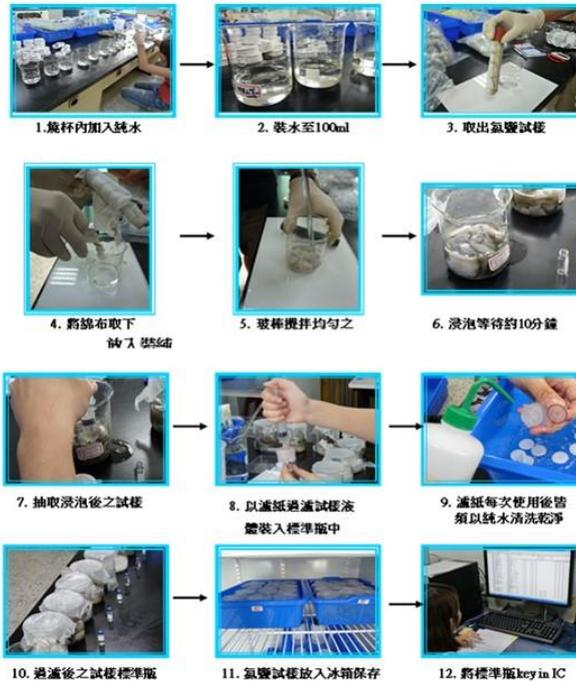


每季辦理海水水質調查(每年2~3,5~6,8~9,11~12月辦理)

水下腐蝕試驗作業

14

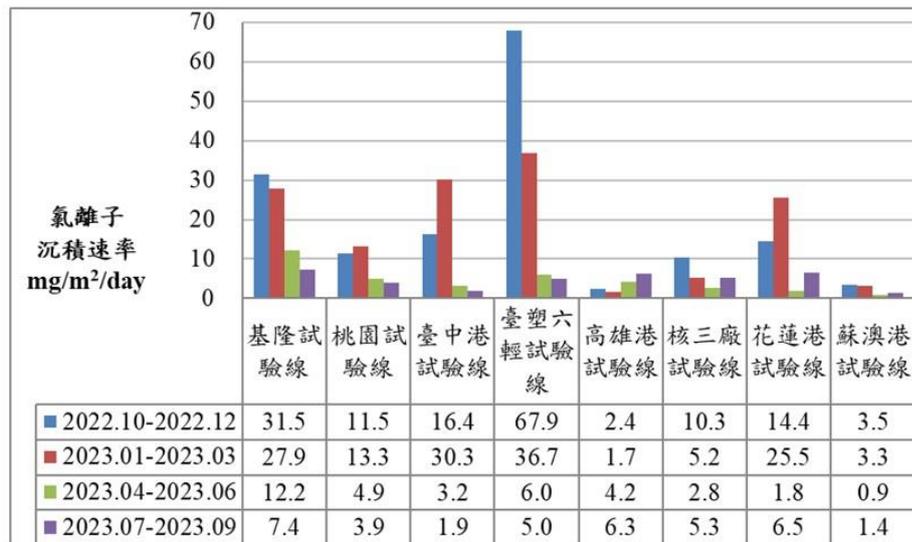
## 執行內容<sup>(6/6)</sup> 進行化學分析/金屬酸洗/離子層析工作(每年1,4,7,10月辦理)



進行化學分析/金屬酸洗/離子層析工作(例：氯鹽沉積量分析)

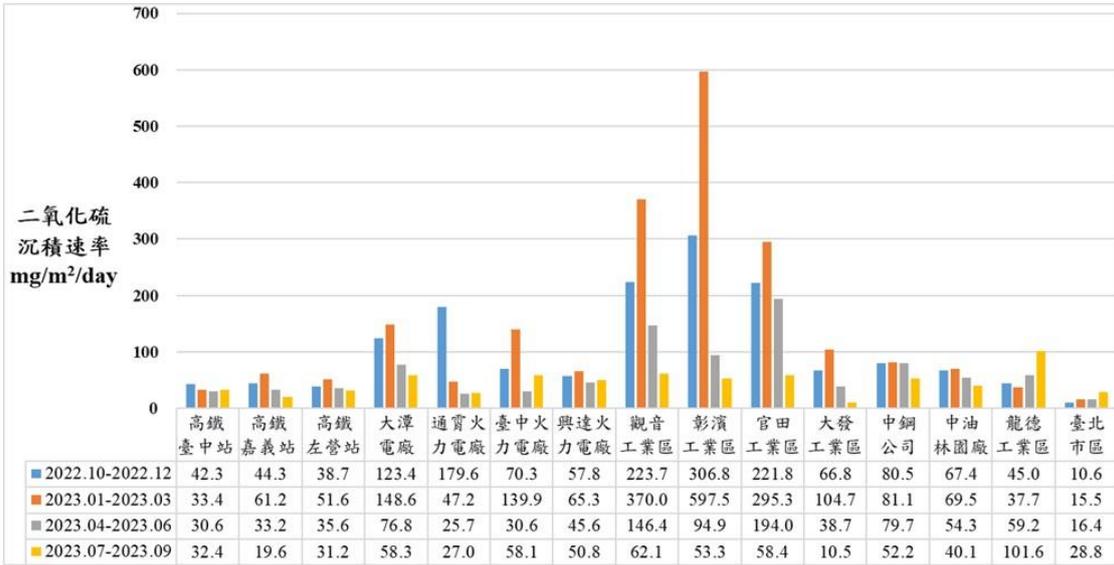
15

## 調查與試驗結果<sup>(1/6)</sup> 大氣腐蝕試驗

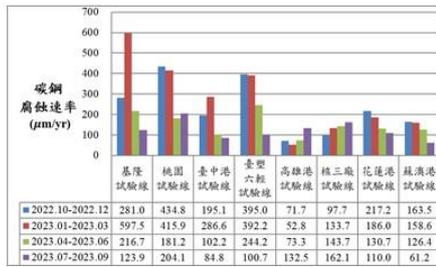


垂直海岸試驗線之氯鹽平均沉積速率

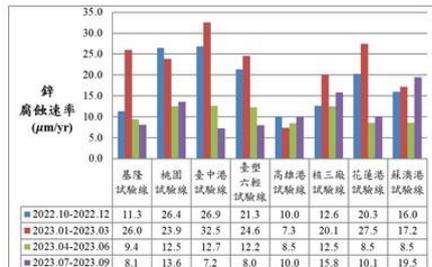
16



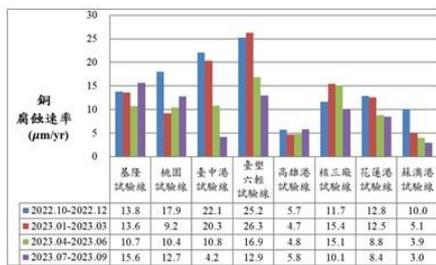
特定試驗點之二氧化硫沉積速率



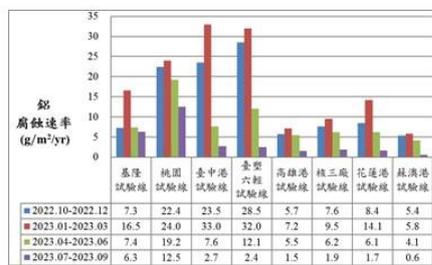
碳鋼金屬腐蝕速率



鋅金屬腐蝕速率

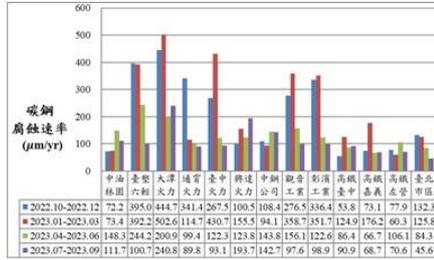


銅金屬腐蝕速率

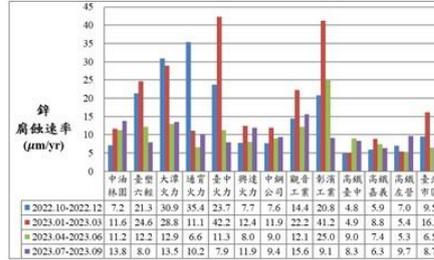


鋁金屬腐蝕速率

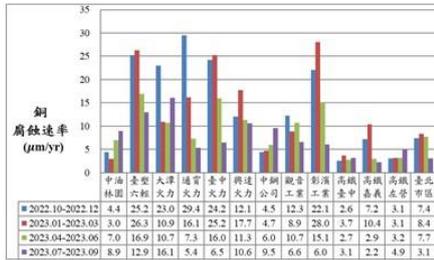
垂直海岸試驗線之金屬腐蝕速率比較圖



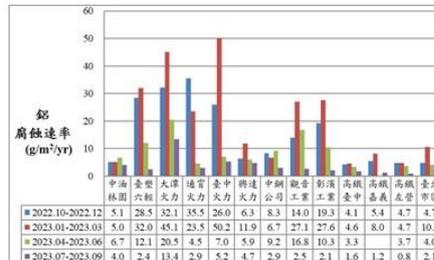
碳鋼金屬腐蝕速率



鋅金屬腐蝕速率



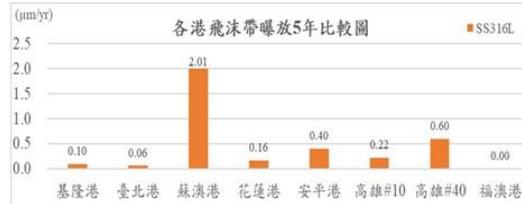
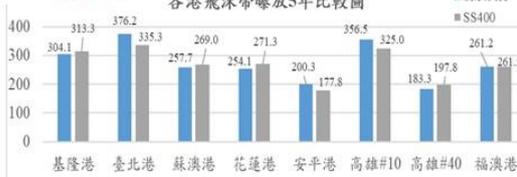
銅金屬腐蝕速率



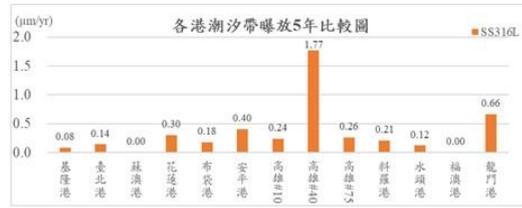
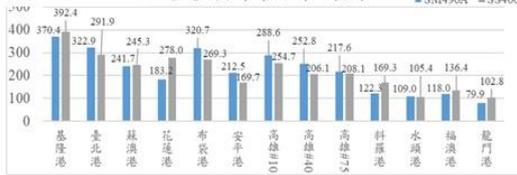
鋁金屬腐蝕速率

特定測站之金屬腐蝕速率比較圖

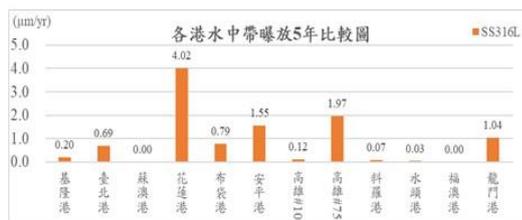
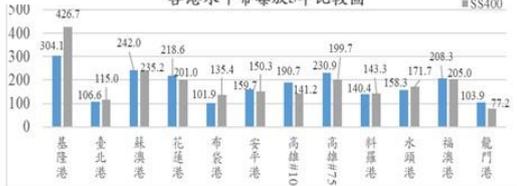
飛沫帶



潮汐帶

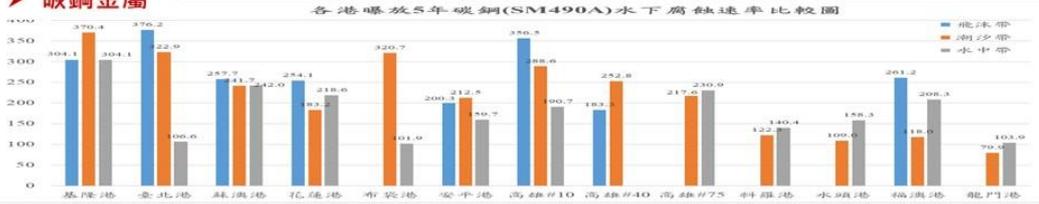


水中帶

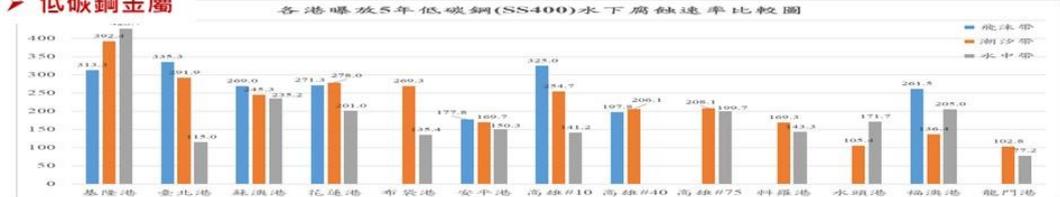


各港區暴放5年後不同位置金屬腐蝕速率分析

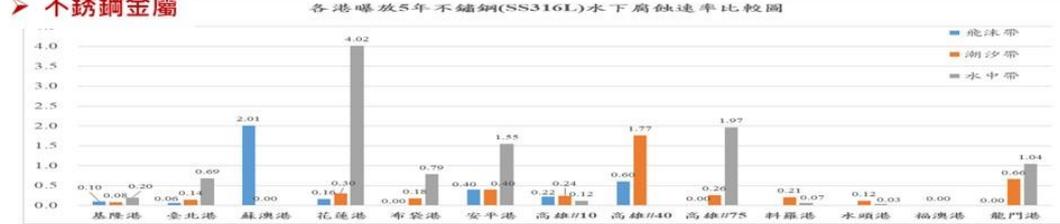
➤ 碳鋼金屬



➤ 低碳鋼金屬

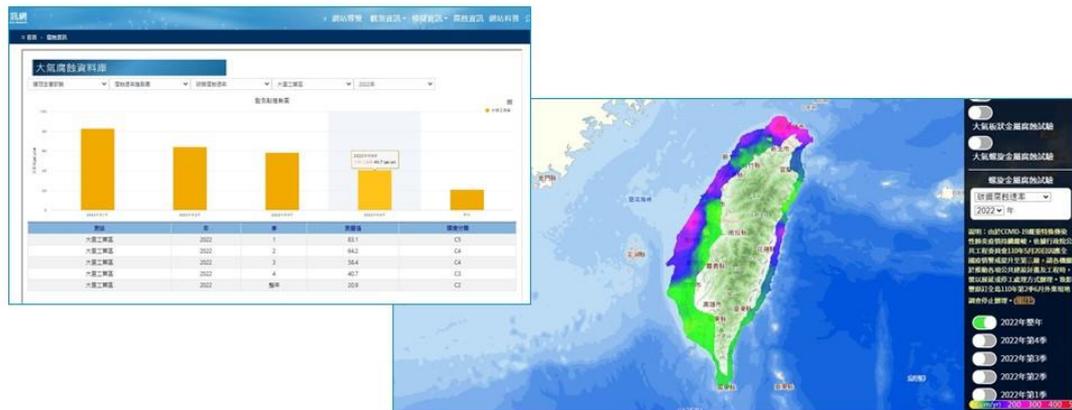


➤ 不銹鋼金屬



各港區暴放5年後不同金屬水下腐蝕速率分析

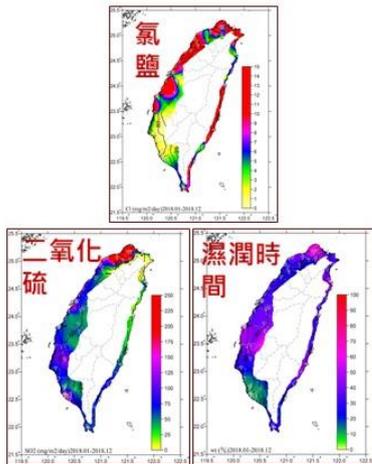
➤ 研究成果擴增於「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」資料庫，並公開於本中心網站供外界查詢。



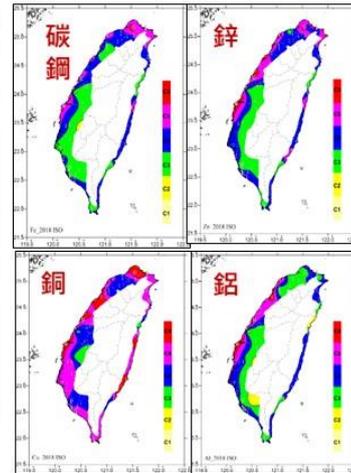
研究成果公開於本中心港灣環境資訊網

➤ 出版「2022年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」，提供完整數據做為相關單位選用**金屬材料**與**防蝕工法**應用。

依-環境因子分類



依-金屬腐蝕速率分類



➤ 在2023年11月3日「112年度臺灣環境資訊網使用者說明會」中介紹「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」。

「112年度臺灣環境資訊網使用者說明會」議程表

會議目的：介紹臺灣環境資訊系統功能，讓使用者了解並應用本系統資訊，蒐集使用者對系統後續需求功能之開發建議。

會議日期：112年11月3日(星期五)上午10點

會議地點：運輸技術研究中心5樓第1會議室(視訊會議)

視訊會議連結(Google Meet)：<https://meet.google.com/neq-urkq-cws>

時間	議題	主講人	主持人
09:30-10:00	景 到		
10:00-10:05	主持人致詞		交通部運輸研究所運技中心 蔡立宜 主任
10:05-10:20 (15分鐘)	臺灣環境資訊系統介紹	交通部運輸研究所運技中心 劉清松 副研究員	交通部運輸研究所運技中心 林雅雯 科長
10:20-10:40 (20分鐘)	臺灣環境資訊系統操作與展示	數位地球科技股份有限公司 林騰威 總經理	交通部運輸研究所運技中心 林雅雯 科長
10:40-10:55 (15分鐘)	臺灣腐蝕環境分類資訊系統介紹	交通部運輸研究所運技中心 謝幼屏 副研究員	交通部運輸研究所運技中心 賴瑞應 科長
10:55-11:10	休息及系統使用問卷調查		
11:10-11:25 (15分鐘)	商港海氣象觀測系統現況介紹	交通部運輸研究所運技中心 李俊穎 科長	交通部運輸研究所運技中心 李俊穎 科長
11:25-11:40 (15分鐘)	海象觀測功能提升及應用	國立成功大學水工試驗所 劉正瑾 博士	交通部運輸研究所運技中心 林雅雯 科長
11:40-12:00 (20分鐘)	綜合討論 (交通部運輸研究所運技中心相關人員)		交通部運輸研究所運技中心 賴瑞應 科長、李俊穎 科長、林雅雯 科長
12:00	會議結束		

## 03 碳鋼金屬腐蝕關聯性 統計分析

2  
5

03

分析目的

分析目的

- 全球各地氣候條件受**緯度、地形、距離海洋遠近**及當地或附近**腐蝕污染物質**排放等因素影響，大氣腐蝕具有強烈**地域性**。
- 為評估**臺灣地區**大氣腐蝕劣化因子對於碳鋼腐蝕的影響，運用前期調查得到的數據，以**迴歸分析法**(Regression Analysis)建立**腐蝕因子**與**碳鋼腐蝕速率**間的迴歸模式，
- 據以說明在臺灣地區**目前的氣候條件**與**污染情境**下各項**腐蝕因子**對於碳鋼腐蝕之**影響**。

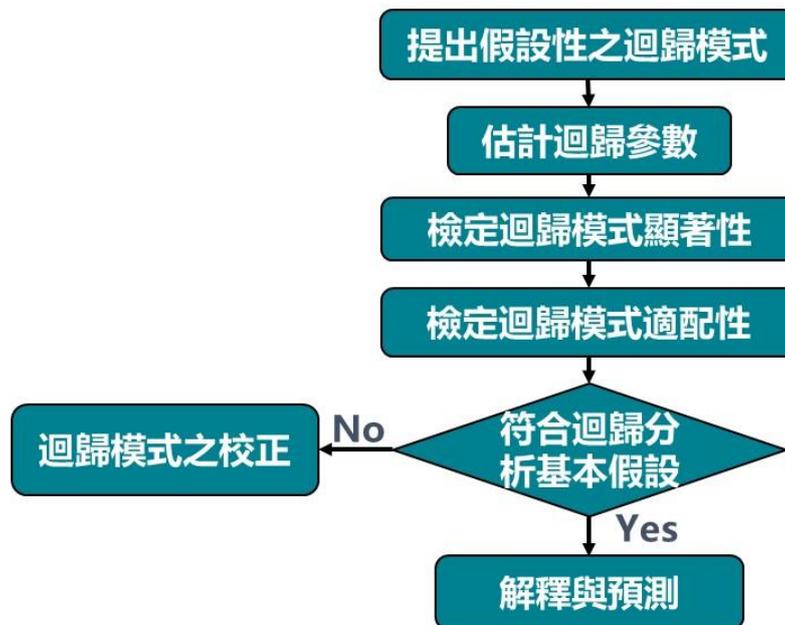
26

## 研究方法

## ➤ 迴歸分析法(Regression Analysis)

- 迴歸分析是一種統計上常用來研究**多個變數**關係的一種方法。
- 可依據統計數據**配適一條合適的直線**或曲線，找出解釋變數(X)與反應變數(Y)間的函數關係，據以說明變數間的關聯性。
- 回顧**相關文獻**，可知過去**已有不少研究**以迴歸分析法進行大氣金屬腐蝕與腐蝕因子之關聯性分析。
  - 例如：Mendoza (1999)、Legault(1978)、Pourbaix(1993)、Morales(2007)、Su (1988)、Tsai (1993)、Chou(2011)、Lo (2014)等。

27

迴歸分析  
步驟

28

提出假設性  
之迴歸模式

## ➤ 1. 確定反應變數與解釋變數

- 建立模式的目的是說明大氣腐蝕劣化因子與碳鋼腐蝕速率間的關聯性，因此，模式中的反應變數為**碳鋼腐蝕速率**，解釋變數為**腐蝕因子**。
- 關於解釋變數的選擇，依據CNS13401選定**溫度-濕度複合因子(濕潤時間百分比)**、**二氧化硫**與**氯鹽**等3項為金屬的**主要腐蝕因子**，爰選擇**濕潤時間百分比**、**氯鹽沉積速率**、**二氧化硫沉積速率**3項因子為解釋變數；
- 另考量臺灣位處季風地帶，前期研究指出冬天東北季風期之金屬腐蝕速率較夏季西南季風時高，因此再加入**風速**、**風向**2項解釋變數以評估季風對腐蝕的影響。

29

提出假設性  
之迴歸模式

## ➤ 2. 資料說明

- 以去年(2022年)全臺**89個大氣腐蝕試驗站**的**季資料**為分析基礎。
- 89個試驗站的4季資料共計有356筆數據，扣除試樣遺失的6筆數據，共計有**350筆數據**。
- 各試驗站均有碳鋼腐蝕速率的現地試驗資料；**部分試驗站無調查氯鹽沉積速率或二氧化硫沉積速率**，在分析時引用**鄰近試驗站**的調查數據。
- 各試驗站的**濕潤時間百分比**、**風速**、**風向**3項資料引用**中央氣象署**的**鄰近氣象站**資料，取各季平均值。

迴歸模式變數說明表

變數名稱	變數代號	單位	說明
碳鋼金屬腐蝕速率	Fe <sub>corr</sub>	µm/yr	反應變數
濕潤時間百分比	TOW	%	解釋變數
氯鹽沉積速率	Cl	mg/m <sup>2</sup> /day	解釋變數
二氧化硫沉積速率	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>2</sup> /day	解釋變數
風速	W <sub>s</sub>	m/s	解釋變數
風向	W <sub>d</sub>	0：東北風/1：西南風	解釋變數

30

提出假設性  
之迴歸模式

## ➤ 3. 模式假設

- 假設在真實情況下臺灣地區**碳鋼腐蝕速率**，主要受到**濕潤度、氯鹽、二氧化硫、風速、風向**等5項腐蝕因子影響；
- 碳鋼腐蝕速率與5項大氣腐蝕劣化因子之間的關係是**線性關係模式**；
- 此一關係模式可以用本所在臺灣地區各試驗站的數據來推估。
- 令臺灣地區碳鋼腐蝕速率與5項大氣腐蝕劣化因子濕潤度、氯鹽、二氧化硫、風速、風向之迴歸模式為：

$$Fe_{\text{corr}} = b_0 + b_1TOW + b_2 Cl + b_3SO_2 + b_4W_s + b_5W_d + e$$

- 式中 $b_0$ 為常數項， $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$ 、 $b_5$  為各大氣腐蝕劣化因子的迴歸參數。

31

配適  
迴歸模式

## ➤ 1. 估計迴歸參數

- 以2022年89個試驗站的季資料350筆應用統計軟體SPSS 22.0進行迴歸分析、估計迴歸參數。
- 配適得到**線性迴歸模式**如下：

$$Fe_{\text{corr}} = -32.551 + 1.761TOW + 0.822 Cl + 0.524SO_2 + 19.672W_s - 21.649W_d$$

參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	-32.551	18.521	-1.758	0.080	-
TOW	1.761	0.264	6.676	0.000*	1.071
Cl	0.822	0.085	9.630	0.000*	1.082
SO <sub>2</sub>	0.524	0.043	12.224	0.000*	1.064
W <sub>s</sub>	19.672	3.806	5.169	0.000*	1.083
W <sub>d</sub>	-21.649	8.753	-2.473	0.014*	1.037

註：符號「\*」表示顯著性 $P \leq 0.05$ ，達統計上95%顯著水準。

32

配適  
迴歸模式

## ➤ 2. 檢定模式顯著性

- F檢定：模式的F值=79.171(P=0.000)達95%顯著水準，可知**模式顯著**。
- t 檢定：除**常數項**的 t 值未達95%顯著水準，其他各解釋變數參數的 t 值均達95%顯著水準，可知**各解釋變數的影響均顯著**。

變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	2411100.340	5	482220.068	79.171	0.000*
殘差	2095256.972	344	6090.863	-	-
總計	4506357.312	349	-	-	-

參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	-32.551	18.521	-1.758	0.080	-
TOW	1.761	0.264	6.676	0.000*	1.071
Cl	0.822	0.085	9.630	0.000*	1.082
SO <sub>2</sub>	0.524	0.043	12.224	0.000*	1.064
W <sub>s</sub>	19.672	3.806	5.169	0.000*	1.083
W <sub>d</sub>	-21.649	8.753	-2.473	0.014*	1.037

註：符號「\*」表示顯著性P≤0.05，達統計上95%顯著水準。

3

配適  
迴歸模式

## ➤ 2. 檢定模式顯著性(續)

- 常數項的t檢定未通過，顯示**常數項b<sub>0</sub>可能為0**。因此，另配適一個**無常數項線性模式**。以同樣350筆數據配適得到無常數項線性模式如下：

$$Fe_{corr} = 1.388TOW + 0.826Cl + 0.531SO_2 + 16.063W_s - 26.741W_d$$

- 無常數項線性模式的F值=328.563(P=0.000)達95%顯著水準，各解釋變數參數的 t 值均達95%顯著水準，可知**模式顯著、各解釋變數的影響亦均顯著**。

無常數項線性模式變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	10066737.940	5	2013347.588	328.563	0.000*
殘差	2114071.087	345	6127.742	-	-
總計	12180809.027	350	-	-	-

無常數項線性模式參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
TOW	1.388	0.157	8.822	0.000*	4.570
Cl	0.826	0.086	9.644	0.000*	1.632
SO <sub>2</sub>	0.531	0.043	12.430	0.000*	1.128
W <sub>s</sub>	16.063	3.214	4.998	0.000*	4.446
W <sub>d</sub>	-26.741	8.285	-3.228	0.001*	1.490

註：符號「\*」表示顯著性P≤0.05，達統計上95%顯著水準。

4

配適  
迴歸模式

## ➤ 3. 檢定模式適配性

- 線性模式的 $R^2_{adj} = 0.528$ ，表示模式中解釋變數能說明碳鋼腐蝕速率變異的52.8%，基於本研究試驗站是設置在戶外，較易受地區環境不可控制因素影響，因此此一 $R^2_{adj}$ 值達50%，應屬可接受範圍。
- 無常數項線性模式的 $R^2_{adj} = 0.824$ ，表示模式中解釋變數能說明碳鋼腐蝕速率變異的82.4%，顯示無常數項線性模式的適配性高於線性模式( $R^2_{adj} = 0.528$ )，
- 比較 2 模式的適配性，以無常數項線性模式較佳。

模式摘要表

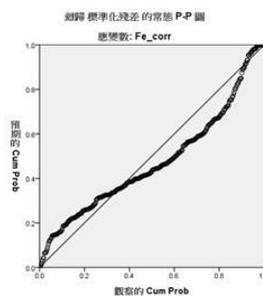
模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
線性模式	0.731	0.535	0.528
無常數項線性模式	0.909	0.826	0.824

35

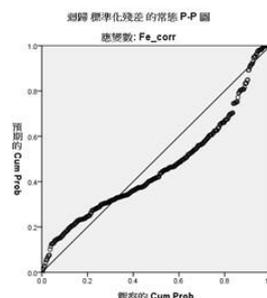
## 模式診斷

## ➤ 確認模式的基本假設

- 常態性：由 2 模式常態機率圖上各點分佈情形來看，圖形均略有偏離直線，判斷模式可能違反常態分配之假設。



線性模式



無常數項線性模式

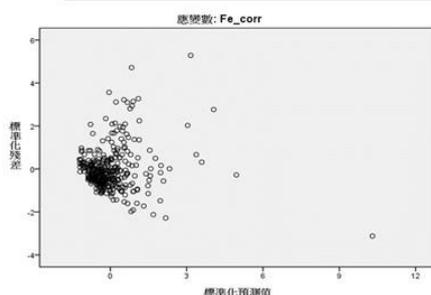
模式的常態機率圖

36

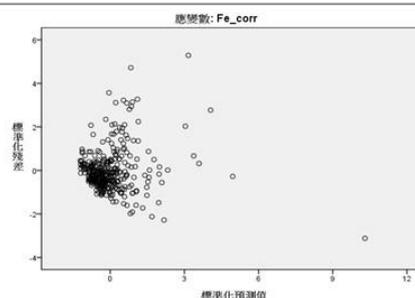
## 模式診斷

➤ 確認模式的基本假設(續1)

- 均質性：由 2 模式殘差圖上各點分佈情形來看，殘差圖均略有外張喇叭狀，判斷2模式可能違反變異數相同之均質性假設。
- 獨立性：由 2 模式殘差圖上，殘差值均隨機分布在 0 的中心線周圍，無明顯規律性，判斷殘差可能彼此獨立，無自我相關問題，另基於資料非時間序列資料，不再進行DW檢定。



線性模式



無常數項線性模式

模式殘差圖

37

## 模式診斷

➤ 確認模式的基本假設(續2)

- 線性重合：由2個模式中各解釋變數的VIF值均小於10，判斷解釋變數間無高度線性重合問題。

➤ 離群值檢查

- 2個模式均有 9 個反應變數預測值在3個標準差之外的離群值。

線性模式參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	-32.551	18.521	-1.758	0.080	-
TOW	1.761	0.264	6.676	0.000*	1.071
Cl	0.822	0.085	9.630	0.000*	1.082
SO <sub>2</sub>	0.524	0.043	12.224	0.000*	1.064
W <sub>s</sub>	19.672	3.806	5.169	0.000*	1.083
W <sub>d</sub>	-21.649	8.753	-2.473	0.014*	1.037

無常數項線性模式參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
TOW	1.388	0.157	8.822	0.000*	4.570
Cl	0.826	0.086	9.644	0.000*	1.632
SO <sub>2</sub>	0.531	0.043	12.430	0.000*	1.128
W <sub>s</sub>	16.063	3.214	4.998	0.000*	4.446
W <sub>d</sub>	-26.741	8.285	-3.228	0.001*	1.490

38

## 模式診斷

## ➤ 綜合判斷

- 顯著性：2模式的顯著性檢定均通過；
- 適配性：以無常數項線性模式的適配性較高，線性模式亦達可接受範圍；
- 基本假設：2模式可能均違反迴歸分析常態性、均質性的基本假設。
- 依此分析結果判斷配適的線性迴歸模式可能不太妥適，有需要進行模式校正，重新配適一個新的模式。

39

校正  
迴歸模式

## ➤ 調整模式假設

- 考慮大氣腐蝕是一種水膜下的電化學反應，濕潤時間是在金屬表面上產生水膜而發生腐蝕的基本條件，而氯鹽、二氧化硫、風速、風向等腐蝕因子是在水膜產生後加速大氣腐蝕的因子。

- 並考慮到在CNS13401中建議由環境條件與曝露情境計算出適用於碳鋼腐蝕速率的公式為：

$$r_{\text{corr}} = 1.77P_d^{0.52} \exp(0.02RH + f_{St}) + 0.102S_d^{0.62} \exp(0.033RH + 0.040T)$$

$$f_{St} = 0.15(T-10) \text{ 當 } T \leq 10^\circ\text{C} ; \text{ 除此外 } -0.054(T-10)$$

- 式中 $r_{\text{corr}}$ 是碳鋼腐蝕速率； $P_d$ 是二氧化硫沉積速率； $S_d$ 是氯鹽沉積速率；RH是相對濕度；T是溫度。

- 此一公式顯示：

- 在溫度、濕度為定值時，碳鋼腐蝕速率與氯鹽、二氧化硫沉積速率間的關係是線性關係；
- 在氯鹽、二氧化硫沉積速率為定值時，碳鋼腐蝕速率與溫度、濕度間的關係是指數關係。

40

校正  
迴歸模式

## ➤ 調整模式假設(續)

- 依上述理論與公式，假設在真實情況下臺灣地區碳鋼腐蝕速率，與濕潤度、氯鹽、二氧化硫、風速、風向等5項腐蝕因子之間的關係是**對數線性關係模式**。
- 此一對數線性關係模式以**腐蝕速率取對數值**為反應變數，以**氯鹽、二氧化硫、風速**等3項腐蝕因子各**取對數值**為解釋變數，加上濕潤時間、風向2項既有解釋變數。
- 新的**對數線性迴歸模式**如下：

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = b_0 + b_1 \text{TOW} + b_2 \ln(\text{Cl}) + b_3 \ln(\text{SO}_2) + b_4 \ln(\text{W}_s) + b_5 \text{W}_d + e。$$

41

校正  
迴歸模式

## ➤ 估計迴歸參數

- 配適得到對數線性模式如下：

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = 2.789 + 0.012 \text{TOW} + 0.231 \ln(\text{Cl}) + 0.24 \ln(\text{SO}_2) \\ + 0.246 \ln(\text{W}_s) - 0.11 \text{W}_d$$

參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	<b>2.789</b>	0.110	25.437	0.000*	-
TOW	<b>0.012</b>	0.001	8.617	0.000*	1.044
ln(Cl)	<b>0.231</b>	0.018	12.507	0.000*	1.302
ln(SO <sub>2</sub> )	<b>0.237</b>	0.021	11.480	0.000*	1.119
ln(W <sub>s</sub> )	<b>0.246</b>	0.056	4.391	0.000*	1.236
W <sub>d</sub>	<b>-0.110</b>	0.047	-2.321	0.021*	1.078

註：符號「\*」表示顯著性P≤0.05，達統計上95%顯著水準。

42

校正  
迴歸模式

## ➤ 檢定模式顯著性

- 由模式的**F檢定值=89.040(P=0.000)**，可知**模式顯著**；由各參數的**t檢定值均達95%顯著水準**，可知**常數項不為零**，各解釋變數對反應變數的影響**均顯著**。

變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	76.255	5	15.251	<b>89.040</b>	<b>0.000*</b>
殘差	58.921	344	0.171	-	-
總計	135.176	349	-	-	-

參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	2.789	0.110	<b>25.437</b>	<b>0.000*</b>	-
TOW	0.012	0.001	<b>8.617</b>	<b>0.000*</b>	1.044
ln(Cl)	0.231	0.018	<b>12.507</b>	<b>0.000*</b>	1.302
ln(SO <sub>2</sub> )	0.237	0.021	<b>11.480</b>	<b>0.000*</b>	1.119
ln(W <sub>s</sub> )	0.246	0.056	<b>4.391</b>	<b>0.000*</b>	1.236
W <sub>d</sub>	-0.110	0.047	<b>-2.321</b>	<b>0.021*</b>	1.078

註：符號「\*」表示顯著性 $P \leq 0.05$ ，達統計上95%顯著水準。

43

校正  
迴歸模式

## ➤ 檢定模式適配性

- 由模式的 **$R^2_{adj} = 0.558$** ，表示模式中解釋變數能說明碳鋼腐蝕速率變異的**55.8%**，基於本研究試驗站是設置在戶外，較易受地區環境不可控制因素影響，因此此一 **$R^2_{adj}$ 值達50%**，應屬可接受範圍。

模式摘要表

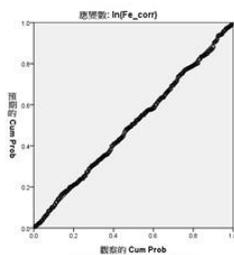
模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
對數線性模式	0.751	0.564	<b>0.558</b>

44

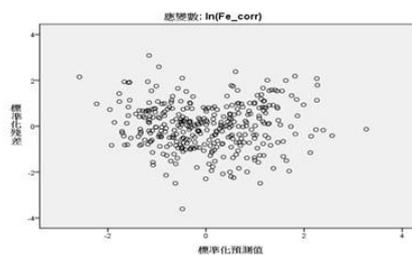
校正  
迴歸模式

## ➤ 確認模式的基本假設

- **常態性**：由**常態機率圖**上圖形接似直線，推論模式**無嚴重違反常態分配之假設**。
- **均質性**：由**殘差圖**上殘差**隨機分布無明顯圖形**，推論模式無嚴重違反變異數相同之假設。
- **獨立性**：由**殘差圖**上殘差隨機分布在0的中心線周圍，無明顯規律性，推論殘差可能彼此獨立，無自我相關問題。
- **線性重合**：由各解釋變數的**VIF值<10**，顯示解釋變數間無高度線性重合問題。



常態機率圖



殘差圖

## VIF值

模式	VIF
模式 (常數)	-
TOW	1.044
ln(Cl)	1.302
ln(SO <sub>2</sub> )	1.119
ln(W <sub>s</sub> )	1.236
W <sub>d</sub>	1.078

45

校正  
迴歸模式

## ➤ 離群值檢查

- 模式中有**2個**反應變數預測值在3個標準差之外的離群值。

## ➤ 綜合判斷

- 綜而言之，對數線性模式的**顯著性檢定通過**，**適配性達可接受範圍**，並確認模式**沒有嚴重違反迴歸分析基本假設的問題**。
- 關於模式有2項離群值的問題，基於試驗站是設置在戶外，調查到的數值較易受地區環境不可控制因素影響，為避免模式**受到極端值的影響**，將**刪除2項離群值後**，再次估計迴歸參數。
- 重新配適得到刪除離群值後的對數線性模式如下：  

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = 2.798 + 0.012\text{TOW} + 0.233 \ln(\text{Cl}) + 0.240 \ln(\text{SO}_2) + 0.254 \ln(\text{W}_s) - 0.116\text{W}_d$$

46

校正  
迴歸模式

## ➤ 綜合判斷(續)

- 分析結果顯示：刪除離群值後之對數線性模式的顯著性檢定通過；適配性達可接受範圍且較原對數線性模式略高 ( $R^2_{adj} = 0.576$ )；常態機率圖上的圖形近似直線，殘差圖上各殘差值隨機分布無明顯圖形，且VIF值 $<10$ ，確認模式無違反迴歸分析之基本假設；模式亦無離群值。

## 刪除離群值後之對數線性模式

## 摘要表

模式	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
對數線性模式	0.763	0.582	0.576

## 變異數分析表

模式	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性(P)
迴歸	76.657	5	15.331	95.289	0.000*
殘差	55.026	342	0.161	-	-
總計	131.683	347	-	-	-

## 參數估計表

模式	b	標準誤	t	顯著性(P)	VIF
(常數)	2.803	0.106	26.327	0.000*	-
TOW	0.012	0.001	8.629	0.000*	1.045
ln(Cl)	0.234	0.018	13.060	0.000*	1.303
ln(SO <sub>2</sub> )	0.242	0.020	11.946	0.000*	1.120
ln(W <sub>s</sub> )	0.243	0.054	4.477	0.000*	1.234
W <sub>d</sub>	-0.129	0.046	-2.800	0.005*	1.080

47

## 解釋與說明

## ➤ 解釋與說明

- 迴歸分析結果顯示在臺灣地區目前的氣候條件與污染情境下，碳鋼腐蝕速率主要受到濕潤時間百分比、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、風速、風向等5項腐蝕因子的影響，
- 碳鋼腐蝕速率與5項腐蝕因子間的關係是對數線性關係，關係模式如下：  

$$\ln(\text{Fe}_{\text{corr}}) = 2.798 + 0.012\text{TOW} + 0.233 \ln(\text{Cl}) + 0.240 \ln(\text{SO}_2) + 0.254 \ln(\text{W}_s) - 0.116\text{W}_d$$
- 依此關係模式，5項腐蝕因子的變動可說明碳鋼腐蝕速率變動的57.6%。

48

## 04 結論與建議

49

04

結論<sup>(1/5)</sup>

大氣腐蝕  
因子  
調查結果

- 氯鹽沉積速率
  - 4季中以**秋、冬**2季的氯鹽沉積速率**較高**
  - 較高的氯鹽沉積速率大多發生在**秋、冬**2季**北部至西部沿海地區**，在**距離海岸線較遠山區**的氯鹽沉積速率**最低**
  - **沿海地區**以**臺南、高雄**沿海的氯鹽沉積速率**較低**
- 氯鹽沉積速率--**垂直海岸試驗線**
  - **台塑六輕試驗線**最高，**基隆試驗線、臺中港試驗線及花蓮港試驗線**次之
- 二氧化硫沉積速率
  - 除靠近硫磺區的**陽明山國家公園**外，較高值發生在**西部的火力電廠及工業區**，且以**秋、冬**2季較高
- 二氧化硫沉積速率--**特定試驗點**
  - 特定工業區以**彰濱工業區、觀音工業區及官田工業區**數值較高，在**秋、冬**2季**超過P3等級**

50

大氣金屬  
腐蝕速率  
試驗結果

➤ 垂直海岸試驗線

- 碳鋼金屬：以西部至北部的**基隆、桃園、臺中港、台塑六輕**等4條試驗線試驗線的腐蝕速率較高，且以秋、冬2季較高
- 鋅金屬：在**基隆、桃園、臺中港、台塑六輕及花蓮港**等5條試驗線的腐蝕速率均是秋、冬2季高且季節性差異大
- 銅金屬：以**臺塑六輕、臺中港**2條試驗線較為嚴重
- 鋁金屬：以西部的**桃園、臺中港、台塑六輕**等3條試驗線的腐蝕速率較高，且以秋、冬2季較高。

➤ 特定試驗點

- 碳鋼、鋅和鋁金屬以**西部沿海電廠及工業區**的腐蝕速率較南部沿海電廠及工業區高，且前者的**秋、冬2季**腐蝕速率明顯高於春、夏2季
- 銅金屬以**台塑六輕工業區、彰濱工業區**以及**4個電廠**的腐蝕速率較高
- **臺北市區與高鐵3個車站**的腐蝕速率均相對較低

51

水下暴露  
試驗結果  
-5年期

➤ 飛沫帶

- 碳鋼介於376.2~183.3  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於**臺北港**
- 低碳鋼介於335.3~177.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率亦發生於**臺北港**
- 不鏽鋼介於2.01~ 0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於**蘇澳港**

➤ 潮汐帶

- 碳鋼介於370.4~79.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於**基隆港**
- 低碳鋼介於392.4~102.8  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率亦發生於**基隆港**
- 不鏽鋼介於1.77~ 0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於**高雄港40號碼頭**

➤ 水中帶

- 碳鋼介於304.1~101.9  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於**基隆港**
- 低碳鋼介於426.7~77.2  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率也發生於**基隆港**
- 不鏽鋼介於4.02~ 0.0  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ，最大腐蝕速率發生於**花蓮港**

52

水下暴露  
試驗結果  
-5年期

➤ 碳鋼金屬

- 飛沫帶最大腐蝕速率發生於**臺北港**376.2 μm/yr
- 潮汐帶最大腐蝕速率發生於**基隆港**370.4 μm/yr
- 水中帶最大腐蝕速率發生於**基隆港**304.1 μm/yr

➤ 低碳鋼金屬

- 飛沫帶最大腐蝕速率發生於**臺北港**335.3 μm/yr
- 潮汐帶最大腐蝕速率發生於**基隆港**392.4 μm/yr
- 水中帶最大腐蝕速率發生於**基隆港**426.7 μm/yr

➤ 不銹鋼金屬

- 飛沫帶最大腐蝕速率發生於**蘇澳港**2.01 μm/yr
- 潮汐帶最大腐蝕速率發生於**高雄港40號碼頭**1.77 μm/yr
- 水中帶最大腐蝕速率發生於**花蓮港**4.02 μm/yr

53

碳鋼金屬  
關聯性分析

➤ 碳鋼金屬與腐蝕因子關聯性分析

- 本計畫運用**迴歸分析法**建立腐蝕因子與碳鋼腐蝕速率間的迴歸模式，結果顯示**碳鋼腐蝕速率**主要受到**濕潤時間百分比、氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率、風速、風向**等5項腐蝕因子的影響，兩者間是**對數線性關係**。

54

## 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**。



# THANK YOU

簡報完畢  
敬請指教

