

臺灣商港水下金屬材料一年期腐蝕速率調查研究

羅建明 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
胡啟文 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
黃宇謙 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
柯正龍 交通部運輸研究所港灣技術研究中心第一科科长

摘要

臺灣地處亞熱帶，屬高溫、高濕、高鹽的海島型氣候，金屬構件甚易腐蝕。為此，有必要建置屬於本土的水下腐蝕環境資料及腐蝕因子資料庫，以利日後結構物於防蝕設計與維護管理的依據。

本研究主要工作項目包括：1.水下金屬材料腐蝕長期暴露試驗，2.建立水下腐蝕因子資料庫，3.研究成果分析比較，4.完成臺灣腐蝕環境資訊系統水下腐蝕速率資料庫建置工作。

各港區第1年不同位置金屬腐蝕速率分析調查結果發現，飛沫帶金屬暴露試驗結果，碳鋼介於347~591($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率於高雄港#10碼頭591($\mu\text{m}/\text{yr}$)，低碳鋼介於377~584($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率於馬祖福澳港584($\mu\text{m}/\text{yr}$)。潮汐帶金屬暴露試驗結果，碳鋼介於222~963($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐

蝕速率於布袋港963($\mu\text{m}/\text{yr}$)，低碳鋼介於239~931($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率於布袋港931($\mu\text{m}/\text{yr}$)。水中帶金屬暴露試驗結果，碳鋼介於123~513($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率於高雄港#75碼頭513($\mu\text{m}/\text{yr}$)，低碳鋼介於118~504($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率於布袋港504($\mu\text{m}/\text{yr}$)。

不同金屬水下腐蝕速率分析，第1年碳鋼金屬暴露試驗結果，飛沫帶最大腐蝕速率發生於基隆港871($\mu\text{m}/\text{yr}$)，潮汐帶最大腐蝕速率於布袋港969($\mu\text{m}/\text{yr}$)，水中帶最大腐蝕速率於高雄港#75碼頭513($\mu\text{m}/\text{yr}$)。第1年低碳鋼金屬暴露試驗結果飛沫帶最大腐蝕速率於基隆港960($\mu\text{m}/\text{yr}$)，潮汐帶最大腐蝕速率於布袋港931($\mu\text{m}/\text{yr}$)，水中帶最大腐蝕速率於基隆港519($\mu\text{m}/\text{yr}$)。

一、前言

臺灣為四面環海，沿海除了有海港碼頭、防波堤等港工設施外，鑽油平

台、跨海大橋等皆處於海洋環境中。而一遇颱風來襲則造成重大損失，如民國八十三年提姆、道格颱風過境，造成花蓮港、蘇澳港、龍洞遊艇港及高雄港等各港口，多處港工設施之破壞、沉陷等重大損害。究其原因，各港工結構面臨險惡之海洋環境而被腐蝕、侵襲，造成材料之彈性疲乏，強度損失，以致使用年限大為縮短應為重要因素之一。

港工結構所使用的材料，除了石料之外，主要為鋼構材料及混凝土或鋼筋混凝土材料為主。其中鋼構材料如鋼板樁、鋼管樁及配合使用之拉緯鋼纜等各型鋼料，材質均有不同。其腐蝕之現象，由於在不同海域環境、季節、深度會產生不同腐蝕速率。根據本所過去所做相關研究報告中，在臺灣各大港口中，使用鋼構

材料的碼頭大多為鋼版樁式。發現其鋼版樁有嚴重破損、穿孔之腐蝕現象，以致部分碼頭壁後砂石掏空，岸肩沈陷，嚴重影響碼頭之結構安全。如蘇澳港之駁船碼頭，鋼板樁年腐蝕率超過 0.2mm/yr，其他各港口亦有類似現象。隨著時空、氣候變遷，為達到結構物**耐久性**與防蝕設計須求，若仍引用過時且不完整之調查數據，對結構物之**耐久性**與腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；臺灣近 10 年來並無任何單位進行完整性全島區域之水下腐蝕因子之調查與研究，因此延續過去相關研究，進行水下環境腐蝕因子及金屬材料水下長期曝放試驗與資料庫建置計畫，作為新建與既有結構物**耐久性**與防蝕設計及維護管理之參考。今將過去臺灣地區水下腐蝕試驗相關研究歷程整理(如表 1)所示。

表 1 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
交通處港灣技術研究所 中國鋼鐵公司 工材所	臺灣海域腐蝕特性防蝕設計 材料選用及開發特性 [1][2]	本研究主要探討海洋結構物與鋼筋混凝土材料於各海域腐蝕特性，開發設計陰極防蝕工程、防蝕塗料材料、表面被覆構件腐蝕偵測技術及比較各種金屬〈如碳鋼、不銹鋼、鋁合金等〉之水下腐蝕速率，並邀請國內外專家學者來講述防蝕技術及推廣教育工作，並協調各施工單位，擬定期長期合作計畫。	1986.07-1991.06
交通處港灣技術研究所	港灣 R.C 結構物之耐久性研究 ^[3]	針對港灣 R.C 結構物之 耐久性 提供良好之設計與施工規範，提出港灣鋼筋混凝土結構物 耐久性 研究計畫，並對各港之 RC 結構物之腐蝕特性作一通盤性之了解。	1986.07-1991.06
交通處港灣技術研究所	澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查 ^[4]	1986 年中美聯合防蝕研討會中指出我國交通橋樑及主要公共措施應定期舉行腐蝕調查及安全性評估。會後行政院科技顧問組即指示進行初步調查研究。成果如下:了解澎湖跨海大橋腐蝕惡化現象之機理，作為新建工程設計及施工防範及維修參考，提高施工技術及工程品質，減少腐蝕造成損失。增進對鋼筋混凝土等營建材料耐	1987.01-1987.12

研究單位	研究方向	研究說明	研究期間
		久性之認知，提供各單位作相關研究基礎與方向。使用之調查方法及研究方法，可作為鋼筋混凝土腐蝕偵測之參考，並提供修補及防蝕對策。	
交通處港灣技術研究所	港灣鋼結構物耐久性研究 ^{[5][6][7][8]}	1.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。 2.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
交通處港灣技術研究所	港灣 R.C 結構物修理系統評估研究 ^[9]	各大港口 R.C 結構物之現況作一調查，並對其修理方法通盤瞭解並檢討優劣點。	1992.07-1993.06
交通處港灣技術研究所 海洋大學	港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究 ^[10]	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 ^[15]	於基隆港碼頭擺放試架觀察海生物附著種類，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，水深與水文及污損生物之關係。	1995.01-1995.12
交通處港灣技術研究所	現有結構物安全評估及維護研究 ^{[11][12][13][14]}	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。	1996.06-2001.07
交通部運研所港灣技術研究中心 中山大學	高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究 ^[17]	調查高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及附著影響，以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。	2000.01-2000.12
港灣技術研究中心	碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究 ^[18]	進行基隆、花蓮、台中、高雄、蘇澳等港口之碼頭鋼板(管)樁調查，藉由對碼頭鋼板(管)樁腐蝕現況之長期監測，得以提供相關之本土資訊，作為設計及維護參考，並整理歸納影響鋼板(管)樁腐蝕之因子探討適用於本島碼頭鋼板(管)樁腐蝕防治方法。	2001.01-2001.12

研究單位	研究方向	研究說明	研究期間
港灣技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2) ^[19] 金屬材料水下腐蝕調查研究(2/2) ^[20]	建立臺灣地區長期金屬材料水下腐蝕資料庫，以作為新建及既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考需要，安裝水下金屬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，藉此了解在不同環境、金屬材料、海洋生物附著、海水水質等對港區金屬材料腐蝕之長期研究。	2015.01-2016.12
港灣技術研究中心	臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究(1/4) ^[21]	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一年取樣作業及水質化學試驗相關分析。	2017.01~2018.12

二、研究目的及效益

2.1 研究目的

本研究計畫的主要目的為進行臺灣沿岸地區金屬材料在海水下腐蝕因子之調查試驗研究，為建立完整的腐蝕因子資料庫，完成臺灣水下金屬腐蝕資料庫建置，以利日後新建與既有金屬或鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

2.2 預期效益及其應用

- 藉由水下長期暴露試驗數據，繪製

金屬於各港在不同期程腐蝕趨勢變化圖，瞭解國內水下金屬材料與環境因子之關聯性。

- 將臺灣沿岸金屬材料在海水下腐蝕影響因子之調查試驗，建立數據資料庫，提供產官學研各界辦理構造物耐久性與防蝕設計之參據。
- 研究成果可應用於後續相關研究及研擬臺灣地區防蝕手冊參酌。

三、研究架構及方法

3.1 研究架構

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，於 103 年安裝水下金屬曝露試驗架於臺中港、104 年安裝金門水頭及料

羅港、105 年安裝基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、蘇澳港、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。研究方法、規畫、試片設計與試驗期程(如圖 1)水下腐蝕研究方法與規劃分述：

3.2 研究方法工作項目

1. 國內外水下腐蝕文獻蒐集整理分析。
2. 水下腐蝕因子調查項目：包括海水成分中導電度、溶氧量、酸鹼度、溫度、氯鹽、硫酸鹽之水質環境因子及海生物附著等項目調查。
3. 暴露試驗期程:金屬材料將於第 1 年、第 2 年、第 5 年、第 8 年、第 10 年期程進行暴露試驗。
4. 水下金屬材料腐蝕暴露試驗：針對港灣工程結構金屬材料，碳鋼(SM490A)、不鏽鋼(SS316L)、低碳鋼(SS400)三種金屬，選擇臺灣各商港碼頭，於飛沫帶、潮汐帶、水中帶三個位置進行現地暴露試驗，自 2015 年起已陸續完成建置基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、安平港、布袋港、高雄港#10 碼頭、高雄港#40、高雄港#75 碼頭、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與試片安裝，共建置 14 個試驗點(如圖 2)所示。

5. 水質調查與分析：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、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每季海水水質測量海水成分中導電度、溶氧量、酸鹼度、溫度、氯鹽、硫酸鹽之水質環境因子等項目試驗分析工作，藉以了解金屬腐蝕、季節與區域之關聯性。

6. 研究成果：本研究為長達 10 年期暴露試驗，目前水下金屬材料腐蝕已完成臺中港 2 年期、金門水頭與料羅港區 2 年期及基隆港、花蓮港、蘇澳港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、澎湖龍門港 1 年期水下金屬材料腐蝕速率分析作業及各季試驗站所調查水質分析，歸納數據整理繪製比較圖，建置於臺灣腐蝕環境分類資訊系統水下腐蝕速率資料庫。

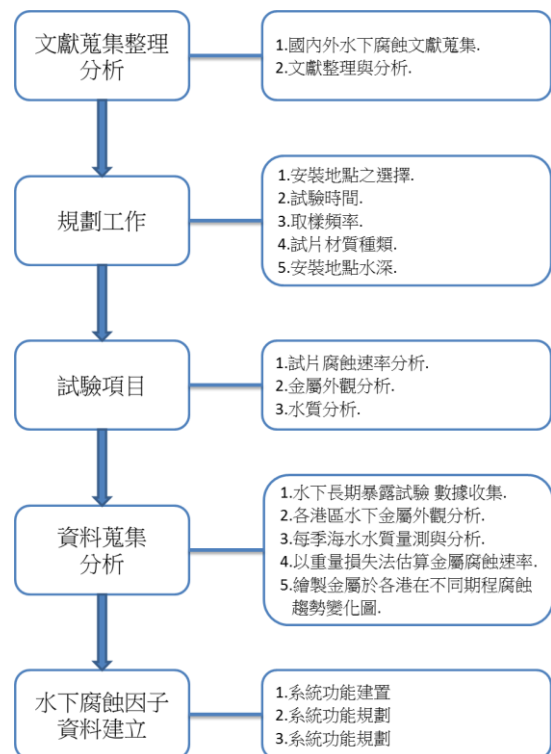


圖 1 水下腐蝕研究方法與規劃

3.3 各港區試片設計與試驗期程

試片大小，試片架之設計，試片架之安放工作以及各階段分批取樣時程，詳述如後：

1. 材質型式：試片採用港工結構材使用之試片，分三種型式為銲接結構用鋼(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，厚度則分別為銲接結構用鋼(SM490A)1.0cm、不鏽鋼(SS316L)1.0cm、一般碳鋼(SS400)1.0cm。
3. 試片架設計：為配合當地港工結構之條件，設計須考慮穩定性、試片置放及取樣難易程度等每一試片皆有兩只通孔，使用不鏽鋼螺栓及螺帽，固定於承載試片主架上，螺栓與螺帽使用絕緣材質墊片，以防止電化學腐蝕效應。
4. 試片架的曝露位置：安放於各港區碼頭岸壁分別於飛沫帶、潮汐帶、水中帶3個位置，每層架置45個試片，共135片如圖2所示，以膨脹螺絲接合施作於混凝土牆面固定。
5. 現場施放地點調查及試片架安裝：試片架之安裝經於各港區實地勘察，經協調各港務公司選定港區船隻進出較不妨礙之碼頭為安裝地點，試片架現場安裝時配合潛水人員施工完成。
6. 試驗期程：依實際需求規劃或10年期。
7. 取樣頻率：第1、2、5、8、10年期等。

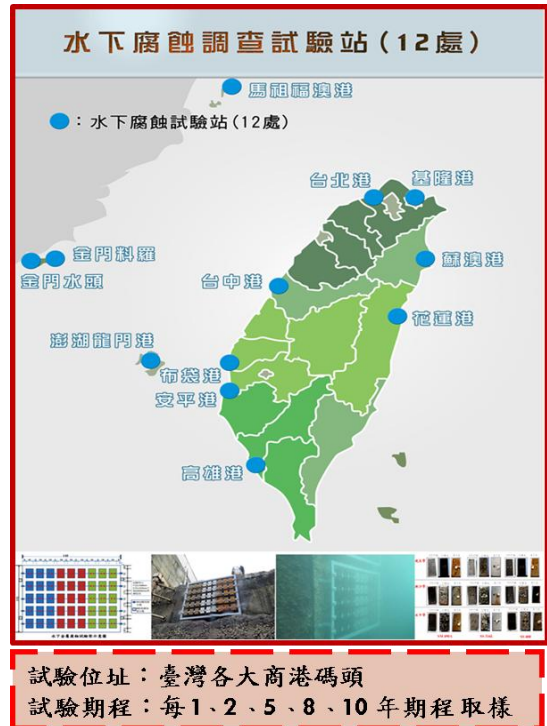


圖2 水下腐蝕調查試驗站

3.4 試片腐蝕速率分析方法

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。
2. 試片腐蝕分析步驟：採樣後試片於實驗室中進行腐蝕分析作業流程如圖3，先將將附著海生物刮去處理後，依據 NACE Standard TM-01-69 方法，以濃鹽酸+40 g/l SnCl₂ 溶液，在室溫下浸泡試片，達到除銹效果，並稱重以量測其平均腐蝕速率（重量損失法）。將試驗點曝放後取回之試片進行腐蝕速率量測。為確保除去腐蝕生成物的化學清洗方法不會損壞底材金屬，先使用腐蝕試

片進行重複清洗，以制定檢量線（俟重複清洗後之試片淨重達到一穩定值）。

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

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

式中，

Δm =質量損失(g)

A =試片曝露面積(m^2)

t =曝露時間 (year)，

ρ =金屬材料之密度 (g/cm^3)

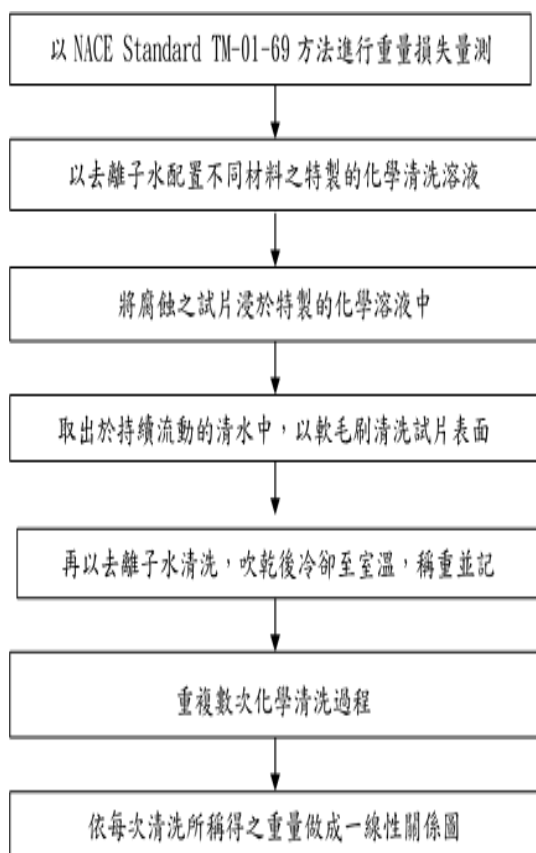


圖 3 水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖

第四章 水下金屬腐蝕速率分析過去文獻研究報告指出，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、菌類活動、以及污染程度等參數的影響而產生不同的腐蝕現象。為推估港區內碳鋼腐蝕速率與水深變化的關係，今將不同形式碳鋼 (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) 採樣試片的腐蝕速率平均，以此平均值代表金屬材料在該碼頭不同位置的腐蝕速率。

4.1 各港區第一年不同位置金屬腐蝕速率分析

- 各港區第一年飛沫帶金屬腐蝕速率分析由各港區第 1 年飛沫帶金屬暴露試驗結果，如圖 4 試片平均腐蝕速率，可發現碳鋼介 347~591($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率發生於高雄港 #10 碼頭，低碳鋼介於 377~584($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率發生於馬祖福澳港。
- 各港區第一年潮汐帶金屬腐蝕速率分析：由各港區第 1 年潮汐帶金屬暴露試驗結果，如圖 5 試片平均腐蝕速率，可發現碳鋼介於 222~963 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率發生於布袋港 #10 碼頭，低碳鋼介於 239~931($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率也發生於布袋港。
- 各港區第一年水中帶金屬腐蝕速率分析：由各港區第 1 年水中帶金屬暴露試驗結果，如圖 6 試片平均腐蝕速率，可發現碳鋼介於 123~513 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率發生於高雄

港 #75 碼頭，低碳鋼介於 於布袋港。
118~504($\mu\text{m}/\text{yr}$)，最大腐蝕速率發生

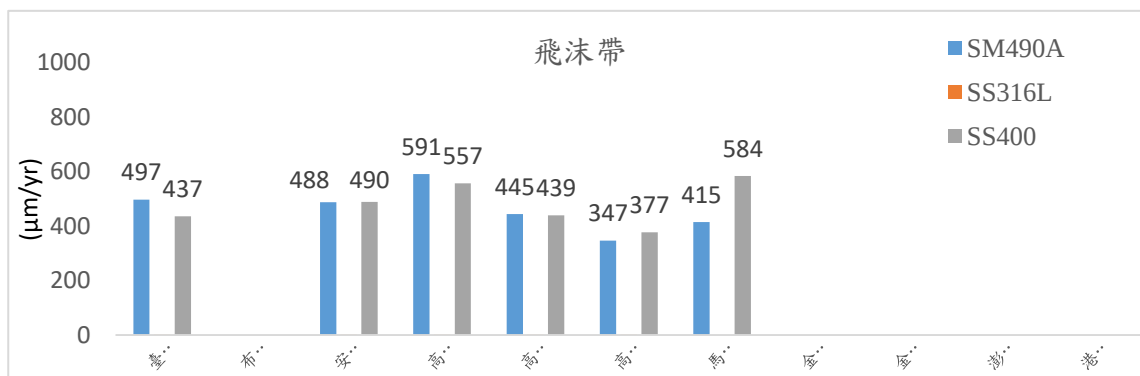


圖 4 各港區第一年飛沫帶金屬腐蝕速率分析

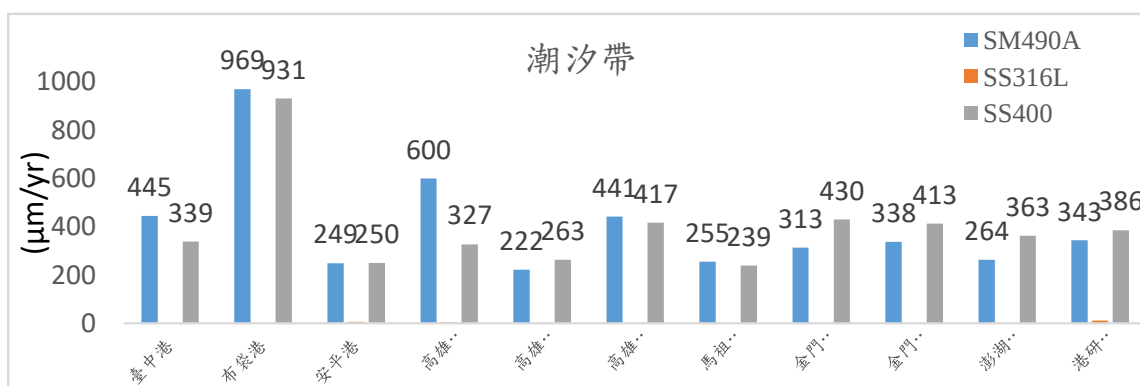


圖 5 各港區第一年潮汐帶金屬腐蝕速率分析

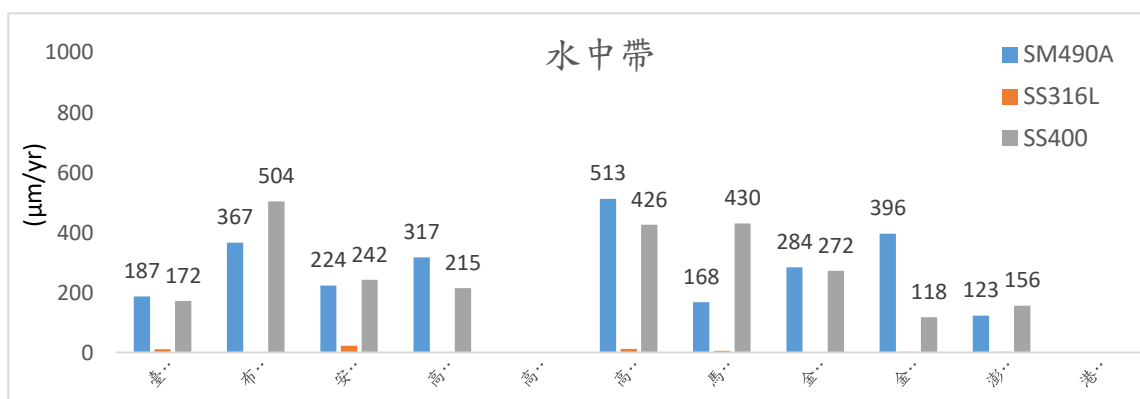


圖 6 各港區第一年水中帶金屬腐蝕速率分析

4.2 各港區第一年不同金屬水下腐蝕速率分析

由各港區第1年碳鋼金屬暴露試驗結果，如圖7試片平均腐蝕速率，可發現，飛沫帶最大腐蝕速率發生於基隆港($\mu\text{m}/\text{yr}$)，潮汐帶最大腐蝕速率發生於布袋港($\mu\text{m}/\text{yr}$)，水中帶最大腐蝕速率發生於高雄港#75碼頭($\mu\text{m}/\text{yr}$)。由各港區第1年低碳鋼金屬暴露試驗結果，如圖8試片平均腐蝕速率，可發現，飛沫帶

最大腐蝕速率發生於基隆港960($\mu\text{m}/\text{yr}$)，潮汐帶最大腐蝕速率發生於布袋港931($\mu\text{m}/\text{yr}$)，水中帶最大腐蝕速率發生於基隆港519($\mu\text{m}/\text{yr}$)。由各港區第1年不銹鋼金屬暴露試驗結果，如圖9試片平均腐蝕速率，可發現，飛沫帶最大腐蝕速率發生於高雄港#10碼頭1.2($\mu\text{m}/\text{yr}$)，潮汐帶最大腐蝕速率發生於港研中心11.3($\mu\text{m}/\text{yr}$)，水中帶最大腐蝕速率發生於安平港22.8($\mu\text{m}/\text{yr}$)。

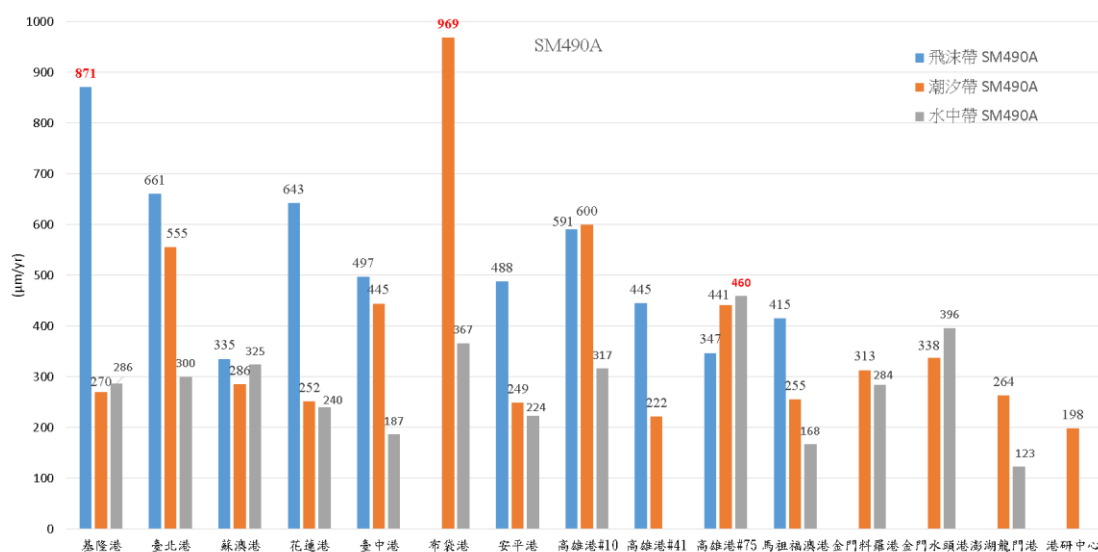


圖7 各港區第一年碳鋼金屬水下腐蝕速率分析

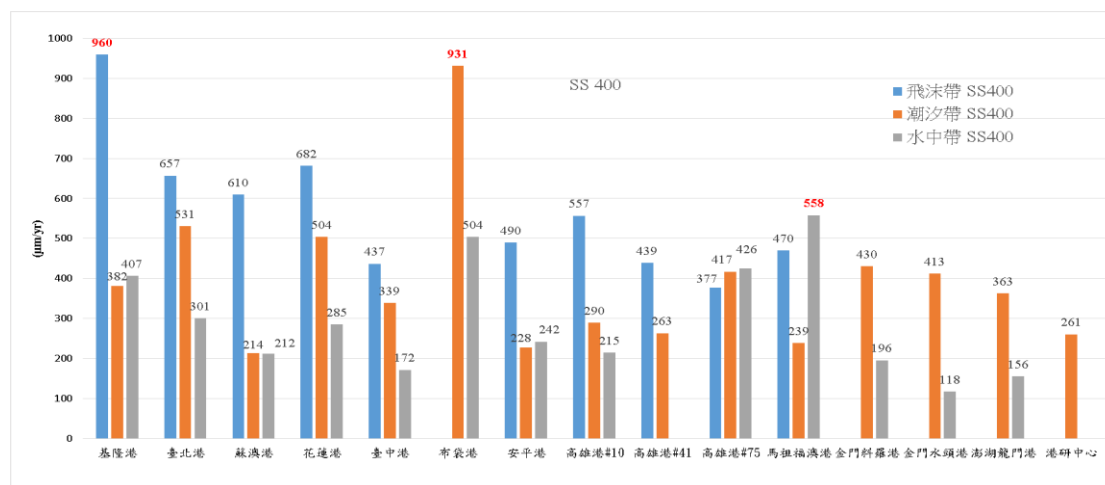


圖8 各港區第一年低碳鋼金屬水下腐蝕速率分析



圖 9 各港區第一年不銹鋼金屬水下腐蝕速率分析

五、結論

1. 各港區第 1 年不同位置金屬腐蝕速率分析調查結果發現，由第 1 年飛沫帶金屬暴露試驗結果，碳鋼介於 347~591(μm/yr)，最大腐蝕速率發生於高雄港#10 碼頭 591(μm/yr)，低碳鋼介於 377~584(μm/yr)，最大腐蝕速率發生於馬祖福澳港 584(μm/yr)。
2. 各港區潮汐帶金屬暴露試驗結果，碳鋼介於 222~963(μm/yr)，最大腐蝕速率發生於布袋港 963(μm/yr)，低碳鋼介於 239~931(μm/yr)，最大腐蝕速率也發生於布袋港 931(μm/yr)。
3. 各港區水中帶金屬暴露試驗結果，碳鋼介於 123~513(μm/yr)，最大腐蝕速率發生於高雄港#75 碼頭 513(μm/yr)，低碳鋼介於 118~504(μm/yr)，最大腐蝕速率發生於布袋港 504(μm/yr)。
4. 各港區第 1 年不同金屬水下腐蝕速率分析，由各港區第 1 年碳鋼金屬 (SM490) 暴露試驗結果，飛沫帶最大腐蝕速率發生於基隆港 (μm/yr) 871(μm/yr)，潮汐帶最大腐蝕速率發生於布袋港 (μm/yr) 969(μm/yr)，水中帶最大腐蝕速率發生於高雄港#75 碼頭 513(μm/yr)。
5. 由各港區第 1 年低碳鋼金屬暴露試驗結果，飛沫帶最大腐蝕速率發生於基隆港 960(μm/yr)，潮汐帶最大腐蝕速率發生於布袋港 931(μm/yr)，水中帶最大腐蝕速率發生於基隆港 519 (μm/yr)。
6. 各港區第 1 年不銹鋼金屬水下腐蝕速率分析，可發現，飛沫帶最大腐蝕速率發生於高雄港#10 碼頭 1.2(μm/yr)，潮汐帶最大腐蝕速率發

生於港研中心 11.3($\mu\text{m}/\text{yr}$)，水中帶最大腐蝕速率發生於安平港 22.8($\mu\text{m}/\text{yr}$)。

7. 由水下金屬腐蝕調查結果可得，隨著暴露時間增加在飛沫帶、潮汐帶

與水中帶金屬腐蝕速率皆有降低趨勢，推估應該是中海生物附著形成保護膜，避免海水流速衝擊及海水環境因子影響。

參考文獻

1. 陳桂清、柯正龍、羅建明，「港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究」，交通部運輸研究所，2014。
2. 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」，港灣技術研究所研究報告，1991。
3. 林維明、饒正「基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究」，港灣技術研究所專刊第 59 號，1990。
4. 饒正、林維明、陳桂清，「港灣 R.C 結構物修理系統評估研究」，港灣技術研究所研究報告，1994。
5. 林維明、饒正「澎湖跨海大橋腐蝕調查研究」，港灣技術研究所專刊第 41 號，1987。
6. 林維明、饒正等「港灣鋼構造物耐久性研究第一年報告」，港灣技術研究所，1990。
7. 饒正、柯正龍等「港灣鋼構造物耐久性研究第二年報告」，港灣技術研究所，1991。
8. 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」，港灣技術研究所，1992。
9. 陳桂清、饒正、柯正龍「港灣鋼構造物耐久性研究第四年報告」，1993。
10. 饒正、柯正龍等「港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究」，港灣技術研究所研究報告，1991。
11. 饒正、林維明，「港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究」，港灣技術研究所研究報告，1996。
12. 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)」港灣技術研究所，1997。
13. 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)」港灣技術研究所，1998。
14. 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)」港灣技術研究所，1999。
15. 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。
16. 饒正、柯正龍，「水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究」，港灣技術研究所研究報告，1995。
17. 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」，港灣技術研究所，1997。

- 。
18. 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」，港灣技術研究所，1999
。
19. 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
。
20. 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，2015。
21. 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，2016。
22. 羅建明、陳桂清、柯正龍、「臺灣
地區金屬材料腐蝕環境調查研究
(1/4)」，交通部運輸研究所，2017
。