110-016-7C38
MOTC-IOT-109-H1CA002

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

交通部運輸研究所
中華民國 110 年 2 月

110

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

交通部運輸研究所

GPN：1011000192
定價 200 元

110-016-7C38
MOTC-IOT-109-H1CA002

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

著　者：羅建明、莊凱迪、黃宇謙

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查. (2/2)
/ 羅建明, 莊凱迪, 黃宇謙著. -- 初版. -- 臺
北市 : 交通部運輸研究所, 民110.02
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-260-2(平裝)

1.海岸 2.海岸工程

443 110001028

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)
著　　者：羅建明、莊凱迪、黃宇謙
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)
電　　話：(04)2658-7200
出版年月：中華民國 110 年 02 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：200 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789
國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：400002 臺中市中山路 6 號•電話：(04)222-60330

GPN：1011000192　　ISBN：978-986-531-260-2(平裝)

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-260-2(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011000192</td><td>運輸研究所出版品編號
110-016-7C38</td><td>計畫編號
MOTC-IOT-109-H1CA002</td></tr>
<tr><td colspan="3">主辦單位：港灣技術研究中心
主管：蔡立宏
計畫主持人：羅建明
研究人員：莊凱迪、黃宇謙
參與人員：陳亭廷、李春榮、何木火、王培源
聯絡電話：04-26587110
傳真號碼：04-26564418</td><td>研究期間
自 109 年 01 月

至 109 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：金屬暴露試驗、海洋附著生物、連續水質監測</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
臺中港區鄰近彰化離岸風電潛力場址、腹地廣大、港內航道規格及航運管理機制完善，成為臺灣中部之離岸風電基地母港。本研究選定臺中港區 4 號碼頭，分別於飛沫帶、潮汐帶、水中帶三處安裝金屬試驗架，選用 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 碳鋼三種金屬材質進行金屬試片暴露試驗及海洋附著生物調查；並同步於水中帶架設連續水質監測儀器，持續蒐集鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等水質參數資料，建構穩定離岸風電基地母港水域環境資訊紀錄，提供完整並具時效的現地水質監測資料等。
在 108 年 6 月至 109 年 9 月觀察期間，潮汐帶海洋附著生物以藤壺及二枚貝類為大宗；水中帶的金屬試片發現之生物種類最多，包含藤壺、管蟲及二枚貝類。整體而言，飛沫帶、潮汐帶及水中帶三暴露區域之金屬腐蝕速率皆於暴露試驗前 1-3 個月變化較為顯著。隨著暴露時間增長，金屬試片表面鏽層及附著生物生長逐漸趨於穩定，故於暴露時間 3 個月後，金屬試片腐蝕速率變化相對暴露試驗前期趨於緩和。金屬試片暴露 1 年後，其金屬腐蝕速率由高至低，呈現飛沫帶>水中帶>潮汐帶之情況，三個暴露區域，皆以 SS316L 不鏽鋼防鏽程度最佳。水質監測方面，臺中港 4 號碼頭海域之平均水溫為 26.31℃，平均鹽度為 33.37，平均 pH 值為 8.2，平均溶氧為 6.22mg/L，平均導電度為 50.93 ms/cm，平均總溶解固體量為 33.11g/L，平均濁度則為 3.09NTU。
研究成果效益及應用:
1. 提升臺中港規劃設計與維護水準，期能與國際工程技術接軌。
2. 延長臺中港港灣金屬結構物使用壽命，提高經濟效益。
3. 提供離岸風機母港在防蝕策略與維護管理。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110 年 2 月	229	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: Publication Name: Investigation of Corrosion Factors in the Offshore Base Port and Adjacent Sea Area (2/2)

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-531-260-2(pbk)	1011000192	110-016-7C38	MOTC-IOT-109-H1CA002

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Ming Lo
RESERACH FELLOW: Kai-Ti Chuang, Yu-Qian Huang
PROJECT STAFF: Ting-Ting Chen, Chun-Rong Li, Mu-Huo Ho, Pei-Yuan Wang
PHONE: 04-26587110
FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD
FROM January 2020
TO December 2020

KEY WORDS: database, earthquake, strata subsidence, monitoring

Abstract:

Taichung Port Zone, adjacent to Changhua's offshore wind power potential site, has a vast hinterland and a complete and sound channel specification and shipping and transportation management mechanism. It has become the base port of offshore wind power in central Taiwan. Therefore, the research project selects Taichung Port Zone Wharf No. 4 for monitoring and investigation. Metal test tube racks were respectively installed at the splash zone, tidal zone and subduction zone. The three metal materials of SM490B carbon steel, SS316L stainless steel and SS400 carbon steel were used for investigation of metal test pieces on exposure, corrosion and underwater metal test pieces on marine fouling organisms; and synchronously erecting continuous water quality monitoring devices at the same depth in the subduction zone to continuously collect the salinity, dissolved oxygen, conductivity, pH, water temperature, total dissolved solids, turbidity and other water quality parameter data of the base port of offshore wind power, building a stable water environment information record of the base port of offshore wind power, providing complete and time effective in-situ water quality monitoring data, and observing metal test pieces on marine fouling organisms, underwater corrosion and other test items.

During the observation period between June 2019 and September 2020, barnacles and bivalves were the main species of marine fouling organism in the tidal zone. From the metal test pieces in the subduction zone, we found that the most species of organisms, including barnacles, tube worms, and bivalves. In general, the metal corrosion rate of the splash zone, tidal zone and subduction zone all changed significantly in the early stage of the first 3 months of the exposure test. With the increase of the exposure time, the growth of the rust layer and attached organisms on the surface of the metal test piece gradually stabilized, the change of the corrosion rate of the metal test piece tended to moderate in the exposure time of 3 months compared with the early stage of the exposure test. After 1 year of exposure of the metal test piece, the metal corrosion rate went from high to low showing that the status of splash zone> subduction zone> tidal zone. In the three exposure zones, SS316L stainless steel has the best rust resistance. In terms of water quality monitoring, the average water temperature of Taichung Port Wharf No. 4 sea area is 26.31℃, the average salinity is 33.37, the average pH value is 8.2, the average dissolved oxygen is 6.22mg/L, the average conductivity is 50.93 ms/cm, and the average total amount of dissolved solids is 33.11g/L, and the average turbidity is 3.09 NTU.

Benefits and Applications of Research Results:

1. Improving the planning, design and maintenance level of Taichung Port. Hoping to be in line with the international engineering technology.
2. Extending the life of metal structures in Taichung Port and improving economic efficiency.
3. Providing anti-corrosion strategies and maintenance management for the base port of offshore wind power.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
February 2021	229	200

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

目　錄

圖 目 錄

表 目 錄

第一章 前　言

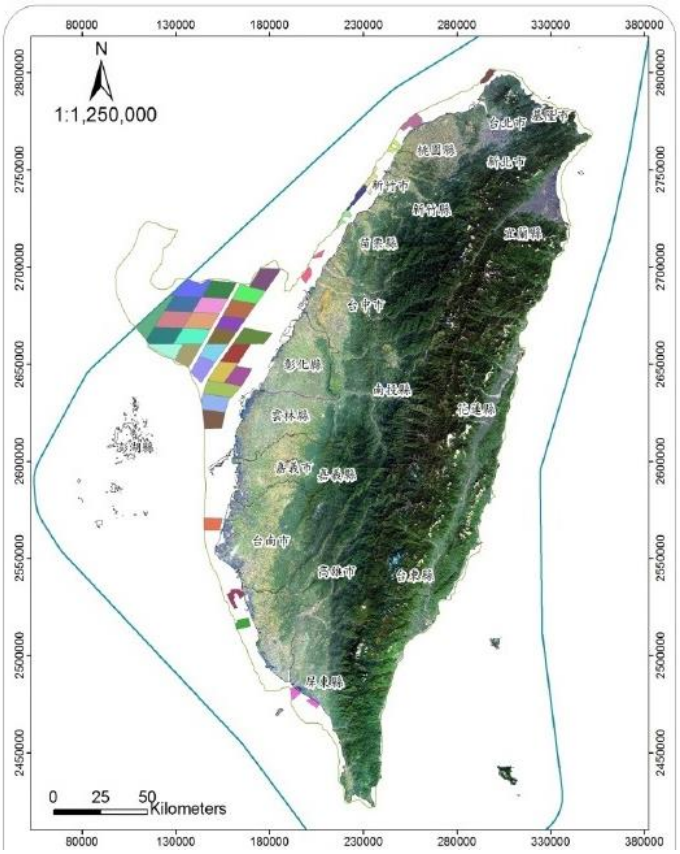
1.1 計畫目的

本計畫針對金屬構件在離岸風電基地母港與鄰近海域進行腐蝕因子調查，臺中港區因鄰近主要離岸風電潛力場址、腹地廣大、港內航道規格及航運管理機制完善等原因，成為臺灣中部之離岸風電基地母港。故於臺中港區進行金屬材料腐蝕因子之監測調查，探討金屬構件於國內海域環境之適用性，評估臺中港及鄰近海域金屬構件本土化適用防蝕工法。

1.2 計畫緣起與背景

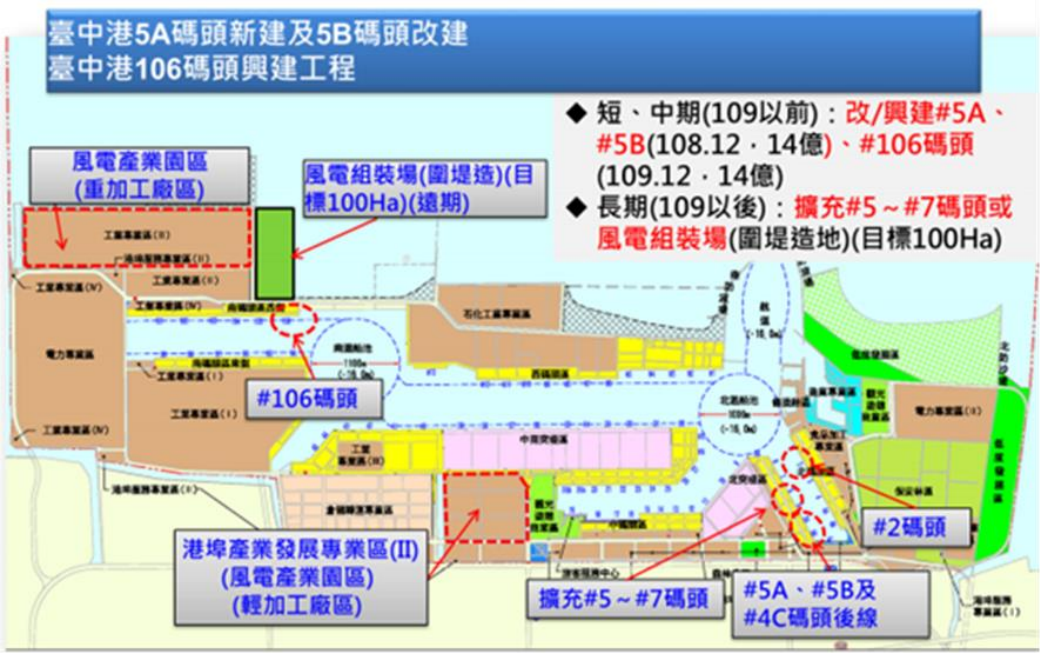
100 年行政院經濟部擬定「千架海陸風力機」打造綠能低碳環境的國家能源政策，陸續開發陸域風場，並善用臺灣風場優勢陸續開發離岸風力發電，著手推動綠能低碳環境的國家能源政策。在臺灣離岸風力規劃三，16 處場址海域中(圖 1.1)，彰化海域一帶即占 21 處，是為臺灣離岸風力發展的重要潛力海域。

臺中港區因鄰近彰化離岸風電潛力場址、且腹地廣大，配合國家推動離岸風力發電政策，於「國際商港未來發展及建設計畫 106-110 年」中，考量港埠發展定位、經營環境、及整體規劃配置檢討後，「臺中港離岸風電作業碼頭興建工程」便納入「前瞻基礎建設計畫」執行。如圖 1.2，離岸風電產業園區以臺中港作為作業基地，辦理臺中港風機重件裝卸作業碼頭興(整)建工程，(整建 5A 碼頭、興建 5B 碼頭及 106 號碼頭)，綜括能源、電力、鋼鐵、石化等廠商進駐，結合港埠合作經營，港務公司更可提供拖船、起重船、測量船、潛水工作船以及平臺船等服務，以合作經營方式參與營運，作為離岸風電發展產業專區，成為臺灣中部離岸風電之基地母港。



（圖片來源：離岸風力發電場址規劃作業要點）

圖 1.1　臺灣離岸風力規劃場址海域圖 [1]



(資料來源：交通部，前瞻基礎建設計畫--臺中港離岸風電產業專區，2017)

圖 1.2　臺中港離岸風電專區發展規劃圖 [2]

相較歐洲國家，臺灣離岸風電發展尚處於初步階段，除汲取各國政策、設備技術等發展經驗外，尚需考量全球區域環境差異，因應臺灣抗震、抗颱、防腐蝕及海象條件等需求，發展適宜之防蝕系統評估、規劃。

108 年度「離岸基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查」計畫，已於臺中港 4 號碼頭進行腐蝕因子監測調查研究，分別於飛沫帶、潮汐帶、水中帶三處安裝金屬試驗架，進行金屬試片曝露、腐蝕及水下金屬試片生物附著調查；同步於相同水域架設連續水質監測儀器，以持續蒐集相關離岸風電基地母港之鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等水質參數資料，藉以建構穩定離岸風電基地母港之水域環境資訊紀錄。

本年度(109)計畫延續金屬試片曝露、腐蝕及水下金屬試片生物附著調查；搭配相同水域完整並具時效之鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等水質參數資料，交叉評估其環境變化對金屬腐蝕、海洋生物附著之影響，研擬相關海洋生物附著及腐蝕防治之工法，得以針對特定研究目標進行科學分析，如：緊急應變、自然變化指標或金屬構件腐蝕防治技術與腐蝕因子等，並參考臺中港區風電場鄰近區域之現場觀測相關成果，研發適合基地母港金屬構件之防蝕工法，提供維管計畫擬定參考，做為金屬結構防蝕應用，以延長基地母港金屬結構之使用壽命，提高經濟效益。

1.3 工作項目及內容

本研究工作項目及內容如下：

1. 金屬試片取樣試驗作業：請潛水人員進行臺中港金屬試片採樣工作，並進行周邊水下海生物清理及水下照相，共進行 3 次取樣作業，分別於 109 年 3 月、6 月及 9 月前完成作業。金屬試片取樣試驗作業: 進行臺中港金屬試片採樣工作，並進行周邊水下海生物清理及水下照相。

2. 金屬試片附著生物調查試驗：進行臺中港金屬試片附著生物向光面及背光面種類分布統計調查分析，預計進行 3 次，分別於 109 年 4 月、7 月及 10 月前完成作業。

3. 鄰近海域水質連續監測採樣調查分析：於臺中港 4 號碼頭進行水質連續監測，監測項目包括：鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等。

1.4 預期效益及其應用

1. 提升臺中港規劃設計與維護水準，期能與國際工程技術接軌。

2. 延長臺中港港灣金屬結構物使用壽命，提高經濟效益。

3. 提供離岸風機母港在防蝕策略與維護管理。

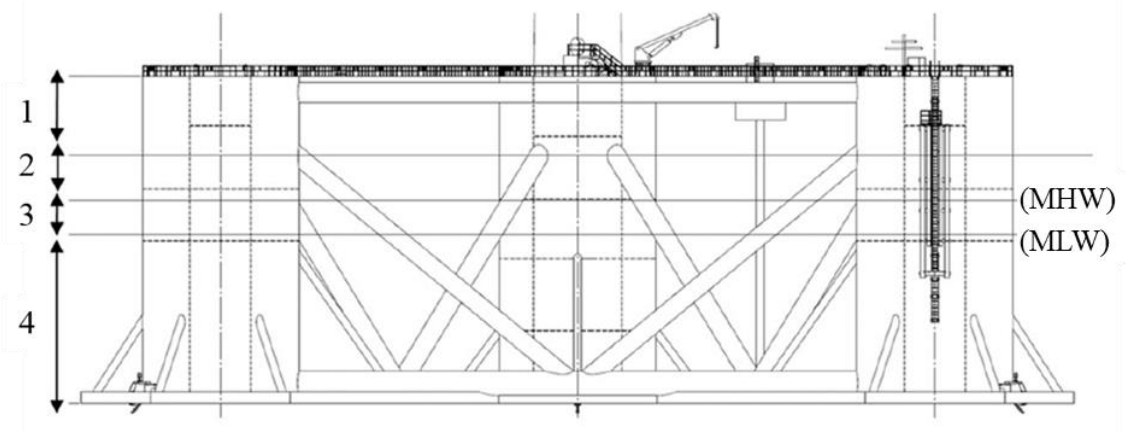
第二章 文獻回顧

2.1 港區金屬腐蝕因子

1. 暴露區域

港灣與海洋結構物腐蝕部位、腐蝕速率，與其暴露環境具有顯著差異，故金屬構件應依暴露環境條件選擇適宜之鋼材種類，以有效減低腐蝕損壞風險，除了搭配塗層、陰極防蝕…等防蝕工法，亦須定期進行相關維護工作。

國內外之海洋結構物與腐蝕作用關聯性，多以暴露區域進行探討。由圖 2.1 可知，大氣帶(Atmospheric Zone)之海上結構物整體皆暴露於大氣介質中，如日照、降雨…等，結構物整體多處於乾燥環境；飛沫帶(Splash zone)及潮汐帶(Tidal zone)則反覆受到海浪潑濺及日照曝曬；結構物受乾濕循環交替作用影響甚大；水中帶 (Submerged zone) 之結構物整體皆長期浸泡於海水之中，然海水中存在大量氯離子，易造成金屬鈍化破壞，故海洋環境是為高腐蝕之腐蝕環境[3]。



1. 大氣帶(Atmospheric Zone) 2 飛沫帶(Splash zone) 3. 潮汐帶(Tidal zone) 4. 水中帶(Submerged zone)
(Seth, 2017)

圖 2.1 海洋結構物暴露區域圖[4]

2. 沖蝕

沖蝕源於希臘之 erodere，字面上意思即為磨損(wearaway)，是由金屬表面與液體或氣體相互運動而生。金屬材料暴露於海洋環境中，將於金屬表層形成一氧化物保護膜，以防止腐蝕的進一步侵襲，然在河口、潮汐或海浪潑濺反覆作用下，金屬表面生成之保護膜將被加速剝離，進而促使腐蝕作用加速產生[3]。

3. 水溫

在腐蝕反應下，海水溫度為一複雜的變數，包括腐蝕的化學反應，將隨著水溫提升而增加，然此種腐蝕速率之增加經常快速受到海洋污濁速率增加而抵銷。海洋附著生物為金屬表面提供保護，生物活動隨水溫而變動，在高溫下溶氧量減少亦對腐蝕速率具有延緩之影響性，活性控制的氧化及擴散控制的還原反應，都會隨著溫度增加而遞減，鈍態膜之穩定及形成速率受水溫之影響，溶氧量會隨水溫及鈣化生成物增加而遞減[3]。由圖 2.2 鋼鐵腐蝕速率與溫度之關係圖可知，港灣結構物等開放系統，隨溫度上升溶氧量減少，溫度上升至 80℃腐蝕速率為最大，而海水管線等封閉系統，將不會出現溶氧量減少之現象，故腐蝕速率隨溫度上升而遞增[5]。

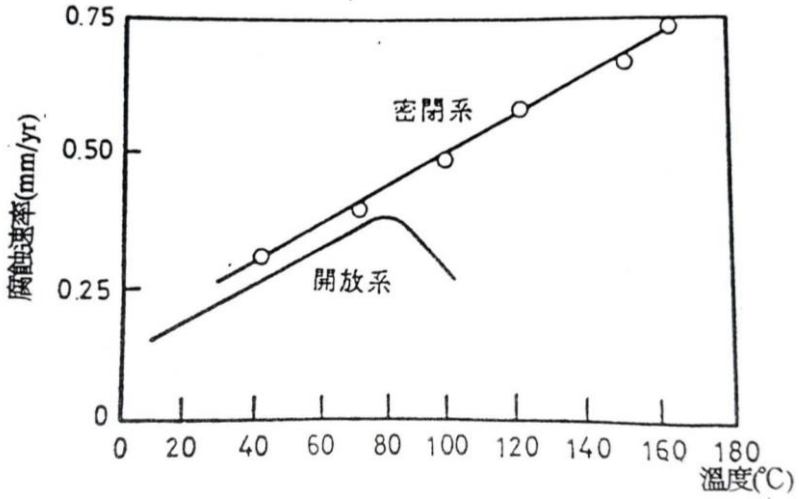


圖 2.2　鋼鐵腐蝕速率與溫度之關係圖[5]

4. 溶氧量

在海水中，氧氣為重要的腐蝕因子，氧氣與氫氣反應生成水或與水作用產生氫氣根離子。此種強而有力的陰極反應，促使鐵金屬繼續在陽極發生溶解，形成氧化鐵或氫氧化鐵等腐蝕生成物，故氧氣濃度高低將影響金屬之腐蝕速率。

假設鋼材表面無阻礙物，則在海中鋼材上之氧氣量將受波浪作用、流速、漂砂磨損和溫度昇高等因素而遞增，因而增加腐蝕速率。一般而言，腐蝕速率隨溶氧量增加而遞增，如圖 2.3 所示。而海水污染，有機物量增加會降低溶氧量，尤其夏季最為顯著，因而會降低腐蝕。然而污染的海水，會促使海水中之厭氧菌活動增加，進而使腐蝕速率增強，因此必須詳細檢討[6]。

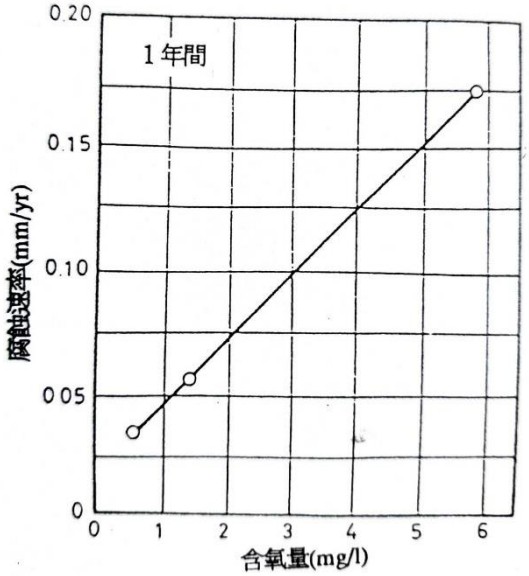


圖 2.3　鋼鐵腐蝕速率與含氧量之關係[7]

5. pH 值

溶液的酸、鹼性，係由所含氫離子或氫氧根離子之濃度而定。在中性溶液中兩種離子的濃度相等，而氫離子濃度大者為酸性，反之為鹼性。在 25℃純水中所含的氫離子與氫氧根離子數量相等為

$1\times10^{-7} mole/1$，pH 值之定義為 $pH=-\log_{10}[H^{+}]$，因此 pH 值小於 7 為酸性，反之則為鹼性。

鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係如圖 2.4 所示，圖中說明 pH 值介於 4 與 10 之間，腐蝕速率不隨 pH 值而變，一般海水之 pH 值約介於 7.2~8.2 之間，因此腐蝕速率維持一定值[6]。

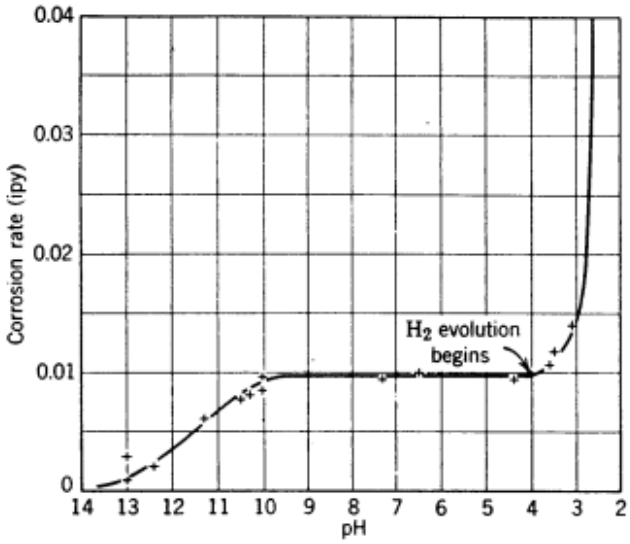


圖 2.4　鋼鐵腐蝕速率與 pH 之關係[8]

在港灣水域含有污染物，pH 值可能有點變化，但在 pH 值略大於 7 時，鋼材之腐蝕速率幾乎為一定值。當鹼性增加，pH 值大於 9.5，鋼材會變為鈍態而形成保護膜且阻止氧氣在鋼材表面之擴散，而當 pH 值低於 4，鹼性保護膜被溶解，酸直接與金屬作用隨著放出氧氣。由於這些條件在海洋環境下不太可能發生，pH 質對鋼材腐蝕速率之影響性並不大。

6. 含鹽量

在外海，海水之含鹽量約為 3.5%，在未受污染的港灣或其他海岸地區，受淡水河流稀釋之處海水之成分大多維持一定值。在海水中，氯離子含量過高，由於其能穿入腐蝕生成物所形成的保護膜，致使發生局部腐蝕，氯離子之出現亦將影響海水中之溶氧量。圖 2.5 為鐵之腐蝕速率與溶氧量及含鹽量之關係，由圖中可見，腐蝕量隨鹽度增加而遞增，到 NaCl=1%時為極值然後遞減。值得注意的是在 NaCl<1%情況下，溶氧量維持一定值，而當 NaCl>1%隨鹽度增加而遞減[6]。

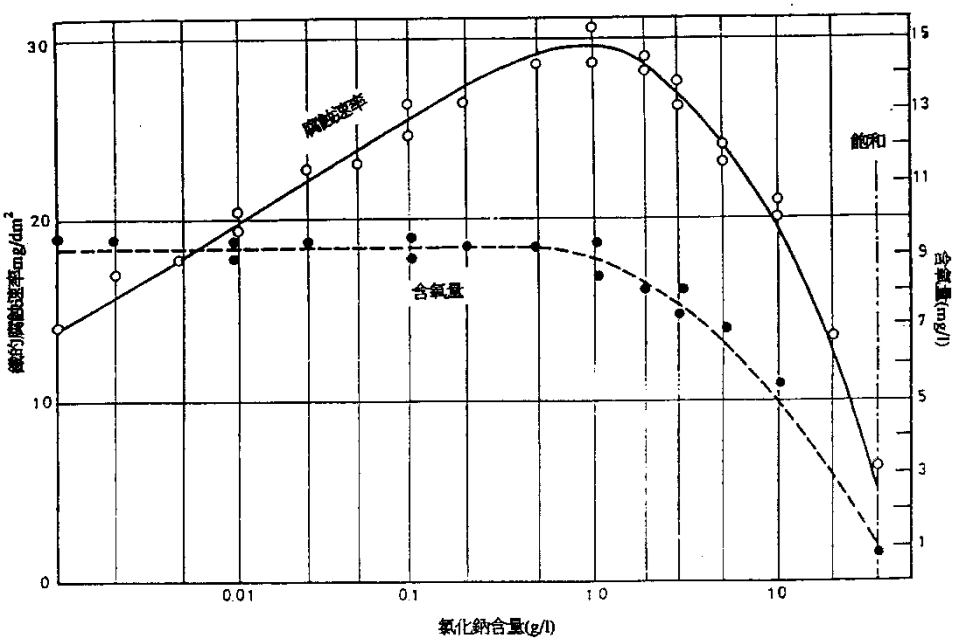


圖 2.5　溫度 24℃下，鋼鐵之腐蝕速率與鹽度之關係[9]

7. 海流速度

海流速度之增加，將使鋼管槽之腐蝕速率增加，其原因是氧氣擴散至金屬表面上之停滯水動力副層(擴散副層)之速率及數量之增加所致。由於氧氣輸送至金屬表面之遞增而使擴散副層之厚度減小。圖 2.6 表示流速對鋼材腐蝕速率之影響性。

在某些情況例如天然水(pH=7)無氯離子存在或在含 18%鉻及8%鎳之不鏽鋼，其金屬表面有保護膜或以修補過情況，則腐蝕速率隨海流速度增加而遞減。在非常高之流速下，所造成之沖蝕及穴蝕損失將比普通的腐蝕速率增加好幾倍，在停流情況，鋼材之腐蝕速率將降低，然而由於發生局部腐蝕速率較高，因此點蝕較大[6]。

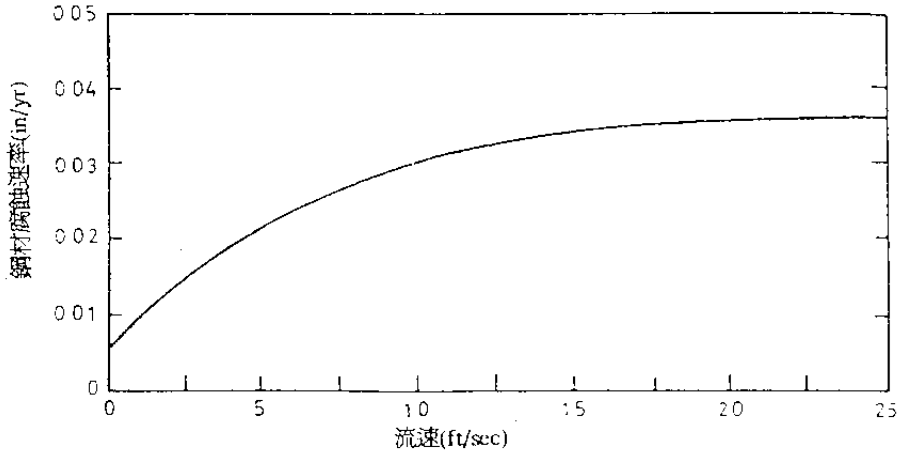


圖 2.6　大氣溫度下，海水流速對鋼材腐蝕之影響性[10]

8.　海洋生物之影響

當金屬浸於海水中，在剛開始其表面有生物黏液(Slime)附著，接著形成生物黏液膜芽的固著微生物(Embryonic sessile organism)持久的附著，然後迅速地轉變為成熟形式。Murooka[11] 曾列出最常見之海洋生物附著之型態為：

(1) 具有硬殼者：如環蟲(Annelids)、藤壺(Barnacles)、狀苔癬蟲(Bryzoa)、軟體動物(Mollusks)、及珊瑚等。
(2) 非具硬殼者：如海藻、絲狀苔癬蟲、腔腸動物(Coelenterates)、水螅(Hydroids)、被囊類動物(Tunicates)、含鈣質或矽土質的海綿。

這些生物附著之生長而影響鋼材上 pH 值，溫度及離子濃度之變化，故使之產生電化學反應，使鋼材發生局部腐蝕反應之機構大致為：

(1) 產生酸：由於生物之新陳代謝或分泌物產生有機酸或無機酸，加速材料之局部腐蝕。

(2) 產生硫化物：由於受污染使海水中硫化物含量增加，且因含有硫氧化菌之存在，而使這些硫化物氧化為硫化鐵加速材料腐蝕，而在厭氧環境下，硫酸根被硫酸鹽還原菌還原為硫化物，與金屬表面反應形成暫時性之硫化亞鐵保護膜，降低腐蝕速度，但由於鐵離子或亞鐵離子的增加，硫化亞鐵與鐵枝偶合作用，形成的迦凡尼效應而加速腐蝕。

其電化學反應式如下所列：

陽極：$4Fe \rightarrow 4Fe^{+2} + 8e^{-}$

$8H_2O \rightarrow 8H^{+} + 8OH^{-}$

陰極：$8H^{+} + 8e^{-} \rightarrow 8H$

$SO_4^{-2} + 8H \xrightarrow{SPR} S^{-2} + 4H_2O$

$Fe^{+2} + S^{-2} \rightarrow FeS$(腐蝕生成物)

$3Fe^{+2} + 6OH^{-} \rightarrow 3Fe(OH)_2$(腐蝕生成物)

硫酸鹽還原菌、硫化鐵及氫氧化鐵之關係如圖 2.7 所示，另在鋼材上，鐵硫化物之變化關係如圖 2.8 所示。

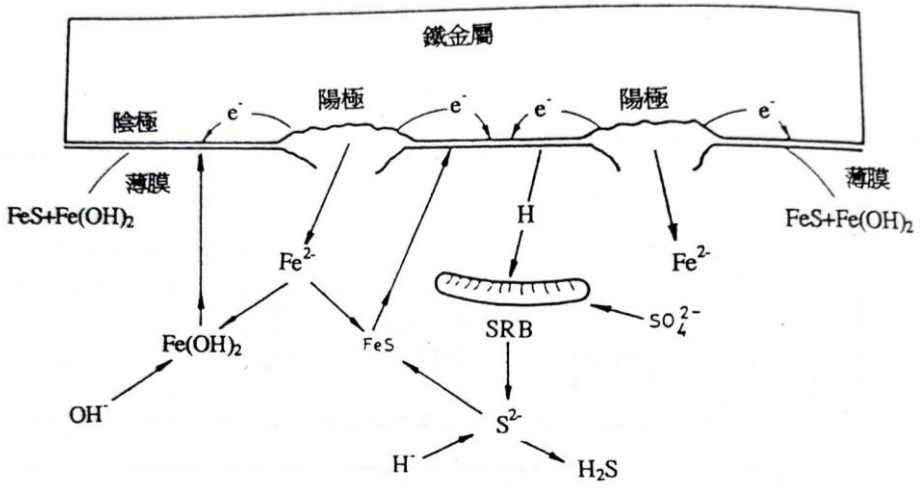


圖 2.7　鋼材上，硫酸鹽還原菌、硫化鐵及氫氧化鐵之關係 [11]

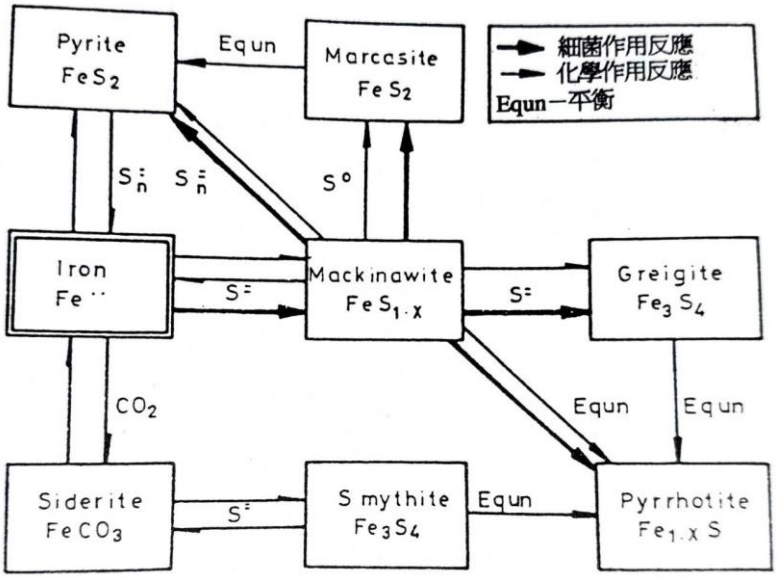


圖 2.8　鋼材上，硫化物間之關係圖 [12]

(3) 氧濃淡電池效應：海生物分泌的黏膜或微生物產生的腫包(Tubercle)附於金屬表面上，由於不易擴散或內層的微生物消耗膜內之氧氣，造成內外層的氧氣濃度不同，因此形成氧濃度差電池，發生孔蝕現象 [11]。另外由於覆蓋物底端缺氧形成厭氧條件，提供硫酸根還原之存在空間，加速孔蝕現象。

(4) 保護膜破壞：由於海生物附著而使鋼材表面保護氧化膜不易形成，或已產生者遭破壞造成腐蝕。而有些有機體，使用各種保護性的有機塗料作為養分而破壞其保護功能，或有些貝類成長中破壞塗料，因而無法達到保護之功效。

(5) 陰極去極化效應(Cathodic Depolarization) ：金屬離子或電子能迅速被移走，將使金屬腐蝕速率加快，主要移走電子之反應為移走氫氣。而硫酸還原菌具有氫活化酵素，能移走金屬表面的氫氣，還原硫酸根變為硫化物，使鐵離子之溶解量更多而加速腐蝕，此種效應稱為陰極去極化效應。

(6) 綜合反應機構：微生物腐蝕反應機構相當複雜，很可能由上述各種反應機構同時或部分作用產生所致，由實驗室所得之反應機構。對於海生物污著之防治方法，利用流速降低藤壺之形成。

根據本研究曾在臺中港進行浸泡試驗結果發現，主要海生物為藤壺，面向海浪者含量少，而背向海浪者含量多，熱浸鍍鋅材料有抑制藤壺附著之功效[13]。目前所採用防制海生物污著法以加氯殺菌，陰極防蝕可增加金屬表面的鹼性抑制硫酸還原菌之成長，以及防污塗料中含毒性，不斷溶解防止海生物附著，另一種為利用非黏性的樹脂如鐵弗龍，以其表面張力低的特性，使海生物不易附著而達到防污之效果[14]。

9. 污染

港灣之污染包含家庭污水和複雜的工業廢水、漏油等，通常污染由於其具有毒性和會消耗溶氧量，因此對海生物有害，將會使得厭氧菌易於生存而加速腐蝕速率，污染物之存在將使管樁位置局部之海水 pH 值降低或硫化物增加而加速腐蝕速率。海洋污染雖然對海洋生物具有危害，但在飛沫區和潮汐區，可被覆鋼材表面而提供部分之防蝕保護效果。

10. 風

風是引起海浪之主因，導致在飛沫區的結構物，發生間歇性潤溼現象，風亦激起水面上升而由碎波攜帶海鹽潑濺於結構物上而受蒸發，使海鹽沉積附著於鋼材表面上，將加速鋼材之腐蝕。因為鋼材表面具有吸濕性而形成侵略性的局部腐蝕電池。

11. 降雨

降雨會在鋼材表面留下薄層含有鹽份的水膜，而使氧氣迅速擴散至薄層電質，因此加速腐蝕之進行。而在傾盆大雨情況下，則會沖洗鋼材表面上殘餘物及鹽分，而降低腐蝕速率。

12. 相對溼度

如前述大氣腐蝕發生在鋼材表面，可以肉眼看見的溼氣膜時，其相對溼度為 100%。而在小於 100%，腐蝕在鋼材表面上，不易由肉眼看見相當細薄的電解質膜下進行。此薄膜係由毛細管、吸附和化學凝結作用所形成。由此機構所引起之腐蝕速率，因而發展為穩定膜特性。在乾燥大氣情況下，完全缺乏濕氣，鐵受空氣作用發生氧化，所產生之腐蝕現象相當輕微。

13. 日照

陽光促使管樁周邊大氣溫度上昇，並影響相對濕度蒸發率和結構物之溫度等，其以複雜的方法影響鋼材之腐蝕速率，金屬表面上有含鹽分的溼氣受太陽日照及海水潤溼之反覆作用，因而破壞鋼材上的保護膜。長期受太陽之紫外線暴露，對於許多塗裝系統之顏色和組成會造成傷害。

14. 海鹽或其他有害物之潑濺

鋼結構物由於受潑濺之海水作用，其中含有鹽份，受日照而蒸發，而鹽分沉積於鋼材上，再受潤溼而加速腐蝕速率。在臨海工業區的大氣中含有工業污染物，例如有硫化物附著在潤溼之鋼材表面上，將加速腐蝕速率。然而在大多數工業及海洋大氣環境下，微量之氯化物存在可視為鋼材腐蝕最具侵略之因素，雖然在腐蝕生成物分析上發現硫酸鹽為主要成分，此可以解釋為硫酸鹽較氯化物不易發生溶解而且不易被雨水沖走。細沙、表土、煤灰和由其他來源之灰塵及飛灰，可附著於海洋結構物表面上，而有些如碳煤灰可作陰極而促成局部迦凡尼電池，另有些細粒聚合成大塊或沉澱而形成氧濃淡電池，造成局部點蝕現象。

港灣與海洋結構物除受上述暴露區域及鋼構材料影響外，同時亦受到海洋環境與海洋生物分布、海域、洋流、季節等多重因子交互影響，如：夏季颱風、季節性消長之生物群落，皆可能對海洋結構物造成影響，以海水垂直深度為例，一般而言，淺水區的溶氧高、生物作用活躍，腐蝕速率較深水區快速；隨著海水深度增加，壓力、pH值、鹽度、海洋生物和溶氧量皆有顯著差異。

漁業署(2003)指出，部分研究成果說明海流對海洋生物的附著機制有三種可能的影響：(1)海流的方向、流速等作用的改變而言，將影響附著生物從浮游期轉變成附著期的時間長短、個體型態的改變、以及遇到附著物的機會等；(2)對於浮游期稍具游泳能力的附著生物，海流的變化可提供附著的訊息，而誘發其主動改變生活形態，由浮游期轉變成附著期；(3)海流的作用會改變海域環境的變化，如海流中所帶來的化學物質組成，沈積物或懸浮顆粒的多寡，光線的強弱等會影響生物的附著。此外水質與附著基質的特性，也將影響附著生物的種類與數量[15]。

海水表層因有良好的氧氣交換，其腐蝕速率與溶氧量有著正比關係，當海水含氧量達一定值可滿足擴散所需時，含氧量變化便不足以對腐蝕速率產生顯著影響。海水溫度升高，氧擴散速率加快，電導度隨之提升，將加速腐蝕之進行；此外，海洋波浪及流速除影響氧之擴散，更可能引起金屬表層保護膜之破壞；臺灣各港區碼頭均有海洋附著生物問題產生，海洋附著生物種類及繁殖受到海水深度、溫度、光度及營養等因素影響，同時亦因季節、潮汐等變化而異，亦須考量季節性消長與生物群特徵等相關影響，故欲掌握各港區海洋附著生物現況，應持續推動相關調查工作。

2.2 水質監測項目

本計畫延續 108 年「臺中港鄰近海域腐蝕因子監測調查」計畫，持續於臺中港 4 號碼頭針對鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等項目進行連續監測工作，各項水質參數代表意義如下[16]:

1. 水溫 (Temperature)

水溫係表示水的冷熱程度，是檢驗及評估水體品質的一項重要物理參數。水溫的變化以受氣候影響為主，廢污水排放亦會對水溫造成影響。水溫會影響水的密度、黏度、蒸氣壓、表面張力等物理性質，在化學方面，可影響化學反應速率及氣體溶解度等，在生物方面可影響微生物的活性及代謝速率等。

2. 鹽度 (Salinity)

鹽度係指每公斤水中所溶的鹽克數，通常以千分點($^0/_{00}$)表示。海水中的鹽度直接反應其物理性質，如密度、比熱和聲光等，對藻類的合成反應，海洋的生物之分佈、生長、繁殖等亦有重大之影響，故鹽度是為瞭解海水物理性質之最基本資料。

3. 氫離子濃度指數 (pH)

氫離子濃度指數係指水中氫離子濃度倒數的對數值。一般自然水之 pH 值多在中性或略鹼性範圍，若水受到工業廢水或礦場廢水污染時，其 pH 值可能產生明顯的變化；pH 值會影響生物的生長、物質的沈澱與溶解、水及廢水的處理等。

4. 溶氧 (Dissolved oxygen , DO)

溶氧係指溶解於水中的氧量，為評估水體品質的重要指標項目之一。水中溶氧可能來自大氣溶解、自然或人為曝氣及水生植物的光合作用等，水若受到有機物質污染，則水中微生物在分解有機物時會消耗水中的溶氧，而造成水中溶氧降低甚至呈缺氧狀態。

5. 導電度 (Electrical conductivity , EC)

表示水傳導電流能力，導電度與水中離子總濃度、移動性、價數、相對濃度及水溫等有關。通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可電離，因此導電度也可表示水中總溶解固體的多寡。導電度太高對灌溉有不良的影響，因此導電度為灌溉水質之重要指標項目之一。導電度之量測乃以電流通過長 1cm、截面積 $1cm^2$ 之液柱時測得電阻之倒數，因此其單位多以 mho/cm 表示。若導電度較小時，亦會以其 10^{-3} 之 mmho/cm 或其 10^{-6} 之 μmho/cm 表示。

6. 總溶解固體 (Total dissolved solids , TDS)

總溶解固體表示在水中溶解的固體物質總量，其中包括：溶解性碳酸氫離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉與鉀；揮發及非揮發性固體等。TDS 濃度會影響飲用水之可口度。

7. 濁度 (Turbidity)

濁度係表示光入射水體時被散射的程度，濁度的來源包括黏粒、坋粒、細微有機物、浮游生物或微生物等。濁度高會影響水體外觀並阻礙光的穿透，進而影響水生植物的光合作用。濁度高還會使魚類的呼吸作用受阻，影響魚類的生長與繁殖，甚至使其因窒息而死亡。濁度高亦會干擾淨水處理時的消毒作用。濁度之測定是藉由光線散射原理，量測工具為濁度計，濁度的單位一般為標準濁度單位 (Nephelometric Turbidity Unit, NTU)。

2.3 海洋附著生物

海洋存在多種動、植物與微生物，他們的生命活動亦會改變金屬與海水界面之狀態，海生物附著會引起附著層內外之氧濃度差電池腐蝕；部分海生物生長會破壞金屬表層之塗層保護，加上波浪與水流作用，致使塗層剝落產生。故有必要持續進行基礎水質監測，建立基礎海域背景參數值，協助評估特定海域之生物、地理及其海域之化學特性。臺灣常見之海洋附著生物有：藤壺、管蟲、海鞘、二枚貝、紅藻門等[17]。

1. 藤壺 (學名：Barnacle)

藤壺屬一藤壺種蔓足目，動物外型有點像是火山，堅硬的外殼是由鈣質體壁或骨板所組成，直徑約介於 1.5~2 公分之間，常群體附著於礁岩或其他物體上生活，如圖 2.9 所示。

圖 2.9 藤壺[18]

藤壺於退潮時會緊閉殼，並且縮起附肢，以防止水分散失；僅於漲潮時會打開殼口，伸出附肢濾食[18]。藤壺幾乎會出現在各種海洋環境裡，其分佈海域包含潮間帶至水中帶之淺水區，在不同的鹽度、溫度的海域，有不同種類的藤壺[19]。因藤壺是變滲性動物，只

在鹽度接近於體液之的水域中生活，因此，大多數藤壺都密集地分佈在港灣、港口及沿岸水域，附著在天然岩礁、碼頭堤壩、船舶浮標、海水管道、水產養殖設施及鯨、海龜、海蛇等生物有機體的體表[20]。藤壺附著時所分泌的黏性物質具有強力黏性，基底去除不易[21]，當藤壺附著金屬表面時，於生長過程中，可能破壞表層塗膜系統，致使金屬裸露而被腐蝕；另一方面，將影響金屬表面的局部供氧，形成氧濃度差電池而加速腐蝕，導致局部腐蝕或穿孔，故藤壺是海洋附著生物及防除研究中相當常見的研究對象[22]。

2. 管蟲 (學名：Sabellidae)

管蟲又稱管蠕蟲，是環節動物門(Annelida)多毛綱(Polychaeta)許多管棲海生蠕蟲的通稱，具泥、革質或膠質棲管(圖2.10)。體型光滑圓柱狀，頭部(前端)特化為漏斗狀的鰓冠(觸手冠)，附著在岩石或沙地上。堅硬狀的中空管狀，其實那是管蟲所分泌出來的一種特殊物質，部分種類的管蟲由於可以分泌出近似珊瑚骨骼的鈣質沉積，因此在觸摸時質地堅硬是第一印象，便讓它們有了「硬管蟲」的稱呼，而至於那些分泌管狀物柔軟呈革質狀的管蟲類型，則相對被稱為「軟管蟲」[18]。

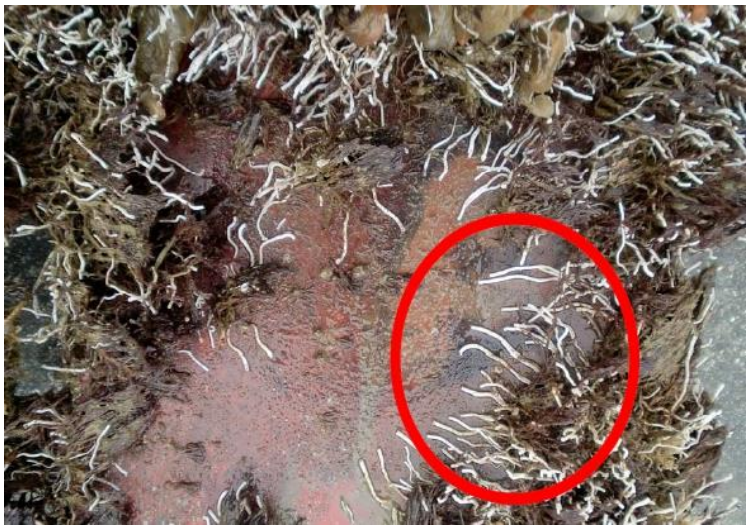


圖 2.10　管蟲[18]

3. 海鞘 (學名：Ascidiacea)

海鞘是脊索動物門尾索動物亞門海鞘綱的總稱(圖2.11)，全世界約有1250種海鞘。海鞘身體呈現壺型或囊型，其體壁即為包藏器官的外套膜(mantle)，其體壁可分泌類似植物纖維素的被囊素(tunica)。身體頂部有兩個相距不遠的孔，分別為略高的出水口和略低的入水口。海鞘多以過濾浮游生物和有機物顆粒為生。一旦遇到刺激時，會通過收縮擠壓身體裡的水份向外噴出，用以達到退敵的目的。

海鞘屬於雌雄同體，其繁殖方式有兩種，其中一種是異體受精的繁殖方式，由雌體排出卵子到水中，經過異體雄體排出精子在水中受精後，發育為受精卵，受精卵孵化成幼體後，便能自由活動，一旦遇到可以附着之物體，便會附著其上，開始發育。幼體的尾部會逐漸消失，其主要的脊索和神經索部分器官亦會完全消失，只保留其中的一個神經節，然後逐漸發育成熟。還有一種是同體發芽繁殖方式，等海鞘成體長出新的繁殖芽脫落後，附著到新的附著物體上，將重新成長為新的單獨個體，具有天然的控制繁殖數量的能力[18]。

圖 2.11　海鞘 [18]

海鞘因生長快、繁殖迅速、具備良好的環境適應能力和強大的空間競爭力，於短時間內，可產生大量的幼蟲附著[23]，迅速佔據人工基質[24],甚至會改變原有底棲生物群落的多樣性及其結構特點[25,26],因此，在海洋環境中，海鞘不僅是底棲生態系統中極為重要的成員[27,28]，也是海洋污損生物群落中人們需要重點關注的對象。

污損性海鞘的分佈具有明顯的地域性，多數喜歡生活在水溫較高的海域，即熱帶海區的多樣性明顯高於溫帶及寒帶海域。季節的變化是影響海鞘附著污損的另一關鍵因素，且不同海域存在差異。沿海港口碼頭和水產養殖設施的污損生物群落中通常都有海鞘出現，基於碼頭多處在突堤和防波堤所包圍的小水域中，而傳統的養殖器具也都佈設在內灣，再結合航標等設施被海鞘附著污損的程度內灣高於外海[29]，故可以推斷，隨著離岸距離增加，水體開闊程度增大，海鞘的種類和污損程度下降[30]。作為大型污損生物重要類群的海鞘，其附著(尤其複海鞘大面積附著)與材料腐蝕之間的關係，目前尚未見有關報導，故今後要加大相關領域的研究，闡明海鞘大量附著對人工設施材料腐蝕行為的影響[30]。

4. 紅藻門(學名：Rhodophyta)

紅藻門(圖2.12)是含有藻紅素的一門藻類植物，紅藻門的種類約有558屬，3,700多種。其中約有200種生於淡水中，其餘均為海產，是海洋藻類植物的主要部分[18]，常見種類如紫菜、石花菜、龍鬚菜、麒麟菜、紅毛菜、珊瑚藻、海膜、江蘺、紅皮藻、凹頂藻等[31]。紅藻門的主要特徵，植物體多為絲狀體、葉狀體或枝狀體，少數為單細胞或群體。藻體常有一定的組織分化，如某些種類分化有“皮層”和髓。細胞壁分兩層，內層由纖維素組成，外層為果膠質組成，含瓊膠、海蘿膠等紅藻所特有的果膠化合物。紅藻生殖產生孢子和異形配子，都不具有鞭毛；雌性生殖器稱果胞，果胞上頭延長部分稱為受精絲。精子不能遊動，隨水流至果胞，與受精絲接觸而受精，具世代交替現象[18]。

幾乎所有的紅藻都生活於海洋之中，多生長在漲潮線以下的岩石上或較深的水中，有些物種可以在 250 公尺深的海裡生長，生存深度較一般植物為深，其色來自藻紅素之色素，不具有根莖葉構造。海生紅藻大多生長在溫帶及熱帶沿海，是污損性藻類的重要組成[32]。

圖 2.12　紅藻門 [18]

5.　二枚貝 (學名：Bivalvia)

二枚貝(圖 2.13)即指斧足綱或稱瓣鰓綱，身體側扁，雙殼包被保護身體，缺頭部、眼睛和觸角，以水管用來呼吸濾食，斧足伸出殼外，以閉殼肌及韌帶的拮抗作用控制雙殼的開閉來運動。雙殼貝種類眾多，如可食用的海產貝類如文蛤、牡蠣，竹蟶及西施舌等，淡水產的如石蚌、青蚌及蜆，台灣約產六百種 [33]。

圖 2.13　雙殼綱 [34]

雙殼類軟體動物兩側對稱，體側扁，具石灰質外殼，以鉸合齒或韌帶相扣和的兩塊片狀鈣質殼而得名，通過足絲附著或用殼固著在其他物體上[35]，是海洋污損生物群落中的重要組成部分，期附著會對船舶和海洋設施產生不利影響。可能產生的危害主要為：縮小海水管道系統的管徑或造成堵塞[36]，改變金屬表面微環境引發局部腐蝕[37]，增大艦船航行阻力，增加燃料消耗和二氧化碳的排放[38]，顯著加大波浪和海流所引發的動力載荷效應，從而導致在惡劣天氣狀況下極易引發設施移位、失衡甚至沉沒...等後果[39,40,41]。

雖然對近海設施造成污損的雙殼類種類繁多，但優勢種主要為紫貽貝和牡蠣(齒緣牡蠣、長牡蠣、褶牡蠣和日本巨牡蠣)等種類。由於地理位置、離岸距離、海底基質、海流狀況和溫度、鹽度及深度等環境因素的差異，各海區污損性雙殼類生物的種類組成和數量會發生明顯變化[42]，如在緯度較低的熱帶和亞熱帶近海海區，污損性雙殼類軟體動物的優勢種通常為牡蠣，而在溫帶海區則以紫貽貝為主；另外，設施浸海時間則是影響雙殼類污損狀況的另一關鍵因素；再有，從深度來看，牡蠣污損的範圍遠大於紫貽貝。

第三章 執行方法與步驟

為瞭解臺中港區及鄰近海域金屬材料與腐蝕因子之可能相關性，計畫工作延續 108 年「離岸基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查 1/2」計畫，整體可以分為「金屬試片暴露試驗」、「附著生物調查」與「連續水質監測」三部分進行規劃(如圖 3.1)，各執行項目所示。

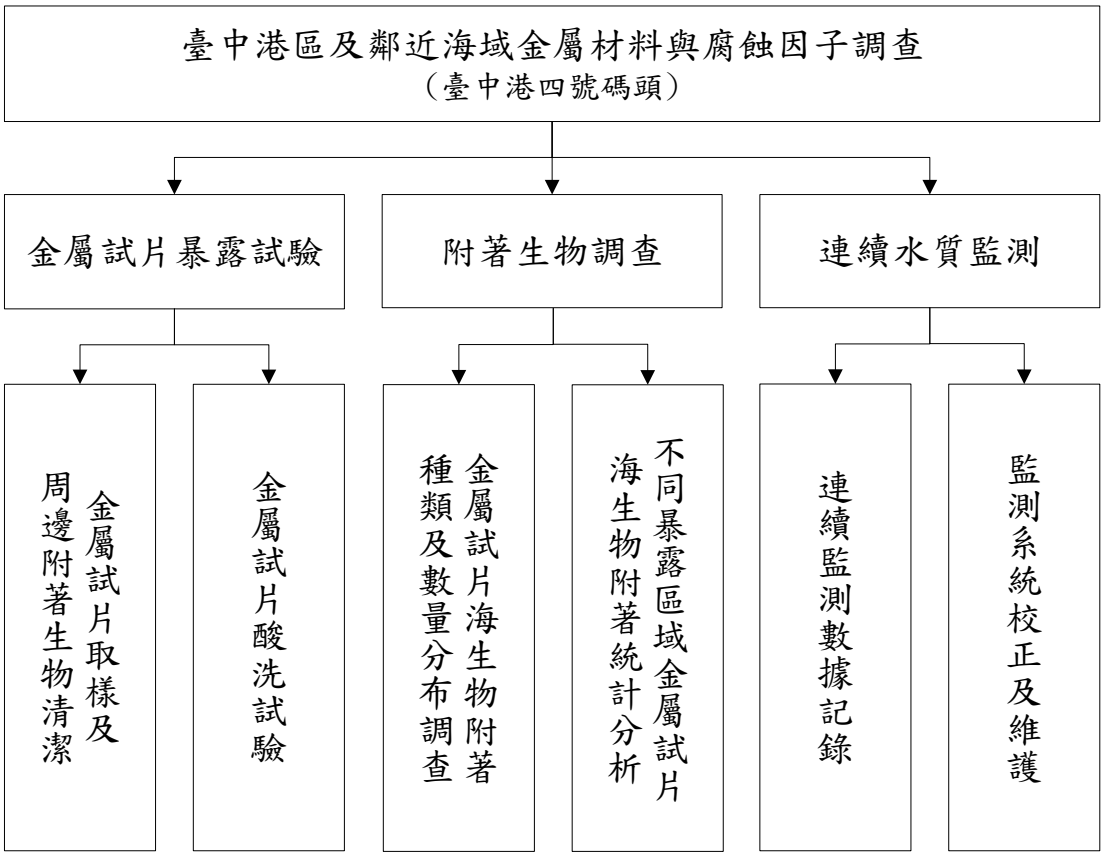


圖 3.1　工作執行項目簡圖

為配合離岸風電發展，臺中港區部分重要碼頭皆陸續進行施工計畫，考量「金屬試架暴露試驗」安裝架設置之穩定度，以及「連續水質監測系統」於數據傳輸訊號穩定之良莠考慮，故由 108 年起，選定現沉箱式港工結構，且於本所原設有之潮位觀測站的臺中港 4 號碼頭，作為「離岸風電基地母港」之調查場址首選，持續於臺中港 4 號碼頭進行相關調查工作，臺中港 4 號碼頭區域位置與空拍圖，如圖 3.2 所示。

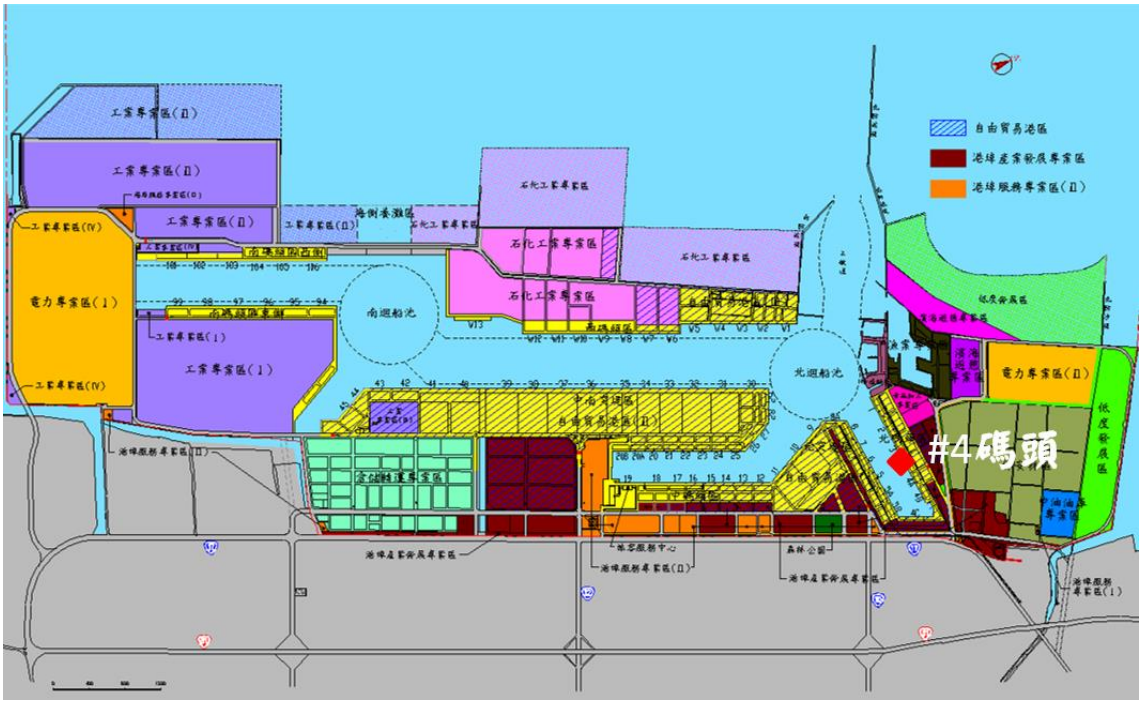


圖 3.2　臺中港 4 號碼頭位置圖 [43]

3.1 金屬試片暴露試驗

3.1.1 試驗規劃與取樣期程

配合臺中港 4 號碼頭之沉箱式港工結構，三座金屬試片分別依序安裝於「飛沫帶」、「潮汐帶」、「水中帶」三處，金屬試架皆選用不鏽鋼角鋼製作，金屬試片以雙通孔固定於試架之上，螺栓與螺帽皆使用絕緣材質墊片，以防止電化學腐蝕效應產生，藉以觀察港區於各區域暴露環境下，金屬試片腐蝕及海生物附著生長之情況。

相關金屬試片設計與取樣規劃時程如下所示：

1. 試片材質：金屬試片選用港工結構材，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼，各式金屬試片於每試驗週期皆以三重複取其平均值，減少單一誤差，金屬試片以「暴露區域-週期-試片順序」進行三位數編碼，暴露區域飛沫帶為 1、潮汐帶為 2、水中帶為 3，以飛沫帶為例，金屬試片配置及編碼示意圖，如圖 3.3 所示。

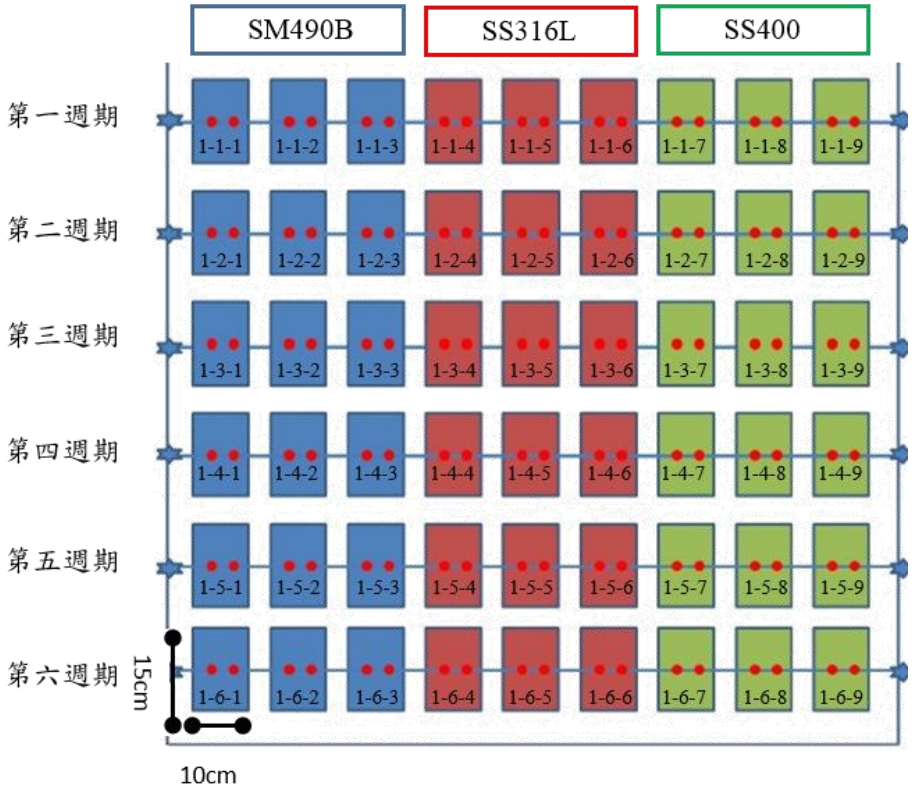


圖 3.3　金屬試片配置示意圖(以飛沫帶為例)

2. 金屬試片尺寸與處理：為利於觀測及比較海洋生物於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼，三種不同港工結構材之附著情況，金屬試片大小皆裁定為 15*10 cm，厚度為 1 cm，逐步完成磨光、浸漬、稱重…等統一流程 (已於 108 年 4 月 23 日，完成架設)。

3. 試驗期程與取樣頻率：本次金屬試片以六個週期進行規劃(圖 3.3)，109 年度分別於三月、六月、九月進行金屬試片取樣工作，第六週期樣品回收時間，將視研究調查需求調整。

4. 鋼材特性：

一般鋼材，主要係以鐵為主要成分，在氧化環境長時間暴露，鐵易與氧或水氣反應，產生褐紅色之氧化鐵鏽斑，稱為生鏽或鏽蝕[44]。其中碳鋼(carbon steel)因成本低廉、有較好的力學性能及易加工等特點，普遍使用於橋樑、海洋工程、港口機械與設備上，是金屬結構材料中最為普遍的金屬材料[45]。

普通碳鋼又稱鐵碳合金，含有少量錳、矽等添加元素，以獲得必要的力學性能。鐵是碳鋼中的主要元素，約占化學成分的 98%(或 98%以上)，碳為影響鋼材強度的主要元素，依含碳量高低，可粗略分為低碳鋼(Low-carbon steel)、中碳鋼(medium-carbon steels)及高碳鋼(high-carbon steels)。一般而言，碳鋼硬度隨著含碳量提高而增加，塑性則相反，隨著含碳量提高而減弱。各式碳鋼含碳比例與基礎特性，如表 3-1 所示[45]。

表 3-1　碳鋼含碳比例與基礎特性表[45]

碳素結構鋼	低碳鋼	中碳鋼	高碳鋼
含碳量(%)	0.03-0.25	0.26-0.60	0.61-2
硬度	弱	中	強
塑性	強	中	弱

不鏽鋼主要指在鋼材冶煉時，加入鎳、鉻等合金元素，利用加入合金元素在鋼材表面生成緻密且安定的氧化膜，而達到鋼材不易生鏽腐蝕的目的[44]。其中，不鏽鋼耐蝕強度主要依含鉻量決定，鉻可促使不鏽鋼發生鈍化，進而提高金屬材料抵抗外界介質，如：酸、鹼、鹽類之能力，故鉻之添加比例皆須大於 12.0%以上，方可稱之為不鏽鋼。當含鉻量界於 12~17%時，在大氣中可自發性鈍化，主要應用於大氣、水及腐蝕性相對偏低之環境介質中；當含鉻量>17%時，則可應用於腐蝕性較強之環境介質中，抗酸鹼能力隨含鉻量而提升，但整體而言不可超過 30%，否則將降低鋼的韌性。此外，為了調整其特性，也加入其他元素，如鉬、銅、鈦、鈮、釩等元素，由於添加合金元素種類與含量的不同，直接影響到不鏽鋼的結構，也改變了不鏽鋼的物理特性、化學特性與機械性質[45]。

本計畫選用 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種港工結構材進行試驗觀察，所採用之金屬試片品質證明書，請參照表 3-2 至表 3-4 等相關資料。

表 3-2　SM490B 碳鋼金屬品質證明書

中國鋼鐵 CHINA STEEL

品質證明書
TEST CERTIFICATE

中國鋼鐵股份有限公司
CHINA STEEL CORPORATION
中華民國高雄市小港區中鋼路1號
1 CHUNG KANG ROAD HSIAO KANG, KAOHSIUNG 81223
TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA
TEL: (07) 802-1111 FAX: (07) 802-2511, (07) 801-9427
E-mail: t21imac@mail.csc.com.tw

A0121-01　COMPANY REGISTRATION NUMBER: 30414175　033

客戶名稱 CUSTOMER	振懋興業有限公司 JEN MAU HSIN INDUSTRIAL CO., LTD.	產品名稱 PRODUCT	PLATE-CARBON STEEL (MILL EDGE)
		發票號碼 INVOICE NO. LY23131891	證明書編號 CERTIFICATE NO. 080221A0121
規格名稱 SPEC.	JIS G3136-12 SN490B	客戶編號 CUSTOMER NO. 23650309	中鋼訂單編號 CSC ORDER NO. DP27115
		交運日期 SHIPPING DATE FEB. 20, 2019	證明書日期 T/C ISSUE DATE FEB. 21, 2019
檢驗 INSP.	CSC MILL INSPECTION　T/C 02	客戶訂單編號 CUST. ORDER NO.	

項目 ITEM NO.	產品序號 SERIAL (PLATE	尺寸 DIMENSIONS 厚度 THICK. mm	寬度 WIDTH mm	長度 LENGTH mm	數量 QTY	質量 MASS kg	爐號 HEAT	胚號 SLAB	試片編號 SAMPLE ID.	拉伸試驗 *1 G.L. = 200 mm 降伏 Y.S. MPa, N/mm2	抗拉 T.S.	伸長 EL. %	化學成分 CHEMICAL COMPOSITION % C (2 X10)	Mn (2 X10)	P (3 X10)	S	Si	Cu	Ni (2 X10)	Cr	Al (3 X10)	B (4 X10)	Mo (2 X10)	V (2 X10)	C7 (2 X10)	REMARK
001	82831	10.00	2438	12192	2	4,666	2B032	303-2	82831	377	537	24	16	138	18	6	34		1	3	17	3	Tr	2	41	
			TOTAL:		2	4,666																				

*01 拉伸試驗　TENSILE TEST

1MPa = 1N/mm2
C7 =C+MN/6+SI/24+NI/40+CR/5+MO/4+V/14

註釋 NOTES

Tr: TRACE ELEMENT WITH ITS CONTENT CONFORMING TO THE SPECIFICATION REQUIREMENTS.

SERVEYED BY

茲證明本表所列產品，均依材料規格製造及試驗，並符合規格之要求，且經偵測無輻射污染。
WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENT OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION.

Yong-Pinen Chen

表 3-3　SS316L 不鏽鋼金屬品質證明書

有益鋼鐵股份有限公司
YEOU YIH STEEL CO., LTD.

品質證明書
Inspection Certificate

高雄市永安區永工一路2號
NO.2 YEONG GONG 10TH ROAD, YEONG AN DISTRICT,
KAOHSIUNG CITY, TAIWAN, R.O.C.
TEL:886-7-6225616　FAX:886-7-6226808

No.(品證號碼): MT1705008

Contract No.(訂單號碼): S1704003　Customer(客戶): 金宏不銹鋼材有限公司　PAGE: 1/1　Date: 2017/05/02

Commodity(品名): HOT ROLLED STAINLESS STEEL PLATE　Surface Finish(表面等級): NO.1　Solution Annealed 1080 ℃ &Water Cooling

Specification(規範): ASTM A240-15　Steel Grade(鋼種): 316L

Item No.	Product No.	Heat No.	Size	Pcs	Kgs	Impact Test(衝擊試驗) (20℃)/ Min. 60 J 1	2	3	AVE.	(-196℃) / Min. 60 J 1	2	3	AVE.
1	DU50491	183276	10mm X 1219mm X 2438mm	42	10,012								
2	DU50491	183276	10mm X 1219mm X 3048mm	16	4,768								
3	DU50491	183276	10mm X 1219mm X 4876mm	2	953								
			Total	60	15,731								

Item No.	Chemical Composition(化學成分)/Heat Analysis(熔煉分析) C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Cu	Ti	降伏強度 Y.S(MPa) 1%	0.2%	抗拉強度 T.S(MPa)	伸長率 % Elongation	硬度試驗 Hardness HRB/AVE.
Max.	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	14.00	18.00	3.00	0.100							95
Min.						10.00	16.00	2.00					170	485	40	
1	0.014	0.56	0.75	0.035	0.001	10.14	16.69	2.07	0.013	0.31			253	561	50	74
2	0.014	0.56	0.75	0.035	0.001	10.14	16.69	2.07	0.013	0.31			253	561	50	74
3	0.014	0.56	0.75	0.035	0.001	10.14	16.69	2.07	0.013	0.31			253	561	50	74

Remarks:
1.YYS has established a QMS according to ISO 9001:2008 by TUV.
2.The environment management system is in conformity with ISO 14001:2004.

Manager of Quality Assurance Department

SF. Lien

We hereby certify that material described herein has been manufactured and tested with satisfactory results in accordance with the requirement of the above material specification

金宏不銹鋼材有限公司

李本如

We hereby certify that the material described above has been detected and has no radiation contamination.(鋼輻偵字第206號)

FM-128-1/98.07

表 3-4　SS400 低碳鋼金屬品質證明書

中鴻鋼鐵股份有限公司 (中鋼集團)
CHUNG HUNG STEEL CORPORATION (CSC Group)
中華民國台灣省高雄市鳳鳳路芋寮區芋寮路317號
317, YU LIAO ROAD, CHIAO TOU DISTRICT,
KAOHSIUNG CITY, TAIWAN, ROC
TEL:886-7-6117171(12LINES) FAX:886-7-6110594
COMPANY REGISTRATION NUMBER:04708864

中鴻鋼鐵 CHUNG HUNG STEEL

品質證明書
CERTIFICATE OF QUALITY

客戶名稱 SOLD TO	隆昊企業股份有限公司	檢驗書編號 CERTIFICATE NO.	H163090045
檢驗書日期 ISSUE DATE	Mar.09, 2016		
製品名稱 COMMODITY	熱軋鋼帶	訂單號碼 ORDER NO.	H153LHA08
交運日期 SHIPPING DATE	Mar.08, 2016		
製品規格 SPECIFICATION	JIS G3101 SS400	客戶編號 CUSTOMER NO.	76472155
發票號碼 INVOICE NO.			

項目 ITEM NO.	標籤編號 LABEL NO.	尺寸 MATERIAL DESCRIPTION 厚度 THICK mm	寬度 WIDTH mm	長度 LENGTH mm	張數 QTY	重量 MASS kg	爐號 HEAT NO.	拉伸試驗 TENSILE 降伏 Y.S. MPa	抗拉 T.S. MPa	伸長 EL. %	彎曲試驗 BEND TEST	硬度試驗 HARDNESS TEST HRB	鍍層名稱 COATING DESIGNATION	球化率 SPHEROIDIZITY %	化學成分 CHEMICAL COMPOSITION(%) C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Mo	N	B	Nb	V	Ti	Sn	Ceq
		X100													X1000						X100				X10000		X1000				X100
	規格值 SPECIFICATION																	50 max	50 max												
1	BC1008117	10.000	1,524	CDIL	1	23,025	164B043								17	Tr	37	15	4	42	1	2	2	Tr	36	1	Tr	Tr	1	Tr	
					1	23,025																									

1MPa=1N/mm²　　Tr : TRACE ELEMENT WITH ITS CONTENT CONFORMING TO THE SPECIFICATION REQUIREMENTS

備註 NOTE

隆昊企業股份有限公司 專用業務

茲證明本表所列製品，均依材料規格製造及試驗，並符合規格之要求
WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENT OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION.

技術處處長
GENERAL MANAGER, TECHNOLOGY DEPARTMENT
C. T. Hung

3.1.2 金屬試片取樣作業

臺中港4號碼頭金屬試片暴露試驗於108年4月25日佈放完畢，金屬試片取樣作業由專業潛水團隊執行，將金屬試片後方主支條與試架本體之螺帽旋開，即可取下整列試片樣品。金屬試片取下後，依暴露區域排序，分別針對各金屬試片正面(向光面)、反面(向光面)雙面拍照，進行現場採集記錄，輔以瞭解海洋附著生物之分佈；接續緩緩將金屬試片拆下，逐一分裝至裝有海水之夾鏈袋當中，低溫保存攜回實驗室觀察其分布情況。全程應保持動作輕柔，以減低金屬試片表面之碰撞，以利後續海洋附著生物分佈情況之觀測。金屬試片取樣作業情況，如圖3.4所示。

	
(a) 飛沫帶金屬試片主支條拆卸	(b) 金屬試片現場拍攝紀錄

圖 3.4　金屬試片取樣作業

3.2 金屬試片海洋附著生物調查

待測之金屬試片於常溫退冰後，接續進行拍照記錄工作(包含正反面)，同時須注意夾鏈袋中是否包含遺漏之附著生物，避免影響後續生物種類之計數。金屬試片分別依「向光面」及「背光面」進行種類分布統計調查，觀察金屬試片上海洋附著生物之分布情況，藉以分析此海域光照度與海洋附著生物間之關聯性。

3.3 連續水質監測

針對區域水質參數項目包含：鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度…等，進行長時間且具連續性之監測數據紀錄，現資料收集密度設定為每小時一筆，並同步紀錄監測日期與時間。為確保水質監測系統測量數值之準確性，多參數水質監測儀主機及電極皆需做無毒生物附著防治處理，至少需要維持半年以上之防治效能，並視各觀測探針需求進行保養維護，儀器外部附著生物清潔每月至少一次，若遇特殊意外事件，如：颱風、連日豪大雨，則會立即進行清潔及校正保養，每月至少進行一次自動水質監測儀之保養、自動水質監測儀清潔校正與保養之前後對照圖，如圖 3.5 所示。

	
(a) 水質系統觀測站之傳輸平台保護箱	(b) 水質監測儀器置入口
	
(c) 水現場水質監測儀器配置	(d) 現場連線操作介面

圖 3.5　連續水質監測水設備

第四章 結果與討論

為瞭解臺中港區及鄰近海域金屬材料與腐蝕因子間之可能相關性，本計畫主要工作可以分為「金屬試片暴露試驗」、「附著生物調查」與「連續水質監測」三大部分。

4.1 金屬試片暴露試驗觀察與分析

金屬試架在 108 年度依期程安排，分別於「飛沫帶」、「潮汐帶」、「水中帶」三處暴露區域進行安裝。本(109)年度分別於 3 月、6 月、9 月進行金屬試片取樣工作。金屬試架試驗期程與取樣規劃，如表 4-1 所示。

表 4-1　金屬試架試驗期程與取樣規劃

臺中港區及鄰近海域金屬材料與腐蝕因子調查 金屬試架試驗期程與取樣規劃					
週期	年度	擬定 執行期間	執行項目	完成日期	總暴露時間
	108 年 度	04.30前	金屬試架設計及安裝	108.04.25	
一		06.20前	金屬試片取樣(一)	108.06.03	~1個月
二		09.20前	金屬試片取樣(二)	108.09.03	~3個月
三	109 年 度	03.30前	金屬試片取樣(三)	109.03.13	~10個月
四		06.30前	金屬試片取樣(四)	109.06.05	~13個月
五		09.30前	金屬試片取樣(五)	109.09.03	~16個月
六	---	待訂	金屬試片取樣(六)	---	

註：108年度皆已順利執行完畢，109年度為本次計畫目標

觀測期間，分別於 1 個月、3 個月、10 個月、13 個月及 16 個月…等數個暴露時間進行金屬試片採樣回收工作，藉以瞭解 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種港工結構金屬試片，於臺中港 4 號碼頭「飛沫帶」、「潮汐帶」、「水中帶」不同暴露區域及暴露期間之海洋生物附著與生長情況，詳如圖 4.1~圖 4.27 所示。

4.1.1 飛沫帶金屬試片海洋附著生物觀察

「飛沫帶」介於平均高潮位以上至海面大氣帶下方，並無直接浸泡於海水之中，故在飛沫帶金屬試片調查記錄中(圖 4.1~圖 4.9)，可明顯發現「飛沫帶」SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種金屬試片皆無顯著海洋附著生物出現於金屬試片之上。

飛沫帶，SM490B 碳鋼，A1					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.1　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A1)

飛沫帶，SM490B 碳鋼，A2					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.2　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A2)

飛沫帶，SM490B 碳鋼，A3					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.3　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A3)

飛沫帶，SS316L 不鏽鋼，A4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.4　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(A4)

飛沫帶，SS316L 不鏽鋼，A5					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.5　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(A5)

飛沫帶，SS316L 不鏽鋼，A6					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.6　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(A6)

飛沫帶，SS400 低碳鋼，A7					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.7　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A7)

飛沫帶，SS400 低碳鋼，A8					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.8　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A8)

飛沫帶，SS400 低碳鋼，A9					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.9　飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A9)

潮汐帶，SM490B 碳鋼，B1					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.10　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B1)

潮汐帶，SM490B 碳鋼，B2					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.11　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B2)

潮汐帶，SM490B 碳鋼，B3					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.12　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B3)

潮汐帶，SS316L 不鏽鋼，B4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.13　潮汐帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(B4)

潮汐帶，SS316L 不鏽鋼，B5					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.14　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B5)

潮汐帶，SS316L 不鏽鋼，B6					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.15　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B6)

潮汐帶，SS400 低碳鋼，B7					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.16　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B7)

潮汐帶，SS400 低碳鋼，B8					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.17　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B8)

潮汐帶，SS400 低碳鋼，B9					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.18　潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B9)

水中帶，SM490B 碳鋼，C1					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.19　水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C1)

水中帶，SM490B 碳鋼，C2					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.20　水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C2)

水中帶，SM490B 碳鋼，C3					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.21　水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C3)

水中帶，SS316L 不鏽鋼，C4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.22　水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C4)

水中帶，SS316L 不鏽鋼，C5					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.23　水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C5)

水中帶，SS316L 不鏽鋼，C6					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.24　水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C6)

水中帶，SS400 低碳鋼，C7					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.25　水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C7)

水中帶，SS400 低碳鋼，C8					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄 (正面/ 向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄 (背面/ 背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.26　水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C8)

水中帶，SS400 低碳鋼，C9					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09.03
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1 個月，正面	3 個月，正面	10 個月，正面	13 個月，正面	16 個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1 個月，反面	3 個月，反面	10 個月，反面	13 個月，反面	16 個月，反面

*為 108 年度之觀察記錄

圖 4.27　水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C9)

4.1.2 潮汐帶金屬試片海洋附著生物觀察

「潮汐帶」介於平均高潮位與平均低潮位之間，金屬材料受每日漲退潮而產生週期性浸沒。由潮汐帶金屬試片調查記錄中(圖4.10~圖4.18)，可發現「潮汐帶」SM490B碳鋼、SS316L不鏽鋼及SS400低碳鋼三種金屬試片上，開始發現藤壺及會形成石灰質外殼多毛類的管蟲出現。

由表4-2可知，潮汐帶暴露1個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量為3~18個，反面則無藤壺出現；正面管蟲介於1~6隻，反面管蟲介於2~10隻。SS316L不鏽鋼僅有藤壺出現，正反兩面藤壺數量介於154~306個，且於SS316L不鏽鋼金屬試片側面皆有觀察到明顯藤壺生長，數量介於27~117個。SS400低碳鋼金屬試片正面藤壺數量為50~66個，反面藤壺數量為206~361個，正面管蟲僅0~2隻，反面管蟲介於3~22隻。三種金屬試片上皆無二枚貝類出現。

暴露3個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於14~62個，反面藤壺數量介於0~92個，正反兩面皆無二枚貝類及管蟲出現。SS316L不鏽鋼附著生物以藤壺為主，正面藤壺數量介於57~65個，反面藤壺數量介於103~127個，於SS316L不鏽鋼金屬試片側面皆有觀察到藤壺生長，數量介於10~21個，二枚貝類僅於反面出現1~2個。SS400低碳鋼金屬試片之附著生物同以藤壺為主，正面藤壺數量介於90~108個，反面藤壺數量介於112~168個，側面發現29~43個藤壺生長，二枚貝類僅於反面出現0~3個。三種金屬試片上皆無管蟲出現。

暴露10個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於52~77個，反面藤壺數量介於27~126個，二枚貝類僅於正面出現1~8個。SS316L不鏽鋼附著生物以藤壺為主，正面藤壺數量介於20~56個，反面藤壺數量介於44~151個，二枚貝類正面出現3~4個，反面出現2~10個。SS400低碳鋼金屬試片之附著生物同以藤壺為主，正面藤壺數量介於66~89個，反面藤壺數量介於104~134個，二枚貝類僅於反面出現2~3個。三種金屬試片上皆無管蟲出現。

暴露13個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於11~20個，反面藤壺數量介於7~16個，二枚貝類正面出現11~15個，反面出現4~12個。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量介於7~27個，反面藤壺數量介於14~34個，二枚貝類正面出現6~12個，反面出現9~12個。SS400低碳鋼金屬試片正面藤壺數量介於4~12個，反面藤壺數量約17個，二枚貝類正面出現10~15個，反面約出現13個。三種金屬試片上皆無管蟲出現，除SS316L不鏽鋼外，SM490B碳鋼及SS400低碳鋼兩金屬試片反面皆出現鏽蝕剝落的情況。

暴露16個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於7~8個，反面藤壺數量介於0~25個，二枚貝類正面出現0~16個，反面出現0~12個。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量介於2~6個，反面藤壺數量介於6~11個，二枚貝類正面出現2~11個，反面出現12~28個。SS400低碳鋼金屬試片正面皆無藤壺出現，反面藤壺數量約4~7個，管蟲僅於SS400低碳鋼金屬試片背面出現0~3個，二枚貝類正面出現23~39個，反面出現9~30個。藤壺及二枚貝類個體較暴露13個月之金屬試片上附著之生物個體偏小。

表 4-2　潮汐帶金屬試片海洋附著生物調查表

	(a) 潮汐帶　(暴露時間：1 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	8	18	3	263	306	259	63	50	66
二枚貝類	0	0	0	0	0	0	0	0	0
管蟲	3	6	1	0	0	0	0	2	2
試片種類	SM490B 碳鋼(反面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	0	0	0	154/27	288/74	235/117	361	322	206
二枚貝類	0	0	0	0	0	0	0	0	0
管蟲	9	2	10	0	0	0	22	0	3

	(b) 潮汐帶　(暴露時間：3 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	14	31	62	65	57	62	108	120	90
二枚貝類	0	0	0	0	0	0	0	0	0
管蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0
試片種類	SM490B 碳鋼(反面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	0	11	92	103/10	127/17	127/21	112/30	168/43	125/29
二枚貝類	0	0	0	1	1	2	1	3	0
管蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	(c) 潮汐帶　(暴露時間：10 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	52	77	77	56	20	31	89	86	66
二枚貝類	8	1	7	3	4	4	0	0	0
管蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0
試片種類	SM490B 碳鋼(反/側面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反/側面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	27	126	126	151	44	119	129	104	134
二枚貝類	0	0	0	2	10	4	2	3	3
管蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	(d) 潮汐帶　(暴露時間：13 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
藤壺	11	20	15	27	7	9	9	12	4
二枚貝類	11	12	15	6	12	10	13	15	10
管蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0
試片種類	SM490B 碳鋼(反/側面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反/側面)		
試片編碼	B1*	B2*	B3*	B4	B5	B6	B7*	B8	B9*
藤壺	7	*	16	26	34	14	*	17	*
二枚貝類	4	*	12	11	12	9	*	13	*
管蟲	0	*	0	0	0	0	*	0	*

*表面剝落

	(e) 潮汐帶　(暴露時間：16 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	B1	B2	B3*	B4	B5	B6	B7*	B8	B9
藤壺	8	7	8	2	6	3	0	0	0
二枚貝類	0	16	10	11	4	2	23	39	39
管蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0
試片種類	SM490B 碳鋼(反/側面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反/側面)		
試片編碼	B1	B2	B3*	B4	B5	B6	B7*	B8*	B9*
藤壺	0	25	13	8	11	6	4	4	7
二枚貝類	0	8	12	28	12	13	30	25	9
管蟲	0	0	0	0	0	0	3	1	0

*表面剝落

4.1.3 水中帶金屬試片海洋附著生物觀察

「水中帶」指長期浸泡於海水中，但未沒入底泥沉積物之區域。由水中帶金屬試片調查記錄中(圖4.19~圖4.27)，可發現「水中帶」SM490B碳鋼、SS316L不鏽鋼及SS400低碳鋼三種金屬試片上，所觀察之管蟲數量明顯較潮汐帶偏高，於暴露3個月時，管蟲數量大幅增加，多集中分布於試片反面，個體出現重複交疊之情況，故試片反面以覆蓋面積進行計算。

由表4-3可知，水中帶暴露1個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量為2~16個，反面藤壺數量為22~67個；正面二枚貝類出現0~2個，反面二枚貝類僅出現0~1個；正面管蟲介於8~30隻，反面管蟲反面管蟲數量明顯增加，介於144~272隻。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量僅為1~4個，反面藤壺數量6~67個，藤壺有於試片側面生長，正面二枚貝類僅0~3個，反面二枚貝類0~5個，正面管蟲介於2~4隻，反面管蟲介於8~14隻。SS400低碳鋼金屬試片正面藤壺數量為11~26個，反面藤壺數量為14~36個；正面二枚貝類出現0~4個，反面二枚貝類出現0~5個；正面管蟲介於48~92隻，反面管蟲數量介於92~263隻。

暴露3個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量為12~34個，反面藤壺數量為22~49個；正面二枚貝類出現3~5個，反面二枚貝類出現0~3個；管蟲多集中分布於試片反面覆蓋面積約介於20~45cm^2。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量僅0~3個，反面藤壺數量為7~13個；正面二枚貝類出現8個，反面二枚貝類出現6~7個，管蟲則少量不均分布於金屬試片之上。SS400低碳鋼金屬試片，正面藤壺數量為7~15個，反面藤壺數量為4~16個；正面二枚貝類出現0~13個，反面二枚貝類僅出現1~2個；管蟲反面附著強況仍高於正面。

暴露10個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量為20~27個，反面藤壺數量為9~27個；正反面二枚貝類皆僅出現0~2個；正面管蟲介於46~117隻，反面管蟲介於33~45隻。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量為38~61個，反面藤壺數量為23~56個；正面二枚貝類出現2~6個，反面二

枚貝類出現0~6個；正面管蟲介於20~103隻，反面管蟲介於65~90隻。SSS 400低碳鋼金屬試片，正面藤壺數量為37~66個，反面藤壺數量為37~48個；正面二枚貝類出現6~16個，反面二枚貝類出現1~6個；正面管蟲介於0~56隻，反面管蟲介於41~78隻。

暴露13個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於22~31個，反藤壺數量介於12~24個；正面二枚貝類出現0~2個，反面二枚貝出現1~3個；正面管蟲介於30~103隻，反面管蟲介於28~99隻。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量介於22~45個，反藤壺數量介於33~56個；正面二枚貝類出現2~6個，反面二枚貝出現2~10個；正面管蟲介於36~107隻，反面管蟲介於65~126隻。SS400低碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於60~95個，反藤壺數量介於22~41個；正面二枚貝類出現0~7個，反面二枚貝出現0~2個；正面管蟲介於62~114隻，反面管蟲介於30~39隻。整體而言，各式金屬附著生物仍以管蟲為主。

暴露16個月之SM490B碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於7~70個，反藤壺數量約49個；正面二枚貝類出現2~6個，反面二枚貝約6個；正面管蟲介於12~68隻，反面管蟲約77隻。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量介於17~62個，反藤壺數量介於10~50個；正面二枚貝類出現2~6個，反面二枚貝出現1~7個；正面管蟲介於41~46隻，反面管蟲介於75~83隻。SS400低碳鋼金屬試片，正面藤壺數量介於8~26個，反藤壺數量介於19~33個；正面二枚貝類出現1~4個，反面二枚貝出現1~5個；正面管蟲介於54~58隻，反面管蟲介於27~61隻。整體而言，各式金屬附著生物以管蟲數量最豐。

表 4-3　水中帶金屬試片海洋附著生物調查表

	(a) 水中帶　(暴露時間：1 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	2	4	16	4	1	3	11	26	23
二枚貝類	0	2	0	3	3	0	0	0	4
管蟲	30	8	19	2	4	2	48	76	92
	SM490B 碳鋼(反面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	57	67	22	67/64	12/16	6/4	36	14	18
二枚貝類	1	1	0	0	4	5	1	5	0
管蟲	243	272	144	14/25	8/30	11	222	92	263

	(b) 水中帶　(暴露時間：3 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	12	34	14	3	0	0	7	15	15
二枚貝類	5	4	3	8	8	8	13	0	0
管蟲	0	0	0	25	12	18	0	17	26
	SM490B 碳鋼(反面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	22	49	41	13/4	11	7	12	4	16
二枚貝類	3	0	2	7/2	6/3	7/1	1	1	2
管蟲 [a]	45	20	45	3	2	7	12	25	93

[a] 以覆蓋面積(cm^2)表示

	(f) 水中帶 (暴露時間：10 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	27	20	23	61	38	43	46	37	66
二枚貝類	2	0	1	6	3	2	16	6	12
管蟲	46	117	108	103	70	20	0	56	55
試片種類	SM490B 碳鋼(反/側面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反/側面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	9	26	27	42/12	23/5	56/8	37	48	44
二枚貝類	1/1	2	0	0	4	6/1	2	1	6
管蟲	44	33	45	90	65	70	75	78	41/12

	(g) 水中帶 (暴露時間：13 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
藤壺	31	29	22	29	22	45	95	60	70
二枚貝類	0	0	2	6	2	5	7	0	1
管蟲	30	34	103	66	36	107	62	114	103
試片種類	SM490B 碳鋼(反/側面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反/側面)		
試片編碼	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7*	C8*	C9*
藤壺	12/10	20	24/21	56/7	33/10	36/21	22	41/23	39/24
二枚貝類	3	2	1/1	3	2	10	2	1	0
管蟲	28/20	56/20	99/34	65/18	78/17	126/18	30	37/42	39/39

*表面剝落

	(h) 水中帶　(暴露時間：16 個月)								
試片種類	SM490B 碳鋼(正面)			SS316L 不鏽鋼(正面)			SS400 低碳鋼(正面)		
試片編碼	C1	C2*	C3	C4	C5	C6	C7*	C8	C9
藤壺	7	35	70	62	29	17	13	8	26
二枚貝類	2	5	6	4	6	2	3	4	1
管蟲	24	12	68	46	43	41	58	54	54
試片種類	SM490B 碳鋼(反/側面)			SS316L 不鏽鋼(反/側面)			SS400 低碳鋼(反/側面)		
試片編碼	C1*	C2*	C3	C4*	C5*	C6*	C7*	C8*	C9*
藤壺	*	*	49	50	37	10	33	24	19
二枚貝類	*	*	6	1	2	7	4	1	5
管蟲	*	*	77	75	81	83	61	27	45

*表面剝落

4.1.4 金屬試片海洋附著生物觀察分析

調查結果顯示,「飛沫帶」因無直接浸泡於海水之中，故於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種金屬試片皆無觀察到海洋附著生物。隨著周期性的海水浸泡,「潮汐帶」金屬試片皆可發現藤壺附著，尤其在 SS316L 不鏽鋼上，藤壺量最豐，且顯著於金屬試片側面亦有顯著藤壺生長，暴露 1 個月時，藤壺個體多偏小且容易剝落，藤壺個體大小隨觀察時間增加而成長，附著強度明顯增加，是為「潮汐帶」之優勢生物。直至暴露 13 個月時，藤壺數量明顯減少，推測可能受到藤壺生長週期響所致。整體而言，潮汐帶附著生物以藤壺及二枚貝類為大宗，其中又以藤壺數量最豐，管蟲僅少量出現。「水中帶」的金屬試片全時段皆浸泡於海水之中，故所發現之生物種類最多，包含藤壺、二枚貝類及管蟲，其中以管蟲數量最豐，於暴露時間一至 3 個月期間數量最多。二枚貝類於暴露時間十至 13 個月間個體密度較高，最大直徑可達約 9cm(圖 4.28)。藤壺數量於暴露 16 個月時，數量及體積皆明顯減少，附著力亦隨之減低，且有許多個體附著於二枚貝類之上(圖 4.29)，推測可能因邁入新的藤壺生長週期所導致。潮汐帶及水中帶金屬試片之附著生物生長變化情況，如表 4-4、表 4-5 所示。

經 13 個月之暴露試驗後，潮汐帶及水中帶兩暴露區域，成分含碳之 SM490B 碳鋼金屬試片及 SS400 低碳鋼金屬試片，因表面鏽蝕而產生剝落，反面試片與試架背後主枝條相鄰，剝落範圍較正面試片大，可能造成附著生物數量計算之誤差。

圖 4.28 「水中帶」之二枚貝類

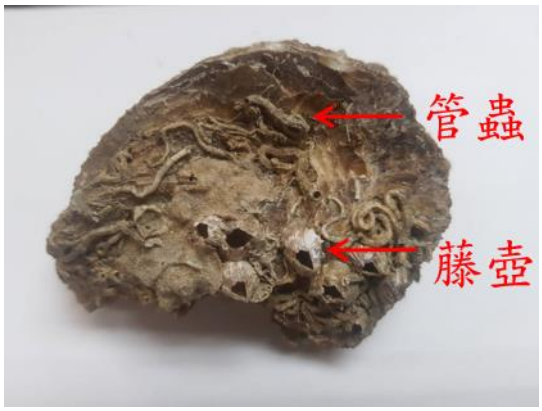
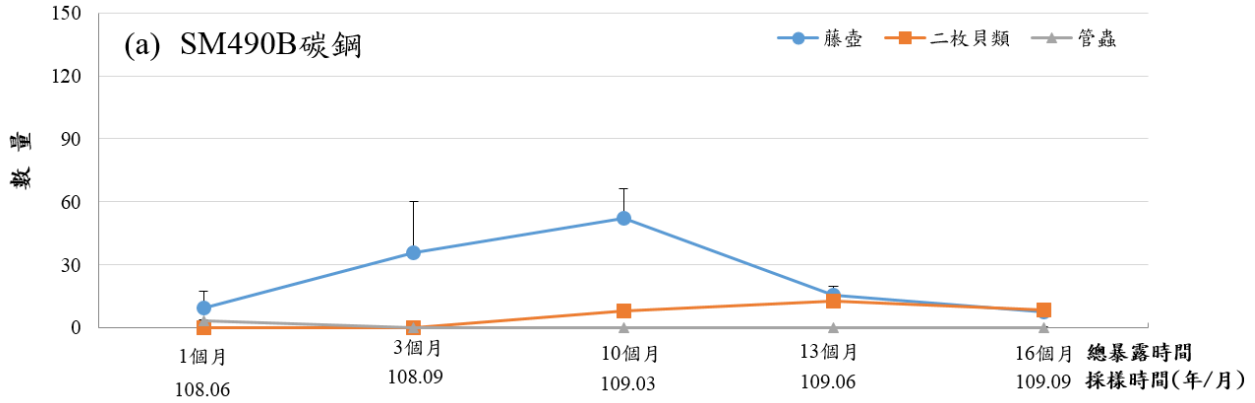
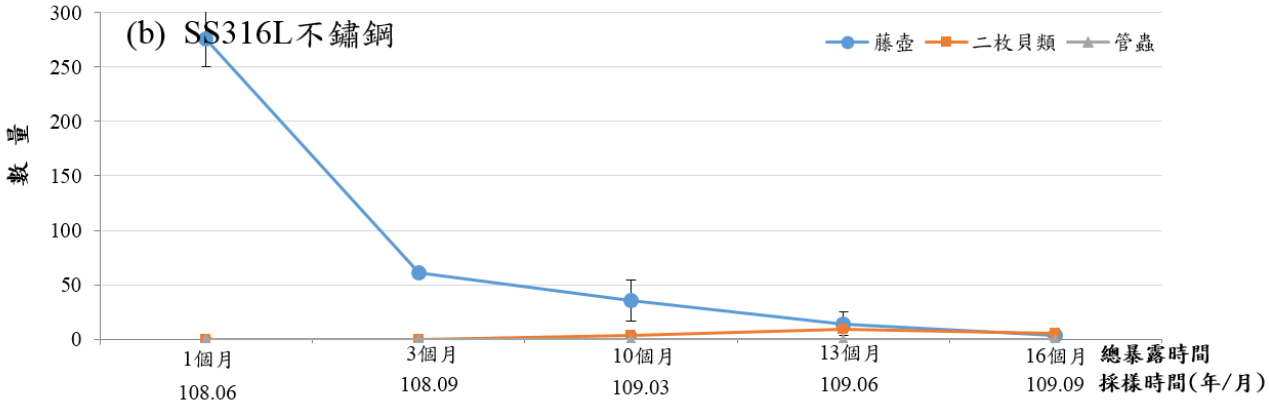


圖 4.29 藤壺及管蟲附著於二枚貝類之上

表 4-4　潮汐帶金屬試片之附著生物生長變化情況





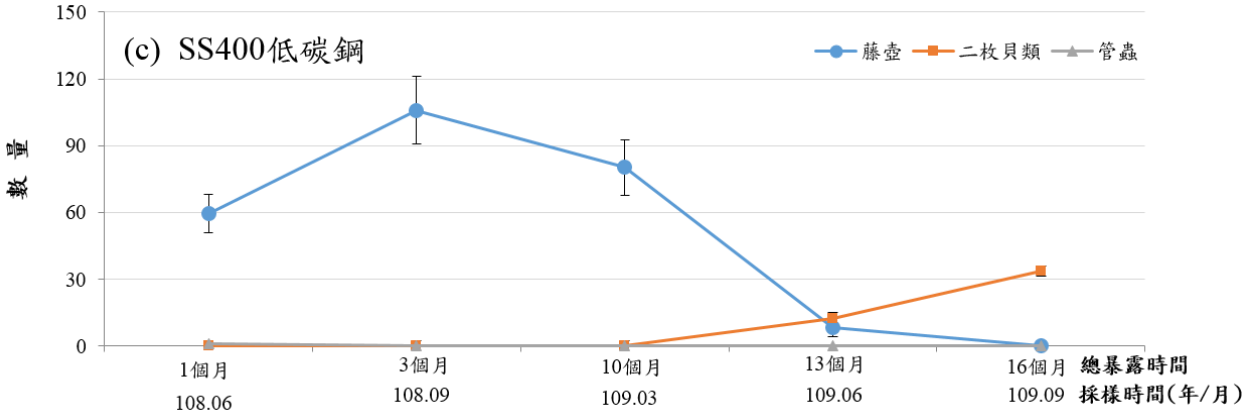
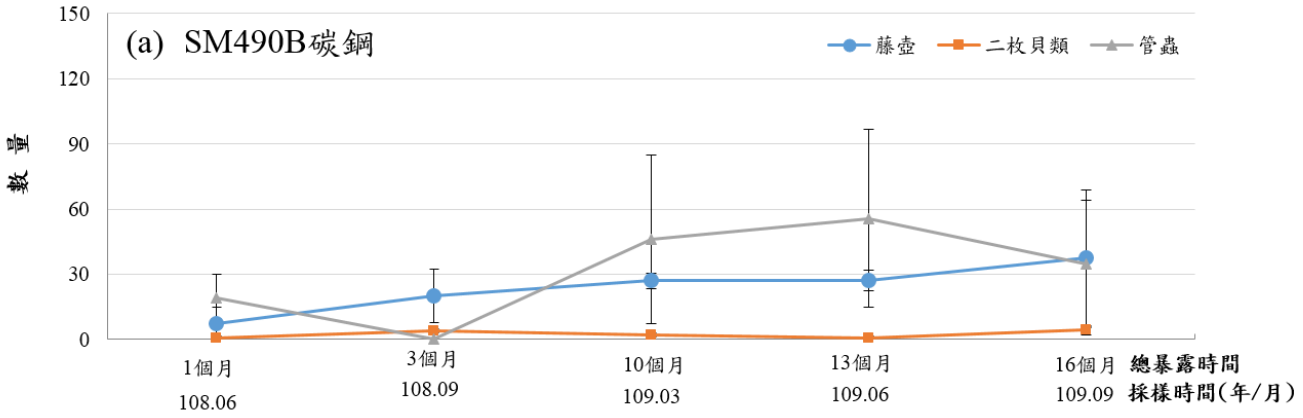
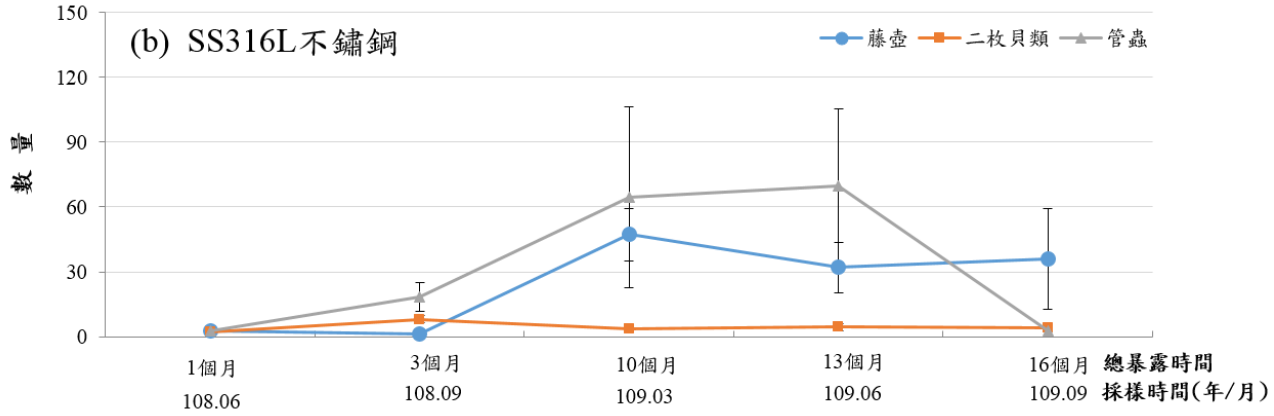
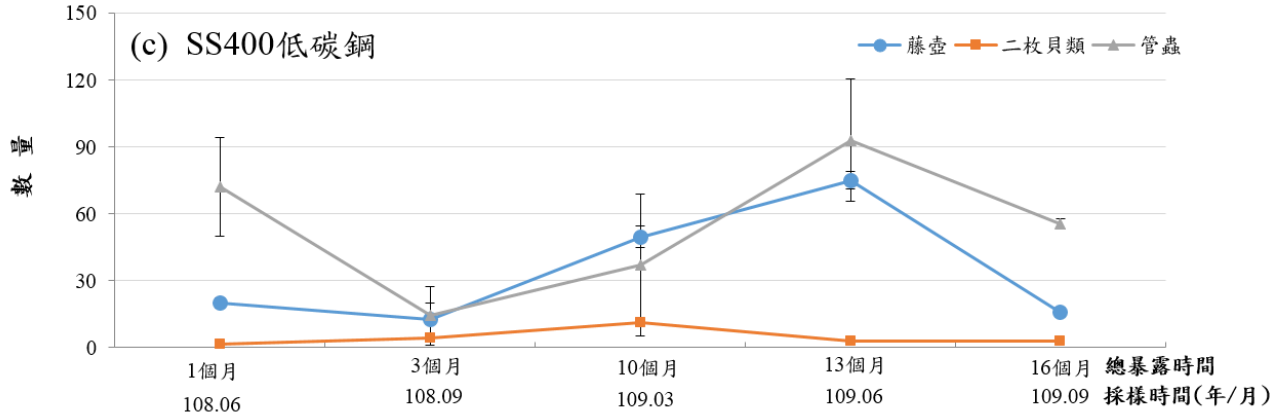


表 4-5　水中帶金屬試片之附著生物生長變化情況







4.2 金屬試片腐蝕速率分析

4.2.1 臺灣商港水下金屬材料腐蝕速率調查

為建立臺灣地區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，以利日後新建或辦理既有結構物金屬材料之防蝕設計與維護管理之依據，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，於 2015 年起執行金屬材料水下腐蝕環境調查研究，陸續於基隆港、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，建立水下腐蝕調查試驗站，透過水下金屬暴露試驗調查，瞭解在不同海域水質環境及暴率區域等對港區金屬材料腐蝕之長期研究[46,47,48]。臺灣商港水下金屬材料腐蝕速率調查表，如表 4-6 所示。

經臺灣商港水下金屬材料腐蝕速率研究之調查結果顯示，M490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種金屬試片於相同暴露期間，其腐蝕速率區間變化仍具變化，且三種金屬試片最大腐蝕速率之港區並不一致，顯示各港口碼頭之區域特性，如船隻進出、水質環境、附著生物種類及生長情況等，皆可能對金屬試片之腐蝕速率具有影響，故需建立現地水域特性、附著生物種類及生長情況等諸多影響因子之長期觀測資訊，進行交互探討，藉以深入探討各商港水下金屬材料腐蝕之主要成因。

表 4-6　臺灣商港水下金屬材料腐蝕速率調查表

飛沫帶			
暴露時間	SM490B 碳鋼	SS316L 不鏽鋼	SS400 低碳鋼
	平均腐蝕速率(μm/yr)		
1 年	347～591	0.0～1.2	377～584
最大腐蝕速率港區	高雄港 10 號碼頭	高雄港 10 號碼頭	馬祖福澳港
2 年	309~743	0.0～0.7	323~729
最大腐蝕速率港區	臺北港	高雄港 10 號碼頭	基隆港
潮汐帶			
暴露時間	SM490B 碳鋼	SS316L 不鏽鋼	SS400 低碳鋼
	平均腐蝕速率(μm/yr)		
1 年	222～963	0.0～5.8	239～931
最大腐蝕速率港區	布袋港	安平港	布袋港
2 年	170~425	0.0～4.9	170~425
最大腐蝕速率港區	臺北港	高雄港 40 號碼頭	基隆港
水中帶			
暴露時間	SM490B 碳鋼	SS316L 不鏽鋼	SS400 低碳鋼
	平均腐蝕速率(μm/yr)		
1 年	123～513	0.0～22.8	118～504
最大腐蝕速率港區	高雄港 75 號碼頭	安平港	布袋港
2 年	160~334	0.0～6.0	118~502
最大腐蝕速率港區	基隆港	高雄港 75 號碼頭	基隆港

4.2.2 臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率分析

欲分析腐蝕速率之金屬試片，待海洋附著生物觀察完畢後，接續使用刮刀或小鋼刷，刮除金屬試片上剩餘之表面海洋附著生物(圖 4.30 a)，依循 NACE Standard TM-01-69 法，於室溫以濃鹽酸＋40 g/L $SnCl_2$ 溶液浸泡(圖 4.30 b)，進行金屬表面腐蝕生成物之清除作業(圖 4.30 c)，透過量測試片重量損失，以計算其平均腐蝕速率(重量損失法)，並針對除鏽之後試片進行拍照記錄(圖 4.30 d)，以利於瞭解材料腐蝕情況。各暴露區域之金屬試片清洗記錄，如圖 4.31~圖 4.45 所示。

	
(a) 刮除金屬試片表面海洋附著生物	(b) 金屬試片編號浸泡
	
(c) 酸洗浸泡並刷洗清潔	(d) 除繡後之金屬試片

圖 4.30　金屬試片腐蝕速率分析前處理

板狀試片腐蝕速率(R_{corr})單位以 μm/yr 表示，計算公式如下[46]：

$$R_{corr} = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot t}$$

式中，

Δm=質量損失(g)

A=試片曝露面積(m^2)

t=暴露時間，年(year)

ρ=金屬材料之密度 (g/cm^3)，本研究採用之 SM490B 碳鋼及 SS400 低碳鋼密度為 7.85 g/cm^3， SS316L 不鏽鋼密度為 7.98 g/cm^3。

<table>
<tr>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1145.4</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1138.8</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>6.6</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.2883</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>288.3</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1160.1</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1159.9</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.98</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.086</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>8.6</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1133.8</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1125.1</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>8.7</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.3800</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>380.0</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr><td>材質：SM490B 碳鋼
代號：1-1-1</td><td>材質：SS316L 不鏽鋼
代號：1-1-4</td><td>材質：SS400 低碳鋼
代號：1-1-7</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1 個月清洗前</td><td>1 個月清洗前</td><td>1 個月清洗前</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1 個月清洗後</td><td>1 個月清洗後</td><td>1 個月清洗後</td></tr>
</table>

圖 4.31　飛沫帶金屬試片分析(暴露時間：1 個月)

<table>
<tr>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1144.8</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1118.7</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>26.1</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>1.1399</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>1139.9</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1152.7</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1152.5</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.98</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.0086</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>8.6</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1148.9</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1122.1</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>26.8</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>1.1705</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>1170.5</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr><td>材質：SM490B 碳鋼
代號：2-1-1</td><td>材質：SS316L 不鏽鋼
代號：2-1-4</td><td>材質：SS400 低碳鋼
代號：2-1-7</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1 個月清洗前</td><td>1 個月清洗前</td><td>1 個月清洗前</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1 個月清洗後</td><td>1 個月清洗後</td><td>1 個月清洗後</td></tr>
</table>

圖 4.32　潮汐帶金屬試片分析(暴露時間：1 個月)

<table>
<tr>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1148.0</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1138.5</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>9.5</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.4149</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>414.9</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1162.4</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1161.0</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>1.4</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.98</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.0602</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>60.2</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1154.0</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1144.3</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>9.7</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.4237</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>423.7</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr><td>材質：SM490B 碳鋼
代號：3-1-1</td><td>材質：SS316L 不鏽鋼
代號：3-1-4</td><td>材質：SS400 低碳鋼
代號：3-1-7</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1 個月清洗前</td><td>1 個月清洗前</td><td>1 個月清洗前</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1 個月清洗後</td><td>1 個月清洗後</td><td>1 個月清洗後</td></tr>
</table>

圖 4.33　水中帶金屬試片分析(暴露時間：1 個月)

原始重量(g)	1142.8	原始重量(g)	1163.4	原始重量(g)	1150.2
腐蝕後實際重量(g)	1067.2	腐蝕後實際重量(g)	1163.2	腐蝕後實際重量(g)	1052.1
質量損失(g)	75.6	質量損失(g)	0.2	質量損失(g)	98.1
試片曝露面積(cm^2)	350	試片曝露面積(cm^2)	350	試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85	金屬材料密度(g/cm^3)	7.98	金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	1.1006	腐蝕速率(mm/year)	0.0029	腐蝕速率(mm/year)	1.4482
腐蝕速率(μm/year)	1100.6	腐蝕速率(μm/year)	2.9	腐蝕速率(μm/year)	1448.2
材質：SM490B 碳鋼 代號：1-2-1		材質：SS316L 不鏽鋼 代號：1-2-4		材質：SS400 低碳鋼 代號：1-2-7	
					
3 個月清洗前		3 個月清洗前		3 個月清洗前	
					
3 個月清洗後		3 個月清洗後		3 個月清洗後	

圖 4.34　飛沫帶金屬試片分析(暴露時間：3 個月)

原始重量(g)	1142.9
腐蝕後實際重量(g)	1078.9
質量損失(g)	64.0
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.9318
腐蝕速率(μm/year)	931.8

材質：SM490B 碳鋼
代號：2-2-1

3 個月清洗前

3 個月清洗後

原始重量(g)	1157.8
腐蝕後實際重量(g)	1157.6
質量損失(g)	0.2
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0029
腐蝕速率(μm/year)	2.9

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：2-2-4

3 個月清洗前

3 個月清洗後

原始重量(g)	1162.0
腐蝕後實際重量(g)	1098.3
質量損失(g)	67.7
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.9274
腐蝕速率(μm/year)	927.4

材質：SS400 低碳鋼
代號：2-2-7

3 個月清洗前

3 個月清洗後

圖 4.35　潮汐帶金屬試片分析(暴露時間：3 個月)

原始重量(g)	1140.9
腐蝕後實際重量(g)	1119.5
質量損失(g)	21.4
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.3116
腐蝕速率(μm/year)	311.6

材質：SM490B 碳鋼
代號：3-2-1

3 個月清洗前

3 個月清洗後

原始重量(g)	1153.2
腐蝕後實際重量(g)	1149.8
質量損失(g)	3.4
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0487
腐蝕速率(μm/year)	48.7

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：3-2-4

3 個月清洗前

3 個月清洗後

原始重量(g)	1127.4
腐蝕後實際重量(g)	1105.7
質量損失(g)	21.7
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.3159
腐蝕速率(μm/year)	315.9

材質：SS400 低碳鋼
代號：3-2-7

3 個月清洗前

3 個月清洗後

圖 4.36　水中帶金屬試片分析(暴露時間：3 個月)

原始重量(g)	1146.4
腐蝕後實際重量(g)	975.8
質量損失(g)	170.6
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.7451
腐蝕速率(μm/year)	745.1

原始重量(g)	1168.6
腐蝕後實際重量(g)	1168.4
質量損失(g)	0.2
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0090
腐蝕速率(μm/year)	0.90

原始重量(g)	1153.6
腐蝕後實際重量(g)	977
質量損失(g)	176.6
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.7713
腐蝕速率(μm/year)	771.3

材質：SM490B 碳鋼 代號：1-3-1	材質：SS316L 不鏽鋼 代號：1-3-4	材質：SS400 低碳鋼 代號：1-3-7
		
10 個月清洗前	10 個月清洗前	10 個月清洗前
		
10 個月清洗後	10 個月清洗後	10 個月清洗後

圖 4.37　飛沫帶金屬試片分析(暴露時間：10 個月)

原始重量(g)	1145.9
腐蝕後實際重量(g)	1061.5
質量損失(g)	84.4
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.3686
腐蝕速率(μm/year)	368.6

材質：SM490B 碳鋼
代號：2-3-1

10 個月清洗前

10 個月清洗後

原始重量(g)	1159.1
腐蝕後實際重量(g)	1158.8
質量損失(g)	0.3
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0013
腐蝕速率(μm/year)	1.3

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：2-3-5

10 個月清洗前

10 個月清洗後

原始重量(g)	1134.0
腐蝕後實際重量(g)	1057.3
質量損失(g)	76.7
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.3350
腐蝕速率(μm/year)	335.0

材質：SS400 低碳鋼
代號：2-3-9

10 個月清洗前

10 個月清洗後

圖 4.38　潮汐帶金屬試片分析(暴露時間：10 個月)

原始重量(g)	1142.1
腐蝕後實際重量(g)	1113.1
質量損失(g)	29
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.1267
腐蝕速率(μm/year)	126.7

材質：SM490B 碳鋼
代號：3-3-1

10 個月清洗前

10 個月清洗後

原始重量(g)	1148.6
腐蝕後實際重量(g)	1141.3
質量損失(g)	7.3
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0314
腐蝕速率(μm/year)	31.4

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：3-3-6

10 個月清洗前

10 個月清洗後

原始重量(g)	1131.4
腐蝕後實際重量(g)	969.8
質量損失(g)	161.6
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.7058
腐蝕速率(μm/year)	705.8

材質：SS400 低碳鋼
代號：3-3-8

10 個月清洗前

10 個月清洗後

圖 4.39　水中帶金屬試片分析(暴露時間：10 個月)

原始重量(g)	1139.3
腐蝕後實際重量(g)	945.2
質量損失(g)	194.1
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.6521
腐蝕速率(μm/year)	652.1

材質：SM490B 碳鋼
代號：1-4-2

13 個月清洗前

13 個月清洗後

原始重量(g)	1158.2
腐蝕後實際重量(g)	1158.1
質量損失(g)	0.1
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0003
腐蝕速率(μm/year)	0.3

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：1-4-4

13 個月清洗前

13 個月清洗後

原始重量(g)	1133.0
腐蝕後實際重量(g)	930.8
質量損失(g)	202.2
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.6793
腐蝕速率(μm/year)	679.3

材質：SS400 低碳鋼
代號：1-4-7

13 個月清洗前

13 個月清洗後

圖 4.40　飛沫帶金屬試片分析(暴露時間：13 個月)

原始重量(g)	1131.1
腐蝕後實際重量(g)	1096.6
質量損失(g)	34.5
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.1159
腐蝕速率(μm/year)	115.9

材質：SM490B 碳鋼
代號：2-4-2

13 個月清洗前

13 個月清洗後

原始重量(g)	1158.6
腐蝕後實際重量(g)	1139.4
質量損失(g)	19.2
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0635
腐蝕速率(μm/year)	63.5

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：2-4-5

13 個月清洗前

13 個月清洗後

原始重量(g)	1148.9
腐蝕後實際重量(g)	1073.2
質量損失(g)	75.7
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.2543
腐蝕速率(μm/year)	254.3

材質：SS400 低碳鋼
代號：2-4-9

13 個月清洗前

13 個月清洗後

圖 4.41　潮汐帶金屬試片分析(暴露時間：13 個月)

原始重量(g)	1143.4
腐蝕後實際重量(g)	1055.6
質量損失(g)	87.8
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.2950
腐蝕速率(μm/year)	295.0

材質：SM490B 碳鋼
代號：3-4-1

13 個月清洗前

13 個月清洗後

原始重量(g)	1155.8
腐蝕後實際重量(g)	1152.5
質量損失(g)	3.3
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0109
腐蝕速率(μm/year)	10.6

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：3-4-4

13 個月清洗前

13 個月清洗後

原始重量(g)	1127.9
腐蝕後實際重量(g)	1041.0
質量損失(g)	86.9
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.2920
腐蝕速率(μm/year)	292.0

材質：SS400 低碳鋼
代號：3-4-7

13 個月清洗前

13 個月清洗後

圖 4.42　水中帶金屬試片分析(暴露時間：13 個月)

原始重量(g)	1144.8
腐蝕後實際重量(g)	927.7
質量損失(g)	217.1
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.5926
腐蝕速率(μm/year)	592.6

材質：SM490B 碳鋼
代號：1-5-1

16 個月清洗前

16 個月清洗後

原始重量(g)	1157.9
腐蝕後實際重量(g)	1157.7
質量損失(g)	0.2
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0005
腐蝕速率(μm/year)	0.5

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：1-5-5

16 個月清洗前

16 個月清洗後

原始重量(g)	1147.7
腐蝕後實際重量(g)	924.4
質量損失(g)	223.3
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.6120
腐蝕速率(μm/year)	612.0

材質：SS400 低碳鋼
代號：1-5-7

16 個月清洗前

16 個月清洗後

圖 4.43　飛沫帶金屬試片分析(暴露時間：16 個月)

<table>
<tr>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1143.4</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1045.4</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>98</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.2675</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>267.5</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1158.5</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1157.5</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.98</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.0027</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>2.7</td></tr>
</table>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>原始重量(g)</td><td>1149.3</td></tr>
<tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1047.6</td></tr>
<tr><td>質量損失(g)</td><td>101.7</td></tr>
<tr><td>試片曝露面積(cm^2)</td><td>350</td></tr>
<tr><td>金屬材料密度(g/cm^3)</td><td>7.85</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.2776</td></tr>
<tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>277.6</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr><td>材質：SM490B 碳鋼
代號：2-5-1</td><td>材質：SS316L 不鏽鋼
代號：2-5-4</td><td>材質：SS400 低碳鋼
代號：2-5-7</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>16 個月清洗前</td><td>16 個月清洗前</td><td>16 個月清洗前</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>16 個月清洗後</td><td>16 個月清洗後</td><td>16 個月清洗後</td></tr>
</table>

圖 4.44　潮汐帶金屬試片分析(暴露時間：16 個月)

原始重量(g)	1144.8
腐蝕後實際重量(g)	1096.5
質量損失(g)	48.3
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.1318
腐蝕速率(μm/year)	131.8

材質：SM490B 碳鋼
代號：3-5-1

16 個月清洗前

16 個月清洗後

原始重量(g)	1154.6
腐蝕後實際重量(g)	1147.8
質量損失(g)	6.8
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.98
腐蝕速率(mm/year)	0.0183
腐蝕速率(μm/year)	18.3

材質：SS316L 不鏽鋼
代號：3-5-4

16 個月清洗前

16 個月清洗後

原始重量(g)	1150.9
腐蝕後實際重量(g)	1001.2
質量損失(g)	149.7
試片曝露面積(cm^2)	350
金屬材料密度(g/cm^3)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	0.4086
腐蝕速率(μm/year)	408.6

材質：SS400 低碳鋼
代號：3-5-8

16 個月清洗前

16 個月清洗後

圖 4.45　水中帶金屬試片分析(暴露時間：16 個月)

臺中港 4 號碼頭之金屬試片暴露試驗由 108 年 4 月 25 日架設完成，於 108 年至 109 年期間，共進行五次金屬試片採樣回收工作，採樣時間如表 4-1 所示，居間金屬試片暴露時間分別為期 1 個月、3 個月、10 個月、13 個月及 16 個月，「飛沫帶」、「潮汐帶」及「水中帶」三區之金屬試片腐蝕研究分析結果，如表 4-7~表 4-11 所示。

表 4-7　臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(1 個月)

暴露區域	SM490B 碳鋼		SS316L 不鏽鋼		SS400 低碳鋼	
	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	288.3	299.9	8.6	5.7	380.0	382.9
	283.9		0.0		406.2	
	327.6		8.6		362.5	
潮汐帶	1139.9	1137.0	8.6	7.2	1170.5	1233.1
	1135.6		8.6		1292.8	
	1135.6		4.3		1236.0	
水中帶	414.9	432.4	60.2	57.3	423.7	412.0
	506.6		60.2		419.3	
	375.6		51.6		393.1	

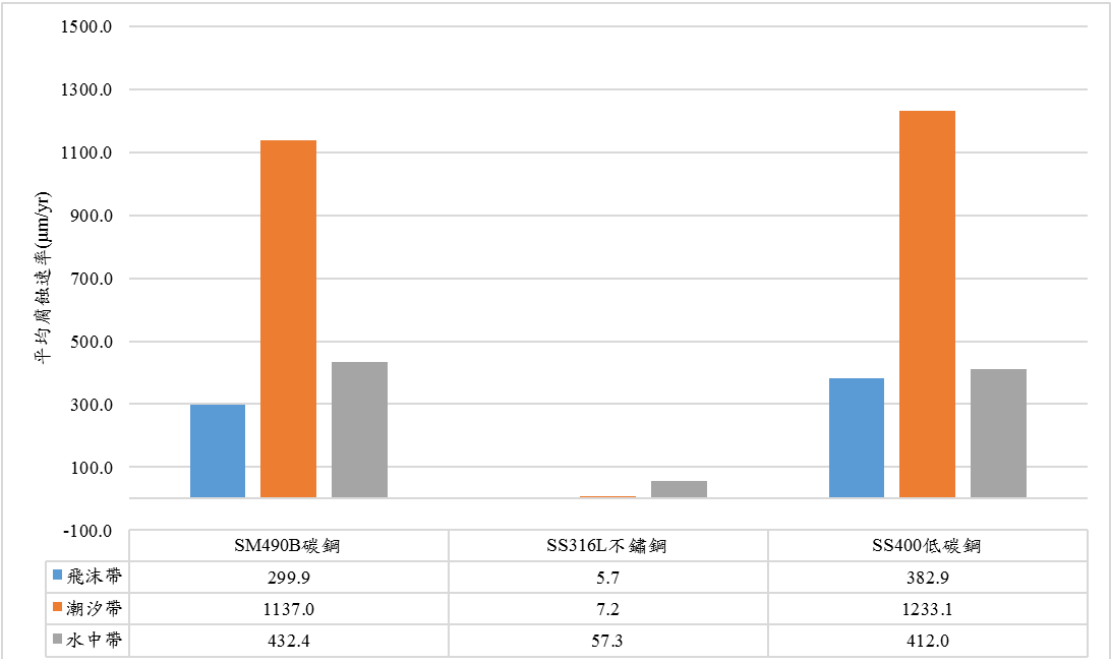


表 4-8　臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(3 個月)

暴露區域	SM490B 碳鋼		SS316L 不鏽鋼		SS400 低碳鋼	
	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	1100.6	1168.6	2.9	2.4	1428.2	1418.0
	1158.9		2.9		1441.3	
	1246.2		1.4		1384.5	
潮汐帶	931.8	904.1	2.9	3.8	927.4	924.5
	901.2		4.3		931.8	
	879.3		4.3		914.3	
水中帶	311.6	315.9	48.7	49.2	315.9	327.1
	314.5		54.4		342.1	
	321.7		44.4		323.2	

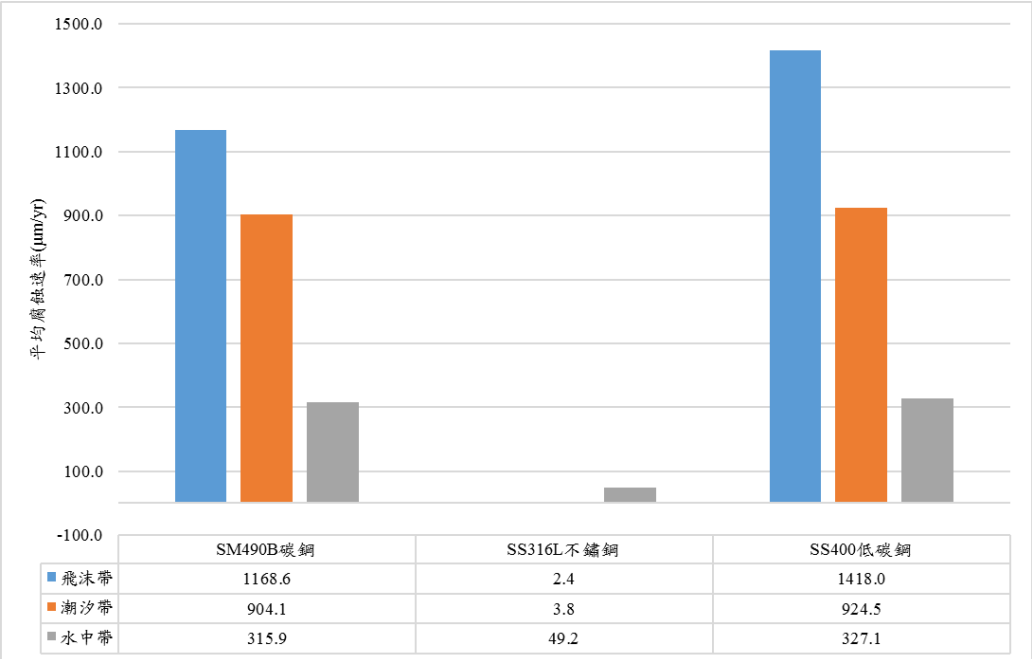


表 4-9　臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(10 個月)

暴露區域	SM490B 碳鋼		SS316L 不鏽鋼		SS400 低碳鋼	
	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	745.1	731.4	0.9	0.9	771.3	783.7
	734.2		0.9		769.1	
	715.0		0.9		810.6	
潮汐帶	368.6	343.6	1.3	1.6	331.1	340.4
	345.0		1.3		355.1	
	317.1		2.1		335.0	
水中帶	126.7	139.9	33.9	28.9	217.5	365.7
	150.2		21.5		705.8	
	142.8		31.4		173.8	

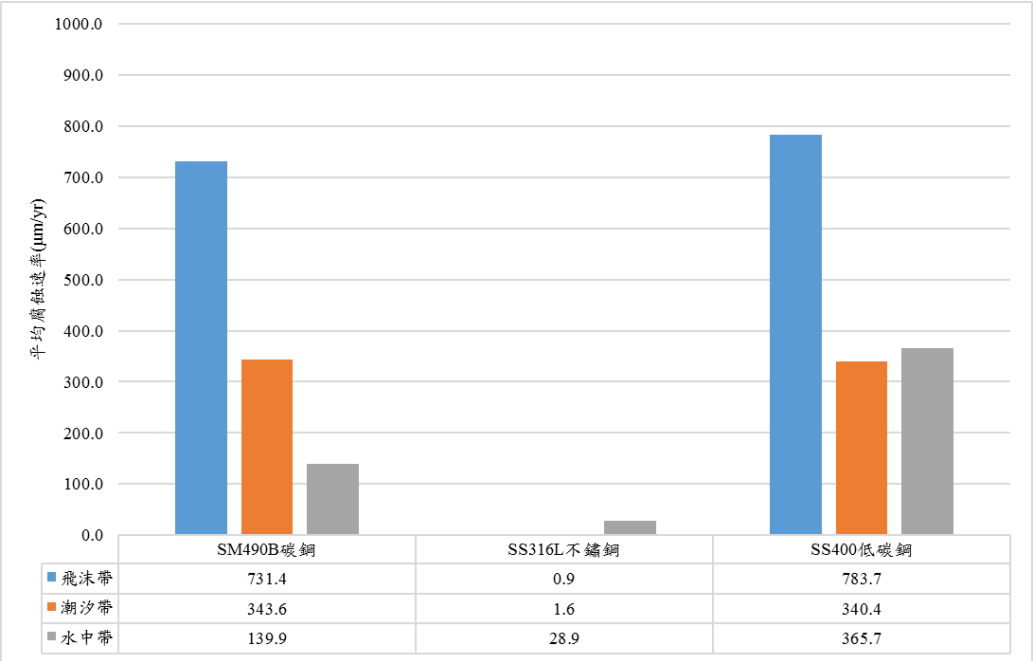


表 4-10　臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(13 個月)

暴露區域	SM490B 碳鋼		SS316L 不鏽鋼		SS400 低碳鋼	
	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	688.4	655.1	0.3	0.4	679.3	703.5
	652.1		0.7		731.1	
	624.9		0.3		700.2	
潮汐帶	243.2	170.0	11.2	37.3	271.1	266.9
	115.9		63.5		275.2	
	150.9		37.3		254.3	
水中帶	295.0	323.1	10.9	23.5	292.0	303.2
	381.0		23.5		316.5	
	293.3		36.0		301.0	

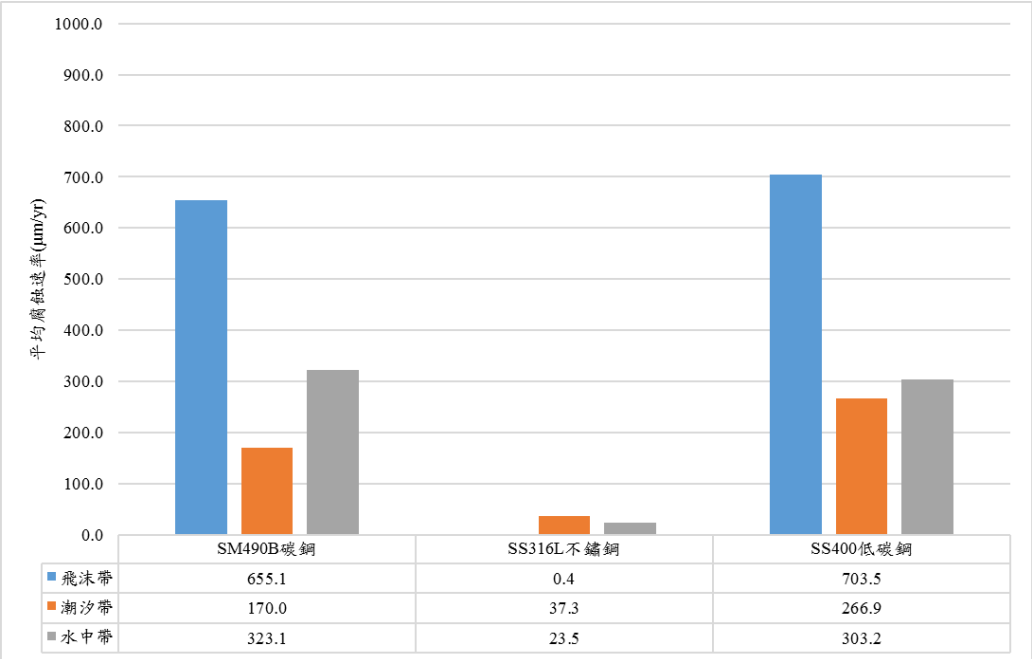
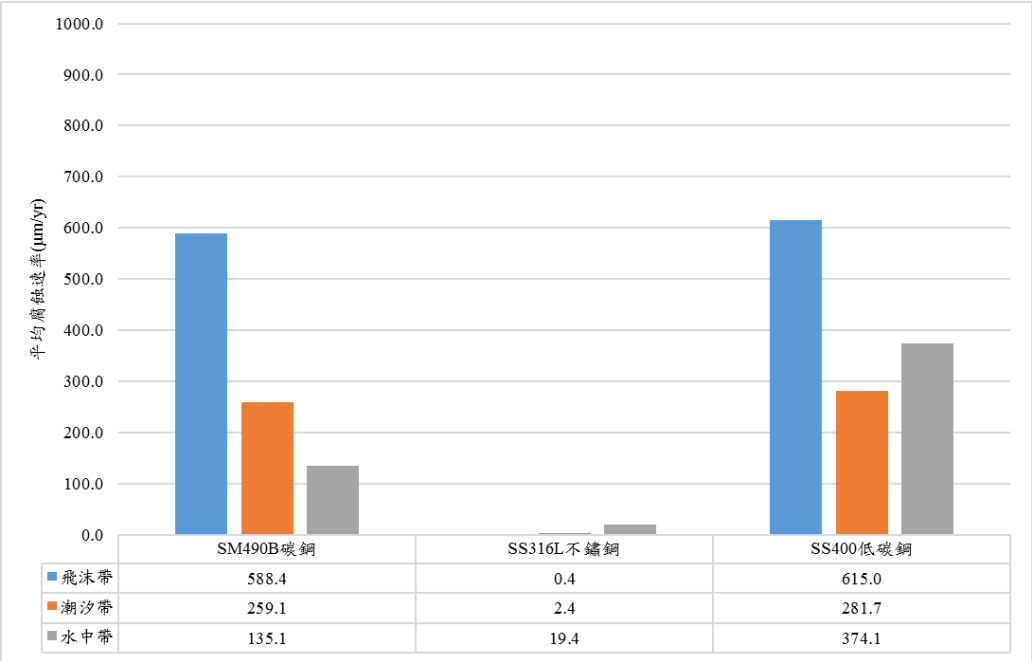


表 4-11　臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(16 個月)

暴露區域	SM490B 碳鋼		SS316L 不鏽鋼		SS400 低碳鋼	
	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	592.6	588.4	0.3	0.4	609.6	615.0
	584.2		0.5		623.5	
	588.5		0.3		612.0	
潮汐帶	267.5	259.1	2.7	2.4	277.6	281.7
	241.0		2.4		284.4	
	268.6		2.1		283.1	
水中帶	131.8	135.1	18.3	19.4	155.6	(不列入平均)
	143.3		19.9		408.6	374.1
	130.2		20.1		339.6	



4.2.3 金屬試片腐蝕速率分析(1 個月)

金屬試片於飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放 1 個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-7 所示。「飛沫帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 299.9 μm/yr、5.7 μm/yr 及 382.9 μm/yr。「潮汐帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 1137.0 μm/yr、7.2 μm/yr 及 1233.1 μm/yr。「水中帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 432.4 μm/yr、57.3 μm/yr 及 412.0 μm/yr。

4.2.4 金屬試片腐蝕速率分析(3 個月)

金屬試片於飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放 3 個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-8 所示。「飛沫帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 1168.6 μm/yr、2.4 μm/yr 及 1418.0 μm/yr。「潮汐帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 904.1 μm/yr、3.8 μm/yr 及 924.5 μm/yr。「水中帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 315.9 μm/yr、49.2 μm/yr 及 327.1 μm/yr。

4.2.5 金屬試片腐蝕速率分析(10 個月)

金屬試片於飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放 10 個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-9 所示。「飛沫帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 731.4 μm/yr、0.9 μm/yr 及 783.7 μm/yr。「潮汐帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 343.6 μm/yr、1.6 μm/yr 及 340.4 μm/yr。「水中帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 139.9m/yr、28.9 μm/yr 及 365.7 μm/yr。

4.2.6 金屬試片腐蝕速率分析(13 個月)

金屬試片於飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放 10 個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-10 所示。「飛沫帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 655.1 μm/yr、0.4 μm/yr 及 703.5 μm/yr。「潮汐帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 170.0 μm/yr、37.3 μm/yr 及 266.9 μm/yr。「水中帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 323.1 μm/yr、23.5 μm/yr 及 303.2 μm/yr。

4.2.7 金屬試片腐蝕速率分析(16 個月)

金屬試片於飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放 16 個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-11 所示。「飛沫帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 588.4 μm/yr、0.4 μm/yr 及 615.0 μm/yr。「潮汐帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 259.1 μm/yr、2.4 μm/yr 及 281.7 μm/yr。「水中帶」，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之平均腐蝕速率分別為 135.1 μm/yr、19.4 μm/yr 及 374.1 μm/yr。

108 年 6 月至 109 年 9 月之觀測期間，臺中港 4 號碼頭金屬試片暴露試驗，總計進行五次金屬試片採樣，試片選用 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種港工結構材，於不同暴露環境(飛沫帶、潮汐帶及水中帶)進行腐蝕速率分析。金屬試片於不同暴露區域之暴露時間及腐蝕速率彙整對照表，如表 4-12 所示。

由臺中港 4 號碼頭金屬試片暴露試驗結果可發現，飛沫帶、潮汐帶及水中帶三暴露區域，皆以 SS316L 不鏽鋼防鏽程度最佳，三種港工結構材之防腐蝕強度呈現：SS316L 不鏽鋼遠高於 SM490B 碳鋼及 SS400 低碳鋼之情況。暴露試驗前期(1-3 個月)，金屬試片腐蝕速率具較大幅度之變化，SM490B 碳鋼與 SS400 低碳鋼暴露 1 個月之金屬腐蝕速率由高至低為：潮汐帶>水中帶>飛沫帶；至暴露 3 個月，金屬腐蝕速率由高至低轉變為：飛沫帶>潮汐帶>水中帶。除飛沫帶平均金屬腐蝕速率增高外，潮汐帶及水中帶之平均金屬腐蝕速率皆降低。推測飛沫帶介於平均高潮位以上至海面大氣帶下方，易於金屬表面生成富含氯離子之水膜，此情況將加速點蝕、晶間腐蝕、縫隙腐蝕等局部腐蝕，使得金屬表面難以形成長期穩定的致密鏽層，可能致使飛沫帶金屬腐蝕速率提升；潮汐帶及水中帶之金屬可能因生物陸續附著影響，使金屬腐蝕速率略為趨緩。隨著暴露時間增長，金屬試片表面鏽層及附著生物生長逐漸趨於穩定，故於暴露時間 3 個月後，金屬試片腐蝕速率變化相對暴露試驗前期趨於緩和。三種金屬試片暴露一年後，其金屬腐蝕速率由高至低大致呈現：飛沫帶>水中帶>潮汐帶之情況。

依金屬材質進行觀察，暴露 16 個月後，SM490B 碳鋼之腐蝕速率由高至低呈現：飛沫帶(588.4 μm/yr)> 潮汐帶(259.1 μm/yr)>水中帶(135.1 μm/yr)；SS316L 不鏽鋼之腐蝕速率由高至低呈現：水中帶(19.4 μm/yr) >潮汐帶(2.4 μm/yr) >飛沫帶(0.4 μm/yr)；SS400 低碳鋼之腐蝕速率由高至低呈現：飛沫帶(615.0 μm/yr)> 水中帶(374.1 μm/yr) >潮汐帶(281.7m/yr)。腐蝕速率強弱隨金屬試片材質有異，且並無集中於某暴露區域之情況產生。

表 4-12　金屬試片於不同暴露區域暴露時間及腐蝕速率對照表

飛沫帶			
暴露時間	SM490B 碳鋼	SS316L 不鏽鋼	SS400 低碳鋼
	平均腐蝕速率(μm/yr)		
1 個月	299.9	5.7	382.9
3 個月	1168.6	2.4	1418.0
10 個月	731.4	0.9	783.7
13 個月	655.1	0.4	703.5
16 個月	588.4	0.4	615.0

潮汐帶			
暴露時間	SM490B 碳鋼	SS316L 不鏽鋼	SS400 低碳鋼
	平均腐蝕速率(μm/yr)		
1 個月	1137.0	7.2	1233.1
3 個月	904.1	3.8	924.5
10 個月	343.6	1.6	340.4
13 個月	170.0	37.3	266.9
16 個月	259.1	2.4	281.7

水中帶			
暴露時間	SM490B 碳鋼	SS316L 不鏽鋼	SS400 低碳鋼
	平均腐蝕速率(μm/yr)		
1 個月	432.4	57.3	412.0
3 個月	315.9	49.2	327.1
10 個月	139.9	28.9	365.7
13 個月	323.1	23.5	303.2
16 個月	135.1	19.4	374.1

港區及海上結構物皆以「長期使用」進行規劃與設計，若欲評估各暴露區域及各式金屬材質之腐蝕情況，建議仍需持續進行腐蝕速率觀測，同時輔以水域環境、附著生物生長等相關影響因子進行觀測調查與交互比對，提供港區及海上結構物維護管理計畫擬定之參考，以延長結構物使用壽命，提高安全性與經濟效益。

4.3 連續水質監測

4.3.1　105-107 年北泊渠(臺中港 4 號碼頭附近港地)水質變化情況

臺中港務分公司，自 95 年度起即逐年委託辦理「臺中港區環境(污染源)調查監測分析」，篩選港區較敏感地點(如主要排水溝及污染源流入點，與港灣內必要特定點等)，進行水質(含海域、陸域）、空氣、底泥、周邊道路噪音、商港區域內海陸域生態調查分析及西碼頭土壤與地下水檢測等，並依現場實際監測結果完成評估分析報告書，適時檢討及改進監測點位與頻率，藉以瞭解臺中港區環境品質及污染物特性、來源，以建立環境背景資料，尋求污染防治(制)之道[43]。其中海域監測項目包含：溫度、鹽度、酸鹼度、溶氧量、生化需氧量、礦物性油脂、大腸桿菌群、酚類、氨氮、總磷、氰化物...等，臺中港區海域水質監測採樣點分布，如圖 4.46 所示。

圖 4.46　臺中港區海域水質監測採樣點[49]

由圖 4.46 可知，臺中港區海域水質監測共計 11 個採樣點，其中「北泊渠(臺中港 4 號碼頭附近港地)」與本計畫之連續水質觀測站位最為接近，故彙整北泊渠 105-107 年之海域水質監測數據，如表 4-13 所

示，藉以瞭解臺中港 4 號碼頭 105-107 年度期間調查之海域水質變化。所有觀測數據皆參照氣象局標準進行季節劃分，季節月份對照表，如表 4-14 所示。

表 4-13　北泊渠 105-107 年期間海域水質變化紀錄

年份	季節	日期	檢測項目	溫度	鹽度	pH 值	溶氧量
			單位	℃	$^{0}/_{00}$		mg/L
乙類海域地面水體基準				--	--	7.5-8.5	>5.0
105 年	春	03.31	退潮	23.3	32.0	8.2	6.2
			漲潮	23.2	32.2	8.2	5.5
		05.24	退潮	28.1	31.6	8.1	6.4
			漲潮	28.0	32.3	8.2	6.4
	夏	08.19	退潮	30.8	32.8	8.3	6.3
			漲潮	30.8	32.7	8.3	6.3
	秋	10.16	退潮	25.5	34.0	7.9	5.8
			漲潮	25.6	33.6	8.0	5.8
106 年	春	04.17	退潮	27.6	33.6	7.9	7.1
			漲潮	26.3	34.1	8.2	7.5
	秋	09.02	退潮	30.8	29.8	8.0	6.1
			漲潮	29.5	29.6	8.1	6.0
107 年	春	05.20	退潮	28.4	33.0	8.1	6.3
			漲潮	29.2	33.0	8.1	6.8
	秋	09.07	退潮	30.2	30.8	7.9	5.2
			漲潮	29.8	30.8	8.4	5.6

(數據來源：http://163.29.74.9/Data /default.htm)

表 4-14　季節月份對照表

季節	冬季	春季	夏季	秋季
月份	12、1、2	3、4、5	6、7、8	9、10、11

由表 4-13 可知，105-107 年間，北泊渠測站實際採樣數據所得之水溫整體介於 23.2~30.8℃；鹽度介於 29.6~34.1；pH 介於 7.9-8.4 之間；溶氧則介於 5.2~ 7.1 mg/L 之間，然海域水質採樣觀測，因考量人力成本及天候變化等因素，每年僅進行兩次採樣工作，其觀測季節多集中於春、秋兩季，觀測期間雖橫跨三年，但仍缺乏夏季及冬季之水質變化情況，無法詳述此海域環境之季節性差異。

4.3.2 臺中港 4 號碼頭水質變化情況

本研究透過「多參數水質監測儀」於臺中港 4 號碼頭進行連續水質監測，監測期間自 108 年 06 月 01 日至 109 年 09 月 30 日止，連續偵測 16 個月之水質參數資料。水質監測項目包含：溫度、鹽度、溶氧、酸鹼度、導電度、總溶解固體量、濁度…等，資料收集密度設定為每小時 1 筆，並同步紀錄監測日期與時間。觀測期間，每月至少進行一次自動水質監測儀之保養、清潔與校正，各水質參數月平均監測資料及逐月趨勢變化圖，如表 4-15、圖 4.47 及圖 4.48 所示。

表 4-15　臺中港 4 號碼頭連續水質觀測月平均紀錄表

	日期	季節	溫度(℃)	鹽度	酸鹼度	溶氧(mg/L)	導電度(ms/cm)	總溶解固體量(g/L)	濁度(NTU)
108	6	夏	29.03	32.63	8.2	6.77	50.00	32.50	2.19
	7		29.95	32.81	8.3	6.00	50.29	32.69	1.38
	8		29.79	31.92	8.3	5.43	49.12	31.93	2.95
	9	秋	28.51	33.54	8.2	5.64	51.22	33.30	2.97
	10		25.90	34.00	8.1	6.01	51.74	33.63	3.78
	11		22.89	33.70	8.1	6.67	51.26	33.32	3.62
	12	冬	19.85	33.47	8.1	7.38	50.90	33.09	4.66
109	1		19.80	33.94	8.2	7.34	51.54	33.50	2.69
	2		19.71	34.39	8.3	7.34	52.16	33.90	2.74
	3	春	23.31	34.47	8.2	6.78	52.31	34.00	3.87
	4		23.11	34.42	8.2	7.25	52.23	33.95	3.55
	5		27.83	33.43	8.1	6.29	51.05	33.18	2.55
	6	夏	29.27	32.30	8.2	5.50	49.56	32.21	2.22
	7		31.41	32.68	8.1	5.45	50.18	32.62	2.62
	8		31.15	33.00	8.1	5.72	50.60	32.89	---
	9	秋	29.49	33.18	8.1	5.92	50.78	33.00	4.56
	最小值		19.71	31.92	8.09	5.43	49.12	31.93	1.38
	最大值		31.41	34.47	8.34	7.38	52.31	34.00	4.66
	平均值		26.31	33.37	8.18	6.34	50.93	33.11	3.09

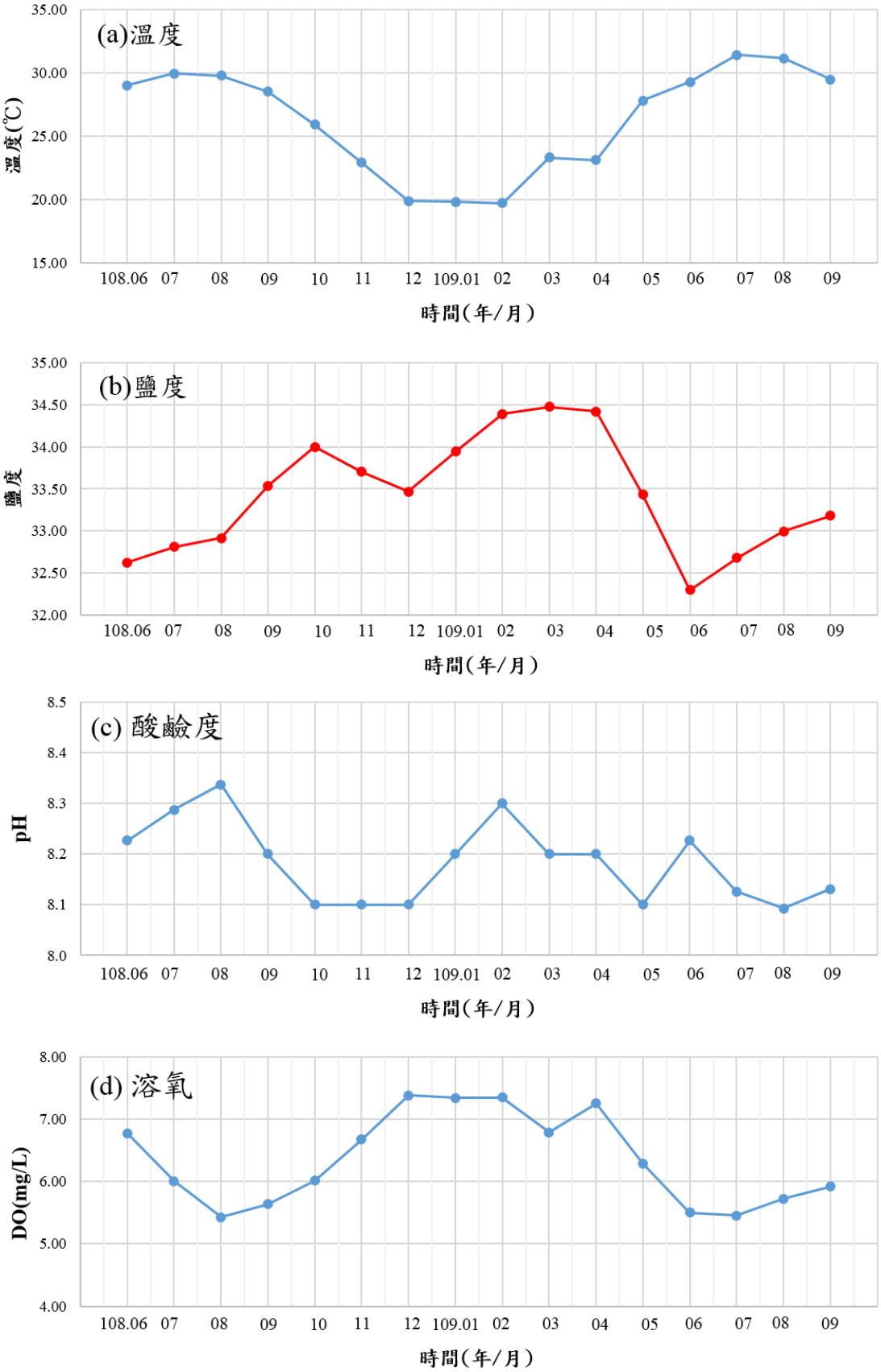


圖 4.47　觀測期間臺中港 4 號碼頭溫度、鹽度、pH 及 DO 變化趨勢圖

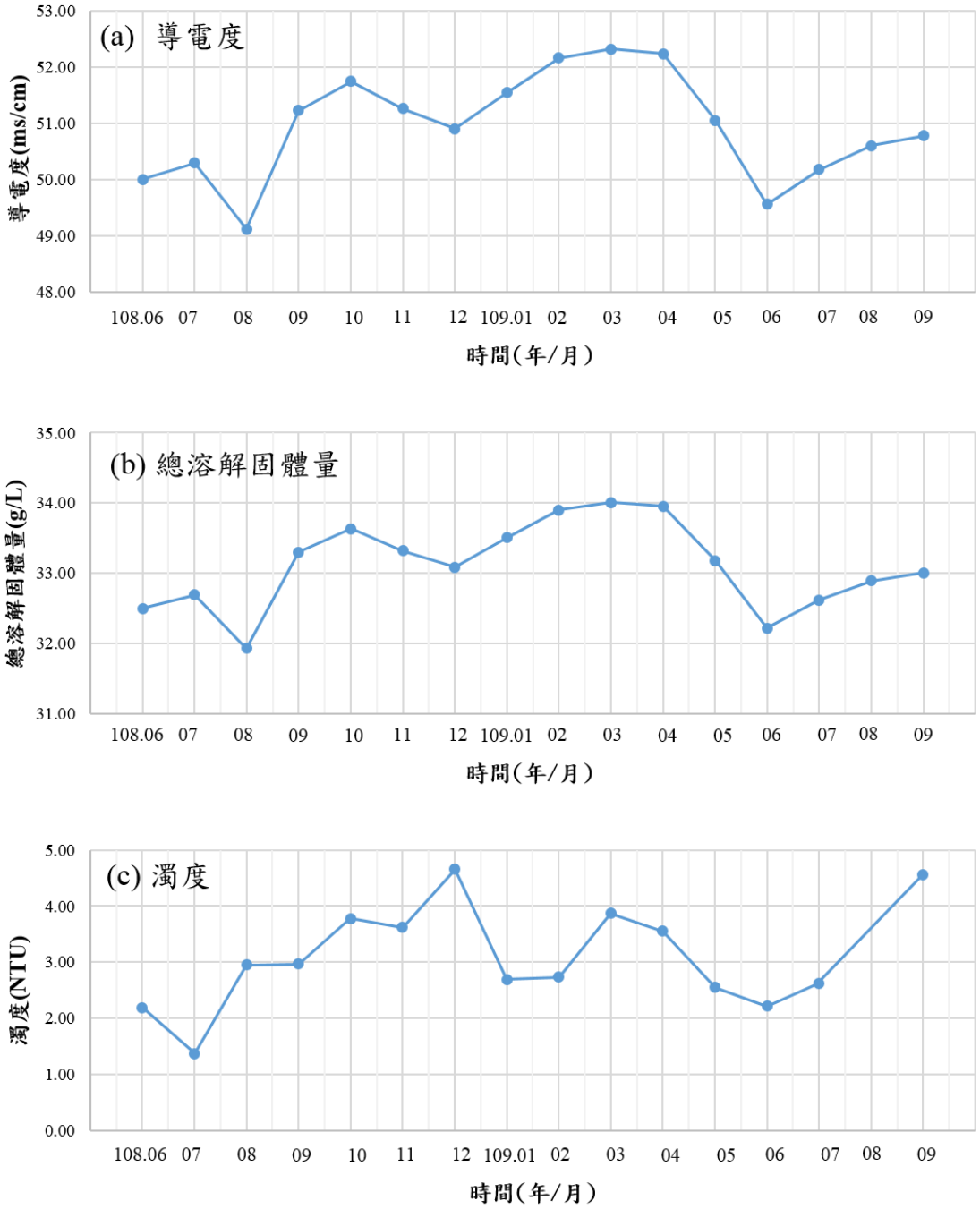


圖 4.48　觀測期間臺中港 4 號碼頭導電度、總溶解固體量及濁度變化趨勢圖

水體溫度與水體密度、黏滯度、蒸汽壓力、溶液表面張力、固體或氣體之活動速度有關，進而影響腐蝕、溶解度及微生物繁殖或死亡等情形；受到季節循環影響，海水溫度一般呈現夏高冬低之趨勢[50]。另可藉由鹽度變化推測淡水或陸地地表水進入海洋之比例高低，故溫度及鹽度是為最基本的水質特徵調查參數。

(1) 溫度

觀測期間，臺中港 4 號碼頭溫度變化介於 19.71~31.41℃，逐月溫度變化情況如圖 4.47(a)所示。整體而言，夏季溫度整體介於 29.03~31.41℃，秋季溫度介於 22.89~29.49℃，冬季溫度介於 19.71~19.85℃，春季溫度則介於 23.11~27.83℃，溫度隨季節呈現夏高冬低之變化趨勢，觀測期間之平均水溫為 26.31℃。

(2) 鹽度

觀測期間，臺中港 4 號碼頭鹽度變化介於 31.92~34.47 之間，逐月鹽度變化情況如圖 4.47(b) 所示。整體而言，夏季鹽度介於 31.92~33.00，秋季鹽度介於 33.18~34.00，冬季鹽度介於 33.47~34.39，春季鹽度則介於 33.43~34.47，觀測期間之平均鹽度為 33.37。

(3) 酸鹼度 pH

海水 pH 一般介於 8.0～8.5 之間，主要受到季節循環及區域影響而改變。夏季，因增溫及強烈光合作用，使上層海水中的二氧化碳濃度降低，pH 值上升；冬季則作用相反，海水中的二氧化碳濃度增加，pH 值則隨之下降[51]。若受到陸源廢水污染時，海水 pH 值及溶氧可能產生明顯的變化[50]，故常作為水質評估的重要參數。觀測期間，逐月 pH 變化情況如圖 4.47(c) 所示。整體而言，pH 變化介於 8.09~8.34 之間，夏季 pH 介於 8.1~8.3，秋季 pH 介於 8.1~8.2，冬季 pH 介於 8.1~8.3，春季 pH 則介於 8.1~8.2，觀測期間之平均 pH 值為 8.18，符合乙類海洋環境品質標準 pH：7.8～8.5 之規範。

(4) 溶氧(DO)

溶氧受到水體光合作用強度及水溫高低影響，一般而言，當水溫偏低時，水體溶氧量會較高，此外當水中浮游植物行光合作用旺盛時，亦會使水中溶氧量提高。若水體受到有機物質污染，水中微生物將於分解有機物過程中消耗水中的溶氧，造成水中溶氧降低甚至缺氧的情況產生。觀測期間，逐月 DO 變化情況如圖 4.47(d) 所示。整體而言，夏季 DO 介於 5.43~6.77 mg/L，秋季 DO 介於 5.64~6.67 mg/L，冬季 DO 介於 7.34~7.38 mg/L，春季 DO 介於 6.29~7.25 mg/L，DO 整體介於 5.43~7.38 mg/L 之間，觀測期間平均 DO 為 6.34mg/L，符合乙類海洋環境品質標準 DO>5.0 mg/L 之規範。

(5) 導電度

導電度與水中離子總濃度、移動性、相對濃度及水溫等有關。通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多[16]。觀測期間，逐月導電度變化情況如圖 4.48(a) 所示。整體而言，臺中港 4 號碼頭之導電度變化介於 49.12~52.31 ms/cm 之間。夏季導電度介於 49.12~50.60 ms/cm，秋季導電度介於 50.78~51.74 ms/cm，冬季導電度介於 50.90~52.16 ms/cm，春季導電度則介於 51.05~52.31 ms/cm，觀測期間之平均導電度為 50.93ms/cm。

(6) 總溶解固體量

總溶解固體表示在水中溶解的固體物質總量，其中包括：溶解性碳酸氫離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉與鉀；揮發及非揮發性固體等[16]。觀測期間，逐月總溶解固體量變化情況如圖 4.48(b) 所示。整體而言，臺中港 4 號碼頭之總溶解固體量變化介於 31.93~34.00 之間。夏季總溶解固體量介於 31. 93~32.89 g/L，秋季總溶解固體量介於 33.00~33.63g/L，冬季總溶解固體量介於 33.09~33.90 g/L，春季溶解固體量則介於 31.93~34.00 g/L，觀測期間之平均總溶解固體量為 33.11 g/L。

(7) 濁度

濁度的來源包括黏粒、坋粒、細微有機物、浮游生物或微生物等，濁度高會影響水體外觀並阻礙光的穿透，進而影響水生植物的光合作用。高濁度情況下，亦會使魚類的呼吸作用受阻，影響魚類的生長與繁殖[16]。觀測期間，逐月濁度變化情況如圖 4.48(c) 所示。整體而言，臺中港 4 號碼頭之濁度變化介於 1.38~4.66 之間。夏季濁度介於 1.38~2.95NTU 之間，秋季濁度介於 2.97~4.56NTU 之間，冬季濁度介於 2.69~4.66NTU 之間，春季濁度則介於 2.55~3.87NTU 之間，觀測期間之平均濁度為 3.09NTU。

第五章 金屬試片附著生物量及海域環境監測分析

5.1 成對樣本 t 檢定

金屬試片附著生物觀測期間(108 年 6 月至 109 年 9 月)，飛沫帶之金屬試片皆無海洋附著生物出現，故僅彙整間潮汐帶及水中帶的 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼，經金屬暴露試驗後，藤壺、二枚貝類和管蟲附著生長量進行成對樣本 t 檢定，藉以「交互比較」三種材質的金屬試片附著生物量之平均值是否有所差異。各暴露區域金屬試片之海洋附著生物成對樣本 t 檢定結果，如表 5-1~表 5-6 所示。

(1) 潮汐帶之藤壺

由表 5-1 統計結果可知，潮汐帶三種材質的金屬試片之藤壺附著量各包含 15 個樣本，藤壺附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均值分別為 27.400、78.200、50.867 個。在成對樣本 t 檢定中，SM490B - SS316L 檢定統計量 t 值=-1.716，SS316L - SS400 檢定統計量 t 值= 1.039，SS400 - SM490B 檢定統計量 t 值=2.452，雙尾顯著性 p 值分別為 0.108、0.316、0.028，其中 SS400 - SM490B 之雙尾顯著性 p 值＜0.05，表示 SS400 - SM490B 金屬試片藤壺附著量具顯著差異；SM490B - SS316L 及 SS316L - SS400 間則無顯著差異。

(2) 潮汐帶之二枚貝類

由表 5-2 統計結果可知，潮汐帶三種材質的金屬試片之二枚貝類附著量各包含 15 個樣本，二枚貝類附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 5.333、3.733、9.267 個。在成對樣本 t 檢定中，SM490B - SS316L 檢定統計量 t 值=1.184，SS316L - SS400 檢定統計量 t 值= -1.644，SS400 - SM490B 檢定統計量 t 值=1.336，雙尾顯著性 p 值分別為 0.256、0.122、0.203，雙尾顯著性 p 值皆>0.05，表示三種金屬試片二枚貝類附著生長量交互比對無顯著差異。

(3) 潮汐帶之管蟲

由表 5-3 統計結果可知，潮汐帶三種材質的金屬試片之管蟲附著量各包含 15 個樣本，管蟲附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均值分別為 0.667、0.000、0.267 個。在成對樣本 t 檢定中，SM490B - SS316L 檢定統計量 t 值=1.540，SS316L - SS400 檢定統計量 t 值=-1.468，SS400 - SM490B 檢定統計量 t 值=-1.193，雙尾顯著性 p 值分別為 0.146、0.164、0.253，雙尾顯著性 p 值皆>0.05，表示三種金屬試片管蟲附著量交互比對並無顯著差異。

(4) 水中帶之藤壺

由表 5-4 統計結果可知，水中帶三種材質的金屬試片之藤壺附著量各包含 15 個樣本，藤壺附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均值分別為 23.067、23.800、34.533 個。在成對樣本 t 檢定中，SM490B - SS316L 檢定統計量 t 值= -0.107，SS316L - SS400 檢定統計量 t 值= -1.562，SS400 - SM490B 檢定統計量 t 值=1.544，雙尾顯著性 p 值分別為 0.917、0.141、0.145，雙尾顯著性 p 值皆>0.05，表示三種金屬試片藤壺附著量交互比對並無顯著差異。

(5) 水中帶之二枚貝類

由表 5-5 統計結果可知，水中帶三種材質的金屬試片之二枚貝類附著量各包含 15 個樣本，二枚貝類附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 2.133、4.400、4.467 個。在成對樣本 t 檢定中，SM490B - SS316L 檢定統計量 t 值=-3.697，SS316L - SS400 檢定統計量 t 值=-0.047，SS400 - SM490B 檢定統計量 t 值=1.581，雙尾顯著性 p 值分別為 0.002、0.963、0.136，其中 SM490B - SS316L 之雙尾顯著性 p 值＜0.05，表示 SM490B - SS316L 金屬試片二枚貝類附著量具顯著差異；SS316L - SS400 及 SS400 - SM490B 間則無顯著差異。

(6) 水中帶之管蟲

由表 5-6 統計結果可知，水中帶三種材質的金屬試片之管蟲附著量各包含 15 個樣本，管蟲附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均值分別為 39.933、39.667、54.333 個。在成對樣本 t 檢定中，SM490B - SS316L 檢定統計量 t 值=0.028，SS316L – SS0400 檢定統計量 t 值=-1.198，SS400 - SM490B 檢定統計量 t 值=1.263，雙尾顯著性 p 值分別為 0.978、0.251、0.227，雙尾顯著性 p 值皆>0.05，表示三種金屬試片管蟲附著量交互比對並無顯著差異。

表 5-1　潮汐帶各金屬試片之藤壺附著生長量成對樣本 t 檢定結果

(1)　成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤
成對 1	SM490B	27.4000	15	26.21559	6.76884
	SS316L	78.2000	15	105.18025	27.15742
成對 2	SS316L	78.2000	15	105.18025	27.15742
	SS400	50.8667	15	43.17054	11.14658
成對 3	SS400	50.8667	15	43.17054	11.14658
	SM490B	27.4000	15	26.21559	6.76884

(2)　成對樣本相關

		量	相關	顯著性
成對 1	SM490B 和 SS316L	15	-.252	.364
成對 2	SS316L 和 SS400	15	.281	.311
成對 3	SS400 和 SM490B	15	.520	.047

(3)　成對樣本檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性(雙尾)
	平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
				下界	上界			
成對 1　SM490B-SS316L	-50.80000	114.63495	29.59862	-114.28272	12.68272	-1.716	14	.108
成對 2　SS316L-SS400	27.33333	101.86592	26.30167	-29.07814	83.74480	1.039	14	.316
成對 3　SS400-SM490B	23.46667	37.06725	9.57072	2.93951	43.99382	2.452	14	.028

表 5-2　潮汐帶各金屬試片之二枚貝類附著生長量成對樣本 t 檢定結果

(1)　成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤
成對 1	SM490B	5.3333	15	6.17213	1.59364
	SS316L	3.7333	15	4.25049	1.09747
成對 2	SS316L	3.7333	15	4.25049	1.09747
	SS400	9.2667	15	14.08376	3.63641
成對 3	SS400	9.2667	15	14.08376	3.63641
	SM490B	5.3333	15	6.17213	1.59364

(2)　成對樣本相關

		量	相關	顯著性
成對 1	SM490B 和 SS316L	15	.548	.034
成對 2	SS316L 和 SS400	15	.389	.152
成對 3	SS400 和 SM490B	15	.613	.015

(3)　成對樣本檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
				下界	上界			
成對 1　SM490B-SS316L	1.60000	5.23450	1.35154	-1.29877	4.49877	1.184	14	.256
成對 2　SS316L-SS400	-5.53333	13.03219	3.36490	-12.75032	1.68366	-1.644	14	.122
成對 3　SS400-SM490B	3.93333	11.39841	2.94306	-2.37890	10.24556	1.336	14	.203

表 5-3　潮汐帶各金屬試片之管蟲附著生長量成對樣本 t 檢定結果

(1)　成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤
成對 1	SM490B	.6667	15	1.67616	.43278
	SS316L	.0000	15	.00000	.00000
成對 2	SS316L	.0000	15	.00000	.00000
	SS400	.2667	15	.70373	.18170
成對 3	SS400	.2667	15	.70373	.18170
	SM490B	.6667	15	1.67616	.43278

(2)　成對樣本相關

		量	相關	顯著性
成對 1	SM490B 和 SS316L	15	.	.
成對 2	SS316L 和 SS400	15	.	.
成對 3	SS400 和 SM490B	15	.686	.005

(3)　成對樣本檢定

		成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
		平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
					下界	上界			
成對 1	SM490B-SS316L	.66667	1.67616	.43278	-.26156	1.59490	1.540	14	.146
成對 2	SS316L-SS400	-.26667	.70373	.18170	-.65638	.12305	-1.468	14	.164
成對 3	SS400-SM490B	-.40000	1.29835	.33523	-1.11900	.31900	-1.193	14	.253

表 5-4　水中帶各金屬試片之藤壺附著生長量成對樣本 t 檢定結果

(1)　成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤
成對 1	SM490B	23.0667	15	16.70956	4.31439
	SS316L	23.8000	15	22.16239	5.72230
成對 2	SS316L	23.8000	15	22.16239	5.72230
	SS400	34.5333	15	27.00758	6.97333
成對 3	SS400	34.5333	15	27.00758	6.97333
	SM490B	23.0667	15	16.70956	4.31439

(2)　成對樣本相關

		量	相關	顯著性
成對 1	SM490B 和 SS316L	15	.082	.772
成對 2	SS316L 和 SS400	15	.428	.111
成對 3	SS400 和 SM490B	15	.200	.474

(3)　成對樣本檢定

		成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
		平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
					下界	上界			
成對 1	SM490B-SS316L	-.73333	26.64440	6.87955	-15.48851	14.02184	-.107	14	.917
成對 2	SS316L-SS400	-10.73333	26.61221	6.87124	-25.47068	4.00402	-1.562	14	.141
成對 3	SS400-SM490B	11.46667	28.77218	7.42894	-4.46683	27.40017	1.544	14	.145

表 5-5　水中帶各金屬試片之二枚貝類附著生長量成對樣本 t 檢定結果

(1)　成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤
成對 1	SM490B	2.1333	15	2.06559	.53333
	SS316L	4.4000	15	2.52982	.65320
成對 2	SS316L	4.4000	15	2.52982	.65320
	SS400	4.4667	15	5.33006	1.37622
成對 3	SS400	4.4667	15	5.33006	1.37622
	SM490B	2.1333	15	2.06559	.53333

(2)　成對樣本相關

		量	相關	顯著性
成對 1	SM490B 和 SS316L	15	.481	.069
成對 2	SS316L 和 SS400	15	.171	.543
成對 3	SS400 和 SM490B	15	.000	.999

(3)　成對樣本檢定

		成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
		平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
					下界	上界			
成對 1	SM490B-SS316L	-2.26667	2.37447	.61308	-3.58160	-.95173	-3.697	14	.002
成對 2	SS316L-SS400	-.06667	5.49632	1.41914	-3.11043	2.97709	-.047	14	.963
成對 3	SS400-SM490B	2.33333	5.71548	1.47573	-.83179	5.49846	1.581	14	.136

表 5-6　水中帶各金屬試片之管蟲附著生長量成對樣本 t 檢定結果

(1)　成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤
成對 1	SM490B	39.9333	15	40.42889	10.43869
	SS316L	39.6667	15	33.98669	8.77533
成對 2	SS316L	39.6667	15	33.98669	8.77533
	SS400	54.3333	15	33.84137	8.73780
成對 3	SS400	54.3333	15	33.84137	8.73780
	SM490B	39.9333	15	40.42889	10.43869

(2)　成對樣本相關

		量	相關	顯著性
成對 1	SM490B 和 SS316L	15	.525	.045
成對 2	SS316L 和 SS400	15	.023	.935
成對 3	SS400 和 SM490B	15	.303	.273

(3)　成對樣本檢定

		成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
		平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
					下界	上界			
成對 1	SM490B-SS316L	.26667	36.71603	9.48004	-20.06599	20.59932	.028	14	.978
成對 2	SS316L-SS400	-14.66667	47.40956	12.24110	-40.92121	11.58787	-1.198	14	.251
成對 3	SS400-SM490B	14.40000	44.17304	11.40543	-10.06221	38.86221	1.263	14	.227

5.2 單因子變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)

金屬試片附著生物觀測期間(108 年 6 月至 109 年 9 月)，飛沫帶之金屬試片皆無海洋附著生物出現，故僅彙整間潮汐帶及水中帶的 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼，經金屬暴露試驗後，藤壺、二枚貝類和管蟲附著生長量進行單因子獨立變異數分析，藉以比較三種材質的金屬試片附著生物量之變異數是否有所差異。潮汐帶、水中帶與金屬試片之海洋附著生物單因子獨立變異數分析結果，如表 5-7、表 5-8 所示，每一種金屬試片皆具 15 個樣本，故每次分析總計包含 45 個樣本。

(1) 潮汐帶

由表 5-7 統計結果可知，潮汐帶藤壺附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 27.400、78.200、50.867 個。單因子變異數分析後，F 統計值為 2.137，顯著性 p 值=0.131，p 值>0.05，顯示藤壺對 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

潮汐帶二枚貝類附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 5.333、3.733、9.267 個。單因子變異數分析後，F 統計值為 1.434，顯著性 p 值=0.250，p 值>0.05，顯示二枚貝類對 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

潮汐帶管蟲附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 0.667、0.000、0.267 個。單因子變異數分析後，F 統計值為 1.533，顯著性 p 值=0.228，p 值>0.05，顯示管蟲對 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

(2) 水中帶

由表 5-8 統計結果可知，水中帶藤壺附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 23.067、23.800、34.533 個。單因子變異數分析後，F 統計值為 1.236，顯著性 p 值=0.301，p 值>0.05，顯示藤壺對 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

水中帶二枚貝類附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 2.133、4.400、4.467 個。單因子變異數分析後，F 統計值為 2.032，顯著性 p 值=0.144，p 值>0.05，顯示二枚貝類對 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

水中帶管蟲附著於 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量平均數分別為 39.933、39.667、54.333 個。單因子變異數分析後，F 統計值為 0.805，顯著性 p 值=0.454，p 值>0.05，顯示管蟲對 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

表 5-7　潮汐帶各金屬試片與附著生物生長量之單因子獨立變異數分析結果

描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
						下界	上界		
barnacle	1.00	15	27.4000	26.21559	6.76884	12.8823	41.9177	3.00	77.00
	2.00	15	78.2000	105.18025	27.15742	19.9531	136.4469	2.00	306.00
	3.00	15	50.8667	43.17054	11.14658	26.9596	74.7737	.00	120.00
	總和	45	52.1556	69.08261	10.29823	31.4008	72.9103	.00	306.00
bivalve	1.00	15	5.3333	6.17213	1.59364	1.9153	8.7513	.00	16.00
	2.00	15	3.7333	4.25049	1.09747	1.3795	6.0872	.00	12.00
	3.00	15	9.2667	14.08376	3.63641	1.4673	17.0660	.00	39.00
	總和	45	6.1111	9.30108	1.38652	3.3168	8.9055	.00	39.00
tubeworm	1.00	15	.6667	1.67616	.43278	-.2616	1.5949	.00	6.00
	2.00	15	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	3.00	15	.2667	.70373	.18170	-.1230	.6564	.00	2.00
	總和	45	.3111	1.06221	.15834	-.0080	.6302	.00	6.00

變異數同質性檢定

	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
barnacle	8.101	2	42	.001
bivalve	9.415	2	42	.000
tubeworm	6.934	2	42	.002

單因子變異數分析

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
barnacle	組間	19392.178	2	9696.089	2.137	.131
	組內	190593.733	42	4537.946		
	總和	209985.911	44			
bivalve	組間	243.244	2	121.622	1.434	.250
	組內	3563.200	42	84.838		
	總和	3806.444	44			
tubeworm	組間	3.378	2	1.689	1.533	.228
	組內	46.267	42	1.102		
	總和	49.644	44			

表 5-8　水中帶各金屬試片與附著生物生長量之單因子獨立變異數分析結果

描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
						下界	上界		
barnacle	1.00	15	23.0667	16.70956	4.31439	13.8132	32.3201	2.00	70.00
	2.00	15	23.8000	22.16239	5.72230	11.5269	36.0731	.00	62.00
	3.00	15	34.5333	27.00758	6.97333	19.5770	49.4896	7.00	95.00
	總和	45	27.1333	22.47888	3.35095	20.3799	33.8867	.00	95.00
bivalve	1.00	15	2.1333	2.06559	.53333	.9894	3.2772	.00	6.00
	2.00	15	4.4000	2.52982	.65320	2.9990	5.8010	.00	8.00
	3.00	15	4.4667	5.33006	1.37622	1.5150	7.4184	.00	16.00
	總和	45	3.6667	3.69274	.55048	2.5572	4.7761	.00	16.00
tubeworm	1.00	15	39.9333	40.42889	10.43869	17.5446	62.3221	.00	117.00
	2.00	15	39.6667	33.98669	8.77533	20.8455	58.4879	2.00	107.00
	3.00	15	54.3333	33.84137	8.73780	35.5926	73.0741	.00	114.00
	總和	45	44.6444	36.05561	5.37485	33.8121	55.4767	.00	117.00

變異數同質性檢定

	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
barnacle	2.903	2	42	.066
bivalve	6.931	2	42	.003
tubeworm	.550	2	42	.581

單因子變異數分析

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
barnacle	組間	1236.133	2	618.067	1.236	.301
	組內	20997.067	42	499.930		
	總和	22233.200	44			
bivalve	組間	52.933	2	26.467	2.032	.144
	組內	547.067	42	13.025		
	總和	600.000	44			
tubeworm	組間	2112.711	2	1056.356	.805	.454
	組內	55087.600	42	1311.610		
	總和	57200.311	44			

5.3 海域環境監測分析

本研究於臺中港 4 號碼頭之監測項目眾多，為掌握環境變動之整體趨勢，必須先將眾多監測項目化約。係採用主成份分析法將眾多之環境監測項目化約為相互獨立且項目較少之新變數。

主成份分析係由 Pearson 於 1901 年提出基礎理論所發展出之多變量統計方法。此多變量統計法之設計，主要在盡量保留原始數據資訊的前提下，取若干線性組合，將多筆且複雜之原始數據轉換為具高度相關代表性之主成份。經過線性轉換後之主成份具有下列特性：

(1) 每一主成份為原始數據的線性組合。

(2) 第一主成份必需能解釋是最大的資料變異數。

(3) 接下來的第 N 個主成份能解釋扣除第一、第二…及第 $N-1$ 個主成份後所剩餘的最大資料變異量。

(4) 所有主成份加起來可百分之百解釋原始資料變異量。

(5) 各主成份之間獨立無相關性。

在應用上，可按資料變異量解釋能力，選擇前幾個主成份，並將其視為獨立之新變數來進行分析。從原始數據轉換為主成份之過程可視為一種正交座標變換，其方程式如下：

設 $X=(X_1...X_P)'$ 為 p 維經過標準化之隨機變數，其變異數記為 $Var(X)$。若主成份 Y 為 X 之線性組合：

$$\begin{cases} Y_1 = I_1'X = l_{1,1}X_1 + ...+ l_{p,1}X_p \\ \qquad\qquad ..... \\ Y_p = I_p'X = l_{p,1}X_1 + ...+ l_{p,p}X_p \end{cases} \tag{5.1}$$

則 Y 的變異數級共變異數分別為：

$$Var(Y_i) = I_i'Var(X)I_i \tag{5.2}$$

$$Cov(Y_i,Y_j) = I_i'Var(X)I_j \tag{5.3}$$

其中$i, j = 1,..., p$

如果使Y_1盡可能保留X的變異量，最經典的方法是使Y_1的變異量盡可能大，而在計算上是求單位矩陣，使得$I_1'I_1 = 1$。

其它的主成份Y_i也希望盡可能多地保留剩餘的X變異量，所以在方法上也是同樣使$Var(Y_i)$儘量大，即解I_i以滿足$I_1'I_1 = 1$；又因在Y_i之前的$Y_1,...,Y_{j-1}$已保留的變異量就不必再重複保留，所以必需另外限制$Cov(Y_i, Y_j) = 0, j = 1,...,i-1$。

設$Var(X)$的特徵值為$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq ... \geq \lambda_p \geq 0$，且對應的單位特徵向量為$v_1,...,v_p$。則$X$的第$i$個主成份為$Y_i = v_i'X, i = 1,..., p$且$Var(Y_i) = \lambda_i$。定義主成份$Y_k$之變異量解釋率$\Psi_k$為：

$$\Psi_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i-1}^{p} \lambda_i} \tag{5.4}$$

則前 m 個主成份之累計變異量解釋率為

$$\sum_{i=1}^{m} \Psi_i = \frac{\sum_{i-1}^{m} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{p} \lambda_i} \tag{5.5}$$

在應用上一般是選取前m個變異量解釋力大於 5%的主成份值，而將原始變數之維數由p縮減為m。

研究針對臺中港4號碼頭108年6月至109年9月間之水質監測項目：水溫(℃)、鹽度、溶氧(mg/L)、酸鹼度、導電度、總溶解固體量、濁度七項變異數進行KMO以及Bartlett檢定，藉以判定資料是否適合進行因素分析以及抽樣的適切與否。KMO是Kaiser-Meyer-Olkin的取樣適當性衡量量數，當KMO值越大，表示變數間的共同因素越多，越適合進行因素分析，KMO統計量判斷對照表如表5-9所示。根據Kaiser的觀點，若KMO＞0.9表示應用因素分析適合性極佳，KMO＞0.80表示良好，若KMO＜0.50則表示無法接受採用因素分析[52]。Bartlett球型檢定是一種用於檢驗相關矩陣中各變量間的相關性，因素分析前先進行KMO檢驗和Bartlett檢定。在因素分析中，若拒絕原假設，則說明可以做因素分析，若不拒絕原假設，則說明這些變數可能獨立提供一些訊息，不適合做因素分析。

表 5-9　KMO 統計量判斷表

KMO統計量	因素分析適合性
0.90-1.00	極佳 intrpretation
0.80-0.89	良好 meritorious
0.70-0.79	中等 middling
0.60-0.69	普通 mediocre
0.50-0.59	不佳 miserable
0.00-0.49	無法接受 unaccept

各項水質監測參數觀察數據之KMO與Bartlett檢定結果，如表5-10所示。分析結果顯示，KMO統計量為0.666，Bartlett檢定統計量近似卡方分配為180.3，自由度為21，p-value 0.000＜α ＝0.05，達到顯著水準(p＜.001)，因此變數可適合接續進行因素分析。

表 5-10　水質參數之相關性檢定

KMO 與 Bartlett 檢定		
Kaiser-Meyer-Olkin 取樣適切性量數。		.666
Bartlett 的球形檢定	近似卡方分配	180.300
	自由度(df)	21
	顯著性	.000

陡坡圖，可用以協助決定因數之個數，當線行趨於平緩時，表示已無特殊因素值得抽取，由圖5.1可知，成分編號1-2之間特徵值有急速下降之趨勢，表示有特殊因素存在，故萃取兩項因素已足夠解釋變數變異量。參照解說變異量之分析結果，可用以說明因素分析所抽取的因素能解釋全體變數變異量之比例，如表5-11所示，第一項因素可解釋61.949%的變數變異量，第二項因素可解釋21.448%的變數變異量，由成份矩陣(表5-12)可知，第一項因素主要受到鹽度、總溶解固體量、導電度、溫度及溶氧之影響，第二項因素則受到pH及濁度影響，總整兩項因素，可解釋83.397%的變數變異量。

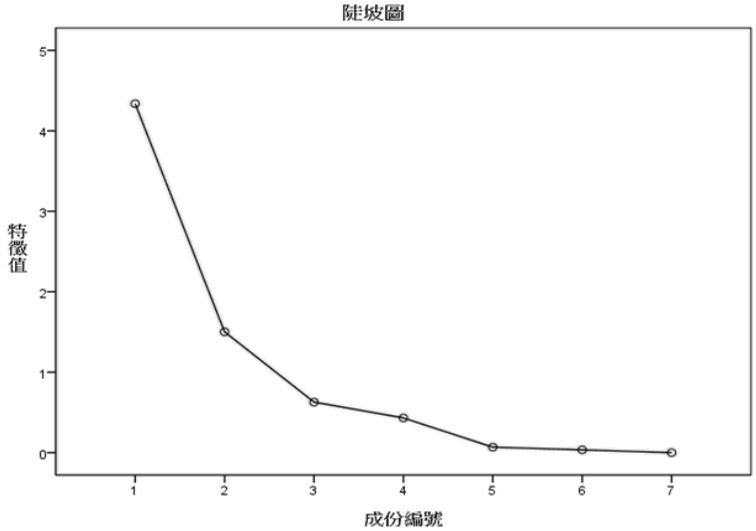


圖 5.1　因素分析之陡坡圖

表 5-11　水質參數之解說總變異量

元件	初始特徵值			平方和負荷量萃取		
	總數	變異數的 %	累積%	總數	變異數的 %	累積%
1	4.336	61.949	61.949	4.336	61.949	61.949
2	1.501	21.448	83.397	1.501	21.448	83.397
3	.628	8.973	92.370			
4	.431	6.159	98.529			
5	.068	.972	99.501			
6	.035	.499	100.000			
7	1.413E-005	.000	100.000			

表 5-12　水質參數之成份矩陣

轉軸後的成份矩陣[a]

	元件	
	1	2
salinity	.937	
TDS	.913	
conductivity	.912	
temperature	-.897	
DO	.836	
pH		-.896
turbidity		.825

萃取方法：主成分分析。

旋轉方法：旋轉方法：含 Kaiser 常態化的 Varimax 法。

a. 轉軸收斂於 3 個疊代。

第六章 結論與建議

本計畫於離岸風電基地母港臺中港 4 號碼頭進行現地金屬腐蝕試驗、海洋附著生物調查與自動連續水質監測系統建置。藉由建立長期完整並具時效的水質參數資料，並與金屬腐蝕速率、海洋生物附著種類與數量等研究數據交互比對，提供臺中港維護管理計畫擬定參考之用。

6.1 結論

1. 調查結果顯示，108 年 6 月至 109 年 9 月觀察期間，SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 碳鋼三種金屬試片於「飛沫帶」皆無觀察到海洋附著生物；「潮汐帶」以藤壺及二枚貝類為大宗，其中又以藤壺數量最豐，管蟲僅少量出現；「水中帶」的金屬試片發現之生物種類最多，包含藤壺、管蟲及二枚貝類。暴露 13 至 16 個月時，潮汐帶及水中帶金屬試片上之藤壺及二枚貝類個體偏小，推測可能受到附著生物生長週期影響所致。

2. 整體而言，飛沫帶、潮汐帶及水中帶暴露區域之金屬腐蝕速率皆於暴露試驗前期(1-3 個月)變化較為顯著，隨著暴露時間增長，金屬試片表面鏽層及附著生物生長逐漸趨於穩定，故於暴露時間 3 個月後，金屬試片腐蝕速率變化相對暴露試驗前期趨於緩和。

3. SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 碳鋼三種金屬試片暴露一年後，其腐蝕速率由高至低大致呈現：飛沫帶>水中帶>潮汐帶之情況。腐蝕速率以 SS316L 不鏽鋼最低，故 SS316L 不鏽鋼是為三種港工結構材中抗腐蝕性最高之金屬材料，平均腐蝕速率為 0.4~57.3 μm/yr。

4. 108 年 06 月 01 日至 109 年 9 月 30 日期間，於臺中港 4 號碼頭針對溫度、鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度參數進行連續水質監測。觀察期間，海域水溫介於 19-71~31.41

℃，鹽度介於 31.92~4.47，pH 介於 8.1~8.3 之間，溶氧介於 4.72~7.38mg/L，導電度介於 49.12~52.31 ms/cm，總溶解固體量介於 31.93~34.00g/L 之間，濁度則介於 1.38~4.66NTU。

5. 交互比較 SM490B 碳鋼、SS316L 不鏽鋼及 SS400 低碳鋼三種材質的金屬試片附著生物量之平均值，僅潮汐帶 SS400 - SM490B 之藤壺附著量(p=0.028＜0.05)及水中帶 SM490B - SS316L 之二枚貝類附著量 (p=0.002＜0.05)具顯著差異，其餘潮汐帶及水中帶之附著生物量(二枚貝類、管蟲)平均值皆無顯著差異；三種材質的金屬試片於汐帶及水中帶之附著生物量之變異數亦皆無顯著差異。水質參數主成分分析顯示，因素分析可分為兩項，第一項因素主要受到鹽度、總溶解固體量、導電度、溫度及溶氧之影響，第二項因素則受到 pH 及濁度影響，綜整兩項因素，可解釋相關海域水質監測資料 83.397%的變數變異量。

6.2 建議

1. 金屬試架暴露試驗歷經一年觀察期，金屬試片表層因鏽蝕而出現剝落現象，海洋附著物除於實驗室觀察外，建議同時搭配現場採樣之影像紀錄協助分析，以減低海洋附著生物量評估之誤差。

2. 海洋環境調查與海洋附著生物分布受海域、洋流、季節等多重因子交互影響，故欲掌握特定海域之生物化學特性，建議以「季」做為估測週期，持續進行 2-3 年之現地觀察，俾以建立海域季節性之背景參數值。

3. 本次研究已針對海洋附著生物種類及環境水質之鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等水質參數資料進行觀察與監測，建議監測項目可再增加流速、流量，藉以評估海流可能造成之腐蝕影響，另可增加葉綠素 a 之量測，輔以做為推估海洋附著生物生長情況之重要參考。

4. 港區及海上結構物皆以「長期使用」進行規劃與設計，若欲評估各暴露區域及各式金屬材質之腐蝕情況，建議仍需持續進行腐蝕速率觀測，同時輔以水域環境、海洋附著生物生長等相關影響因子進行觀測調查與交互比對，提供港區及海上結構物維管計畫擬定之參考，以延長結構物使用壽命，提高安全性與經濟效益。

6.3 研究成果之效益

1. 學術效益: 論文發表國內研討會 1 篇。

   羅建明、溫志中、葉秀貞、莊凱迪、黃宇謙、林鳳嬌「離岸基地母港海域水質環境及金屬附著生物調查」, 第 42 屆海洋工程研討會論文集，2020。

2. 社會環境安全影響：臺中港為離岸風場施工的基地母港，本計畫針對其與鄰近海域腐蝕因子進行調查研究，探討腐蝕環境分類特性、海水水質分析與海洋附著生物特性，評估金屬構件防蝕技術及適用之防蝕工法，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。

6.4 提供單位應用情形

1. 提供交通部、港務公司及工程顧問公司等選用離岸風電相關工程金屬材料及設計防蝕工法之決策參據，確保設施達到或超過設計使用年限，避免或減少損毀事故發生。

2. 提供國內風電產業與港務公司辦理相關工程設施防蝕規劃、設計與施工及研擬維管計畫參考應用。

參考文獻

1. 「離岸風力發電場址作業申請要點」，經濟部能源局，2015。
2. 「前瞻基礎建設計畫--臺中港離岸風電產業專區」，交通部，2017。
3. 林維明、饒正、柯正龍、羅建明、張道光等，「港工結構材海生物附著與對策研究」，港灣技術研究所，2007。
4. Seth, J. P., & Rita, F. B. (2017). Corrosion protection systems and fatigue corrosion in offshore wind structures: current status and future perspectives. *Coatings, 7(2),* p.25.
5. Tomashov, N. D. (1966). *Theory of corrosion and protection of metals; the science of corrosion*, New York, Macmillan.
6. 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」，港灣技術研究所，2002。
7. 岡本剛，井上勝也，「腐蝕與防蝕」，大日本圖書公司，1977。
8. Snyder, R, M. & Huil, S. (1965). Parametric Variables Affecting Corrosion, *Geo-Marine Technology*, pp.17-24.
9. Fink, F. W. (1960) Corrosion of Metals in Seawater", Department of the Interior Office of Salie Water, USA, *Research and Development Progress Report*, *46.*
10. Copson, H. R. (1952). Effects of Velocity on Corrosion by Water, *Industrial and Engineering Chemistry, 44,* pp.17-45.
11. Murooka, J. S. (1963). The Effects of Fouling by Deep-Ocean Marine Organism, *Undersea Technology*, pp.22-24.
12. Pope, D. H. (1984). Microbiologically Influenced Corrosion: A State of the Art Review, *MTI Publication, 13*.
13. 林維明、毛維雲、魏豐義，「臺灣海域之腐蝕特性、防蝕設計及材

料之選用及開發研究」，港灣技術研究所，1991。

14. Corrosion Prevention and Control, (1964). NAVDOCKS. MO-306.

15. 「臺灣地區漁港基本資料」，農委會漁業署，2003。

16. 行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網,「水質監測業務介紹，相關詞彙及定義」，取自 https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Vocabulary.aspx。

17. 張銘榜，「海岸人工結構物-附著性指標生物之研究」，中華大學土木工程學系碩士論文，2005 年。

18. 洪蕙娟，「洋流發電水下海生物附著及防污塗料分析」，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2012。

19. 中國科學院南海海洋研究院，「我國無柄蔓足類(藤壺類)領域研究的進展」，中國動物學會甲殼動物學會分會成立 20 周年暨劉瑞玉院是從事海洋工作 55 周年學術研討會，192-199 頁，2002。

20. 探索自然叢書編委會，「探索自然叢書：探秘海洋」，科學普及出版社，2012。

21. 陳文德，「海洋漁夫-1 藤壺」，國立海洋生物博物館館訊，第 77 期，10-11 頁，2015。

22. 趙梅英、陳立僑、禹 娜,「藤壺— 高度適應附著的海洋污損生物」，生物學教學，第 29 卷，第 5 期，56-57 頁，2004。

23. Shenkar N., Bronstein O., & Loya Y. (2008). Population dynamics of a coral reef ascidian in a deteriorating environment. *Marine Ecology Progress Series, 367,* pp.163-171.

24. Ruiz G. M., Freestone A. L., Fofonoff P. W., & Simkanin, C. (2009). *Habitat distribution and heterogeneity in marine invasion dynamics: the importance of hard substrate and artificial structure, Marine Hard Bottom Communities,* Berlin Heidelberg: Springer, pp.321-332.

25. Castilla J. C, Lagos N. A., & Cerda M. (2004). Marine ecosystem engineering by the alien ascidian Pyura praeputialis on a mid-intertidal rocky shore. *Marine Ecology Progress Series, 268(1),* pp.119-130.

26. Blum J. C, Chang A. L., Liljesthröm M., Schenk M. E., Steinberg M. K., & Ruiz G. M. (2007). The non-native solitary ascidian Ciona intestinalis (L.) depresses species richness. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 342(1),* pp.5-14.

27. Bak R. P. M., Lambrechts D. Y. M., Joenje M., Nieuwland G., & Van Veghel M. L. J. (1996). Long-term changes on coral reefs in booming populations of a competitive colonial ascidian. *Marine Ecology Progress Series, 133(1/3),* pp.303-306.

28. Bullard S. G., Carman M. R., Rocha R. M., Dijkstra J. A., & Goodwin A. M. (2011). Abundance and diversity of ascidians in the southern Gulf of Chiriquí, Pacific Panama. *Aquatic Invasions, 6(4),* pp.381-390.

29. 黃宗國、蔡如星、江錦祥、蔡爾西、吳啟泉，「瓊州海峽及雷州半島沿岸浮標的污損生物」，海洋與湖沼，第 13 卷，第 3 期，259-266 頁，1982。

30. 嚴濤、韓帥帥、王建軍、林和山、曹文浩，「污損性海鞘的生態特點研究展望」，生態學報，第 37 卷，第 20 期，6647-6655 頁，2017。

31. 中國科學院海洋研究所，「神奇的海洋生物—主要的海洋生物門類」，2020 年 10 月 06 日，取自：http://www.qdio.cas.cn/2019Ver/Science/kpwz/200910/t20091010_5480680.html。

32. 嚴濤、謝恩義、曹文浩、劉姍姍、何毛賢等，「華南沿海 4 種主要污損生物幼蟲和孢子的採集與培養技術」，熱帶海洋學報，第 30 卷，第 3 期，56-61 頁，2011。

33. 海洋國家公園管理處，「貝類大概有多少分類？」， 2020 年 08 月 04 日，取自 https://www.marine.gov.tw/。

34. 「海鮮各種貝類，文蛤、牡蠣、竹蟶、毛蚶…你都了解了嗎，第二篇」，2020 年 08 月 04 日，取自：https://kknews.cc/food/m6ve2lz.html。

35. 楊德漸、孫世春，「海洋無脊椎動物學」，中國海洋大學出版社，青島，2005。.

36. 嚴濤、胡煜峰、王建軍、曹文浩、鄭成興等，「海水管道系統大型污損生物特點與防除對策」，工業安全與環保，第 39 卷，第 3 期，43-45 頁，2013。

37. 梁金祿、蔡成翔、尹艷鎮、焦淑菲，「牡蠣附著腐蝕研究進展」，廣州化工，第 40 卷，第 5 期，28-30 頁，2012。

38. Schultz M. P., Bendick J. A., Holm E. R., & Hertel W. M. (2011). Economic impact of biofouling on a naval surface ship. *Biofouling, 27(1),* pp.87-98.

39. 嚴濤、方芳，「南海污損生物研究的現狀及展望」，熱帶海洋學報，第 23 卷，第 1 期，76-85 頁，2004。

40. 李靜、嚴濤、曹文浩、陳池、陳如江，「近海污損生物生態研究進展」，海洋通報，第 29 卷，第 1 期，113-119 頁，2004。

41. Swift M. R., Fredriksson D. W., Unrein A., Fullerton B., Patursson O., & Baldwin K. (2006). Drag force acting on biofouled net panels.. *Aquacultural Engineering, 35(3),* pp.292-299.

42. Sell D.(1992). *Marine fouling.* Proceedings of the Royal Society of Edinburg. 100B, pp.169-184.

43. 「臺中港環境監測 104 年報」，臺灣港務股份有限公司-臺中港務分公司，2015。

44. 林文，「淺談不鏽鋼種類、磁性與安全性」，衛生福利部食品藥物管理屬，2019 年 08 月 06 日，取自：https://www.fda.gov.tw/tc/site.aspx?sid=4061。

45. 劉新，「防蝕塗料塗裝技術」，化學工業出版社，北京，2016。

46. 羅建明、胡啟文、黃宇謙、柯正龍，「臺灣商港水下金屬材料一年期腐蝕速率調查研究」，港灣季刊，第 112 期，2019。

47. 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。

48. 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。

49. 臺灣港務股份有限公司-臺中港務分公司，「綠色港埠，環境監測」，取自 https://tc.twport.com.tw/chinese/cp.aspx?n=B485F69943E18D41&s=9C37E24AEEC173BA。

50. 「105 年度港口區域污染預防及削減計畫」執行進度報告，臺灣港務股份有限公司-臺中港務分公司，2016。

51. 陳敏，「化學海洋學」，海洋出版社，2009。

52. Gazzaz, N. M., Yusoff, M. K., Ramli, M. F., Aris, A. Z. & Juahir, H. (2012). Characterization of spatial patterns in river water quality using chemometric pattern recognition techniques. *Marine Pollution Bulletin, 64(4),* 688-698.

附錄一

期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查委員	審查意見	處理情形
林佑任委員	1. 本研究採用連續的水質各種指標監測，維護作業辛苦資料甚為珍貴難得，研究團隊的努力與用心值得肯定。	謝謝委員指教。
	2. 採用多功能集成式的探測器辦理水質監測項目，各種探測頭均甚為接近，請問是否有互相干擾情形。	水質探頭皆為獨立系統不會有互相干擾情形。但因置放於海水中易造成海生物附著，維護頻率較高，約 2 週即需清理保養維護。
	3. 水質指標之相關性中，PH 與濁度及 DO 一組似乎也可能有相當的關聯性，提供參考。	未來將納入統計關聯分析探討。
	4. 由於屬於開放水域，生物及環境因素複雜，連續監測過程是否可及時發現異常與維護及處理。	連續監測可及時發現異常水質變化對於港區開放水域更是重要。
王朝正委員	1. 資料內容豐富具被參考性，很有價值。	謝謝委員指教。
	2. 建議試驗時能併同電阻式探針腐蝕速率監測，以確認電阻法與試片法的相關性。	未來將視經費再進行探討電阻法與試片法相關性。

審查委員	審查意見	處理情形
許書王委員	1. 結論三，三種金屬試片對於防蝕成效，建議三者互相比較後，可列出並討論該三種金屬試片的特性，此可供業者參考，另未來可考量以實際材做研究探討。 2. P.6-2 建議 2 所述建議以「季」作為估測週期，建議提出是為季初、季中、季末為妥。 3. 建議增加觀察項目之文獻回顧，可供參考，另可增加相關海洋國家之相關文獻，期望更完整修正整個研究內容、項目。	將於未來研究參酌。 將於未來視經費於季初、季中、季末時程研究參酌。 相關文獻將積極收集整理納入未來辦理。
賴瑞應委員	1. 報告摘要與結論均提到三種金屬試片暴露一年後其腐蝕速率由高至低大致呈現：飛沫帶>水中帶>潮汐帶之情況。此情況是否符合國內外相關研究的現象，若不符合請保守論述或說明其可能原因。 2. 報告 4-41 頁表 4-4 潮汐帶金屬試片之附著生物生長變化情況，建議後續可再結合金屬腐蝕速率來呈現其關聯性。	已論述更正說明辦理。 關於附著生物生長變化情況與金屬試片關聯性將於未來研究深入探討。

審查委員	審查意見	處理情形
蔣敏玲委員	1. 中英文摘要請依本所出版品格式修改。	已更正辦理。
	2. p.1-4 工作項目提及〝預計……〞宜修改。	已更正辦理。
	3. 附錄建議納入工作會議紀錄及專家學者座談會記錄。	已納入辦理。
許義宏委員	1. 本計畫調查資料豐富，分析結果可提供港公司水下腐蝕防治之參考。	研究成果將出版供各界參考。
	2. 潮汐帶 SS316L 不銹鋼及水中帶 SM490B 碳鋼之腐蝕速率在第 13 個月均有明顯跳升，原因為何？	關於金屬試片腐蝕速率將細部比對完整海生物及水質數據判定跳升原因。
	3. pp.4-40~4-42 以數量變化探討附著生物之生長情形，建議未來可進一步探討體積(或重量、密度)之變化趨勢。	未來將納入附著生物生長趨勢研究參酌。
	4. 若經費允許，未來可於不同港域環境設置觀測系統，探討不同港域間之水質與腐蝕速率之比較。此外亦可進一步探討不同物種間之競爭與共生關係。	針對不同港域水質、腐蝕、海生物之比較未來將視經費允許再進行。

附錄二

期末審查簡報

109年度自辦計畫期末審查簡報

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查（2/2）

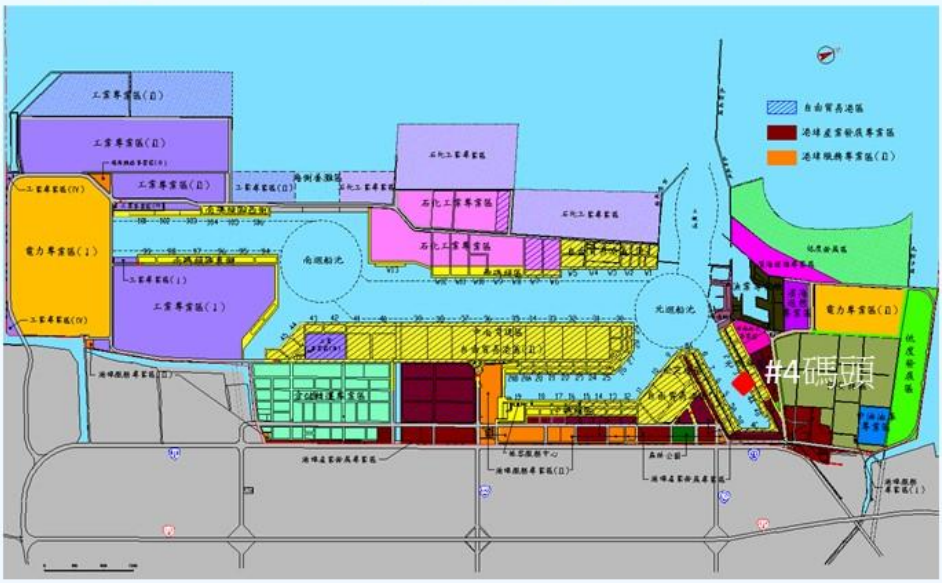
• 報告人：羅建明

中華民國109年12月10日

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

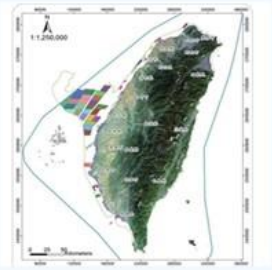
目 錄

1. 前言　　研究區域



臺中港區配置圖

1. 前言



本計畫針對離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕監測調查金屬構件腐蝕防治技術進行研究與分析。

臺中港（風電基地母港）

離岸風電產業專區（腹地、航道、運管）

金屬腐蝕試驗

連續水質監測

金屬結構防蝕應用擬定維護管理計畫

1. 前言　　研究項目、內容

本計畫為延續型計畫，去年(108)年度辦理成果如下：

一　完成臺中港金屬腐蝕試驗架製作及安裝。

二　完成金屬試片取樣作業。

三　完成金屬試片附著生物調查。

四　鄰近海域水質連續監測採樣調查分析。

本(109)年度研究項目、內容包括：

一　金屬材料腐蝕現地暴露試驗佈放取樣。

二　金屬試片採樣及附著生物調查。

三　基地母港與鄰近海域水質連續監測及採樣調查分析。

1. 前言　　預期成果、應用

(一) 預期成果

1. 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，提供港務公司及交通相關單位，辦理構造物防蝕設計之參考。

2. 提供交通部、港務公司及顧問公司等選用金屬材料之依據，達到符合各地區腐蝕環境防蝕需求，確保海域工程如離岸風機、碼頭等構造物能達到或超過設計使用年限，避免或減少發生早期損毀事件，以降低社會成本、提高經濟效益。

(二) 應用

提供國內風電產業與港務公司做為基地母港工程設施之防蝕規劃、設計與施作之應用及維管計畫擬訂之參考。

1. 研究項目

2. 金屬試片附著生物調查試驗:

進行臺中港金屬試片附著生物向光面及背光面種類分布統計調查分析，進行3次。

- 109年04月完成第一次調查分析
- 109年07月完成第二次調查分析
- 109年10月完成第三次調查分析

3. 鄰近海域水質連續監測採樣調查分析:

請潛水人員於臺中港安裝連續水質監測儀器，於臺中港鄰近海域進行水質連續監測，監測項目包括鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等。

1. 前言　　研究項目

1. 金屬試片取樣試驗作業:

請潛水人員進行臺中港金屬試片採樣工作，並進行周邊水下海生物清理及水下照相，進行3次取樣作業。

- 109年3月13日完成第一次採樣
- 109年6月05日完成第二次採樣
- 109年9月03日完成第三次採樣

2. 文獻回顧 1/2　港區金屬腐蝕因子

2.文獻回顧 2/2　海洋附著生物

1. 藤壺

附著於礁岩上之藤壺

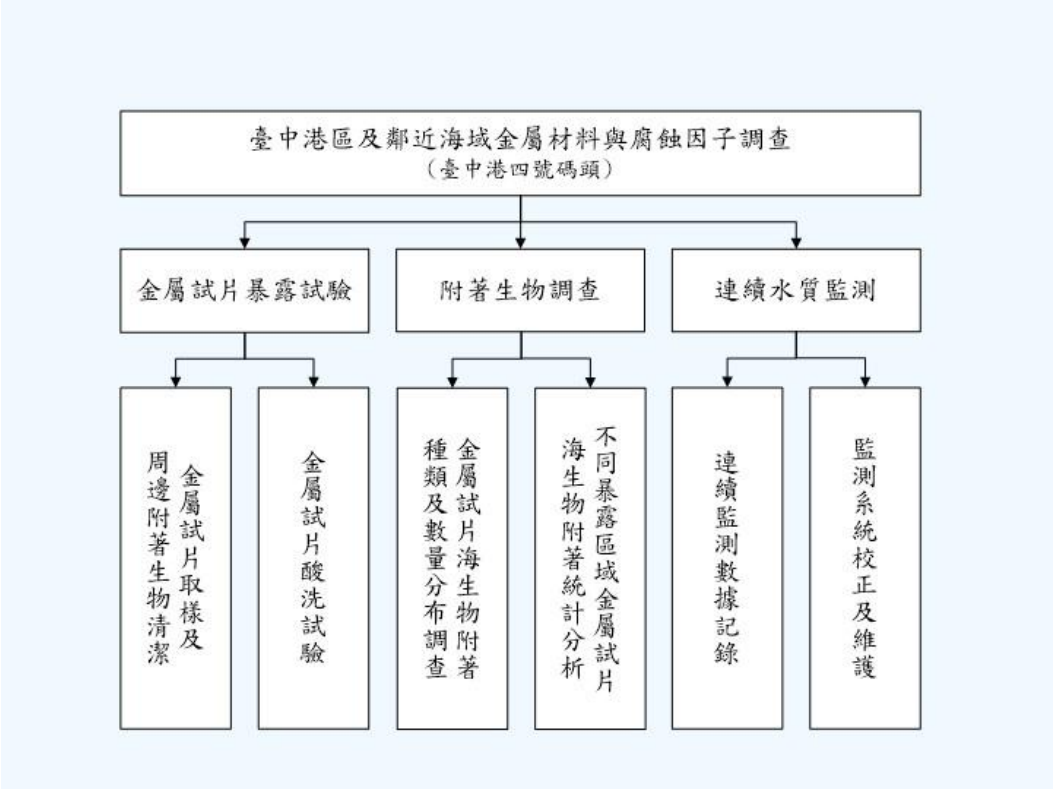
2.管蟲

管蟲

3.海鞘

4.紅藻

5.二枚貝


臺中港區及鄰近海域金屬材料與腐蝕因子調查
（臺中港四號碼頭）
金屬試片暴露試驗
附著生物調查
連續水質監測
金屬試片取樣及周邊附著生物清潔
金屬試片酸洗試驗
金屬試片海生物附著種類及數量分布調查
不同暴露區域金屬試片海生物附著統計分析
連續監測數據記錄
監測系統校正及維護


3. 研究方法與步驟
臺中港區四號碼頭
金屬試片取樣試驗
金屬試片附著生物調查
鄰近海域水質連續監測

3. 研究方法與步驟

108.04.17 (三)

4號碼頭現勘


(沉箱式港工結構及防蝕材)

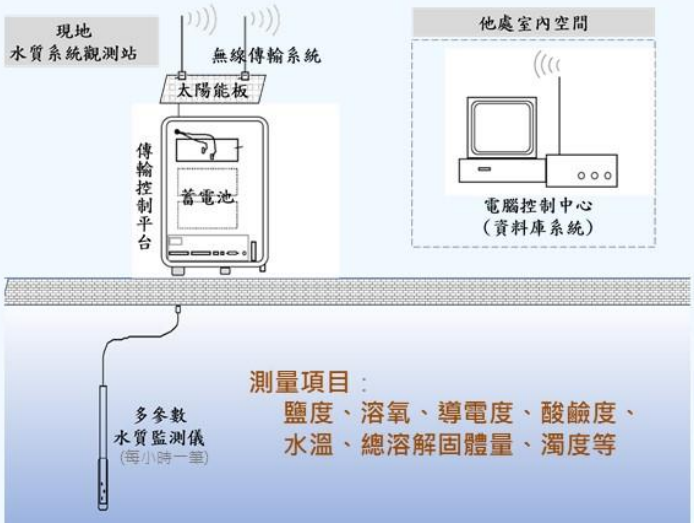

(原設置之潮位觀測站)


(實地現勘與商討)


(現地尺寸量測)

3. 研究方法與步驟

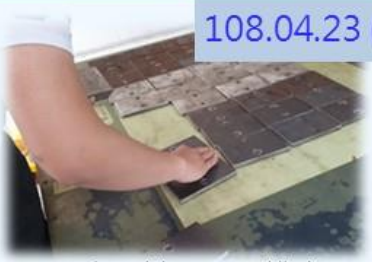
連續水質監測



3. 研究方法與步驟　　金屬試架規劃與設計

108.04.23 (二)

(a)金屬試片編號

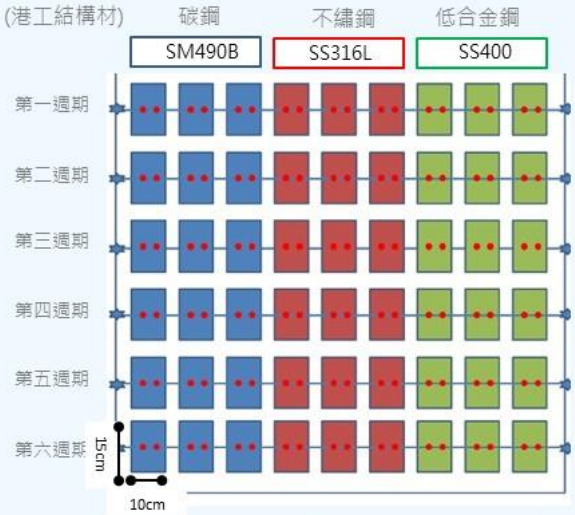


(b)金屬試片分類排序

(c)金屬試片秤重紀錄

(d)金屬試片依編號安裝

3. 研究方法與步驟　　金屬試架規劃與設計



設置區域：飛沫帶、潮汐帶、水中帶

- 試架材質：316不鏽鋼
- 通孔絕緣墊片，防電化學腐蝕

金屬通孔中之塑膠隔絕材料

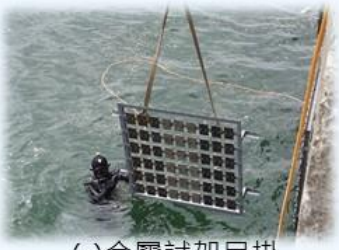
3. 研究方法與步驟

金屬試架佈放與安裝

108.04.25 (四)

(a)未施工前之碼頭牆面

(b)壁面附著生物清除



(c)金屬試架吊掛

(d)金屬試架水下施工

3. 研究方法與步驟

水質監測系統安裝

108.05.30 (四)

(a)控制中心內部配裝

(b)保護管固定

(c)水質監測儀置入口

(d)保護箱安裝完成

3. 研究方法與步驟

連續水質監測系統維護

108.06.20

(a))水質監測儀之海洋生物附著

(b)外部清潔

(c) 監測探針清潔

(d) 現場配置

金屬試架取樣作業

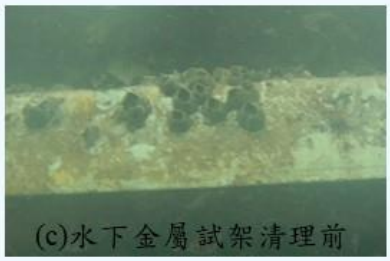
臺中港#4碼頭金屬試片暴露試驗

14

金屬試片取樣試驗

(a)金屬試片拆卸

(b)金屬試片現場紀錄



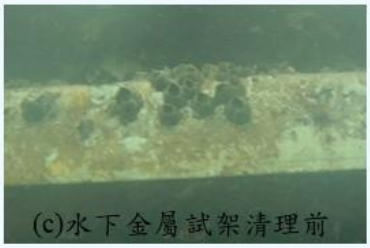
(c)水下金屬試架清理前

(d)水下金屬試架清理後

金屬試片取樣試驗

(a)金屬試片拆卸

(b)金屬試片現場紀錄



(c)水下金屬試架清理前

(d)水下金屬試架清理後

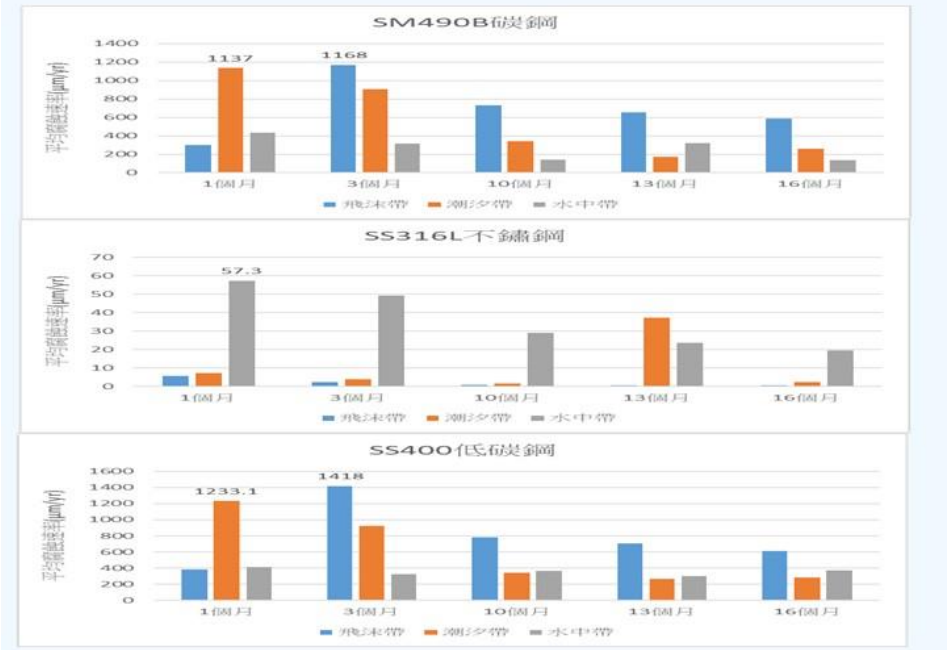
金屬試片取樣試驗

週期	年度	擬定執行期間	執行項目	完成日期	總暴露時間
---	108年度	04.30前	金屬試架設計及安裝	108.04.25	---
一		06.20前	金屬試片取樣(一)	108.06.03	~1個月
二		09.20前	金屬試片取樣(二)	108.09.03	~3個月
三	109*年度	03.30前	金屬試片取樣(三)	109.03.13	~10個月
四		06.30前	金屬試片取樣(四)	109.06.05	~13個月
五		09.30前	金屬試片取樣(五)	109.09.03	~16個月
六	---	待訂	金屬試片取樣(六)	---	---

註：108年度皆已順利執行完畢，109年度為本次計畫目標

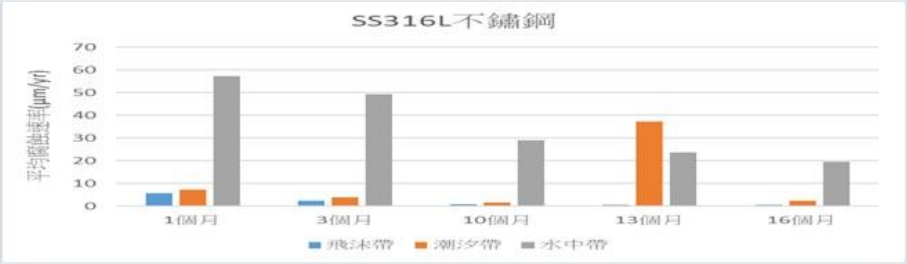
金屬試片腐蝕速率分析(不同期程)

金屬試片腐蝕速率分析(不同暴露區域)

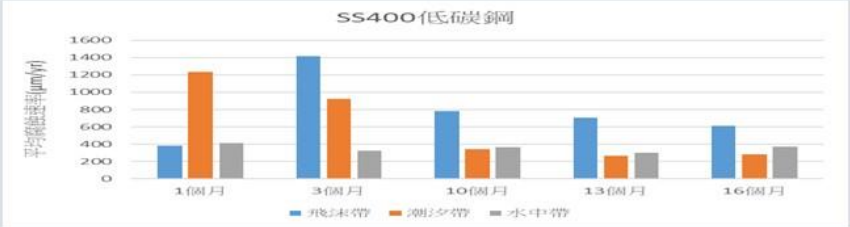


金屬試片腐蝕速率分析(SM490B 碳鋼)

金屬試片腐蝕速率分析(SS316L不鏽鋼)

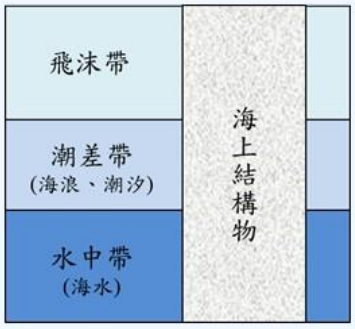


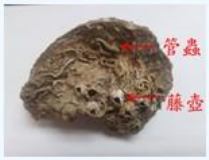
金屬試片腐蝕速率分析(SS400 碳鋼)



金屬試片海洋附著生物觀察

暴露區域：





飛沫帶：

因無直接浸泡海水之中，

三種金屬試片，

皆無觀察到海洋附著生物。

金屬選材： SM490B碳鋼、SS316L不鏽鋼及SS400低碳鋼

飛沫帶-SM490 碳鋼

飛沫帶，SM490B碳鋼，A1					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

飛沫帶-SS316L 不鏽鋼

飛沫帶，SS316L不鏽鋼，A4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

飛沫帶-SS400 低碳鋼

三種金屬
正、反面
皆無附著生物出現

飛沫帶，SS400低碳鋼，A7					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109	
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

金屬試片海洋附著生物觀察

潮汐帶：

- 各金屬試片皆可發現藤壺附著。
- 藤壺個體大小隨觀察時間增加而成長，附著強度明顯增加。至暴露13個月時，藤壺數量減少。

潮汐帶-SM490 碳鋼

潮汐帶，SM490B碳鋼，B1					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

潮汐帶-SS316L 不鏽鋼

暴露13個月時，
藤壺數量減少

潮汐帶，SS316L不鏽鋼，B4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	10	
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

潮汐帶-SS400 低碳鋼

暴露10個月後
皆無管蟲出現

潮汐帶，SS400低碳鋼，B7					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.	
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

金屬試片海洋附著生物觀察

水中帶：

- 金屬試片全時段皆浸泡於海水之中，附著生物種類最多。
- 二枚貝類數量以水中帶最多，最大直徑約9 cm。
- 附著生物以管蟲為主。

水中帶-SS316L不鏽鋼

管蟲為
主要附著生物

水中帶，SS316L不鏽鋼，C4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109	
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

水中帶-SM490 碳鋼

水中帶，SM490B碳鋼，C1					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

水中帶-SS400 低碳鋼

藤壺數量體積於暴露16個月時減少

水中帶，SS400低碳鋼，C7					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109.06.05	109.09
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

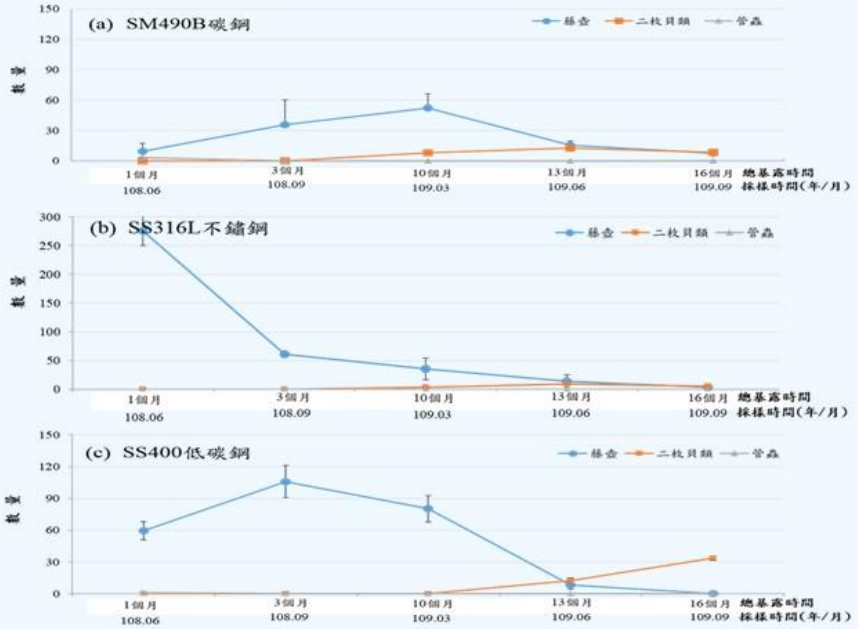
水中帶-SS316L不鏽鋼

管蟲為主要附著生物

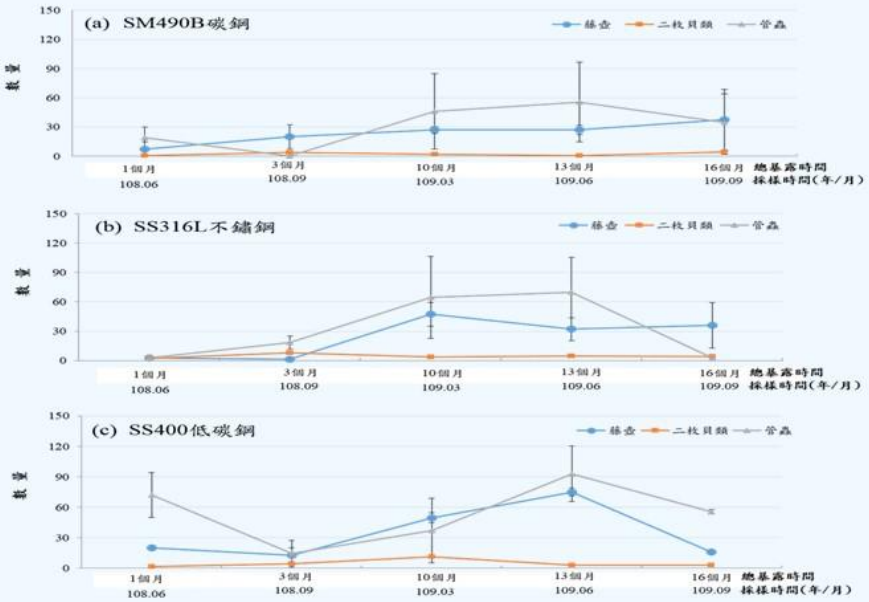
水中帶，SS316L不鏽鋼，C4					
採樣日期	108.06.03*	108.09.03*	109.03.13	109	
試片記錄(正面/向光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面
試片記錄(背面/背光面)					
暴露時間	1個月，正面	3個月，正面	10個月，正面	13個月，正面	16個月，正面

*為108年度之觀察記錄

潮汐帶金屬試片之附著生物生長變化情況



水中帶金屬試片之附著生物生長變化情況



	暴露時間	SM490B碳鋼	SS316L不鏽鋼	SS400低碳鋼
		平均腐蝕速率(μm/yr)		
飛沫帶	1個月	299.9	5.7	382.9
	3個月	1168.6	2.4	1418.0
	10個月	731.4	0.9	783.7
	16個月	655.1	0.4	703.5

	暴露時間	SM490B碳鋼	SS316L不鏽鋼	SS400低碳鋼
			平均腐蝕速率(μm/yr)	
潮汐帶	1個月	1137.0	7.2	1233.1
	3個月	904.1	3.8	924.5
	10個月	343.6	1.6	340.4
	16個月	170.0	37.3	266.9

	暴露時間	SM490B碳鋼	SS316L不鏽鋼	SS400低碳鋼
			平均腐蝕速率(μm/yr)	
水中帶	1個月	432.4	57.3	412.0
	3個月	315.9	49.2	327.1
	10個月	139.9	28.9	365.7
	16個月	323.1	23.5	303.2

暴露試驗前期(1-3個月)，金屬試片腐蝕速率變化顯著

暴露一年後，腐蝕速率大致呈現：飛沫帶>水中帶>潮汐帶

SS316L不鏽鋼防蝕程度最佳
(0.4~58.6μm/yr)

金屬試片附著生物量分析

◆ **成對樣本t檢定**

「交互比較」三種材質的金屬試片附著生物量之平均值是否有所差異。

潮汐帶/水中帶

附著生物種類	金屬試片種類
藤壺	SM490B碳鋼
二枚貝類	SS316L不鏽鋼
管蟲	SS400低碳鋼

金屬試片附著生物量分析-潮汐帶藤壺

成對樣本統計量

		平均數	量	標準差	平均數的標準誤差
成對 1	SM490B	27.4000	15	26.21559	6.76884
	SS316L	78.2000	15	105.18025	27.15742
成對 2	SS316L	78.2000	15	105.18025	27.15742
	SS400	50.8667	15	43.17054	11.14658
成對 3	SS400	50.8667	15	43.17054	11.14658
	SM490B	27.4000	15	26.21559	6.76884

SM490B
樣本數=15
平均值=27.40 ± 26.22

SS400 - SM490B

金屬試片藤壺附著量平均值具顯著差異

分析結果顯示：

具顯著差異

1. 潮汐帶藤壺　：SS400 - SM490B　，$p=0.028<0.05$
2. 水中帶二枚貝：SM490B - SS316L　，$p=0.002<0.05$

金屬試片附著生物量分析

◆ 單因子變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)

比較三種材質的金屬試片附著生物量之變異數是否有所差異。

潮汐帶/水中帶

附著生物種類	金屬試片種類
藤壺	SM490B碳鋼
二枚貝類	SS316L不鏽鋼
管蟲	SS400低碳鋼

金屬試片附著生物量分析-潮汐帶藤壺

描述性統計量									
		個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
						下界	上界		
藤壺	SM490B	15	27.4000	26.21559	6.76884	12.8823	41.9177	3.00	77.00
	SS316L	15	78.2000	105.18025	27.15742	19.9531	136.4469	2.00	306.00
	SS400	15	50.8667	43.17054	11.14658	26.9596	74.7737	.00	120.00
	總和	45	52.1556	69.08261	10.29823	31.4008	72.9103	.00	306.00
二枚貝類	SM490B	15	5.3333	6.17213	1.59364	1.9153	8.7513	.00	16.00
	SS316L	15	3.7333	4.25049	1.09747	1.3795	6.0872	.00	12.00
	SS400	15	9.2667	14.08376	3.63641	1.4673	17.0660	.00	39.00
	總和	45	6.1111	9.30108	1.38652	3.3168	8.9055	.00	39.00
管蟲	SM490B	15	.6667	1.67616	.43278	-.2616	1.5949	.00	6.00
	SS316L	15	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	SS400	15	.2667	.70373	.18170	-.1230	.6564	.00	2.00
	總和	45	.3111	1.06221	.15834	-.0080	.6302	.00	6.00

每種金屬試片皆具15個樣本，每次分析總計包含45個樣本。

平均值=27.40 ± 26.22

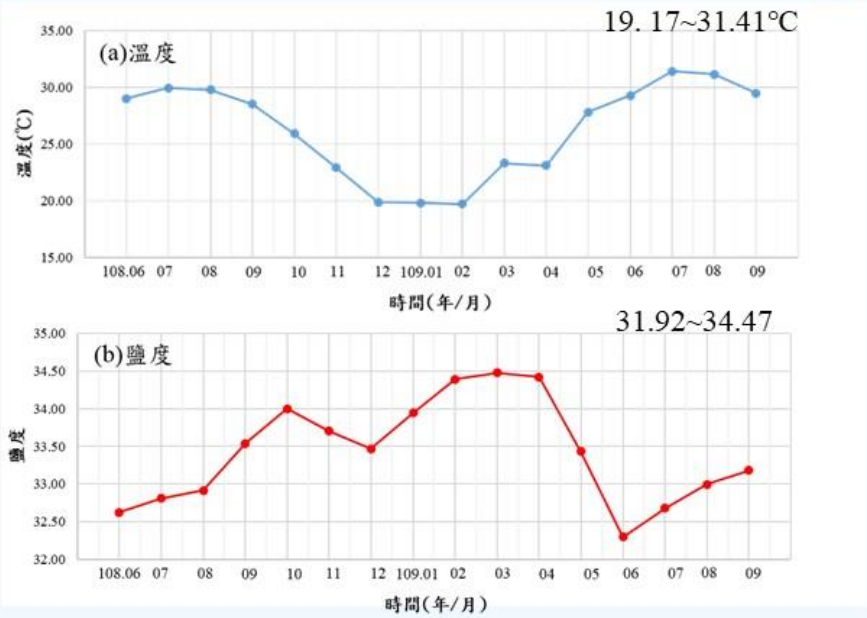
金屬試片附著生物量分析-潮汐帶藤壺

單因子變異數分析						
		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
藤壺	組間	19392.178	2	9696.089	2.137	.131
	組內	190593.733	42	4537.946		
	總和	209985.911	44			
二枚貝類	組間	243.244	2	121.622	1.434	.250
	組內	3563.200	42	84.838		
	總和	3806.444	44			
管蟲	組間	3.378	2	1.689	1.533	.228
	組內	46.267	42	1.102		
	總和	49.644	44			

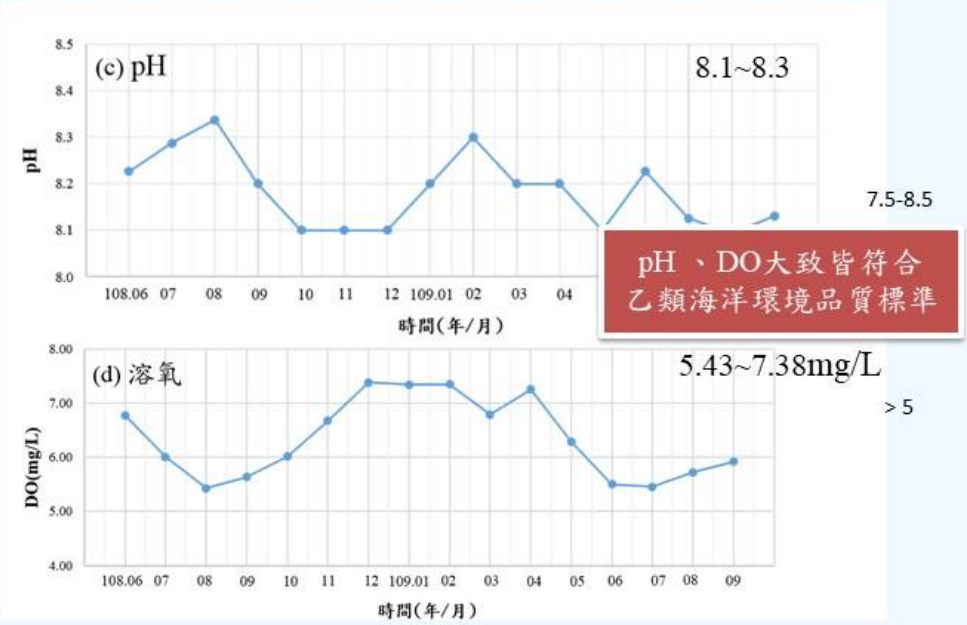
單因子變異數分析後，
F統計值為2.137，顯著性p值=0.131 (p值>0.05)
顯示藤壺對SM490B碳鋼之生長量變異數無顯著差異。

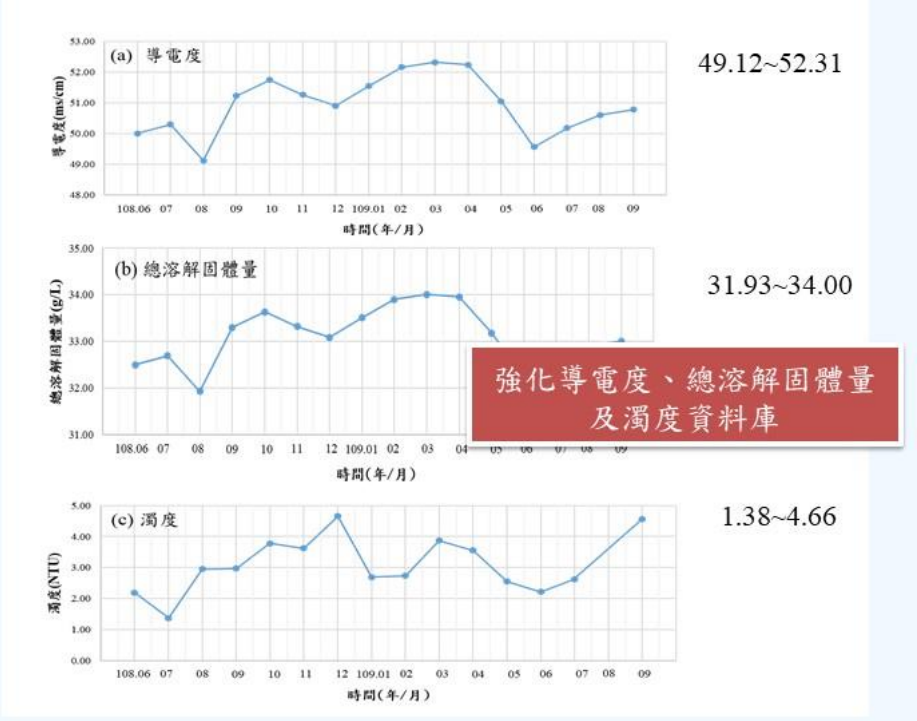
分析結果顯示，
三種材質金屬試片附著生物量之變異數亦皆無顯著差異。

海域水質連續監測



海域水質連續監測


(c) pH
8.1~8.3
7.5-8.5
pH
時間(年/月)
pH 、DO大致皆符合
乙類海洋環境品質標準
(d) 溶氧
5.43~7.38mg/L
> 5
DO(mg/L)
時間(年/月)


(a) 導電度
49.12~52.31
導電度(ms/cm)
時間(年/月)
(b) 總溶解固體量
31.93~34.00
總溶解固體量(g/L)
強化導電度、總溶解固體量
及濁度資料庫
時間(年/月)
(c) 濁度
1.38~4.66
濁度(NTU)
時間(年/月)

海域環境監測分析

採用主成份分析法將眾多之環境監測項目化約為相互獨立且項目較少之新變數。

水質監測項目

- 水溫
- 鹽度
- 溶氧
- 酸鹼度
- 導電度
- 總溶解固體量
- 濁度

結論與建議

結論

➢ 金屬試架暴露試驗採樣、附著生物計數分析皆如期完成。

週期	年度	擬定執行期間	執行項目	完成日期	總暴露時間
---	108 年度	04.30前	金屬試架設計及安裝	108.04.25	---
一		06.20前	金屬試片取樣(一)	108.06.03	~1個月
二		09.20前	金屬試片取樣(二)	108.09.03	~3個月
三	109* 年度	03.30前	金屬試片取樣(三)	109.03.13	~10個月
四		06.30前	金屬試片取樣(四)	109.06.05	~13個月
五		09.30前	金屬試片取樣(五)	109.09.03	~16個月
六	---	待訂	金屬試片取樣(六)	---	---

◆ 暴露區域：飛沫帶、潮汐帶、水中帶

◆ 金屬選材：SM490B碳鋼、SS316L不鏽鋼、SS400低碳鋼

海域環境監測分析

2. 主成份分析

61.949% 第一項因素	21.448% 第二項因素
鹽度	pH
總溶解固體量	濁度
導電度	
溫度	
溶氧	83.397%

影響主因

轉軸後的成份矩陣	元件	
	1	2
salinity	.937	
TDS	.913	
conductivity	.912	
temperature	-.897	
DO	.836	
pH		-.896
turbidity		.825

萃取方法：主成分分析。

元件	初始特徵值			平方和負荷量萃取		
	總數	變異數的%	累積%	總數	變異數的%	累積%
1	4.336	61.949	61.949	4.336	61.949	61.949
2	1.501	21.448	83.397	1.501	21.448	83.397
3	.628	8.973	92.370			
4	.431	6.159	98.529			
5	.068	.972	99.501			
6	.035	.499	100.000			
7	1.413E-005	.000	100.000			

取兩項因素

結論與建議

結論

➢ 金屬腐蝕速率

✓ 108年6月至109年9月觀察期間，SM490B碳鋼、SS316L不鏽鋼及SS400碳鋼三種金屬試片於「飛沫帶」皆無觀察到海洋附著生物；「潮汐帶」以藤壺及二枚貝類為大宗，其中又以藤壺數量最豐，管蟲僅少量出現；「水中帶」的金屬試片發現之生物種類最多，包含藤壺、管蟲及二枚貝類。暴露13至16個月時，潮汐帶及水中帶金屬試片上之藤壺及二枚貝類個體偏小，推測可能受到附著生物生長週期影響所致。

✓ 暴露區域之金屬腐蝕速率皆於暴露3個月後顯著趨緩；暴露1年後，金屬腐蝕速率由高至低大致呈現：飛沫帶>水中帶>潮汐帶；三暴露區域皆以SS316L不鏽鋼防鏽程度最佳，平均腐蝕速率為0.4~58.6μm/yr。

結論與建議

結論

➢ 海洋生物附著

✓ **飛沫帶**：無觀察到海洋附著生物。

✓ **潮汐帶**：附著生物以以藤壺及二枚貝類為大宗，
其中又以藤壺數量最豐，管蟲僅少量出現。

✓ **水中帶**：試片生物種類最多，包含藤壺、管蟲及二枚貝類。
二枚貝類最大直徑可達9 cm 。
管蟲較「潮汐帶」數量顯著增加。

暴露13至16個月時，潮汐帶及水中帶金屬試片上之藤壺個體偏小，推測可能受到附著生物生長週期影響所致。

結論與建議

結論

➢ 連續水質監測

✓ 監測期間：108年06月01日至109年09月30日

✓ 監測海域：臺中港四號碼頭

溫度 (°C)	鹽度	酸鹼度	溶氧(mg/L)
19-71~31.41°C	31.92~34.47	8.1~8.3	4.72~7.38mg/L

導電度(ms/cm)	總溶解固體量(g/L)	濁度(NTU)
49.12~52.31ms/cm	31.93~34.00g/L	1.38~4.66NTU

結論與建議

結論 ➢ 金屬試片附著生物量分析

交互比較SM490B碳鋼、SS316L不鏽鋼及SS400低碳鋼三種材質的金屬試片附著生物量之平均值：

具顯著差異

1. 潮汐帶藤壺 ：SS400 - SM490B ，$p=0.028<0.05$
2. 水中帶二枚貝：SM490B - SS316L ，$p=0.002<0.05$

✓ 三種材質金屬試片附著生物量之變異數亦皆無顯著差異。

結論與建議

結論 ➢ 海域環境監測分析

✓ 水質參數主成分分析顯示，因素分析可分為兩項：

- **第一項因素：**
  受鹽度、總溶解固體量、導電度、溫度及溶氧影響。(61.9%)
- **第二項因素：**受到pH及濁度所影響。(21.4%)

✓ 綜整兩項因素，可解釋相關海域水質監測資料83.4%的變數變異量。

結論與建議

結論

➢ 海域環境監測分析

✓ 水質參數主成分分析顯示，因素分析可分為兩項：

- **第一項因素：**
  受鹽度、總溶解固體量、導電度、溫度及溶氧影響。(61.9%)
- **第二項因素：**受到pH及濁度所影響。(21.4%)

✓ 綜整兩項因素，可解釋相關海域水質監測資料83.4%的變數變異量。

結論與建議

建議

➢ 1.金屬試架暴露實驗歷經一年觀察期，金屬試片表層因鏽蝕而出現剝落現象，除以實驗室觀察計數外，亦搭配現場採樣之影像紀錄協助分析，以減低附著生物量評估之誤差。

➢ 2.海洋環境調查與海洋生物分布受海域、洋流、季節等多重因子交互影響，故欲掌握特定海域之生地化特性，建議以「季」作為估測週期，持續進行2-3年之現地觀察，以建立基礎海域季節性之背景參數值。

結論與建議

建議

- 3.本次研究已針對附著生物種類，及環境水質之鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等水質參數資料進行觀察，建議可增加流速、流量觀測，藉以評估海水流動可能造成之腐蝕影響，另可增加葉綠素a之量測，輔以作為推估海生物生長情況之重要參考。

結論與建議

建議

- 4.港區及海上結構物皆以「長期使用」進行規劃與設計，若欲評估各暴露區域及各式金屬材質之腐蝕情況，建議仍需持續進行腐蝕速率觀測，同時輔以水域環境、附著生物生長等相關影響因子進行觀測調查與交互比對，提供港區及海上結構物維管計畫擬定之參考，以延長結構物使用壽命，提高安全性與經濟效益。

簡報完畢
敬請指教

附錄三

第 1 次工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第 1 次工作會議

二、時間：109 年 5 月 19 日(星期二)下午 2 時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：蔡立宏主任　　紀錄：莊凱迪

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1. 地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究
   (1) 完成大甲溪下游國 3 大甲溪橋基本資料蒐集。
   (2) 完成地工織布現地試驗規劃。
   (3) 完成國 3 大甲溪橋 P27 墩之地工織布現地鋪設。
2. 109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究
   (1) 完成第 1 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗。
   (2) 完成 2019 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。
3. 109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究
   (1) 持續維護各港區地震災況速報系統及地震監測站儀器，使其能正常運作。
   (2) 於 2 月及 5 月完成第 1、2 季各地區地層分層沉陷及水位量測。
   (3) 預計於 7 月辦理第 1 次各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作，驗收及付款事宜。
4. 臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置
   (1) 網頁版港區工程基本資料查詢系統之架構建置。

(2) 臺北港區港埠規劃圖資蒐集與查詢模組建置。

(3) 臺北港碼頭與堤防設施斷面圖資蒐集與網頁展示模組建置。

5. 港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

(1) 國內外港灣構造物維護管理機制相關文獻研析。

(2) 國內外港灣構造物新興科技運用巡檢案例蒐整。

(3) 3 月 24 日邀集港公司辦理第 1 次需求諮商會議。

6. 離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

(1) 持續辦理金屬材料腐蝕現地暴露試驗。

(2) 定期觀測與鑑別金屬試片附著海生物之種類與分佈情形。

(3) 進行臺中港 4 號碼頭海域水質連續監測及採樣調查分析。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1) 後續室內水工模型試驗執行方式討論。

(2) 後續地工織布保護成效觀測方式的討論。

(3) 地工織布的抗紫外線及耐久性問題討論。

2. 109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1) 後續進行全島 109 年第 2 季、第 3 季及第 4 季大氣腐蝕劣化因子調查試驗設備取樣維護及化學分析試驗的方式討論。

(2) 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫的方式討論。

(3) 辦理部屬單位教育訓練或腐蝕資訊系統教育訓練期程討論。

3. 109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1) 港區震災速報系統移轉港務公司之問題討論。

(2) 速報系統簡訊傳送內容修改討論。

4. 臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

(1) 港區工程基本資料查詢系統之建置討論。

(2) 臺北港工程基本資料的蒐集與地質資料模組建置討論。

(3) 後續公共設施管線查詢模組的討論。

5. 港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

(1) 後續需求研商工作會議時程及內容討論。

(2) 港灣構造物維護管理資訊系統後續擴充及精進內容討論。

(3) 教育訓練及應用推廣討論。

6. 離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

(1) 金屬試片取樣作業後續工作討論。

(2) 金屬試片附著生物調查試驗後續工作討論。

(3) 臺中港鄰近海域水質連續監測採樣調查分析試驗，監測項目討論。

七、結論：

(一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

1. 針對後續室內水工模型試驗請依期程完成。

2. 地工織布保護成效觀測方式是否能於現地增設攝影設備，以利觀測颱洪之水流變化及鼎塊保護工之變位情形，請納入後續觀測之評估項目。

(二)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 請持續建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫。

2. 請加強推廣於交通部、公路總局、高速公路局、港務公司及顧問公司等選用金屬材料及防蝕工法參考應用，確保公共工程如橋梁、碼頭等構造物，能達到或超過設計使用年限。

(三)109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 執行期程於 110 年結束，請提早準備未來與港務公司合作研

究相關資料，安排時間討論。

2. 速報系統簡訊傳送內容修改，增加「建議港務公司派員巡查，僅供參考」，以釐清權責歸屬問題。

3. 請持續維護各港地震災況速報系統，使其能正常運作。

(四)臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

1. 針對後續各項網頁查詢模組請依期程完成。

2. 請針對港區工程基本資料查詢系統之臺北港地質資料與公共　設施管線資料的網頁查詢進行更新與建置。

(五)港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

1. 請於 5 月底前再次邀集港公司代表，進行第 2 次需求諮商會議討論。

2. 整理之港灣構造物維護管理機制，可歸納並做為後續檢測標準訂定之參採。

3. 請依預定進度甘梯圖規劃，至各港分公司進行維護管理資訊系統介紹及相關需求諮商，以做為後續系統擴充及精進內容之方向。

(六)離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

1. 後續進行金屬試片取樣及金屬試片附著生物調查試驗作業請依期程完成。

2. 請彙整金屬試片腐蝕速率、附著生物數量與連續水質參數資料以統計分析探討其關聯性變化。

八、散會：下午 5 時 30 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：109 年 5 月 19 日(星期二)下午 2 時

地點：本所港研中心五樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

單位	簽名
一科	柯正雄 張道光 賴瑞麟 張建明 林雅雯 曾文厚 黃彥儒 朝陽子 謝妙珊
二科	許[illegible] 黃茂信
三科	李修穎 蔡敏玲

附錄四

第 2 次工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第 2 次工作會議(第 2 場次)

二、時間：109 年 8 月 20 日(星期四)上午 9 時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：蔡主任立宏　　紀錄：莊凱迪

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1. 臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢模組建置

(1)臺北港區港埠規劃圖資蒐集與查詢模組建置。

(2)臺北港碼頭設施斷面圖資蒐集與網頁展示模組建置。

(3)臺北港區地質資料蒐集與查詢展示模組建置。

2. 港灣構造物維護策略研析與管理資訊系統應用推廣

(1)研析國內外港灣構造物維護管理機制相關文獻。

(2)蒐整國內外港灣構造物新興科技運用巡檢案例。

(3)目前教育訓練與應用推廣情形。

3. 離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

(1)金屬試片取樣作業:分別於 109 年 3 月 14 日及 6 月 5 日，完成第 1 次及第 2 次金屬試片取樣試驗作業，並進行周邊水下海生物清理及水下照相工作。

(2)金屬試片附著生物調查試驗：109 年 4 月及 7 月，完成第 1 次及第 2 次金屬試片附著生物調查、金屬酸洗試驗及速

率分析。

(3)港區水質連續監測調查:持續蒐集臺中港 4 號碼頭水質連續監測調查分析資料，監測項目包括：鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、濁度等。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢模組建置

(1)碼頭與堤防設計查詢模組之資料斷面圖資之建置討論。

(2)鑽探資料查詢模組之液化分析與地質資料之建置討論。

(3)後續公共設施管線查詢模組之資料蒐集與模組之建置討論。

2. 港灣構造物維護策略研析與管理資訊系統應用推廣

(1)維護管理機制、科技應用案例等相關文獻之蒐整及後續應用。

(2)港灣構造物維護管理資訊系統後續擴充及精進內容討論。

(3)教育訓練及應用推廣使用者意見回饋討論。

3. 離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

(1)金屬材料腐蝕現地暴露試驗現階段成果討論。

(2)金屬試片附著海生物之種類與分佈情形討論。

(3)臺中港 4 號碼頭海域水質連續監測數據討論。

七、結論：

(一)臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢模組建置

1. 請依預定進度，完成各項網頁查詢模組之建置。

2. 請針對碼頭與堤防設計查詢模組與地下管線查詢模組之圖資資料更新建置。

(二)港灣構造物維護策略研析與管理資訊系統應用推廣

1. 後續請再邀集港務公司進行維護策略研商會議，以符實務需

求。

2. 後續規劃請擇定 1 座或數座碼頭，實際至現地進行港灣構造物管理資訊系統及 APP 巡檢測試。

3. 請惠整教育訓練使用者回饋意見整理成表，並列出意見回復。

(三)離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

1. 請持續進行金屬腐蝕試驗試片取樣及試片海生物附著調查，並加強資料品管。

2. 請彙整金屬試片腐蝕速率、海生物附著數量與連續水質監測調查資料，並分析統計探討其交互關聯性。

八、散會：上午 11 時 30 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科 109 年度自行研究計畫第 2 次工作會議(第 2 場次)

時間：109 年 8 月 20 日(星期四)上午 9 時

地點：本所港研中心5樓第一會議室

主持人：蔡主任立宏 蔡立宏

單位	簽名
港研中心本部	蔡立宏 柯正部
港研中心第一科	賴瑋庭 謝幼屏 莊凱翔 [illegible] 曾文傑 [illegible] 黃子瑋
港研中心第二科	郭吉和
港研中心第三科	李修穎

附錄五

專家學者座談會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科 109 年自行研究計畫專家學者座談會議

二、時間：109 年 6 月 23 日(星期二)上午 10 時

三、地點：本所港研中心 2 樓簡報室

四、主持人：蔡立宏主任　　紀錄：林雅雯

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、主席致詞：略。

七、研究單位簡報：略。

八、與會委員與相關人員評論：

(一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

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

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

2. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本研究案對於道路橋梁基礎安全如何加強，是非常正面的，予以肯定。

(2)地工織物:如何鋪設、多大面積、如有經驗案例可參考最好，如無，建議對於沖刷侵蝕之現有資料多予整理分類分析，

對於試驗之規劃有所助益，本案是否只作一處，是否在後期增加其他橋段試驗數量資料，可作為實証效果，推廣於他處。

(3)建議一般橋梁之常用基礎型式可簡單介紹，對於鐵路及公路、國道橋梁其易沖刷段是位於河川之上、中、下游或何處，或對於舊型橋墩較易於產生沖刷破壞，對於台灣河流短急坡降大及邊坡易坍之環境，其不利因素建議說明。

(4)建議對現地表面或地質作一簡述，對應方案之沖刷效應，過去經驗之一般工法如何，為何效果不彰?

(5)建議說明選擇大甲溪國道三號、鐵路橋下游進行現地舖設之理由及原因。

(6)使用織布是創新或是新工法，對於使用方式可以做一簡述，其主要之功能及目的、效果之設想，試驗之印証建議可以圖說說明。

(7)因應基礎保護之型式是否會有不同之方法及位置，如橋台、橋墩、週邊範圍大約是基礎寬或深度之幾倍、消波塊、鼎塊與織布疊放方式，建議未來於報告中可稍加說明，試驗完成亦可探討假設條件與成果間之異同處。

(8)室內水工如何模擬水流及濁度、地工織物如何模擬，其比例及特性、相關性及相似性如何建議稍加說明。

(9)對於洪水刷深之抵抗，未來是否會對於橋梁規範做一些建設性的建議，如在多大的河川或定性下哪些河川、在何位置必須考慮增加類似此工法。

(10)每月近景攝影，河床變化、鼎塊變位或流失，與附近基礎比較裸露深度等，建議設置監測系統或監視器以作觀察，有無考量用光達測量。

3. 國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)現地試驗是一最直接可靠的辦法，值得肯定。今年已完成現場鋪設，預計明年才進行觀測，建議若有洪水發生即隨

時觀測。

(2)水工模型試驗可用較少的經費做多種方案比較，為其優點，但地工織布的強度及泥沙沖刷在縮尺上仍有困難，因此其結果是屬定性而非定量，故與現場試驗做比較可能會有些出入。

4. 交通部高速公路局大甲工務段饒書安段長

(1)本計畫之成效追蹤建議就定期及不定期分別辦理，並就河川流量(不定期、災害)及鼎塊影響沉陷範圍予以同步紀錄。

(2)建議未來可就鼎塊串聯繩索併入研究探討，因鼎塊串結亦是影響鼎塊穩定之重要因素。

(3)建議增加現地水文、水理介紹、沖刷侵蝕(過去沖刷歷史介紹)之蒐集。

5. 本所港研中心賴聖耀前研究員

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

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

6. 本所港研中心陳桂清前研究員

(1)計畫很實務性，如果成效良好，可應用推廣。

(2)預定甘梯圖中鋪設地工織布時間恰逢颱風季節，是否適當，請可斟酌。

(3)保護成效觀測，鋪設織布之基樁與進行比對之基樁，其兩者條件是否相當?

(4)各種地工織布、工法、施工成本…等分析，建議探討。

(二)109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關港區震災速報系統，其提供港區地震震度與可能發生

災害類型評估，建議可配合港區港灣構造物改建，適時更新通報範圍及災害評估。

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

2. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本項維護及研究案，已逐步建置長期觀測資料，有系統的統計分析、整理是值得肯定的，對於港區哪些區位易於液化及對於歷史地震、水位資料、工程基本資資料庫擴建及網頁查詢建置是重要及必要的，可提供港灣工程規劃設計、廠商建置設施之重要參考依據，對於中心此項工作予以肯定。

(2)地層下陷大區域之相對位置高程是否可以有三度空間的圖形立體呈現或時間歷程與沉陷量的展示。

(3)對於結構物所在位置之下陷量與鄰近或遠一點之沈陷量相對比較，或許可得到差異沈陷量，大區域之填土區已設置基礎設施，如防波堤頭、堤身、堤根，排水設施、箱涵、建物、地下結構物等，其興建期與現今、未來之下陷量比較，與貴中心之潮汐潮位、暴潮位、附近地面之高程，可否有防災預警系統，如淹水、暴雨、颱風大潮時，地面沈陷量大的地方造成排水系統水頭差不足而積水，碼頭高程不足、越波量大於設計量等，布袋港即有多次情況。

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

(5)對於易下陷地區，港公司應有歷年測量高程資料，但對於

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

3. 國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

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

4. 本所港研中心賴聖耀前研究員

(1)震災速報系統建議定期以新的調查資料和研究成果更新液化模組。

(三)臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢模組建置

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關臺北港港區工程基本資料庫建置，建議可結合港灣構造物維護管理系統，未來港區巡查及維修照片均加入 GPS 座標系統，將港區維護管理及維修紀錄與圖形化及 GIS 資料結合。

(2)亦可納入 3D 港區管線資訊系統，一併管理及顯示。

2. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本項臺北港港區工程基本資資料庫擴建及網頁查詢建置是重要及必要的，可提供港灣工程規劃設計、廠商建置設施之重要參考依據，對於中心此項工作予以肯定。

(2)建議針對該港填土之來源及後續填築完成之土質資料搜集後做一補充，填築時間、完成時間、地表沈陷量、水位、臺北港監測資料等，未來可提供投資商評估地質條件之參考

(3)對於原有海床與人工填築高度等資料多搜集，基港分公司可多予提供，以完整資訊系統。

(4)土壤參數、相關試驗值愈多愈好，離岸風電國外廠商港區或海床地質，有偏好採用荷式錐貫入試驗結果，因此對於與 N 值之試驗結果，建議未來可以試做比較研究，將研究結果供大家參考。

3. 國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

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

4. 本所港研中心陳桂清前研究員

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

(2)輔助港及離島地區之港區是否有考慮納入本系統之建置與查詢?

(3)顧問公司及港務公司運用本資料庫的情形為何?請說明之。

(四)港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

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

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

2. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)中心持續辦理針對港區碼頭與防波堤等港灣構造物進行現況調查與檢測評估，並持續精進擴充既有港灣構造物維護管理系統並優化功能，以利於構造物檢測及管理作業邁向自動化，提供未來設計與維護參考應用，對於港區維護管理單位，實用性非常高，值得肯定的。後續這工作是重

要必要的，順便在此也感謝中心的協助及展現很好的成果供港公司使用，成果如中港 8A、30 號碼頭調查。

(2)提供使用者快速紀錄港灣內各項問題及狀況，以利後續查詢及追蹤使用，可快速紀錄港灣內各項問題與狀況，巡查或檢測時如有發現相關設施有缺失或問題，可立即使用手機瀏覽器連線至管理系統，建議未來在功能上操作流程設計上以簡單快速紀錄為主。

(3)對於使用新興科技 UAV、AI 辨識應用於港灣設施巡檢，擴充資訊系統及 App 功能，是否包含水下或機器人，未來可否有影像判斷裂縫寬度及長度，以高的解析度判斷高低差距離。

(4)建議研究案報告內容、資訊系統及 App 可多說明人員數之使用有否限制，如何申請及管理，對於無法立即連網於行動應用上，是否可以離線應用。

(5)建議說明系統有否整合做出年度各設施總合輸出統計表:如缺失之金額及件數、整個台中港年度維護支出，另建議未來搭配船席之使用率或裝載方式與缺失發生之關係，未來亦可作為碼頭規劃管理維護評估改善設計依據或管理手段調整。例如使用行為不同於一般碼頭，使用具侵蝕貨類或經常灑水或含水量高導致滲入版筋腐蝕、道路或鋪面損壞。

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

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

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

3. 國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

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

4. 本所港研中心陳桂清前研究員

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

(2)本系統與港區工程基本資料庫未來可考慮整合，以利後續執行維護管理決策。

(3)新的科技設備(UAV、AI 辨識、光達…等)應用於港區設施巡檢，可提升巡檢效力。

(4)本維護管理系統建議與港務公司相關人員溝通，建立可行、便利、有效的維護管理機制。

(五)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關臺灣沿岸地區腐蝕環境調查研究，建議可納入海氣象觀測資訊系統，即時顯示腐蝕程度，並可紀錄進行長期回歸分析，找出各港區各水域之長期腐蝕程度，提供耐腐蝕設計之參考。

(2)港區鋼構造物之耐腐蝕，包括潮間帶及水下部分，是否有其他新興科技可提供作為防腐蝕作為，例如新興材料、電氣防蝕等。

2. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)臺灣處亞熱帶飛沫帶、潮汐帶、水中帶三位置進行暴露 3 次，9 月 12 月 15 月(附著生物分析)是有必要的，可與港之水質調查資料結合，提供防蝕設計參考、選用金屬材料依據、確保達到設計年限、降低社會成本、提高經濟效益，這項研究是有其重要性及必要性。

(2)對於大氣腐蝕影響有個案例，如自動機器手臂之工廠設置

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

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

(4)2019 調查報告中，各材料腐蝕速率以中部及鄰近試驗結果值較高，北、南部較低，這部份是否有什麼解釋或未來會更近一步的深入研究有那些相關影響因子，與空氣品質是否有相關，或水中溶解之空氣二氧化碳有相關。

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

3. 國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

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

4. 本所港研中心陳桂清前研究員

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

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

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

(4)建議統計使用本基本數據的單位、次數，以彰顯推廣成果。

(六)離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

1. 臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

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

(2)本案可考慮離岸風機水下防蝕及大氣防蝕對策之研究。

2. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本案因國外環境不同，腐蝕防治規範不一定適用，且缺乏本土化海上風力發電相關防蝕設計研究，有必要進行本土海域腐蝕因子調查，以利防蝕工法設計，可避免或降低工程災損，此研究是重要的，未來離岸風電生產、組裝、維管均需本土化，如何降低本土廠商之成本，亦是必要的研究。

(2)港之水質調查資料，每個港地形及水質條件不同，建議可以論述對於高雄港、台中港、基隆港，各港區均有市區大排排入，水質會受影響，這類對金屬材料腐蝕之關聯性是否有影響，可以說明在鹽度、溶氧、導電度(中龍)、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度、水質變化趨勢與影響，研究結果可提供不同港區環境條件下之防蝕設計參考、選用金屬材料依據、確保達到設計年限、降低社會成本、提高經濟效益。

(3)本次研究期間 15 月(附著生物分析)但工作預定進度表只有 12 個月，建議說明。

(4)本次與 108 年於台中港 4 號碼頭飛沫帶、潮間帶、水中帶 6 個週期-2 次取樣-2 次向光背光，109 年有 3 次，多 1 次，建議可說明為何?為何增加次數。

(5)有無考量對各區之海水內含微生物量之分析與附著生物之關係。

(6)有無考量與台電、中鋼合作在海外風機上做調查研究。

3. 國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

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

(2)水質監測範圍建議盡量涵蓋未來離岸風場。

4. 本所港研中心陳桂清前研究員

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

(2)試驗材料、成份是否與現地風機設備相近?

(3)建議在風機基地架設試驗點，擷取現地實際環境下之腐蝕狀況。

(4)建議可增加防蝕工法的試驗(例如塗裝、陰極防蝕…等)。

(5)本計畫中之水質監測(臺中港#4 碼頭)與實際風機基地海域如何比對?

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

十、散會：中午 12 時 10 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科109年自行研究計畫專家學者座談會議

時間：109 年 6 月 23 日(星期二)上午 10 時

地點：港灣技術研究中心 2 樓簡報室

主持人:蔡立宏　　紀錄:林雅雯

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