

108-125-7B45

MOTC-IOT-108-H1DA002

離岸風電基地母港與鄰近海域 腐蝕因子調查 (1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 12 月

108-125-7B45

MOTC-IOT-108-H1DA002

離岸風電基地母港與鄰近海域 腐蝕因子調查 (1/2)

著 者：羅建明、黃宇謙

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 12 月

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查. (1/2) /
羅建明, 黃宇謙著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部
運輸研究所, 民 108.12

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-036-3(平裝)

1. 海岸 2. 海岸工程

443

108021357

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(1/2)

著 者：羅建明、黃宇謙

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)

電 話：(04)26587110

出版年月：中華民國 108 年 12 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臺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)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1F•電話：(02)
25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010802511

ISBN：978-986-531-036-3 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

108

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(一/二)

交通部運輸研究所

GPN : 1010802511

定價: 200 元

交通部運輸研究所自辦研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查 (1/2)			
國際標準書號 ISBN978-986-531-036-3(平裝)	政府出版品統一編號 1010802511	運輸研究所出版品編號 108-125-7B45	計畫編號 108-H1DA002
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：謝明志 計畫主持人：羅建明 研究人員：黃宇謙 參與人員：陳亭廷、李春榮、何木火、王培源、魏瓊蓉 聯絡電話：04-26587110 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 108 年 1 月 至 108 年 12 月
關鍵詞：金屬腐蝕、腐蝕因子、腐蝕環境			
<p>由於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，為臺灣中部之離岸風電基地母港。因此本計畫針對離岸風電基地母港與鄰近海域金屬材料腐蝕因子進行監測調查，探討金屬構件於國內海域環境之適用性，並評估建立基地母港及金屬構件本土化適用防蝕工法。</p> <p>本計畫工作項目選定離岸風電基地母港臺中港區4號碼頭進行腐蝕因子監測與調查，分別於飛沫帶、潮汐帶、水中帶三處安裝金屬試驗架，進行金屬腐蝕暴露試驗及海生物附著調查；並於水中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，建構離岸風電基地母港水域環境資訊，並建立完整具時效的現地水質監測資料，觀察並記錄金屬試片海洋附著生物、水下腐蝕等情況。</p> <p>將持續長期觀測逐步累積的資料，做為評估其海域環境變化對金屬腐蝕、海生物附著之關聯影響，加強港區海域金屬於施工維護時之安全性、穩定性及耐久性，提高其使用壽命及營運效益，以供國內相關單位針對港區海域金屬構件選材、防蝕工法應用、維護管理計畫研擬及防救災決策支援等應用。</p> <p>研究成果效益及應用單位：本計畫針對離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查，所得之結果可建立本土化之資料及金屬腐蝕之速率，可提供相關單位作為未來離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治研究之參考。如：台灣電力、中國鋼鐵、經濟部工業局等。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 12 月	148	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。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
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: Metal corrosion and its corrosive environmental investigation of offshore wind power base			
ISBN 978-986-531-036-3(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS 1010802511	IOT SERIAL NUMBER 108-125-7B45	PROJECT NUMBER 108-H1DA002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Ming-Jyh Hsieh PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Ming Lo COMMON INVESTIGATOR: Yu-Qian Huang PROJECT STAFF: Ting-Ting Chen, Chun-Rong Li, Mu-Huo Ho, Pei-Yuan Wang, Chiung-Rung Wei			PROJECT PERIOD FROM January 2019 To December 2019
KEY WORDS: METAL CORROSION, CORROSION FACTORS, CORROSION ENVIRONMENTS			
<p>Taichung Port Area is close to Changhua's offshore wind power potential site, vast hinterland, port navigation channel specifications and shipping management mechanism, and has become the homeport of offshore wind power base in central Taiwan. Therefore, this plan investigates the corrosion factors of metal materials. Investigate the applicability of metal components to the domestic marine environment, and evaluate the applicable anti-corrosion method for the establishment of the base port and the localization of metal components</p> <p>This project we set up the metal test piece in the atmospheric zone, tidal zone, and submerged zone in the Taichung Port area of No. 4. At the same time we also set up the Multi-parameter Water Quality Sonde in the seawater to collect the water quality parameters such as: salinity, dissolved oxygen, conductivity, pH, water temperature, total dissolved solids, turbidity. A stable environmental record and local water quality Time-series monitoring data of the Taichung Port are established by getting the gather samples of three exposure environment metal panels and seawater data. For metal-corrosion and water-environmental analysis. We can understand the impact of corrosion of metal materials or sea creatures attached.</p> <p>After the long-term observation data is gradually accumulated. We can try to cross-evaluate the impact of environmental changes on metal corrosion and marine organism attachment and strengthen the safety, stability and durability of the metal in the port area to provide relevantly units for the selection of metal components in the domestic port area application of anti-corrosion maintenance management plan and disaster prevention decision support.</p> <p>Benefit and application of research units: This project is metal corrosion and its corrosive environmental investigation of offshore wind power base. The analysis results can be used to establish localized data and the rate of metal corrosion and provide as a reference for future research on corrosion prevention of piles and metal components of offshore wind turbines. Such as: Taiwan Power Company, China Steel Company, National Expressway Engineering Bureau and developer of wind turbines.</p>			
DATE OF PUBLICATION December 2019	NUMBER OF PAGES 148	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(1/2)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	IX
第一章 前 言.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 計畫緣起與背景.....	1-1
1.3 工作項目及內容.....	1-3
1.4 預期效益及其應用.....	1-4
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 港區金屬腐蝕因子.....	2-1
2.2 水質監測項目.....	2-11
2.3 海洋附著生物.....	2-14
第三章 執行方法與步驟.....	3-1
3.1 金屬試片暴露試驗.....	3-4
3.1.1 試驗規劃與取樣期程.....	3-4
3.1.2 金屬試片取樣作業.....	3-12
3.2 金屬試片海洋附著生物調查.....	3-14

3.3 自動連續水質監測系統.....	3-14
第四章 結果與討論.....	4-1
4.1 金屬試片暴露試驗觀察與分析.....	4-1
4.1.1 飛沫帶金屬試片海洋附著生物調查	4-2
4.1.2 潮汐帶金屬試片海洋附著生物調查	4-30
4.1.3 水中帶金屬試片海洋附著生物調查	4-32
4.1.4 金屬試片海洋附著生物觀察分析	4-34
4.2 金屬試片腐蝕速率分析.....	4-35
4.2.1 金屬試片腐蝕速率分析(一個月).....	4-44
4.2.2 金屬試片腐蝕速率分析(三個月).....	4-44
4.2.3 金屬試片暴露環境及腐蝕速率分析	4-44
4.3 連續水質監測.....	4-46
4.3.1 105-107 年北泊渠(4 號碼頭附近港地)水質變化	4-48
4.3.2 108 年夏季臺中港 4 號碼頭水質變化情況(6-8 月) ...	4-50
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-2
5.3 研究成果之效益.....	5-2
5.4 提供政府單位應用情形.....	5-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附錄 1-1
附錄二 期末審查簡報.....	附錄 2-1

圖目錄

圖 1.1 臺灣離岸風力規劃場址海域圖.....	1-2
圖 1.2 臺中港離岸風電專區發展規劃圖.....	1-3
圖 2.1 海洋結構物暴露區域圖.....	2-1
圖 2.2 鋼鐵腐蝕速率與溫度之關係圖.....	2-2
圖 2.3 鋼鐵腐蝕速率與含氧量之關係.....	2-3
圖 2.4 鋼鐵腐蝕速率與 pH 之關係.....	2-4
圖 2.5 鋼鐵之腐蝕速率與鹽度之關係.....	2-5
圖 2.6 大氣溫度下，海水流速對鋼材腐蝕之影響性.....	2-6
圖 2.7 鋼材上，硫酸鹽還原菌、硫化鐵及氫氧化鐵之關係.....	2-7
圖 2.8 鋼材上，硫化物間之關係圖.....	2-8
圖 2.9 附著於礁岩上之藤壺.....	2-14
圖 2.10 管蟲.....	2-15
圖 2.11 海鞘.....	2-16
圖 2.12 紅藻門.....	2-17
圖 3.1 工作執行項目簡圖.....	3-1
圖 3.2 臺中港 4 號碼頭港灣技術研究中心之潮位觀測站.....	3-2
圖 3.3 臺中港 4 號碼頭現勘 (108 年 4 月 17 日).....	3-3
圖 3.4 金屬試片配置示意圖.....	3-5
圖 3.5 金屬試片前處理流程與安裝 (108 年 4 月 23 日).....	3-10
圖 3.6 臺中港 4 號碼頭金屬試片佈放與安裝 (108 年 4 月 25 日).....	3-11
圖 3.7 暴露區域之金屬試片樣品.....	3-12

圖 3.8 金屬試片取樣作業情況.....	3-13
圖 3.9 水質監測系統示意圖.....	3-14
圖 3.10 水質監測系統安裝作業情況 (108 年 5 月 30 日).....	3-16
圖 3.11 現場水質監測儀器連線佈放(108 年 6 月 20 日).....	3-17
圖 4.1 臺中港 4 號碼頭位置圖.....	4-1
圖 4.2 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A1).....	4-3
圖 4.3 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A2).....	4-4
圖 4.4 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A3).....	4-5
圖 4.5 飛沫帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(A4).....	4-6
圖 4.6 飛沫帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(A5).....	4-7
圖 4.7 飛沫帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(A6).....	4-8
圖 4.8 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A7).....	4-9
圖 4.9 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A8).....	4-10
圖 4.10 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A9).....	4-11
圖 4.11 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B1).....	4-12
圖 4.12 潮差帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B2).....	4-13
圖 4.13 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B3).....	4-14
圖 4.14 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B4).....	4-15
圖 4.15 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B5).....	4-16
圖 4.16 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B6).....	4-17
圖 4.17 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B7).....	4-18
圖 4.18 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B8).....	4-19
圖 4.19 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B9).....	4-20

圖 4.20	水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C1).....	4-21
圖 4.21	水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C2).....	4-22
圖 4.22	水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C3).....	4-23
圖 4.23	水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C4)	4-24
圖 4.24	水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C5)	4-25
圖 4.25	水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C6)	4-26
圖 4.26	水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C7).....	4-27
圖 4.27	水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C8).....	4-28
圖 4.28	水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C9).....	4-29
圖 4.29	「潮汐帶」藤壺剝落之痕跡.....	4-34
圖 4.30	「水中帶」附著之牡蠣.....	4-34
圖 4.31	金屬試片腐蝕速率分析前處理.....	4-35
圖 4.32	飛沫帶金屬試片分析(一個月).....	4-36
圖 4.33	潮汐帶金屬試片分析(一個月).....	4-37
圖 4.34	水中帶金屬試片分析(一個月).....	4-38
圖 4.35	飛沫帶金屬試片分析(三個月).....	4-39
圖 4.36	潮汐帶金屬試片分析(三個月).....	4-40
圖 4.37	水中帶金屬試片分析(三個月).....	4-41
圖 4.38	臺中港 4 號碼頭金屬試片平均腐蝕速率圖(一個月).....	4-43
圖 4.39	臺中港 4 號碼頭金屬試片平均腐蝕速率圖(三個月).....	4-43
圖 4.40	自動水質監測儀保養前後對照圖.....	4-46
圖 4.41	即時水質監測數據顯示介面.....	4-47
圖 4.42	水質監測數據查詢顯示介面.....	4-47

圖 4.43 臺中港區海域水質監測採樣點.....	4-48
圖 4.44 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭溫度及鹽度變化趨勢圖	4-54
圖 4.45 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭 pH 及 DO 變化趨勢圖	4-56
圖 4.46 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭導電度、總溶解固體量及濁度變化 趨勢圖.....	4-57

表 目 錄

表 3-1 碳鋼含碳比例與基礎特性表	3-6
表 3-2 SM490B 碳鋼金屬品質證明書	3-7
表 3-3 SS316L 不鏽鋼金屬品質證明書	3-8
表 3-4 SS400 低碳鋼金屬品質證明書	3-9
表 4-1 潮汐帶金屬試片海洋附著生物調查表	4-31
表 4-2 水中帶金屬試片海洋附著生物調查表	4-33
表 4-3 臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(一個月).....	4-42
表 4-4 臺中港 4 號碼頭金屬試片腐蝕速率表(三個月).....	4-42
表 4-5 北泊渠 105-107 年期間海域水質變化紀錄	4-49
表 4-6 季節月份對照表.....	4-49
表 4-7 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭連續水質觀測日平均紀錄表...	4-50
表 4-8 108 年臺中氣象站逐日雨量資料表	4-55

第一章 前 言

1.1 計畫目的

針對離岸風電基地母港與鄰近海域金屬材料腐蝕因子進行監測調查，探討金屬構件於國內海域環境之適用性，評估基地母港及鄰近海域金屬構件本土化適用防蝕工法。

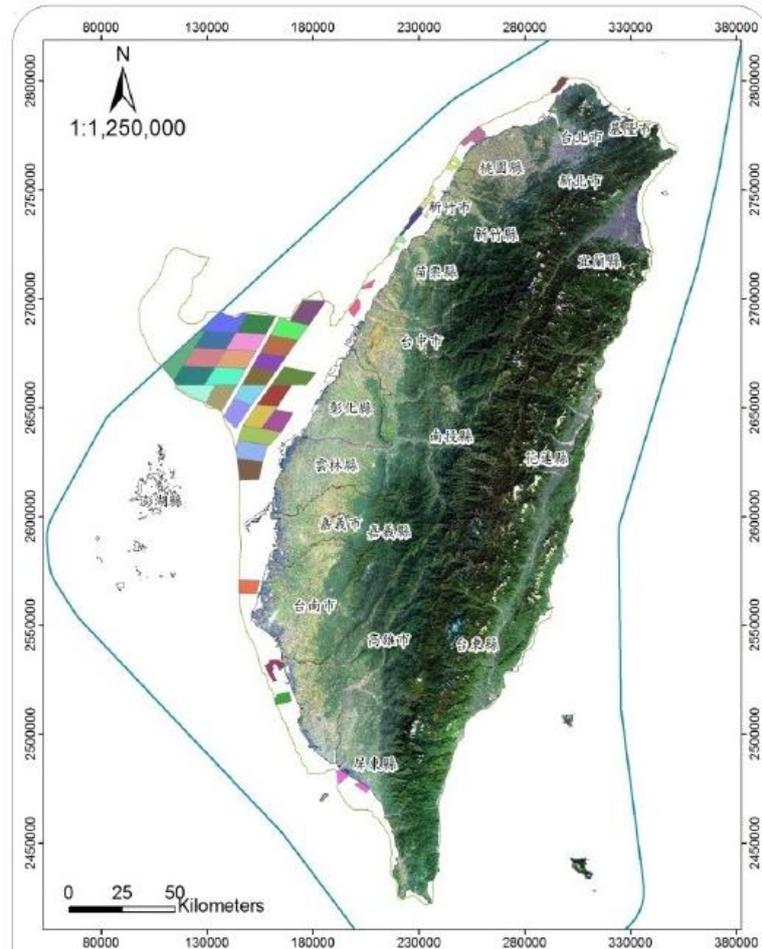
1.2 計畫緣起與背景

2011 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三十六處場址海域中(圖 1.1)，彰化海域一帶即占二十一處，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(整)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。

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。故本計畫於臺中風電基地母港進行現地「金屬試片試驗」、「金

屬試片海洋附著生物調查」與「自動連續水質監測系統建置」，建立現地金屬腐蝕及長期完整並具時效的水質參數資料，提供基地母港維護管理計畫擬定參考之用，作為金屬結構防蝕應用，以延長基地母港場址使用壽命，提高運作之經濟效益。



(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]

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。

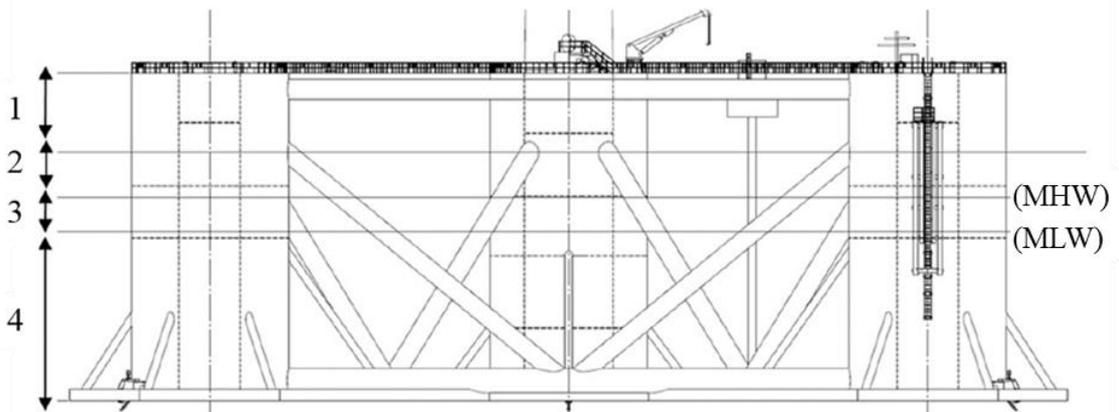
第二章 文獻回顧

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與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，亦須定期進行相關操作維護工作。

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^[4]。



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^[3]

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、潮汐或的海浪潑濺反覆作用下，金屬表面生成之保護膜將被加速撥離，進而促使腐蝕作用加速產生^[4]。

3. 水溫

在腐蝕反應下，海水溫度是為一複雜的變數，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所抵銷。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^[4]。如圖 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°C 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]。

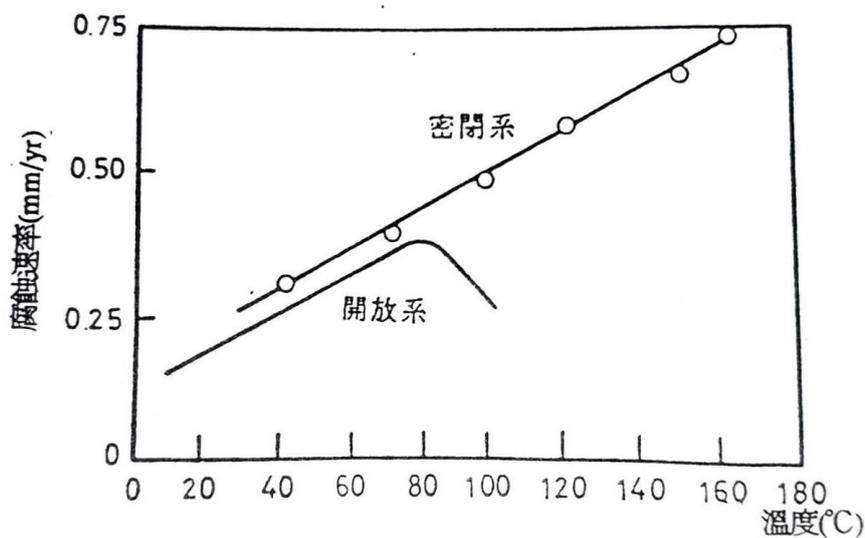


圖 2.2 鋼鐵腐蝕速率與溫度之關係圖^[5]

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氧根離子。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]。

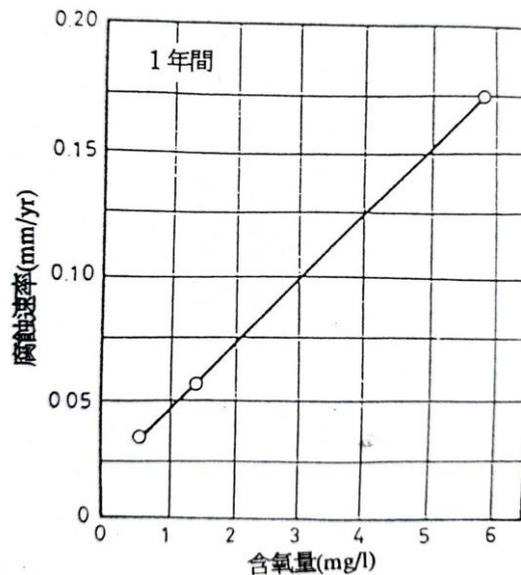


圖 2.3 鋼鐵腐蝕速率與含氧量之關係^[8]

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°C 純水中所含的氫離子與氫氧根離子數量相等為 $1 \times 10^{-7} \text{ mole/l}$ ，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]。

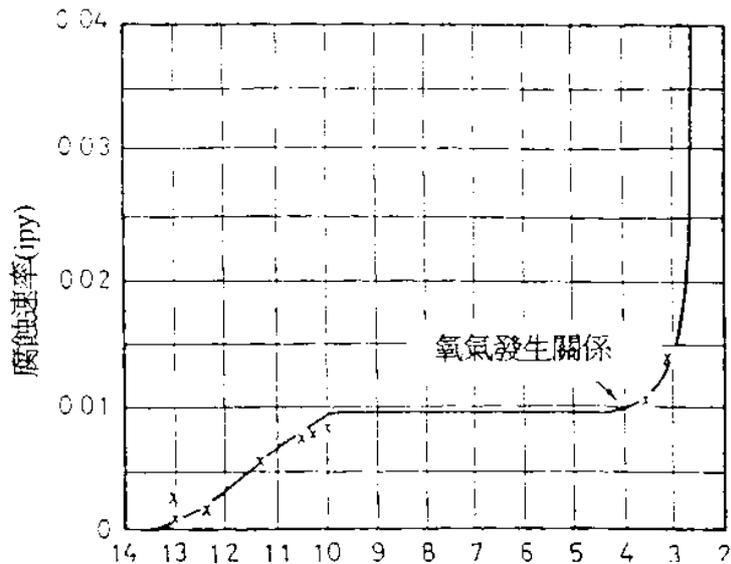


圖 2.4 鋼鐵腐蝕速率與 pH 之關係^[7]

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 質對鋼材樁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]。

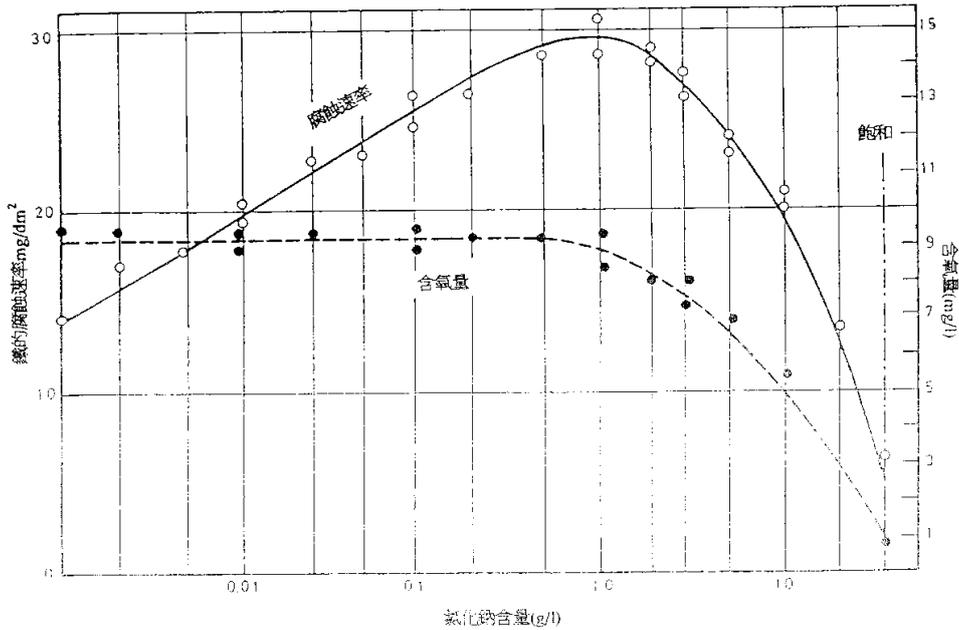


圖 2.5 溫度 24°C 下，鋼鐵之腐蝕速率與鹽度之關係^[9]

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)而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，再停流情況，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]。

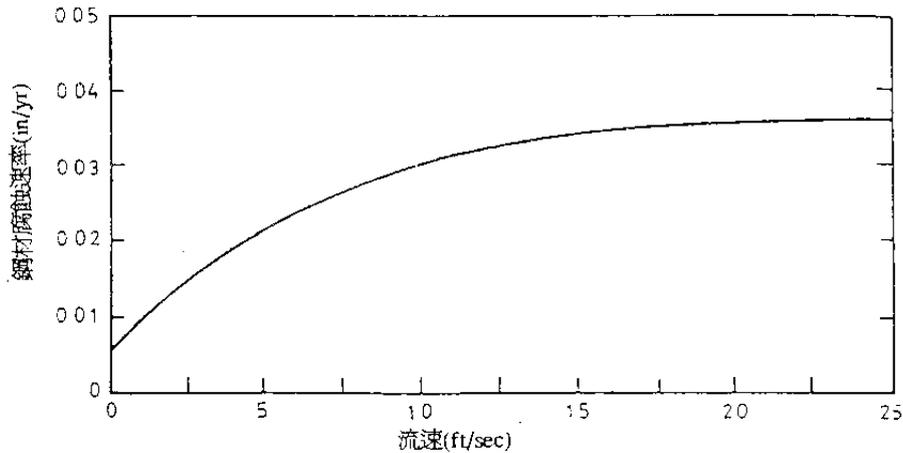


圖 2.6 大氣溫度下，海水流速對鋼材腐蝕之影響性^[10]

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：

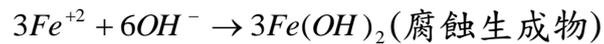
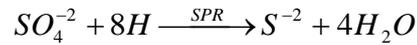
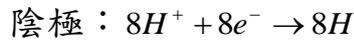
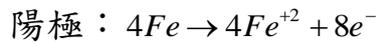
- (1) 具有硬殼者：如環蟲(Annelids)、藤壺(Barnacles)、狀苔癬蟲(Bryzoa)、軟體動物(Mollusks)、及珊瑚等。
- (2) 非具硬殼者：如海藻、絲狀苔癬蟲、腔腸動物(Coelenterates)、水螅(Hydroids)、被囊類動物(Tunicates)、含鈣質或矽土質的海綿。

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，且因含有硫酸化菌之存在，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：



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。

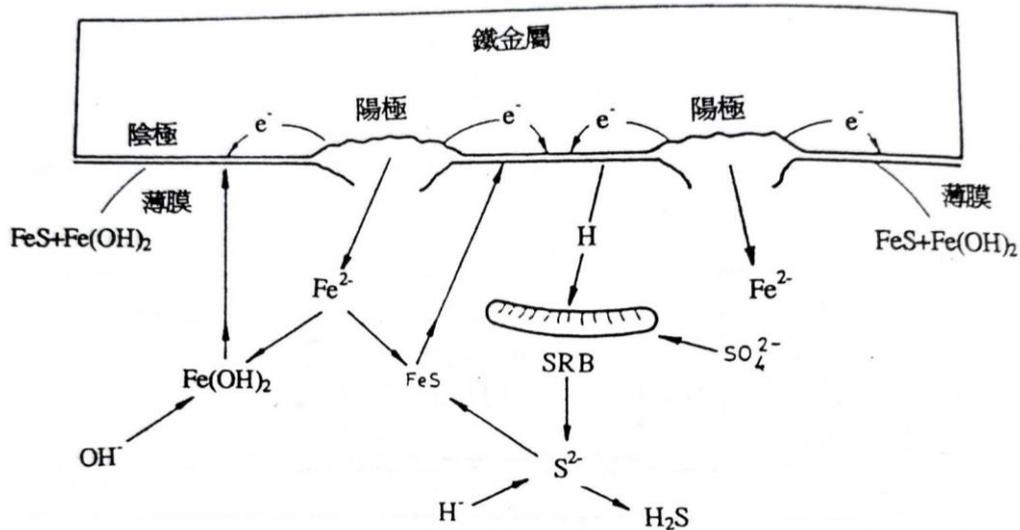


圖 2.7 鋼材上，硫酸鹽還原菌、硫化鐵及氫氧化鐵之關係^[11]

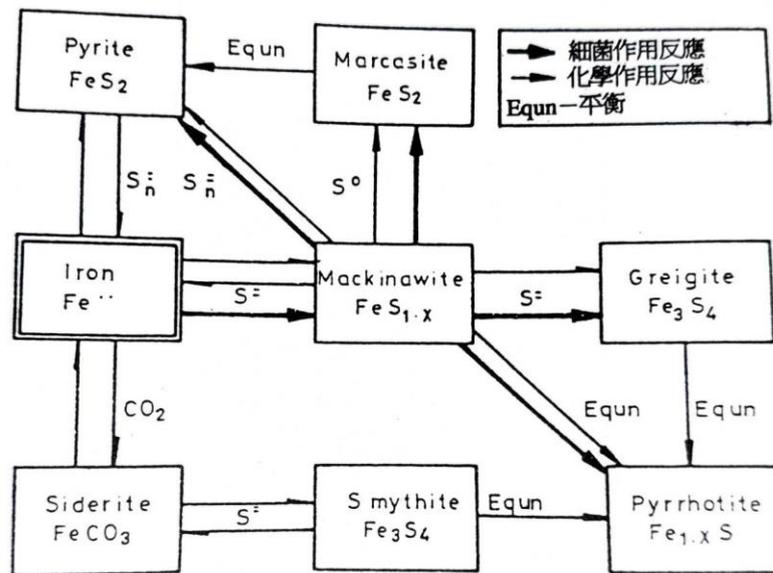


圖 2.8 鋼材上，硫化物間之關係圖^[12]

- (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

陽光促使管樁周界之大氣溫度上昇，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

本計畫於臺中港 4 號碼頭安裝連續水質監測儀器，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，而廢污水排放也會對水溫造成影響。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，因此鹽度是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 1cm² 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) 的定義

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) 的定義

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、粉粒、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：Balanus)

藤壺屬一藤壺種蔓足目，動物外型有點像是火山，直徑大概是1.5~2公分之間，常常群體附著於礁岩或其他物體上生活，如圖 2.9 所示。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]。



圖 2.9 藤壺^[18]

2. 管蟲(學名：Sabellidae)

管蟲是濾食性的定居管棲蠕蟲(圖2.10)，具泥、革質或膠質棲管。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，附着到新的附着物體上時，會重新成長為新的單獨個體，所以有些人會誤認為是植物。海鞘具有天然的控制繁殖數量的能力^[18]。



圖 2.11 海鞘^[18]

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。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。

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。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，上有一延長部分--受精絲，精子不能遊動，隨水流至果胞，與受精絲接觸受精；除部分品種外，還有世代交替現象^[18]。



圖 2.12 紅藻門^[18]

第三章 執行方法與步驟

本研究工作項目整體可以分為「金屬試片暴露試驗」、「金屬試片海洋附著生物調查」與「連續水質監測系統設置」三部分進行，執行項目如圖 3.1 所示。各工作項目執行方法與步驟，詳見 3.1~3.3 節所述。

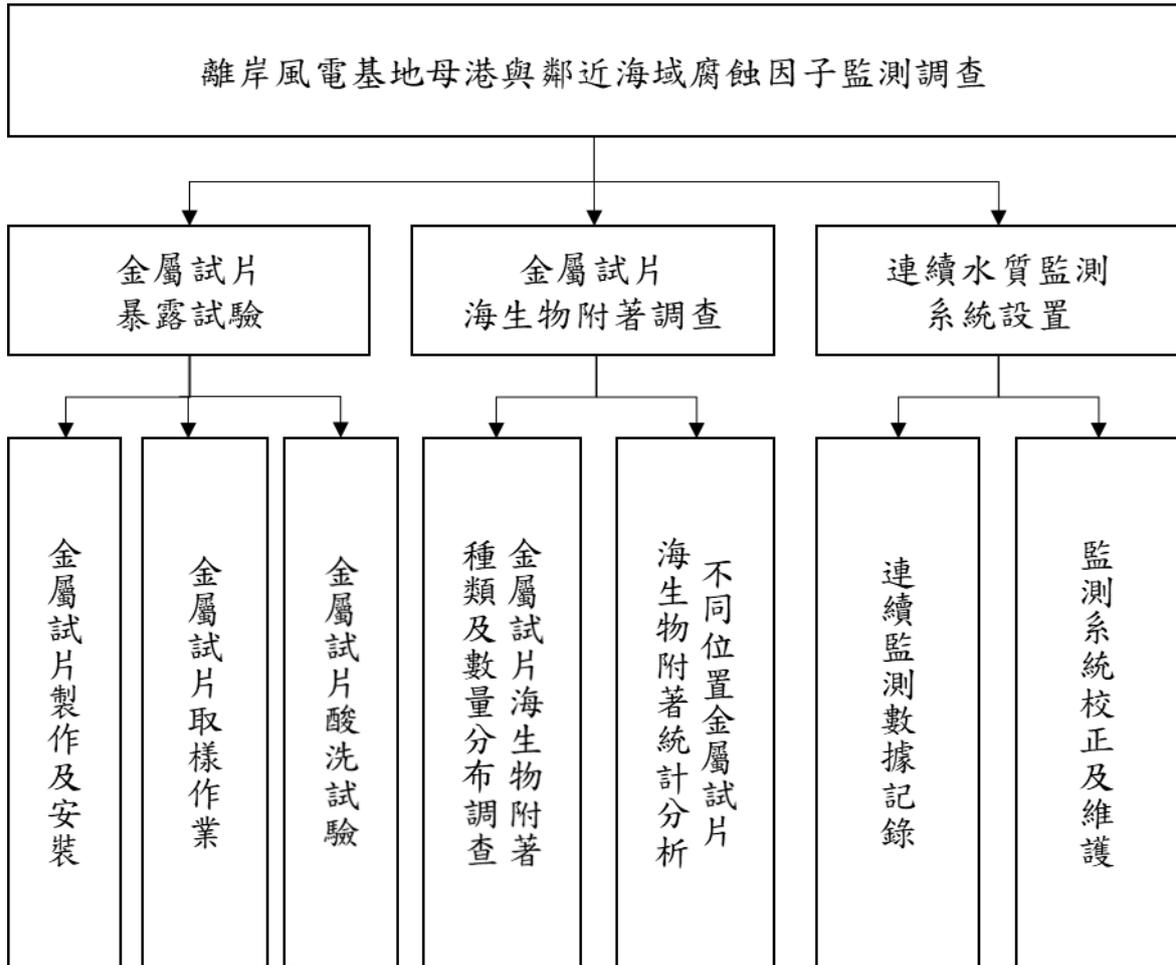


圖 3.1 工作執行項目簡圖

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劃，考量「金屬試片暴露試驗」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，故選定現沉箱式港工結構，且於本所潮位觀測站(圖 3.2)的臺中港 4 號碼頭，作為本次離岸風電基地母港之調查場址之首選。



圖 3.2 臺中港 4 號碼頭(本所港灣技術研究中心潮位觀測站)

108 年 4 月 17 日經現場勘查，確認「金屬試片暴露試驗」與「連續水質系統監測」之裝置位置與深度，透過現地面對面的溝通與實地量測除再度確認現地可用資源情況，並減低施工後之想像落差。現場勘查現況如圖 3.3 所示。



圖 3.3 臺中港 4 號碼頭現勘 (108 年 4 月 17 日)

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，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，金屬試片配置示意圖，如圖 3.4 所示。
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，金屬試片大小皆統一裁定為 15*10 cm，厚度為 1 cm，並逐步完成磨光、浸漬、稱重...等基本流程，再依序將金屬試片安裝至「潮汐帶」、「飛沫帶」、「水中帶」三區金屬試架之上，並於 108 年 4 月 23 日順利完成，如圖 3.5 所示。
3. 金屬試片與現場金屬試架安裝：經上述處理完成之金屬試片，以雙通孔形式，固定於不鏽鋼角鋼製作之金屬試架之上，金屬試片之通孔使用塑膠材質進行隔絕，金屬螺栓與螺帽皆使用絕緣材質墊片，藉以防止電化學腐蝕效應產生。108 年 4 月 25 日，於臺中港 4 號碼頭以膨脹螺絲施作與混凝土牆面接合固定，依「飛沫帶」、「潮汐帶」、「水中帶」三區順序進行現地安裝。現地金屬試片佈放與安裝情況，如圖 3.6 所示。
4. 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 3.4)，本年度分別於六月及九月進行兩次金屬試片回收，其餘樣品採集回收時間，依未來研究調查需求調整。

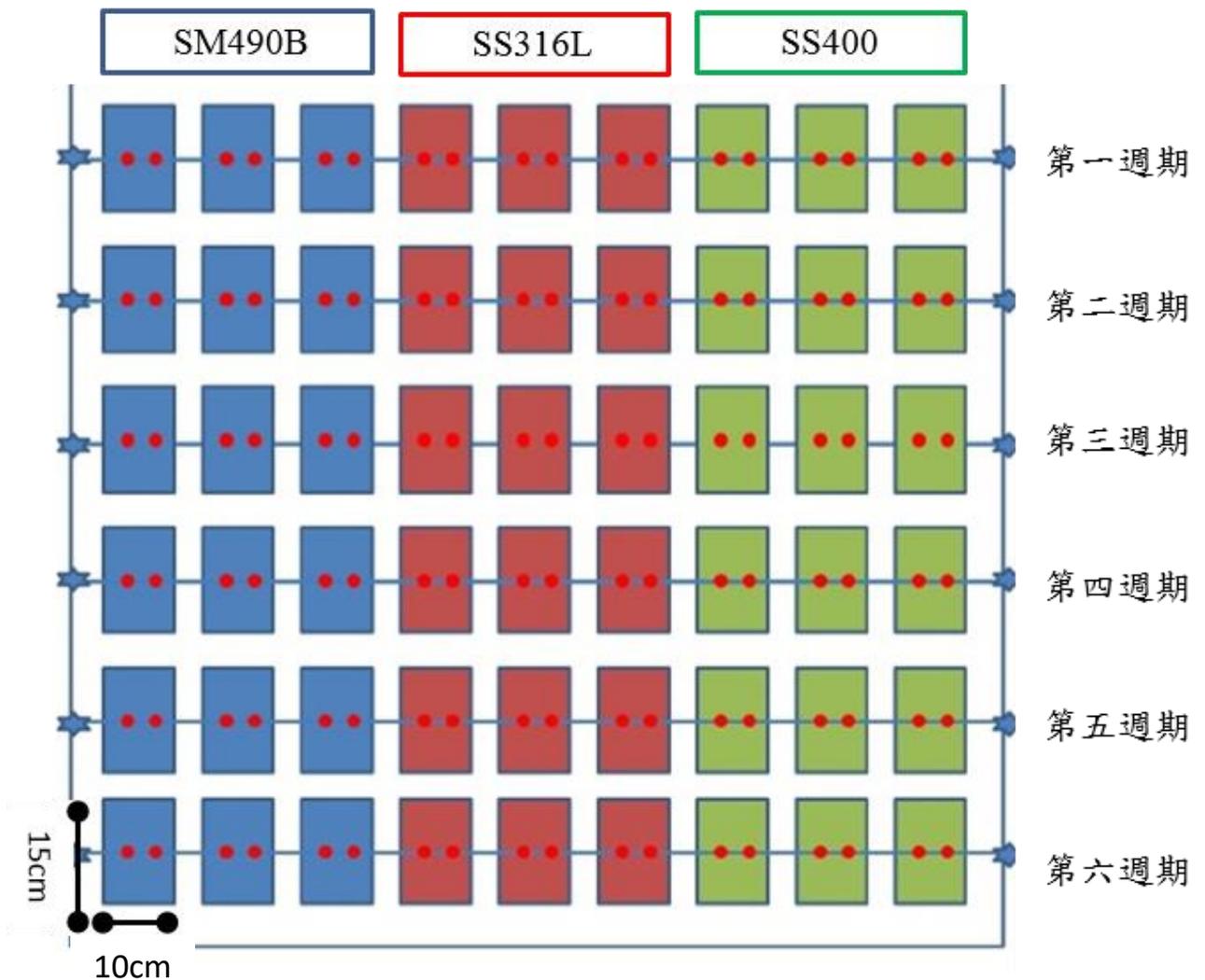


圖 3.4 金屬試片配置示意圖

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^[19]。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^[20]。

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^[20]。

表 3-1 碳鋼含碳比例與基礎特性表^[20]

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^[19]。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、鋯、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^[20]。

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



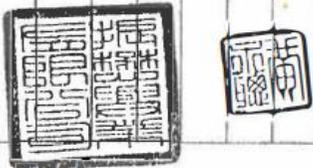
品質證明書
TEST CERTIFICATE

中國鋼鐵股份有限公司
CHINA STEEL CORPORATION
中華民國高雄市中港區中鋼路1號
1 CHUNG KANG ROAD HIAO KANG, KAOHSIUNG 81223
TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA
TEL: (07)802-1111 FAX: (07)802-2511, (07)801-9427
E-mail: l211mac@mail.csc.com.tw

AD121-01 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)		
規格名稱 SPEC	JIS G3136-12 S490B	發票號碼 INVOICE NO.	LY23131891	證明書編號 CERTIFICATE NO.	080221A0121
檢驗 INSPECTION	CSC MILL INSPECTION	客戶編號 CUSTOMER NO.	23650309	中鋼訂單編號 CSC ORDER NO.	DP27115
	T/C 02	交運日期 SHIPPING DATE	FEB. 20, 2019	證明書日期 T/C ISSUE DATE	FEB. 21, 2019
		客戶訂單編號 CUST. ORDER NO.			

項目 ITEM	產品序號 SERIAL (PLATE)	尺寸 DIMENSIONS			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 斷長 斷拉 伸長 Y.S. T.S. EL. MPa. N/mm ² %			化學成分 CHEMICAL COMPOSITION %											REMARK			
		厚度 THICK mm	寬度 WIDTH mm	長度 LENGTH mm						C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Al	B	Mo	V	C7					
101	32831	10.00	2498	12192	2	4.666	2B032	303-2	32831	377	537	24	16	138	18	634			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/6+Mo/4+V/14
註釋 NOTES
Tr: TRACE ELEMENT WITH ITS CONTENT CONFORMING TO THE SPECIFICATION REQUIREMENTS.

INSPECTED BY: _____
茲證明本表所列產品，均依材料規格製成及試驗，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-Puon 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

高雄永安區永興一街2號
NO.2 YEONG CHING TUTH 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): 金宏不鏽鋼材有限公司

PAGE: 1/1

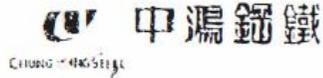
Date: 2017/05/02

Commodity(品名): HOT ROLLED STAINLESS STEEL PLATE						Surface Finish(表面等級): NO.1				Solution Annealed 1080 °C & Water Cooling							
Specification(規範): ASTM A240-15						Steel Grade(鋼種): 316L				Impact Test(衝擊試驗)							
						(20°C)/ Min. 60 J				(-196°C)/ Min. 60 J							
Item No.	Product No.	Heat No.	Size			Pcs	Kgs										
1	DU50491	183276	10mm X 1219mm X 2436mm			42	10,012										
2	DU50491	183276	10mm X 1219mm X 3048mm			18	4,768										
3	DU50491	183276	10mm X 1219mm X 4676mm			2	953										
Total						60	15,731										
Item No.	Chemical Composition(化學成分)/Heat Analysis(熔煉分析)											降伏強度 Y.S(MPa)	抗拉強度 T.S(MPa)	伸長率 % Elongation	硬度試驗 Hardness HRB/AVE.		
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Cu	Ti					1%	0.2%
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	18.89	2.07	0.013	0.31			253	561	50		74
2	0.014	0.56	0.75	0.035	0.001	10.14	18.89	2.07	0.013	0.31			253	561	50		74
3	0.014	0.56	0.75	0.035	0.001	10.14	18.89	2.07	0.013	0.31			253	561	50		74
Remarks:												Manager of Quality Assurance Department					
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.												 SF. Lien					
We hereby certify that the material described above has been detected and has no radiation contamination.(鋼種供字第206號)												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.					



FM-128-1/08.07

表 3-4 SS400 低碳鋼金屬品質證明書



品質證明書
CERTIFICATE OF QUALITY

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凰區羊耳路317號
112, YU LIAO ROAD, CHIAO TOUN DISTRICT,
SACHUNG CITY, TAIWAN, ROC
TEL 886 7 6117171 (TEL. LINE 5) FAX 886 7 6110024
COMPANY REGISTRATION NUMBER 91028154

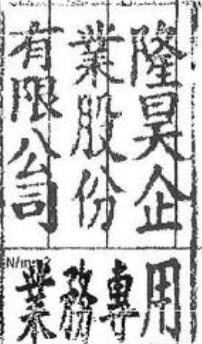
客戶名稱 SOLD TO	隆興企業股份有限公司										證明書編號 CERTIFICATE NO.	H163090045				證明書日期 ISSUE DATE	Mar.09, 2016																	
製品名稱 COMMODITY	熱軋粗鋼卷										訂單號碼 ORDER NO.	H1531.HA06				交運日期 SHIPPING DATE	Mar.08, 2016																	
製品規格 SPECIFICATION	JIS G3101 SS400										客戶編號 CUSTOMER NO.	76472155				發票號碼 INVOICE NO.																		
項目 ITEM NO.	標頭編號 LABEL NO.	尺寸 MATERIAL DESCRIPTION					爐號 HEAT NO.	拉伸試驗 TENSILE			彎曲試驗 BEND TEST	硬度試驗 HARDNESS TEST HB	貨號名稱 COATING DESIGN ACTION	球化率 Spheroidity %	化學成分 CHEMICAL COMPOSITION (%)																			
		厚度 THICK mm	寬度 WIDTH mm	長度 LENGTH mm	張數 QTY	重量 MASS kg		降伏 Y.S. MPa	抗拉 T.S. MPa	伸長 EL. %					C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Mo	N	B	Nb	V	Ti	Sn	Co			
規格 SPECIFICATION																			50 max	50 max														
1	BC1008117	10.000	1,524	CDL	1	23.025	164B043							14	11	37	15	4	42	1	2	2	Tr	36	1	Tr	Tr	1	Tr					
						1	23.025					Ti: TRACE ELEMENT WITH ITS CONTENT CONFORMING TO THE SPECIFICATION REQUIREMENTS																						
																																		
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 																					



圖 3.5 金屬試片前處理流程與安裝 (108 年 4 月 23 日)

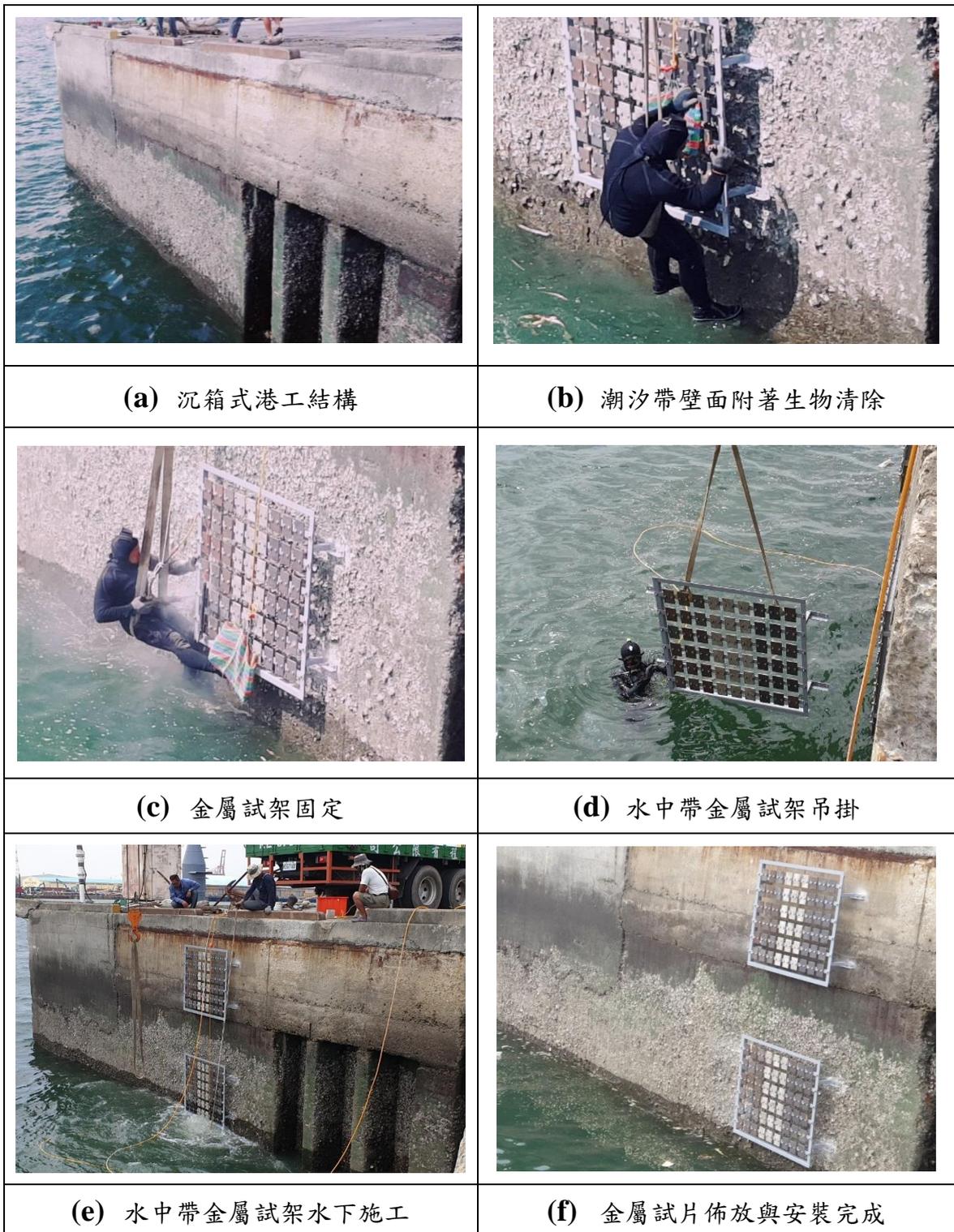


圖 3.6 臺中港 4 號碼頭金屬試片佈放與安裝 (108 年 4 月 25 日)

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，並分於108年6月3日及108年9月3日，金屬試片暴露時間為一個月及三個月，觀測期間總計進行兩次金屬試片取樣作業。依前述金屬試架設計，三座金屬試架僅需旋開金屬試片後方主支條與試架本體之螺帽，即可依「飛沫帶」、「潮汐帶」、「水中帶」順序取下整列金屬試片樣品(圖3.7)。



圖 3.7 暴露區域之金屬試片樣品

金屬試片取下後，依暴露區域排序，分別針對各金屬試片正、反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3.8所示。

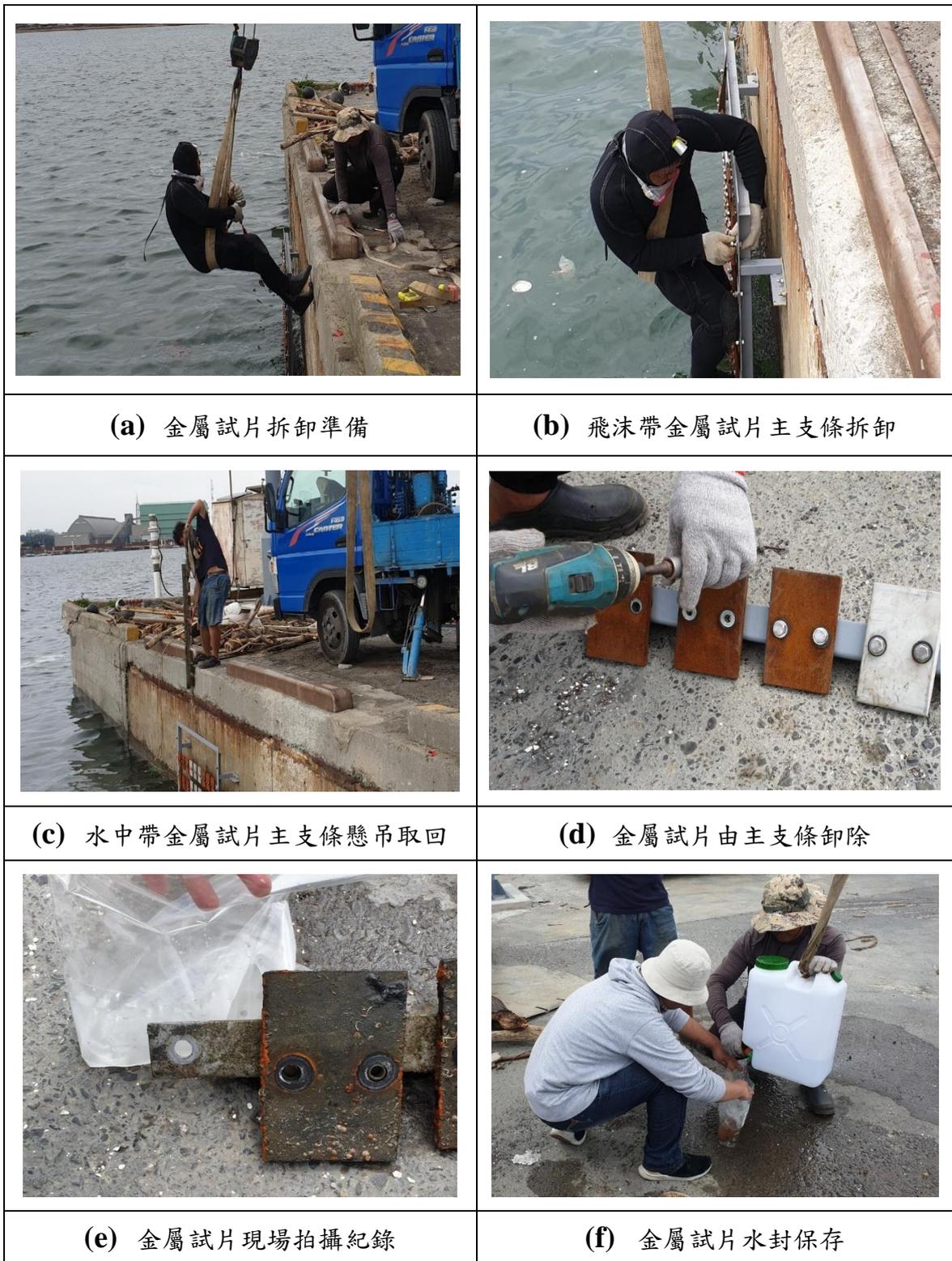


圖 3.8 金屬試片取樣作業情況

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 自動連續水質監測系統

臺中港 4 號碼頭現已設有港灣技術研究中心潮位觀測站，因自動水質監測系統亦為長時間且具連續性之監測數據紀錄，考量兩監測資料站的資訊接收、數據傳輸訊號穩定之良莠及電力供給穩定度...等因素，故為「自動水質監測系統」獨立規劃一保護箱，建構「自動連續水質監測系統觀測站」(後稱水質系統觀測站)，其簡易系統建置示意圖，如圖 3.9 所示。

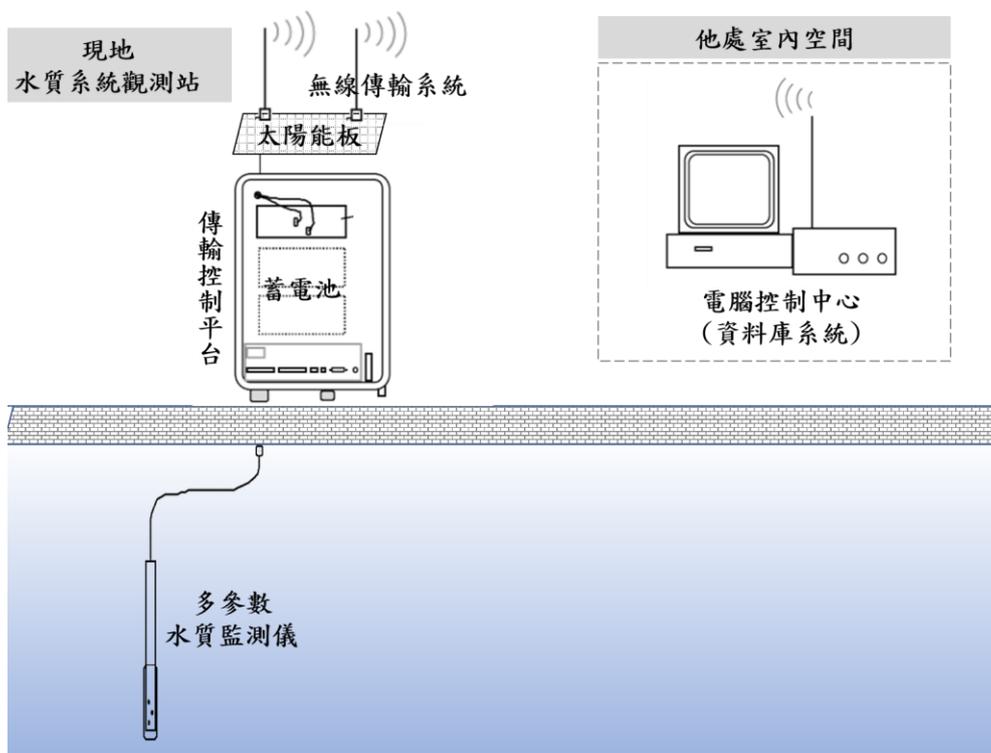


圖 3.9 水質監測系統示意圖

臺中港 4 號碼頭之水質系統觀測站，於 108 年 5 月 30 日安裝完畢，現場安裝情況，如圖 3.10 所示。自動水質監測設備透過「多參數水質監測儀」進行監測，監測項目現包含：鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度...等，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。未來可視觀測需求，適度增加其他水環境監測項目探針，如葉綠素 a、及光照度等。

保護箱內包含了系統傳輸控制平臺，配置四顆蓄電源，電源供應符合 AC 110V 及 DC 12V 規格，另搭配太陽能電力系統支援，供電系統實際供電量須超出監測系統最大用電量 20%，若遇太陽能無法供電時，蓄電池仍可維持 10 天左右之電量；充電系統具過充及過放保護功能並具避雷擊保護裝置(避雷器：可承受 200W，瞬間最大可承受 2000W)，以保持電力穩定。

無線數據傳輸透過電子傳輸途徑，將海洋環境中之鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度等各式水質參數資料即時傳輸至資料蒐集站內之主機，藉以確認水質連續監測系統建置資料傳輸正常且數據穩定，並可於資訊傳輸異常時，進行訊息傳輸或儀器校正等異常情況排除。自動水質監測系統除使用本身監測資料傳輸至水質系統觀測站之傳輸控制平臺進行處理與彙整後，透過 4G 無線網路連接，將即時監測數據回傳至他處室內空間之電腦控制中心資料庫系統中，以利觀測人員可由控制室之資料庫電腦掌握現場之即時資訊，亦可透過網路伺服器同步瞭解水質監測系統之穩定度。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，定期執行校驗工作以確認儀器精確度。現場操作介面、多參數水質監測儀清潔維護與施放，如圖 3.11 所示。



圖 3.10 水質監測系統安裝作業情況 (108 年 5 月 30 日)

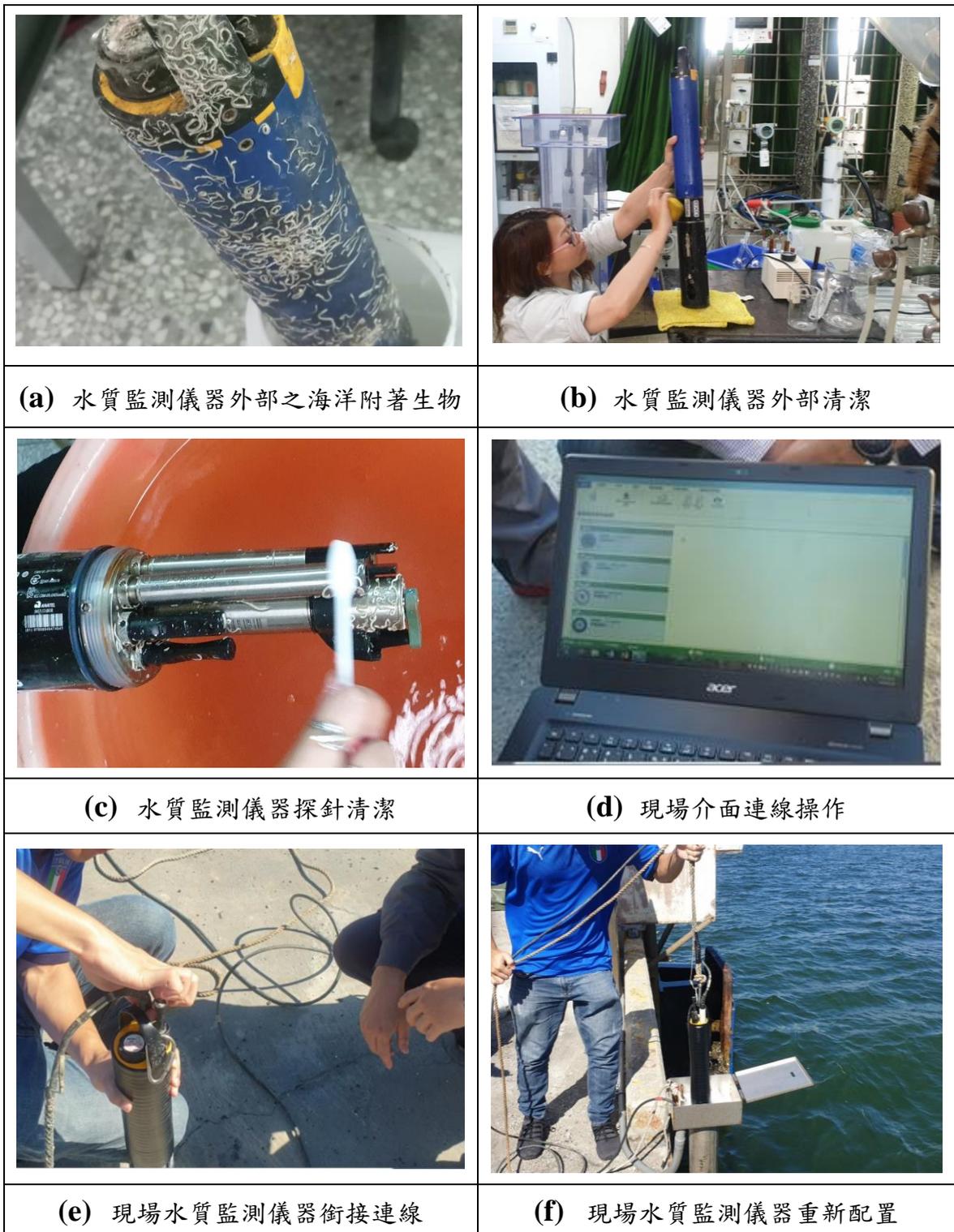


圖 3.11 現場水質監測儀器連線佈放(108 年 6 月 20 日)

觀測期間，分別於 108 年 6 月 3 日(暴露期間約一個月)及 108 年 9 月 3 日(暴露期間約三個月)，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 4.2~圖 4.28 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 4.2~圖 4.10)，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	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.2 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A1)

飛沫帶，SM490B 碳鋼，A2	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.3 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A2)

飛沫帶，SM490B 碳鋼，A3	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.4 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(A3)

飛沫帶，SS316L 不鏽鋼，A4	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.5 飛沫帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(A4)

飛沫帶，SS316L 不鏽鋼，A5	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.6 飛沫帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(A5)

飛沫帶，SS316L 不鏽鋼，A6	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.7 飛沫帶金屬試片調查記錄---SS316L 不鏽鋼(A6)

飛沫帶，SS400 低碳鋼，A7	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.8 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A7)

飛沫帶，SS400 低碳鋼，A8	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.9 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A8)

飛沫帶，SS400 低碳鋼，A9	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.10 飛沫帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(A9)

潮汐帶，SM490B 碳鋼，B1	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.11 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B1)

潮汐帶，SM490B 碳鋼，B2	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.12 潮差帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B2)

潮汐帶，SM490B 碳鋼，B3	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.13 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(B3)

潮汐帶，SS316L 不鏽鋼，B4	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.14 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B4)

潮汐帶，SS316L 不鏽鋼，B5	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.15 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B5)

潮汐帶，SS316L 不鏽鋼，B6	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.16 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(B6)

潮汐帶，SS400 低碳鋼，B7	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.17 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B7)

潮汐帶，SS400 低碳鋼，B8	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.18 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B8)

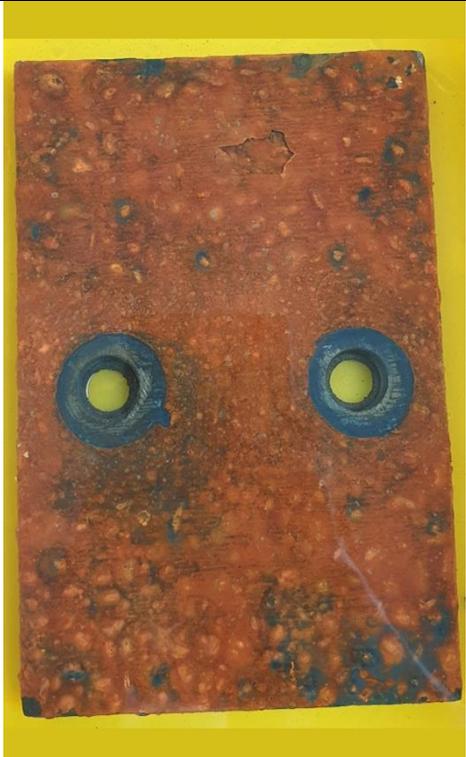
潮汐帶，SS400 低碳鋼，B9	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.19 潮汐帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(B9)

水中帶，SM490B 碳鋼，C1	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.20 水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C1)

水中帶，SM490B 碳鋼，C2	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.21 水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C2)

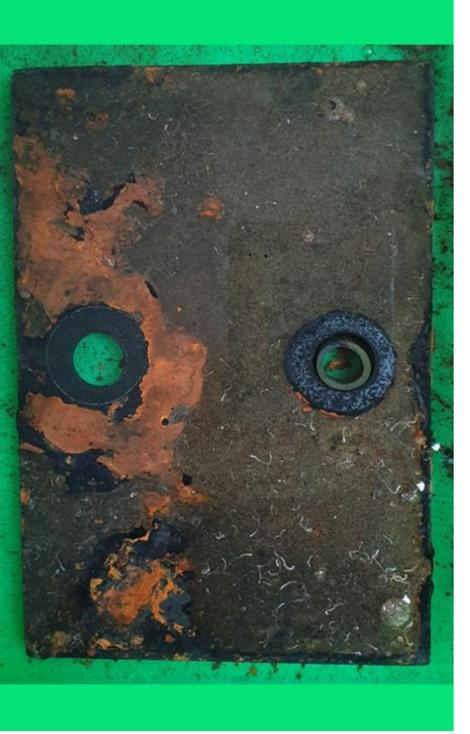
水中帶，SM490B 碳鋼，C3	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.22 水中帶金屬試片調查記錄--- SM490B 碳鋼(C3)

水中帶，SS316L 不鏽鋼，C4	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.23 水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C4)

水中帶，SS316L 不鏽鋼，C5	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.24 水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C5)

水中帶，SS316L 不鏽鋼，C6	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.25 水中帶金屬試片調查記錄--- SS316L 不鏽鋼(C6)

水中帶，SS400 低碳鋼，C7	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.26 水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C7)

水中帶，SS400 低碳鋼，C8	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.27 水中帶金屬試片調查記錄--- SS400 低碳鋼(C8)

水中帶，SS400 低碳鋼，C9	
採樣時間：108 年 6 月 3 日	採樣時間：108 年 9 月 3 日
	
(a) 一個月，正面	(c) 三個月，正面
	
(b) 一個月，反面	(d) 三個月，反面

圖 4.28 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4.11~圖4.19)，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4-1可知，潮汐帶暴露一個月之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；正反兩面管蟲介於1~10隻。SS316L不鏽鋼僅有藤壺出現，正反兩面藤壺數量介於259~306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，正反兩面管蟲介於0~22隻。暴露三個月之SM490B碳鋼金屬試片正反兩面藤壺數量介於11~92個，正反兩面皆無二枚貝類及管蟲出現。SS316L不鏽鋼仍以藤壺為主，正反兩面藤壺數量介於57~127個，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10~21個。SS400低碳鋼金屬試片之附著生物同以藤壺為主，且於SS400低碳鋼金屬試片側面也有發現藤壺生長，正反兩面藤壺數量介於90~168個。

表 4-1 潮汐帶金屬試片海洋附著生物調查表

(a) 潮汐帶 (暴露時間：一個月)									
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：三個月)									
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

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4.20~圖4.28)，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，除觀察到數量較多的藤壺與管蟲，亦可觀察到二枚貝類出現，暴露三個月後，二枚貝類最大直徑約5.5cm。

由表4-2可知，水中帶暴露一個月之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；正面管蟲介於8~30隻，反面管蟲數量明顯增加，介於144~272隻，正反兩面僅出現0~2個二枚貝類。SS316L不鏽鋼，正面藤壺數量僅為1~4個，反面藤壺數量6~67個，藤壺仍有於側面生長，但正反兩面僅出現0~5個；正反兩面之二枚貝類僅0~5個。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；正面管蟲介於48~92隻，反面管蟲數量介於92~222隻；正反兩面之二枚貝類僅0~5個。暴露三個月之SM490B碳鋼金屬試片正反兩面藤壺數量介於12~49個；正反兩面出現0~5個二枚貝類，管蟲多集中分布於試片反面。SS316L不鏽鋼，反面藤壺數量較正面為多可觀察到7~11個，藤壺仍有於側面生長；正反兩面之二枚貝類出現6~8個，管蟲則少量不均分布於金屬試片之上。SS400低碳鋼金屬試片正反兩面藤壺數量介於7~16個；正反兩面之二枚貝類出現0~13個，管蟲反面附著面積高於正面。

表 4-2 水中帶金屬試片海洋附著生物調查表

(a) 水中帶 (暴露時間：一個月)									
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
(a) 水中帶 (暴露時間：一個月)									
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	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：三個月)									
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
(b) 水中帶 (暴露時間：三個月)									
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	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*	45	20	45	3	2	7	12	25	93

*覆蓋面積(cm²)表示

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，藤壺個數最豐，且顯著於金屬試片側面亦有顯著藤壺生長，暴露一個月時，藤壺個體多偏小且容易剝落(圖 4.29)，藤壺個體大小隨觀察時間增加而成長，附著強度明顯增加。管蟲僅可於暴露一個月之 SM490B 碳鋼及 SS400 低碳鋼上發現，但總體數量仍少；直至暴露三個月時，所有金屬皆無發現管蟲，僅於試片背面出現少量之二枚貝類。「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。以三暴露區域相比，二枚貝類數量以水中帶最多，最大直徑約 5cm(圖 4.30)。另可發現管蟲較「潮汐帶」數量顯著增加，且各式金屬試片背面之管蟲數量皆高於正面，顯見穩定之水體接觸是為二枚貝類及管蟲附著生長的重要環境條件。

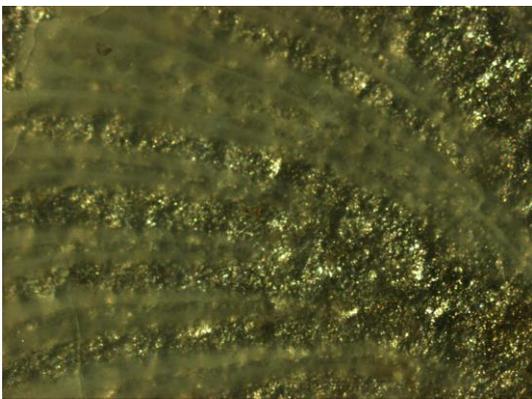


圖 4.29 「潮汐帶」藤壺剝落之痕跡



圖 4.30 「水中帶」附著之牡蠣

4.2 金屬試片腐蝕速率分析

待金屬試片海洋附著生物觀察完畢，接續使用刮刀或小鋼刷，藉以刮除金屬試片上剩餘之表面海洋附著生物(圖 4.31 a)，依循 NACE Standard TM-01-69 法，於室溫以濃鹽酸+40 g/L SnCl₂ 溶液浸泡(圖 4.31 b)，進行金屬表面腐蝕生成物之清除作業(圖 4.31 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 4.31 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 4.32~圖 4.37 所示。

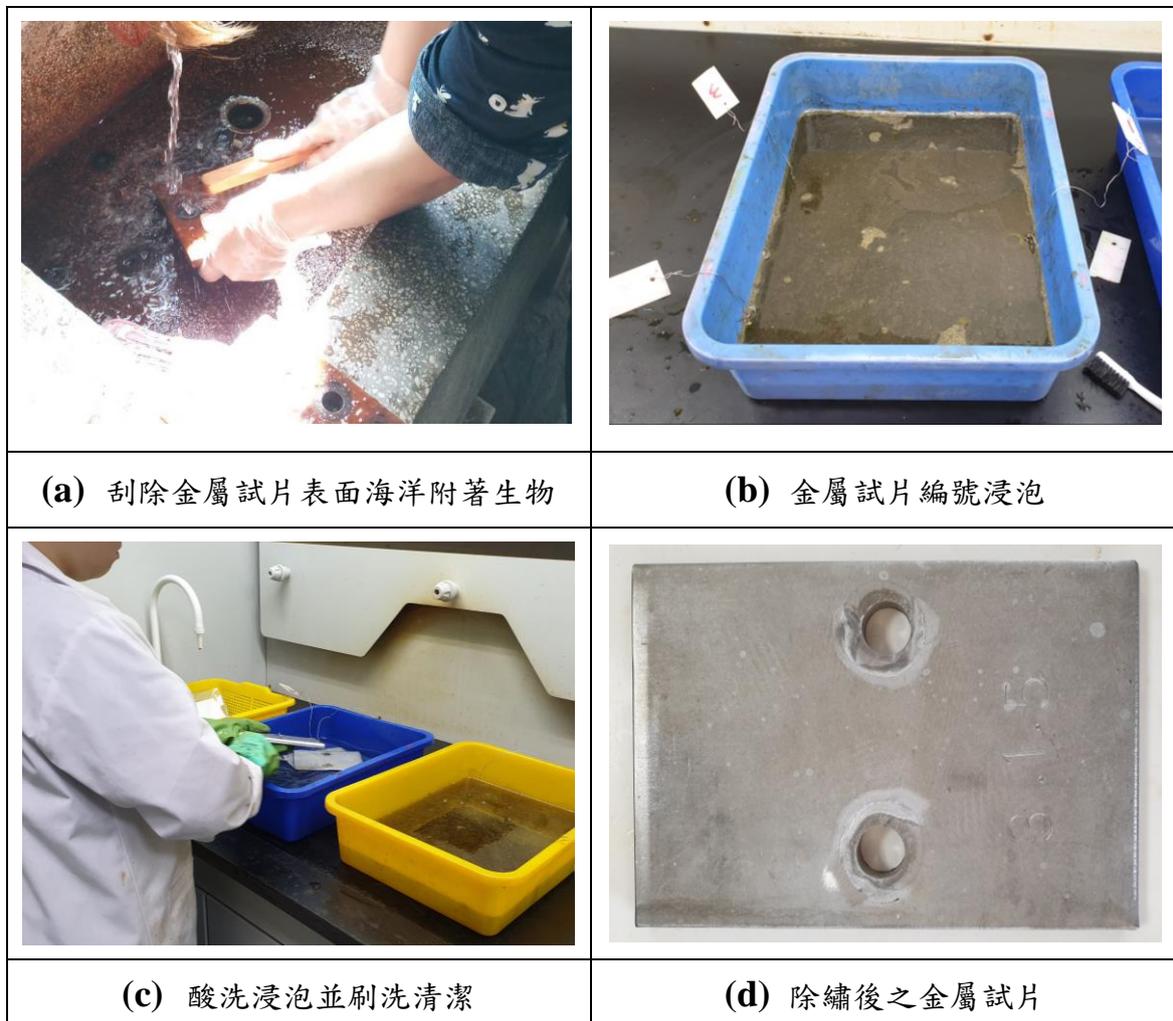


圖 4.31 金屬試片腐蝕速率分析前處理

<table border="1"> <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>重量變化(g)</td><td>6.6</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.290</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>290.1</td></tr> </table>	原始重量(g)	1145.4	腐蝕後實際重量(g)	1138.8	重量變化(g)	6.6	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.290	腐蝕速率(μm/year)	290.1	<table border="1"> <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>重量變化(g)</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.009</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>8.8</td></tr> </table>	原始重量(g)	1160.1	腐蝕後實際重量(g)	1159.9	重量變化(g)	0.2	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.009	腐蝕速率(μm/year)	8.8	<table border="1"> <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>重量變化(g)</td><td>8.7</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.382</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>382.4</td></tr> </table>	原始重量(g)	1133.8	腐蝕後實際重量(g)	1125.1	重量變化(g)	8.7	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.382	腐蝕速率(μm/year)	382.4
原始重量(g)	1145.4																																											
腐蝕後實際重量(g)	1138.8																																											
重量變化(g)	6.6																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.290																																											
腐蝕速率(μm/year)	290.1																																											
原始重量(g)	1160.1																																											
腐蝕後實際重量(g)	1159.9																																											
重量變化(g)	0.2																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.009																																											
腐蝕速率(μm/year)	8.8																																											
原始重量(g)	1133.8																																											
腐蝕後實際重量(g)	1125.1																																											
重量變化(g)	8.7																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.382																																											
腐蝕速率(μm/year)	382.4																																											
<p>材質：SM490B 碳鋼 代號：1-1-1</p>	<p>材質：SS316L 不鏽鋼 代號：1-1-4</p>	<p>材質：SS400 低碳鋼 代號：1-1-7</p>																																										
																																												
一個月清洗前	一個月清洗前	一個月清洗前																																										
																																												
一個月清洗後	一個月清洗後	一個月清洗後																																										

圖 4.32 飛沫帶金屬試片分析(一個月)

原始重量(g)	1144.8	原始重量(g)	1152.7	原始重量(g)	1148.9
腐蝕後實際重量(g)	1118.7	腐蝕後實際重量(g)	1152.5	腐蝕後實際重量(g)	1122.1
重量變化(g)	26.1	重量變化(g)	0.2	重量變化(g)	26.8
表面積(cm ²)	350	表面積(cm ²)	350	表面積(cm ²)	350
密度(g/cm ³)	7.85	密度(g/cm ³)	7.85	密度(g/cm ³)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	1.147	腐蝕速率(mm/year)	0.009	腐蝕速率(mm/year)	1.178
腐蝕速率(μm/year)	1147.3	腐蝕速率(μm/year)	8.8	腐蝕速率(μm/year)	1178.0
材質：SM490B 碳鋼 代號：2-1-1		材質：SS316L 不鏽鋼 代號：2-1-4		材質：SS400 低碳鋼 代號：2-1-7	
					
一個月清洗前		一個月清洗前		一個月清洗前	
					
一個月清洗後		一個月清洗後		一個月清洗後	

圖 4.33 潮汐帶金屬試片分析(一個月)

<table border="1"> <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>重量變化(g)</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.418</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>417.6</td></tr> </table>	原始重量(g)	1148.0	腐蝕後實際重量(g)	1138.5	重量變化(g)	9.5	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.418	腐蝕速率(μm/year)	417.6	<table border="1"> <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>重量變化(g)</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.006</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>61.5</td></tr> </table>	原始重量(g)	1162.4	腐蝕後實際重量(g)	1161.0	重量變化(g)	1.4	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.006	腐蝕速率(μm/year)	61.5	<table border="1"> <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>重量變化(g)</td><td>9.7</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.426</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>426.4</td></tr> </table>	原始重量(g)	1154.0	腐蝕後實際重量(g)	1144.3	重量變化(g)	9.7	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.426	腐蝕速率(μm/year)	426.4
原始重量(g)	1148.0																																											
腐蝕後實際重量(g)	1138.5																																											
重量變化(g)	9.5																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.418																																											
腐蝕速率(μm/year)	417.6																																											
原始重量(g)	1162.4																																											
腐蝕後實際重量(g)	1161.0																																											
重量變化(g)	1.4																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.006																																											
腐蝕速率(μm/year)	61.5																																											
原始重量(g)	1154.0																																											
腐蝕後實際重量(g)	1144.3																																											
重量變化(g)	9.7																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.426																																											
腐蝕速率(μm/year)	426.4																																											
<p>材質：SM490B 碳鋼 代號：3-1-1</p>	<p>材質：SS316L 不鏽鋼 代號：3-1-4</p>	<p>材質：SS400 低碳鋼 代號：3-1-7</p>																																										
																																												
一個月清洗前	一個月清洗前	一個月清洗前																																										
																																												
一個月清洗後	一個月清洗後	一個月清洗後																																										

圖 4.34 水中帶金屬試片分析(一個月)

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
重量變化(g)	75.6	重量變化(g)	0.2	重量變化(g)	98.1
表面積(cm ²)	350	表面積(cm ²)	350	表面積(cm ²)	350
密度(g/cm ³)	7.85	密度(g/cm ³)	7.85	密度(g/cm ³)	7.85
腐蝕速率(mm/year)	1.107	腐蝕速率(mm/year)	0.002	腐蝕速率(mm/year)	1.437
腐蝕速率(μm/year)	1107.7	腐蝕速率(μm/year)	2.9	腐蝕速率(μm/year)	1437.4
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	
					
三個月清洗前		三個月清洗前		三個月清洗前	
					
三個月清洗後		三個月清洗後		三個月清洗後	

圖 4.35 飛沫帶金屬試片分析(三個月)

<table border="1"> <tr><td>原始重量(g)</td><td>1142.9</td></tr> <tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1078.9</td></tr> <tr><td>重量變化(g)</td><td>64.0</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.938</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>937.7</td></tr> </table>	原始重量(g)	1142.9	腐蝕後實際重量(g)	1078.9	重量變化(g)	64.0	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.938	腐蝕速率(μm/year)	937.7	<table border="1"> <tr><td>原始重量(g)</td><td>1157.8</td></tr> <tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1157.6</td></tr> <tr><td>重量變化(g)</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.003</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>2.9</td></tr> </table>	原始重量(g)	1157.8	腐蝕後實際重量(g)	1157.6	重量變化(g)	0.2	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.003	腐蝕速率(μm/year)	2.9	<table border="1"> <tr><td>原始重量(g)</td><td>1162.0</td></tr> <tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1098.3</td></tr> <tr><td>重量變化(g)</td><td>158.1</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.933</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>933.3</td></tr> </table>	原始重量(g)	1162.0	腐蝕後實際重量(g)	1098.3	重量變化(g)	158.1	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.933	腐蝕速率(μm/year)	933.3
原始重量(g)	1142.9																																											
腐蝕後實際重量(g)	1078.9																																											
重量變化(g)	64.0																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.938																																											
腐蝕速率(μm/year)	937.7																																											
原始重量(g)	1157.8																																											
腐蝕後實際重量(g)	1157.6																																											
重量變化(g)	0.2																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.003																																											
腐蝕速率(μm/year)	2.9																																											
原始重量(g)	1162.0																																											
腐蝕後實際重量(g)	1098.3																																											
重量變化(g)	158.1																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.933																																											
腐蝕速率(μm/year)	933.3																																											
材質：SM490B 碳鋼 代號：2-2-1	材質：SS316L 不鏽鋼 代號：2-2-4	材質：SS400 低碳鋼 代號：2-2-7																																										
																																												
三個月清洗前	三個月清洗前	三個月清洗前																																										
																																												
三個月清洗後	三個月清洗後	三個月清洗後																																										

圖 4.36 潮汐帶金屬試片分析(三個月)

<table border="1"> <tr><td>原始重量(g)</td><td>1140.9</td></tr> <tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1119.5</td></tr> <tr><td>重量變化(g)</td><td>21.4</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.314</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>313.6</td></tr> </table>	原始重量(g)	1140.9	腐蝕後實際重量(g)	1119.5	重量變化(g)	21.4	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.314	腐蝕速率(μm/year)	313.6	<table border="1"> <tr><td>原始重量(g)</td><td>1153.2</td></tr> <tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1149.8</td></tr> <tr><td>重量變化(g)</td><td>3.4</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.050</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>49.8</td></tr> </table>	原始重量(g)	1153.2	腐蝕後實際重量(g)	1149.8	重量變化(g)	3.4	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.050	腐蝕速率(μm/year)	49.8	<table border="1"> <tr><td>原始重量(g)</td><td>1127.4</td></tr> <tr><td>腐蝕後實際重量(g)</td><td>1105.7</td></tr> <tr><td>重量變化(g)</td><td>21.7</td></tr> <tr><td>表面積(cm²)</td><td>350</td></tr> <tr><td>密度(g/cm³)</td><td>7.85</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(mm/year)</td><td>0.318</td></tr> <tr><td>腐蝕速率(μm/year)</td><td>317.9</td></tr> </table>	原始重量(g)	1127.4	腐蝕後實際重量(g)	1105.7	重量變化(g)	21.7	表面積(cm ²)	350	密度(g/cm ³)	7.85	腐蝕速率(mm/year)	0.318	腐蝕速率(μm/year)	317.9
原始重量(g)	1140.9																																											
腐蝕後實際重量(g)	1119.5																																											
重量變化(g)	21.4																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.314																																											
腐蝕速率(μm/year)	313.6																																											
原始重量(g)	1153.2																																											
腐蝕後實際重量(g)	1149.8																																											
重量變化(g)	3.4																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.050																																											
腐蝕速率(μm/year)	49.8																																											
原始重量(g)	1127.4																																											
腐蝕後實際重量(g)	1105.7																																											
重量變化(g)	21.7																																											
表面積(cm ²)	350																																											
密度(g/cm ³)	7.85																																											
腐蝕速率(mm/year)	0.318																																											
腐蝕速率(μm/year)	317.9																																											
<p>材質：SM490B 碳鋼 代號：3-2-1</p>	<p>材質：SS316L 不鏽鋼 代號：3-2-4</p>	<p>材質：SS400 低碳鋼 代號：3-2-7</p>																																										
																																												
三個月清洗前	三個月清洗前	三個月清洗前																																										
																																												
三個月清洗後	三個月清洗後	三個月清洗後																																										

圖 4.37 水中帶金屬試片分析(三個月)

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，分別於 108 年 6 月 3 日及 108 年 9 月 3 日，進行金屬試片採樣回收工作，居間金屬試片暴露時間分別為期一個月及三個月，「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 4-1、表 4-2 及圖 4.38、圖 4.39 所示。

表4-3 臺中港4號碼頭金屬試片腐蝕速率表(一個月)

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	290.1	301.8	8.8	5.9	382.4	385.3
	285.7		0.0		408.8	
	329.7		8.8		364.8	
潮汐帶	1147.3	1144.3	8.8	7.3	1178.0	1241.0
	1142.9		8.8		1301.1	
	1142.9		4.4		1244.0	
水中帶	417.6	435.2	61.5	58.6	426.4	414.7
	509.9		61.5		422.0	
	378.0		52.7		395.6	

表4-4 臺中港4號碼頭金屬試片腐蝕速率表(三個月)

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	1107.7	1176.1	2.9	2.4	1437.4	1427.1
	1166.3		2.9		1450.5	
	1254.2		1.5		1393.4	
潮汐帶	937.7	909.9	8.8	3.9	933.3	930.4
	907.0		8.8		937.7	
	885.0		4.4		920.1	
水中帶	313.6	317.9	49.8	50.3	317.9	329.2
	316.5		55.7		344.3	
	323.8		45.4		325.3	

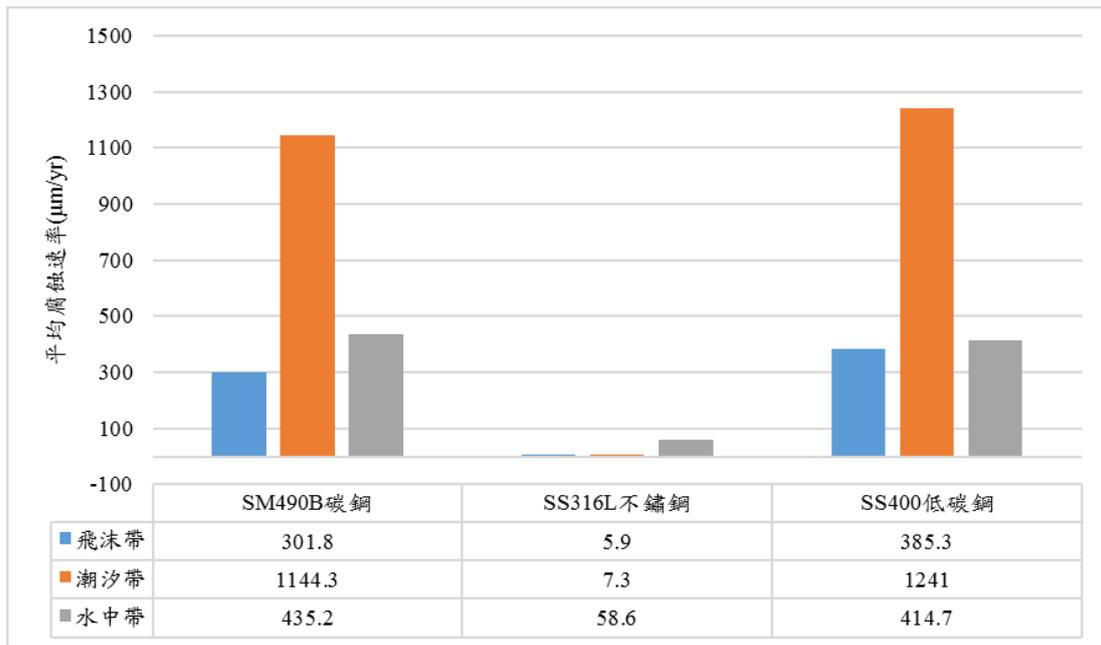


圖 4.38 臺中港 4 號碼頭金屬試片平均腐蝕速率圖(一個月)

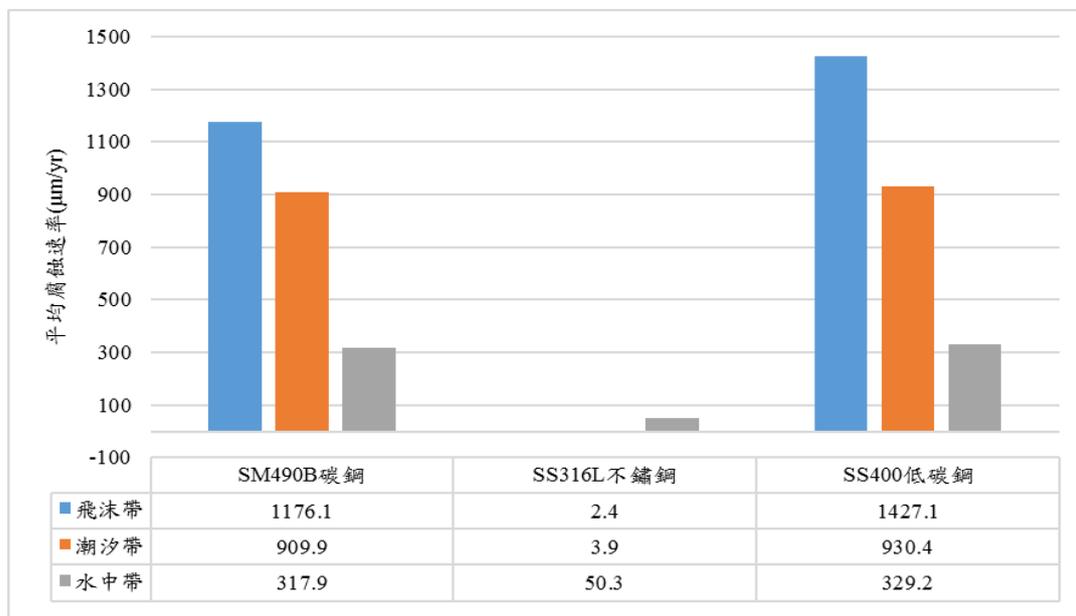


圖 4.39 臺中港 4 號碼頭金屬試片平均腐蝕速率圖(三個月)

4.2.1 金屬試片腐蝕速率分析(一個月)

金屬試片於飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放一個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-1 及圖 4.38 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 $301.8 \mu\text{m/yr}$ 、 $5.9 \mu\text{m/yr}$ 及 $385.3 \mu\text{m/yr}$ 。「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 $1144.4 \mu\text{m/yr}$ 、 $7.3 \mu\text{m/yr}$ 及 $1241.0 \mu\text{m/yr}$ 。「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 $435.2 \mu\text{m/yr}$ 、 $58.6 \mu\text{m/yr}$ 及 $414.7 \mu\text{m/yr}$ 。

4.2.2 金屬試片腐蝕速率分析(三個月)

金屬試片於不飛沫帶、潮汐帶及水中帶佈放三個月之腐蝕速率分析結果，如表 4-2 及圖 4.39 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 $1176.1 \mu\text{m/yr}$ 、 $2.4 \mu\text{m/yr}$ 及 $1427.1 \mu\text{m/yr}$ 。「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 $909.9 \mu\text{m/yr}$ 、 $3.9 \mu\text{m/yr}$ 及 $930.4 \mu\text{m/yr}$ 。「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 $317.9 \mu\text{m/yr}$ 、 $50.3 \mu\text{m/yr}$ 及 $329.2 \mu\text{m/yr}$ 。

4.2.3 金屬試片暴露環境及腐蝕速率分析

觀測期間，臺中港 4 號碼頭金屬試片暴露試驗分別於 108 年 6 月 3 日及 108 年 9 月 3 日進行兩次金屬試片採樣，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。整體而言，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，SM490B 碳鋼次之，SS400 低碳鋼之防鏽能力則為三種金屬種類之末位。金屬防鏽能力由高至低依序為：SS316L 不鏽鋼>SM490B 碳鋼>SS400 低碳鋼。

若以「暴露環境」進行比較，SM490B 碳鋼與 SS400 低碳鋼暴露一個月之金屬腐蝕速率由高至低為：潮汐帶>水中帶>飛沫帶；至暴露三個月後，金屬腐蝕速率由高至低轉變為：水中帶>飛沫帶>潮汐帶。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略微降低。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表面鏽層及生物附著趨勢穩定，使金屬腐蝕速率略為趨緩。其中潮汐帶因海水週期性浸沒、乾溼交替、加上水域海域潮汐推動與水中結構物的拍擊攪動等因素，使金屬腐蝕速率於觀測期間恆高於水中帶。若以「金屬腐蝕速率」進行比較，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。如預期可知，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，且明顯於水中帶之腐蝕速率最為快速(50.3~58.6 $\mu\text{m}/\text{yr}$)。SM490B 碳鋼及 SS400 低碳鋼於潮汐帶、水中帶暴露三個月後，兩金屬平均腐蝕速率僅介於 11.3~20.5 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 之間，顯示於觀察期間，SM490B 碳鋼及 SS400 低碳鋼兩金屬材質對於海水環境之抗腐蝕性強度相差不遠。

4.3 連續水質監測

臺中港 4 號 碼頭之水質系統觀測站，於 108 年 5 月 30 日安裝完畢，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，自動水質監測儀保養前後對照圖，如圖 4.40 所示。另透過監測系統的無限傳輸，數據皆可於即時監測後立即回傳，於監測人員系統屏幕中顯示(圖 4.41)，並可透過時序資料查詢功能，快速觀看指定時期之參數數據，其監測項目現包含：溫度、鹽度、酸鹼度、溶氧、導電度、總溶解固體量、濁度，查詢瀏覽介面與各水質參數月報表，如圖 4.42 所示。

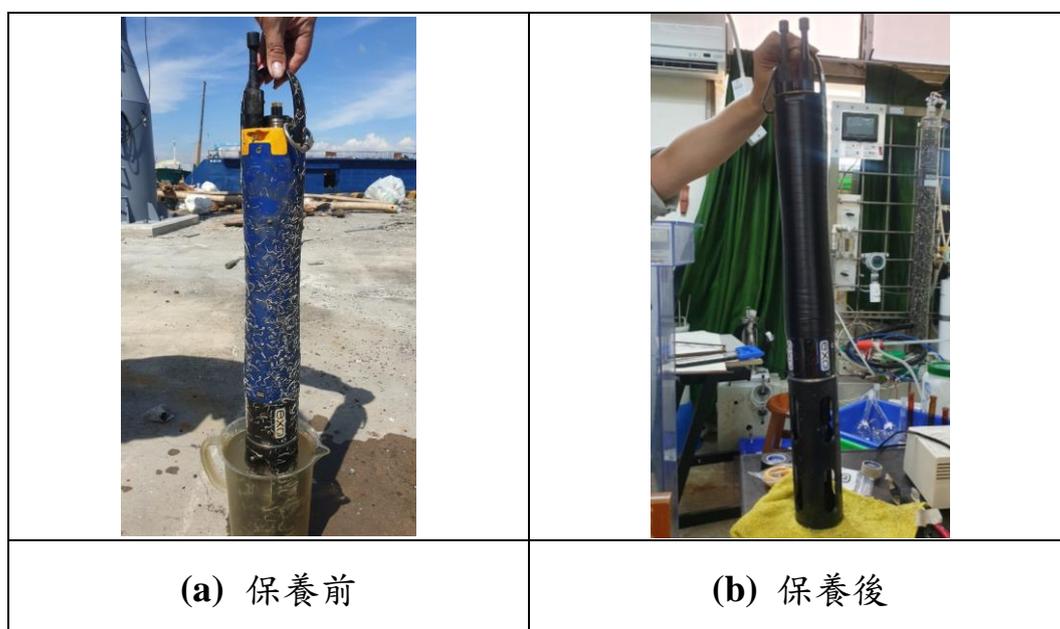


圖 4.40 自動水質監測儀保養前後對照圖



圖 4.41 即時水質監測數據顯示介面



圖 4.42 水質監測數據查詢顯示介面

4.3.1 105-107 年北泊渠(4 號碼頭附近港地)水質變化情況

臺中港務分公司，自八十五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，與港灣內必要特定点等)，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^[21]。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 4.43 所示。



圖 4.43 臺中港區海域水質監測採樣點^[22]

由圖 4.43 可知，臺中港區海域水質監測共計 11 個採樣點，其中「北泊渠(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 4-3 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 4-4 所示。

表 4-5 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	°C	‰		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 4-6 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 4-3 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 23.2~30.2°C；鹽度介於 29.6~33.6；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。

4.3.2 108 年 6-8 月臺中港 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 108 年 8 月 30 日止，連續偵測 3 個月之水質參數資料。水質監測項目包含：溫度、鹽度、溶氧、導電度、酸鹼度、水溫、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，完整記錄 108 年夏季臺中港 4 號碼頭之水質變化情況。各水質參數監測資料皆以整點觀測數據進行日平均計算，如表 4-5 所示。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，其數值不列入臺中港 4 號碼頭水質觀測數據與平均之用。

表 4-7 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭連續水質觀測日平均紀錄表

日期	溫度 (°C)	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)
6/1	28.38	33.26	8.305	10.24	50.84	33.04	2.66
6/2	28.56	32.78	8.307	9.66	50.18	32.62	2.39
6/3	28.52	32.85	8.282	8.85	50.28	32.68	1.54
6/4	28.27	33.18	8.198	7.03	50.72	32.97	1.86
6/5	28.50	33.09	8.210	7.18	50.61	32.90	2.23
6/6	29.05	32.75	8.275	8.80	50.17	32.61	2.01
6/7	29.09	32.96	8.273	8.49	50.46	32.80	1.93
6/8	29.25	33.08	8.240	7.67	50.63	32.91	2.56
6/9	29.34	33.19	8.233	7.51	50.78	33.00	2.15
6/10	29.29	33.24	8.205	6.33	50.85	33.06	3.20
6/11	29.05	32.48	8.186	5.98	49.79	32.36	3.06
6/12	28.89	32.65	8.168	5.52	50.02	32.51	4.01

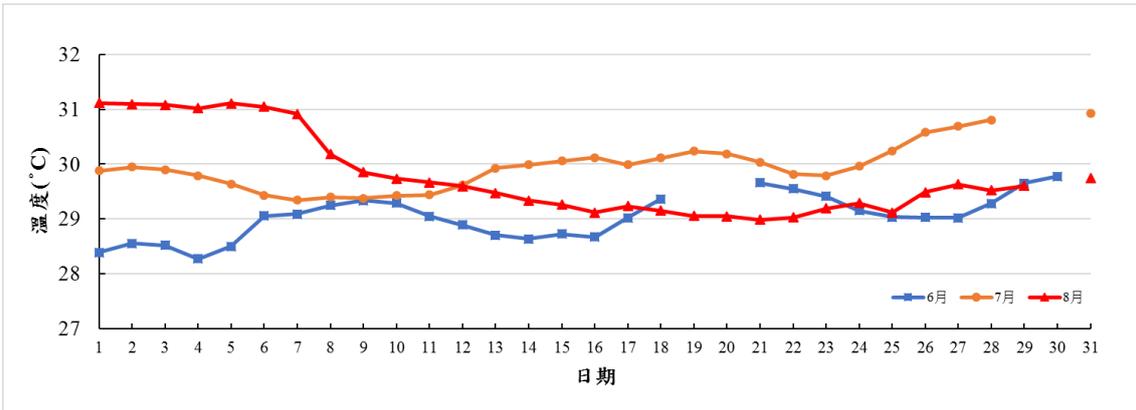
日期	溫度 (°C)	鹽度	酸鹼度	溶氧 (mg/L)	導電度 (ms/cm)	總溶解 固體量(g/L)	濁度 (NTU)
6/13	28.70	32.13	8.145	5.28	49.31	32.05	3.88
6/14	28.64	31.43	8.141	5.41	48.35	31.43	2.79
6/15	28.72	32.90	8.157	5.42	50.36	32.73	3.10
6/16	28.67	32.95	8.172	5.80	50.43	32.78	3.66
6/17	29.02	32.86	8.224	6.38	50.32	32.71	2.48
6/18	29.36	32.16	8.244	6.95	49.37	32.09	3.35
6/21	29.66	32.39	8.286	7.46	49.70	32.31	1.49
6/22	29.55	32.51	8.290	7.28	49.86	32.41	1.43
6/23	29.41	32.69	8.242	6.23	50.11	32.57	1.53
6/24	29.15	32.42	8.231	5.85	49.72	32.32	1.16
6/25	29.03	31.55	8.216	5.45	48.52	31.54	1.13
6/26	29.03	31.88	8.215	5.40	48.98	31.84	1.10
6/27	29.02	32.45	8.208	5.31	49.75	32.34	1.24
6/28	29.28	32.60	8.217	5.60	49.97	32.48	1.01
6/29	29.65	32.50	8.238	6.29	49.85	32.40	1.25
6/30	29.78	32.62	8.231	6.23	50.02	32.51	1.18
7/1	29.88	32.98	8.225	5.97	50.52	32.84	0.89
7/2	29.95	33.01	8.242	6.20	50.57	32.87	1.33
7/3	29.90	32.80	8.239	6.11	50.28	32.68	1.06
7/4	29.79	33.06	8.215	5.26	50.63	32.91	1.05
7/5	29.64	32.81	8.230	5.43	50.28	32.68	1.11
7/6	29.43	32.70	8.216	5.17	50.12	32.58	1.17
7/7	29.34	32.18	8.223	5.37	49.41	32.11	1.11
7/8	29.40	32.64	8.224	5.21	50.04	32.52	0.99
7/9	29.38	32.96	8.214	5.00	50.47	32.81	1.24
7/10	29.42	33.00	8.223	5.35	50.53	32.84	1.69
7/11	29.44	32.94	8.237	5.56	50.44	32.78	1.63
7/12	29.62	32.74	8.248	5.92	50.19	32.62	1.57
7/13	29.93	32.54	8.283	6.74	49.93	32.45	1.70
7/14	29.99	32.50	8.295	7.00	49.87	32.41	1.29
7/15	30.06	32.57	8.296	7.03	49.96	32.48	1.15
7/16	30.12	32.75	8.270	6.74	50.21	32.64	1.29
7/17	29.99	32.98	8.203	5.27	50.53	32.84	1.53

日期	溫度 (°C)	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)
7/18	30.12	33.08	8.245	5.55	50.67	32.94	1.57
7/19	30.24	32.81	8.268	5.51	50.31	32.70	1.69
7/20	30.19	32.59	8.311	6.29	50.00	32.50	2.17
7/21	30.04	32.85	8.270	5.33	50.35	32.72	1.39
7/22	29.82	33.01	8.286	5.28	50.55	32.86	1.61
7/23	29.79	32.91	8.291	5.53	50.41	32.77	1.38
7/24	29.96	32.92	8.336	6.22	50.44	32.78	1.34
7/25	30.24	32.92	8.420	7.56	50.45	32.79	1.24
7/26	30.58	32.83	8.510	7.83	50.34	32.72	1.26
7/27	30.69	32.86	8.465	7.11	50.40	32.76	1.18
7/28	30.81	32.79	8.433	6.12	50.30	32.69	1.14
7/31	30.93	32.79	8.422	6.43	50.30	32.70	2.15
8/1	31.12	32.58	8.375	6.60	50.04	32.52	2.71
8/2	31.10	32.71	8.317	5.70	50.21	32.63	2.22
8/3	31.08	32.88	8.310	5.38	50.44	32.79	3.05
8/4	31.02	33.00	8.422	5.52	50.60	32.89	3.35
8/5	31.11	32.93	8.471	6.32	50.50	32.83	2.14
8/6	31.05	32.93	8.448	5.77	50.51	32.83	2.30
8/7	30.92	31.82	8.345	5.28	50.85	33.05	2.46
8/8	30.18	33.63	8.390	5.38	51.42	33.42	2.82
8/9	29.85	33.60	8.320	5.52	51.36	33.38	2.83
8/10	29.74	30.70	8.327	5.67	47.39	30.80	4.37
8/11	29.67	31.54	8.378	5.17	48.54	31.55	3.75
8/12	29.60	31.91	8.308	5.00	49.05	31.88	4.02
8/13	29.47	31.52	8.260	4.82	48.50	31.53	3.50
8/14	29.33	30.97	8.255	5.05	47.74	31.03	2.81
8/15	29.26	31.39	8.264	5.16	48.32	31.41	3.84
8/16	29.12	30.80	8.275	5.26	47.50	30.87	3.75
8/17	29.23	30.44	8.273	5.27	47.01	30.55	2.98
8/18	29.15	30.89	8.278	5.38	47.63	30.96	2.91
8/19	29.05	30.73	8.382	5.48	47.38	30.80	3.06
8/20	29.05	30.94	8.346	5.14	47.68	30.99	2.68
8/21	28.98	30.84	8.334	5.14	47.54	30.90	3.00

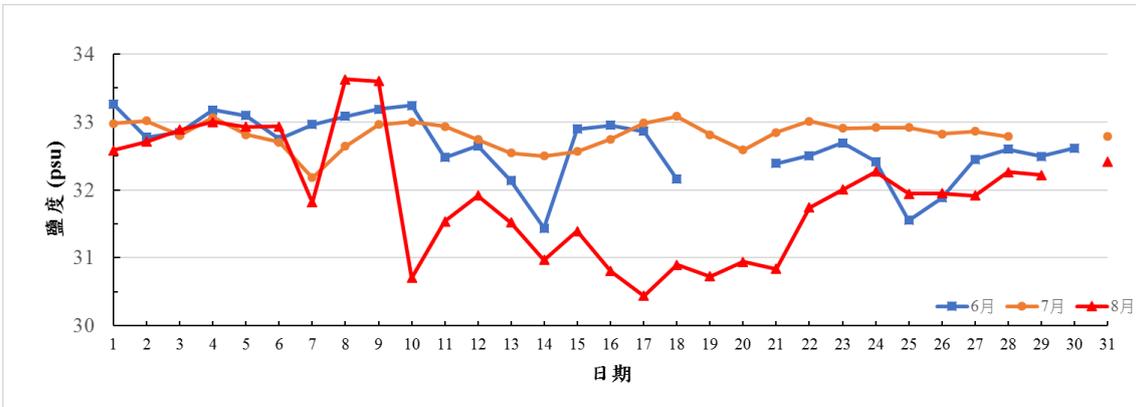
日期	溫度 (°C)	鹽度	酸鹼度	溶氧 (mg/L)	導電度 (ms/cm)	總溶解 固體量(g/L)	濁度 (NTU)
8/22	29.03	31.74	8.291	5.15	48.78	31.71	3.07
8/23	29.19	32.00	8.298	5.29	49.16	31.95	2.36
8/24	29.29	32.27	8.306	5.52	49.52	32.19	3.20
8/25	29.11	31.94	8.306	5.71	49.07	31.90	1.80
8/26	29.48	31.95	8.413	5.67	49.09	31.91	2.68
8/27	29.63	31.91	8.425	5.43	49.05	31.88	2.73
8/28	29.52	32.26	8.374	5.16	49.53	32.19	3.02
8/29	29.60	32.22	8.321	5.15	49.47	32.16	2.56
8/31	29.75	32.41	8.293	5.66	49.74	32.33	2.59
最小值	28.27	30.44	8.14	4.82	47.01	30.55	0.89
最大值	31.12	33.63	8.51	10.24	51.42	33.42	4.37
平均值	29.60	32.44	8.28	6.05	49.79	32.36	2.19

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^[23]。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。觀測期間臺中港 4 號 碼頭溫度及鹽度變化，如圖 4.44 所示。

由圖 4.44(a)可知，自 6 月進入夏季，水溫逐步緩緩提升，至 7、8 月溫度變化趨緩，整體水溫介於 28.27~31.12°C，平均水溫為 29.60°C。



(a) 溫度



(b) 鹽度

圖 4.44 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭溫度及鹽度變化趨勢圖

由圖 4.44(b) 鹽度變化趨勢圖可知，觀測期間，夏季鹽度介於 30.44~33.63 之間，平均鹽度為 32.44。7 月之鹽度變化最為緩和，8 月 7 日至 8 月 21 日間，鹽度明顯偏低，參照交通部中央氣象局「108 年臺中氣象站逐日雨量資料(表 4-6)」，可知此期間皆有連日雨勢，8 月總雨量達 768mm，約為 7 月總降雨量之四倍之多，鹽度變化與降雨量變化趨勢相符，故降雨量是為影響鹽度之重要因素。

表 4-8 108 年臺中氣象站逐日雨量資料表

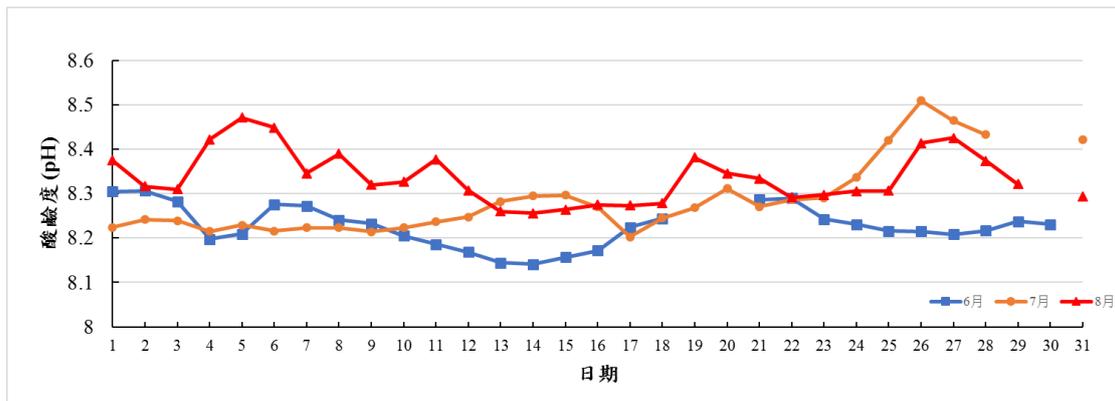
日期	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
1	T	T	-	6.5	67	3.5	-	2
2	T	-	-	-	60	12	-	29.5
3	1.5	T	21.5	-	2	-	2.5	-
4	-	-	-	-	-	45.5	1	2
5	-	-	7	-	0.5	-	6.5	-
6	0.5	-	10	-	32	-	12.5	3.5
7	-	-	31	-	7.5	-	-	3.5
8	-	-	15.5	-	0.5	-	T	1.5
9	-	-	57	-	14	-	2	54
10	-	-	21	-	15.5	16	12.5	1
11	-	-	1	3.5	-	77.5	9.5	42
12	-	-	-	0.5	-	90	-	119
13	-	-	-	5	-	20	-	34
14	-	-	-	-	-	57.5	T	5.5
15	-	-	1.5	1.5	-	-	-	102
16	8.5	-	T	26.5	21.5	8	-	145
17	2.5	-	-	-	21.5	2.5	-	104
18	-	T	-	-	43.5	T	6	73
19	-	T	-	26.5	10	-	4	34.5
20	-	-	-	12	175.5	-	-	4.5
21	T	-	-	33	T	T	0.5	1
22	-	-	-	-	4	-	-	1
23	-	-	T	-	30.5	41.5	12.5	T
24	-	11	6	-	-	58.5	-	0.5
25	-	-	5	-	-	0.5	-	0.5
26	-	-	-	0.5	-	-	T	4
27	-	-	-	-	5.5	3.5	106	-
28	-	-	-	-	13	T	T	-
29	-	-	2	-	-	-	-	-
30	-	-	1	-	-	43.5	-	0.5
31	-	-	-	-	-	-	2	-
總雨量	13	11	179.5	115.5	524	480	177.5	768

"- "表示雨量為 0。
"T"表示雨跡，降水量小於 0.1mm。

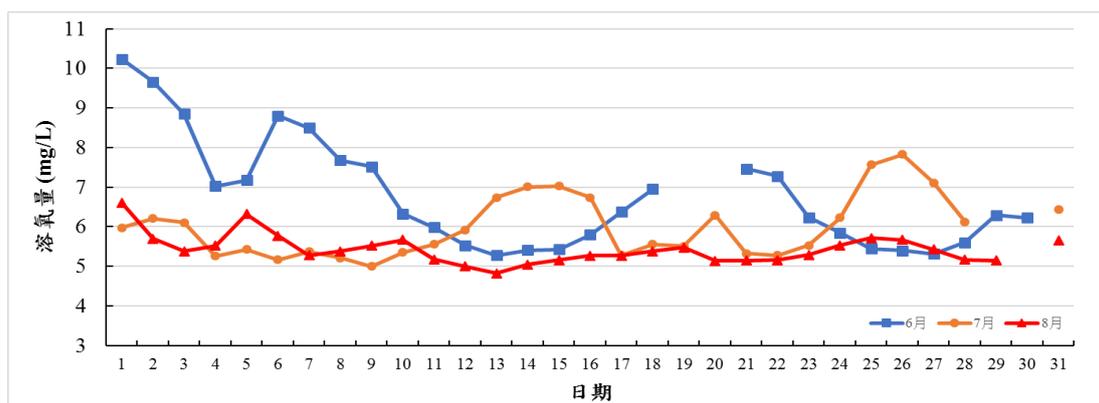
(數據來源：交通部中央氣象局，<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/D/DailyPrecipitation.html>)

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^[24]。若受到陸源廢水污染時，海水 pH 值及 DO 可能產生明顯的變化^[23]，故常作為水質評估的重要參數。

108 年夏季，臺中港 4 號碼頭 pH 及 DO 變化趨勢，如圖 4.45 所示。觀測期間，臺中港 4 號碼頭 pH 值介於 8.14~8.51 之間，平均 pH 值為 8.28，符合乙類海洋環境品質標準 pH：7.8~8.5 之規範；另 DO 整體介於 4.82~ 10.24 mg/L，平均溶氧為 6.05mg/L，亦符合乙類海洋環境品質標準 DO>5.0 mg/L 之規範。



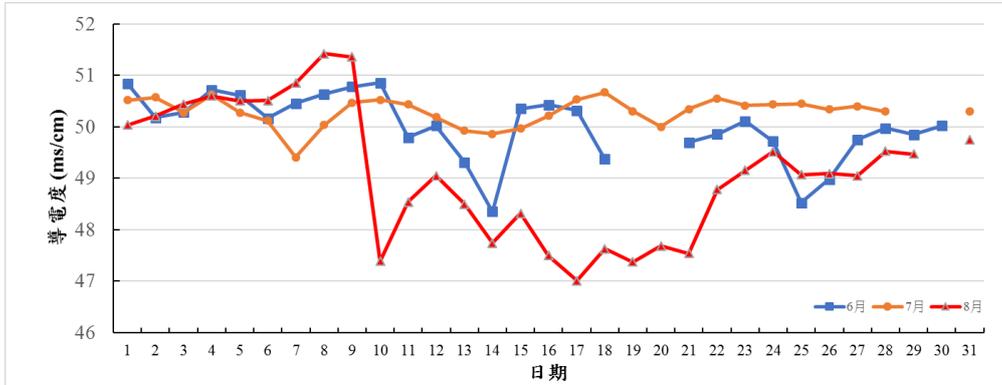
(a) pH



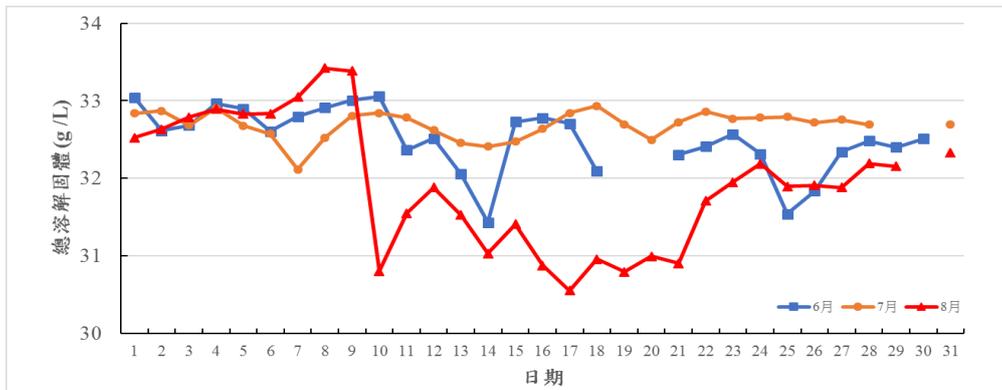
(b) DO

圖 4.45 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭 pH 及 DO 變化趨勢圖

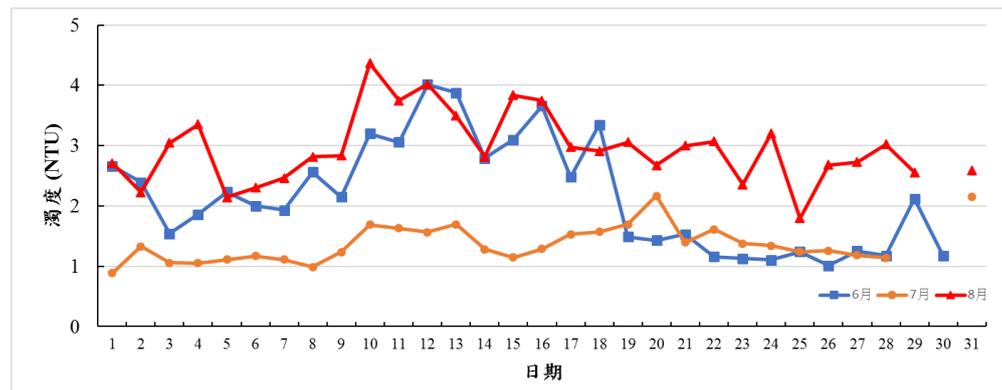
108 年夏季，臺中港 4 號 碼頭之導電度、總溶解固體量及濁度變化趨勢圖，如圖 4.46 所示。



(a) 導電度



(b) 總溶解固體量



(c) 濁度

圖 4.46 108 年 6-8 月臺中港 4 號碼頭導電度、總溶解固體量及濁度變化趨勢圖

觀測期間，臺中港 4 號碼頭導電度介於 47.01~51.42 ms/cm，平均導電度為 49.79 ms/cm；總溶解固體量介於 30.55~33.42 g/L 之間，平均總溶解固體量為 32.36g/L；濁度則介於 0.89~4.37NTU 之間，平均濁度為 2.19NTU。考量 104-106 年度皆無導電度、總溶解固體量及濁度相關紀錄，本次研究觀察期間亦僅涵蓋 108 年夏季之變化情況，應持續建立長期完善的環境背景資料，以作為瞭解水域特性之重要資訊。

第五章 結論與建議

本計畫於臺中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，藉以建立長期完整並具時效的水質參數資料，再與現地金屬暴露腐蝕、海洋生物附著等研究數據交互比對，提供基地母港維護管理計畫擬定參考之用。

5.1 結論

1. 調查結果顯示，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」金屬試片皆可發現藤壺附著，尤其在 SS316L 不鏽鋼上，藤壺個數最豐，藤壺個體觀察時間增加而成長，管蟲數量鮮少，直至暴露三個月時，所有金屬皆無發現管蟲，僅於試片背面出現少量之二枚貝類。「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，二枚貝類最大直徑約 5 cm，管蟲較「潮汐帶」數量顯著增加，金屬試片背面之管蟲數量皆高於正面，顯見穩定之水體接觸是為二枚貝類及管蟲附著生長的重要環境條件。
2. 整體而言，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，SM490B 碳鋼次之，SS400 低碳鋼之防鏽能力則為三種金屬種類之末位。若以「暴露環境」進行比較，SM490B 碳鋼與 SS400 低碳鋼暴露一個月之金屬腐蝕速率由高至低為：潮汐帶>水中帶>飛沫帶；至暴露三個月後，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較高外，潮汐帶及水中帶之平均金屬腐蝕速率皆略微降低。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，相較其他碳鋼較低其平均腐蝕速率僅 50.3~58.6 μ m/yr。
3. 108 年 06 月 01 日至 108 年 8 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。監測數據皆維持穩定正常變化，無異常數據出現。108年夏季，臺中港4號碼頭海域之平均水溫為29.60°C，平均鹽度為32.44，平均pH值為8.28，平均溶氧為6.05mg/L，平均導電度為49.79 ms/cm，平均總溶解固體量為32.36g/L，平均濁度則為2.19NTU。

5.2 建議

1. 本次計畫執行之工作項目多以金屬試片製作、安裝，連續水質數據監測系統建立，與其監測數據穩定性為主，相關海洋附著生物、金屬試片腐蝕速率及海域水質之調查結果僅為期3個月，因附著生物、海域環境及金屬試片腐蝕可能具有一定的相互關係，故其相關性或有無其他影響機制，有待多次結果分析後，綜合探討較為客觀。
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。
3. 依據研究期間水質監測儀器外部海洋附著性生物之附著情況，建議每月至少進行一次海洋附著性生物處理，必要時輔以熱縮膜、防水膠布等物理方法以減緩海洋附著性生物附著，進而減緩生污損可能產生監測數據之干擾。
4. 連續水質監測儀架設，可連續針對必要區域進行多項水質參數監測，搭配遠端監測技術，可即時反應水域水質現況，並取得連續高解析度之數據資料，是為進行海域水質環境特性分析，及基礎海域參數資料庫建置的考慮選項之一。

5.3 研究成果之效益

1. 學術效益，發表論文1篇

2019 年港灣季刊 Vol.109，發表「臺灣商港水下金屬材料一年期腐蝕速率調查研究」1 篇。

2. 社會環境安全影響：本計畫建立臺灣水下腐蝕資料庫於臺灣腐蝕環境分類資訊系統，目前全島建置 14 處水下金屬長期腐蝕試驗，藉由調查，了解金屬構造物劣化情形及探討其發生機理，並依腐蝕特性，選用適當之維修材料與工法，以提升我國之整體防災能力及環境之安全與資源之永續利用。
3. 資料庫建置效益：逐年完成臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫的建立，提供工程單位瞭解金屬構造物在臺灣各腐蝕環境中的耐久性與其防蝕控制之須要可作為港灣地區之地震災前預防、災時應變計畫與決策之參考依據。

5.4 提供政府單位應用情形

1. 計畫成果已建置於「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」內，提供公民營事業單位營運安全防護採用。
2. 完成國內水下金屬材料腐蝕資訊提供產官學各界參考應用。如：臺灣港務公司、中華民國防蝕工程學會、經濟部工業局、中國鋼鐵公司、顧問公司等。

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] 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), 25.
- [4] 林維明、饒正、柯正龍、羅建明、張道光、陳正義、李昭明、何木火、王培源、林隆貞、吳建國、黃然、林志洋、邵廣昭、林幸助、蘇易男、李賢華、宋克義、羅俊雄、余宗鴻、王嫻文，「港工結構材海生物附著與對策研究」，臺灣技術研究所研究報告，2007。
- [5] Tomashov, N. D. (1966). *Theory of corrosion and protection of metals; the science of corrosion*, New York, Macmillan.
- [6] 林維明、饒正、柯正龍、羅建明、張道光、陳正義、李昭明、何木火、王培源、林隆貞、吳建國、黃然、林志洋、邵廣昭、林幸助、蘇易男、李賢華、宋克義、羅俊雄、余宗鴻、王嫻文，「港工結構材海生物附著與對策研究」，臺灣技術研究所研究報告，2007。
- [7] Snyder, R, M. & Huil, S. (1965). Parametric Variables Affecting Corrosion, *Geo-Marine Technology*, 17-24.
- [8] 岡本剛，井上勝也，「腐蝕與防蝕」，大日本圖書公司，1977。
- [9] Fink, F. W. (1960) Corrosion of Metals in Seawater”，Department of the Interior Office of Saline 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, 17-45.
- [11] Murooka, J. S. (1963). The Effects of Fouling by Deep-Ocean Marine

Organism, *Undersea Technology*, 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 80 年研究報告，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 年。
- [19] 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>。
- [20] 劉新，「防蝕塗料塗裝技術」，化學工業出版社，北京，2016。
- [21] 「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。
- [22] 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=9C37E24AE173BA>。
- [23] 「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。

[24] 陳敏，「化學海洋學」，海洋出版社，2009。

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	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關結論 1.部分，請問所描述之潮汐帶尤其 316 不鏽鋼藤壺數量最多，請問正反二面是否一致。另外說明暴露 3 個月時僅於反面出現少量二枚貝類，請問是指 3 種金屬均如此或只有不鏽鋼。 2. 在結論 1.說明水中帶的金屬試片發現生物種類最多，p.2-6 頁也說明海洋生物之加速腐蝕影響，對照結論 2.水中帶在 3 個月後腐蝕速率卻是最低，似乎有矛盾處，還是水中帶腐蝕速率最低是有其他原因阻止腐蝕速率。 3. 建議結論補充說明不鏽鋼分別於飛沫帶、潮汐帶及水中帶的腐蝕速率比較分析。 4. 建議就既有之實驗成果或未來可就 3 種金屬試片生物生長情形，去比較生物的種類多樣性與豐度，對於未來做海洋環境復育會有幫助。 5. 建議加入非金屬材料去做試驗(例如混凝土塊、爐石塊或 MICP 塊)，基於不同風電材料之耐侵蝕及耐久性研究，並可研究生物復育的角度及建構食物鏈最底層生態系的 	<p>謝謝委員指教。 關於海生物附著於金屬正反面數量及種類結果並無一致，將於後續累積更多數據，進行解析。</p> <p>謝謝委員建議，未來研究參酌。</p> <p>謝謝委員建議，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，後續將累積足夠樣本數建立統計關聯性。</p> <p>謝謝委員指教，將於未來研究參酌。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>角度，以協助未來工程的推展克服生態復育的議題。</p> <p>6. 海生物對於腐蝕之影響是否亦有正面助益之生物，可深入再研究探討，若有，未來也可提倡生物防治法去防治腐蝕現象。</p>	<p>謝謝委員指教，將於未來研究參酌。</p>
陳桂清委員	<p>1. 英文摘要部分：建議對英文 title 修正，符合中文計畫名稱。</p> <p>2. p.1-3 工作項目及內容：建議刪除 4、6、8 行中之”完成”，第 10 行刪除”鄰近海域”。</p> <p>3. p.1-4, 章節 1.4 建議改寫為”提供離岸風機母港在防蝕策略與維護管理”上參考。</p> <p>4. p.3-4, 章節 3.1, 建議明確說明試驗期程與取樣頻率。</p> <p>5. p.4-33, 表 4-2, 管蟲附著數量如何計算？個數比附著面積，百分比率？請說明之。</p> <p>6. 結論部分：建議重點條文式的列出結果。</p>	<p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，海生物附著數量面積與百分比率皆以人工清點計算之。</p> <p>謝謝委員指教，將於未來研究參酌。</p>
羅俊雄委員	<p>1. 定義飛沫、潮汐與水下帶的高程、位置。</p> <p>2. 試片有無陰極保護？</p>	<p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>三種金屬碳鋼(SM490A)、不鏽鋼(SS316L)及低碳鋼(SS400)試片皆無陰極保護以暴露試驗方式測量其腐蝕速率。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	3. 何謂海生物的向光性與背光性，試驗如何區分？ 4. SM490B 試片屬低、中、高碳鋼？	謝謝委員指教，字義已更正為正面及反面說明辦理。 SM490B 為焊接結構用鋼，碳鋼含碳量 0.02%~0.3% 稱為低碳鋼。
許書王委員	1. p.1-3、圖 1.2「資料來源…」，文字不清楚，建請改善。 2. 本報告中針對 p.2-4 所提含鹽量、p.2-5 所提氯離子、p.2-12 所提鹽度，各以不同文字表達，若所指均屬同一方向，建議調整為一致性或加強說明 3. p.5-1 結論 2 所提 SS316L、SM490B、SS400，其防鏽成效如文中所提，如前列順序，此部分是否可以在第四章或未來較多的資料量可資佐證時，加強討論所列鋼材之成本、材質之差異，期更可供使用者參用。 4. 目前採樣之狀況與投樣時之數量是否有差異，為利如文中所提「宜多次、長時間取樣，更能歸納成果」，除文中說明外，為免樣品流失或資料異常，此部分未來可加強說明，並研擬試樣遺失的合適對應措施。 5. 針對本案之研究歷程，以及歷程之內容等，是否可列於合適篇章中，以更利閱者參。	謝謝委員指教，已更正辦理。 謝謝委員指教，已更正辦理。 謝謝委員指教，將於未來研究參酌。 謝謝委員指教，有關試樣遺失、樣品流失及資料異常將於未來現地及實驗室加強品管控管。 謝謝委員指教，已更正辦理。

審查委員	審查意見	處理情形
曾文傑委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 摘要提到長期觀測資料可評估環境對金屬腐蝕及海洋附著之影響，本計畫預計為2年期計畫，計畫結束後，未來如何持續長期監測？ 2. 報告書中多處臺中港”四”號碼頭，建議統一改為”4”號碼頭 3. 報告書第六章參考文獻，請刪除”第六章”，頁碼也請修改為參-1。 	<p>謝謝委員指教，將視經費後續繼續研究辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p> <p>謝謝委員指教，已更正辦理。</p>

附錄二
期末審查簡報

108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 (1/2)

報告人：羅建明

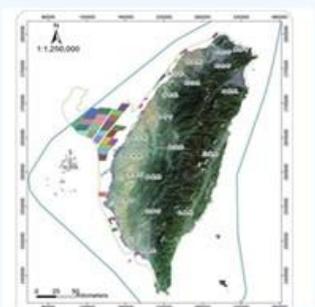
中華民國108年12月10日

目 錄

1. 前言
2. 文獻回顧
3. 執行方法與步驟
4. 結果與討論
5. 結論與建議

針對離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子進行監測調查研究。

- 探討金屬構件於國內海域環境之適用性。
- 評估建立基地母港及金屬構件本土化適用防蝕工法。



2011年，「千架海陸風力機」政策：臺灣離岸風力規劃36處場址海域，彰化海域一帶即占21處，是臺灣離岸風力發展的重要潛力海域。



3. 金屬試片附著生物調查:

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**2次**。

- ◆ 108年6月3日至6月30日完成第1次調查分析。
- ◆ 108年9月3日至9月30日完成第2次調查分析。

4. 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**，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。

7

- 提升臺中港規劃設計與**國際工程技術接軌**。
- 延長臺中港之港灣金屬結構物使用壽命，**提高經濟效益**。
- 提供離岸風機母港**防蝕策略與維護管理**。

8

2.文獻回顧 1/2

港區金屬腐蝕因子



9

2.文獻回顧 2/2

海洋附著生物

1. 藤壺(學名 : Balanus)



附著於礁岩上之藤壺

2. 管蟲(學名 : Sabellidae)



管蟲

3. 海鞘(學名 : Ascidiacea)



海鞘

4. 紅藻門(學名 : Rhodophyta)

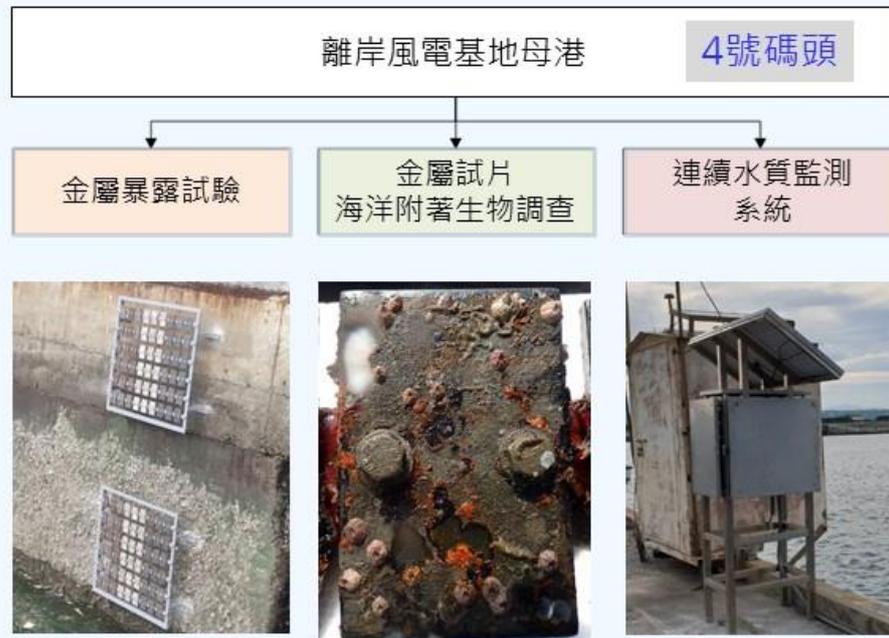


紅藻門

10

3.執行方法與步驟_{1/9}

研究架構圖



3.執行方法與步驟_{2/9}

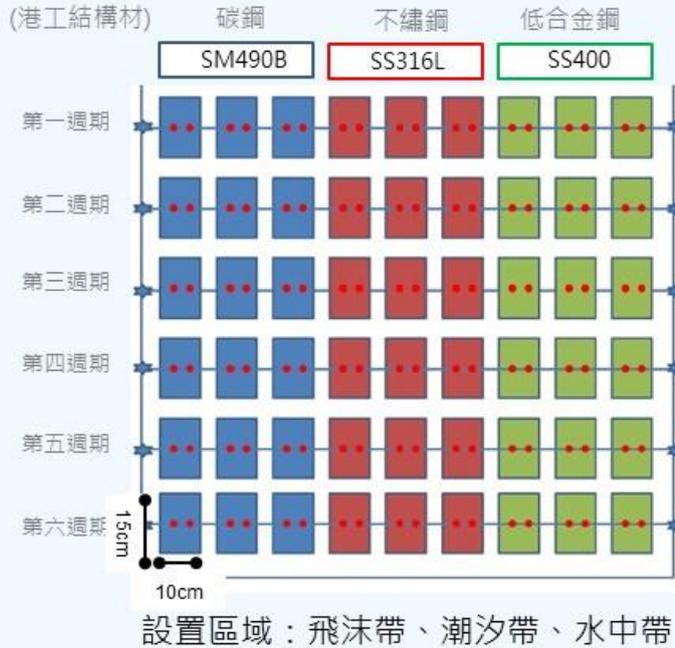
108.04.17 (三)

4號碼頭現勘

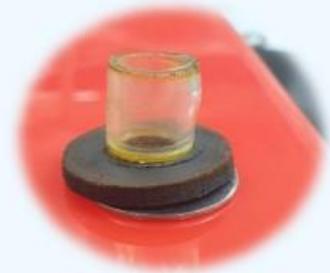


12

3.執行方法與步驟^{3/9} 金屬試驗架規劃與設計



- 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

13

3.執行方法與步驟^{4/9} 金屬試驗架規劃與設計



(a) 金屬試片編號



(b) 金屬試片分類排序



(c) 金屬試片稱重紀錄



(d) 金屬試片依編號安裝

108.04.23 (二)

14

3.執行方法與步驟^{5/9}

金屬試驗架規劃與設計

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

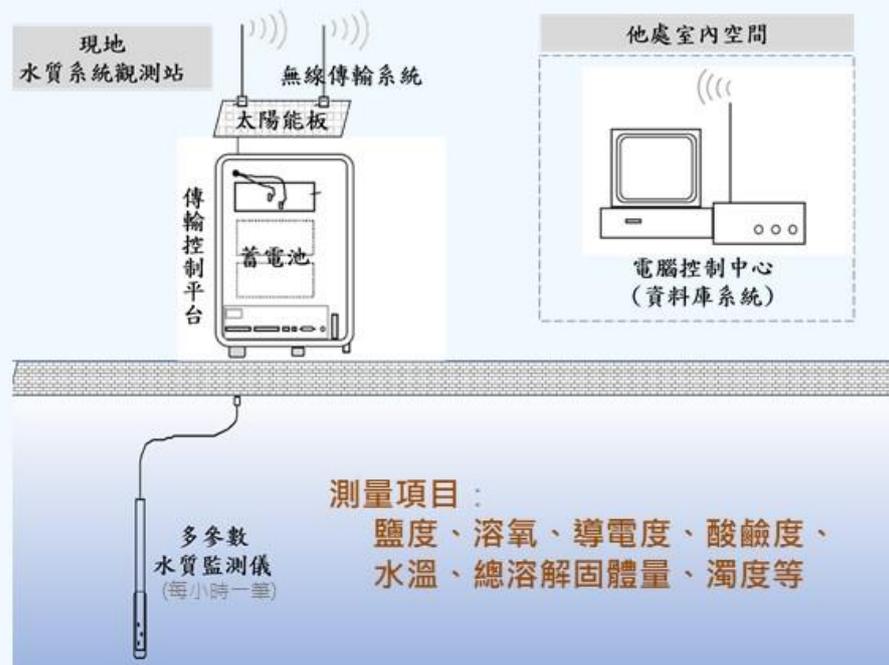


(d)金屬試架水下施工

15

3.執行方法與步驟^{6/9}

連續水質監測



16

3.執行方法與步驟 7/9

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

17

3.執行方法與步驟 8/9

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) 現場檢修

18

3.執行方法與步驟 9/9 金屬試片取樣作業

臺中港4號碼頭金屬暴露試驗



19

4.結果與討論 1/24

臺中港#4碼頭金屬暴露試驗

	日期	暴露時間
安裝佈放	108.04.25	--
採樣(1)	108.06.03	1個月
採樣(2)	108.09.03	3個月

- ◆ 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

20

4.結果與討論 2/24

金屬試片取樣

108.06.03 (一)



(a)金屬試片主支條拆卸



(b)金屬試片卸除



(c)金屬試片現場拍攝紀錄



(d)金屬試片水封保存

21

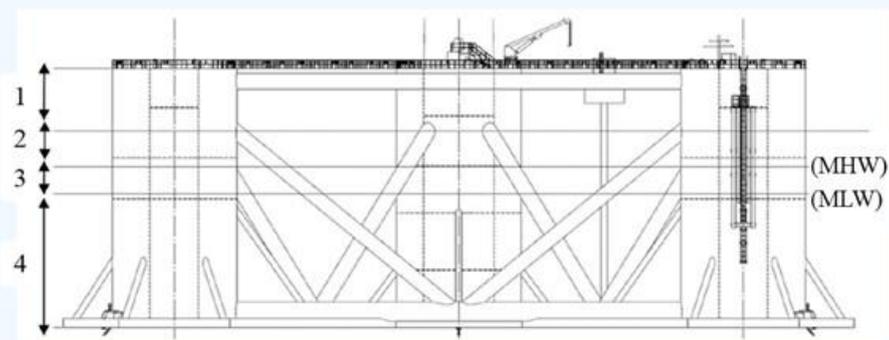
4.結果與討論 3/24

金屬試片

海生物附著觀察

飛沫帶：

因無直接浸泡海水之中，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。



22

4.結果與討論 4/24

(正面)

一個月



三個月



SM490B 碳鋼

SS316L不鏽鋼

SS400低碳鋼

23

4.結果與討論 5/24

(反面)

一個月



正、反面
皆無海洋附著生物出現



三個月



SM490B 碳鋼

SS316L不鏽鋼

SS400低碳鋼

24

4.結果與討論 6/24

金屬試片海洋附著生物觀察

潮汐帶：

- 具周期性的海水浸泡，各金屬試片皆可發現藤壺附著。尤其在SS316L不鏽鋼上，藤壺個數最豐，於金屬試片側面亦有顯著藤壺生長。藤壺個體大小隨觀察時間增加而成長，附著強度明顯增加。

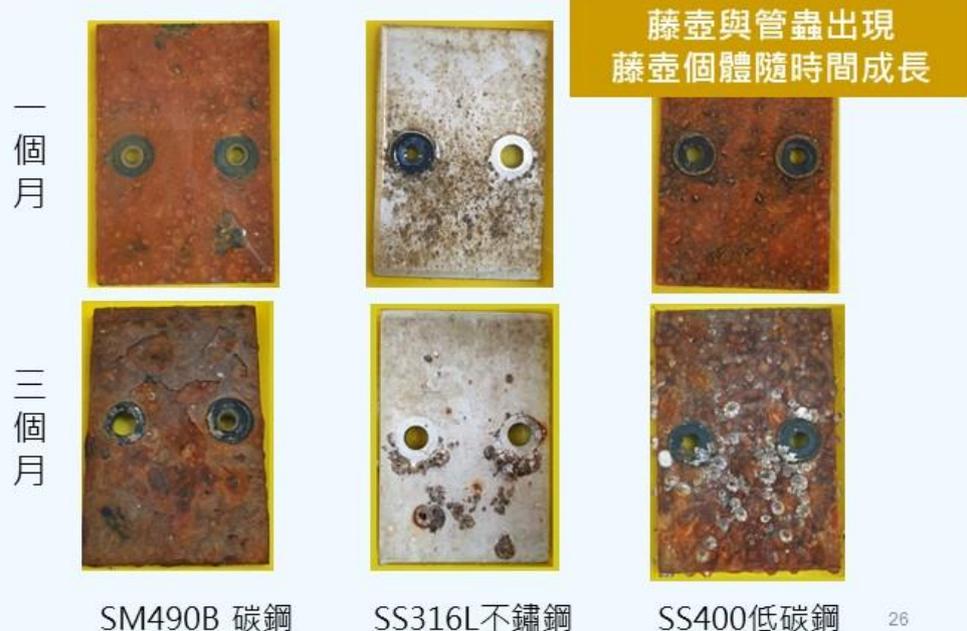


- 纓鰓蟲類，僅可於SM490B碳鋼及SS400低碳鋼上發現，但總體數量僅2~6隻；直至暴露三個月時，所有金屬皆無發現管蟲。

25

4.結果與討論 7/24

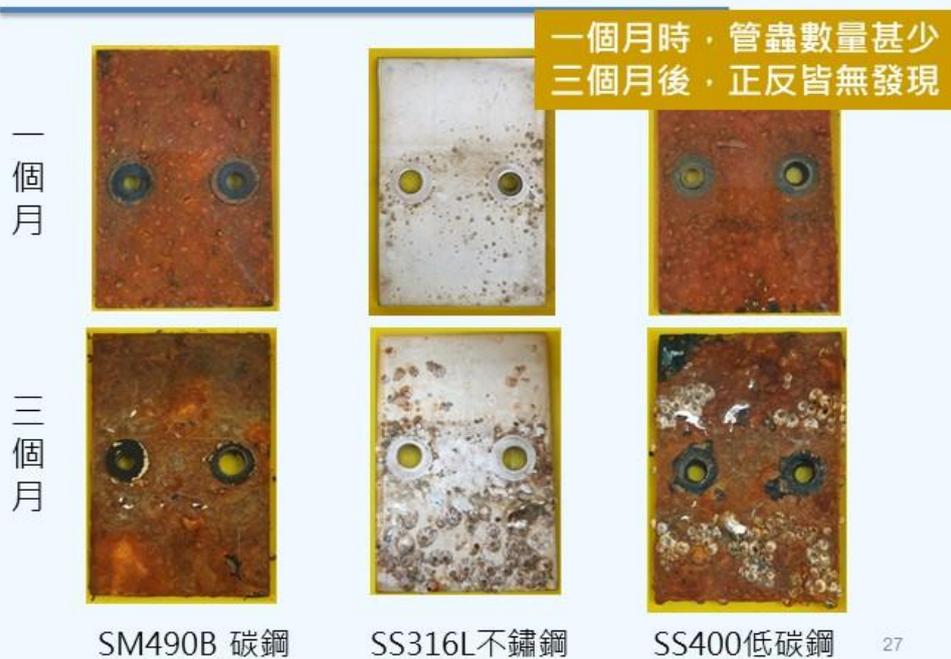
潮汐帶金屬試片調查(正面)



26

4.結果與討論 8/24

潮汐帶金屬試片調查(反面)



27

4.結果與討論 9/24

潮汐帶金屬試片海洋附著生物調查表

試片種類	潮汐帶(一個月)								
	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

28

4.結果與討論 10/24

潮汐帶金屬試片海洋附著生物調查表

	潮汐帶(三個月)								
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

29

4.結果與討論 11/24 金屬試片海洋附著生物觀察

水中帶：

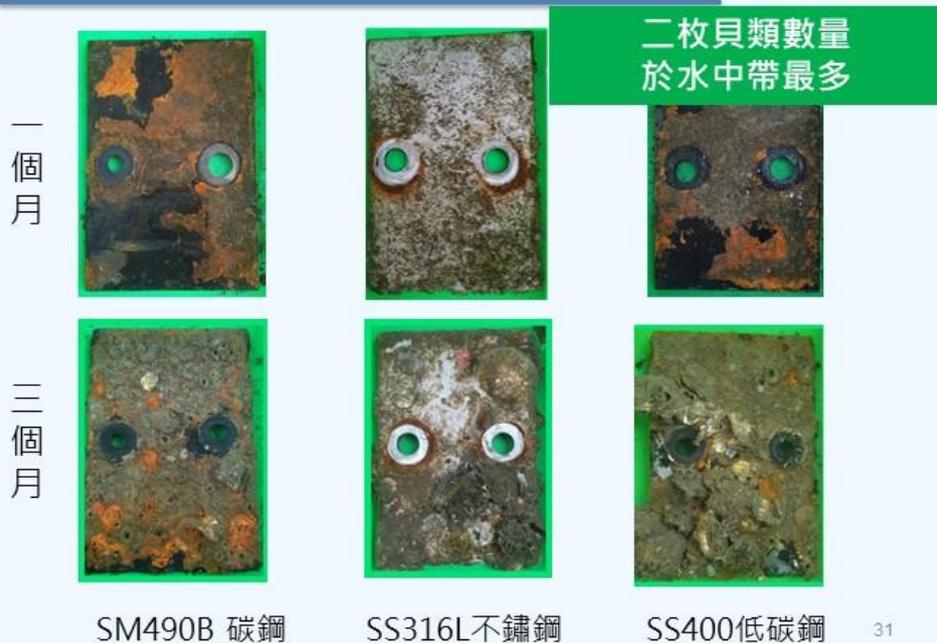
- 金屬試片全時段皆浸泡於海水之中，故所發現之生物種類最多。
- 二枚貝類數量以水中帶最多，最大直徑約5 cm。
- 管蟲較「潮汐帶」數量顯著增加，且各式金屬試片向光面之管蟲數量皆高於正面，顯見穩定之水體接觸是為二枚貝類及纓鰓蟲類附著生長的重要環境條件。



30

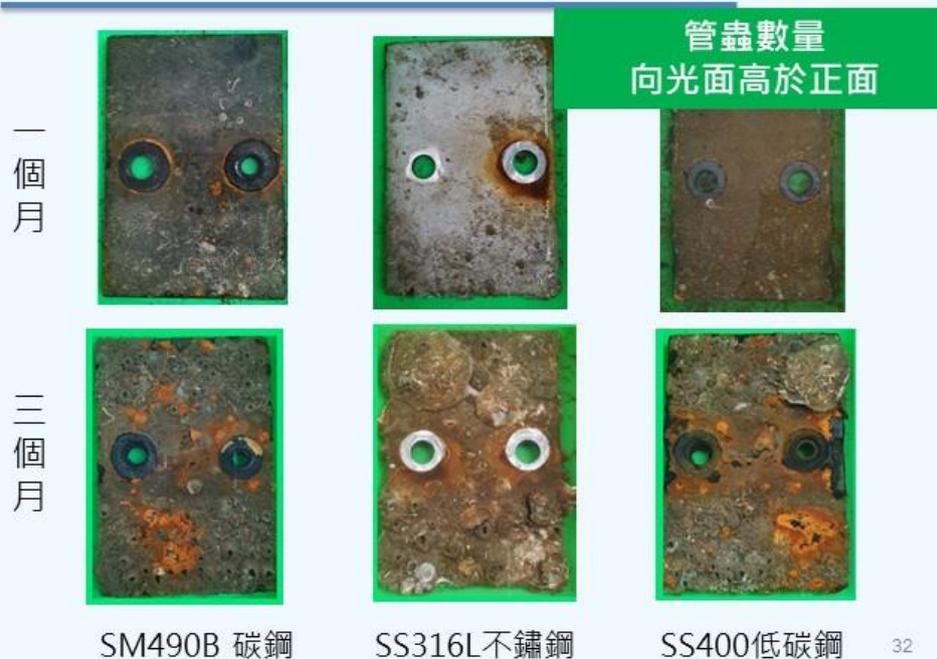
4.結果與討論 12/24

水中帶金屬試片調查(正面)



4.結果與討論 13/24

水中帶金屬試片調查(反面)



4.結果與討論 14/24

水中帶金屬試片海洋附著生物調查表

	水中帶(一個月)								
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

33

4.結果與討論 15/24

水中帶金屬試片海洋附著生物調查表

	水中帶(三個月)								
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*	45	20	45	3	2	7	12	25	93

*覆蓋面積(cm²)表示

34

4.結果與討論 16/24

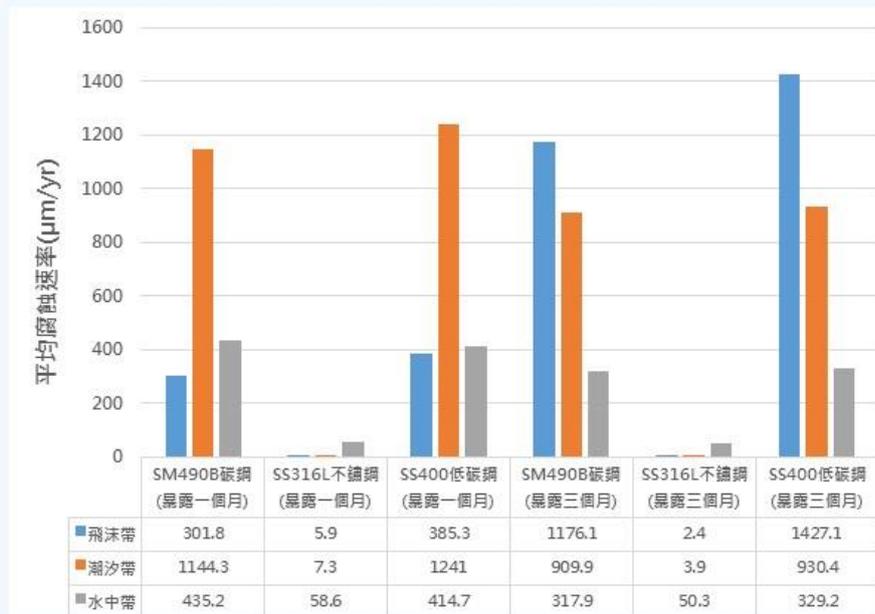
金屬酸洗試驗



35

4.結果與討論 17/24

金屬試片平均腐蝕速率



36

4.結果與討論 18/24

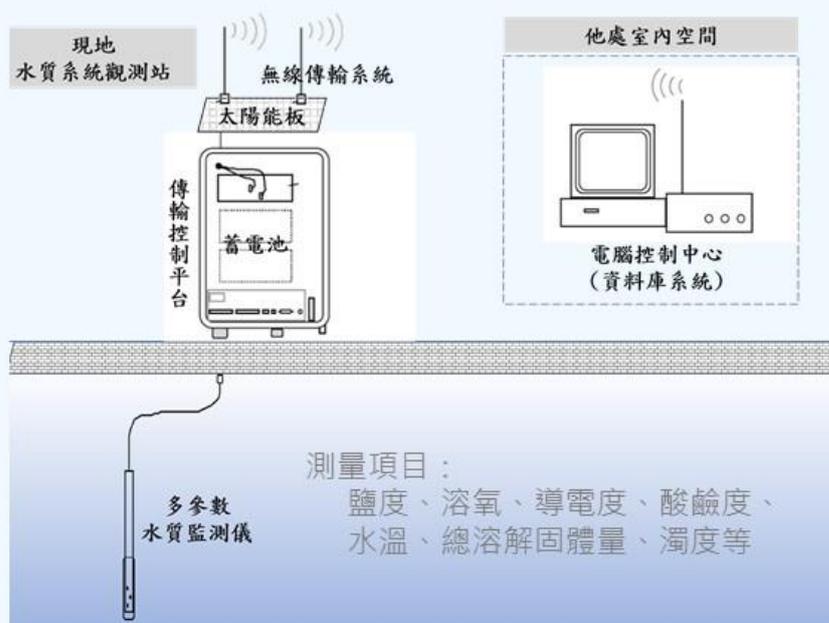
金屬試片平均腐蝕速率



37

4.結果與討論 19/24

連續水質監測系統(即時觀測)



38

4.結果與討論 20/24 105-107年北汭渠水質變化情況

臺中港務分公司，自八十五年起，辦理「臺中港區環境(污染源)調查監測分析」，進行海域水質調查分析。

105-107年臺中港區海域水質監測採樣點分布：



39

4.結果與討論 21/24 105-107年北汭渠水質變化情況

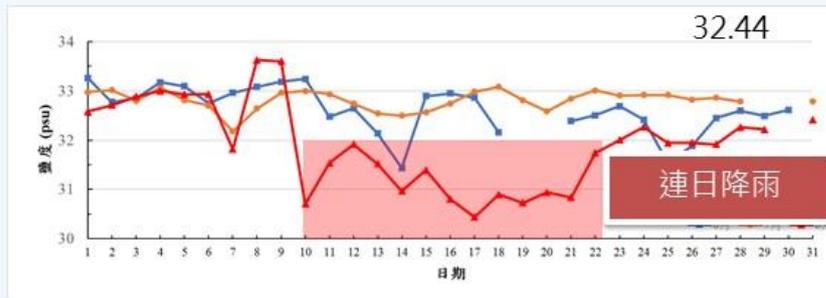
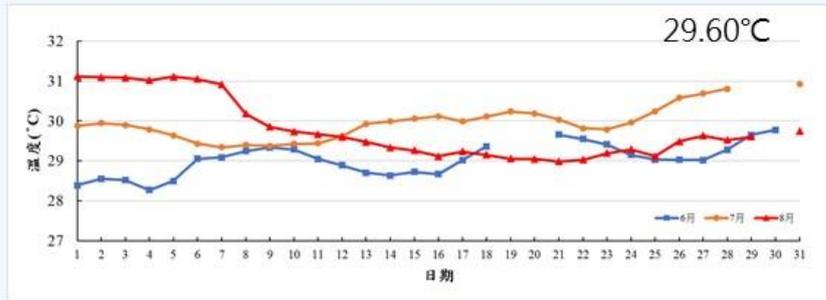
年份	季節	日期	檢測項目	溫度	鹽度	pH值	溶氧量
			單位	°C	‰		mg/L
			乙類海域地面水體基準				
105年	春	03.31	退潮	23.3	32.0	8.2	6.2
			漲潮	23.2	32.2	8.2	5.5
	05.24	退潮	28.1	31.6	8.1	6.4	
		漲潮	28.0	32.3	8.2	6.4	
	夏	08.19	退潮	30.8	32.8	8.3	6.3
			漲潮	30.8	32.7	8.3	6.3
秋	10.16	退潮	25.5	34.0	7.9	5.8	
		漲潮	25.6	33.6	8.0	5.8	
106年	春	04.17	退潮	27.6	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>)

40

4.結果與討論 22/24

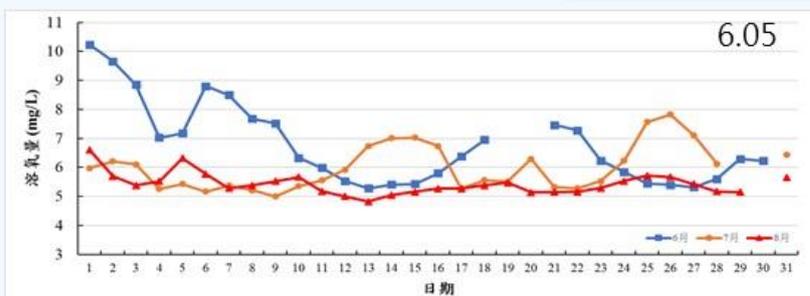
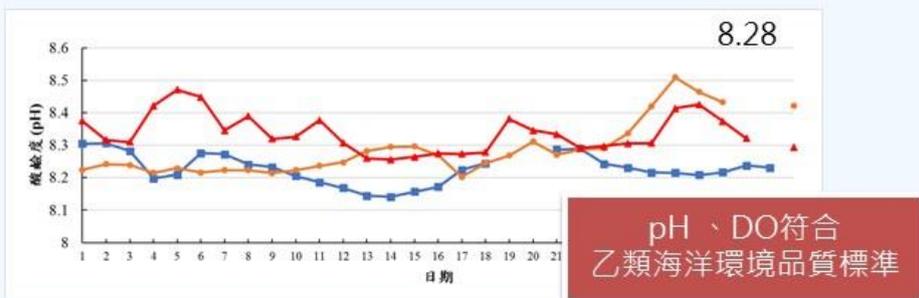
連續水質監測系統



41

4.結果與討論 23/24

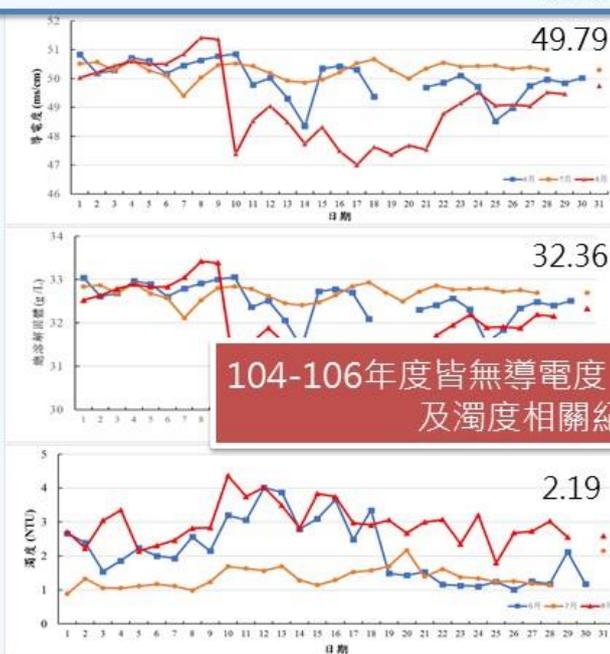
連續水質監測系統



42

4. 結果與討論 24/24

連續水質監測系統



43

5. 結論與建議 1/6

結論

➤ 金屬試架暴露試驗安裝及採樣

	日期	暴露時間
安裝佈放	108.04.25	--
採樣(1)	108.06.03	一個月
採樣(2)	108.09.03	三個月

- ◆ 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

44

5. 結論與建議 2/6

5.1 結論

➤ 海生物附著

- ✓ 飛沫帶：無觀察到海生物附著。
- ✓ 潮汐帶：試片皆發現藤壺附著，在SS316L不鏽鋼上個數最豐。
管蟲數量鮮少，暴露三個月後，所有試片皆無發現管蟲。
- ✓ 水中帶：試片生物種類最多，包含藤壺、管蟲及二枚貝類。
管蟲較「潮汐帶」數量顯著增加，向光面數量高於正面。

45

5. 結論與建議 3/6

5.1 結論

➤ 金屬腐蝕速率

- ✓ 金屬腐蝕速率：SS316L不鏽鋼 > SM490B碳鋼 > SS400低碳鋼
- ✓ 暴露一個月：潮汐帶 > 水中帶 > 飛沫帶
(797 $\mu\text{m}/\text{yr}$) (302 $\mu\text{m}/\text{yr}$) (231 $\mu\text{m}/\text{yr}$)
- ✓ 暴露三個月：飛沫帶 > 潮汐帶 > 水中帶
(868 $\mu\text{m}/\text{yr}$) (614 $\mu\text{m}/\text{yr}$) (232 $\mu\text{m}/\text{yr}$)
- ✓ 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略微降低。

46

5.結論與建議 4/6

5.1結論

➤ 連續水質監測

- ✓ 監測期間：108年06月01日至108年8月30日
- ✓ 監測海域：臺中港 4 號碼頭
- ✓ 監測參數：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。
- ✓ 監測數據皆維持穩定正常變化，無異常數據出現。

47

5.結論與建議 5/6

5.2建議

- 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。
- 依據研究期間水質監測儀器外部海洋附著性生物之附著情況，建議每月至少進行一次海洋附著性生物處理，必要時輔以熱縮膜、防水膠布等物理方法以減緩海洋附著性生物附著，進而減緩生物污損可能產生監測數據之干擾。

48

5. 結論與建議 6/6

5.2 建議

- 連續水質監測儀架設，可連續針對必要區域進行多項水質參數監測，搭配遠端監測技術，可即時反應水域水質現況，並取得連續高解析度之數據資料，是為進行海域水質環境特性分析，及基礎海域參數資料庫建置的考慮選項之一。

49



簡報完畢
敬請指教

50