

MOTC-IOT-IHMT-89-006

高雄港港工結構材腐蝕與海生物 附著研究

交通部 臺灣技術研究中心 委託
運輸研究所

國立中山大學 辦理

中華民國八十九年十二月

MOTC-IOT-IHMT-89-006

高雄港港工結構材腐蝕與海生物 附著研究

著者：李賢華、宋克義、羅俊雄、陳桂清、饒 正
柯正龍、張道光、林玲煥、羅建明、陳正義
林隆貞、何木火、李昭明

交通部 臺灣技術研究中心 委託
運輸研究所

國立中山大學 辦理

中華民國八十九年十二月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究			
國際標準書號（或叢刊號）		政府出版品統一編號 009254890251	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-89-006
本中心主辦單位：港工材料組 主管：陳桂清 主辦人員：張道光 聯絡電話：04-6564216 傳真號碼：04-6571329		委託研究單位：國立中山大學 計畫主持人：李賢華 研究人員：宋克義、羅俊雄 地址：高雄市蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5252000 轉 5069	研究期間 自 89 年 01 月 至 89 年 12 月
關鍵詞：海生物附著、陰極防蝕、腐蝕			
摘要： 本計畫研究目的為調查高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及附著影響，以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料，對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。 依據連續未間斷 58 個月的現場暴露試驗，及冬、夏季生物附著試片瞬時腐蝕速率實驗之結果顯示，高雄港區未施防蝕處理碳鋼材質之腐蝕速率均超過工程設計最大值（0.2mm/y），而陰極防蝕試片之腐蝕速率則平均為 0.08mm/y ~ 0.1mm/y。試片的瞬間腐蝕於冬夏季節變換時有明顯差異，顯然與生物附著有相當關係。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
89 年 12 月	230	500	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中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐ 限閱 ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: The Study on the Corrosion and Marine Fouling for Structural Steels in Kaohsiung Harbor			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009254890251	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMT-89-006	
DIVISION: Harbor Engineering Material Division DIVISION CHIEF: Chen Kuei-Ching ADMINISTRATION STAFF: Chang Tao-Kuang PHONE: 04-6564216 ext 127 FAX: 04-6571329		PROJECT PERIOD FROM January.2000 TO December.2000	
RESEARCH AGENCY: NSYSU PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Hsien-Hua PROJECT STAFF: Soong Ker-Yea, Lo Jiunn-Shyong ADDRESS: PHONE: 07-5252000 ext5069			
KEY WORDS: marine fouling, cathodic protection, corrosion			
ABSTRACT: Most harbor facilities in Taiwan have reached the design limit of the service duration so that the understanding on the damages caused by corrosion is important for the rebuilding or retrofitting on these old harbor facilities. Therefore, this is the purpose of the investigation to find the effect of the marine fouling to the corrosion of the harbor steel piles. Furthermore to install an effective system of database to reflect the current state of harbor corrosion, which can easily be approached by the engineers whenever a retrofitting or rebuilding work is demanded. Based on the investigation purpose, the following outlines are focused: (1) to understand the marine fouling rate related to different wharves, depth, light, attaching material and seasons; (2) to understand the steel corrosion rate related to the attaching marine fouling and its effect on the harbor structures; (3) based on the available data of on-field investigation, to construct a data-base reflecting the current state of the harbor corrosion.			
DATE OF PUBLICATION Dec. 2000	NUMBER OF PAGES 230	PRICE 500	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Institute of Transportation.			

目 錄

目 錄	I
表目錄	V
圖目錄	VII
照片目錄	XV
第一章 研究主旨(研究動機、緣起與目的)	1
第二章 問題之性質與背景	5
2.1 腐蝕作用與電池類型	5
2.2 鋼材之腐蝕機制	6
2.3 鋼筋混凝土之腐蝕過程	8
2.4 海垢生物及細菌腐蝕之介紹	8
2.5 台灣各港區之海氣象資料	10
2.6 台灣各港區之水質狀況	12
2.7 台灣各港區之海生物以及研究概況	13
2.8 現行腐蝕防治之對策	15
第三章 研究方法與實驗過程	23
3.1 連續性海洋曝露實驗(長期浸漬試驗)	23
3.1.1 試片及試片架之設計	23
3.1.2 現場施放地點調查及試片架安裝	24
3.1.3 試片(試體)定期採樣之處理分析方法	25
3.2 港區水質對碳鋼(SS41)之影響	26
3.2.1 試片設計	26
3.2.2 浸漬 水溶液	26
3.2.3 分析方法	27

3.2.4 實驗步驟	27
3.3 特定海生物附著對碳鋼(SS41)之影響	28
3.4 海生物附著對金屬腐蝕之影響（電化學試驗）	28
3.4.1 試片設計與準備	29
3.4.2 操作規劃與步驟	29
第四章 結果分析與討論	47
4.1 長期浸漬試片之附著海生物分析與討論	47
4.1.1 歷年乾濕重比較	48
4.1.2 歷年藤壺附著數量與覆蓋面積比較	48
4.1.3 歷年華美盤管蟲附著數量與覆蓋面積比較	49
4.2 長期浸漬試片之腐蝕速率分析與討論	49
4.2.1 腐蝕速率與放置地點之關係	49
4.2.2 腐蝕速率與放置水深之關係	51
4.2.3 腐蝕速率與浸漬時間之關係	51
4.2.4 自由腐蝕與陰極防蝕試片之比較	52
4.3 港區水質對碳鋼試片腐蝕速率之影響	52
4.3.1 腐蝕電位	52
4.3.2 腐蝕速率	53
4.4 特定海生物對碳鋼試片腐蝕速率之影響	53
4.5 電化學試驗試片之附著海生物分析與討論	55
4.5.1 大林發電廠	55
4.5.2 高雄港#14碼頭	55
4.6 電化學試驗試片之腐蝕速率分析與討論	56
4.6.1 瞬時腐蝕速率量測-電化學技術	56
4.6.2 試片的等效電路	58

4.6.3 海生物附著與金屬腐蝕之機理 -----	59
4.6.4 冬季試驗試片表面狀況 -----	60
4.6.5 冬季試驗試片的腐蝕速率 -----	60
4.6.6 冬季試驗試片 EIS 分析 -----	61
4.6.7 夏季與冬季試驗試片腐蝕速率之比較 -----	62
4.6.8 夏季與冬季試驗試片 EIS 分析 -----	63
4.6.9 316L 不銹鋼 -----	64
4.7 海生物腐蝕防治建議 -----	64
第五章 結 論 -----	185
5.1 連續性海洋曝露實驗之附著海生物 -----	185
5.2 電化學試驗之附著海生物 -----	186
5.2.1 大林發電廠 -----	186
5.2.2 高雄港#14 碼頭 -----	186
5.3 腐蝕速率 -----	187
5.3.1 長期浸漬試驗 -----	187
5.3.2 港區水質對碳鋼腐蝕之影響 -----	187
5.3.3 特定海生物對碳鋼腐蝕之影響 -----	187
5.3.4 海生物附著對金屬腐蝕之影響 -----	188
第六章 參考文獻 -----	191

表目錄

表 3.1 現地長期浸漬試驗試片重量表(1) -----	32
表 3.1 現地長期浸漬試驗試片重量表(2) -----	33
表 3.1 現地長期浸漬試驗試片重量表(3) -----	34
表 3.1 現地長期浸漬試驗試片重量表(4) -----	35
表 4.1 歷年附著生物在不同碼頭、深度、材質與面向覆蓋面積的比較 -----	70
表 4.2 歷年來藤壺在不同碼頭、深度、材質與面向附著數量與覆蓋面積 的比較 -----	71
表 4.3 歷年來華美盤管蟲在不同碼頭、深度、材質與面向附著數量與覆 蓋面積的比較 -----	72
表 4.4 總乾重與溼重(1996/11/20) -----	73
表 4.5 總乾重與溼重(1997/2/7) -----	74
表 4.6 總乾重與溼重(1997/11/20) -----	75
表 4.7 總乾重與溼重(1998/5/5) -----	76
表 4.8 總乾重與溼重(1998/11/21) -----	77
表 4.9 總乾重與溼重(1999/4/29)-----	78
表 4.10 總乾重與溼重(2000/3/2)-----	79
表 4.11 總乾重與溼重(2000/10/4) -----	80
表 4.12 管蟲附著數量(1996/11/20)-----	81
表 4.13 表管蟲附著數量(1997/2/7) -----	82
表 4.14 管蟲附著數量(1997/11/20)-----	83
表 4.15 管蟲附著數量(1998/5/5)-----	84
表 4.16 管蟲附著數量(1998/11/21)-----	85

表 4.17 管蟲附著數量(1999/4/29) -----	86
表 4.18 管蟲附著數量(2000/3/2)-----	87
表 4.19 管蟲附著數量(2000/10/4) -----	88
表 4.20 管蟲附著面積(1996/11/20)-----	89
表 4.21 表管蟲附著面積(1997/2/7)-----	90
表 4.22 管蟲附著面積(1997/11/20)-----	91
表 4.23 管蟲附著面積(1998/5/5)-----	92
表 4.24 管蟲附著面積(1998/11/21)-----	93
表 4.25 管蟲附著面積(1999/4/21) -----	94
表 4.26 管蟲附著面積(2000/3/2)-----	95
表 4.27 管蟲附著面積(2000/10/4) -----	96
表 4.28 藤壺數量(1997/11/5) -----	97
表 4.29 藤壺數量(1998/11/21)-----	98
表 4.30 藤壺數量(1999/4/29) -----	99
表 4.31 藤壺數量(2000/3/2)-----	100
表 4.32 藤壺數量(2000/10/4) -----	101
表 4.33 藤壺覆蓋面積(1997/11/5) -----	102
表 4.34 藤壺覆蓋面積(1998/11/21)-----	103
表 4.35 藤壺覆蓋面積(1999/4/29) -----	104
表 4.36 藤壺覆蓋面積(2000/3/2)-----	105
表 4.37 藤壺覆蓋面積(2000/10/4) -----	106
表 4.38 高雄港水質分析(89/3/2)-----	107
表 4.39 高雄港水質分析(89/10/4) -----	108

圖目錄

圖 1.1 鋼板樁碼頭受海水腐蝕情形-----	4
圖 2.1 異物堆積造成氧濃差電池現象-----	17
圖 2.2 氧濃差電池造成水線腐蝕現象-----	17
圖 2.3 孔蝕作用造成之金屬腐蝕-----	18
圖 2.4 金屬晶粒間沿晶間侵蝕破壞情形-----	18
圖 2.5 台灣各大港區四季溫度變化情形-----	19
圖 2.6 台灣各大港區四季雨量變化情形-----	19
圖 2.7 台灣各大港區四季溼度變化情形-----	20
圖 2.8 台灣各大港區四季酸雨 pH 值變化情形-----	20
圖 2.9 台灣各大港區四季海水 pH 值變化情形-----	21
圖 2.10 台灣各大港區四季海水溶氧量變化情形-----	21
圖 2.11 台灣各大港區四季海水水溫變化情形-----	22
圖 3.1 試片於夾具上位置圖...-----	36
圖 3.2 試片架安裝示意圖-----	36
圖 3.3 試片架安裝於基樁上示意-----	37
圖 3.4 高雄港區連續性曝露實驗試片架施放位置圖-----	38
圖 3.5 台灣各港區典型棧橋式碼頭示意圖-----	39
圖 3.6 試片架示意圖-----	40
圖 3.7 試片封模後示意圖-----	40
圖 3.8 試片於 PVC 管內示意圖-----	41
圖 3.9 試片套筒於試片架內示意圖-----	41
圖 3.10 大林電廠試片施放現場縱斷面示意圖-----	42
圖 4.1 附著生物總濕重隨時間在不同碼頭間的變化-----	109

圖 4.2 附著生物總乾重隨時間在不同碼頭間的變化-----	109
圖 4.3 附著生物總濕重隨時間在不同深度間的變化-----	110
圖 4.4 附著生物總乾重隨時間在不同深度間的變化-----	110
圖 4.5 附著生物總濕重隨時間在不同試片材質上的變化-----	111
圖 4.6 附著生物總乾重隨時間在不同試片材質上的變化-----	111
圖 4.7 附著生物總濕重隨時間在不同試片面向上的變化-----	112
圖 4.8 附著生物總乾重隨時間在不同試片面向上的變化-----	112
圖 4.9 藤壺附著數量隨放置時間在各碼頭間的變化-----	113
圖 4.10 藤壺覆蓋面積隨放置時間在各碼頭間的變化-----	113
圖 4.11 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同深度間的變化-----	114
圖 4.12 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同深度間的變化-----	114
圖 4.13 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化-----	115
圖 4.14 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化-----	115
圖 4.15 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片面向上的變化-----	116
圖 4.16 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片面向上的變化-----	116
圖 4.17 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在各碼頭間的變化-----	117
圖 4.18 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在各碼頭間的變化-----	117
圖 4.19 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在不同深度間的變化-----	118
圖 4.20 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在不同深度間的變化-----	118
圖 4.21 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在不同試片材質上的變化-----	119
圖 4.22 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化-----	119
圖 4.23 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在不同試片面向上的變化-----	120
圖 4.24 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化-----	120
圖 4.25 自由腐蝕試片藤壺附著數量與置放地點的關係-----	121
圖 4.26 陰極防蝕試片藤壺附著量與置放地點的關係-----	121

圖 4.27 自由腐蝕試片藤壺附著量與水深的關係 -----	122
圖 4.28 陰極防蝕試片藤壺附著量與水深的關係 -----	122
圖 4.29 自由腐蝕試片藤壺附著量與時間的關係 -----	123
圖 4.30 陰極防蝕試片藤壺附著量與時間的關係 -----	123
圖 4.31 自由腐蝕試片藤壺覆蓋面積與置放地點的關係 -----	124
圖 4.32 陰極防蝕試片藤壺覆蓋面積與置放地點的關係 -----	124
圖 4.33 自由腐蝕試片藤壺覆蓋面積與水深的關係 -----	125
圖 4.34 陰極防蝕試片藤壺覆蓋面積與水深的關係 -----	125
圖 4.35 自由腐蝕試片藤壺覆蓋面積與時間的關係 -----	126
圖 4.36 陰極防蝕試片藤壺覆蓋面積與時間的關係 -----	126
圖 4.37 自由腐蝕試片管蟲附著量與置放地點的關係 -----	127
圖 4.38 陰極防蝕試片管蟲附著量與置放地點的關係 -----	127
圖 4.39 自由腐蝕試片管蟲附著量與水深的關係 -----	128
圖 4.40 陰極防蝕試片管蟲附著量與水深的關係 -----	128
圖 4.41 自由腐蝕試片管蟲附著量與時間的關係 -----	129
圖 4.42 陰極防蝕試片管蟲附著量與時間的關係 -----	129
圖 4.43 自由腐蝕試片管蟲覆蓋面積與置放地點的關係 -----	130
圖 4.44 陰極防蝕試片管蟲覆蓋面積與置放地點的關係 -----	130
圖 4.45 自由腐蝕試片管蟲覆蓋面積與水深的關係 -----	131
圖 4.46 陰極防蝕試片管蟲覆蓋面積與水深的關係 -----	131
圖 4.47 自由腐蝕試片管蟲覆蓋面積與時間的關係 -----	132
圖 4.48 陰極防蝕試片管蟲覆蓋面積與時間的關係 -----	132
圖 4.49 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與置放地點的關係 -----	133
圖 4.50 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與置放地點的關係 -----	133
圖 4.51 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係 -----	134

圖 4.52 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係 -----	134
圖 4.53 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係 -----	135
圖 4.54 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係 -----	135
圖 4.55 自由腐蝕試片與陰極防蝕試片之平均腐蝕速率與浸漬時間比較圖 -----	136
圖 4.56 實驗室浸泡試驗無充空氣情況下試片開路電位與浸漬時間之關係 -----	137
圖 4.57 實驗室浸泡試驗充空氣情況下試片開路電位與浸漬時間之關係 -----	137
圖 4.58 實驗室浸泡試驗無充空氣情況下試片腐蝕速率與浸漬時間之關係 -----	138
圖 4.59 實驗室浸泡試驗充空氣情況下試片腐蝕速率與浸漬時間之關係 -----	138
圖 4.60 試片在#14 號碼頭水深 0m 處之動電位極化曲線-----	139
圖 4.61 試片在#14 號碼頭水深 3m 處之動電位極化曲線-----	139
圖 4.62 試片在#14 號碼頭水深 6m 處之動電位極化曲線-----	140
圖 4.63 試片在#75 號碼頭水深 0m 處之動電位極化曲線-----	140
圖 4.64 試片在#75 號碼頭水深 3m 處之動電位極化曲線-----	141
圖 4.65 試片在#75 號碼頭水深 6m 處之動電位極化曲線-----	141
圖 4.66 試片在#14 號碼頭各水深 之瞬間腐蝕速率(DC 量測)-----	142
圖 4.67 試片在#75 號碼頭各水深之瞬間腐蝕速率(DC 量測) -----	142
圖 4.68 試片在#14 號碼頭各水深之平均腐蝕速率(以重量損失法計算)-	143
圖 4.69 試片在#75 號碼頭各水深之平均腐蝕速率(以重量損失法計算)-	143
圖 4.70 試片在#14 號碼頭水深 0m 處之 Bode plots -----	144
圖 4.71 試片在#14 號碼頭水深 3m 處之 Bode plots -----	144

圖 4.72 試片在#14 號碼頭水深 6m 處之 Bode plots -----	145
圖 4.73 試片在#75 號碼頭水深 0m 處之 Bode plots -----	145
圖 4.74 試片在#75 號碼頭水深 3m 處之 Bode plots -----	146
圖 4.75 試片在#75 號碼頭水深 6m 處之 Bode plots -----	146
圖 4.76 試片組 A 與試片組 C 中，藤壺在 SS41（碳鋼）與 316L（不 銹鋼）二種試片上附著數量隨放置時間變化的情形-----	147
圖 4.77 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在 SS41（碳鋼）與 316L （不銹鋼）二種試片上附著數量隨放置時間變化的情形-----	148
圖 4.78 試片組 A 與試片組 C 中，纓鰓蟲在 SS41（碳鋼）與 316L（不 銹鋼）二種試片上附著數量隨放置時間變化的情形-----	149
圖 4.79 試片組 A 與試片組 C 中，藤壺在 SS41（碳鋼）與 316L（不銹 鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形-----	150
圖 4.80 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在 SS41（碳鋼）與 316L （不銹鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形-----	151
圖 4.81 試片組 A 與試片組 C 中，纓鰓蟲在 SS41（碳鋼）與 316L （不銹鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形-----	152
圖 4.82 試片組 A 與試片組 C 中，藻類在 SS41（碳鋼）與 316L（不 銹鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形-----	153
圖 4.83 試片組 A 與試片組 C 中，附著生物總附著面積在二種試片上 覆蓋面積隨放置時間變化的情形-----	154
圖 4.84 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在兩種不同試片 SS41 （碳鋼）與 316L（不銹鋼）上附著數量隨時間變化的情形-----	155
圖 4.85 試片組 A 與試片組 C 中，貽貝在兩種不同試片 SS41（碳鋼） 與 316L（不銹鋼）上附著數量隨時間變化的情形-----	156
圖 4.86 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在兩種不同試片 SS41	

(碳鋼) 與 316L (不銹鋼) 上覆蓋面積隨時間變化的情形-----	157
圖 4.87 試片組 A 與試片組 C 中，貽貝在兩種不同試片 SS41 (碳鋼)	
與 316L (不銹鋼) 上覆蓋面積隨時間變化的情形-----	158
圖 4.88 試片組 A 與試片組 C 中兩種不同材質試片 SS41 (碳鋼) 與	
316L (不銹鋼) 上，附著生物總濕重隨時間變化的情形 -----	159
圖 4.89 試片組 A 與試片組 C 中兩種不同材質試片 SS41 (碳鋼) 與	
316L (不銹鋼) 上，附著生物總乾重隨時間變化的情形 -----	160
圖 4.90 冬季試片在天然海水中 5 日後之等效電位圖(無海生物附著) ---	161
圖 4.91 冬季試片在天然海水中 5 日後之等效電位圖(假設有海生物附	
著)-----	161
圖 4.92 冬季試片在天然海水中 10 日後之等效電位圖(無海生物附著)--	162
圖 4.93 冬季試片在天然海水中 10 日後之等效電位圖(假設有海生物附	
著) -----	162
圖 4.94 冬季試片在天然海水中 20 日後之等效電位圖 -----	163
圖 4.95 冬季試片在天然海水中 30 日後之等效電位圖 -----	163
圖 4.96 冬季試片在天然海水中 67 日後之等效電位圖 -----	164
圖 4.97 冬季試片在天然海水中 90 日後之等效電位圖 -----	164
圖 4.98 海生物附著與金屬腐蝕之機理推論示意圖 -----	165
圖 4.99 冬季試片腐蝕速率($1/R_p$)與浸漬時間之關係 (DC 量測)-----	166
圖 4.100 冬季試片腐蝕速率($1/R_{ct}$)與浸漬時間之關係 (EIS 量測)-----	166
圖 4.101 冬季試片腐蝕速率(mm/y)與浸漬時間之關係 (DC 量測) -----	167
圖 4.102 冬季試片於海水中浸漬 5 日後之 EIS 圖 -----	168
圖 4.103 冬季試片於海水中浸漬 10 日後之 EIS 圖 -----	168
圖 4.104 冬季試片於海水中浸漬 20 日後之 EIS 圖 -----	169
圖 4.105 冬季試片於海水中浸漬 30 日後之 EIS 圖 -----	169

圖 4.106 冬季試片於海水中浸漬 67 日後之 EIS 圖 -----	170
圖 4.107 冬季試片於海水中浸漬 90 日後之 EIS 圖 -----	170
圖 4.108 夏季試片腐蝕速率與浸漬時間的關係(EIS 量測)-----	171
圖 4.109 夏季與冬季試片腐蝕速率與浸漬時間的關係(DC 量測)-----	171
圖 4.110 夏季金屬試片浸漬於天然海水中海生物刮除前之 EIS 圖 -----	172
圖 4.111 夏季金屬試片浸漬於天然海水中海生物刮除後之 EIS 圖 -----	172
圖 4.112 夏季金屬試片浸漬於天然海水中週期性取出與放回之 EIS 圖 -	173
圖 4.113 夏季與冬季試片在海水中浸漬 5 日後之 EIS 圖 -----	173
圖 4.114 夏季與冬季試片在海水中浸漬 10 日後之 EIS 圖 -----	174
圖 4.115 夏季與冬季試片在海水中浸漬 30-35 日後之 EIS 圖 -----	174
圖 4.116 夏季與冬季試片在海水中浸漬 60-65 日後之 EIS 圖 -----	175
圖 4.117 夏季與冬季試片在海水中浸漬 80-90 日後之 EIS 圖 -----	175
圖 4.118 316L 不銹鋼試片腐蝕速率與浸漬時間的關係(EIS 量測)-----	176
圖 4.119 316L 不銹鋼試片浸漬於天然海水中海生物刮除前之 EIS 圖 ---	177
圖 4.120 316L 不銹鋼試片浸漬於人造海水中之 EIS 圖-----	177

照片目錄

照片 3.1 試片焊接	43
照片 3.2 調製環氧樹脂	43
照片 3.3 試片灌模	43
照片 3.4 試片拋光	44
照片 3.5 隙縫填漆	44
照片 3.6 試片施放工作情形 (1)	44
照片 3.7 試片施放工作情形 (2)	45
照片 3.8 試片施放工作情形 (3)	45
照片 3.9 試片施放工作情形 (4)	46
照片 3.10 電化學電池系統	46
照片 3.11 電化學試驗於現場操作	46
照片 3.12 電化學試驗於實驗室操作	46
照片 4.1 試片浸漬時間 5 天	178
照片 4.2 試片浸漬時間 10 天	178
照片 4.3 試片浸漬時間 20 天	178
照片 4.4 試片浸漬時間 30 天 (1)	179
照片 4.5 試片浸漬時間 30 天 (2)	179
照片 4.6 試片浸漬時間 55 天	179
照片 4.7 試片浸漬時間 55 天 (表面海生物呈垂直分布)	180
照片 4.8 試片浸漬時間 67 天	180
照片 4.9 試片浸漬時間 90 天 (1)	180
照片 4.10 試片浸漬時間 90 天 (2)	181
照片 4.11 試片浸漬時間 5 天 (刮除海生物後)	181

照片 4.12 試片浸漬時間 10 天（刮除海生物後）	-----181
照片 4.13 試片浸漬時間 20 天（刮除海生物後）	-----182
照片 4.14 試片浸漬時間 30 天（刮除海生物後）	-----182
照片 4.15 試片浸漬時間 55 天（刮除海生物後）	-----182
照片 4.16 試片浸漬時間 67 天（刮除海生物後）	-----183
照片 4.17 試片浸漬時間 90 天（刮除海生物後）	-----183

第一章 研究主旨(研究動機、緣起與目的)

台灣為四面環海，沿海除了有海港碼頭、防波堤等港工設施外，鑽油平台、跨海大橋等皆處於海洋環境中。而近年來一遇颱風來襲則造成重大損失，如民國八十三年提姆、道格颱風過境，造成花蓮港、蘇澳港、龍洞遊艇港及高雄港等各港口，多處港工設施之破壞、沈陷等重大損害。顯示出相當部分的港工設施，已面臨或提早到達設計之年限，究其原因，各港工結構面臨險惡之海洋環境而被腐蝕、侵襲，造成材料之彈性疲乏，強度損失，以致使用年限大為縮短應為重要因素之一。

港工結構所使用的材料，除了石料之外、主要為鋼構材料及混凝土或鋼筋混凝土材料為主。其中鋼構材料如鋼版樁、鋼管樁及配合使用之拉緯鋼纜等各式鋼料，材質均有不同。而混凝土材料之使用則更為廣泛，其中如重力式碼頭結構包括各型混凝土塊、各種沉箱式結構，基樁式及棧橋式碼頭結構所使用之 PC 樁、RC 樁等均為混凝土、鋼筋混凝土或預力混凝土所組成。此兩大項之港工構材，其腐蝕之現象，及造成腐蝕的原因便有所不同。以下便以此兩大類之港工構材，就其腐蝕之現象及造成腐蝕的原因分別說明之。

首先就鋼構材料而言，根據港研所做相關研究報告中指出^{(1),(2)}，目前在台灣各大港口中，使用鋼構材料的碼頭主要包括有：基隆港西二十二...至西二十七號碼頭，以及東二號碼頭至東九號碼頭。其中大多為鋼版樁式。高雄港則有十一、十二號碼頭，三十號至四十七號碼頭，以及五十四號至七十號碼頭等，其中大部分亦為鋼版樁型式組成。其餘如花蓮港及蘇澳港也有部分碼頭為鋼構材料所組成。目前台灣各大港口鋼版樁腐蝕的情形，有些已相當嚴重（如圖 1.1）；如基隆港西十五號及東二號碼頭，壁面有海生物附著且有孔蝕現象，基隆港東七號、西二十二號、西二十七號等碼頭，均發現其鋼版樁有嚴重破損、穿孔之腐蝕現象，以致部分碼頭壁後砂石掏空，岸肩沈陷，嚴重影響碼頭之結構安全。蘇澳港之駁船碼頭，鋼版板樁年腐蝕率超過 0.2mm/y。其他各港口亦有類似現象，惟年腐蝕率較低，假設其為均勻腐蝕所測得，其中是否有嚴重孔蝕則無從得知。

造成鋼構材料腐蝕的原因有許多，最主要的為電化學作用所形成的金屬銹損。電化學作用則是陽極的金屬材料失去電子，而形成正離子為氧化反應；而海水中或水面之氧則吸收此負離子，形成氫氧離子是為陰極反應。然後該金屬離子與氫氧離子結合為氫氧化合物或氧化物，沈澱於原金屬表面是為銹損。鋼構材料腐蝕後，主要的影響造成構材斷面縮小，性質改變，整體結構變化及

至最終強度損失，無法承擔外力的作用。另一造成腐蝕的原因則為海洋生物的附著作用，此部分的影響則是雙方面的：其一，海生物附著對構材造成腐蝕，原因可能為海生物排放黏液中所含細菌分解出酸性物質，或海生物附著下造成厭氧環境，厭氧菌釋出酸性物質等而造成腐蝕。其二，海生物附著於構材上，將增加構材之重量，在結構受力時，其慣性載重將相對增大，再加上海生物所留滯的水量（Trapped Water），亦將增加“外加質量”（Added Mass）之值。因此在力學分析上討論時，海生物附著之影響將是雙重的，也就是除了腐蝕造成斷面損失、強度降低之外，也將使得荷重及慣性作用力增大，以致整體結構之安全因子亦相對降低，對耐久性、安全性之負面影響不可忽略。

其次就與混凝土有關之構材而言，根據前面所提以及相關研究報告⁽³⁾可知，目前在台灣各大港口中，使用混凝土有關之構材的碼頭相當多其中如：基隆港西一號...至西十九號碼頭，西二十八號 A...至西三十三號 B 碼頭，以及東十二號碼頭至東二十二號碼頭。其中包括有重力式、沉箱擁壁式、沉箱式、橋墩式及基樁式等。台中港之碼頭結構則大部分為混凝土有關之構材所組成，其中主要包括有沉箱式、以及預力混凝土樁與 L 型塊所組成之結構形式。高雄港則有二號至十號碼頭為方塊混凝土式及預力混凝土樁棧橋式，十三號至三十三號碼頭則為棧橋式及鋼筋混凝土版樁式，以及四十八號至五十三號碼頭為預力混凝土樁棧橋式。花蓮港則大部分為重力式碼頭；蘇澳港則包括有沉箱重力式及基樁棧橋式等組成。目前各大港口鋼筋混凝土結構物，於海洋環境下之腐蝕情形亦有報告提出；如高雄港中洲碼頭，保護層厚度僅剩兩公分，而且經現地取樣作化學分析後，發現混凝土中氯離子含量高達 2.33%，顯示內部鋼筋可能已嚴重腐蝕。

就與混凝土有關之構材而言，腐蝕之產生主要位於鋼筋或預力鋼纜部分。其腐蝕機制以及影響腐蝕之因素，較鋼構結構之腐蝕更為複雜。主要的原因則在於混凝土之影響，以及其與鋼材間之交互作用；除了化學機制外，應力及物理機制也扮演相當重要的角色。鋼料之腐蝕如前所述，由於電化學作用而造成。但不同於純粹鋼構材料者，則在於鋼筋混凝土結構外層為混凝土被覆，阻絕了大部分電化學作用之機制或反應要素。若此外層混凝土被覆，先有了瑕疵、或受外在環境影響而破壞後，鋼筋之腐蝕便有利於發生。一旦鋼筋開始腐蝕後，其腐蝕生成物膨脹而向外擴張，造成結構構件之內應力，作用於此被覆層混凝土上。而此被覆層混凝土，外有環境外力作用，內有腐蝕生成物膨脹造成之內應力作用，更形加速其破壞。被覆層混凝土破壞加速後，自然鋼筋之保護便降低，鋼筋之腐蝕也更為加速，形成惡性循環，導致最終整個結構體破壞。

造成被覆層混凝土破壞的主要因素有許多，如環境變化之影響包括溫度之變化、乾濕交替之影響、海浪外力之作用等。化學作用之影響如混凝土本身化學性質之變化，被覆於混凝土外海洋生物及其衍生菌類之影響，混凝土之初始品質等等，皆可能為覆層混凝土破壞的影響因素。一如對鋼構結構物之腐蝕中所探討；被覆於混凝土外層、海洋生物及其衍生菌類之影響可能是雙重的。也就是除了造成構件有效斷面的損失之外，整體結構之衍生質量也將增加，進而造成荷重的增加。當然由於大部分的混凝土港工構造物為重力式，所以結構衍生質量增加對混凝土港工構造物的影響可予忽略。但構造物一旦被海垢生物覆蓋後，除非到相當嚴重的地步，其破壞情形不易被發覺。

根據相關的研究調查中，台灣各港區碼頭中均發現有海生物附生的問題，較早的調查報告中，如民國七十年宋克義等在海軍相關計劃中⁽⁴⁾即曾作過左營軍港、高雄及基隆港等海垢生物之附著研究。而近來的研究中如台電興達港之調查報告⁽⁵⁾指出，使用防污塗料後仍有海生物附著，如藤壺 (barnacle)、管棲多毛蟲 (polychaet)、苔蘚蟲 (hydrozon) 等等。其他如基隆港、蘇澳港、台中港等也多有調查報告^{(6),(7),(8)}，至於高雄港區，近年來則鮮有相關的調查。高雄港除了為台灣第一大港，亦為國際重要商港，現則規劃為亞太營運中心之重要據點，其重要性不言可喻。因此在本研究中，將集中於被覆於混凝土或鋼構結構外層、海垢生物及其衍生菌類，對此二類材料腐蝕影響之探討，並將以高雄港區為主要研究地區。另外並將針對生物附著造成之腐蝕提出對策檢討，重點則包括如何防止生物附著，以及附著後如何防止或減緩其腐蝕作用。

本研究針對生物附著腐蝕現象及對策方案規劃下列幾個重點：

1. 了解港區不同地點針對不同材質之構材其海洋附生物附著情形，包括種類、數量、附生速率以及著苗季節等。此一部份必須長期進行，目前研究的結果，將與前階段之結果，相互結合並共同分析，方能獲知代表性意義。
2. 了解各種不同材質構材在海洋生物附著後其材質變化情形，以及不同之防蝕處理後其海洋附生物附生之變化如何等。
3. 認識海洋生物附著後對構材造成腐蝕之腐蝕機制 (Corrosion Mechanism)，並依此發展出防治措施及對策方法。

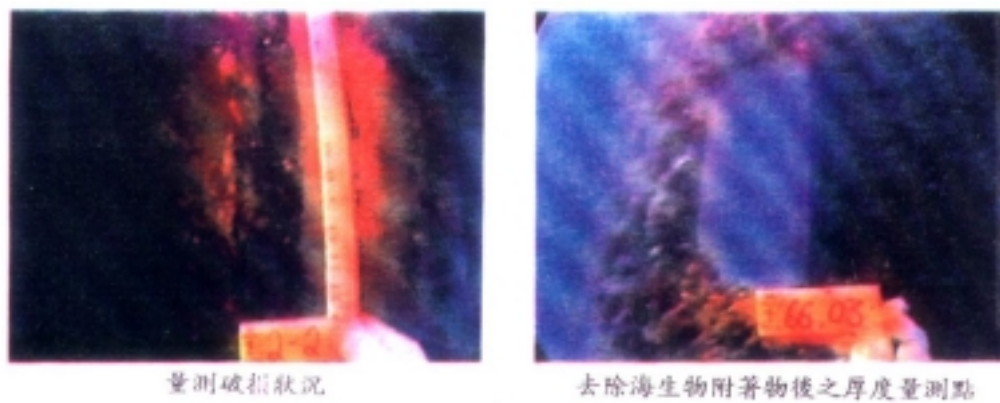
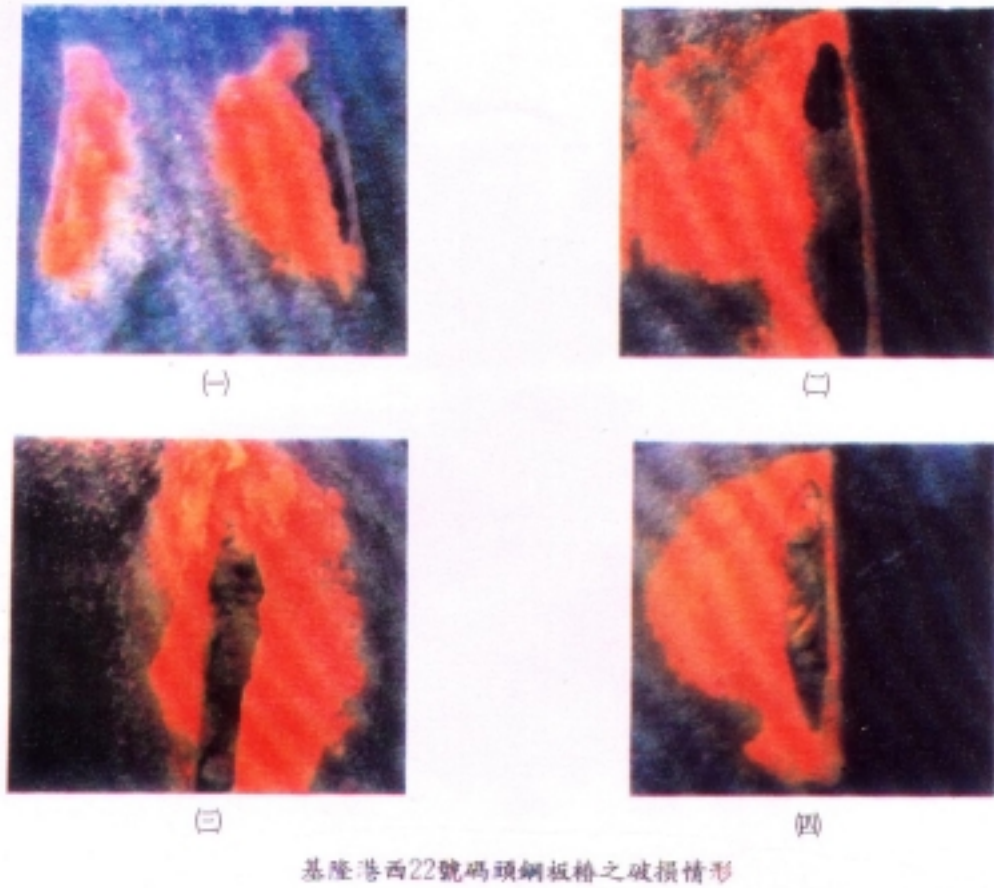


圖 1.1 鋼板樁碼頭受海水腐蝕情形

第二章 問題之性質與背景

如前所述，台灣為一四面環海之島國，沿海除了有海港碼頭、防波堤等港工設施外，鑽油平台、跨海大橋等皆處於海洋環境中。而近年來一遇颱風來襲則造成重大損失，如民國八十三年提姆、道格颱風過境，造成花蓮港、蘇澳港、龍洞遊艇港及高雄港等，多處港工設施破壞、沈陷等重大損害。顯示出相當部分的港工設施，已面臨或提早到達設計年限，究其原因，各港工結構面臨險惡之海洋環境而被腐蝕、侵襲，造成材料之彈性疲乏，強度損失，以致使用年限大為縮短應為重要因素之一。

港工結構所使用的材料，主要以鋼構材料及混凝土或鋼筋混凝土材料為主。其中鋼構材料如鋼版樁、鋼管樁及配合使用之拉緯鋼纜等各型鋼料，材質均有不同。而混凝土材料之使用更為廣泛，其中如重力式碼頭結構包括各型混凝土塊、各種沉箱式結構，棧橋式碼頭結構所使用之 PC 樁、RC 樁等均為混凝土、鋼筋混凝土或預力混凝土所組成。因此，就兩大項之港工構材，其腐蝕之現象及造成腐蝕的原因便有所不同。以下便以此兩大類之港工構材，就其在海洋環境中之腐蝕機制及造成腐蝕的原因分別說明之^{(9),(10)}，並就生物以及細菌腐蝕之部分，加以介紹。

2.1 腐蝕作用與電池類型

參與腐蝕反應的主要電池型態有三種類型⁽⁹⁾：相異電極電池(dissimilar electrode cells)、濃度差異電池 (concentration cells) 及溫度差異電池(differential temperature cells)。

1.相異電極電池 (乾電池) (dissimilar electrode cells)

此類型之電池可以乾電池解釋之，如碳棒與鋅處於 NH_4Cl 溶液中，則鋅氧化反應失去電子，碳極則發生還原反應。金屬與其他金屬之介面間，將具有導電不純性，如銅管與鐵管相接合時、冷軋鋼相互焊接時，而形成此一型態之腐蝕電池。

2.濃度差異電池 (concentration cells)

濃度差異電池可分為鹽度集中電池 (salt concentration cells 或鹽度差異電池)，及氧集中電池 (differential aeration cells 或氧差異電池)。如兩銅片置於

濃度相異的硫酸銅溶液中時，濃度較低一端之銅片將溶解釋出電子，而濃度較高一端之銅，則將被附上溶液中還原之銅，此即為鹽度差異電池。在腐蝕反應中扮演更重要角色的，則為氧濃差電池，其為造成間隙腐蝕 (crevice corrosion) 及孔蝕 (pitting) 之重要反應機制。如圖 2.1 金屬表面被腐蝕生成物堆積後，被區分為與空氣接觸之高氧區與異物堆積下之低氧區，由於電位不同，低氧區將形成腐蝕。而當結構物處於海中時，如圖 2.2 之情形，在水與空氣交會之介面，則將金屬構材區分為與空氣接觸之高氧區，與水面下之低氧區，而形成氧濃差電池，導致水線腐蝕 (water-line corrosion) 現象。

3.溫度差異電池 (differential temperature cells)

溫度差異電池的產生為，金屬同時間處於不同溫度環境中，形成電極之兩部份，浸漬於具同樣組成之電解液中而發生時。其實用上之重要性及基本原理，與前面濃差電池相較之下則較少被提及。

2.2 鋼材之腐蝕機制

港工構造中較常使用之結構鋼料有 SS330(SS34)、SS400(SS41)、SS490(SS50)、SS540(SS55)，SY24、30、40 等為鋼版樁用鋼，預力混凝土用鋼線則有 SWPR1、SWPD1、SWPR2、SWPD3、SWPR7A、SWPR7B、SWPR19 等。就上述幾型碳鋼材料在海洋環境中之腐蝕行為概可分為以下幾種型態 (9),(10),(11),(12)

1. 均勻腐蝕(uniform attack)

腐蝕作用發生時，金屬表面無特定之陰極及陽極區，金屬表面之腐蝕較為均勻，如鐵之表面銹蝕 (rusting of iron)、銀器變晦暗 (silver tarnishing)、金屬在高溫下的氧化現象等均為其中例子。腐蝕速率的估計一般有年穿透率如 mm/y(millimeters penetration per year)、ipy(inches penetration per year)、mils(0.001 in. per year)或重量損失如 gmd(grams per square meter per day)、mdd(miligrams per square decimeter per day)。鋼鐵材料在海水中之均勻腐蝕速率約為 0.13mm/y、2.5gmd、25mdd 或 0.005 ipy。

2. 孔蝕作用(pitting)

孔蝕作用為局部的腐蝕作用，當部分區域的腐蝕速率大於其他區域時稱為孔蝕。孔蝕的深度有時以孔蝕因子(pitting factor) 來表示；定義為最大穿透

深度與平均穿透深度之比值。當孔蝕因子(pitting factor) 之值為一單位值時，則代表腐蝕狀態為均勻腐蝕。

許多的腐蝕現象，均可歸類為孔蝕作用的一種，如金屬在高速相對運動環境中，形成之孔蝕現象，或歸類為沖蝕 (impingement attack, or corrosion-erosion)；又如金屬在較低速相對運動環境中，形成之孔蝕現象，或歸類為侵蝕性腐蝕 (fretting corrosion)；穴蝕或漩渦腐蝕 (cavitation corrosion) 造成蜂巢狀之孔蝕現象，亦為其中一種。金屬受穴蝕作用腐蝕之情形可由圖 2.3 示意之。

3. 伽凡尼腐蝕 (galvanic corrosion)

不同的兩種金屬或合金，置於電解液中時，還原電位較低的金屬將發生氧化作用，而造成腐蝕；還原電位較高的金屬則受到腐蝕保護。此種腐蝕主要因為金屬間不同的電位差而導致，各種金屬與合金在海水中之化學活性，可以伽凡尼系列(galvanic series)之氧化電位高低表示之，故稱為伽凡尼腐蝕 (galvanic corrosion)。

4. 間隙腐蝕(crevice corrosion)

間隙腐蝕主要因為濃度差異電池的產生而引起。若一金屬被分割成兩個區域，此兩個區域具有濃度不同的離子、或溶解之氣體於溶液中，在濃較低的一端，將發生金屬腐蝕作用。由於此種腐蝕現象，通常發生於金屬接合之間隙中，於是稱為間隙腐蝕。金屬受間隙腐蝕作用之情形可由圖 2.4 示意之。

5. 顆粒間腐蝕 (intergranular corrosion)

顆粒間腐蝕（或侵蝕）亦屬局部性腐蝕之一，發生於金屬顆粒邊界、性質不一致時，通常造成材料強度 (strength) 及延展性 (ductility) 之損失。通常在有限面積之顆粒邊界 (granular boundary) 為陽極，其他相接觸之大面積之顆粒則為陰極。此型態之侵蝕作用通常迅速、且穿透性嚴重。金屬受顆粒間腐蝕作用破壞之情形可由圖 2.4 示意之。

6. 應力腐蝕破裂(stress corrosion cracking)

應力腐蝕破裂為處於腐蝕環境中時，雖然作用於材料上之應力較小，未達破壞應力，但裂縫仍然發生。作用於材料上之應力，在此一形式的腐蝕時，通常為固定，如材料製作過程中產生之殘餘應力 (residual stress)，固定載重下

之拉應力 (tensile stress) 等。

7. 疲勞腐蝕 (corrosion fatigue)

疲勞腐蝕有時也歸納為應力腐蝕之一種，其與應力腐蝕之主要區別為，疲勞腐蝕時，作用於材料上之應力為週期性、往覆作用。例如、在海水腐蝕環境中，鋼料若承受一自然頻率為 $N_f = 10 \times 10^7$ 之應力作用時，其破壞應力減少四倍之多。理論上，在非腐蝕環境中，材料受到往覆應力作用時，有一疲勞應力極限 (fatigue limit or endurance limit)，當作用應力低於此極限值時，無論週期為何，材料均不至破壞；但若處於腐蝕環境，此一疲勞應力極限 (fatigue limit) 則不再存在。

2.3 鋼筋混凝土之腐蝕過程

由於製成混凝土之水泥中含有鉀(K^+)、鈉(Na^+)、鈣(Ca^{++})等離子，使得混凝土為鹼性體 (pH=12.5)，因此鋼筋表面在強鹼環境中生成一鈍態保護膜 (passive film)。但另一方面則因二氧化碳與氫氧離子作用，生成碳酸根離子，使得混凝土環境趨向中性化或稱碳酸化作用(carbonation)；而此中性化作用則不利於鋼筋鈍態保護膜(passive film)的產生。其次在海洋環境中因有濃度極高的氯離子存在，一旦侵入混凝土中，則將造成鋼筋之孔蝕作用⁽¹³⁾。一旦鋼筋開始腐蝕後，其腐蝕生成物膨脹而向外擴張，造成結構構件之內應力(應力之大小可超過 2,000psi)，此應力則作用於被覆層混凝土上。而此被覆層混凝土，外有環境外力作用，內有腐蝕生成物膨脹造成之內應力作用，更形加速其破壞。而使得整個混凝土構件外層產生裂縫以及剝落現象。被覆層混凝土破壞加速後，鋼筋之保護降低，腐蝕也更形加速，形成惡性循環，導致最終整個結構體的破壞。

2.4 海垢生物及細菌腐蝕之介紹

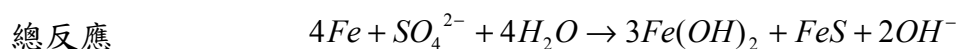
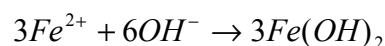
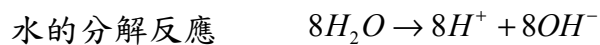
海垢生物及細菌對港工構造物所造成之腐蝕，一般認為可能原因為海垢生物排放黏液中所含細菌分解出酸性物質，或海垢生物附著下造成厭氧環境，厭氧菌如硫酸還原菌將硫酸還原為硫化物等酸性物質而造成腐蝕。或者因海垢生物分泌之黏膜附著於金屬表面，造成氧差及濃度差異電池，形成孔蝕作用。然而根據最近的研究中指出^{(14),(15)}：由 Von Wolzogen Kuhr 及 van der Vlugt 所提出之硫酸還原菌的理論，偏向於無氧環境之探討；而實際上若干好氧菌及微生物，在腐蝕過程中也扮演極重要的角色。因此根據美國腐蝕工程師學會⁽¹⁶⁾

(National Association of Corrosion Engineers, NACE International) 將影響金屬腐蝕之菌種歸納為四類：

1. 硫酸還原菌(sulfate-reducing bacteria, SRB)

硫酸還原菌為厭氧性細菌，需要在無氧狀態下進行繁殖。一般有關細菌腐蝕的研究中指出，其可造成碳鋼的孔蝕，並產生黑色硫化鐵的產物。其主要的機理為硫酸還原菌利用硫酸鹽(sulfate)，作為最終的電子接受者。進而產生大量的硫化物(sulfide)，此硫化物則將金屬陽極去極化產生硫化鐵(iron sulfide)沈積在陽極表面。在陽極去極化的過程中，陰極表面產生的氫氣被硫化還原菌消耗，加速陰極的去極化而導致金屬腐蝕。

在含有硫酸還原菌的環境中，碳鋼與周圍環境的電化學反應式為：

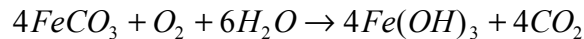


2. 黏稠性細菌膜生成菌(slime-forming bacteria)

凡是細菌細胞具有黏稠性者，一般皆可歸納為此類菌種。此類細菌可產生黏稠性的細胞膜，而且有好氧的特性，在金屬腐蝕過程中，常會形成氧差和濃度差異電池。NACE 的報告中指出此類細菌除可能造成孔蝕問題之外，在細菌膜與金屬界面間，亦能產生無氧環境，適合硫化還原菌之生存，造成混合性的細菌腐蝕。

3. 鐵氧化菌(iron-oxidizing bacteria)

鐵氧化菌為好氧性菌種，但仍可在含氧量極低的環境中分裂(<0.5 ppm)，其與金屬腐蝕的關係為，鐵氧化菌能將二價的鐵離子氧化為三價的鐵離子：



沈積在金屬表面，形成穩定的被覆層。此被覆層與黏稠性細菌膜混合時，可構成氧差電池，並產生無氧環境而有利厭氧菌的繁殖。

4. 其他藻類、蕈類及海垢生物

藻類和蕈類進行光合作用和新陳代謝時，間接提供其他好氧與厭氧性細菌生存的環境，使金屬局部孔蝕易於發生。至於海垢生物與其衍生細菌之關係；如不同海垢生物所產生之菌種其差別性為何？各不同菌種間其對金屬腐蝕之影響為何？或者僅就各不同海垢生物、新陳代謝所造成之腐蝕環境，整體性之影響為何？以上各個問題由於其複雜性及多樣性，到目前為止甚少具體且完整的報告可資參考。再加上海洋環境之影響具有特殊的區域性，廣泛且系列性的探討實屬必要。

2.5 台灣各港區之海氣象資料

港工結構暴露在海洋環境下，港區及其附近地區之大氣狀態、海象條件，如溫度變化、濕度交替、潮位、風浪條件等腐蝕因子，對於港工結構物的腐蝕都會造成影響。因此在本節中將針對台灣地區之風速、風向、溫度、雨量變化、相對濕度和潮位變化作一介紹^{(17),(18)}。

1. 風速及風向分佈

根據中央氣象局之資料，台灣各大港區之風速、風向變化可以由風玫瑰圖表示之。以十年之風速及風向資料為例，基隆港主要吹的為東北風，佔全年20% 強，其次為北風，風速則有接近三分之一為 4-6 級。台中港區則以北風為主，約佔全年風向 30% 左右，風速則大部分為 1-3 級。高雄港區則較分散，其範圍從西北西至東北東風，約佔全年風向 60% 以上，風速則大部分為 1-3 級，4-6 級風速則出現於偏向西北風時。花蓮則以東北風及西南風為主，約佔全年風向 60% 左右，風速則大部分為 1-3 級，4-6 級風速則出現於西南風時。蘇澳港的風速與風向分佈則與花蓮港類似，但東北風較為偏東、西南風則較為偏西，風速則大部分為 1-3 級。

2.溫度及雨量

台灣各大港區之溫度及雨量變化及分佈，受到台灣地區整體氣候及地形的影響，大體來說台灣的氣候分佈以台中為分界點，分為南北兩種形式。因此，五大港區中除了高雄港有較明顯的差異之外，其餘四個港區的溫度變化及分佈的情形可說大同小異。一年四季中冬季溫度最低，其中基隆、蘇澳、台中各港區可低達攝氏十六度左右；而花蓮港區約為攝氏十八度，高雄港區則可達到攝氏十九度多。夏季月均溫較高，各港區均可高達攝氏二十八度，不同點在於高雄港區從五月後直到接近十月，均維持攝氏二十六度以上，而且除夏季以外，比起其他港區高雄港月均溫均高約二至三度。各大港區之平均月溫度變化情形可參考圖 2.5。

各大港區之雨量變化一如溫度變化，也受到台灣地區整體氣候及地形的影響。雨量較多則較潮濕，較利於腐蝕之發生。各大港區之平均雨量變化如圖 2.6，可看出在秋、冬兩季以基隆港最高，花蓮與蘇澳次之，春季亦以基隆港較高。至於夏季為颱風季節，中南部雨量較為豐沛，因此高雄及台中則佔較大雨量。不過近兩三年來，由於全球性氣候變遷之影響，中南部地區一直有雨量不足的現象，因此氣候的影響有較大的不穩定因素。

3.相對濕度分佈

相對濕度對於腐蝕亦是重要的影響因素之一，尤其是對於鋼筋混凝土，乾濕差異對混凝土尺度相關的特性 (dimensional properties) 將造成影響。各大港區的濕度變化，則與各港區之雨量變化及附近地形息息相關。台灣各大港區中，以蘇澳及基隆港之濕度變化最大，尤其蘇澳港年平均相對濕度值達 85%。而實際上各大港區年平均相對濕度值均偏高，一般均高達 75% 以上。台灣各大港區年平均相對濕度變化情形可參考圖 2.7。

4.潮位變化

台灣各大港口之潮位變化，以台中港變化最大。根據各港口天文潮統計資料，台中港的年平均高潮位接近 5 公尺，年平均低潮位約 0.8 公尺，潮差則接近 4 公尺。花蓮港及蘇澳港的潮差類似，約為 1 公尺，基隆港潮差則較小，約為 0.5 公尺。高雄港的潮差則接近 0.7 公尺。

5.酸雨

台灣各大都會區由於工廠林立，汽機車輛成長快速，二氧化碳排放量也

增大，因此降雨中含較低的 pH 值，變成全台灣普遍的一種現象。根據以往作過酸雨相關的調查報告中⁽¹⁹⁾指出，台北及高雄都會區降雨中之 pH 值最低。若以季節而言，在夏季時降雨中含較低 pH 值之現象最容易發生。圖 2.8 中表示各大港區在一年四季中酸雨之 pH 值濃度分佈圖。

2.6 台灣各港區之水質狀況

對於港工結構物腐蝕的影響因子中，除了港區及其附近地區之大氣狀態、海象條件之外；海水水質之影響更不能忽略，其中如 pH 值、氯離子含量、硫酸根離子含量、溶氧量、水溫變化，以及其他可能影響港工結構物腐蝕的污染物質。以下就港研所於 79 至 80 年間，在各港區所做水質調查之結果作一概述⁽³⁾。

1. pH 值

台灣各大港區海水 pH 值均相當接近，約介於 8.0 至 8.2 之間。即使如高雄港區部分碼頭，因靠近台電大林火力發電廠，受到電廠排水影響，港區水質之 pH 值稍低，但仍然接近 8.0。各大港區海水 pH 值較詳細情形可參考圖 2.9。

2. 溶氧量

海水中之溶氧量除了對腐蝕過程產生影響之外，亦將影響海生物之生存，而溶氧量大小又與海洋環境之污染關係密切。台灣各大港區中海水溶氧量，以東部海域之花蓮及蘇澳港較高，其中花蓮高達約 5.8 mg/l，而又以高雄港最低，其溶氧量值為 2.0 mg/l。其可能原因為高雄港區附近有左營、小港、林園等工業區、中洲污水排放管、高屏溪、東港溪沿岸工廠養豬戶廢水排放等等，對港區水質造成嚴重影響，各大港區海水溶氧量可參考圖 2.10。

3. 平均水溫

台灣各港區海水水溫，除了有南北區域性差別之外，主要受到季節性的影響。全年港區海水月均溫變化，基隆港從冬季最低攝氏十七度，到夏季最高約二十七度，台中港從冬季最低攝氏十八度，到夏季最高約攝氏二十九度多。花蓮港及蘇澳港港區水溫溫度變化則較為緩和，從冬季最低約攝氏二十二度，到夏季最高約攝氏二十六度多。高雄港水域溫度變化，從冬季最低攝氏二十四度，到夏季最高約攝氏三十度多。各港區海水水溫變化情形依四季分佈，可參

考圖 2.11。

4. 氯離子含量

港區海水中氯離子含量之高低，對於鋼筋混凝土構造之港工結構物，將影響其混凝土被覆層之耐久性，進而造成內部鋼筋之腐蝕。而一般海水中氯離子含量均高，台灣各港區中亦不例外，其氯離子含量變化值約介於 17,000 ppm 到 20,000 ppm 之間。

5. 硫酸根離子含量

硫酸根離子存在於海水中，對於鋼筋混凝土、以及部分細菌形成之腐蝕均有影響。在台灣各港口中，硫酸根離子於海水中的含量大致類似，介於 2,200 ppm 至 2,600 ppm 之間。

6. 其他污染物質

各港區海域水質，除了以上所介紹與物理或無機化學性質相關者之外，有機化學相關物質，對於海垢生物影響，更不能忽略，其中如大腸菌、礦物性油脂、酚類等。如以最近公佈之調查報告中⁽²⁰⁾顯示(高屏溪東港溪口及南灣附近海域海水水質監測計劃 83 年 9 月至 84 年 6 月)，高雄港附近海域受到礦物性油脂及酚類之污染甚為嚴重。因此在高雄港區進行港工構材海洋附生物之調查，甚具挑戰性及重要性。

2.7 台灣各港區之海生物以及研究概況

海生物 (fouling organism) 附著是所有海洋工程面臨的重要問題之一，在海洋環境中任何固體物質均會被海生物所附著，而海洋工程的進行提供許多海生物可附著的底質，物體浸在海水中經由物理、化學及生物上的各種不同因子作用後，附著於底質形成複雜的海生物層。海洋生物附著會造成結構物之局部腐蝕及荷重增加。

一般最為常見的海生物有藤壺、管蟲、苔蘚蟲、海鞘及海葵等，這些著生性的生物都具有浮游期幼生，幼生受到水流的帶動散播後，著生於新的環境中。海生物的繁殖受海水深度、溫度、光度及營養物影響，也因季節及潮汐變化而異，幼生的著生 (settlement) 或者是迴流 (recruitment) 在族群結構上扮演著重要的角色^{(21),(22),(23)} (Keough 1984, Roughgarden et al. 1985, Menge & Sutherland 1987)，而不同種間對底質的競爭及遭掠食者的掠奪，同樣也是影

響族群結構的重要因素^{(24),(25)} (Connell 1985, Fairweather 1988)。

幼生在浮游期間需要一些適當的誘引 (inducer) 才會著生，這些誘引包括水流速度、底質表面的輪廓^{(26),(27),(28)} (Sebens 1983a, Wethey 1986, Pawlik et al. 1991)、光照及化學誘因^{(29),(30)} (Morse 1991, Hadfield & Pennington 1990)，如果缺乏相關的誘引，幼生則可能會延後著生^{(31),(32),(33)} (Jensen & Morse 1984, Highsmith & Emlet 1986, Coon et al. 1990a)。許多幼生需直接接觸誘引物質才會著生^{(34),(35),(36)} (Morse & Morse 1984, Pawlik 1986, Raimondi 1988)，水流可以協助幼生靠近底質接觸到誘引物質觸發其著生；此外水流的快慢也會影響幼生著生，多毛類 *Phragmatopoma lapidosa* 的幼生在水流緩慢時會浮游於水體中，當水流快速時幼生則會落到底質上⁽²⁸⁾ (Pawlik et al. 1991)；藤壺的幼生則對於附著面的輪廓會有選擇性^{(27),(37)} (Hannan 1984, Wethey 1986,)。許多誘引幼生著生的化學物質是從幼生著生後的底質上所發現的，這些物質有三個主要的來源，(1) 同種個體^{(31),(35),(38),(39)} (Highsmith 1982, Burke 1984, Jensen & Morse 1984, Pawlik 1986)。浮游幼生受到已著生成體釋放的誘引物質吸引，這種機制不僅能增加釋放於水中的配子受精的機率，也是一中有效的防禦機制^{(35),(40)} (Bernstein et al. 1981, Pawlik 1986)。(2) 微生物層^{(41),(42),(43)} (Maki et al. 1989, Bonar et al. 1990, Pearce & Scheibling 1991)。主要的有矽藻、細菌等。(3) 食物^{(30),(44)} (Barlow 1990, Hadfield & Pennington 1990)。

不同的海生物其幼生的著生特性不盡相同，了解各種海生物的著生特性及幼生出現的時間，有助於海洋工程進行中減少海垢生物附生；而對於長久的港灣結構，在設計上也可以針對該海域海生物的特性而有不同的措施。在台灣沿岸港口曾經進行過的海生物研究不多，以海軍海洋測量局 1981 年在三個港口⁽⁴⁾ (左營、高雄、基隆) 的研究為例，利用不同附苗板 (包含不同防垢漆)，在不同季節的著苗種類、數量，以及短期生長有了初步資料。根據上述報告主要的附著生物為多毛類、藤壺、牡蠣、苔蘚蟲。在這些附著生物中附苗的季節並非都是一致的，例如：旋管蟲 (*Spirorbis* sp.) 之主要附苗季節在夏季，半個月的附著數量即可達 800ind./25cm²，一個月則可附著多達 1600ind./25cm²，秋季著生數量降低，均在 100ind./25cm² 以下，冬季為附苗最低潮，其附苗數量幾乎可以忽略，僅有零星的分佈。但多毛類中的管蟲 (*Hydroides norvegica*) 主要附苗季節在冬季。此外旋管蟲的著苗分佈在密度較高時與逢機分佈有顯著差異，傾向於均勻分佈 (海軍測量局 1981)。在採樣板之兩面，附著生物之數量亦有顯著差異，向陽面之藻類附著較多，生長較快，且管蟲之生長及附著量亦較陰面為快且多；旋管蟲則在陰面之著生數量較多。附著生物之乾重受管蟲及藻類之數量左右，均為向陽面較重，相差可達 70 倍 (11.28~2.27)。季節季

變化，則在秋季達一次高峰 ($0.65\text{g}/25\text{cm}^2$)，冬季有一最高峰，重達 2.4 公克。

2.8 現行腐蝕防治之對策

港工結構材料之現行防蝕方法，一般而言包括有電氣防蝕工法、包覆裝工法、銹蝕餘裕法等，若針對海生物附著之防蝕方法則有塗覆裝工法、銹蝕餘裕法以及毒性物質殺菌法等。若構材為混凝土材料時，有耐蝕混凝土或使用添加劑（摻料）的方式處理。各方法之間何者可行？何者具有較大爭議性？若僅針對港工結構物，哪一種方法較適合？這些議題都值得探討。因此，下面就上面所提各工法作較完整的介紹：

1. 鋼構材料與電化學腐蝕之防治對策

若港工結構物為鋼構材料組成時，一般的防蝕方法包括有電氣防蝕工法、塗覆裝工法、銹蝕餘裕法等。其中又以電氣防蝕工法中之犧牲陽極法，使用最為普及。犧牲陽極法主要在易於鏽損的金屬上，加上適當且腐蝕電位較高（或還原電位較低）的金屬塊，此金屬塊則替代原構材上之金屬，失去電子為氧化作用，而為犧牲之陽極；而被替代之原構材上之金屬得以被保護，不易於氧化銹損。電氣防蝕工法若使用於非浸漬於液體中之金屬物質，則只能局部性發揮作用，對於體積龐大的海洋或港工結構物，在使用上對於犧牲陽極之設計及監測必須更加謹慎。在國內則多有採用包覆裝工法來加以保護。其中有使用防銹漆者或混凝土材料者；如花蓮港即使用混凝土材料包覆於裸露於水面之鋼構材料表面。其目的在於隔絕鋼構材料與溼氣和空氣的相互作用而不至腐蝕。一般包覆裝工法之保固年限較短，檢查及重複施工的頻率較高。其中若使用混凝土材料包覆時，對於其內保護材料之腐蝕現象，在檢視時須格外慎重。至於銹蝕餘裕法，則是在工程設計時，即預先將未來一定時間內，構材可能的銹蝕情況，事先加以考慮，並預先將構材尺寸加大來設計。若使用銹蝕餘裕法時，由於設計時構材尺寸加大，將增加整體結構的重量以及慣性作用力，尤其在使用年限及銹蝕速率評估時，更須格外慎重。當然除了個別工法之外，複合式將以上介紹各工法一起應用，亦為可行。

2. 鋼筋混凝土腐蝕之防治對策

鋼筋混凝土腐蝕的防治，可以從兩方面來加以考量：

(1)混凝土品質的改善，尤其是對於混凝土的水密性(water resistancy)及耐久性 (durability)。鋼筋於混凝土中發生腐蝕，主要因為外部混凝土保護

層未充分發揮效用，以致於氯離子、水及空氣能滲透至保護層內，而造成鋼筋腐蝕。改善混凝土的水密性(water resistancy)及耐久性，首先在混凝土設計時，除了強度、工作度的考量之外，可適度添加矽灰或飛灰來增加混凝土的水密性；若欲改善工作度時，儘量使用減水劑以替代增加用水量；骨料的級配務必均勻，細骨料應小於 0.3 mm。其次則在於施工方法的改善及施工品質之控制，如均勻拌和與充分夯實、健全施工程序、施工接縫切實密合、水化熱之控制等，均有助於混凝土品質的改善。

(2)鋼筋本身的防蝕措施，為避免一旦腐蝕因子侵入時，造成鋼筋腐蝕，其措施上有：鋼筋鈍態保護膜、鋼筋外表盡量光滑、混凝土中添加防蝕劑等方法。其中若使用腐蝕抑制劑 (corrosion inhibitors) 拌和於混凝土中，對於內部鋼筋之銹蝕，可能產生保護作用。另外、在混凝土與鋼筋接觸層間，增加其厚度亦為可行方法。

3. 海生物及細菌腐蝕之防治對策

海生物的附著作用，對構材造成腐蝕的影響是雙方面的，在力學分析上討論時，除了腐蝕造成斷面積、強度降低之外，也將使得荷重及慣性作用力增大，以致整體結構之安全因子亦相對降低，對耐久性、安全性有負面影響。因此在針對海生物及細菌腐蝕的防治上，除了前面所提的防治方法之外，另外尚有包括細菌腐蝕的監測、腐蝕的控制等。而在腐蝕的控制上⁽⁴⁵⁾如使用殺菌劑 (biocides)、細菌膜處理劑 (biodispersants)、腐蝕抑制劑 (corrosion inhibitors)、沉積物控制劑 (deposit control agents) 等，例如在船舶外殼塗以有機錫或無機錫以達殺菌效果，或以氯氣殺菌等。然而港工構材所處環境為一開放海港，使用有毒物質來殺菌，一則影響環境生態，二則效果可能有限，並非理想方法。因此在針對海生物及細菌腐蝕從事防治工作，仍具有相當大的挑戰性，最好能依結構組成材料作相對思考。

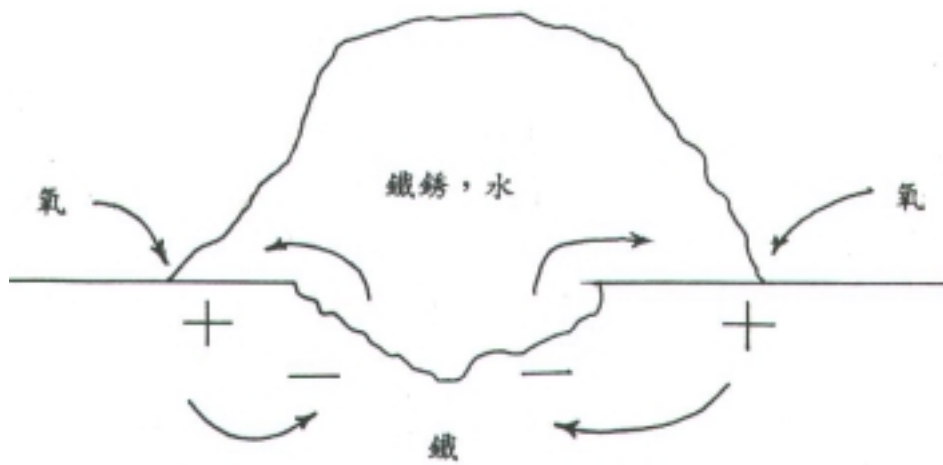


圖 2.1 異物堆積造成氧濃差電池現象

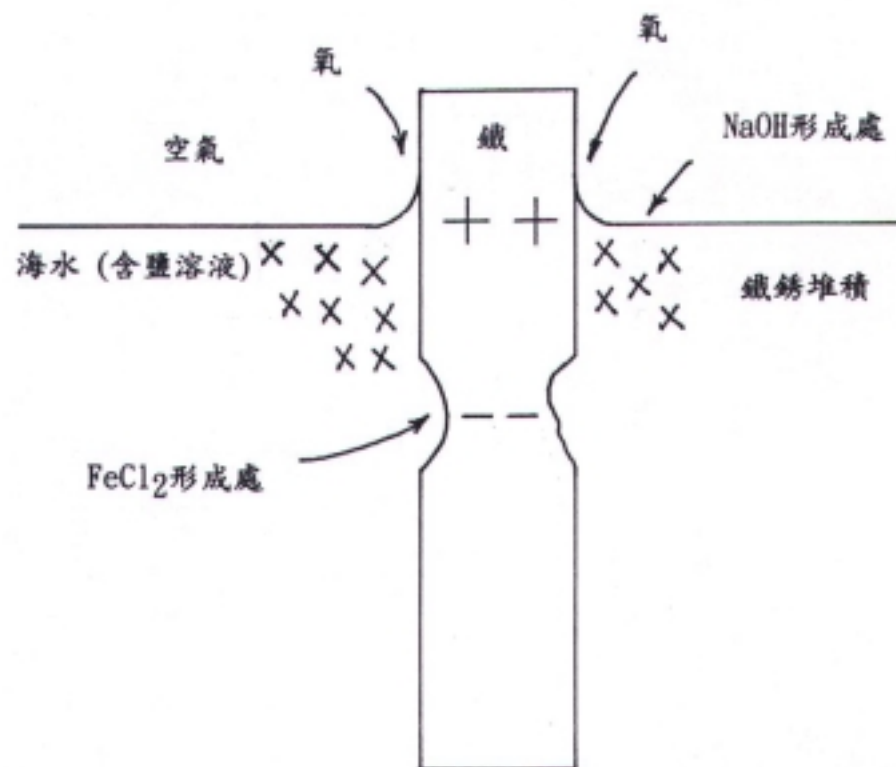


圖 2.2 氧濃差電池造成水線腐蝕現象

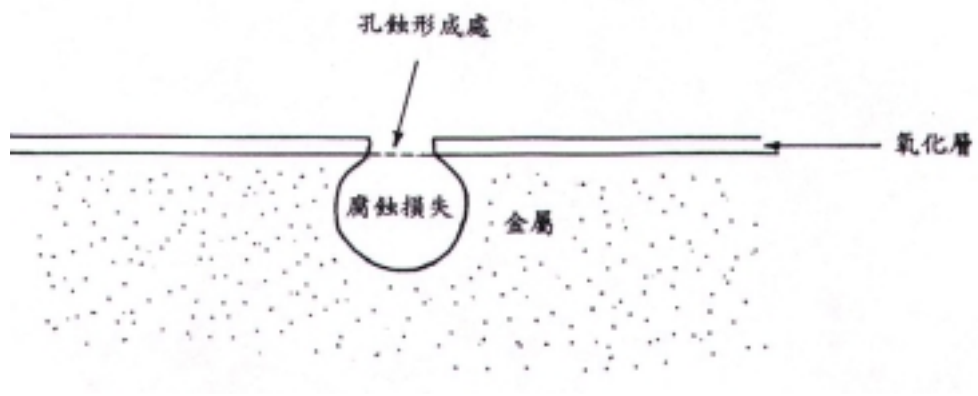


圖2.3 孔蝕作用造成之金屬腐蝕

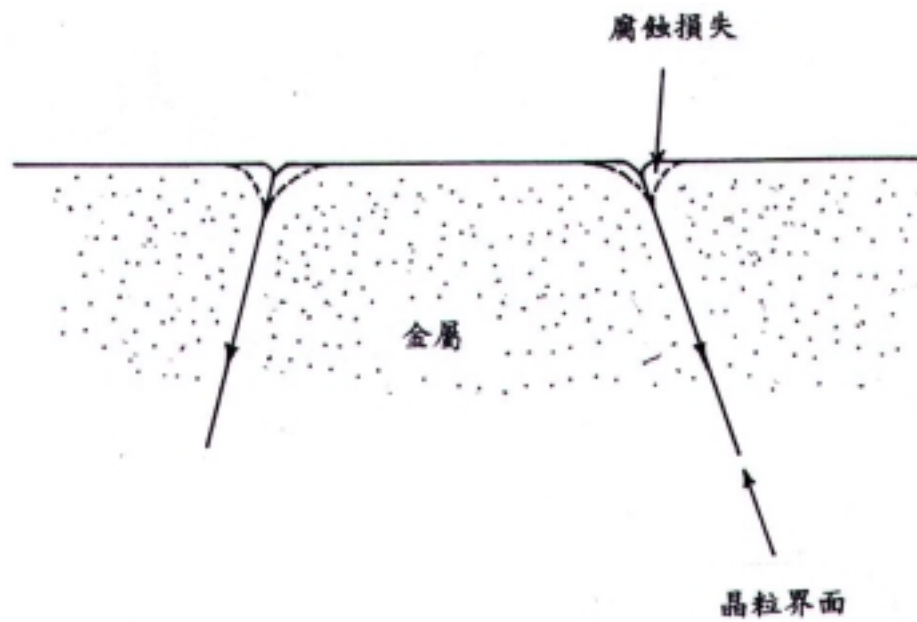


圖 2.4 金屬晶粒間沿晶間侵蝕破壞情形

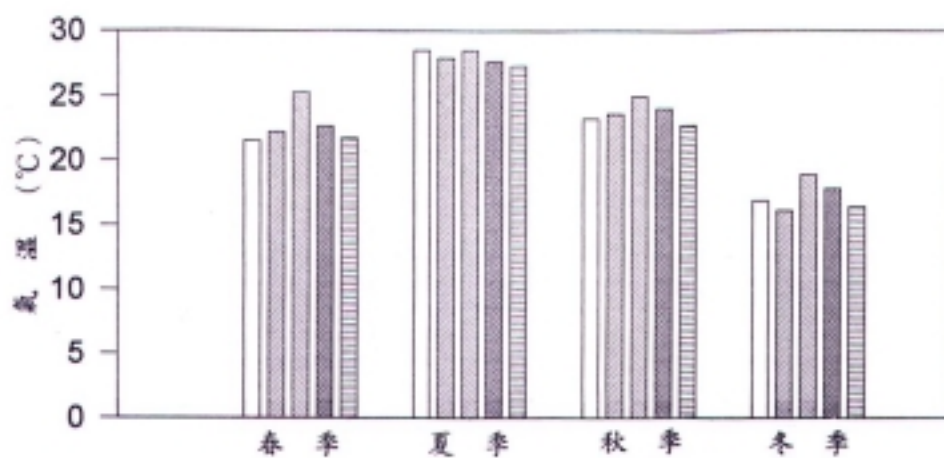


圖2.5 台灣各大港區四季溫度變化情形

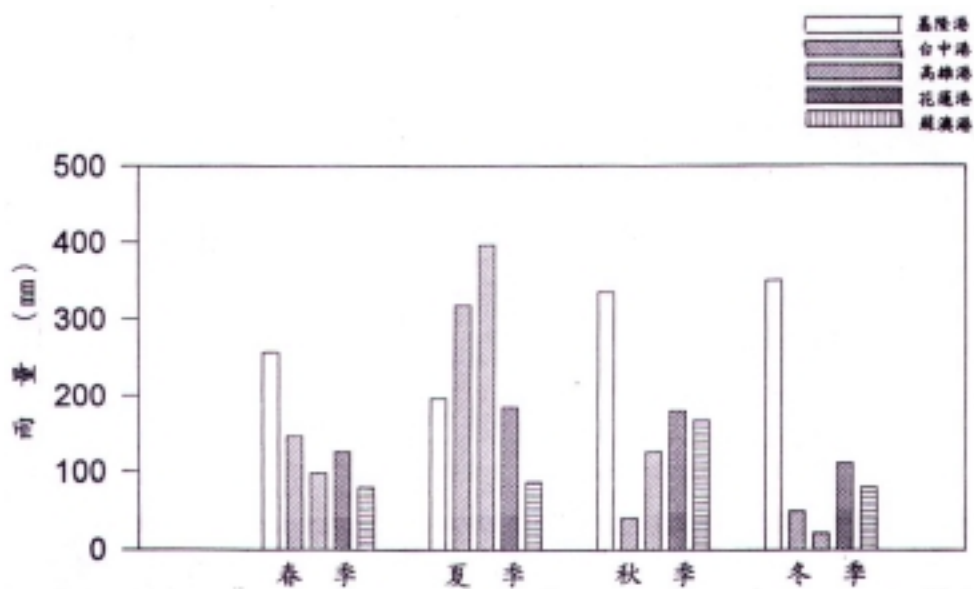


圖2.6 台灣各大港區四季雨量變化情形

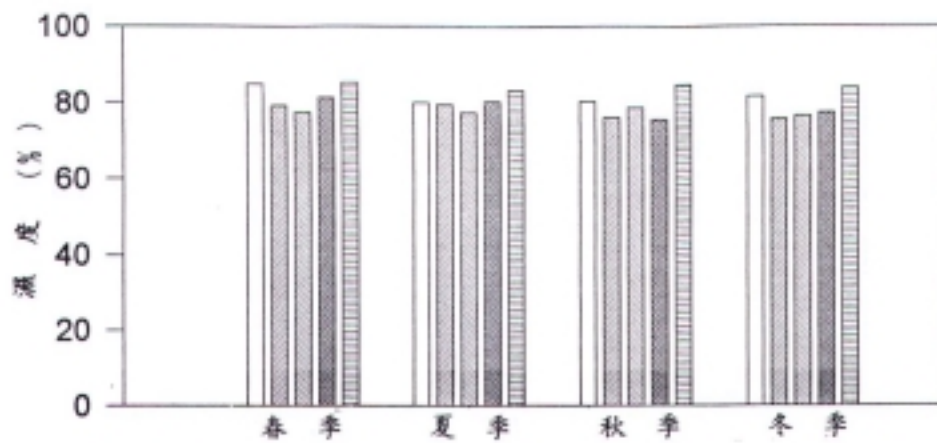


圖2.7 台灣各大港區四季溼度變化情形

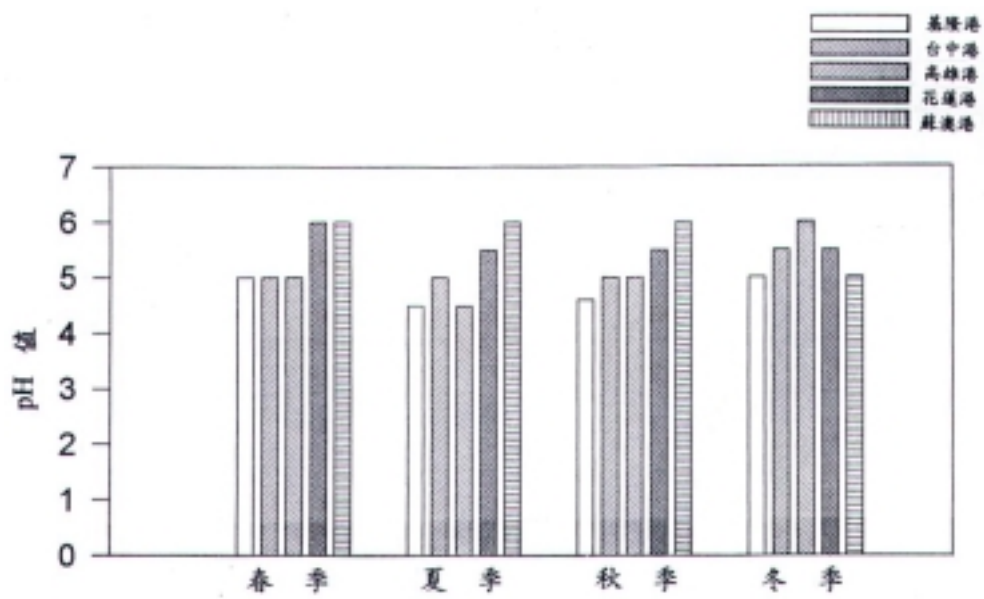


圖2.8 台灣各大港區四季酸雨pH值變化情形

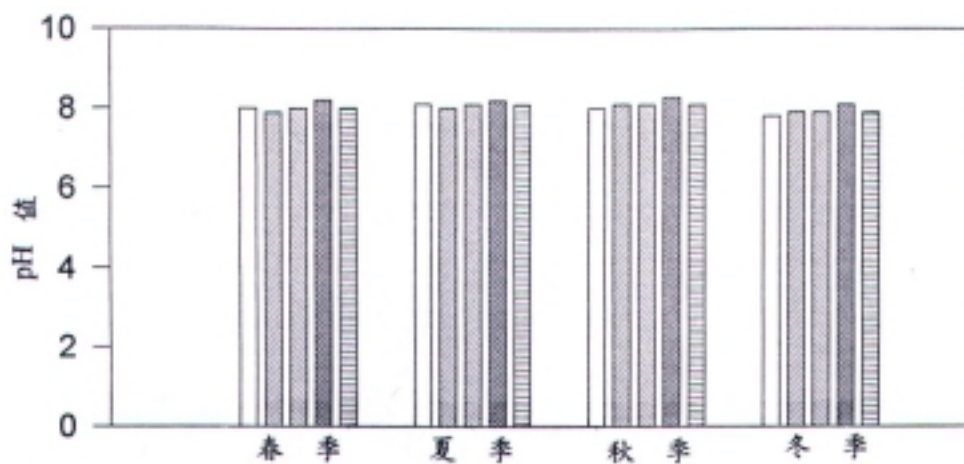


圖2.9 台灣各大港區四季海水pH值變化情形

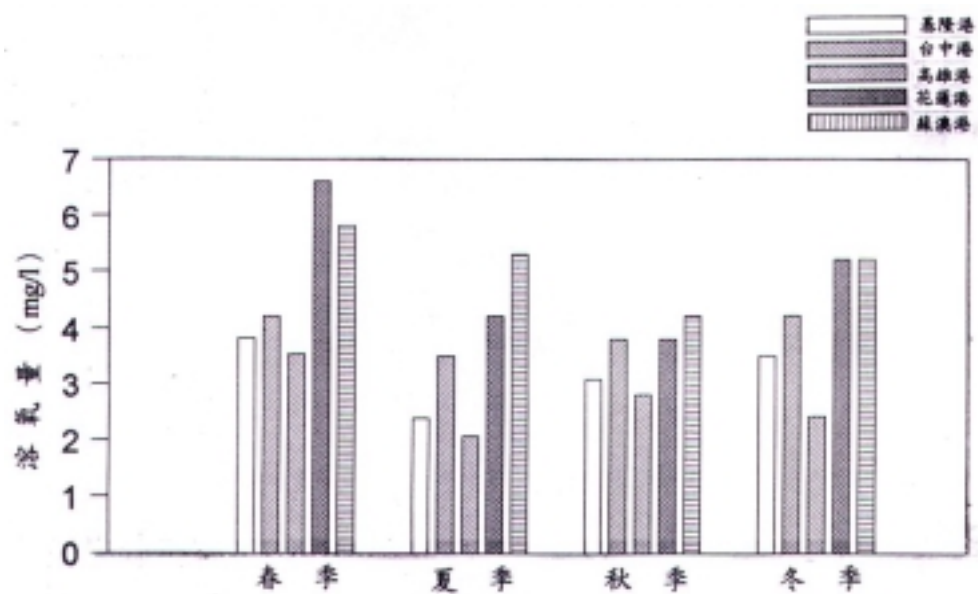


圖2.10 台灣各大港區四季海水溶氧量變化情形

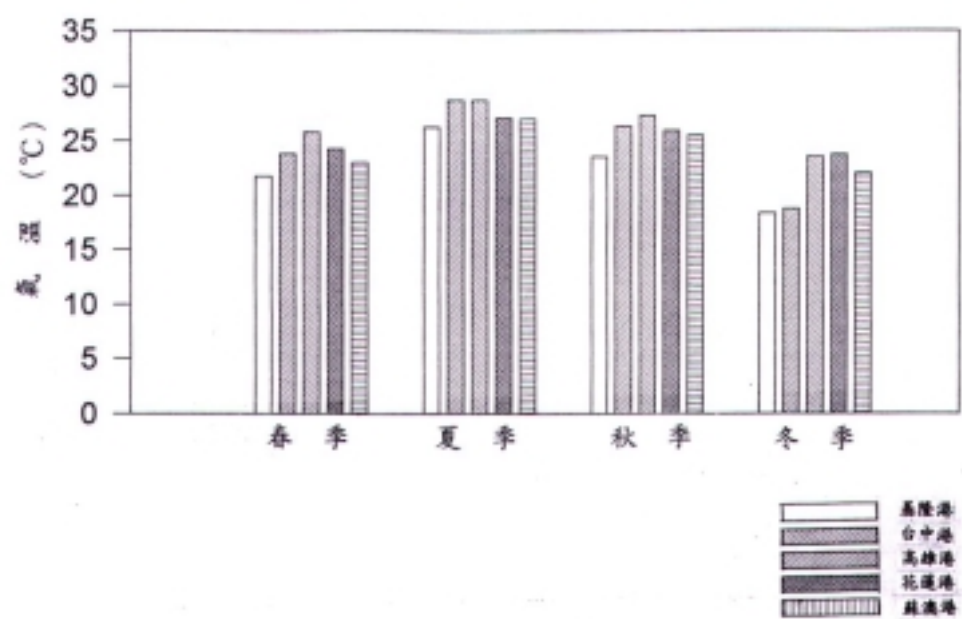


圖2.11 台灣各大港區四季海水水溫變化情形

第三章 研究方法與實驗過程

本研究案中之研究方法主要以實驗為主，各種試片設計、屬性與操作時間如下所示：

試驗屬性	試片材質	試片大小	操作時間	置放地點
平均腐蝕速率 (重量損失法)	SS41 SS41/CP	20cm×20cm×1cm	85.3~89.10	#10、#14 #33、#51
	CM HP	20cm×20cm×3cm		
瞬時腐蝕速率 (電化學方法)	SS41 316L	20mm×20mm×0.5mm	87.12~88.3 (冬季) 89.7~89.10 (夏季)	#14
			89.2~89.6	大林發電廠
港區水質影響	SS41	20mm×20mm×0.5mm	85.8~86.4	實驗室
特定海生物影響	SS41	10cm×10cm×1cm	87.1~87.5	#14、#75

3.1 連續性海水曝露實驗（長期浸漬試驗）

在本工作項目中完成試片大小，試片架之設計，試片架之安放工作以及各階段分批取樣時程，今詳述如後：

3.1.1 試片及試片架之設計

1、試片採用傳統港工使用之軋鋼材質，及混凝土材料為主。各構材除了原材料之外，並各有一組經適當防蝕處理作為比對。針對港工使用之軋鋼材質 SS41 (ASTM A36)，以陰極防蝕工法處理（加裝鋁塊為犧牲陽極），並與未處理之對照組作比對。至於混凝土材料製成之試片則添加適量飛灰(配比—砂：水：水泥：飛灰=2.47：0.5：1：0.28)為混合劑，考慮其增進水密性所

能達成之耐蝕效果，並與未處理之對照組(配比—砂：水：水泥=2.75：0.5：1)作比對。

- 2、試片之大小，為適合海中附生物之附著，面積太小將不具代表性。目前軋鋼材質及混凝土材料試片大小均為 20cm×20cm，厚度則分別為 1cm 及 3cm。
- 3、試片架之設計為配合當地港工結構之條件，設計為夾具型式，其中須考慮者如穩定性、試片置放及取樣難易程度等。現試片架的型式設計為三層，每層各兩片組合板，上置試片 42 片，相互組合於棧橋式碼頭之混凝土樁上。(圖 3.1~圖 3.3)

3.1.2 現場施放地點調查及試片架安裝

試片架之安裝經於高雄港區實地勘察，選定北港區船隻進出較不妨礙之四座碼頭為安裝地點。分別為#10（十號碼頭）、#14（十四號碼頭）、#33（三十三號碼頭）及#51（五十一號碼頭），其位置如圖 3.1 所標示。此四座碼頭除了同為棧橋式碼頭之外（圖 3.2 為典型之棧橋式碼頭示意圖），亦各有特點。如#10 為各種散裝貨輪停靠最為頻繁者；#14 則正位於愛河出海口之交接處，其由愛河帶入之污染源為造成港區污染之重要原因；#33 則位於高雄港加工出口區內側，愛河出海口左側，屬於較封閉的位置；#51 則位於高雄港加工出口區外側，與#33 比較屬於較開放區域，停靠者亦以散裝貨輪為主。試片架安裝時則以吊車配合潛水人員施工而順利完成。

除此之外，試片於組裝於試片架之前，則必須完成試片之磨光、浸漬、稱重、腐蝕電位測量及基本性質實驗。SS41（ASTM A36）結構用軋鋼依美國 ASTM 標準須使用 ASTM G17.7.2 之浸漬程序處理。各試片在安裝於試片架之前之重量如表 3.1 所示。

施工之同時，並由具海洋生物專長之潛水人員，於置放處先做海生物之初步採集及分析，初步發現其海生物附著種類與基隆港有所不同。在高雄港區以水肺潛水方式，調查#31（三十一號碼頭）及#51 鋼板樁之海生物，發現這些鋼板樁表面附著生物附著約 1~3cm 厚；且有大量的泥砂覆蓋其上；主要種類為藤壺（*Balanus amphitrite*）、紫孔雀蛤（*Sepeifer virgatus*）、多毛類、海鞘、苔蘚蟲。從#31 不同水深之初步觀察，發現有明顯的差別，由淺到深主要的生

物分別為藤壺、紫孔雀蛤、多毛類。

3.1.3 試片（試體）定期採樣之處理分析方法

本年度（第五年）計畫中，仍依規劃時間每隔六個月至現場將試片取出，海生組至現場作樣品收集、拍照等工作，材料組則於現場同時進行腐蝕電位之量測，並將海生物附著之試片一同攜回實驗室作進一步分析。

1、海生物樣品分析步驟

本研究於民國 85 年 1 月 10 日，在高雄港之#10、#14、#33、#51 擺放試片架，每處均有三層深度。每個試片架上裝有四種不同材質或處理之試片，分別為軋鋼材質試片以陰極防蝕工法處理（加裝上適當鋁塊為犧牲陽極，代號為 SS/CP）和未加犧牲陽極處理之對照組（代號為 SS），添加適量飛灰為混合劑之混凝土材料試片（代號為 HP）和未加飛灰處理之對照組（代號為 CM）。施工之同時，以水肺潛水方式於置放處先做海生物之初步採集及分析。

於民國 85 年 3 月取出第一批試片，5 月取出第二批試片，8 月取出第三批試片，11 月取出第四批試片，86 年 2 月取出第五批試片，86 年 5 月取出第六批試片，86 年 11 月取出第七批試片，87 年 5 月取出第八批試片，87 年 11 月取出第九批試片，88 年 4 月取出第十批試片，89 年 3 月取出第十一批，89 年 10 月取出第十二批試片，浸泡時間分別為 2 個月、4 個月、7 個月、10 個月、13 個月、16 個月、22 個月、28 個月、34 個月、40 個月、51 個月和 58 個月。試片取出後皆依下列步驟進行處理：

- (1)將每個試片分別拍照，以便比較各個試片上附著物覆蓋之面積。
- (2)鑑定和計算每個實驗材質表面上的附著生物。
- (3)將每個實驗材質表面上的附著生物，以刮刀刮取整個試片。
- (4)將刮刀刮取下的樣品置於電子秤上秤取溼重後，置於 60°C 之定溫烘箱，連續烘乾數天，待其重量穩定後，秤取乾重。

2、試片腐蝕分析步驟

採樣後試片腐蝕分析之處理步驟分述於下：

(1)採樣時於現場測量各試片之開路電位(腐蝕電位)並拍攝海生物附著與試片腐蝕之情況。

(2)於實驗室中待海生組刮去附著海生物後，依據 NACE Standard TM-01-69 方法，以濃鹽酸+50 g/l SnCl_2 +20 g/l SbCl_3 溶液，在室溫下浸泡 SS41 碳鋼試片，達到除銹效果，並稱重以量測其平均腐蝕速率（重量損失法）。

(3)鋁犧牲陽極，則利用 70% HNO_3 溶液，在室溫下浸泡 2-3 分鐘，除去消耗性之 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 後稱重，藉由重量損失來估算碳鋼可能之腐蝕速率。

3.2 港區水質對碳鋼（SS41）之影響

此部分的工作配合現場採樣之試樣分析，如試片表面腐蝕分析來規劃實驗室試驗，以探討並分析影響試片受到海水腐蝕之個別因素。如靜態浸漬試驗或動態浸漬試驗，試片材質則與現場施放試片相同（SS41）；儀器設備包括各型電腦設施、腐蝕電位量測相關儀器、各型化學分析儀器和相關之化學藥品。具體之實驗方法分述如下：

3.2.1 試片設計

1.試片種類

碳鋼材料 SS41 (ASTM A36, 化學組成 (Wt %) 為 C 0.26 max, P 0.04 max, S 0.05 max)

2.試片大小

試片形狀為正方形，大小為 20mm×20mm×0.5mm

3.2.2 浸漬水溶液

1.天然海水

天然海水為採集高雄港#10、#14、#33、與#51 號碼頭之海水進行試驗。

2.人造海水

人造海水依據 ASTM D1141-86 配製，其成分為 (g/l) NaCl 24.53, MgCl_2 5.20, Na_2SO_4 4.09 CaCl_2 1.16, KCl 0.695, NaHCO_3 0.201, KBr 0.101, H_3BO_3

0.027，及 SrCl_2 0.025。

3.2.3 分析方法

1.開路電位(腐蝕電位)以伏特計測量。

2.交流電阻抗分析

利用 Zplot 軟體 (Scribner Associate Inc.)控制 Solartron 1250 頻率反應分析儀與 Solartron 1286 EI 恆電位儀，在開路電位下測試試片之腐蝕現況；所施加之 AC 訊號振幅為 10mV，頻率範圍自 5 mHz 至 10 KHz。

3.直流電極化電阻測量

利用 Corrware 軟體 (Scribner Associate Inc.) 控制 Solartron 1286 EI 恆電位儀，進行動電位極化曲線掃瞄，其掃瞄速率為 0.167 mV/sec，掃瞄範圍為開路電位之 $\pm 30\text{mV}$ 之間。

3.2.4 實驗步驟

1.實驗組(海水於充空氣狀態)

- (1)將試片放入測試水溶液中浸漬
- (2)以打氣機將空氣持續打入水溶液中
- (3)測量各試片的開路電位
- (4)進行交流電阻抗分析與直流電極化電阻測量
- (5)試驗結束後，拍攝試片之腐蝕狀況

2.對照組(海水於靜止狀態)

- (1)將試片放入測試水溶液中浸漬
- (2)量測各試片的開路電位
- (3)進行交流電阻抗分析與直流電極化電阻測量
- (4)試驗結束後，拍攝試片之腐蝕狀況

3.3 特定海生物附著對碳鋼（SS41）之影響

為瞭解特定海生物對 SS41 碳鋼試片腐蝕機制之影響，選定高雄港區生長豐度最大之藤壺（*Balanus albicostatus*）及管蟲（*Hyroides elegans*）兩種海生物作試驗，位置則以 14 號碼頭和 75 號碼頭為試片施放地點（此二地較不易受駁輪工作影響而導致試片遺失）。

試片施放時間為民國 87 年 1 月 7 日，主要測定各季時特定海生物對碳鋼腐蝕之影響，SS41 碳鋼試片大小為 10cm×10cm，厚度 1cm，施放前依原施放試片之處理原則先行磨光稱重。依據過去海生物附著之情況（藤壺及管蟲為較主要的附著種類），而將試片分為四種形式：

1. 試片 A，只留藤壺生長。
2. 試片 B，只留管蟲生長。
3. 試片 C，將所有附著海生物刮除。
4. 試片 D，任由海生物生長，不做刮除。

每個碼頭分別置放三組試片，每組試片於水下 0m、3m、6m 處各有四種處理形式之試片吊掛。吊放試片後，每隔二週前往現場將試片取上岸，依不同處理方式以塑膠製器具對試片進行刮除工作。

四種處理方式試片中，試片 A 及試片 B 有助於瞭解特定海生物（藤壺、管蟲）對於腐蝕機制之影響，而試片 C 及試片 D 則可提供相對試片 A、B 之對照背景。（藉由試片 D 亦可初步比較分屬第一港口及第二港口不同水域之海生物附著情形）

3.4 海生物附著對金屬腐蝕之影響（電化學試驗）

針對海生物附著對碳鋼腐蝕之影響，上年度（冬季）曾於#14 號碼頭另行施放 SS41 碳鋼試片（20mm×20mm×0.5mm），並以電化學儀器量測試片之瞬間腐蝕速率，本年度於 89 年 7 月 12 日（夏季）在原#14 號碼頭進行第二階段的電化學現場測試之外，並新增台電大林發電廠進水口為試片施放地點，觀察不同季節同一海生物之附著豐度、種類、影響試片腐蝕程度以及兩種不同流況下之腐蝕速率（一般靠泊碼頭流速緩、不穩定，發電廠進水口流速快、較穩定）。

3.4.1 試片設計與準備

1. 試片種類

(1)SS41 碳鋼 (ASTM A36, 一般港工結構用鋼)

(2)316-L 不銹鋼

2. 試片大小及試片架

(1)SS41、316-L: 20mm×20mm×0.5mm, 暴露面積 4cm²

(2)試片架以不銹鋼車製而成, 每個試片架可裝 16 個試片 (見圖 3.7)

3. 使用儀器

(1)三用電表

(2)Solartron 1250 頻率反應分析儀

(3)Solartron 1286 EI 恆電位儀

(4)電腦以及配合軟體 (DC 以 Corrware 控制, AC 以 Zplot 控制)

4. 試片準備

(1)將銅導線焊至試片上 (照片 3.1)。

(2)調製環氧樹脂, 將試片灌模 (照片 3.2、照片 3.3)。

(3)將封模之試片依序以#220 號、#500 號、#800 號砂紙進行研磨拋光 (照片 3.4)。

(4)拋光後之試片經超音波震盪器洗滌, 並以紅漆填補試片與樹脂接縫處, 確保海水無法滲透至試片內部 (照片 3.5), 圖 3.8 為試片完成之示意圖。

(5)再將試片裝入 PVC 套管中, 以橡皮塞塞住另一端, 接縫均以 silicone 填補, 然後套筒放入試片架不銹鋼管中, 見圖 3.9、圖 3.10。

3.4.2 操作規劃與步驟

1、施放位置

(1)高雄港#14 碼頭。

(2)大林電廠#1 號、#2 號機進水口儲水池，現場經由海流儀測得水下 5m 處之流速最為穩定(平均 58.29 cm/sec，圖 3.11 為試片置放現場縱斷面示意圖)，故將試片架置放於水下 5m 處。

2、施放時間

(1)大林發電廠試驗試片於 89 年 2 月 12 日置放。(照片 3.6-3.9 為 2 月 12 日放置試片時之工作情形)

(2)高雄港#14 碼頭試驗試片於 89 年 7 月 12 日置放。

3、操作時程

試驗操作時程規劃為試片置放後第 1、3、5、10、20、30、40、60、80、100 天等 10 次量測時間。

4、試片操作屬性分類

試片種類除前述之兩類外 (SS41、316L)，每一類又細分為 A、B、C、D 四種不同屬性，說明如下：

試片 A—依規劃時程取樣操作，未刮除海生物。

試片 B—依規劃時程取樣操作，刮除海生物。

試片 C—現場長期浸漬，每次操作完放回。

試片 D—實驗室內人造海水長期浸漬，空白試驗。

5、試驗操作步驟

(1)將試片取出後套裝玻璃管與白金網、參考電極（飽和甘汞電極）一起放入燒杯中浸泡海水，形成化學電池系統（見照片 3.10）。

(2)靜置 1.5 小時待溶液達動平衡。

- (3)以三用電表量測試片開路電位（腐蝕電位）。
- (4)以 Corrware 軟體操作 DC 直流動電位極化曲線掃描，掃描速率為 1mV/sec，範圍從開路電位之-150mV 至+60mV 之間。
- (5)以 Zplot 軟體操作 AC 交流電阻抗分析，在開路電位下施加之 AC 訊號振幅為 18mV，頻率範圍自 0.01 Hz 至 10 KHz。
- (6)試片 C 在量測後放回試片架再予浸漬，試片 A 則是量測後將表面腐蝕產物與附著海生物刮除（即為試片 B），依上述方法再次量測。
- (7)配合現場操作時程，於實驗室內同時操作試片 D（人造海水浸泡）。
- (8)照片 3.11、照片 3.12 分別為現場及實驗室之 DC 與 AC 操作情形。

表3-1 現地長期浸漬試驗試片重量表(1)

#10 之試體重量表

單位：公克

	第一層				第二層				第三層			
號碼	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP
1	3180	2473	3148/319.3	2890	3180	2522	3172/318.1	2952	3182	2731	3146/322.0	2640
2	3165	2990	3073/316.3	2527	3198	2618	3190/317.2	2593	2711	2595	3178/323.3	2754
3	3179	2374	3192/319.4	2825	3176	2870	2642/315.5	3008	3188	2580	3141/317.1	2604
4	3174	2746	3158/315.3	2761	3172	2847	3178/318.5	2584	3178	2562	3124/317.6	2469
5	3171	2668	3184/315.9	2513	3178	2504	2705/322	2447	3136	2550	3142/317.8	2800
6	3172	2417	3156/330.6	2568	2731	2796	3070/321.1	2753	3108	2440	3162/314.1	2865
7	3160	2800	2703/321.8	2616	3183	2377	3090/320.3	2312	3152	2496	3189/315.7	2367
8	3178	2754	3181/321.7	2814	3160	2175	3134/314.2	2666	3205	2638	3147/312.8	2673
9	3150	2586	3184/322.4	2547	3219	2678	3129/313.6	2511	3158	2624	3157/317.2	2576
10	3165	2725	3158/322.7	3000	3150	2531	3063/308.9	3086	3160	2872	3167/315.4	2647
11	3152	2618	3168/301.7	2498	3181	2657	3170/315.6	2786	3197	2658	3084/328.5	2754
12	3150	3035	3148/315.6	2657	3111	2620	3134/317.3	2700	3186	2741	3144/315.6	2503
13	3179	2852	3128/321.0	2591	3188	2712	3151/318.0	2547	3181	2704	3149/323.0	2744
14	3178	2649	3180/313.2	2587	3169	2790	3188/321.8	3403	2696	3122	3144/310.8	2460
15	3180	2767	3170/324.1	2575	3183	2470	3160/317.8	2658	3188	2600	3146/314.7	2933
16	2721	2702	3183/318.7	3126	3133	2438	3166/328.6	2618	3193	2532	3157/315.7	2477
17	3186	2675	3140/318.1	2535	3202	2592	3147/313.7	2606	3182	2713	3125/315.4	2583
18	3179	2632	3169/336.8	2398	3177	2709	3122/317	2591	3205	2514	3132/315.5	2562
19	3177	2879	3174/309.5	2457	3196	2707	3153/322	2664	3174	2548	3118/316.9	2807
20	3175	2733	3162/324.1	2623	3192	2504	3149/316	2422	3200	2670	3079/316.6	2610

符號說明：

SS：一般鋼材

CM：普通水泥砂漿體

SS／CP：鋼材／陰極防蝕

HP：含飛灰水泥砂漿體

表 3-1 現地長期浸漬試驗試片重量表(2)

#14 之試體重量表

單位：公克

	第 一 層				第 二 層				第 三 層			
號碼	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP
1	3114	2674	3176/310.5	2475	3162	2725	3164/311.6	2777	3163	2457	3117/315.2	2730
2	3157	2643	3157/311.2	2415	3122	2846	3065/318.0	2529	3150	2540	3127/314.5	2460
3	3176	2622	3166/326.0	2392	2694	2969	3144/321.6	2681	3100	2563	3084/317.6	2549
4	2682	2673	2689/312.8	2452	3159	2774	3133/314.5	3144	3180	2608	3164/316.5	2770
5	3171	2530	3119/312.0	2454	3155	2562	3149/324.7	2991	3164	2496	3117/318.7	2619
6	2695	2585	3140/312.0	2607	3141	2706	3109/317.6	2624	3171	2700	3100/311.6	2369
7	3162	2474	3123/313.0	2727	3166	2418	3167/309.4	2440	2692	2516	3133/311.0	2436
8	3150	2870	3147/318.0	2407	3161	2416	3101/310.0	2483	3164	2563	3129/318.5	2451
9	3126	2713	3140/318.1	2693	2697	2505	3039/317.7	2490	3199	2487	2702/316.0	2704
10	2678	2705	3140/315.0	2570	3057	2688	3101/316.0	2618	3130	2712	3150/318.0	2717
11	3180	2485	3105/315.0	2789	3167	2902	3164/322.1	2573	3176	2639	3152/319.0	2424
12	3155	2770	3110/321.8	2620	3157	2604	3151/318.2	2466	3161	2440	3170/314.0	2504
13	2706	2750	3107/322.0	2469	2695	2385	3153/315.4	2514	3160	2528	2690/315.0	2973
14	3159	2331	3132/318.8	2439	2699	2600	3143/313.1	2547	3141	2560	3153/312.0	2411
15	3106	2641	3164/319.0	2787	3152	2688	3159/318.5	2762	3174	2633	3150/314.1	2327
16	3169	2620	3127/312.9	2419	2673	2537	2688/316.3	2533	3114	2465	3167/322.0	2676
17	3176	2335	3170/315.0	3016	3054	2563	3163/319.3	2684	3124	2512	3132/318.4	2593
18	3149	2791	3114/320.4	2692	2689	2473	3156/318.0	2431	3154	2613	2678/316.0	2608
19	3140	2724	3145/315.6	2703	3143	2806	3137/315.6	2609	3169	2595	2676/317.2	2918
20	3147	2622	3162/313.0	2812	3066	2692	3035/313.0	2746	3129	2435	3130/314.2	2799

符號說明：

SS：一般鋼材

CM：普通水泥砂漿體

SS／CP：鋼材／陰極防蝕

HP：含飛灰水泥砂漿體

表 3-1 現地長期浸漬試驗試片重量表(3)

#33 之試體重量表

單位：公克

	第一層				第二層				第三層			
號碼	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP
1	3222	2551	3175/314.7	2307	3172	2625	3077/322.0	2582	3144	2687	3059/315.4	2902
2	3154	2670	3176/318.5	2477	2717	2372	3108/319.8	2657	3153	2333	3136/315.6	2536
3	3171	2739	3170/325.4	2739	3173	2800	3090/322.7	3165	3106	2566	3201/322.2	2509
4	2730	2934	3112/322.0	2377	3175	2535	3154/323.2	2650	3126	2538	3179/316.1	2516
5	3166	2280	3157/321.0	2854	3165	2613	3128/321.6	2687	3180	2419	3130/326.0	2871
6	3066	2275	3164/317.7	2346	3130	2678	3184/323.2	2664	3142	2539	3169/323.0	2515
7	3122	2764	3061/329.4	2596	3162	2798	3187/315.2	2604	3139	2477	3115/316.2	2810
8	2713	2631	3169/324.4	2574	3178	2669	3170/320.5	2803	3177	2424	3201/323.1	2470
9	3170	2466	3187/316.5	2648	3189	2511	2707/320.0	2527	3209	2791	3127/322.1	2582
10	3150	2641	3162/317.7	2551	3195	2918	3167/322.8	2603	3195	2431	3164/316.8	2611
11	3140	2482	3151/317.5	2783	3167	2327	3115/317.4	2978	3199	2710	3176/320.1	2221
12	2694	2561	3152/316.3	2676	2693	2815	3170/316.8	2968	3186	2634	3088/317.8	3044
13	3153	2747	3165/323.6	2434	3186	2395	3098/315.5	2725	3160	2989	3120/314.7	2671
14	3159	2509	3169/319.6	2852	3129	2532	3160/320.4	2719	3164	2253	3144/316.3	2514
15	3148	2537	3158/322.0	2904	3126	2368	3052/321.5	2543	3152	2405	3119/319.5	2710
16	3177	2639	3135/319.8	2742	3186	2609	3063/319.8	2668	3150	2840	3171/325.8	2560
17	3169	2404	3135/311.4	2417	3136	2540	3149/320.4	2569	3153	2695	3137/321.2	2779
18	2705	2640	3159/314.7	2653	3148	2616	3165/321.1	2771	3179	2726	3154/320.0	2642
19	2697	2761	2699/317.8	2723	3131	2363	3203/316.5	2695	3176	2618	3192/318.9	2428
20	3183	2748	3151/316.2	2562	3149	2803	2694/312.0	2915	3179	2801	3128/322.5	2916

符號說明：

SS：一般鋼材

CM：普通水泥砂漿體

SS／CP：鋼材／陰極防蝕

HP：含飛灰水泥砂漿體

表 3-1 現地長期浸漬試驗試片重量表(4)

#51 之試體重量表

單位：公克

	第 一 層				第 二 層				第 三 層			
號碼	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP	SS	CM	SS/CP	HP
1	3175	2484	2695/312.0	2731	2709	2582	2704/316.0	2566	2718	2962	3134/313.2	2450
2	3139	2561	3131/318.1	2445	2691	2577	3176.5/316	2738	3178	2602	3093/320.0	3167
3	3159	2565	3082/312.3	2732	3086	2820	3164/319.0	2617	3187	2718	2697/316.0	2397
4	3181	2483	2712/317.0	3020	3105	2758	3172/317.0	2320	3156	2613	3133/312.0	2642
5	2696	2495	3152/316.0	2659	3164	2622	2699/316.0	2721	3191	2575	3110/317.8	2821
6	3133	2551	3156/316.8	2356	3178	2609	3143/313.0	2196	2703	2506	3176/326.0	2657
7	3170	2613	3134/321.0	2721	2700	2592	3136/316.0	2580	3143	2878	3123/317.0	2558
8	3157	2588	3086/320.1	2453	3170	2673	3134/317.8	2473	3187	2690	3104/314.0	2685
9	3134	2490	3134/318.4	2807	3182	2900	2702/324.0	2767	3175	2805	3101/317.0	2900
10	2739	2483	3192/317.0	287	3200	2852	2698/318.0	2990	3163	2840	3159/315.0	3064
11	3157	2555	3125/317.0	2577	3177	2860	3136/318.0	2520	3170	2533	2713/318.0	2665
12	2697	2601	3158/316.0	2765	3181	2637	2685/323.0	2645	3153	2583	3111/318.0	3152
13	3182	2536	3190/312.0	2973	3170	2958	3177/316.0	2688	3133	2628	3169/318.1	2401
14	2715	2814	3175/313.0	2600	2742	2725	3157/313.0	2540	3182	2544	3163/313.8	3006
15	3165	2528	3182/321.0	2779	3174	2328	3138/315.0	2486	3128	2809	3176/312.0	2463
16	3198	2579	3185/316.0	2703	2720	2785	3184/317.0	2586	3098	2679	2703/313.0	2447
17	3135	2487	3124/318.0	2593	3166	2648	3165/318.0	2314	3125	2783	3173/322.0	2787
18	3138	2473	2700/320.1	2591	3180	2640	3151/313.0	2437	2689	2454	3177/307.0	2564
19	3171	2566	3136/364.0	2503	3178	2710	3129/312.0	2386	2705	2700	3156/321.0	2914
20	3167	2645	3174	2523	3134	2935	2710/317.0	2569	3160	2651	3094/316.0	2784

符號說明：

SS：一般鋼材

CM：普通水泥砂漿體

SS／CP：鋼材／陰極防蝕

HP：含飛灰水泥砂漿體

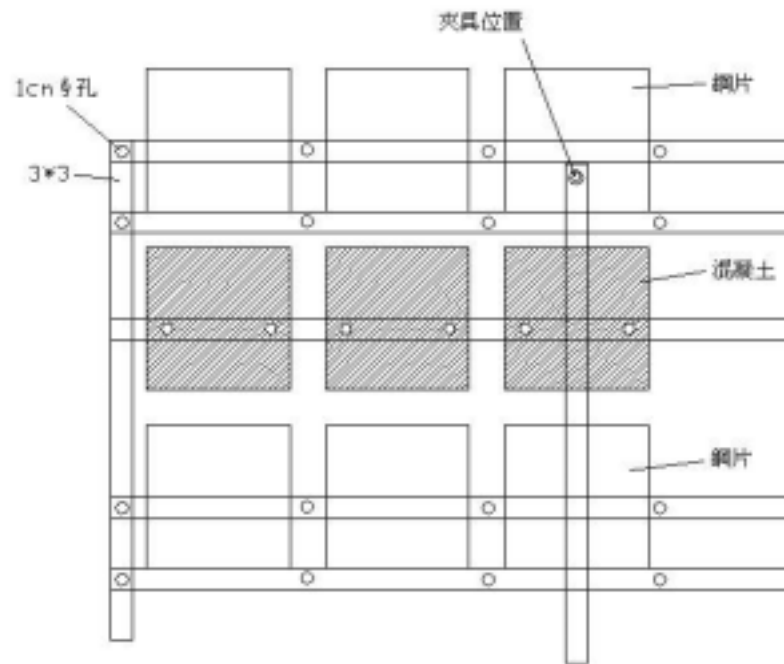


圖 3.1 試片於夾具上位置圖

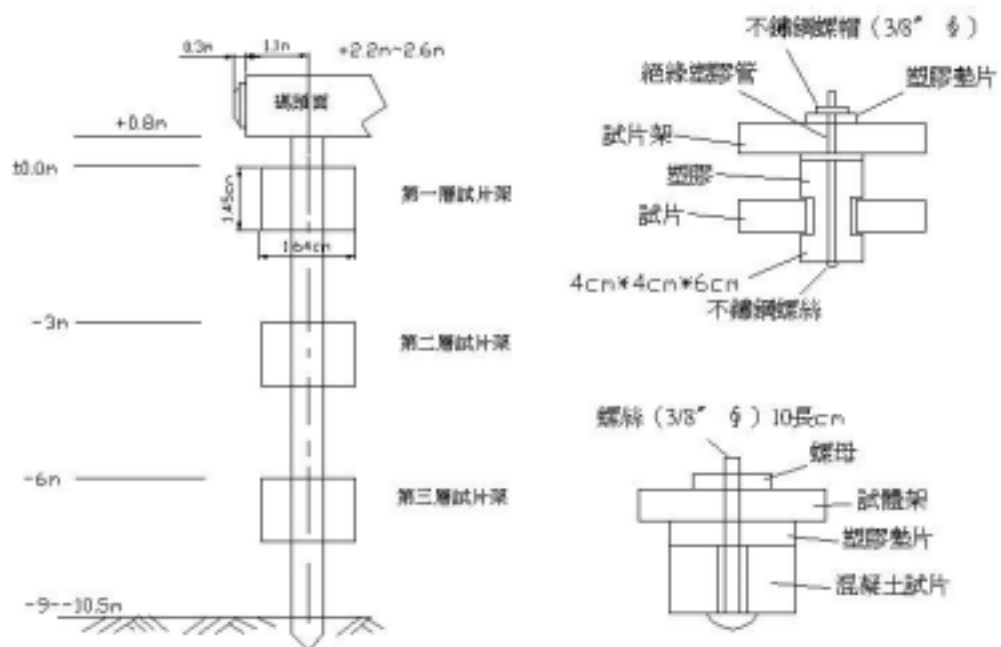


圖 3.2 試片架安裝示意圖

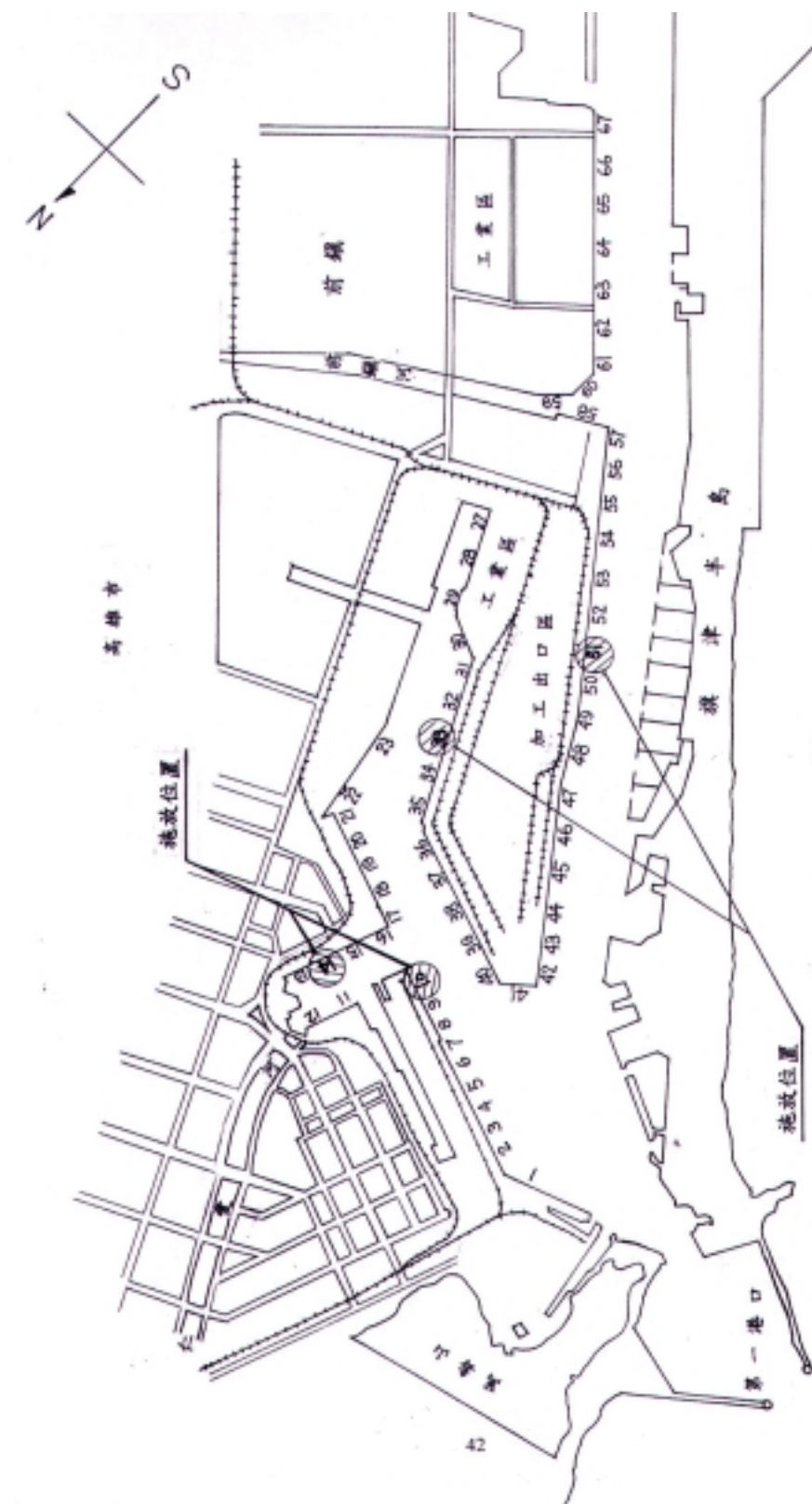


圖 3.4 高雄港區連續性曝露實驗試片架施放位置圖

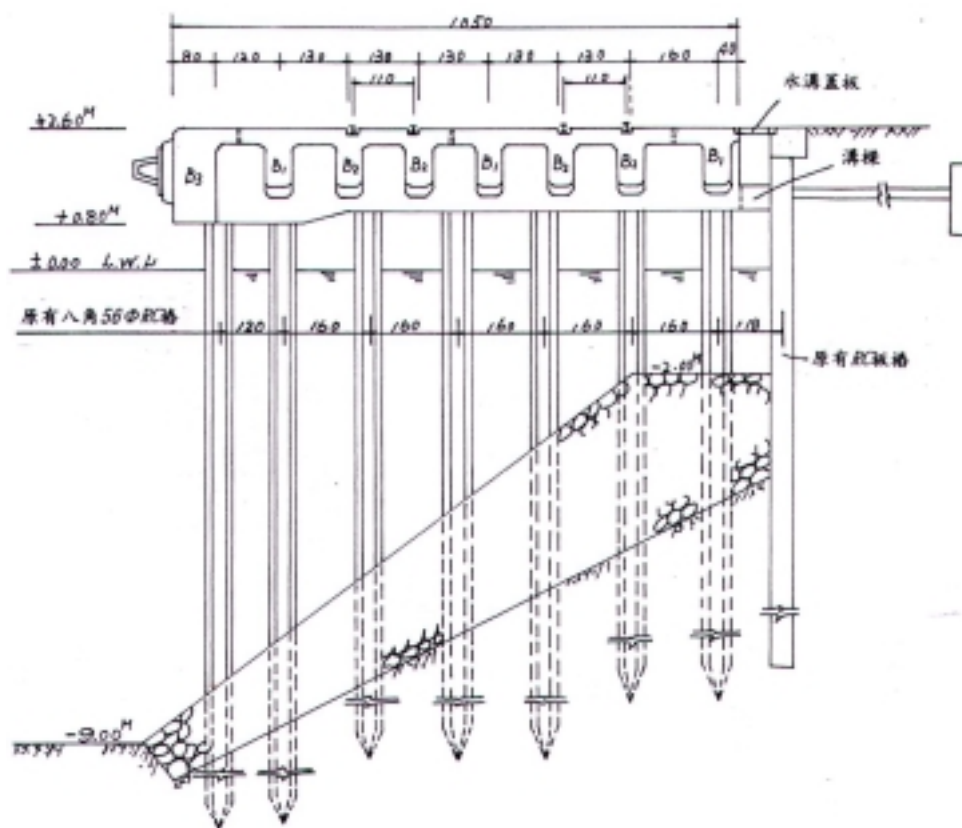


圖 3.5 台灣各港區典型棧橋式碼頭示意圖



圖 3.6 試片架示意圖

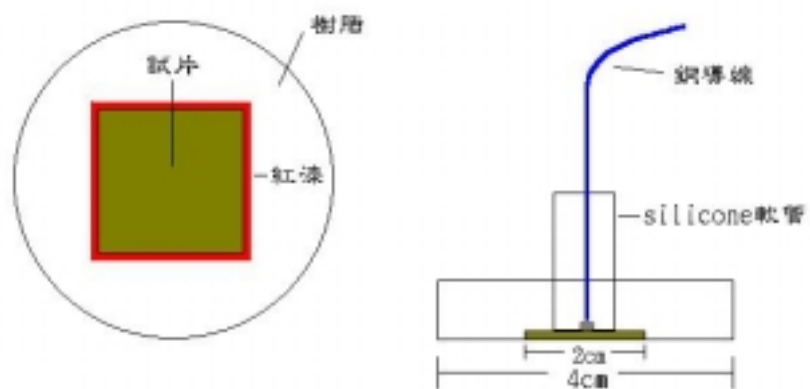


圖 3.7 試片封模後示意圖

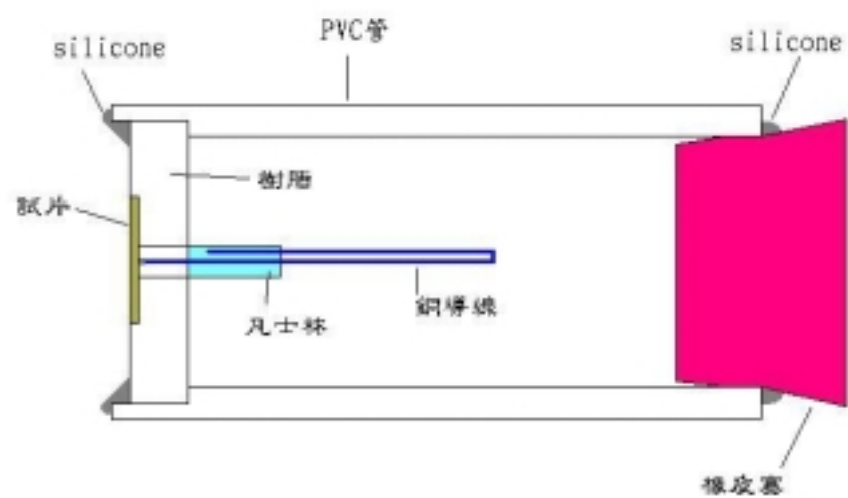


圖 3.8 試片於 PVC 管內示意圖



圖 3.9 試片套筒於試片架內示意圖

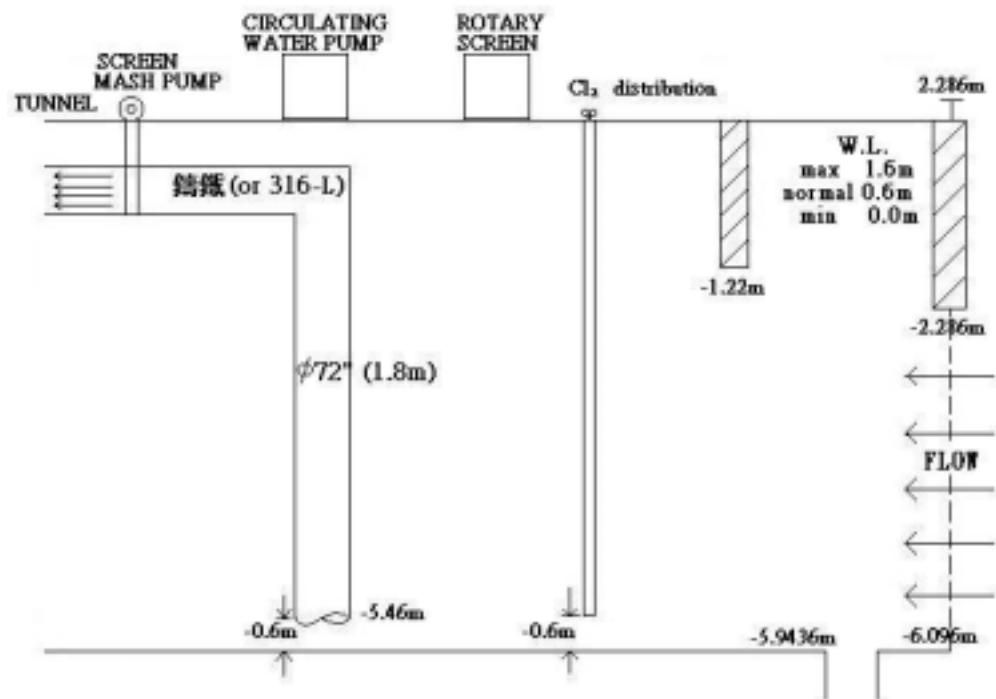


圖 3.10 大林電廠試片施放現場縱斷面示意圖



照片 3.1 試片焊接



照片 3.2 調製環氧樹脂



照片 3.3 試片灌模



照片 3.4 試片拋光



照片 3.5 隙縫填漆



照片 3.6 試片施放工作情形 (1)



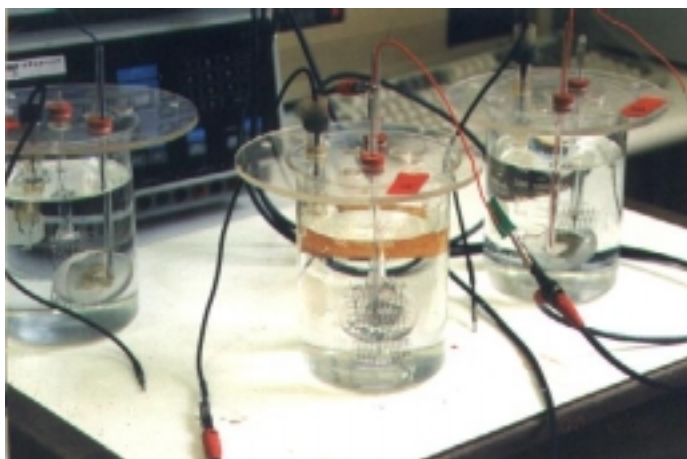
照片 3.7 試片施放工作情形 (2)



照片 3.8 試片施放工作情形 (3)



照片 3.9 試片施放工作情形 (4)



照片 3.10 電化學電池系統



照片 3.11 電化學試驗於現場操作



照片 3.12 電化學試驗於實驗室操作

第四章 結果分析與討論

對港灣構造物而言，其主體結構長時間位於水中，與其他陸域結構（橋樑、高樓、隧道）相較，維修實屬不易，而本身位處高鹽分環境中，腐蝕性破壞更居設計、施工重要考量因子之一，海生物之長期附著於腐蝕性破壞中實佔相當程度的影響，但其形成機制、影響層面以及附著時間的關係，皆有待探討。至於短期的海生物附著變異是否會影響長期腐蝕的程度仍不清楚，但若如此，則必對港灣工程施工造成一定程度之影響，因為海垢生物的附苗有季節性，附苗板在其表面第一層所附上去的海生物（直接與表面接觸）會因不同季節施放而有所不同。此外不同深度中海洋附著生物常有垂直分層的現象，是否因此而造成腐蝕速率的差異，使得港灣設施之材質或厚度需隨垂直深度而設計亦值得研究。另以棧橋式碼頭而言，基樁靠外側者受光較強，靠內側者則長期處於較暗環境中，海垢生物應有明顯差異，但腐蝕速率是否也有顯著差異則有待實際比較。

因此，本研究計劃針對高雄港定期採集不同地點、不同深度、不同材料試片之附著海生物樣本，攜回實驗室，進行歸類鑑定及豐度計量，以了解附著海生物之種類差異與滋生速度，以期能完整了解高雄港附著海生物之種類與變化，進而能有港區海生物資料庫之建立。

而在腐蝕速率分析方面亦比較未作防蝕處理試片與防蝕處理試片間腐蝕速率之差異，同時藉由平均腐蝕速率之量測數據（長期浸漬試驗）與一般港工結構在防蝕年限設計條件（0.2 mm/y）作一比對，而以瞬時腐蝕速率（電化學試驗）來探討海生物附著在港工結構腐蝕機制內所扮演之角色。

4.1 長期浸漬試片之附著海生物分析與討論

整合五年以來（自民國 85 年 1 月至 89 年 10 月），在高雄港不同碼頭間所施放四種不同材質試片上，所得附著生物乾重、濕重，與藤壺、華美盤管蟲二種高雄港內最具代表性的生物附蓋面積與附著數量的比較，以作為五年來在高雄港內所進行附著生物的調查的指標，其他次要

附著生物各年變化可參照例年本計劃報告。

4.1.1 歷年乾濕重比較

由五年數據統計比較（表 4.1）發現，五年來總乾濕重在各碼頭間的最高值出現於#10 號碼頭，最小值則出現於#33 號碼頭；在不同深度間，最大值出現於 6m 水深之處，最小值則出現於 3m 水深；在不同試片材質間，最大值出現於未經防蝕處理軋鋼試片（SS）上，最小值則出現於經防蝕處理軋鋼試片（SS/CP）上，且未經飛灰處理試片（CM）與添加飛灰處理試片（HP）上附著海生物總乾重與總濕重皆無顯著差異（Mann-Whitney Test, 濕重 $p=0.41$ 、乾重 $p=0.98$ ）；在不同試片面向上，向光面顯著高於背光面。附著海生物總濕重與總乾重隨時間在不同碼頭間（圖 4.1、圖 4.2）、不同深度間（圖 4.3、圖 4.4）、不同試片材質（圖 4.5、圖 4.6）與不同面向上（圖 4.7、圖 4.8）的變化略有起伏，但長時間浸漬後，附著海生物的總乾濕重有增加或是持平的趨勢。表 4.4~表 4.11 則為歷年不同材質、不同面向上乾、溼重之計量。

4.1.2 歷年藤壺附著數量與覆蓋面積比較

在藤壺附著數量方面，由五年數據統計比較（表 4.2）可知，在各碼頭間的最高值出現於#10 號碼頭，最小值則出現於#14 號碼頭；在不同深度間，最大值出現於 0m 水深之處，最小值則出現於 3m 水深；在不同試片材質間則無顯著差異（Kruskal-Wallis Test, $p=0.07$ ）；在不同試片面向上，向光面顯著高於背光面。圖 4.25~圖 4.30 分別為自由腐蝕試片、陰極防蝕試片之藤壺附著數量與置放地點、水深、浸漬時間的關係。表 4.28~表 4.32 則為歷次採樣之藤壺附著數量。

在藤壺覆蓋面積方面，在各碼頭間的最高值出現於#10 號碼頭，最小值則出現於#33 號碼頭；在不同深度間，最大值出現於 6m 水深之處，最小值則出現於 3m 水深；在不同試片材質間，最大值出現於未經飛灰處理試片（CM），最小值則出現於未經防蝕處理軋鋼試片（SS）上；在不同試片面向上，向光面顯著高於背光面。圖 4.31~圖 4.36 分別為自由腐蝕試片、陰極防蝕試片之藤壺覆蓋面積與置放地點、水深、浸漬時間的關係。

表 4.33~表 4.37 則為歷次採樣藤壺覆蓋面積計量。

藤壺附著數量與覆蓋面積隨時間在不同碼頭間（圖 4.9、圖 4.10）、不同深度間（圖 4.11、圖 4.12）、不同試片材質（圖 4.13、圖 4.14）與不同面向上（圖 4.15、圖 4.16）的變化並無固定走勢。

4.1.3 歷年華美盤管蟲附著數量與覆蓋面積比較

在華美盤管蟲附著數量方面，由五年數據統計比較（表 4.3）可知，在各碼頭間的最高值出現於#51 號碼頭，最小值則出現於#14 號碼頭；在不同深度間無顯著差異（Kruskal-Wallis Test, $p=0.03$ ）；在不同試片材質間，最大值出現於未經飛灰處理試片（CM），最小值則出現於未經防蝕處理軋鋼試片（SS）上；在不同試片面向上無顯著差異（Mann-Witney Test, $p=0.05$ ）。圖 4.37~圖 4.42 分別為自由腐蝕試片、陰極防蝕試片之管蟲附著數量與置放地點、水深、浸漬時間的關係。表 4.12~表 4.19 則為歷次採樣管蟲附著數量。

在華美盤管蟲覆蓋面積方面，在各碼頭間的最高值出現於#51 號碼頭，最小值則出現於#14 號碼頭；在不同深度間，最大值出現於 6m 水深之處，最小值則出現於 0m 水深；在不同試片材質間，最大值出現於經防蝕處理軋鋼試片（SS/CP）上，最小值則出現於未經防蝕處理軋鋼試片（SS）上；在不同試片面向上向光面顯著高於背光面。圖 4.43~圖 4.48 分別為自由腐蝕試片、陰極防蝕試片之管蟲覆蓋面積與置放地點、水深、浸漬時間的關係。表 4.20~表 4.27 則為歷次採樣管蟲覆蓋面積之計量。

華美盤管蟲附著數量與覆蓋面積隨時間在不同碼頭間（圖 4.17、圖 4.18）、不同深度間（圖 4.19、圖 4.20）、不同試片材質（圖 4.21、圖 4.22）與不同面向上（圖 4.23、圖 4.24）的變化並無固定走勢。

4.2 長期浸漬試片之腐蝕速率分析與討論

4.2.1 腐蝕速率與放置地點之關係

早期研究報告指出，金屬在海水中的腐蝕行為，會因海水中的 pH 值、氯離子濃度、溫度、溶氧量、水流速度、海生物附著、菌類活動、以及污染程度等參數的影響而產生不同的腐蝕現象^{(46),(47),(48),(49)}。高雄港區內，海水受鄰近河川污染與外海水團交換影響，各碼頭海水的化學性質與海生物生長的情況可能不同⁽⁵⁰⁾。為瞭解 SS41 碳鋼試片在#10、#14、#33、與#51 四碼頭腐蝕速率的差異，自民國 85 年 1 月起在上述地點水深 0m、3m、6m 放置試片，並定期取出以重量損失法推算其腐蝕速率。今將歷次於各碼頭水深 0m、3m、6m 採樣試片的腐蝕速率平均，以此平均值代表碳鋼在該碼頭經過某一特定浸漬時間後的腐蝕速率，藉以評估相同浸漬時間內碳鋼腐蝕速率與放置地點的關係。根據腐蝕速率計算公式：

$$\text{mm/y} = 87.6W/DAT$$

式中 W = 試片之重量損失(mg)

D = 試片密度(7.87 g/cm^3)

A = 試片面積(880 cm^2)

T = 試片暴露時間(hr)

圖 4.32 為自由腐蝕試片平均腐蝕速率與放置地點的關係。其中各點分別為試片在各碼頭浸漬 2、4、7、10、13、16、22、28、34、40、51、58 個月後的平均腐蝕速率，而實線則是將各碼頭歷次浸漬結果予以平均後繪出的曲線。結果顯示，#10 與#51 試片的腐蝕速率散佈範圍較大，分別在 $0.144\text{-}0.548 \text{ mm/y}$ 與 $0.162\text{-}0.598 \text{ mm/y}$ 之間，而#14 與#33 較小，在 $0.141\text{-}0.367 \text{ mm/y}$ 與 $0.160\text{-}0.416 \text{ mm/y}$ 之間；故判斷碳鋼試片在#10 與#51 受環境、季節等因素的影響，其腐蝕速率變化可能較#14 與#33 為大。此外，根據各碼頭十二次採樣平均結果（圖 4.49 中實線部份），SS41 碳鋼的腐蝕速率在#51 最大(0.307 mm/y)，#14 最小(0.218 mm/y)，而#10 與#33 腐蝕速率較為相似(分別為 0.253 與 0.265 mm/y)。

圖 4.50 為陰極保護試片平均腐蝕速率與放置地點的關係。圖中，各次採樣的平均腐蝕速率仍以#10 與#51 試片的腐蝕速率散佈範圍較廣，分別在 $0.027\text{-}0.304 \text{ mm/y}$ 與 $0.023\text{-}0.252 \text{ mm/y}$ 之間，而#14 與#33 則在 $0.019\text{-}0.165 \text{ mm/y}$ 與 $0.040\text{-}0.192 \text{ mm/y}$ 之間。比較十二次採樣平均結果（圖

4.50 中實線部份)，試片的腐蝕速率雖然隨放置地點有些許差異（由大至小依序為：#51，#10，#33，與#14），但是碼頭與碼頭間的腐蝕速率相差極微，在 0.01 mm/y 之內。由此可知，對陰極保護試片而言，試片的腐蝕速率取決於陰極防蝕的效果；即犧牲陽極塊若能持續的供給有效保護電流，則碳鋼的腐蝕速率並不會因試片吊放的位置不同而有明顯差異。

4.2.2 腐蝕速率與放置水深之關係

為推估港區內碳鋼腐蝕速率與水深變化的關係，今分別將各碼頭於水深 0m、3m、6m 歷次採樣試片的腐蝕速率平均，以此平均值代表碳鋼在該碼頭不同水深的腐蝕速率。圖 4.51 與圖 4.52 分別為自由腐蝕試片與陰極防蝕試片平均腐蝕速率與放置水深的關係。其中各點分別為試片在各碼頭相同深度十二次採樣的平均腐蝕速率，而實線則是將相同水深不同碼頭浸漬結果予以平均後繪出的曲線。結果發現，在浸漬達 58 個月後，試片的腐蝕速率與水深變化無明顯特定關係。若將高雄港區視為一個海域，碳鋼在此海域中的腐蝕速率與水深變化的關係可由圖 4.51 與圖 4.52 中實線部份看出：自由腐蝕試片的腐蝕速率有隨浸漬水深的增加而約略遞增的趨勢，而陰極防蝕試片的腐蝕速率則有隨浸漬水深的增加而稍減緩的趨勢，但不論增加或減少，腐蝕速率的變化均在 0.02 mm/y 之內，差異極小。

4.2.3 腐蝕速率與浸漬時間之關係

為瞭解碳鋼腐蝕速率與浸漬時間之關係，今將四座碼頭歷次於水深 0m、3m、6m 採樣試片的腐蝕速率分別平均，以各平均值代表碳鋼在該水深經過某一特定浸漬時間後的腐蝕速率，藉以推估碳鋼腐蝕速率與浸漬時間的關係。圖 4.53 與圖 4.54 分別為自由腐蝕試片與陰極防蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係。圖中各點分別為試片在歷次採樣時相同深度於四座碼頭的個別腐蝕速率，而實線則是將相同浸漬時間內不同碼頭的腐蝕速率予以平均後繪出的曲線。顯然地，不論是自由腐蝕試片或陰極防蝕試片(圖中實線部份)，試片的腐蝕速率在浸漬初期隨著曝露時間的增加而遞增，於第七個月時到達最大(自由腐蝕試片=0.440 mm/y，陰極防蝕試片=0.189 mm/y)，隨後隨著曝露時間的增長而遞減，浸漬 58 個月

後，自由腐蝕試片的腐蝕速率僅為 0.203 mm/y，而陰極防蝕試片為 0.057 mm/y。

其原因可能是因浸漬初期，試片與海水直接接觸，金屬的腐蝕速率受海水中的溶氧所控制，且海生物附生的緻密度較小，以致在金屬表面產生許多微小的氧差和濃度差異電池，造成試片腐蝕速率隨海生物覆蓋面積增加而增加；而長期浸漬後(曝露時間>7 個月)，金屬表面海生物附著緻密，再加上腐蝕產物混合曝露環境中的泥垢，產生類似擴散阻礙，阻止海水中溶氧與氯離子等腐蝕因子進入金屬表面，促使腐蝕減緩，但金屬與海生物界面間的 pH、有機與無機物質則可能取代金屬腐蝕的控制因素，造成局部腐蝕。

4.2.4 自由腐蝕與陰極防蝕試片之比較

圖 4.55 為 SS41 自由腐蝕與陰極防蝕試片歷次於高雄港四座碼頭三個水深採樣的平均腐蝕速率與曝露時間的關係。由圖可知，陰極防蝕試片在經陰極防蝕處理後，試片的腐蝕速率顯然較自由腐蝕試片低；因此，在此試驗期間內(58 個月)，附加鋁犧牲陽極塊確能有效地保護碳鋼試片。根據美國腐蝕工程師協會制定的 Standard RP-01-69 陰極防蝕方法中指出，犧牲陽極塊在對被保護金屬進行陰極保護時必須提供足夠的極化與保護電流，因此在保護之初或是金屬表面再裸露於腐蝕環境時，犧牲陽極塊的重量損失率將會增加。依此推論，長期浸漬鋁犧牲陽極塊重量損失率的變化，可能是因金屬表面海生物掉落以致金屬再裸露於海水中或是為了克服海生物附著所造成的局部腐蝕結果。

4.3 港區水質對碳鋼試片腐蝕速率之影響

4.3.1 腐蝕電位

SS41 在各靜止水溶液中之開路電位(腐蝕電位)與時間變化的關係如圖 4.56 所示。在此無充空氣的情況下，試片在#14 號碼頭海水中的腐蝕電位在浸漬 360 小時後趨於穩定，約等於-0.72 V(vs. SCE)，而試片在#10、#33、#51 號碼頭及人造海水中，腐蝕電位於 120 小時後趨於穩定，約為-

0.785V(vs. SCE)；但比較試片在充空氣的海水中，所有試片的開路電位(如圖 4.57)在 360 小時的浸漬後均趨於穩定，其值在-0.73 至-0.775 V (vs. SCE)之間，並無因浸泡水溶液的不同而有顯著的差異。

4.3.2 腐蝕速率

試片的腐蝕速率利用直流電動電位極化曲線掃瞄的方法，以線性極化電阻的倒數來表示，圖 4.58 為 SS41 在無充空氣水溶液中腐蝕速率與時間的關係，除#14 號碼頭外，試片在#10、#33 與#51 號碼頭的腐蝕速率與在人造海水中之腐蝕速率相類似，而圖 4.59 為 SS41 在充空氣水溶液中腐蝕速率與時間的關係，除#14 與#33 號碼頭外，試片在#10 與#51 號碼頭的腐蝕速率與在人造海水中之腐蝕速率相類似。

由於海水在充空氣的情況下，水中的含氧量相似，相對的，水質將決定金屬腐蝕的速率；#14 與#33 號碼頭鄰近仁愛河口與十字渠口，海水受河渠污染的機會較大⁽⁵¹⁾，以致使試片的腐蝕速率與人造海水相較，有所差異；此行為在靜止無充空氣的海水中更為顯著，即試片在#14 號碼頭海水中的腐蝕速率較人造海水中為大。然而與現場浸漬試驗相比較(如前文所述)，現場試片在#14 號碼頭海水中的腐蝕速率多小於其他碼頭，推論可能是因現場海水水流交換，再加上海生物附著的影響，以致金屬腐蝕速率有所變異。表 4.38、表 4.39 為本計畫第五年度之水質檢測資料。

4.4 特定海生物對碳鋼試片腐蝕速率之影響

圖 4.60-圖 4.62 與圖 4.63-圖 4.65 為試片浸漬在#14 與#75 號碼頭水深 0m、3m、6m 處海生物附着(Sealives)、藤壺附着(Barnacles)、管蟲附着(Tubeworms)、與無海生物附着(None)等情況下試片的動電位極化曲線掃瞄；如所預期地，碳鋼試片在各海生物附着的情形下並無鈍化行為產生，且其動電位極化曲線之趨勢與無海生物附着的試片相似。再者，根據量測所得的腐蝕電流密度，計算各試片的瞬間腐蝕速率，其結果如圖 4.66 與圖 4.67 所示。圖 4.65 中，金屬試片在#14 號碼頭的瞬間腐蝕速率，會因藤壺的附着而降低；水深 0m 處，藤壺附着試片的腐蝕速率小於無海生物附着之試片，相差約為 0.05 mm/y；水深 3m 處，試片的腐蝕速率由小

至大依序為藤壺附著、無海生物附著、海生物附著、與管蟲附著之試片，其中藤壺附著試片的腐蝕速率較管蟲附著試片的腐蝕速率小 0.5 mm/y；水深 6m 處，因各試片表面情形相似，無海生物附著，瞬間腐蝕速率相當，其值在 1.47-1.70 mm/y 之間。於#75 號碼頭(如圖 4.67)，各試片的瞬間腐蝕速率均介於 0.92-1.22 mm/y 之間，並無因置放的水深與附著海生物的不同而有顯著的差異。由於金屬的瞬間腐蝕速率是代表金屬在某一特定環境下的腐蝕速率，當相同材質金屬浸漬在不同水溶液中，或是不同處理的金屬浸漬在相同的水溶液中，其瞬間腐蝕速率自然不同；因此，各試片浸漬在#14 與#75 號碼頭的瞬間腐蝕行為，會因附著海生物的種類與浸漬海水的不同而不同。此外，當金屬表面有藤壺附著時，成熟的藤壺是有膠質的外殼和板狀的石灰質甲殼，氧差電池可在藤壺的基底產生，然而藤壺死亡後，他們的甲殼會永久保留在附著位置上，若分佈緻密，可能阻擋海水中的溶氧擴散至金屬表面，降低試片的瞬間腐蝕速率。而管蟲，其生長與新陳代謝的產物可能在金屬表面產生氧差或濃度差異電池，造成局部腐蝕，然而死亡後，他們在金屬表面的附著能力不如藤壺，且無石灰質甲殼，以致動電位極化曲線掃描的結果，瞬間腐蝕速率大於藤壺試片。

海生物附著對試片平均腐蝕速率的影響可由重量損失計算得出，圖 4.68 與圖 4.69 分別為海生物附著、藤壺附著、管蟲附著、與無海生物附著四種試片在#14 與#75 號碼頭平均腐蝕速率與水深變化的關係。一般而言，無海生物附著試片因每隔 14 日需將所有海生物刮除，金屬表面週期性地暴露於海水中，試片的平均腐蝕速率較海生物附著試片為大；而海生物附著、藤壺附著、管蟲附著的試片，在#75 號碼頭 3 個水深的平均腐蝕速率分別為 0.30 mm/y、0.365 mm/y 與 0.386 mm/y，顯示現場浸漬試片，管蟲對試片腐蝕速率的影響較藤壺及其他海生物為大，與瞬間腐蝕速率量測的結果相同。

圖 4.70-4.72 與圖 4.73-4.75 為利用交流電阻抗量測試片在#14 與#75 號碼頭不同水深的 Bode plots。Ailor⁽⁵²⁾曾指出，金屬表面在水溶液中的腐蝕行為，類似在一特定頻率下電阻與電容組合成的電路，可藉交流電阻抗予以量測分析，其結果以 Bode plots 表示。Mansfield⁽⁵³⁾亦指出，金屬與水溶液界面間薄層的完整性，可由電路中的電容反應出，而電容變化可藉交流電阻抗中 Bode plots 的相位角瞭解。Luo⁽⁵⁴⁾也曾報告，當金屬表面

有局部的不完整性，如細菌膜生成時，在最低頻率的相位角有逐漸改變的趨勢。本次試驗試片在#14 號碼頭水深 6m 處 (圖 4.72)，因其表面無海生物附著，故相位角對頻率的變化與其他有海生物附著的試片不同；此外，現場浸漬試片因金屬表面泥垢、腐蝕產物或附著海生物種類的不同，可能在金屬表面形成非均勻性被覆，此被覆的厚度、透水性與緻密性將影響金屬的腐蝕行為，造成 Bode plots 中最低頻率相位角的改變；然而對於藤壺、管蟲、或其他海生物相互間在金屬表面附著相位角的改變，則有待進一步的探討。

4.5 電化學試驗試片之附著海生物分析與討論

4.5.1 大林發電廠

此部份結果係來自台灣電力公司大林電廠冷卻水入水口，所放置不同腐蝕試片（碳鋼及不銹鋼）上之附著生物計算而來，由於大林電廠入水口的生物歧異度低，附著生物僅藤壺、華美盤管蟲、纓鰓蟲及藻類等四種，故在附著數量的估計上取藤壺、華美盤管蟲及纓鰓蟲做代表（因藻類的個體不易辨識），而覆蓋面積則四種皆列入估計。

1.附著生物在試片上的附著數量

由不同附著生物在二組試片組 A 與 C 中的 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上的附著數量，並未發現試片組或是試片間有明顯的差異（圖 4.76、圖 4.77 及圖 4.78），但可發現 A 組 316L 與 C 組 SS41、316L 上的藤壺（圖 4.76）、A 組 SS41、316L 華美盤管蟲（圖 4.77）及 C 組 316L 的纓鰓蟲（圖 4.78）數目達到某一高點時，會急遽下降。

2.附著生物在試片上的附蓋面積

由不同附著生物在二組試片組 A 與 C 中的 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上的附蓋面積，並未發現試片組或是試片間有明顯的差異（圖 4.79、圖 4.80、圖 4.81 及圖 4.82），附著生物的總覆蓋面積在浸置 23 天至 35 天後總覆蓋面積可達試片百分之百的表面積（圖 4.83）。

4.5.2 高雄港#14 碼頭

此部份結果為放置於高雄港#14 號碼頭，不同腐蝕試片 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）上附著生物計算而來。#14 號碼頭生物相極為單純，附著於試片上的生物僅華美盤管蟲、貽貝與纓鰓蟲三種。由於纓鰓蟲僅在其中二次採樣時各出現一隻，數量太少而未列入附著數量與覆蓋面積的結果中，僅將華美盤管蟲與貽貝兩種#14 號碼頭的優勢生物之附著數量、覆蓋面積與所有附著生物的總濕重與乾重隨時間變化的情形列於結果中。

1.附著生物在二種試片上的附著數量與覆蓋面積

華美盤管蟲與貽貝在第 34 天前並無任何的附著數量（圖 4.84、圖 4.85），可見試片初期應有防止海垢生物附著的效能，但在第 34 天後在試片上累積了若干沉積物與微生物後，附著生物的數量便開始增加，在 SS41（碳鋼）上的生物易被氧化鐵覆蓋死亡，數量亦會隨生物的剝落而有波動。

2.覆蓋面積（圖 4.86、圖 4.87）與附著數量的走勢大致相同。

3.附著生物的總濕重與總乾重

總濕重（圖 4.88）與總乾重（圖 4.89）隨附著生物的組成不同而有變化。

此部份的結果與先前於台電大林電廠入水口施放的試片所得結果不同，大林電廠由於入水量大，帶進來的幼苗數量極多，以致在短時間內試片表面即可被附著生物所蓋滿，而#14 號碼頭在第 80 天收取的試片上，仍有未被覆蓋的區域，且 316L（不銹鋼）上的生物在數量、覆蓋面積與總乾濕重上都高於 SS41（碳鋼），在大林電廠的入水口初期也有此種現象，但由於空間是該處生物彼此競爭的資源，過一段時間後，即看不出差異。所以在#14 號碼頭此種附著生物相單純且數量少的碼頭，也許可藉表面材質的選擇來達到海垢生物防治的效果。

4.6 電化學試驗試片之腐蝕速率分析與討論

4.6.1 瞬時腐蝕速率量測-電化學技術

金屬在水溶液中的腐蝕是一種電化學反應，而其腐蝕速率的大小常藉電化學中的直流（DC）與交流（AC）技術加以量測。由於電化學方法主要是基於電壓與電流的解析，並不能直接量測腐蝕速率；所以在自然穩定狀態（steady state）下，腐蝕速率與直流 Tafel line 外插法決定之極化電阻（linear polarization resistance, R_p ）， $R_p=(dE/di)_{i=0}$ ，的關係為⁽⁵⁵⁾

$$i_{corr} = \frac{Const.}{R_p}$$

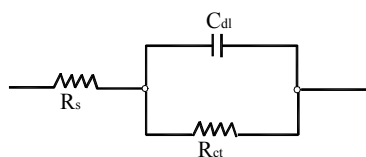
式中 i_{corr} 為腐蝕電流密度，代表腐蝕速率的大小

R_p 為極化電阻

Const. 為一常數

即極化電阻愈大，則金屬的腐蝕速率愈小。在一些非穩定狀態（non-steady state），利用 AC 電化學交流阻抗頻譜分析^{(56),(57),(58)}（Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS），除可得知金屬的腐蝕速率外，更可進一步瞭解腐蝕過程中電極界面的動態變化（kinetics of the corrosion process）；其原理為施以小振幅不同頻率的電壓，收取各頻率下的電化學訊號，由於不同電化學反應有不同的特徵頻率，再依此分析其電化學介面特性。

一般用來表示 EIS 量測數據的圖形為 Nyquist plot 與 Bode plots。Nyquist plot 為利用複數平面上的實部（ Z_{real} ）與虛部（ $Z_{imag.}$ ）來表示特定頻率下阻抗的大小與方向，而 Bode plots 則包括阻抗 vs. 頻率及相角 vs. 頻率的圖形。藉著上述三種圖形的相互關係與實際系統的特徵，使用電路中的線性元件，如電阻(R)，電容(C)，電感(L)，或擴散阻抗（Warburg impedance, W），模擬可能的等效電路，藉以分析判斷金屬表面的電化學性質。根據 Randles⁽⁵⁹⁾提出的等效電路，簡單理想的電化學腐蝕系統為：



其中 R_s 為金屬所在水溶液與腐蝕產物的電阻

C_{dl} 為金屬表面 double layer 的電容

R_{ct} 為電子在金屬表面交換的電阻

(charge transfer resistance)

在 Nyquist plot 上，此電路可得到一座落於第一象限的半圓，而此半圓與 Z_{real} 軸相交兩點間的距離，即為電荷交換電阻(R_{ct})。在 activation control 的系統下， R_{ct} 與 DC 極化電阻 R_p 的大小是相同的，即腐蝕速率與 R_{ct} 是反比關係。

4.6.2 試片的等效電路

SS41 浸漬於天然海水中，除了銹層的產生外，更有海生物附著於上，如此更增加了金屬表面的複雜性，等效電路的模擬，將有助於瞭解海生物附著對金屬腐蝕的影響。圖 4.90 為試片在天然海水中 5 日，無海生物附著時之等效電路。EIS 圖中的方塊為實際量測數據，而虛線為利用等效電路模擬之結果。等效電路圖中， R_s 為金屬表面海水電阻， C_{rust} 為腐蝕產物的電容， R_{rust} 為腐蝕產物之電阻， R_{pore} 為金屬(bare metal)表面間隙電阻， C_{dl} 為 double layer 電容， R_{corr} 為電荷交換電阻($=R_{ct}$)。有趣的發現，金屬表面孔隙間物質的電阻 R_{pore} 等於 12.6Ω ，與 R_s 相近，其原因可能是因為短期浸漬，腐蝕產物無法緊密生成，以致金屬表面銹與銹之間仍有孔隙，而孔隙間存在物質就是海水，故使 $R_{pore} = R_s$ 。今再假設試片在天然海水中 5 日亦有海生物附著，則其等效電路如圖 4.91 所示。電路中各元件之意義與圖 4.90 相同，且 C_{live} 為附著海生物的電容， R_{live} 為附著海生物之電阻。比較圖 4.90 與圖 4.91 等效電路元件值，發現 R_{corr} 值仍相類似，即在腐蝕速率相同的前提下，若試片表面有海生物附著，則海生物的電阻 $R_{live} = 6.4\Omega$ ；換言之，在實際情況下，幾乎無海生物附

著。

圖 4.92 與圖 4.93 分別為試片在天然海水中 10 日，無海生物附著與假設有海生物附著時之等效電路；相同的趨勢與試片 5 日的結果一致，說明了等效電路的可行性。再比較圖 4.90 與圖 4.91 之 R_{rust} 值，發現 R_{rust} 由 6715Ω 增加至 17219Ω ，顯示金屬表面銹層電阻增加；其原因可能是因隨浸漬時間的增加，腐蝕產物增加，銹層增厚且趨於緻密，以致銹層電阻增加。

圖 4.94 與圖 4.95 分別為試片在天然海水中 20 日、30 日，海生物附著時之等效電路。此時， R_{rust} 值由 51664Ω 增加至 78247Ω ，再次顯示銹層增厚且趨於緻密的趨勢。但因為海生物的附著，金屬表面孔隙間的物質，除海水外，更可能混合了泥垢或海生物新陳代謝的產物，使得 R_{pore} 數值與 R_s 不同，如圖 4.94： $R_{pore}=32\Omega > R_s=18\Omega$ ，圖 4.95： $R_{pore}=62\Omega > R_s=18\Omega$ 。至於海生物的電阻，在 20 日的試片 $R_{live}=5636\Omega$ ，而 30 日的試片 $R_{live}=6000000\Omega$ ，兩者相差 1000 倍之多，主要原因為附著在 20 日試片的海生物(照片 4.3)為含水量較高、果凍似的海鞘，而 30 日試片表面的海生物為硬質的盤管蟲(照片 4.4)；海生物種類不同，含水量不同，海生物電阻可能會有極大的差異。

圖 4.96 與圖 4.97 分別為試片在天然海水中 67 日、90 日，海生物附著時之等效電路。在 67 日時，試片 R_{rust} 值只比 30 日時稍大一些(由 78247Ω 增加至 100560Ω)，顯示銹層之厚度與緻密性可能已趨於穩定；但反觀海生物的電阻， R_{live} 由 30 日的 $6E+6\Omega$ 增加至 $1.3E+8\Omega$ ，兩者相差近 20 倍，且 R_{pore} 由 62Ω 增加至 199Ω ，顯示除海生物種類不同之影響外，海生物在金屬表面固著硬化的程度亦可能會隨著時間的增加而增加，以致造成金屬銹層與海水界面間的電阻(海生物的電阻+金屬表面孔隙間物質的電阻)增加。在 90 日時，銹層電阻、海生物電阻、與金屬表面孔隙間物質的電阻均較 67 日的試片為小，可能的原因為海生物伴隨著部分銹層掉落，以致金屬表面物質之電阻變小，如相片 4.10 之橘色部分應為海生物掉落所致。

4.6.3 海生物附著與金屬腐蝕之機理

根據上述模擬的等效電路，海生物附著與金屬腐蝕之機理推論如下：

以微觀(micro)的觀點來看，當金屬浸漬在天然海水中，稀疏的腐蝕產物(銹斑)會在金屬表面生成；隨著浸漬時間的增加，新的腐蝕產物會在 bare metal 表面及原先銹斑上成長，直至銹層完全覆蓋金屬表面，此時銹層增厚且趨於緻密。若在銹層成長的過程中有海生物附著於金屬表面，其著苗的處所可能是 bare metal 表面或是銹層表面，如此，在海生物成長的過程中，bare metal 表面孔隙的微小環境即有機會改變，造成氧差或濃度差異電池，促成局部腐蝕。機理結構示意圖及其相對之等效電路圖如圖 4.98 所示。圖中(a)為試片短時期浸漬之示意圖，(b)為長期浸漬之示意圖，(c)為海生物附著與金屬腐蝕之示意圖。

4.6.4 冬季試驗試片表面狀況

照片 4.1 為冬季試驗試片浸漬在天然海水中 5 日後之結果，試片表面為鐵銹所佈滿，並無目視可見的海生物；照片 4.2 為浸漬在天然海水中 10 日後之結果，表面亦佈滿鐵銹且無目識之海生物，但與第 5 日的試片相較，其銹層較密；照片 4.3 為試片浸漬在天然海水中 20 日後之結果，其表面有囊胞狀的海生物附著於銹層上；照片 4.4 為試片浸漬在天然海水中 30 日後之結果，表面並無囊胞狀的海生物但有硬質管狀的海生物與泥垢覆蓋於銹層之上；照片 4.5 亦為試片浸漬在天然海水中 30 日後之結果，但由於此試片經常性的取出與再放入海水中，所以無海生物附著，只有銹層與泥垢在其表面；照片 4.6-照片 4.7 為試片浸漬在天然海水中 55 日後之結果，在此階段，海生物在金屬表面的附著已呈垂直分佈(照片 4.7)；照片 4.8 為試片浸漬在天然海水中 67 日後之結果，硬質管狀與囊胞狀的海生物均附著在金屬表面；相片 4.9 為試片浸漬在天然海水中 90 日後之結果，與照片 4.10 (該試片浸漬時間亦為 90 日，但為經常性的取出與再放入海水中) 相較，並無顯著的差異，其原因可能為照片 4.10 試片上的海生物掉落所致。照片 4.11-照片 4.17 為上述照片 4.1-照片 4.4、照片 4.7-照片 4.9 之試片刮除海生物與腐蝕產物後的情形。

4.6.5 冬季試驗試片的腐蝕速率

圖 4.99 為冬季試驗試片腐蝕速率與浸漬時間的關係。圖中，試片的腐蝕速率是利用 DC 直流動電位極化曲線掃描方法，以極化電阻(R_p)的倒數來表示。在人造海水中，試片的腐蝕速率無隨浸漬時間的增加而有明顯變化；但在天然海水中，試片的腐蝕速率有先增加再劇減然後漸趨穩定的趨勢。其原因可能是因在天然海水中，海水的溫度、含氧量、pH 值、流速、污染程度、或海生物附著種類程度的改變，影響了試片的腐蝕速率，以致造成腐蝕速率的差異。此外，在第 30 日之後，於相同的浸漬時間，試片持續浸漬在天然海水中的腐蝕速率多小於試片浸漬於人造海水中的腐蝕速，顯示海生物的附著可以減緩碳鋼的腐蝕。然而，DC 極化電阻的計算多是基於均勻腐蝕的前題下，故以宏觀(macro)觀點來看，海生物在金屬(或銹層)表面的附著似乎可以當作一個擴散障礙(diffusion barrier)，藉此阻止海水中的溶氧或氯離子進入金屬表面，減緩金屬腐蝕；換句話說，當海生物與金屬表面的銹層被除去後，試片的瞬間腐蝕速率會較原海生物附著試片的腐蝕速率為大，亦如圖 4.90 所示。

圖 4.100 亦為試片腐蝕速率與浸漬時間的關係。圖中，試片的腐蝕速率是以 AC 交流阻抗方法量測，以電荷交換電阻(R_{ct})的倒數來表示腐蝕速率的大小。同樣的，各試片在海水中不同浸漬時間的腐蝕速率趨勢，與使用 DC 方法量測到的結果相似；說明了進行 AC 量測時，試片與所在水溶液已接近穩定狀態且為 activation control。圖 4.101 為以 DC 方法量測，計算 anodic Tafel slope 與 cathodic Tafel slope 後，估量試片腐蝕速率(mm/y)與浸漬時間的關係。基本上各試片腐蝕速率趨勢與圖 4.99 相類似，浸漬 30 日後，試片持續浸漬在天然海水中的腐蝕速率為 0.02-0.045 mm/y 多小於試片浸漬於人造海水中的腐蝕速(0.025-0.071 mm/y)；至於週期性取出與放回之試片，由於 Tafel slopes 不易求得，故與圖 4.99 有些許差異。

4.6.6 冬季試驗試片 EIS 分析

圖 4.102-圖 4.107 為金屬試片浸漬於海水中於第 5、10、20、30、67 與 90 日的 Nyquist plots 及 Bode plots。因為第 5 日與第 10 日浸漬於天然海水的試片，其表面均無海生物附著（如照片 4.1、照片 4.2 所示），但為區別與週期性取出與放回天然海水試片的不同，在 Nyquist plots 及 Bode plots 圖中，標示前者為 natural seawater w/o scraping，而後者為 natural

seawater w/ periodic scraping。此外，在 Nyquist plot 中，各試片在 Z_{real} 與 Z_{imag} 組成的複數平面上顯示出的曲線，並非理想的半圓，而是被壓縮的半圓，這是因為試片表面的非均勻性(non-homogeneity)、多孔性(porosity)、或幾何效應的改變⁽⁶⁰⁾，導致表面電流密度均勻分佈，造成壓縮電流產生。在等效電路中，constant phase element, CPE 常用來代替電容，與一個電阻並聯，產生被壓縮的半圓⁽⁶¹⁾(Cole-element)，此 CPE 的大小，將代表系統中的電容，用以顯示試片表面的非均勻性；而被壓縮的半圓與 Z_{real} 軸相交兩點間的距離，則代表電子在金屬表面交換的電阻(charge transfer resistance)，此電阻與試片的腐蝕速率呈反比關係。

圖 4.102 與圖 4.103 的 Nyquist plots 中，試片在人造海水中所得曲線(被壓縮半圓)與 Z_{real} 軸相交兩點間的距離大於天然海水中的試片，顯示經過 5 日、10 日的浸漬(無目視海生物附著的情形下)，試片在人造海水中的腐蝕速率小於試片在天然海水中的腐蝕速率。再者，因為浸漬在天然海水中的兩試片，其中一試片於浸漬後第 1、2、3、5、10 日均被取出進行電化學測試，之後，再放入海水中，所以試片表面腐蝕情況與持續浸漬的另一試片自然不同，因此在 Nyquist plots 中半圓被壓縮的程度自然也有所差異。長期浸漬後(浸漬時間為 67 日、90 日)，持續浸漬在天然海水中的試片，量測所得之被壓縮半圓(圖 4.106 與圖 4.107)均較人造海水大，顯示天然海水試片的腐蝕速率小於人造海水試片。

4.6.7 夏季與冬季試驗試片腐蝕速率之比較

為瞭解季節海生物對碳鋼腐蝕之影響，SS41 金屬試片(大小為 20 mm × 20 mm × 0.5 mm，暴露面積為 4 cm²) 以試片架故定，浸漬於高雄港#14 碼頭水深 3m 處，浸漬時間為 88 年 4 月 8 日起至 88 年 10 月止。試驗期間，試片採樣與電化學測試方法與冬季試驗相同。圖 4.108 為 SS41 試片腐蝕速率與浸漬時間的關係，圖中，試片的腐蝕速率是以 AC 交流阻抗方法量測，以電荷交換電阻(R_{ct})的倒數來表示腐蝕速率的大小。一般而言，浸漬 30 日前，試片浸漬在天然海水中的腐蝕速率小於試片浸漬於人造海水中的腐蝕速率；但在 30 日後，在天然海水中的腐蝕速率大於人造海水中的腐蝕速率，且有增加的趨勢。究其原因，可能是因夏季時海生物生長速率較快，以致短時間內可覆滿金屬表面而形成一個擴散障礙，阻止

海水中的溶氧或氯離子進入金屬表面，減緩金屬腐蝕；但長時間的浸漬，氧差與濃度差異電池以及銹層及過重的海生物掉落，促使試片腐蝕速率增加。

圖 4.109 為以 DC 方法量測，計算 anodic Tafel slope 與 cathodic Tafel slope 後，比較夏季試片、冬季試片、人造海水試片之腐蝕速率(mm/y)與浸漬時間的關係。在人造海水中，試片的腐蝕速率無隨浸漬時間的增加而有明顯變化；但在天然海水中，冬季試片的腐蝕速率有先增加再劇減然後漸趨穩定的趨勢，而夏季試片的腐蝕速率則在浸漬 30 日後有逐漸增加的趨勢。換句話說，季節性的改變，除了海水溫度、含氧量、pH 值、流速、污染程度的改變外，海生物附著種類與生長速度的改變，也可能會影響試片的腐蝕速率，造成腐蝕速率的差異。海生物在金屬(或銹層)表面緻密的附著可以視為一個擴散障礙，藉以阻止海水中的溶氧或氯離子進入金屬表面，因此，試片的瞬間腐蝕速率在海生物附著厚度到達某一程度後會有逐漸下降的趨勢，至於其下降程度的多寡，則應配合金屬表面氧差或濃度差異電池產生之局部腐蝕現象同時考慮之。

4.6.8 夏季與冬季試驗試片 EIS 之比較

圖 4.110-圖 4.112 為夏季金屬試片浸漬於天然海水中第 3、10、34、64、80 日海生物刮除前、刮除後、與週期性取出再放回試片之 Nyquist plots 及 Bode plots。海生物刮除前，圖 4.110 Bode plots 中 $|Z|$ 在最低頻率時的大小依序為 Day34 < Day10 < Day3 < Day65 ~ Day80，顯示試片在有海生物附著時之腐蝕速率在第 34 日最小而在第 80 日最大，與 DC 量測結果相似。海生物刮除後，圖 4.111 中的 Nyquist plots 除第 3 日試片為壓縮的半圓外，其餘各試片均為接近 45° 角的直線，為 diffusion control。至於週期性取出再放回的試片，圖 4.112 中的 Nyquist plots 多為被壓縮的半圓，由於壓縮半圓與 Z_{real} 軸相交兩點間的距離與試片的腐蝕速率呈反比關係，所以試片的腐蝕速率大小依序為 Day10 < Day34 < Day80 < Day65 < Day3，與持續浸漬試片之結果有所不同，其原因自然是因試片週期性的取出與放入海水中，試片表面的腐蝕情況與持續浸漬的不同。

圖 4.113-圖 4.117 為金屬試片浸漬於天然海水中第 5、10、30-35、60-65、80-90 日海生物附著時，冬季與夏季試片之 Nyquist plots 及 Bode

plots。在第 35 日前，冬季試片的腐蝕速率均較夏季試片的腐蝕速率大；但在第 64 與 80 日時，夏季試片的腐蝕速率大於冬季試片的腐蝕速率。此外，夏季試片的 Nyquist plot 在浸漬試驗初期為完整的被壓縮半圓，隨著浸漬時間的增加而趨向 45° 角的直線，顯示擴散障礙的形成促使金屬表面為擴散控制；冬季試片的 Nyquist plot 在浸漬之初為不完整的半圓，於第 30 日時形成被壓縮的半圓後，隨浸漬時間的增加曲線又趨於 45° 角的直線，顯示冬季試片金屬表面於長期浸漬後(>30 日)亦為擴散控制。由於金屬表面附著的海生物可視為海水中溶氧或氯離子的擴散障礙，且海生物的種類與生長速率將決定金屬表面海生物附著厚度的大小；若夏季時海生物的生長速率較快，初期海生物附著在試片表面的非均勻性、多孔性、或幾何效應改變，將會產生壓縮電流，造成被壓縮的半圓，但一旦海生物覆滿金屬表面，即擴散障礙形成，金屬表面反應則為擴散控制(diffusion control)。冬季時，優勢附著的海生物可能與夏季不同，對同一種附著生物而言，冬季生長速率與夏季生長速率應有所不同；冬季試片在浸漬 10 日前均無海生物附著(如照片 4.1、照片 4.2)，由銹層產生的擴散阻礙形成了不完整的壓縮半圓，但 30 日的試片已有海生物附著，以致被壓縮的半圓產生，隨浸漬時間的增加，附著海生物的厚度也增加， 45° 角直線的擴散控制於是形成。

4.6.9 316L 不銹鋼

不銹鋼在海洋環境中的應用有所限制，只有在金屬表面鈍化行為維持的情況下，才有抗蝕的功效；換句話說，無海生物附著的情況下，不銹鋼在流速較高的海水中會有較佳的抗蝕性，但在靜止的海水中，孔蝕般的局部腐蝕會造成材料破壞。為瞭解海生物對不銹鋼腐蝕之影響，316L 不銹鋼試片（大小為 20 mm× 20 mm× 0.5 mm，暴露面積為 4 cm²）亦以試片架固定，浸漬於高雄港#14 碼頭水深 3m 處，浸漬時間為 88 年 4 月 8 日起至 88 年 10 月止。圖 4.101 為 316L 在海水中腐蝕速率(以電荷交換電阻 R_{ct} 的倒數來表示腐蝕速率的大小)與浸漬時間之關係，與 SS41 試片相同，金屬在天然海水中的腐蝕速率大於人造海水中的腐蝕速率，但其腐蝕速率與 SS41 相較(圖 4.118)，相同的浸漬時間，僅為 SS41 腐蝕速率的千分之一或更小。圖 4.119 與圖 4.120 為 316L 不銹鋼試片在天然海水與人造海水中不同浸漬時間之 Nyquist plots 與 Bode plots。由於鈍態膜的產

生，各試片在海水中均是 diffusion control，且由 Bode plots 中 $|Z|$ 在最低頻率時的大小可以瞭解各試片的腐蝕速率並未因浸漬時間的不同，即海生物附著程度的不同而有顯著的差異。

4.7 海生物腐蝕防治建議

近年來美國電力研究所(Electric Power Research Institute, EPRI)致力研究控制腐蝕的方法，已結論出(1)材料選擇，(2)塗層控制，(3)除去環境中易造成腐蝕的物質，(4)利用腐蝕抑制劑，(5)執行現場腐蝕監測，和(6)建立腐蝕資料庫，可有效的控制金屬材料腐蝕¹；然而傳統上對於港工結構材料的防蝕方法，不外乎是塗裝、混凝土包覆、金屬熔射、和陰極防蝕。故綜合以上兩種觀念，對於海生物附著產生的腐蝕，處理方式建議如下：

1. 資料庫的建立

運用已有的腐蝕資料庫，配合目前曾經遭遇海生物腐蝕之案例，作更深入的資料搜集，加添環境中常用金屬材料可能遭受海生物腐蝕的可能性，以為日後材料選擇或替代的標準。其中參考因素包括(1)金屬的種類，(2)製造的方法，(3) 港工結構所在的環境(如海水的化性)，(4)金屬表面附著海生物的種類、結構、與特性，以及(5)金屬腐蝕的型態和腐蝕產物。此外，綜合以上的考慮，估量某一特定材料可以服務的年限，以及每年防蝕維護所須費用。

2. 腐蝕監測

執行長期現場腐蝕監測與實驗室的加速腐蝕試驗，評估金屬防蝕的適用性。其中考慮的參數包括(1)海水的化學性質，(2) 現場溫度與水流情形，和(3)海生物附著生長狀況。此外，利用現場腐蝕產物的分析、檢測，判定除了傳統已知的腐蝕因素外，是否有細菌和微生物參與腐蝕的過程。

3. 腐蝕的控制

當腐蝕的機理確定後，擬定適當的處理計劃，包括(1)機械性的清理

材料上的海生物與沉積物，(2)陰極防蝕控制，以及(3)防污塗料的塗裝。在防污塗料處理方面，選擇含有適當的殺菌劑(biocides)、細菌膜處理劑(biodispersants)、腐蝕抑制劑(corrosion inhibitors)、和沉積物控制劑(deposit control agents)的塗料，塗覆在港工結構物上。EPRI 建議，殺菌劑的種類有：

CHLORINE

HYPOCHLORITE(e.g., Sodium or calcium hypochlorite)

CHLORINE-DIOXIDE

BROMINE (Chlorinated)

BROMINE-CHLORIDE

HYDANTOIN (Halogenated)

HYDROGEN-PEROXIDE

OZONE

ALKYL-QUAT-AMINES

POLY-QUAT-AMINES

FATTY-DIAMINE-QUAT

COPPER-SALTS (e.g., Copper Sulfate)

TBTO (Tributyl Tin Oxide)

GLUTARALDEHYDE

PHENATES/CL-BR

ORGANO-SULFUR

METHYLENE-BISTHIOCYANATE

ISOTHIAZOLIN

DBNPA (Dibromo-nitrilo Propionamide)

B-BROMO-B-NSTYRENE(β -Bromo β -NitroStyrene)

DODECYL-GRANIDINE

2-TMB (2-{Thiocyanomethylthio}-benzo thiazole)

細菌膜處理劑有：

FATTY ACID AMIDES

NONIONIC EO-ADUCTS

ANIONIC-POLY-EO-ADUCTS

TANNIN-LIGNOSULFANATES

NAPHTHALENE-SULFANATES (Nonyl/phenonaphthalenesulfates)

ALKYL-SUCCINATES

腐蝕抑制劑包括：

CHROMATE

NITRITE (Borated)

SILICATES

ORTHOPHOSPHATE (Concentration as $\text{PO}_4^{=}$)

POLYPHOSPHATE (Concentration as $\text{PO}_4^{=}$)

PHOSPHONIC-ACID-SALTS (Concentration as acid)

PHOSPHATE-ESTERS

MOLYBDATES (Concentration as $\text{MO}_4^{=}$)

ZINC

2-MBT (2-mercaptobenzo thiazole)

BENZOTRIAZOLE

TOLYTRIAZOLE

沉積物分離劑：

POLYACRYLIC-ACID-SALTS (Concentration as acid)

POLYMETHACRYLATES

MALEIC-ANHYDRIDE-COPOLY (a copolymer)

POLYMALEIC-ANHYDRIDE

POLYCRYLATE-ACRYLAMIDE (copolymer;sulfonated styrene should provide similar results)

至於這些化學劑使用的濃度與間隔，則取決於現場的環境觀測與實驗室的先期試驗。

4.陰極防蝕之應用

鋼材在海洋環境中會因海生物的附著而加速腐蝕與劣化，其控制因素除了環境中生存的海生物外，伴隨的厭氧環境及環境中存在的厭氧性菌類，其在金屬表面與好氧性菌類的交互代謝作用，更加速腐蝕。由於在海水中進行陰極保護時，金屬所在附近的水溶液 pH 值會升高，以致鈣質沉積產生；而海生物附著在金屬表面時，其代謝物產生的酸性環境(金屬表面環境 pH 值降低)卻有利於細菌與微生物的生長；故推論利用陰極保護時鈣質沉積生成的特性，應可減緩細菌、微生物腐蝕的行為，若再藉由混合式定電壓與定電流法，讓具保護性的鈣質沉積先均勻覆蓋在金屬表面，則海生物無法直接著苗於金屬表面。因此，陰極防蝕不失為取代防污塗料以對抗細菌與微生物腐蝕的一種方法。然此沉積生成之影響因素(如水流速度、溫度、海水化性等)與其是否能有效抑制海生物附著所產生的腐蝕，目前還鮮有文獻參考，其間相關技術的研究發展，實有探討的重要性。

5.海水電解防污

電解海水防污是一種簡單安全而長效的防污方法，在國外已逐漸取代了施加液氯與使用防污塗料的防污方式，大量船舶和濱海電廠、濱海結構物都已應用。若設計合理，可以同時防污防腐，且對於防污塗料無法施工的結構物或管道有特殊的防污效果。其原理為利用有效氯(氯氣和次氯酸根)的特性殺死海生物；即在銅陽極、鋁陽極或特製的陽極上通過直流電，電解海水，達到防污目的。自然，若能將此技術與陰極防蝕技術相結合，則對鋼板樁與鋼管樁等海洋結構物的腐蝕控制，有其經濟上的效益。

表 4.1 歷年附著生物在不同碼頭、深度、材質與面向總乾溼重的比較

	碼頭間 ^a			深度 ^a			試片材質 ^a			試片方向 ^b	
	Max	Min	p 值	Max	Min	p 值	Max	Min	p 值	Max	p 值
總溼重	10#	33#	<0.01	6m	3m	<0.01	SS	SS/CP	<0.01	向光面	<0.01
總乾重	10#	33#	<0.01	6m	3m	<0.01	SS	SS/CP	<0.01	向光面	<0.01

a: Kruskal-Wallis test

b: Mann-Whitney test

Max 表示附著生物最大總乾濕重出現之處；

Min 表示附著生物最小乾溼重出現之處。

表中只列出附著生物總乾溼重有顯著差異時，最大與最小值出現之處。

四種材質分別為，

CM：未經飛灰處理混凝土試片；

HP：經飛灰處理混凝土試片；

SS：未經防蝕處理軋鋼試片；

SS/CP：經防蝕處理軋鋼試片。

表 4.2 歷年來藤壺在不同碼頭、深度、材質與面向附著數量與覆蓋面積的比較

	碼頭間 ^a			深度 ^a			試片材質 ^a			試片方向 ^b	
	Max	Min	p 值	Max	Min	p 值	Max	Min	p 值	Max	p 值
附著數量	10#	14#	<0.01	6m	3m	<0.01			0.07	向光面	<0.01
覆蓋面積	10#	33#	<0.01	6m	3m	<0.01	CM	SS	<0.01	向光面	<0.01

a: Kruskal-Wallis test

b: Mann-Whitney test

Max 表示藤壺最大附著數量或覆蓋面積出現之處；

Min 表示藤壺最小附著數量或覆蓋面積出現之處。

表中只列出藤壺附著數量或覆蓋面積有顯著差異時，最大與最小值出現之處。

四種材質分別為，

CM：未經飛灰處理混凝土試片；

HP：經飛灰處理混凝土試片；

SS：未經防蝕處理軋鋼試片；

SS/CP：經防蝕處理軋鋼試片。

表 4.3 歷年來華美盤管蟲在不同碼頭、深度、材質與面向附著數量與覆蓋面積的比較

	碼頭間 ^a			深度 ^a			試片材質 ^a			試片方向 ^b	
	Max	Min	p 值	Max	Min	p 值	Max	Min	p 值	Max	p 值
附著數量	51#	14#	<0.01			0.03	CM	SS	<0.01		0.05
覆蓋面積	51#	14#	<0.01	6m	0m	<0.01	SS/CP	SS	<0.01	向光面	<0.01

a: Kruskal-Wallis test

b: Mann-Whitney test

Max 表示華美盤管蟲最大附著數量或覆蓋面積出現之處；

Min 表示華美盤管蟲最小乾溼重出現之處。

表中只列出華美盤管蟲附著數量或覆蓋面積有顯著差異時，最大與最小值出現之處。四種材質分別為，

CM：未經飛灰處理混凝土試片；

HP：經飛灰處理混凝土試片；

SS：未經防蝕處理軋鋼試片；

SS/CP：經防蝕處理軋鋼試片。

表 4.4 總乾重與溼重(1996/11/20)

歷年總溼重(g)-向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1996/11/20	#10	0	380	100.63	265	45.84
1996/11/20		3	75.72	57.38	108.51	65.84
1996/11/20		6	150.75	99.53	116.5	53.93
1996/11/20	#14	0	27.48	73.42	155.81	37.77
1996/11/20		3	63.36	45.67	25.5	40.63
1996/11/20		6	26.93	59.51	25.13	31.24
1996/11/20	#33	0	63.31	73.77	36.52	44.33
1996/11/20		3	46.83	66.96	30.92	24.93
1996/11/20		6	45.64	59.29	48.34	52
1996/11/20	#51	0	38.43	36.21	38.06	40.14
1996/11/20		3	17.47	27.46	13.25	25.66
1996/11/20		6	44.37	25.83	33.56	33.26
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1996/11/20	#10	0	99.21	69	93.11	90.96
1996/11/20		3	31.5	67.77	25.02	22.64
1996/11/20		6	51.3	49.11	47.46	37.37
1996/11/20	#14	0	79.43	33.86	40.4	81.94
1996/11/20		3	19.45	42.31	12.68	16.29
1996/11/20		6	11.97	15.68	7.96	7.31
1996/11/20	#33	0	22.15	32.7	17.85	23.16
1996/11/20		3	15.78	26.74	10.25	22.78
1996/11/20		6	24.28	29.01	8.29	30.79
1996/11/20	#51	0	23.63	52.71	23.52	24.49
1996/11/20		3	15.38	16.51	23.89	10.22
1996/11/20		6	25.24	37.03	7.31	7.12
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.5 總乾重與溼重(1997/2/7)

歷年總溼重(g)-向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/2/7	#10	0	202.61	211.81	233.62	—
1997/2/7		3	117.76	117.41	73.41	—
1997/2/7		6	—	—	189.41	102.98
1997/2/7	#14	0	129.14	50.27	57.48	25.59
1997/2/7		3	88.83	64.84	18.71	11.5
1997/2/7		6	68.42	68.62	32.67	19.25
1997/2/7	#33	0	72.44	143.36	—	230.74
1997/2/7		3	—	116.71	62.89	—
1997/2/7		6	—	—	100.78	85.52
1997/2/7	#51	0	98.2	110.98	129.36	46.9
1997/2/7		3	34.13	43.74	89.297	45.68
1997/2/7		6	45.79	38.46	65.6	25.2
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/2/7	#10	0	—	102.69	119.3	—
1997/2/7		3	—	116.6	63.96	81.65
1997/2/7		6	—	81.03	—	94.49
1997/2/7	#14	0	38.53	38.06	26.58	26.45
1997/2/7		3	34.92	109.35	72.7	72.1
1997/2/7		6	40.33	37.67	50.16	54.67
1997/2/7	#33	0	74.54	122.87	63.32	36.88
1997/2/7		3	—	46.78	29.18	31.39
1997/2/7		6	27.11	—	37.56	43.04
1997/2/7	#51	0	128.43	161.15	84.06	88.32
1997/2/7		3	—	29.09	69.41	15.99
1997/2/7		6	41.41	29.22	40.32	12.91
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.6 總乾重與溼重(1997/11/20)

歷年總乾重與溼重(g)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1997/11/20	#10	0	80.6/42.99	153.86/105.74	171.97/101.76	97.92/61.3
1997/11/20		3	169.65/98.34	121.49/65.86	185.65/102.78	100.84/54.32
1997/11/20		6	228.2/152.87	153.67/95.05	149.19/95.39	120.23/74.87
1997/11/20	#14	0	161.6/97.05	175.26/94.44	131.31/79.29	166.09/113.09
1997/11/20		3	166.2/101.62	146.96/89.95	72.67/43.69	206.47/78.08
1997/11/20		6	188.74/102.42	215.93/115.87	156.66/94.85	94.02/52.92
1997/11/20	#33	0	174.54/90.02	205.86/140.25	72.16/45.00	149.32/57.17
1997/11/20		3	185.58/44.79	172.96/18.92	109.84/29.84	23.72/12.71
1997/11/20		6	60.34/17.36	35.76/32.15	99.24/68.23	37.67/24.52
1997/11/20	#51	0	111.64/27.23	163.22/29.51	168.01/40.93	114.5/18.56
1997/11/20		3	99.95/7.16	30.98/21.97	102.15/45.93	69.57/10.4
1997/11/20		6	69.01/11.8	70.95/16.58	168.05/67.28	144.9/23.18
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總乾重與溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1997/11/20	#10	0	60.43/34.93	96.36/48.41	66.03/35.77	43.52/21.36
1997/11/20		3	92.17/48.92	107.05/49.37	78.98/44.1	76.81/41.38
1997/11/20		6	120.86/88.42	108.83/90.34	112.99/73.48	79.49/48.77
1997/11/20	#14	0	132.79/65.78	108.26/54.15	60.27/34.52	61.12/30.52
1997/11/20		3	49.55/25.26	—/—	38.28/30.07	38.42/20.08
1997/11/20		6	104.01/51.35	128.61/50.75	62.65/36.91	23.44/15.4
1997/11/20	#33	0	130.25/59.66	89.84/41.97	30.01/30.58	33.46/20.28
1997/11/20		3	7.1/4.17	139.67/10.36	19.45/12.89	13.96/10.58
1997/11/20		6	29.32/20.54	35.63/27.81	58.63/38.63	28.17/19.17
1997/11/20	#51	0	37.04/17.85	179.1/27.09	149.25/9	78.12/15.98
1997/11/20		3	157.48/9.46	27.3/15.86	39.03/28.3	69.19/5.64
1997/11/20		6	131.86/15.29	90.74/14.34	79.4/26.4	78.86/17.09
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.7 總乾重與溼重(1998/5/5)

歷年總乾重與溼重(g)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1998/5/5	#10	0	104.55/53.05	97.39/50.32	83.16/46.57	70.63/35.13
1998/5/5		3	79.77/48.03	138.01/65.74	105.81/63.3	98.1/52.1
1998/5/5		6	235.93/159.29	211.12/155.39	219.93/138.98	179.47/99.32
1998/5/5	#14	0	45.41/24.12	62.77/34.33	67.69/42.87	60.5/34.42
1998/5/5		3	52.83/28.55	127.9/44.65	46.93/30.01	32.79/20.63
1998/5/5		6	—/—	—/—	—/—	—/—
1998/5/5	#33	0	48.95/12.74	32.21/17.34	67.16/38.88	18.38/9.27
1998/5/5		3	25.11/13.15	24.88/14.95	56.14/33.57	37.07/21.51
1998/5/5		6	179.69/41.37	97.46/64.56	72.05/45.41	105.67/56.9
1998/5/5	#51	0	58.5/33.34	55.56/33.22	115.43/75.29	65.54/38.02
1998/5/5		3	43.9/23.52	34.4/20.85	83.95/55.71	35.63/20.57
1998/5/5		6	42.02/25.07	56.64/36.07	61.3/43.18	41.79/26.27
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總乾重與溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1998/5/5	#10	0	108.54/56.1	119.52/66.7	111.51/61.66	66.97/39.28
1998/5/5		3	108.87/64.54	77.34/41.58	166.08/91.36	90.21/45.44
1998/5/5		6	226.8/154.8	205.34/134.34	197.84/128.19	159.16/99.49
1998/5/5	#14	0	75.4/42.04	173.93/39.71	118.82/71.97	65.04/35.94
1998/5/5		3	51.18/28.79	31.84/16.56	102.54/64.91	31.88/17.33
1998/5/5		6	—/—	—/—	—/—	—/—
1998/5/5	#33	0	30.59/15.19	42.81/19.9	56.1/31.2	63.47/31.75
1998/5/5		3	32.41/18.06	49.04/23.95	57.13/34.63	43.40/23.59
1998/5/5		6	53.78/30.74	85.27/50.45	81.13/48.07	94.67/57.11
1998/5/5	#51	0	72.1/41.93	63.05/32.64	97.27/63.74	37.38/23.28
1998/5/5		3	35.53/19.04	44.35/34.04	60.81/39.03	40.31/22.08
1998/5/5		6	74.17/43.64	54.16/33.87	118.46/78.25	53.84/31.85
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.8 總乾重與溼重(1998/11/21)

歷年總乾重與溼重(g)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1998/11/21	#10	0	91.64/152.96	129.09/170.36	82.54/168.96	144.55/239.16
1998/11/21		3	65.78/135.66	68.32/128.63	58.34/117.91	70.66/130.81
1998/11/21		6	1430.92/229.2	143.02/194.81	119.16/208.46	101.05/190.56
1998/11/21	#14	0	46.06/67.88	118.50/241.06	92.32/234.16	32.13/71.51
1998/11/21		3	62.12/151.31	66.00/145.96	100.27/177.91	71.93/191.36
1998/11/21		6	81.95/201.41	92.25/210.66	33.71/67.66	73.01/152.46
1998/11/21	#33	0	69.98/188.11	41.21/62.31	36.02/76.71	61.6/143.96
1998/11/21		3	31.73/72.86	21.34/52.51	56.98/106.01	35.56/86.11
1998/11/21		6	62.08/100.91	53.77/90.06	—/—	35.38/66.46
1998/11/21	#51	0	47.10/93.46	23.24/66.71	39.39/74.41	34.46/62.31
1998/11/21		3	30.72/82.41	41.45/106.16	61.66/115.21	24.00/68.16
1998/11/21		6	35.42/82.56	31.03/83.21	96.74/100.10	42.11/88.41
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總乾重與溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1998/11/21	#10	0	34.83/78.66	29.24/65.51	64.16/113.01	26.81/53.86
1998/11/21		3	36.66/74.16	55.41/109.76	34.94/62.41	36.04/67.36
1998/11/21		6	94.79/151.66	97.12/153.56	64.03/83.01	37.39/70.71
1998/11/21	#14	0	23.70/51.26	33.56/78.46	30.92/50.76	15.78/37.61
1998/11/21		3	36.31/81.96	25.16/51.71	21.77/33.31	23.37/49.71
1998/11/21		6	32.84/76.71	50.74/92.11	23.94/32.21	14.58/24.31
1998/11/21	#33	0	29.51/76.96	23.61/71.76	26.87/44.56	16.29/34.01
1998/11/21		3	18.62/38.51	13.67/32.41	34.34/61.36	21.42/283.56
1998/11/21		6	62.75/100.26	25.18/44.66	—/—	30.61/51.46
1998/11/21	#51	0	41.38/100.21	21.42/56.11	81.57/125.76	24.07/37.91
1998/11/21		3	34.79/81.46	19.41/54.81	99.12/152.16	15.67/32.16
1998/11/21		6	27.31/55.66	23.46/55.36	59.64/87.01	19.94/44.96
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.9 總乾重與溼重(1999/4/29)

歷年總乾重與溼重(g)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
1999/4/29	#10	0	235.7/100.29	670.37/79.42	359.54/153.57	182.48/92.71
1999/4/29		3	176.02/84.75	148.48/68.67	353.90/198.26	195.76/75.00
1999/4/29		6	253.07/146.47	298.09/152.11	459.56/364.71	233.53/147.37
1999/4/29	#14	0	75.02/34.66	73.11/23.54	202.25/114.88	42.88/19.15
1999/4/29		3	136.57/54.11	78.46/33.55	126.31/79.64	56.89/28.52
1999/4/29		6	—/—	—/—	—/—	—/—
1999/4/29	#33	0	27.11/12.79	57.21/25.53	123.76/79.35	92.96/42.17
1999/4/29		3	40.86/18.15	61.53/28.39	193.44/106.92	63.82/29.09
1999/4/29		6	170.39/41.91	123.16/66.56	168.37/110.30	157.64/82.22
1999/4/29	#51	0	116.175/43.76	99.17/41.41	178.81/106.83	118.99/45.56
1999/4/29		3	54.4/28.09	51.23/25.60	196.68/129.65	62.65/28.63
1999/4/29		6	69.69/37.72	76.45/47.45	102.33/65.15	67.67/39.99
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.10 總乾重與溼重(2000/3/2)

歷年總乾重與溼重(g)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
2000/3/2	#10	0	234.12/131.90	253.11/129.40	156.12/90.32	99.61/42.54
2000/3/2		3	158.77/84.90	92.60/49.17	53.11/27.95	88.97/52.04
2000/3/2		6	257.80/179.09	326.31/192.28	178.05/85.89	199.03/131.68
2000/3/2	#14	0	97.20/53.13	69.56/35.75	75.76/47.01	86.19/41.62
2000/3/2		3	86.77/85.81	—/—	201.81/142.57	—/—
2000/3/2		6	—/—	—/—	—/—	—/—
2000/3/2	#33	0	62.03/30.07	95.47/52.85	102.08/61.91	86.25/55.28
2000/3/2		3	211.65/132.41	—/—	—/—	—/—
2000/3/2		6	—/—	—/—	—/—	—/—
2000/3/2	#51	0	148.88/89.44	137.94/72.69	74.29/41.19	132.29/71.78
2000/3/2		3	87.25/45.46	53.64/32.42	133.87/88.43	73.82/39.64
2000/3/2		6	99.12/58.09	84.32/45.17	379.76/266.63	89.64/47.88
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總乾重與溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
2000/3/2	#10	0	233.42/122.95	200.4/6.96	155.14/106.05	96.4/49.28
2000/3/2		3	172.92/89.31	141.71/68.74	197.52/123.33	112.1/72.84
2000/3/2		6	240.62/160.78	292.87/157.14	173.15/84.34	101.05/61.52
2000/3/2	#14	0	118/69.79	81.91/41.18	79.45/27.54	55.39/29.89
2000/3/2		3	58.29/24.64	—/—	69.28/48.14	—/—
2000/3/2		6	—/—	—/—	—/—	—/—
2000/3/2	#33	0	54.07/24.73	75/33.65	53.21/36.48	68.54/36.27
2000/3/2		3	209.36/147.1	—/—	—/—	—/—
2000/3/2		6	—/—	—/—	—/—	—/—
2000/3/2	#51	0	76.98/38.91	96.66/49.71	184.87/115.16	90.36/45.96
2000/3/2		3	80.11/43.64	55.81/27.63	146.58/99.83	48.55/24.41
2000/3/2		6	102.05/63.06	79.29/45.41	201.12/148.05	40.11/25.54
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.11 總乾重與溼重(2000/10/4)

歷年總乾重與溼重(g)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
2000/10/4	#10	0	*	*	264.17/167.52	210.34/110.8
2000/10/4		3	*	*	—/—	179.68/108.91
2000/10/4		6	*	*	219.27/145.96	252.25/162.37
2000/10/4	#14	0	*	*	97.76/74.83	47.29/29.15
2000/10/4		3	*	*	104.02/81.75	63.11/40
2000/10/4		6	*	*	—/—	—/—
2000/10/4	#33	0	*	*	95.83/60.27	75.51/33.94
2000/10/4		3	*	*	255.32/172.76	71.25/38.61
2000/10/4		6	*	*	197.29/126.26	142.94/80.03
2000/10/4	#51	0	*	*	—/—	—/—
2000/10/4		3	*	*	—/—	—/—
2000/10/4		6	*	*	—/—	—/—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
歷年總乾重與溼重(g)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM(w/d)	HP(w/d)	SS(w/d)	SS/CP(w/d)
2000/10/4	#10	0	*	*	176.51/120	87.72/52.28
2000/10/4		3	*	*	—/—	103.02/55.72
2000/10/4		6	*	*	184.91/127.47	89.4/54.85
2000/10/4	#14	0	*	*	49.06/35.51	35.88/25.96
2000/10/4		3	*	*	38.28/29.36	31.67/20.29
2000/10/4		6	*	*	—/—	—/—
2000/10/4	#33	0	*	*	44.41/28.62	73.45/46.19
2000/10/4		3	*	*	125.26/88.43	50.12/28.38
2000/10/4		6	*	*	88.22/57.73	63.94/31.76
2000/10/4	#51	0	*	*	—/—	—/—
2000/10/4		3	*	*	—/—	—/—
2000/10/4		6	*	*	—/—	—/—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.12 管蟲附著數量(1996/11/20)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1996/11/20	#10	0	210	540	57	221
1996/11/20		3	980	500	1105	550
1996/11/20		6	420	550	380	700
1996/11/20	#14	0	250	152	71	540
1996/11/20		3	432	330	320	250
1996/11/20		6	521	431	210	400
1996/11/20	#33	0	400	150	220	250
1996/11/20		3	321	351	315	170
1996/11/20		6	581	380	721	650
1996/11/20	#51	0	321	50	450	400
1996/11/20		3	500	875	300	640
1996/11/20		6	400	340	254	500
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1996/11/20	#10	0	220	490	175	310
1996/11/20		3	560	400	121	155
1996/11/20		6	260	110	90	0
1996/11/20	#14	0	200	37	40	100
1996/11/20		3	210	70	110	70
1996/11/20		6	97	21	8	110
1996/11/20	#33	0	550	300	95	180
1996/11/20		3	471	210	211	130
1996/11/20		6	251	230	71	370
1996/11/20	#51	0	242	250	350	120
1996/11/20		3	400	310	150	440
1996/11/20		6	290	120	73	100
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.13 表管蟲附著數量(1997/2/7)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/2/7	#10	0	50	180	60	180
1997/2/7		3	250	248	230	250
1997/2/7		6	50	218	189	100
1997/2/7	#14	0	138	250	100	110
1997/2/7		3	180	180	80	121
1997/2/7		6	210	180	30	113
1997/2/7	#33	0	200	70	120	190
1997/2/7		3	120	552	80	180
1997/2/7		6	320	280	193	220
1997/2/7	#51	0	130	60	130	—
1997/2/7		3	300	160	80	110
1997/2/7		6	250	90	120	150
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/2/7	#10	0	130	150	59	200
1997/2/7		3	180	133	120	100
1997/2/7		6	60	215	150	50
1997/2/7	#14	0	180	250	80	110
1997/2/7		3	150	143	40	89
1997/2/7		6	180	200	20	60
1997/2/7	#33	0	220	150	110	120
1997/2/7		3	200	532	130	150
1997/2/7		6	200	150	88	172
1997/2/7	#51	0	100	59	49	—
1997/2/7		3	180	130	100	41
1997/2/7		6	150	130	153	150
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.14 管蟲附著數量(1997/11/20)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/20	#10	0	35	50	30	55
1997/11/20		3	45	60	90	95
1997/11/20		6	20	40	50	15
1997/11/20	#14	0	60	30	50	55
1997/11/20		3	30	20	26	30
1997/11/20		6	40	30	20	50
1997/11/20	#33	0	0	10	15	30
1997/11/20		3	180	110	60	90
1997/11/20		6	80	160	40	120
1997/11/20	#51	0	170	90	90	180
1997/11/20		3	260	280	130	240
1997/11/20		6	180	120	115	170
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/20	#10	0	70	75	55	100
1997/11/20		3	55	60	55	110
1997/11/20		6	40	20	35	25
1997/11/20	#14	0	55	60	55	60
1997/11/20		3	60	110	30	—
1997/11/20		6	45	70	30	70
1997/11/20	#33	0	40	30	0	30
1997/11/20		3	110	80	80	80
1997/11/20		6	100	60	40	70
1997/11/20	#51	0	90	70	170	120
1997/11/20		3	250	180	115	160
1997/11/20		6	90	70	130	115
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.15 管蟲附著數量(1998/5/5)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/5/5	#10	0	145	90	95	95
1998/5/5		3	230	120	100	95
1998/5/5		6	50	100	105	180
1998/5/5	#14	0	90	160	5	160
1998/5/5		3	100	210	25	110
1998/5/5		6	—	—	—	—
1998/5/5	#33	0	45	100	20	90
1998/5/5		3	170	170	80	165
1998/5/5		6	80	190	140	30
1998/5/5	#51	0	370	230	55	350
1998/5/5		3	230	240	170	250
1998/5/5		6	230	185	110	230
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/5/5	#10	0	90	80	120	120
1998/5/5		3	210	100	70	80
1998/5/5		6	45	80	70	145
1998/5/5	#14	0	140	130	5	25
1998/5/5		3	100	95	20	50
1998/5/5		6	—	—	—	—
1998/5/5	#33	0	125	80	25	55
1998/5/5		3	170	110	60	80
1998/5/5		6	70	70	80	80
1998/5/5	#51	0	180	190	180	220
1998/5/5		3	160	115	105	150
1998/5/5		6	170	95	200	135
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.16 管蟲附著數量(1998/11/21)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	105	70	35	30
1998/11/21		3	200	30	170	30
1998/11/21		6	30	160	100	90
1998/11/21	#14	0	90	60	5	20
1998/11/21		3	55	105	5	45
1998/11/21		6	250	100	70	25
1998/11/21	#33	0	70	20	5	70
1998/11/21		3	120	60	20	90
1998/11/21		6	45	130	120	80
1998/11/21	#51	0	80	130	190	180
1998/11/21		3	170	120	45	30
1998/11/21		6	130	170	80	30
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	25	20	20	20
1998/11/21		3	80	170	25	150
1998/11/21		6	25	35	130	20
1998/11/21	#14	0	400	80	5	15
1998/11/21		3	40	210	30	30
1998/11/21		6	80	30	30	60
1998/11/21	#33	0	30	80	3	50
1998/11/21		3	55	100	35	80
1998/11/21		6	25	70	35	180
1998/11/21	#51	0	60	150	100	70
1998/11/21		3	70	80	20	50
1998/11/21		6	30	80	50	50
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.17 管蟲附著數量(1999/4/29)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/29	#10	0	220	130	120	170
1999/4/29		3	170	50	80	150
1999/4/29		6	50	60	50	20
1999/4/29	#14	0	180	120	30	30
1999/4/29		3	30	90	20	50
1999/4/29		6	—	—	—	—
1999/4/29	#33	0	60	160	50	150
1999/4/29		3	90	80	55	170
1999/4/29		6	220	120	80	120
1999/4/29	#51	0	300	290	280	450
1999/4/29		3	150	280	135	190
1999/4/29		6	170	130	60	120
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/29	#10	0	150	80	100	80
1999/4/29		3	50	70	50	80
1999/4/29		6	20	180	30	25
1999/4/29	#14	0	50	100	20	30
1999/4/29		3	70	15	8	20
1999/4/29		6	—	—	—	—
1999/4/29	#33	0	80	100	40	50
1999/4/29		3	80	75	30	50
1999/4/29		6	110	50	50	80
1999/4/29	#51	0	80	180	120	300
1999/4/29		3	70	180	80	120
1999/4/29		6	120	150	30	70
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.18 管蟲附著數量(2000/3/2)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	120	95	75	80
2000/3/2		3	80	145	92	55
2000/3/2		6	70	45	45	40
2000/3/2	#14	0	—	35	8	75
2000/3/2		3	—	—	5	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	95	102	—	35
2000/3/2		3	10	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	150	95	95	80
2000/3/2		3	130	120	50	150
2000/3/2		6	90	120	65	130
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	80	40	50	70
2000/3/2		3	30	75	37	70
2000/3/2		6	35	25	40	15
2000/3/2	#14	0	—	70	18	21
2000/3/2		3	—	—	8	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	85	55	—	—
2000/3/2		3	20	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	90	80	80	70
2000/3/2		3	100	80	0	80
2000/3/2		6	30	100	35	90
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.19 管蟲附著數量(2000/10/4)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	40	0
2000/10/4		3	*	*	0	30
2000/10/4		6	*	*	70	30
2000/10/4	#14	0	*	*	10	40
2000/10/4		3	*	*	0	20
2000/10/4		6	*	*	0	0
2000/10/4	#33	0	*	*	35	75
2000/10/4		3	*	*	60	85
2000/10/4		6	*	*	70	40
2000/10/4	#51	0	*	*	0	0
2000/10/4		3	*	*	0	0
2000/10/4		6	*	*	0	0
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著的數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	0	0
2000/10/4		3	*	*	0	25
2000/10/4		6	*	*	20	25
2000/10/4	#14	0	*	*	5	40
2000/10/4		3	*	*	0	25
2000/10/4		6	*	*	0	0
2000/10/4	#33	0	*	*	40	40
2000/10/4		3	*	*	20	50
2000/10/4		6	*	*	10	50
2000/10/4	#51	0	*	*	0	0
2000/10/4		3	*	*	0	0
2000/10/4		6	*	*	0	0
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.20 管蟲附著面積(1996/11/20)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1996/11/20	#10	0	51.5	160	65	120
1996/11/20		3	352	246	285	143
1996/11/20		6	57	213	250	300
1996/11/20	#14	0	144	125	15	123
1996/11/20		3	115	80	32	200
1996/11/20		6	160	280	140	87
1996/11/20	#33	0	36	10	5	200
1996/11/20		3	205	112	38	87
1996/11/20		6	216	210	216	300
1996/11/20	#51	0	53	4	288	213.25
1996/11/20		3	370	360	200	335
1996/11/20		6	335	137	320	178
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1996/11/20	#10	0	18	96	165	155
1996/11/20		3	272	203	120	75
1996/11/20		6	55	20	45	173
1996/11/20	#14	0	70	55	10	30
1996/11/20		3	75	36	25	8
1996/11/20		6	75	35	40	35
1996/11/20	#33	0	250	153	52	197
1996/11/20		3	300	75	52	38
1996/11/20		6	128	125	35	288
1996/11/20	#51	0	165	72	245	42
1996/11/20		3	321	244	163	119
1996/11/20		6	172	17	25	61
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.21 表管蟲附著面積(1997/2/7)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/2/7	#10	0	32	57	62	77
1997/2/7		3	332	213	312	322
1997/2/7		6	11	210	97	117
1997/2/7	#14	0	114	300	50	211
1997/2/7		3	172	8	146	51
1997/2/7		6	192	275	18	130
1997/2/7	#33	0	55	72	121	121
1997/2/7		3	254	300	133	171
1997/2/7		6	333	257	241	351
1997/2/7	#51	0	62	31	136	0
1997/2/7		3	352	318	111	341
1997/2/7		6	323	111	212	107
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/2/7	#10	0	113	70	124	135
1997/2/7		3	232	236	120	113
1997/2/7		6	22	83	33	132
1997/2/7	#14	0	175	123	120	133
1997/2/7		3	213	188	77	107
1997/2/7		6	70	230	11	76
1997/2/7	#33	0	195	89	122	221
1997/2/7		3	221	254	124	185
1997/2/7		6	313	172	73	177
1997/2/7	#51	0	76	30	223	0
1997/2/7		3	348	273	120	114
1997/2/7		6	233	124	178	173
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.22 管蟲附著面積(1997/11/20)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/20	#10	0	73	120	110	221
1997/11/20		3	130	140	282	232
1997/11/20		6	73	120	73	130
1997/11/20	#14	0	52	72	20	72
1997/11/20		3	22	32	170	22
1997/11/20		6	42	33	82	31
1997/11/20	#33	0	52	2	54	37
1997/11/20		3	280	120	140	310
1997/11/20		6	240	290	170	320
1997/11/20	#51	0	240	130	310	312
1997/11/20		3	330	350	327	380
1997/11/20		6	370	320	322	364
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/20	#10	0	83	230	170	179
1997/11/20		3	112	120	244	322
1997/11/20		6	120	87	77	143
1997/11/20	#14	0	82	77	20	110
1997/11/20		3	140	92	43	78
1997/11/20		6	72	82	44	110
1997/11/20	#33	0	44	110	2	110
1997/11/20		3	140	240	170	170
1997/11/20		6	310	170	210	240
1997/11/20	#51	0	190	170	270	160
1997/11/20		3	321	360	232	360
1997/11/20		6	270	280	331	302
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.23 管蟲附著面積(1998/5/5)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/5/5	#10	0	100	330	350	280
1998/5/5		3	380	280	370	330
1998/5/5		6	100	230	200	300
1998/5/5	#14	0	350	250	10	170
1998/5/5		3	230	220	150	350
1998/5/5		6	—	—	—	—
1998/5/5	#33	0	50	130	100	330
1998/5/5		3	310	370	250	380
1998/5/5		6	230	200	370	300
1998/5/5	#51	0	180	230	330	380
1998/5/5		3	320	380	300	380
1998/5/5		6	250	330	370	360
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/5/5	#10	0	230	290	200	330
1998/5/5		3	350	210	200	200
1998/5/5		6	200	250	220	220
1998/5/5	#14	0	280	300	10	200
1998/5/5		3	300	220	50	300
1998/5/5		6	—	—	—	—
1998/5/5	#33	0	180	100	200	250
1998/5/5		3	310	280	200	300
1998/5/5		6	280	200	280	330
1998/5/5	#51	0	300	250	230	220
1998/5/5		3	330	250	130	300
1998/5/5		6	210	310	280	200
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.24 管蟲附著面積(1998/11/21)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	15	15	10	10
1998/11/21		3	30	25	30	20
1998/11/21		6	20	20	15	—
1998/11/21	#14	0	15	15	6	15
1998/11/21		3	20	15	5	10
1998/11/21		6	20	10	5	20
1998/11/21	#33	0	20	8	5	15
1998/11/21		3	35	20	25	50
1998/11/21		6	25	25	—	70
1998/11/21	#51	0	30	40	60	70
1998/11/21		3	20	20	25	35
1998/11/21		6	20	15	20	20
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	20	30	5	10
1998/11/21		3	20	25	20	20
1998/11/21		6	20	20	15	—
1998/11/21	#14	0	60	15	5	15
1998/11/21		3	20	15	10	15
1998/11/21		6	10	25	7	10
1998/11/21	#33	0	20	15	5	15
1998/11/21		3	25	30	25	45
1998/11/21		6	15	20	—	40
1998/11/21	#51	0	30	40	60	30
1998/11/21		3	20	25	25	20
1998/11/21		6	10	20	10	20
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.25 管蟲附著面積(1999/4/21)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/21	#10	0	40	80	70	60
1999/4/21		3	70	50	50	70
1999/4/21		6	5	10	5	20
1999/4/21	#14	0	30	90	5	8
1999/4/21		3	20	30	5	20
1999/4/21		6	—	—	—	—
1999/4/21	#33	0	20	50	20	45
1999/4/21		3	45	60	30	10
1999/4/21		6	40	70	30	30
1999/4/21	#51	0	75	75	70	70
1999/4/21		3	80	60	0	70
1999/4/21		6	0	70	70	80
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/21	#10	0	30	50	70	30
1999/4/21		3	60	50	25	50
1999/4/21		6	5	20	30	15
1999/4/21	#14	0	30	30	5	5
1999/4/21		3	20	15	3	15
1999/4/21		6	—	—	—	—
1999/4/21	#33	0	15	45	20	20
1999/4/21		3	40	40	20	20
1999/4/21		6	25	60	10	15
1999/4/21	#51	0	60	60	60	60
1999/4/21		3	60	50	0	50
1999/4/21		6	0	60	50	50
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.26 管蟲附著面積(2000/3/2)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	55	55	35	65
2000/3/2		3	55	65	55	70
2000/3/2		6	10	10	15	10
2000/3/2	#14	0	10	10	10	5
2000/3/2		3	—	—	2	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	50	75	—	30
2000/3/2		3	10	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	65	60	45	60
2000/3/2		3	70	60	10	65
1996/3/2		6	50	65	45	70
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	10	40	40	0
2000/3/2		3	45	70	50	35
2000/3/2		6	10	30	20	15
2000/3/2	#14	0	50	15	3	60
2000/3/2		3	—	—	3	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	55	35	—	0
2000/3/2		3	10	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	70	45	50	70
2000/3/2		3	70	50	0	60
1996/3/2		6	30	70	30	65
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片 SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.27 管蟲附著面積(2000/10/4)

高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	90	150
2000/10/4		3	*	*	0	150
2000/10/4		6	*	*	220	170
2000/10/4	#14	0	*	*	30	80
2000/10/4		3	*	*	0	85
2000/10/4		6	*	*	0	0
2000/10/4	#33	0	*	*	70	120
2000/10/4		3	*	*	250	170
2000/10/4		6	*	*	100	210
2000/10/4	#51	0	*	*	0	0
2000/10/4		3	*	*	0	0
2000/10/4		6	*	*	0	0
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
高雄港各碼頭試片上管蟲附著面積 (cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	90	100
2000/10/4		3	*	*	0	30
2000/10/4		6	*	*	80	70
2000/10/4	#14	0	*	*	10	100
2000/10/4		3	*	*	0	50
2000/10/4		6	*	*	0	0
2000/10/4	#33	0	*	*	80	55
2000/10/4		3	*	*	50	100
2000/10/4		6	*	*	30	20
2000/10/4	#51	0	*	*	0	0
2000/10/4		3	*	*	0	0
2000/10/4		6	*	*	0	0
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.28 藤壺數量(1997/11/5)

藤壺歷年數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/5	#10	0	165	105	76.85	108.5
1997/11/5		3	80	67.5	47.5	60
1997/11/5		6	155	120	105	95
1997/11/5	#14	0	30	30	11	7
1997/11/5		3	10	25	15	43
1997/11/5		6	20	20	27.5	80
1997/11/5	#33	0	10	55	—	37.5
1997/11/5		3	10	15	40	32.5
1997/11/5		6	25	42.5	75	32.5
1997/11/5	#51	0	90	142.5	52.5	62.5
1997/11/5		3	5	5	11.5	—
1997/11/5		6	10	16	35	17.5
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/5	#10	0	65	22.5	37.5	35
1997/11/5		3	47.5	37.5	45	27.5
1997/11/5		6	75	55	62.5	72.5
1997/11/5	#14	0	15	15	5	6.5
1997/11/5		3	25	15	7.5	5
1997/11/5		6	3	6	22.5	37.5
1997/11/5	#33	0	5	5	—	15
1997/11/5		3	5	15	20	20
1997/11/5		6	17.5	40	22.5	47.5
1997/11/5	#51	0	80	72.5	52.5	60
1997/11/5		3	—	12	2	5
1997/11/5		6	12.5	15	15	9
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.29 藤壺數量(1998/11/21)

藤壺歷年數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	25	18	7.5	10.5
1998/11/21		3	47.5	30	26	22.5
1998/11/21		6	67.5	95	92.5	58.5
1998/11/21	#14	0	10	20	30	27.5
1998/11/21		3	10	12.5	7.5	7.5
1998/11/21		6	10	6.5	9	9
1998/11/21	#33	0	10	50	10	20
1998/11/21		3	12.5	5	17.5	17.5
1998/11/21		6	15	29	22.5	60
1998/11/21	#51	0	110	25	57.5	110
1998/11/21		3	—	—	—	—
1998/11/21		6	20	—	11.5	25
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	14	11	12.5	23.5
1998/11/21		3	8.5	22	10	10
1998/11/21		6	11	62.5	47.5	30
1998/11/21	#14	0	15	7.5	7.5	52.5
1998/11/21		3	5	6	5	30
1998/11/21		6	11	7.5	9	25
1998/11/21	#33	0	15	11.5	—	16
1998/11/21		3	40	7.5	—	5.5
1998/11/21		6	22.5	9.5	35	5
1998/11/21	#51	0	85	15	35	135
1998/11/21		3	3	—	—	5
1998/11/21		6	7.5	3	22.5	9
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.30 藤壺數量(1999/4/29)

藤壺歷年數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/29	#10	0	37.5	27.5	27.5	20
1999/4/29		3	17.5	20	16	32.5
1999/4/29		6	75	22.5	17.5	65
1999/4/29	#14	0	35	—	20	5
1999/4/29		3	15	10	3	12.5
1999/4/29		6	—	—	—	—
1999/4/29	#33	0	6	10	3	12.5
1999/4/29		3	8	10	18.5	5
1999/4/29		6	6	5	15	16
1999/4/29	#51	0	32.5	67.5	47.5	37.5
1999/4/29		3	—	5	5	—
1999/4/29		6	6.5	7	6.5	7.5
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/29	#10	0	35	17.5	30	25
1999/4/29		3	25	12.5	15	15
1999/4/29		6	25	22.5	30	32.5
1999/4/29	#14	0	10	—	—	—
1999/4/29		3	6.5	—	2	5
1999/4/29		6	—	—	—	—
1999/4/29	#33	0	2	5	6.5	2
1999/4/29		3	1	10	3	8.5
1999/4/29		6	17.5	30	13.5	25
1999/4/29	#51	0	25	52.5	22.5	40
1999/4/29		3	—	6.5	—	4
1999/4/29		6	4	5.5	5	5
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.31 藤壺數量(2000/3/2)

藤壺歷年數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	45	51.5	8	13
2000/3/2		3	45	11	35	5
2000/3/2		6	55	28.5	53.5	39
2000/3/2	#14	0	30.5	6	38.5	16.5
2000/3/2		3	—	—	48.5	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	15.5	24	5	9
2000/3/2		3	15	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	4	15	12.5	20
2000/3/2		3	5	2	3	—
2000/3/2		6	6.5	6.5	9	12.5
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	39	32.5	3	15
2000/3/2		3	30	15.5	6.5	3
2000/3/2		6	27.5	20	30	47.5
2000/3/2	#14	0	5.5	21.5	8	6.5
2000/3/2		3	—	—	10	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	10	12	8	13
2000/3/2		3	20	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	5	9	7.5	27.5
2000/3/2		3	2	—	—	3
2000/3/2		6	3	5	4	3
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.32 藤壺數量(2000/10/4)

藤壺歷年數量--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	40	50
2000/10/4		3	*	*	—	45
2000/10/4		6	*	*	57.5	70
2000/10/4	#14	0	*	*	32.5	45
2000/10/4		3	*	*	70	62.5
2000/10/4		6	*	*	—	—
2000/10/4	#33	0	*	*	12	50
2000/10/4		3	*	*	37.5	22.5
2000/10/4		6	*	*	80	35
2000/10/4	#51	0	*	*	—	—
2000/10/4		3	*	*	—	—
2000/10/4		6	*	*	—	—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年數量--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	17.5	35
2000/10/4		3	*	*	—	25
2000/10/4		6	*	*	11	25
2000/10/4	#14	0	*	*	5	50
2000/10/4		3	*	*	5	18
2000/10/4		6	*	*	—	—
2000/10/4	#33	0	*	*	5	37.5
2000/10/4		3	*	*	6	10
2000/10/4		6	*	*	2	22.5
2000/10/4	#51	0	*	*	—	—
2000/10/4		3	*	*	—	—
2000/10/4		6	*	*	—	—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.33 藤壺覆蓋面積(1997/11/5)

藤壺歷年覆蓋面積(cm ²)--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/5	#10	0	121.5	136	168	146.5
1997/11/5		3	162.5	96.5	122	26.5
1997/11/5		6	190	150	146	82
1997/11/5	#14	0	76.5	59	57.5	50.5
1997/11/5		3	31.5	49.5	24	76
1997/11/5		6	26.5	21	52.5	76
1997/11/5	#33	0	10	46.5	27	76
1997/11/5		3	19	34.5	46.5	57
1997/11/5		6	21	37.5	91	27.5
1997/11/5	#51	0	120	130	52	55
1997/11/5		3	5	2	7.5	—
1997/11/5		6	7.5	16.5	18	14
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年覆蓋面積(cm ²)--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1997/11/5	#10	0	91.5	58	81	53
1997/11/5		3	145.5	58	60.5	29
1997/11/5		6	161.5	86	80	54
1997/11/5	#14	0	7.5	41.5	21	19.5
1997/11/5		3	28	31.5	14	45
1997/11/5		6	27.5	26.5	32	58
1997/11/5	#33	0	12	11	—	42
1997/11/5		3	101	53	12	32
1997/11/5		6	39.5	67	34.5	59.5
1997/11/5	#51	0	126	142.5	47	122
1997/11/5		3	—	12.5	5	3
1997/11/5		6	8	17.5	17	37
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.34 藤壺覆蓋面積(1998/11/21)

藤壺歷年覆蓋面積--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	50	40	40	20
1998/11/21		3	90	50	50	50
1998/11/21		6	140	140	140	40
1998/11/21	#14	0	16	30	36	30
1998/11/21		3	26	16	20	20
1998/11/21		6	40	22	20	74
1998/11/21	#33	0	20	16	20	40
1998/11/21		3	40	40	60	40
1998/11/21		6	120	70	—	40
1998/11/21	#51	0	90	40	50	70
1998/11/21		3	20	—	30	20
1998/11/21		6	30	20	30	40
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年覆蓋面積--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1998/11/21	#10	0	20	50	40	40
1998/11/21		3	40	50	40	20
1998/11/21		6	70	100	80	40
1998/11/21	#14	0	30	40	20	70
1998/11/21		3	24	20	22	50
1998/11/21		6	26	26	40	70
1998/11/21	#33	0	30	20	20	50
1998/11/21		3	50	30	30	30
1998/11/21		6	100	20	—	100
1998/11/21	#51	0	80	50	50	100
1998/11/21		3	12	—	20	30
1998/11/21		6	26	20	30	30
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.35 藤壺覆蓋面積(1999/4/29)

藤壺歷年覆蓋面積--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/29	#10	0	50	50	50	60
1999/4/29		3	40	50	50	50
1999/4/29		6	200	120	70	120
1999/4/29	#14	0	40	20	20	—
1999/4/29		3	40	60	30	30
1999/4/29		6	—	—	—	—
1999/4/29	#33	0	40	20	20	56
1999/4/29		3	36	30	30	20
1999/4/29		6	30	36	90	70
1999/4/29	#51	0	30	30	30	60
1999/4/29		3	—	20	—	—
1999/4/29		6	40	46	20	30
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年覆蓋面積--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
1999/4/29	#10	0	130	50	40	40
1999/4/29		3	70	40	46	40
1999/4/29		6	90	190	80	80
1999/4/29	#14	0	—	20	—	20
1999/4/29		3	26	—	20	20
1999/4/29		6	—	—	—	—
1999/4/29	#33	0	32	32	40	20
1999/4/29		3	20	40	40	20
1999/4/29		6	40	40	56	60
1999/4/29	#51	0	56	30	30	60
1999/4/29		3	—	20	—	20
1999/4/29		6	20	26	26	—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.36 藤壺覆蓋面積(2000/3/2)

藤壺歷年覆蓋面積--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	94	62	60	80
2000/3/2		3	110	60	90	40
2000/3/2		6	120	30	80	60
2000/3/2	#14	0	80	14	90	30
2000/3/2		3	—	—	90	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	60	60	20	20
2000/3/2		3	20	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	14	60	40	40
2000/3/2		3	20	20	100	—
2000/3/2		6	40	20	40	170
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年覆蓋面積--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/3/2	#10	0	140	60	20	20
2000/3/2		3	100	30	20	20
2000/3/2		6	60	30	60	70
2000/3/2	#14	0	16	40	20	14
2000/3/2		3	—	—	30	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#33	0	60	28	12	40
2000/3/2		3	—	—	—	—
2000/3/2		6	—	—	—	—
2000/3/2	#51	0	20	40	20	80
2000/3/2		3	4	—	—	12
2000/3/2		6	30	30	12	150
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.37 藤壺覆蓋面積(2000/10/4)

藤壺歷年覆蓋面積--向光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	20	10
2000/10/4		3	*	*	—	12.5
2000/10/4		6	*	*	27.5	40
2000/10/4	#14	0	*	*	35	32.5
2000/10/4		3	*	*	45	45
2000/10/4		6	*	*	—	—
2000/10/4	#33	0	*	*	10	35
2000/10/4		3	*	*	12.5	27.5
2000/10/4		6	*	*	25	20
2000/10/4	#51	0	*	*	—	—
2000/10/4		3	*	*	—	—
2000/10/4		6	*	*	—	—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						
藤壺歷年覆蓋面積--背光面						
Time	Port	Depth(m)	CM	HP	SS	SS/CP
2000/10/4	#10	0	*	*	12.5	15
2000/10/4		3	*	*	—	10
2000/10/4		6	*	*	7.5	5
2000/10/4	#14	0	*	*	5	25
2000/10/4		3	*	*	10	20
2000/10/4		6	*	*	—	—
2000/10/4	#33	0	*	*	5	17.5
2000/10/4		3	*	*	6	8.5
2000/10/4		6	*	*	5	10
2000/10/4	#51	0	*	*	—	—
2000/10/4		3	*	*	—	—
2000/10/4		6	*	*	—	—
試片面積：20 X 20 (cm ²)；—：missing data；*：未取樣						
CM：未加入飛灰處理的混凝土材質試片 HP：加入飛灰處理的混凝土材質試片						
SS：未經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片SS/CP：經陰極防蝕處理的軋鋼材質試片						

表 4.38 高雄港水質分析(89 年 3 月 2 日)

地點	項目 水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (mho/cm)	溶氧量 (mg/l)	酸鹼度 (pH 值)	水溫 (°C)	氯離子 (ppm)
10 號 碼 頭	0	32.9	51.3	3.3	7.87	23.1	23561
	-3	32.9	51.2	3.6	7.93	23.2	24870
	-6	32.8	51.0	4.0	7.94	23.3	19608
	平均	32.9	51.2	3.7	7.91	23.2	22680
14 號 碼 頭	0	31.9	49.4	3.3	7.79	23.6	24910
	-3	32.7	50.6	3.7	7.88	23.6	22324
	-6	33.0	51.2	4.0	7.95	23.5	21462
	平均	32.6	50.5	3.7	7.88	24.3	22899
33 號 碼 頭	0	31.9	49.2	4.3	7.78	24.1	21912
	-3	32.8	50.4	5.1	7.91	23.9	22337
	-6	33.0	51.0	5.1	7.97	24.1	24173
	平均	32.6	50.3	4.8	7.90	24.1	22029
51 號 碼 頭	0	33.1	51.2	5.8	7.96	23.6	24656
	-3	33.1	51.1	5.8	7.98	23.6	20539
	-6	33.1	51.3	5.1	7.99	23.6	22069
	平均	33.1	51.2	5.6	7.98	23.6	22013

表 4.39 高雄港水質分析(89 年 10 月 4 日)

地點	項目 水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (mho/cm)	溶氧量 (mg/l)	酸鹼度 (pH 值)	水溫 (℃)	氯離子 (ppm)
10 號 碼 頭	0	32.4	49370	3.81	7.52	30.2	20537
	-3	32.5	49650	3.41	7.58	29.6	19210
	-6	32.6	49600	3.93	7.63	29.3	19113
	平均	32.5	49540	3.72	7.57	29.7	19620
14 號 碼 頭	0	30.7	48730	3.82	7.40	30.1	18053
	-3	32.6	49350	3.94	7.44	29.6	18423
	-6	32.7	49580	4.32	7.50	29.5	19186
	平均	32.0	49220	4.03	7.44	29.7	18554
33 號 碼 頭	0	31.8	49550	3.63	7.46	30.9	19320
	-3	32.0	45120	3.82	7.52	30.3	19893
	-6	32.7	45710	3.92	7.59	29.7	20643
	平均	32.2	46793	3.79	7.52	30.3	19952
51 號 碼 頭	0	32.4	48420	3.48	7.46	29.5	20865
	-3	32.4	49320	3.70	7.55	29.5	21237
	-6	32.6	45710	4.19	7.57	29.3	22003
	平均	32.4	47817	3.79	7.52	29.4	21368

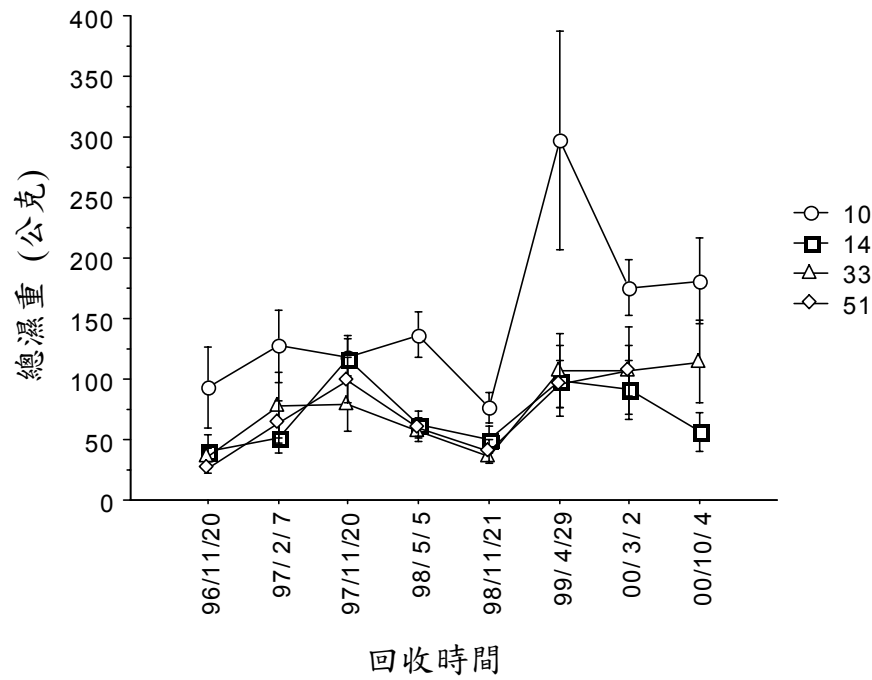


圖 4.1 附著生物總濕重隨時間在不同碼頭間的變化。誤差線表示 95%的信賴區間

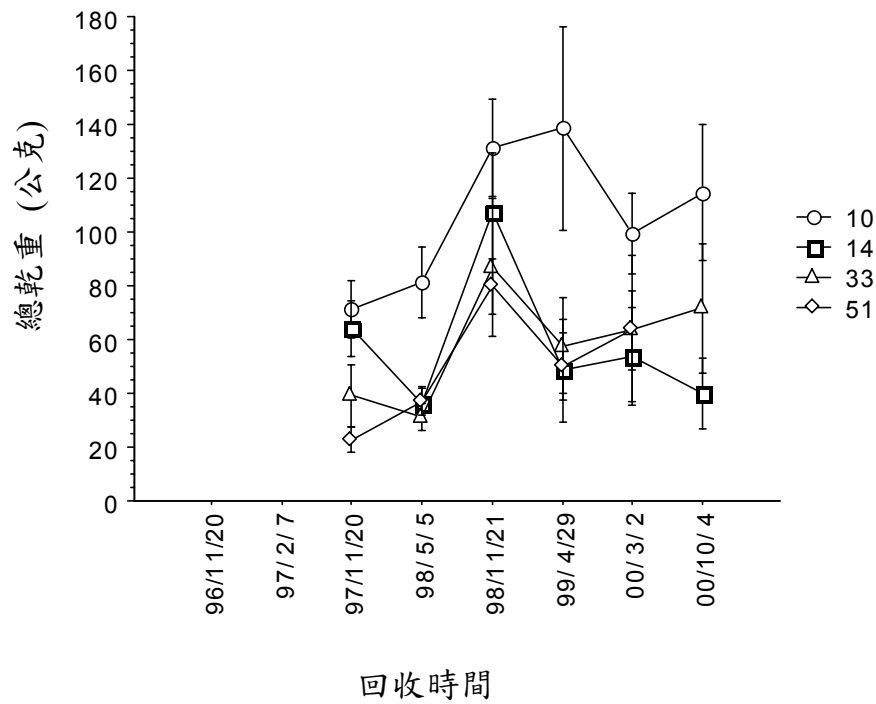


圖 4.2 附著生物總乾重隨時間在不同碼頭間的變化。誤差線表示 95%的信賴區間

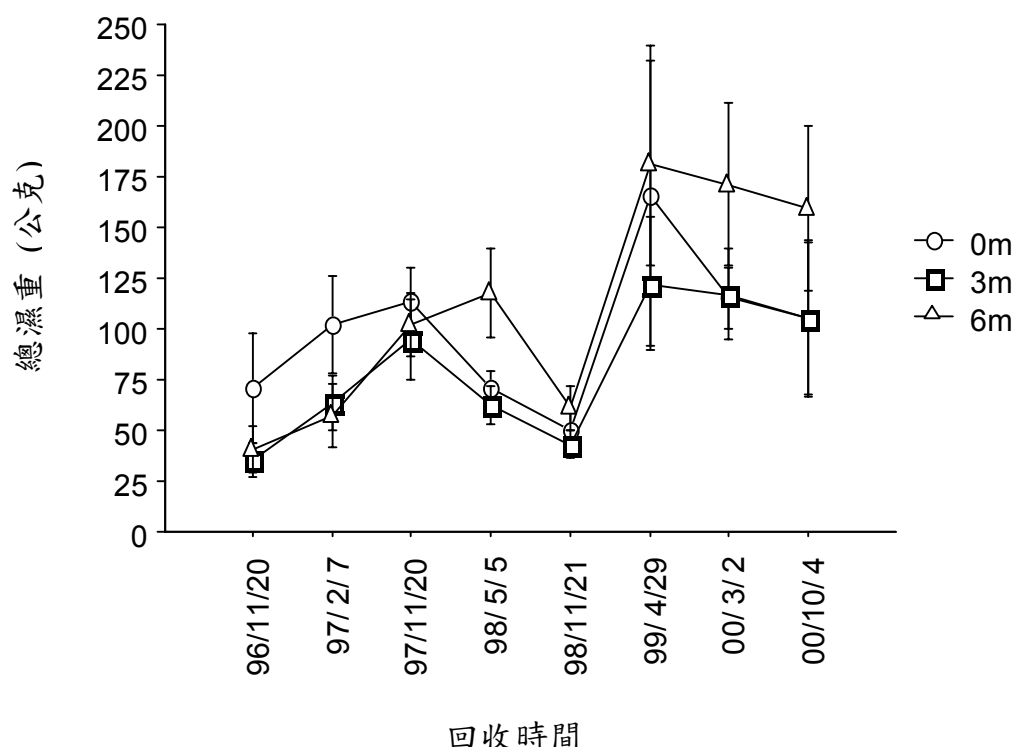


圖 4.3 附著生物總濕重隨時間在不同深度間的變化。誤差線表示 95%的信賴區間

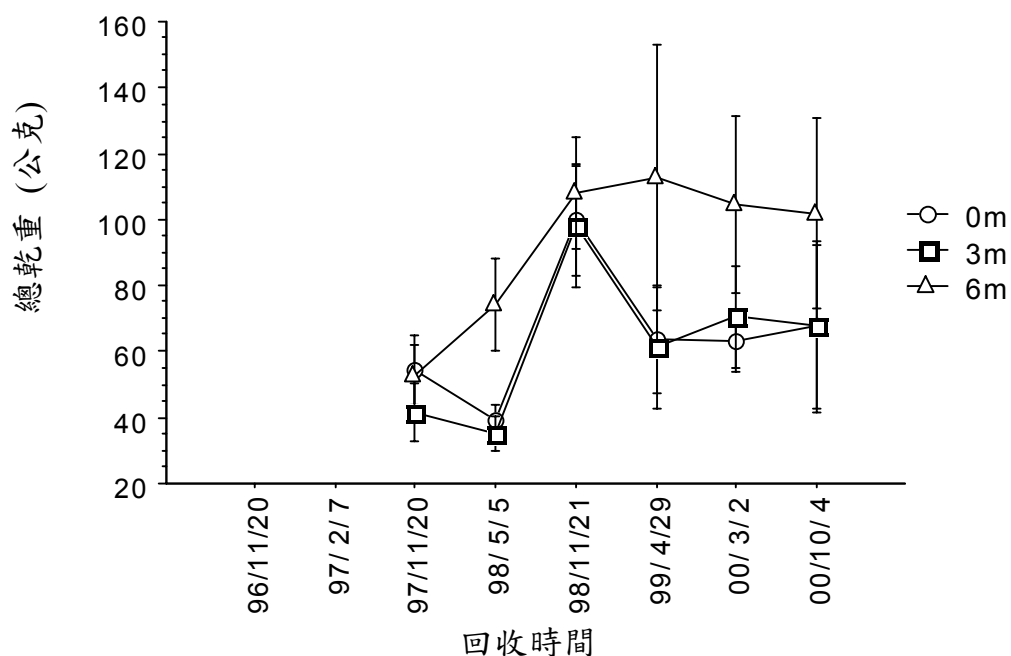


圖 4.4 附著生物總乾重隨時間在不同深度間的變化。誤差線表示 95%的信賴區間

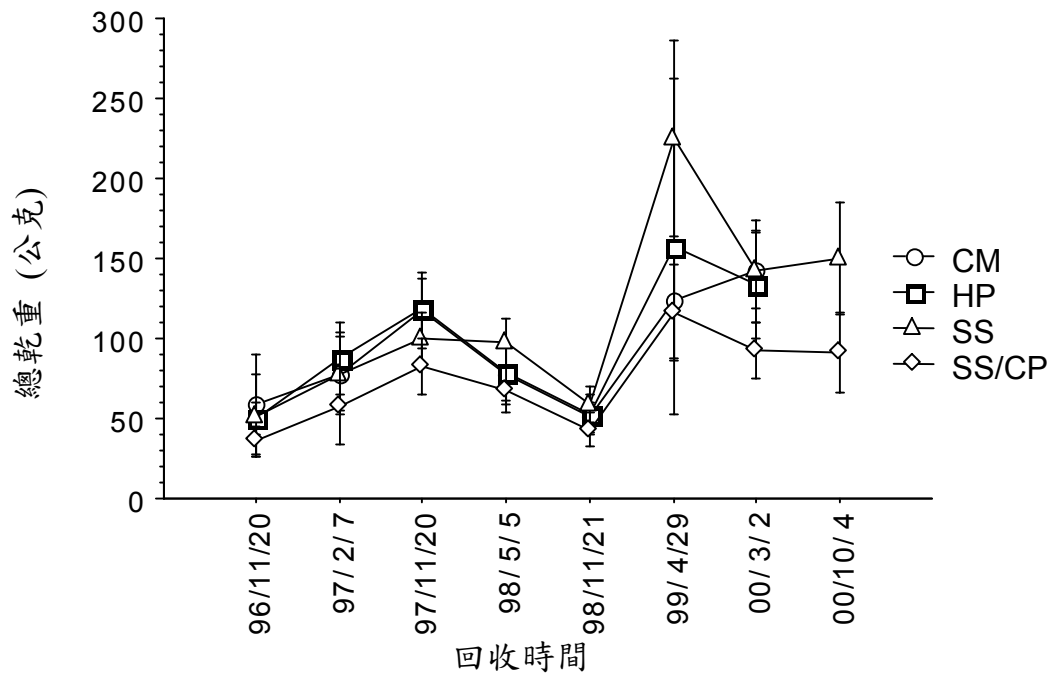


圖 4.5 附著生物總濕重隨時間在不同試片材質上的變化。誤差線表示 95% 的信賴區間

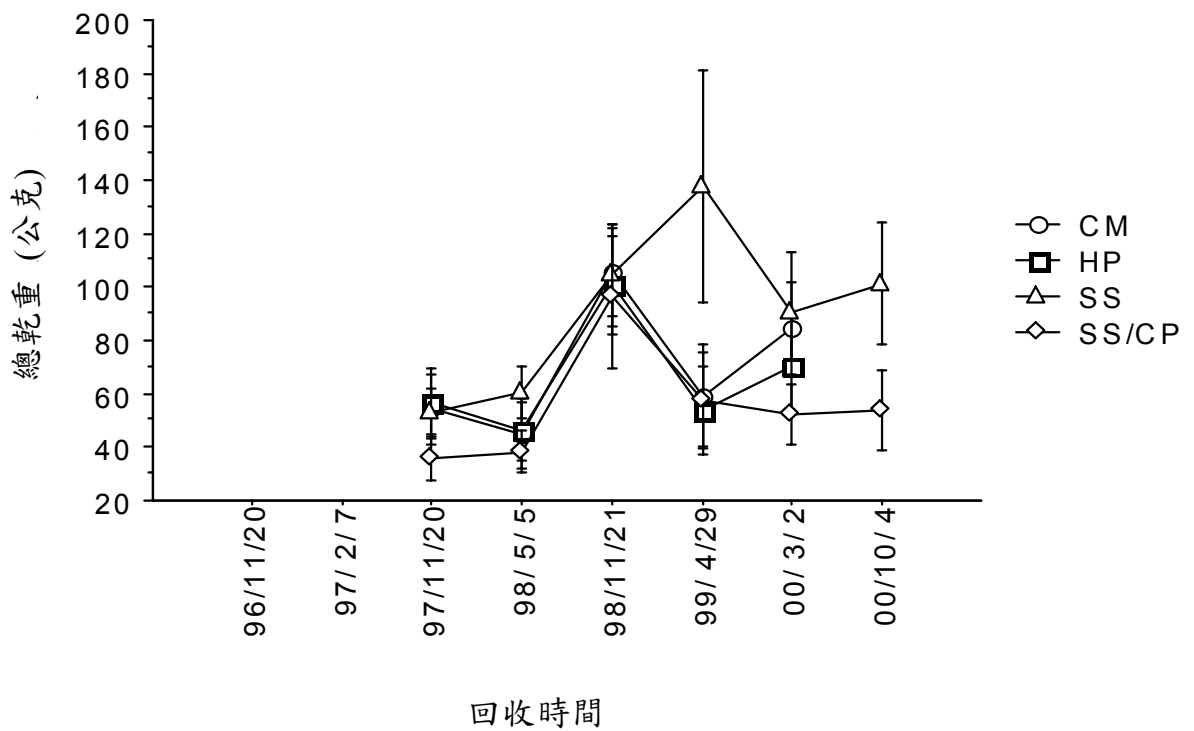


圖 4.6 附著生物總乾重隨時間在不同試片材質上的變化。誤差線表示 95% 的信賴區間

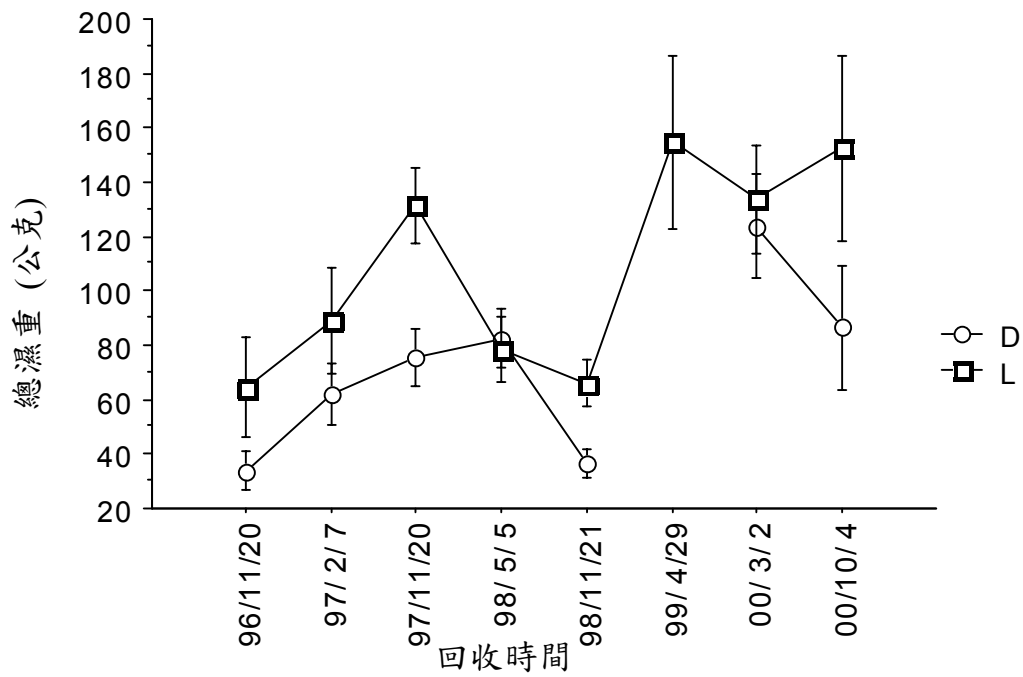


圖 4.7 附著生物總濕重隨時間在不同試片面向上的變化。誤差線表示 95% 的信賴區間。L 表向光面、D 表背光面

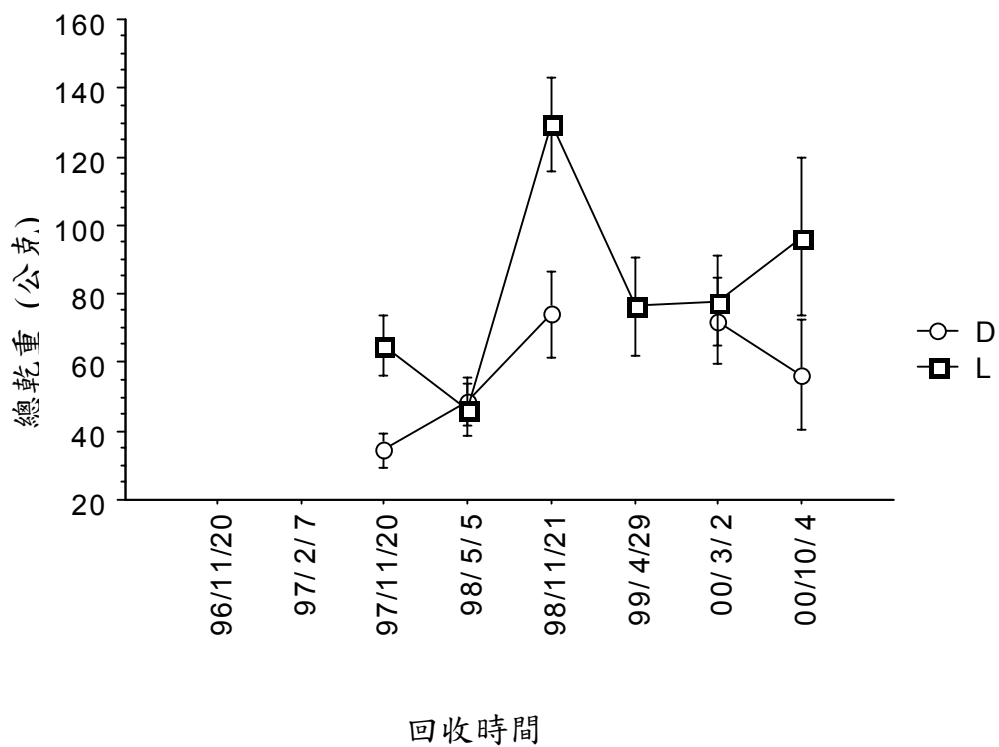


圖 4.8 附著生物總乾重隨時間在不同試片面向上的變化。誤差線表示 95% 的信賴區間。L 表向光面、D 表背光面

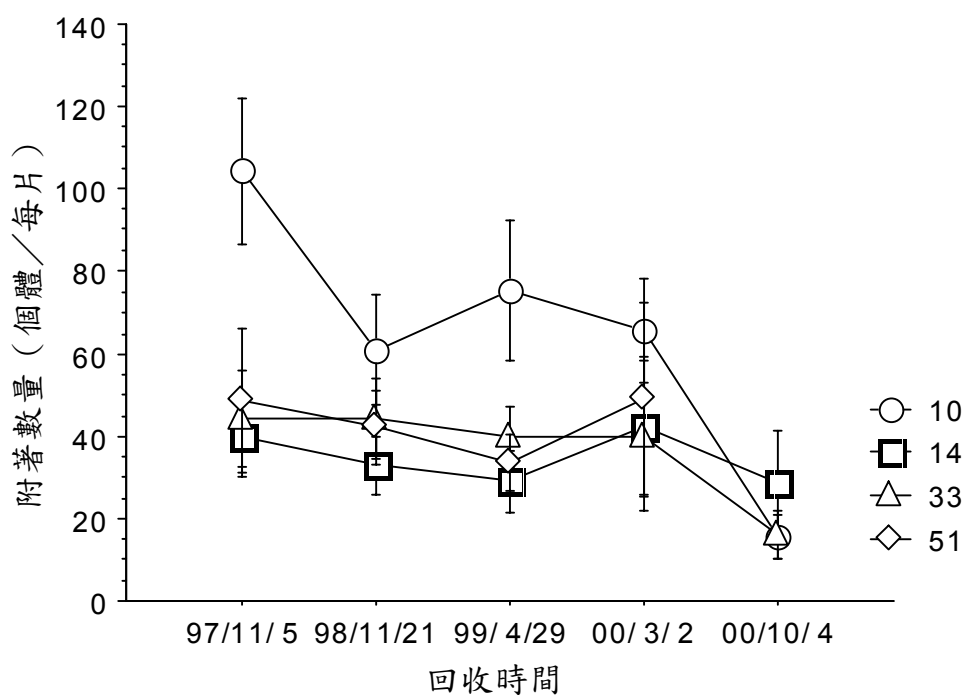


圖 4.9 藤壺附著數量隨放置時間在各碼頭間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。

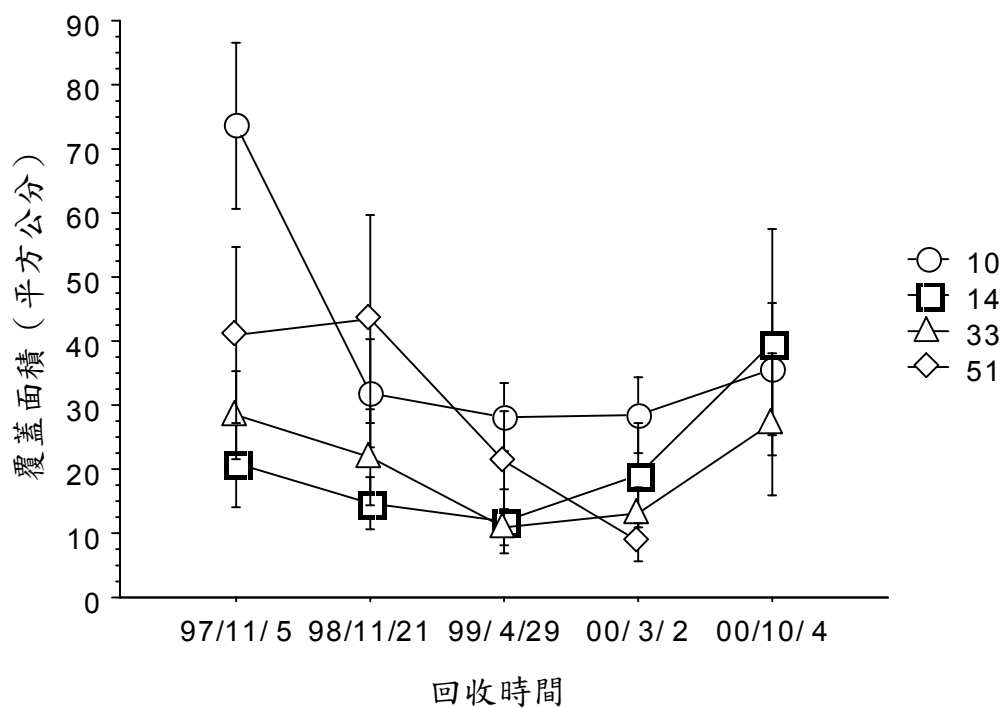


圖 4.10 藤壺覆蓋面積隨放置時間在各碼頭間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

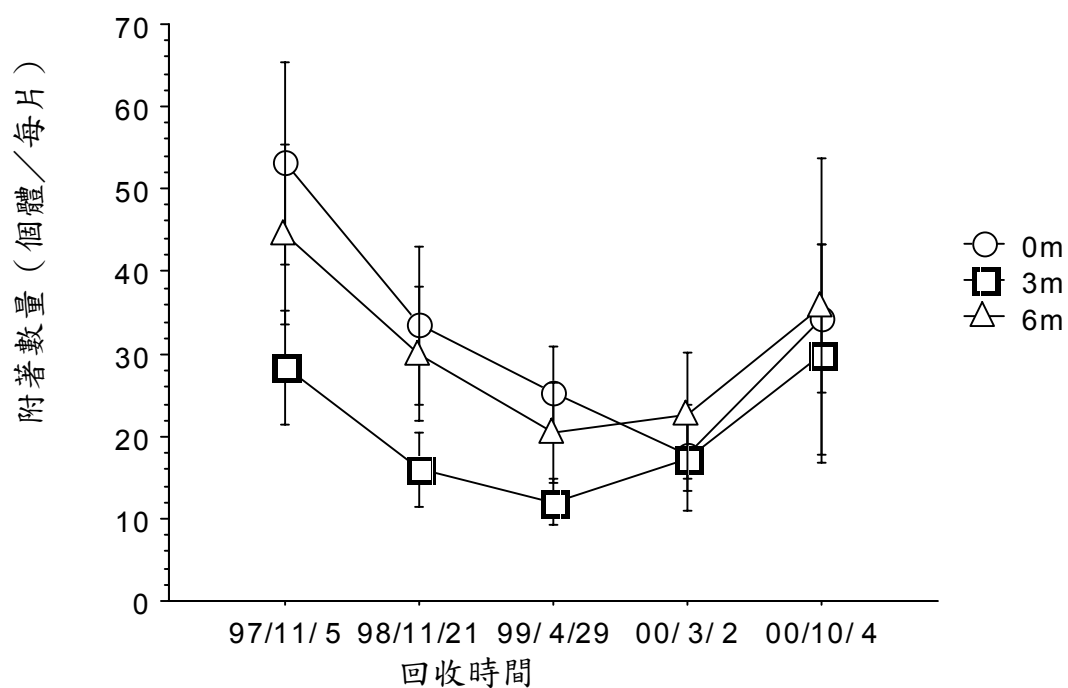


圖 4.11 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同深度間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

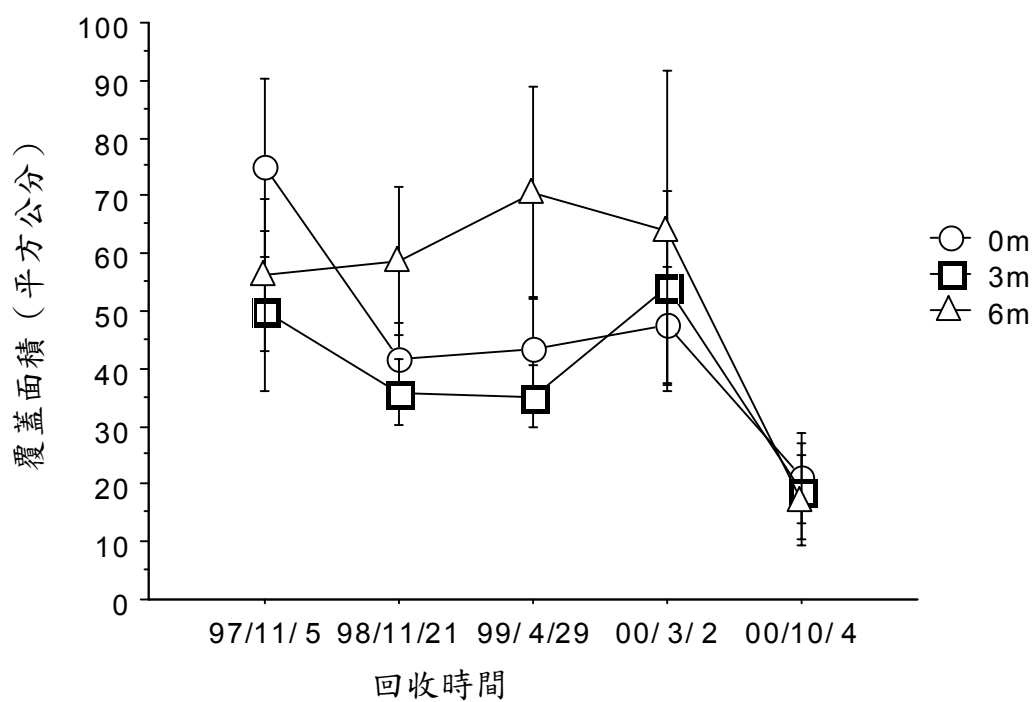


圖 4.12 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同深度間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

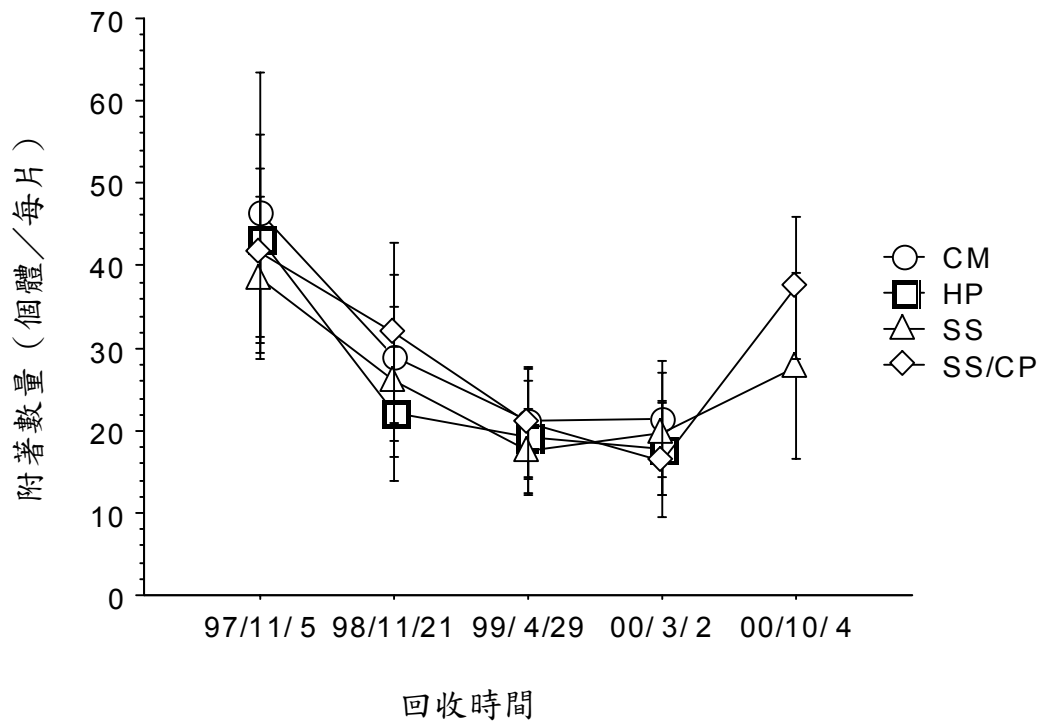


圖 4.13 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

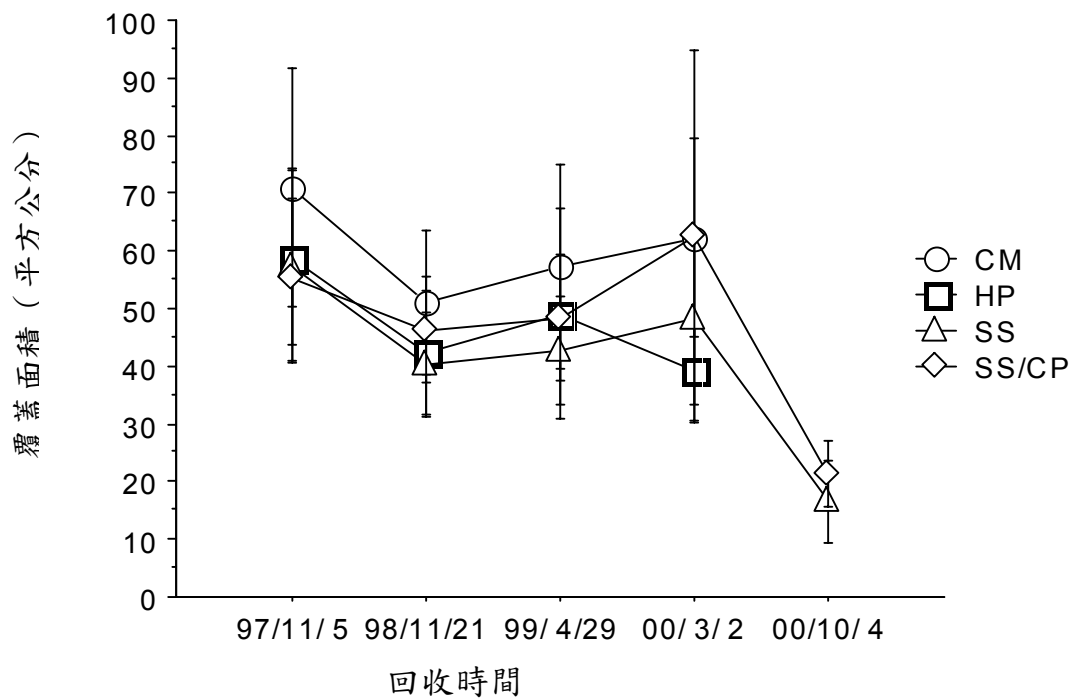


圖 4.14 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

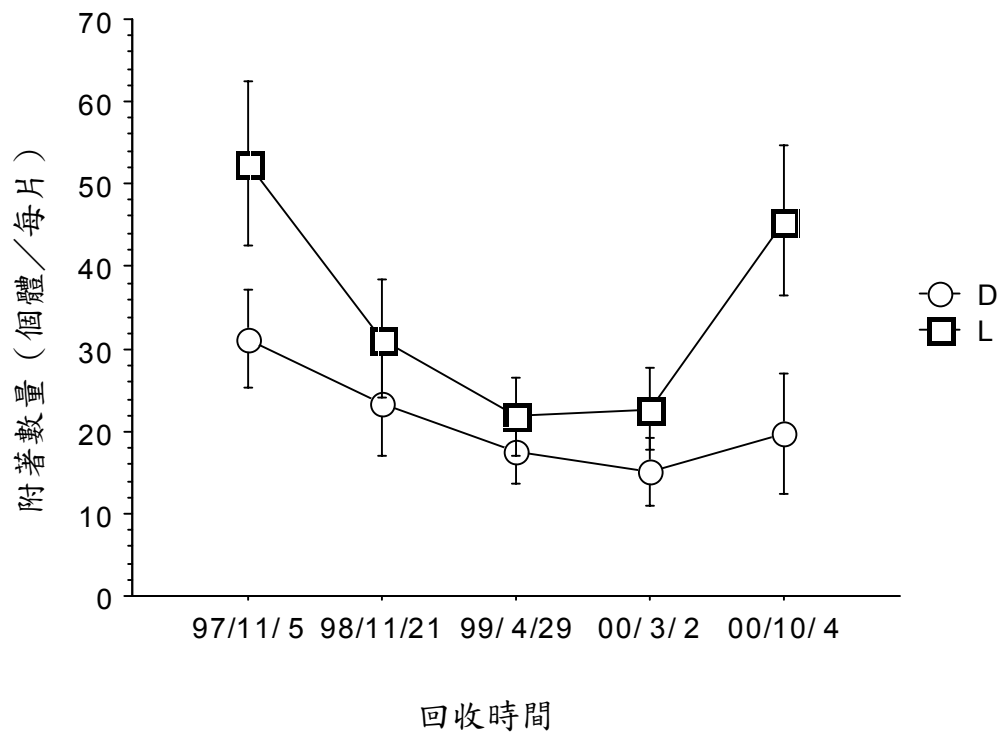


圖 4.15 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片面向上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。L 表向光面、D 表背光面

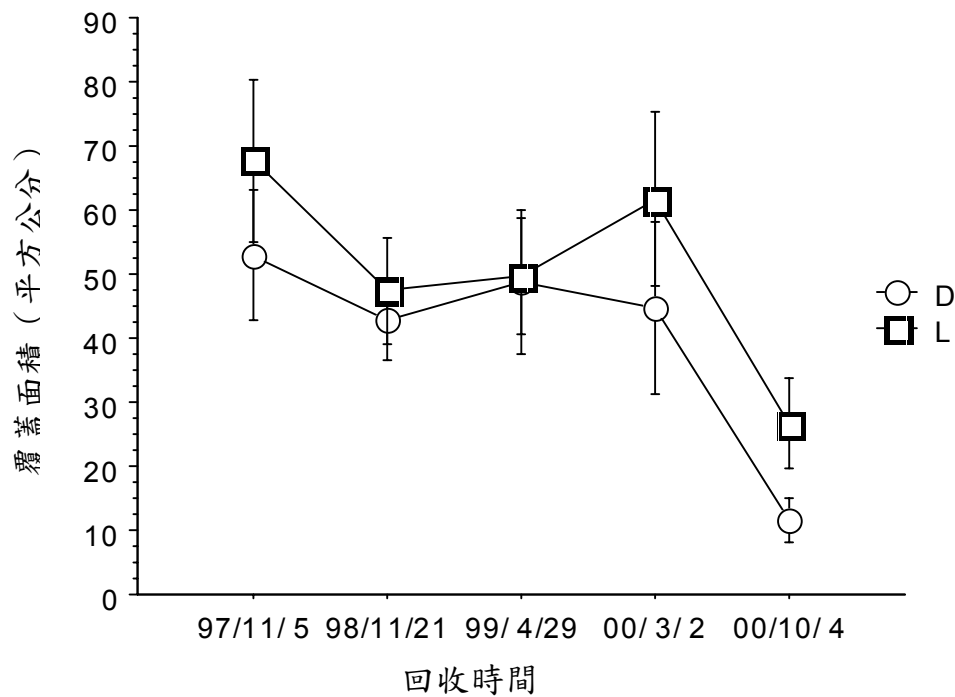


圖 4.16 藤壺覆蓋面積隨放置時間在不同試片面向上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。L 表向光面、D 表背光面

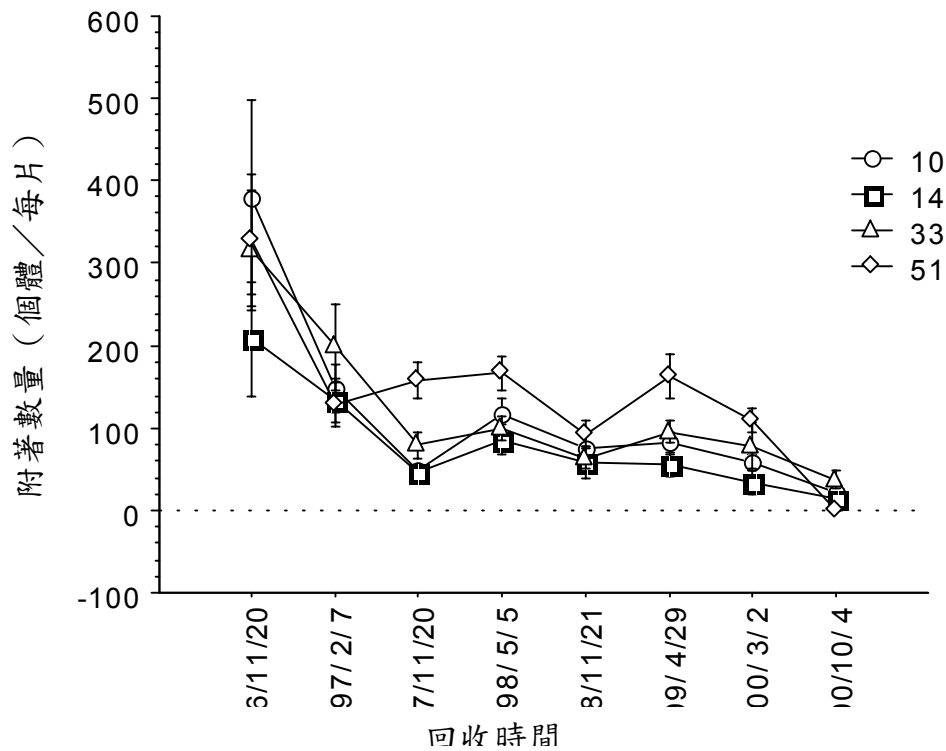


圖 4.17 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在各碼頭間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

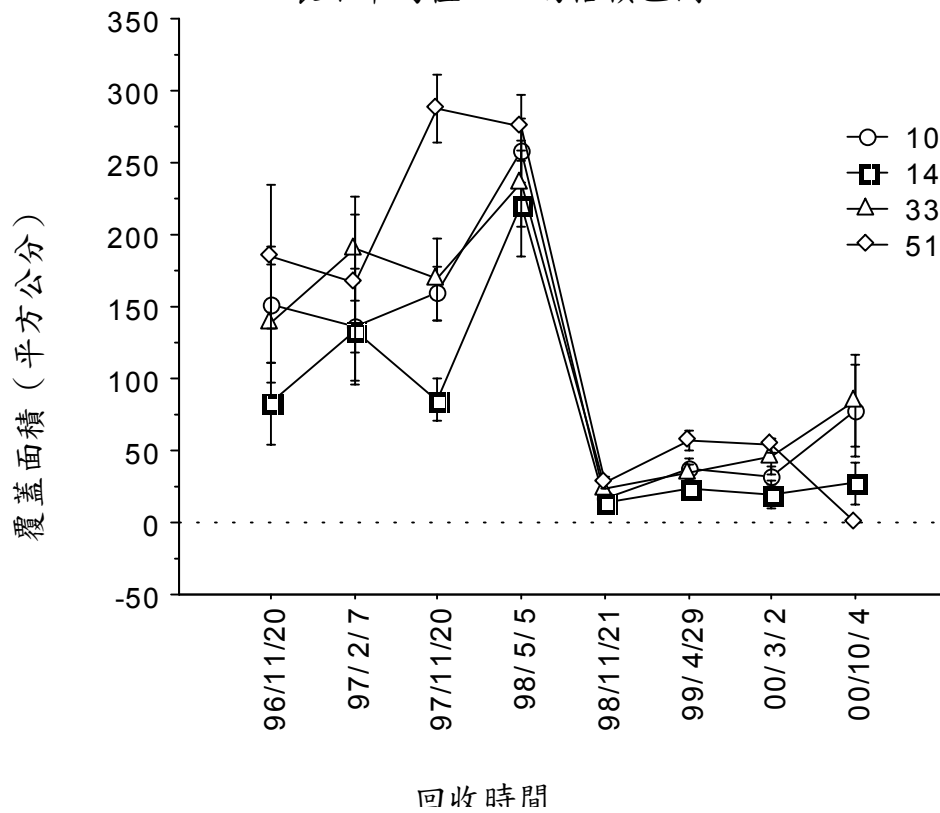


圖 4.18 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在各碼頭間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。

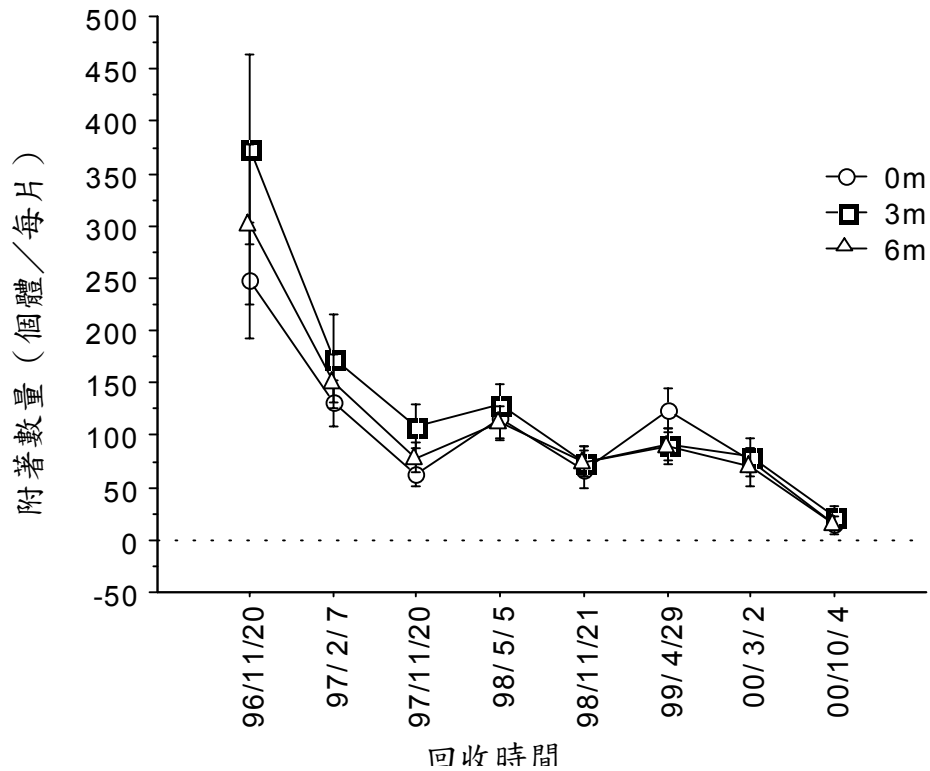


圖 4.19 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在不同深度間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

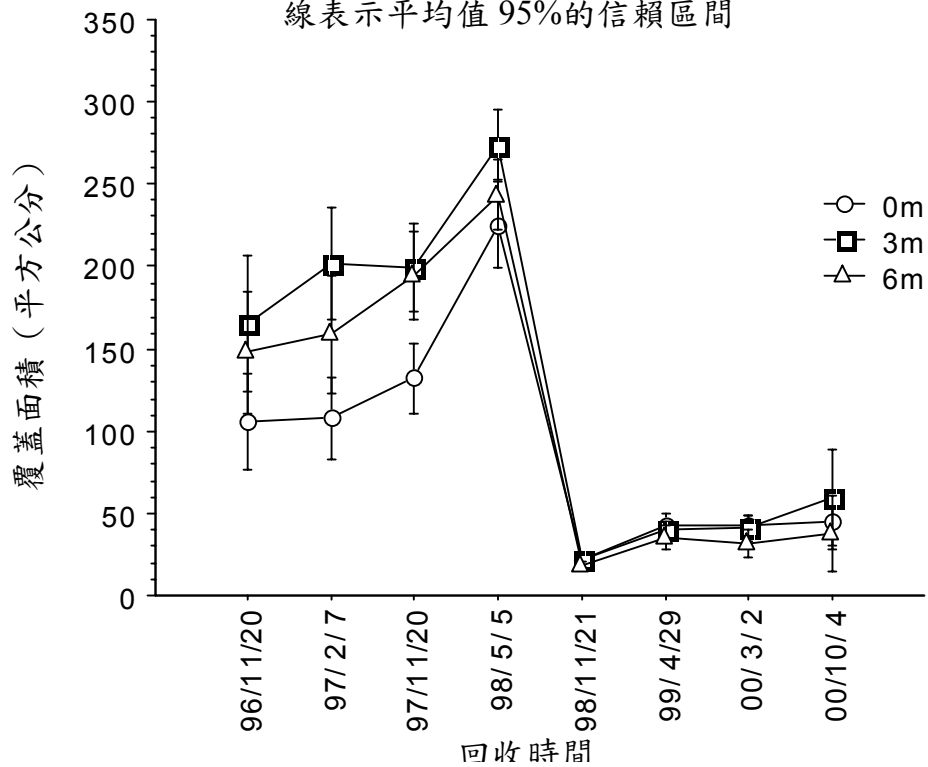


圖 4.20 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在不同深度間的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

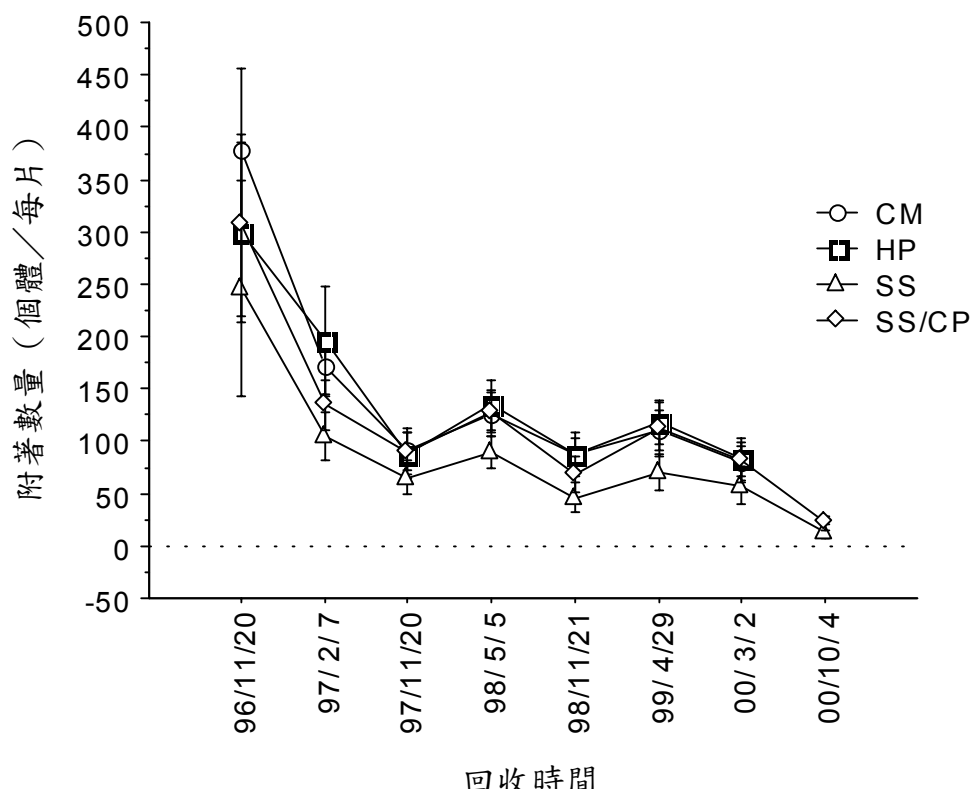


圖 4.21 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在不同試片材質上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。

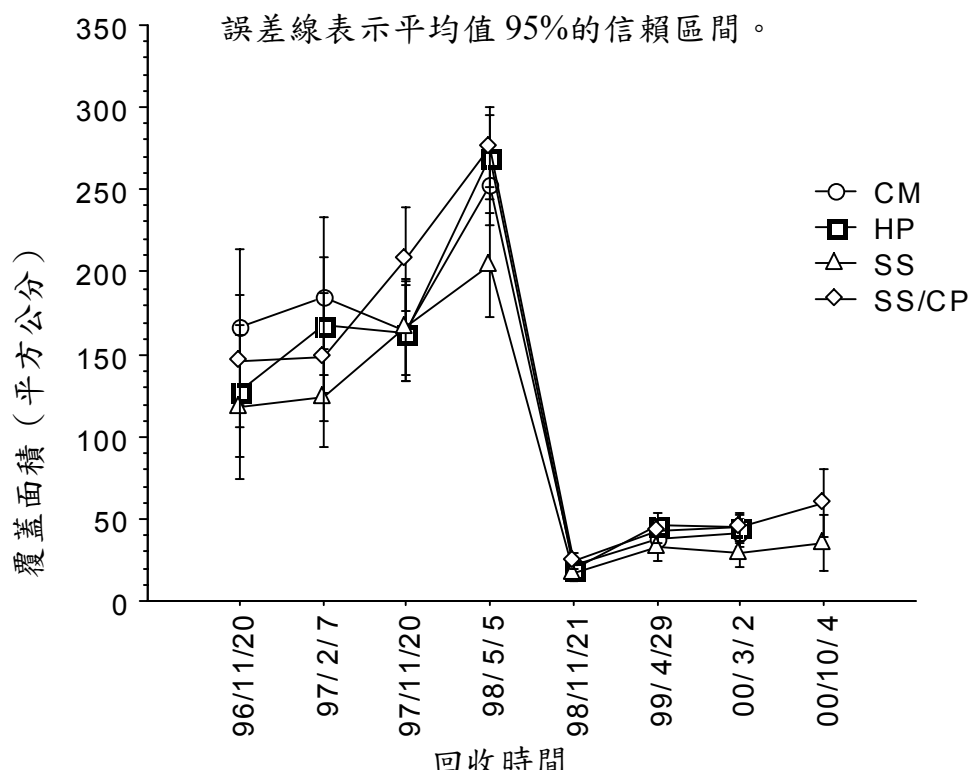


圖 4.22 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間

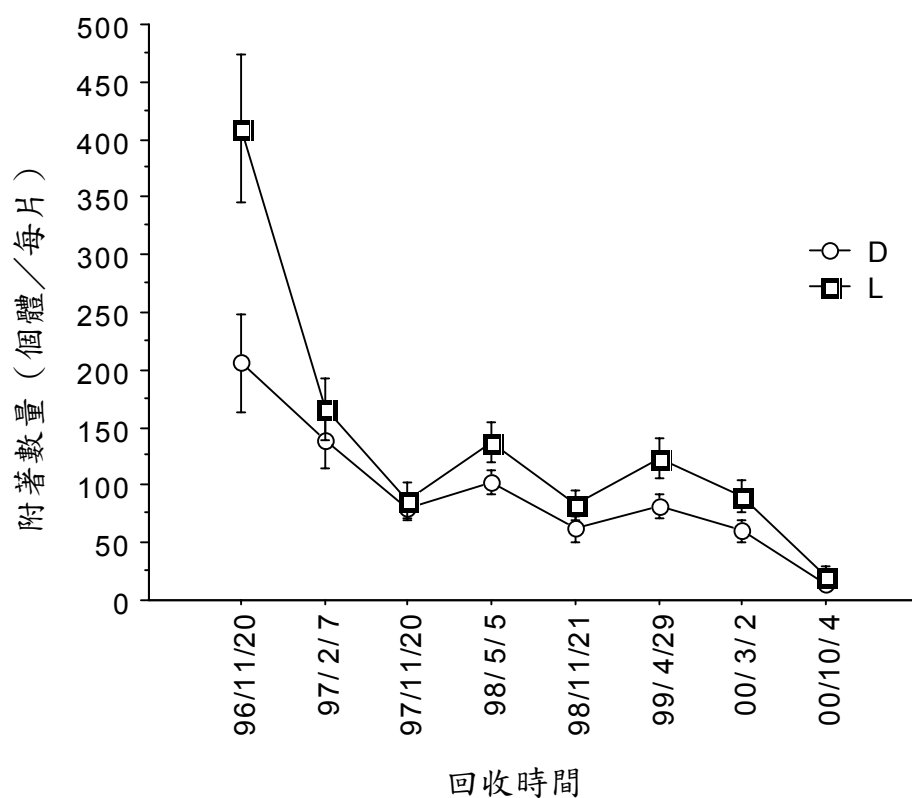


圖 4.23 華美盤管蟲附著數量隨放置時間在不同試片面向上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。L 表示向光面、D 表示背光面

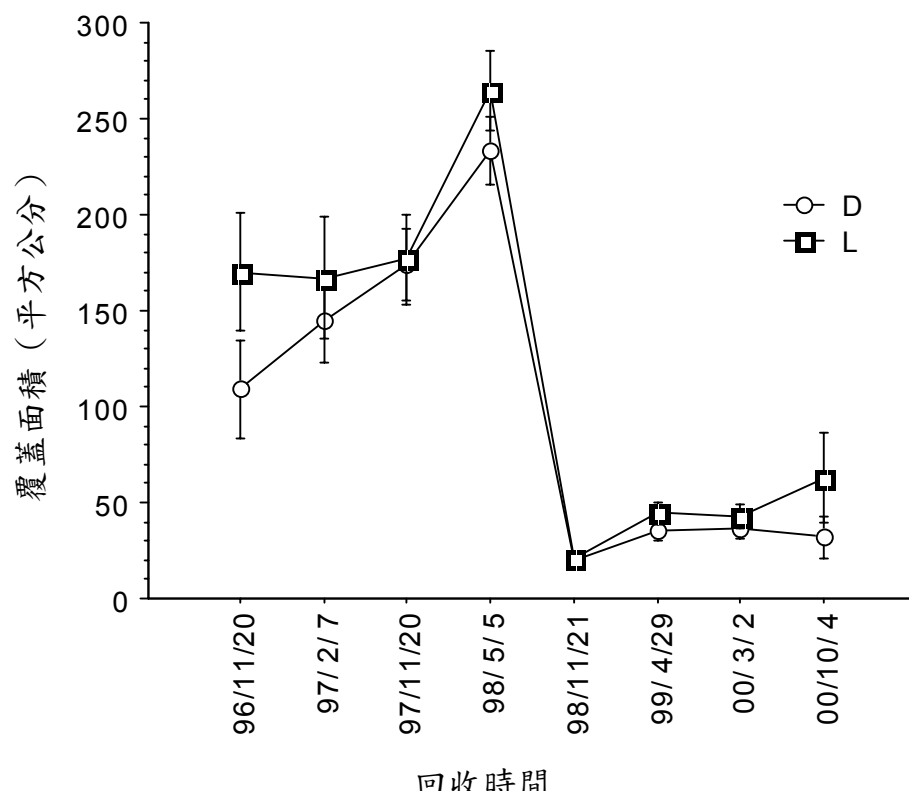


圖 4.24 華美盤管蟲覆蓋面積隨放置時間在不同試片材質上的變化。圖中誤差線表示平均值 95%的信賴區間。L 表示向光面、D 表示背光面

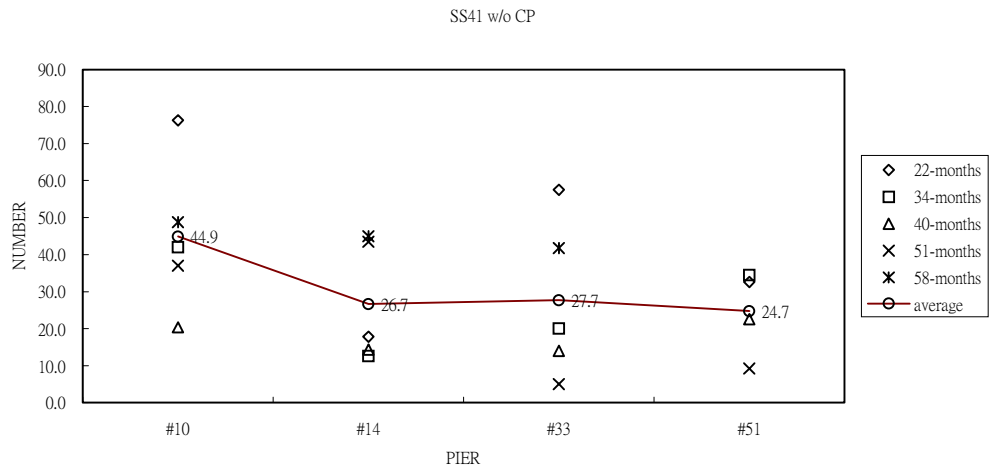


圖 4.25 自由腐蝕試片藤壺附著數量與置放地點的關係

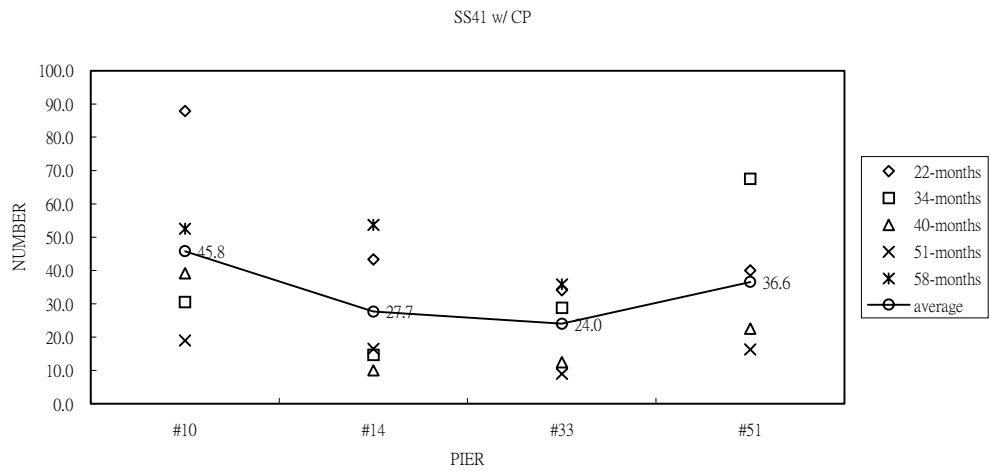


圖 4.26 陰極防蝕試片藤壺附著量與置放地點的關係

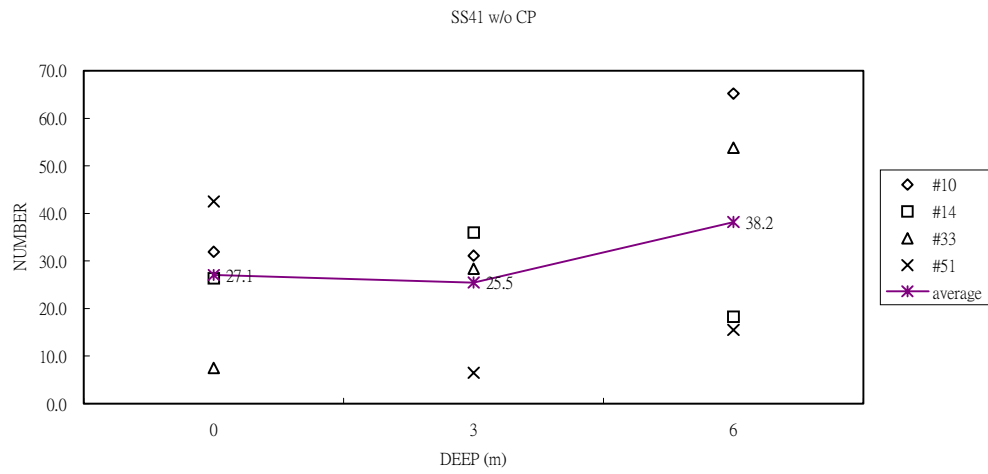


圖 4.27 自由腐蝕試片藤壺附著量與水深的關係

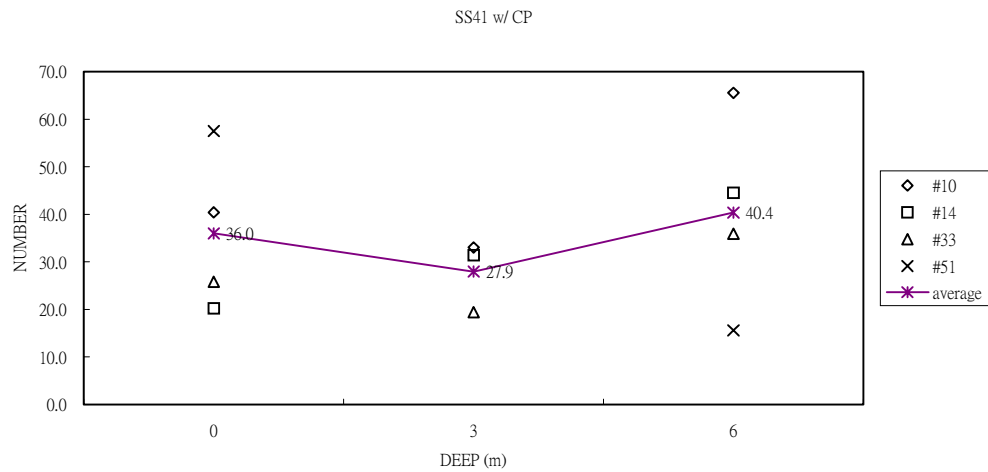


圖 4.28 陰極防蝕試片藤壺附著量與水深的關係

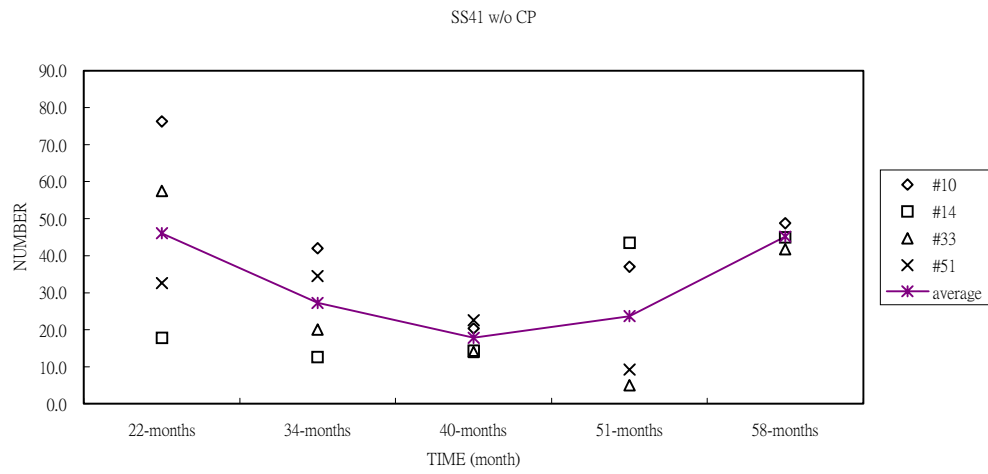


圖 4.29 自由腐蝕試片藤壺附著量與時間的關係

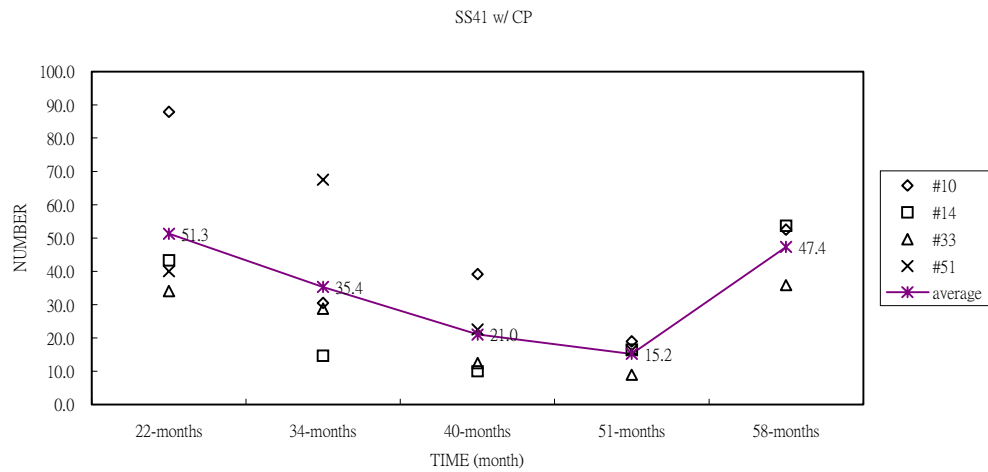


圖 4.30 陰極防蝕試片藤壺附著量與時間的關係

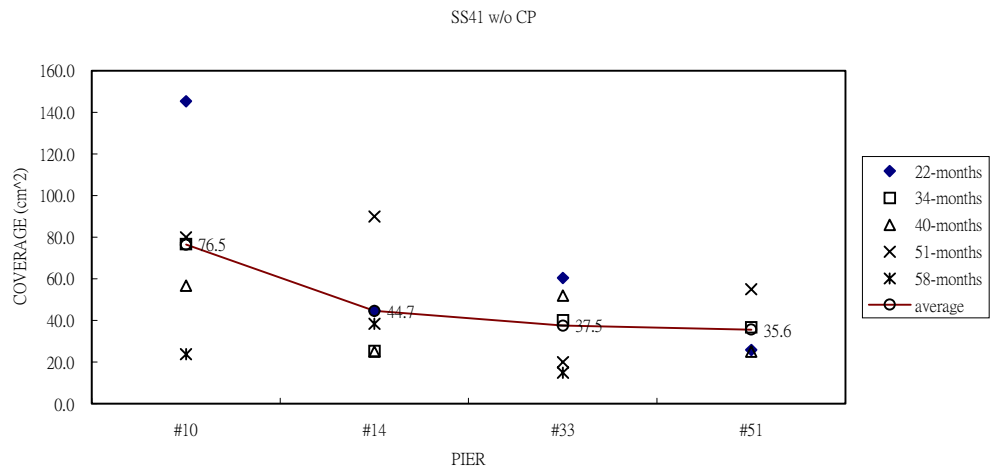


圖 4.31 自由腐蝕試片藤壺覆蓋面積與置放地點的關係

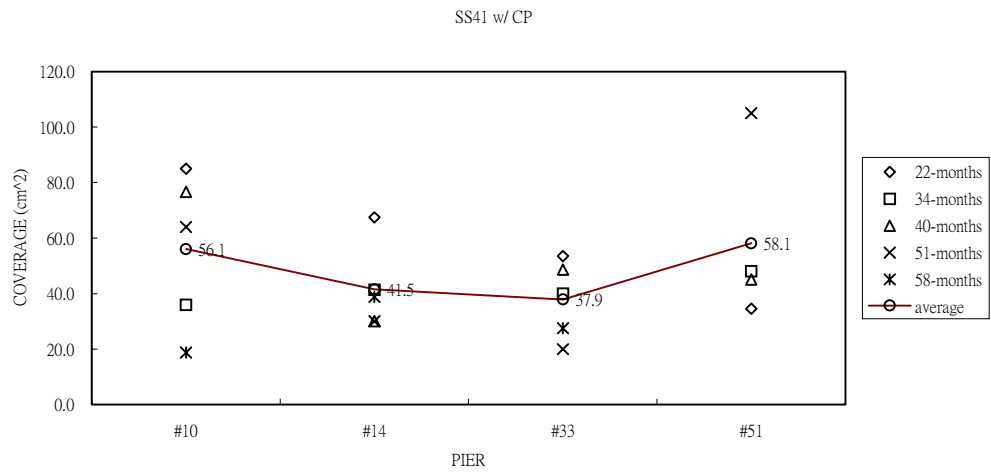


圖 4.32 陰極防蝕試片藤壺覆蓋面積與置放地點的關係

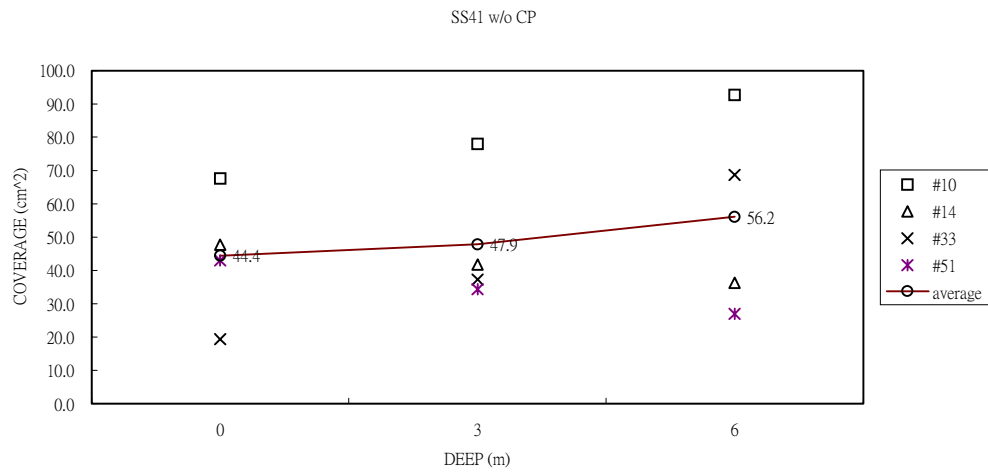


圖 4.33 自由腐蝕試片藤壺覆蓋面積與水深的關係

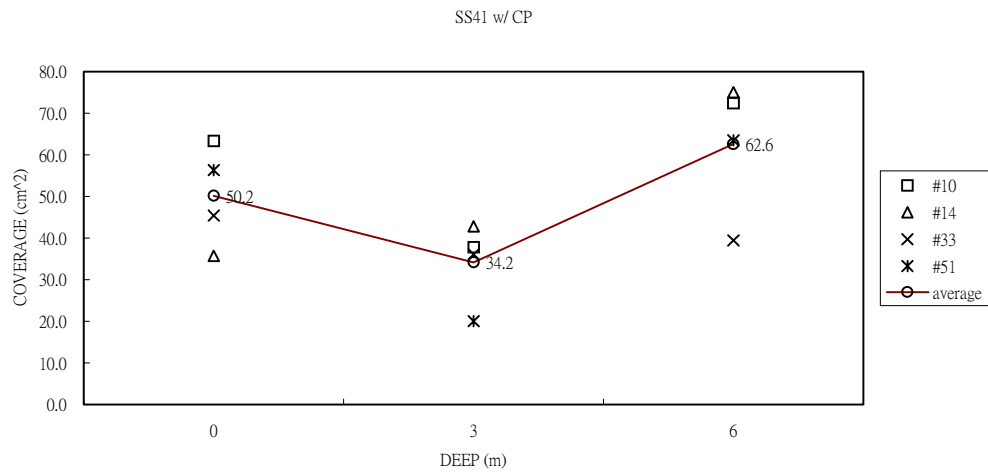


圖 4.34 陰極防蝕試片藤壺覆蓋面積與水深的關係

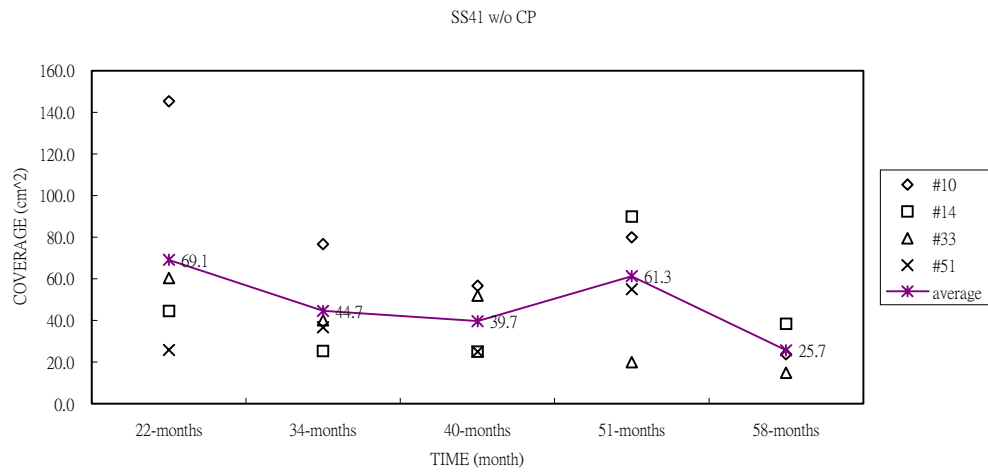


圖 4.35 自由腐蝕試片藤壺覆蓋面積與時間的關係

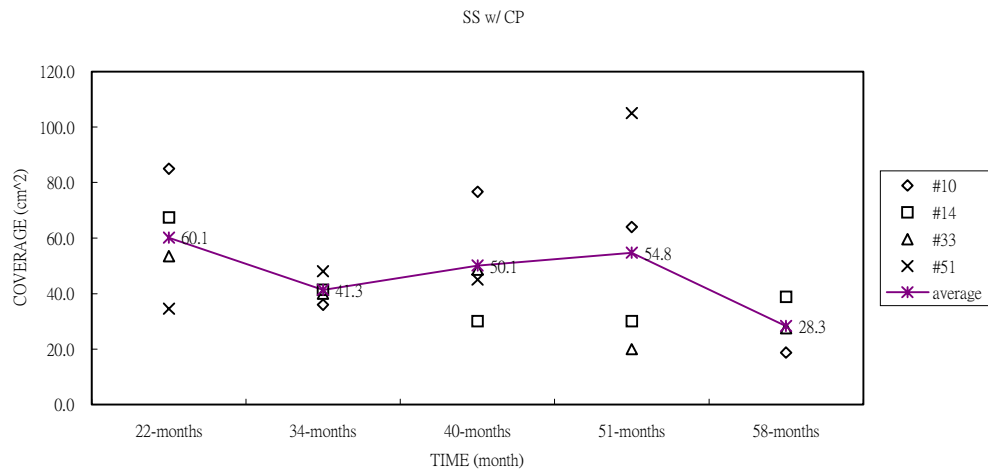


圖 4.36 陰極防蝕試片藤壺覆蓋面積與時間的關係

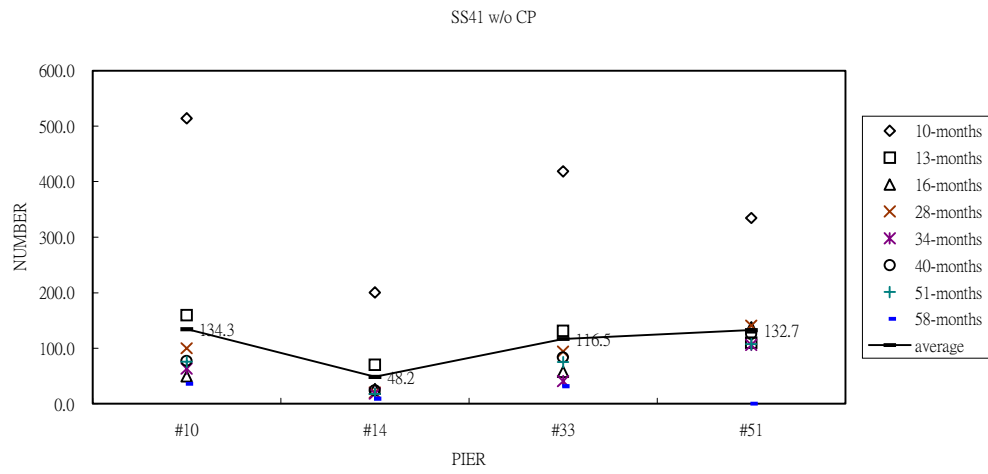


圖 4.37 自由腐蝕試片管蟲附著量與置放地點的關係

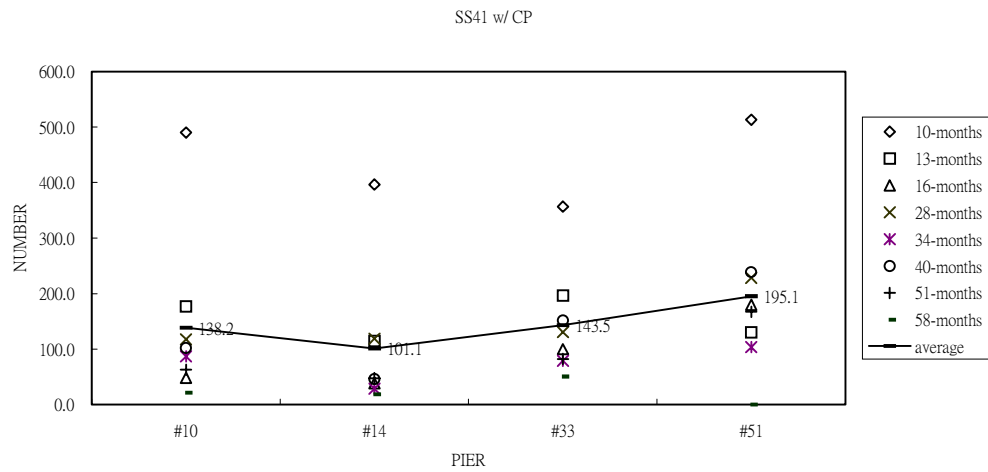


圖 4.38 陰極防蝕試片管蟲附著量與置放地點的關係

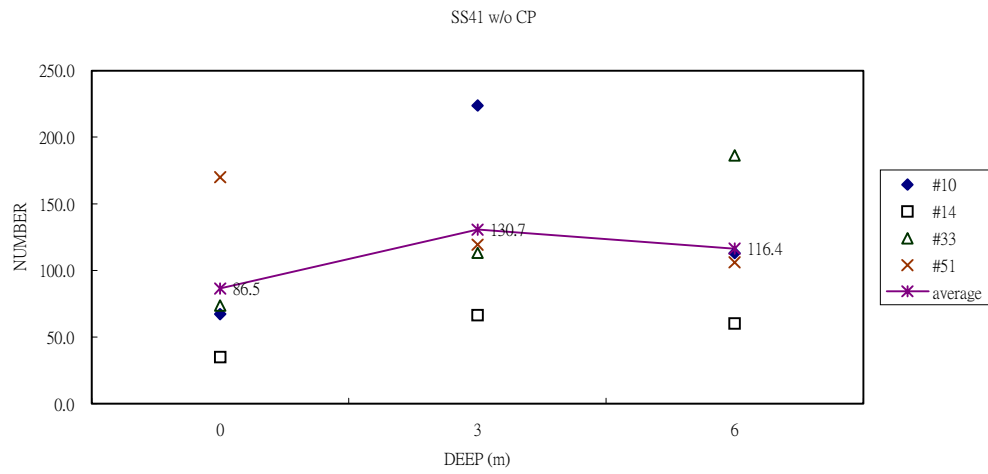


圖 4.39 自由腐蝕試片管蟲附著量與水深的關係

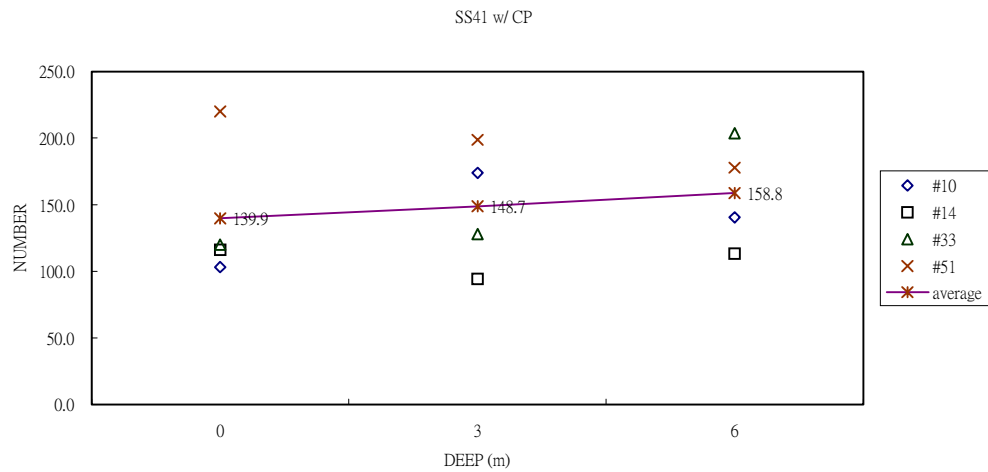


圖 4.40 陰極防蝕試片管蟲附著量與水深的關係

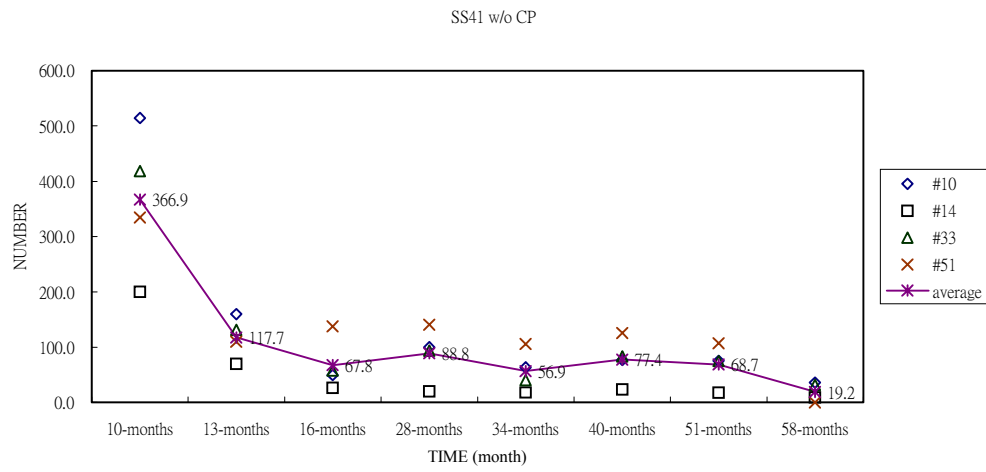


圖 4.41 自由腐蝕試片管蟲附著量與時間的關係

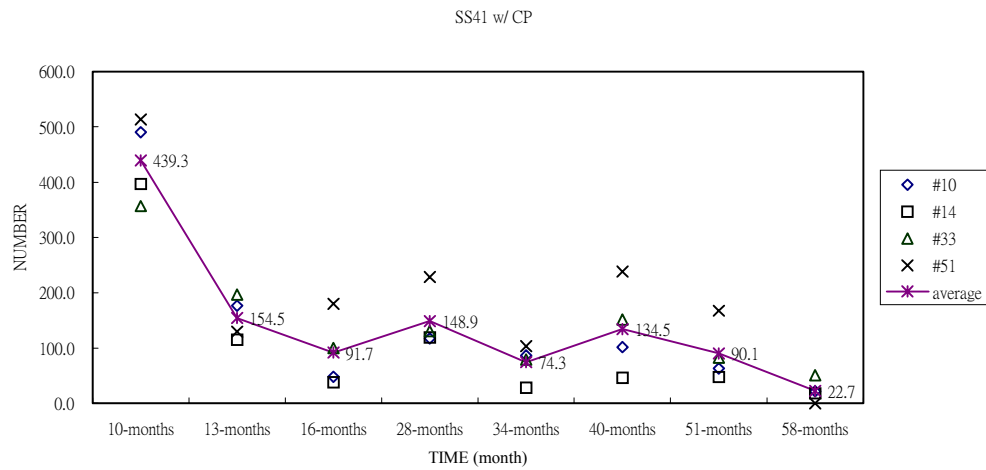


圖 4.42 陰極防蝕試片管蟲附著量與時間的關係

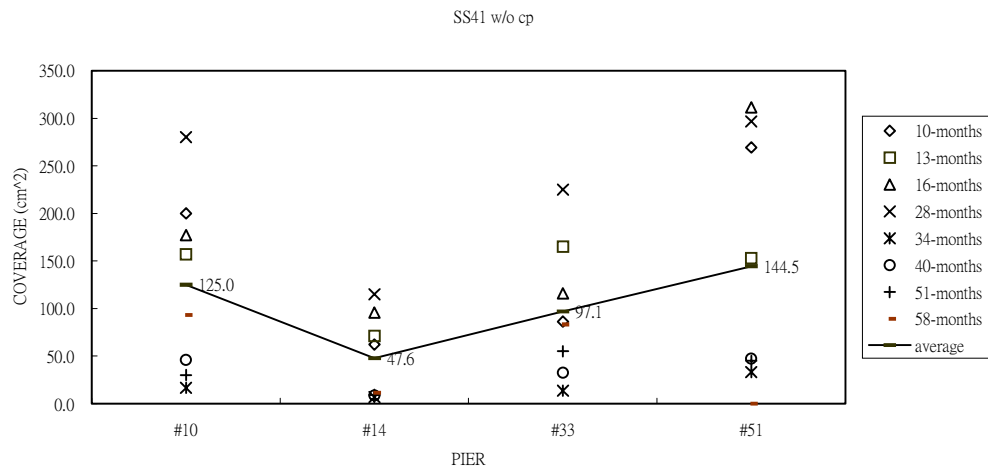


圖 4.43 自由腐蝕試片管蟲覆蓋面積與置放地點的關係

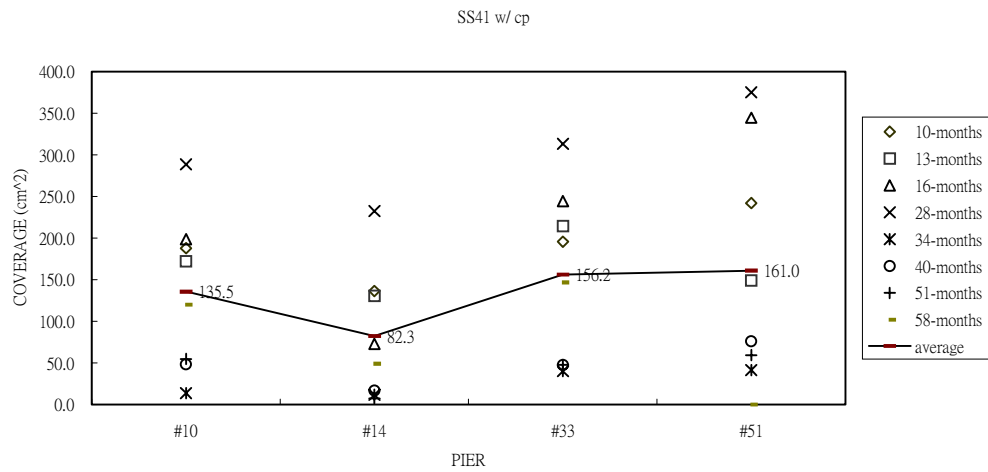


圖 4.44 陰極防蝕試片管蟲覆蓋面積與置放地點的關係

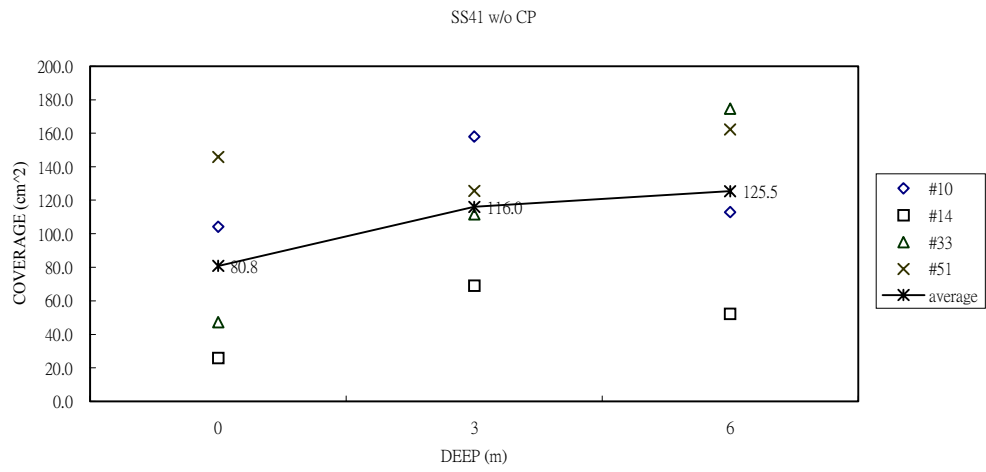


圖 4.45 自由腐蝕試片管蟲覆蓋面積與水深的關係

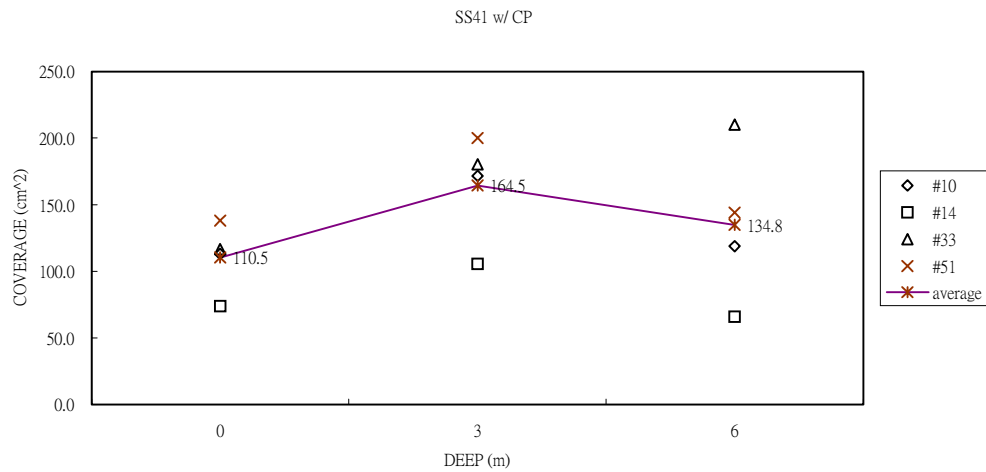


圖 4.46 陰極防蝕試片管蟲覆蓋面積與水深的關係

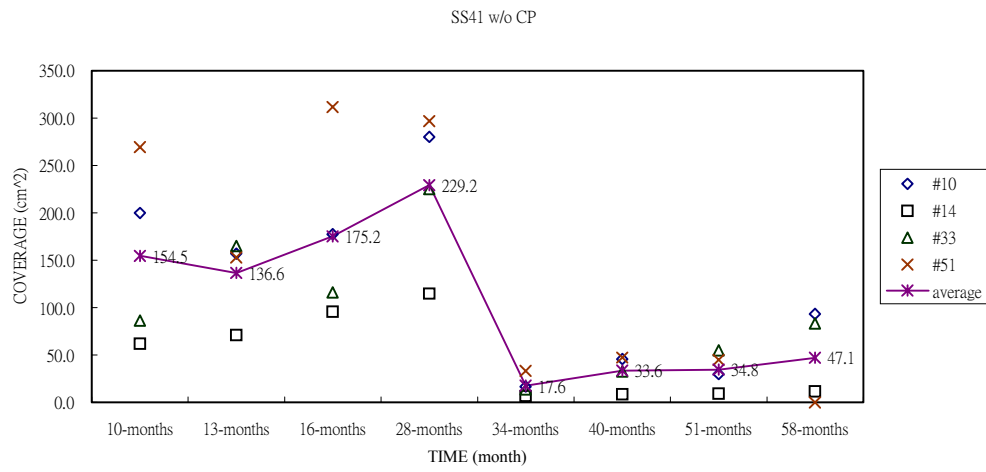


圖 4.47 自由腐蝕試片管蟲覆蓋面積與時間的關係

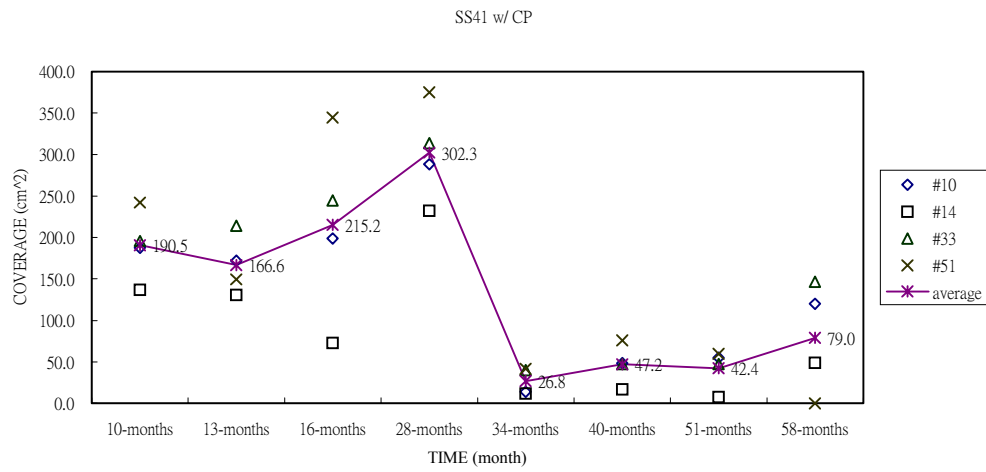


圖 4.48 陰極防蝕試片管蟲覆蓋面積與時間的關係

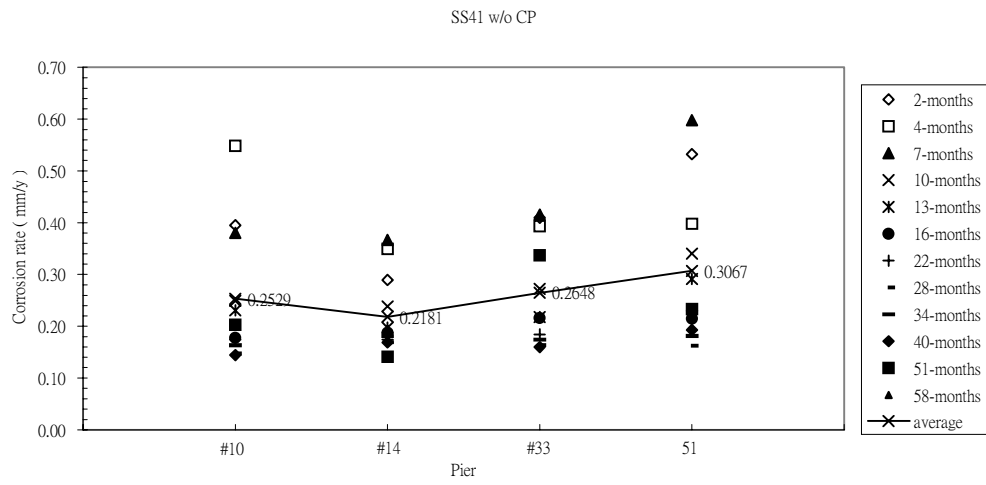


圖 4.49 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與置放地點的關係

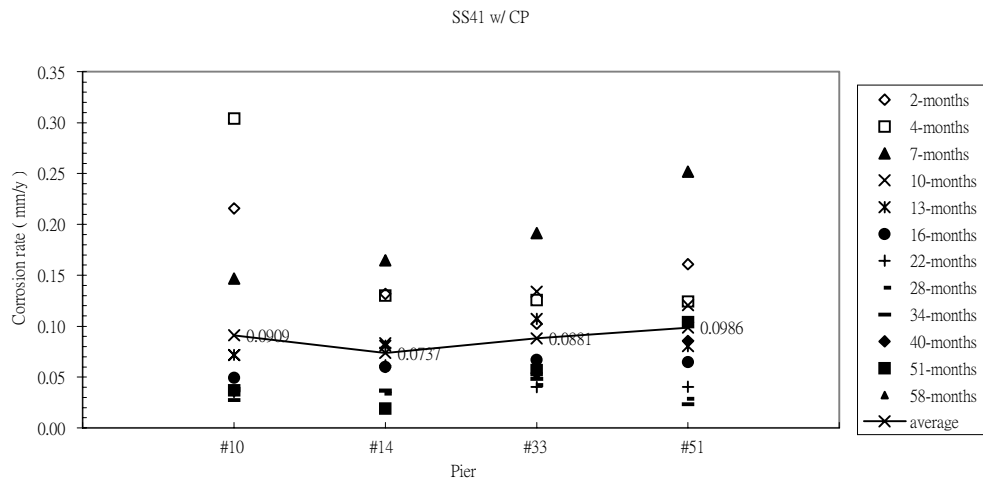


圖 4.50 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與置放地點的關係

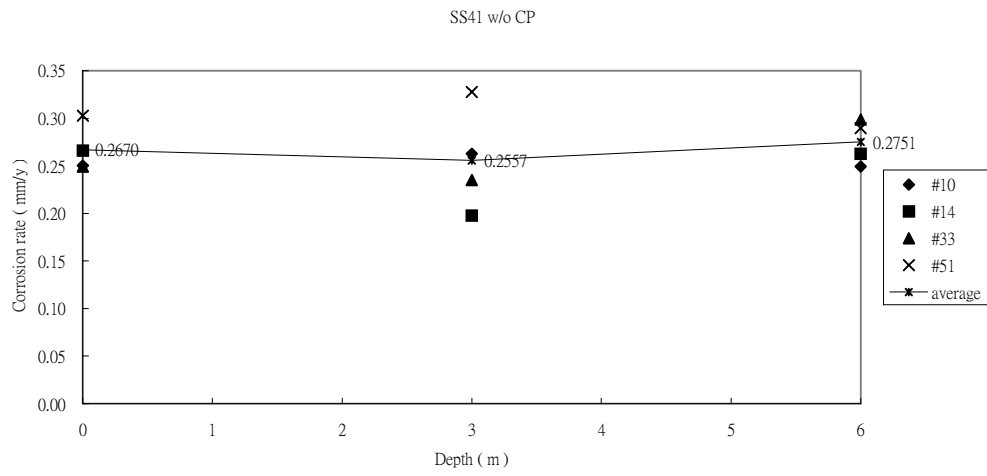


圖 4.51 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係

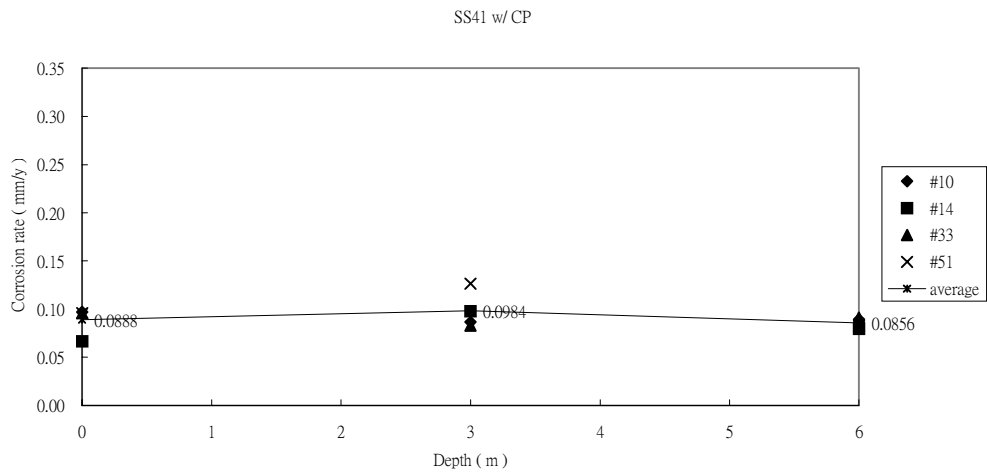


圖 4.52 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係

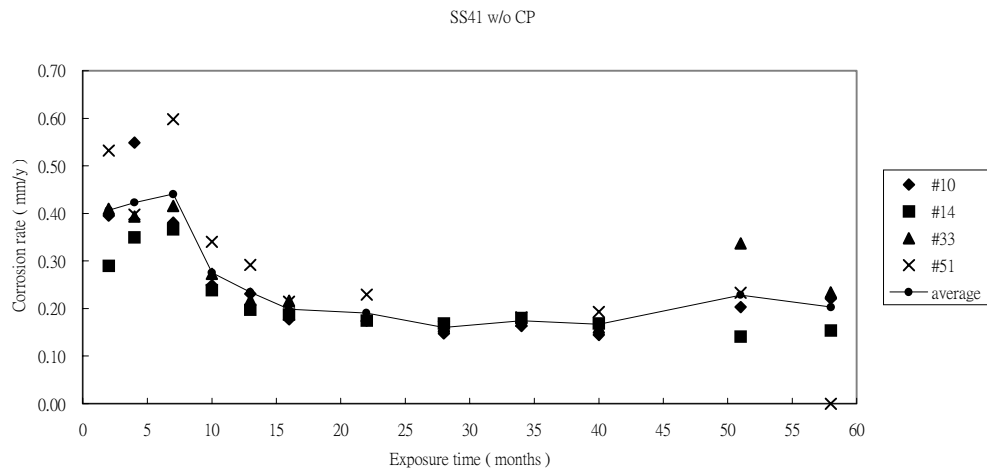


圖 4.53 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係

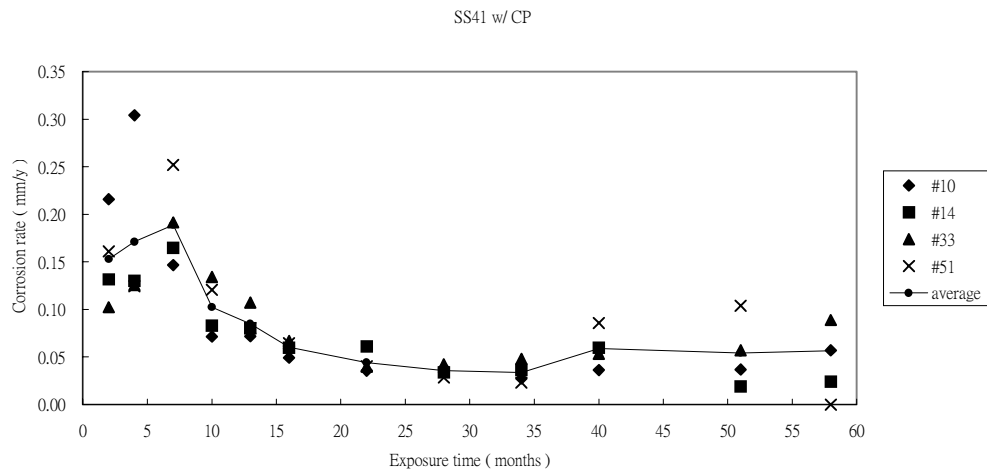


圖 4.54 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係

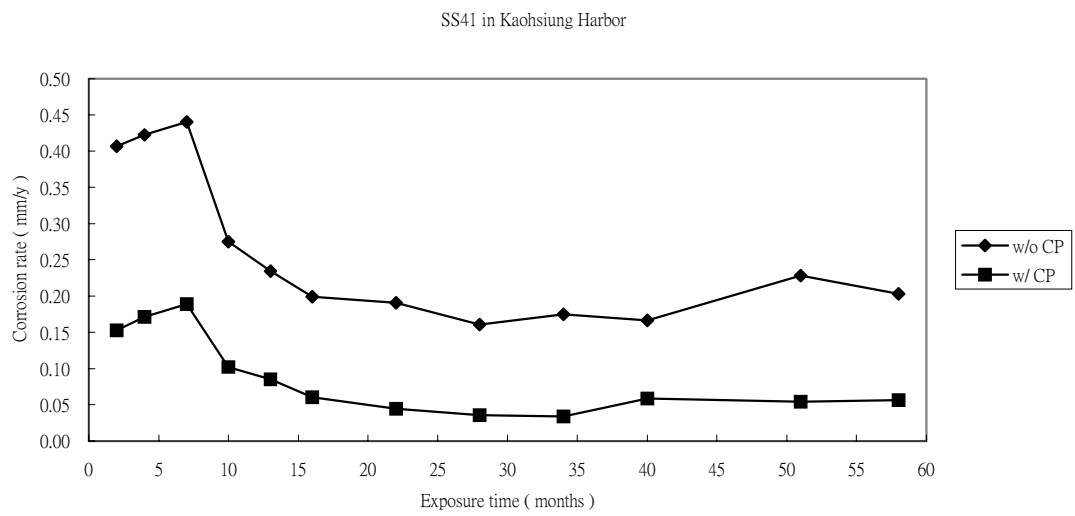


圖 4.55 自由腐蝕試片與陰極防蝕試片之平均腐蝕速率與浸漬時間比較圖

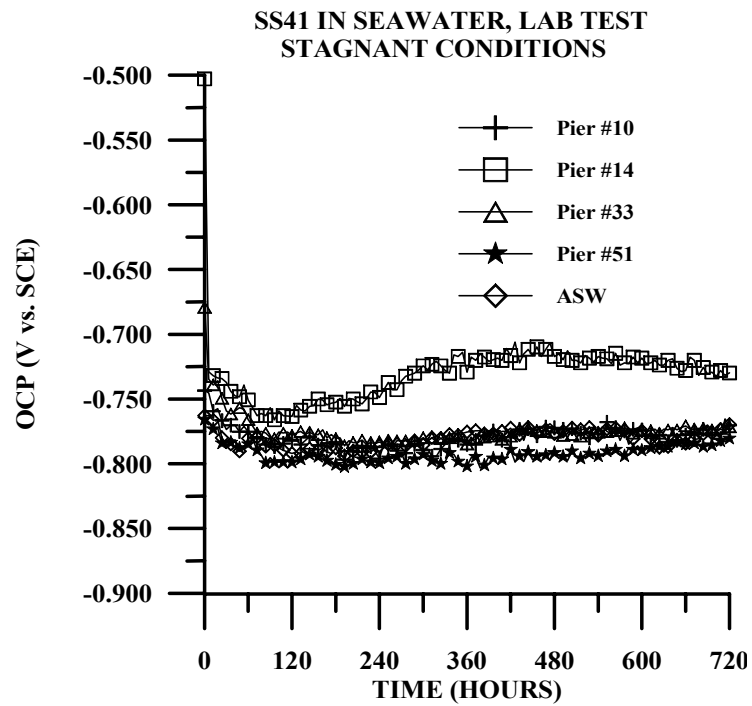


圖 4.56 實驗室浸泡試驗無充空氣情況下試片開路電位與浸漬時間之關係

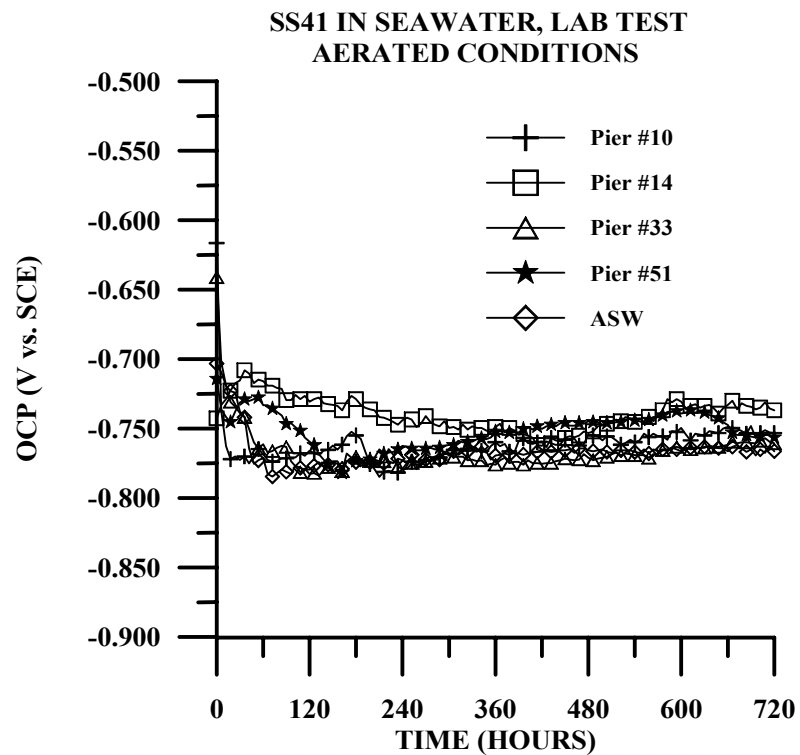


圖 4.57 實驗室浸泡試驗充空氣情況下試片開路電位與浸漬時間之關係

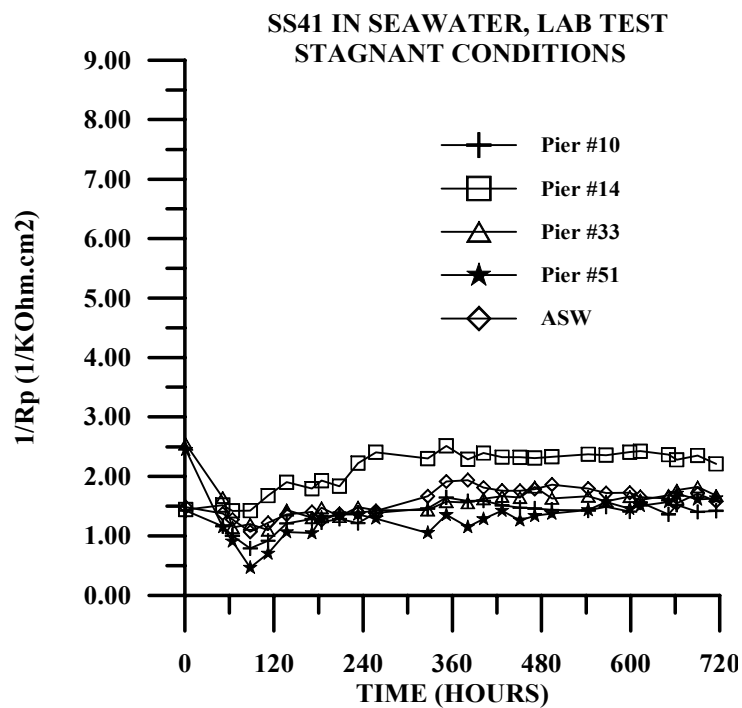


圖 4.58 實驗室浸泡試驗無充空氣情況下試片腐蝕速率與浸漬時間之關係

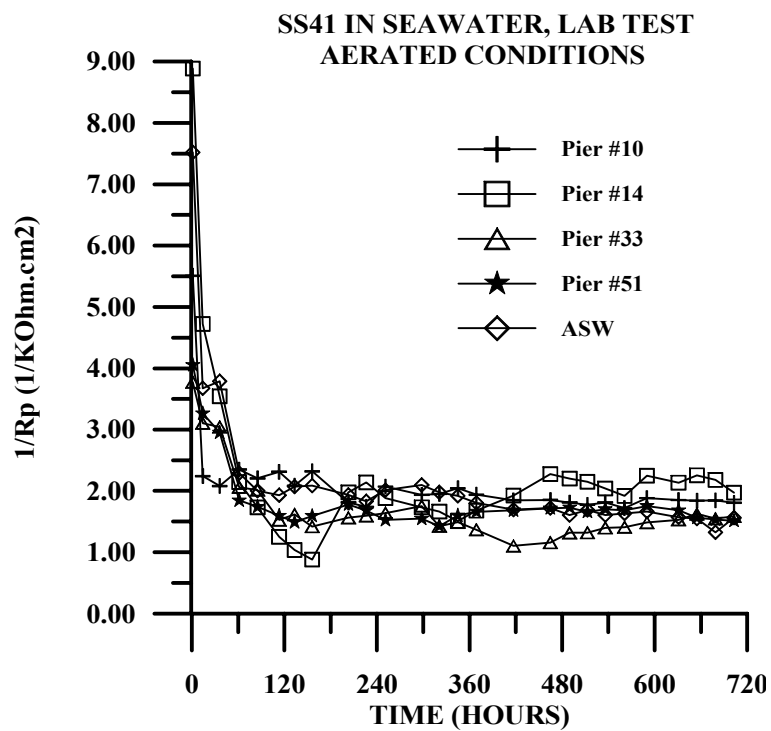


圖 4.59 實驗室浸泡試驗充空氣情況下試片腐蝕速率與浸漬時間之關係

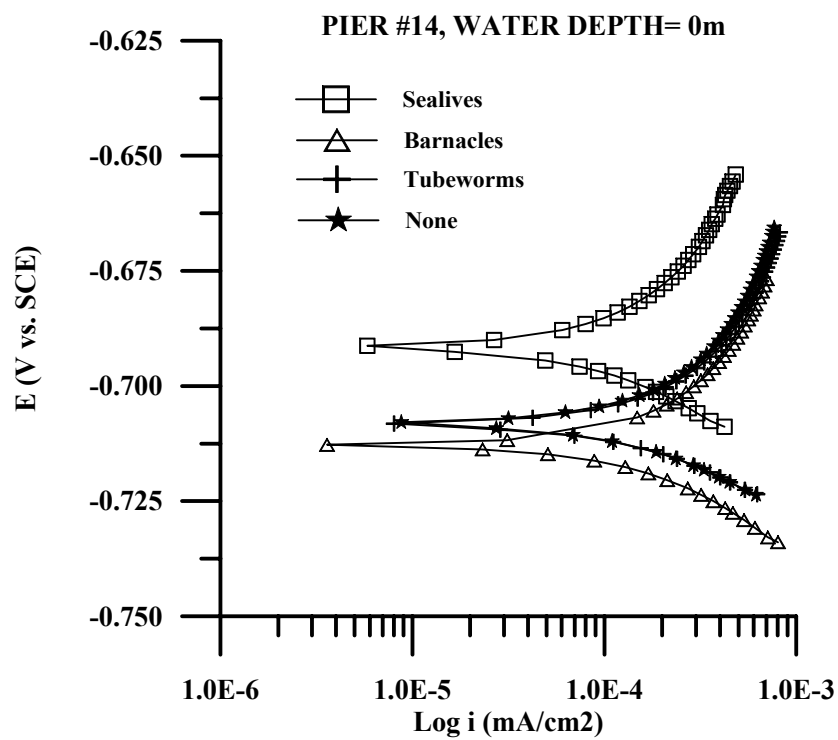


圖 4.60 試片在#14 號碼頭水深 0m 處之動電位極化曲線

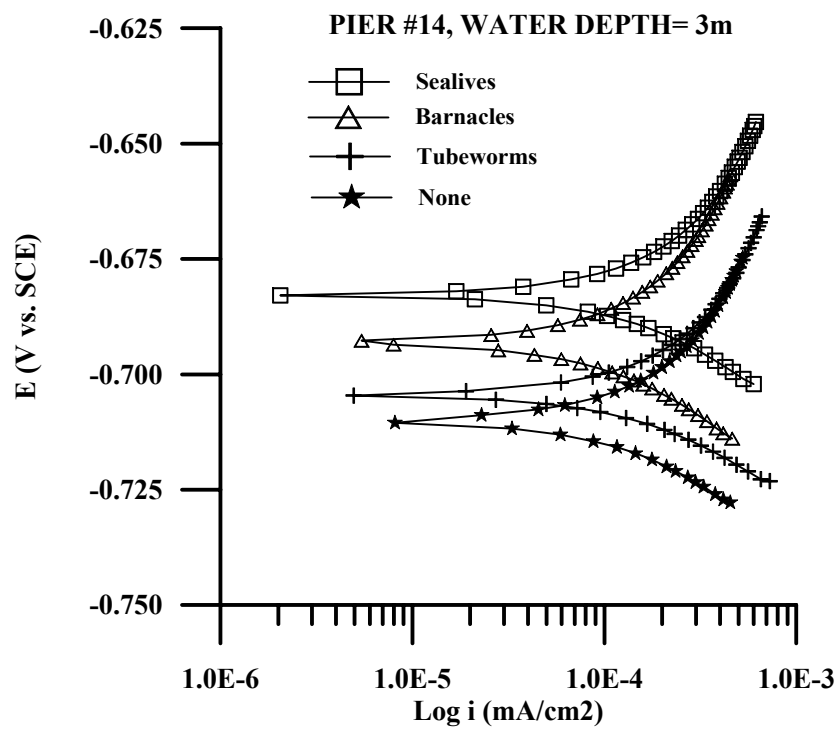


圖 4.61 試片在#14 號碼頭水深 3m 處之動電位極化曲線

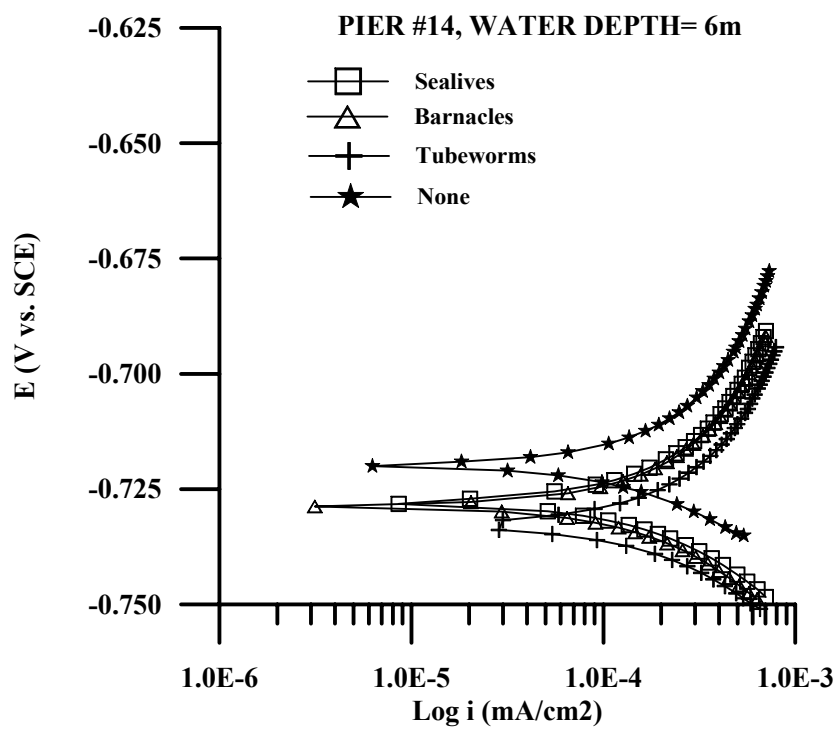


圖 4.62 試片在#14 號碼頭水深 6m 處之動電位極化曲線

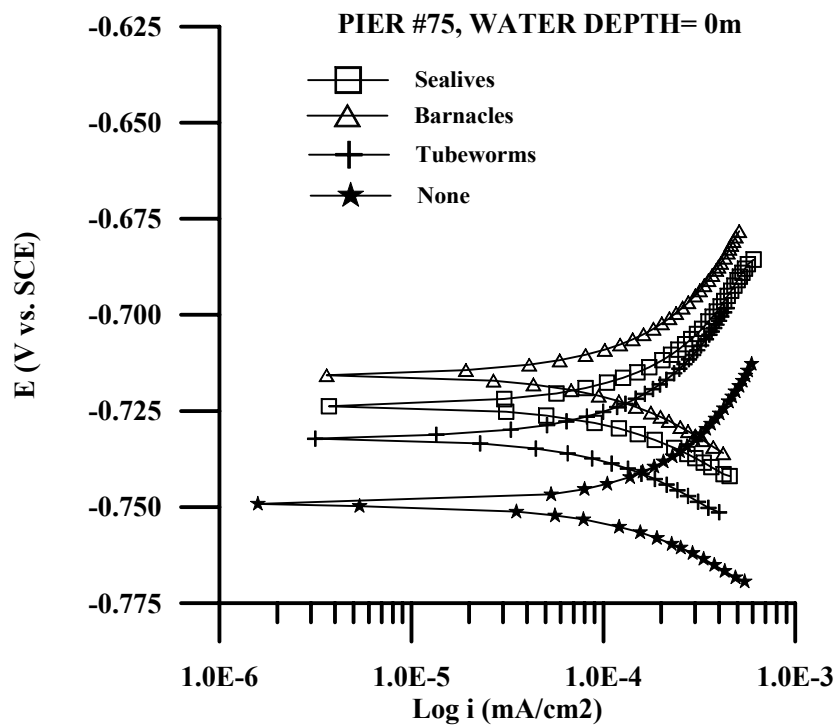


圖 4.63 試片在#75 號碼頭水深 0m 處之動電位極化曲線

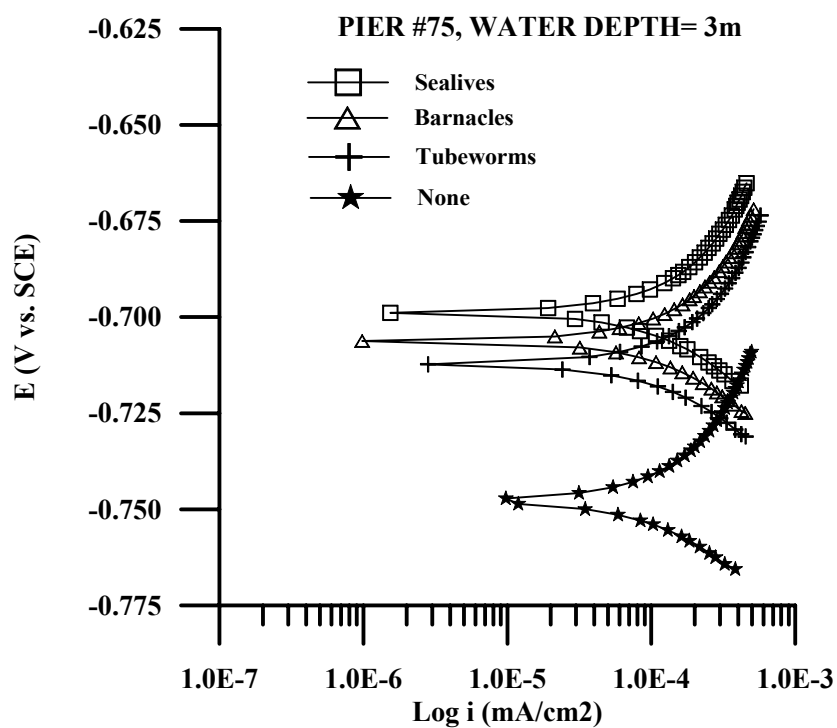


圖 4.64 試片在#75 號碼頭水深 3m 處之動電位極化曲線

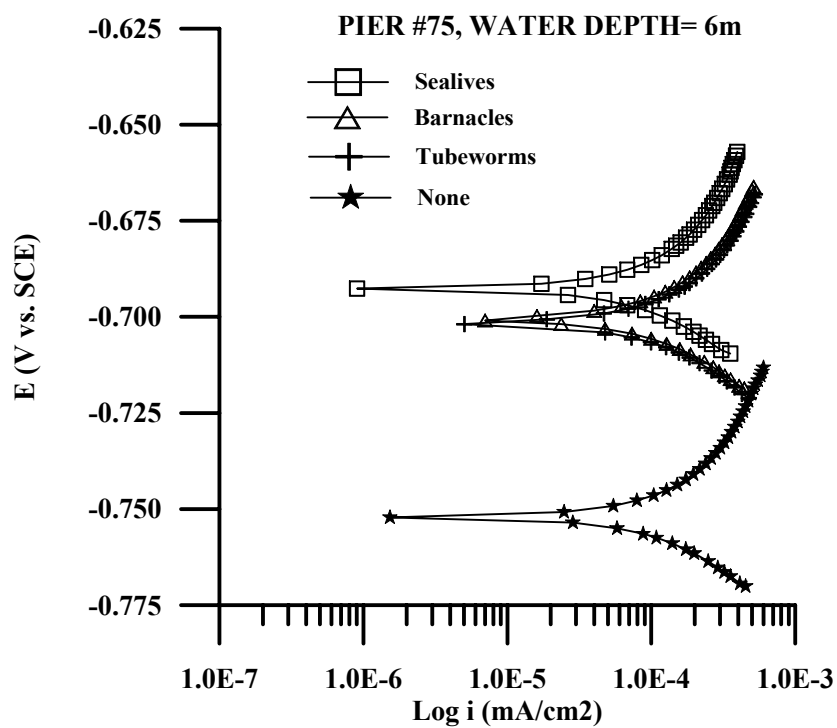


圖 4.65 試片在#75 號碼頭水深 6m 處之動電位極化曲線

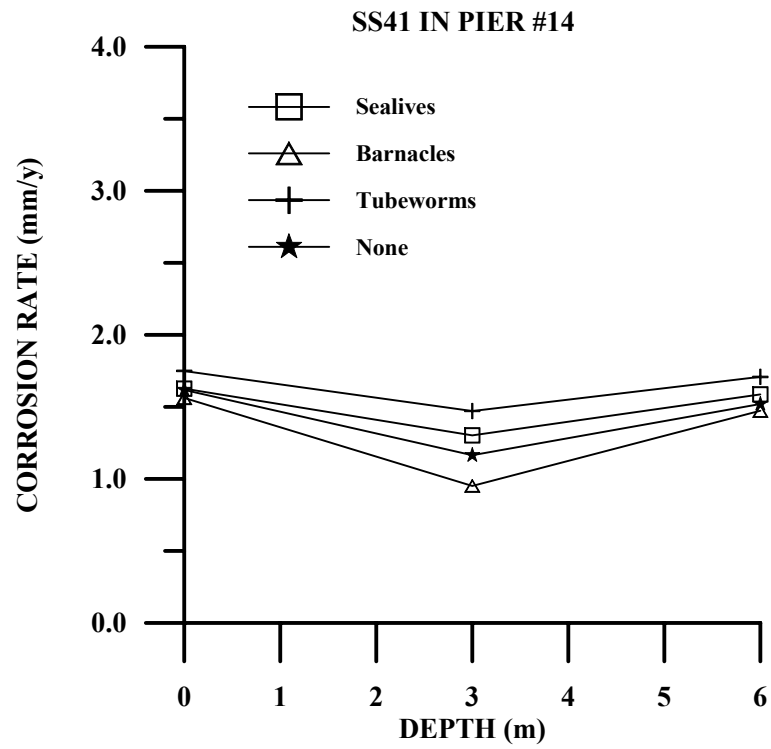


圖 4.66 試片在#14 號碼頭各水深 之瞬間腐蝕速率(DC 量測)

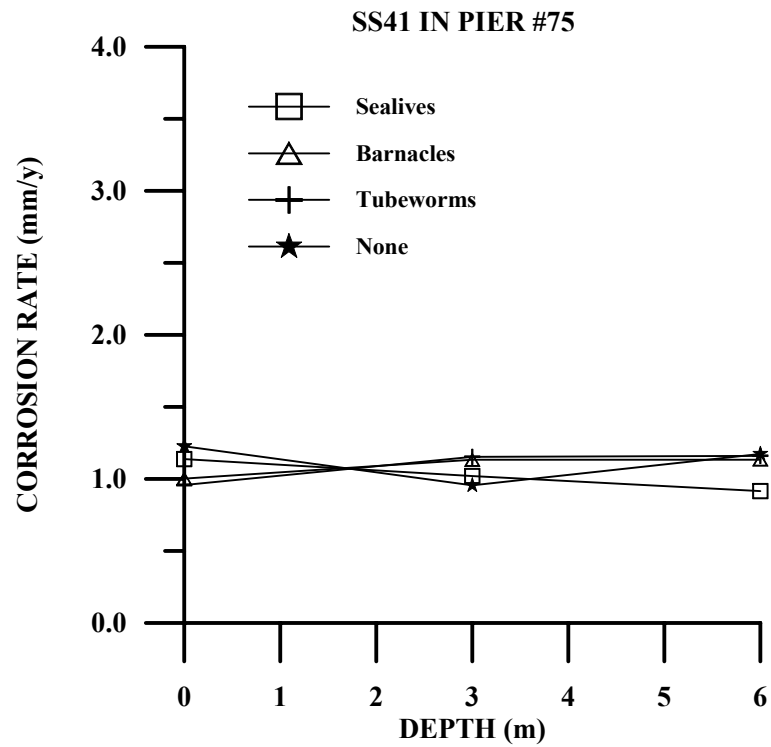


圖 4.67 試片在#75 號碼頭各水深之瞬間腐蝕速率(DC 量測)

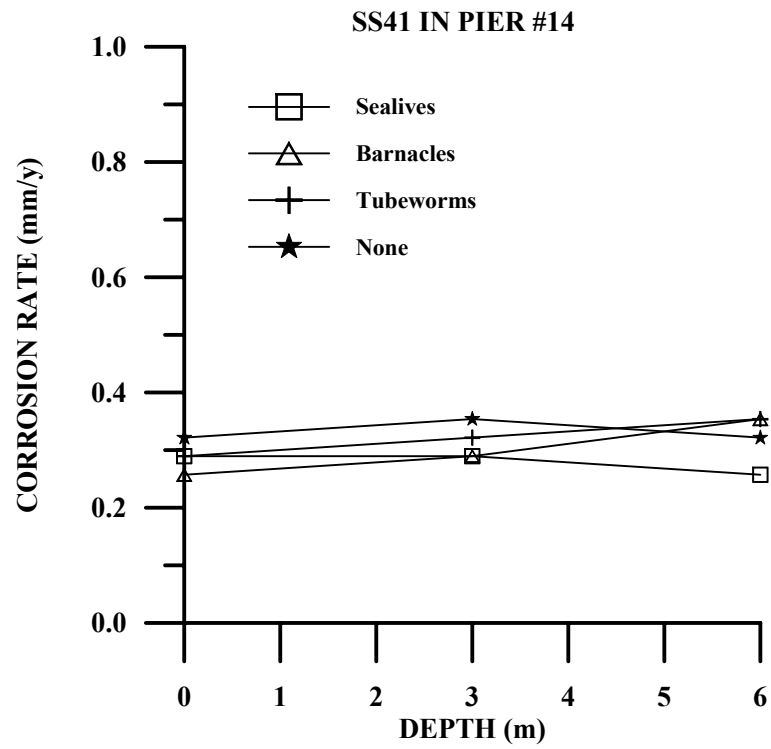


圖 4.68 試片在#14 號碼頭各水深之平均腐蝕速率(以重量損失法計算)

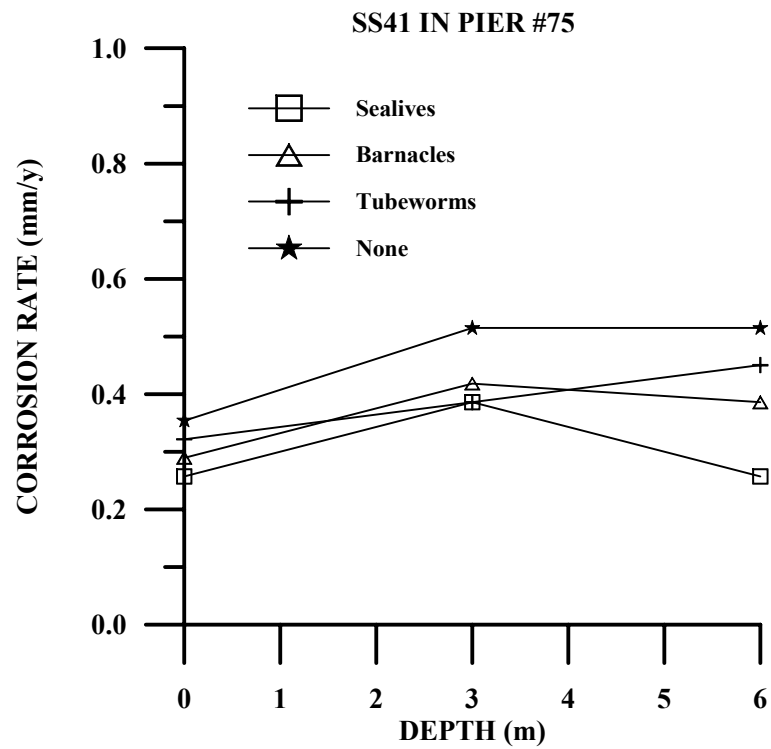


圖 4.69 試片在#75 號碼頭各水深之平均腐蝕速率(以重量損失法計算)

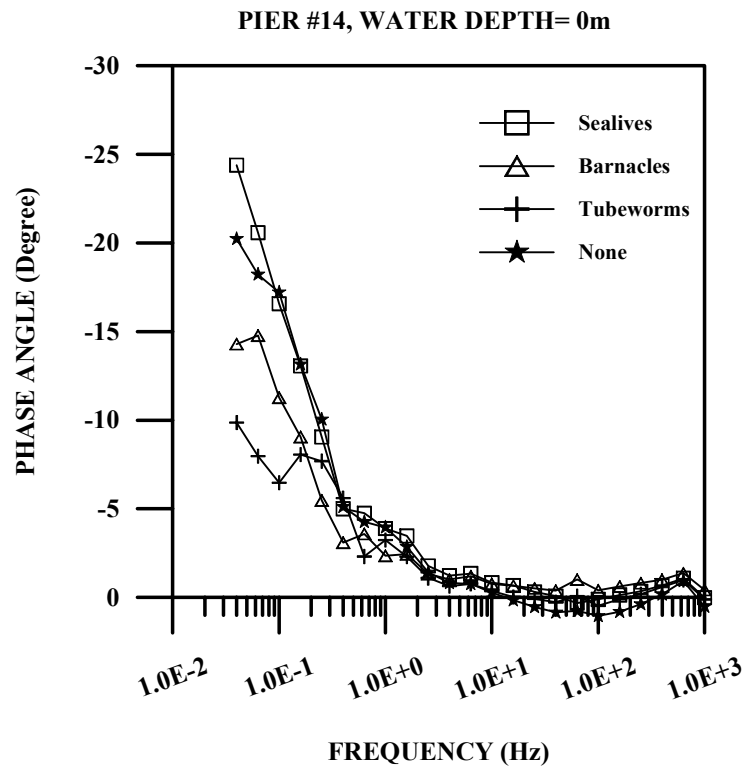


圖 4.70 試片在#14 號碼頭水深 0m 處之 Bode plots

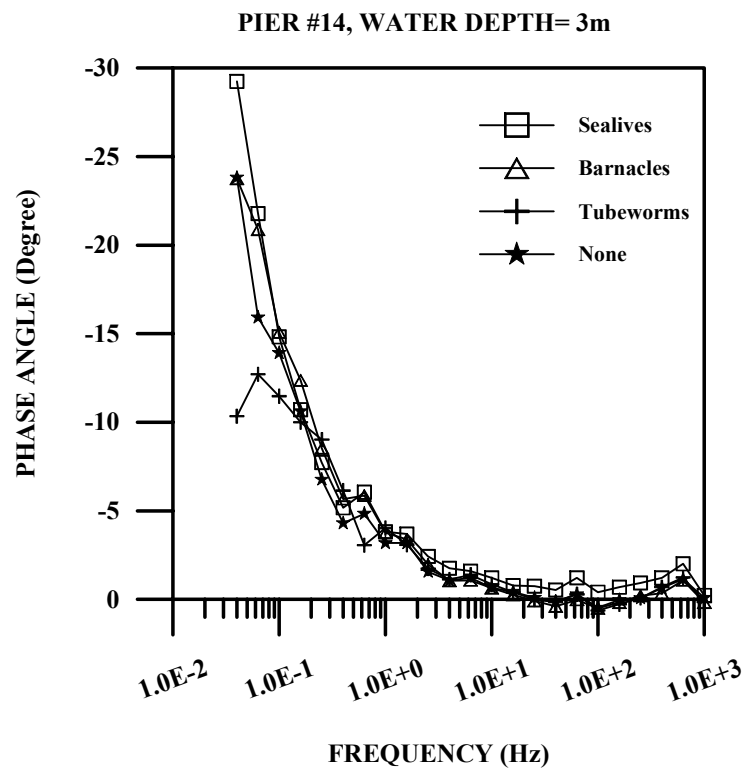


圖 4.71 試片在#14 號碼頭水深 3m 處之 Bode plots

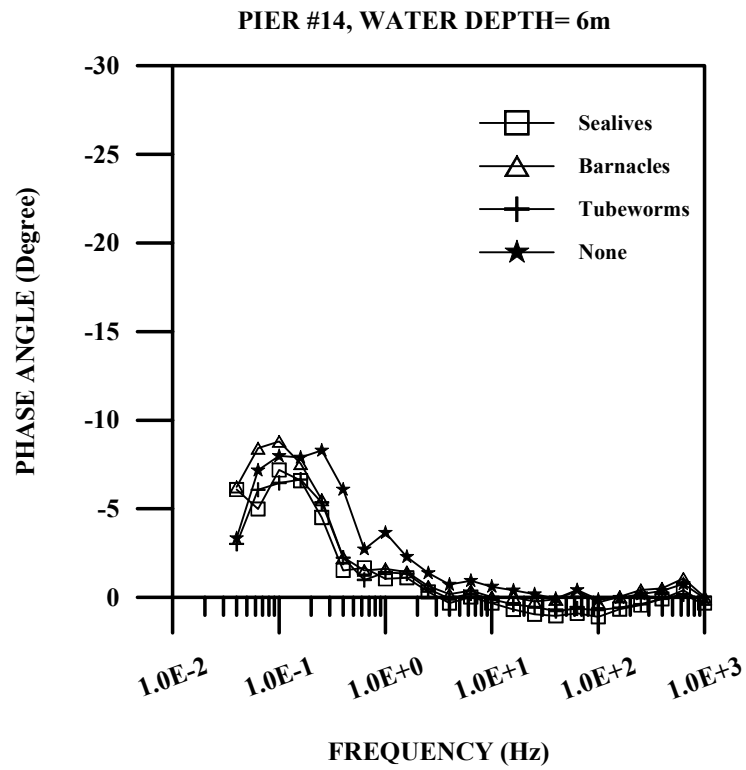


圖 4.72 試片在#14 號碼頭水深 6m 處之 Bode plots

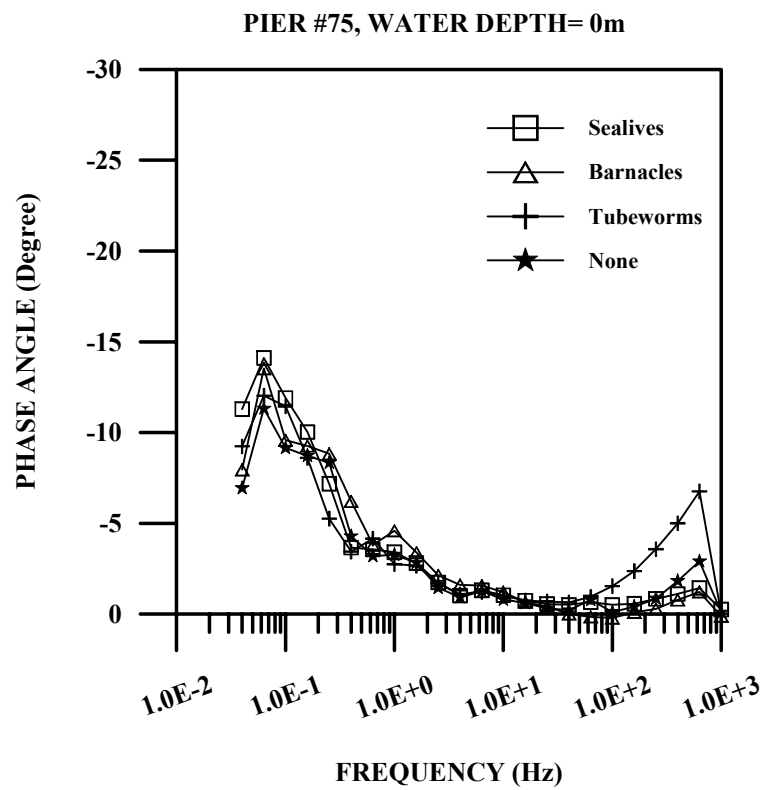


圖 4.73 試片在#75 號碼頭水深 0m 處之 Bode plots

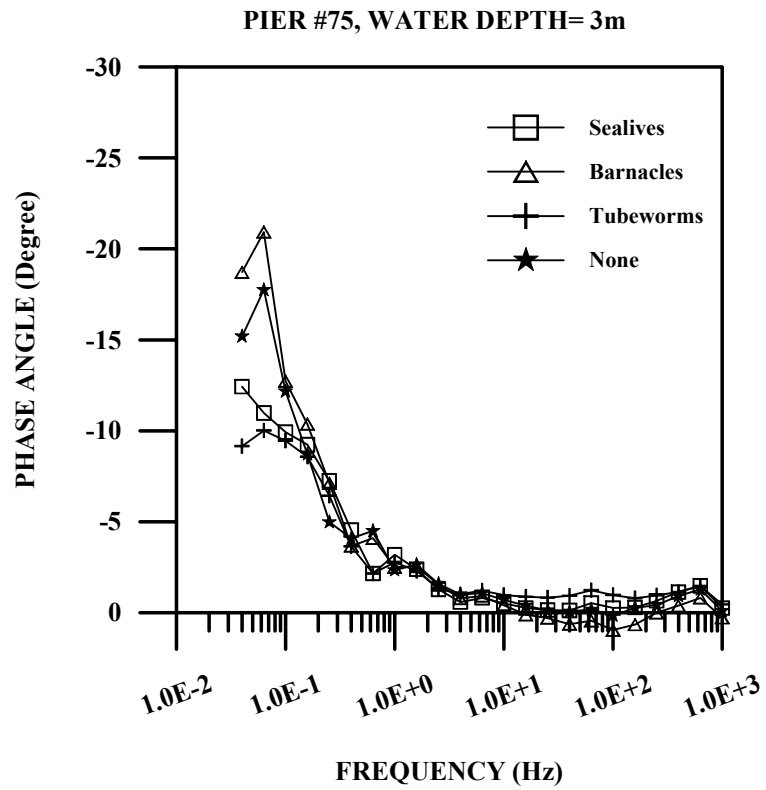


圖 4.74 試片在#75 號碼頭水深 3m 處之 Bode plots

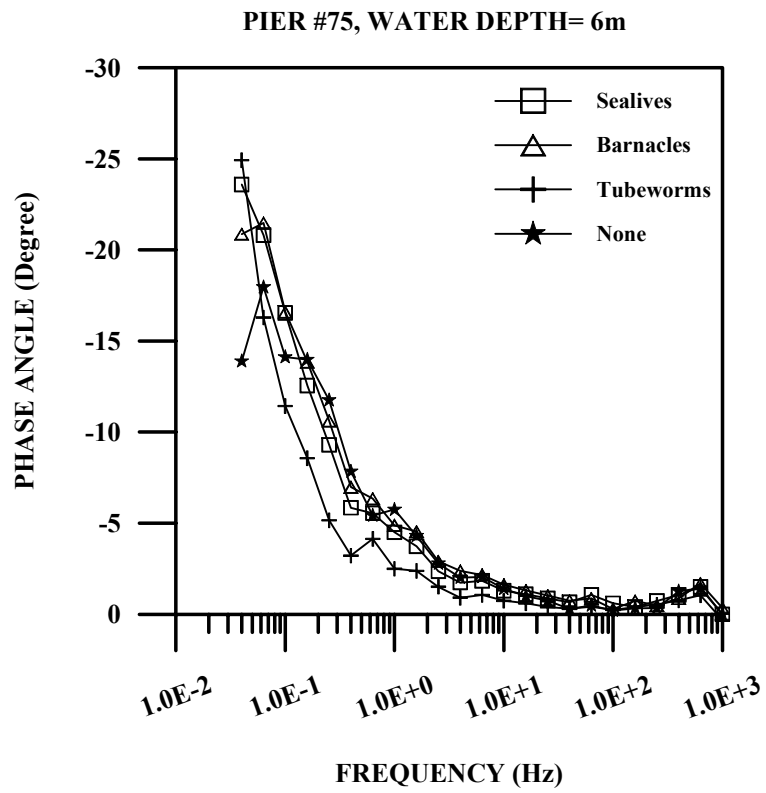


圖 4.75 試片在#75 號碼頭水深 6m 處之 Bode plots

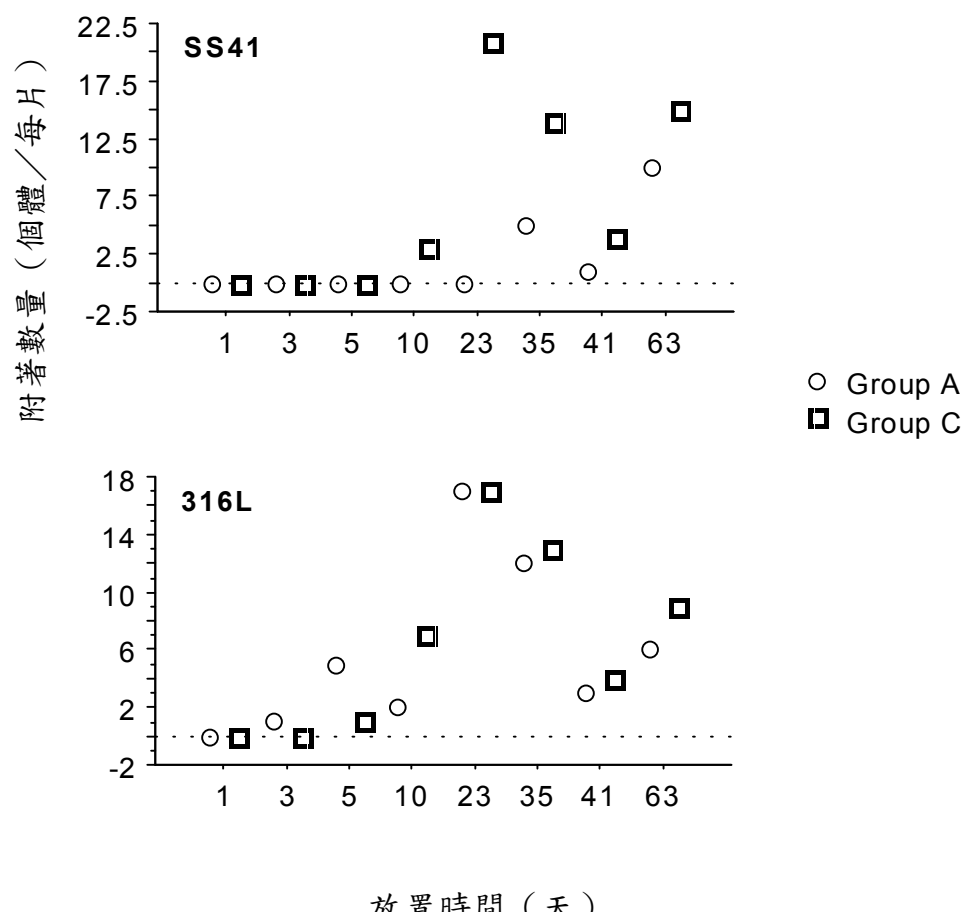


圖 4.76 試片組 A 與試片組 C 中，藤壺在 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上附著數量隨放置時間變化的情形

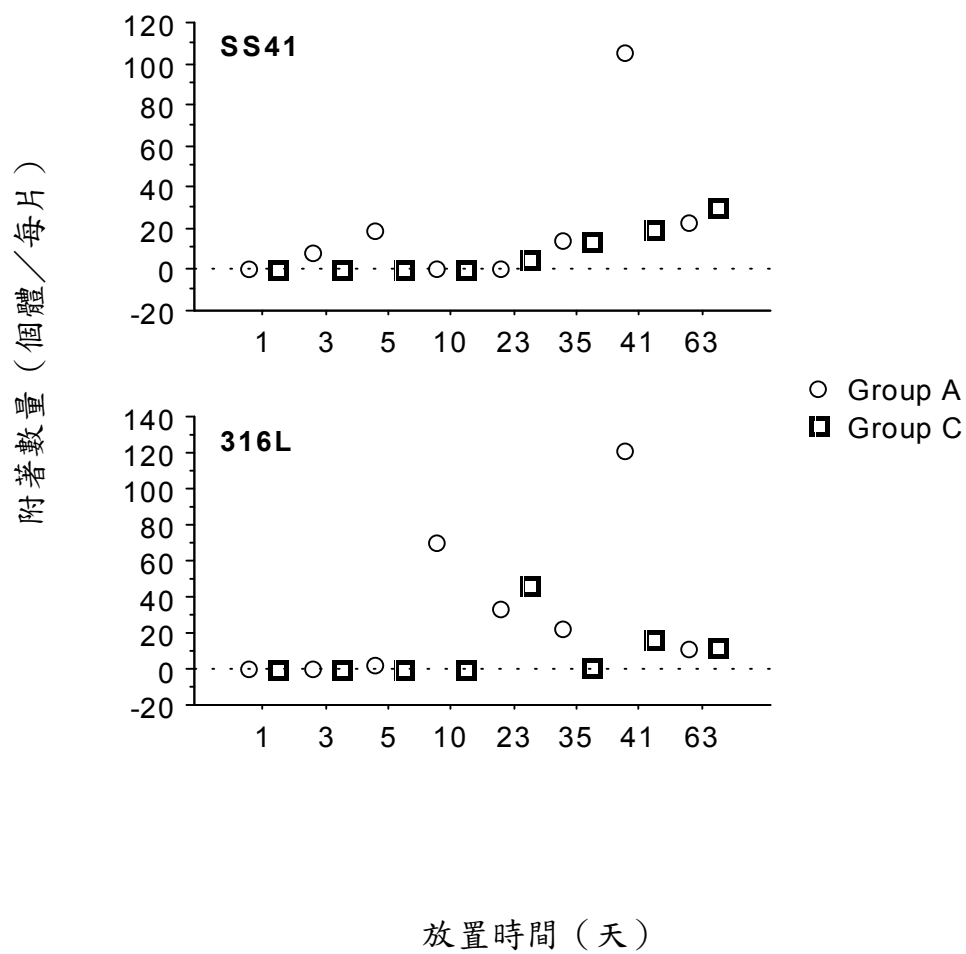


圖 4.77 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在 SS41 (碳鋼) 與 316L (不銹鋼) 二種試片上附著數量隨放置時間變化的情形

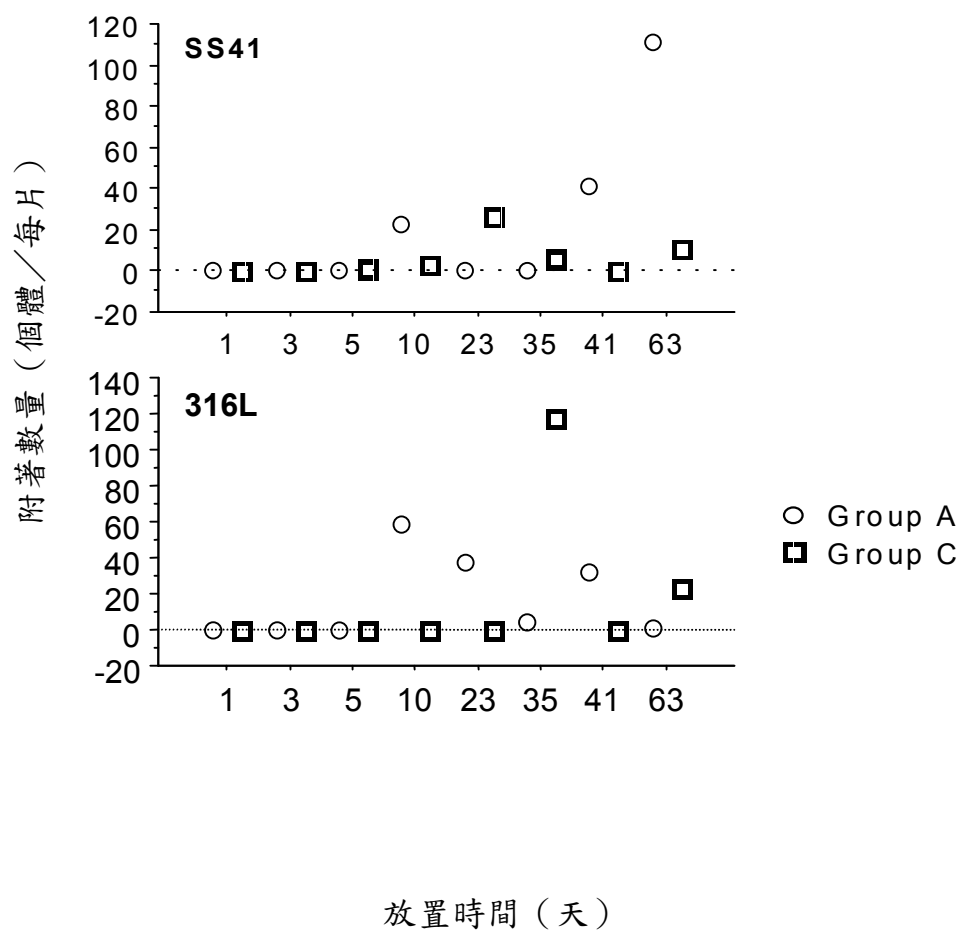


圖 4.78 試片組 A 與試片組 C 中，纓鰓蟲在 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上附著數量隨放置時間變化的情形

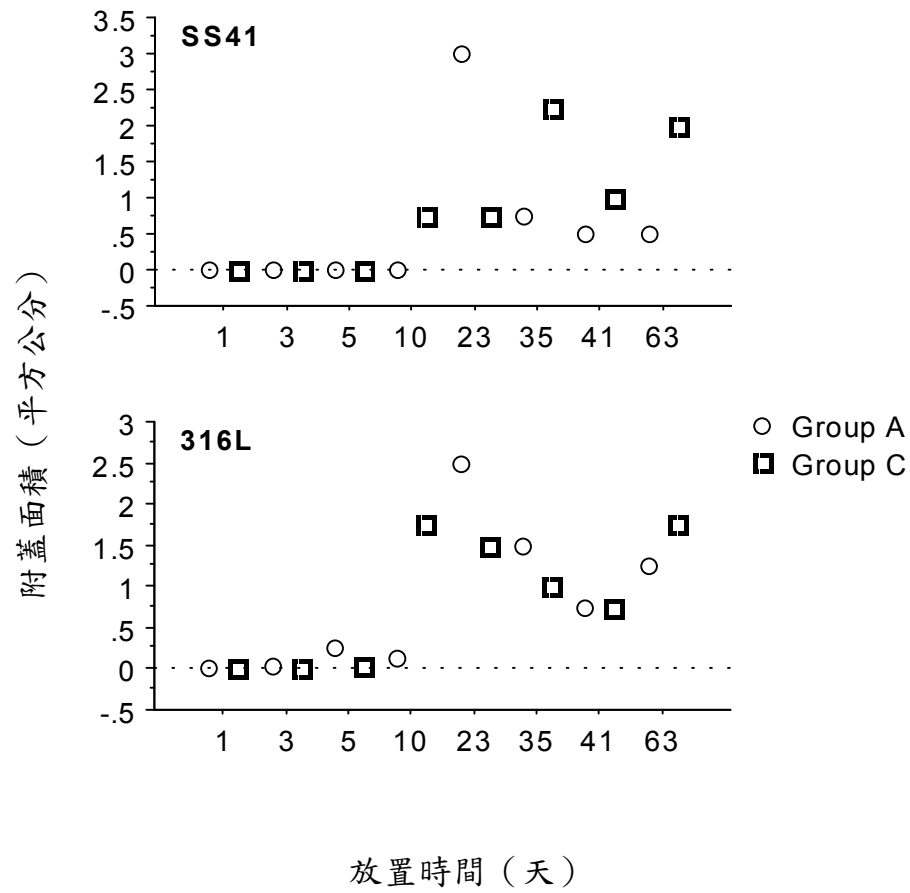


圖 4.79 試片組 A 與試片組 C 中，藤壺在 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形

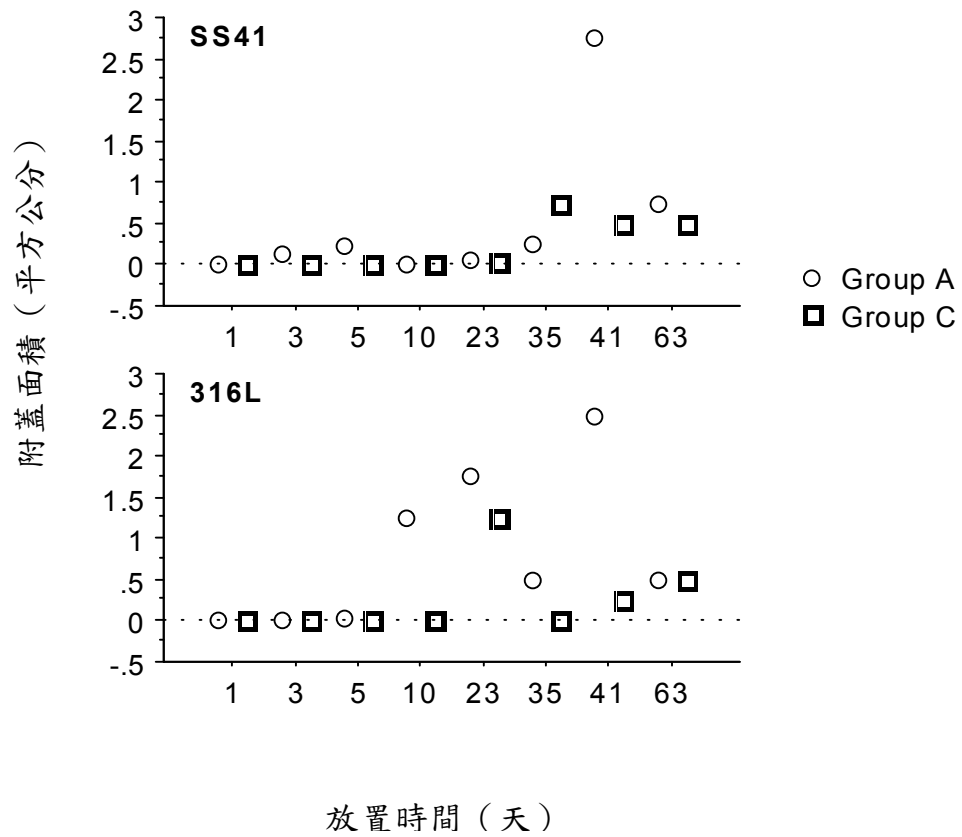


圖 4.80 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形

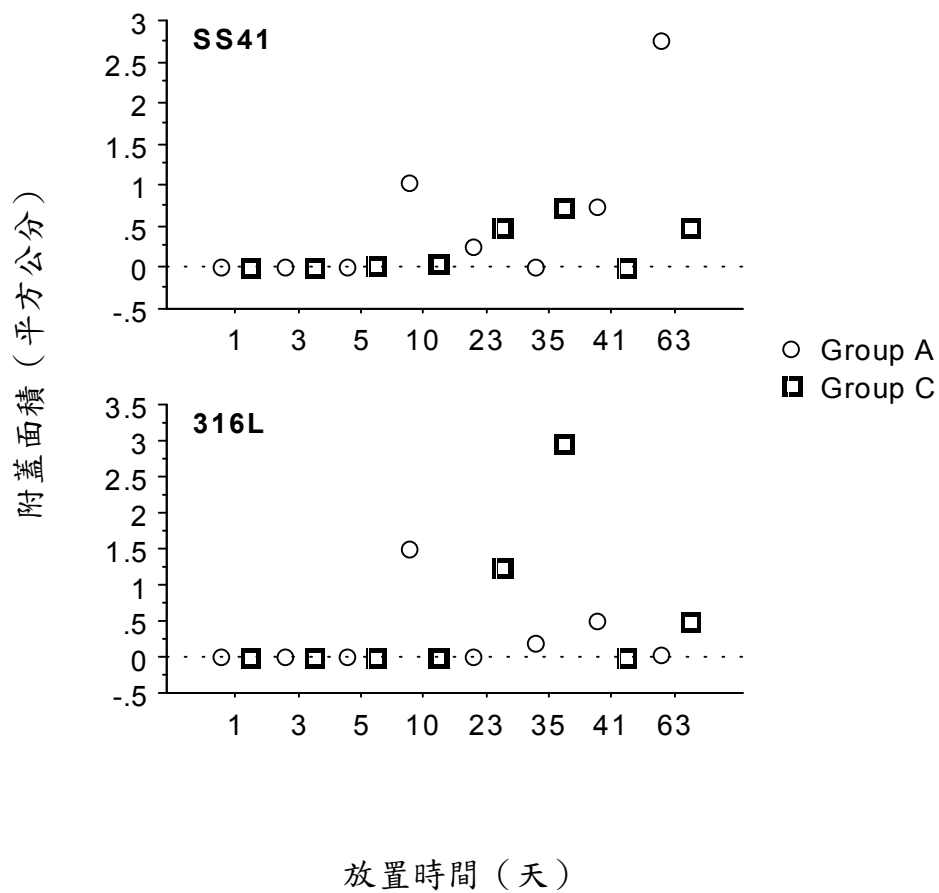


圖 4.81 試片組 A 與試片組 C 中，纓鰓蟲在 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形

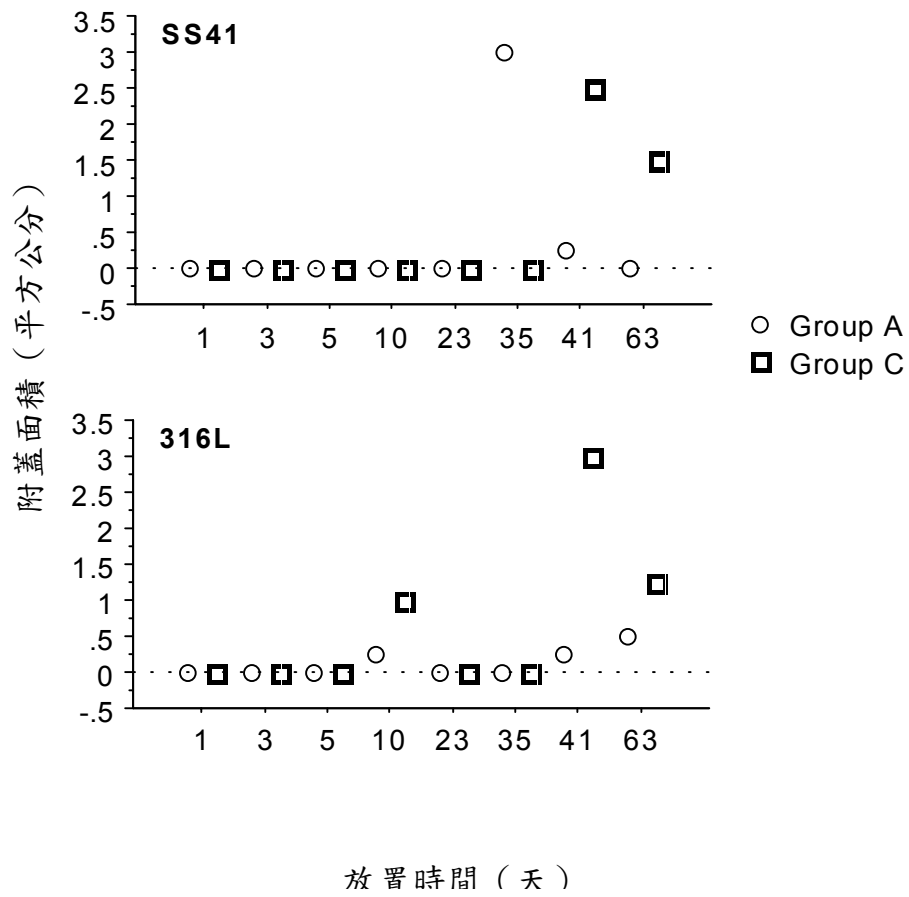


圖 4.82 試片組 A 與試片組 C 中，藻類在 SS41 (碳鋼) 與 316L (不銹鋼) 二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形

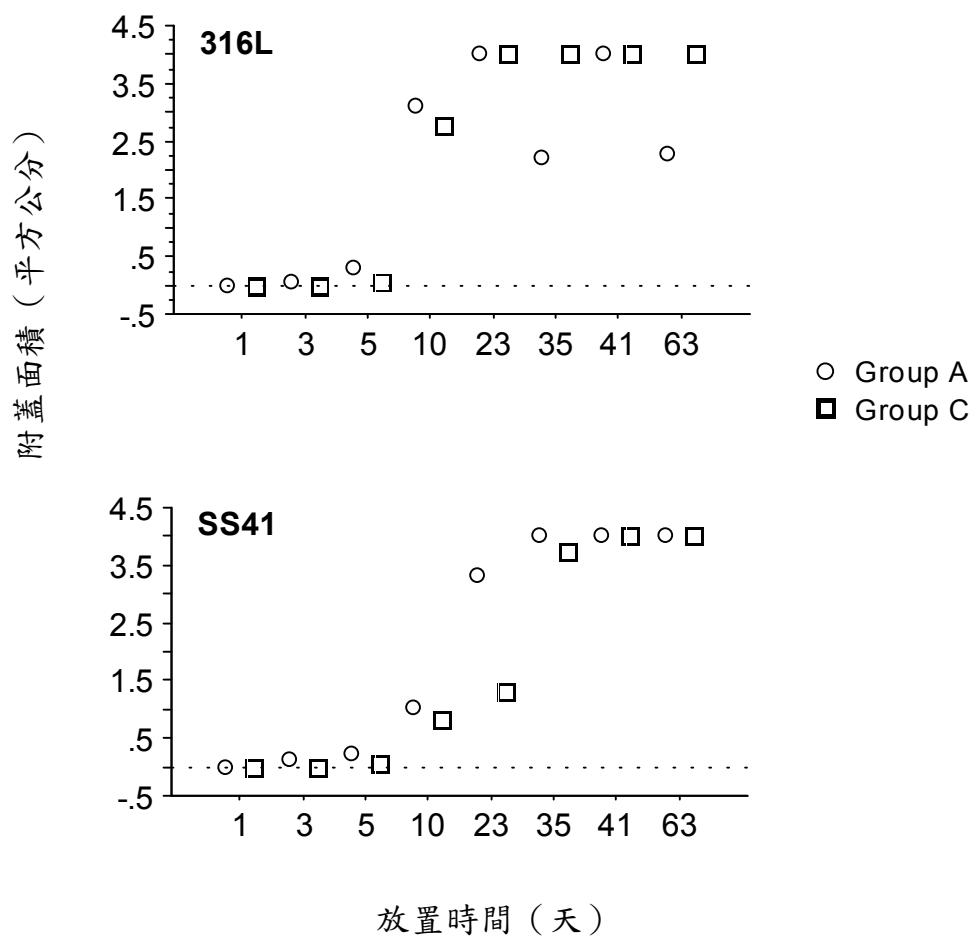


圖 4.83 試片組 A 與試片組 C 中，附著生物總附著面積在二種試片上覆蓋面積隨放置時間變化的情形

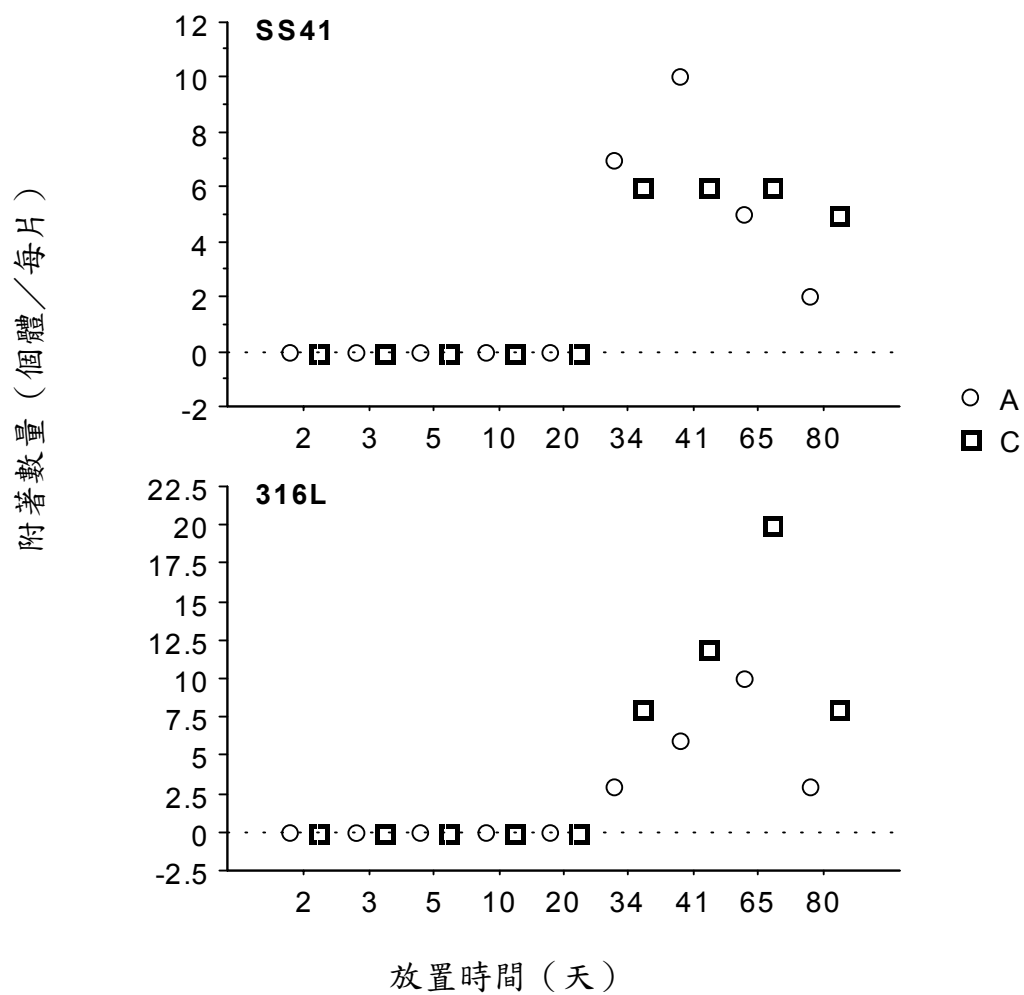


圖 4.84 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在兩種不同試片 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）上附着數量隨時間變化的情形

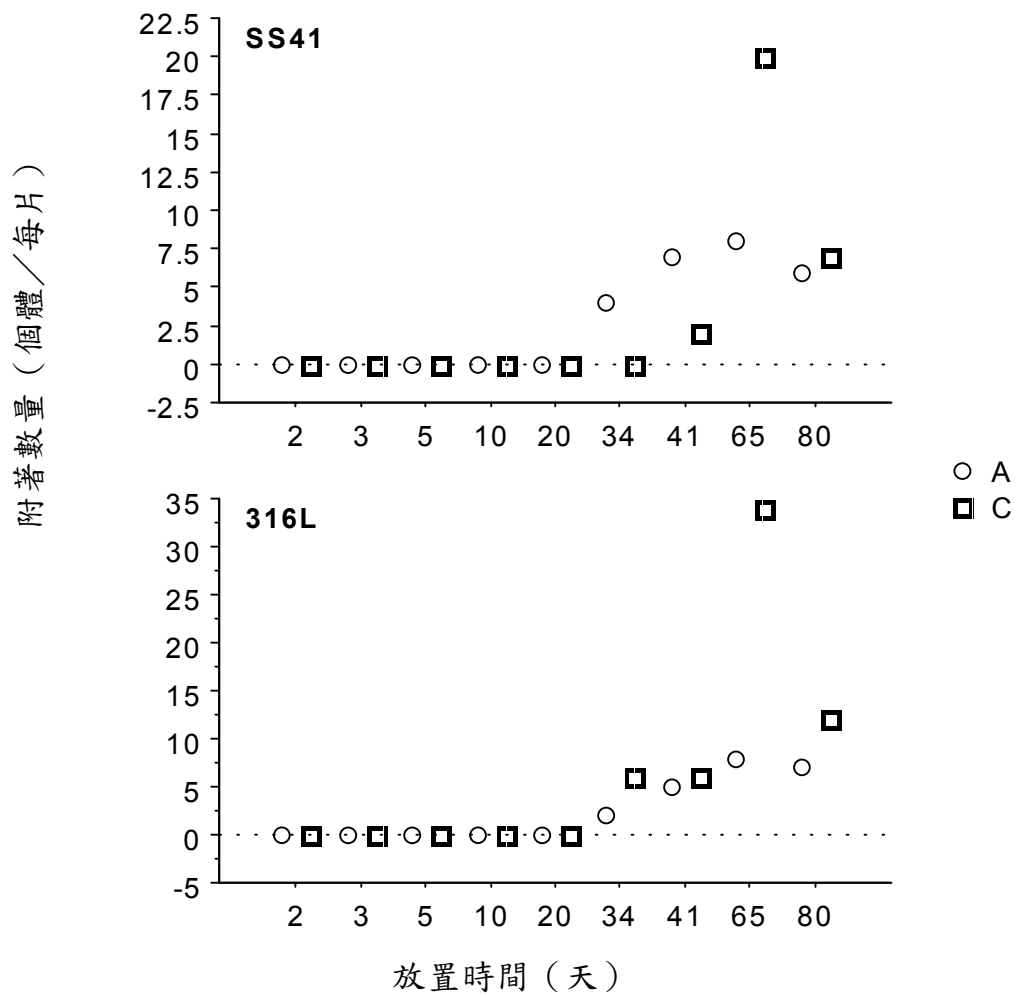


圖 4.85 試片組 A 與試片組 C 中，貽貝在兩種不同試片 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）上附著數量隨時間變化的情形

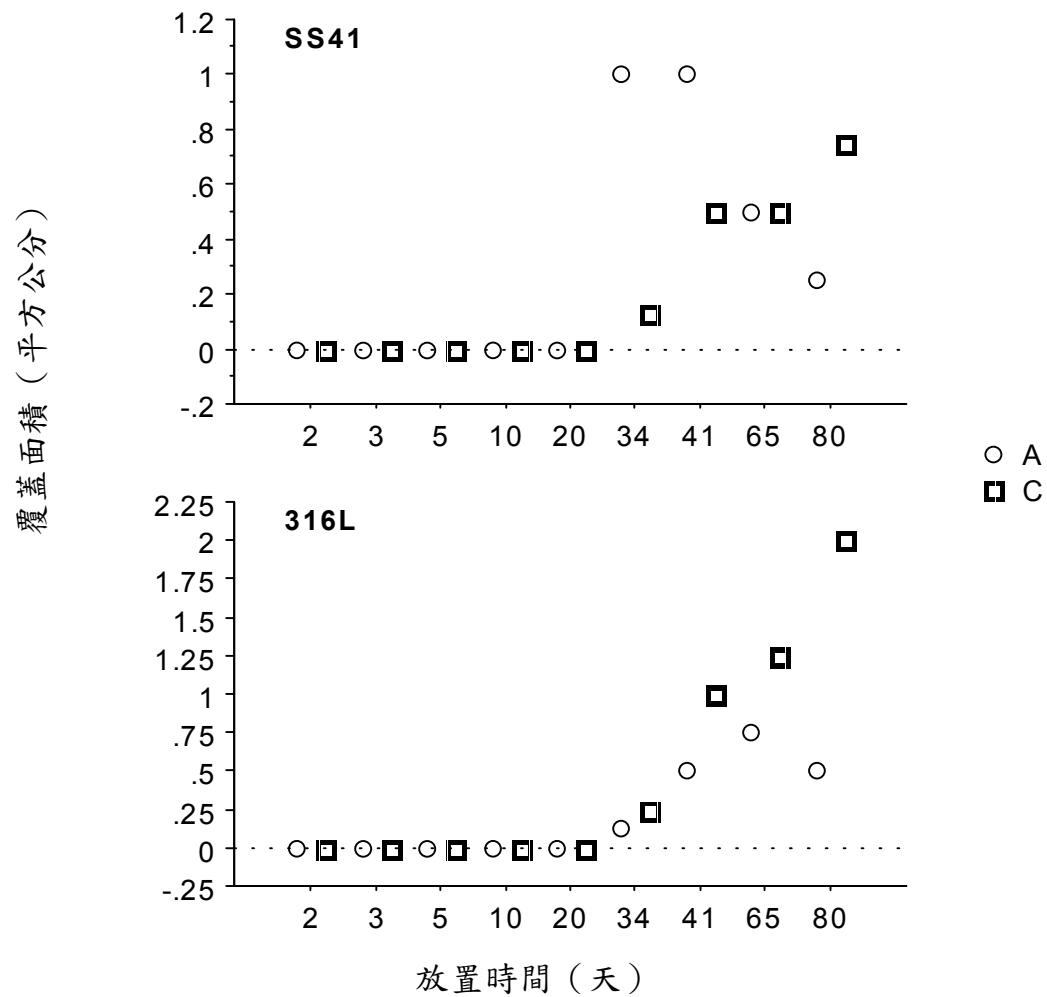


圖 4.86 試片組 A 與試片組 C 中，華美盤管蟲在兩種不同試片 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）上覆蓋面積隨時間變化的情形

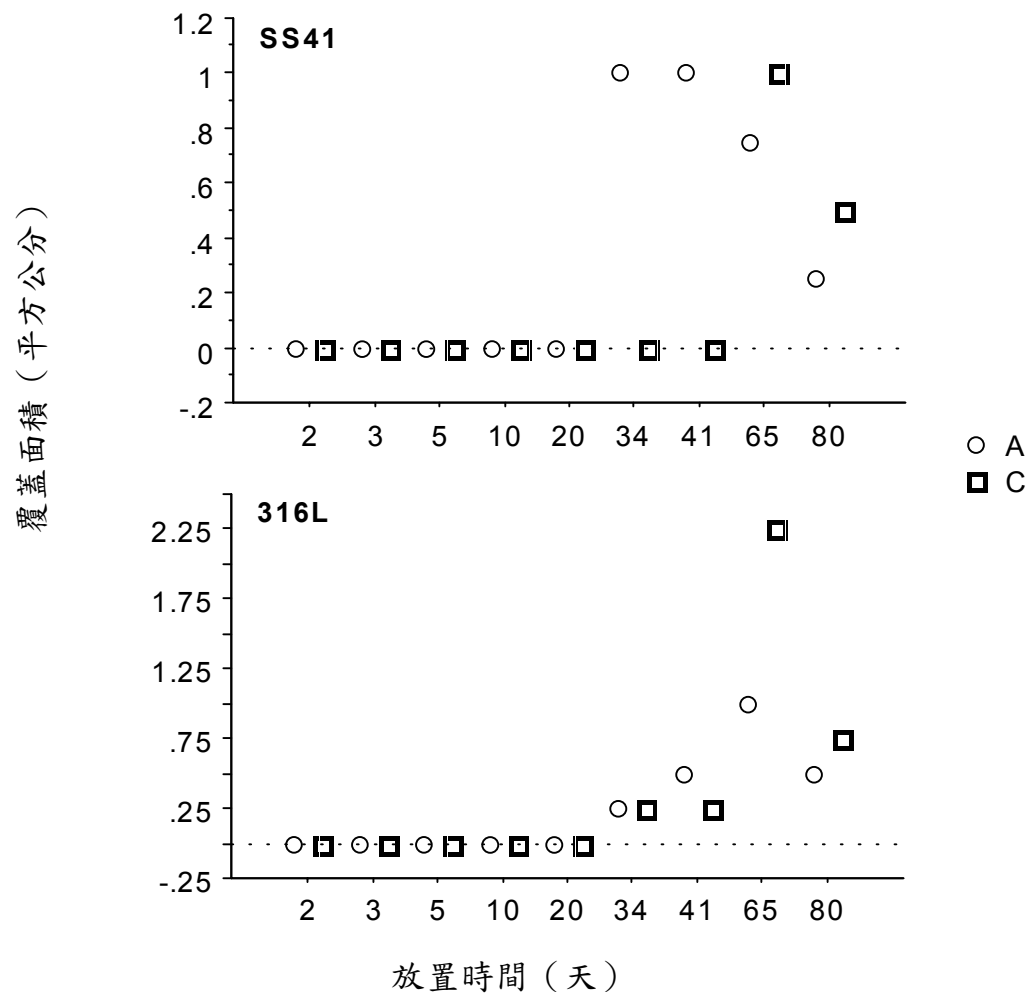


圖 4.87 試片組 A 與試片組 C 中，貽貝在兩種不同試片 SS41（碳鋼）與 316L（不銹鋼）上覆蓋面積隨時間變化的情形

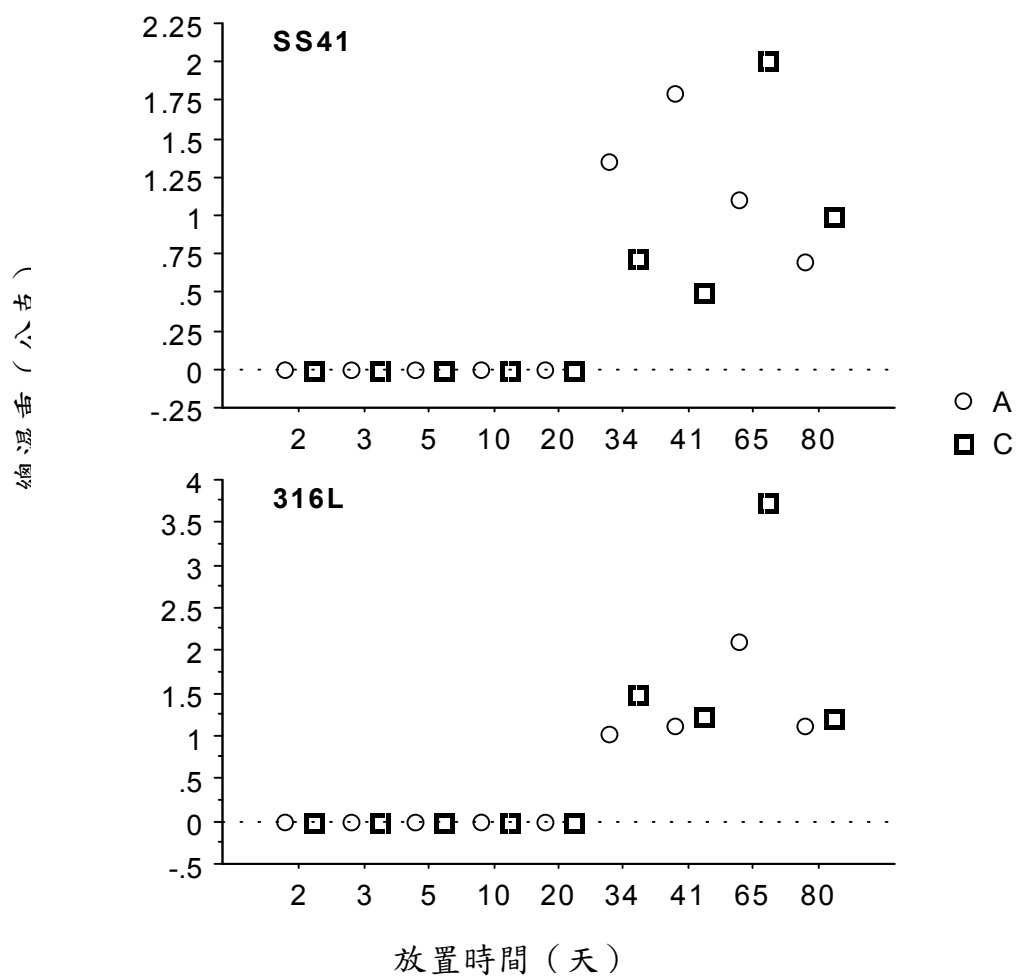


圖 4.88 試片組 A 與試片組 C 中兩種不同材質試片 SS41 (碳鋼) 與 316L (不銹鋼) 上，附著生物總濕重隨時間變化的情形

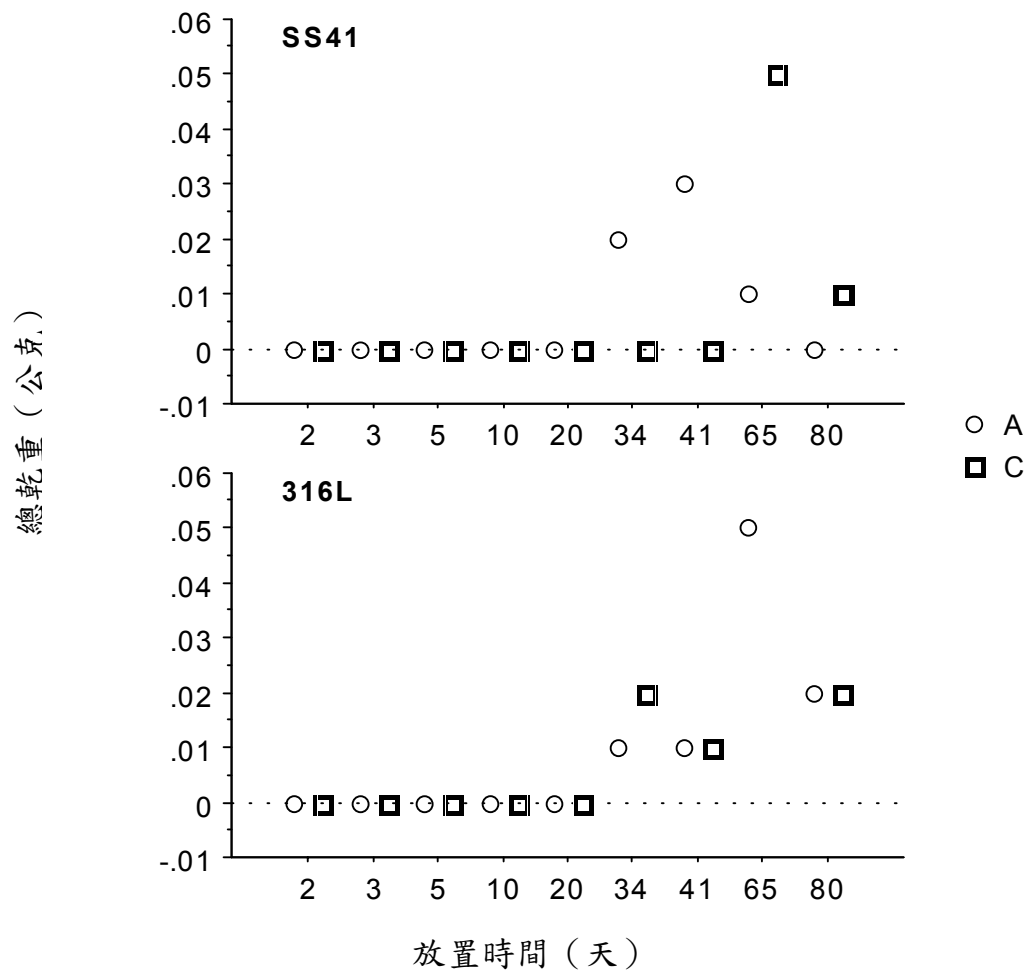


圖 4.89 試片組 A 與試片組 C 中兩種不同材質試片 SS41 (碳鋼) 與 316L (不銹鋼) 上，附著生物總乾重隨時間變化的情形

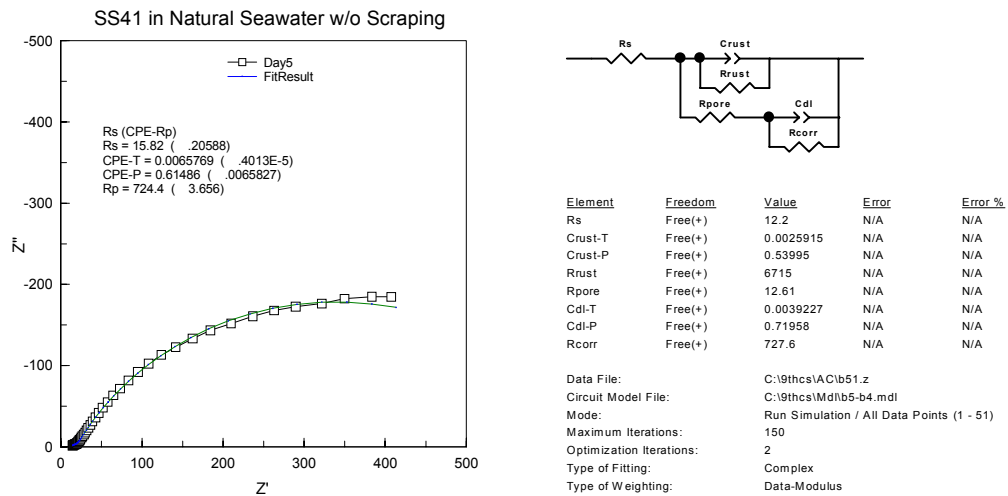


圖 4.90 冬季試片在天然海水中 5 日後之等效電位圖(無海生物附著)

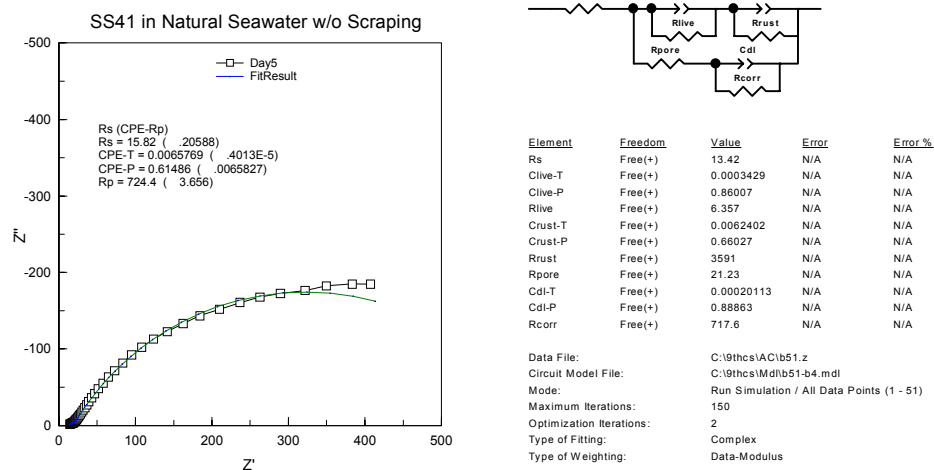
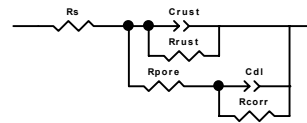
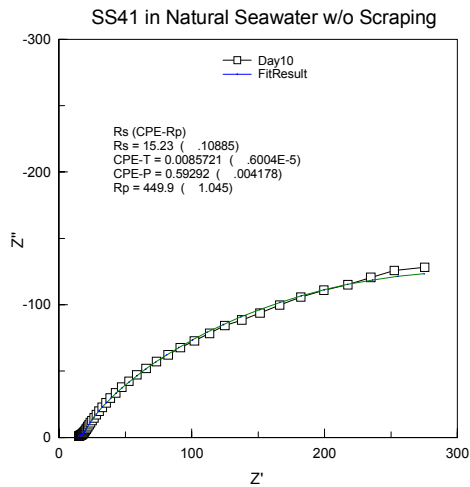


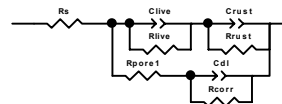
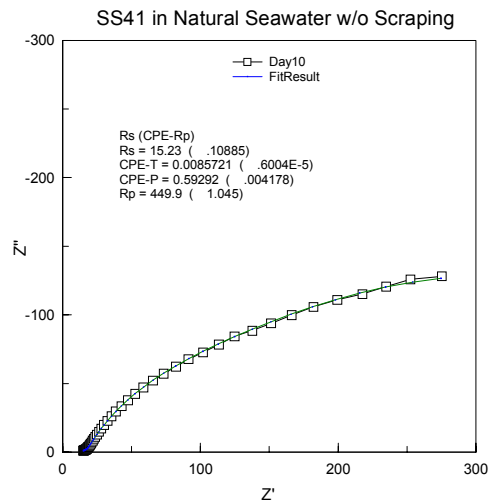
圖 4.91 冬季試片在天然海水中 5 日後之等效電位圖(假設有海生物附著)



Element	Freedom	Value	Error	Error %
Rs	Free(+)	12.95	N/A	N/A
Crust-T	Free(+)	0.0066902	N/A	N/A
Crust-P	Free(+)	0.44743	N/A	N/A
Rrust	Free(+)	17219	N/A	N/A
Rpore	Free(+)	10.04	N/A	N/A
Cdl-T	Free(+)	0.0022831	N/A	N/A
Cdl-P	Free(+)	0.82537	N/A	N/A
Rcorr	Free(+)	645.6	N/A	N/A

Data File: C:\9thcs\AC\b101.z
Circuit Model File: C:\9thcs\Mod\b10-b4.mdl
Mode: Run Simulation / All Data Points (1 - 51)
Maximum Iterations: 150
Optimization Iterations: 2
Type of Fitting: Complex
Type of Weighting: Data-Modulus

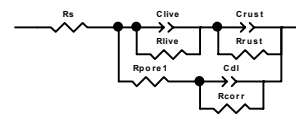
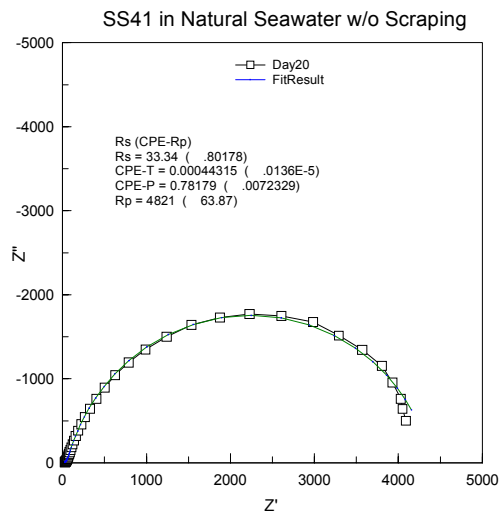
圖 4.92 冬季試片在天然海水中 10 日後之等效電位圖(無海生物附著)



Element	Freedom	Value	Error	Error %
Rs	Free(+)	14.09	N/A	N/A
Clive-T	Free(+)	0.0020574	N/A	N/A
Clive-P	Free(+)	0.66584	N/A	N/A
Rlive	Free(+)	3.296	N/A	N/A
Crust-T	Free(+)	0.0065891	N/A	N/A
Crust-P	Free(+)	0.6987	N/A	N/A
Rrust	Free(+)	4525	N/A	N/A
Rpore1	Free(+)	205.4	N/A	N/A
Cdl-T	Free(+)	0.016197	N/A	N/A
Cdl-P	Free(+)	0.59933	N/A	N/A
Rcorr	Free(+)	412.5	N/A	N/A

Data File: C:\9thcs\AC\b101.z
Circuit Model File: C:\9thcs\Mod\b101-b4.mdl
Mode: Run Simulation / All Data Points (1 - 51)
Maximum Iterations: 150
Optimization Iterations: 2
Type of Fitting: Complex
Type of Weighting: Data-Modulus

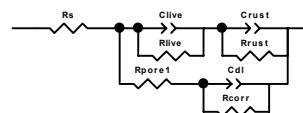
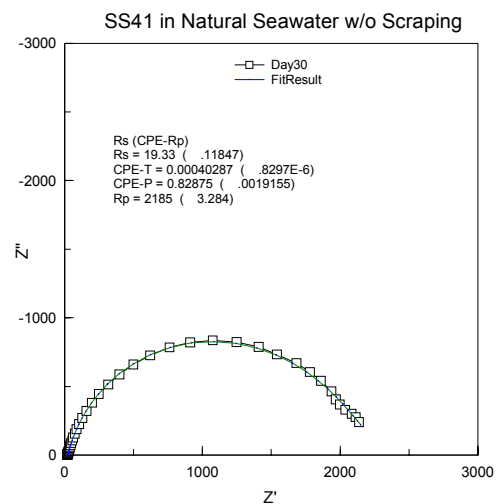
圖 4.93 冬季試片在天然海水中 10 日後之等效電位圖(假設有海生物附著)



Element	Freedom	Value	Error	Error %
Rs	Free(+)	17.98	N/A	N/A
Clive-T	Free(+)	0.010614	N/A	N/A
Clive-P	Free(+)	0.18488	N/A	N/A
Rlive	Free(+)	5636	N/A	N/A
Crust-T	Free(+)	0.00040893	N/A	N/A
Crust-P	Free(+)	0.87071	N/A	N/A
Rrust	Free(+)	51664	N/A	N/A
Rpore1	Free(+)	32.05	N/A	N/A
Cdi-T	Free(+)	6.6512E-6	N/A	N/A
Cdi-P	Free(+)	1.065	N/A	N/A
Rcorr	Free(+)	4742	N/A	N/A

Data File: c:\9thcs\ac\B201.z
Circuit Model File: C:\9thcs\Mdl\b201-b4.mdl
Mode: Run Simulation / All Data Points (1 - 51)
Maximum Iterations: 150
Optimization Iterations: 2
Type of Fitting: Complex
Type of Weighting: Data-Modulus

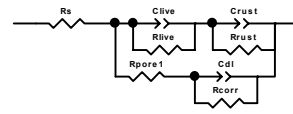
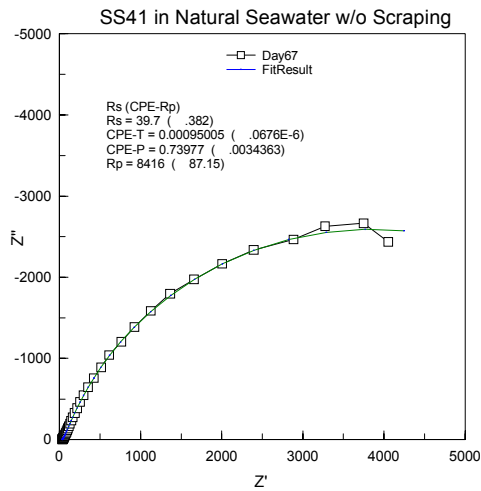
圖 4.94 冬季試片在天然海水中 20 日後之等效電位圖



Element	Freedom	Value	Error	Error %
Rs	Free(+)	17.87	N/A	N/A
Clive-T	Free(+)	0.0023993	N/A	N/A
Clive-P	Free(+)	0.60545	N/A	N/A
Rlive	Free(+)	6.058E6	N/A	N/A
Crust-T	Free(+)	0.00033877	N/A	N/A
Crust-P	Free(+)	0.97897	N/A	N/A
Rrust	Free(+)	78247	N/A	N/A
Rpore1	Free(+)	61.87	N/A	N/A
Cdi-T	Free(+)	0.00014493	N/A	N/A
Cdi-P	Free(+)	0.38286	N/A	N/A
Rcorr	Free(+)	2366	N/A	N/A

Data File: C:\9thcs\AC\A301.z
Circuit Model File: C:\9thcs\Mdl\b308-b4.mdl
Mode: Run Simulation / All Data Points (1 - 51)
Maximum Iterations: 150
Optimization Iterations: 2
Type of Fitting: Complex
Type of Weighting: Data-Modulus

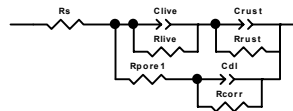
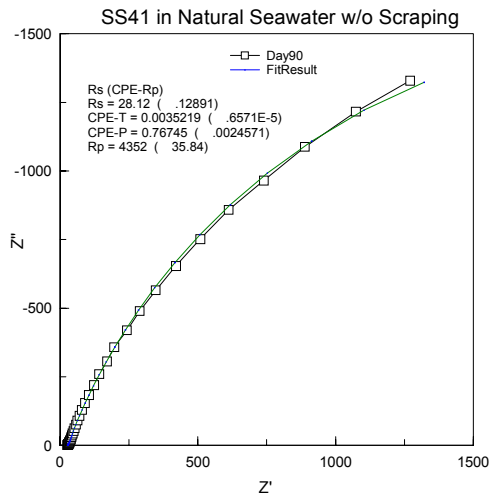
圖 4.95 冬季試片在天然海水中 30 日後之等效電位圖



Element	Freedom	Value	Error	Error %
Rs	Free(+)	33.73	N/A	N/A
Clive-T	Free(+)	0.0054787	N/A	N/A
Clive-P	Free(+)	0.41677	N/A	N/A
Rlive	Free(+)	1.352E8	N/A	N/A
Crust-T	Free(+)	0.00049304	N/A	N/A
Crust-P	Free(+)	0.97496	N/A	N/A
Rrust	Free(+)	1.0056E5	N/A	N/A
Rpore1	Free(+)	199.5	N/A	N/A
Cdi-T	Free(+)	0.0005642	N/A	N/A
Cdi-P	Free(+)	0.66147	N/A	N/A
Rcorr	Free(+)	8347	N/A	N/A

Data File: C:\9thcs\ACIA671.z
Circuit Model File: C:\9thcs\Mdlb671-b4.mdl
Mode: Run Simulation / All Data Points (1 - 51)
Maximum Iterations: 150
Optimization Iterations: 2
Type of Fitting: Complex
Type of Weighting: Data-Modulus

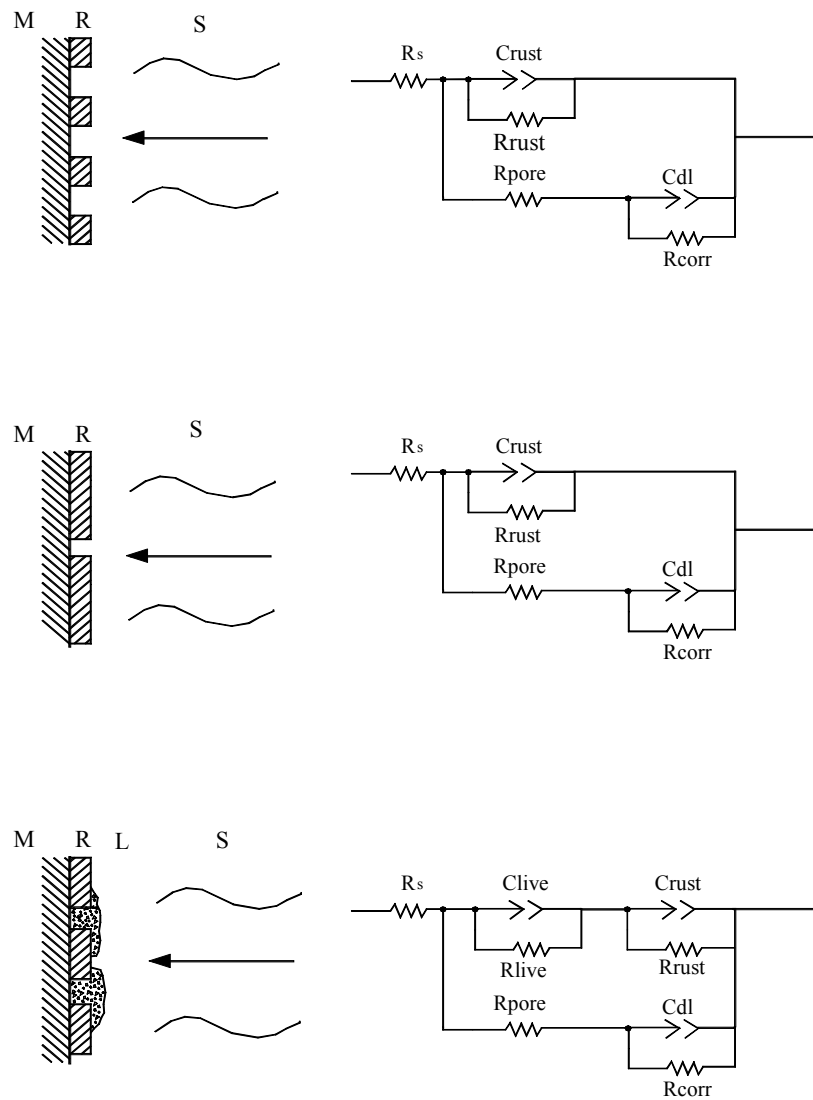
圖 4.96 冬季試片在天然海水中 67 日後之等效電位圖



Element	Freedom	Value	Error	Error %
Rs	Free(+)	26.94	N/A	N/A
Clive-T	Free(+)	0.0049715	N/A	N/A
Clive-P	Free(+)	0.6437	N/A	N/A
Rlive	Free(+)	17818	N/A	N/A
Crust-T	Free(+)	0.00060235	N/A	N/A
Crust-P	Free(+)	1.495	N/A	N/A
Rrust	Free(+)	79891	N/A	N/A
Rpore1	Free(+)	49.17	N/A	N/A
Cdi-T	Free(+)	0.0035219	N/A	N/A
Cdi-P	Free(+)	0.76745	N/A	N/A
Rcorr	Free(+)	4523	N/A	N/A

Data File: c:\9thcs\lacIB901.z
Circuit Model File: C:\9thcs\Mdlb901-b4.mdl
Mode: Run Simulation / All Data Points (1 - 51)
Maximum Iterations: 150
Optimization Iterations: 2
Type of Fitting: Complex
Type of Weighting: Data-Modulus

圖 4.97 冬季試片在天然海水中 90 日後之等效電位圖



M: metal
R: rust
L: sealives
S: seawater

R_s : resistance of the seawater
 R_{rust} : resistance of the rust film
 C_{rust} : capacitance of the rust film
 R_{live} : resistance of the sealives
 C_{live} : capacitance of the sealives

R_{pore} : resistance of the void between the rust particles on the bare metal surface
 R_{corr} : charge transfer resistance
 C_{dl} : capacitance of the double layer

圖 4.98 海生物附著與金屬腐蝕之機理推論示意圖

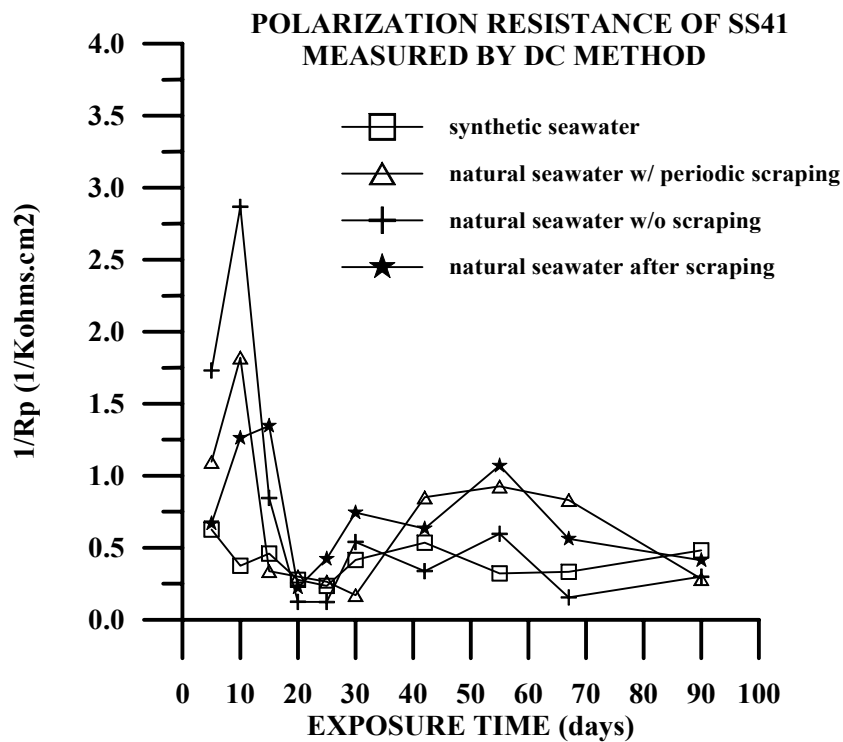


圖 4.99 冬季試片腐蝕速率($1/R_p$)與浸漬時間之關係 (DC 量測)

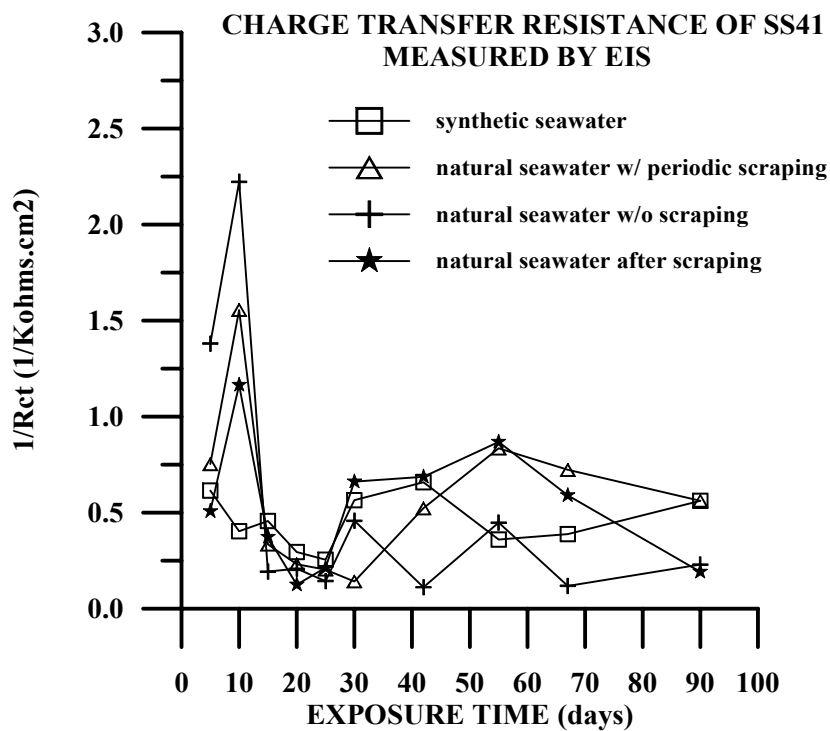


圖 4.100 冬季試片腐蝕速率($1/R_{ct}$)與浸漬時間之關係 (EIS 量測)

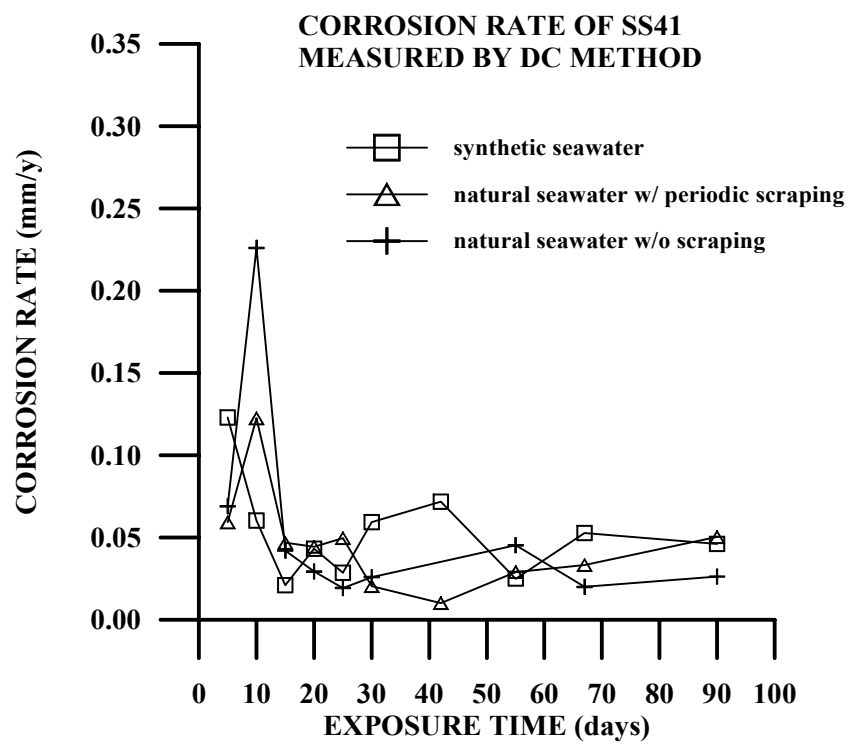


圖 4.101 冬季試片腐蝕速率(mm/y)與浸漬時間之關係 (DC 量測)

SS41 in Seawater at Day5

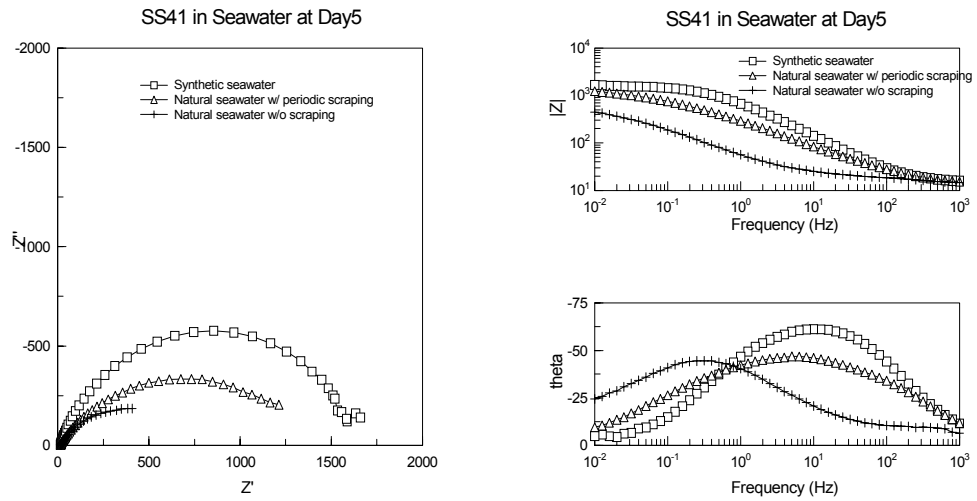


圖 4.102 冬季試片於海水中浸漬 5 日後之 EIS 圖

SS41 in Seawater at Day10

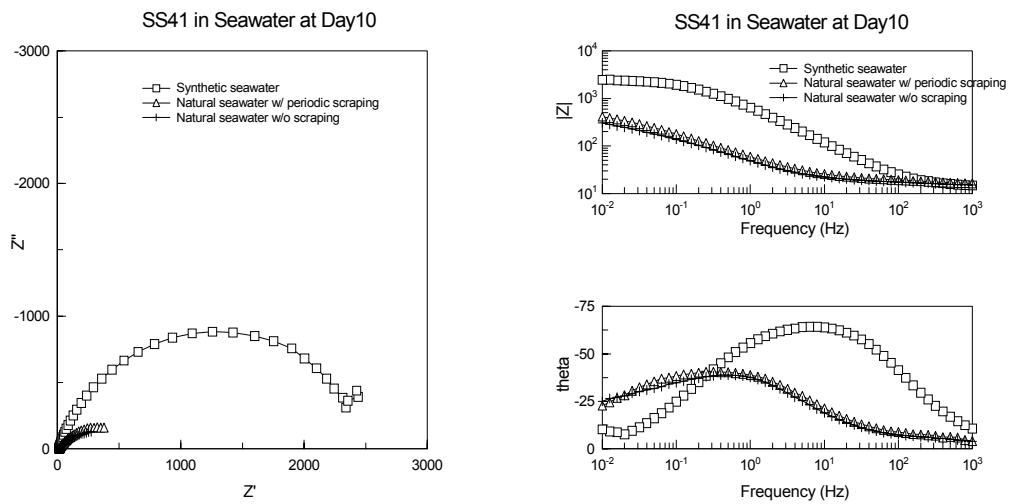


圖 4.103 冬季試片於海水中浸漬 10 日後之 EIS 圖

SS41 in Seawater at Day20

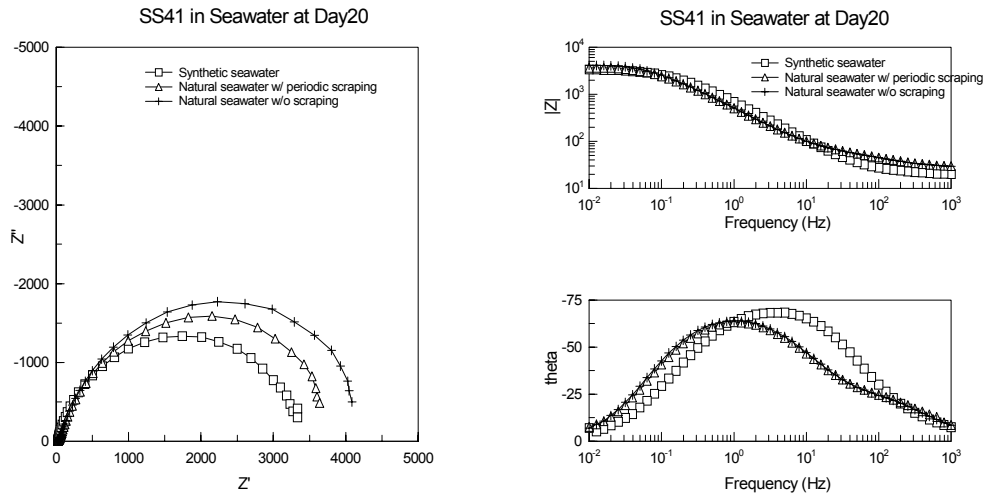


圖 4.104 冬季試片於海水中浸漬 20 日後之 EIS 圖

SS41 in Seawater at Day30

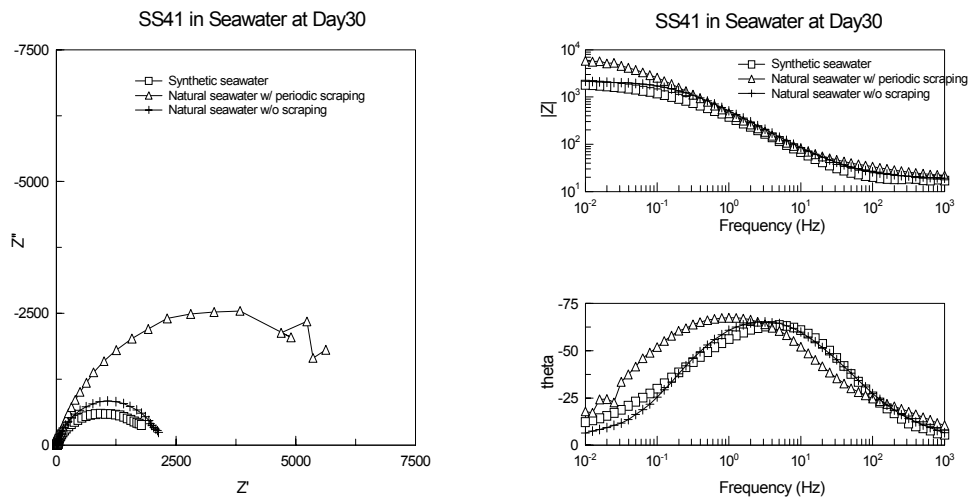


圖 4.105 冬季試片於海水中浸漬 30 日後之 EIS 圖

SS41 in Seawater at Day67

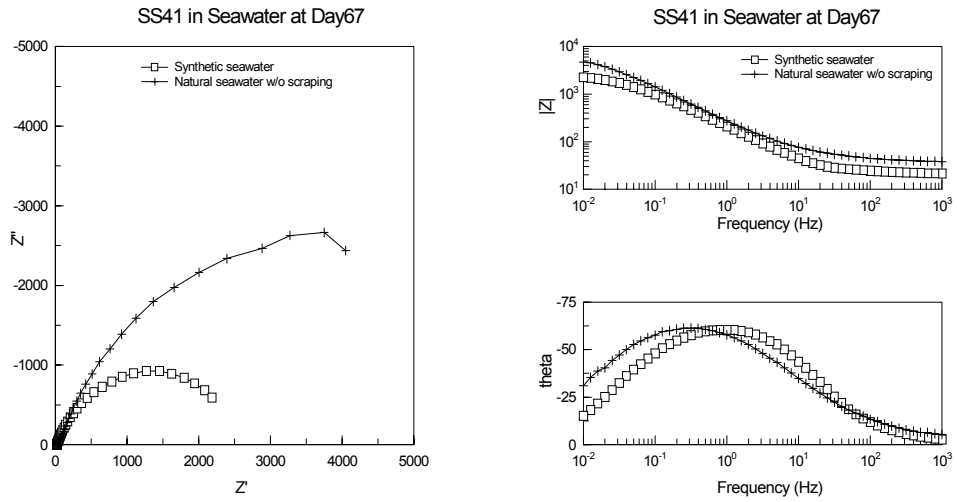


圖 4.106 冬季試片於海水中浸漬 67 日後之 EIS 圖

SS41 in Seawater at Day90

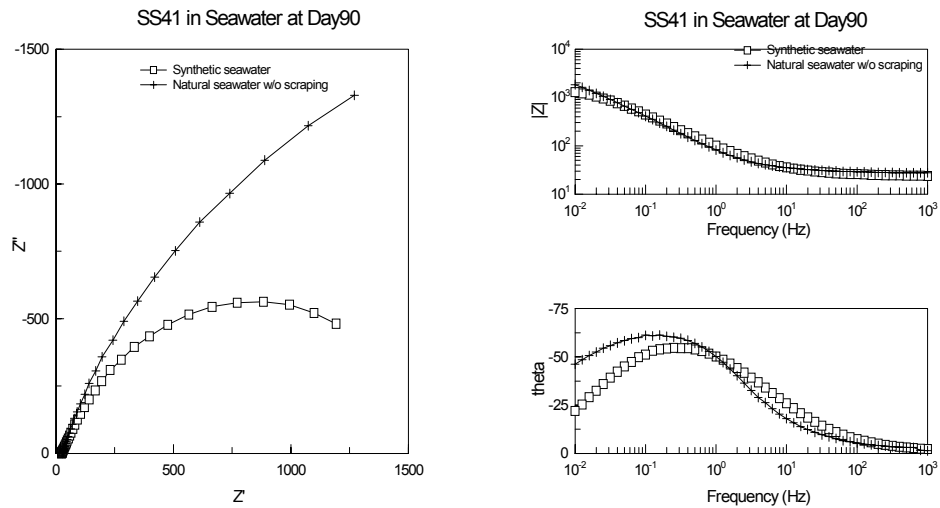


圖 4.107 冬季試片於海水中浸漬 90 日後之 EIS 圖

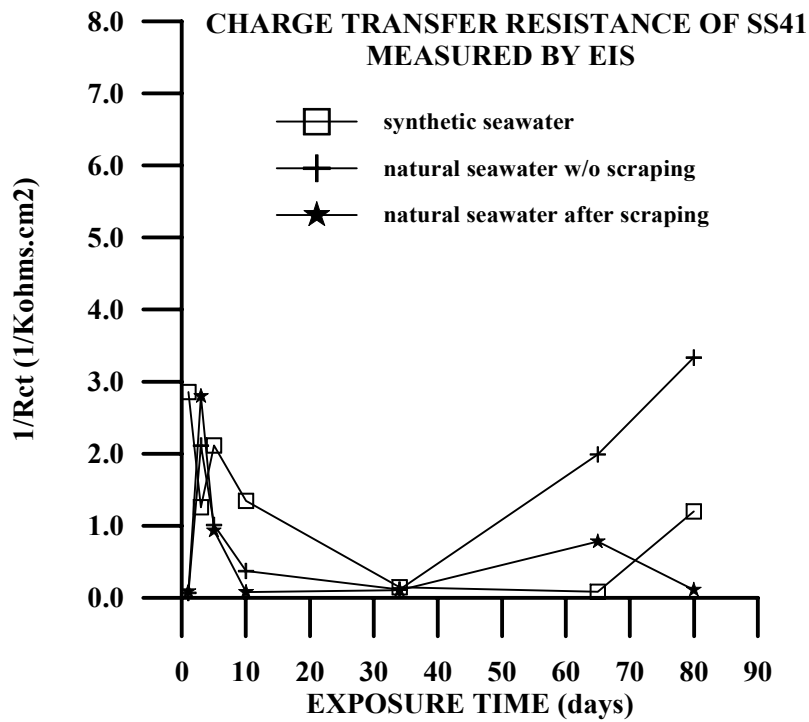


圖 4.108 夏季試片腐蝕速率與浸漬時間的關係(EIS 量測)

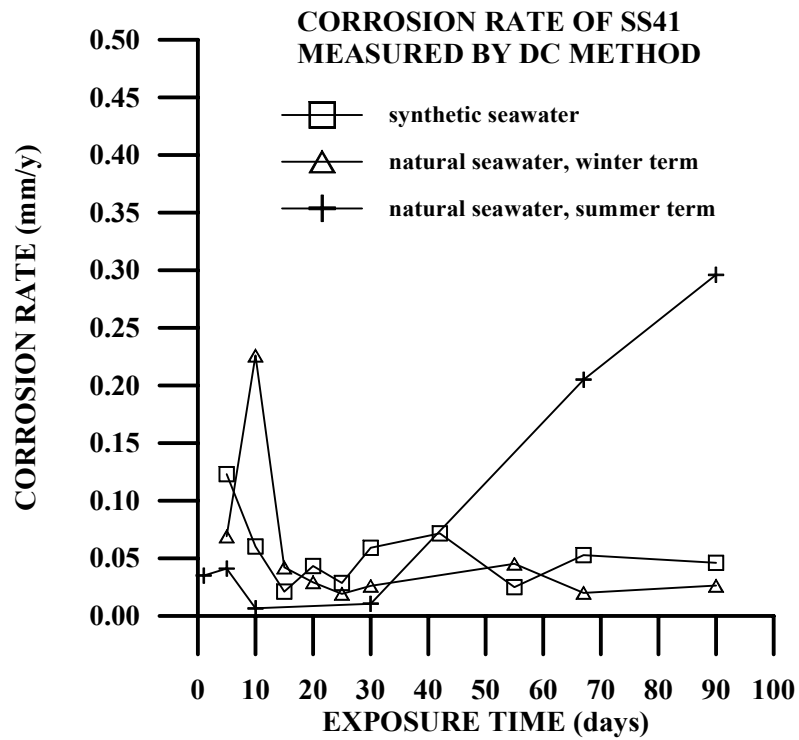


圖 4.109 夏季與冬季試片腐蝕速率與浸漬時間的關係(DC 量測)

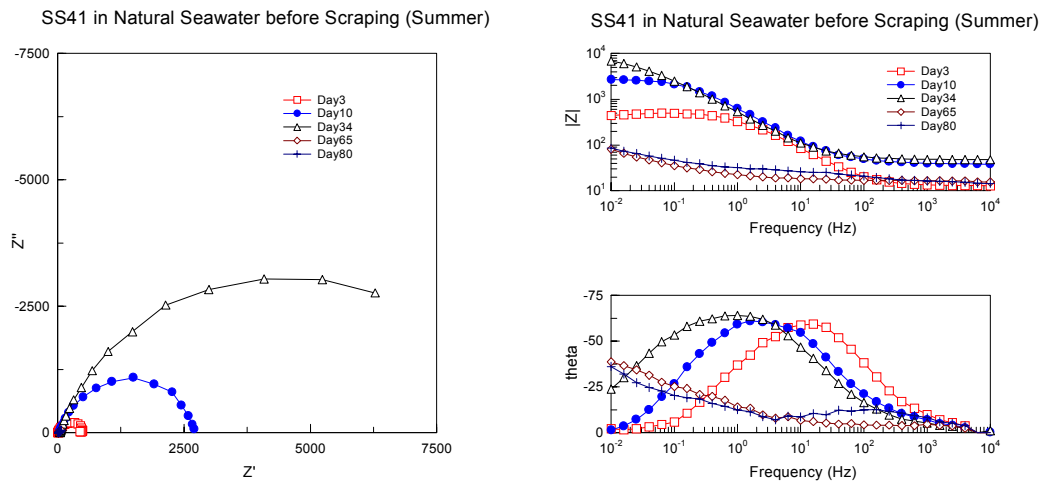


圖 4.110 夏季金屬試片浸漬於天然海水中海生物刮除前之 EIS 圖

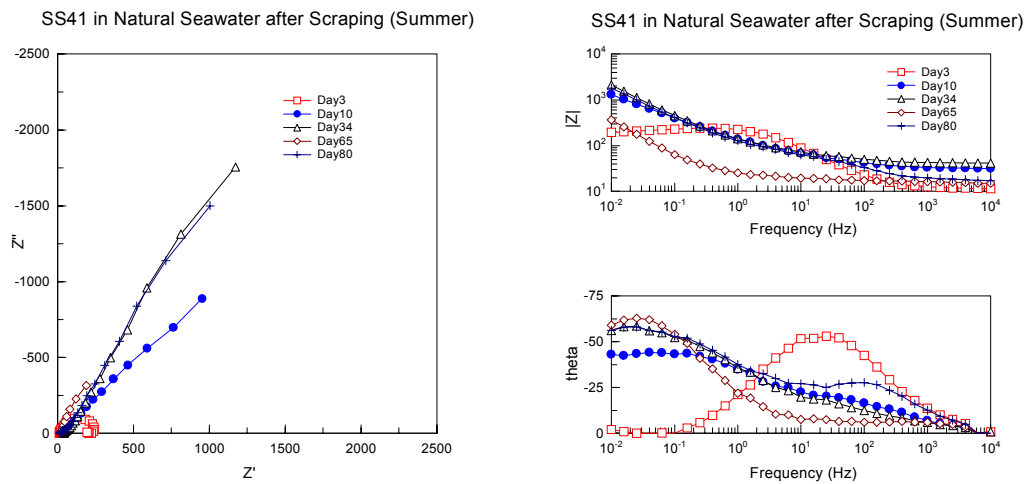


圖 4.111 夏季金屬試片浸漬於天然海水中海生物刮除後之 EIS 圖

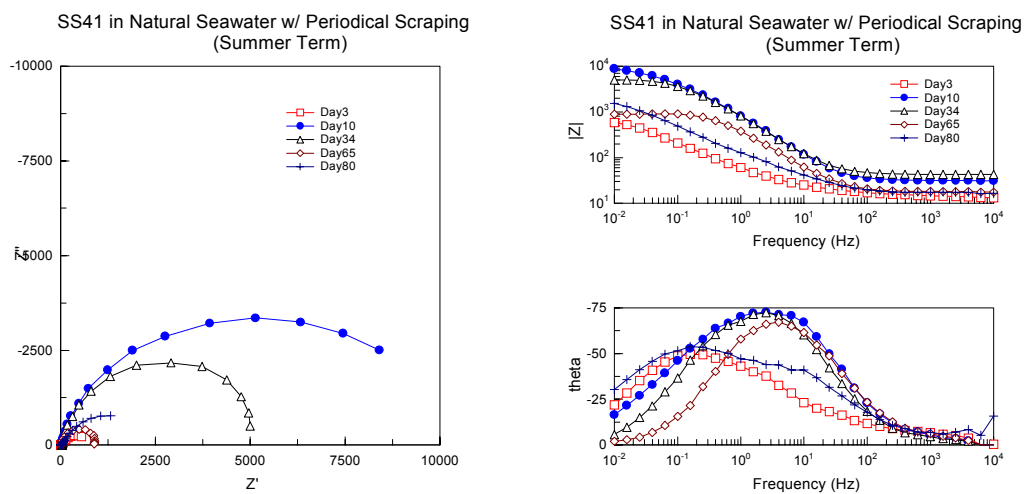


圖 4.112 夏季金屬試片浸漬於天然海水中週期性取出與放回之 EIS 圖

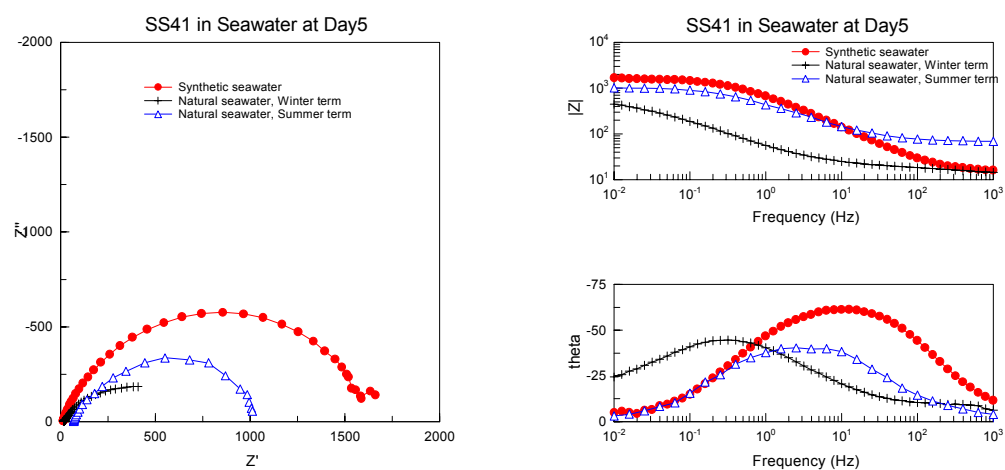


圖 4.113 夏季與冬季試片在海水中浸漬 5 日後之 EIS 圖

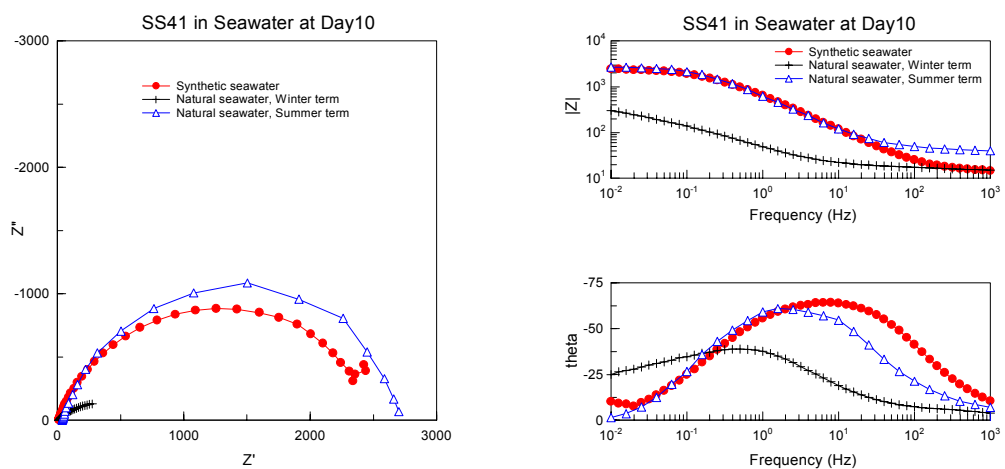


圖 4.114 夏季與冬季試片在海水中浸漬 10 日後之 EIS 圖

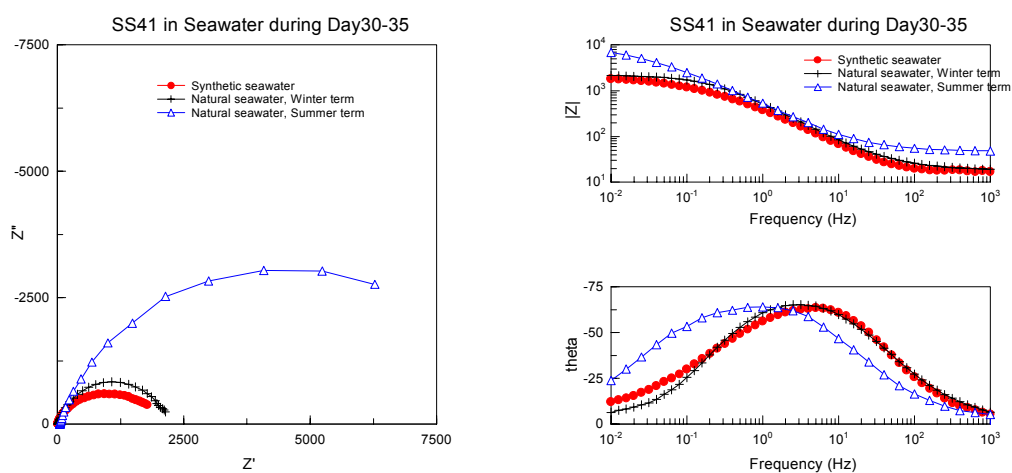


圖 4.115 夏季與冬季試片在海水中浸漬 30-35 日後之 EIS 圖

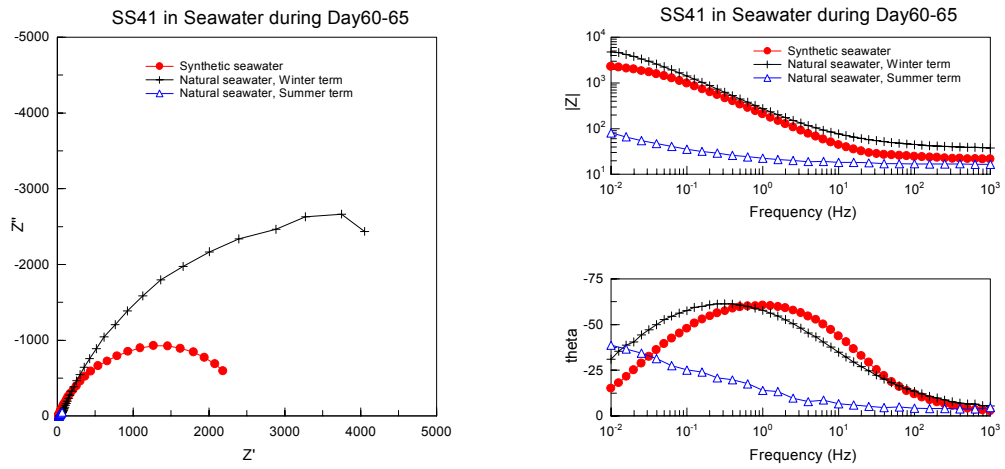


圖 4.116 夏季與冬季試片在海水中浸漬 60-65 日後之 EIS 圖

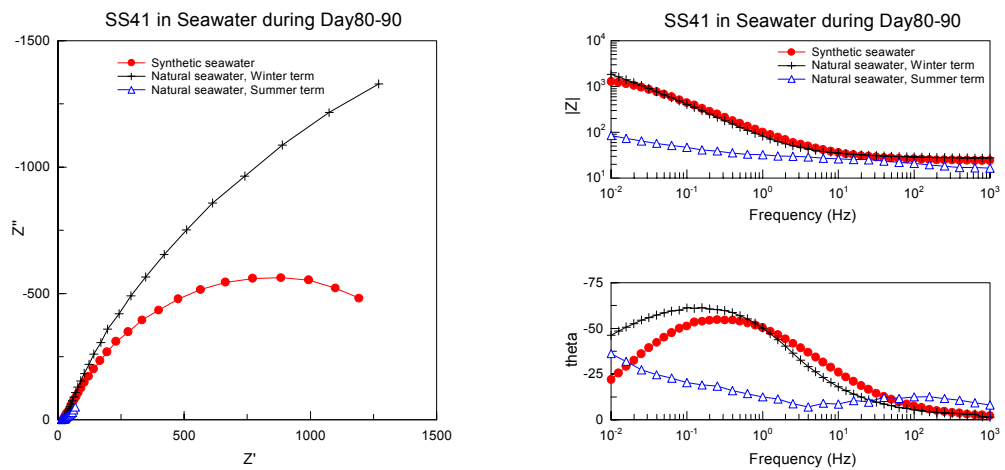


圖 4.117 夏季與冬季試片在海水中浸漬 80-90 日後之 EIS 圖

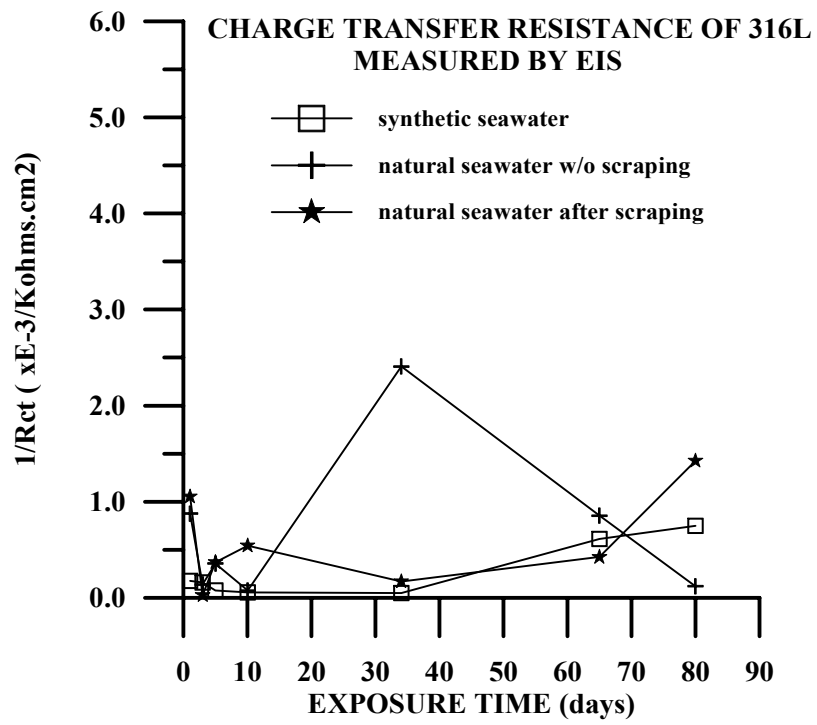


圖 4.118 316L 不銹鋼試片腐蝕速率與浸漬時間的關係(EIS 量測)

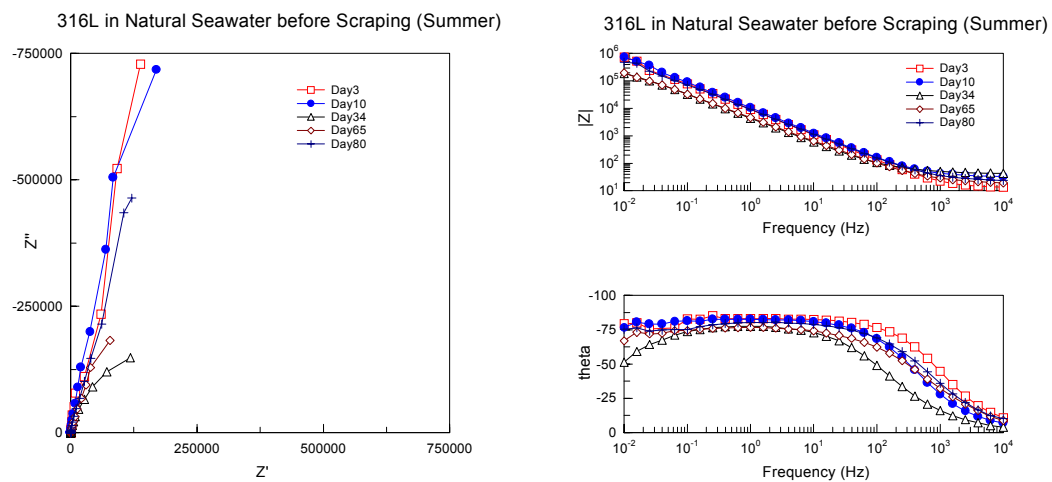


圖 4.119 316L 不銹鋼試片浸漬於天然海水中海生物刮除前之 EIS 圖

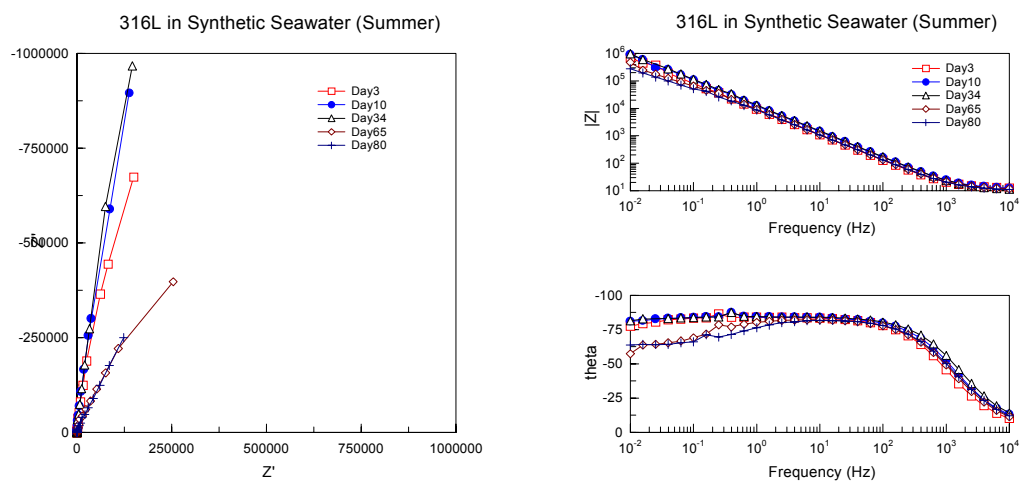
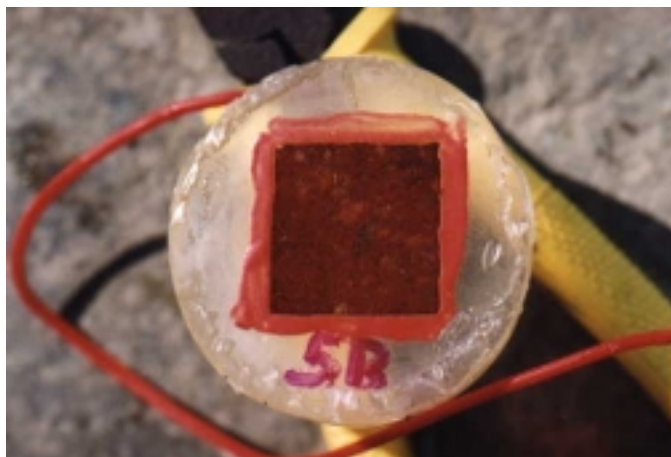


圖 4.120 316L 不銹鋼試片浸漬於人造海水中之 EIS 圖



照片4.1 試片浸漬時間5天



照片 4.2 試片浸漬時間 10 天



照片 4.3 試片浸漬時間 20 天



照片 4.4 試片浸漬時間 30 天



照片 4.5 試片浸漬時間 30 天



照片 4.6 試片浸漬時間 55 天



照片 4.7 試片浸漬時間 55 天（表面海生物呈垂直分布）



照片 4.8 試片浸漬時間 67 天



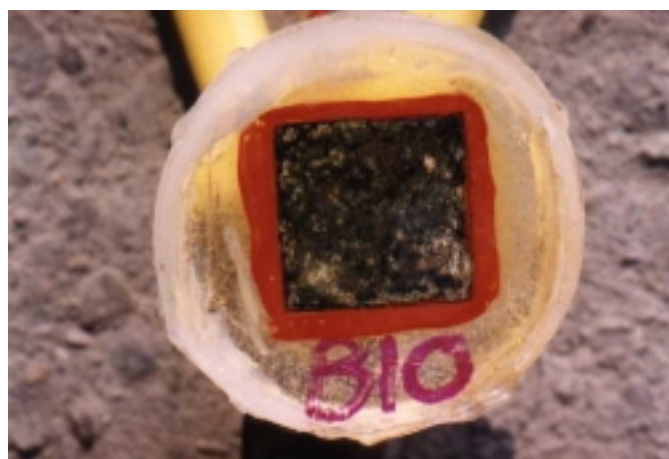
照片 4.9 試片浸漬時間 90 天



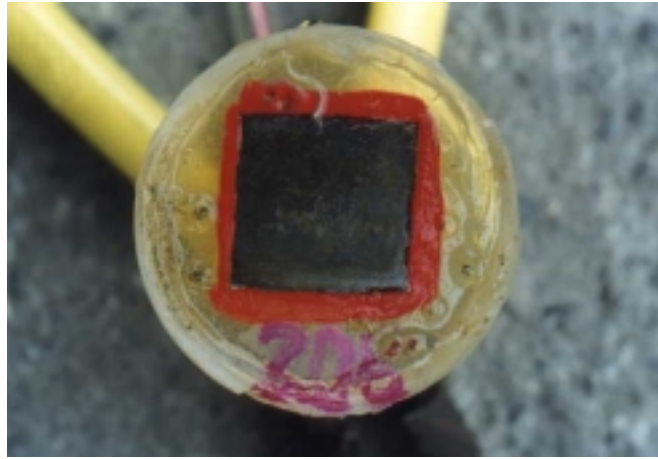
照片 4.10 試片浸漬時間 90 天



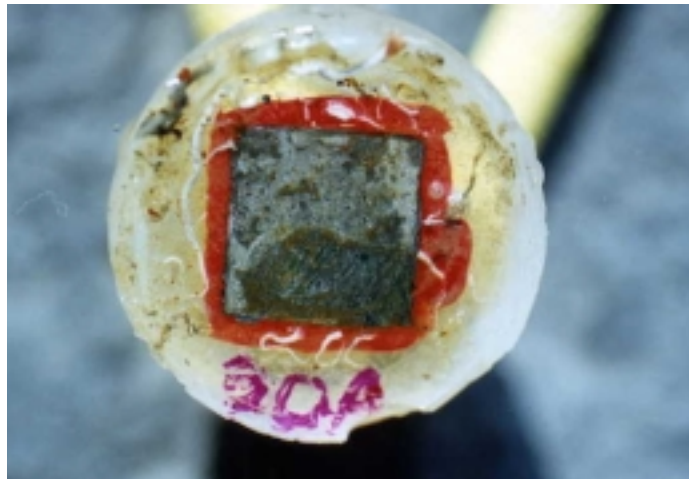
照片 4.11 試片浸漬時間 5 天（刮除海生物後）



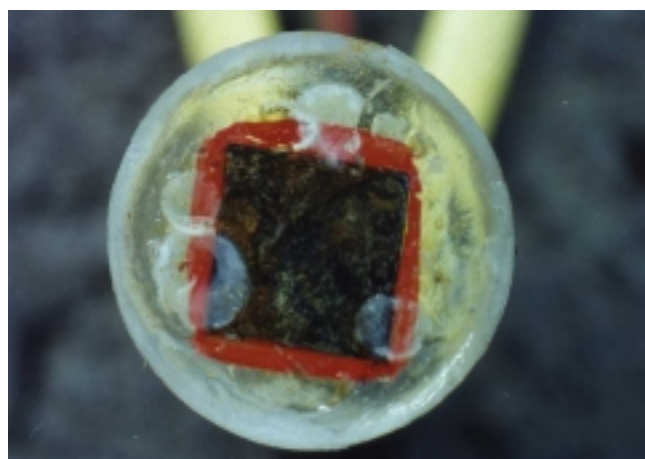
照片 4.12 試片浸漬時間 10 天（刮除海生物後）



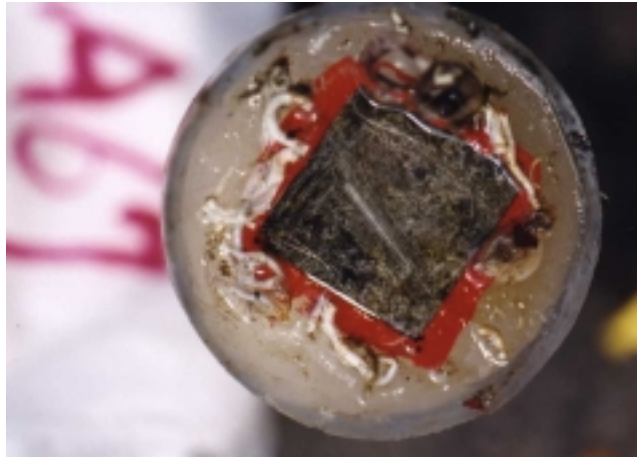
照片 4.13 試片浸漬時間 20 天（刮除海生物後）



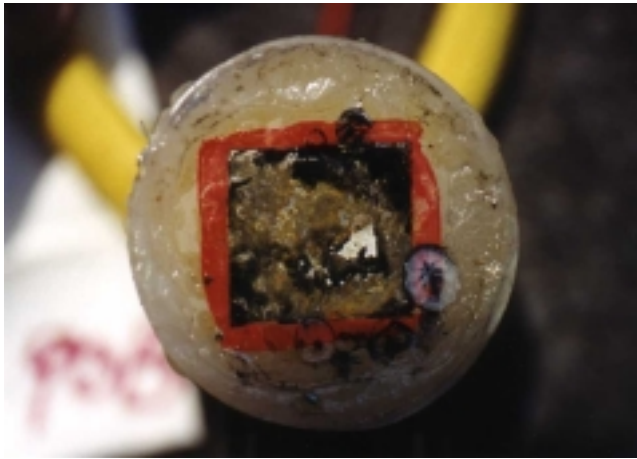
照片4.14 試片浸漬時間30天（刮除海生物後）



照片 4.15 試片浸漬時間 55 天（刮除海生物後）



照片 4.16 試片浸漬時間 67 天（刮除海生物後）



照片4.17 試片浸漬時間90天（刮除海生物後）

第五章 結 論

以下就目前試驗分析結果，歸納結論如下：

5.1 連續性海洋曝露實驗之附著海生物

- 1.對大多數的附著生物而言，試片浸置 58 個月後，不同碼頭間、不同深度與不同材質上附著生物其覆蓋面積的差異皆會降低，而覆蓋面積的差異主要是發生在試片的不同面向上。
- 2.對大多數的附著生物而言，試片浸置 58 個月後，不同材質上附著生物其附著數量的差異皆會降低，長期看來，不同材質不會影響附著生物的附著數量。而附著數量的差異主要是發生在不同碼頭、不同水深間與不同面向間。
- 3.整體而言，附著生物總乾種的最大值出現於#51 號碼頭水深 6m 處未經防蝕處理軋鋼試片（SS）上。在刮取試片上的附著生物時，會將一些沈積在附著生物上的有機碎屑或鋼板試片上氧化的鋼屑刮下來，因此可能會造成較大的誤差。
- 4.總濕重與總乾重並沒有規律性的變化趨勢，判斷是由生物成長重量負荷過大或者是水中的擾動造成剝落，以及新生物再次附著的過程所導致。
- 5.從試片浸置 10 個月至 28 個月間，附著數量呈現下降趨勢但覆蓋面卻有上升趨勢，主因應為剛開始這些生物大量附著，附著後開始成長，個體開始變大，使得覆蓋面積增加。此時，由於個體的成長而產生競爭，因此使得華美盤管蟲附著數量下降。試片浸置 28 個月至 58 個月間覆蓋面積呈現下降趨勢，可能是因為試片浸置時間過久後，原本附著的生物有大量剝落的現象，之後新的個體補充上來，而新補充的個體，其體型較小，使得整體覆蓋面積小，或者由於其他物種的附著，而限制了華美盤管蟲的成長空間。另外由於新個體的補充，使得試片上附著數量沒有太大的變化。另一方面，在水肺採樣過程

中也會造成樣品的流失。

5.2 電化學試驗之附著海生物

5.2.1 大林發電廠

大林電廠入水口的生物密度較高雄港各碼頭（#10、#14、#33 與#51）都來得高，以最具代表性的華美盤管蟲而言，四年以來在各碼頭、各試片、各水深所得的附著密度最高值為 2.76 ind./cm^2 ，而在大林電廠入水口可達 35.75 ind./cm^2 ，將近 13 倍，推論為電廠入水口流留速快且方向固定，每日插入的水量大，相對的插入的幼苗數量也隨之增加，若接滯留入水口處並著苗，將會增加單位面積的生物附著密度，且由於水流量大，帶來的食物量亦會增多，有助藤壺、華美盤管蟲與纓鰓蟲等的濾食性生物生長，以上皆是此處附著密度高的原因。

不易剝落的藤壺數量減少可能來自華美盤管蟲與纓鰓蟲附著其上，造成其窒死或覆蓋於上，減少其覆蓋面積；華美盤管蟲與纓鰓蟲數量減少則是由於其質地疏鬆容易剝落。附著生物數量的驟減並未反映於總覆蓋面積的變化上，此乃因上層的華美盤管蟲與纓鰓蟲剝落後，底層露出最早附著的藤壺，所以總覆蓋面積並未發生變化。

5.2.2 高雄港#14 碼頭

#14 號碼頭生物相極為單純，附著於試片上的生物僅華美盤管蟲、貽貝與纓鰓蟲三種。（纓鰓蟲僅在其中二次採樣時各出現一隻，數量太少而未列入附著數量與覆蓋面積的結果中）

1. 附著數量與覆蓋面積

華美盤管蟲與貽貝在第 34 天前並無任何的附著數量（圖一、圖二），可見試片浸漬初期應有防止污損生物附著的效能，但在第 34 天後在試片上累積了若干沉積物與微生物後，附著生物的數量便開始增加，在 SS41（碳鋼）上的生物易被氧化鐵覆蓋死亡，數量亦會隨生物的剝落而有波動。

2. 覆蓋面積與附著數量的走勢大致相同。

3. 附著生物的總濕重與總乾重

總濕重與總乾重隨附著生物的組成不同而有變化。

5.3 腐蝕速率

5.3.1 長期浸漬試驗

- 1.根據各碼頭十二次採樣平均結果，SS41 碳鋼的腐蝕速率在#51 最大(0.307 mm/y)，#14 最小(0.218 mm/y)，而#10 與#33 腐蝕速率相似。
- 2.浸漬 58 個月後，試片的腐蝕速率與水深變化無明顯特定關係。
- 3.不論是自由腐蝕試片或陰極防蝕試片，試片的腐蝕速率在浸漬初期隨著曝露時間的增加而遞增，於第七個月時到達最大，隨後隨著曝露時間的增加而遞減再趨於穩定。
- 4.陰極保護確可有效降低試片之腐蝕速率。

5.3.2 港區水質對碳鋼腐蝕之影響

- 1.在無充空氣的情況下，試片在#14 號碼頭海水中的腐蝕電位大於其他海水中之腐蝕電位；而在充空氣的情況下，試片的腐蝕電位並無因浸漬海水水溶液的不同而有差異。
- 2.實驗室內試驗的結果，試片在#14 號碼頭海水中的腐蝕速率較其他碼頭為大，與現場浸漬試驗結果相異，應為現場海水水流交換，再加上海生物附著的影響所致。

5.3.3 特定海生物對碳鋼腐蝕之影響

- 1.碳鋼試片在各海生物附着的情形下並無鈍化行為產生。
- 2.金屬試片在#14 號碼頭的瞬間腐蝕速率，會因藤壺的附着而降低；但於#75 號碼頭，各試片的瞬間腐蝕速率並無因置放的水深與附着海生物的不同而有

顯著的差異。

- 3.根據瞬間腐蝕速率與平均腐蝕速率計算結果，管蟲對試片腐蝕速率的影響較藤壺及其他海生物為大。
- 4.現場浸漬試片因金屬表面泥垢、腐蝕產物或附著海生物種類的不同，會在金屬表面形成非均勻性被覆，此被覆的厚度、透水性與緻密性可能影響金屬的腐蝕行為，造成 Bode plots 中最低頻率相位角的改變。

5.3.4 海生物附著對金屬腐蝕之影響

- 1.使用 DC 與 AC 方法量測各試片在海水中不同浸漬時間的腐蝕速率，其趨勢結果相同。
- 2.在天然海水中，冬季試片的腐蝕速率有先增加後劇減然後趨於穩定之趨勢；而夏季試片在浸漬 30 日後，腐蝕速率則有逐漸增加的趨勢。
- 3.等效電路的模擬，有助於瞭解海生物附著對金屬腐蝕的影響。
- 4.隨浸漬時間的增加，腐蝕產物增加，銹層增厚且趨於緻密，以致銹層電阻增加。
- 5.海生物種類不同，含水量不同，海生物電阻可能會有極大的差異。
- 6.以宏觀(macro)觀點來看，海生物在金屬(或銹層)表面的附著似乎可以當作一個擴散障礙(diffusion barrier)，藉此阻止海水中的溶氧或氯離子進入金屬表面，減緩金屬腐蝕。但以微觀(micro)的觀點來看，海生物在金屬表面的附著亦可能造成氧差或濃度差異電池，促成局部腐蝕。
- 7.316L 不銹鋼的腐蝕速率未因浸漬時間的不同，即海生物附著程度的不同，而有顯著的差異。

8.相同的浸漬時間，316L 不銹鋼僅為 SS41 腐蝕速率的千分之一或更小。

第六章 參考文獻

- [1]林維明、饒正，1987，**澎湖跨海大橋腐蝕調查研究**，港灣技術研究所專刊第41號。
- [2]台灣省政府交通處港灣技術研究所，1991，**台灣海域之腐蝕特性，防蝕設計及材料選用與開發**，港灣技術研究所 80-研（10）研究報告。
- [3]台灣省政府交通處港灣技術研究所，1991，**港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究**，港灣技術研究所 80-研（9）研究報告。
- [4]海軍海洋測量局，1981，**台海海洋環境研究、水垢生物之部（2）**，刊物第二十一種之五，海軍海洋測量局。
- [5]鄭錦榮、白書禎、陳瑤湖，1988，**防污塗料之效果評估研究試驗**，台電工程月刊，No.484, pp59-80。
- [6]楊盛行、洪秀埕、林義宗，1991，**海生物之吸附調查研究**，第二十九屆中國農化年會。
- [7]楊盛行、黃哲崇、王瑋龍、林義宗，1992，**台灣地區港區之海生物著研究**，中華生質能源學會會誌。11:42-66。
- [8]台灣省政府交通處港灣技術研究所，1995，**水文及汙損生物對材料腐蝕之探討研究**，港灣技術研究所 84-研（5）研究報告。
- [9]H. H. Uhlig and R. W. Revie 1991, in **Corrosion and Corrosion Control, An Introduction to Corrosion Science and Engineering**, 3rd Edition, John Wiley and Sons Inc. New York.
- [10]D. A. Jones, 1992, in: **Principles and Prevention of Corrosion**, 1st Ed. Macmillan Publishing Company, New York.
- [11]W. D. Callister, Jr. , 1994, in **Materials Science and Engineering**, 3rd Edition,

- John Wiley and Sons Inc. New York.
- [12]M. F. Ashby and D. R. R. Jones, 1980, in **Engineering Material** Pergamon Press.
- [13]ACI Manual of Concrete Practice 1987, Part I.
- [14]T. Ford and R. Michael, 1990, in **Advances in Microbial Ecology**, Vol.11, Edi. K.C. Marshall
- [15]K.O. Stetter, R. Huber, E. Blochl, M. Kurr, R.D. Eden, M. Fleder, H. Cash and I. Vance, 1993, **Natural** , Vol.365 pp.743.
- [16]NACE TPC3 Publication, 1990, in **Microbiologically Influenced Corrosion and Biofouling in Oilfield Equipment**. pp.2
- [17]中央氣象局台灣地區氣候圖集，1991。
- [18]中央氣象局氣象年報，1975~1985。
- [19]台灣電力公司，1986，**台灣地區酸雨調查研究**，台電 75 年度發展專題編號 118。
- [20]國立中山大學海洋環境學系，1995，**高屏溪、東港口及南灣附近海域海水水質監測計劃報告**，國立中山大學海洋環境學系。
- [21]Keough, M. J. (1984) **Dynamics of the epifuna of the bivalve Pinna bicolor: interactions among recruitment, predation, and competition**. Ecology 65: 677-688.
- [22]Roughgarden, J., Iwasa, Y., Baxter, C. (1985). **Demographic theory for an open marine population with space-limited recruitment**. Ecology 66:54-67.
- [23]Menge, B. A., Sutherland, J. P. (1987). **Community regulation: variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment**. Am, Nat. 130:730-757.
- [24]Connell, J. H. (1985). **The consequence of variation in initial settlement vs. post-settlement mortality in rocky intertidal communities**. J. exp. mar. Biol. Ecol. 93:11-45.

- [25]Fairweather, P. C. (1988). **Consequence of supply-side ecology: manipulating the recruitment of intertidal barnacles affects the intensity of predation upon them. Biol.Bull. 175:349-354.**
- [26]Sebens, K. P. (1983a). **The larval and juvenile ecology of the temperate octocoral *Alcyonium siderium* Verril. I. Substratum selection by benthic larvae. J. exp. mar. Biol. Ecol. 71:73-89**
- [27]Wetthey D. S. (1986). **Ranking of settlement cues by barnacle larvae: influence of surface contour. Bull. mar. sci. 39:393-400**
- [28]Pawlik, J. R., Butman, Ch. A., Starczak, V. R. (1991). **Hydrodynamic facilitation of gregarious settlement of a reef-building tube worm. Science 251:421-424.**
- [29]Morse, A. N. C. (1991). **How do planktonic larvae know where to settle?. Am. Scient. 79:154-167**
- [30]Hadfield, M. G., Pennington, J. T. (1990). **Nature of the metamorphic signal and its internal transduction in larvae of the nudibranch *Phestilla sibogae* Bull. Mar. Sci. 46:455-464**
- [31]Jensen, R. A., Morse, D. E. (1984). **Intraspecific facilitation of larval recruitment: gregarious settlement of the polychaete *Phragmatopoma californica* (Fewkes). J. exp. mar. Biol. Ecol. 83:107-126.**
- [32]Highsmith, R. C., Emlet, R. B. (1986). **Delayed metamorphosis: effect on growth and survival of juvenile sand dollars (Echinoidea: Clypeasteroidea). Bull. Mar. Sci. 39:347-361.**
- [33]Coon, S. L., Fitt, W. K., Bonar, D. B. (1990a). **Competence and delay of metamorphosis in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Mar. Biol. 106:379-387.**
- [34]Morse, A. N. C., Morse, D. E. (1984). **Recruitment and metamorphosis of *Haliotis* larvae induced by molecules uniquely available at the surfaces of crustose red algae. J. exp. mar. Biol. Ecol. 75:191-215**
- [35]Pawlik, J. R. (1986). **Chemical induction of larval settlement and metamorphosis in the reef-building tube worm *Phragmatopoma lapidosa californica* (Sabellariidae: Polychaeta). Mar. Biol. 91:59-68.**

- [36]Raimondi, P. T. (1988). **Settlement cues and determination of the vertical limit of an intertidal barnacle. Ecology 69:400-407.**
- [37]Hannan, C. A. (1984). **Planktonic larvae may act like passive particles in turbulent near-bottom flows. Limnol. Oceanogr. 29:1108-1116.**
- [38]Highsmith, R. C. (1982). **Induced settlement and metamorphosis of sand dollar (*Dendraster excentricus*) larvae in predator-free sites: adult sand dollar beds. Ecology 63:329-337.**
- [39]Burke, R. D. (1984). **Pheromonal control of metamorphosis in the Pacific sand dollar, *Dendraster excentricus*. Science 225:442-443.**
- [40]Bernstein, B. B., William, B. E., Mann, K. H. (1981). **The role of behavioral responses to predators in modifying urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) destructive grazing and seasonal foraging patterns. Mar. Biol. 63:39-49.**
- [41]Maki, J. S., Rittschof, D., Schmidt, A. R., Snyder, A. G., Mitchell, R. Factors controlling attachment of bryozoan larvae: **a comparison of bacterial films and unfilmed surfaces. Biol. Bull. 117:295-302.**
- [42]Bonar, D. B., Coon, S. L., Walch, M., Weiner, R. M., Fitt, W. (1990). **Control of oyster settlement and metamorphosis by endogenous and exogenous chemical cues. Bull. Mar. Sci. 46:484-498.**
- [43]Pearce, C. M., Scheibling, R. E. (1991). **Effect of macroalgae, microbial films, and conspecifics on the induction of metamorphosis of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* (Muller). J. exp. Mar. Biol. Ecol. 147: 147-162.**
- [44]Barlow, L. A. (1990). **Electrophysiological and behavioral responses of larvae of the red abalone (*Haliotis rufescens*) to settlement-inducing substances. Bull. Mar. Sci. 46: 537-554.**
- [45]G. J. Licina, 1988, in **Sourcebook for Microbiologically Influenced Corrosion in Nuclear Power Plants** , pp.8-4.

- [46]]LaQue, F. L., **Marine Corrosion cause and Prevention**, John Wiley& Sons, New York, 1975.
- [47]Efird, K. D., **Materials Performance**, Nace International, Vol. 15, No. 4, 1976.
- [48]Di Gregorio, J. S. and Fraser, J. P., **Corrosion Tests in the Gulf floor**, Corrosion in Natural Environments, ASTM STP 558, Philadelphia, 1974.
- [49]Phull, B. S.,Pikul, S. J., and kain, R. M., **Seawater Corrosivity Around the World: Results from Five Years of Testing**, Corrosion Testing in Waters: Second Volume, ASTM STP 1300, 1997.
- [50]國立中山大學海洋環境及工程學系，1999，**高雄港港工結構腐蝕與海生物附著研究**，國立中山大學海洋環境及工程學系。
- [51]張文中，1996，**高雄港港灣汙染整治成果報告**，港灣及海洋汙染防治研討會論文集。
- [52] Ailor, W. H., **Handbook on Corrosion Testing and Evaluation**, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1971.
- [53] Mansfeld, F., Kendig, M. W.,and Tsai, S., **Evaluation of corrosion behavior of coated metals with AC impedance measurements**, CORROSION, Vol. 38, No. 9, pp.478, 1982.
- [54] Luo, J. S., Campaignolle, X., and White, D.C., **MIC Accelerated Testing Using a Flow-Through System**, ASTM STP 1232, pp. 283, 1994.
- [55]M. Stern and A. L. Geary, J. electrochem. Soc. 104, 56, 1957.
- [56]I. Epelboin, C. Gabrielli, M. Keddam and H. Takenouti, in **Electrochemical Corrosion Testing (Edited by F. Mansfeld and U. Bertocci)**, p. 150, Special Technical Publication No. 727, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1981.

- [57]I. Epelboin, C. Gabrielli, M. Keddam and H. Takenouti, in **Comprehensive Treatise on Electrochemistry (Edited by J. O'M Bockris, B. E. Conway, E. Yager and R. E. White)**, Vol. 4, p. 151, Plenum Press, New York, 1981.
- [58]K. Hladky, L. M. Callow and J. L. Dawson, Br. Corrs. J., Vol. 15, No. 1, 1980.
- [59]J. E. B. Randles, Discuss. Faraday Soc., Vol. 1, 11, 1947.
- [60]K. Juettner, electrochem. Acta., Vol. 35, No. 10, p. 1501, 1990.
- [61]K. S. Cole and R. H. Cole, J. chem. Phys., 9, 341, 1941.
- [62]B. J. Little, F. B. Mansfeld, **The corrosion behavior of strainless steels and copper alloys exposed to natural seawater**, Werkstoffe and Corrosion, Vol. 42, pp.331-340, 1991.
- [63]Bopinder S. Phull, Stanley J. Pikul, and Robert M. Kain, **Seawater corrosivity around the world: results from five years of testing**, Corrosion Testing in Natural Water, Vol. 2, pp.34-73, 1997.

附錄 A

高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究期中 審查會議記錄

時 間：八十九年五月二十四日（星期三）上午十時四十分

地 點：港灣技術研究中心

委託單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

執行單位：國立中山大學海洋環境及工程學系

主 持 人：陳桂清 組 長

審查委員：國立中興大學 土木系 顏 聰 教 授（請假，書面審查）

國立海洋大學 材料所 黃 然 教 授

高雄港務局 工務組 楊義忠 組 長

交通部科技顧問室 許書王 技 正

港灣技術研究中心 邱永芳 組 長

委託單位：港灣技術研究中心 陳桂清 組 長

饒 正 副研究員

執行單位：中山大學海工系 李賢華 教 授

羅俊雄 博 士

主席致詞：（略）

簡 報：（略）

審查意見：

楊義忠 組 長

（1）畫持續執行以來研究架構已完整建立，唯防蝕對策方面仍較少具體建議提出。

（2）陰極防蝕工法確實有效，對港務局是正面消息。

（3）建議增加特定海生物影響腐蝕之特性。

執行單位回覆

◆將於期末報告中針對海生物附著提出防治建議。

◆特定海生物附著之府時影響已於 87 年度計畫中施行，期末報告中將再

納入。

黃 然 教 授

- (1) 計畫執行多年報告都能維持一定水準值得肯定。
- (2) 報告中指出以宏觀而言，海生物附著對碳鋼形成保護作用，而以微觀觀點來看卻對碳鋼造成破壞，建議在期末報告中釐清附著海生物對港工結構物之影響究屬正面抑或負面。

執行單位回覆

- ◆海生物附著對於港工結構物之影響，宏觀與微觀結果不同係與國外研究機構實驗結果相同^{(62),(63)}，唯正面或負面影響何者為大，則需另行設計實驗分析判斷。

邱永芳 組 長

- (1) 建議腐蝕速率之影響因素中增加對應之水質變化與海況、流況資料。
- (2) 腐蝕速率在水下深層處反比潮間帶為高是否值得加以探討。
- (3) 電化學試驗試片刮除海生物時是否會刮傷金屬表面。

執行單位回覆

- ◆水質檢測資料是由委託單位負責。
- ◆本計畫中水深定義是以初始試片架施放時之水深為基準，與一般潮間帶、飛沫區之定義不同。
- ◆刮除電化學試片之附著海生物係以軟質橡膠刮刀進行，避免造成試片表面之人為損傷。

許書王 技 正

- (1) 報告中表述相同意思之文字宜統一。
- (2) 各種海生物對於結構物的影響是否可能除種類釐清之外，並深入瞭解真正影響機制為何。
- (3) 建議補充未收回之長期浸漬試片對試驗結果是否造成影響。

執行單位回覆

- ◆同義字之一致性將注意並改正。
- ◆海生物附著對結構物之影響機制即賴等效電路之模擬，將其間關係以電容、電阻來表示。

顏 聰 教 授（書面審查）

- （1）報告在背景分析與文獻回顧部份有適當整理並建立良善之基本資料。
- （2）建議期末報告中增列：
 - ①由海生物附著試驗結果，整理出各種試片於不同地區、不同水深之附著量、覆蓋面積與時間之關係，將附著量多、腐蝕嚴重者以列表方式整理，方便參考應用。
 - ②碳鋼試片在各碼頭之腐蝕速率，可否由上項調查分析結果所得海生物附著行為與狀況，據以推估其對應之腐蝕速率。

執行單位回覆

- ◆將於期末報告中提出。

主 席

- （1）報告內容充實，但仍請執行單位就各審查委員意見進行修正。
- （2）感謝執行單位以有限之經費與時間完成諸多研究成果，准予審查通過。

附錄 B

高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究期末 審查會議記錄

時 間：八十九年十一月九日上午十時三十分

地 點：港灣技術研究中心

委託單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

執行單位：國立中山大學海洋環境及工程學系

主 持 人：莊副主任甲子

審查委員：清華大學材料科學系 施漢章 教授（請假）

海洋大學河海工程系 黃 然 教授

中央大學土木工程系 李 釗 教授（書面審查）

交通部科技顧問室 許書王 技正

高雄港務局工務組 楊義忠 組長

委託單位：港灣技術研究中心 陳桂清 組長

饒 正 組長

李延恭 組長

何良勝 博士

執行單位：中山大學海工系 李賢華 教授

主席致詞：（略）

簡 報：（略）

審查意見：

許書王 技正

- （1）建議將試驗結果與國外文獻加以比較，如附著生物種類與腐蝕程度之關係。
- （2）p. 156 結論中提及海生物附著對腐蝕之影響有正面有負面，是否再加以釐清或說明？
- （3）建議將水質因子納入討論，如 Cl^- ， SO_4^{2-} 等何者對港工結構物破壞之影響較大？

(4) 目前港工結構物之防蝕方法急須建立，建議能制定監（檢）測方法、操作手冊。

(5) 建議報告內容中同義之文字宜統一。

(6) 大林電廠海生物附著密度較高雄港為高之原因是否需再討論。

執行單位回覆

◆實驗結果已與國外相關文獻比較^{(62),(63)}，且宏觀與微觀之影響亦與之相同。

◆同義詞之一致性將再注意修正。

黃 然 教授

(1) 海生物附著在腐蝕發生過程中，究竟扮演何種角色（腐蝕機制中之權重），建議作一說明。

(2) 針對海生物附著，是否提出特殊防治方法（如何將海生物去除）。

執行單位回覆

◆海生物之防制建議報告中已提出。

楊義忠 組長

(1) 報告中海生物附著及腐蝕速率檢測之資料統計與目前港工結構設計方向一致，對港務局而言是正面消息。

(2) 未來港工結構物之腐蝕速率設計值 0.2 mm/y 會做適當調整。

(3) p. 48 施工季節之適宜性調節，於工程實務上較不可行。

(4) 建議制定工作手冊。

(5) 建議結論精簡且明確。

(6) 第五章結論部份，第 4 點，「...水中的擾動造成剝落」，之描述不是非常恰當。

執行單位回覆

◆港工結構施工季節之適宜性調整在施行上確有困難。

◆結論中所提擾動造成之海生物附著數量損失是指採樣過程中人為因素

(現場採樣時因拆取試片或拉取試片架時確會造成一定之海生物掉落)。

李延恭 組長

- (1) p.28 實驗過程有關溼重、乾重及乾燥時間之描述似乎較為模糊。
- (2) 建議納入水質檢測資料，並針對水質資料與海生物物種找出其間關係。
- (3) 實驗室之數據如何與現場量測值比對，及其間之差異性如何降低？

執行單位回覆

- ◆海生物乾重是以烘乾至重量無變化為計量標準。
- ◆水質檢測由委託單位負責執行。

何良勝 研究員

- (1) 結論中包含推測或討論部份是否較不恰當。
- (2) 建議製作操作手冊，包括實驗過程之標準程序。
- (3) 0 m 處（潮間帶）應為構材腐蝕最為嚴重處，與實驗結果似乎不符。
- (4) 建議針對海生物附著面積和腐蝕速率之關係作一鏈結。
- (5) 內容中圖示不清或標題以英文表示之圖是否改成中文標示。

執行單位回覆

- ◆報告中字義不恰當處將修正。
- ◆結構物腐蝕程度與水深之關係除水深定義與一般飛沫區（潮間帶）定義不同外，亦與試片設計有關（連續體或片狀試片）。

饒 正 組長

- (1) 報告內容納入總結（將逐年研究內容納入整理）。
- (2) 建議製作檢測手冊（如板樁檢測手冊）。

執行單位回覆

- ◆結案報告中必會納入逐年計畫成果。

李釗 教授（書面審查）

- （1）本計畫為一長期研究計畫，在嚴密的研究規劃與投入大量的試驗人力下，累積多年研究經驗與知識，獲得大量有意義的試驗結果，對學術研究與工程實務有具體貢獻，成果值得肯定並做國際性發表。
- （2）摘要與結論的撰寫，建議精簡，宜提供強而有力的具體成果，可不必敘述試驗數據等細節。
- （3）若試驗結果的資料架構許可，建議進行統計分析（如變異數分析等），討論碼頭位置、深度、材質、防蝕處理等研究參數對量測結果的影響，以增強結論的依據。
- （4）請核對參考文獻中作者、期刊名稱、文獻題目、年份等格式，避免簡寫，並全文統一。
- （5）p. 86, Fig. 4. 16, 似有誤，請核對。

執行單位回覆

- ◆摘要、結論部分將再修正。
- ◆報告中圖示不清部分或參考文獻之書寫方式都將修正。

主席結論

- （1）感謝執行單位之用心，准予審查通過。
- （2）報告中不確定字句、圖示不清與逐年研究內容請修正並補入。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究

著者：陳桂清、饒正、柯正龍
出版機關：交通部運輸研究所港灣技術研究中心
地址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號
網址：www.ihmt.gov.tw
電話：(04)6564216
出版年月：中華民國八十九年十二月
印刷者：祺美企業有限公司
地址：台中市東興路三段 120 號 1 樓
電話：(04)3101280
版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊
工本費：500 元
展售處：
交通部運輸研究所港灣技術研究中心 電話：(04)6564216

GPN：009254890251

高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究

港灣技術研究中心

GPN : 0092514890251

工本費：500 元