

港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究

台灣省政府交通處

港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十四年六月

港灣構造物之腐蝕機理與維修防制之研究

執行單位：港工材料組

群計畫召集人：饒正 副研究員兼組長

第一子計畫主持人：饒正 副研究員兼組長

第二子計畫主持人：饒正 副研究員兼組長

第三子計畫主持人：林維明 研究員

摘 要

港灣構造物，如碼頭R.C. 結構物、鋼板(管)樁碼頭....等經年浸泡於海水中，由於受到海水侵蝕，海生物附著等影響，混凝土材料及金屬材料之構造物，極易發生嚴重腐蝕，最後導致結構體之損壞。為確保結構物之耐久性，須了解其腐蝕機理與維修防制之因應對策。

本研究分三個子題，分別為(一)港灣鋼結構物之耐久性研究(二)水文及污損生物對材料腐蝕之探討(三)材料之熱分析技術之探討。

研究子題(一)，本年度進行花蓮港九號碼頭及航道鋼板樁之腐蝕調查，其腐蝕速率均在 0.2mm/yr 以下，同時進行蘇澳港七號碼頭及駁船碼頭之陽極塊調查。子題(二)，在基隆港東2、西21、西22，及西26、西27號碼頭安放試片，以瞭解水文及污損生物對碳鋼、不銹鋼、混凝土及碳鋼加上陰極防蝕與防污塗料....等材料之腐蝕探討。子題(三)，主要探討混凝土材料在初期水化過程，一些熱量變化對混凝土品質特性之影響。

港灣鋼結構物耐久性之研究

執行單位：港工材料組

計畫主持人：饒正 副研究員兼組長

協同主持人：柯正龍 助理研究員

參與人員：陳正義 何木火 李昭明
 林隆貞 王培源

摘 要

在嚴酷的海洋腐蝕環境下，港灣構造物諸如鋼板樁、鋼管樁、棧橋等容易發生嚴重腐蝕，爲了確保鋼結構物之耐久性，了解各港口鋼結構物遭受腐蝕的情形，同時研究最佳的防蝕方法與對策，尋找鋼結構物最適合之材料與結構物設計的方法與條件等是非常需要。

本計劃是接續78年7月至83年6月進行之「港灣鋼結構物耐久性之研究」，從早期的調查研究發現，各港口鋼板樁碼頭腐蝕況狀差異極大，爲進一步且較完整的研究，本計劃擬進行兩年，預計85年6月底結束。

本年度主要執行工作項目：

一、陰極防蝕試驗：

爲提昇防蝕設計能力及探討陰極防蝕之效應，本年度繼續進行陰極防蝕之試驗。從初步結果顯示，安裝犧牲陽極可得到保護鋼板的良好效果。

二、陽極材料效應評估調查試驗：

爲了評估陽極材料放電效應，材料消耗速率是否符合設計年限，以及環境因素對陽極材料之影響，本年度進行蘇澳港七號碼頭，駁船碼頭現場調查及本所海水循環水槽試驗，並對取自高雄港69、70號碼頭之陽極塊計6塊實施陽極塊基本性質檢測。

三、現場鋼板樁腐蝕調查：

本年度調查花蓮港9號碼頭及航道鋼板樁，鋼板樁腐蝕速率除少數點外，平均腐蝕速率均小於規範之0.20mm/yr。

港灣鋼結構物耐久性之研究

目 錄

	頁數
摘 要.....	I
目 錄.....	II
表 目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
壹、前 言.....	1
貳、陰極防蝕試驗.....	2
一、腐蝕電位量測.....	2
二、試片外觀變化情形.....	2
三、鋼板試片厚度量測.....	3
參、陽極材料效應評估調查試驗.....	3
肆、現場腐蝕調查.....	3
一、花蓮港九號碼頭鋼板樁.....	3
二、花蓮港航道鋼板樁.....	4
伍、結論與建議.....	4
陸、附 錄.....	31
附錄一、花蓮港9號碼頭U型、Z型鋼板樁檢測記錄....	32
附錄二、花蓮港航道U型鋼板樁檢測記錄.....	49

表 目 錄

頁數

表2.1 Z38 及 U 型鋼板樁腐蝕電位量測結果.....	6
表2.2 SS41鋼板腐蝕電位量測結果.....	7
表2.3 新循環水槽內Z-26型鋼板樁電位量測結果.....	8
表2.4 新循環水槽內U型鋼板樁電位量測結果.....	12
表2.5 新循環水槽內Z-26型鋼板樁厚度量測結果.....	15
表2.6 新循環水槽內U型鋼板樁厚度量測結果.....	19
表3.1 蘇澳港 7 號碼頭、駁船碼頭陽極塊調查結果.....	22
表3.2 高雄港69、70號碼頭舊有陽極塊基本性質試驗結果..	23

圖 目 錄

頁 數

圖3.1 蘇澳港 7 號碼頭及駁船碼頭陽極塊檢測位置示意圖.....	24
圖3.2 蘇澳港 7 號碼頭及駁船碼頭陽極塊示意圖.....	25
圖4.1 花蓮港 9 號碼頭及航道位置及鋼板樁斷面示意圖..	26
圖4.2 花蓮港 9 號碼頭U型鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖.....	27
圖4.3 花蓮港航道U型鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖.....	28
圖4.4 花蓮港 9 號碼頭航道鋼板樁平均腐蝕速率與水深關係圖...	30

港灣鋼結構物耐久性之研究

壹、前 言

台灣四周環海，港灣鋼構造物處於嚴酷的海洋環境下，極易發生腐蝕，以往國人對此一問題並不重視，設計規範均逕引用國外規範，造成未達設計使用年限，構造物便已發生較原預估量大之腐蝕而發生破壞，為確保其耐久性，對鋼結構物之施工材料設計，配合台灣海域特性，採取適當的防蝕對策，是非常重要的。

本研究計劃是接續自78年7月至83年6月止，進行之「港灣鋼構造物之耐久性研究」，從研究之調查結果發現，各港鋼板樁碼頭腐蝕狀況差異極大，為了進一步且較完整性的研究，本研究計劃將繼續進行二年，預計於民國85年6月底完成。

本研究計劃之主要目的為：

- (一)對現有港灣鋼結構物腐蝕破壞特性進行了解。
- (二)提出現有港灣鋼結構物之防蝕對策。
- (三)提出今後港灣鋼構造物在材料選擇、設計、施工、防蝕規範訂定之參考。

計劃實施方法如下：

- (一)資料蒐集。
- (二)調查現有港灣鋼結構物之腐蝕情形。
- (三)調查現有港灣鋼結構物之使用鋼料之種類及性質。
- (四)量測港灣鋼結構物之腐蝕速率。
 - 1. 現場暴露大氣層中之腐蝕速率。
 - 2. 浸漬於海水中之腐蝕速率。
- (五)利用SEM(掃描式電子顯微鏡)....等儀器,做金相分析、破壞特性分析等。
- (六)防蝕方法之研究
 - 1. 陰極防蝕法。
 - 2. 塗裝(金屬塗裝、有機塗裝、無機塗裝....等)。

- (七)鋼材材料之選擇。
- (八)鋼結構物防蝕設計之考慮因素。
- (九)環境改善因素。

貳、陰極防蝕試驗

本研究繼續上年度之陰極防蝕試驗、試驗規劃（包括鋼材試片、陽極塊安裝位置及試驗項目等），均與上年度相同，詳細請參閱本所 83-研（十二）研究報告。

本年度繼續執行腐蝕電位量測，觀察試片外觀變化情形及鋼板試片厚度量測。結果如下：

一、腐蝕電位量測

- (一)舊循環水槽內Z-38及U型鋼板樁和 SS41鋼板之腐蝕電位量測結果如表2.1、表2.2所示。從表中數據顯示安裝犧牲陽極保護之鋼材其腐蝕電位均能達到防蝕電位標準，均小於 -850 mV 硫酸銅參考電極電位（以下簡稱為 S.C.E），未安裝陽極塊之鋼材，其腐蝕電位明顯大於 -850 mV (S.C.E) 約界於 $-595\sim-660\text{ mV}$ (S.C.E) 左右。鋼材表面已出現紅銹。
- (二)新循環水槽內之Z-26及U型鋼板樁，大部份鋼板均有安裝陽極塊保護，因此所量測得之電位，均小於 -850 mV (S.C.E) 達到保護電位標準，少數未安裝陽極塊之鋼板(Z17、Z18)，則電位分佈界於 $-631\sim-666\text{ mV}$ (S.C.E) 之間，未達到保護電位。量測結果如表2.3、表2.4所示。

二、試片外觀變化情形

有一層薄薄白色粉末層出現，此層生成物應是鋁合金陽極塊，因鋁之分解後與海水中 OH^- 離子作用所生成之 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，沉浮或降落於鋼板表面，浸泡時間較久之鋼板，則鋼板表面亦有一層鱗片狀之薄層產生，此薄層可能是碳酸鹽類 (MgCO_3 、 CaCO_3 等物質)，有阻延鋼板腐蝕效應。沒有安裝陽極塊之鋼板表面，則有紅銹薄膜出現，隨著浸泡時間愈久，鋼板表面之銹層繼續繁衍累積，並漸漸形成一片一片膨鬆之銹層，受海流衝擊時極易剝落。

三、鋼板試片厚度量測：

厚度量測時，依不同之水深(約每間隔0.5公尺左右)，在鋼板之凹凸側或左中右面上，均有一測點，每一測點量測兩次。

表2.5及表2.6分別為新循環水槽內 Z-26及U型鋼板樁浸泡於海水中二年之厚度，將上述兩表中之數據與浸泡前及浸泡一年後之厚度比較發現安裝陽極塊之鋼板，其厚度幾乎沒有減少，而未安裝陽極塊之鋼板厚度減少則較明顯。

參、陽極材料效應評估調查試驗

為了解及驗證陽極之放電效應，以確保它是否有發揮保護鋼材之效應，必須定期量測陽極材料之放電情形，及其消耗量是否在正常範疇內。本試驗預計每年量測一次陽極材料之放電大小及消耗情形。本年度現場調查之碼頭為蘇澳港七號及駁船碼頭，其中七號碼頭第30排樁之陽極塊係於民國82年安裝，駁船碼頭陽塊則於民國83年安裝，調查結果，如表3.1所示。量測電位均小於-1000 mV(S.C.E)，均已達到保護鋼板樁之電位，電流量除編號05者為1.4A外，其餘均大於或接近於廠商所提供之平均值(1.93A)。圖3.1及圖3.2分別為碼頭位置及陽極塊示意圖。

本年度並選擇上年度至高雄港69、70號碼頭取下之陽極塊6塊進行陽極塊基本性質試驗，試驗結果如表3.2所示。

肆、現場腐蝕調查

本研究繼續上年度之鋼板(管)樁腐蝕調查，其厚度量測及腐蝕速率計算，均與上年度相同。本年度完成花蓮港9號碼頭及航道鋼板樁之現場腐蝕調查：

一、花蓮港九號碼頭

本碼頭於民國66年完工，碼頭全長103公尺，水深約-9.50公尺，係採用FSP VL U型鋼板樁，並有部份採用 Z型鋼板樁，其中Z型鋼

板樁原有厚度及斷面港務局無法提供，從現場調查其厚度凹凸面目前約有13mm厚，側面厚度約在10mm左右。本碼頭鋼板樁均在低潮位線以下。碼頭位置和斷面如圖4.1所示。

本研究自與8號碼頭接點處起，每隔一隻樁，取一測樁，共取66隻 U型鋼板樁，16隻 Z 型鋼板樁量測厚度，每支測樁共10 個水深測點，即在低潮位下0.50, 0.80, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00公尺處，各量測三個數據(U 型)或二個數據(Z型)，取其平均值，其結果如附錄一及圖4.2所示。(因原有厚度港務局未能提供，故未能計算腐蝕速率，所測資料將留於日後量測計算用)。

由附錄一，低潮位線下少數測點腐蝕速率已超過0.20mm/yr, 但平均之腐蝕速率最大值為0.16mm/yr。由圖4.4顯示各水深測點腐蝕速率平均值有隨著水深增加而逐漸遞減之趨勢。

二、花蓮港航道

本航道於67年完工，全長約500公尺，水深約為-9.0公尺，係採用FSP VL U 型鋼板樁。本碼頭鋼板樁均位於低潮位線下。

本研究先由潛水人員目視觀察於 0^k+28 及 $0^k+230.5$ 水深1.20位置，發現 2處破洞， 0^k+461 處有一排水口，故各以破洞及排水口為中心，向左右各取18隻樁為測樁，共計108隻測樁，其水深測點共10點，即在低潮位線下 0.50, 0.80, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00 公尺處，各量測三個數據取其平均值，其結果如附錄二及圖4.3所示。碼頭位置和斷面如圖4.1所示。

由附錄二，低潮位線下一除 0^k+28 及 $0^k+230.5$ 處發生破洞處，少數測點腐蝕速率已超過 0.20mm/yr，但平均腐蝕速率最大值則為0.16mm/yr，由圖4.4顯示各水深測點腐蝕速率平均值有隨著水深增加而逐漸遞減之趨勢。

伍、結論與建議

一、港灣鋼結構物安裝犧牲陽極塊，在海水面下可達到保護鋼板樁之效

果。

- 二、花蓮港 9號碼頭及航道鋼板樁，平均腐蝕速率最大值為0.16 mm/yr，較該港內其他碼頭為大，可能為該二處位置分別在港區內部轉角及船隻進出必經之航路旁邊，受船隻行駛經過引起之波浪衝擊影響。
- 三、為期港灣鋼結構物能在設計使用年限內安全發揮功能，建立定期檢查制度及優先考慮裝設適當之防蝕措施是非常有必要的。

表 2.1 Z-38 及 U 型鋼板樁腐蝕電位量測結果(-mV值)

日期：85.05

量測 次序	鋼 材 測 位 置	Z-38 型 (有陰極防蝕)			Z-38 型 (無陰極防蝕)			U-BOX 型 (有陰極防蝕)			Z 型 (無陰極防蝕)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
1		1011	1015	1017		676	671	671	1042	1037	1038	626	634
		1026	1026	1023		660	660	659	1044	1047	1041	615	621
		1021	1024	1025		634	634	633	1028	1026	1026	595	595
		1008	1012	1010		640	642	640	1030	1030	1029	641	641
2		1018	1019	1018		633	633	634	1035	1038	1036	631	630
		1016	1015	1014		632	633	632	1027	1027	1028	616	610

註：以 Cu/CuSO₄ 參考電極量測。
每次量測間隔期為六個月。

表 2.2 SS41 鋼板腐蝕電位量測結果 (-mV值)

日期：85.05

鋼材 尺寸 量測 次序	2 m× 3 m (有陰極保護)							1 m× 3 m (有陰極保護)						
	891	973	975	981	973	955	940	932	938	939	959	951	949	949
1	880	890	902	913	910	893	889	1033	1033	1038	1041	1038	1033	1033
	879	890	902	925	915	894	893	1031	1038	1036	1038	1036	1031	1030
	879	883	903	926	918	905	897	1016	1018	1016	1035	1033	1013	1016
	870	883	900	926	916	908	884							
	889	889	900	924	910	898	883							
	892	886	903	920	910	899	881							
2	831	833	836	838	840	839	844	1044	1047	1031	1049	1046	1043	1042
	856	854	850	852	850	847	842	1024	1026	1028	1039	1027	1025	1024
	863	862	882	881	873	868	864	1013	1013	1015	1014	1016	1014	1015
	862	864	884	910	870	863	861	1013	1010	1016	1014	1014	1012	1012
	869	864	868	885	880	874	874							
	877	879	881	881	874	873	874							
	878	878	881	880	879	879	880							

註：以 Cu/CuSO₄ 參考電極量測。
每次量測間隔期為六個月。

表 2.3 新循環水槽內 Z-26 型鋼板樁電位量測結果 (1)

日期：84.05

電 樁 高 度 (m)	1			2			3			4			5			6			7		
	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+1.80	1060	1057	1059	1039	1036	1034	1030	1021	1022	1015	1002	1007	1013	1001	1078	1052	1054	1036	1048	1048	1049
+1.50	1061	1059	1061	1047	1048	1037	1036	1027	1027	1019	1019	1014	1015	1007	1074	1054	1056	1049	1050	1049	1059
+1.00	1036	1049	1045	1052	1030	1019	1025	1014	1014	1014	1004	997	998	993	1054	1045	1039	1032	1038	1034	1037
+0.50	1033	1036	1033	1030	1018	1014	1015	1012	1012	1015	1004	995	992	992	1050	1044	1037	1032	1031	1028	1034
+0.05	1029	1029	1024	1020	1010	1009	1006	1005	1000	1000	993	990	986	986	942	1037	1026	1025	1023	1023	1026

註：高度係從池底往上推算。

表2.3 新循環水槽內 Z-26 型鋼板格電位量測結果 (2)

日期：84.05

電 格 高 度 (m)	電 位 號 (-mV)	8			9			10			11			12			13			14		
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+1.80		1061	1056	1024	1028	1054	1051	1050	1049	1054	1031	1045	1039	1043	1029	1041	1029	1011	1024	994	1013	1013
+1.50		1060	1057	1033	1035	1054	1050	1048	1047	1047	1042	1043	1042	1043	1041	1046	1040	988	1034	1010	1007	991
+1.00		1036	1035	1034	1045	1032	1028	1027	1026	1024	1031	1021	1021	1021	1022	1023	1027	988	1011	989	990	987
+0.50		1033	1031	1052	1054	1028	1027	1027	1027	1023	1022	1020	1020	1020	1021	1020	1023	988	1009	987	988	981
+0.05		1029	1027	1048	1041	1023	1022	1022	1023	1020	1019	1016	1016	1014	1017	1016	1016	1008	1002	1009	981	983

註：高度係從池底往上推算。

表 2.3 新循環水槽內 Z-26 型鋼板樁電位量測結果 (3)

日期: 84.05

電 位 格 號 (-mV)	高 度 (m)	15			16			17			18			19			20			21		
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+1.80		907	904	926	926	926	927	713	712	708	711	712	715	981	972	971	972	970	974	968	959	956
								714	713	714	710	716	715	969	970	967	963	968	962	948	953	952
+1.50		918	905	905	926	926	927	714	714	712	713	714	719	973	969	969	969	967	970	961	960	961
								716	716	717	716	719	720	965	966	950	958	962	957	948	939	952
+1.00		929	905	905	920	923	925	717	716	714	714	715	720	958	952	947	948	948	949	935	943	951
								720	721	722	724	729	724	947	946	944	937	937	937	935	921	932
+0.50		931	908	905	928	912	907	716	715	714	714	716	720	950	948	944	944	947	946	934	936	937
								720	717	720	724	722	721	945	944	943	938	937	937	931	878	924
+0.05		929	930	899	908	910	906	725	714	714	715	716	720	946	945	944	943	944	944	933	932	931
								716	716	720	720	718	719	944	943	942	938	937	937	930	871	928

註: 高度係從池底往上推算。

表 2.3 新循環水槽內 Z-26 型鋼板樁電位量測結果 (4)

日期: 85.05

電 樁 高 度 (m)	電 位 (-mV)	22			23			24											
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+1.80		960	947	946	1005	999	992	992	1000	996									
		951	954	950	990	994	987	995	992	990									
+1.50		953	950	955	1002	1002	995	999	1004	1004									
		943	950	941	984	992	986	993	990	988									
+1.00		935	947	946	977	989	993	977	1000	1012									
		932	935	929	968	968	965	967	966	965									
+0.50		931	936	936	976	982	985	971	982	990									
		929	929	928	968	968	967	967	967	965									
+0.05		930	931	974	976	976	976	972	974	977									
		926	925	925	966	965	964	968	967	964									

註: 高度係從池底往上推算。

表 2.4 新循環水池 U 型鋼板樁電位量測結果 (1)

日期：84.05

電 位 高 度 (m)	樁 號 (-mV)	1			2			3			4			5			6			7		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
+1.80		912	925		915	913	915	915	911	920	920	903	919	916	907	906	913	909	913	912	918	914
+1.50		920	975		924	921	924	919	921	920	922	919	922	918	923	917	919	916	919	917	920	917
+1.00		911	925		912	913	912	911	916	908	907	907	907	911	922	911	910	911	910	907	908	906
+0.50		911	909		912	912	913	909	908	906	905	906	906	906	908	906	911	913	911	908	905	907
+0.05		904	905		904	904	904	903	903	902	901	901	901	901	902	902	902	902	901	901	900	902

註：高度係從池底往上推算。

表 2.4 新循環水池 U 型鋼板樁電位量測結果 (2)

日期: 84.05

電 格 高 度 (m)	電 位 號 (-mV)	8			9			10			11			12			13			14		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
+1.80		991	993	994	987	999	987	994	993	986	981	988	997	978	992	994	1004	1001	984	987	988	964
+1.50		997	993	996	997	999	990	1009	1002	1009	984	998	994	986	993	996	1006	1012	985	989	997	987
+1.00		990	989	988	987	993	995	992	996	988	983	983	985	984	984	984	997	1012	975	993	999	994
+0.50		994	993	988	986	986	987	983	982	983	984	983	987	984	986	986	994	997	973	1011	1017	993
+0.05		980	981	980	779	981	986	982	982	993	978	978	981	973	975	974	988	989	966	958	987	976

註：高度係從池底往上推算。

表 2.4 新循環水池 U 型鋼板樁電位量測結果 (3)

日期: 84.05

電 位 高 度 (m)	樁 號 (-mV)	15			16			17			18			19					
		左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
+1.80		968	968	975	945	966	965	962	944	970	960	962	960		948	961			
+1.50		975	968	973	969	971	968	963	966	972	960	963	960		956	961			
+1.00		964	982	995	961	962	962	950	962	961	948	949	948		941	947			
+0.50		962	991	1012	961	962	962	949	954	958	948	946	946		941	947			
+0.05		961	968	974	958	958	958	971	952	954	948	946	948		946	945			

註: 高度係從池底往上推算。

表 2.5 循環水槽內 Z-26 型鋼板樁厚度量測結果 (1)

日期: 84.05

厚 度 (m)	樁 號 (mm)	1			2			3			4			5			6			7		
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+2.25		8.65	8.75	8.55	9.00	8.30	8.55	8.50	8.40	8.70	8.65	7.90	8.10	9.00	8.50	8.80	8.95	8.00		8.95	8.45	8.65
+1.50		9.80	8.85	8.50	8.50	8.10	8.70	8.50	8.60	8.90	8.90	8.75	8.65	8.50	8.50	8.75	8.50	8.60	8.60	8.70	8.20	8.50
+1.00		9.05	8.70	9.00	9.05	8.85	8.80	8.75	8.90	8.45	9.00	8.20	8.10	8.90	8.60	9.05	9.05	8.40	8.70	8.70	8.40	8.50
+0.50		8.90	8.40	8.75	9.10	8.80	8.95	8.80	8.40	8.50	8.40	8.30	8.50	8.60	8.40	9.00	9.00	8.40	8.80	8.80	8.30	8.50

註: 高度係從池底往上推算。

表2.5 循環水槽內 Z-26 型鋼板樁厚度量測結果 (2)

日期：84.05

厚 度 (mm)	格 號	8			9			10			11			12			13			14		
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+2.25		9.15	8.50	9.00	12.3	9.00	12.4	11.8	9.00		11.8	9.00	12.3	11.9	8.90		7.90	11.0	12.2	8.60	12.1	
+1.50		9.10	8.80	8.50	12.4	8.95	12.4	11.7	8.80	12.1	12.0	8.80	12.4	12.0	8.80	11.7	8.90	11.6	12.2	8.60	12.4	
+1.00		8.90	8.40	8.60	12.3	9.10	12.4	11.8	9.00		12.1	8.95	12.4	11.9	8.60	11.8	11.2	8.80	11.8	12.1	8.80	12.4
+0.50		8.75	8.20		12.1	9.00	12.4	11.7	8.95		12.2	8.85	12.4	11.8	8.70	11.4	11.2	8.80	11.8	11.8	8.80	12.2

註：高度係從池底往上推算

表2.5 循環水槽內 Z-26 型鋼板樁厚度量測結果 (3)

日期：84.05

厚度 格 度 (mm)	15			16			17			18			19			20			21		
	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+2.25	8.75	8.60	8.95	8.75	8.70	8.75	12.1	9.00		12.3	9.40		11.9	9.00	11.8	12.5	9.50	12.4	11.8	8.80	
+1.50	8.80	8.50	8.90	8.85	8.85	8.70	12.0	9.35		12.4	9.60		12.0	9.60		12.5	9.40	12.5	11.8	8.85	
+1.00	8.60	8.70	9.00	8.90	8.95	8.60	11.7	9.00		12.3	9.60		11.8	8.95		12.5	9.30	12.6	11.8	8.95	
+0.50	8.80	8.60	8.80	9.00	8.80	8.60	12.0	9.10		12.4	9.50					12.5	9.60		11.7	8.75	

註：高度係從池底往上推算。

表2.5 循環水槽內 Z-26 型鋼板樁厚度量測結果 (4)

日期：85.05

厚度 高度 (m)	樁 號	22			23			24											
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+2.25		12.3	9.45		11.6	8.70		12.5	9.55	12.3									
+1.50		12.5	9.40	12.6	11.5	8.60		12.5	9.35	12.0									
+1.00		12.4	9.40	12.4	11.6	8.90		12.3	9.70	11.9									
+0.50		12.6	9.50	12.5	11.5	9.10	10.9	12.4	9.50	12.6									

註：高度係從池底往上推算。

表 2.6 新海水循環水槽內 U 型鋼板樁厚度量測結果 (1)

日期：84.05

厚 度 (mm)	1			2			3			4			5			6			7		
格 號	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
+2.25	6.60	8.10		5.40	8.30	5.60	6.50	8.60	6.80	6.20	9.10	6.30	6.80	8.90	6.40	6.80	8.95	6.40	6.40	8.60	6.10
+1.50	6.20	7.90		5.60	9.00	5.60	6.60	8.50	7.00	6.60	9.20	6.60	6.45	9.00	6.45	6.40	8.80	6.10	6.60	8.60	6.10
+1.00	6.80	8.70		6.00	8.80	5.30	6.80	8.70	7.00	6.60	8.90	6.60	6.70	8.90	6.50	6.60	8.90	6.10	6.40	8.60	5.90
+0.50	6.80	8.80		5.90	8.80	5.80	6.80	8.70	7.00	6.30	9.00	6.40	6.40	9.05	6.70	6.80	9.10	6.40	6.10	8.40	6.00

註：高度係從池底往上推算。

表2.6 新海水循環水槽內 U型鋼板樁厚度量測結果 (2)

日期: 84.05

厚度 高度 (mm)	8			9			10			11			12			13			14		
	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
+2.25	5.70	8.25	5.10	7.20	9.30	987	6.60	8.45	6.70	6.00	7.50	5.70	5.60	7.80	5.70	6.00	8.80	6.40	6.20	8.20	5.40
+1.50	5.60	9.00	5.90	7.20	9.10	990	6.80	8.00	6.60	6.20	7.20	5.60	6.20	8.40	6.20	8.40	6.60	6.00	6.00	9.00	6.00
+1.00	6.00	9.20	6.40	7.20	9.20	995	6.40	8.30	6.80	5.60	7.40	5.40	6.30	8.50	6.30	6.60	7.75	6.45	6.30	9.10	6.20
+0.50	5.20	9.25	6.10	7.10	9.00	987	6.40	8.50	6.50	5.50	7.40	5.40	6.20	8.60	6.20	6.00	8.50	6.20	6.40	8.80	6.10

註：高度係從池底往上推算。

表2.6 新海水循環水槽內 U型鋼板樁厚度量測結果 (3)

日期：84.05

厚 格 度 度 (mm)	15			16			17			18			19					
	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
+2.25	6.40	7.45	5.50	6.05	8.80	5.70	6.30	8.30	7.00	5.10	8.40	5.70	7.85	5.95				
+1.50	6.40	8.30	5.75	5.70	8.70	4.80	6.70	8.25	6.95	6.20	8.65	6.00	8.20	6.20				
+1.00	6.50	8.40	6.10	5.00	8.65	5.45	6.25	8.40	6.80	6.70	9.00	6.40	8.35	6.40				
+0.50	6.60	8.30	5.95	4.60	8.90	5.00	6.10	7.80	6.30	6.50	8.70	6.70	8.60	6.40				

註：高度係從池底往上推算

表3.1 蘇澳港七號碼頭、駁船碼頭

陽極塊 編 號	電位(mV)			電流量 A	重 量 Kg	備 註
	上	中	下			
01	1057	1059	1048	2.5	146.3	L1 上右
02	1053	1056	1052	1.9	147.0	L1 上左
03	1046	1060	1045	1.6	141.5	L1 下右
04	1056	1059	1077	2.2	139.5	L1 下左
05	1058	1052	1047	1.4	141.0	L2 上
06	1054	1058	1056	2.0	140.4	L2 下右
07	1054	1061	1054	1.8	146.2	L2 下左
08	1052	1059	1053	1.8	141.6	L3 右
09	1054	1055	1050	2.0	138.4	L3 左
10	1022	1027	1032	2.9	137.0	L4 右
11	1041	1036	1029	2.7	135.0	L4 左
12	1010	1010	1006	2.3	154.8	
13	1025	1018	1005	2.3	155.4	
14	1017	1012	1004	2.1	156.9	
15	1025	1023	1019	2.1	151.6	

說明：1. 電位為硫酸銅電位(SCE)。

2. 陽極塊編號01~11安裝位置位於七號碼頭第30排樁。

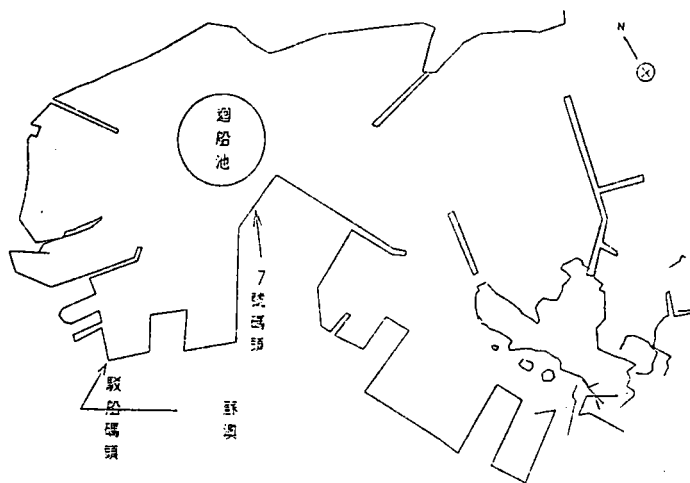
12~13安裝位置位於駁船碼頭A區。

14~15安裝位置位於駁船碼頭B區。

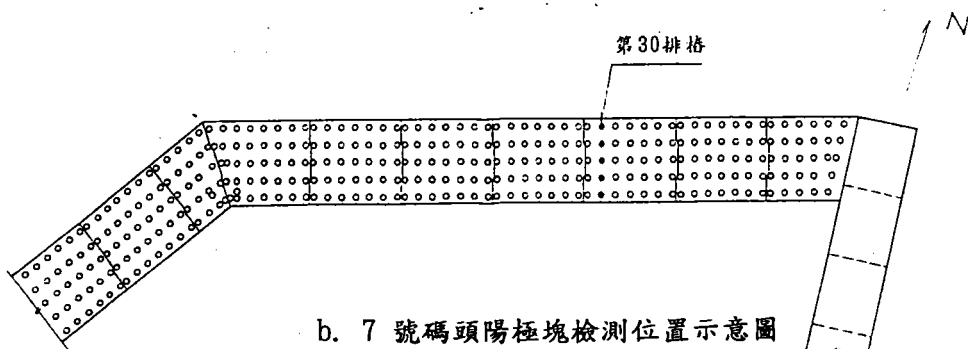
表3.2 高雄港 69、70號碼頭舊有陽極塊基本性質試驗結果

陽極塊編號	消耗率 Kg/A · yr	電流效率 %	開路電位 V(SCE)	有效電氣量 A · hr/Kg	備 註
B 80	3.10	98	-1.10	2824	安裝位置 69 號碼頭
B 96	3.10	98	-1.10	2824	安裝位置 69 號碼頭
C 99	3.28	93	-1.10	2667	安裝位置 69 號碼頭
D 12	3.10	98	-1.10	2824	安裝位置 70 號碼頭
E 21	3.28	93	-1.10	2667	安裝位置 70 號碼頭
F 05	3.28	93	-1.10	2667	安裝位置 70 號碼頭

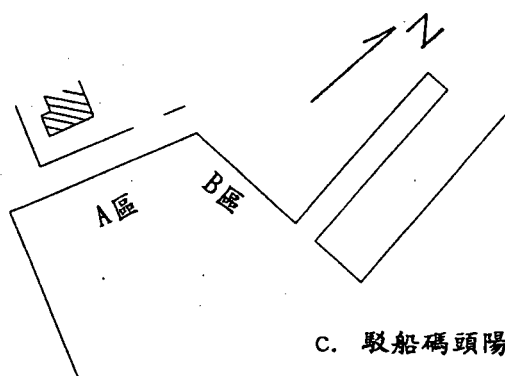
說明：試驗方法係依據日本防蝕學會標準試驗法。



a. 碼頭位置圖

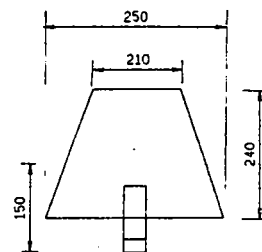
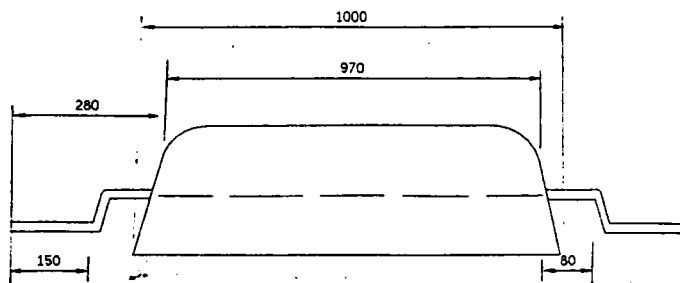


b. 7 號碼頭陽極塊檢測位置示意圖

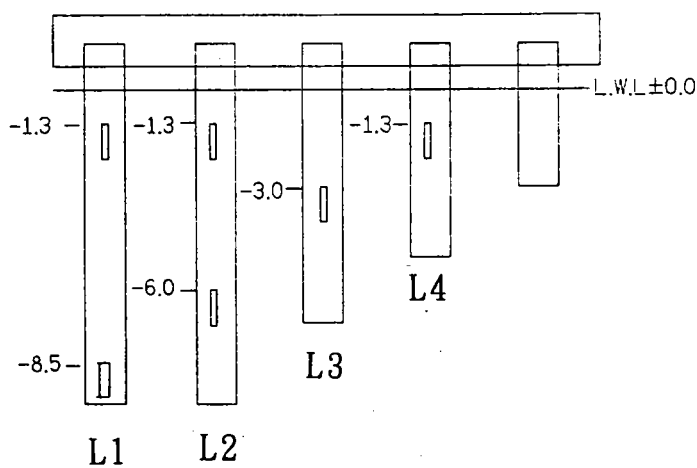


c. 駁船碼頭陽極塊檢測位置示意圖

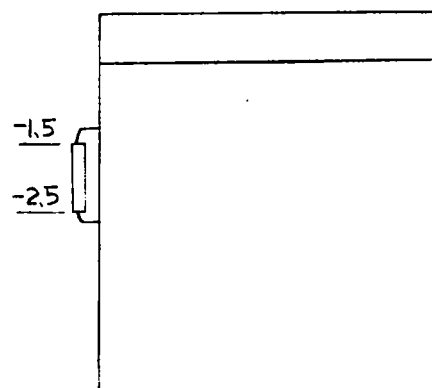
圖3.1 蘇澳港 7 號碼頭及駁船碼頭陽極塊檢測位置示意圖



a. 陽極塊斷面圖

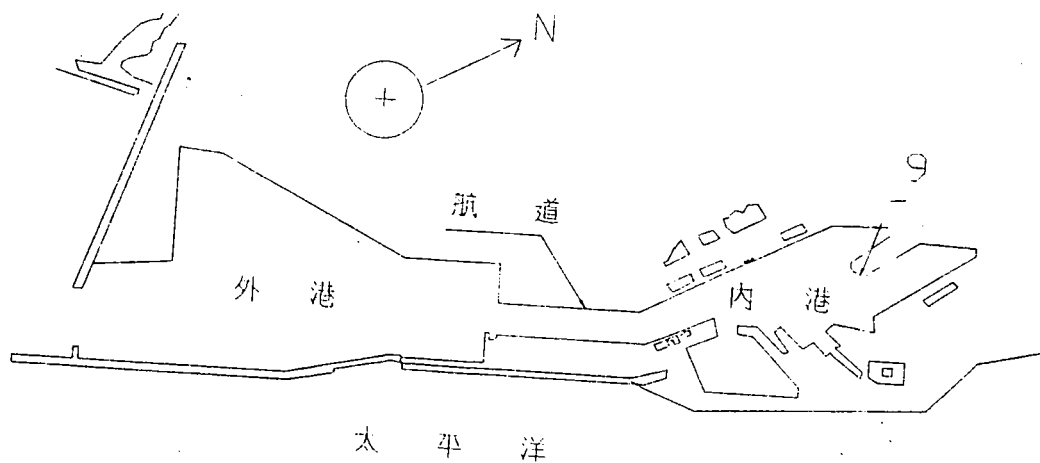


b. 7 號碼頭陽極塊安裝位置示意圖

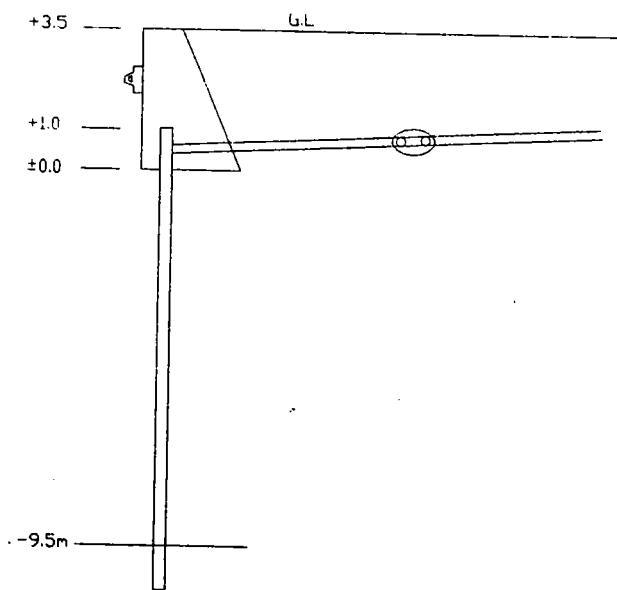


c. 駁船碼頭陽極塊安裝位置示意圖

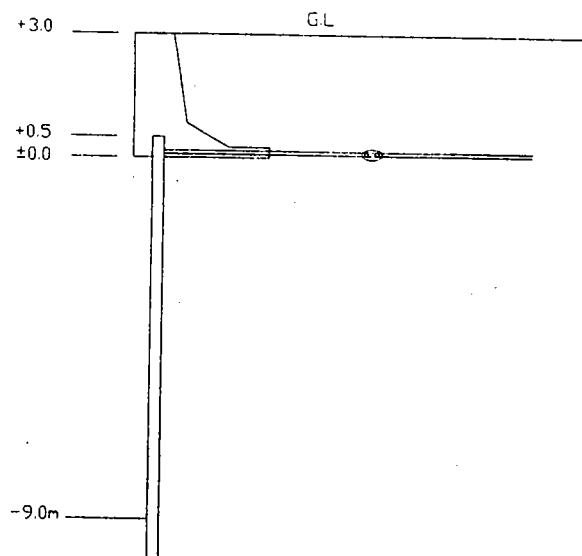
圖3.2 蘇澳港 7 號碼頭及駁船碼頭陽極塊示意圖



a. 位置圖



b. 9 號碼頭鋼板樁斷面示意圖



c. 航道鋼板樁斷面示意圖

圖4.1 花蓮港 9 號碼頭及航道位置及鋼板樁斷面示意圖

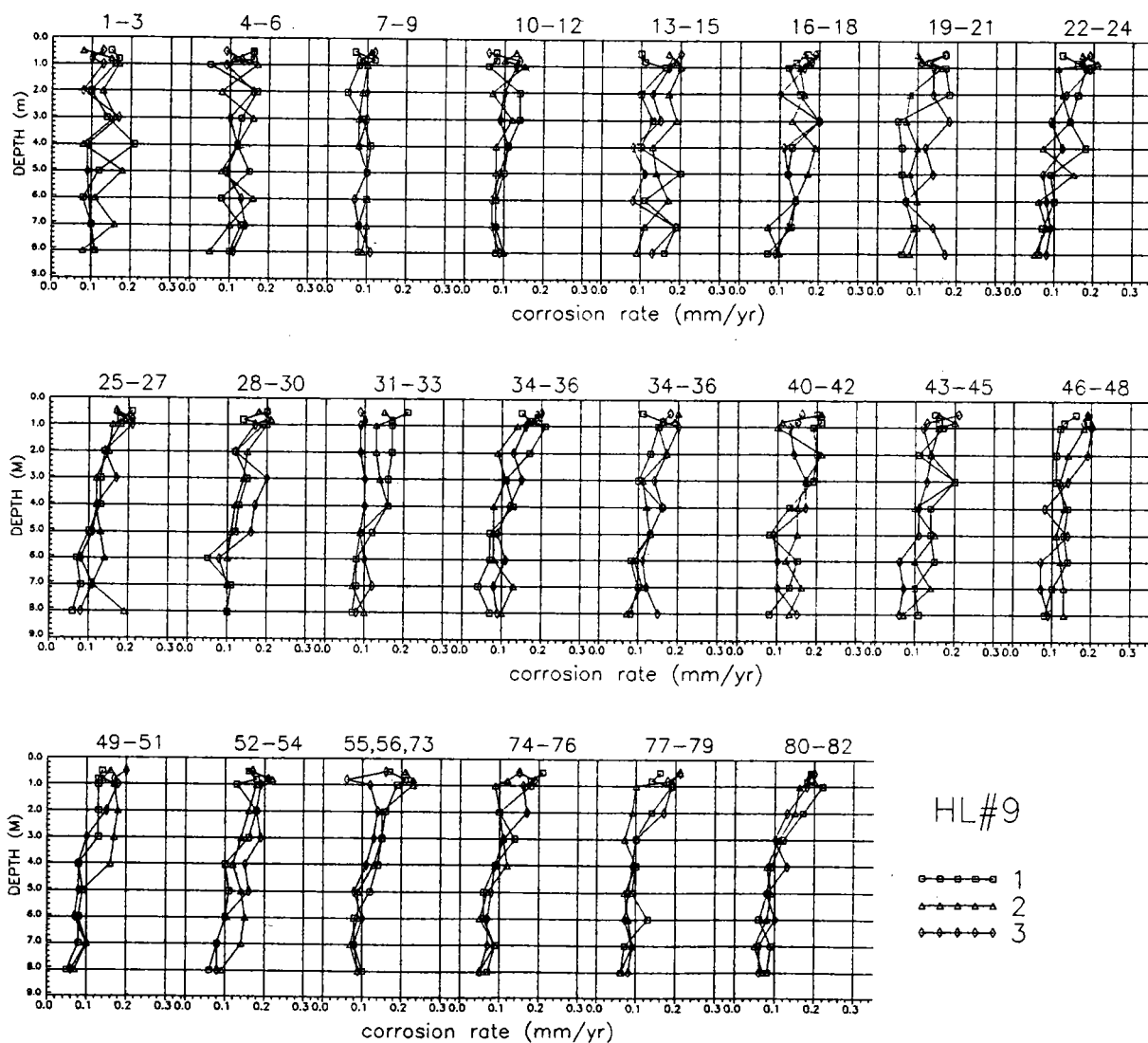


圖4.2 花蓮港 9 號碼頭U型鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖

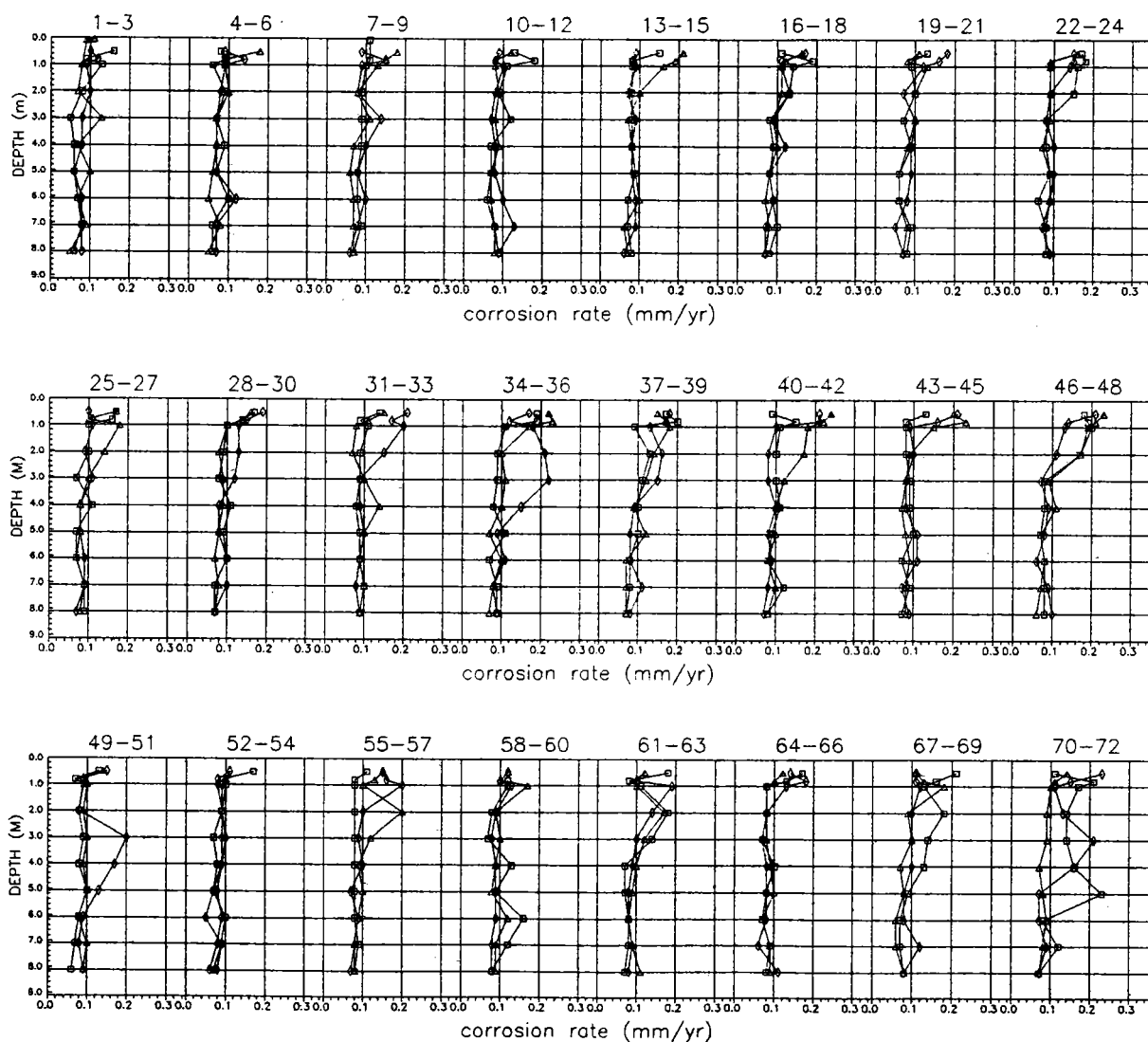


圖4.3 花蓮港航道U型鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(1)

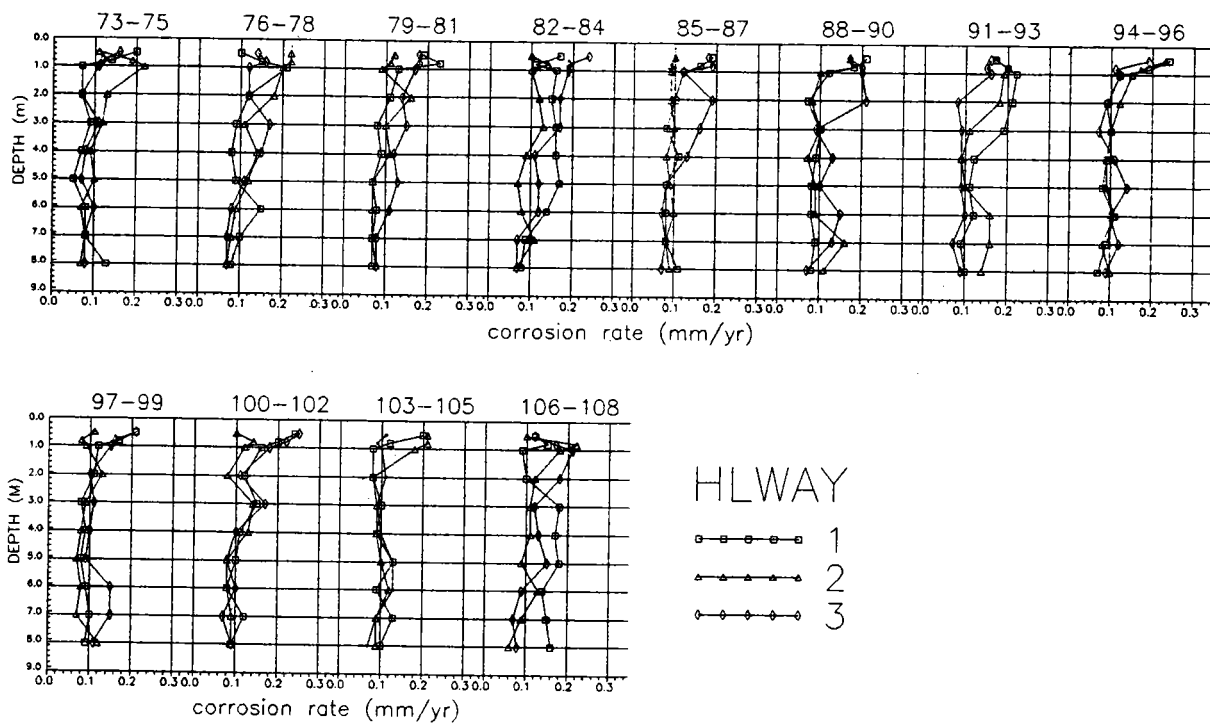


圖4.3 花蓮港航道U型鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(2)

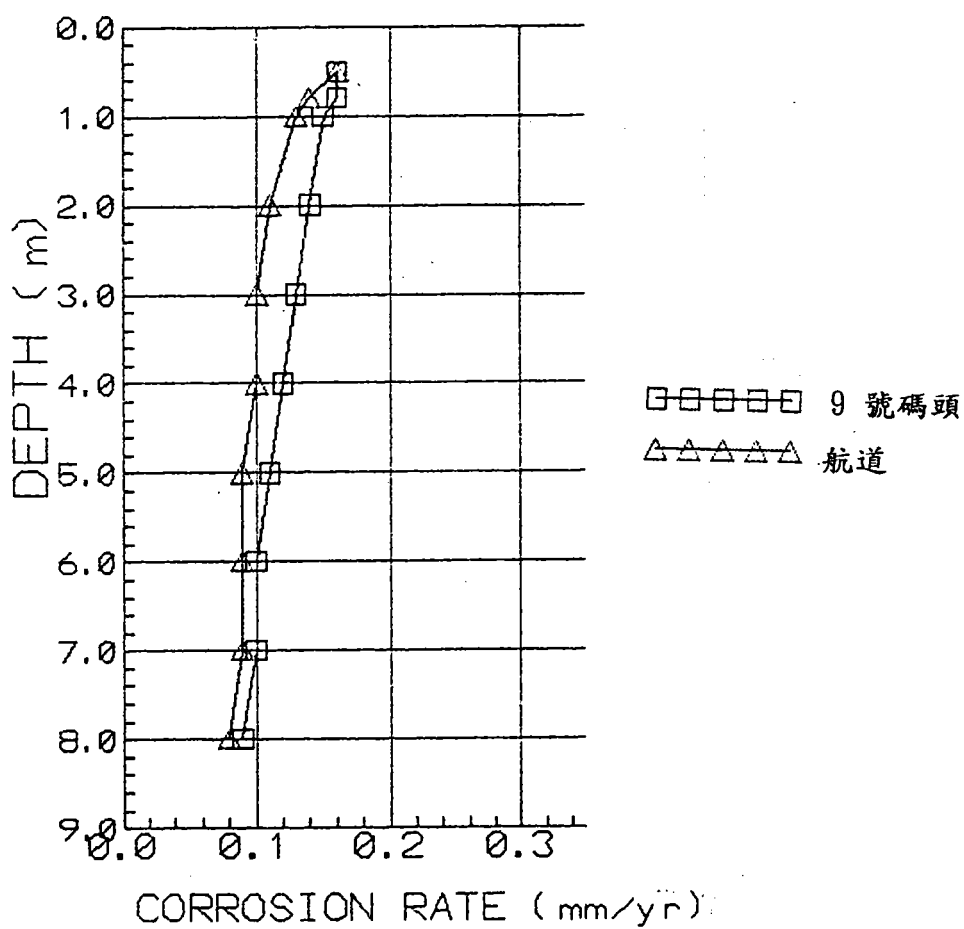


圖4.4 花蓮港 9 號碼頭航道鋼板樁平均腐蝕速率與水深關係圖

附 錄

頁 數

附錄一、花蓮港9號碼頭U型、Z型鋼板樁檢測記錄....32

附錄二、花蓮港航道U型鋼板樁檢測記錄.....49

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(1)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
901	- 0.50	24.30	21.63	2.67	0.15
	- 0.80		21.20	3.10	0.17
	- 1.00		21.53	2.77	0.16
	- 2.00		22.47	1.88	0.10
	- 3.00		21.87	2.43	0.14
	- 4.00		20.50	3.80	0.21
	- 5.00		22.13	2.17	0.12
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.53	1.77	0.10
	- 8.00		22.33	1.97	0.11
902	- 0.50	24.30	22.93	1.37	0.08
	- 0.80		21.63	2.67	0.15
	- 1.00		21.27	3.03	0.17
	- 2.00		21.93	2.37	0.13
	- 3.00		21.40	2.90	0.16
	- 4.00		22.93	1.37	0.08
	- 5.00		22.07	2.23	0.18
	- 6.00		22.33	1.97	0.11
	- 7.00		21.53	2.77	0.16
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
903	- 0.50	24.30	22.07	2.23	0.13
	- 0.80		22.47	1.83	0.10
	- 1.00		22.00	2.30	0.13
	- 2.00		22.80	1.50	0.08
	- 3.00		21.20	3.10	0.17
	- 4.00		22.67	1.63	0.09
	- 5.00		22.67	1.63	0.09
	- 6.00				
	- 7.00		22.47	1.83	0.10
	- 8.00				
904	- 0.50	24.30	21.40	2.90	0.16
	- 0.80		21.40	2.90	0.16
	- 1.00		23.33	0.97	0.05
	- 2.00		21.27	3.03	0.17
	- 3.00		21.93	2.37	0.13
	- 4.00		22.13	2.17	0.12
	- 5.00		21.60	2.70	0.15
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.03	2.27	0.13
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
905	- 0.50	24.30	21.40	2.90	0.16
	- 0.80		22.27	2.03	0.11
	- 1.00		21.20	3.10	0.17
	- 2.00		22.87	1.43	0.08
	- 3.00		21.53	2.77	0.16
	- 4.00		22.17	2.13	0.12
	- 5.00		22.87	1.43	0.08
	- 6.00		21.47	2.83	0.16
	- 7.00		22.47	1.83	0.10
	- 8.00		23.40	0.90	0.05

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(2)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
906	- 0.50	24.30	22.67	1.63	0.09
	- 0.80		21.93	2.37	0.13
	- 1.00		22.73	1.57	0.09
	- 2.00		21.53	2.77	0.16
	- 3.00		22.47	1.83	0.10
	- 4.00		22.20	2.10	0.12
	- 5.00		22.67	1.63	0.09
	- 6.00		21.93	2.37	0.13
	- 7.00		21.73	2.57	0.14
	- 8.00		22.40	1.90	0.11
907	- 0.50	24.30	23.00	1.30	0.07
	- 0.80		22.20	2.10	0.12
	- 1.00		22.80	1.50	0.08
	- 2.00		23.47	0.83	0.05
	- 3.00		22.67	1.63	0.09
	- 4.00		22.27	2.03	0.11
	- 5.00		22.60	1.70	0.10
	- 6.00		22.53	1.77	0.10
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		22.80	1.50	0.08
908	- 0.50	24.30	22.33	1.97	0.11
	- 0.80		22.73	1.57	0.09
	- 1.00		22.47	1.83	0.10
	- 2.00		22.73	1.57	0.09
	- 3.00		22.87	1.43	0.08
	- 4.00		22.93	1.37	0.08
	- 5.00		22.60	1.70	0.10
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		22.60	1.70	0.10
	- 8.00		22.67	1.63	0.09
909	- 0.50	24.30	22.13	2.17	0.12
	- 0.80		22.93	1.37	0.08
	- 1.00		22.53	1.77	0.10
	- 2.00		22.47	1.83	0.10
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		22.80	1.50	0.08
	- 5.00		22.53	1.77	0.10
	- 6.00		23.07	1.23	0.07
	- 7.00		22.80	1.50	0.08
	- 8.00		22.33	1.97	0.11
910	- 0.50	24.30	22.87	1.43	0.08
	- 0.80		22.80	1.50	0.08
	- 1.00		23.20	1.10	0.06
	- 2.00		21.73	2.57	0.14
	- 3.00		21.87	2.43	0.14
	- 4.00		22.33	1.97	0.11
	- 5.00		22.60	1.70	0.10
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.87	1.43	0.08
	- 8.00		22.87	1.43	0.08

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(3)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
911	- 0.50	24.30	22.07	2.23	0.13
	- 0.80		22.47	1.83	0.10
	- 1.00		21.67	2.63	0.15
	- 2.00		23.07	1.23	0.07
	- 3.00		22.13	2.17	0.12
	- 4.00		22.93	1.37	0.08
	- 5.00		22.80	1.50	0.08
	- 6.00		22.93	1.37	0.08
	- 7.00		22.87	1.43	0.08
	- 8.00		22.47	1.83	0.10
912	- 0.50	24.30	23.20	1.10	0.06
	- 0.80		21.80	2.50	0.14
	- 1.00		22.07	2.23	0.13
	- 2.00		22.60	1.70	0.10
	- 3.00		22.73	1.57	0.09
	- 4.00		22.40	1.90	0.11
	- 5.00		22.67	1.63	0.09
	- 6.00		23.00	1.30	0.07
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		22.67	1.63	0.09
913	- 0.50	24.30	22.53	1.77	0.10
	- 0.80		22.40	1.90	0.11
	- 1.00		21.53	2.77	0.16
	- 2.00		22.47	1.83	0.10
	- 3.00		21.93	2.37	0.13
	- 4.00		22.53	1.77	0.10
	- 5.00		20.67	3.63	0.20
	- 6.00		22.33	1.97	0.11
	- 7.00		20.87	3.43	0.19
	- 8.00		21.53	2.77	0.16
914	- 0.50	24.30	21.27	3.03	0.17
	- 0.80		21.00	3.30	0.19
	- 1.00		20.67	3.63	0.20
	- 2.00		21.33	2.97	0.17
	- 3.00		20.93	3.37	0.19
	- 4.00		21.93	2.37	0.13
	- 5.00		21.80	2.50	0.14
	- 6.00		21.33	2.97	0.17
	- 7.00		22.27	2.03	0.11
	- 8.00		22.67	1.63	0.09
915	- 0.50	24.30	20.67	3.63	0.20
	- 0.80		21.13	3.17	0.18
	- 1.00		21.33	2.97	0.17
	- 2.00		22.00	2.30	0.13
	- 3.00		21.67	2.63	0.15
	- 4.00		22.87	1.43	0.08
	- 5.00		22.40	1.90	0.11
	- 6.00		22.80	1.50	0.08
	- 7.00		20.93	3.37	0.19
	- 8.00		21.90	2.40	0.13

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(4)

測定位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
916	- 0.50	24.30	21.20	3.10	0.17
	- 0.80		21.87	2.43	0.14
	- 1.00		22.20	2.10	0.12
	- 2.00		21.67	2.63	0.15
	- 3.00		20.73	3.57	0.20
	- 4.00		21.93	2.37	0.13
	- 5.00		22.17	2.13	0.12
	- 6.00		21.80	2.50	0.14
	- 7.00		22.00	2.30	0.13
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
917	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.16
	- 0.80		21.27	3.03	0.17
	- 1.00		21.67	2.63	0.15
	- 2.00		21.43	2.87	0.16
	- 3.00		21.93	2.37	0.13
	- 4.00		21.00	3.30	0.19
	- 5.00		21.33	2.97	0.17
	- 6.00		21.83	2.47	0.14
	- 7.00		23.10	1.20	0.07
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
918	- 0.50	24.30	20.97	3.33	0.19
	- 0.80		21.17	3.13	0.18
	- 1.00		21.40	2.90	0.16
	- 2.00		22.57	1.73	0.10
	- 3.00		20.80	3.50	0.20
	- 4.00		22.27	2.03	0.11
	- 5.00		22.13	2.17	0.12
	- 6.00		21.87	2.43	0.14
	- 7.00		22.10	2.20	0.12
	- 8.00		22.63	1.67	0.09
919	- 0.50	24.30	21.20	3.10	0.17
	- 0.80		22.07	2.23	0.13
	- 1.00		21.27	3.03	0.17
	- 2.00		21.03	3.27	0.18
	- 3.00		23.33	0.97	0.05
	- 4.00		23.27	1.03	0.06
	- 5.00		23.27	1.03	0.06
	- 6.00		23.00	1.30	0.07
	- 7.00		22.70	1.60	0.09
	- 8.00		23.20	1.10	0.06
920	- 0.50	24.30	22.60	1.70	0.10
	- 0.80		22.27	2.03	0.11
	- 1.00		21.47	2.83	0.16
	- 2.00		22.80	1.50	0.08
	- 3.00		22.97	1.33	0.07
	- 4.00		22.47	1.83	0.10
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		22.53	1.77	0.10
	- 7.00		22.60	1.70	0.10
	- 8.00		22.80	1.50	0.08

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(5)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
921	- 0.50	24.30	21.33	2.97	0.17
	- 0.80		22.33	1.97	0.11
	- 1.00		21.83	2.47	0.14
	- 2.00		21.80	2.50	0.14
	- 3.00		21.03	3.27	0.18
	- 4.00		22.20	2.10	0.12
	- 5.00		21.87	2.43	0.14
	- 6.00		23.00	1.30	0.07
	- 7.00		21.80	2.50	0.14
	- 8.00		21.20	3.10	0.17
922	- 0.50	24.30	22.23	2.07	0.12
	- 0.80		21.40	2.90	0.16
	- 1.00		21.13	3.17	0.18
	- 2.00		21.40	2.90	0.16
	- 3.00		21.73	2.57	0.14
	- 4.00		21.03	3.27	0.18
	- 5.00		22.67	1.63	0.09
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		23.13	1.17	0.07
	- 8.00		23.27	1.03	0.06
923	- 0.50	24.30	21.27	3.03	0.17
	- 0.80		20.53	3.77	0.21
	- 1.00		22.27	2.03	0.11
	- 2.00		22.13	2.17	0.12
	- 3.00		21.80	2.50	0.14
	- 4.00		23.00	1.30	0.07
	- 5.00		21.67	2.63	0.15
	- 6.00		23.27	1.03	0.06
	- 7.00		22.87	1.43	0.08
	- 8.00		23.33	0.97	0.05
924	- 0.50	24.30	20.93	3.37	0.19
	- 0.80		21.23	3.07	0.17
	- 1.00		20.87	3.43	0.19
	- 2.00		21.97	2.33	0.13
	- 3.00		22.67	1.63	0.09
	- 4.00		22.17	2.13	0.12
	- 5.00		23.00	1.30	0.07
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.73	1.57	0.09
	- 8.00		22.87	1.43	0.08
925	- 0.50	24.30	20.57	3.73	0.21
	- 0.80		21.13	3.17	0.18
	- 1.00		21.07	3.23	0.18
	- 2.00		21.73	2.57	0.14
	- 3.00		22.07	2.23	0.13
	- 4.00		22.03	2.27	0.13
	- 5.00		22.47	1.83	0.10
	- 6.00		23.03	1.27	0.07
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.27	1.03	0.06

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(6)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
926	- 0.50	24.30	21.33	2.97	0.17
	- 0.80		20.90	3.40	0.19
	- 1.00		21.40	2.90	0.16
	- 2.00		21.57	2.73	0.15
	- 3.00		22.13	2.17	0.12
	- 4.00		22.23	2.07	0.12
	- 5.00		22.07	2.23	0.13
	- 6.00		21.80	2.50	0.14
	- 7.00		22.33	1.97	0.11
	- 8.00		20.93	3.37	0.19
927	- 0.50	24.30	21.20	3.10	0.17
	- 0.80		20.63	3.67	0.21
	- 1.00		20.60	3.70	0.21
	- 2.00		21.73	2.57	0.14
	- 3.00		21.30	3.00	0.17
	- 4.00		22.13	2.17	0.12
	- 5.00		22.40	1.90	0.11
	- 6.00		22.80	1.50	0.08
	- 7.00		22.37	1.93	0.11
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
928	- 0.50	24.30	20.67	3.63	0.20
	- 0.80		21.80	2.50	0.14
	- 1.00		20.83	3.47	0.19
	- 2.00		22.13	2.17	0.12
	- 3.00		21.60	2.70	0.15
	- 4.00		22.07	2.23	0.13
	- 5.00		22.20	2.10	0.12
	- 6.00		23.33	0.97	0.05
	- 7.00		22.40	1.90	0.11
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
929	- 0.50	24.30	21.13	3.17	0.18
	- 0.80		20.53	3.77	0.21
	- 1.00		20.80	3.50	0.20
	- 2.00		21.67	2.63	0.15
	- 3.00		21.80	2.50	0.14
	- 4.00		22.13	2.17	0.12
	- 5.00		22.40	1.90	0.11
	- 6.00		22.47	1.83	0.10
	- 7.00		22.47	1.83	0.10
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
930	- 0.50	24.30	20.80	3.50	0.20
	- 0.80		20.73	3.57	0.20
	- 1.00		21.33	2.97	0.17
	- 2.00		22.13	2.17	0.12
	- 3.00		20.67	3.63	0.20
	- 4.00		21.23	3.07	0.17
	- 5.00		21.37	2.93	0.16
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.60	1.70	0.10
	- 8.00		22.47	1.83	0.10

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(7)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
931	- 0.50	24.30	20.53	3.77	0.21
	- 0.80		21.33	2.97	0.17
	- 1.00		21.20	3.10	0.17
	- 2.00		21.33	2.97	0.17
	- 3.00		21.40	2.90	0.16
	- 4.00		21.37	2.93	0.16
	- 5.00		22.20	2.10	0.12
	- 6.00		22.83	1.47	0.08
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.13	1.17	0.07
932	- 0.50	24.30	21.60	2.70	0.15
	- 0.80		21.20	3.10	0.17
	- 1.00		21.93	2.37	0.13
	- 2.00		22.00	2.30	0.13
	- 3.00		21.87	2.43	0.14
	- 4.00		21.50	2.80	0.16
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		23.13	1.17	0.07
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
933	- 0.50	24.30	22.77	1.53	0.09
	- 0.80		22.50	1.80	0.10
	- 1.00		22.63	1.67	0.09
	- 2.00		22.73	1.57	0.09
	- 3.00		22.47	1.83	0.10
	- 4.00		22.53	1.77	0.10
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		22.47	1.83	0.10
	- 7.00		22.20	2.10	0.12
	- 8.00		22.90	1.40	0.08
934	- 0.50	24.30	21.70	2.60	0.15
	- 0.80		21.27	3.03	0.17
	- 1.00		20.63	3.67	0.21
	- 2.00		21.33	2.97	0.17
	- 3.00		22.30	2.00	0.11
	- 4.00		21.93	2.37	0.13
	- 5.00		23.10	1.20	0.07
	- 6.00		23.07	1.23	0.07
	- 7.00		23.53	0.77	0.04
	- 8.00		23.13	1.17	0.07
935	- 0.50	24.30	21.00	3.30	0.19
	- 0.80		21.17	3.13	0.18
	- 1.00		21.80	2.50	0.14
	- 2.00		22.63	1.67	0.09
	- 3.00		22.30	2.00	0.11
	- 4.00		22.87	1.43	0.08
	- 5.00		22.80	1.50	0.08
	- 6.00		22.90	1.40	0.08
	- 7.00		22.07	2.23	0.13
	- 8.00		22.43	1.87	0.10

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(8)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
936	- 0.50	24.30	20.77	3.53	0.20
	- 0.80		20.90	3.40	0.19
	- 1.00		21.50	2.80	0.16
	- 2.00		22.07	2.23	0.13
	- 3.00		21.60	2.70	0.15
	- 4.00		22.20	2.10	0.12
	- 5.00		22.77	1.53	0.09
	- 6.00		22.27	2.03	0.11
	- 7.00		22.87	1.43	0.08
	- 8.00		22.73	1.57	0.09
937	- 0.50	24.30	22.40	1.90	0.11
	- 0.80		21.53	2.77	0.16
	- 1.00		21.60	2.70	0.15
	- 2.00		21.97	2.33	0.13
	- 3.00		22.47	1.83	0.10
	- 4.00		21.47	2.83	0.16
	- 5.00		22.07	2.23	0.13
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.43	1.87	0.10
	- 8.00		22.80	1.50	0.08
938	- 0.50	24.30	20.70	3.60	0.20
	- 0.80		20.97	3.33	0.19
	- 1.00		21.63	2.67	0.15
	- 2.00		21.33	2.97	0.17
	- 3.00		22.37	1.93	0.11
	- 4.00		22.23	2.07	0.12
	- 5.00		21.93	2.37	0.13
	- 6.00		22.77	1.53	0.09
	- 7.00		22.30	2.00	0.11
	- 8.00		23.00	1.30	0.07
939	- 0.50	24.30	21.10	3.20	0.18
	- 0.80		21.40	2.90	0.16
	- 1.00		20.70	3.60	0.20
	- 2.00		21.33	2.97	0.17
	- 3.00		21.73	2.57	0.14
	- 4.00		21.53	2.77	0.16
	- 5.00		21.93	2.37	0.13
	- 6.00		22.30	2.00	0.11
	- 7.00		22.23	2.07	0.12
	- 8.00		21.67	2.63	0.15
940	- 0.50	24.30	20.80	3.50	0.20
	- 0.80		20.63	3.67	0.21
	- 1.00		21.00	3.30	0.19
	- 2.00		20.80	3.50	0.20
	- 3.00		20.97	3.33	0.19
	- 4.00		21.97	2.33	0.13
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		21.60	2.70	0.15
	- 7.00		22.03	2.27	0.13
	- 8.00		22.87	1.43	0.08

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(9)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
941	- 0.50	24.30	20.57	3.73	0.21
	- 0.80		22.27	2.03	0.11
	- 1.00		22.50	1.80	0.10
	- 2.00		20.63	3.67	0.21
	- 3.00		21.27	3.03	0.17
	- 4.00		21.67	2.63	0.15
	- 5.00		21.57	2.73	0.15
	- 6.00		22.20	2.10	0.12
	- 7.00		21.53	2.77	0.16
	- 8.00		22.03	2.27	0.13
942	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.16
	- 0.80		21.67	2.63	0.15
	- 1.00		21.93	2.37	0.13
	- 2.00		21.80	2.50	0.14
	- 3.00		21.33	2.97	0.17
	- 4.00		21.33	2.97	0.17
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		22.50	1.80	0.10
	- 7.00		22.60	1.70	0.10
	- 8.00		21.60	2.70	0.15
943	- 0.50	24.30	21.67	2.63	0.15
	- 0.80		21.47	2.83	0.16
	- 1.00		21.20	3.10	0.17
	- 2.00		22.40	1.90	0.11
	- 3.00		20.67	3.63	0.20
	- 4.00		21.87	2.43	0.14
	- 5.00		21.73	2.57	0.14
	- 6.00		21.57	2.73	0.15
	- 7.00		22.47	1.83	0.10
	- 8.00		22.27	2.03	0.11
944	- 0.50	24.30	21.47	2.83	0.16
	- 0.80		20.77	3.53	0.20
	- 1.00		21.40	2.90	0.16
	- 2.00		21.73	2.57	0.14
	- 3.00		20.70	3.60	0.20
	- 4.00		22.60	1.70	0.10
	- 5.00		21.67	2.63	0.15
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		21.83	2.47	0.14
	- 8.00		23.03	1.27	0.07
945	- 0.50	24.30	20.60	3.70	0.21
	- 0.80		22.03	2.27	0.13
	- 1.00		22.10	2.20	0.12
	- 2.00		21.83	2.47	0.14
	- 3.00		22.07	2.23	0.13
	- 4.00		22.30	2.00	0.11
	- 5.00		22.30	2.00	0.11
	- 6.00		23.27	1.03	0.06
	- 7.00		23.00	1.30	0.07
	- 8.00		23.20	1.10	0.06

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(10)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
946	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.16
	- 0.80		21.93	2.37	0.13
	- 1.00		22.13	2.17	0.12
	- 2.00		22.27	2.03	0.11
	- 3.00		22.27	2.03	0.11
	- 4.00		21.73	2.57	0.14
	- 5.00		22.07	2.23	0.13
	- 6.00		21.83	2.47	0.14
	- 7.00		22.60	1.70	0.10
	- 8.00		22.80	1.50	0.08
947	- 0.50	24.30	20.90	3.40	0.19
	- 0.80		20.73	3.57	0.20
	- 1.00		21.10	3.20	0.18
	- 2.00		21.73	2.57	0.14
	- 3.00		22.17	2.13	0.12
	- 4.00		21.93	2.37	0.13
	- 5.00		22.33	1.97	0.11
	- 6.00		22.17	2.13	0.12
	- 7.00		21.97	2.33	0.13
	- 8.00		22.03	2.27	0.13
948	- 0.50	24.30	20.87	3.43	0.19
	- 0.80		21.17	3.13	0.18
	- 1.00		20.67	3.63	0.20
	- 2.00		20.93	3.37	0.19
	- 3.00		21.83	2.47	0.14
	- 4.00		22.87	1.43	0.08
	- 5.00		21.87	2.43	0.14
	- 6.00		22.97	1.33	0.07
	- 7.00		23.00	1.30	0.07
	- 8.00		22.67	1.63	0.09
949	- 0.50	24.30	21.77	2.53	0.14
	- 0.80		21.93	2.37	0.13
	- 1.00		22.00	2.30	0.13
	- 2.00		22.00	2.30	0.13
	- 3.00		21.93	2.37	0.13
	- 4.00		22.80	1.50	0.08
	- 5.00		22.67	1.63	0.09
	- 6.00		22.80	1.50	0.08
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.33	0.97	0.05
950	- 0.50	24.30	21.40	2.90	0.16
	- 0.80		21.73	2.57	0.14
	- 1.00		21.33	2.97	0.17
	- 2.00		21.13	3.17	0.18
	- 3.00		21.20	3.10	0.17
	- 4.00		21.53	2.77	0.16
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		22.53	1.77	0.10
	- 8.00		22.97	1.33	0.07

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(11)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
951	- 0.50	24.30	20.67	3.63	0.20
	- 0.80		21.23	3.07	0.17
	- 1.00		21.10	3.20	0.18
	- 2.00		21.67	2.63	0.15
	- 3.00		22.50	1.80	0.10
	- 4.00		22.80	1.50	0.08
	- 5.00		22.90	1.40	0.08
	- 6.00		23.13	1.17	0.07
	- 7.00		22.60	1.70	0.10
	- 8.00		23.27	1.03	0.06
952	- 0.50	24.30	21.43	2.87	0.16
	- 0.80		21.10	3.20	0.18
	- 1.00		22.00	2.30	0.13
	- 2.00		21.07	3.23	0.18
	- 3.00		21.47	2.83	0.16
	- 4.00		22.57	1.73	0.10
	- 5.00		22.27	2.03	0.11
	- 6.00		22.47	1.83	0.10
	- 7.00		22.80	1.50	0.08
	- 8.00		23.20	1.10	0.06
953	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.16
	- 0.80		20.30	4.00	0.22
	- 1.00		21.10	3.20	0.18
	- 2.00		21.47	2.83	0.16
	- 3.00		21.80	2.50	0.14
	- 4.00		22.13	2.17	0.12
	- 5.00		21.87	2.43	0.14
	- 6.00		21.60	2.70	0.15
	- 7.00		21.73	2.57	0.14
	- 8.00		22.67	1.63	0.09
954	- 0.50	24.30	21.33	2.97	0.17
	- 0.80		20.63	3.67	0.21
	- 1.00		20.97	3.33	0.19
	- 2.00		21.07	3.23	0.18
	- 3.00		20.87	3.43	0.19
	- 4.00		21.67	2.63	0.15
	- 5.00		21.47	2.83	0.16
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		22.80	1.50	0.08
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
955	- 0.50	24.30	21.33	2.97	0.17
	- 0.80		20.53	3.77	0.21
	- 1.00		20.90	3.40	0.19
	- 2.00		21.53	2.77	0.16
	- 3.00		21.60	2.70	0.15
	- 4.00		21.80	2.50	0.14
	- 5.00		22.20	2.10	0.12
	- 6.00		22.80	1.50	0.08
	- 7.00		22.80	1.50	0.08
	- 8.00		22.57	1.73	0.10

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(12)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
956	- 0.50	24.30	20.60	3.70	0.21
	- 0.80		20.17	4.13	0.23
	- 1.00		20.27	4.03	0.23
	- 2.00		21.57	2.73	0.15
	- 3.00		21.60	2.70	0.15
	- 4.00		22.03	2.27	0.13
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		22.67	1.63	0.09
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		22.77	1.53	0.09
973	- 0.50	24.30	21.37	2.93	0.16
	- 0.80		23.20	1.10	0.06
	- 1.00		22.13	2.17	0.12
	- 2.00		21.87	2.43	0.14
	- 3.00		22.00	2.30	0.13
	- 4.00		22.33	1.97	0.11
	- 5.00		22.87	1.43	0.08
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		22.87	1.43	0.08
	- 8.00		22.63	1.67	0.09
974	- 0.50	24.30	20.60	3.70	0.21
	- 0.80		21.13	3.17	0.18
	- 1.00		21.13	3.17	0.18
	- 2.00		22.60	1.70	0.10
	- 3.00		21.83	2.47	0.14
	- 4.00		22.77	1.53	0.09
	- 5.00		23.20	1.10	0.06
	- 6.00		23.20	1.10	0.06
	- 7.00		22.77	1.53	0.09
	- 8.00		23.13	1.17	0.07
975	- 0.50	24.30	21.60	2.70	0.15
	- 0.80		22.17	2.13	0.12
	- 1.00		22.77	1.53	0.09
	- 2.00		22.50	1.80	0.10
	- 3.00		22.30	2.00	0.11
	- 4.00		22.17	2.13	0.12
	- 5.00		23.13	1.17	0.07
	- 6.00		23.33	0.97	0.05
	- 7.00		22.73	1.57	0.09
	- 8.00		23.47	0.83	0.05
976	- 0.50	24.30	21.67	2.63	0.15
	- 0.80		20.93	3.37	0.19
	- 1.00		21.53	2.77	0.16
	- 2.00		21.30	3.00	0.17
	- 3.00		22.40	1.90	0.11
	- 4.00		22.73	1.57	0.09
	- 5.00		22.87	1.43	0.08
	- 6.00		22.97	1.33	0.07
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		23.33	0.97	0.05

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(13)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
977	- 0.50	24.30	21.40	2.90	0.16
	- 0.80		21.73	2.57	0.14
	- 1.00		20.83	3.47	0.19
	- 2.00		21.73	2.57	0.14
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		22.60	1.70	0.10
	- 5.00		22.70	1.60	0.09
	- 6.00		21.93	2.37	0.13
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		23.20	1.10	0.06
978	- 0.50	24.30	20.60	3.70	0.21
	- 0.80		21.00	3.30	0.19
	- 1.00		22.43	1.87	0.10
	- 2.00		22.63	1.67	0.09
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		22.60	1.70	0.10
	- 5.00		23.07	1.23	0.07
	- 6.00		22.93	1.37	0.08
	- 7.00		22.73	1.57	0.09
	- 8.00		23.20	1.10	0.06
979	- 0.50	24.30	20.50	3.80	0.21
	- 0.80		21.03	3.27	0.18
	- 1.00		21.00	3.30	0.19
	- 2.00		21.23	3.07	0.17
	- 3.00		22.47	1.83	0.10
	- 4.00		22.70	1.60	0.09
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		22.97	1.33	0.07
	- 7.00		22.70	1.60	0.09
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
980	- 0.50	24.30	20.87	3.43	0.19
	- 0.80		21.10	3.20	0.18
	- 1.00		20.33	3.97	0.22
	- 2.00		21.30	3.00	0.17
	- 3.00		22.13	2.17	0.12
	- 4.00		22.70	1.60	0.09
	- 5.00		22.80	1.50	0.08
	- 6.00		23.20	1.10	0.06
	- 7.00		22.70	1.60	0.09
	- 8.00		22.80	1.50	0.08
981	- 0.50	24.30	20.93	3.37	0.19
	- 0.80		20.80	3.50	0.20
	- 1.00		21.37	2.93	0.16
	- 2.00		21.63	2.67	0.15
	- 3.00		22.37	1.93	0.11
	- 4.00		22.90	1.40	0.08
	- 5.00		22.77	1.53	0.09
	- 6.00		22.87	1.43	0.08
	- 7.00		23.37	0.93	0.05
	- 8.00		23.10	1.20	0.07

花蓮港第九號碼頭 U 型鋼板樁檢查記錄(14)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
982	- 0.50	24.30	20.80	3.50	0.20
	- 0.80		21.03	3.27	0.18
	- 1.00		21.07	3.23	0.18
	- 2.00		22.07	2.23	0.13
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		22.03	2.27	0.13
	- 5.00		22.80	1.50	0.08
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		23.17	1.13	0.06
	- 8.00		23.27	1.03	0.06

花蓮港第九號碼頭 Z 型鋼板樁檢查記錄(1)

測定 位置	水 深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度(mm)			厚度減少量(mm)			腐蝕速率(mm/yr)		
			凸面 平均值	側面 平均值	凹面 平均值	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
957	-0.50		12.65	8.90	13.50						
	-0.80		13.10	8.50	12.75						
	-1.00		12.60	8.75	13.05						
	-2.00		12.00	9.50	13.30						
	-3.00		13.00	10.10	13.50						
	-4.00		13.50	9.65	13.55						
	-5.00		13.50	9.00	13.70						
	-6.00		13.50	9.10	13.45						
	-7.00		13.00	8.95	13.40						
	-8.00		15.75	10.75	16.05						
958	-0.50		12.70	9.50	13.10						
	-0.80		13.10	9.25	12.60						
	-1.00		12.80	10.10	12.95						
	-2.00		13.30	10.70	13.20						
	-3.00		13.20	9.85	13.30						
	-4.00		12.75	11.10	13.00						
	-5.00		12.75	10.30	12.95						
	-6.00		13.25	11.25	13.00						
	-7.00		13.40	10.80	13.00						
	-8.00		13.05	10.85	13.05						
959	-0.50		12.65	9.60	12.60						
	-0.80		12.90	10.30	12.60						
	-1.00		12.70	10.45	13.00						
	-2.00		12.60	11.20	13.30						
	-3.00		13.30	10.55	13.50						
	-4.00		12.85	10.90	12.80						
	-5.00		12.75	10.80	13.10						
	-6.00		13.20	10.85	12.90						
	-7.00		13.00	10.80	12.70						
	-8.00		13.30	11.30	13.30						
960	-0.50		13.00	9.30	12.60						
	-0.80		12.70	9.20	12.95						
	-1.00		12.60	9.70	13.30						
	-2.00		12.75	9.30	12.85						
	-3.00		13.30	10.30	12.75						
	-4.00		13.30	10.65	13.25						
	-5.00		13.10	10.85	13.50						
	-6.00		12.60	11.30	13.20						
	-7.00		13.10	10.60	13.40						
	-8.00		12.80	10.90	13.30						
961	-0.50		12.60	10.10	12.60						
	-0.80		12.65	9.75	13.05						
	-1.00		12.20	10.10	13.00						
	-2.00		12.60	10.25	12.75						
	-3.00		12.65	10.30	13.30						
	-4.00		13.10	11.10	13.00						
	-5.00		13.10	10.80	13.30						
	-6.00		13.00	11.30	12.90						
	-7.00		12.60	10.80	13.30						
	-8.00		13.30	11.30	13.00						
962	-0.50		12.60	10.50	13.00						
	-0.80		13.10	9.30	12.60						
	-1.00		12.75	9.90	12.80						
	-2.00		13.20	10.60	13.05						
	-3.00		12.60	10.55	13.20						
	-4.00		13.10	10.85	13.30						
	-5.00		13.10	11.00	13.30						
	-6.00		12.90	10.90	12.85						
	-7.00		13.00	11.05	13.10						
	-8.00		12.90	11.30	12.90						

花蓮港第九號碼頭 Z 型鋼板樁檢查記錄(2)

測定 位置	水 深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度(mm)			厚度減少量(mm)			腐蝕速率(mm/yr)		
			凸面 平均值	側面 平均值	凹面 平均值	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
963	-0.50		12.30	10.30	12.75						
	-0.80		12.10	10.75	12.35						
	-1.00		12.90	10.45	12.35						
	-2.00		12.60	11.20	12.55						
	-3.00		12.60	11.20	12.90						
	-4.00		12.90	11.55	13.10						
	-5.00		12.90	10.95	13.10						
	-6.00		13.00	10.75	13.50						
	-7.00		12.80	11.30	13.65						
	-8.00		13.00	11.40	13.75						
964	-0.50		12.35	9.10	12.55						
	-0.80		12.85	10.05	12.75						
	-1.00		13.30	10.00	13.20						
	-2.00		13.00	10.25	12.70						
	-3.00		13.00	10.60	12.80						
	-4.00		12.75	10.80	12.55						
	-5.00		13.30	10.15	12.25						
	-6.00		13.75	11.10	12.90						
	-7.00		13.30	10.85	13.00						
	-8.00		12.75	10.60	13.00						
965	-0.50		12.80	10.05	12.60						
	-0.80		12.85	10.10	12.85						
	-1.00		13.20	10.30	12.85						
	-2.00		13.30	11.30	12.85						
	-3.00		12.75	10.85	12.75						
	-4.00		13.30	11.60	12.85						
	-5.00		13.50	11.80	12.75						
	-6.00		13.50	11.30	12.75						
	-7.00		13.30	11.05	12.75						
	-8.00		13.20	11.10	12.90						
966	-0.50		12.70	9.65	12.75						
	-0.80		12.95	10.15	12.90						
	-1.00		12.90	10.05	13.25						
	-2.00		13.30	10.70	13.30						
	-3.00		13.30	11.05	13.10						
	-4.00		12.90	11.15	12.75						
	-5.00		13.50	10.80	13.30						
	-6.00		13.55	11.25	13.30						
	-7.00		13.60	11.35	13.85						
	-8.00		13.25	11.30	13.30						
967	-0.50		12.55	10.10	13.00						
	-0.80		13.30	10.00	12.75						
	-1.00		13.10	10.30	12.75						
	-2.00		13.00	10.60	12.75						
	-3.00		13.10	11.10	13.10						
	-4.00		13.00	11.50	13.30						
	-5.00		13.30	11.10	13.20						
	-6.00		12.60	10.75	12.60						
	-7.00		12.75	11.45	12.60						
	-8.00		12.95	11.35	13.25						
968	-0.50		12.90	9.05	12.75						
	-0.80		13.00	9.95	13.10						
	-1.00		12.90	10.00	12.85						
	-2.00		12.95	10.70	12.75						
	-3.00		13.10	11.20	12.90						
	-4.00		12.75	10.40	13.30						
	-5.00		13.20	11.20	13.30						
	-6.00		12.80	10.75	13.00						
	-7.00		13.00	11.10	13.30						
	-8.00		12.75	10.75	13.10						

花蓮港第九號碼頭 Z 型鋼板樁檢查記錄(3)

測定 位置	水 深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度(mm)			厚度減少量(mm)			腐蝕速率(mm/yr)		
			凸面 平均值	側面 平均值	凹面 平均值	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
969	-0.50		12.60	10.10	12.80						
	-0.80		13.10	11.00	13.15						
	-1.00		12.55	9.90	12.75						
	-2.00		12.75	10.10	12.80						
	-3.00		13.10	11.30	12.80						
	-4.00		13.50	11.20	13.45						
	-5.00		13.10	11.30	13.30						
	-6.00		13.30	11.55	13.60						
	-7.00		13.75	11.55	13.60						
	-8.00		13.50	11.30	13.45						
970	-0.50		13.10	10.15	12.75						
	-0.80		13.10	10.15	13.10						
	-1.00		12.90	10.35	13.30						
	-2.00		13.05	10.60	13.30						
	-3.00		13.20	11.10	13.30						
	-4.00		12.85	10.60	13.25						
	-5.00		13.30	11.70	13.30						
	-6.00		13.10	11.20	13.30						
	-7.00		13.30	11.35	13.30						
	-8.00		13.30	11.35	13.10						
971	-0.50		12.90	9.90	12.70						
	-0.80		12.90	10.70	12.90						
	-1.00		12.90	10.75	12.95						
	-2.00		12.75	11.30	12.90						
	-3.00		13.30	11.30	13.50						
	-4.00		13.10	10.55	12.75						
	-5.00		13.10	11.30	13.55						
	-6.00		13.30	11.50	13.00						
	-7.00		13.30	10.10	13.25						
	-8.00		13.30	11.30	13.50						
972	-0.50		12.55	9.90	12.75						
	-0.80		12.90	9.85	13.00						
	-1.00		12.85	10.15	12.50						
	-2.00		12.90	10.20	12.85						
	-3.00		13.30	10.45	13.30						
	-4.00		12.90	10.80	12.75						
	-5.00		13.20	10.90	13.10						
	-6.00		12.85	11.30	13.30						
	-7.00		13.50	11.60	13.30						
	-8.00		13.50	11.00	13.30						

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(1)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
001	- 0.50	24.30	21.60	2.70	0.16
	- 0.80		22.80	1.50	0.09
	- 1.00		22.17	2.13	0.13
	- 2.00		22.93	1.37	0.08
	- 3.00		23.43	0.87	0.05
	- 4.00		23.27	1.03	0.06
	- 5.00		23.33	0.97	0.06
	- 6.00		23.13	1.17	0.07
	- 7.00		23.00	1.30	0.08
	- 8.00		23.33	0.97	0.06
002	- 0.50	24.30	22.57	1.73	0.11
	- 0.80		22.80	1.50	0.09
	- 1.00		23.00	1.30	0.08
	- 2.00		23.13	1.17	0.07
	- 3.00		22.23	2.07	0.13
	- 4.00		23.07	1.23	0.07
	- 5.00		22.67	1.63	0.10
	- 6.00		23.13	1.17	0.07
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		23.40	0.90	0.05
003	- 0.50	24.30	22.70	1.60	0.10
	- 0.80		22.27	2.03	0.12
	- 1.00		22.80	1.50	0.09
	- 2.00		22.67	1.63	0.10
	- 3.00		23.00	1.30	0.08
	- 4.00		23.03	1.27	0.08
	- 5.00		23.27	1.03	0.06
	- 6.00		22.90	1.40	0.08
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		22.97	1.33	0.08
004	- 0.50	24.30	22.93	1.37	0.08
	- 0.80		22.80	1.50	0.09
	- 1.00		23.33	0.97	0.06
	- 2.00		22.80	1.50	0.09
	- 3.00		23.20	1.10	0.07
	- 4.00		22.87	1.43	0.09
	- 5.00		23.20	1.10	0.07
	- 6.00		22.70	1.60	0.10
	- 7.00		23.27	1.03	0.06
	- 8.00		23.27	1.03	0.06
005	- 0.50	24.30	21.30	3.00	0.18
	- 0.80		22.80	1.50	0.09
	- 1.00		22.80	1.50	0.09
	- 2.00		22.63	1.67	0.10
	- 3.00		23.07	1.23	0.07
	- 4.00		23.07	1.23	0.07
	- 5.00		23.27	1.03	0.06
	- 6.00		23.47	0.83	0.05
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.47	0.83	0.05

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(2)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
006	- 0.50	24.30	22.73	1.57	0.09
	- 0.80		21.93	2.37	0.14
	- 1.00		22.87	1.43	0.09
	- 2.00		23.03	1.27	0.08
	- 3.00		23.20	1.10	0.07
	- 4.00		23.20	1.10	0.07
	- 5.00		23.13	1.17	0.07
	- 6.00		22.40	1.90	0.12
	- 7.00		23.10	1.20	0.07
	- 8.00		23.20	1.10	0.07
007	- 0.50	24.30	22.53	1.77	0.11
	- 0.80		22.50	1.80	0.11
	- 1.00		22.63	1.67	0.10
	- 2.00		22.83	1.47	0.09
	- 3.00		22.80	1.50	0.09
	- 4.00		22.77	1.53	0.09
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		22.93	1.37	0.08
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		23.13	1.17	0.07
008	- 0.50	24.30	21.40	2.90	0.18
	- 0.80		21.90	2.40	0.15
	- 1.00		22.20	2.10	0.13
	- 2.00		23.00	1.30	0.08
	- 3.00		22.53	1.77	0.11
	- 4.00		23.07	1.23	0.07
	- 5.00		23.27	1.03	0.06
	- 6.00		23.20	1.10	0.07
	- 7.00		23.13	1.17	0.07
	- 8.00		23.20	1.10	0.07
009	- 0.50	24.30	22.80	1.50	0.09
	- 0.80		21.80	2.50	0.15
	- 1.00		22.87	1.43	0.09
	- 2.00		22.93	1.37	0.08
	- 3.00		22.07	2.23	0.14
	- 4.00		22.67	1.63	0.10
	- 5.00		23.00	1.30	0.08
	- 6.00		22.67	1.63	0.10
	- 7.00		23.03	1.27	0.08
	- 8.00		23.33	0.97	0.06
010	- 0.50	24.30	22.20	2.10	0.13
	- 0.80		21.40	2.90	0.18
	- 1.00		22.47	1.83	0.11
	- 2.00		22.80	1.50	0.09
	- 3.00		22.40	1.90	0.12
	- 4.00		23.13	1.17	0.07
	- 5.00		23.13	1.17	0.07
	- 6.00		23.27	1.03	0.06
	- 7.00		22.90	1.40	0.08
	- 8.00		22.80	1.50	0.09

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(3)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
011	- 0.50	24.30	22.37	1.93	0.12
	- 0.80		22.97	1.33	0.08
	- 1.00		22.97	1.33	0.08
	- 2.00		22.87	1.43	0.09
	- 3.00		22.93	1.37	0.08
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		23.10	1.20	0.07
	- 6.00		23.10	1.20	0.07
	- 7.00		23.03	1.27	0.08
	- 8.00		22.97	1.33	0.08
012	- 0.50	24.30	22.80	1.50	0.09
	- 0.80		22.97	1.33	0.08
	- 1.00		22.67	1.63	0.10
	- 2.00		23.03	1.27	0.08
	- 3.00		23.17	1.13	0.07
	- 4.00		22.90	1.40	0.08
	- 5.00		22.90	1.40	0.08
	- 6.00		22.67	1.63	0.10
	- 7.00		22.13	2.17	0.13
	- 8.00		22.83	1.47	0.09
013	- 0.50	24.30	21.83	2.47	0.15
	- 0.80		22.90	1.40	0.08
	- 1.00		22.93	1.37	0.08
	- 2.00		23.03	1.27	0.08
	- 3.00		23.03	1.27	0.08
	- 4.00		22.90	1.40	0.08
	- 5.00		22.87	1.43	0.09
	- 6.00		23.10	1.20	0.07
	- 7.00		23.10	1.20	0.07
	- 8.00		22.90	1.40	0.08
014	- 0.50	24.30	20.87	3.43	0.21
	- 0.80		21.17	3.13	0.19
	- 1.00		21.60	2.70	0.16
	- 2.00		22.70	1.60	0.10
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		22.97	1.33	0.08
	- 5.00		22.80	1.50	0.09
	- 6.00		22.63	1.67	0.10
	- 7.00		23.27	1.03	0.06
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
015	- 0.50	24.30	22.73	1.57	0.09
	- 0.80		22.97	1.33	0.08
	- 1.00		22.83	1.47	0.09
	- 2.00		23.07	1.23	0.07
	- 3.00		22.80	1.50	0.09
	- 4.00		23.00	1.30	0.08
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		22.87	1.43	0.09
	- 8.00		23.23	1.07	0.06

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(4)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
016	- 0.50	24.30	22.57	1.73	0.11
	- 0.80		21.13	3.17	0.19
	- 1.00		21.97	2.33	0.14
	- 2.00		22.23	2.07	0.13
	- 3.00		22.93	1.37	0.08
	- 4.00		22.83	1.47	0.09
	- 5.00		22.90	1.40	0.08
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		22.70	1.60	0.10
	- 8.00		23.00	1.30	0.08
017	- 0.50	24.30	21.70	2.60	0.16
	- 0.80		22.40	1.90	0.12
	- 1.00		22.53	1.77	0.11
	- 2.00		22.57	1.73	0.11
	- 3.00		22.87	1.43	0.09
	- 4.00		22.70	1.60	0.10
	- 5.00		22.97	1.33	0.08
	- 6.00		23.07	1.23	0.07
	- 7.00		22.90	1.40	0.08
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
018	- 0.50	24.30	21.50	2.80	0.17
	- 0.80		22.47	1.83	0.11
	- 1.00		22.53	1.77	0.11
	- 2.00		22.17	2.13	0.13
	- 3.00		22.80	1.50	0.09
	- 4.00		22.37	1.93	0.12
	- 5.00		23.00	1.30	0.08
	- 6.00		22.73	1.57	0.09
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		23.20	1.10	0.07
019	- 0.50	24.30	22.10	2.20	0.13
	- 0.80		22.80	1.50	0.09
	- 1.00		22.80	1.50	0.09
	- 2.00		22.70	1.60	0.10
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		23.27	1.03	0.06
	- 6.00		23.23	1.07	0.06
	- 7.00		22.77	1.53	0.09
	- 8.00		22.90	1.40	0.08
020	- 0.50	24.30	22.57	1.73	0.11
	- 0.80		23.00	1.30	0.08
	- 1.00		22.20	2.10	0.13
	- 2.00		22.60	1.70	0.10
	- 3.00		22.63	1.67	0.10
	- 4.00		22.97	1.33	0.08
	- 5.00		23.27	1.03	0.06
	- 6.00		23.33	0.97	0.06
	- 7.00		23.00	1.30	0.08
	- 8.00		23.07	1.23	0.07

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(5)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
021	- 0.50	24.30	21.37	2.93	0.18
	- 0.80		21.70	2.60	0.16
	- 1.00		22.37	1.93	0.12
	- 2.00		23.07	1.23	0.07
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		22.73	1.57	0.09
	- 5.00		22.77	1.53	0.09
	- 6.00		22.97	1.33	0.08
	- 7.00		23.43	0.87	0.05
	- 8.00		23.20	1.10	0.07
022	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.17
	- 0.80		21.33	2.97	0.18
	- 1.00		21.73	2.57	0.16
	- 2.00		21.80	2.50	0.15
	- 3.00		22.90	1.40	0.08
	- 4.00		23.03	1.27	0.08
	- 5.00		22.83	1.47	0.09
	- 6.00		23.27	1.03	0.06
	- 7.00		22.90	1.40	0.08
	- 8.00		23.03	1.27	0.08
023	- 0.50	24.30	21.73	2.57	0.16
	- 0.80		22.83	1.47	0.09
	- 1.00		22.77	1.53	0.09
	- 2.00		22.87	1.43	0.09
	- 3.00		22.77	1.53	0.09
	- 4.00		23.07	1.23	0.07
	- 5.00		22.80	1.50	0.09
	- 6.00		22.83	1.47	0.09
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.00	1.30	0.08
024	- 0.50	24.30	21.87	2.43	0.15
	- 0.80		21.87	2.43	0.15
	- 1.00		22.03	2.27	0.14
	- 2.00		22.77	1.53	0.09
	- 3.00		22.90	1.40	0.08
	- 4.00		22.67	1.63	0.10
	- 5.00		22.70	1.60	0.10
	- 6.00		22.83	1.47	0.09
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		22.77	1.53	0.09
025	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.17
	- 0.80		21.67	2.63	0.16
	- 1.00		22.70	1.60	0.10
	- 2.00		22.67	1.63	0.10
	- 3.00		23.07	1.23	0.07
	- 4.00		22.50	1.80	0.11
	- 5.00		23.20	1.10	0.07
	- 6.00		23.07	1.23	0.07
	- 7.00		22.73	1.57	0.09
	- 8.00		22.83	1.47	0.09

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(11)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
051	- 0.50	24.30	21.80	2.50	0.15
	- 0.80		22.87	1.43	0.09
	- 1.00		-1.2 M 圓型孔直10 m		
	- 2.00		22.90	1.40	0.08
	- 3.00		21.03	3.27	0.20
	- 4.00		21.47	2.83	0.17
	- 5.00		22.10	2.20	0.13
	- 6.00		22.87	1.43	0.09
	- 7.00		23.03	1.27	0.08
	- 8.00		22.87	1.43	0.09
052	- 0.50	24.30	21.43	2.87	0.17
	- 0.80		22.87	1.43	0.09
	- 1.00		22.70	1.60	0.10
	- 2.00		22.77	1.53	0.09
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		23.03	1.27	0.08
	- 5.00		23.07	1.23	0.07
	- 6.00		22.63	1.67	0.10
	- 7.00		22.77	1.53	0.09
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
053	- 0.50	24.30	22.47	1.83	0.11
	- 0.80		22.70	1.60	0.10
	- 1.00		22.87	1.43	0.09
	- 2.00		22.80	1.50	0.09
	- 3.00		22.70	1.60	0.10
	- 4.00		22.83	1.47	0.09
	- 5.00		22.97	1.33	0.08
	- 6.00		22.83	1.47	0.09
	- 7.00		23.00	1.30	0.08
	- 8.00		23.23	1.07	0.06
053-1	- 0.50	24.30	10.10		
	- 0.80		10.70		
	- 1.00		10.13		
	- 2.00		10.37		
	- 3.00		11.07		
	- 4.00		10.93		
	- 5.00		10.97		
	- 6.00		11.13		
	- 7.00		11.27		
	- 8.00		11.30		
054	- 0.50	24.30	22.50	1.80	0.11
	- 0.80		22.90	1.40	0.08
	- 1.00		23.00	1.30	0.08
	- 2.00		22.87	1.43	0.09
	- 3.00		22.83	1.47	0.09
	- 4.00		22.87	1.43	0.09
	- 5.00		23.07	1.23	0.07
	- 6.00		23.47	0.83	0.05
	- 7.00		22.80	1.50	0.09
	- 8.00		23.03	1.27	0.08

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(12)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
055	- 0.50	24.30	22.50	1.80	0.11
	- 0.80		23.00	1.30	0.08
	- 1.00		22.97	1.33	0.08
	- 2.00		23.00	1.30	0.08
	- 3.00		22.90	1.40	0.08
	- 4.00		22.97	1.33	0.08
	- 5.00		23.00	1.30	0.08
	- 6.00		23.00	1.30	0.08
	- 7.00		22.80	1.50	0.09
	- 8.00		22.90	1.40	0.08
055-1	- 0.50	24.30	10.47		
	- 0.80		10.27		
	- 1.00		10.47		
	- 2.00		11.07		
	- 3.00		11.00		
	- 4.00		11.13		
	- 5.00		10.40		
	- 6.00		10.87		
	- 7.00		11.10		
	- 8.00		10.97		
056	- 0.50	24.30	21.87	2.43	0.15
	- 0.80		22.17	2.13	0.13
	- 1.00		22.70	1.60	0.10
	- 2.00		21.03	3.27	0.20
	- 3.00		22.40	1.90	0.12
	- 4.00		22.87	1.43	0.09
	- 5.00		22.60	1.70	0.10
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		22.97	1.33	0.08
	- 8.00		22.97	1.33	0.08
057	- 0.50	24.30	21.90	2.40	0.15
	- 0.80		21.63	2.67	0.16
	- 1.00		21.03	3.27	0.20
	- 2.00		22.63	1.67	0.10
	- 3.00		22.87	1.43	0.09
	- 4.00		22.63	1.67	0.10
	- 5.00		23.10	1.20	0.07
	- 6.00		22.73	1.57	0.09
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.20	1.10	0.07
057-1	- 0.50	24.30	10.13		
	- 0.80		10.20		
	- 1.00		10.53		
	- 2.00		10.67		
	- 3.00		10.70		
	- 4.00		11.30		
	- 5.00		11.03		
	- 6.00		11.20		
	- 7.00		11.00		
	- 8.00		11.17		

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(13)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
058	- 0.50	24.30	23.00	1.30	0.08
	- 0.80		22.30	2.00	0.12
	- 1.00		22.33	1.97	0.12
	- 2.00		22.97	1.33	0.08
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		22.20	2.10	0.13
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		21.70	2.60	0.16
	- 7.00		22.33	1.97	0.12
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
059	- 0.50	24.30	22.27	2.03	0.12
	- 0.80		22.67	1.63	0.10
	- 1.00		21.43	2.87	0.17
	- 2.00		22.87	1.43	0.09
	- 3.00		22.70	1.60	0.10
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		23.03	1.27	0.08
	- 6.00		22.27	2.03	0.12
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		22.73	1.57	0.09
060	- 0.50	24.30	22.27	2.03	0.12
	- 0.80		22.60	1.70	0.10
	- 1.00		22.13	2.17	0.13
	- 2.00		22.87	1.43	0.09
	- 3.00		22.90	1.40	0.08
	- 4.00		22.87	1.43	0.09
	- 5.00		22.87	1.43	0.09
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		22.90	1.40	0.08
	- 8.00		23.00	1.30	0.08
061	- 0.50	24.30	21.27	3.03	0.18
	- 0.80		22.93	1.37	0.08
	- 1.00		22.43	1.87	0.11
	- 2.00		21.40	2.90	0.18
	- 3.00		22.00	2.30	0.14
	- 4.00		23.13	1.17	0.07
	- 5.00		23.17	1.13	0.07
	- 6.00		22.93	1.37	0.08
	- 7.00		22.90	1.40	0.08
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
062	- 0.50	24.30	22.27	2.03	0.12
	- 0.80		22.83	1.47	0.09
	- 1.00		22.60	1.70	0.10
	- 2.00		21.53	2.77	0.17
	- 3.00		22.33	1.97	0.12
	- 4.00		22.60	1.70	0.10
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		22.90	1.40	0.08
	- 7.00		22.77	1.53	0.09
	- 8.00		22.50	1.80	0.11

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(14)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
063	- 0.50	24.30	21.67	2.63	0.16
	- 0.80		22.70	1.60	0.10
	- 1.00		21.20	3.10	0.19
	- 2.00		22.03	2.27	0.14
	- 3.00		22.70	1.60	0.10
	- 4.00		22.87	1.43	0.09
	- 5.00		23.00	1.30	0.08
	- 6.00		23.00	1.30	0.08
	- 7.00		22.80	1.50	0.09
	- 8.00		22.90	1.40	0.08
064	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.17
	- 0.80		22.13	2.17	0.13
	- 1.00		23.03	1.27	0.08
	- 2.00		23.03	1.27	0.08
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		22.70	1.60	0.10
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		23.20	1.10	0.07
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
065	- 0.50	24.30	22.27	2.03	0.12
	- 0.80		22.63	1.67	0.10
	- 1.00		23.00	1.30	0.08
	- 2.00		23.00	1.30	0.08
	- 3.00		22.93	1.37	0.08
	- 4.00		22.83	1.47	0.09
	- 5.00		22.67	1.63	0.10
	- 6.00		23.13	1.17	0.07
	- 7.00		22.73	1.57	0.09
	- 8.00		22.80	1.50	0.09
066	- 0.50	24.30	21.93	2.37	0.14
	- 0.80		21.40	2.90	0.18
	- 1.00		22.13	2.17	0.13
	- 2.00		22.90	1.40	0.08
	- 3.00		23.13	1.17	0.07
	- 4.00		23.03	1.27	0.08
	- 5.00		22.97	1.33	0.08
	- 6.00		23.00	1.30	0.08
	- 7.00		23.23	1.07	0.06
	- 8.00		22.47	1.83	0.11
067	- 0.50	24.30	20.90	3.40	0.21
	- 0.80		21.73	2.57	0.16
	- 1.00		22.20	2.10	0.13
	- 2.00		21.40	2.90	0.18
	- 3.00		21.97	2.33	0.14
	- 4.00		22.23	2.07	0.13
	- 5.00		22.80	1.50	0.09
	- 6.00		23.13	1.17	0.07
	- 7.00		23.20	1.10	0.07
	- 8.00		23.03	1.27	0.08

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(15)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
068	- 0.50	24.30	22.47	1.83	0.11
	- 0.80		22.10	2.20	0.13
	- 1.00		21.27	3.03	0.18
	- 2.00		22.80	1.50	0.09
	- 3.00		22.67	1.63	0.10
	- 4.00		23.13	1.17	0.07
	- 5.00		23.03	1.27	0.08
	- 6.00		23.30	1.00	0.06
	- 7.00		23.33	0.97	0.06
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
069	- 0.50	24.30	22.53	1.77	0.11
	- 0.80		22.43	1.87	0.11
	- 1.00		22.30	2.00	0.12
	- 2.00		22.70	1.60	0.10
	- 3.00		22.70	1.60	0.10
	- 4.00		22.67	1.63	0.10
	- 5.00		23.03	1.27	0.08
	- 6.00		22.97	1.33	0.08
	- 7.00		22.30	2.00	0.12
	- 8.00		23.00	1.30	0.08
070	- 0.50	24.30	22.50	1.80	0.11
	- 0.80		20.83	3.47	0.21
	- 1.00		21.47	2.83	0.17
	- 2.00		22.07	2.23	0.14
	- 3.00		22.03	2.27	0.14
	- 4.00		21.60	2.70	0.16
	- 5.00		20.53	3.77	0.23
	- 6.00		22.90	1.40	0.08
	- 7.00		22.40	1.90	0.12
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
071	- 0.50	24.30	21.93	2.37	0.14
	- 0.80		22.53	1.77	0.11
	- 1.00		22.70	1.60	0.10
	- 2.00		22.80	1.50	0.09
	- 3.00		22.73	1.57	0.09
	- 4.00		23.20	1.10	0.07
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.13	1.17	0.07
072	- 0.50	24.30	20.53	3.77	0.23
	- 0.80		21.87	2.43	0.15
	- 1.00		22.47	1.83	0.11
	- 2.00		22.13	2.17	0.13
	- 3.00		20.87	3.43	0.21
	- 4.00		21.70	2.60	0.16
	- 5.00		23.10	1.20	0.07
	- 6.00		23.17	1.13	0.07
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		23.10	1.20	0.07

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(16)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
073	- 0.50	24.30	21.03	3.27	0.20
	- 0.80		22.00	2.30	0.14
	- 1.00		23.07	1.23	0.07
	- 2.00		23.07	1.23	0.07
	- 3.00		22.83	1.47	0.09
	- 4.00		23.07	1.23	0.07
	- 5.00		23.40	0.90	0.05
	- 6.00		22.93	1.37	0.08
	- 7.00		23.00	1.30	0.08
	- 8.00		22.17	2.13	0.13
074	- 0.50	24.30	22.53	1.77	0.11
	- 0.80		21.17	3.13	0.19
	- 1.00		20.70	3.60	0.22
	- 2.00		22.20	2.10	0.13
	- 3.00		22.27	2.03	0.12
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		22.63	1.67	0.10
	- 6.00		23.10	1.20	0.07
	- 7.00		22.97	1.33	0.08
	- 8.00		23.17	1.13	0.07
075	- 0.50	24.30	21.73	2.57	0.16
	- 0.80		22.27	2.03	0.12
	- 1.00		22.50	1.80	0.11
	- 2.00		23.10	1.20	0.07
	- 3.00		22.53	1.77	0.11
	- 4.00		22.97	1.33	0.08
	- 5.00		23.17	1.13	0.07
	- 6.00		22.63	1.67	0.10
	- 7.00		22.90	1.40	0.08
	- 8.00		22.97	1.33	0.08
076	- 0.50	24.30	22.63	1.67	0.10
	- 0.80		21.77	2.53	0.15
	- 1.00		20.83	3.47	0.21
	- 2.00		22.30	2.00	0.12
	- 3.00		22.80	1.50	0.09
	- 4.00		22.93	1.37	0.08
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		21.90	2.40	0.15
	- 7.00		22.70	1.60	0.10
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
077	- 0.50	24.30	20.67	3.63	0.22
	- 0.80		20.60	3.70	0.22
	- 1.00		21.00	3.30	0.20
	- 2.00		21.30	3.00	0.18
	- 3.00		22.57	1.73	0.11
	- 4.00		22.07	2.23	0.14
	- 5.00		22.33	1.97	0.12
	- 6.00		22.83	1.47	0.09
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		23.10	1.20	0.07

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(17)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
078	- 0.50	24.30	22.03	2.27	0.14
	- 0.80		21.73	2.57	0.16
	- 1.00		22.40	1.90	0.12
	- 2.00		22.27	2.03	0.12
	- 3.00		21.50	2.80	0.17
	- 4.00		21.83	2.47	0.15
	- 5.00		22.57	1.73	0.11
	- 6.00		23.03	1.27	0.08
	- 7.00		23.17	1.13	0.07
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
079	- 0.50	24.30	21.17	3.13	0.19
	- 0.80		20.57	3.73	0.23
	- 1.00		22.17	2.13	0.13
	- 2.00		22.53	1.77	0.11
	- 3.00		22.97	1.33	0.08
	- 4.00		22.87	1.43	0.09
	- 5.00		23.07	1.23	0.07
	- 6.00		22.97	1.33	0.08
	- 7.00		23.13	1.17	0.07
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
080	- 0.50	24.30	22.40	1.90	0.12
	- 0.80		22.47	1.83	0.11
	- 1.00		22.83	1.47	0.09
	- 2.00		21.63	2.67	0.16
	- 3.00		22.70	1.60	0.10
	- 4.00		22.53	1.77	0.11
	- 5.00		23.13	1.17	0.07
	- 6.00		23.13	1.17	0.07
	- 7.00		23.20	1.10	0.07
	- 8.00		23.03	1.27	0.08
081	- 0.50	24.30	21.27	3.03	0.18
	- 0.80		21.30	3.00	0.18
	- 1.00		21.53	2.77	0.17
	- 2.00		22.00	2.30	0.14
	- 3.00		21.83	2.47	0.15
	- 4.00		22.30	2.00	0.12
	- 5.00		22.20	2.10	0.13
	- 6.00		22.57	1.73	0.11
	- 7.00		22.93	1.37	0.08
	- 8.00		22.93	1.37	0.08
082	- 0.50	24.30	21.57	2.73	0.17
	- 0.80		22.50	1.80	0.11
	- 1.00		21.63	2.67	0.16
	- 2.00		21.77	2.53	0.15
	- 3.00		21.67	2.63	0.16
	- 4.00		21.73	2.57	0.16
	- 5.00		21.43	2.87	0.17
	- 6.00		22.03	2.27	0.14
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		22.90	1.40	0.08

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(18)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
083	- 0.50	24.30	22.60	1.70	0.10
	- 0.80		22.00	2.30	0.14
	- 1.00		22.60	1.70	0.10
	- 2.00		22.27	2.03	0.12
	- 3.00		22.17	2.13	0.13
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		23.10	1.20	0.07
	- 6.00		23.03	1.27	0.08
	- 7.00		22.43	1.87	0.11
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
084	- 0.50	24.30	20.40	3.90	0.24
	- 0.80		21.13	3.17	0.19
	- 1.00		21.20	3.10	0.19
	- 2.00		21.50	2.80	0.17
	- 3.00		21.57	2.73	0.17
	- 4.00		22.47	1.83	0.11
	- 5.00		22.37	1.93	0.12
	- 6.00		22.40	1.90	0.12
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		23.07	1.23	0.07
085	- 0.50	24.30	21.20	3.10	0.19
	- 0.80		21.73	2.57	0.16
	- 1.00		22.37	1.93	0.12
	- 2.00		22.67	1.63	0.10
	- 3.00		22.93	1.37	0.08
	- 4.00		22.50	1.80	0.11
	- 5.00		23.03	1.27	0.08
	- 6.00		23.03	1.27	0.08
	- 7.00		23.03	1.27	0.08
	- 8.00		22.57	1.73	0.11
086	- 0.50	24.30	22.67	1.63	0.10
	- 0.80		22.73	1.57	0.09
	- 1.00		22.77	1.53	0.09
	- 2.00		22.83	1.47	0.09
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		23.03	1.27	0.08
	- 5.00		22.77	1.53	0.09
	- 6.00		22.63	1.67	0.10
	- 7.00		22.97	1.33	0.08
	- 8.00		22.83	1.47	0.09
087	- 0.50	24.30	21.37	2.93	0.18
	- 0.80		21.20	3.10	0.19
	- 1.00		22.27	2.03	0.12
	- 2.00		21.17	3.13	0.19
	- 3.00		21.63	2.67	0.16
	- 4.00		22.10	2.20	0.13
	- 5.00		22.90	1.40	0.08
	- 6.00		23.10	1.20	0.07
	- 7.00		23.03	1.27	0.08
	- 8.00		23.17	1.13	0.07

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(19)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
088	- 0.50	24.30	20.83	3.47	0.21
	- 0.80		21.33	2.97	0.18
	- 1.00		22.27	2.03	0.12
	- 2.00		23.10	1.20	0.07
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		22.73	1.57	0.09
	- 5.00		22.97	1.33	0.08
	- 6.00		23.03	1.27	0.08
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		22.97	1.33	0.08
089	- 0.50	24.30	21.57	2.73	0.17
	- 0.80		21.27	3.03	0.18
	- 1.00		22.70	1.60	0.10
	- 2.00		23.03	1.27	0.08
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		23.17	1.13	0.07
	- 5.00		22.80	1.50	0.09
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		21.63	2.67	0.16
	- 8.00		22.50	1.80	0.11
089-1	- 0.50	24.30	9.47		
	- 0.80		9.93		
	- 1.00		10.23		
	- 2.00		10.10		
	- 3.00		11.23		
	- 4.00		11.30		
	- 5.00		10.70		
	- 6.00		10.80		
	- 7.00		10.93		
	- 8.00		11.13		
090	- 0.50	24.30	21.50	2.80	0.17
	- 0.80		21.07	3.23	0.20
	- 1.00		21.03	3.27	0.20
	- 2.00		20.87	3.43	0.21
	- 3.00		22.87	1.43	0.09
	- 4.00		22.23	2.07	0.13
	- 5.00		22.67	1.63	0.10
	- 6.00		21.77	2.53	0.15
	- 7.00		22.20	2.10	0.13
	- 8.00		23.13	1.17	0.07
091	- 0.50	24.30	21.53	2.77	0.17
	- 0.80		21.00	3.30	0.20
	- 1.00		20.63	3.67	0.22
	- 2.00		20.80	3.50	0.21
	- 3.00		21.20	3.10	0.19
	- 4.00		22.40	1.90	0.12
	- 5.00		22.50	1.80	0.11
	- 6.00		22.40	1.90	0.12
	- 7.00		22.87	1.43	0.09
	- 8.00		22.60	1.70	0.10

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(20)

測定 位置	水深 (M)	原厚度 (mm)	現有厚度 平均值 (mm)	厚度減少量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
091-1	- 0.50 - 0.80 - 1.00 - 2.00 - 3.00 - 4.00 - 5.00 - 6.00 - 7.00 - 8.00	24.30	10.20 9.93 10.50 10.67 10.77 11.43 10.20 11.27 11.03 11.23		
092	- 0.50 - 0.80 - 1.00 - 2.00 - 3.00 - 4.00 - 5.00 - 6.00 - 7.00 - 8.00	24.30	21.50 20.93 21.13 21.30 22.47 22.83 22.63 21.60 21.73 21.97	2.80 3.37 3.17 3.00 1.83 1.47 1.67 2.70 2.57 2.33	0.17 0.20 0.19 0.18 0.11 0.09 0.10 0.16 0.16 0.14
093	- 0.50 - 0.80 - 1.00 - 2.00 - 3.00 - 4.00 - 5.00 - 6.00 - 7.00 - 8.00	24.30	21.60 21.90 21.67 23.03 22.73 22.80 22.83 22.63 23.07 22.80	2.70 2.40 2.63 1.27 1.57 1.50 1.47 1.67 1.23 1.50	0.16 0.15 0.16 0.08 0.09 0.09 0.09 0.10 0.07 0.09
093-1	- 0.50 - 0.80 - 1.00 - 2.00 - 3.00 - 4.00 - 5.00 - 6.00 - 7.00 - 8.00	24.30	10.73 10.37 9.70 10.37 10.40 10.70 11.00 11.03 10.90 11.07		
094	- 0.50 - 0.80 - 1.00 - 2.00 - 3.00 - 4.00 - 5.00 - 6.00 - 7.00 - 8.00	24.30	20.33 21.17 22.27 22.87 22.60 22.87 22.93 22.50 22.87 23.10	3.97 3.13 2.03 1.43 1.70 1.43 1.37 1.80 1.43 1.20	0.24 0.19 0.12 0.09 0.10 0.09 0.08 0.11 0.09 0.07

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(21)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
095	- 0.50	24.30	20.53	3.77	0.23
	- 0.80		21.57	2.73	0.17
	- 1.00		21.90	2.40	0.15
	- 2.00		22.27	2.03	0.12
	- 3.00		22.60	1.70	0.10
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		22.87	1.43	0.09
	- 6.00		22.43	1.87	0.11
	- 7.00		23.03	1.27	0.08
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
096	- 0.50	24.30	21.23	3.07	0.19
	- 0.80		22.53	1.77	0.11
	- 1.00		22.27	2.03	0.12
	- 2.00		22.87	1.43	0.09
	- 3.00		23.07	1.23	0.07
	- 4.00		22.47	1.83	0.11
	- 5.00		21.93	2.37	0.14
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		22.40	1.90	0.12
	- 8.00		22.83	1.47	0.09
097	- 0.50	24.30	20.90	3.40	0.21
	- 0.80		21.53	2.77	0.17
	- 1.00		22.30	2.00	0.12
	- 2.00		22.53	1.77	0.11
	- 3.00		22.97	1.33	0.08
	- 4.00		22.83	1.47	0.09
	- 5.00		22.97	1.33	0.08
	- 6.00		22.83	1.47	0.09
	- 7.00		22.63	1.67	0.10
	- 8.00		22.87	1.43	0.09
098	- 0.50	24.30	22.57	1.73	0.11
	- 0.80		22.93	1.37	0.08
	- 1.00		22.83	1.47	0.09
	- 2.00		22.20	2.10	0.13
	- 3.00		22.83	1.47	0.09
	- 4.00		23.03	1.27	0.08
	- 5.00		23.07	1.23	0.07
	- 6.00		23.03	1.27	0.08
	- 7.00		23.07	1.23	0.07
	- 8.00		22.30	2.00	0.12
099	- 0.50	24.30	20.90	3.40	0.21
	- 0.80		21.60	2.70	0.16
	- 1.00		21.77	2.53	0.15
	- 2.00		22.67	1.63	0.10
	- 3.00		22.43	1.87	0.11
	- 4.00		22.70	1.60	0.10
	- 5.00		22.73	1.57	0.09
	- 6.00		21.83	2.47	0.15
	- 7.00		21.80	2.50	0.15
	- 8.00		22.53	1.77	0.11

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(22)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
100	- 0.50	24.30	20.27	4.03	0.24
	- 0.80		20.93	3.37	0.20
	- 1.00		21.63	2.67	0.16
	- 2.00		22.27	2.03	0.12
	- 3.00		21.83	2.47	0.15
	- 4.00		22.50	1.80	0.11
	- 5.00		22.60	1.70	0.10
	- 6.00		22.93	1.37	0.08
	- 7.00		22.40	1.90	0.12
	- 8.00		22.77	1.53	0.09
101	- 0.50	24.30	22.60	1.70	0.10
	- 0.80		21.97	2.33	0.14
	- 1.00		22.37	1.93	0.12
	- 2.00		22.90	1.40	0.08
	- 3.00		22.03	2.27	0.14
	- 4.00		22.13	2.17	0.13
	- 5.00		22.90	1.40	0.08
	- 6.00		23.03	1.27	0.08
	- 7.00		22.87	1.43	0.09
	- 8.00		22.83	1.47	0.09
102	- 0.50	24.30	20.17	4.13	0.25
	- 0.80		20.70	3.60	0.22
	- 1.00		21.37	2.93	0.18
	- 2.00		22.47	1.83	0.11
	- 3.00		21.50	2.80	0.17
	- 4.00		22.60	1.70	0.10
	- 5.00		22.93	1.37	0.08
	- 6.00		22.60	1.70	0.10
	- 7.00		23.13	1.17	0.07
	- 8.00		22.77	1.53	0.09
103	- 0.50	24.30	20.97	3.33	0.20
	- 0.80		22.27	2.03	0.12
	- 1.00		22.93	1.37	0.08
	- 2.00		23.03	1.27	0.08
	- 3.00		22.70	1.60	0.10
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		22.13	2.17	0.13
	- 6.00		22.87	1.43	0.09
	- 7.00		22.20	2.10	0.13
	- 8.00		22.60	1.70	0.10
104	- 0.50	24.30	20.90	3.40	0.21
	- 0.80		20.83	3.47	0.21
	- 1.00		21.40	2.90	0.18
	- 2.00		22.90	1.40	0.08
	- 3.00		22.83	1.47	0.09
	- 4.00		22.80	1.50	0.09
	- 5.00		22.60	1.70	0.10
	- 6.00		22.40	1.90	0.12
	- 7.00		22.73	1.57	0.09
	- 8.00		22.77	1.53	0.09

花蓮港航道 U 型鋼板樁檢查記錄(23)

測 定 位 置	水 深 (M)	原厚度 (mm)	現 有 厚 度 平 均 值 (mm)	厚 度 減 少 量 (mm)	腐蝕速度 (mm/y)
105	- 0.50	24.30	22.53	1.77	0.11
	- 0.80		22.80	1.50	0.09
	- 1.00		22.60	1.70	0.10
	- 2.00		22.43	1.87	0.11
	- 3.00		22.83	1.47	0.09
	- 4.00		22.70	1.60	0.10
	- 5.00		22.17	2.13	0.13
	- 6.00		22.20	2.10	0.13
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		23.10	1.20	0.07
106	- 0.50	24.30	22.33	1.97	0.12
	- 0.80		21.80	2.50	0.15
	- 1.00		22.80	1.50	0.09
	- 2.00		22.67	1.63	0.10
	- 3.00		21.40	2.90	0.18
	- 4.00		21.57	2.73	0.17
	- 5.00		21.40	2.90	0.18
	- 6.00		22.07	2.23	0.14
	- 7.00		21.80	2.50	0.15
	- 8.00		21.63	2.67	0.16
107	- 0.50	24.30	22.67	1.63	0.10
	- 0.80		20.60	3.70	0.22
	- 1.00		21.30	3.00	0.18
	- 2.00		22.27	2.03	0.12
	- 3.00		22.50	1.80	0.11
	- 4.00		22.50	1.80	0.11
	- 5.00		22.83	1.47	0.09
	- 6.00		22.13	2.17	0.13
	- 7.00		22.83	1.47	0.09
	- 8.00		23.30	1.00	0.06
108	- 0.50	24.30	22.27	2.03	0.12
	- 0.80		21.47	2.83	0.17
	- 1.00		20.87	3.43	0.21
	- 2.00		21.27	3.03	0.18
	- 3.00		22.27	2.03	0.12
	- 4.00		22.20	2.10	0.13
	- 5.00		21.80	2.50	0.15
	- 6.00		22.80	1.50	0.09
	- 7.00		23.13	1.17	0.07
	- 8.00		22.93	1.37	0.08

水文及污損生物對材料腐蝕之探討

執行單位：港工材料組

計畫主持人：饒正 副研究員兼組長

共同主持人：柯正龍 助理研究員

參與人員：陳正義 王培源 何木火

李昭明 林隆貞

水文及污損生物對材料腐蝕之探討

目 錄

頁 數

摘要.....	I
目 錄.....	II
表 目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
壹、前 言.....	1
貳、研究方法及過程.....	4
一、現場腐蝕實驗.....	4
二、附著生物之種類.....	4
三、實驗室內生物腐蝕分析.....	5
參、資料分析與討論.....	5
一、現場腐蝕試驗.....	10
二、海生物分類.....	12
三、實驗室內生物腐蝕.....	19
肆、結論與建議.....	43
伍、參考文獻.....	48
陸、附 錄.....	51
(基隆港區常見附著生物圖)	

表 目 錄

頁 數

表2.1	試片之化學成份(Wt%)與厚度.....	7
表3.1	試片擺放三個月(84年1月)與六個月(84年4月)後, 不同擺放地點, 附著生物種類與數量(1).....	25
表3.2	試片擺放三個月(84年1月)與六個月(84年4月)後, 不同擺放地點, 附著生物種類與數量(2).....	26
表3.3	5號試架(西26、27碼頭)擺放三個月後(84年1月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	27
表3.4	4號試架(西26、27碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	27
表3.5	20號試架(西21、22碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	28
表3.6	14號試架(西21、22碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	28
表3.7	10號試架(東2碼頭)擺放三個月後(84年1月), 不同 材質在4種深度所附著生物之種類與數量.....	29
表3.8	9號試架(東2碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同 材質在4種深度所附著生物之種類與數量.....	30

圖 目 錄

	頁 數
圖2.1 試片安裝設計.....	8
圖2.2 試片實際擺放方式.....	8
圖2.3 試片擺放位置.....	9
圖3.1 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係 (基隆港碼頭浸漬三個月).....	31
圖3.2 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係 (基隆港碼頭浸漬六個月).....	31
圖3.3 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係 (浸漬在東二碼頭六個月).....	32
圖3.4 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬三個月).	33
圖3.5 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬六個月).	33
圖3.6 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量 (浸漬三個月).....	34
圖3.7 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量 (浸漬六個月).....	34
圖3.8 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 表層水).....	35
圖3.9 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 3M 水).....	35
圖3.10 裸鋼之pH值與時間關係數圖(東 2 碼頭, 表層水).....	36
圖3.11 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西 2 碼頭, 3M 水).....	36
圖3.12 水泥塊之pH值與時間關係數圖(東 2 碼頭, 3M 水)....	37
圖3.13 大裸鋼片及大裸鋼片加上犧牲陽極之 pH值與時間關係 數圖(東 2 碼頭, 3M 水).....	37
圖3.14 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	38
圖3.15 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西22碼頭表層水).....	38

圖3.16 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	39
圖3.17 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭, 3M 水).....	39
圖3.18 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西27碼頭表層水).....	40
圖3.19 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西27碼頭, 3M 水).....	40
圖3.20 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	41
圖3.21 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西22碼頭表層水).....	41
圖3.22 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	42
圖3.23 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭, 3M 水).....	42

壹 前 言

本所五年多來，調查國內五大港口（基隆港、高雄港、台中港、花蓮港、蘇澳港）之碼頭鋼板樁腐蝕狀況⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾，發現相同廠牌與型式之鋼板樁在不同之港口會產生不同之腐蝕速率與型態，即使使用在同一碼頭，亦會有完全不同之腐蝕型態，譬如基隆港之西21、西22、東4 與東5 號碼頭之部份鋼板樁在潮汐帶有連續十多支鋼板樁破孔之現象發生，其餘鋼板樁均為均勻腐蝕，吾人考慮其破孔原因是否與當地之水文及污損生物有關，故初期選定基隆港進行本研究。

結構材料浸泡於海水環境中，微型污損和腐蝕這兩個過程立刻就開始了，可是在研究上與這種環境中實際上發生的過程剛好相反，對這兩個過程習慣上往往是分開來加以處理，儘管在金屬腐蝕過程中與海生物有關的證據非常多，可是往常的腐蝕研究一直是在不考慮生物因素的情況下進行。康氏提出，一些科學家把海水看作是一種混入少量其他鹽類的單純氯化鈉溶液之見解是天真的，他還提醒大家對海水特性的腐蝕性要注意到“生物因素”。

海洋附著生物是指在海水中以其基盤固著於基底而行固著生活，或在基底表面之動、植物，其中附著或附生於船舶與港灣構造物表面之生物稱為污損生物，污損生物可分為微生物(microfouling)如細菌及生物所排放之黏液及巨污生物(macrofouling)如海藻、浮游生物及貝殼類。海生物附著會增加荷重，也可能增加腐蝕速率。污損是由所有附生物的主要種群以不同方式組成，污損之類型和程度常常有一定序列，可以隨季節、水深、海水性質變化，優勢種類等而變化。

在新浸泡于水中的物體表面上，根據觀察，首先附著的生物一般是細菌和細粒藻類。可以認為，他們構成了其他生物繼續附著的基礎或基底。生物繼承的通常模式（即某假設生物在新浸沒表面上佔優勢的時期）可歸納如下：最初1 至3 天是細菌，而後3 至7 天是海藻細粒，以後1至3 個星期是原生動物，以後3至10星期是藤壺，以後10至16星期是被囊動物；以後3 至6 個月是海草；以後6 至12月是貽貝；再以後貽貝可能占支配地位，或由某種生物篡取貽貝地位而代之。最終支配的生物隨著地理、氣候、化學、物理和生物等因素而定。因為許多生物的再生產率大都由水溫調節，在溫帶，污損程度隨著季節變化，在熱帶保持相對

穩定。一般，生物愈大，污損成長所需要的時間愈久。

細菌對促進污損和一般性生物侵蝕的重要作用不會估計過分。佐貝爾(Zobell)⁽⁸⁾對於海洋微生物這個課題作過詳細研究。他注意到細菌分佈遍及整個水柱，但是最大密度存在於海床，在那裏每克濕泥中就有上百萬個細胞。喜氣細菌佔據了底部泥土上層1至2英寸厚度，而厭氣性細菌則在這一層下面佔統治地位，並且在構造物腐蝕歷程中佔特別重要地位，因為他們棲身於保護塗層泡之下和金屬結構固著生物的基底下。硫黃菌能在缺氧環境下產生 H_2S ，使鋼材產生硫化應力裂紋。一般細菌為動物提供了立足點和食物來源，並可能有助於固著生物的附著，例如藤壺就促使石灰質水泥沉澱來實現附著。所有纖維繩索都被分解纖維素的細菌所襲擊，橡膠製品也為某種細菌所分解，雖然試驗室試驗表明，聚乙烯和氯丁橡膠的隋性較大。混凝土污水管道和埋入的鐵管道被硫黃菌嚴重損壞；有些放線狀細菌能分解石油製品，並可能使木樁的塗油基層剝落，促使木樁暴露於海蛀蟲的侵襲之下。

許多重要的污損者，如藤壺等是過濾食客，他們需要活水帶來新鮮的營養物和氧氣，並帶走排泄物。這些動物喜歡有顯著潮流流動的地方。許多生物（藤壺又是其中主要的實例）呈現分期的生命階段。藤壺在自由生活動態時期叫做nauplius（無節幼蟲），在定居和開始附著時期（即cyprid階段），生物還很小甚至是微細的，最後是生長和成熟階段。成熟的藤壺是有膠質的外殼和板狀的石灰質甲殼，也叫鱗甲。體內有可伸縮的刷狀觸鬚，用來從水中濾食。藤壺有極強的黏著力，他們能在大到4節的流水中附著自己，甚至在更高的流速下仍能保持附著，這使他們在構造物的海水入口處造成特殊的麻煩。藤壺還可成為其他生物附著的基底。在生物死亡後，他們的甲殼還要永久保留在附著位置上。藤壺附著的類似黏膠的物質會滲入保護塗層。氧濃差電池要圍繞藤壺的基底產生，以致造成嚴重的孔蝕。

台灣位處亞熱帶，海洋生物繁殖旺盛，各港口碼頭及船隻均受海生物附著而造成腐蝕等相關問題。國內有關海水附著物與防污之研究甚少（楊等⁽⁹⁾-(11)）。台電公司⁽¹²⁾亦曾調查南部興達電廠進水涵道附著海生物，即使採用防污塗料經半年後，仍有海生物附著，而以藤壺(barnacle)，管棲多毛蟲(polychaet)，苔蟲(hydrozon)，海綿(sponge)，

海藻，軟體動物(tube worm)，腔腸動物(coelendrium)及貽貝(mussel)等為主。本所在調查台中港海域材料之腐蝕性時亦發現浸泡海水中之試片也有各種海生物附著。但該等研究之結果，著重於微污生物與部份巨污生物之分類與防污處理之效果；並未能涵蓋附著生物之整體研究。因此，本研究計劃乃配合主計劃及其他分支計劃，定期採集基隆港不同地點，不同深度，不同材料試片上之附著生物樣本，攜回實驗室，進行附著生物之歸類鑑定，及豐度計量（包括顯微鏡下之計數與拍照計算覆蓋面積，以了解不同材料試片在不同光度（深度）、溫度（季節），及地區（水質及潮汐）之環境下，附著生物之種類差異，與各種附著生物之滋生速度；以期能完整地了解基隆港附著生物之種類及其因時空差異而產生之變化。此項結果為探討海洋材料腐蝕部份研究所必須之基本資料，對了解港灣結構材料受海洋生物之破壞及尋思其防治方法甚為重要。

本研究跨越海洋生物與材料防蝕技術之領域，必須結合此兩領域之學者專家共同攜手合作，才能開拓解決問題之契機，故本研究委託國立海洋大學辦理，由材料工程所之吳建國教授主持，成員包括河海工程所之黃然博士，海洋生物所的劉秀美所長及中央研究院動物所的邵廣昭博士，期能對海生物附著及其對材料腐蝕影響有初步瞭解。

本文係節錄自國立海洋大學提出之研究報告，如有不詳之處，請參考原文。

貳、研究方法與過程

一、現場腐蝕實驗

本實驗在基隆港內浸漬的試片架分四層，分別離碼頭面下約二、四、六、八公尺深，試片架如圖2.1、2.2所示。試片均與鋼架絕緣。試片的材料大小約 200mm*200mm，有AISI 1015鋼片，AISI 1015鋼片鎖上鋅塊，AISI 1015鋼片塗上含錫防污塗料，AISI 1015鋼片塗上無錫防污塗料，及304不銹鋼片等五種材料浸漬在基隆港東 2號碼頭，西 21、22，西26、27三處碼頭，試架擺放位置如圖2.3所示。材料的成份厚度如表2.1所示。本研究浸泡時間則以分別 3 個月，0.5年，1年，1.5年，2年，2.5年，及3年後取出部份試片分別研判附著之海生物造成之腐蝕及腐蝕速率。試片從海水中取出立即照相，量腐蝕電位，清水清洗並除銹後再秤重，藉由重量損失法計算腐蝕速率。目前已完成之實驗為3個月及0.5年之腐蝕速率及腐蝕型態評估。

二、附著生物之種類

了解附著生物之種類與豐度，與影響之環境因子；及附著生物季節與消長之變化的方法包括了：(1)定期至不同環境之港灣採取樣本分析。(2)在不同環境之港灣放置試片，定期採樣之。第一種方法除了定量不易外，亦無法了解試片材質與處理的效果，及附著生物消長變化；故目前多以放置採樣試片，進行長期而定時的採樣為主。因此，本研究於民國83年10月，在基隆港之西21、22號碼頭，西26、27號碼頭與東 2號碼頭等三個水文環境不同之碼頭分別擺放試架。每個試架有六種不同材質或處理之試片，皆分別擺設於四層深度。每隔三個月即至此三個碼頭，將一試架取出，分別拍照與刮取試板上之附著生物。並依下列步驟進行採樣工作：

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. 將每個實驗材質表面上的附著生物，以刮刀刮取1/4的面積。
3. 每個實驗材質所刮取的附著物皆分別浸泡於 5%福馬林固定之，攜回實驗室內進行附著生物的鑑定與計數。

4. 在實驗室內以30倍的解剖顯微鏡進行初步的分類工作。
5. 動物之分類，乃依據岡田要⁽¹³⁾ (1965)、波部忠重⁽¹⁴⁾ (1974)、波部忠重與小菅貞男⁽¹⁵⁾ (1974)、波部忠重與伊藤潔⁽¹⁶⁾ (1975)、Morrisset al⁽¹⁷⁾ (1980)、武田正倫⁽¹⁸⁾ (1982)鑑定之。植物則依據千原光雄⁽¹⁹⁾ (1983)、江等⁽²⁰⁾ (1980)鑑定之。
6. 除了基本分類外，並將各主要附著生物計數，推估各試片上，附著生物之相對豐度，並以R (1-5隻或株)，O (6-50隻或株)，C (51-500隻或株)，與A (>501隻或株)表示之。

三、實驗室內生物腐蝕分析

(一)鋼片及混凝土塊試片

試片種類及其尺寸、重量如下：

1. 裸鋼試片 (2.5cm×7cm×0.2cm 重約27~29g)
2. 不銹鋼試片 (5cm×2.4cm×0.4cm 重約34~36g)
3. 塗有藍色油漆試片(7.2cm×2.7cm×0.2cm 重約32~34g)
4. 塗有紅色油漆試片(7.2cm×2.7cm×0.2cm 重約32~34g)
5. 混凝土塊 (2.7cm×2.7cm×6.8cm 重約110~130g)
6. 裸鋼+鋅片(犧牲陽極) (裸鋼 5.9cm×10.0cm×0.2cm重約94.0g)
(犧牲陽極 直徑4.0cm×高3.9cm)

(二)海水之採集及處理

採取三個地方—基隆港東2號碼頭，西22號碼頭及西27號碼頭處海水，每個碼頭亦取一定點，從此定點用採水器採取表層水，3m深處水及9m深處水。將採取之海水裝滿於瓶中儘快帶回實驗室，然後將氮氫混合氣($N_2:H_2=95\%:5\%$)注入瓶內，使瓶內呈厭氧狀態。再將此海水移入厭氧箱(Anaerobic glove box, Coy laboratories products, Ann Arbor, Mich)此箱內亦填充以氮氫混合氣($N_2:H_2=95\%:5\%$)。用作厭氧非生物浸泡(abiotic incubation)之水須用高溫高壓滅菌(121°C, 30min)過後再移入厭氧箱。

(三)試片之前處理

裸鋼片先用2.0M鹽酸(HCl)處理約2分，去除表面銹垢，然後用去離子水清洗，移入丙酮(acetone)液，乾燥後稱重。其他塗有油漆試片，不銹鋼及水泥塊，則刷洗乾淨後用去離子水清洗，移入丙酮(acetone)液，乾燥後稱重。將這些試片各別放入廣口之血清瓶(Schott, Duran, 250ml)，然後將這血清瓶用高溫高壓滅菌法殺菌(121°C, 30min)。做非生物之浸泡實驗之血清瓶，則在滅菌後，移入無菌操作台一面充入氮氫混合氣一面加入滅菌之海水150ml，蓋好蓋子後再移入厭氧箱內。做生物培養實驗之血清瓶，則在滅菌後移入厭氧箱，在箱內加入厭氧之碼頭海水。

(四)生物與非生物培養

每一種試片或是水泥塊皆作做厭氧生物培養(anaerobic biological incubation)及厭氧非生物培養(anaerobic abiotic incubation)。生物與非生物培養又各分為三組：

第一組：加入海水(滅菌海水)及試片。

第二組：海水(滅菌海水)+2mM Bromoethanesulfonic acid (BESA)及試片。

第三組：海水(滅菌海水)+2mM Molybdate (MoO_4^-)及試片。

每一組皆做二重覆實驗。

在生物及非生物培養期間，每隔7~14天，從各瓶內採取3.5ml海水測其中之氯離子(Cl^-)、鎂離子(Mg^{++})，鈣離子(Ca^{++})，硫酸根離子(SO_4^-)，硫離子(S^-)量外，亦測海水之pH值。

從各個瓶中硫酸根離子(SO_4^-)量之減少及硫離子(S^-)量之增加可以算出硫酸還原率(Sulfate reduction rate)。

(五)分析方法

1. Cl^- 、 Mg^{++} 、 Ca^{++} 及 SO_4^- 之測量

這些離子量之測量，是用連接離子交換管柱(ion exchange column, Nuchessil 5SB, Macherey-Nagel, Germany)之高速液相層析儀分析。流動液(mobile phase)是 2mM diaminocyclohexane tetraacetic acid (DCTA)，流速是每分鐘1.5ml。

高速液相層析儀包括 Hitachi L-6200A 之幫浦(pump)，Shodex CD-5 導電度偵測器 (conductivity detector), 及 Hitachi D-2500 積分儀(integrator)。

2. S²⁻之測量

採用 J.D.Cline(1969) 之methylene blue method, 利用分光光度計測量水中之 hydrogen sulfide量。

3. 水中總碳量(Total organic carbon)之測量

利用總碳測量儀(Total Organic carbon analyzer Model 700, O.I. Analytical, Texas, USA)

4. 鐵銹成份之分析

可以利用 scanning electron microscopy, X-Ray diffraction 及 energy dispersive X-Ray analysis(EDXA) 等分析方法了解鐵銹之物理及化學特性。

5. 生銹速率之測量(corrosion measurement)

這是用鋼片重量降低之速率作為腐蝕程度之定量。將鋼片從瓶中取出放入含 50ml 之 4% sodium citrate solution之廣口瓶, 用超音波震盪, 乾燥後稱重。比較實驗前與實驗後鋼片減輕之重量為weight loss。腐蝕率是用mpy表示之。

表2.1 試片化學成份(Wt%)與厚度

成份 材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	Al	厚度	備註
304	0.03	0.46	1.35	0.022	0.003	18.9	8.14	0.112	—	4mm	
1015	0.13	0.01	0.51	0.022	0.013	—	—	—	0.042	2.1mm	

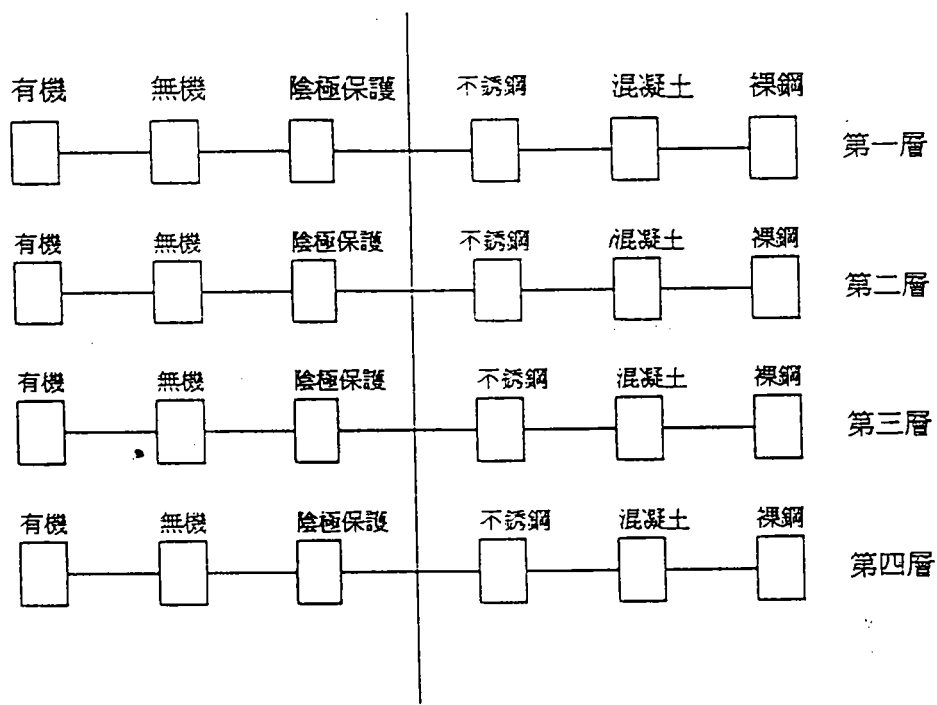


圖2.1 試片安裝設計

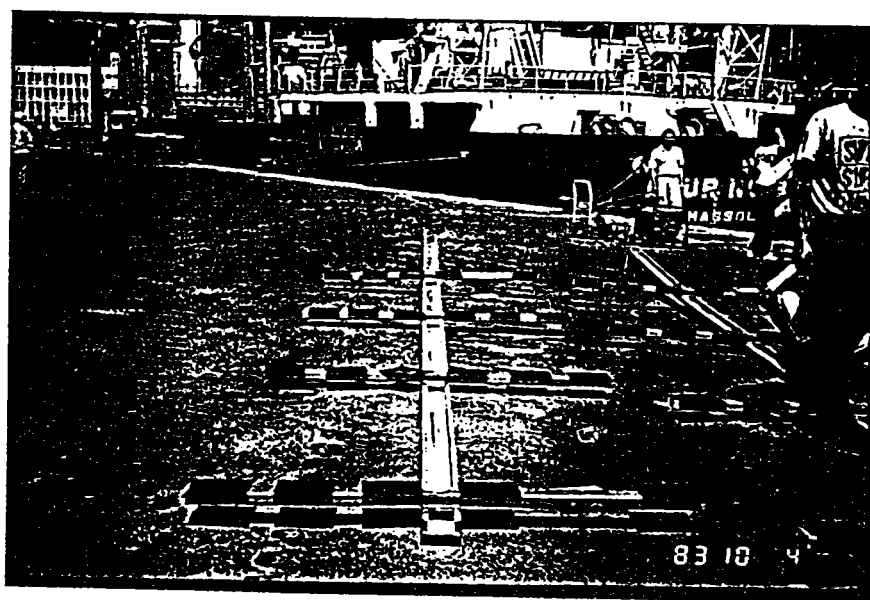


圖2.2 試片實際擺放方式

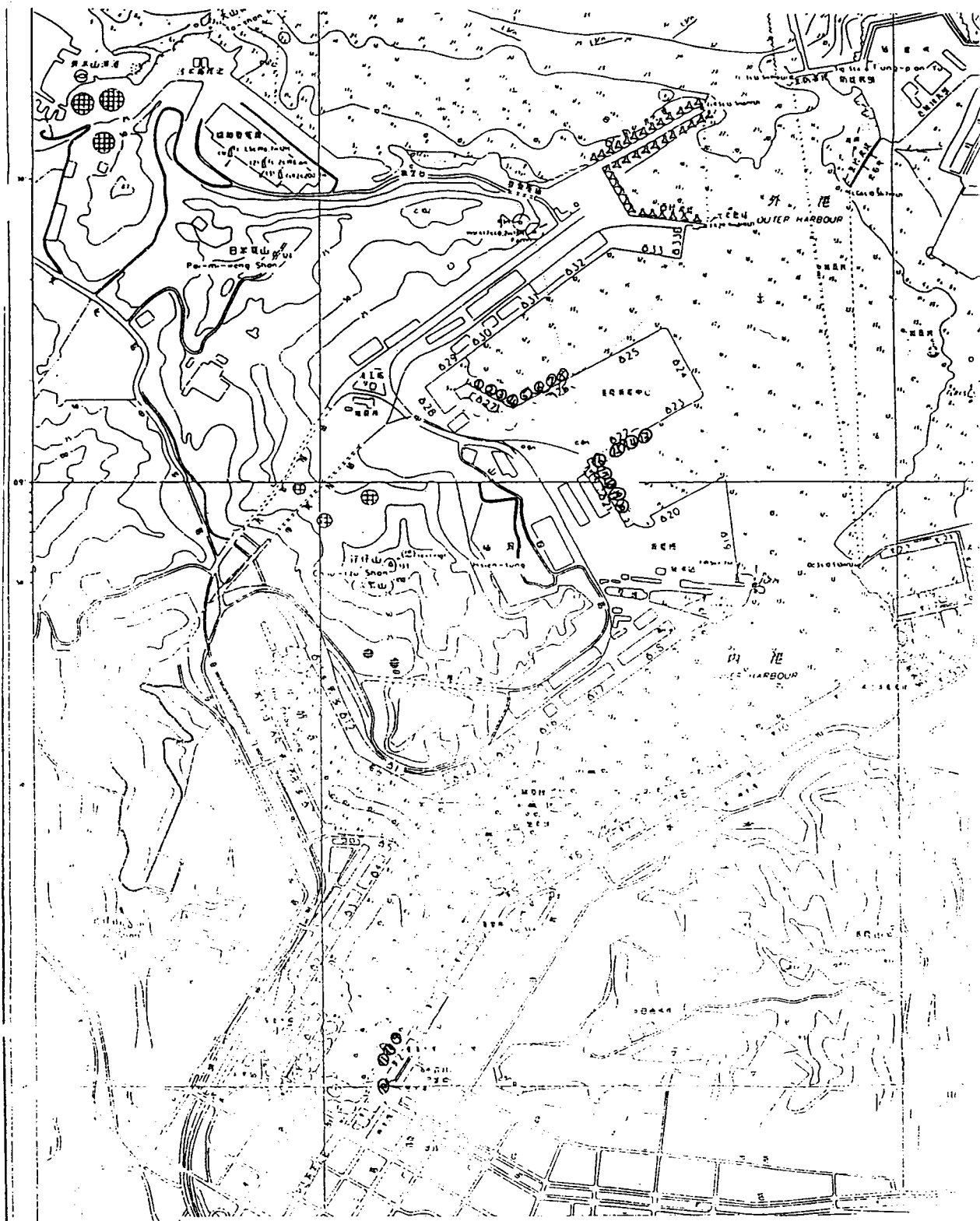


圖2.3 試片擺放位置

參、資料分析與討論

一、現場腐蝕試驗

(一) AISI 1015 裸鋼

在基隆港西21、22、26、27碼頭海域之試片，隨著離海平面深度增加，AISI 1015 裸鋼的腐蝕速率減少。其原因為海水深度增加，海浪減緩，且含氧量減少，則陽極氧化反應 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 與陰極還原反應 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ 隨著含氧量減少，陽極與陰極反應降低，腐蝕速率減少。而室內浸漬三個月腐蝕速率接近水深 4-6 公尺的浸漬結果，其腐蝕速率為 2.065mpy。基隆港浸泡三個月（自民國83.10.05~84.01.05）的結果如圖3.1所示。浸漬六個月（民國83.10.05~84.03.31）結果顯示，上兩層試片的腐蝕速率有減緩的跡象。如圖3.2所示。其可能原因如下：

1. 浸漬六個月，鋼材表面有橘色到紅棕色腐蝕產物，表層腐蝕產物與基材間，包含一層厭氧狀態黑色的 Fe_3O_4 的腐蝕產物，（浸漬三個月，沒有此層的腐蝕產物發現）。並且試片有一層緻密泥垢。基材表面的金屬氧化物與厚的泥垢，阻礙金屬氧化還原反應，因此腐蝕速率下降。
2. 溫度的差異也是重要因素之一。夏季與冬季有明顯的溫度差。冬天因海水溫度較低，因此腐蝕速率會減緩。季節性生態的改變也是一大因素，不適合在冬季生存的生物均會銳減，譬如易造成快速腐蝕的貝類（如藤壺），在冬季明顯的減少。

浸漬六個月，試片位於四種浸漬深度的腐蝕速率差距，有明顯的縮減。其原因是因為浸漬初期離海平面較淺，海浪較大含氧量較多，金屬氧化還原反應較激烈，所以試片浸漬於四種深度，腐蝕速率差距較大。經過一段時間，腐蝕產物產生，表面更易附著泥垢，使一、二層試片氧化還原反應減緩。而在三、四層的試片，因與泥垢中的生物發生反應，腐蝕速率增加。因此四種浸漬深度的腐蝕速率差異明顯的較浸漬三個月縮小差距。

東2碼頭位於(田寮河)淡水與海水交界處，海生物特別的豐富，

每層裸鋼均附著豐盛的海生物於試片表面上，試片大部份因海生物附著所造成腐蝕。因此四種浸漬深度的試片腐蝕速率差異不大。如圖 3.3 所示。

(二)犧牲陽極

AISI 1015 鋼片鎖上鋅塊(陰極防蝕)，由於裸鋼 AISI 1015 鋼片腐蝕電位(-0.60V , SCE)，鋅塊腐蝕電位(-1.0V , SCE)兩者差 0.4V ，因此形成一伽凡尼電池，鋅釋放出電子，保護裸鋼。浸漬三個月結果顯示，AISI 1015 試片沒有生鏽，即使有海生物附著受損亦不明顯。鋅塊的重量損失，隨著離海平面深度增加，鋅的重量損失有減緩的趨勢。如圖 3.4所示。而室內浸漬鋅的重量損失接近水深八公尺深的浸泡結果。浸漬六個月，其結果如圖 3.5所示，一、二層試片因泥垢的附著緻密，反應較緩和，耦合電位升為(-0.89V , SCE)，鋅的重量損失已有明顯的下降。若試片位於碼頭轉角處，海浪較大，泥垢附著困難，反應較激烈，浸漬六個月鋅塊完全消耗殆盡。東二碼頭由於有大量的海生物附著，其鋅塊重量損失，四層試片隨海生物附著多寡而異，如圖 3.6、3.7所示。

(三)防污塗料試片

有錫與無錫防污塗料試片(塗料厚度約 $200\mu\text{m}$)，浸漬在海水中，緩慢溶解釋出有毒顏料，使海生物無法附著，浸漬三個月，兩種塗料試片均表面良好，未有剝落現象。浸漬六個月，兩種防污塗料試片仍然沒有海生物附著，但是藍色含錫防污塗料明顯的較紅色無錫防污塗料溶解快速。

(四)AISI 304 型不銹鋼

不銹鋼在海水中，因海水中有氯離子與海生物，易使不銹鋼表面鈍態膜遭破壞，造成孔蝕或間隙腐蝕的現象發生。室內掃極化亦有孔蝕現象發生，海生物中的貝類(藤壺)附著在 304 型不銹鋼片上，由於藤壺在軀殼內新陳代謝，使的殼內 pH 值下降。附著區與不銹鋼本體產生腐蝕電池。間隙腐蝕先從藤壺軀殼邊緣開始腐蝕，然後往中間沿伸腐蝕，形成一放射狀的間隙腐蝕。如果藤壺死於軀殼內，藤壺肉被分解，導致腐

敗，會形成一均勻的孔蝕坑洞。東二碼頭附著藤壺附著最多，依次為西26、西27碼頭，西21、西22碼頭。試片依附著的多寡與時間的長久，會有不同程度的孔蝕現象。

304 不銹鋼在海水中由壓克力墊片固定附著下面，由於氧氣缺乏，造成不銹鋼試片表面氧濃度不同，形成氧濃度差電池，在氧較少地區為陽極，金屬氧化成金屬離子，氧較多區域為陰極，氧還原成氫氧離子，形成氫氧化物沉澱，造成嚴重的間隙腐蝕。隨著離海平面深度增加，間隙腐蝕愈嚴重。

二、海生物分類

民國八十三年十月五日置放試樣架，在民國八十四年一月五日與三月三十一日，於基隆港進行第一與第二次之採樣工作。每一試架應有24個樣本（6種材質 * 4層），但因部份試片遺失、損毀，或大部份之有機錫與無機錫塗料試片上並未有任何附著生物外，總計共刮取 141個樣本，第一次刮取51個樣本，第二次刮取 90個樣本；包括：

西26, 27 號碼頭：試架編號 5 — 17 個樣本(84.1.5)
 試架編號 4 — 18 個樣本(84.3.31)
西21, 22 號碼頭：試架編號17 — 18 個樣本(84.1.5)
 試架編號20 — 24 個樣本(84.3.31)
 試架編號14 — 24 個樣本(84.3.31)
東 2 號碼頭：試架編號 10 — 16 個樣本(84.1.5)
 試架編號 9 — 24 個樣本(84.3.31)

(一)附著生物種類

由於附著生物之分離、檢出、鑑定與計算工作十分繁重與不易，僅能就已進行初步鑑定的種類，進行概略的比較；而矽藻類藻體太小，且不易鑑定，乃將其排除於研究結果外。在兩次採樣 141個試板中，共已鑑定附著生物約 37種，共有分屬 8門，8綱，13目，27科的 33種動物以上；其中，以外肛動物、節肢動物與尾索動物較多。

在這些附著動物中，依其運動能力之有無，可區分為附著性與附生

性動物兩大類；附著性動物為僅在幼體期才有運動能力，成體則不具運動能力，如：筒螞、苔蘚蟲、貝類、纓鰓蟲目、藤壺、與尾索動物。附生性動物則是成體往往會聚泥成管或鑽木而行管棲，但仍卻具運動能力，可自由選擇棲所。

另外，若依附著動物之結構又可區分為兩類，筒螞、苔蘚蟲與部份海鞘(白腹海鞘與菊海鞘)為群體共棲，其餘附著動物則屬個體性。

而分屬 4 門，4 綱，4 目，4 科的 4 種藻類中，則以綠藻較多。其中，布氏藻、水雲與紅藻為絲狀藻；腸澹苔則為葉狀藻。以下為各類動植物之分類歸屬，及其附生或附著之狀態。

動物部分：

腔腸動物門 Coelentera

水螞蟲綱 Hydrozoa

花水母目 Athomedusae

筒螞水母科 Tubulariidae

筒螞 Tubularia sp. (附著，群體)

線形動物門 Aschelminthes

線蟲綱 Nematoda

線蟲 Nematoda sp. (附生)

外肛動物門 Ectoprocta

苔蟲綱 Bryozoa

唇口目 Cheilostomata

膜孔苔蘚科 Membraniporidae

膜孔苔蘚蟲 Membranipora sp. (附著，群體)

裂孔苔蘚科 Schizoporellidae

裂孔苔蘚 Schizoporella sp. (附著，群體)

草苔蟲科 Bugulidae

多室草苔蟲 Bugula neritina (附著，群體)

扁形動物門 Plathelminthes

渦蟲綱 Turbellaria

三岐腸目 Tricladida

Uteriporidae

Uteriporus sp. (附生)

軟體動物門 Mollusca

斧足綱 Pelecypoda

翼形目 Pteriomorphia

貽貝科 Mytilidae

翡翠貽貝 *Perna viridis* (附著)

扇貝科 Pectinidae

扇貝 *Chlamys* sp. (附著)

鉗貝科 Isognomonidae

鉗貝 *Isognomon* sp. (附著)

牡蠣科 Ostidae

牡蠣 *Ostrea* sp. (附著)

環節動物門 Annelida

多毛綱 Polychaeta

纓鰓蟲目 Sabellida

龍介蟲科 Serpulidae

旋鰓蟲 *Spirobranchus* sp. (附著)

纓鰓蟲科 Sabellidae

纓鰓蟲 *Sabellidae* sp. (附著)

葉鬚蟲目 Phyllodocida

沙蠶科 Nereididae

沙蠶 *Nereididae* sp. (附生)

眼蠶科 Alciopidae

水蠶 *Naiades cantrainii* (附生)

盤首蠶科 Lopadorhynchidae

游蠶 *Pelagobia longicirrata* (附生)

節肢動物門 Arthropoda

甲殼綱 Crustacea

完胸目 Cirripedia

藤壺科 Balanidae

網紋藤壺 *Balanus reticulatus* (附著)

三角藤壺 *Balanus trigonus* (附著)

等足目 Isopoda

團水虱科 Sphaeromatidae

腔齒海底水虱 *Dynoides dentisinus* (附生)

端足目 Amphipoda

鉤蝦科 Gammaridae

片鉤蝦 *Elasmopus japonicus* (附生)

泥鉤蝦 *Eriopisella sechellensis* (附生)

馬爾它鉤蝦 *Melita dentata* (附生)

玻璃鉤蝦科 Hyalidae

玻璃鉤蝦 *Hyale grandicornis* (附生)

白鉤蝦科 Leucothoidae

白鉤蝦 *Leucothoe alata* (附生)

螺贏蜚科 Corophiidae

螺贏蜚 *Corophium uenoi* (附生)

Corophium crassicorne (附生)

Nippochelura brevicauda (附生)

麥桿蟲科 Caprellidae

麥桿蟲 *Caprella scaura* (附生)

原足目 Tanaidacea

原足科 Tanaidae

原足蟲 *Anatanaïs normani* (附生)

尾索動物門 Prochordata

海鞘綱 Ascidiacea

內性目 Enterogona

二段海鞘科 Didemnidae

毛氏白腹海鞘 *Didemnum moseleyi* (附著, 群體)

玻璃海鞘科 Cionidae

玻璃海鞘 *Ciona intestinalis* (附著)

側性目 Pleurogona

菊海鞘科 Batryllidae

史氏菊海鞘 *Botryllus* sp. (附著, 群體)

瘤海鞘科 Styelidae

褶瘤海鞘 *Styela plicata* (附著)

冠瘤海鞘 *Styela canopus* (附著)

植物部分：

綠藻植物門 Chlorophyta

綠藻綱 Chlorophyceae

管枝藻目 Siphonocladales

布氏藻科 Boodleaceae

布氏藻 *Boodlea composite*

石蓴目 Ulvaceae

石蓴科 Ulvaceae

腸澹苔 *Enteromorpha intestinalis*

褐藻門 Phaeophyta

褐藻綱 Phaeophyceae

水雲目 Ectocarpales

水雲科 Ectocarpaceae

水雲 *Ectocarpus confervoides*

紅藻門 Rhodophyta

紅藻綱 Rhodophyceae

仙菜目 Ceramiales

仙菜科 Ceramiaceae

紅藻 sp. *Ceramiaceae* sp.

在這些附著生物中，端足目的部份種類不易區分，乃將這些容易混淆的種類予以合併。片鉤蝦、泥鉤蝦與馬爾它鉤蝦，具淡黃體色與長觸角，合稱為鉤蝦(長觸角)；另兩種體色淡黃之玻璃鉤蝦與白鉤蝦則有短觸角，合稱為鉤蝦(短觸角)；而螺贏蜚科的三種螺贏蜚(*Corophium ue-noi*, *Corophium crassicorne*與 *Npochelura brevicauda*皆具為淡黃體色雜以黑斑，此三種合稱為螺贏蜚。此外，部份種類未能鑑定至‘種’之階層，乃以‘sp.’稱之。基隆港區常見附著生物圖，詳見附錄。

(二)附著生物之時空差異

示如表3.1, 附著生物種類與豐度不僅因試片擺放地點不同而有所差異，也會因擺放期間長短，而有所變異。西26, 西27 號碼頭的兩次採樣，共採獲11種動物與 4種植物，動物以苔蘚蟲、旋鰓蟲與鉤蝦(長觸角)數量較多，植物則以水雲較多。5號試架有8種動物而未發現植物，以苔蘚蟲、線蟲與旋鰓蟲為優勢種。4號試架有13種附著生物，比5號試架多了螺贏蜚、兩種海鞘與 4 種植物；以旋鰓蟲與鉤蝦(長觸角)為優勢種。此外，苔蘚蟲、線蟲、旋鰓蟲與藤壺的數量均有明顯的減少。

西21, 西22 號碼頭的兩次採樣共採獲 11種動物與4種植物，動物以線蟲與旋鰓蟲較多，植物則以布氏藻與水雲較多。21號試架僅採獲 6種附著動物而無植物，線蟲與旋鰓蟲為優勢種。20號試架的 11種動物中，線蟲、旋鰓蟲與史氏菊海鞘為優勢種，4種植物中，則以布氏藻與水雲為優勢種。20號試架較17號試架多了鉤蝦(長觸角與短觸角)與史氏菊海鞘，及 4種植物。14號試架之附著生物種類及優勢種，與20號試架相似，僅增多了少量的鉗貝、沙蠶與毛氏白腹海鞘等三種，而少了水雲藻一種。因此，若將14號試架與20號試架之附著生物合併，則西21, 22 號碼頭共有15種動物與 4種植物。

東2 碼頭兩次採樣共採獲27種附生動物，而未採獲任何植物。10號試架共採獲25種附著動物，以旋鰓蟲、螺贏蜚、鉤蝦(長觸角)與毛氏白腹海鞘為優勢種。9號試架 25種附著動物中，以螺贏蜚、鉤蝦(長觸角)與史氏菊海鞘為優勢種。10號試架中即已稀少的膜孔苔蟲與線蟲，不復在9號試架發現。旋鰓蟲、縷鰓蟲、藤壺與優勢的毛氏白腹海鞘也都大量減少，而玻璃海鞘、褶瘤海鞘的數量則增加。此外，史氏菊海鞘則大量增加。

整體而言，三個碼頭兩次採樣間均有一些相似的變化，包括了：苔蘚蟲、線蟲與藤壺數量都減少或消失，而團水虱、螺羸蜚與鉤蝦類的數量則增加。

然而，三個碼頭間的附著生物則有所不同。21, 22 號碼頭與 26, 27 號碼頭的附著生物，不僅在種類與優勢種相似，因浸漬時間不同而產生的變化也相近。第一次採樣時種類少，且皆無任何藻類附著，以苔蘚蟲與旋鰓蟲等小形附著生物或線蟲等微小之附生生物為主。第二次採樣時，附著種類大量增加，也增加了四種藻類；雖然小形附著與微細附生生物仍多，但也增加了一些行管棲的中、小形附生生物，但數量不多，如：團水虱、螺羸蜚與鉤蝦類。較大形的附著生物，如：貝類與海鞘類則數量稀少或未曾發現。

東 2 碼頭的附著生物則與前兩個碼頭有明顯的不同：種類多，無附生藻類，浸漬時間長短並未造成明顯變化；且以大形的附著生物與中小形附生生物為優勢。

(三) 試片材質與處理造成的差異

在相同擺放地點，附著生物的種類與數量與試片處理有關(表3.2至表3.8)。有機錫塗料與無機錫塗料之試片上，附著生物之種類與數量均少，而且以線蟲與苔蘚蟲為主，；浸漬六個月後，才增加了少數的貝類、螺羸蜚、鉤蝦、群棲性海鞘與藻類。而其他四種材質試板之附著生物的種類與數量，則沒有明顯的差別。

有機錫塗料，無機錫塗料 < 陰極，不銹鋼，混凝土，控制組

(四) 試片深度的差異

在相同擺放地點，相同材質的試板，附著生物的種類與數量，與試片擺置深度有點關係；但上層的試片表面附著生物的種類與數量較少，中間兩層的試板表面附著生物則似乎較多(表3.2至表3.8)。此種現象以附著生物種類較多或增加後愈形明顯。如：東2碼頭之9號試架之上層試片有8種生物，中層則下分別有17與 24種生物，下層則有18種生物。東 2 碼頭10號試架則分別有11種、22種、21種與 16種附著生物。而就各別種類之深度分布而言，海鞘類生物以中、下層試板較多；貝類、藤壺

與藻類以中、上層較多；多毛類與苔蘚蟲類以中層較多。而團水虱、螺、蠃蜚與鉤蝦類則無明顯的深度變化。

三、實驗室內生物腐蝕

(一)海水中pH之變化,除水泥塊之外其它任何一種試片,在非生物實驗組與生物實驗組有很明顯之差異,非生物實驗組pH變化少,而生物實驗組變化較大。

含裸鋼、不銹鋼或是裸鋼加上鋅片(犧牲陽極)、藍色油漆片之生物實驗組 pH 依培養時間增長而增加,可是含紅色油漆試片之實驗組及含水泥塊之實驗組pH依培養時間增長而減少。以下以各種試片作一說明:

1. 裸鋼:

各碼頭表層水、3M水、9M水之裸鋼試片實驗,其各水層與各組之pH變化範圍如下:

採水位置	試驗組別	pH 值之變化/70 days	
		表層水	3M 水 9M 水
東 2 號	滅菌組	7.5 ~ 8.32	
	海水組	8.36 ~ 9.46	
	海水 + BESA	8.40 ~ 9.35	
	海水 + $\text{MoO}_4^{=}$	8.33 ~ 9.26	8.29 ~ 8.88
西 22 碼頭	滅菌組	8.1 ~ 8.32	
	海水組	8.2 ~ 9.24	
	海水 + BESA	8.34 ~ 9.2	
	海水 + $\text{MoO}_4^{=}$	8.2 ~ 8.95	8.2 ~ 9.24
西 27 碼頭	滅菌組	8.12 ~ 8.32	
	海水組	8.2 ~ 9.45	
	海水 + BESA	8.30 ~ 9.35	
	海水 + $\text{MoO}_4^{=}$	8.32 ~ 9.07	

由以上裸鋼浸泡在各碼頭及各不同水層結果來看，其滅菌組變化比其他各組為小，其他各組pH變化有明顯增加趨勢，滅菌組的pH較低浸泡70天後滅菌與實驗組之pH差約有1.0。如圖3.8及3.9所示。

除東2碼頭表層海水+ MoO_4^{2-} 其pH變化與海水+BESA組及實驗組相差不多(如圖3.10)，其他各碼頭水層海水+ MoO_4^{2-} 其pH值增加情形比海水+BESA組及實驗組緩慢皆約20天後pH才有增加情形(如圖3.11所示)，故推測添加 MoO_4^{2-} 初期有抑制海水中硫酸還原菌活動現象但後期可能由於生物膜形成後硫酸還原菌不直接與 MoO_4^{2-} 接觸，故 MoO_4^{2-} 無抑制作用、海水之pH值有升高現象，滅菌組則因抑制細菌活動故pH值無明顯變化，海水+BESA組及實驗組因不影響微生物活力故pH值有漸漸升高現象。但從這些實驗組可以知道浸泡50天後pH升至9.0-9.2後pH值即有穩定下來不再增加之趨勢。這可能是在此高pH值下一般生物不易作用之緣故。

2. 紅色油漆片：

以東2碼頭3m深處水之塗有紅色油漆片浸泡結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化/73 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	7.66 ~ 7.87
	海水組	7.56 ~ 7.76
	海水+ BESA	7.68 ~ 7.48
	海水+ MoO_4^{2-}	7.7 ~ 7.84

以上可見各組pH變化皆很少為 0.2之間明顯的紅色油漆有抑制微生物活動之作用。

紅色油漆片浸泡在含 MoO_4^{2-} 或是含BESA之海水60天之變化幾乎與滅菌組相同，其pH與實驗組相比低約1.0。

3. 藍色油漆片：

以加入東 2 碼頭3m深處水之塗有藍色油漆試片實驗結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化/73 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	8.59 ~ 8.35
	海水組	7.96 ~ 7.99
	海水+ BESA	7.86 ~ 7.8
	海水+ MoO_4^{2-}	7.92 ~ 8.06

以上可見各組pH變化皆很少為0.2之間，明顯的藍色油漆有抑制微生物活動之作用。藍色油漆片浸泡在含 MoO_4^{2-} 之海水60天其pH之變化幾乎與滅菌組相同，其pH與實驗組相比低約1.0。

4. 不銹鋼片：

以加入東 2 碼頭 3m 深處水之不銹鋼試片實驗結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化/71 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	8.62 ~ 8.68
	海水組	8.17 ~ 8.71
	海水+ BESA	8.52 ~ 8.62
	海水+ MoO_4^{2-}	8.58 ~ 8.64

實驗組pH升約0.5, 第30天就平穩下來其他各組pH幾乎沒有變化且較低。

5. 混凝土塊：

以加入東 2 碼頭 3m 深處水之混凝土塊實驗結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化/57 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	10.64 ~ 10.64
	海水組	10.68 ~ 10.70
	海水 + BESA	10.69 ~ 10.32
	海水 + $\text{MoO}_4^{=}$	10.68 ~ 10.9

由以上可見各組pH並沒有明顯變化。如圖3.12所示pH偏高的原因是水泥是鹼性，且培養海水量較水泥塊重量還少，另生物不易在此高pH作用。

6. 大裸鋼片及鋅塊：

以加入東 2 碼頭 3m 深處水之大裸鋼片實驗結果如圖3.13其pH變化為 8.28~8.51/71days，另大裸鋼片加上犧牲鋅極實驗結果其pH變化為 6.31~7.0/71days，由此實驗可見加上鋅極片明顯降低pH值可能也有抑制微生物活力效果。另不加試片之海水pH由7.86~8.54 /73 days，而滅菌海水pH由8.7~8.5/73 days，未滅菌海水pH升高約0.7而滅菌海水pH不升反而降約 0.1，故由此可以看出，海水中之微生物作用造成pH之升高，故非生物浸泡與生物培養皆會造成pH之變化。

(二)依肉眼之觀察，發現滅菌組之試片產生之鐵銹並不比生物培養組之試片產生之鐵銹少。滅菌組之鐵銹似乎是較重較大粒，而生物培養

組之鐵銹像是棉絮狀，並在瓶子之表層形成一個薄薄的黑膜。可能是生物作用(電化學作用)與非生物作用產物不同，此鐵銹有待分析以進一步證實。

- (三)不論是何種試片之實驗，海水內添加 MoO_4^{2-} (硫酸還原菌抑制劑)者pH之變化比起海水對照組，或是海水內添加BESA(甲烷產生菌抑制劑)者少，腐蝕速率也小，故硫酸還原菌在厭氧腐蝕作用較重要。硫酸還原菌之活力(activity)或是硫酸還原作用，可能是造成pH變化之主要原因。
- (四)在生物培養實驗，剛開始海水中有很低濃度的硫離子，依培養時間增長，硫離子濃度增加，而硫酸根離子濃度則依培時間增長而降低，如圖3.14及3.15所示，此即硫酸還原作用。不論是何種鋼片取何處之海水皆有此現象，但此現象以用裸鋼加入東2碼頭表層水之實驗最顯著。實驗組與海水+BESA組之硫酸還原率最高。可能因東2碼頭表層水比起西22碼頭，西27碼頭污染程度較高，其有機物含量可能造成東2碼頭表層水硫酸還原速率較高。
- (五)紅色油漆內含抗生物附著劑(antifouling agent)，但不含錫。藍色油漆內則含抗生物附著劑及錫。雖然含紅色油漆或是藍色油漆試片之海水pH都會下降，且兩者pH下降之速率並沒有多大差異，但從肉眼觀察，含藍色試片比含紅色油漆之海水較清澄，也只在一二處角落看到鐵銹，含紅色試片之海水則有許多紅色小粒狀之物像是油漆剝落。造成pH降低之原因則不明有待進一步之研究。有關藍色油漆是否較毒就不清楚，此亦有待進一步研究。
- (六)裝有鋅片(犧牲陽極)之裸鋼不會生銹，反而在裸鋼之表面四周產生白色的鹽。沒有裝鋅片之裸鋼則產生許多黑色棉絮狀之黑色銹於裸鋼表面四周。
- (七)裸鋼之生銹在水污染較嚴重之東2碼頭表層海水最多，在3m深處或是9m深處鐵銹似乎少一點，其他碼頭水不論是表層水或是3m深處水，9m深處水，鐵銹程度相近，此論點俟爾後量測各碼頭各深度海水之總碳量後，可以較明確。
- (八)通常鋼片試片放入海水中，很快地就有一層很薄的生物膜產生。已有報告指出硫酸還原菌屬於金屬表面很複雜之生物膜內微生物群（

microbial community)之一員。生物膜是一個很生動的(dynamic)構造，其中包括有細胞，胞外多糖類(extracellular polymeric substances)及無機物(包括腐蝕物)。此生物膜位於金屬與外界海水之間有傳遞溶解物質與氣體的功能。含試片之海水經生物或是非生物培養一段時間後，pH升高至9.4以上或是6.0以下，對生物膜之影響，甚至腐蝕速率之影響有待查明。

- (九)現場試驗(field test)約兩個月後亦發現，不同碼頭的水或是不同深處的海水對裸鋼腐蝕之程度似乎是無直接關係。塗上油漆不論含錫或是不含錫很明顯地降低腐蝕及附著生物附著之機率。
- (十)不論是含任何一種試片或是不含試片之海水中 Cl^- ， Ca^{+2} ， Mg^{+2} 離子之濃度在浸泡期間皆一樣沒有變化，如圖3.16~3.23所示。

表3.1 試片擺放三個月(84.1)與六個月(84.4)後，不同擺放地點，附著生物的種類與數量。
以各試片之採樣數量推估各站試片上各種生物之平均總量。()內為採集月份。

				西26.27碼頭		西21.22碼頭		東2 碼頭		
				NO.5 (84.1)	NO.4 (84.3)	NO.17 (84.1)	NO.20 (84.3)	NO.14 (84.3)	NO.10 (84.1)	NO.9 (84.3)
外肛動物門	苔蟲綱	唇口目	膜孔苔薛蟲	C	O	R	R	O	R	
			裂孔苔薛蟲	O	O		R	O		
			多室草苔蟲	O					O	R
	裸唇綱	梯口目	葡萄苔蟲						O	O
線形動物門	線蟲綱		線蟲	C	O	A	O	O	R	R
扁形動物	渦蟲綱	三岐腸目	渦蟲						R	R
軟體動物	斧足綱	異形目	翡翠貽貝						R	R
			牡蠣						O	O
			扇貝	R		R	R	R	R	R
			鉗貝					R	R	R
環節動物門	多毛綱	纓鋸蟲目	旋鋸蟲	A	C	O	O	C	A	O
			纓鋸蟲						O	R
		葉鬚蟲目	沙蠶					R	R	R
			水蠶						R	
			游蠶						R	
節肢動物門	甲殼綱	完胸目	三角藤壺	O	R	R	R	R	O	R
			網紋藤壺						O	R
		等腳目	圓水虱			R	R	R	C	R
		端腳目	螺贏蟹		R	R	R	R	C	C
			鉤蝦(長觸角)	O	C		R	R	C	C
			鉤蝦(短觸角)				R	R	O	O
			麥桿蟲						R	R
尾索動物門	海鞘綱	原足目	原足蟲							R
		內性目	玻璃海鞘						O	O
			毛氏白腹海鞘		R			R	A	R
		側性目	褶瘤海鞘						R	O
			冠瘤海鞘						O	O
			史氏菊海鞘		C		R	O		C
綠藻門	綠藻綱	管枝藻目	布氏藻		R		O	O		
		石蓴目	腸游苔		R		R	R		
紅藻門		仙菜目	紅藻 sp.		R		R	O		
褐藻門		水雲目	水雲		O		O			
總種數				8	13	6	15	17	25	26

R:1-5隻(株)，O:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上

表3.2 試片擺放三個月(84.1)與六個月(84.4)後，不同擺放地點，附著生物的種類與數量。
以各試片之採樣數量推估各站試片上各種生物之平均總量。()內為採集月份。

				西 26. 27 碼頭		西 21. 22 碼頭			東 2 碼頭	
				NO. 5 (84. 1)	NO. 4 (84. 3)	NO. 17 (84. 1)	NO. 20 (84. 3)	NO. 14 (84. 3)	NO. 10 (84. 1)	NO. 9 (84. 3)
腸腔動物門	水螅蟲綱	花水母目	筒螭						0	0
外肛動物門	苔蟲綱	唇口目	膜孔苔藓蟲	C	0	R	R	0	R	
			裂孔苔藓蟲	0	0		R	0		
			多室草苔蟲	0					0	R
線形動物門	線蟲綱		線蟲	C	0	A	0	0	R	R
扁形動物	渦蟲綱	三岐腸目	渦蟲						R	R
軟體動物	斧足綱	翼形目	翡翠貽貝						R	R
			牡蠣						0	0
			扇貝	R		R	R	R	R	R
			鉗貝					R	R	R
環節動物門	多毛綱	纓鰓蟲目	旋鰓蟲	A	C	0	0	C	A	0
			纓鰓蟲						0	R
		葉鰓蟲目	沙蠶					R	R	R
			水蠶						R	
			游蠶						R	
節肢動物門	甲殼綱	完胸目	三角藤壺	0	R	R	R	R	0	R
			網紋藤壺						0	R
		等腳目	圍水虱			R	R	R	C	R
		端腳目	螺贏蜚		R	R	R	R	C	C
			鈎蝦(長觸角)	0	C		R	R	C	C
			鈎蝦(短觸角)				R	R	0	0
			麥桿蟲						R	R
尾索動物門	海鞘綱	原足目	原足蟲							R
		內性目	玻璃海鞘						0	0
			毛氏白腹海鞘		R			R	A	R
		側性目	褶瘤海鞘						R	0
			冠瘤海鞘						0	0
			史氏菊海鞘		C		R	0		C
綠藻門	綠藻綱	管枝藻目	布氏藻		R		0	0		
		石莖目	腸游苔		R		R	R		
紅藻門		仙菜目	紅藻 sp.		R		R	0		
褐藻門		水雲目	水雲		0		0			
總種數				8	13	6	15	17	25	26

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上

表3.3 在西26.27號碼頭(NO.5)擺放三個月後(84年1月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第一層						第二層						第三層						第四層					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
裂孔苔藓蟲	-	-			-	-		C	C	C	C	-	-	C			C	-	-				C
膜孔苔藓蟲				0	0				0	0	0			0	0	0	0				0		
多室苔藓蟲	-	-			-	-	R	C	0	0	0	-	-	0	0	R	R	-	-	R	R	0	0
練蟲	-	-	C	0	-	0	C	0	C	C	C	-	-	0	0	C	0	-	-	0	C	0	C
扇貝									R														
三角藤壺	-	-	0	0	-	R	-	R	R	0	R	R	-	-			0	-	-		0	R	
螺蟲蟹	-	-	R		-	R	-	0	0	0	R	-	-	C	0	0	0	-	-	0	0	0	0
旋鰓蟲	-	-	C	0	-	0	-	C	C	0	C	-	-	C	C	C	C	-	-	C	R	C	
種數			4	4	1	4		3	6	8	7	7			6	5	5	7		4	6	5	4

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.4 在西26.27號碼頭(NO.4)擺放六個月後(84年3月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第 一 層						第 二 層						第 三 層						第 四 層					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
裂孔苔藓蟲							0	C	0	R				C	0	R	R						
膜孔苔藓蟲								C	0	R				0			R			0	R	R	R
練蟲						0	0	0				0	0					0	0				
旋鰓蟲								C	0		0			C	C	0	0			C	0	0	0
三角藤壺								R	0					R						R	R	R	
螺蟲蟹											R				R			R					
鈎蝦(長觸角)															R			R			0	R	
毛氏白腹海鞘								R	R													R	
史氏菊海鞘								0	C	C	C			C	0	C	C	R		0	0		
布氏藻								0	C						R								
腸浒苔																R							
水雲								R	0	R	R			R	R	0				R			
紅藻								0	R					R	0					R	R		
種數						1	2	10	9	4	4	1	1	7	7	5	4	3	2	6	6	4	2

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.5 在西21.22號碼頭(NO.20)擺放六個月後(84年4月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第一層						第二層						第三層						第四層						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
裂孔苔蟲									0					0	0									
膜孔苔蟲																0	0	0	C					
綠蟲	C	C	C	0	0	R	0	0	C	0	R	R	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
扇貝																R		R						
旋鰓蟲			R	R	R	R		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
三角藤壺						R						R											0	
團水虱						R																	R	
螺蟲蜆			R			0			R		R				R		R				R	R	R	
鈎蝦(長觸角)											0	R												
鈎蝦(短觸角)		0				0																		
史氏菊海鞘								0	0	R					0	R								
布氏藻			R	R		0	C	C	C	C		C	C	0	R	0	C	R	R		R	R		
腸游苔						R	R			R		R					0							
水雲			0	0	R		0	0	R	0					R	0	R					R	R	
紅藻				R	0			0	0	R	0			R	0	0								
種數	1	1	6	5	4	8	1	2	7	7	9	5	4	2	7	8	7	7	2	5	5	4	5	4

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.6 在西21.22號碼頭(NO.20)擺放六個月後(84年4月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第一層						第二層						第三層						第四層						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
裂孔苔蟲									0					0	0			0				0		
膜孔苔蟲		0		0	0			0	0						0		0			0		0		
綠蟲	0	0	C	0		C	0	0				C	0					C	0			0		
扇貝								0		R				R						R				
鈎貝									R						R									
旋鰓蟲				0	0	R	0	C	0	0	0	R	R	C	0	R	R		0	C	0	0	0	
沙蠶											R													
三角藤壺				0					0															
團水虱				R																				
螺蟲蜆			R		0	R		R	0	R	R					R	R		R			R	0	
鈎蝦(長觸角)											R											R		
鈎蝦(短觸角)			R														R					R		
毛氏白腹海鞘																					R	0		
史氏菊海鞘								0	C	0									0					
布氏藻			R	0	R	R	R	0	C	0	R		R	0	C	R	R			0	0	0	R	
腸游苔				R	R	R		R	0	0	R	0												
紅藻			R	R	0	R		R	R	0	R				0	0	0	R		R		0	C	
種數	1	2	2	8	7	4	4	5	8	10	7	7	2	3	5	6	5	5	1	4	6	3	9	4

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.7 在東2 號碼頭(NO.10) 擺放三個月後(84年1月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第 一 層							第 二 層							第 三 層							第 四 層						
1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
膜狀苔蘚蟲	-	-			0		-	-		0	0			-	-			0	0		-	-					
多室苔蘚蟲			0	0	0					0	0	0				0	0	0	0				0	0	0	0	
筒地										0	0						0	0	0					0	0		
蝶蟲	-	-	0	0	0		-	-	0	0	0	R		-	-		R	R			-	-	R	R			
渦蟲	-	-					-	-						-	-			R	R		-	-					
翡翠貽貝	-	-					-	-						-	-						-	-			R		
牡蠣	-	-					-	-			R			-	-		R	0			-	-	R	R	0	R	
扇貝										R		R					R						R	R	R		
鉗貝											R							R					R				
旋鰓蟲	-	-		R	R	R	-	-	C	C	A	C		-	-	C		C	C		-	-	C	0	0	C	
纓鰓蟲	-	-					-	-	0	R	0			-	-		C	0	R		-	-	0	0	0	0	
沙蠶	-	-					-	-						-	-		R		R		-	-					
水蠶	-	-					-	-						-	-		R				-	-					
游蠶	-	-					-	-						-	-		R				-	-					
三角藤壺	-	-					-	-						-	-			R			-	-		0			
網紋藤壺	-	-	0	0	0	R	-	-	0	0	0	0		-	-	0	C	C			-	-	0	0	0		
圓水虱	-	-			C		-	-						-	-	R	R				-	-				0	
螺蟲蜆	-	-		0	0		-	-	0	0	R			-	-	R	0	R	C		-	-	0	C	0	A	
鈎蝦(長觸角)	-	-		0	R		-	-	0	0	A			-	-	0	C	C	0		-	-	0	C	C	0	
鈎蝦(短觸角)	-	-					-	-	R	0	0			-	-	R	0	0	0		-	-	0	0	0	0	
麥桿蟲	-	-					-	-						-	-				R		-	-				R	
玻璃海鞘	-	-					-	-	R		0	0		-	-			R	0		-	-		R			
褶瘤海鞘	-	-					-	-		R	0			-	-			R			-	-					
冠瘤海鞘	-	-					-	-	R	0	0			-	-			0	R		-	-					
毛氏白腹海鞘	-	-					-	-		C	C			-	-	A	A	A	C		-	-	A	A	A	A	
種數			3	5	8	3				9	14	16	6				8	15	18	14				11	15	12	10

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失

1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片

6:控制組試片

表3.8 在東2 號碼頭(NO.9) 擺放六個月後(84年3月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第一層						第二層						第三層						第四層					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
多室苔蘚蟲																							
筒螭																							
綠蟲																							
渦蟲																							
翡翠貽貝																							
牡蠣																							
扇貝																							
針貝																							
旋鰓蟲																							
纓鰓蟲																							
沙蠶																							
水蠶																							
游蠶																							
三角藤壺																							
網紋藤壺																							
圓水虱																							
螺蟲蜆																							
鈎蝦(長觸角)																							
鈎蝦(短觸角)																							
參桿蟲																							
原足蟲																							
玻璃海鞘																							
褶瘤海鞘																							
冠瘤海鞘																							
毛氏白腹海鞘																							
史氏菊海鞘																							
種數																							

R:1-5隻(株)，O:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失

1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片

6:控制組試片

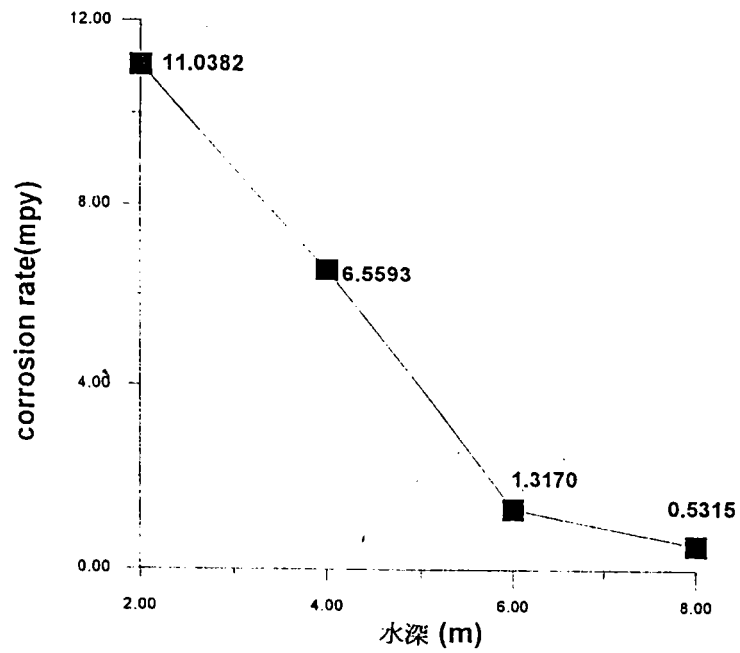


圖3.1 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係
(基隆港碼頭浸漬三個月)

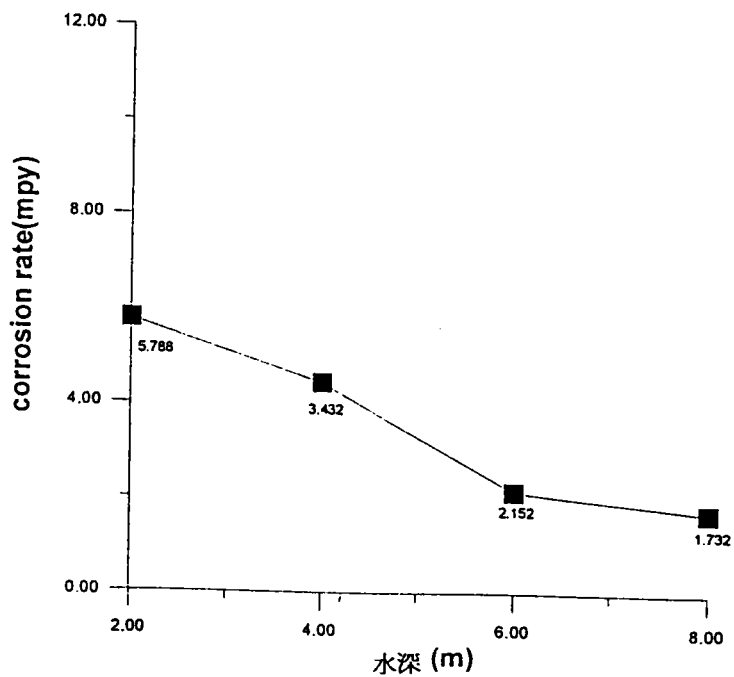


圖3.2 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係
(基隆港碼頭浸漬六個月)

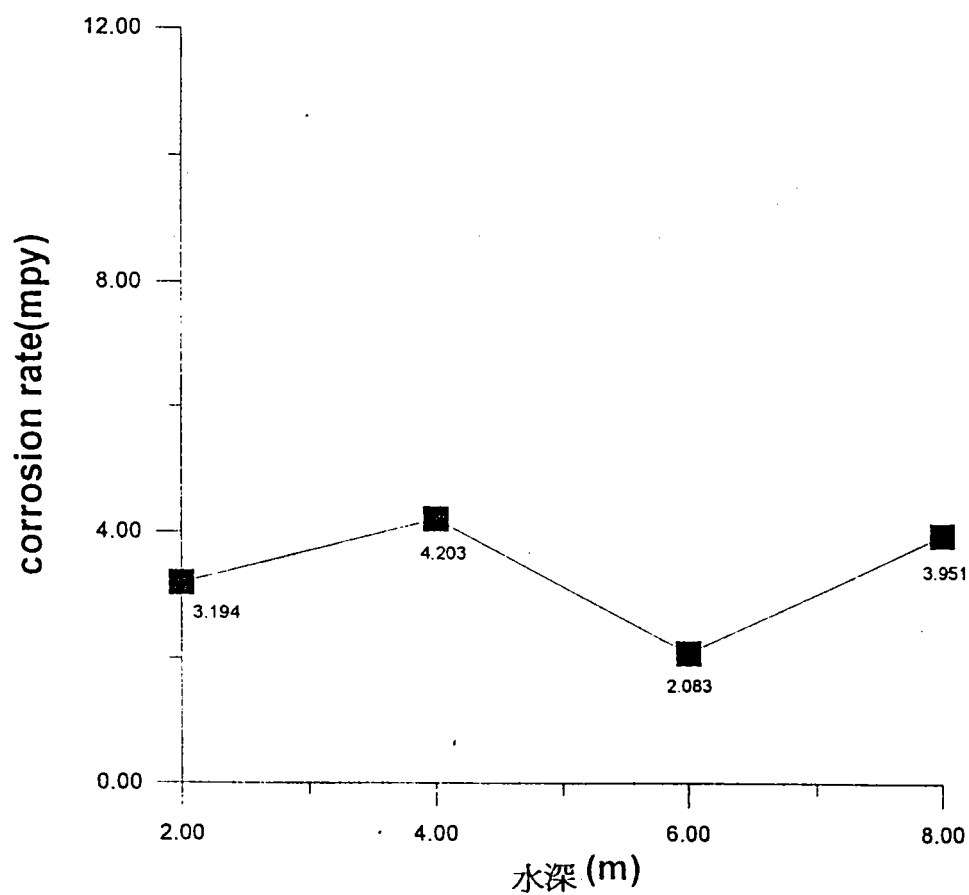


圖3.3 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係
(浸漬在東二碼頭六個月)

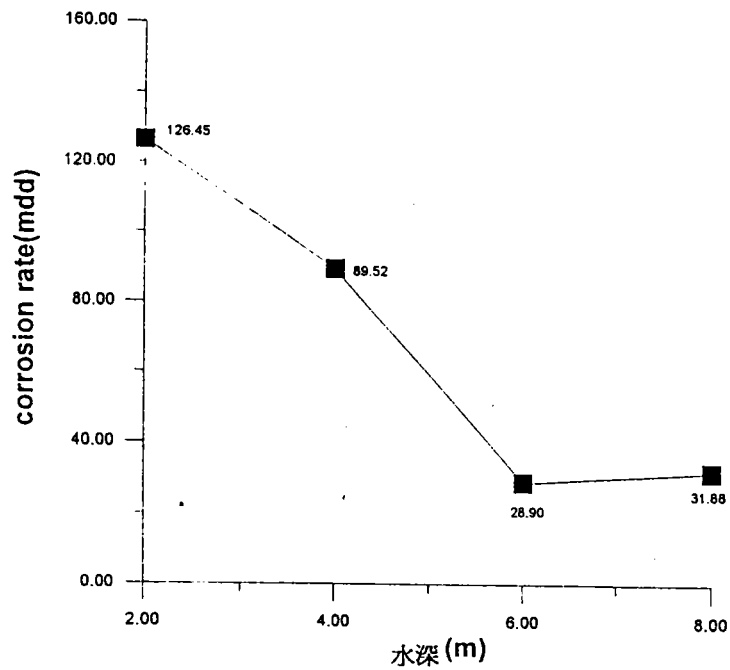


圖3.4 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬三個月).

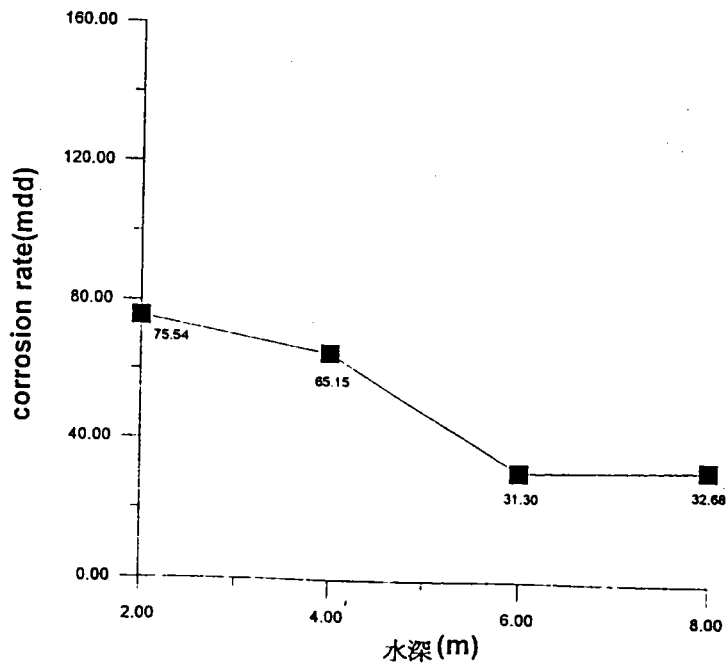


圖3.5 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬六個月).

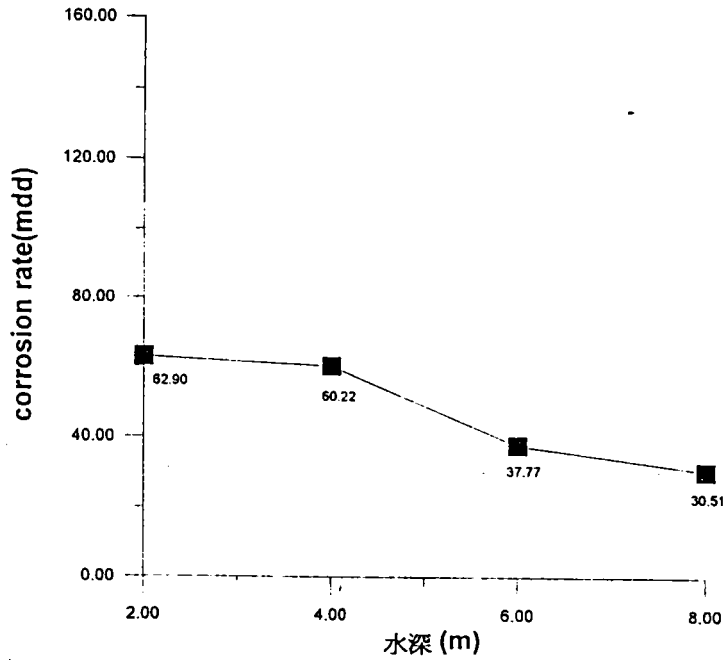


圖3.6 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量(浸漬三個月)

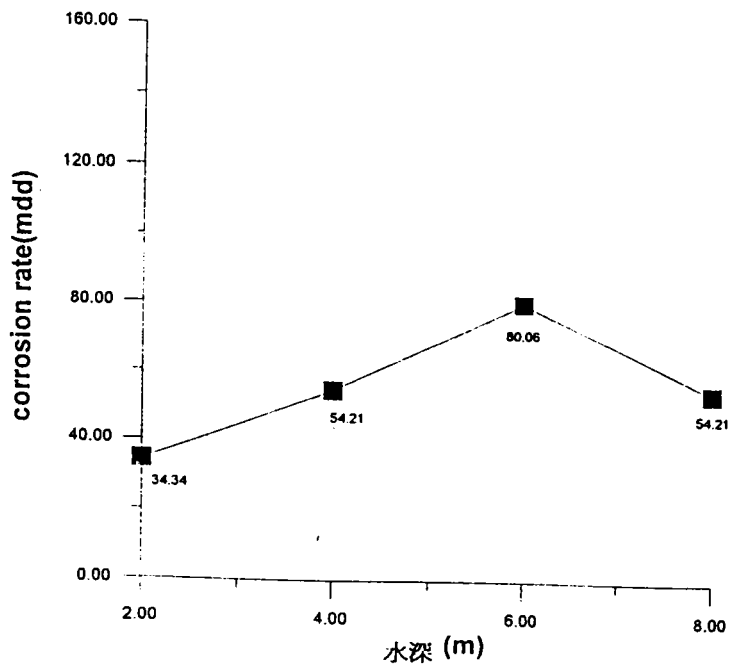


圖3.7 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量(浸漬六個月)

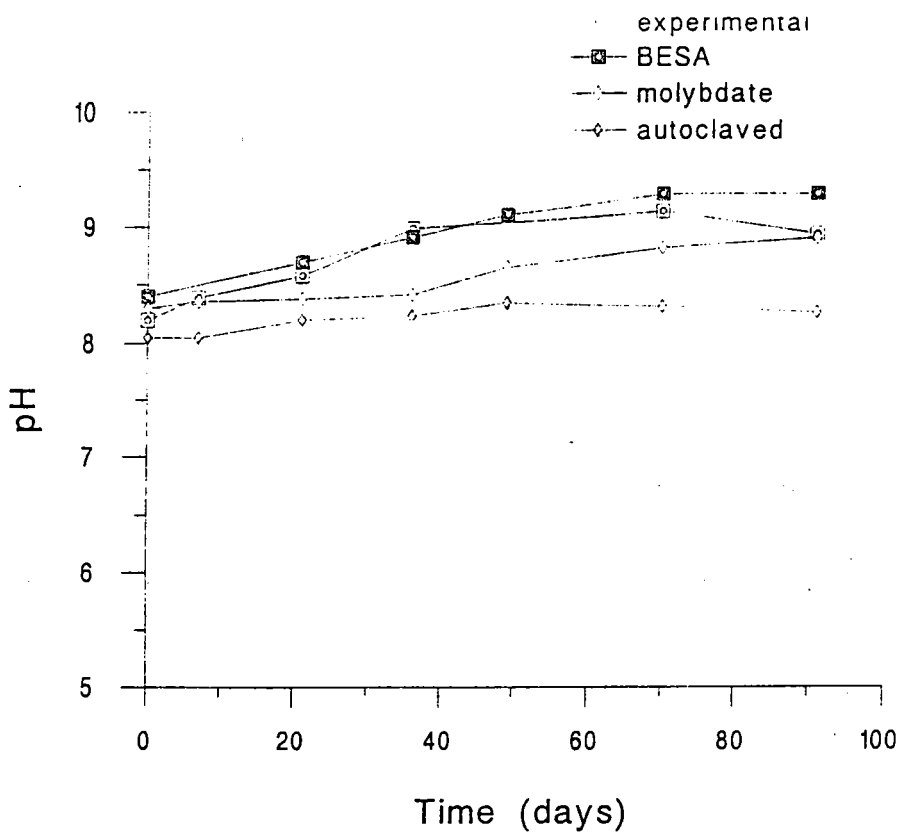


圖3.8 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 表層水)

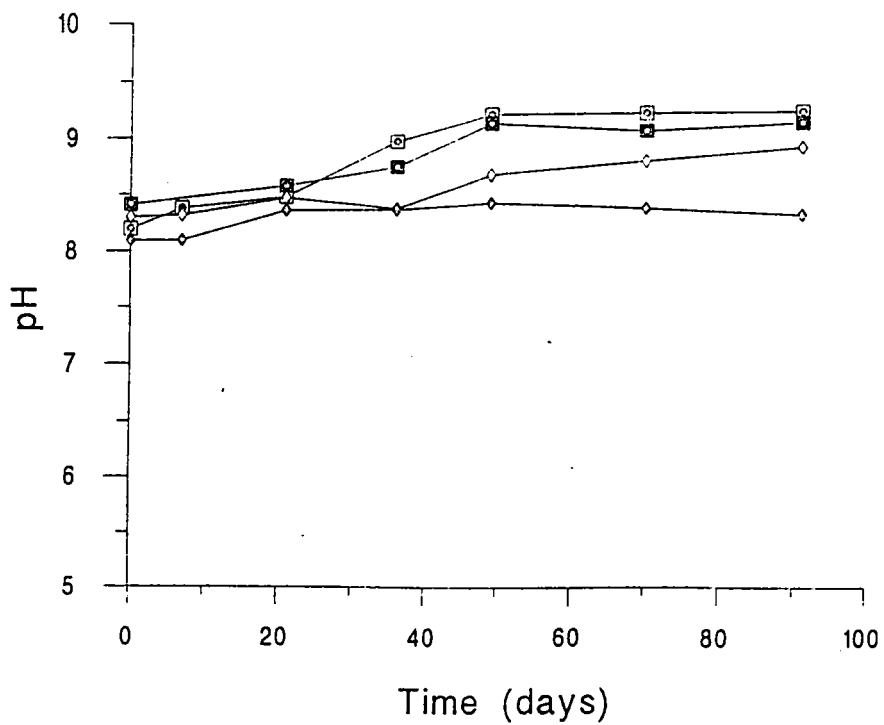


圖3.9 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 3M 水)

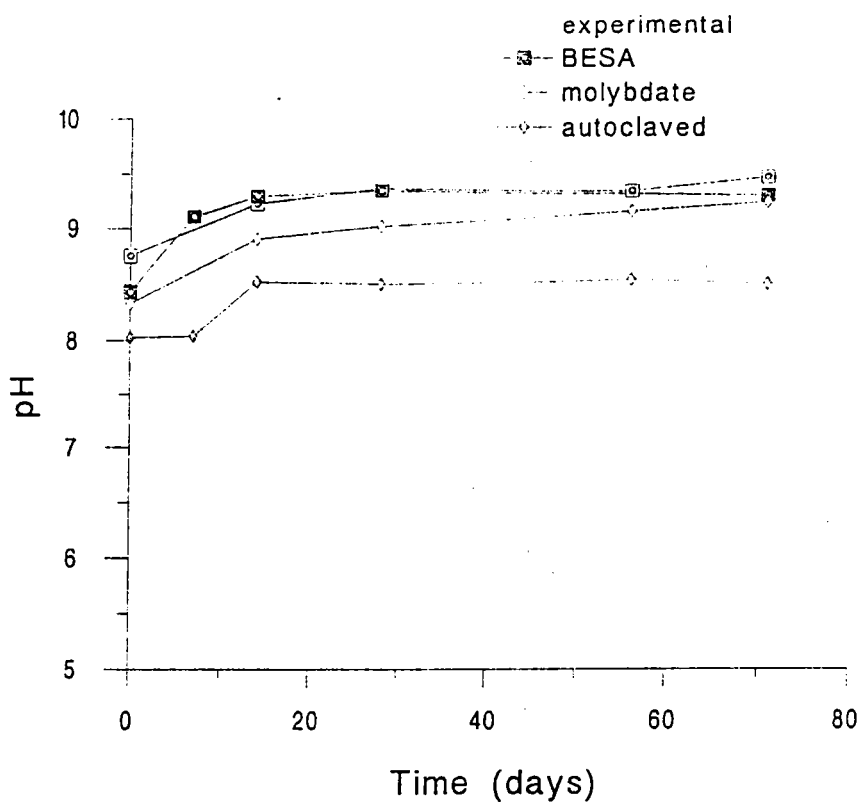


圖3.10 裸鋼之pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 表層水)

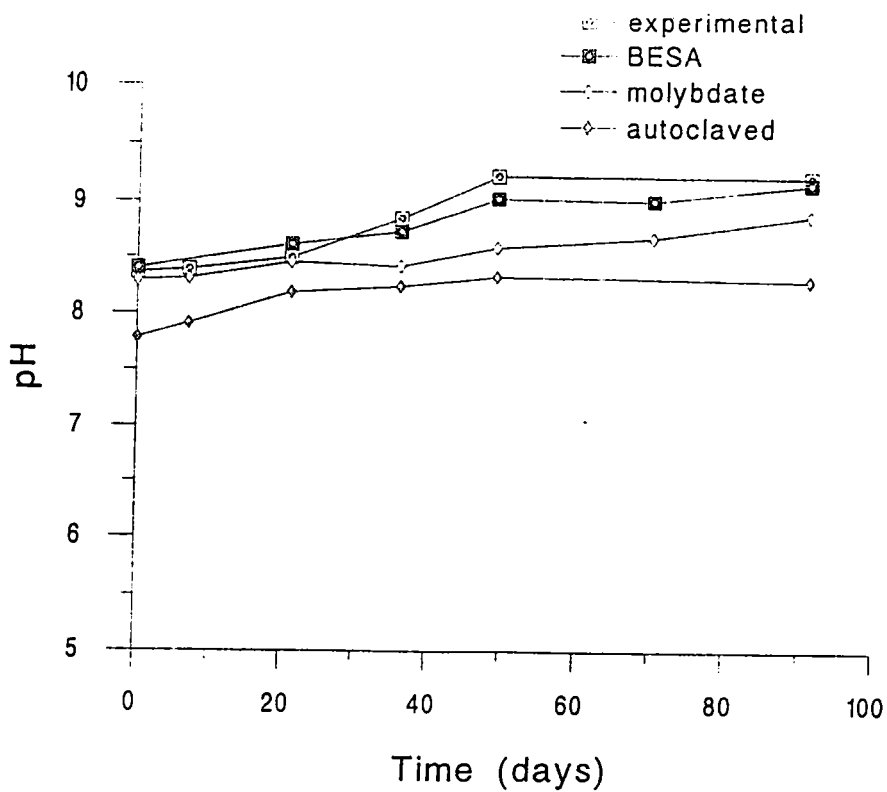


圖3.11 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西2碼頭, 3M 水)

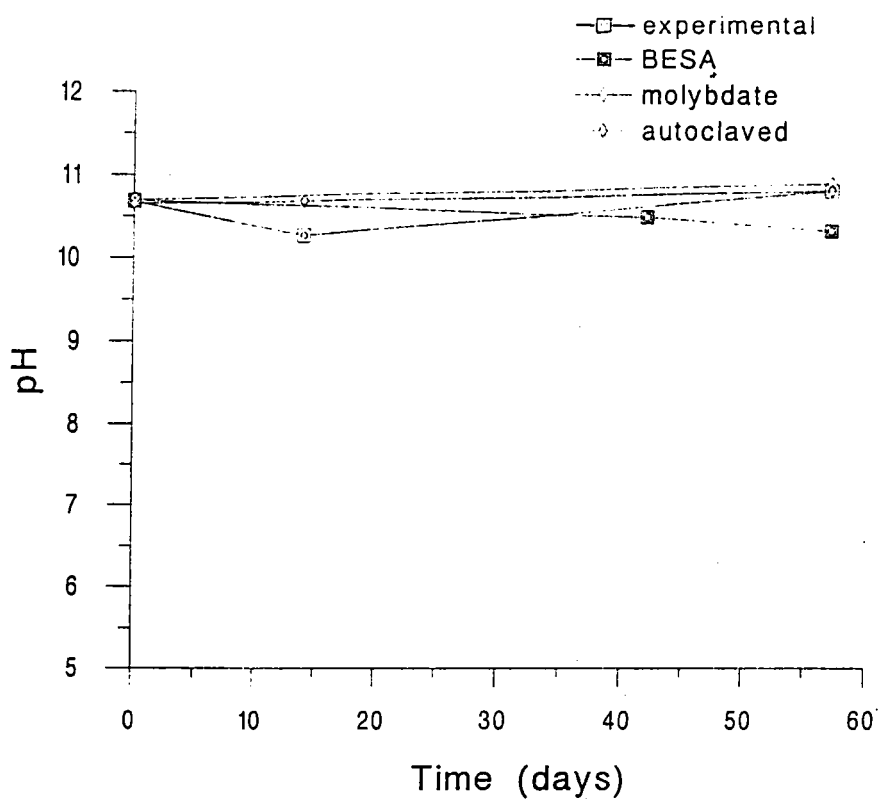


圖3.12 水泥塊之pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 3M 水)

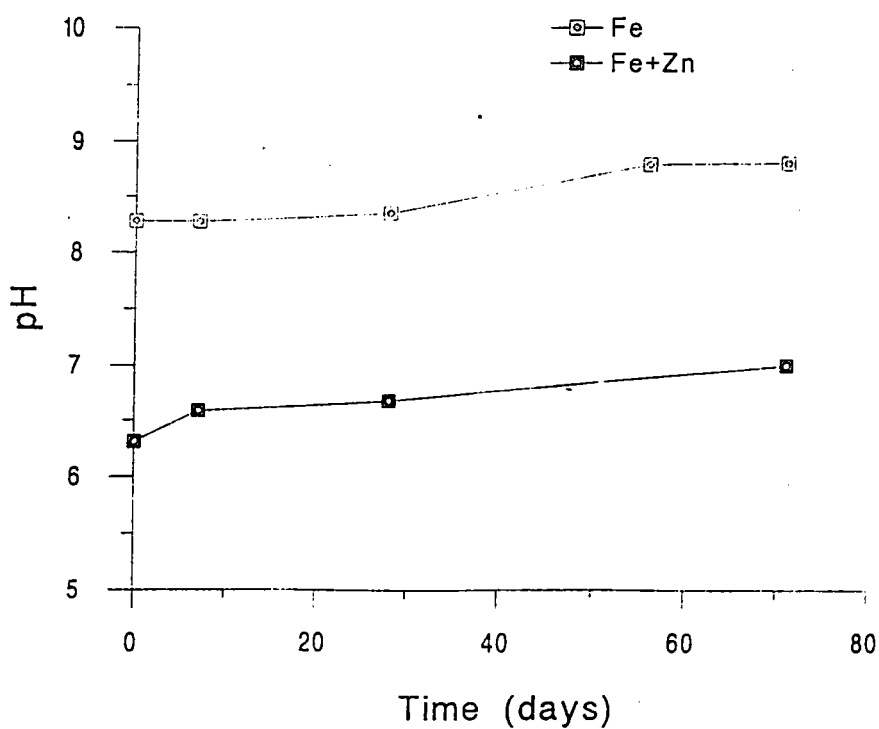


圖3.13 大裸鋼片及大裸鋼片加上犧牲陽極之 pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 3M 水)

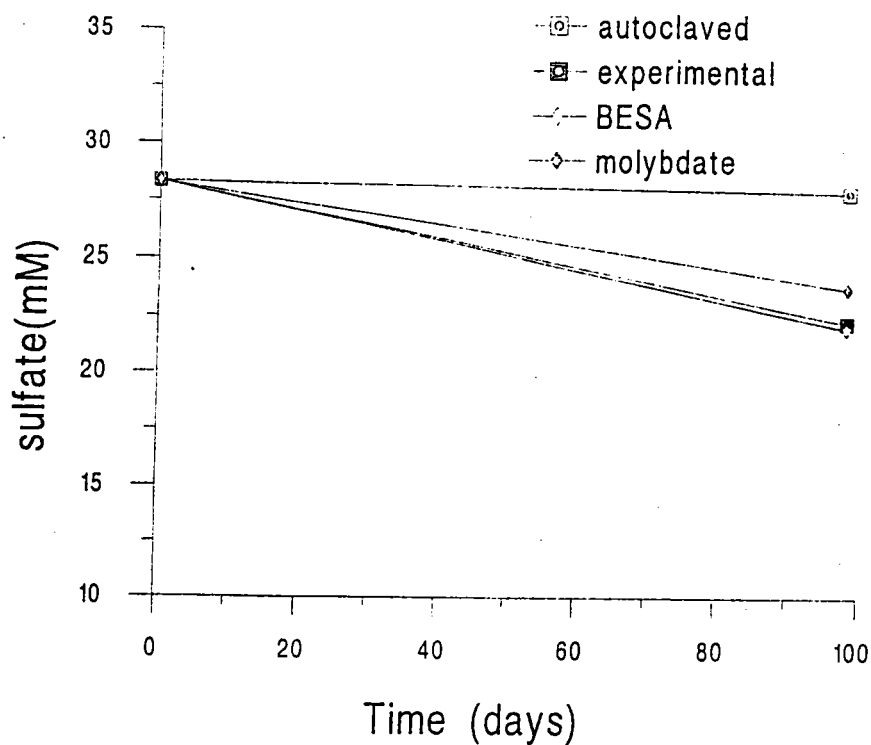


圖3.14 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

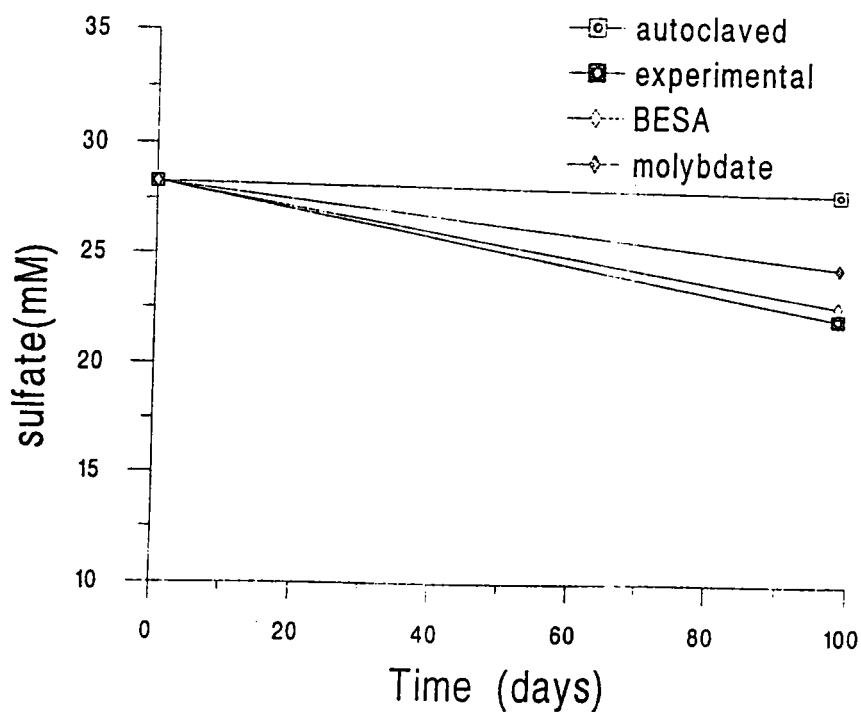


圖3.15 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西22碼頭表層水)

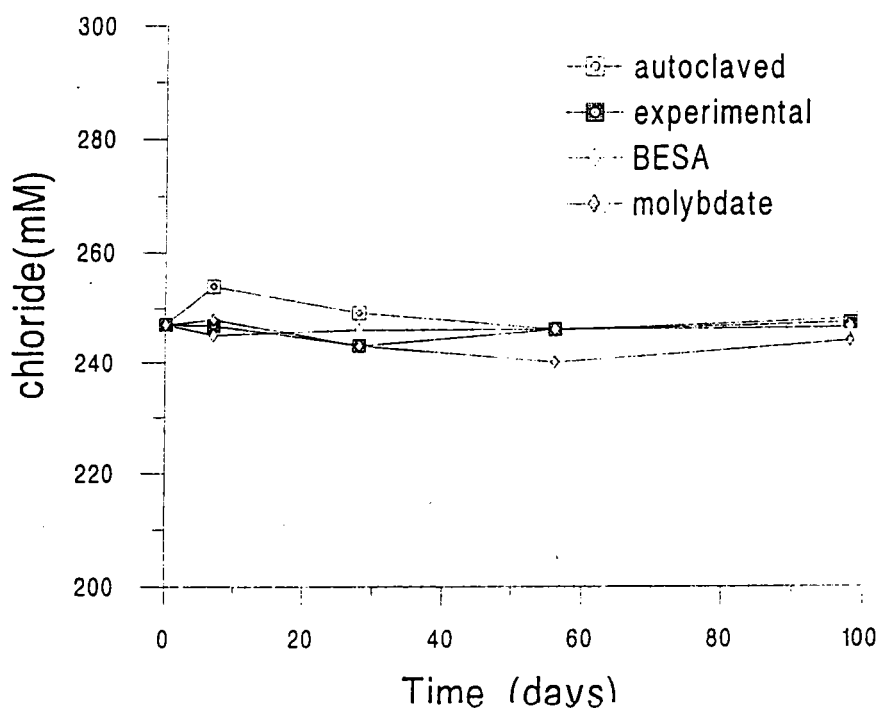


圖3.16 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

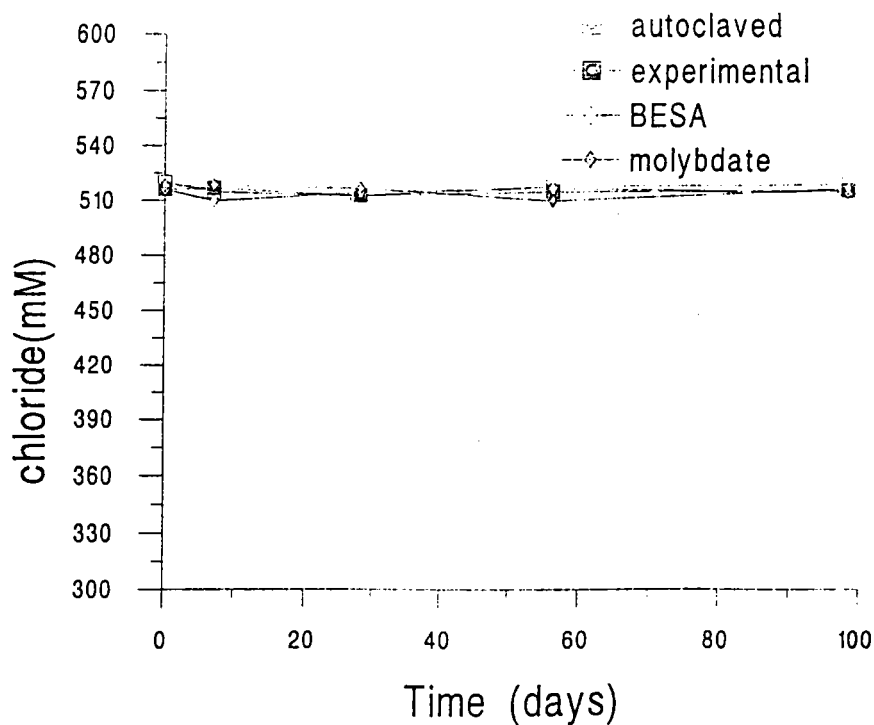


圖3.17 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭, 3M 水)

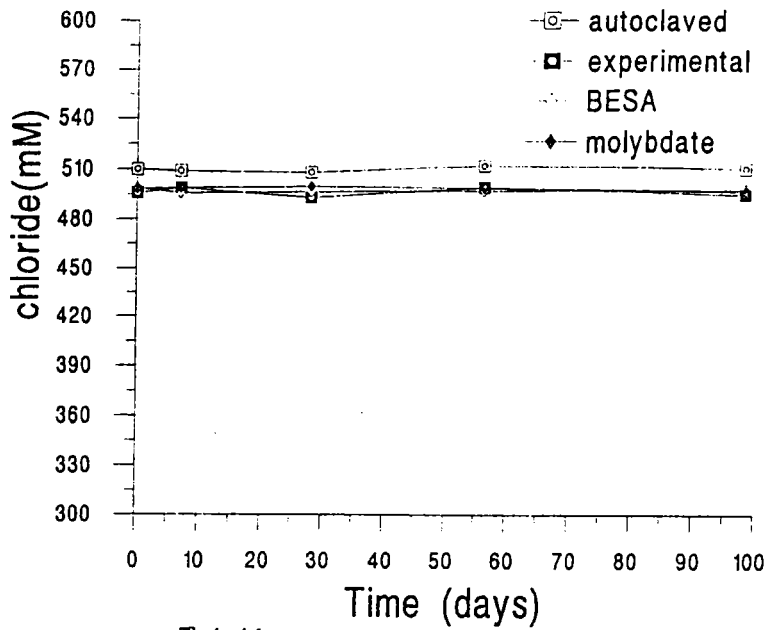


圖3.18 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西27碼頭表層水)

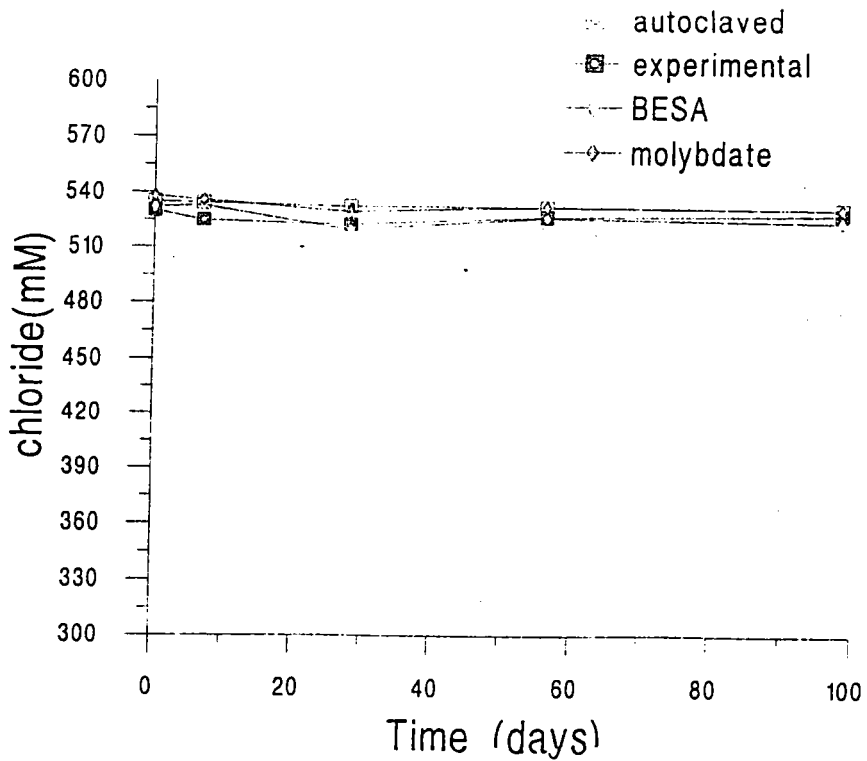


圖3.19 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西27碼頭, 3M 水)

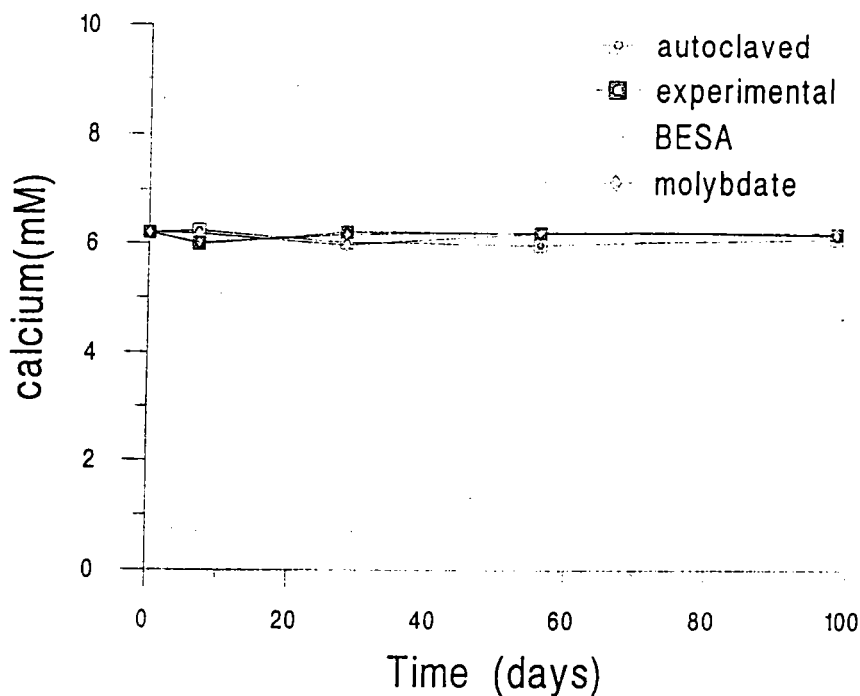


圖3.20 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

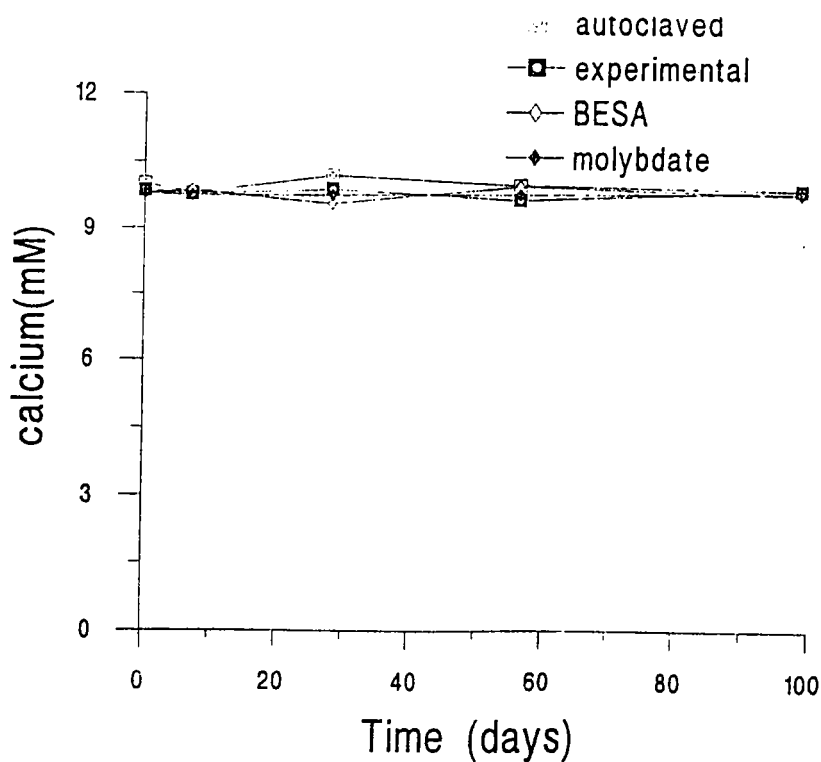


圖3.21 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西22碼頭表層水)

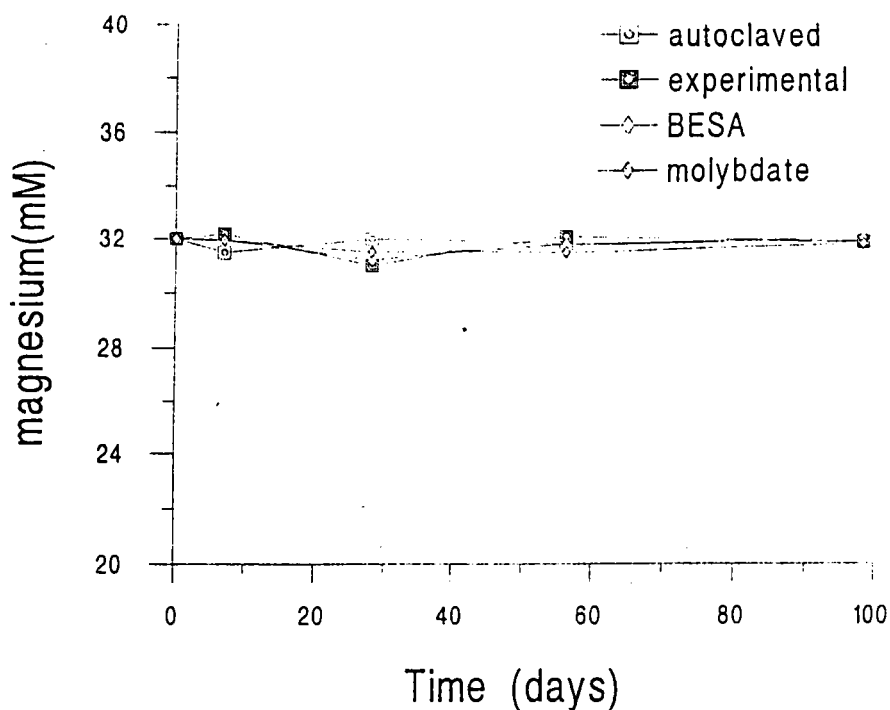


圖3.22 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東 2 碼頭表層水)

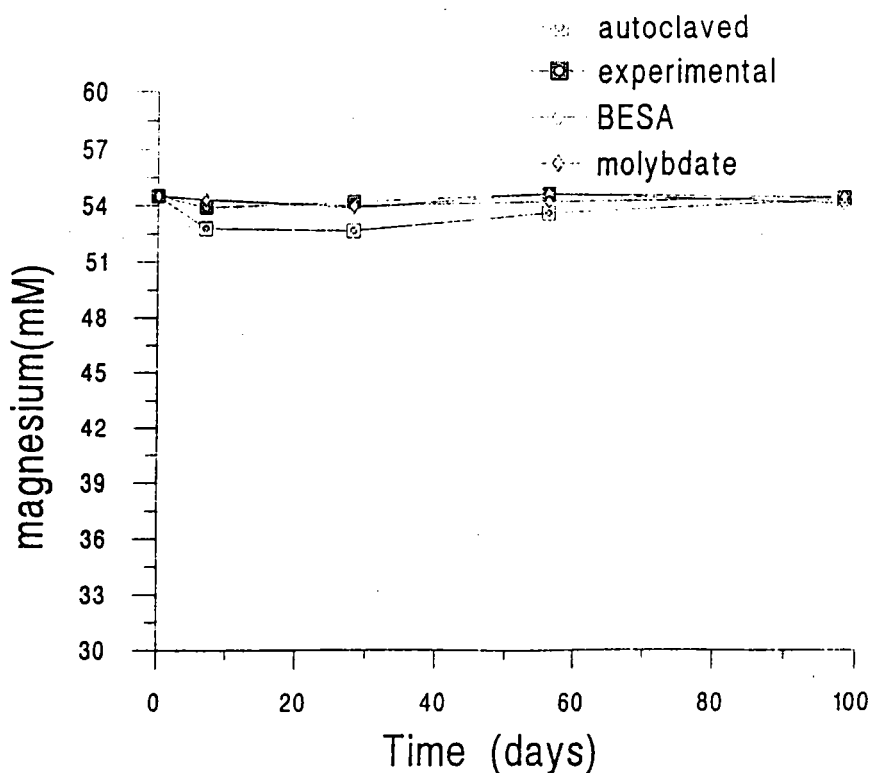


圖3.23 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東 2 碼頭, 3M 水)

肆、結論與建議

一、結 論

- (一)進行中的基隆港海域材料腐蝕情況結果顯示，犧牲陽極能保鋼材有效防蝕，有錫與無錫防海生物附著塗料，6 個月亦能有效防蝕及防污附著，未保護之裸鋼顯示腐蝕速率隨海水深度增加而降低，304 不銹鋼因海生物附著有嚴重孔蝕現象。且亦受間隙腐蝕。
- (二)各試樣初期附著生物多為體型小，鑑定困難之種類為多，也包括線蟲、苔蘚蟲、端腳類、等腳類等附生性之生物；浸漬六個月後，大型與群體性附著生物增加，如：海鞘與貝類等；此等種類均甚難鑑定，且國內相關的學者與研究甚少，相關的參考資料不多；故計劃於未來全部試樣完成初步分類後，再將若干樣本寄送國外專家協助，作進一步之詳細鑑定。
- (三)附著生物覆蓋面積之定量，亦為了解附著生物影響的重要指標，限於人力與時間，未來將嘗試利用以拍照之幻燈片，以影像分析方法計算之。
- (四)附著生物之種類與數量明顯地與擺放位置有關。東二碼頭之試片表面的生物種類多於其他兩個碼頭，且兩次採樣間沒有明顯變化，可能單純地受環境因子，如：營養物質含量、水流、潮汐等限制，如此區之試板表面均未發現藻類附著，有可能是因其水質混濁，透光度低所致。此外，也可能是因環境因子不同，造成附著生物的自然演替速率不同所致。一般而言，矽藻、細菌、線蟲與真菌等微細生物為早期附著生物；水螅、海葵、苔蘚蟲、旋鰓蟲與藤壺往往是中期附著生物；而貝類、海鞘與中小形附生生物，如：螺羸蜚，則屬於最終之附著生物。由此觀之，西21, 22號碼頭與 西26, 27 號碼頭之附著生物相類似於中期的附著生物相，而東二碼頭之附著生物相類似於晚期的附著生物相。東二碼頭附近海域營養物質較豐富，有可能導致其附著生物演替加快。

- (五)浸漬三個月與六個月後，三個碼頭之藤壺、旋鰐蟲、纓鰐蟲與毛氏白腹海鞘的數量減少或消失，除了附著生物的自然演替現象外，也可能是季節變化所致，第一次採樣時間(84.1.5)採集之生物，為秋季之附著生物，較不耐低溫；冬季時，溫度降低，即大量死亡；因此，第二次採樣時(84.4.1)，這些生物之數量即大量減少。至於何者是主要原因，則可由往後各季之採樣結果而得之。
- (六)有機錫與無機錫之塗料，均含有不利於生物之化學物質，能有效的延緩附著生物之演替速率；在浸漬三個月之試板，附著生物都以線蟲與苔蘚蟲等早期演替生物為主；浸漬六個月之試片，部份表面黏附了一層泥屑，並開始出現少量的貝類、螺、蠃蜚與海鞘等晚期演替生物。而其他材質之試板表面，在浸漬三個月與六個月後，都先後出現大量的晚期演替生物。因此，此兩種塗料能有效的防止附著生物之附著；而其防止生物附著的有效時期，則有待後續的採樣，才得以了解。
- (七)裸鋼浸泡在海水不多時 pH 就會增加，裸鋼也開始被腐蝕，不過當海水 pH 增加至 9.0-9.2 時 pH 就穩定下來。這可能意味著 pH 增加至 9.0 以上微生物作用較少。但此時腐蝕作用是否仍在進行就不清楚。有報告指出 pH 增高(>8.0)生物腐蝕速率就會降低⁽²¹⁾。
- (八)海水內添加 2mM 之 MoO_4^{2-} (硫酸還原菌抑制劑)會抑制裸鋼之生物腐蝕速率。不過從海水之 pH 變化來看， MoO_4^{2-} 添加初期對含裸鋼海水 pH 增加有抑制作用，但浸泡一陣子後，pH 就漸漸增加，此可能意味著，浸泡一陣子後，裸鋼表層之生物膜形成⁽⁹⁾⁽¹³⁾⁽²²⁻²³⁾，生物膜可以防止硫酸還原菌直接接觸 MoO_4^{2-} ，不過此須進一步研究來證實。但以整體來看添加 MoO_4^{2-} 對生物腐蝕有抑制作用。
- (九)添加 BESA (甲烷菌抑制劑)於海水，對含裸鋼之 pH 增加沒有抑制作用，且其海水之生物腐蝕率與實驗組之生物腐蝕率相同。這可能表示甲烷菌在生物腐蝕作用較不重要⁽¹²⁾⁽²¹⁾⁽²⁴⁾。

(十)含裸鋼之海水其 pH 值會增加，但塗有紅色油漆或是藍色油漆之裸鋼之海水其 pH 不會增加，有時反而會降低。從肉眼觀察也知道紅色油漆片或是藍色油漆片之海水較澄清。紅色油漆與藍色油漆均含防污劑，藍色油漆內更含有有機錫，它們對水生生物之毒性仍不清楚，不過以環保眼光來看，我們在中長程研究中須做這方面的探討找出毒性低但防蝕防銹效果好的防污劑^(16, 18, 19)。

(十一)添加 BESA，或是 MoO_4^- 於含紅色油漆片或是藍色油漆片海水，其 pH 不變幾乎與滅菌組相同，故細菌抑制劑與油漆防污劑同時使用對防銹防蝕有效。

(十二)不論是含任何一種試片，或是不含試片之海水中 Cl^- 、 Mg^{+2} 、 Ca^{+2} 離子在浸泡期間皆一樣沒有變化。

(十三)浸泡裸鋼之海水其 SO_4^- 離子在浸泡期間低，尤其是東 2 碼頭表層水中 SO_4^- 離子降低速率及 S^- 離子生成速率最快。因為裸鋼在東 2 碼頭表層水中之腐蝕速率最大，故在厭氧環境下硫酸還原作用可能是造成腐蝕主因⁽²⁵⁻³³⁾。東 2 碼頭表層水，比起 3M 深或 9M 深處水及其西 22 碼頭，西 27 碼頭表層，3M 深或 9M 深之硫酸還原速率高，此可能也是由於此處污染程度較高有機物含量較高所致。因過去有報告指出有機污染物含量較高的海水中腐蝕速率較高，此亦須進一步研究證實。

二、建 議

(一)附著生物之附著狀況，除了與深度與試片處理有關外，擺置點之各項物化因子，如：透光度、酸鹼值、水溫、營養鹽濃度與重金屬離子濃度，也都有可能影響附著生物之種類與數量。未來須考慮採水樣以測定其水質環境。

(二)國內相關研究與參考資料甚少；故須添購歐、美、日各國與大陸地

區相關之研究專書；此外，若能將若干樣本寄送國外專家協助，則除能作進一步之詳細鑑定外，亦有助於國內此類研究水準之提昇；俾提供正確且有效之除污損生物方法。

- (三)限於人力與物力，本研究中僅能以附著生物之數量進行比較；但卻無法考慮附著生物之體型差距頗大之情況。未來若能增加人力，則除了以影像分析方法計算之附著面積外，亦將比較附著生物之重量差異；以能正確掌握各附著生物之變化及各類附著生物之相對重要性。
- (四)有機錫或無機錫塗料均能在浸泡初期有效地防止海生物附著；未來除了繼續追蹤此兩種塗料之時效性外，也應嘗試了解此兩種塗料之自然分解率，與其對附著生物之生物毒理作用，以確實掌握其對海洋生態之影響；進而能評估此兩種塗料之實用性。
- (五)附著生物往往具有明顯之季節性變化與消長變化，了解這些變化，有助於擬定除污損生物之對策。由本研究兩次採樣雖能發現其可能之趨勢；但仍須繼續採樣，以求了解此兩種變化之確實情形。
- (六)建議未來進行長期研究以探討
 - (a)含不同防污劑之油漆對防銹防蝕之作用
 - (b)不同防污劑或細菌抑制劑在水中之傳遞，或是細菌抑制劑與防污劑在生物膜內之傳遞與濃縮，細菌抑制劑與防污劑在水中或是生物膜內之分解。
 - (c)不同防污劑或細菌抑制劑對生物膜形成之影響。
 - (d)細菌抑制劑與防污劑同時使用之效果。
 - (e)長期使用防污劑對水生生物之影響，或是防污劑之毒性。
- (七)一般而言，附著生物之研究，都是為了解決船舶與港灣設施污損情況；因此，其研究之成員往往由兩組不同領域人員組成。(1)生物領域：生物分類、生態、微生物、生理學與生物化學等專業人員。

(2)工程領域:與化學、物理、機械、船舶及港灣設計與技術等相關之專業人員。而經組合後採行之研究，其結果往往事半功倍。因此，本研究之模式應值得往後類似研究採行。

伍、參考文獻

1. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第一年報告(1990, 6).
2. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第二年報告(1991, 6).
3. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第三年報告(1992, 6).
4. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第四年報告(1993, 6).
5. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第五年報告(1994, 6).
6. 港灣技術研究所, 基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究專刊第59號, 1990. 1980.
7. 港灣技術研究所, 基隆港碼頭鋼板樁檢測及其維護改善方案研究, 專刊第81號, 1993.
8. 蓋斯維特, 海洋環境與建築物設計, 海洋出版社, 1992.
9. 楊盛行、洪秀琤、林義宗, "海生物之吸附調查研究", 第二十九屆中國農化年會, pp. 96(1991).
10. 楊盛行, 黃哲崇、王瑋龍、林義宗。1992。臺灣地區港區之海生物附著研究。中華生質能源學會會誌。11: 42 - 66。
11. 楊盛行, 胡光溶、魏嘉碧、林義宗。1994。防污漆對海生物吸附之影響。中華生質能源學會會誌。13: 168 - 189。
12. 鄭錦榮、白書禎、陳瑤湖, "防汙塗料之效果評估研究試驗", 台電工程月刊, No. 484, pp. 59-80(1988, 12).
13. 岡田要。1965。新日本動物圖鑑。北隆館。
14. 波部忠重。1974。續原色日本貝類圖鑑。保育社。
15. 波部忠重, 小菅貞男。1974。原色世界貝類圖鑑(II)。保育社。
16. 波部忠重, 伊藤潔。1975。原色世界貝類圖鑑(I)。保育社。
17. Morris, R. H., D. P. Abbott, and E. C. Haderlin. 1980. Intertidal invertebrates of California. Stanford University Press. Stanford, California.
18. 武田正倫。1982。原色甲殼類檢索圖鑑。北隆館。
19. 千原光雄。1983。海藻。學習研究社。
20. 江永棉, 王瑋龍, 黃淑芳。1980。臺灣海藻簡介。臺灣省立博物館。
21. R. B. Griffin, L. R. Cornwell, W. Seitz and E. Estes, "Lo-

- calized Corrosion Under Biofouling", *Materials Performance*, Vol. 28, pp. 71-74(1989).
22. F. P. Ijsseling, "General Guideline for Corrosion Testing of Materials for Marine Applications", *British Corrosion Journal*, Vol. 24, No. 1, pp. 53-78(1989).
 23. G. J. Verbeck, "Corrosion of Metals in Concrete", *ACI*, SP-49, pp. 21-38, (1975).
 24. F. Lolugue, *Marine Corrosion Causes and Prevention*, John Wiley & Sons, NY, (1983).
 25. P. D. Gilbert, P. A. Attwood, T. D. B. Morgan and B. N. Herbert., "Biofilm Associated Corrosion", *Industrial Corrosion*, Vol. 7, No. 9, pp. 13-18(1989).
 26. R. A. Cottis, P. J. Laycock, D. Holt, S. A. Moir, and P. Scarft, "The Statistics of Pitting Corrosion of Austenitic Stainless Steels in Chloride Solutions International Conference on Localized Corrosion, Orlando, FL, (1987, 7).
 27. D. Cubicciotti, G. J. Licina, "Electrochemical Aspects of Microbially Induced Corrosion", *Materials Performance*, Vol. 29, No. 1, pp. 72-75(1990).
 28. M. J. Round, "A New Concept in Anti-Fouling Treatment", *Corrosion Prevention and Control*, Vol. 34, No. 3, pp. 74-79 (1987).
 29. R. H. Heidersbach, *Metals Handbook*, 9th ed., Vol. 13, pp. 893-918(1988).
 30. Shigeyoshi Nagataki, Nobuaki Otsuki, Tiong-Huan Wee, and Kenji Nakashita, "Condensation of Chloride Ion in Hardened Cement Matrix Materials and on Embedded Steel Bars", *ACI Material Journal*, Vol. 90, No. 4, pp. 323-332, (1993).
 31. R. L. Kean, L. Woolf and M. E. BBeardsley, "Corrosion and Protection of Offshore Structures", *Metals and Materials*, Vol. 6, No. 12, pp. 792-795(1990).

32. R. H. Heidersback, Metals Handbook, 9th ed., Vol. 13, pp, 466-477(1988).

33. 黃宗國。1984。海洋污損生物及其防除(上冊)。海洋出版社。

陸、附 錄

(基隆港區常見附著生物圖)



線蟲 *Nematoda* sp. (40X)

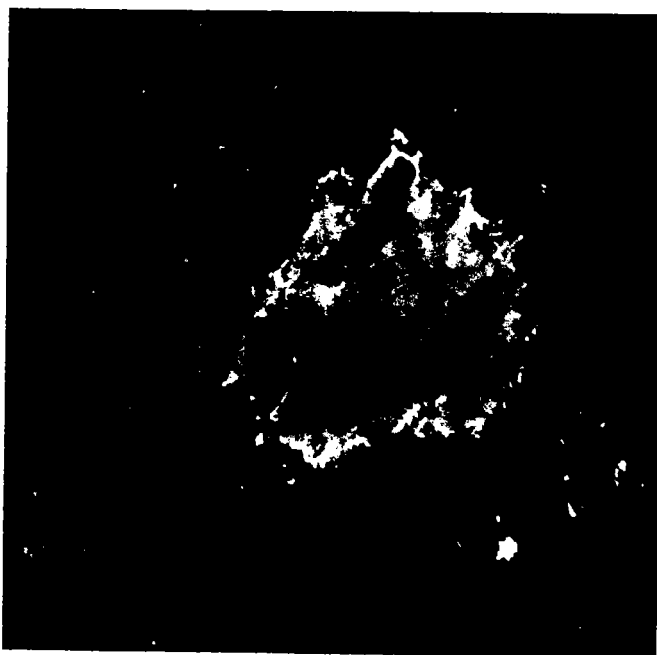


渦蟲 *Uteriporus* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖



裂孔苔蘚蟲 *Schizoporella* sp. (40X)

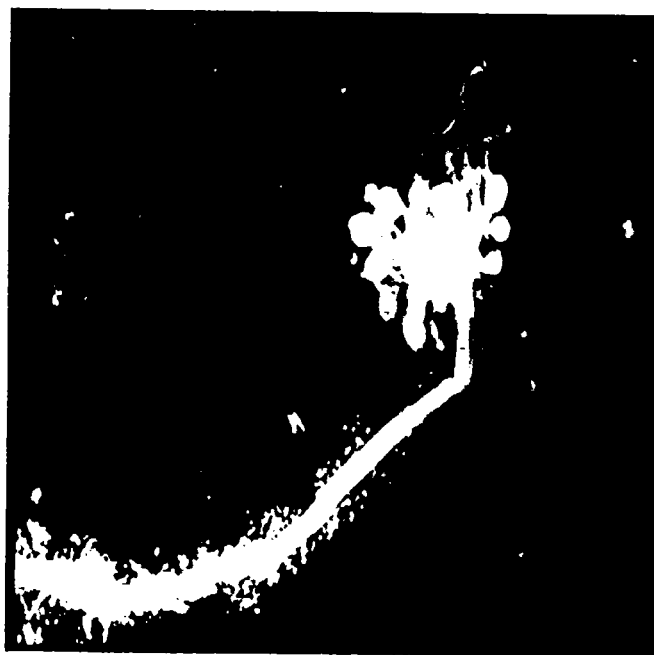


膜孔苔蘚蟲 *Membranipora* sp. (40X)

基隆港區常見附著生物圖



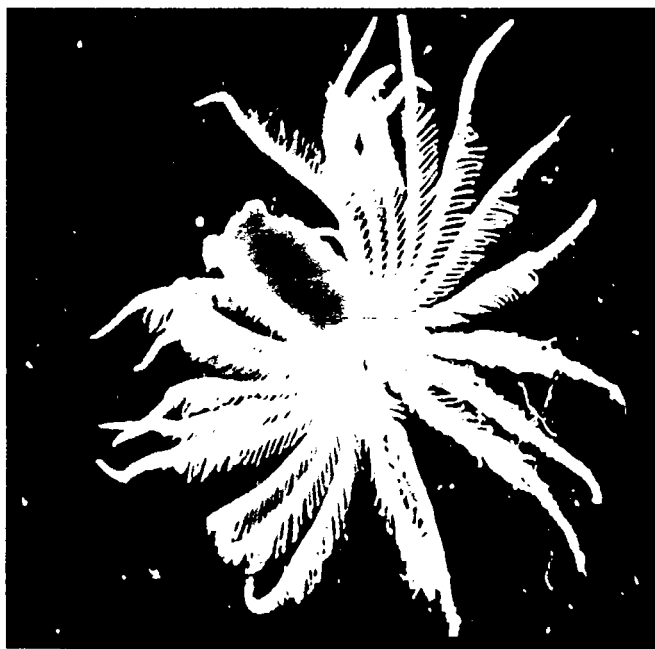
多室草苔蟲 *Bugula neritina* (24X)



葡萄苔蟲 *Zoobotryon pellucidum* (24X)

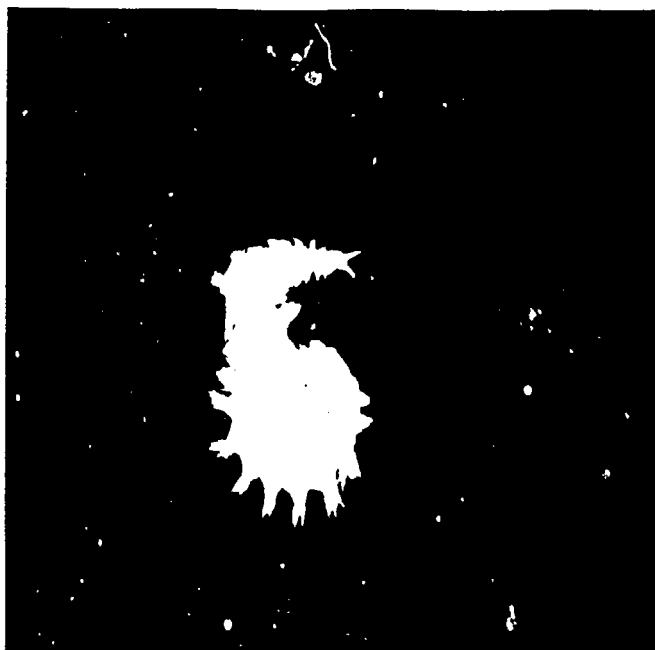


旋鰓蟲 *Spirobranchus* sp. (24X)

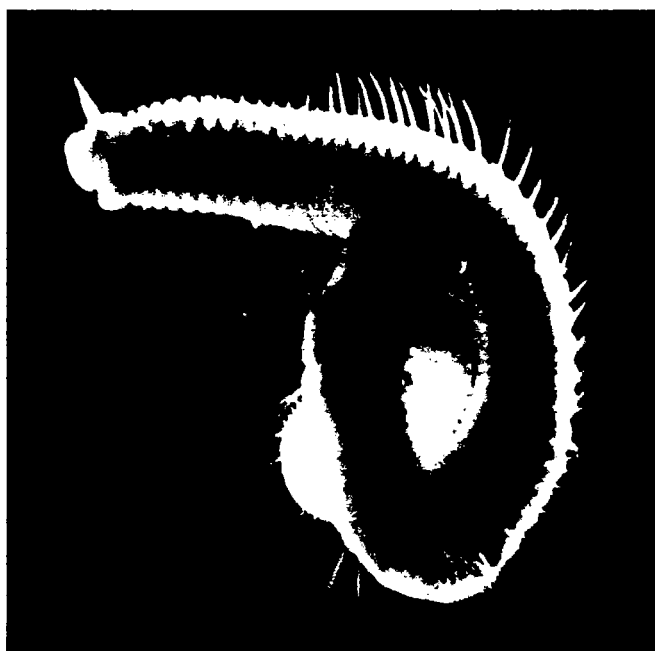


纓鰓蟲 *Sabellidae* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖

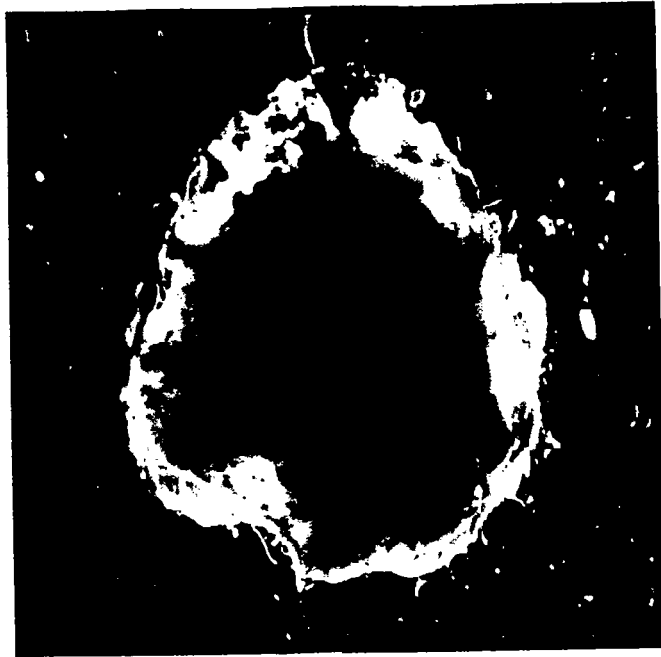


游蠶 *Pelagobia* sp. (24X)



水蠶 *Naiades* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖



扇貝 *Chlamys* sp. (24X)



鉗貝 *Isognomon* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖



三角藤壺 *Balanus trigonus* (24X)



網紋藤壺 *Balanus reticulatus* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



腔齒海底水虱 *Dynoides dentisinus* (24X)

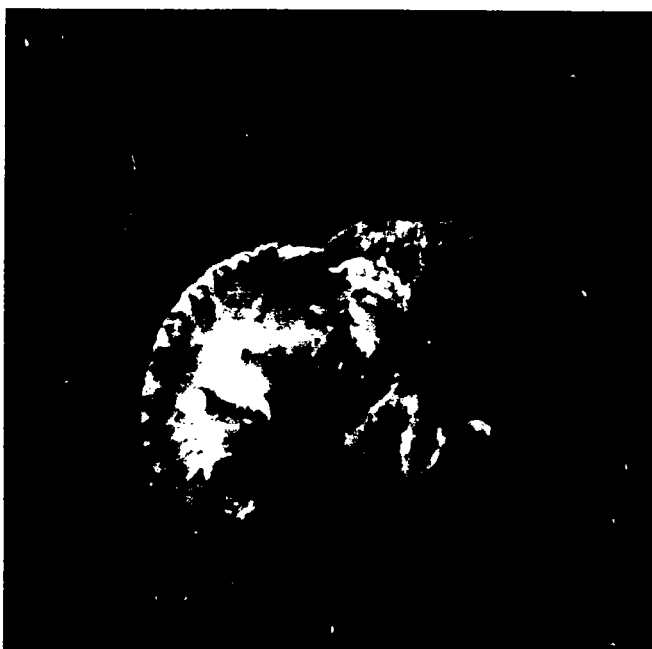


Nippochelura brevicauda (24X)

基隆港區常見附著生物圖



Corophium crassicorne (24X)



螺贏蜚 *Corophium uenoi* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



片鉤蝦 *Elasmopus japonicus* (24X)



泥鉤蝦 *Eriopisella sechellensis* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



玻璃鉤蝦 *Hyale* sp. (24X)

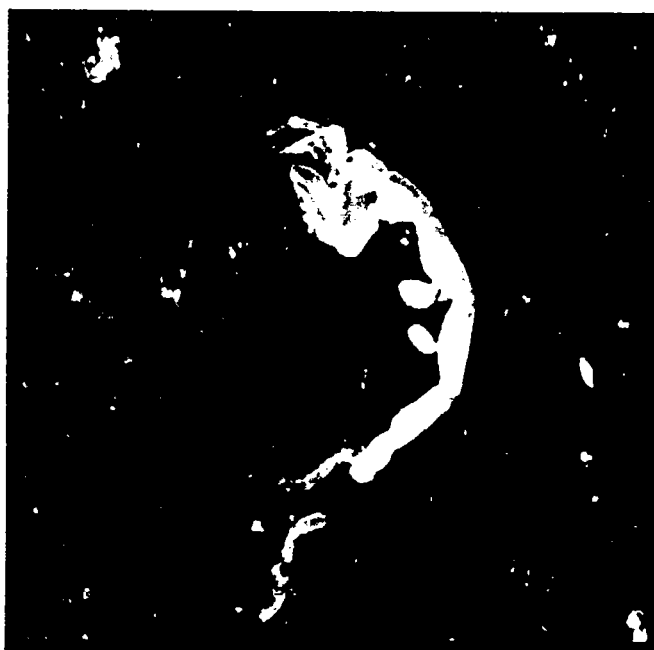


馬爾它鉤蝦 *Melita dentata* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



白鈎蝦 *Leucothoe* sp. (24X)



麥桿蟲 *Caprella scaura* (24X)

基隆港區常見附著生物圖

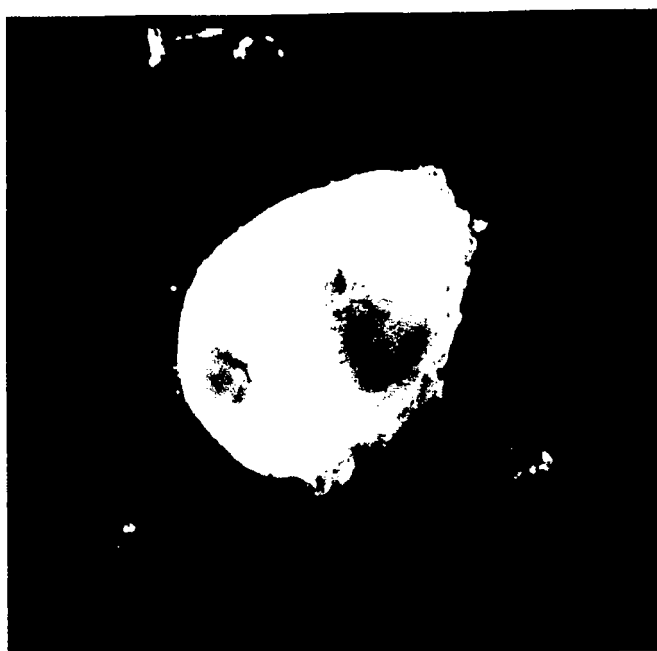


毛氏白腹海鞘 *Didemnum moseleyi* (40X)



史氏菊海鞘 *Botryllus* sp. (40X)

基隆港區常見附著生物圖



冠瘤海鞘 *Styela canopus* (24X)



玻璃海鞘 *Ciona intestinalis* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



布氏藻 *Boodlea composite* (40X)

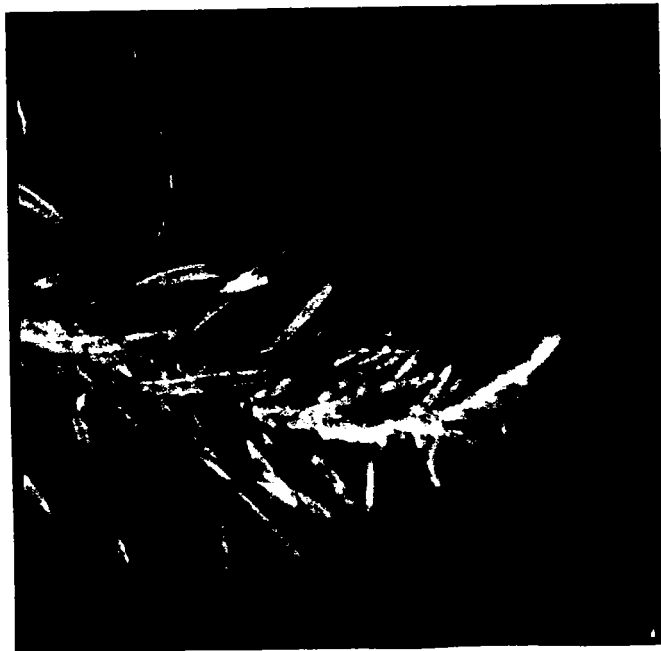


腸澹苔 *Enteromorpha intestinalis* (24X)

基隆港區常見附著生物圖

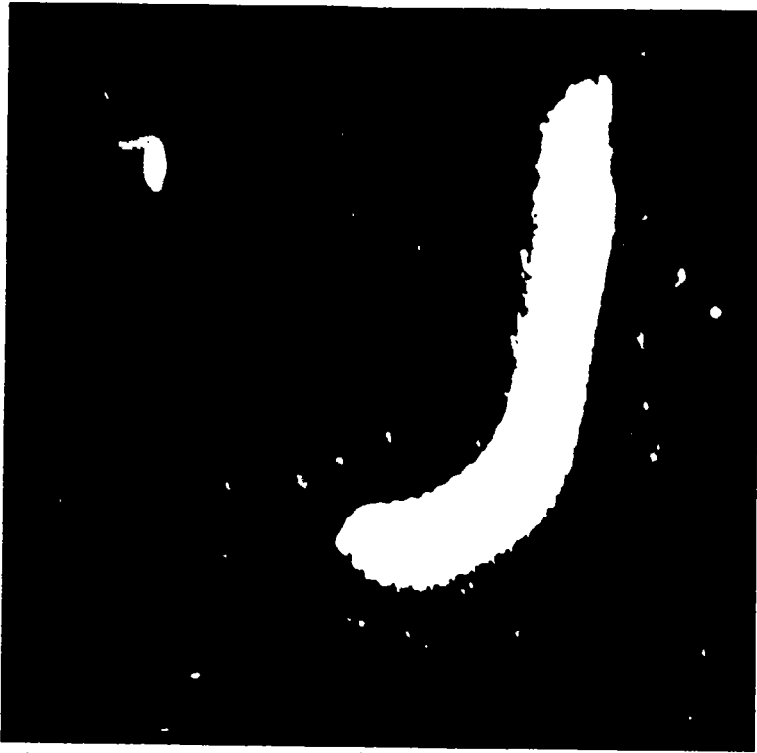


水雲 *Ectocarpus confervoides* (24X)



紅藻 sp. Ceramiaceae sp. (40X)

基隆港區常見附著生物圖



沙蠶 Nereididae sp. (24X) |

材料之熱分析技術之探討

執行單位：港工材料組

計畫主持人：林 維 明 研究員

摘 要

本研究計畫是利用熱分析儀器解析水泥質材料之熱行爲。熱分析是量測物質在加熱或冷卻過程中，其物性和化性隨溫度變化之特性，分析該物質之組成及熱穩定度。本研究測試結果發現水泥及水泥熟料料受熱後產生相變化其熱含量、熱失重及體積變形之溫差變化範圍相當一致。水泥熟料之放熱峰面積大小依次爲鋁酸三鈣、鋁鐵酸四鈣、矽酸三鈣及矽酸二鈣。此現象與材料本身內含具有的熱特性有關。而水泥熟料研磨細度大者，其放熱量較大。高鋁水泥之熱含量及反應速率與其中所含具有活性之 Al_2O_3 量有關。細度大者，熱失重較少，摻加海砂之水泥漿，其水化程度較高，而其熱失重較少。比較標準砂和摻有氯化物者的熱失重特性發現摻入氯化鈉量多者，則其熱失重增加。海砂則介於摻入氯化鈉0.5至2%之間，在水泥水化期間若有摻入NaCl則其熱失重較純水泥者爲高而且與水灰比成正比。 C_2S 水化速率較慢。高爐石水泥之熱失重與其水灰比成正比，水化程度則反之。水泥中若摻有飛灰、矽灰或強塑劑等摻料，則其熱失重和水化程度均隨其摻加量而遞增。

由本研究所得的一些測試結果顯示熱分析技術不僅可應用於偵測混凝土在施工中是否摻有有害物，且可檢查使用期間是否有些腐蝕因子侵入，因而可及早防範和提出防制對策。

由於混凝土之耐久性與其微結構之關係甚大。因此由熱分析所提供有關水化水泥漿體之熱行爲是一種實用及簡便評估的方法。熱分析所使用之材料量少，操作方便、省時，其技術可提供水泥之水化行爲及水化生成物形成時相關之熱量，熔點、質量及體積變化，是非常實用之定性參考資料。若能配合應用掃描式電子顯微鏡及X光繞射分析儀，相信更能發揮其功效。熱分析現已成爲一有力的分析水泥化學工具之一，因此建議今後應該深入研究應用，以利提高混凝土之使用功能。

材料之熱分析技術之探討

目 錄

頁數

中文摘要.....	I
目 錄.....	II
表 目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
壹、前 言.....	1
貳、實驗部份.....	2
一、實驗材料.....	2
二、試體準備.....	2
三、試驗方法.....	2
參、試驗結果與分析.....	5
一、熱量變化.....	5
二、熱量動力特性.....	6
三、差示熱分析.....	7
四、熱失重及水化程度分析.....	8
五、熱重量反應動力分析.....	10
六、熱應力應變分析.....	11
肆、結論與建議.....	11
伍、參考文獻.....	13

表 目 錄

頁數

表一	普通水泥與高鋁水泥之主要礦物組成.....	14
表二	各種材料X光繞射分析相對強度前十高資料...	14
表三	水泥漿體DSC放熱峰頂溫度比較.....	15
表四	C ₃ A之DSC反應動力分析.....	16
表五	C ₃ A之動力特性分析.....	17
表六	水泥熟料漿體之反應活性能.....	17
表七	DTA測試放熱峰頂溫度結果.....	17
表八	C ₃ A與C ₄ A之TGA測試結果.....	18
表九	濕拌水泥料之熱失重及水化程度.....	18
表十	海砂之熱失重情形.....	19
表十一	水泥之熱重反應活性能.....	19
表十二	水泥漿體之壓縮量與彈性模數.....	19

目 錄

	頁數
圖一 熱分析儀器	20
圖二 熱分析儀器基本結構.....	20
圖三 代表性水泥熟料DSC曲線.....	21
圖四 代表性C ₃ A之DSC反應動力分析.....	21
圖五 C ₃ A與C ₄ AF漿體之DTA測試數據(細度3500cm ² /g)..<	22
圖六 C ₃ A與C ₄ AF漿體之DTA測試數據(細度6000cm ² /g)..<	23
圖七 普通水泥之DTA測試數據.....	24
圖八 矽灰水泥之熱失重測試結果範例.....	24
圖九 C ₃ S漿體熱應力下之彈性模數與加熱溫度之關係..<	25

材料之熱分析技術之探討

林 維 明 *

壹、前 言

熱分析為建立溫度及各種參數與材料之物性或化性的定性或定量之關係。每種材料各有其晶相及內能特性，當受熱後，材質產生能量移轉、晶相轉變而使其熱量，質量及體積變化。量測儀器包括偵測試料在升降溫過程中發生的物理性及化學性變化所吸放能量造成試料溫度變化的熱差分析儀(DTA)，偵測吸放熱含量之差示掃描量熱儀(DSC)，測量因溫度變化產生質量變化之熱重分析儀(TGA)和在加熱與負荷作用下產生應力應變與溫度關係之熱力分析儀(TMA)等。上述四種熱分析儀器之外觀及其基本結構分別如圖一及圖二所示。

自1887年法國科學家 Lechatelier 教授發表黏土和石灰石之熱分解變化概念(1)後，熱分析技術一直持續地發展，隨著電子和材料科技之研發再加上電腦軟體之進步，使儀器設備在操作條件、升溫速率、升溫範圍及氣體環境上能作更佳及更準確的控制，在數據處理上能更為方便與省時，因而使其應用範圍更廣。

熱分析技術可提供較簡便及快速評估水泥在受控制的溫度或負荷作用下，晶相轉化引起熱量、溫度、質量及體積變化的資訊，因此可藉以探討有關水化機理、生成物成分、水化動力與強度發展等。若再配合X光繞射分析及掃描式電子顯微鏡與能譜儀等微觀技術，則可提供相當有用的水泥水化行為之資訊。近年來，已有不少學者利用TG及DTA技術在水泥化學方面進行研究(2-6)，但應用DSC及TMA，尤其綜合各類熱分析系統性之研究較少，本文目的即針對水泥熟料應用各種熱分析技術系統分析其熱行為。

* 港灣技術研究所港工材料組研究員

貳、實驗部份

一、試驗材料

本研究使用台泥公司出產的普通水泥及法國製的高鋁水泥，普通水泥與各型之高鋁水泥之氧化物含量經使用 X光螢光量測分析結果如表一所示。

水泥熟料包括矽酸三鈣(C_3S)，矽酸二鈣(C_2S)，鋁酸三鈣(C_3A)及鋁鐵四鈣(C_4AF)等均購自美國施工技術實驗室(CTL)。有 $3500\text{cm}^2/\text{g}$ 及 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ 兩種細度。另有美製矽灰，德製 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、石膏、氯化鈉及台電公司的飛灰和中聯公司的高爐石水泥等材料。經 X 光繞射分析鑑定與國際性粉末繞射標準聯合委員會 (Joint Committee on Diffraction Standard, JCPDS) 繞射資料庫比對繞射峰位置及繞射峰強度比均相符，高鋁水泥中所含 Al_2O_3 量愈高者，其繞射峰強度比就愈大如表二所示。

二、試體準備

本研究使用日製Shimadzu熱分析儀包括DTA，DSC，TGA及TMA。可量測試體在設定的溫度及負荷控制下，材料因為水化產生結晶相轉化，使其熱量、溫度、重量、應力應變、彈性模數、熱膨脹係數及硬化動力等隨溫度或時間變化之特性。參考物使用氧化鋁($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)，試體採用上述材料，用水灰比0.6在各特定的養護時間下，水化試料磨成粉末後取10毫克在升溫速率 $25^\circ\text{C}/\text{min}$ ，由DSC測試至 600°C ，而其他儀器則測至 1000°C 。 500°C 以下使用鋁質樣品盒，而超過 500°C 則用白金盒，使用 N_2 惰性氣體在 $40\text{cc}/\text{min}$ 流動率下進行試驗，並裝有 $300\text{ml}/\text{min}$ 之冷卻循環水，在試驗時導入隋性氣體及循環水，使其具有動態氣氛，易維持及具重現性。

三、試驗方法

(一)DSC與DTA測試

DSC與DTA之測試原理相似，均為偵測試樣與參考物在相同之升溫條件下，所產生之熱量(或溫度)差值，以瞭解其熱轉移之現象。

(二)熱量動態測試

常用之水泥硬化及反應動力學模式為：

$$dx/dt=k(1-x)^n$$

$$K = A \exp \left(-\frac{\Delta E}{RT} \right); \quad \ln K = \left(-\frac{\Delta E}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + \ln A \dots \dots (1)$$

式中 dx/dt : 硬化速率; K : 速率常數
 A : 反應頻率因子; ΔE : 反應活性能
 X : 反應轉化率; R : 理想氣體常數
 T : 絕對溫度($^{\circ} K$); n : 反應級數

取三個不同溫度製作 $\ln K$ 對 $\frac{1}{T}$ 之圖形, 可得一直線其截距為 $\ln A$ 而斜率 $= -\Delta E/R$, 因 R 為理想氣體常數, 故可求得 ΔE 和 A 值。在恆溫(T)下, K 值為一常數, 根據 $\ln(dx/dt) = n \cdot \ln(1-X) + \ln K$ 因此在對數座標, 可由其直線之斜率求得 n 值

根據恆溫DSC理論, 反應熱與反應轉化率有下關係

$$X = H/H_T \dots \dots \dots (2)$$

式中 $H_T = H + H_r =$ 恆溫總反應熱(Total heat of isothermal reaction)

H : 恆溫反應熱 (Isothermal heat of reaction)

H_r : 恆溫轉化後, 殘留之反應熱(Residual heat)

熱量動態測試方法是先將 10mg 之試料放入DSC用之鋁質樣品盒中, 以 $25^{\circ}C/min$ 加熱速率, 自 $30^{\circ}C$ 升至 $500^{\circ}C$ 可求得放熱反應之尖峰溫度。再由DSC曲線中, 找到硬化起始點之溫度值至硬化放熱峰頂溫度間選三個以上之溫度, 各相差 $10^{\circ}C$ 以供等溫DSC測試之溫度。再量測所選定之溫度下, 以時間為函數之定溫下恆溫反應熱(H), 然後將此試料冷卻, 以 $25^{\circ}C/min$ 加熱速率進行DSC之變溫測試, 求得恆溫硬化後之殘餘反應熱(H_r), 故某定溫下之總反應熱為 H 與 H_r 之總和, 即 $H_T = H + H_r =$ 恆溫總反應熱。

(三)熱失重測試

TGA 是採用零點平衡原則，利用高靈敏度之感測器連接到一緊帶 (taut band)懸掛系統以偵測樣品受熱後之微量變化，藉光學啟動自動控制迴路調整電流流入感測器之大小，以維持天平臂在水平(零點)之位置，利用電腦記錄熱失重與加熱溫度之變化關係。

(四)動態熱重量分析

動態熱重量分析現已廣泛應用於研究熱分解反應動力學，由TG曲線計算動力學之公式

$$\frac{dx}{dt} = KX^n \dots\dots\dots (3)$$

式中，x 為在 t 時間進行反應之試樣量，n 為反應級數 K 為速率常數，此公式可用以描述固體之熱分解。速率常數 K 與受熱之溫度關係可用阿瑞尼士(Arrhenius)公式表示如下：

$$K = A\exp(-\Delta E/RT) \dots\dots\dots (4)$$

式中，A 為 Arrhenius 常數， ΔE 為活性能，R為理想氣體常數，可選三個不同之升溫速率製作 $\ln K$ 與 $\frac{1}{T}$ 相對應之圖形，由

其截距與斜率可求得A與 ΔE 值。在恆溫下K為一常數，因此可在對數座標上求得n值，同時可畫製反應轉化率與反應頻率之關係曲線。

(五)熱應力應變分析

熱力分析是量測試體尺寸之線性變化，為溫度、時間和力量之函數。可用以分析材料之熱膨脹係數，彈性模數及應力應變之關係。測試時樣品的大小限制最大僅為2.5mm。置於平台上。TMA主要部份是動式核心線可變微差感應器 (moveable core linear variable differential transformer, LVDT)可量測試樣變形時,LVDT會輸出變形量。本研究測試採用兩種溫度負荷條件，一為初始負荷10公克

，持續10分鐘，加載速率為5g/min加至55公克。而溫度自室溫(25℃)以升溫速率25℃/min加熱至1000℃。而另一種情況是初始負荷採用200公克持續10分鐘，加載速率為5g/min加至50公克，而溫度控制自25℃以升溫速率25℃/min加熱至500℃。

參、試驗結果與分析

一、熱量變化

差示掃描量熱分析為一種動態熱量量測方法，有許多影響因素會對DSC曲線造成變化，一為儀器因素，另一為試料特性。前者如加熱速率，使用氮氣之動態氣體及溫度控制常數；所使用的試樣器之材質，熱電偶導線與接頭位置等。而後者如試料之質量，粒徑大小及裝填方式等對於曲線吸熱或放熱峰之形狀位置、數量都會有顯著之影響。在定量時須量測DSC曲線，所包圍之面積及峰頂之溫度大小，這些因素都經過檢測控制，選用最適當條件進行DSC測試。

(一)測試結果

本試驗使用細度為3500cm²/g，質量10mg之水化過的C₃S，C₂S，C₃A，C₄AF及普通水泥漿進行DSC測試，在升溫速率25℃/min之吸熱峰面積峰頂溫度及可能之反應生成物如表三所示。圖三為其代表性之DSC曲線。已水化之各型高鋁水泥、普通水泥、矽灰、飛灰及高爐石等水泥漿體、氫氧化鈣和石膏等之DSC測結果如表三所示。

(二)分析檢討

將本研所得之DSC放熱峰頂之溫度與文獻資料比較如表三所示。

由表三可發現本研所得之數據與文獻資料大致上相當一致，惟有些差異性，原因可能是使用不同之水灰比，細度不同，使用儀器之加熱速率不一致，使用鋁質或白金樣品盒，使用N₂氣體的流動率大小不同，或加水後之漿體是否立即水化；儀器測試以及漿體是否以粉狀裝填於樣品盒；是否加蓋等許多因素都會影響放熱峰之形狀及位置，所測得之結果僅可供定性有利之參考。

二、熱量動力特性

由表三可發現 C_3A 之熱量較之其他三種水泥熟料高出很多,因此本研究選用 C_3A 進行熱量動力特性分析,其代表性之DSC曲線如圖四所示。由圖中發現水 C_3A 在 $154.2^{\circ}C$ 及 $291.7^{\circ}C$ 分別有兩個很明顯的放熱峰出現。其原因是由於 C_3A 水化生成六方板狀之 C_2AH_8 及 C_4AH_{13} 及六方體狀之 C_3AH_6 之故。

因此本研究選用相同細度,不同水灰比及相同水灰比但不同細度進行測試,所得結果如表四所示,根據測試結果發現下列現象:

(一)放熱峰頂溫度比較

試樣粒徑愈細,受熱時愈易分解,會縮小質量變化之溫度範圍,由於不同之表面積/質量比及放出之水擴散至顆粒之表面需要時間。以高溫下之放熱峰情況愈細者熱分解溫度降低(例如自 $332.1^{\circ}C$ 降至 $291.7^{\circ}C$),而水灰比大者,孔隙大亦使熱分解溫度降低(例如自 $332.1^{\circ}C$ 降至 $289^{\circ}C$)。

(二)熱 量

試料愈細者,因受熱愈易分解故其熱量增加(自 $217.12J/g$ 增至 $276.72J/g$),而水灰比低者較密集而受熱則愈增加活性。故熱含量愈大(自 $208.59J/g$ 增加至 $217.12J/g$)。

熱量動力特性試驗是由表四中之峰頂溫度選擇三個溫度,各相差 $10^{\circ}C$,各從室溫升至該設定之溫度定溫測30分鐘,得出定溫下之恆溫反應熱(H),再將該試料冷卻至常溫進行DSC變溫下,其殘留反應熱(H_r)較之恆溫反應熱(H)為高,原因在高溫,尚有一個吸熱峰有待轉化之故。而定溫在高溫情況下,因大致已完成轉化,故H值較 H_r 值為高。

(三)反應活性能

由三個恆溫數據代入式(1)中求得反應活性能(ΔE),反應頻率因子(A)及反應級數(n)等之數據如表四所示。

由式(1)可見反應速率(dx/dt)與反應活性能(ΔE)成反比,而與反應級數(n)及反應頻率因子(A)成正比。若以可能生成物為 C_3AH_6 ,在相同細度下,水灰比大者 ΔE 較低即反應會較早發生,雖然A值與n值均增加,但其增加之幅度不及 ΔE 值之減少量。所以如表四所示其DSC反應放熱峰溫度值(T_p)自 $199.1^{\circ}C$ 往前移至 $154.9^{\circ}C$ 及

自332.1°C前移至289°C。而相同之水灰比，但細度大者亦有類似之現象發生，例如放熱峰溫度分別自199.1°C前移至154.2°C及自332.1°C移至291.7°C。

(四)轉化率

根據式(2)轉化率之定義，可求得 C_3A 之轉化率如表四所示，由表中可見水灰比高者，轉化率較低，係因尚未及擴散進入顆粒中產生反應之故，尤其以六方板狀 C_2AH_8 或 C_4AH_{13} 更為明顯，而細度愈細者轉化率升高與其活性能較低有關。如上述， ΔE 較低則反應速率較快，此現象與愈細之水泥熟料均勻分散在漿體中水化反應愈快且更為安全，此反應與擴散控制有關。在 C_3A 的DSC曲線(圖四)都會發現在60°C左右有一個小的放熱峰，經DSC動力反應分析(Kinetic analysis)結果如表五所示。

由表中可發現下列諸現象：

1. 愈細者及水灰比大者，分解溫度愈降低。
2. 愈細者及水灰比低者其熱量愈增加。
3. 反應活性能以水灰比大，細度大者為最高，與放熱峰頂溫度為低相當符合。
4. 轉化率與水灰比及細度之關係性不易找出。可能是在其高溫下還有吸熱峰待轉化之故。

本研究並就各種水泥熟料進行動力分析結果如表六所示。比較表三及表六可發現四種水泥熟料中，以 C_3A 之活性能為低，因為反應速率與反應活性能成反比，因 C_3A 之反應時間較早發生。而比較表三及表六知普通水泥之反應活性能較高鋁水泥為高，因此反應時間較慢，而高鋁水泥中以含氧化鋁之多寡，其反應活性能亦不同。因氧化鋁具有活性之故，含量愈高者，其反應時間較提早發生如表三所示。

三、差示熱分析

由於在DSC測試中發現 C_3A 及 C_4AF 之熱含量大，因此為深入探討兩種水泥熟料各加10%石膏，氫氧化鈣或氯化鈉等摻料後在各齡期下之DTA曲線之變化，使用水灰比0.6，升溫速率25°C/min測量至1000°C所得之數據

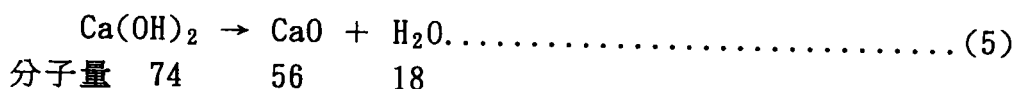
如表七所示。各齡期之測試結果如圖五及圖六所示，由所測得之數據歸納檢討如下：

- (一)純 C_3A 在水化早期時，出現兩個放熱峰，但在35天齡期後僅有穩定性之 C_3AH_6 存在，尤其在細度大($6000\text{cm}^2/\text{g}$)者約在七天就顯見。
- (二)純 C_4AF 在水化早期時出現兩個放熱峰，但晚期時立方體相之 $C_3(A, F)H_6$ 消失，僅存六方板狀相之 $C_2(A, F)H_8$ 或 $C_4(A, F)H_{13}$ 之熱峰。
- (四) C_4AF 加石膏在15天以前僅有一明顯之熱峰，可能係含有高量之硫鋁酸鐵鹽之故(3)。而在28天後則出現兩個熱峰，可能是單硫型鋁鐵酸鹽水化物(AFm')形成之故(3)。
- (五) C_4AF 加石膏再加上石 $Ca(OH)_2$ 之情況下，早期出現兩個很明顯的熱峰，但細度大者在七天後鈣氈石(Aft')之熱峰消失，係因石膏耗盡之故(3)。
- (六)若再加上 $NaCl$ 之情形下，則早期有兩個熱峰，而在5~15天出現三個熱峰，但晚期(28天)則僅存 AFm' 之熱峰，細度大者，早期有三個熱峰，但齡期七天後則 Aft' 之熱峰消失，僅存有兩個熱峰，在 $250\sim 280^\circ\text{C}$ 之熱峰可能係單氯型鋁鐵酸鈣水化物形成之故。
- (七)若以細度比較發現細度大者，熱峰面積較大，由於其單位重量下之表面積增大較易散熱之故。
- (八)普通水泥之熱峰約發生在 100°C (圖七)，係因水泥製作時加入石膏作研磨劑所致。

四、熱失重及水化程度分析

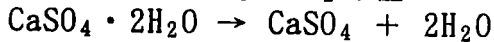
熱重分析儀可偵測在控制之溫度變化下，試體的質量變化例如：

- (一) $Ca(OH)_2$ 失水發生於 $450\sim 500^\circ\text{C}$ 範圍，反應式為：



由式(5)知失水重為 $18/74=24.32\%$ 而與在TGA所量測值為 24% 相當符合

(二)二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)在100-200°C下失水，其反應式為：



分子量 172 136 36

由上列反應式知其失水率為 $\frac{36}{172} = 20.93\%$ ，而與在TGA量測值為21%相符

(三) C_3S 及 C_2S 原料與濕拌 C_3S ($\text{W/C}=0.6$ ，已水化7天)，不同細度之TGA測試結果如表八所示。由表中可見細度高者失水量較小，熔點亦降低，已水化者失水量較高，熔點亦相對地降低。

(四)已水化之 C_3A 與 C_4AF 等試料測試結果如表八所示。由表中可見細度較高者，其失水量相對降低。

(五)水泥之水化程度是指在一定時間內發生水化作用之數量與完全水化之數量之比值。利用TGA測試資料可利用下列公式求得水化程度(2)。

$$\alpha = \frac{(W_{105} - W_{580}) + 0.41(W_{580} - W_{1007})}{n W_{1007}} \times 100\%$$

式中 α ：水化程度

0.41：碳酸鈣中 CO_2 轉化為 H_2O 之莫耳分子量比值

W_{105} 、 W_{580} 及 W_{1007} 分別為試體在受熱之溫度為105°C，580°C及1007°C下之重量。

n ：完全水化水泥漿體中之不揮發性水的水灰比對常溫濕拌水泥漿體而言，其值為0.24(7)。

圖八為水泥摻加60%之矽灰的熱失重(TGA)和導數熱失重(DTG)曲線，由圖中可發現在100°C，490°C及780°C時均有熱失重現象，前兩者係因C-S-H，CH中之結晶水被燒失，而後者為 CO_2 被燒失之故。表九列出各種不同水泥料在不同水灰比或摻料情況，受熱達1000°C時的熱失重和水化程度測試結果，由這些數據可發現下列現象：

1. 水泥水化期間摻加NaCl，則其熱失量較之不含NaCl者為高。而與水灰比成正比。在一定之水灰比下，其熱失質量隨NaCl之含量增加而遞增。
2. 矽酸三鈣和矽酸二鈣之熱失重及水化程度與水灰比成正比。而矽

酸二鈣之水化程度較少，亦即其水化速率較慢。

3. 中聯公司之高爐水泥其熟失重隨水灰比增加而遞增，然而水化程度則降低。
4. 水泥中摻有加台電公司出產之飛灰，其熟失重和水化程度隨摻加量增加而遞增之趨勢。
5. 水泥中摻加矽灰，其熟失重雖隨摻加量增加而有略增之傾向，然而其水化程度反而有點降低之現象。
6. 水泥中摻加強塑劑，則會增加其水化程度，其熟失重較之摻加波索蘭材料(爐石、飛灰或矽灰)為低。
7. 為瞭解混凝土中摻有海砂之熟失重情形，特別使用標準砂和海砂與水泥拌合製作水泥砂漿，以砂和水泥重量比為1：3，而水灰比為0.4之配合比條件所得之結果發現摻加海砂者之水化程度較高，而熟失重較少。

(六)本研究為比較海砂之熟失重現象，曾進行一些TGA測試，其結果如表十所示，由表中可發現標準砂對熱之反應還較相當穩定，因此可視為熱惰性材料，可當作示差熱分析之參考物，而標準砂中摻加NaCl，雖然相當微量(0.5%)，但亦可偵測得知其熟失重與純標準砂者不同，而熟失重隨其中所含NaCl量之增加而遞增，而純海砂之情況則介於摻加0.5%及2%NaCl之間，純NaCl在730°C時急速下降，此與其溶點特性有關。

五、熱重量反應動力分析

(Kinetic analysis of thermogravimetric analyzer)

選用高鋁水泥10mg在三種升溫速率15、20及25°C/min，加溫至1000°C。得到相關A； ΔE 及n值，並可畫出恆溫下轉化率(X)與反應頻率 $\left(\frac{1}{t}\right)$ 之關係曲線。活性能(ΔE)之數據如表十一所示。

由此表可見 Al_2O_3 含量80%情況之 ΔE 為最低，即反應最早，其次是70%、50%及40%，普通水泥之活性能較高鋁水泥為高，即反應較慢，此現象與高鋁水泥之水化速率快且速凝之特性相符合。

六、熱應力應變分析

(一)在初始負荷10公克持續10分鐘，加載速率5g/min加至55公克及升溫速率25°C/min加熱至1000°C之情況，發現有下列現象：

1. 剛開始定負荷之時間內，試體尺寸先被拉伸，後有壓縮現象而彈性模數則遞增。
2. 負荷加速時應力應變改變。
3. 加載速率停止，以一定負荷加以試體上時，壓縮量增加，導致彈性模數降低。
4. 升溫至1000°C時，負荷回復至初始負荷，開始降溫，可發現試體有拉伸與壓縮現象，但其量較升溫情況為低。
5. 所得數據如表十二所示。
6. 並非在最高溫度(1000°C)時，彈性模數為最大值。例如以C₃S為例，可發現如圖九所示。在降溫至991.7°C為達到極大值。
7. 彈性模數極大值發生於降溫至993°C時，如表十二所示。

(二)在初始負荷20公克，持續10分鐘加載速率5g/min加至50g及升溫速率25°C/min 加熱至 500°C之情況可發現普通水泥與高鋁水泥比較如同上述1000°C情況，而熟料測試之數據如表十二所示。

肆、結論與建議

根據本研究結果可得出下列結論及建議事項：

- 一、水泥及水泥熟料受熱後發生相變化所產生之熱量，失重及體積變形之溫度範圍均相當一致。
- 二、熟料之放熱峰面積以 $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$ 與其所含之水化熱容量潛能有關，而細度大者其放熱量愈大，而由於水化反應之速率與活性能成反比，由數據顯示反應速率與放熱峰面積比較一致，此與一般水化反應之結果一致。
- 三、高鋁水泥之熱含量及反應速率與Al₂O₃含量成正比。
- 四、熱失重依水化作用反應生成物所致，細度大者，其熱失量較少。
- 五、純C₃A及純C₄AF在水化早期都出現兩個熱峰，而到晚期，僅有穩定性的水化石榴石形成，然而加上石膏，則在晚期很明顯地出現兩個熱

峰係因生成單硫型鋁鐵酸鹽水化物之故，而再加上氫氧化鈣，則耗盡石膏，因此熱峰消失，若再加上NaCl，則早期有兩個熱峰，而在齡期5-15天時會出現三個熱峰，晚期則僅存AFm'相之熱峰而細度大之情況早期則出現三個熱峰，而齡期7天後AFt'相之熱峰消失，僅存兩個熱峰，在250-280°C之熱峰可能是單氯型鋁鐵酸鈣水化物形成之故。

- 六、摻加海砂之水泥砂漿體，其水化程度較高，則其熱失重較少。
- 七、標準砂與摻入氯化物者之熱失重比較，發現其熱失重隨NaCl量增加而遞增，海砂則介於摻加0.5~2%NaCl之間。
- 八、水泥水化期間有NaCl摻入則其熱失重較之純水泥者為高而與水灰比成正比，且隨NaCl量之增加而遞增。
- 九、C₃S及C₂S水化程度與水灰比成正比，而C₂S水化速率較慢。
- 十、高爐石水泥之熱失重與水灰比成正比，但水化程度則反之，水泥中摻加飛灰、矽灰或強塑劑，其熱失重及水化程度均隨其摻加量增加而遞增。
- 十一、應用熱分析技術，不僅可偵測混凝土在施工中是否摻加有害物，且可應用於檢查使用期間是否有些腐蝕因子侵入，可由其放熱峰頂溫度，熱失重和水化程度等與正常情況比較，一定會有明顯的差異。因此易於及早防範及提出對策。
- 十二、由於混凝土之耐久性與其微結構關係性甚大，由熱分析所提供之水化生成物熱行為特性為一評估混凝土耐久性之實用及簡便之方法。
- 十三、熱分析所使用之材料量少，操作方便，省時，其技術可提供水泥水化行為及生成物形成時熱含量、溫度、質量及體積變化之定性參考，建議今後此方面之技術應該深入研究應用。
- 十四、本研究使用四種熱分析儀器，所得結果發現相當一致，實際應用時僅需選用兩種配合詮釋即可。
- 十五、應用本熱分析儀器技術於水泥化學方面之研究時，建議應配合掃描式電子顯微鏡（SEM）及X光繞射分析儀（XRD）以便偵測水化生成物之外觀和組成分特性。

參考文獻

1. H. Lechatelier, Z. Phys. Chem., 1. (1887)396.
2. B. El-Jazairi and J.M. Illston, Cem. Concr. Res. 10(3)(1980)361.
3. J. Bhatti, in : " Application of Thermal Analysis to Problems in Cement Chemistry, "chapter 6 in Treatise on Analytical chemistry, Part 1, Vol. 13, second edition : Thermal Methods, ed.D. Windfordner (John wiley & Sons. Inc. New York, (1993) P.355-396 .
4. H. F. W. Taylor, in : Cement Chemistry, (Academic Press, London, 1990)P.129and 200.
5. R. A. Brown and B. Cassel , Amercian Laboratory, Ma-42 Jan. (1977) P.1-8.
6. V. S. Ramachandran, R. F. Feldman and J. J. Beaudoin , in : Concrete Science, (Heyden & Son Ltd., London, 1981)P.128.
7. S. Mindess and J. F. Young, in : Concrete, (Prentice - Hall, Inc. 1981)P.103.

表一 普通水泥與高鋁水泥之主要礦物組成

單位%

類別	顏色	產 品	A	C	S	F	T	M	N	K	來 源
1	灰至黑	Foudu 水泥	39.0	35.5	4.5	16.5	2.5	0.6	0.1	0.15	紅 鈣 土 紅 鈣 土 白 鈣 土 氧 化 鋁 石 灰 岩, 粘 土 / 頁 岩
2	淡 灰	Secar 52	50.4	36.6	6.7	3.2	2.1	0.1	0.1	0.03	
3	灰白或淡灰	Secar 71	70.1	27.0	0.35	0.25	0.05	0.2	0.35	0.05	
4	白 色	Secar 80	80.5	18.0	0.2	0.15	0.03	0.1	0.25	0.03	
5	灰 色	卜特蘭 I 型	5.5	64.0	21.0	2.7	0.0	1.23	0.0	0.0	

說明：水泥化學縮寫符號如下：

A: Al_2O_3 , S: SiO_2 , T: TiO_2 , N: Na_2O , C: CaO , F: Fe_2O_3 , M: MgO , K: K_2O

表二 各種材料X光繞射分析相對強度前十高資料

相對強度(%)
(2θ (度))

強度 順序	C_3S	BC_2S	C_3A	C_4AF	CH	CSH_2	高鋁水泥(Al_2O_3 含量)				砂灰	飛灰	高爐石 水泥	普通 水泥
							40%	50%	70%	80%				
1	100 (32.12)	100 (32.21)	100 (33.27)	100 (33.94)	100 (34.19)	100 (11.73)	100 (30.14)	100 (30.14)	100 (30.26)	100 (30.13)	100 (21.50)	100 (26.64)	100 (32.24)	100 (32.28)
2	97.2 (32.36)	74.0 (32.64)	33.9 (59.35)	39.4 (33.54)	63.6 (33.54)	40.9 (29.19)	35.9 (35.75)	41.1 (35.71)	83.8 (18.44)	81.8 (43.42)	28.3 (57.45)	37.8 (26.00)	74.6 (34.50)	95.1 (29.50)
3	67.1 (32.45)	48.1 (41.25)	30.1 (47.71)	31.9 (32.20)	32.1 (47.19)	39.1 (20.82)	33.3 (31.38)	40.1 (33.83)	33.5 (39.43)	77.3 (35.21)	5.8 (26.59)	37.1 (40.89)	65.1 (32.73)	78.0 (34.47)
4	63.2 (41.20)	39.2 (59.52)	17.0 (47.18)	29.9 (50.81)	19.8 (37.47)	27.5 (33.38)	27.5 (33.38)	33.8 (17.41)	31.0 (57.52)	58.8 (35.48)	2.7 (16.48)	31.2 (29.56)	53.7 (32.74)	67.7 (32.74)
5	45.1 (29.29)	28.7 (33.00)	16.6 (58.09)	23.1 (12.20)	23.6 (28.73)	4.9 (50.39)	27.3 (35.44)	33.0 (33.29)	27.1 (44.53)	51.4 (25.64)	2.7 (60.01)	28.2 (33.25)	40.2 (30.22)	44.0 (44.68)
6	41.9 (29.60)	19.1 (45.82)	16.3 (15.58)	20.0 (44.19)	15.2 (54.47)	2.8 (47.90)	23.1 (19.04)	30.5 (47.19)	25.4 (25.61)	33.5 (68.22)		28.2 (35.28)	29.8 (30.22)	37.2 (41.41)
7	31.0 (51.71)	18.7 (39.51)	15.4 (47.85)	19.8 (50.27)	3.6 (9.77)	2.7 (40.71)	18.8 (33.33)	20.8 (37.36)	24.6 (14.59)	32.6 (37.84)		21.5 (20.85)	25.6 (51.91)	31.0 (51.92)
8	24.1 (51.44)	16.8 (44.82)	13.3 (21.88)	15.7 (21.88)	15.7 (24.39)	2.3 (50.54)	18.3 (24.01)	20.4 (32.28)	24.6 (19.11)	28.4 (35.75)		18.5 (60.61)	21.1 (62.70)	19.0 (62.51)
9	24.1 (51.96)	16.4 (44.65)	10.5 (41.03)	13.2 (60.16)	2.5 (7.51)	1.8 (25.50)	16.0 (47.20)	19.4 (19.04)	23.9 (32.02)	27.6 (19.04)		13.2 (50.10)	14.9 (38.90)	18.7 (56.73)
10	24.1 (56.31)	14.7 (37.41)	9.1 (38.50)	12.6 (34.86)	1.7 (59.35)	1.6 (36.67)	12.9 (44.65)	16.6 (24.01)	23.7 (35.78)	25.0 (66.55)		10.9 (42.59)	14.9 (62.36)	16.1 (47.15)

表三 水泥漿體DSC放熱峰頂溫度比較

材 料	熱 量 (J/g)	可能水化反應 生成物 ⁽³⁾	放熱峰頂溫度(°C)	
			文獻資料 ⁽³⁾	本研究所得數據
C ₃ S	25, 54	C ₆ S ₂ H ₃	485 ⁽⁴⁾ , 464; 480-500 ⁽⁶⁾	426
C ₂ S	16. 07	C ₂ SH _x	705	454
C ₃ A	243. 17	C ₂ AH ₈ ; C ₄ AH ₁₃	170~245	99~155
		C ₃ AH ₆	310~330	289~330
C ₄ AF	60. 78	C ₂ (A, F)H ₈	150	163
		C ₄ (A, F)H ₁₃		
		C ₃ (A, F)H ₆	250~360	320
CH	803. 5	C	440~580	464
C-S-H ₂	407. 2	C S	112~150	154
卜 特 蘭 I 型水泥	2. 43	CH, C-S-H	115~195; 485~550 ⁽⁴⁾	431
			105~440; 440~580	
C-S-H	—	C-S	105~440	—
高鋁水泥	13~27	CAH ₁₀	110~120; 96 ⁽⁵⁾	246~286
		AH ₃	295~310; 276 ⁽⁵⁾	
		C ₃ AH ₆	320~350; 328 ⁽⁵⁾	
砂灰	1. 47	SiO ₂	—	160
飛灰	1. 88	CH	105	90
高爐石水泥	40. 2	ettringite	120~160	125

*放熱峰頂溫度所列文獻資料除註明外，均為參考文獻3中所有。

表四 C₃A之DSC反應動力分析

水灰比	0.6			1.0			0.6		
細度(cm ² /g)	3500			3500			6000		
總熱量H _T (J/g)	256.16	217.12	157.4	157.4	208.59	291.4	291.4	276.72	
峰頂溫度(°C)	199.1	332.1	154.9	154.9	289	154.2	154.2	291.7	
在控制溫度下之熱量值 H/Hr(J/g)及轉化率	190°C	134.38 /162.69 (0.45)	234.17 /27.10 (0.90)	145°C	40.93 /225.14 (0.15)	198.18 /69.62 (0.74)	129.83 /147.98 (0.47)	278.18 /24.27 (0.92)	
	200°C	128.57 /171.97 (0.43)	272.08 /27.78 (0.91)	155°C	22.86 /245.81 (0.09)	184.08 /36.45 (0.83)	102.25 /125.64 (0.45)	313.87 /16.70 (0.95)	
	210°C	107.98 /231.28 (0.32)	285.57 /18.26 (0.94)	165°C	80.96 /334.7 (0.19)	204.55 /51.34 (0.89)	138.88 /151.77 (0.48)	325.00 /10.27 (0.97)	
	ΔE(KJ/mole)	101.41	153.27	94.56	119.41	49.99	32.06		
n	5.0	1.2	3.8	3.8	2.9	1.3	2.9		
A (Kmin ⁻¹)	1.45e ⁷	4.38e ^{-0.6}	9.37e ¹⁰	9.37e ¹⁰	1.75e ⁻¹²	5.09e ⁵	8.69e ¹		
可能生成物	C ₄ AH ₁₃ C ₂ AH ₈	C ₃ AH ₆	C ₄ AH ₁₃ C ₂ AH ₈	C ₄ AH ₁₃ C ₂ AH ₈	C ₃ AH ₆	C ₄ AH ₁₃ C ₂ AH ₈	C ₃ AH ₆		

註()：轉化率。

表五 C_3A 之動力特性分析

水灰比		1.0	1.46	1.46
細度 (cm^2/g)		6000	6000	3500
總熱量 (J/g)		392.56	107.50	53.33
峰頂溫度 ($^{\circ}C$)		53.2	40.4	53.5
控制定溫 下之熱量 值 (H) (J/g)	43 $^{\circ}C$	148.65(38%)	34.14(32%)	13.43(25%)
	53 $^{\circ}C$	194.37(50%)	47.88(45%)	20.04(38%)
	63 $^{\circ}C$	227.48(71%)	70.60(66%)	31.33(59%)
ΔE (KJ/mole)		15.37	80.88	50.46
n		2.1	3.3	5.0
A (min^{-1})		8.53. ¹	7.23. ¹¹	6.07. ⁸

註 () : 轉化率。

表六 水泥熟料漿體之反應活性能

單位: KJ/mde

材料	C_3A	C_4AF	C_3S	C_2S	普通水泥	高 鋁 水 泥			
						40% Al_2O_3	50% Al_2O_3	70% Al_2O_3	80% Al_2O_3
ΔE	1.47	41.74	146.75	156.94	112.14	109.73	99.98	97.71	86.54

表七 DTA 測試放熱峰頂溫度結果

單位: $^{\circ}C$

材 料	細度3500 cm^2/g	細度6000 cm^2/g	可能生成物(3)	文獻數據(3)
C_3A	153 320	100 310	C_2AH_8 ; C_4AH_{13} C_3AH_6	170, 245 310, 315~330
$C_3A+C-S-H_2$	135 300	172 302	Aft C_3AH_6	140~150 290~300
C_4AF	120~170 300	150 270	$C_2(A, F)H_8$; $C_4(A, F)H_{13}$ $C_3(A, F)H_6$	220 360
$C_4AF+10\%C-S-H_2$	80~150 250	140~160 300	硫鋁鐵酸鹽 AFm'	150 250~300
$C_4AF+10\%C-S-H_2$ +10%CH	120 410	100~120 400~410	AFm' Aft'	— —
$C_4AF+10\%C-S-H_2$ +10%CH +10%NaCl	140 250 450	140 280 395	AFm' AFCl Aft'	— — —
卜特蘭 I 型水泥	100	—	C - S - H CH	105

符號說明: Aft: $C_3A \cdot 3C-S-H_{32}$ AFm': $C_4(A, F) \cdot S_3 \cdot H_{12}$ Aft': $C_6(A, F)-S_3-H_{32}$ AFCl: $C_4(A, F) \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$

表八 C₃A與C₄AF之TGA測試結果

單位：%

細度 (cm ² /g)	C ₃ S 原料	C ₂ S 原料	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF	C ₄ AF+10%石膏	C ₄ AF+10%石膏 +10%(CaOH+NaCl)	普通 水泥
3500	0.73	1.34	3.43	18.45	7.50	10.89	7.28	13.59
6000	0.48	1.19	3.23	14.14	6.50	9.17	2.78	—

表九 濕拌水泥料之熱失重及水化程度

材 料	水 灰 比		
	0.24	0.40	0.80
卜特蘭 I 型水泥	10.75(27.0)	12.93(36.76)	
水泥 + 10%NaCl	23.04(60.6)	23.96(64.86)	
水泥 + 20%NaCl	24.28(66.6)	30.35(69.56)	
水泥 + 40%NaCl	27.69(69.2)	34.64(72.94)	
C ₃ S	12.18(31.41)		17.33(40.8)
C ₂ S	3.43(9.44)		3.96(14.80)
高爐石水泥		17.44(41.27)	23.49(25.88)
水泥 + 40%飛 灰		14.49(34.27)	
水泥 + 60%飛 灰		18.13(38.05)	
水泥 + 40%砂 灰		17.00(45.35)	
水泥 + 60%砂 灰		17.47(41.21)	
水泥 + 10%強塑劑		13.03(35.11)	
水泥 + 20%強塑劑		14.35(40.02)	
水泥 + 60%標準砂		8.87(12.33)	
水泥 + 60%海 砂		6.47(15.41)	

表中為溫度1000℃時之熱失量(%)

()為化程度(%)

表十 海砂之熱失重情形

單位：%

材 料	W _{105°C}	W _{580°C}	W _{1007°C}
標準砂	+ 0.07	+ 0.16	+ 0.20
摻加 0.5% NaCl	+ 0.03	- 0.18	- 0.42
摻加 2.0% NaCl	- 0.04	- 0.83	- 2.92
海 砂	- 0.26	- 0.66	- 2.44
純 NaCl	+ 0.04	- 0.05	- 16.77

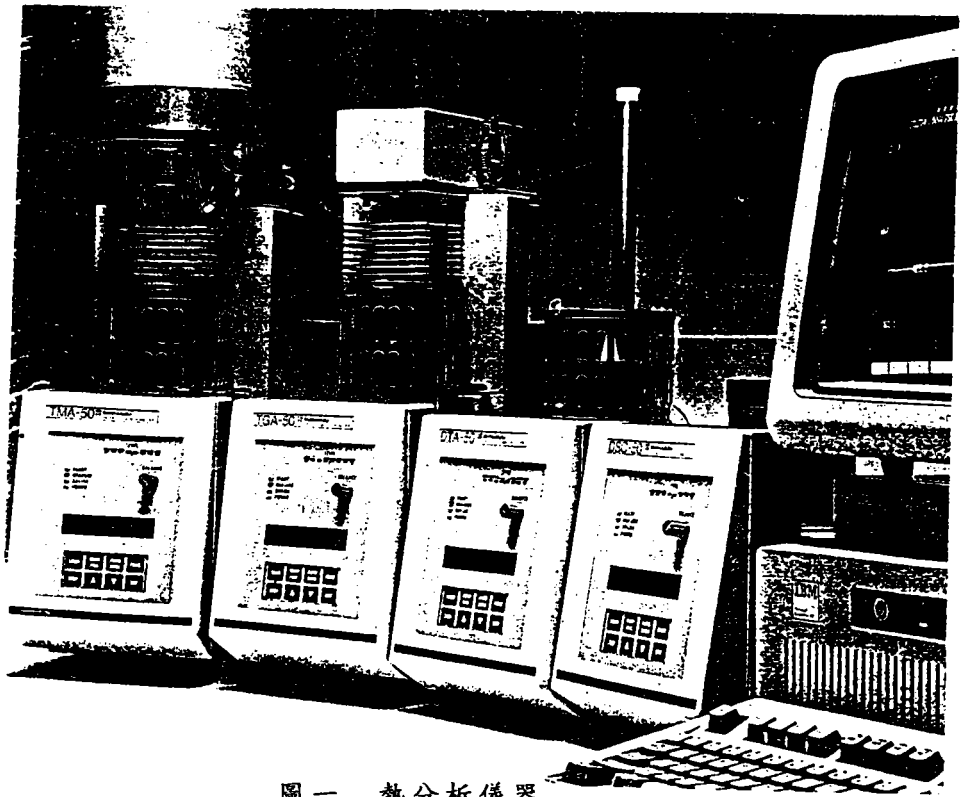
表十一 水泥之熱重反應活性能

材料種類	高 鋁 水 泥 (Al ₂ O ₃ 含 量)				普 通 水 泥
	40°C	50°C	70°C	80°C	
Δ E(KJ/mole)	12.22	10.32	2.63	0.35	15.36

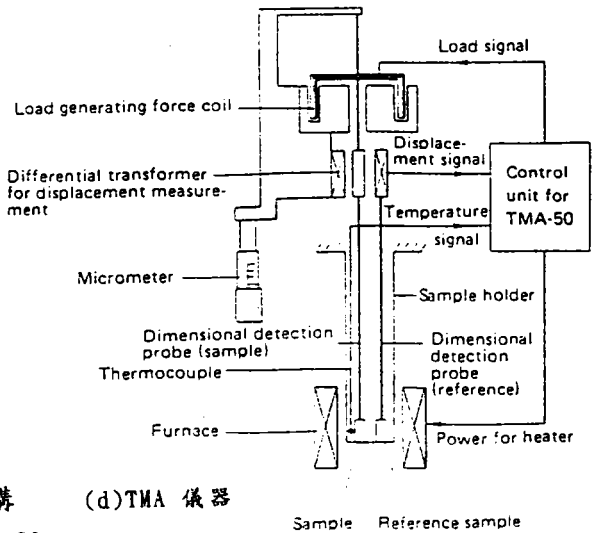
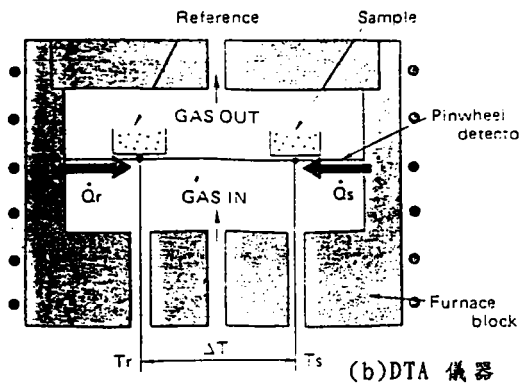
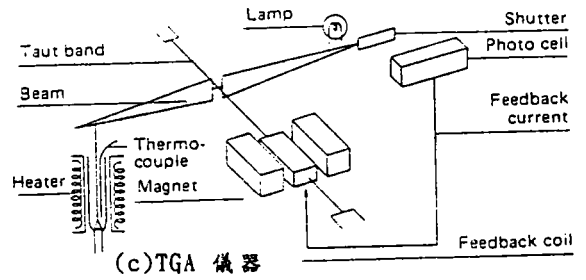
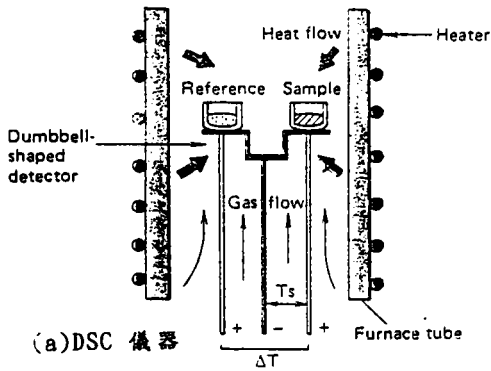
表十二 水泥體之壓縮量及彈性模數

負荷及加熱條件	變 數	普通水泥	高鋁水泥	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
初始負荷20公克	壓縮量(%)	10.47	12.07	17.67	3.3	8.65	3.59
加熱至1000°C	彈性模數(kg/cm ²)	13.35	12.35	0.25	9.02	13.10	1.61
	在(1000°C時)	(994°C)	(998.7°C)	(57.18)	(16.03)	(18.15)	(77.10)
初始負荷20公克	壓縮量(%)	—	—	4.12	0.78	0.15	3.75
加熱至500°C	彈性模數(kg/cm ²)	—	—	5.45	7.4	4.42	11.54

註：()降溫至993°C時之數據。

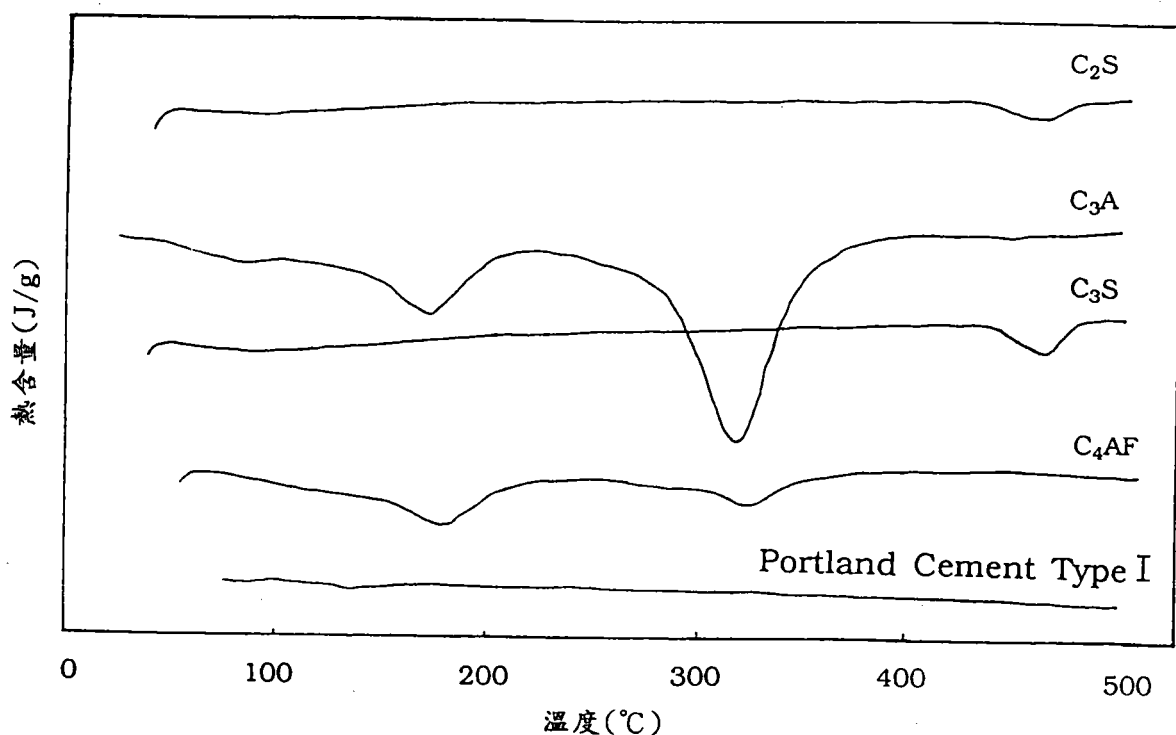


圖一 熱分析儀器

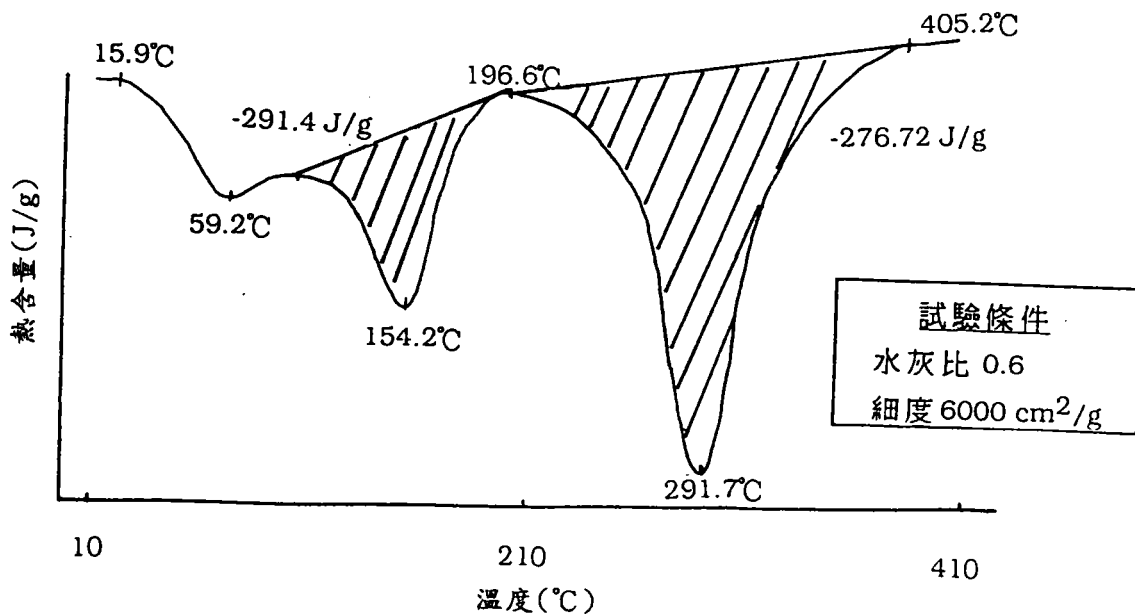


圖二 熱分析儀器基本結構

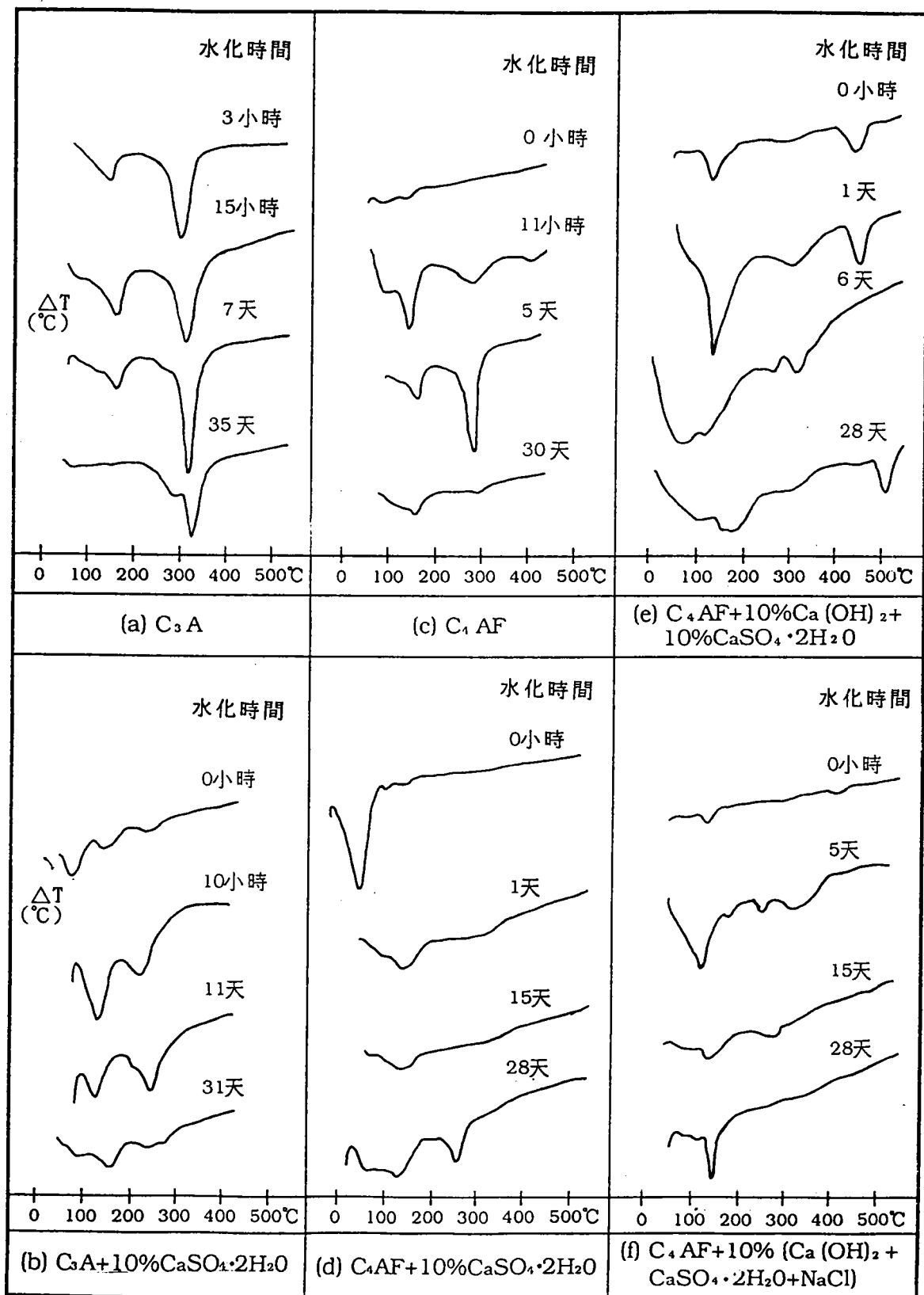
(d) TMA 儀器



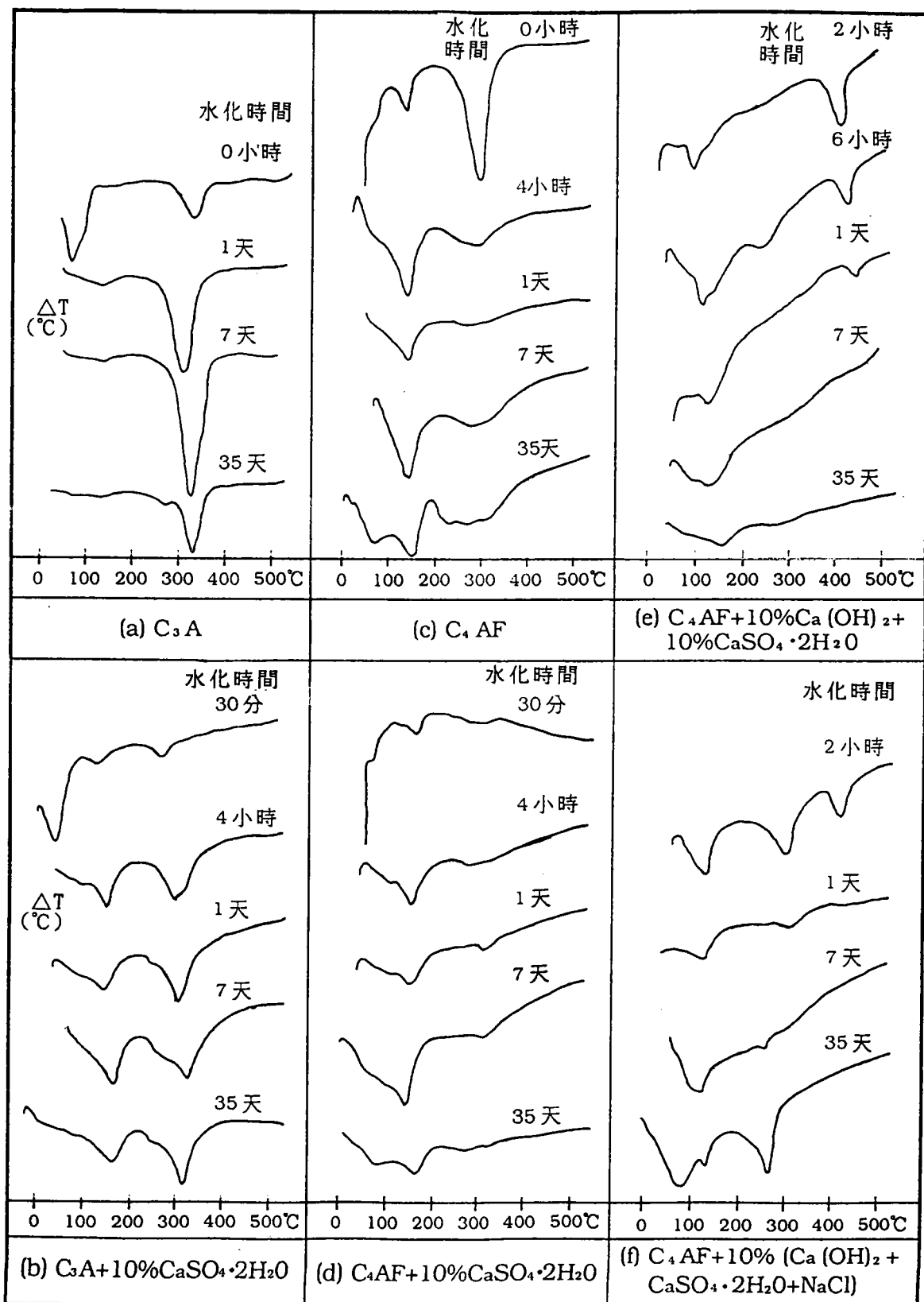
圖三 代表性水泥熟料DSC曲線



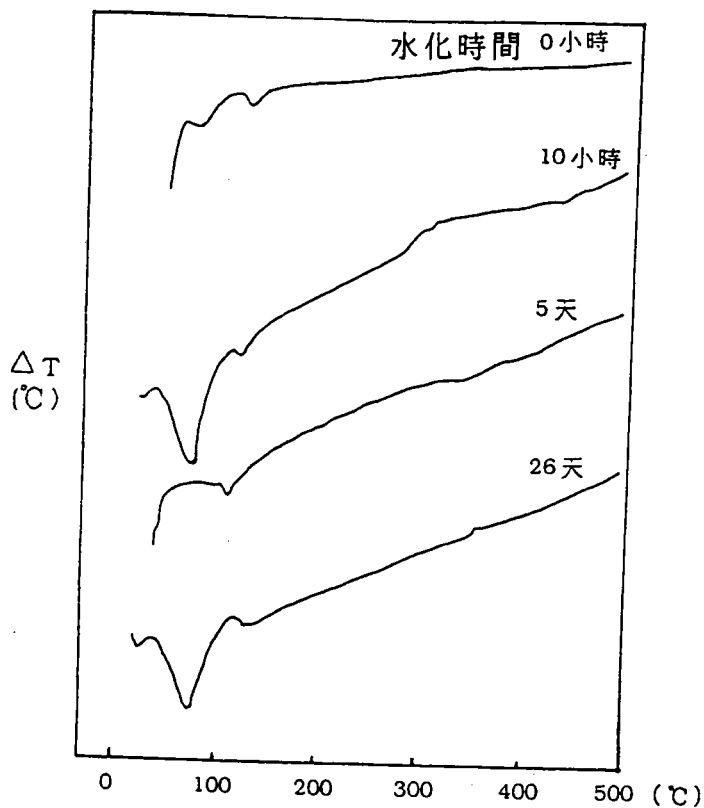
圖四 代表性C₃A之DSC曲線



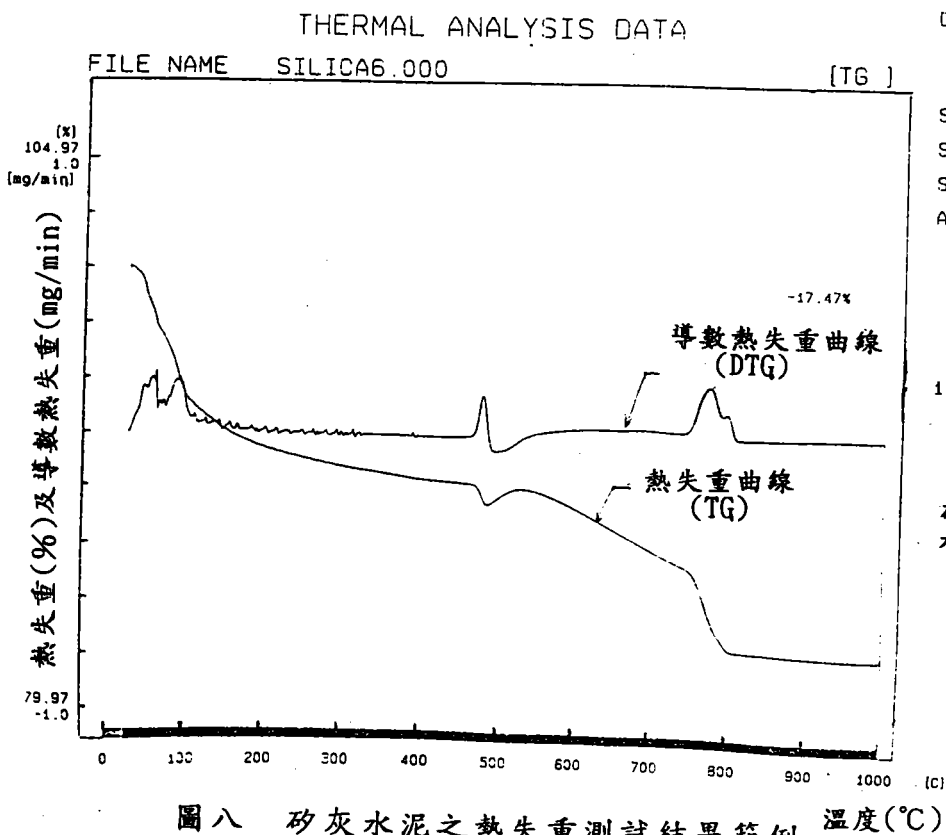
圖五 C_3A 與 C_4AF 漿體之DTA測試數據(細度 $3500\text{cm}^2/\text{g}$)



圖六 C_3A 與 C_4AF 漿體之DTA測試數據(細度 $6000cm^2/g$)



圖七 普通水泥之DTA測試數據



圖八 矽灰水泥之熱失重測試結果範例

DATE 95/06/16

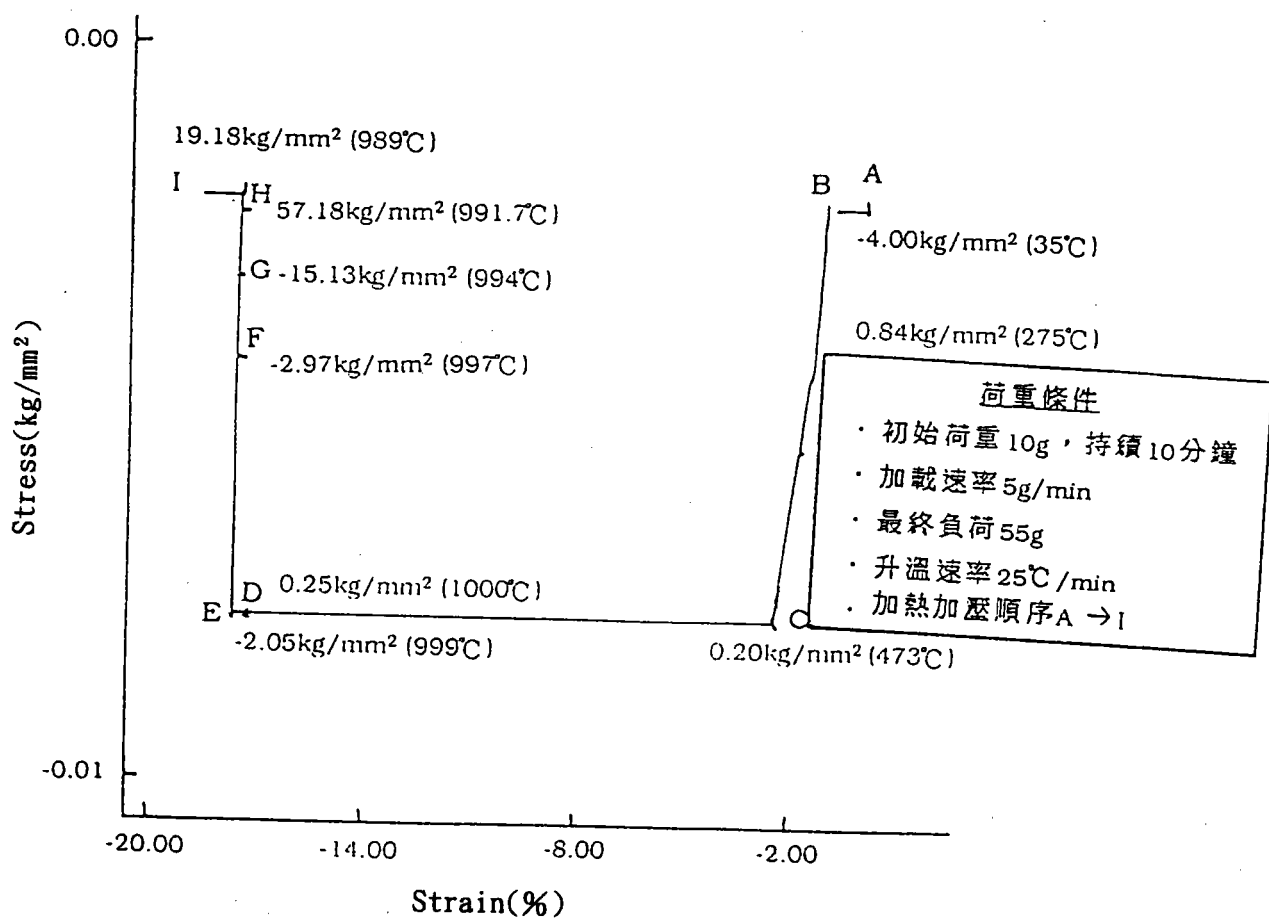
MEASURING CONDITIONS
 SAMPLE NAME
 SAMPLE SIZE 20.000g.
 SAMPLING INT 10.0
 ACQ. DATE 95/06/16
 COMMENT

HEATING PROGRAM
 RATE TEMP TIME
 1 10.0 1000.0 0

說明：

矽灰/水泥比=0.6
 水灰比 = 0.4

SHIMADZU



圖九 C_3S 漿體熱應力下之彈性模數與加熱溫度之關係

結論與建議

根據本研究結果可得出下列結論與建議：

- 一、花蓮港九號碼頭及航道之鋼板樁，使用約18年，均未作防蝕措施，其平均腐蝕速率隨水深之增加而降低，最大平均腐蝕速率均為0.16 mm/yr(平均低潮位線下50~80公分處)。
- 二、除了老舊碼頭須調查外，新建碼頭之鋼板樁厚度，陽極塊之相關資料....等均需現場實測，以作為日後調查之比對依據。
- 三、安放在基隆港海域之材料試片腐蝕情況顯示，犧牲陽極能保鋼材有效防蝕，有錫或無錫之防海生物附著塗料，6個月亦能有效防蝕及防污附著，未保護之裸鋼顯示腐蝕速率隨海水深度增加而降低，304不銹鋼因海生物附著有嚴重孔蝕現象，且亦受間隙腐蝕。
- 四、附著生物之種類與數量明顯地與擺放位置及季節變化有關。
- 五、有錫與無錫之塗料，均含有不利於生物之化學物質，在現場及實驗室之試片，均能有效的延緩附著生物之演替速率及有效的防止附著生物之附著；而其防止生物附著的有效時期，則有待後續的採樣，才得以了解，又從環保之眼光來看，其對海生物之毒性亦需進行探討，找出毒性低且防蝕、防銹效果好的防污劑。
- 六、在實驗室中，海水內添加 MoO_4^{2-} (硫酸還原菌抑制劑) 會抑制裸鋼之生物腐蝕速率，但添加BESA (甲烷菌抑制劑) 對含裸鋼之pH值的增加，沒有抑制作用，且其海水之生物腐蝕率與實驗組之生物腐蝕率相同，這可能表示甲烷菌在生物腐蝕作用較不重要。
- 七、在實驗室中，浸泡裸鋼之海水其 SO_4^{2-} 離子在浸泡期間低，尤其是東2碼頭表層水中 SO_4^{2-} 離子降低速率及 S^{2-} 離子生成速率最快，故在厭氧環境下硫酸還原作用可能是造成腐蝕主因。東2碼頭表層水，比起3M深或9M深處水及其他西22碼頭，27碼頭表層，3M深或9M深之硫酸還原速率高，此可能也是由於此處污染程度較高有機物含量較高所致。因過去有報告指出有機污染物含量較高的海水中腐蝕速率較高，此亦須進一步研究證實。
- 八、建議未來進行長期研究以探討
 - (a)含不同防污劑之油漆對防銹防蝕之作用

(b)不同防污劑或細菌抑制劑在水中之傳遞，或是細菌抑制劑與防污劑在生物膜內之傳遞與濃縮，細菌抑制劑與防污劑在水中或是生物膜內之分解。

(c)不同防污劑或細菌抑制劑對生物膜形成之影響。

(d)細菌抑制劑與防污劑同時使用之效果。

(e)長期使用防污劑對水生生物之影響，或是防污劑之毒性。

九、一般而言，附著生物之研究，都是為了解決船舶與港灣設施污損情況；因此，其研究之成員往往由兩組不同領域人員組成。(1)生物領域：生物分類、生態、微生物、生理學與生物化學等專業人員。(2)工程領域：與化學、物理、機械、船舶及港灣設計與技術等相關之專業人員。而經組合後採行之研究，其結果往往事半功倍。因此，本研究之模式應值得往後類似研究採行。

十、水泥及水泥熟料受熱後發生相變化所產生之熱量、失重及體積變化之溫度範圍均相當一致，應用熱分析技術，不僅可偵測混凝土在施工中是否摻加有害物亦可詳估混凝土之耐久性。

十一、熱分析所使用之試樣量少，操作方便，省時，其技術可提供水泥水化行為及生成物形成時熱含量、溫度、質量及體積變化之定性參考，建議此方面之技術應深入研究應用並配合掃描式電子顯微鏡(SEM)及x光繞射儀(XRD)...等精密儀器，以便偵測水化生成物之微觀及組成特性。