

82—研（十二）

港灣鋼結構物耐久性研究
第四年報告

執行期間：民國八十一年七月至八十二年六月

計劃計持人：陳桂清

協同主持人：饒 正

研究人員：柯正龍 吳信昇 林隆貞

陳正義 何木火 王培源

李昭明 卓小鳳

台灣省交通處

參與人員：吳斐然

各港務局

參與人員：林坤田 賴福順 林勝義

郭豪彥 林 勝

目 錄

致謝

壹、研究工作概述	陳桂清
貳、海洋鋼結構物之腐蝕機理與環境影響因子	陳桂清
參、陰極防蝕試驗	陳桂清
肆、現場腐蝕調查	饒 正
伍、塗料試驗	柯正龍
附錄一 花蓮港 5 號碼頭鋼板樁厚度測定結果	
附錄二 花蓮港 6 號碼頭鋼板樁厚度測定結果	
附錄三 台中港 29 號碼頭鋼管樁厚度測定結果	

致 謝

本計劃主要研究對象乃是針對本省五大港口鋼板（管）樁碼頭等鋼構造物之腐蝕現況調查及腐蝕防制策略之探討。在研究期間承蒙交通處及各港務局長官的大力支持，派員參與研究，提供許多寶貴的實務經驗與相關資料，並協助現場調查工作，使本研究能順利推動。同時國立海洋大學船舶機械系教授吳建國博士、工業技術研究院工業材料研究所楊淵州博士以及匯茂股份有限公司王唯寧總經理與李定湘博士等多人，亦非常熱心地提供許多研究諮詢與資料，使本研究內容更為充實。

本計劃為一國內之先驅研究工作，為建立腐蝕防制之策略以及定期檢測維修之觀念與制度，必須結合學術界與工程界共同合作，若沒有他們鼎力之支持與參與，就無法順利完成任務。在此衷心感謝各單位及參與人員之協助。

台灣省交通處港灣技術研究所

港工材料組組長 陳桂清

中華民國八十二年六月三十日

壹、研究工作概述

陳桂清*

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，利用 SEM（掃描式電子顯微鏡）做金相分析，了解鋼結構物破壞之形態，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之方法與條件等，預期今後對鋼結構物之建造與修護能規劃出防蝕、設計、材料選擇等之規範，以增強港灣結構物之耐久性與安全，延長設備使用效益。

一、全程研究工作概述

本研究計劃共計五年，自78年7月至83年6月止，其工作進度如表1所示。

(一)緣起：

港灣結構物在海洋環境下易發生腐蝕現象而造成破壞，爲確保其耐久性，對鋼結構物之施工材料設計，以及防蝕對策，均十分重要。

(二)目的：

1. 對現有港灣鋼結構物腐蝕破壞特性了解。
2. 提出現有港灣鋼結構物之防蝕對策。
3. 提出今後港灣鋼結構物在材料選擇、設計、施工、防蝕規範訂定之參考。

(三)實施方法：

1. 資料蒐集。
2. 調查現有港灣鋼結構物之腐蝕情形。
3. 調查現有港灣鋼結構物使用鋼料之種類及性質。
4. 量測港灣鋼結構物之腐蝕速率。
 - a. 現場曝露大氣層中之腐蝕速率。

* 港灣技術研究所副研究員兼港工材料組組長

- b. 浸漬於海水中之腐蝕速率。
- 5. 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。
- 6. 防蝕方法之研究。
 - a. 陰極防蝕法。
 - b. 塗裝（金屬塗裝、有機塗裝、無機塗裝……等。）
- 7. 鋼材料之選擇。
- 8. 鋼結構物防蝕設計之考慮因素。
- 9. 環境改善因素。

(四)預期效益

通盤了解及建立現有各港口鋼結構物耐久性之完整資料，今後建造新鋼結構或維修現有鋼結構物之規範。

二、本年度主要執行研究工作內容為

(一)陰極防蝕試驗

為提昇防蝕設計之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。本試驗將採兩種陰極防蝕方式（亦即犧牲陽極法與外加電流法）同時進行。

(二)現場腐蝕調查

本年度繼續執行碼頭鋼板樁腐蝕損壞情形之調查。詳細調查結果在第四部份中說明。

(三)塗料試驗

防止鋼鐵材料腐蝕方法除了陰極防蝕外，塗裝（覆）方法亦能減低金屬腐蝕發生，因此選擇適當的塗裝系統亦不容忽略。本試驗將選用幾種塗裝系統，分別擺至於大氣帶、潮汐帶、海中帶，觀測其防蝕效應。

表 1 港灣鋼結構物之耐久性研究預定進度表 (全程)

年 月	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84
	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
工作項目												
1. 海洋腐蝕資料調查	—————											
2. 現場腐蝕狀況調查	—————											
3. 材料分析	—————											
4. 設計考量評估						—————						
5. 材料選擇			—————									
6. 防蝕方法				—————								
7. 塗料試驗				—————								
8. 報告選寫		—		—		—		—		—		

貳、海洋鋼結構物之腐蝕機理與環境影響因子

一、前言：

金屬發生腐蝕為一自然的反應過程，大多數的金屬材料曝露於宇宙大氣層環境下都會自然逐漸地被腐蝕，尤其是在酸、鹼或海水等環境下，腐蝕更趨嚴重。

海洋（水）面積佔地球表面積百分之七十，為一廣大浩瀚的大自然水溶液，它包含許多各類物質，諸如有機體、無機體、固體、氣體……等。金屬材料浸泡於此水溶液環境下，材料本質原具有之熱力學平衡性質失去了穩定性，因此金屬很容易傾向於腐蝕。

鋼鐵材料由於蘊藏豐富，各種機械性質（如具高強度、韌性…）優良，材質均一，價格低廉、容易切割、焊接…等施工便捷，因此大量使用於海洋結構物主體結構工程中。鋼板樁與鋼管樁在港灣結構物（如碼頭鋼板樁岸壁、碼頭繫留設施、外海船席或鑽油平台等）使用量極多。這些鋼構物，長期浸泡於海水下，鋼材極易發生腐蝕，其受腐蝕侵襲之程度隨著曝露區域以及週遭環境因子的影響而有很大的差異，如圖2.1所示⁽¹⁾。

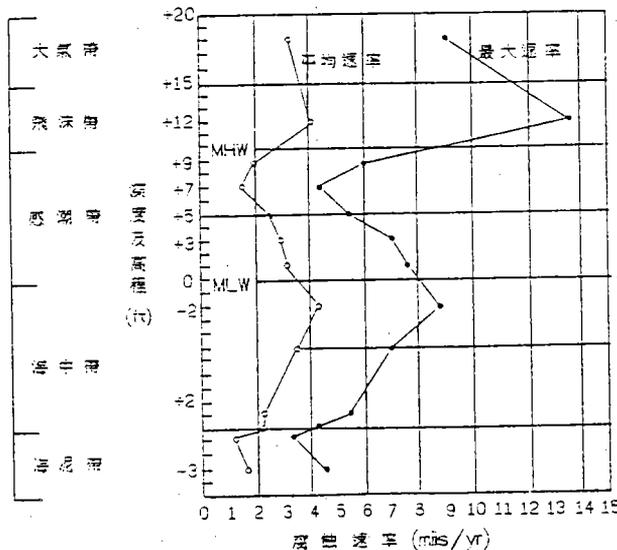


圖 2.1 海洋鋼板樁碼頭結構物腐蝕率剖面圖

為確保鋼結構物之耐久性以及在規劃設計、材料選用及防蝕策略上有所助益，必須了解鋼結構物發生腐蝕的原因以及可能影響腐蝕速率變化之因素。

二、金屬的腐蝕機理：

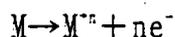
(一)腐蝕之基本原理

腐蝕為一自然反應，大多數的金屬礦物在自然條件下均以氧化物狀態之穩定化合物形式存在。從礦物中冶煉之金屬，當曝露在天然環境下，由於環境因素之影響，這些金屬材料，逐漸由不穩定之狀態逐漸回歸於原來穩定之氧化物狀態，這種材料性質改變的過程，即為腐蝕之行爲^[2]。

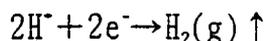
(二)腐蝕的電化學特性^[4]

腐蝕是金屬材料與週遭的環境（諸如水、氧、腐蝕性離子等）反應，而發生物質退化的現象。它是屬於一種電化學反應之行爲，其間涉及有電子的轉移，如金屬由原子狀態因放出電子而變成金屬離子，或金屬離子因獲得電子而成為金屬，因而構成氧化反應（陽極）及還原反應（陰極）之發生^[3]。而反應之難易與金屬材料的氧化還原電位有關。因此任何腐蝕的發生，必須具有陽極反應和陰極反應以及能使電子或離子流動轉移之導電途徑（亦即電解質），形成一封閉的導電迴路。任何金屬在水溶液中可視為表面不斷進行著陽極與陰極反應，其腐蝕過程如下：

陽極反應部份：（主要是金屬的溶解）



陰極反應部份：（在酸性水溶液中，則有 $H_2(g)$ 釋出）



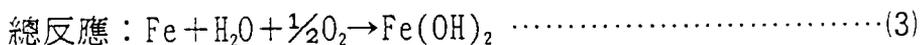
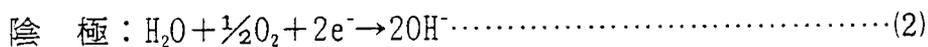
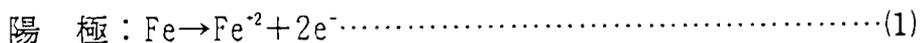
或 $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2OH^{-}$ （在中性或鹼性水溶液中）

在自然腐蝕狀況下，許多局部陽極反應及陰極反應區同時分佈在一塊金屬表面上。通常這些局部陽極反應與陰極反應區域並不固定在某一位置點（原子）上，而是隨時在變化移動。當這些局部陽極與陰極區隨迴流且持續地在變動位置時，則金屬表面將會產生粗糙現象而形成銹層，是謂均勻腐蝕。如受到其它因素影響，這些局部活化區域（陰極與陽極區）被固定而不移動位置時，則金屬表面遭受到局部腐蝕（例如孔蝕、間隙腐蝕等）^[4]。

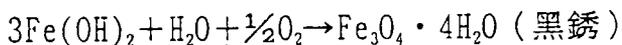
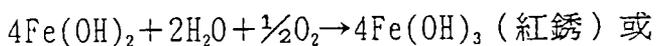
三、鋼材在海水中之腐蝕過程^[4]：

海水中之鋼材（如鋼板樁等），在鋼板樁之表面因同時具有許多高活性區域（陽極反應）與鈍化區域（陰極反應）所形成之許多小腐蝕電池（corrosion cell）系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。

鋼材在海水中發生腐蝕之化學反應如下：



式(3)中， $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 將繼續反應，生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，其反應式如下：



四、影響鋼材腐蝕速率之環境因子

(一)曝露區域劃分：

從許多調查研究發現，海洋結構物之腐蝕的部位及速率有很明顯的差異。由於彼此接觸（曝露）環境不同，其腐蝕形態亦不同，因此為方便區分與探討，特將海洋環境區分成五個曝露區域^[1]，如圖 2.1 所示。

1. 海洋（面）大氣帶：

此區域範圍內結構物表面完全曝露接觸大氣中之各種介質，諸如氣體、日照……等大自然介質。在此區域內大氣中含有高濃度之海鹽粒子，加上大氣中日照，溫度變化，致使碳鋼材料結構體之外表很容易受到侵蝕。

2. 飛沫帶：

此區域範圍自平均高潮位以上至海面大氣帶下端，鋼板樁曝露於此範圍內時，由於不斷反覆地受到海浪的潑濺以及日曬乾燥，產生乾濕循環作用，致使附著鋼材表面之鹽份（氯離子）及氧氣濃度不斷增濃，腐蝕更為嚴重，因此腐蝕速率很大。此區域為五個曝露區域中，腐蝕最嚴重的部位。

3. 感潮帶：

此區域介於高低潮位之間，由於受到海水漲退潮之變化，鋼板樁表面週期性的接觸海水浸泡及曝露於大氣中，猶如進行乾濕反覆作用。在此區域內，由於空氣與海水波浪之交夾作用，致使海水中之溶氧濃度高，因而在感潮帶下方緊鄰海中帶之部份，恰可形成一個氧氣濃淡電池作用之現象。因此溶氧量高之感潮帶中之鋼板，可視為一陰極反應面積，腐蝕速率低，而低潮位下約1m處（亦即海中帶部份），因溶氧量低，故可將海中帶內之鋼板當成陽極反應部位，因此腐蝕量較大。

由於受到氧氣濃淡電池作用，感潮帶中之腐蝕速率為五個曝露區域中最低者。

4. 海中帶：

此區域範圍自低潮位下端至海泥（床）帶間，在此曝露範圍內，整個結構體完全浸泡於海水中。此區域之上端邊緣，亦即與最低潮位緊接鄰的區域，因有氧氣濃淡電池之作用，曝露於海中帶之鋼板則可視為一陽極反應區域，因此海中帶上端部位之鋼板腐蝕速率很大

，極需做適當的防蝕保護措施，同時，在此區域中，海生物之附著問題，海流之沖擊、水溫及溶氧量等因素，亦會影響腐蝕速率。

5. 海泥（床）帶：

在此曝露區域內，鋼板（管）樁等結構物均係埋入於海底土層中，與海水接觸較小，一般而言鋼材之腐蝕速率很小，然而在污染的海域中，如有硫化氫（ H_2S ）或海泥中有硫酸還原細菌存在的話，則鋼材的腐蝕性會增加，腐蝕速率變大。

(二)海水的特性：

海水是一個極複雜的水溶液，為大自然環境下一個包容性非常大的緩衝溶液，碼頭鋼板（管）樁絕大部份（約80%）都浸泡於海水溶液下，其間金屬材料發生腐蝕之變化很大，因此有關海水之化性、物性及相關影響因素都必須深入探討之。

1. 含鹽量^[5]：

海水與其它水溶液最大的不同點，即海水含有很高的鹽份（i.e. 以氯離子濃度或鹽度表示之），亦是鋼鐵材料最易發生電化學腐蝕反應之環境。在廣闊的大海中，海水中大約含有3.5%（重量百分比）之氯化鈉（ $NaCl$ ）或鹽度（Salinity）約介於32~36之間或氯鹽度（Chlorinity）介於18~20。在封閉的海灣水域，由於蒸發作用，致使海水鹽度較高，例如紅海其鹽度約為41。而在有河川流入之海口附近，因受陸地淡水溪流之稀釋，則鹽度較低^[4]。

海水中之 Cl^- 能穿透破壞鋼鐵表面之鈍化性質或阻止鈍態保護膜之生成，因而使鋼鐵表面發生腐蝕。據美國海軍研究人員 Reinhart 在太平洋海域所做試驗發現，海水含鹽量之多寡與溶氧量、pH值、溫度、水深等均有相互關係，如圖2.2所示^[5]。鋼材之腐蝕速率亦受影響。圖 2.3 為鐵之腐蝕速率與溶氧量及含鹽量之關係^[3]。

圖中顯示當 $NaCl$ 濃度在 10g/l以內時，溶氧量維持一定值，而Fe之腐蝕速率隨 $NaCl$ 含量增加而遞昇高。當 $NaCl$ 濃度大於 10g/l時，溶氧

量及Fe之腐蝕速率則隨NaCl濃度增加而遞減^[3]。

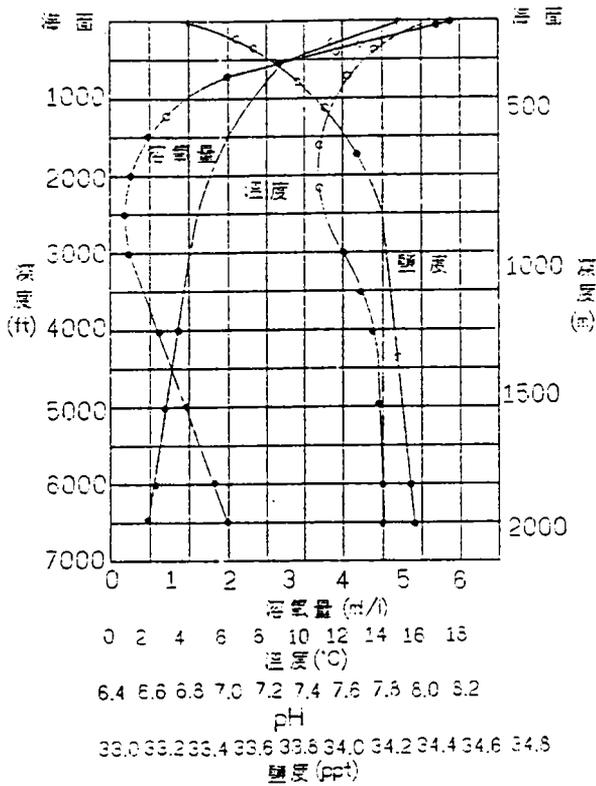


圖 2.2 海水之鹽度、溫度、pH值與海水密度之關係

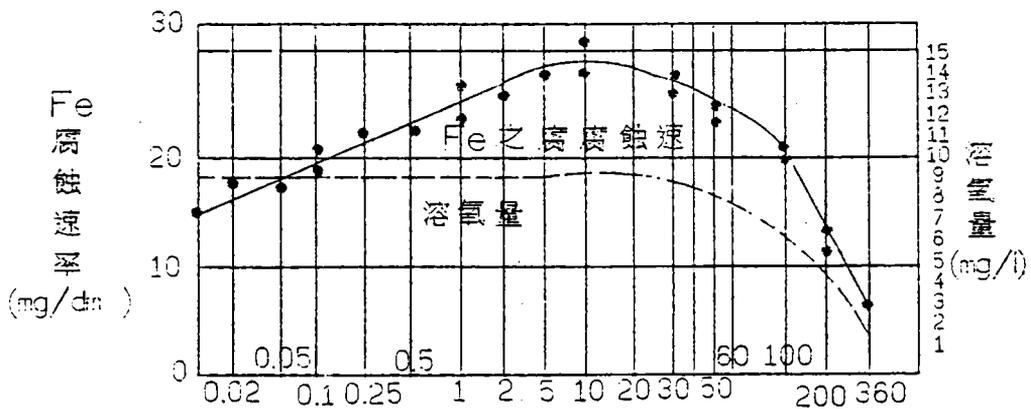


圖 2.3 Fe之腐蝕速率與溶氧量及含鹽量之關係

表2.1爲一般典型天然海水之化學成份^[3]。其鹽度與氯鹽度之關係式如下^[5]：

$$\text{鹽度} = 1.80655 \times \text{氯鹽度} + 0.03$$

氯鹽度 (Chlorinity) 定義爲：利用AgNO₃溶液滴定，測定在1000g海水中所包含Cl⁻，Br⁻，I⁻…等鹵素離子之總量，以% 表示。

鹽度 (Salinity) 定義爲：利用AgNO₃溶液滴定測定在1000g海水中所含溶鹽量 (乾基) 之比，以S % 表示之。

表2.1 典型天然海水之化學成份

離子	濃度 (ppm)	離子	濃度 (ppm)
Na ⁺	10,556	Cl ⁻	18,980
Mg ⁺²	1,273	SO ₄ ⁻²	2,649
Ca ⁺²	400	HCO ₃ ⁻	140
K ⁺	380	Br ⁻	65
Sr ⁺²	13	H ₃ BO ₃	26
		F ⁻	1

註：總含鹽量約35g/kg之海水

2. 海水溫度：

海水之表面溫度，通常受到地球上緯度之影響而有所變化。其變化範圍從極地-2°C至赤道35°C之間^[6]。溫度之變化，對海水之化性、物性及海洋（微）生物滋長等都有相當密切關係。因此在金屬材料腐蝕反應觀點下，海水溫度之變化就變成一個極複雜的變數。

一般而言，溫度是影響動力學上之反應速率及質量傳送。在動力學理論控制下，溫度每上升10° K，腐蝕速率則增加一倍^[2]。當海水溫度升高時，致使鋼材變成爲較不高貴電位之金屬，此時鋼材之腐蝕電位開始移向電位更負之方向，亦即鋼材更容易進行腐蝕反應。例如當海水溫度由10°C升高至30°C時，腐蝕電位由-620mV變成-680mV，變化量有60mV左右，如圖2.4所示^[5]。

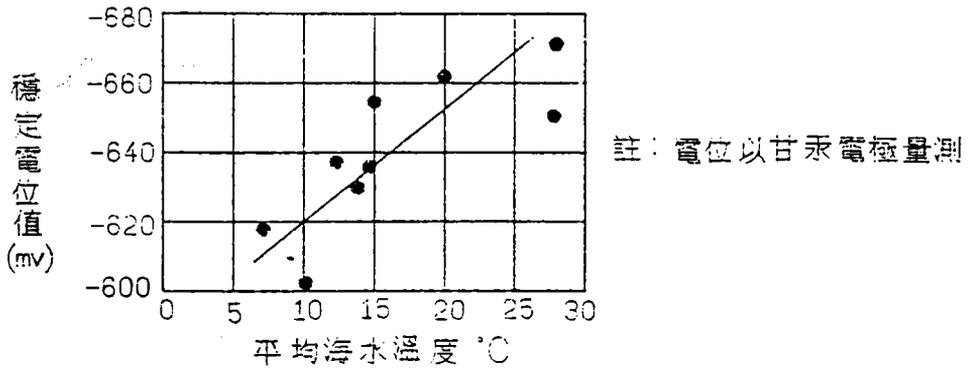


圖 2.4 鐵之腐蝕電位與海水溫度變化之關係

避開不直接影響腐蝕速率外，海水溫度之升高也能改變腐蝕生成物之性質或鈍化含碳酸鈣質層保護膜之增加，降低溶氧量，同時滋長海生物、細菌之繁殖，使金屬材料更易發生孔蝕現象。

圖 2.5顯示在沒有海生物附著影響下，海水溫度變化對鋼材腐蝕速率之效應關係^[5]。

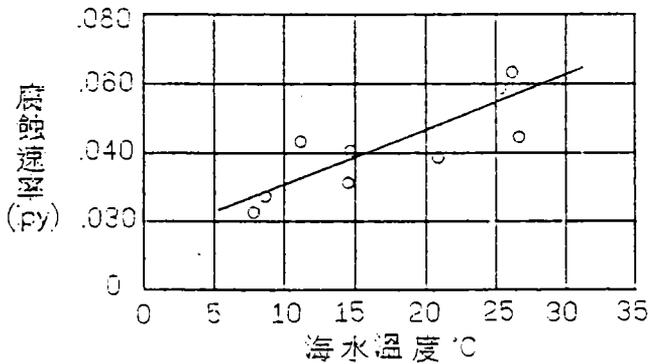


圖 2.5 海水中鋼材腐蝕速率與溫度關係

3. pH值

海水通常是含鹼性之水溶液，海水之pH值是表示海水中多種基本離子與大氣層中之二氧化碳(CO_2)進入海水之量，達成平衡狀況之數值。一般海水之pH值正常情況下是介於8.1至8.3之間。但在停滯不流動之港灣海域中或是海水中之有機物體分解，一方面消耗海水中之溶氧量，一方面受到厭氧細菌作用產生大量之 H_2S 下，亦可能使海水變成較酸性，海水之pH值降低至7.0以下。但在較接近海水表面之部位，當海水中之植物進行光合作用時，將會消耗海水中之 CO_2 量，此時海水之pH值可能增高而超過9.0以上^[5]。

上述pH值之變化隨著海水之深度、溫度、溶氧量…等因素之不同而異，如圖2.2所示。

一般金屬材料在水溶液之腐蝕反應速率與pH值有密切關係，如圖2.6所示。圖中顯示pH值介於4~10之間時，金屬之腐蝕速率與pH值無關，維持一定腐蝕速率，而僅與氧氣擴散至金屬表面之速率有關^[10]。通常鐵材在海水中極易發生腐蝕，金屬表面生成一層阻礙氧氣擴散之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 膜，隨著腐蝕之進行，此膜不斷的更新滋長，並與鹼性海水接觸，因此鐵表面之pH值約為9.5。

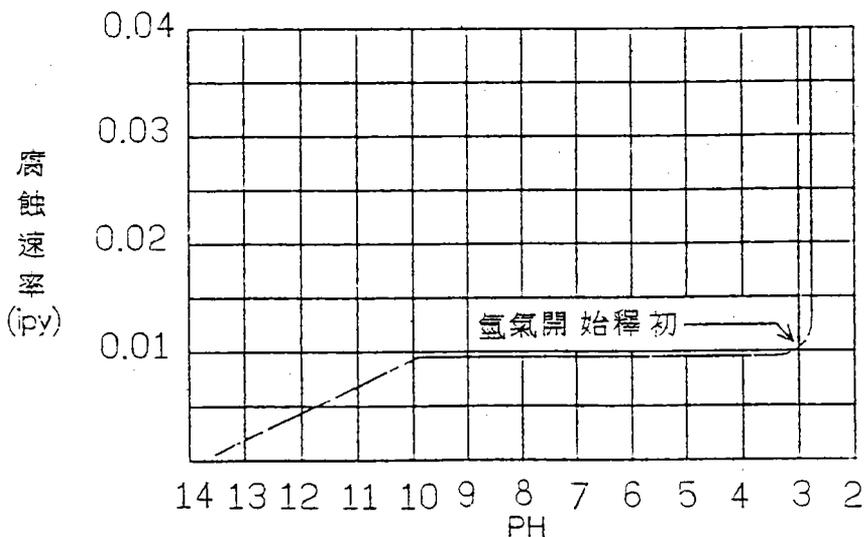


圖 2.6 Fe之腐蝕速率與PH關係(溶液中有氫存在,25°C)

當海水pH值低於4時，鋼材表面之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 鈍態保護膜被溶解，鐵表面之pH值降低。鐵材之次表面層不斷地析出且更能直接與海水接觸，腐蝕速率增大約等於氫氣生成與氧氣去極化作用所產生之腐蝕速率。而pH值大於10時，增加環境之鹼性，亦增加鐵表面之pH值，因此鐵表面之鈍態保護膜不易溶解，腐蝕速率大大降低。

4. 溶氧量：

氧是海水中金屬發生腐蝕最主要的催助劑。主要原因乃是鋼材腐蝕電化學反應過程中，氧在陰極半反應部份中與水作用，生成 OH^- ， OH^- 再與陽極半反應部份中之溶解出之 Fe^{2+} 作用，形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 之腐蝕生成物，如果氧氣供應充足時，則 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 繼續繁衍生成各種不同之鐵銹生成物。海水中鋼鐵之腐蝕速率依其表面之溶氧量而定，若海水之溶氧量增加時，則接觸鋼鐵表面之氧量增加，其腐蝕速率增大，如圖2.7所示^[2]。在正常的大氣壓下，海水之溶氧量隨著溫度及鹽度之變化，維持一平衡關係。表2.2顯示在1大氣壓下，正常鹽度下，海水中溶氧量與溫度之關係。

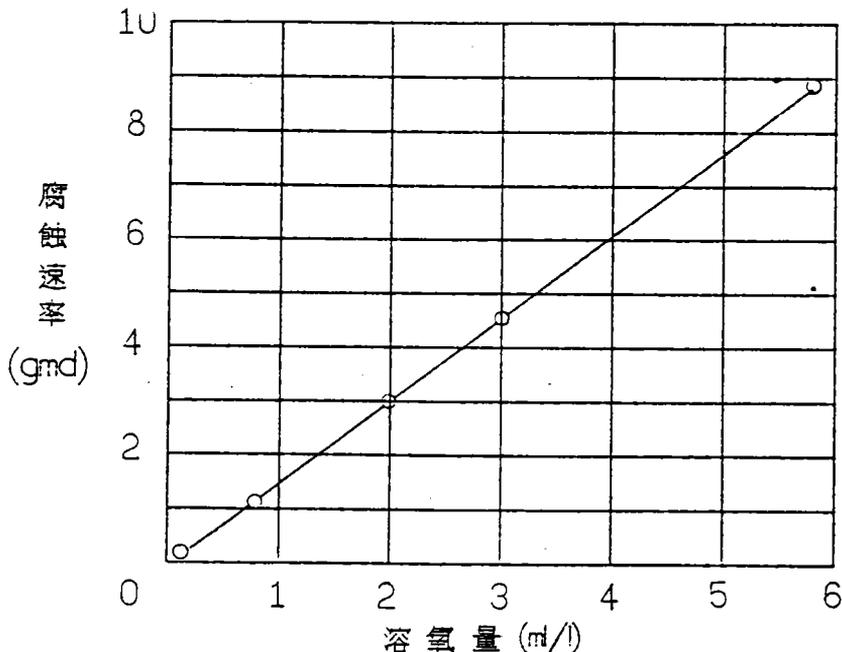


圖 2.7 鋼鐵之腐蝕速率與溶氧量關係

表2.2 溶氧量與溫度關係 (1atm, 一般鹽度水)

溫度 (°C)	-2	0	5	10	15	20	30
溶氧量 (ml/l)	8.52	8.08	7.16	6.44	5.86	5.38	5.42

溶氧量變化亦隨海水深度而有所差異，主要受到海中植物進行光合作用或有機生物體之分解作用，而致使溶氧量有所消長，如圖 2.2 顯示溶氧量與溫度、水深、鹽度、pH值等之關係。在深海處，溶氧量低，對大多數之金屬而言，其腐蝕速率相對亦低，溶氧量亦受海水流速之增大而增濃，亦受某些好氧細菌之作用（消耗）而降低濃度。

5. 比導電度 (Conductivity) :

海水之比導電度是決定金屬腐蝕量多寡之一個重要因素，尤其是在有伽伐尼偶合作用(Galvanic coupling)及金屬表面局部有間隙存在的地方。從腐蝕工程師之觀點來看，海水與其它水溶液比較時，最主要的特徵是海水具有很高的比電導度，約比一般水溶液高250倍^[5]以上。表2.3為各種水溶液之比導電度值^[4]。

表2.3 各種水溶液之比導電度

水溶液種類	比電阻 (ohm-cm)
純水	20,000,000
蒸餾水	500,000
雨水	20,000
自來水	1,000/5,000
淡海水河川	200
北極地區海水	35
公海海水	20/25
熱帶地區海水	16

海水之高比導電度容易造成金屬表面大面積的發生腐蝕反應，尤其是金屬表面之陽極面積小而陰極面積大時，腐蝕更是嚴重，最後形成局部孔蝕或間隙腐蝕。圖 2.8 為比導電度與鹽度及溫度之變化關係^[6]。

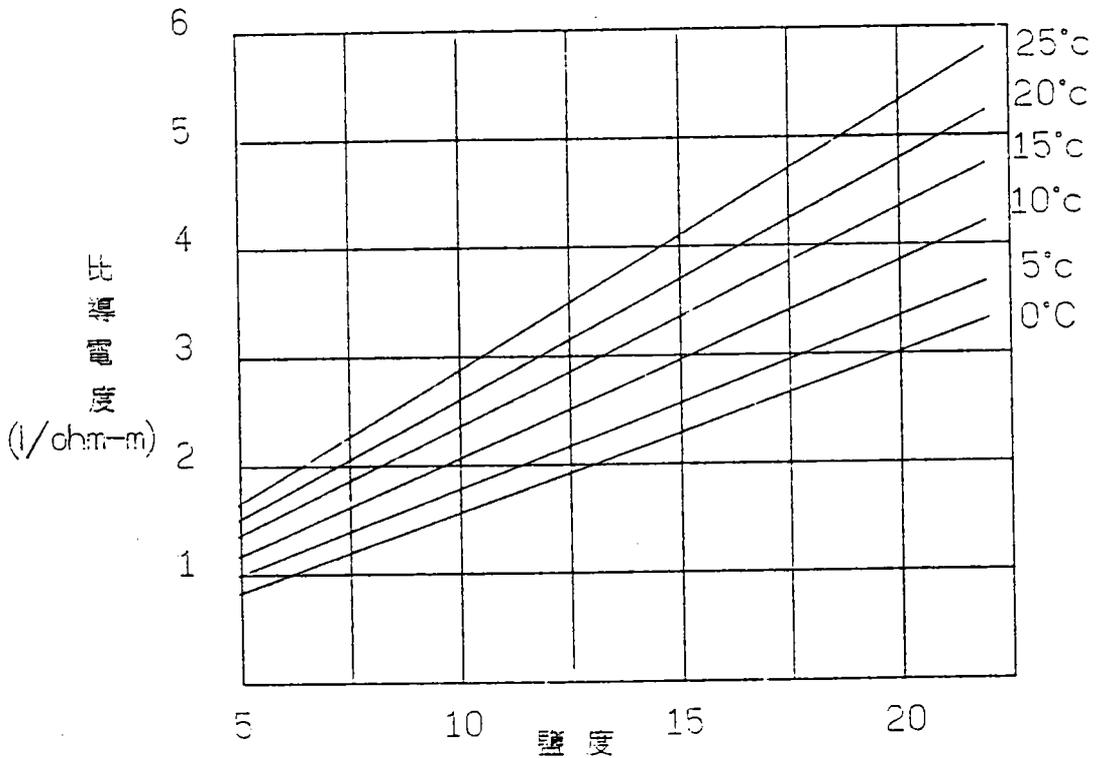


圖 2.8 比導電度與 鹽度·溫度之變化關係

6. 海水深度：

海水深度對金屬腐蝕之影響，現有公開的研究調查資料並不多。由美國海軍試驗站研究人員Reinhart，於1966年曾在太平洋的試驗站所做的深海腐蝕試驗，其試驗結果如表 2.4所列^[4]。表中顯示，深

度對腐蝕之影響隨著地點之不同而異，同時溶氧濃度更是主要影響因素，如圖 2.9及圖2.10所示^[5]。一般而言，腐蝕速率隨著海水深度之增加而呈遞減趨勢，但是亦有例外，如深至海床泥土時，若有硫化物存在時，更能助長厭氧性之硫酸還原菌之滋長，最後更可能加速金屬之腐蝕反應速率。海水之深度與溶氧量、溫度、pH值、鹽度等關係，如前述圖2.2。

表2.4 不同深度下各種金屬之腐蝕速率

金屬種類	不同深度下之腐蝕速率(mm/y)					腐蝕型態
	0m	704m	1600m	1700m	2050m	
Zinc	0.015	0.058	0.018	0.091	0.150	均勻腐蝕
Mild steel	0.127	0.043	0.023	0.020	0.058	均勻腐蝕
Aluminium alloy 5052*	—	—	—	>0.576	—	孔蝕
"G"bronze*	0.008	0.005	0.008	0.018	0.008	均勻腐蝕
Cu-10Ni	0.008	0.020	0.018	0.015	0.015	均勻腐蝕
Cu-30Ni	0.005	0.023	0.015	0.025	0.030	均勻腐蝕
Stainless steel(type 410)	—	1.270	1.270	1.270	1.270	孔蝕
Incoloy 825	—	輕微	輕微	0	輕微	孔蝕
Stainless steel(type 316)	—	0	0.025	0	輕微	孔蝕
Monel 400	—	0.033	>0.035	0.038	>0.092	孔蝕
曝露條件：						
溫度(°C)	5-30	7.2	2.5	2.3	2.7	
溶氧量(ppm)	5-10	0.6	1.8	2.1	1.7	

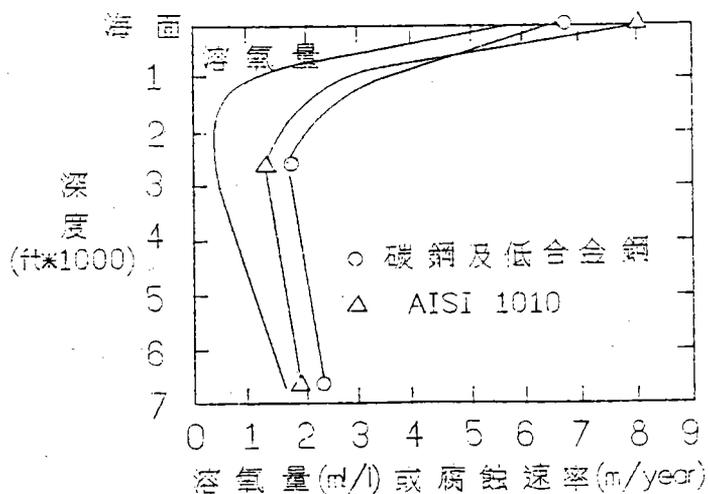


圖 2.9 深度與腐蝕速率或溶氧量之關係(鋼鐵)

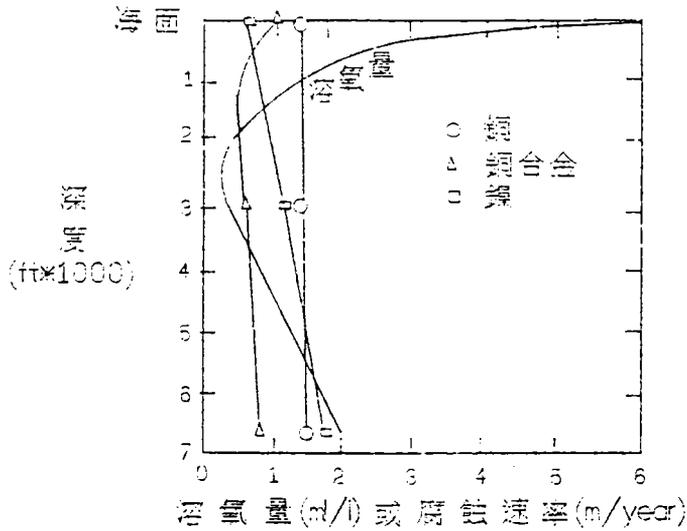


圖 2.10 深度與腐蝕速率或溶氧量之關係 (銅合金)

7. 海水流速：

海水流速對金屬腐蝕速率有多方面的影響。它不但能造成增加較易到達接觸金屬表面之溶氧量，又能因海流衝擊之機械效應，去除金屬表面鈍態保護膜，更促使氧氣較易對金屬表面進行擴散及濃度極化，造成金屬發生腐蝕。

圖 2.11 為腐蝕速率與海流速度之關係^[2]。圖 2.12 為腐蝕速率（或型態）與各種不同流體（速）之關係^[7]。圖 2.12 中，在平穩之流體（速）下，腐蝕速率很低，且屬於均勻腐蝕型態，在流速很大（擾流）的情況下，則腐蝕速率相對提高很多，且腐蝕型態變為沖蝕及渦凹腐蝕。表 2.5 為各種不同金屬在海水中受海流變化之腐蝕速率^[9]。

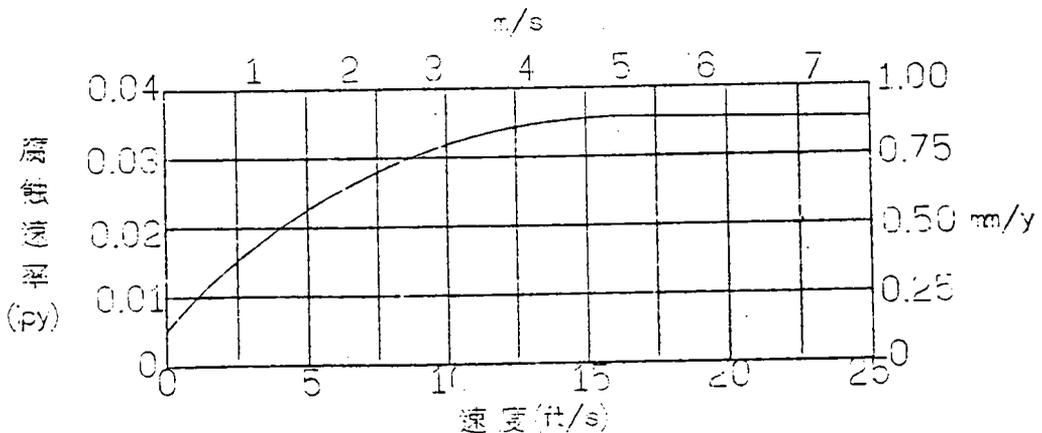


圖 2.11 鋼材在海中之腐蝕速率與海水流速關係

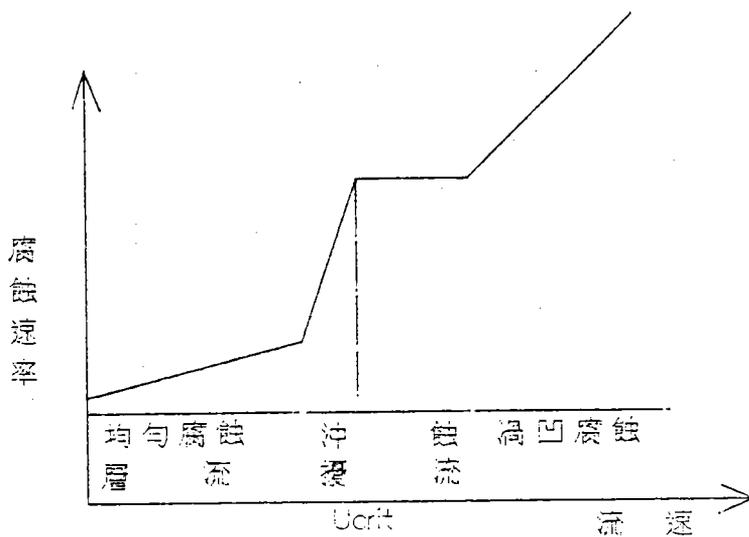


圖 2.12 腐蝕速率與各種不同流速(速)及腐蝕型態

表2.5 海水中各種金屬腐蝕速率與海流速度之關係

金屬種類	海流速度 (m/s)		
	0.3	1.2	8.2
碳鋼(Carbon steel)	3.4	7.2	25.0
鑄鐵(Cast iron)	4.5	—	27.0
銅合金(黃銅與青銅)Copper alloys	0.1-0.7	0.1-2.0	17-34
銅-鎳合金(Cupro-nickels)	0.2-0.5	—	4-20
蒙銅(Monel)	<0.1	<0.1	0.4
316不銹鋼(316 Stainless steel)	0.1	0	<0.1
鈦(Titanium)	0	—	0

8. 其它溶解氣體^[8]：

海水中除了有溶氧氣體存在外，尚包含有其它氣體，諸如CO₂，H₂S，NH₃等氣體。這些溶解氣體對鋼鐵之腐蝕亦具有一定程度之影響。

CO₂：海水中之CO₂濃度與pH值變化，通常是維持一定關係。海水

中之 CO_2 ，主要以碳酸及重碳酸鹽類形式存在，濃度約在60-100ppm之間。

海水中金屬之腐蝕進行通常都受到海水中有無碳酸鹽鱗片存在所控制之。因此海水中 CO_2 量之多少可能直接會影響金屬之腐蝕，誠如像金屬在鹼性環境下，金屬表面產生一層鈍態保護膜，阻礙或延遲腐蝕之進行。

NH_3 ：海水因受到環境污染，諸如工業廢水、家庭污水…等排入，海水中可能含有少量的 NH_3 。在靠近海岸或港灣水域，海水中通常含有0.05ppm至0.2ppm濃度之 NH_3 。因此 NH_3 含量之多寡，可做為海水受到污染程度之指標。由於 NH_3 對某些海生物細菌類，提供了繁殖之滋養源，同時對某些合金材料，具有嚴重腐蝕侵襲力。

H_2S ： H_2S 或S對鐵或非鐵合金是具非常活性之腐蝕因子。海水中之 H_2S 及S之存在，主要來自有機物質之污染以及硫酸還原菌作用所產生之。在一些嚴重污染之河口或港灣水域， H_2S 之濃度可能高達50 ppm以上，在海床（泥）之沉積物中含有大量分解之有機物質，可能亦含有高量之硫化物，這些硫化物能提昇加速對金屬之侵蝕，特別是對含銅合金之管線。表 2.6 顯示海水中 H_2S 對各種不同合金之腐蝕速率。

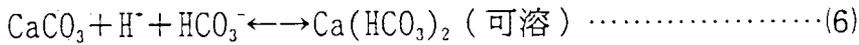
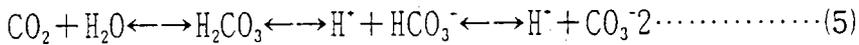
表2.6 海水中硫化氫（ H_2S ）對不同金屬之腐蝕速率

金屬種類	腐蝕速率 (in./Yr)	
	清淨海水	海水中含4ppm H_2S
磷銅(Phosphor copper)	0.014	0.015
海軍銅(Admiralty brass)	0.013	0.035
70-30銅鎳(70-30 Copper nickel)	0.005	0.026

註：海流7.5ft/sec，水溫80°F，測試時間64天

9. 碳酸鈣（鎂）石灰質之保護層^[8]：

海水中之 Ca^{+2} ， Mg^{+2} ， Sr^{+2} 與碳酸鹽類之結合或反應，形成相當數量之碳酸鈣（鎂）質之化合物，這些化合物在腐蝕反應過程中是非常重要的，因為它們可以當做一種陰極抑制劑，亦即這種化合物有阻礙或延遲金屬發生腐蝕之作用。具有此種效應主要原因乃是在腐蝕反應過程中，陰極上因有溶氧加入反應如下式(4)，致使陰極附近之水溶液之pH值升高，pH值升高即破壞原有 CO_2 與 CaCO_3 （可溶性）之



（不可溶）



平衡，如式(5)，式(6)中，由於pH增加， $[\text{H}^+]$ 濃度降低，驅使平衡方向往式(3)之左邊進行，最後產生不溶性之 CaCO_3 保護層。在同樣狀況下， MgSO_4 亦受pH值之升高，致使反應往式(7)之右邊進行，最後產生 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 之沉澱物。這些不溶性物質（ CaCO_3 及 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ）在平靜的狀況下，兩者都可能沉降附著於陰極局部面積上（致使陰極反應過程減緩，陽極反應過程亦相對降低），最後在金屬表面上形成一層厚厚類似鱗片狀之保護層，這一保護層可降低或延緩金屬發生腐蝕。在海洋鋼結構物陰極防蝕系統上，這種石灰質之保護層之生成，能減少金屬表面真正需要保護之面積，又可降低防蝕電流之需求量，減少犧牲陽極材料之消耗量。

附著在海水中鋼材陰極表面上之石灰質鱗片狀保護層之組成如表

2.7所示^[5]。總之這層保護層之消長與pH值及溶氧量均有互動關係

。

表2.7 附著在鋼材陰極表面上石灰質保護層之化學組成

化合物	重量百分比 (%)
CaCO ₃ (Calcium carbonate)	57
CaSO ₄ (Calcium sulfate)	3
Fe ₂ O ₃ (Ferric oxide)	19
MgCO ₃ (Magnesium carbonate)	3
NaHCO ₃ (Sodium bicarbonate)	5
含矽質不溶解物(Insoluble siliceous matter)	8
水氣(Water, etc.)	5

10. 海洋生物附著^[9]

海生物附著對鋼鐵之腐蝕，並不是一般腐蝕型態之一。它是一種因海生物有機體附著，致使金屬劣化。海水中包含有許多各種不同的有機生物體等。這些有機生物體，有微污生物諸如細菌等及巨污生物，諸如海藻、藤壺、貝類等。海洋結構物浸泡海水中常受到海生物附著所困擾。由於海生物所排放之黏液 (Slime) 容易附著於結構物表面上，接著形成生物黏液膜，萌芽的固著微生物體持久大量的附著，最後繁殖形成巨大的附著生物體，造成結構體局部的腐蝕劣化及荷重增加。海生物之種類及繁殖受到海水深度、溫度、光度及滋養物等因素影響，同時亦因季節、潮汐等變化而異。

海生物依污著的型態可分類為下列型式：

(1) 微污生物 (Microfouling)：此類生物肉眼看不見依滋長過程中需氧狀況，又可分成好氧細菌 (Aerobic) 及厭氧細菌 (Anaerobic)。

(2) 巨污生物 (Macrofouling)：

台灣位處於亞熱帶地區，各種海洋生物繁殖旺盛。在台灣海域一般常見的海生物附著，據台電公司曾調查南部興達電廠進水管道附著之海生物，以藤壺(Barnacle)、管棲多毛蟲(poly-

chaet)、苔蟲(Hydrogen)、海綿(Sponge)，海藻、軟體動物(Tubeworm)，腔腸動物(Coelendrium)及貽貝(mussel)等為主。台大農化系調查基隆、蘇澳及花蓮港之船隻附著物，則以管棲多毛蟲為多。本所(港灣技術研究所)亦曾對基隆港幾座鋼板樁碼頭，進行鋼板樁上之附著物研究調查，發現以藤壺、管蟲類及蚶類等海生物較多。

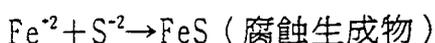
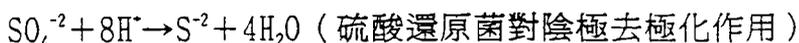
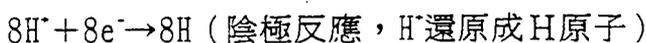
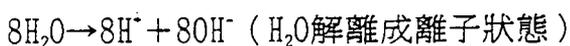
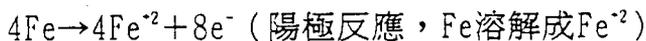
Clapp曾列出下列最常見之海洋生物污著之型態為：

- a. 具有硬殼者：如環蟲(Annelids)、藤壺(Barnacles)、殼狀苔鮮蟲(Bryzoa)、軟體動物(Mollusks)及珊瑚等。
- b. 未具硬殼者：如海藻、絲狀苔鮮蟲、腔腸動物(Coelent-ertates)、水螅(Hydroids)、被囊類動物(Tunicates)、含鈣質或矽質的海綿。

海生物附著於鋼板樁，其發生腐蝕行為之過程，有下列幾種方式^[5]：

- (a) 直接對陰極或陽極產生去極化作用，影響腐蝕之特性或加速腐蝕速率。
- (b) 由於生物新陳代謝作用或分泌物釋出有機酸液，製造具腐蝕性之環境，鋼材更易與酸性反應，造成嚴重局部孔蝕。
- (c) 金破壞金屬表面鈍態保護膜。
- (d) 形成金屬表面有氧氣濃淡電池作用。
- (e) 在金屬表面附近因有硫化物生成，使硫酸還原菌更具腐蝕侵蝕。

下列為硫酸還原菌對鋼材之腐蝕機理：(厭氧性)



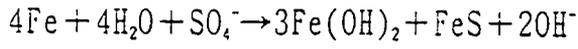
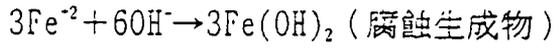


圖 2.13 為硫酸還原菌與 FeS 及 Fe(OH)₂ 之關係。

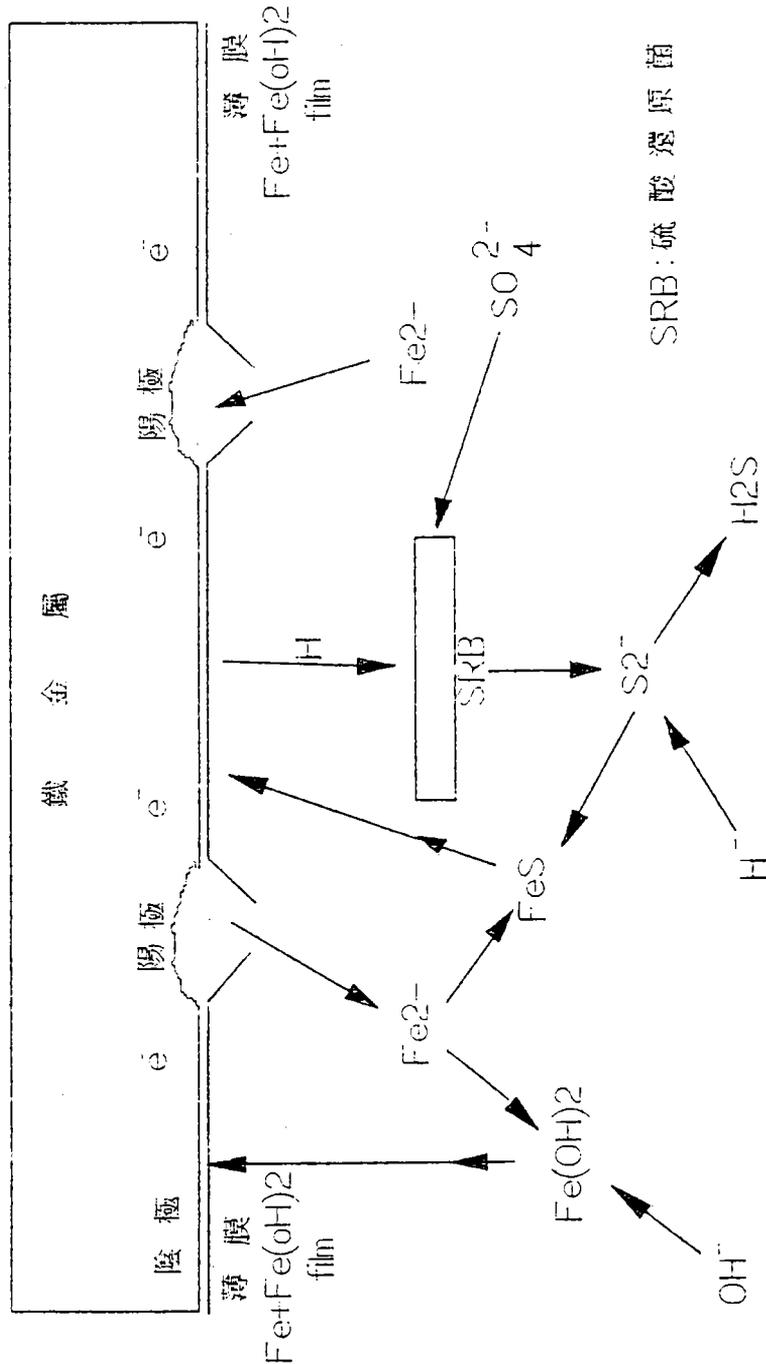


圖 2.13 鋼材表面上硫酸還原菌與 FeS 及 Fe(OH)₂ 之關係

11. 迷失電流腐蝕 (Stray current corrosion)

迷失電流乃指電流不沿正規之電流路徑流通，而徑走其它之路徑，一旦這種迷失電流流通進入金屬結構物時，在此電流離開結構物之處，會發生電蝕現象並加速腐蝕速率。海洋結構物諸如碼頭鋼板樁、油井平台，船舶停泊港口卸貨或進行電焊維修工程時如圖2.14、圖2.15所示^[2]或安裝防蝕系統（外加電流）時，其供電設備，諸如發電機，直流電源供應器等，可能發生斷路或漏電，這些電流可能經由船殼或直接流入海水中，由於海水是良好之電解質，更容易將這些電流傳導至鋼板樁等金屬結構物，迷失電流一旦進入結構物，則會加速腐蝕速率。

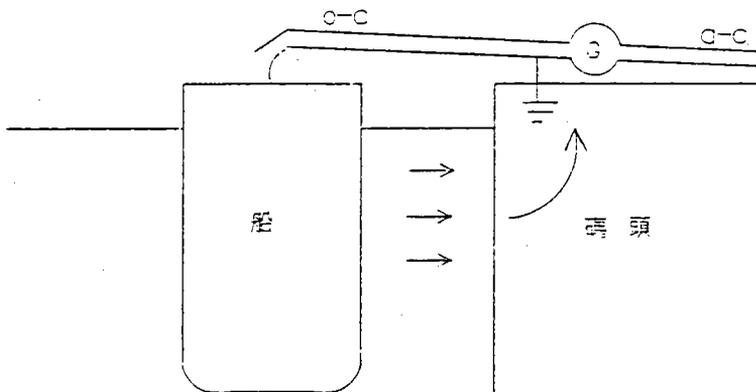


圖 2.14 因焊接造成船體受迷失電流之破壞

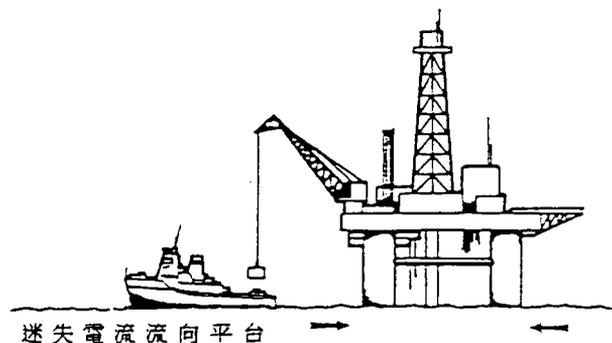


圖 2.15 海域油井平台卸貨(裝)時產生迷失電流之情形

通常一片金屬表面，在陽極部位（ i.e. 金屬溶解釋出離子）由於受到迷失電流的影響，所造成之腐蝕量可由法拉第定律計算出。例如一安培直流電之迷失電流，流經鋼鐵結構物至海水中，每年將可腐蝕掉結構物約9.1kg之鋼鐵。表2.8為各種金屬受迷失電流所造成之重量損失^[2]。

表2.8 各種金屬受迷失電流腐蝕所造成之重量損失

金 屬	當 量	腐蝕量 (kg/Amp.Y)
Fe(鐵)	55.85/2	9.1
Cu(銅)	63.57/2	10.4
Pb(鉛)	207.2/2	33.8
Zn(鋅)	65.38/2	10.7
Al(鋁)	26.98/2	2.9

12. 海水中金屬材料之電位變化^[6]（伽凡尼偶合作用）：

金屬本身之電位變化是海水中金屬發生腐蝕重要因素之一，猶其是在同一水溶液系統下，兩種不同金屬材料結合在一起時。在海水中大多數金屬之開路電位並不是一個定值，通常隨著海水中之溶氧量，海流速度、溫度及金屬表面狀況而異。在穩定無空氣存在下之海水中，鐵或鋼之電位可達一穩定電位值-0.75V(vs. S.C.E., E=0.246V)，相對於在高速海流及有空氣存在下大多數高貴金屬電位值為-0.61V。鐵在海水中之電位值為-0.75V(vs. S.C.E)，是鋼結構物做陰極防蝕保護措施時，有效保護電位重要考量標準。表 2.9為各種金屬在流動海水中之電位值，從表中可判斷兩種不同金屬接著時，那一種金屬腐蝕速率大。

表2.9 各種金屬在流動海水中之電位值

金屬	電位 (-V)
Magnesium	1.5
Zinc	1.03
Aluminium	0.79
Cadminium	0.7
Steel	0.61
Lead	0.5
Solder(50/50)	0.45
Tin	0.42
Naval brass	0.30
Copper	0.28
Aluminium brass	0.27
Gun metal	0.26
Cupro-nickel 90/10	0.26
Cupro-nickel 80/20	0.25
Cupro-nickel 70/30	0.25
Nickel	0.14
Silver	0.13
Titanium	0.10
Stainless steel 18/8(passive)	0.08
Stainless steel 18/8(active)	0.53
註：以S.C.E., E=0.246V為基準	

海洋結構物大多使用鋼材建造的，但在整個結構施工過程中，如夾雜一些不同金屬之零組配件，諸如套環、扣件、掛鈎、拉桿…等，則在兩種不同金屬偶合之處，由於電位差異，將發生伽凡尼腐蝕效應。以鋼板樁為例，如套環、拉桿等組件之氧化還原電位較負(低)，而鋼板樁之電位較高時，則鋼板樁變成陽極，零組件變為陰極，且陰陽極面積比很大時，更會加速鋼板樁之腐蝕。

13.海床土壤之腐蝕^[4]：

通常而言，在海床土壤環境下，其鋼材之腐蝕速率原比在海中帶之平均腐蝕速率要低許多，如圖 2.1所示。但是碼頭鋼板樁除了接觸大氣帶至海中區外，其基樁部份必須打入海床土壤中，同時基樁靠陸側之一面，必須回填土料以牢固結構物。由於填土密實間隙不一，背填土側接觸鋼板樁面，則受到有如土壤內部之腐蝕行為所影響。

影響鋼材在土壤中發生腐蝕之可能因素如下：

(1)土壤之結構

土壤之結構為多孔性或均勻性，是其具腐蝕性的重要物理性質。在微細且均勻組織粒狀的土壤下，腐蝕性較粗糙的各種級配混合之土壤情況為低。粗糙級配混合之土壤，孔隙很大，在結構物上形成局部之陰極與陽極區而造成腐蝕。通氣良好的鬆土較通氣不良之黏土不易發生腐蝕。

(2)PH值

酸性高之土壤具腐蝕性，輕微之酸性土壤未受擾動則未必會發生腐蝕，若背填土含有煤渣，則硫酸會滲出而使周圍的土壤變為酸性和腐蝕性，且煤渣含有碳，對鋼材而言為陰極，因此當直接與鋼材接觸時，會造成結構物發生嚴重的流電腐蝕，背填土中含煤渣，經過一段時間可能將具酸性的硫酸及碳滲出因而降低酸性土壤之風險。

高鹼性土壤亦會發生腐蝕，因為他們經常含大量的溶解鹽而造成土壤具有低電阻，低電阻高鹼性土壤環境或高電阻之土壤混合區，應考慮可能發生腐蝕。

(3)電阻

一般而言，比導電度是量測腐蝕速率的一個重要指標，通常亦可以電阻（i.e. 比導電度之倒數）來表示之，土壤中電阻之大小與

土壤孔隙中水份之溶解鹽量有關。表2.10為電阻大小與腐蝕程度之關係。

表2.10 土壤中電阻大小與腐蝕程度之關係

電阻 (Ω -cm)	鹽含量 (mg/l)	腐蝕程度	鋼鐵之平均腐蝕速率 (μ m/Y)
$<10^2$	>7500	非常高	>100
10^2-10^3	7500-750	高	100-30
10^3-10^4	750-75	低	30-4
$>10^4$	<75	非常低	<4

註：土壤為多孔隙易濾水之狀態 (i.e. 100g土壤+100g水)

(4) 硫酸還原菌：

土壤中之生物細菌腐蝕是一種特殊的腐蝕型態。荷人 Von Wolzogen Kuhr，於西元1930左右年首先發現在低溶解氧氣之土壤或含硫酸鹽之天然水溶液環境中，生存有許多的硫酸還原菌，這些細菌在缺氧的環境下，能很容易使無機之硫酸鹽還原成硫化物，加速了鋼材的腐蝕。

五、參考文獻：

1. Edward, Willard, E., "Marine Corrosion : It's Cause and cure",
Proceedings of the Eighth Annual Appalachian Underground short
Course, Technical Bulletin No.69, West Virginia University
Bulletin, October 1963.
2. Mars G. Fontana, " Corrosion Engineering ",3rd ed. McGraw-Hill
Book Company, U.S.A., 1986.
3. Masamichi Kowara, " Metal Corrosion Damage and Protection Tech-
nology ",Allerton Press INC. (1989).
4. Thomas D. Dismnke, Seymour K. Cobum, "Handbook of Corrosion
Protection for Steel Pile Structures In Marine Environments
American Iron and Steel Institute, U.S.A. 1981.
5. Francis L. Laque, "Marine Corrosion Cause and Prevention"
pp.95~163, John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 1975.
6. L.L. Shreir, " Corrosion ",pp.2:51~2:60, Butterworth & Co.,
Ltd. U.K. 1979.
7. G. Wranglen, "An Introduction to Corrosion and Protection of
Metals", Chapman and Hall, New York, 1985.
8. Chandler, "Marine and Offshore Corrosion",pp.8~37,Buttèrworth
& Co Ltd, U.K. 1985.
9. P. Howsam, " Microbiology In Civil Engineering",pp.24~38,E. &
F.N.SPON, U.K.,1990.
10. Herbert H. Uhlig, "Corrosion and Corrosion Control",3rd. ed.
pp.90~122,John Willey & Sons, Inc. U.S.A. 1985.

參、陰極防蝕試驗

陳桂清*

一、前言

港灣鋼構造物常年浸漬於海水中，受到海水中各種環境腐蝕因素（諸如鹽份、海流、沖蝕、PH值、溫度、溶氧量、海生物附著等），鋼材極易受到腐蝕而損壞，嚴重威脅結構物之安全與使用年限。

台灣地區之鋼板（管）樁碼頭已使用近30年了，從各港務局歷年來之檢修資料以及本所近幾年來對五大港口部份鋼板（管）樁碼頭所做之腐蝕狀況調查發現，部份港口之鋼板樁碼頭在興建之初即未做陰極防蝕保護措施，因此有些鋼板樁之腐蝕已相當嚴重，其腐蝕速率已超過規範值許多。鑑於安全顧慮，有些港務局早已逐年進行維修並安裝陰極防蝕之保護措施，以確保結構體之使用安全及延長壽命。

為深入瞭解陰極防蝕對鋼板樁之防蝕效應及提昇研究人員對防蝕設計之能力，特進行實務（地）陰極防蝕試驗。由於陰極防蝕之方法有兩種，亦即犧牲陽極法與外加電流法。為瞭解各種方式之效應如何，本試驗將採用兩種方法同時進行，以茲相互比較參考。

二、試驗規劃

1. 鋼材試片：

- Z型鋼板樁
- U型鋼板樁
- SS41鋼板

2. 陽極材料

a. 犧牲陽極法用之陽極

本試驗採用鋁合金及鋅合金陽極材料，其化學成份及特性如表1及表2所示。

(1)陽極尺寸：依設計年限及保護面積而定。

* 港灣技術研究所副研究員兼港工材料組組長

(2)設計年限：依實際需要而定（本試驗規劃從3個月～3年不等）。

b. 外加電流法之陽極材料

- 鉛—銀電極
- 鈦棒
- 鉑金屬片
- 磁性氧化鐵

上述陽極材料之特性請參考表3。

3. 防蝕電流設計

所有試片均浸漬於新鮮天然海水中，因此設計防蝕電流密度為0.10～0.120 A/m²。

4. 防蝕電位標準

防蝕電位依所採用之參考電極而異，其關係如下：

參考電極	防蝕電位 (-mV)
Cu/CuSO ₄	850
Ag/AgCl	800
Hg/Hg ₂ Cl ₂	780

5. 試驗場地

為配合實際碼頭鋼板樁安置之狀況，在本所試驗大樓後，另辟建一大型新海水循環水槽，依舊抽取台中港區內之新鮮海水，每日隨海水漲落，進行抽放海水，以維持水槽內海水之新鮮。水槽之位置及大小請參閱圖1至圖3。

6. 新循環水槽部份試驗鋼板樁及犧牲陽極塊安裝之位置。

新循環水槽部份

(1)新海水循環水槽內，安置有U型鋼板樁一排計19支，每支長3m，Z型鋼板樁一排計16支，每支長為3m。上述之鋼板樁同型的一支併合一支以直立式地安置於水槽之一面，總計約有16m長3m深之鋼板面積接觸海水，其平面示意圖如圖4所示。實際安裝後之情形如圖5圖6。鋼板樁背面距水槽面牆間距離為60cm，完全以級配土石料填實，以模擬接近真實鋼板樁碼頭建造之情形。又另安置幾座雙併（雙支併合）之Z型鋼板樁置於槽內另一面，讓鋼板樁兩面都接觸海水浸泡。

(2)鋼板樁需保護之面積

- (a) U型鋼板樁計19支，每支需保護之面積約為 2.0m^2 (以單面接觸海水估計)，總計需保護面積約為 38m^2 。
- (b) Z型鋼板樁計16支，每支需保護之面積約為 2.7m^2 (以單面接觸海水估計)，總計需保護面積的 43.2m^2 。

(3)犧牲陽極塊安裝

- (a) 陽極塊規格：外觀近似長方體型，詳細規格尺寸約為 $20\text{cm} \times 10\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ 左右，重量約為 4.0kg ，為鋁合金或鋅合金材料，壽命約為一年左右。
- (b) 每塊陽極塊能放出之平均電流約為 0.36A 左右，可保護面積為 3m^2 ，因此一塊陽極塊足夠保護一支鋼板樁之有效年限約為一年左右。
- (c) 陽極塊安裝位置約在水槽深度 $1.5\sim 2.0\text{m}$ 之間，由於鋼板樁浸入海水之深度至深僅 3m 而已，因此並未以V型排列方式安裝。為量測陽極塊消耗及放電效應是否正常，安裝時採可卸取式的安裝，亦即在鋼板樁上焊上螺栓基座，然後再將陽極塊以螺帽鎖上，如此便可定期卸下量測。

舊循環水槽部份

舊循環水槽內之鋼板（樁）其陽極塊焊接位置及電位量測點如圖7至圖10所示。

7. 試驗項目

- 定期觀測鋼板樁外觀變化（諸如腐蝕生銹、氫脆……）
- 定期量測防蝕電位分佈（如圖11所示）
- 定期量測陽極塊作用（消耗）之速率
- 定期量測鋼板樁厚度變化（如圖12所示）

四、試驗結果

1. 腐蝕電位量測

(1)舊循環水槽內之Z-38型及U-Box型及SS41鋼板之腐蝕電位量測之結果如表4表5所示。從表中題示有犧牲陽極保護之鋼板其腐蝕電位均能達到防蝕電位標準，亦即小於 -850mV （以 CuSO_4 電極量測）。未有安裝防蝕之鋼板，其防蝕電位顯然不夠，約介於 -600mV 左右。

(2)新循環水槽內之Z-26型及U-Box型鋼板樁，由於幾乎每支鋼板上均焊接有陽極塊保護，因此，所量測到的電位，均達防蝕電位 850mV以上（為方便說明以絕對值表示之），部份鋼板未安裝陽極塊，則所測得之腐蝕電位僅為-500mV左右，詳細量測結果列於表 6 及表 7。

2. 試片外觀變化情形

有安裝陽極材料之鋼板，由於陽極塊已發生電效用，因此鋼板外觀有一層薄薄白色粉末層出現，此層生成物乃是鋁合金陽極塊因鋁之溶解後與海水中OH⁻作用所生成之Al(OH)₃，沉浮或降落於鋼板表面，浸泡時間較長之鋼板，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（MgCO₃，CaCO₃等物質），有阻延鋼板腐蝕效應。沒有安裝防蝕陽極塊之鋼板表面，則有紅銹薄膜出現，隨浸泡時間愈久，鋼板表面之銹膜繼續繁衍累積，最後形成一片一片膨鬆的銹層，受海流沖擊時極易剝落。

3. 陽極塊消耗（速率）量測

為了解及驗證陽極之電氣效應以及確保它是否有發揮保護效應，必須定期量測陽極材料之放電大小，及其消耗量是否維持正常。本試驗預計每 3 個月量測一次陽極材料之放電大小及其消耗情形。

4. 鋼板試片厚度量測結果

厚度量測時，依不同之水深（約每間隔50cm左右），在鋼板樁之凹凸側面上，均有一測點，每一測點量測兩次。

表 8 及表 9 分別為新循環水槽內Z-26及U-Box型鋼板試驗前之厚度。預計每年量測一次其厚度變化。

表 1 鋁陽極材料之化學成份

Fe	0.15% Max
Si	0.2 % Max
Cu	0.10% Max
Zn	1.0~10.0%
In	0.01~0.04%
Mg	0.1~6.0%
Sn	0.005~0.15%
Ca	0.005~0.5%
Al	Remainder

表 2 鋁陽極材料之電氣性能特性

Capacity :	2600 A · h/Kg(1.18 A · h/lb)
Efficiency :	90% of theoretical for pure aluminum
Consumption :	3.40Kg/A · Yr(7.42lbs/A · Yr)
Close circuit potential :	1.10 volts(vs.Cu/CuSO ₄)
Driving voltage :	0.25 volts against polarized steel
Density :	2.72g/cm ³

表3 外加電流法用之陽極材料特性

外加電流陽極材質	海水中典型 放電電流密度 (Amp / m ²)	消耗量 g / amp-yr
Pb - 6% Sb - 1% Ag	160~220	15~86
Pb - 6% Sb - 2% Ag	160~220	13~25
白金 (覆於鈦、鈮或鉭上)	540~3200	0.01
石墨	10~40	230~450
Fe-14.5% Si-4.5% Cr	10~40	230~450
磁性氧化鐵 (Fe ₃ O ₄)	10~40	20~150

表 4 Z-38 及 U 型鋼板樁腐蝕電位量測結果 (-mV 值)

鋼材 量測 位置 量測 次序	Z-38型 (有陰極防蝕)			Z-38型 (無陰極防蝕)			U-BOX型 (有陰極防蝕)			U-BOX型 (無陰極防蝕)		
	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
	1	989 (1)	994 (2)	983 (3)	561 (1)	557 (2)	563 (3)	1031 (1)	1056 (2)	1041 (3)	611 (1)	608 (2)
	996 (4)	1001 (5)	998 (6)	564 (4)	561 (5)	561 (6)	1044 (4)	1066 (5)	1048 (6)	606 (4)	608 (5)	603 (6)
	992 (7)	993 (8)	991 (9)	559 (7)	563 (8)	561 (9)	1041 (7)	1054 (8)	1033 (9)	613 (7)	611 (8)	608 (9)
2	993	1011	993	573	574	576	1011	1021	1013	631	629	631
	999	1020	1002	575	573	569	1018	1031	1021	632	628	630
	987	999	994	575	578	572	1013	1023	1016	631	629	630

註：以CuI₂SO₄參考電極量測

每次量測間隔期為六個月

表 5 SS41鋼板腐蝕電位量測結果 (-m V值)

鋼材 量 測次序	2 m × 3 m (有陰極保護)	1 m × 3 m (有陰極保護)
1	972 973 975 981 973 955 940	932 938 939 959 951 949 949
	963 953 957 986 969 957 943	932 936 941 990 961 957 952
	963 953 966 991 976 961 946	932 940 946 995 969 951 952
	962 948 957 1002 984 966 951	934 931 926 948 957 950 948
	954 941 953 992 974 960 947	
	954 941 952 983 974 958 945	
	952 940 950 979 971 954 941	
2	973 971 968 974 969 971 959	928 930 937 961 949 947 942
	970 973 970 981 973 973 960	927 934 940 970 953 951 947
	973 975 974 991 980 975 962	927 933 956 980 961 952 950
	974 977 980 1011 992 981 971	929 933 949 961 958 950 942
	964 971 974 989 980 970 963	
	968 966 971 978 977 967 961	
	964 965 967 975 974 964 961	

註：以Cu/CuSO₄參考電極量測

每次量測間隔期為六個月

表6 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁防蝕電位量測結果

日期：82.04.26

電 位 高 度 (m)	1		2		3		4		5		6		7								
	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹							
+1.80	1197	1218	1222	1205	1220	1239	1191	1149	1155	1188	1161	1139	1154	1148	1161	1141	1120				
+1.50	1204	1292	1268	1224	1251	1330	1233	1188	1177	1220	1180	1179	1291	1190	1169	1205	1172	1168	1258	1181	1139
+1.00	1180	1292	1192	1188	1196	1193	1187	1194	1209	1181	1260	1301	1177	1170	1160	1170	1221	1234	1167	1159	1128
+0.50	1150	1224	1141	1148	1150	1145	1151	1146	1143	1142	1149	1146	1138	1118	1101	1116	1112	1102	1117	1113	1072
+0.05	1141	1136	1136	1139	1136	1133	1138	1103	1101	1119	1099	1097	1116	1102	1079	1104	1087	1079	1095	1074	1056

註：高度係從池底往上推算

表6 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁防蝕電位量測結果(續)

日期：82.04.26

電 樁 高 度 (m)	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		1141	1117	1107	1132	1105	1084	1115	1088	1083	1114	1083	1027	1056	1047	1032	1063	1048	1055	1074	1058	1056
+1.50		1189	1149	1122	1242	1131	1107	1133	1108	1097	1175	1110	1054	1085	1059	1051	1137	1082	1074	1130	1083	1075
+1.00		1141	1172	1137	1135	1123	1125	1112	1119	1156	1119	1103	1057	1067	1114	1084	1064	1068	1063	1106	1112	1091
+0.50		1090	1095	1067	1095	1098	1109	1085	1104	1150	1082	1021	1005	1020	1025	1008	1028	1023	1013	1045	1037	1017
+0.05		1077	1086	1044	1084	1072	1078	1072	1082	1092	1070	1004	986	1010	1006	986	1018	1004	996	1044	1021	997

註：高度係從池底往上推算

表6 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁防蝕電位量測結果(續)

日期：82.04.26

電 樁 高 度 (m)	電 位 號 (-mV)	15		16		17		18		19		20		21						
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹				
+1.80	1102		1082	1081		507		497		503		958	1011	1012	973	1002	1003	924	894	936
		1077			1041		499			459		986	965	914	909	930	894	918	870	890
+1.50	1170		1111	1094		511		498		502		1056	1030	1044	996	1030	1022	920	916	993
		1128			1068		505		613		494	1007	1015	931	923	936	915	938	930	897
+1.00	1103		1089	1088		503		491		495		1014	1004	985	976	1031	1020	891	884	928
		1110			1071		497		589		488	973	971	914	916	931	905	885	884	866
+0.50	1065		1044	1039		497		494		499		964	951	944	944	970	956	863	830	862
		1072			1023		497		610		496	924	916	904	895	912	881	854	848	831
+0.05	1049		1033	1020		504		504		510		950	931	930	933	949	934	859	825	845
		1061			1011		506		609		508	919	911	925	897	913	889	848	836	826

註：高度係從池底往上推算

表6 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁防蝕電位量測結果(續)

日期：82.04.26

電 位 高 度 (m)	電 位 號 (-mV)	22			23			24											
		凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹
+1.80	909	954	944	942	966	970	963	1004	974										
	907	911	877	860	858	835	882	880	807										
+1.50	937	997	997	950	1009	1009	965	1053	1003										
	937	970	892	872	855	837	855	883	815										
+1.00	913	928	914	925	985	962	938	1015	966										
	898	907	873	855	846	818	874	870	813										
+0.50	876	872	867	884	906	868	893	907	867										
	846	850	828	834	823	805	863	860	809										
+0.05	865	860	850	869	883	850	891	888	862										
	839	843	829	830	816	803	866	862	806										

註：高度係從池底往上推算

表7 新海水循環水槽內 U 型鋼板樁防蝕電位量測結果

日期：82.04.26

電 樁 高 度 (m)	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	918	925		928	924	928	916	931	909	897	902	904	872	885	903	896	895	904	912	909	900
+1.50	921	945		935	933	932	930	958	936	908	915	912	919	912	924	913	916	912	914	942	920
+1.00	939	944		954	987	961	923	928	928	929	960	927	909	855	916	918	943	931	921	910	915
+0.50	899	899		897	903	897	890	900	896	877	876	883	878	825	884	878	877	876	885	880	881
+0.05	888	884		882	886	886	877	890	881	863	860	870	866	823	874	863	860	861	882	870	870

註：高度係從池底往上推算

表7 新海水循環水槽內 U 型鋼板樁防蝕電位量測結果(續)

日期：82.04.26

電樁 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		1013	996	989	1020	1014	1005	999	1015	1019	998	1012	1000	982	995	997	986	1001	995	977	998	994
+1.50		1023	1014	999	1032	1044	1026	1017	1021	1027	1006	1023	1022	1010	1012	1012	1001	1039	1020	999	1006	1008
+1.00		1029	1074	1041	1035	1027	1023	1037	1053	1055	1021	1051	1029	1010	1053	1047	1002	1046	1014	1003	1041	1010
+0.50		976	985	966	990	990	987	983	986	988	972	995	983	970	970	970	962	1001	972	952	955	958
+0.05		965	962	949	975	976	976	951	955	962	951	973	958	954	944	947	942	971	960	930	928	936

註：高度係從池底往上推算

表7 新海水循環水槽內 U 型鋼板樁防蝕電位量測結果(續)

日期：82.04.26

電 位 高 度 (m)	15			16			17			18			19			
	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	
+1.80	996	996	975	975	983	980	994	978	985	1001	999	988		1005	996	
+1.50	1005	1024	1003	1001	1003	1002	998	1063	1009	1007	1002	1003		1059	1030	
+1.00	997	994	999	1003	1056	1018	971	986	997	974	971	973		977	975	
+0.50	950	958	998	944	945	947	937	948	947	938	936	938		921	936	
+0.05	942	945	957	919	918	920	922	935	924	916	919	918		914	920	

註：高度係從池底往上推算

表8 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁試驗前之厚度

日期：82.04

厚 樁 號 高度 (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	8.9	8.9	8.9	9.0	8.5	8.6	8.7	8.6	8.8	8.8	8.9	8.0	9.1	9.0	8.9	9.1	8.1	—	9.1	8.6	8.9
	8.8	8.7	8.3	9.0	8.2	8.6	8.9	8.4	9.0	8.6	8.8	8.4	9.2	8.2	8.8	9.2	8.0	—	9.0	8.5	8.5
+1.50	9.0	8.8	8.4	8.9	8.0	8.8	8.6	8.6	9.0	9.0	8.7	8.7	8.5	8.6	8.8	8.9	8.6	8.6	8.8	8.2	8.6
	8.6	8.9	8.6	9.2	8.2	8.7	—	8.7	9.0	8.8	8.8	8.6	8.7	8.5	8.8	9.2	8.6	8.7	8.6	8.4	8.6
+1.00	9.1	9.0	9.1	9.0	8.9	9.1	8.8	8.8	8.6	9.0	8.5	8.1	9.0	8.7	9.1	9.1	8.8	8.8	8.6	8.5	8.4
	9.0	8.6	9.0	9.2	8.8	8.8	8.8	9.0	8.5	9.0	8.2	8.1	8.8	8.5	9.0	9.0	8.2	8.7	8.9	8.3	8.7
+0.50	8.9	8.8	8.8	9.2	8.9	9.0	8.8	8.4	8.6	8.6	8.3	8.5	8.8	8.6	9.0	9.0	8.7	8.8	8.9	8.6	8.6
	9.0	8.0	8.7	9.2	8.8	9.0	8.8	8.5	8.8	8.2	8.4	8.6	8.8	8.4	9.0	9.1	8.3	8.8	8.8	8.1	—

註：高度係從池底往上推算

表8 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁試驗前之厚度(續)

日期: 82.04

樁 號	8		9		10		11		12		13		14								
	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹	凸	凹							
+2.25	9.0	8.4	9.0	12.4	9.1	12.4	11.6	9.0	—	11.8	9.0	12.5	11.9	9.2	—	7.8	10.9	12.4	8.7	12.3	
	9.3	8.8	9.0	12.3	9.2	12.5	12.0	9.0	—	11.8	9.1	12.4	12.0	8.8	—	8.2	11.6	12.4	8.6	12.3	
+1.50	9.1	8.8	8.5	12.4	9.0	12.4	11.7	9.0	12.1	12.2	8.9	12.4	12.1	8.7	12.0	—	8.8	11.7	12.2	8.7	12.4
	9.2	8.8	8.5	12.5	9.0	12.5	8.9	8.9	—	12.1	8.8	12.4	11.9	9.2	11.5	—	9.2	11.6	12.2	8.6	12.5
+1.00	8.9	8.7	8.6	12.4	9.1	12.4	11.8	9.0	—	12.2	9.1	12.4	11.9	8.9	12.1	11.2	9.0	12.1	12.2	8.9	12.4
	9.0	8.2	—	12.2	9.1	12.5	8.6	9.1	—	12.2	8.9	12.5	8.7	9.3	11.5	11.5	8.8	11.8	12.1	8.7	12.4
+0.50	8.8	8.5	—	12.3	9.0	12.5	11.7	9.1	—	12.2	8.9	12.4	11.8	8.5	11.4	11.2	9.2	12.0	11.9	8.9	12.3
	8.8	8.4	—	12.2	9.1	12.5	11.9	8.9	—	12.2	9.0	12.5	8.6	9.0	11.5	11.5	8.7	11.5	11.8	8.8	12.2

註: 高度係從池底往上推算

表8 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁試驗前之厚度(續)

日期: 82.04

厚 度 (mm)	15		16		17		18		19		20		21								
	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹	凸	側	凹						
+2.25	8.9	8.7	9.0	8.9	8.7	8.7	12.0	9.0	—	12.4	9.5	—	11.9	9.0	12.0	12.7	9.4	12.6	11.8	8.8	—
	8.8	8.6	9.1	9.0	8.9	8.9	12.3	9.2	—	12.5	9.5	—	12.2	9.3	11.9	12.4	9.7	12.6	12.0	9.0	—
+1.50	8.9	8.6	9.0	9.0	9.0	8.6	12.0	9.2	—	12.4	9.6	—	12.0	8.8	—	12.6	9.4	12.6	11.8	9.1	—
	8.9	8.6	8.9	8.9	8.8	8.8	12.0	9.6	—	12.5	9.6	—	12.1	9.3	—	12.6	9.5	12.6	12.0	8.7	—
+1.00	9.3	8.9	9.1	9.0	9.1	8.7	11.7	9.2	—	12.3	9.6	—	11.9	8.9	—	12.6	9.4	12.7	11.9	8.8	—
	8.8	8.7	9.0	9.0	8.9	8.6	11.8	9.1	—	12.5	9.6	—	12.0	9.2	—	12.5	9.4	12.6	12.0	9.3	—
+0.50	8.8	8.6	8.8	9.1	8.8	8.7	11.9	9.0	—	12.4	9.4	—	11.8	8.8	—	12.6	9.4	—	11.7	8.7	—
	8.9	8.6	9.0	9.1	8.8	8.6	12.2	9.3	—	12.5	9.7	—	12.0	9.3	—	12.5	9.8	—	11.9	9.1	—

註: 高度係從池底往上推算

表8 新海水循環水槽內 Z-26 型鋼板樁試驗前之厚度(續)

日期: 82.04

厚 度 (m)	樁 號	22		23		24		25		26		27		28	
		凸	側	凸	側	凸	側	凸	側	凸	側	凸	側	凸	側
+2.25		12.6	9.3	—	11.8	8.7	—	12.7	9.7	12.5					
		12.4	10.0	—	11.8	9.0	—	12.6	9.6	12.5					
+1.50		12.7	9.4	12.8	11.5	8.4	—	12.6	9.2	12.3					
		12.5	9.6	12.6	11.9	8.9	—	12.5	9.6	11.9					
+1.00		12.7	9.2	12.4	11.6	8.6	—	12.5	9.7	11.9					
		12.5	9.6	12.7	11.6	9.2	—	12.3	9.8	12.0					
+0.50		12.7	9.4	12.6	11.5	9.2	10.9	12.6	9.4	12.3					
		12.6	9.6	12.5	11.9	9.3	11.0	12.3	9.6	11.9					

註: 高度係從池底往上推算

表9 新海水循環水槽內 U 型鋼板樁試驗前之厚度

日期：82.04

樁 號	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
+2.25	6.8	8.0	—	5.5	8.4	5.7	6.7	8.8	7.0	6.2	9.1	6.4	6.9	9.0	6.6	7.0	9.1	6.6	6.5	8.5	6.3
		8.2		8.4				8.8		9.3			9.0		8.9		8.9		6.5	8.9	
+1.50	6.2	7.9	—	5.7	9.1	5.6	6.7	8.5	7.1	6.6	9.2	6.6	6.5	9.2	6.6	6.4	9.0	6.2	6.7	8.5	6.1
		8.1		9.0				8.6		9.2			9.0		8.6		8.6		6.7	8.9	
+1.00	6.9	8.9	—	6.2	8.8	5.4	6.8	8.7	7.0	6.6	9.5	6.7	6.7	9.2	6.6	6.6	9.1	6.3	6.5	8.5	5.9
		8.8		8.8				8.8		8.6			8.9		9.1		9.1		6.5	8.7	
+0.50	6.8	8.9	—	5.9	8.9	5.8	6.8	8.6	7.0	6.4	9.0	6.4	6.6	9.2	6.8	6.9	9.2	6.4	6.2	8.2	6.2
		8.9		9.0				8.9		9.0			9.1		9.2		9.2		6.2	8.7	

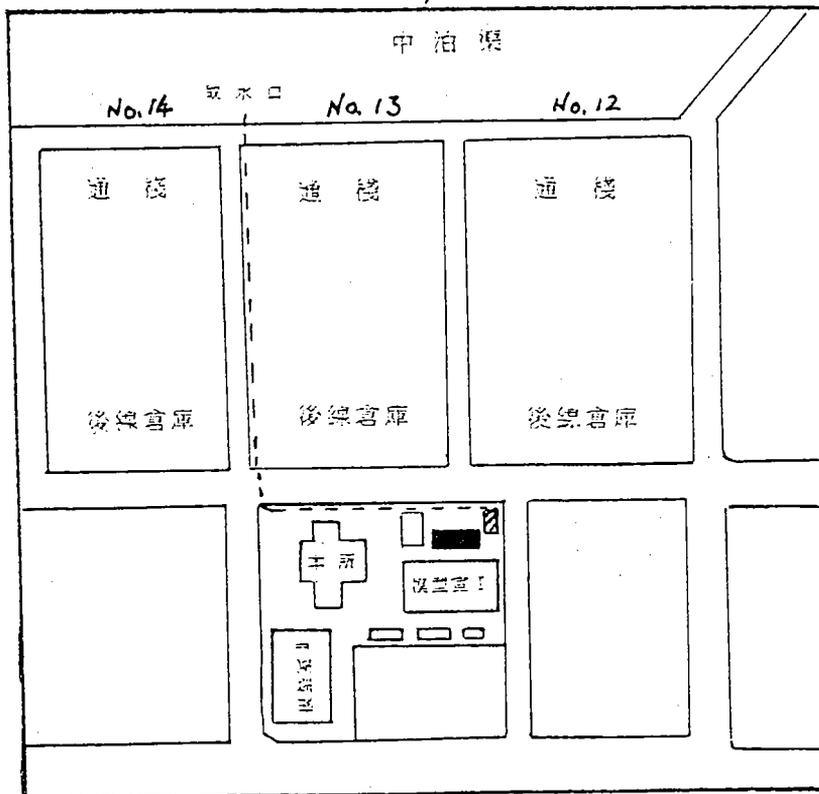
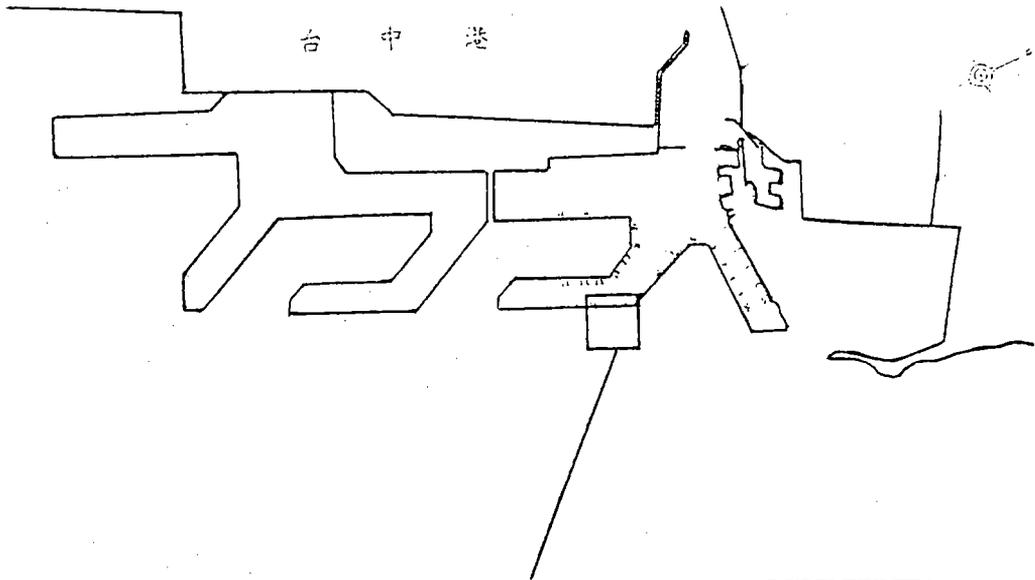
註：高度係從池底往上推算

表9 新海水循環水槽內 U 型鋼板樁試驗前之厚度(續)

日期：82.04

樁 號	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	5.8	8.3	5.3	7.4	9.4	6.7	6.6	8.7	6.9	6.2	7.7	5.9	5.8	7.6	5.8	6.2	9.0	6.6	6.5	8.6	5.6
		8.4		9.4			8.5				7.7		8.2			9.0			7.8		
+1.50	5.6	9.0	6.0	7.2	9.3	7.0	6.8	8.3	6.7	6.3	7.3	5.6	6.3	8.2	6.2	6.3	8.5	6.7	6.2	9.0	6.0
		9.3		9.2			8.2				7.2		8.7			8.4			9.1		
+1.00	6.0	9.4	6.4	7.2	9.2	6.8	6.5	8.5	6.9	5.6	7.4	5.4	6.3	8.6	6.3	6.8	7.7	6.5	6.4	9.1	6.3
		9.2		9.3			8.5				7.5		8.6			8.0			9.2		
+0.50	5.2	9.2	6.2	7.1	9.2	6.8	6.4	8.7	6.5	5.5	7.0	5.6	6.8	8.6	6.4	6.0	8.7	6.3	6.5	8.8	6.2
		9.4		9.0			8.4				7.8		9.0			8.4			9.1		

註：高度係從池底往上推算



■ 新循環水槽 ▨ 舊循環水槽 ---- 管線

圖1 海水循環水槽之位置圖

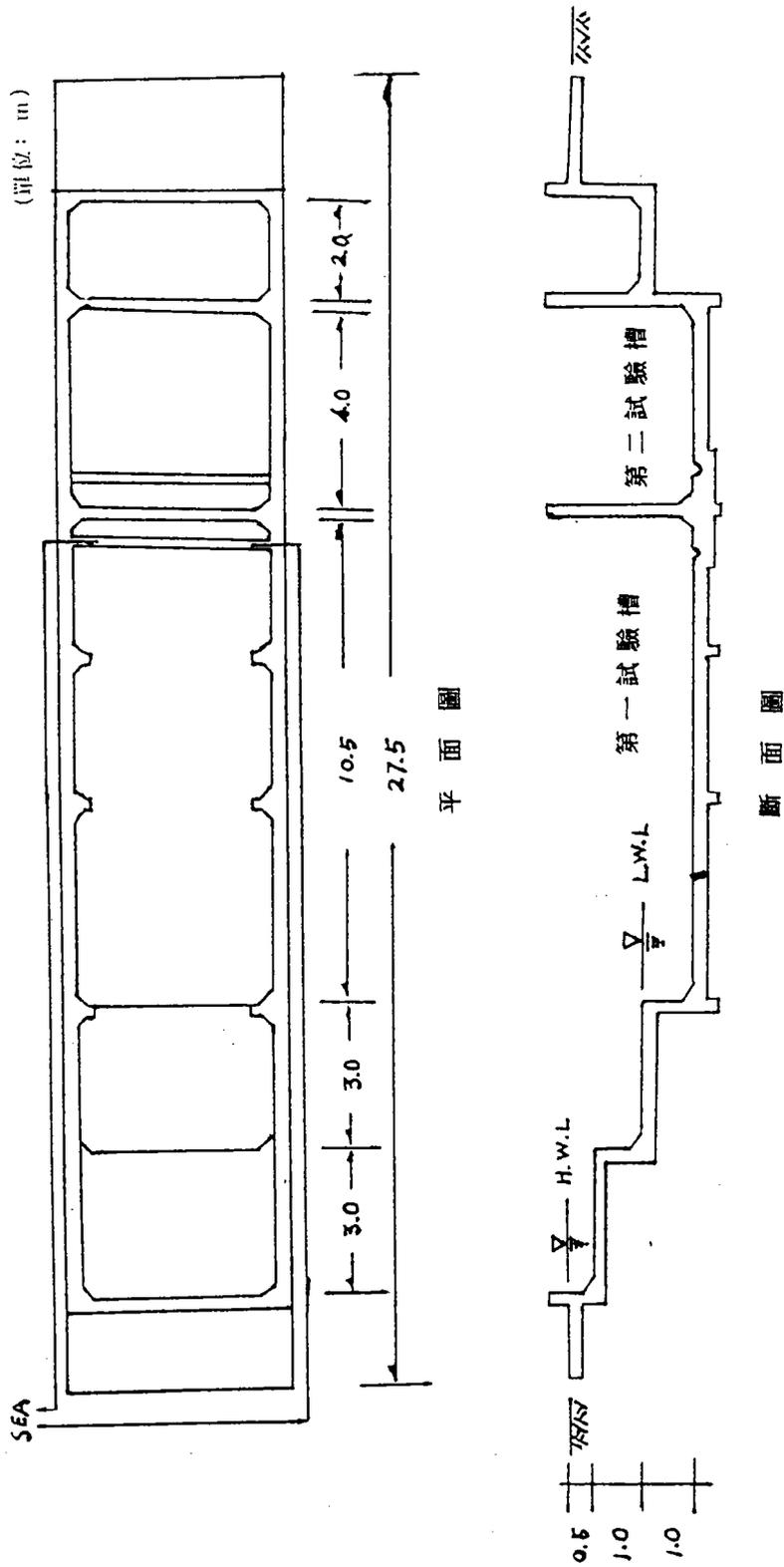
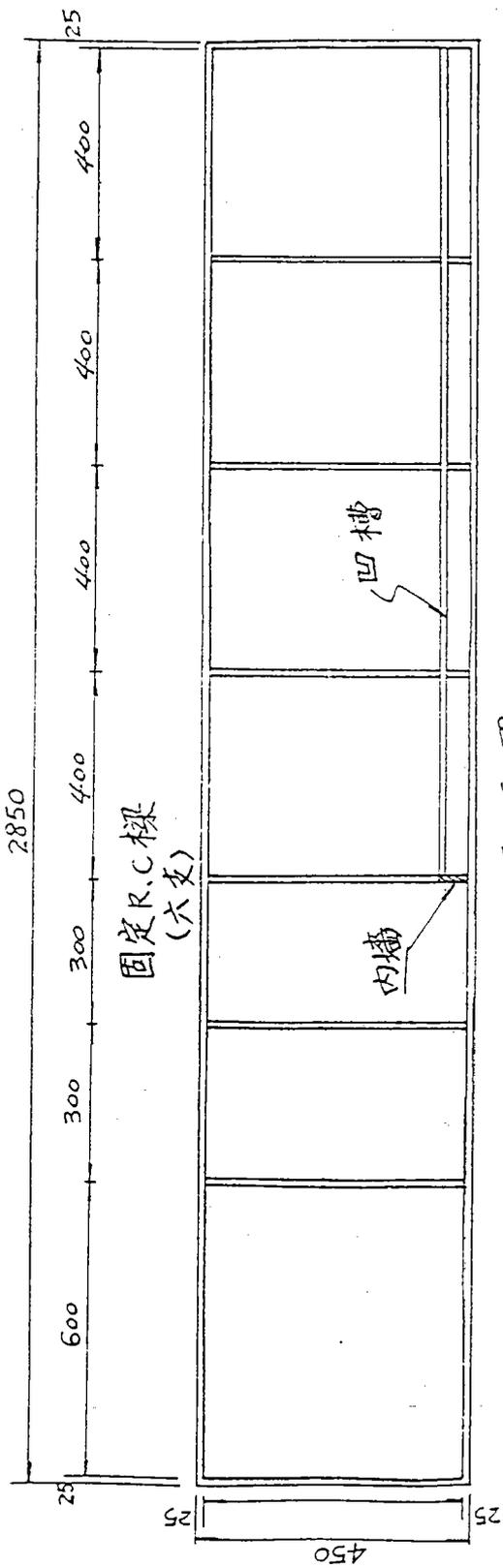
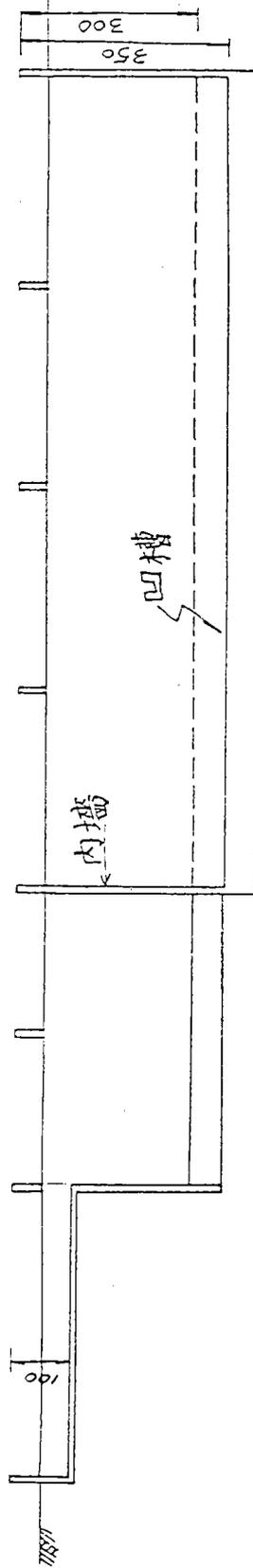


圖2 蓄海水循環水槽之平面與斷面圖

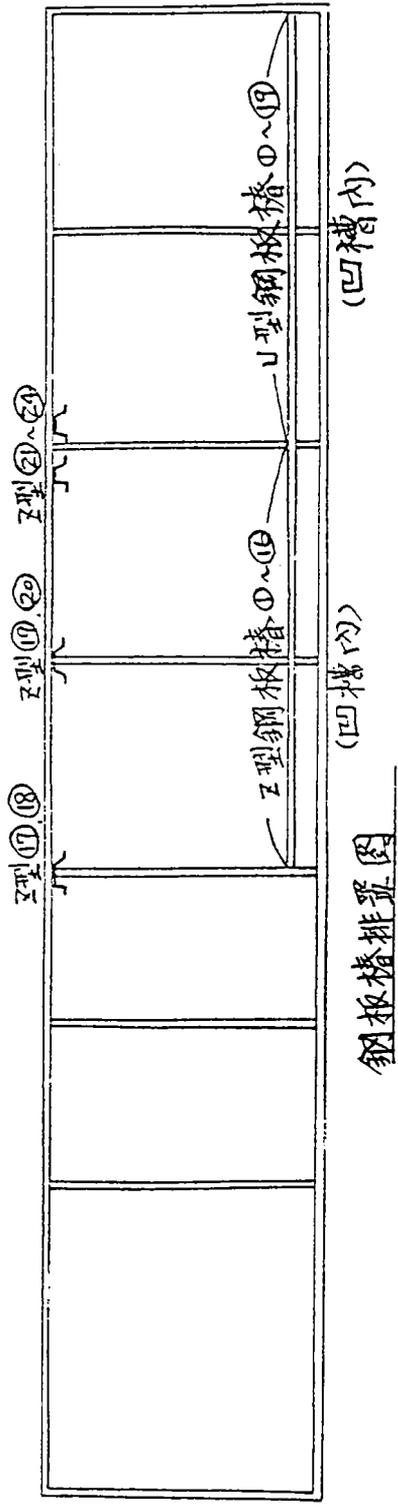


平面圖

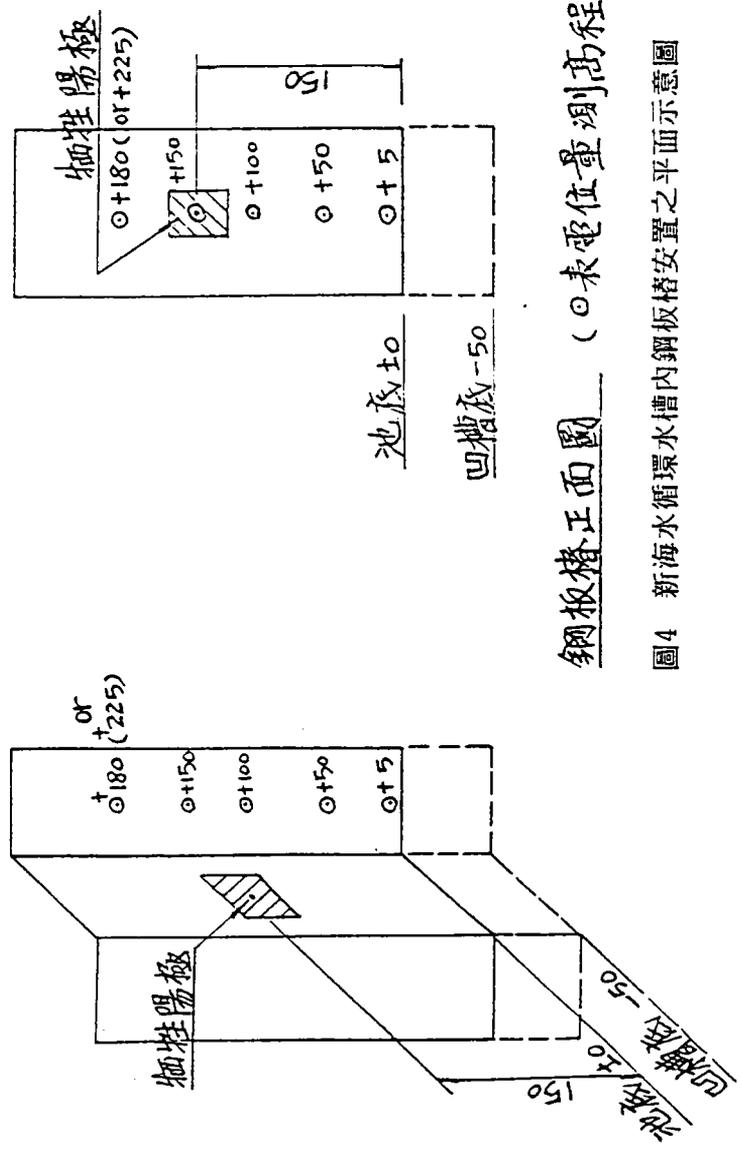


側面圖

圖3 新海水循環水槽之平面與側面圖



鋼板樁排置圖



鋼板樁正面圖 (○表電位量測高程)

圖4 新海水循環水槽內鋼板樁安置之平面示意圖

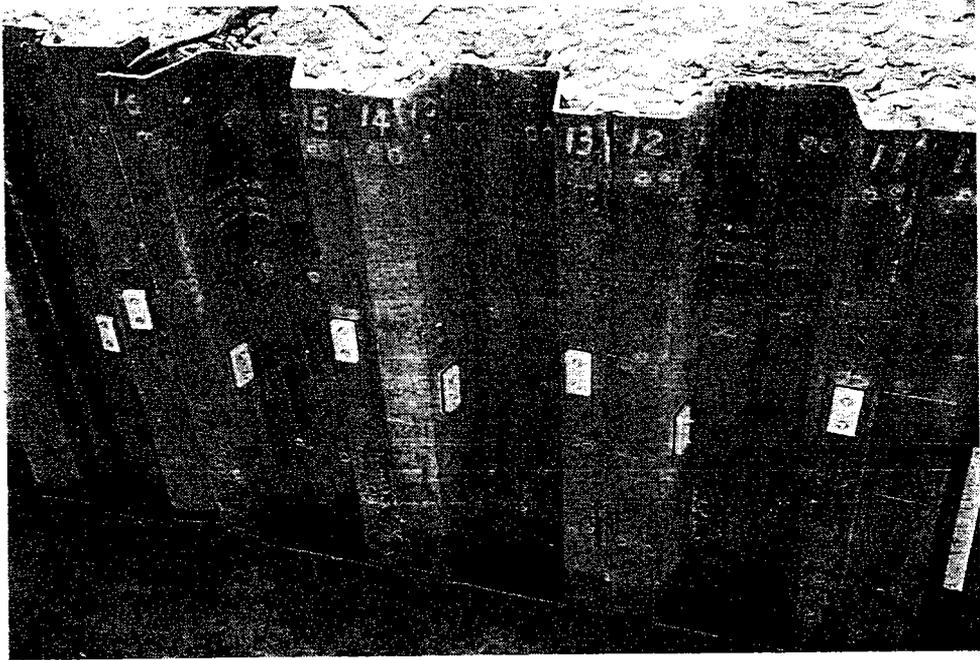


圖5 鋼板樁及陽極塊安裝之實際情形(Z型鋼板樁)

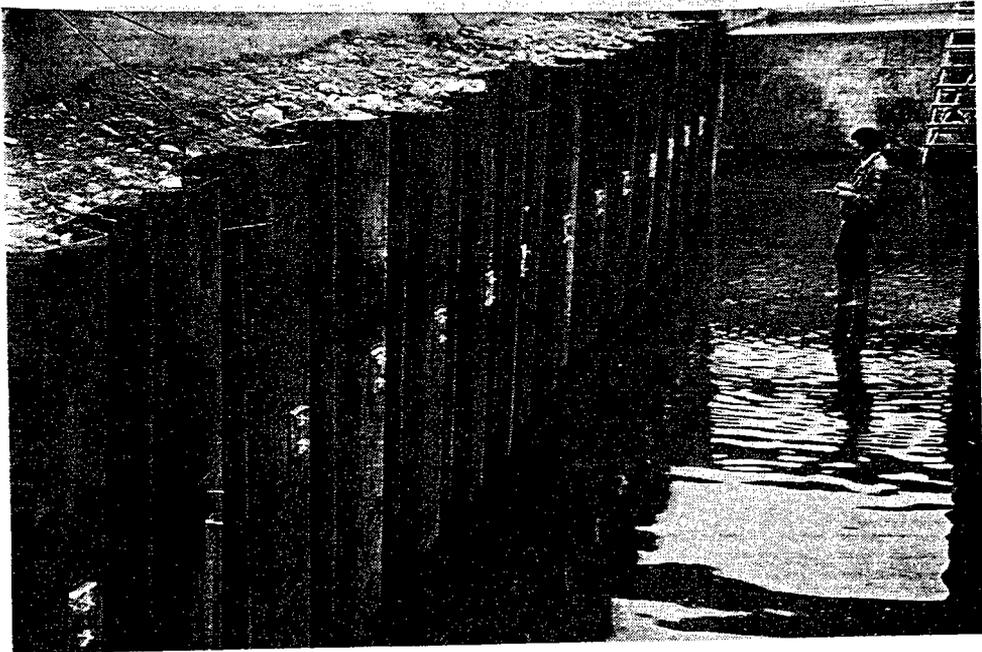


圖6 鋼板樁及陽極塊安裝後之實際情形(全部鋼板樁)

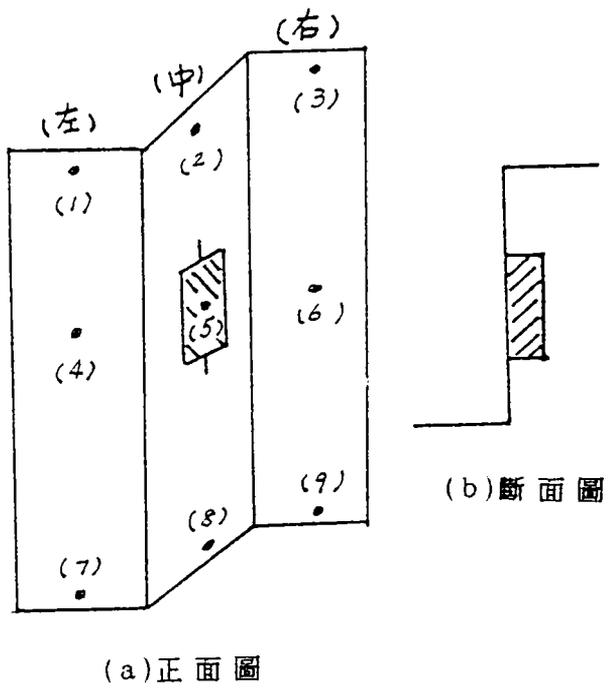


圖7 Z-38型鋼板樁陽極塊焊接位置及電位量測點示意圖

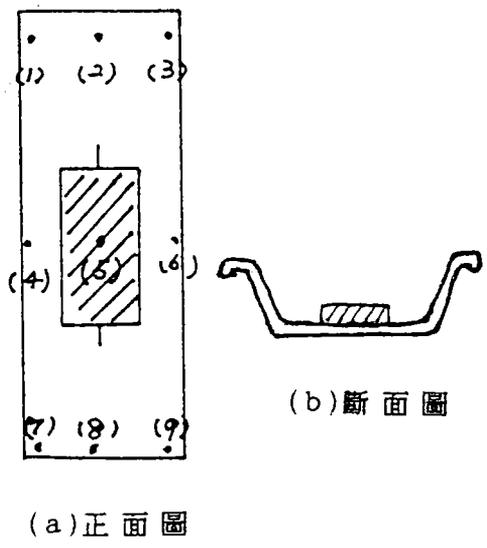
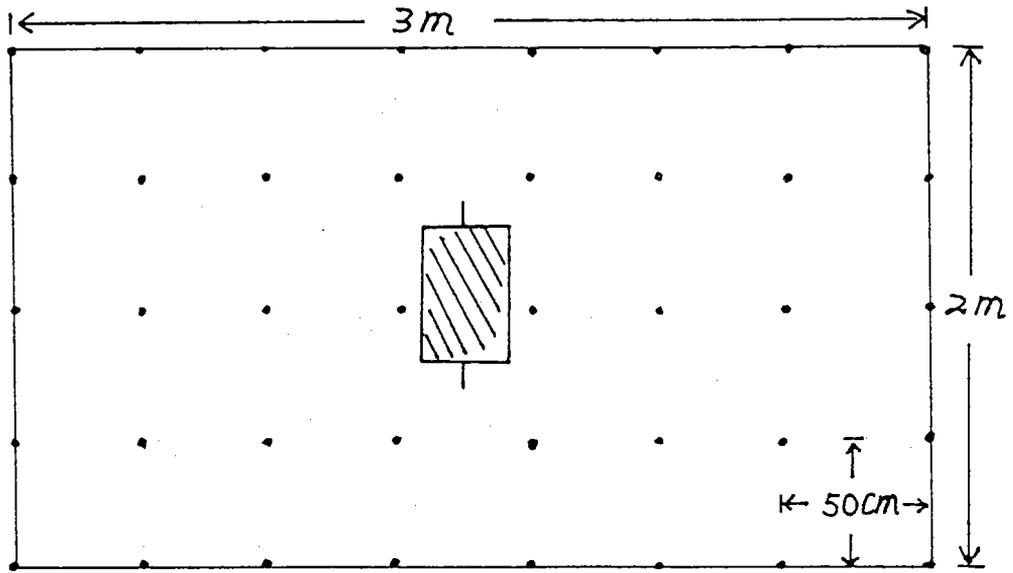
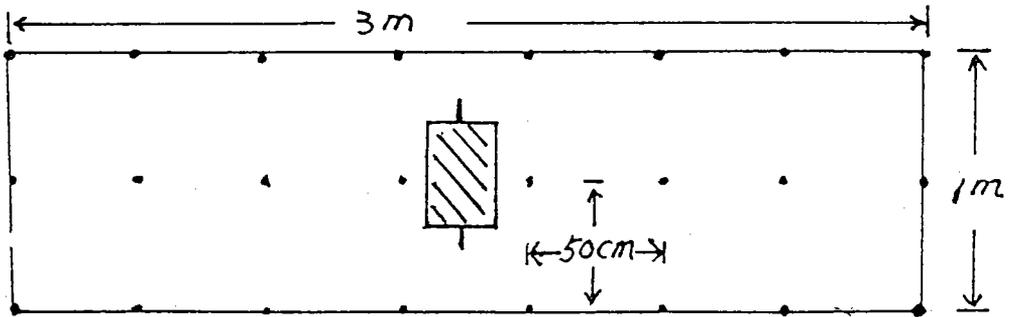


圖8 U型鋼板樁陽極塊焊接位置及電位量測點示意圖



註 • 為防蝕電位量測點 (間隔50cm)

圖9 SS41 鋼板陽極塊焊接位置及電位量測點示意圖
(鋼板尺寸 2m×3m)



註 • 為防蝕電位量測點 (間隔50cm)

圖10 SS41 鋼板陽極塊焊接位置及電位量測點示意圖
(鋼板尺寸 1m×3m)

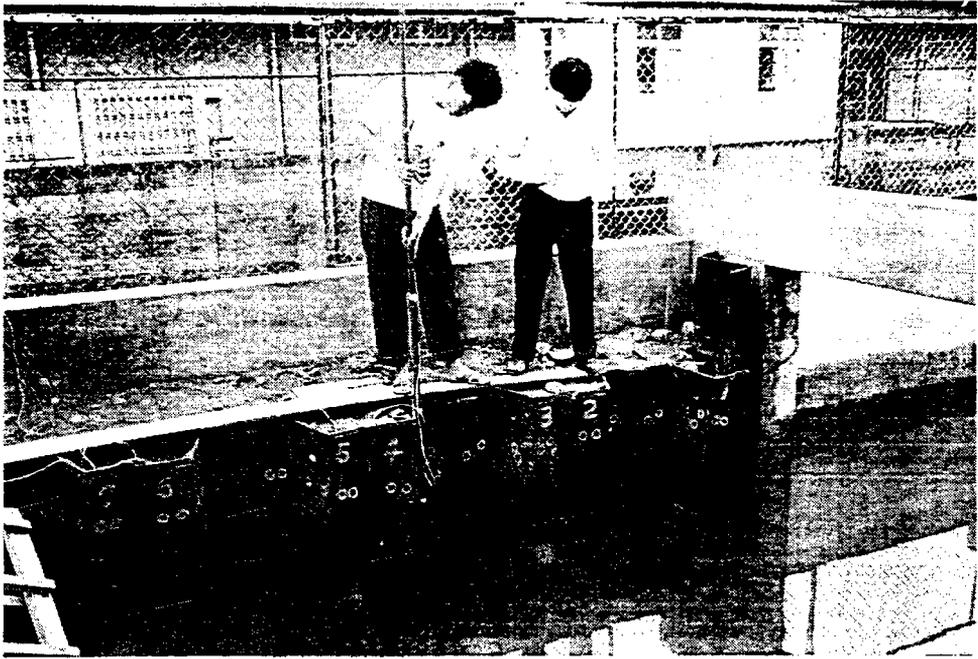


圖11 定期量測鋼板樁防蝕電位之情形

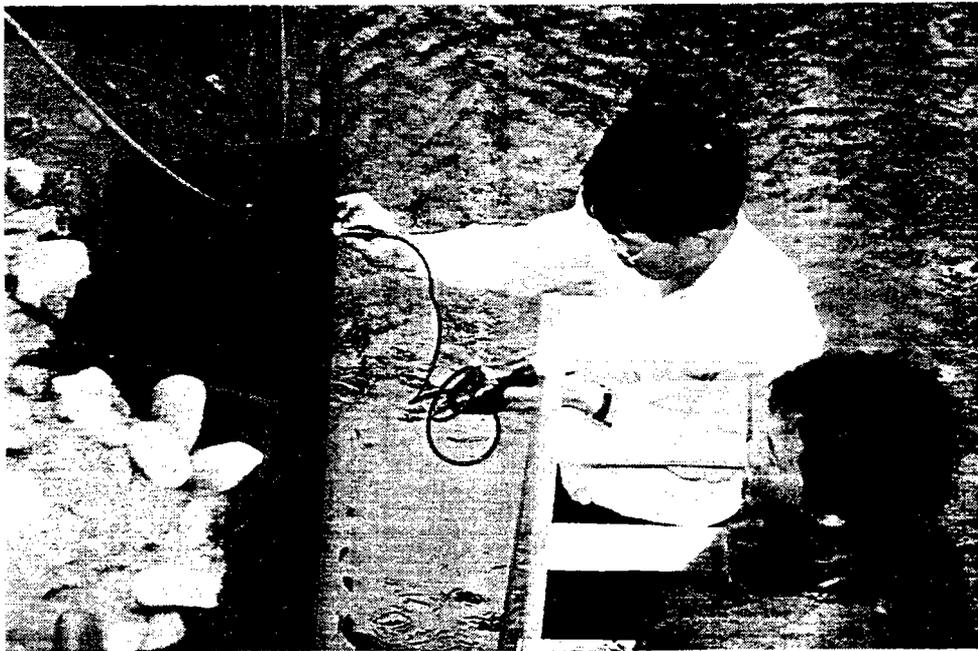


圖12 定期量測鋼板樁厚度變化之情形

肆、現場腐蝕調查

饒 正*

一、前言

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5，6號碼頭及台中港29號碼頭之現場腐蝕調查。

二、花蓮港5號碼頭

該碼頭於民國50年完工，使用盧森堡國製之Belvol Z型鋼板樁，至今已使用32年，整座碼頭未做防蝕措施，其位置及斷面如圖一、二。

本研究自該碼頭起點每隔3支鋼板樁，取一支調查，每支測樁10個水深測點，即在低潮位線上1.25公尺，及低潮位線下0.05公尺、1公尺、2公尺、3公尺、4公尺、5公尺、6公尺、7公尺、8公尺處，用工具在樁之凸、側、凹面，將海生物及附著物敲除，以超音波厚度計量取現有厚度讀數，計算出腐蝕速率，其結果如圖三及附錄一。

三、花蓮港6號碼頭

該碼頭於民國60年完工，使用日本國製的Z-25型鋼板樁，至今已使用21年，整座碼頭未做防蝕處理，但混凝土冠牆包覆鋼板樁一直至低潮線下0.75公尺，在國內是唯一鋼板樁不露出水面之碼頭，其碼頭斷面如圖四。

本研究自該碼頭起點，每隔3支樁選一測樁，每支測樁26個水深測點，即自冠牆下起為0點，在一公尺長度內，每隔5公分作一測點，後每隔1公尺作一測點，(-0.05, -0.10, -0.15, -0.20, -0.25, -0.30, -0.35, -0.40, -0.45, -0.50, -0.55, -0.60, -0.65, -0.70, -0.75, -0.80, -0.85, -0.90, -0.95, -1.0, -2.0, -3.0, -4.0, -5.0, -6.0, -7.0公尺)用工具在樁之凸、側、凹面將海生物及附著物敲除，以超音波厚度計量取現有厚度，計算其腐蝕速率，其結果如圖五及附錄二。

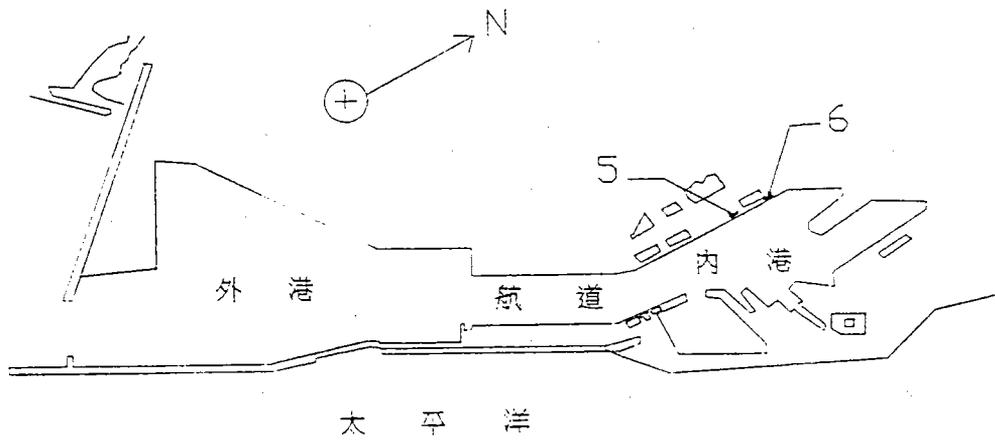
* 臺灣技術研究所港工材料組副研究員

四、台中港29號碼頭

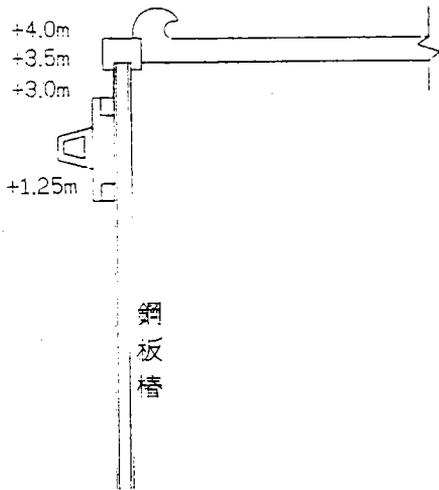
該碼頭於民國72年完工，係鋼管樁碼頭，直徑812.8mm，厚度16mm，樁頭部份以sikagard 694塗裝保護，至今已使用10年，其位置及斷面圖如圖六、七。

本研究就該碼頭之全部68支鋼管樁作腐蝕調查，其樁位如圖八所示，每支測樁共有11個水深測點，第一排鋼管樁為低潮位線上0.10公尺及低潮位線下-0.10,-1.10,-2.10,-3.10,-4.10,-5.10,-7.10,-9.10,-11.10,-13.10公尺第二至八排鋼管樁為低潮位線上3.40,2.40,1.40,0.40公尺及低潮位線下-0.10,-1.10,-2.10,-4.10,-6.10,-8.10,-10.10公尺。每支鋼管樁取三個面，將海生物敲除，以超音波厚度計量測現有厚度，計算其腐蝕速率，其結果如下附錄三。

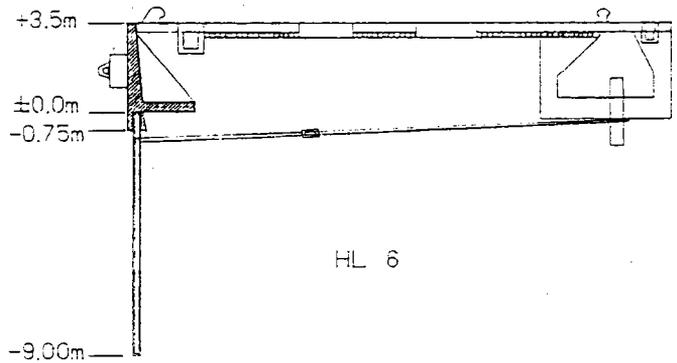
由附錄三的結果可看出其腐蝕速率甚小，約為0.02mm/yr。



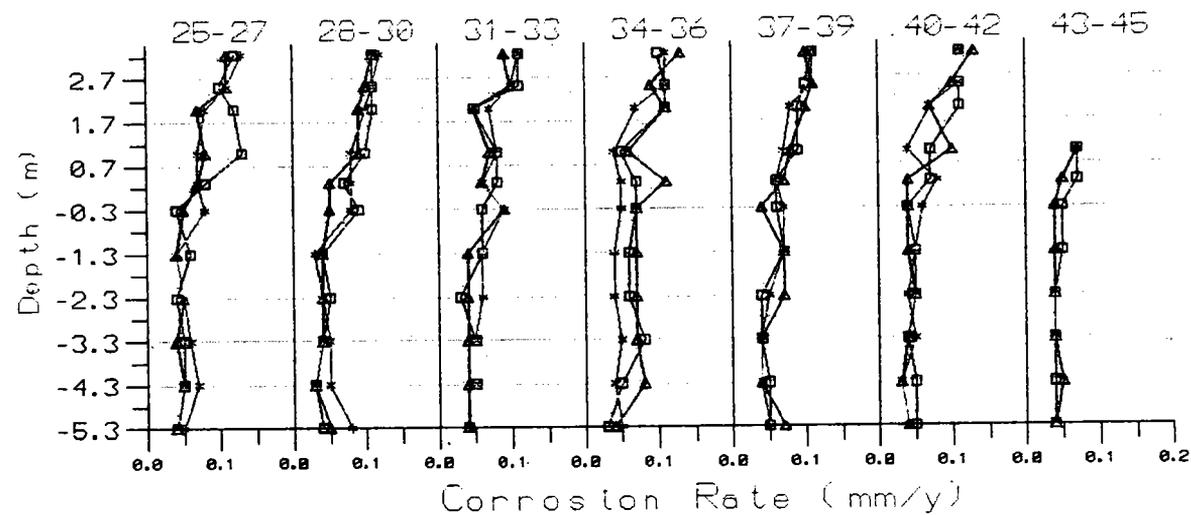
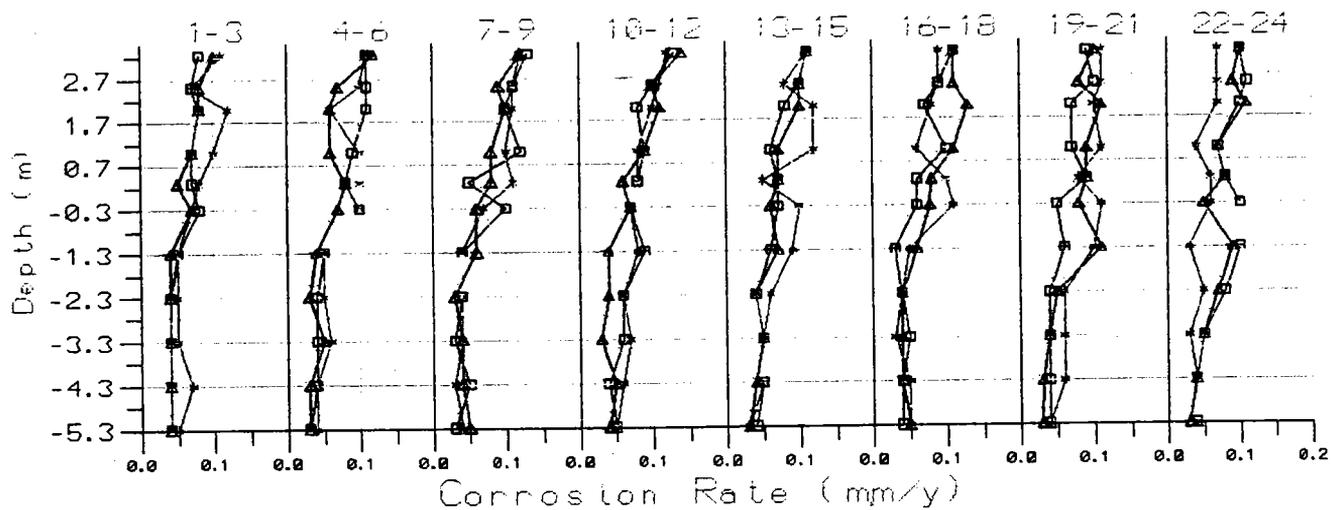
圖一花蓮港平面圖



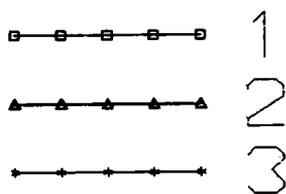
圖二花蓮港5號碼頭斷面圖



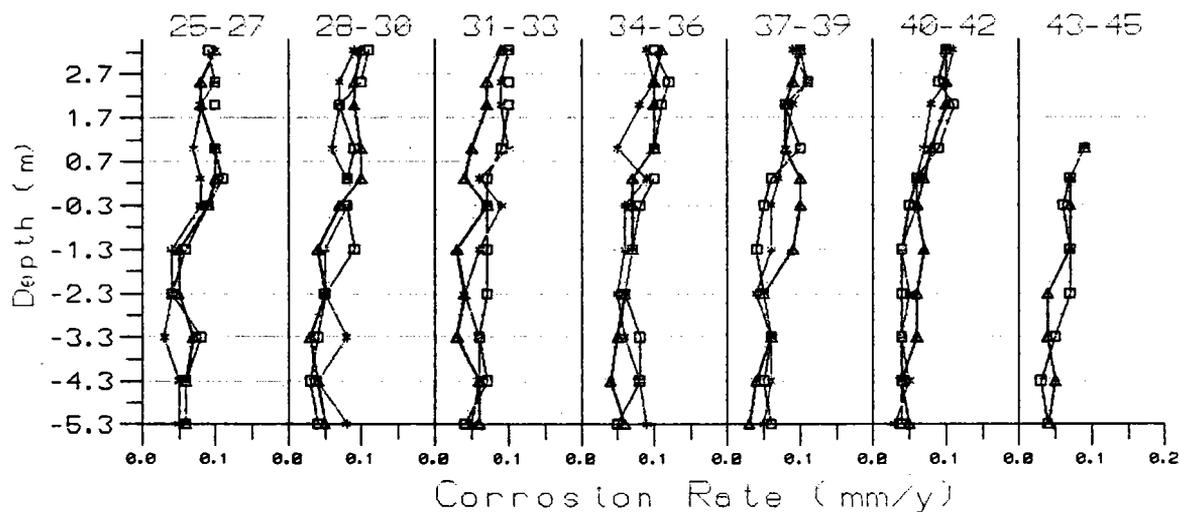
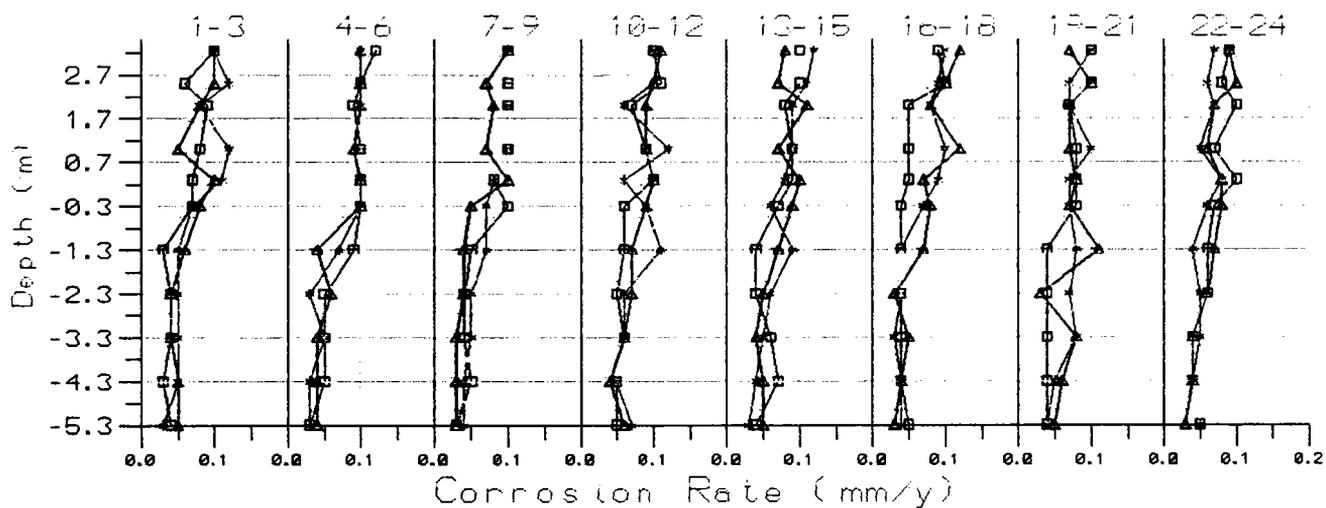
圖四花蓮港6號碼頭斷面圖



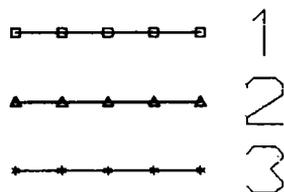
HL5A



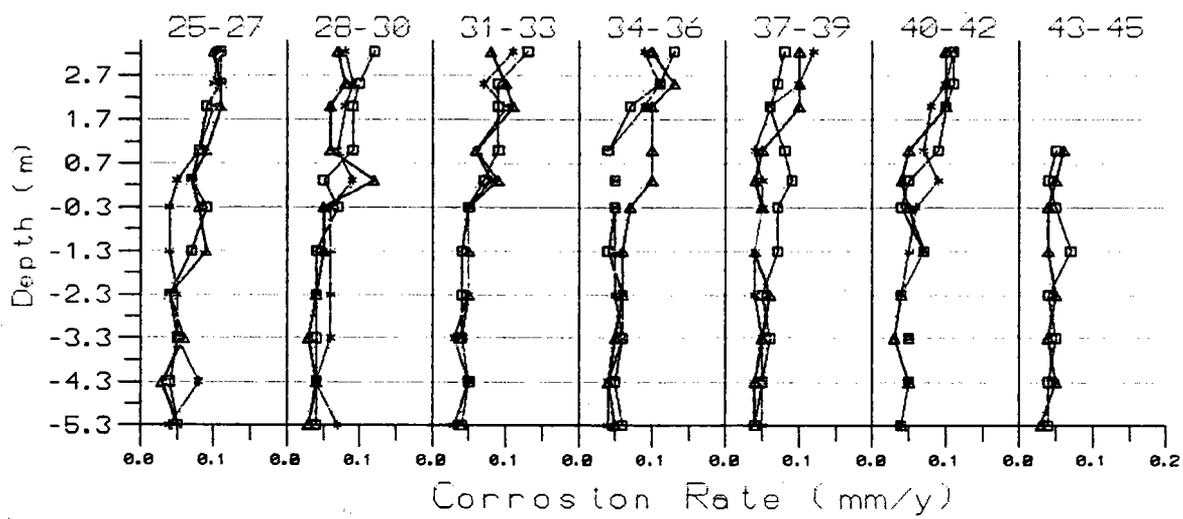
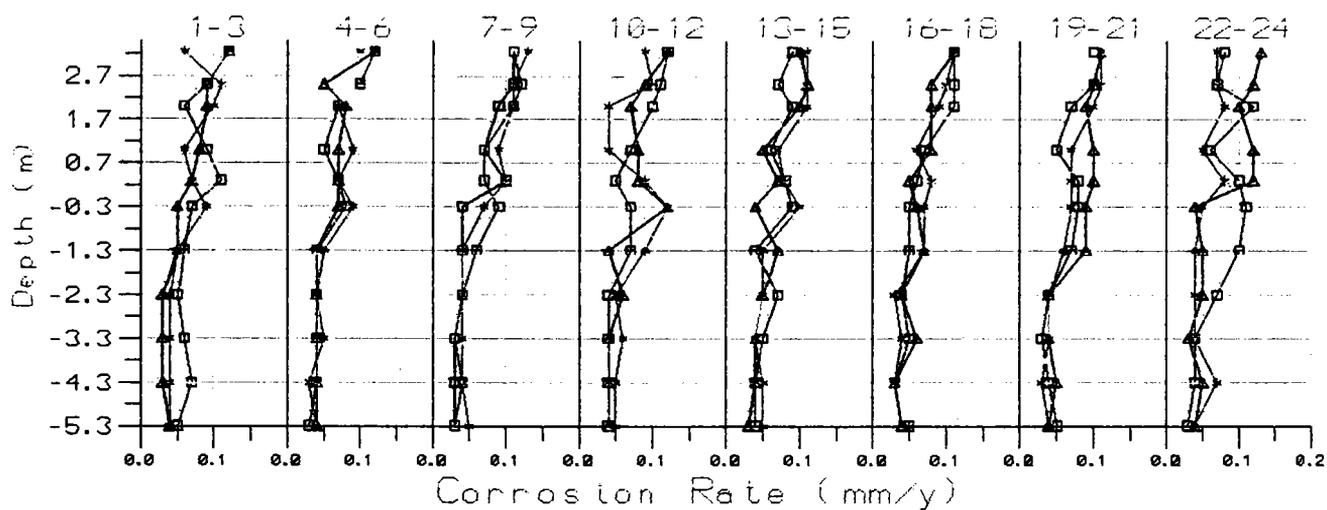
圖三 花蓮港5號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(凸面)



HL5B



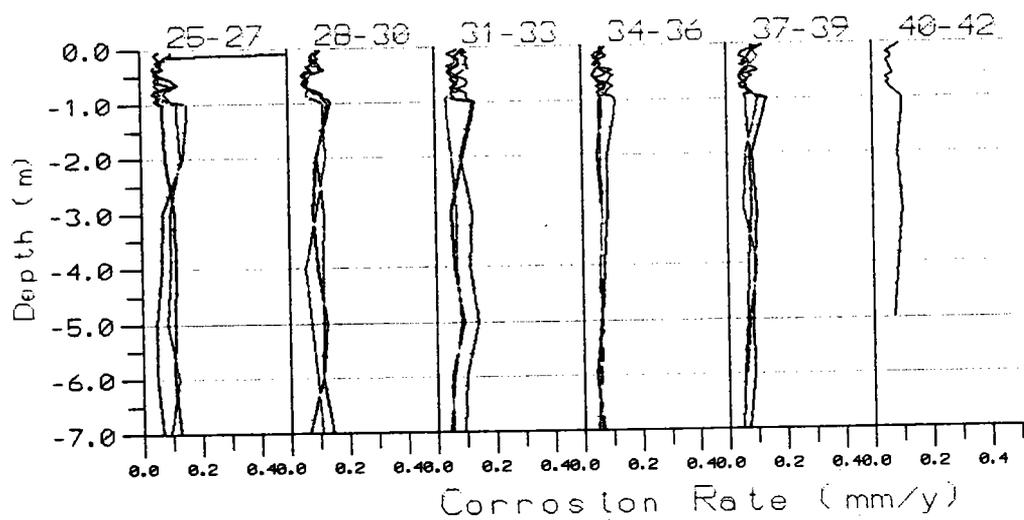
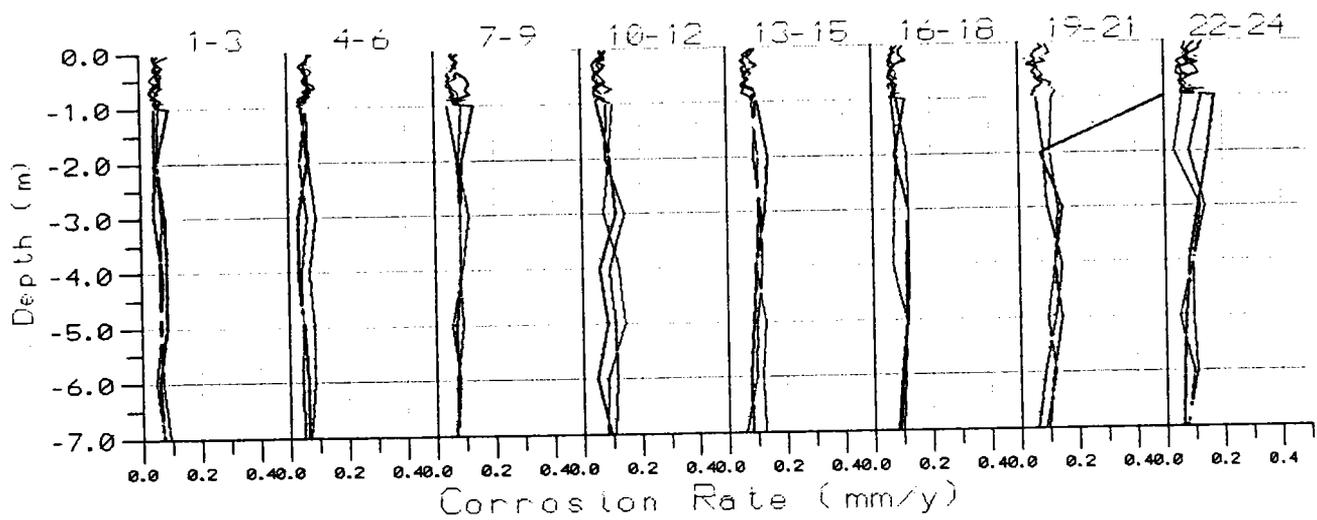
圖三 花蓮港5號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(側面)



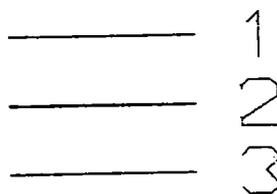
HL5C

1 —□—□—□—□—□—
 2 —△—△—△—△—△—
 3 —*—*—*—*—*—

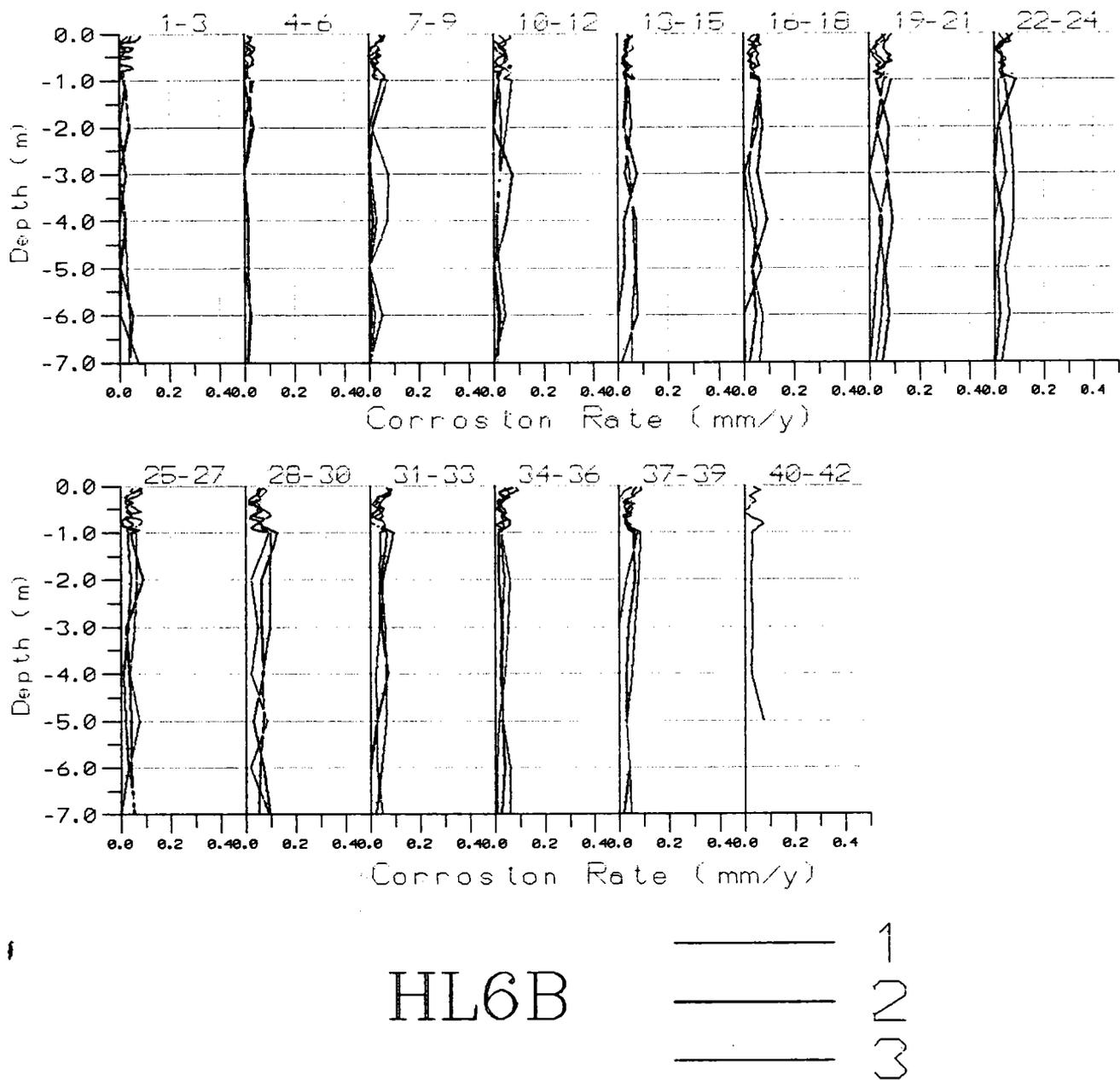
圖三 花蓮港5號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(凹面)



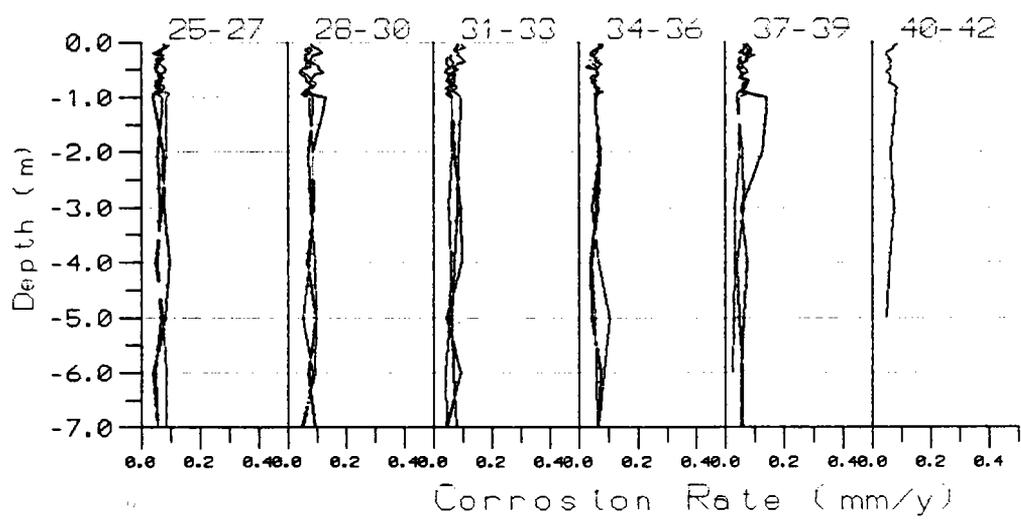
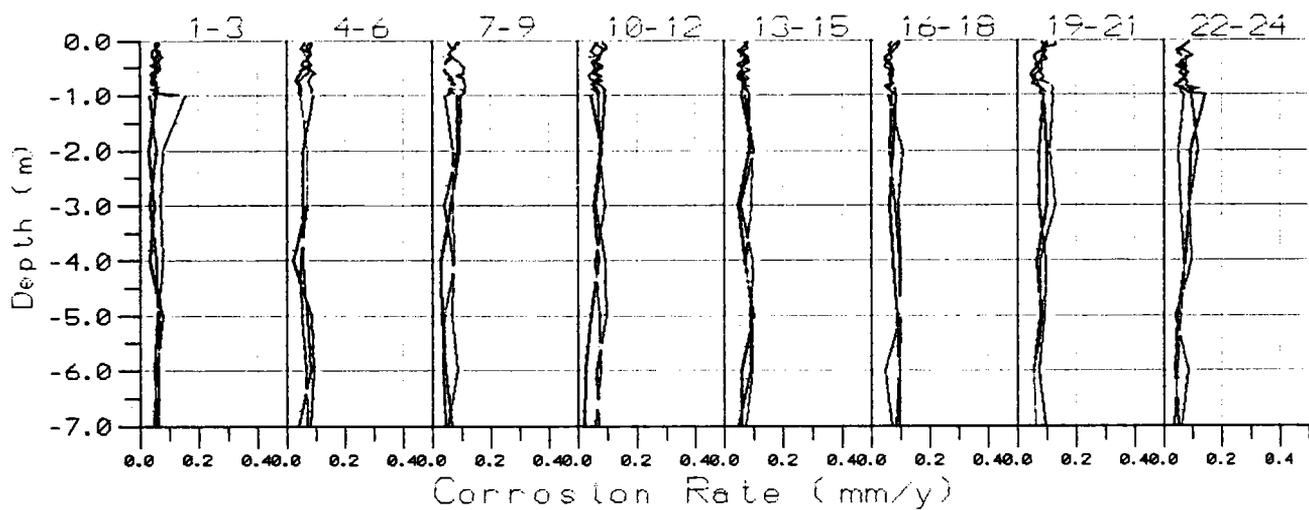
HL6A



圖五 花蓮港6號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(凸面)



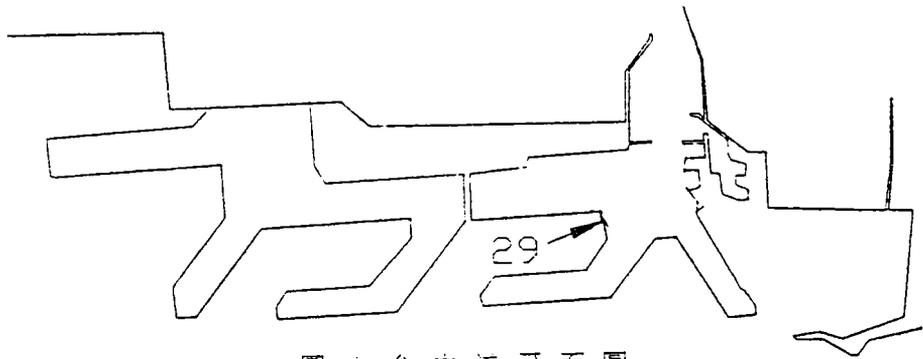
圖五 花蓮港6號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(側面)



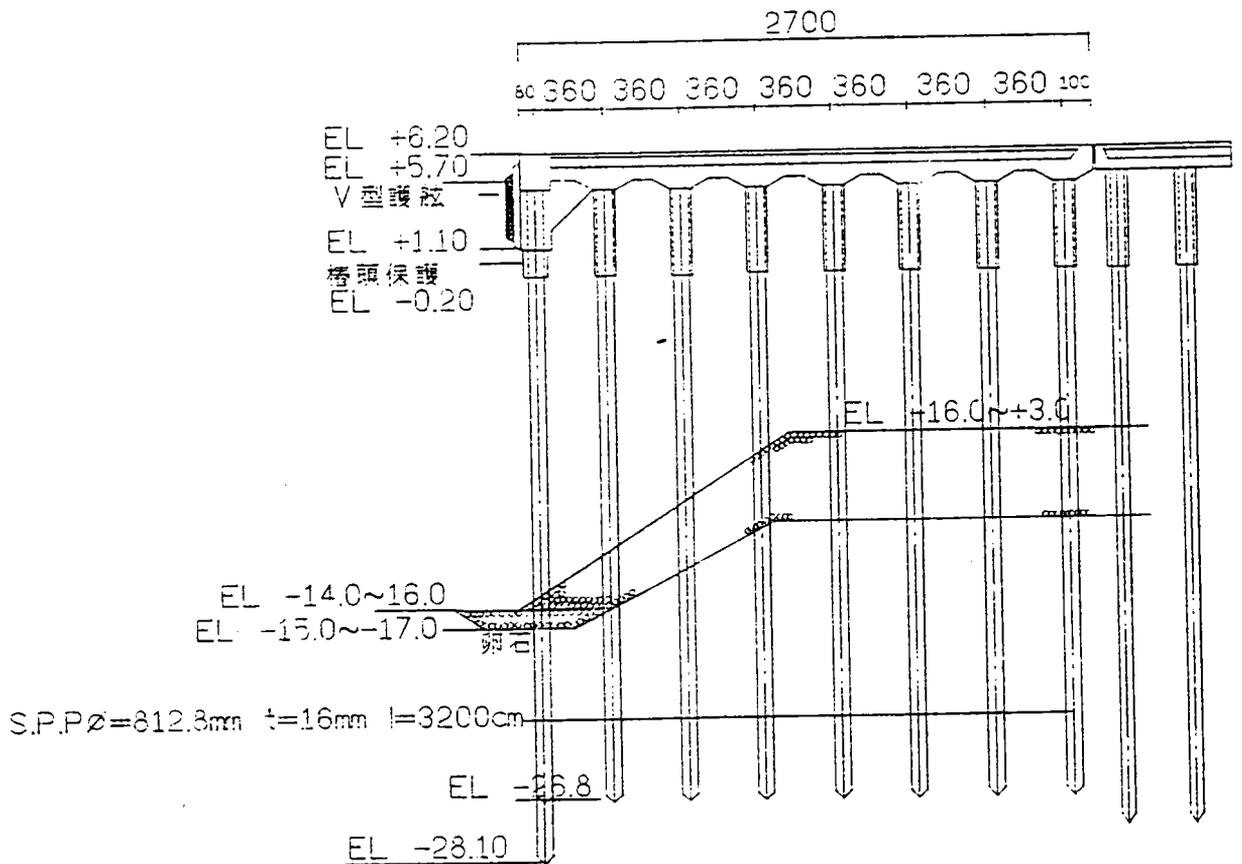
HL6C

— 1
— 2
— 3

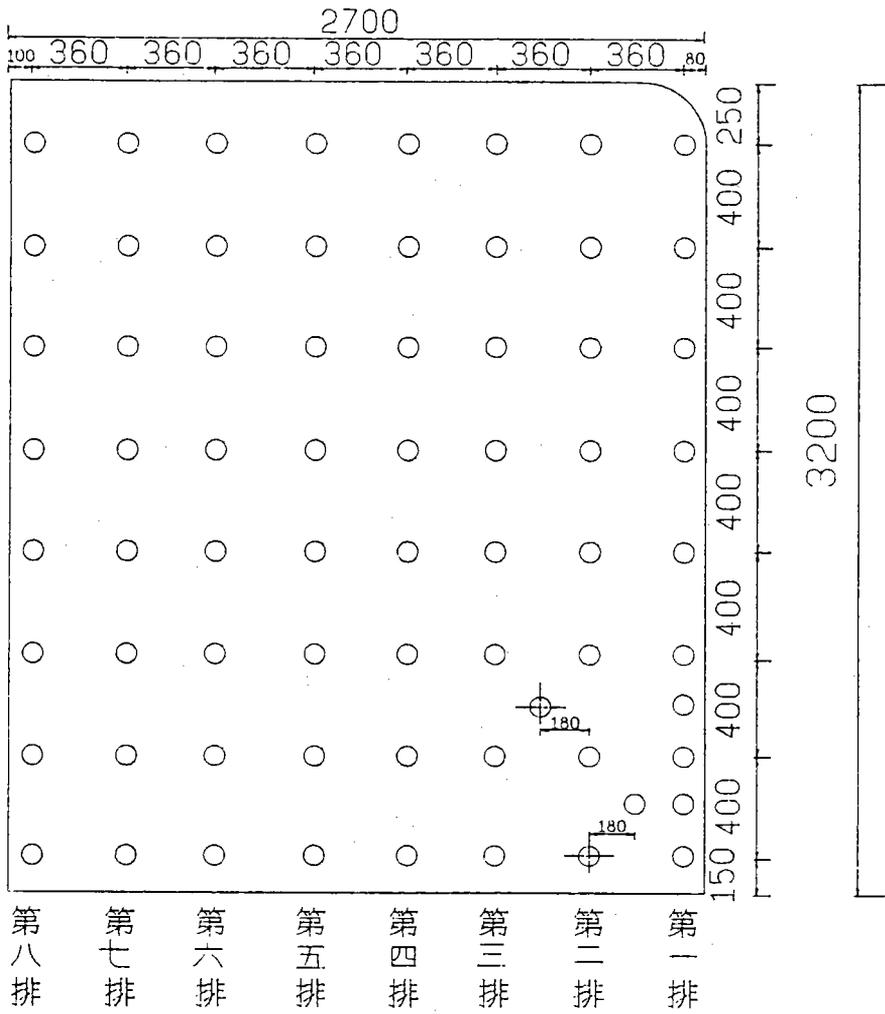
圖五 花蓮港6號碼頭鋼板樁腐蝕速率與水深關係圖(凹面)



圖六 台中港平面圖



圖七 台中港29號橋頭斷面圖



圖八台中港29號碼頭樁位圖

伍、塗料試驗

柯 正 龍*

一、前言：

目前所使用之塗料，並無所謂“萬能型塗料”，選擇時須視各被塗物之種種特性來做抉擇，並衡量經濟效益才能夠達到完美的塗裝效果。一般塗料施用於被塗物的主要功用為保護及裝飾美觀，因此一種高品質油漆必需具備下列性質：

(一)施工性能

1. 容易施工：如濃度（粘度）適宜，遮蔽性能良好（塗膜厚度足夠）。
2. 塗裝作業容易：配合機俱、人員精簡。
3. 塗裝面積廣。
4. 可適用各種不同的使用方法：如塗刷（Brush）、滾塗（Roller）、浸塗（Dipping）、噴塗（Spray）等。

(二)乾燥硬化速度（Drying Speed）：必須適度既不可太快亦不可太慢。

(三)附著力（Good Adhesion）：良好附著力是最基本要求，否則塗料即失去應有效果。附著力不足可能有如下原因：

1. 塗料中樹脂或其他成分造成：如環氣樹脂（Epoxy）中之羥基（OH極性基）。
2. 表面不潔或潮濕不乾：如塵埃；底漆未全乾；表面有濕氣或有餘垢都會使附著力減低，因此適當的表面處理是非常重要的。
3. 塗層間相容性（Compatibility）：塗層間相容性不佳或塗層間相互反應會使附著力減低。如鋅粉底漆之面漆最好用乙烯樹脂（Vinyl）、氯化橡膠（Chlorinated Rubber）、環氧樹脂（Epoxy）等。

(四)塗膜強度（Film Strength）：

溫度的變化會造成塗膜的熱脹冷縮，故塗膜既要有堅硬足以抵抗摩擦，也要有適當的柔軟性。

(五)耐久性（Durability）：在使用期限內保存其特性。如光澤持久性，

* 港灣技術研究所港工材料組研究助理

表面不粉化，可沖洗及保色性（顏色不褪或變深暗），塗料中之展色劑或顏料不受日光、水份、濕氣、空氣氧化或化學品之侵蝕而變化。

二、塗裝缺點

塗裝缺點之發生一般可能引起之因素如下：

- (一)使用有缺點的塗料。
- (二)使用不適當之塗料。
- (三)塗裝方法不適當。
- (四)塗裝技術不成熟或疏失。
- (五)塗裝機器不完備。
- (六)塗裝環境不良。

為將塗裝缺點減至最小程度，必須於施工前對各項因素有正確把握及了解，才能具體預防，但實際施工時，偶發因素很多，其中塗裝環境之狀態影響很大，要完全避免並不容易。

三、塗膜缺陷之原因與對策

(一)塗料變質之原因及防範與處理方法

缺 陷	現 象	原 因	防 範 與 處 理 法
膠 化 Gelation	油漆變成膠狀，失去流動性。	貯藏時間太久或貯藏條件的不良引起反應。（容易發生於含金屬顏料油漆）。	從舊品先出倉使用，不要貯藏太久。避免太陽之直曬與貯存於氣溫特別高或太低之場所。
		調薄劑之使用錯誤。	使用規定調薄劑。
		異種系統油漆之混合。	避免不同系統或不同廠牌油漆之混合。
		低溫時聚氧乙烯樹脂漆之特有現象。	貯存於氣溫較高場所或加溫使用。
		漆罐密封不良，溶劑揮發。	加調薄劑調薄，換包裝罐。
		二液性塗料經混合後，超過可用時間。	一次調配以半天用量為原則。
		厚塗型油漆之正常搖變（Thixotropic）現象。	了解塗料特性，如係搖變性膠狀，由攪拌即可變回液狀。
			其他不明原因之膠化品，應予廢棄不用。

沉澱結塊 Settling	顏料成份 沉於罐底 結成塊狀 。	貯藏時間太久。	從舊品先出倉使用，不要貯存太久
		過度調薄。	不要加過量調薄劑。
		紅丹、氧化亞銅等重質顏料之沉澱。	做充份攪拌。
			如結塊太嚴重，無法調開時，應予廢棄。
結皮 Skinning	油漆之表 層乾燥結 皮現象。	防皮劑配量太少或乾燥劑使用過多。	不要加過量乾燥劑，添加防皮劑。
		罐蓋漏氣或未蓋緊。	貯裝於密封罐。
		少量油漆使用大型漆罐貯裝。	移裝入小型漆罐，盡可能不留空間
			除去結皮，充份攪拌後，過濾使用。 結皮太嚴重時應廢棄不用。

(二)塗裝作業中發生之缺陷及防範與處理方法

缺 陷	現 象	原 因	防 範 與 處 理 法
桔 子 皮 Orange Peeling	噴塗作業 產生之塗 面呈桔子 皮狀凹凸 。	油漆粘度太高，使用溶解力不良之調薄劑，或溶劑揮發太快。	使用規定調薄劑，做適當調薄。
		噴槍運行太快，噴槍與塗面距離太遠。	調整噴槍運行速度與塗面之距離。
		被塗物溫度太高，或氣溫太高，或風速太大。	在適當氣溫條件與環境施工。
		油漆品質不良。	選用優良品質油漆。
			用砂紙磨平重塗。
塌 Cissing	因油漆散 播產生凹 凸或孔穴 。	塗面有油漬、水份之附著，或塗裝工具帶進之水份或礦油。尤其是矽利康油會產生嚴重塌凹。	清除被塗面之油漬、水份等附著異物。使用後之塗裝器具，應徹底洗淨。
		被塗物過份平滑與堅硬。	用砂紙研磨，或除去漆膜重塗。
氣 泡 Bubling	混入塗料 中之空氣 留在漆膜 變成小泡 。	油漆經強勁攪拌後，不待混入空氣之消失即予塗裝。	不做激烈攪拌。油漆經攪拌後待氣泡消去再塗裝。
		溶劑揮發太快，或被塗物溫度太高。	使用揮發性較慢溶劑。
		油漆粘度太高。	使用規定調薄劑調整粘度。 除去漆膜重塗。

拉 Cobwebbing	絲 噴塗塗裝時成絲狀情形（特別容易發生於氧化橡膠漆）。	油漆粘度太高。	使用規定調薄劑調整粘度。
		溶劑揮發太快。	使用揮發性較慢溶劑。
		噴槍口徑太小，壓力太高。	使用較大口徑噴槍、降低壓力。
流 Sagging	垂直面之部份油漆流下聚結成厚膜之現象。	一次噴塗量太多。	調整噴塗量。
		噴塗距離太近或噴槍運行太慢。	調整噴槍距離與運行速度。
		油漆粘度太低。	避免過度調薄。
		光滑塗面之上層塗裝。	用砂紙磨粗。
			使用砂紙磨平瀉流部份或鏟除重塗。
刷 Brush Mark	隨著漆刷運行方向留下凹凸刷紋。	使用粗糙短毛漆刷施工。	使用優良品質漆刷。
		油漆本身之流展性不良（快乾性漆較易發生）。	配合少量高沸點溶劑或增加調薄劑。
		被塗物底面粗糙，吸漆性較大。	預先用同一油漆調薄，做一層薄層塗裝。
			用砂紙磨平重塗。
白 Blushing	塗膜發白混濁（W/P或硝化纖維噴漆較易發生）。	空氣濕度太高時，空氣中之水份凝結於塗面產生發白混濁現象。	避免在下雨天或高濕度環境施工，或使用慢揮發性溶劑（防白水）稀釋。
		塗裝後在夜間因氣溫下降，水份凝結於塗面。	油性或環氧系油漆因乾燥較慢，最好避免在傍晚施工。
		被塗物之溫度較氣溫低。	待被塗物溫度升高時再施工。
			噴漆類之白化現象，可待濕度降低時噴塗防白水即可消除。
吐 Bleeding	底層漆顏色為上層漆溶化滲透入上層漆膜。	有機系紅色顏料或染料以及瀝青質塗膜上施塗面漆。	運行快速噴槍噴一層薄膜，使溶劑很快揮發，不給太多之溶化下層顏色之機會。
		未乾底層漆上做上層塗裝。	待底層漆乾透後再做上層塗裝。

剝離 Lifting	上層油漆溶劑浸透底漆，產生剝離現象。	上層油漆之溶劑太強，或底層與上層漆配合不當（例如油性漆+氯乙烯漆）。	避免異種漆之疊層塗裝。不做過份調薄。
		底層漆與上層漆之塗裝間隔太短。	待底層漆充份乾燥後再施塗上層漆。
顏色分離 Flocculation	塗面之顏色濃淡不均。	調薄劑用量過多。	不做過份調薄。
		漆膜厚度不均。	不用劣質硬漆刷，或做過份厚塗塗裝。
		油漆攪拌不均。	做充份攪拌。
		調色不均。	二色以上之油漆調合時，未做充份攪拌或未做適應性檢討。
			用砂紙研磨後重塗。
砂皮 Sandy	噴塗漆粒太大，產生不平粗面。	使用不適當調薄劑。	選用規定調薄劑。
		粘度太高。	用規定調薄劑調成適當粘度。
		噴漆機之噴塗壓力不當。	調整空氣壓力與噴槍。
			用砂紙磨平後重塗。
乾燥不良 Delaying of Drying Time	油漆在規定時間內不乾。	氣溫太低，濕度太高或不通風場所之施工。	改善塗裝環境。
		塗面有水份或油跡。	做完整表面處理。
		二液型漆之硬化劑配量不足。	按規定量加硬化劑，並做充份調合。
		過份厚塗塗裝。	按規定漆膜厚度施工。
			經過長時間暴露還不乾時，除去漆膜重塗。
回粘 Aftertack	已乾漆膜再呈粘漆現象。	被塗面有酸鹼成份之附著。	新水泥面或焊錫之鹽酸附著部位之塗裝應先做適當處理後再施工。
		使用不揮發性溶劑，不良品質之漆油或凡立水等。	不用成份、性能不明之油漆。
		未乾透塗裝品之包裝堆積。	待完全乾燥後再包裝。
			經長時間放置後還不乾時，除去漆膜重塗。

針孔 Pinholing	塗面有針狀小孔。	被塗面有灰塵、油、水份之附著。	做完整之表面處理。
		油漆中有油、水份之存在。	注意油漆中之油、水份混入。
		溶劑揮發太快。	使用慢揮發性溶劑。
		底層漆未乾。	待底層漆完全乾透後再做上層塗裝。
			用砂紙研磨後重塗。

(三)塗膜形成後產生之缺陷及防範與處理方法：

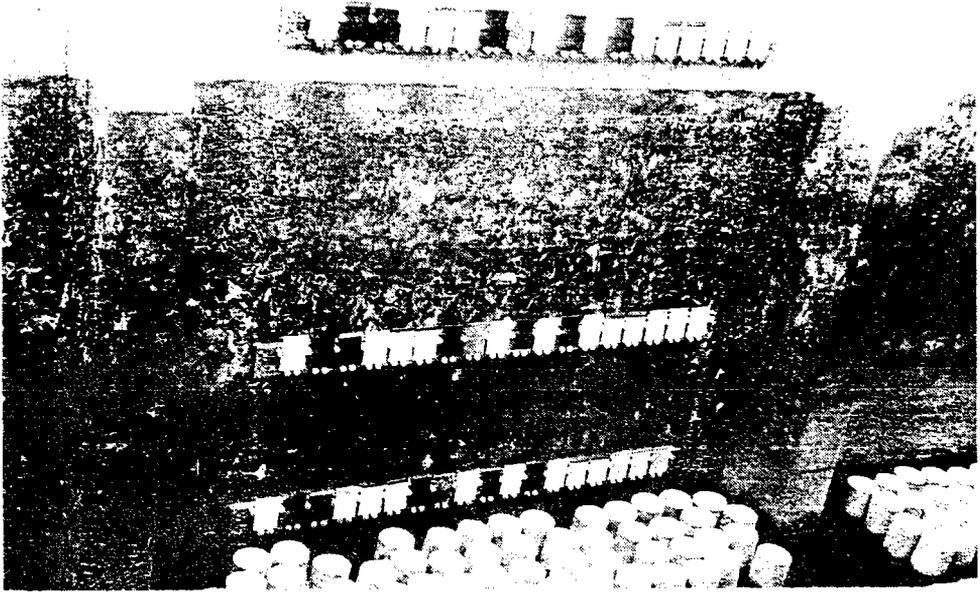
缺陷	現象	原因	防範與處理方法
變黃 Yellowing	白色或淡色漆膜之變黃現象	使用桐油、亞麻仁油與苯酚樹脂製成之油漆或調配過量乾燥劑。	白色或淡色油漆避免使用易變黃性樹脂製造並控制乾燥劑用量。
變色 Discoloration	塗膜變色	使用有機性顏料者較易變色。	淺色塗裝應選用不變色顏料。
		含鉛或銅類顏料油漆之與硫化氫接觸變黑。	有硫化氫產生環境應避免使用鉛或銅系顏料。
		水泥、白灰、或化學品之接觸變色。	使用耐鹼性或各適當之耐藥品性漆塗料。
			使用適當耐藥品性油漆做重塗。
龜裂 Cracking	塗面產生裂紋、輕者稱為Checking嚴重者稱為Cracking。	塗膜太厚。	避免過份厚塗。
		下層漆未乾。	待下層漆乾透後再做上層塗裝。
		上、下層塗裝之配合不當，性質不合。	慎重考慮塗裝系統，避免異種油漆之疊層塗裝。
		溫度急激下降。	氣溫突然下降時應停止施工。
			除去龜裂漆膜重做塗裝。
發霧 Blooming	塗面產生如鏡面霧狀現象。	在高濕度或有化學品瓦斯存在之環境施工。	做充份通風。
			用砂紙研磨後重塗。
粉化 Chalking	塗膜表面變成粉狀漆面。	使用易粉化顏料或填充顏料使用過多。	使用不粉化型顏料製成之油漆。
		使用過份稀薄油漆塗裝。	油漆不要過份調薄。

			用砂紙研磨後重塗。
縐紋 Wrinkling	塗膜有起縐現象。	過份厚塗，造成表乾裏不乾現象。	避免過份之厚塗塗裝。
		下層漆未乾。	待下層漆乾透後（待規定塗裝間隔時間過後）再做上層漆塗裝。
		乾燥劑用量太多。	控制乾燥劑用量。
		為了促進乾燥，將塗面加熱或直曬太陽。	避免急激加熱。 用砂紙磨平後重塗。
失光 Clouding	塗膜無光澤。	多孔質底面或底面狀況不均。	做加層塗裝。
		漆膜厚度不均。	做均勻塗裝。
光澤不均 Gloss Shitting	塗膜上出現部份有光，部份無光現象	底面狀況不均，產生部份吸收油漆與部份不吸收油漆現象。	做加層塗狀。
		漆膜厚度不均。	做均勻塗裝。
			做加層塗裝，至出現均勻光澤為止。
起泡 Blistering	塗膜發生起泡浮腫現象。	因生銹打起漆膜。	做完整表面處理與防銹塗裝。
		被塗面有水份，或吸潮性物質之附著，以及塗裝器具內有水份之存在。	做完整表面處理與塗裝器具之清理。
		船底之鉅陽極附近因氫氣瓦斯之起泡或在陰極產生之鹼性物質引起之起泡。	施塗適合陰陽極防蝕之塗料，並控制防蝕電流，不要變為過電腐蝕。
		厚塗型油漆之連續使用。	按規定塗裝間隔施工。
			除去有起泡漆膜重做塗裝。
生銹 Rusting	產生鐵銹	表面處理不當。	做完整表面處理，除去異反，鐵銹，水份以及其他異物。
		塗料性能不良。	選用品質優良產品。
		漆膜厚度不足或施工不良。	按規定漆膜厚度施工，不要有漏塗情事發生。
			除去漆膜重做表面處理與塗裝。
剝離 Lifting	底面與漆膜或漆膜	被塗面有油、水份或鐵銹之存在。	做完整表面處理。

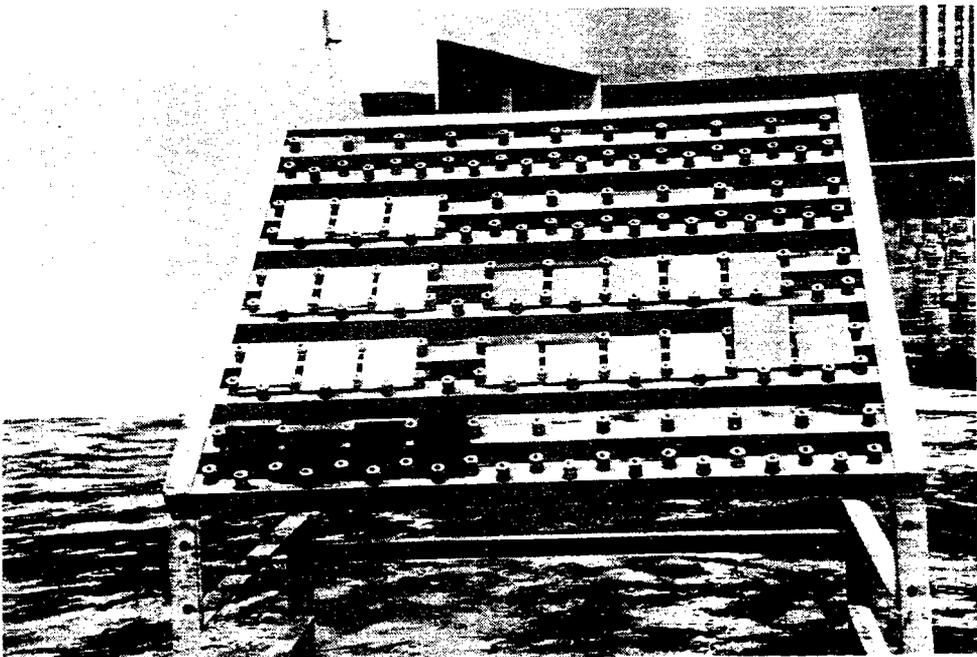
(Scaling)	與漆膜間之剝離現象。	底層漆之過份暴露與硬化。	在規定塗裝間隔時間內做塗裝。
		下層漆與上層漆之配合不良。	考慮塗料系統，盡量避免做異種或不同廠牌油漆之疊層塗裝。
		工程錯誤，例如無W/P之氯乙烯系油漆塗裝。	按規定塗裝工程施工。
		異種塗料之混合。	避免不同系統或廠牌油漆之混合。
		潮濕木材，或從背面吸收了水份之木材正面塗裝。	選用乾燥木材，不做單面塗裝。
		過份平滑之金屬面塗裝。	用噴砂或砂紙磨粗後施工。
		除去剝離漆膜重做塗裝。	

四、試驗結果：

本試驗試片浸泡或曝露至今只有一年，目前試片大致良好，並無較大缺陷發生（如相片一、二所示），正繼續定期觀察中。



相片一 海上大氣帶、潮汐帶、海中帶試片(海水循環水槽內)



相片二 大氣帶試片(試驗大樓樓頂)

附 錄 一

花蓮港 5 號碼頭鋼板樁
厚度檢測結果

附 錄 二

花蓮港 6 號碼頭鋼板樁
厚度檢測結果

花蓮港6號碼頭鋼板樁厚度測定結果(6)

測點位置	水深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度 (mm)			厚度減少量 (mm)			腐蝕速率 (mm/y)		
			平均面	平均面	平均面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
21	1.1	10.0	9.8	9.5	9.6	0.2	0.5	0.4	0.02	0.05	0.04
22	1.1	10.0	9.7	9.4	9.5	0.3	0.6	0.5	0.03	0.06	0.05

測點位置	水深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度 (mm)			厚度減少量 (mm)			腐蝕速率 (mm/y)		
			平均面	平均面	平均面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
23	1.1	10.0	9.5	9.2	9.3	0.5	0.8	0.7	0.05	0.08	0.07
24	1.1	10.0	9.3	9.0	9.1	0.7	1.0	0.9	0.07	0.10	0.09

花 龍 港 0 號 碼 頭 鋼 板 樁 厚 度 測 定 結 果 (7)

測 試 號 數	測 試 地 點	測 試 部 位	測 試 厚 度 (mm)		備 註
			測 試 1	測 試 2	
20	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
21	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
22	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
23	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
24	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
25	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
26	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
27	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
28	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
29	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
30	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
31	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
32	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
33	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
34	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
35	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
36	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
37	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
38	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
39	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
40	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
41	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
42	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
43	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
44	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
45	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
46	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
47	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
48	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
49	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
50	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	

測 試 號 數	測 試 地 點	測 試 部 位	測 試 厚 度 (mm)		備 註
			測 試 1	測 試 2	
51	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
52	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
53	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
54	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
55	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
56	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
57	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
58	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
59	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
60	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
61	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
62	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
63	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
64	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
65	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
66	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
67	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
68	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
69	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
70	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
71	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
72	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
73	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
74	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
75	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
76	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
77	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
78	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
79	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	
80	花龍港0號碼頭	鋼板樁	10.5	10.5	

花蓮港6號碼頭鋼板樁厚度測定結果(8)

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)		
			平均凸面	平均側面	平均凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
29	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0	凸凹面： 13.00 側面： 9.60	11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
30	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0		11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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)		
			平均凸面	平均側面	平均凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
31	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0	凸凹面： 13.00 側面： 9.60	11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0		11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			11.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

花蓮港6號碼頭鋼板樁厚度測定結果(9)

位置 位置	水深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度 (mm)			厚度減少量 (mm)			腐蝕比率 (mm/y)		
			平均面	凸面	凹面	凸面	凹面	凹面	凸面	凹面	凹面
33	1.1	13.0	11.5	11.5	11.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
34	1.1	13.0	11.5	11.5	11.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

位置 位置	水深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度 (mm)			厚度減少量 (mm)			腐蝕比率 (mm/y)		
			平均面	凸面	凹面	凸面	凹面	凹面	凸面	凹面	凹面
35	1.1	13.0	11.5	11.5	11.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
36	1.1	13.0	11.5	11.5	11.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

附 錄 三

台中港29號碼頭鋼管樁 厚度檢測結果

台中港 29 號碼頭鋼管樁厚度測定結果(1)

測定位置	水深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度 (mm)			厚度減少量 (mm)			蝕蝕速率 (mm/y)		
			A 平均	B 平均	C 平均	A 平均	B 平均	C 平均	A 平均	B 平均	C 平均
29-101	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-102	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-103	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-104	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

測定位置	水深 (m)	原有厚度 (mm)	現有厚度 (mm)			厚度減少量 (mm)			蝕蝕速率 (mm/y)		
			A 平均	B 平均	C 平均	A 平均	B 平均	C 平均	A 平均	B 平均	C 平均
29-105	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-106	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-107	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-108	0.1	16.00	7.70	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

台中港 29 號碼頭鋼管樁厚度測定結果 (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/y)		
			A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值
29-109	0.1	16.00	5.77	15.73	15.77	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-0.1		5.77	15.73	15.77	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.03
	-1.1		5.73	15.70	15.77	0.22	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-2.1		5.73	15.63	15.77	0.22	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-3.1		5.77	15.77	15.77	0.22	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-4.1		5.77	15.77	15.77	0.22	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-5.1		5.77	15.63	15.73	0.22	0.27	0.23	0.02	0.03	0.03
	-6.1		5.77	15.77	15.77	0.22	0.23	0.23	0.02	0.02	0.02
	-7.1		5.77	15.77	15.77	0.22	0.23	0.23	0.02	0.02	0.03
	-9.1		5.77	15.77	15.73	0.22	0.27	0.23	0.02	0.03	0.03
	-13.1		5.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.03
29-110	0.1	16.00	5.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.03	0.03	0.03
	-0.1		5.77	15.70	15.77	0.23	0.30	0.27	0.02	0.03	0.02
	-1.1		5.77	15.70	15.73	0.23	0.30	0.27	0.02	0.03	0.03
	-2.1		5.77	15.70	15.77	0.23	0.30	0.27	0.02	0.03	0.02
	-3.1		5.73	15.63	15.77	0.27	0.30	0.27	0.03	0.04	0.04
	-4.1		5.77	15.70	15.77	0.23	0.30	0.23	0.02	0.03	0.02
	-5.1		5.77	15.73	15.77	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-6.1		5.77	15.70	15.77	0.23	0.30	0.23	0.02	0.03	0.03
	-7.1		5.77	15.77	15.77	0.23	0.30	0.23	0.02	0.03	0.03
	-9.1		5.77	15.77	15.67	0.23	0.30	0.23	0.02	0.03	0.03
	-13.1		5.77	15.60	15.70	0.23	0.30	0.23	0.02	0.03	0.03
29-111	0.1	16.00	5.77	15.77	15.83	0.23	0.23	0.17	0.02	0.02	0.02
	-0.1		5.77	15.73	15.80	0.23	0.27	0.23	0.02	0.02	0.02
	-1.1		5.73	15.77	15.80	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-2.1		5.73	15.73	15.77	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-3.1		5.70	15.73	15.77	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.02
	-4.1		5.80	15.80	15.77	0.20	0.20	0.20	0.02	0.02	0.02
	-5.1		5.77	15.77	15.73	0.23	0.23	0.23	0.02	0.03	0.02
	-6.1		5.70	15.73	15.73	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.03
	-7.1		5.73	15.63	15.73	0.23	0.27	0.23	0.02	0.03	0.03
	-9.1		5.73	15.77	15.77	0.23	0.23	0.23	0.02	0.03	0.03
	-13.1		5.70	15.77	15.77	0.30	0.23	0.23	0.03	0.04	0.02

台中港 29 號碼頭鋼管樁厚度測定結果(4)

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/y)		
			A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值
29-09	3.4	16.00	15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.00	0.03	0.03
	2.4		15.70	15.77	15.73	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	1.4		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	0.4		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-1.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-2.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-3.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-4.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-5.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-6.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03
	-10.1		15.77	15.77	15.77	0.27	0.23	0.27	0.00	0.03	0.03

台中港 29 號碼頭鋼管樁厚度測定結果 (5)

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/y)		
			A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值
29-301	3.4	16.00	15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	2.4		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	1.4		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	0.4		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	-0.1		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	-1.1		15.80	15.77	15.73	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	-2.1		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	-4.1		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
	-6.1		15.73	15.77	15.73	0.27	0.23	0.07	0.003	0.002	0.003
29-302	3.4	16.00	15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	2.4		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	1.4		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	0.4		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	-0.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	-1.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	-2.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	-4.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
	-6.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.07	0.003	0.002	0.003
29-303	3.4	16.00	15.73	15.67	15.73	0.27	0.33	0.27	0.003	0.003	0.003
	2.4		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
	1.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	0.4		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
	-0.1		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
	-1.1		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
	-2.1		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
	-4.1		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
	-6.1		15.73	15.70	15.73	0.27	0.30	0.27	0.003	0.003	0.003
29-304	3.4	16.00	15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	2.4		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	1.4		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	0.4		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-0.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-1.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-2.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-4.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-6.1		15.77	15.73	15.73	0.23	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003

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/y)		
			A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值	A 平均值	B 平均值	C 平均值
29-305	3.4	16.00	15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	2.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	1.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	0.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	-0.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	-1.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	-2.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	-4.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
	-6.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.002	0.003
29-306	3.4	16.00	15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	2.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	1.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	0.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-0.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-1.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-2.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-4.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
	-6.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.27	0.27	0.003	0.003	0.003
29-307	3.4	16.00	15.73	15.77	15.77	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	2.4		15.73	15.77	15.77	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	1.4		15.73	15.77	15.77	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	0.4		15.70	15.70	15.70	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	-0.1		15.70	15.70	15.70	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	-1.1		15.70	15.70	15.70	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	-2.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-4.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-6.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
29-308	3.4	16.00	15.80	15.77	15.77	0.20	0.23	0.00	0.004	0.003	0.002
	2.4		15.80	15.77	15.77	0.20	0.23	0.00	0.004	0.003	0.002
	1.4		15.80	15.77	15.77	0.20	0.23	0.00	0.004	0.003	0.002
	0.4		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-0.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-1.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-2.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-4.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002
	-6.1		15.73	15.73	15.73	0.27	0.23	0.00	0.003	0.002	0.002

