

MOTC-IOT-IHMT-HE8907

花蓮港構造物檢測

交通部花蓮港務局委託

交通部
運輸研究所 港灣技術研究中心 辦理

中華民國八十九年十月

MOTC-IOT-IHMT-HE8907

花蓮港構造物檢測

著者：陳桂清、柯正龍、饒 正、林玲煥、張道光、羅建明
林受勳、邱永芳、何良勝

交通部花蓮港務局委託

交通部
運輸研究所 港灣技術研究中心 辦理

中華民國八十九年十月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版品摘要表

出版品名稱：花蓮港構造物檢測			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009254890102	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-ME8907	
主辦單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心 主管：張金機 計畫主持人：陳桂清 研究人員：柯正龍、饒 正、林玲煥、張道光、羅建明 林受勳、邱永芳、何良勝 花蓮港務局參與人員：鍾國喚、賴福順、李詩鴻 聯絡電話：(04)6564216 轉 127 傳真號碼：(04)6571329			研究期間 自 89 年 7 月 至 89 年 10 月
關鍵詞：防波堤、鋼板樁、胸牆、波壓			
摘要： 花蓮港位居台灣東部，瀕臨太平洋，每年夏、秋兩季常有颱風襲擊，再加上地震頻繁，港灣構造物受波浪外力持續衝擊與地震力作及海水鹽份侵襲，造成防波堤等港灣構造物會嚴重的破裂損壞，降低其對港池水域之安定性及遮蔽等服務功能，對港口之安全與營運有重大的影響。 本研究分為兩個子計畫，第一子計畫為「碼頭鋼板樁岸壁調查檢測」，主要調查對象為港內 #4 至 #9 碼頭及航道西側之鋼板樁腐蝕狀況。第二子計畫為「外港防波堤堤身監測」，監測對象為東防波堤主堤受波浪外力之影響與變化。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
89 年 10 月	160	300 元	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐限閱 ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密【限】條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

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

TITLE:Wharf and breakwaters monitoring at Hwa-Lian Harbor			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009254890102	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMT-ME8907	
DIVISION:INSTITUTE OF HARBOR&MARINE TECHNOLOGY DIVISION CHIEF:Chang Chien-Kee PRINCIPAL INVESTIGATOR:Chen Kuei-Ching PROJECT STAFF: Ko Jeng-Long,Rau Cheng,Lin Ling-Huan,Chang Tao-Kunag, Lo Chien-Ming Lin So-Shin,Chiu Yung-Fang,Ho Liang-Sheng PHONE:(04)6564216-127 FAX:(04)6571329		PROJECT PERIOD FROM July.2000 TO October.2000	
KEY WORDS:embankment, steel sheet pile, perforation, wave pressure			
ABSTRACT: Hwa-Liang Harbor locates at east part of island and engulfed in Pacific Ocean . There are many typhoons or storms occurred in summer and autumn, in addition earthquakes are also happened frequently every year. Marine structures confronted with those natural supper force attacks and sea water aggression, would result in embankments or wharfs deteriorated or collapse. Finally it would further realuce the inner harbor basin stability and its sheltering serviceability.It highly threthens the structures safety and harbor normal operation significantly. The research includes two major topics , the first topic is focused on pile -sheet structures wharfs corrosion situation investigation .The second topic is to monitor the dynamic situations of east breakwaters in real time .			
DATE OF PUBLICATION Oct. 2000	NUMBER OF PAGES 160	PRICE 300	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Institute of Transportation.			

第一子計畫

碼頭鋼板樁岸壁調查檢測

目 錄

目 錄	I
表目錄	III
圖目錄	V
第一章 前 言	1
第二章 鋼材在海水之腐蝕	3
2.1 鋼材之腐蝕機理	3
2.2 影響鋼板樁腐蝕之因子	4
2.2.1 曝露區域	4
2.2.2 海水的性質	6
第三章 研究規劃	13
3.1 規劃流程	13
3.2 資料蒐集與分析	14
3.3 海水水質分析	14
3.4 檢測範圍	14
3.5 鋼板樁檢測	14
3.5.1 目視檢測	14
3.5.2 厚度量測	14
第四章 結果與討論	19
4.1 資料蒐集與分析	19
4.2 海水水質分析	27
4.3 鋼板樁檢測	30

4.3.1 四號碼頭	30
4.3.2 五號碼頭	37
4.3.3 六號碼頭	41
4.3.4 七號碼頭	45
4.3.5 八號碼頭	47
4.3.6 九號碼頭	52
4.3.7 航道	54
第五章 結論與建議	61
5.1 結論	61
5.2 建議	61
參考文獻	63
附錄一（各碼頭檢測結果）	65
附錄二（平均腐蝕速率）	89

表 目 錄

表 1 碼頭、航道鋼板樁背景資料	17
表 2 潮位資料表	20
表 3 海水水質分析結果	26
表 4 四號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率	35
表 5 五號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率	38
表 6 六號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率	43
表 7 八號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率	49
表 8 航道岸壁鋼板樁平均腐蝕速率	57

圖 目 錄

圖 1 水溶液系統之腐蝕程序示意圖	2
圖 2 曝露區域與腐蝕速率之關係	4
圖 3 海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係	6
圖 4 pH 值與鋼筋腐蝕速率之關係	7
圖 5 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係	8
圖 6 腐蝕速率與海水流速之關係	9
圖 7 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形	10
圖 8 研究規畫流程圖	12
圖 9 潛水人員水下檢測之情形	14
圖 10 測厚儀量測之示意圖	15
圖 11 鋼板樁碼頭之檢測位置圖	18
圖 12 潮汐時間序列圖	19
圖 13 四、五號碼頭結構斷面圖	28
圖 14 Z 型鋼板樁簡示圖	29
圖 15 四號碼頭大氣帶鋼板樁腐蝕現況(1)	30
圖 16 四號碼頭大氣帶鋼板樁腐蝕現況(2)	30
圖 17 四號碼頭水面下鋼板樁腐蝕現況(1)	31
圖 18 四號碼頭水面下鋼板樁腐蝕現況(2)	31
圖 19 檢測高程與鋼板樁厚度量測位置示意圖(以四、五號碼頭為例)	32
圖 20 四號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖	34
圖 21 四號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖	35
圖 22 五號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖	37
圖 23 五號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖	38

圖 24 六號碼頭結構斷面圖	39
圖 25 六號碼頭 112m 處開裂之情形	40
圖 26 六號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖	42
圖 27 六號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖	43
圖 28 七號碼頭結構斷面圖	44
圖 29 七號碼頭鋼板樁之腐蝕速率圖	45
圖 30 八號碼頭結構斷面圖	46
圖 31 八號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖	48
圖 32 八號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖	50
圖 33 九號碼頭結構斷面圖	51
圖 34 U-型鋼板樁簡示圖	51
圖 35 九號碼頭鋼板樁腐蝕速率圖	52
圖 36 航道岸壁結構斷面圖	53
圖 37 航道岸壁各檢測樁之腐蝕速率圖	55
圖 38 航道高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖	57

第一章 前言

海水對大多數金屬材料而言，原本為一極容易發生腐蝕的環境，台灣鋼結構物諸如鋼板(管)樁、棧橋、管線、拉桿等構件，常年浸泡於海水嚴酷的環境下，鋼結構物甚難倖免於腐蝕損壞的威脅。花蓮港位處台灣東部，港區設施部份碼頭為鋼構材料所組成，主要範圍包括有# 4至# 9 碼頭及航道西側之岸壁結構，全長約 1286 公尺。上述鋼板樁碼頭建造使用迄今已有三四十年之久，建造之初由於當時物力艱困，部分材料係利用其它碼頭建造所剩之材料興建，故來源甚為複雜，除有盧森堡之鋼品外尚有日本製造者，相關原始資料如產品規格、尺寸已不易取得，且建造時並未採取任何防蝕措施，僅沿襲日本之設計準則(鋼板樁之腐蝕速率以每年減少 0.2mm 的厚度作為標準)，但海域環境不同，會產生不同的腐蝕速率，因此必須深入了解本區域性之現有腐蝕狀況。

民國 78 年起台灣技術研究所曾多次分批，對台灣各大港口碼頭鋼板樁腐蝕的情形進行全面性的調查檢測，基隆港曾發現碼頭鋼板樁壁面有大量海生物附著、孔蝕、嚴重穿孔、破洞(損)等現象，以致部份碼頭壁後級配砂石流失、掏空、岸肩沉陷，已嚴重影響碼頭之結構安全與營運作業。蘇澳港之駁船碼頭，鋼板樁年腐蝕率超過 0.20mm/yr.，顯然目前台灣各大港口碼頭鋼板樁腐蝕的情形，有些已相當嚴重，相關港務單位應重視此一問題。

花蓮港之鋼板樁碼頭除了受到海水環境之腐蝕威脅外，亦因緊臨太平洋，每年夏、秋兩季常有颱風發生，太平洋長波浪的作用再加上地處環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，構造物受波浪外力持續衝擊與地震力作用之侵襲，更易造成鋼板樁碼頭岸壁結構之安全疑慮，甚且威脅航道通暢甚巨。有鑑於基隆、蘇澳等港區鋼構物曾發生之重大損壞情形，花蓮港區之鋼板樁碼頭應定期檢測其腐蝕狀況。

民國 80 年至 83 年間，港研所亦曾對花蓮港碼頭及航道鋼板樁進行檢測，至今已有 6 至 9 年的時間，期間花蓮港曾多次遭受風災、地震的侵襲，加上鋼板樁構物至今尚未做任何防蝕措施，為港區構物安全與營運考量，應儘速對港區鋼構物之現況進行調查，避免發生嚴重損壞。

第二章 鋼材在海水之腐蝕

2.1 鋼材之腐蝕機理

金屬發生腐蝕為一自然的反應程序，大多數的金屬材料曝露於宇宙大氣環境下，都會自然發生物質退化，逐漸被腐蝕的現象，尤其是在酸、鹼或海水等環境下，腐蝕更趨嚴重。腐蝕是電化學反應之行為，其間涉及電子的轉移，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(陽極)及還原(陰極)反應之發生。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，如圖 1 所示。

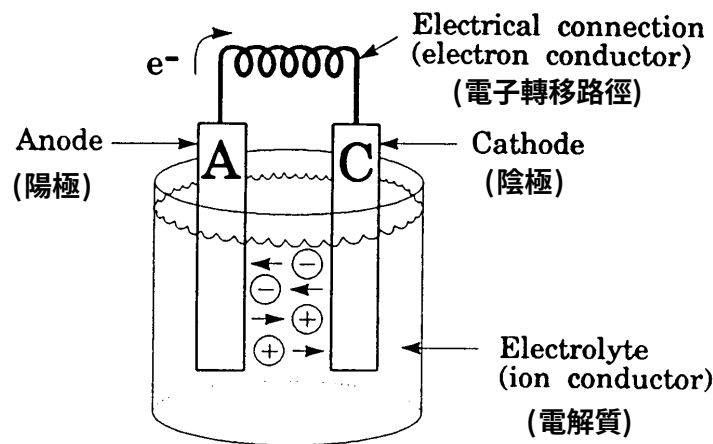
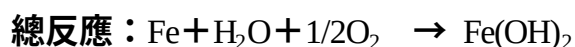
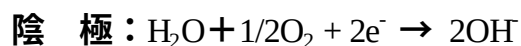
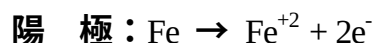
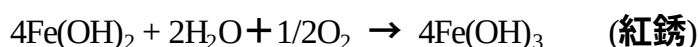


圖 1 水溶液系統之腐蝕程序示意圖

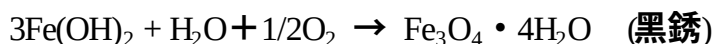
海水中之鋼材如鋼板樁之表面，因同時具有許多高活性區域(陽極反應)與鈍化區域(陰極反應)所形成之許多小腐蝕電池(corrosion cell)系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。鋼材在 seawater 中發生腐蝕之電化學反應程序如下：



總反應式中之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 繼續反應，生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 產物，其化學反應式如下：



或



2.2 影響鋼板樁腐蝕之因子

2.2.1 曝露區域

從許多調查研究發現，海洋結構物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，如圖 2 所示。

1.大氣帶

這部份之鋼結構物不接觸海水，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，由於海洋大氣中含有較高濃度之海鹽粒子，加上濕度大、日照、溫度之變化，致使碳鋼材料外表很容易受到侵蝕，其腐蝕速率為一般內陸地區大氣腐蝕的 2~5 倍。

2.飛沫帶

自平均高潮位以上至海面大氣帶下端，屬於海洋大氣與海水交界面，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及氧氣濃度不斷增濃，腐蝕最為嚴重，腐蝕速率很大，為五個曝露區域中，腐蝕最嚴重的部位。一般低碳鋼如沒有任何防蝕處理時，其腐蝕速率可達 0.5~1.0mm/yr.，約為海水全浸區(海中帶)的 5~10 倍。

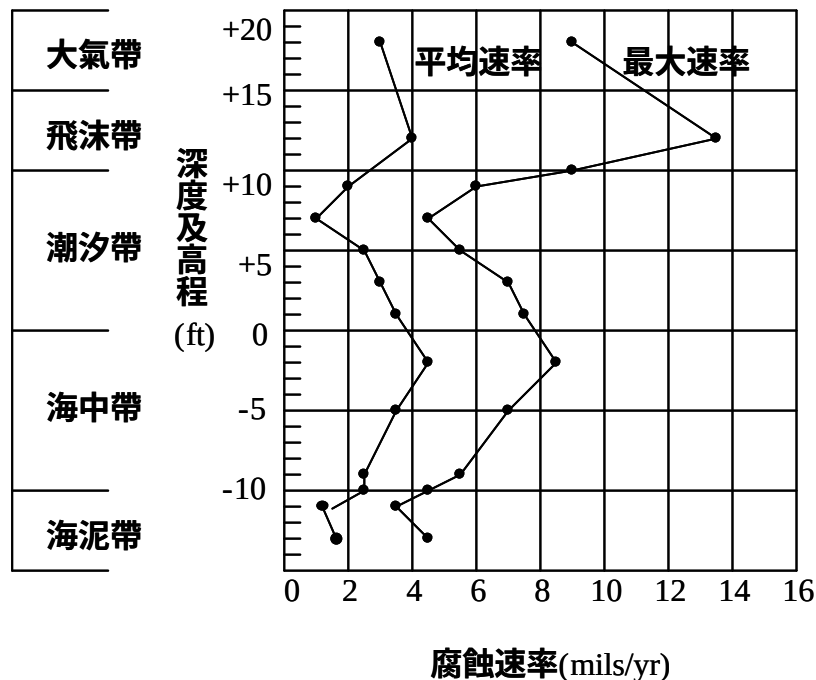


圖 2 曝露區域與腐蝕速率之關係

3.潮汐帶

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，猶如進行乾濕循環作用。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 1 米處(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

自低潮位下端至海泥(床)帶間，在此範圍內整個結構體完全浸泡於海水中。此區域之上端邊緣與最低潮位緊鄰的部位，因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。在此區域中，海生物之附著問題，海流之衝擊、水溫及溶氧量等因素，亦會影響腐蝕速率。海水中鋼鐵之腐蝕速率一般為 0.1~0.2mm/yr。

5.海泥(床)帶

鋼板(管)樁埋入於海底土層之部份，由於與海水接觸面較小，鋼材之腐蝕速率相對很小。但是在污染的海域中，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。

2.2.2 海水的性質

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

海水與其它水溶液最大的不同點，即海水含有很高的鹽份(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。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。

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 3 所示。

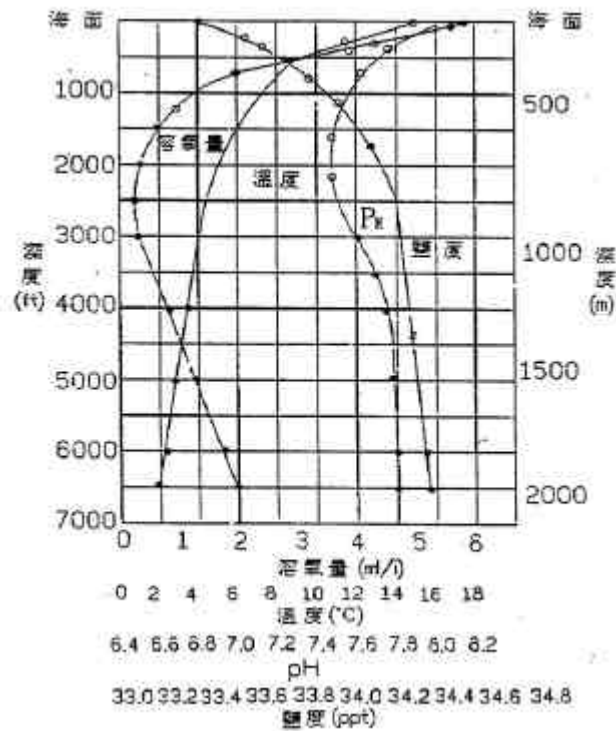


圖3 海水之含鹽量與溶氧量、pH值、溫度、水深之關係

2.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。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。因此從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，溫度每上昇 10 ° K，腐蝕速率則增加一倍。當海水溫度升高時，致使鋼材變成為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。港灣結構物等開放系統，隨溫度上升，溶氧量減少，鋼鐵之腐蝕速率為最大，而如海水管線等密閉系統，沒有溶氧量減少之發生，故腐蝕速率隨溫度之上升而遞增。

3.pH 值

海水通常為一含鹼性之水溶液，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(CO₂)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。又 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 3 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，但是當 pH 值介於 4~10 之間時，金屬維持一定腐蝕速率如圖 4 所示，而僅與氧氣擴散至金屬表面之速率有關。

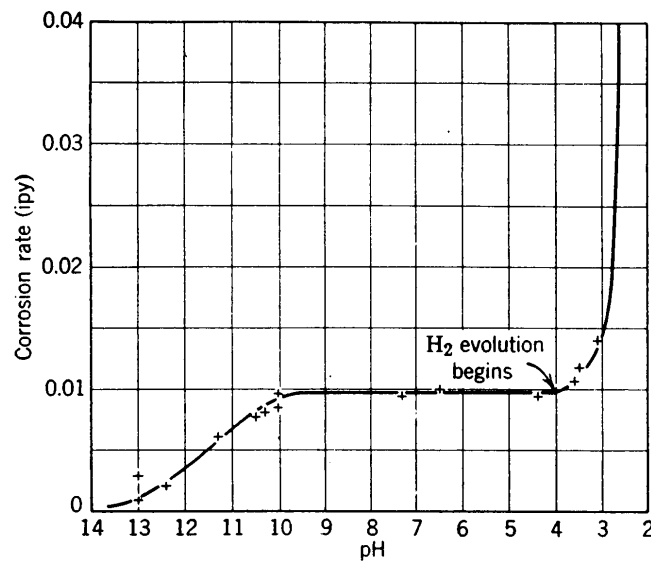


圖4 pH值與鋼筋腐蝕速率之關係

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 $Fe(OH)_2$ 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。當海水 pH 值低於 4 時，鋼材表面之 $Fe(OH)_2$ 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，腐蝕速率大幅降低。

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 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 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，相對關係如圖 5 所示。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。

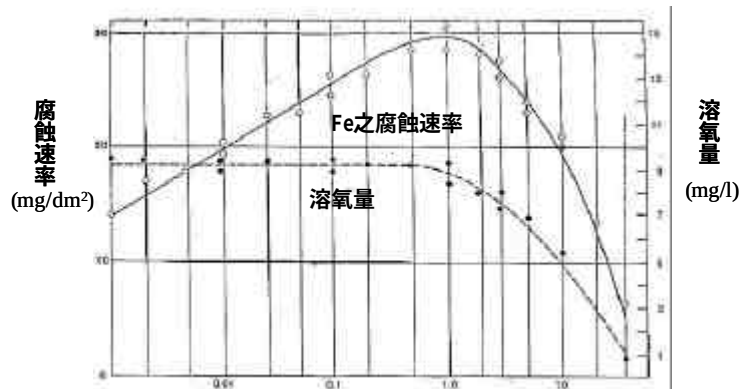


圖5 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係

溶氧量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，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.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導電度，約比一般水溶液高 250 倍以上。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。比導電度之倒數稱謂之比電阻(resistivity)，為陰極防蝕設計上，陽極材料放電(消耗)大小之主要影響因子之一。

6.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。美國海軍試驗站研究人員於 1966 年，曾在太平洋的試驗站所做的深海腐蝕試驗，結果顯示，腐蝕速率隨著深度之增加而呈遞減趨勢，但亦有例外如深至海床泥土時，若有硫化化合物存在時，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。

7.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 6 為腐蝕速率與海水流速之關係。

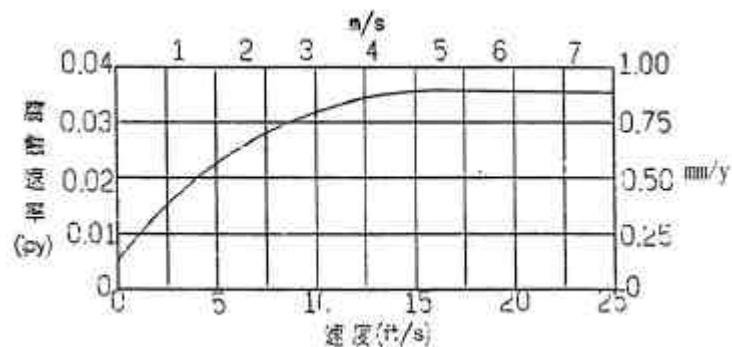


圖6 腐蝕速率與海水流速之關係

8.迷失電流

迷失電流乃指不沿正規路徑，而走其它路徑流通之電流謂之。一旦這種迷失電流進入金屬結構物時，在離開結構物之處，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，碼頭鋼板樁遭受迷失電流襲擊的過程如圖 7 所示。通常一片金屬表面，在陽極部位(金屬溶解釋出離子)由於受

到迷失電流的影響，所造成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。

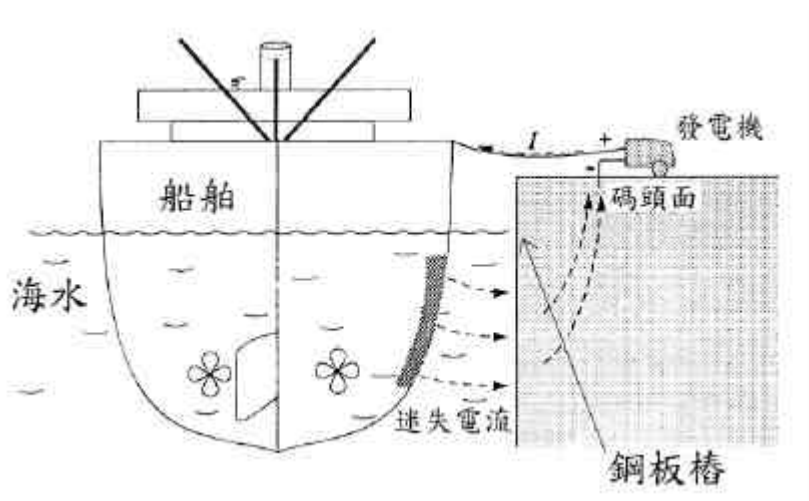


圖7 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形

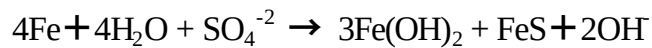
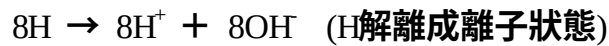
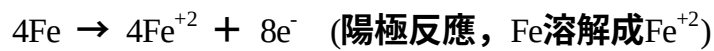
9.海生物附著

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、光度及滋養等因素影響，同時亦因季節、潮汐等變化而異。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：

- (1) 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。

- (2)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。
- (3)破壞金屬表面鈍態保護膜。
- (4)形成金屬表面有氧氣濃淡電池作用。
- (5)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。

硫酸還原菌對鋼材之腐蝕機理如下：(厭氧性細菌)



第三章 研究規劃

3.1 規畫流程

本研究參考國內外相關文獻與調查報告後，依實際需求擬訂適當之調查方法與試驗項目，簡單規劃流程如圖 8 所示。

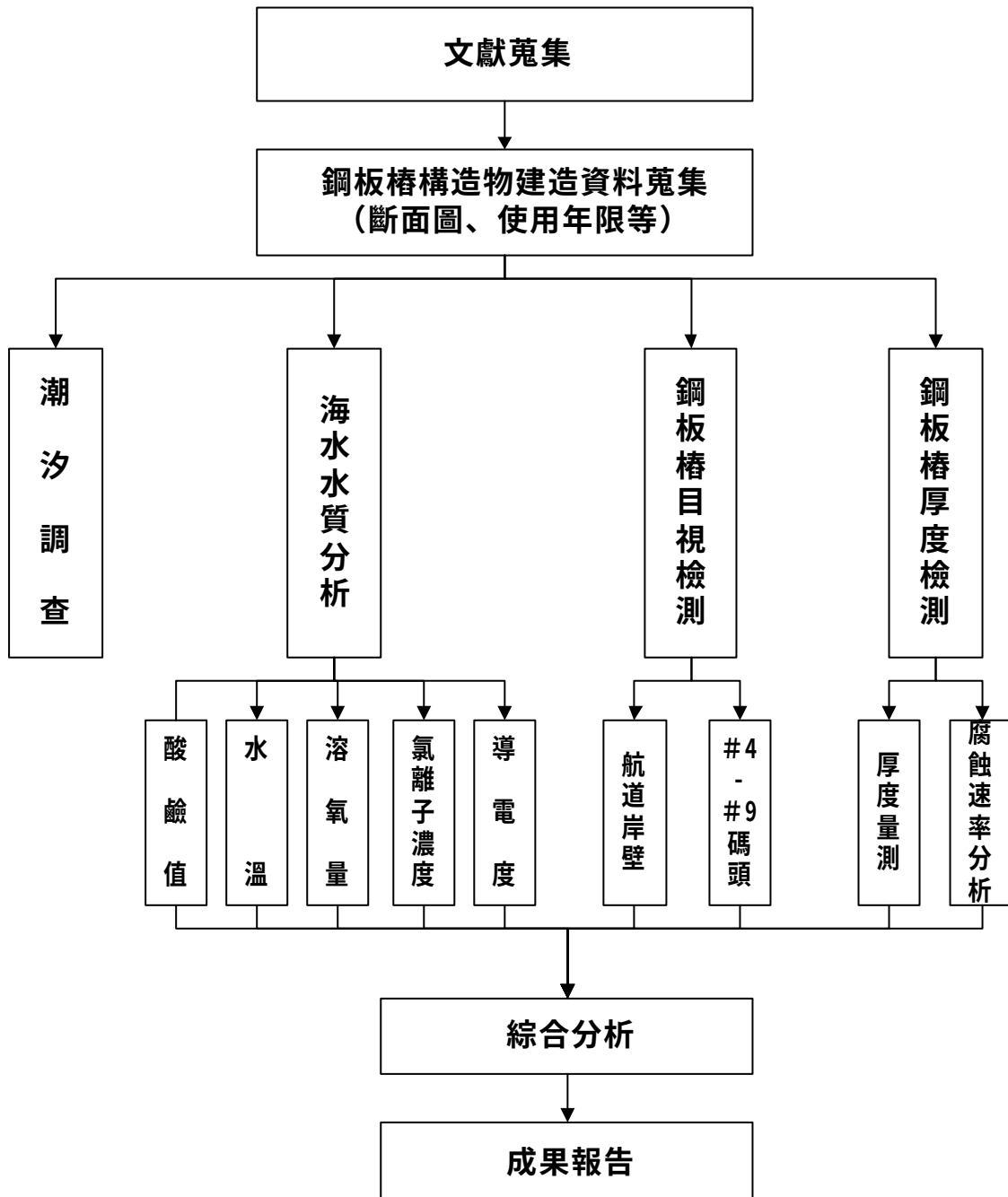


圖 8 研究規畫流程圖

3.2 資料蒐集與分析

1.鋼板樁碼頭資料

蒐集鋼板樁碼頭建造之原始資料，包括碼頭結構設計、板樁型式、使用年限、施工等，以及國內外鋼板樁腐蝕防治相關文獻。

2.港區潮汐資料

港區最高、最低潮汐資料蒐集。

3.3 海水水質檢測

海水水質與海生物的生長及其分泌物有密切的關係，對鋼板樁之腐蝕亦密不可分。本研究使用德國 WTW 水質測儀，在每一碼頭水域不同水深處，檢測海水之氯離子濃度、水溫、溶氧量、酸鹼度...等。

3.4 檢測範圍

調查範圍為 # 4 至 # 9 碼頭以及航道西側岸壁之鋼板樁，總長度共 1286m。

3.5 鋼板樁檢測

3.5.1 目視檢測

由潛水人員潛入水下，近距離以目視檢測鋼板樁表面腐蝕情況，如發現有破洞或變形則應先標定位置，丈量或記錄破洞大小，再檢查鋼板樁後方級配是否有流失、淘空等現象，最後以照相或攝影存證。

3.5.2 厚度量測

1.選定檢測樁

鋼板樁檢測間距以#4 ~ #5 碼頭較為密集，約每 5~8m 取一支檢測樁，#6 ~ #9 碼頭每 10~15m 取一支樁（或視現場實際狀況調整之），全港區總計檢測 128 支樁。

2.選定水深與量測位置

依構造物腐蝕可能狀況，每支鋼板樁選定二至五點高程測點。依現場實際情況，# 4、# 5 碼頭測點高程為+3.3m、+1.8m、+0.7m、+0.2m 及-0.5m 等五點，# 6、# 7、# 8 及 # 9 碼頭為-0.5m、-1.0m、-1.5m 三點，航道岸壁則為-0.05m、-0.25m、-0.5m 及-1.0m 等四點。如檢測鋼版樁為 Z 型鋼樁時，則檢測凸、凹、側等三面之厚度，如為 U 型鋼樁則僅量測凸面之厚度。

3.厚度量測與步驟

(1)海生物敲除

使用工具敲除鋼板樁表面上附著之海生物體及鐵銹，敲除面積約 5cm×5cm 左右。

(2)厚度量測

以英國製之 Cygnus I 型超音波厚度儀之探頭，接觸已敲除清理乾淨之鋼板表面，即可讀取鋼板樁厚度，鋼板樁每面於每一水深測點，量取兩次厚度數據，平均後即為現有厚度。圖 9 為潛水人員於海中量測鋼板樁厚度之情形。

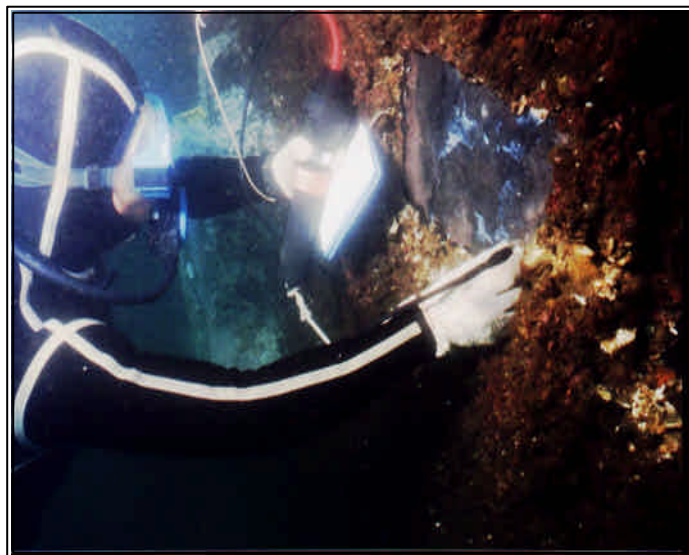


圖 9 水面下量測鋼板樁厚度之情形

(3)厚度量測之原理

超音波厚度儀係利用脈衝原理，由於音波在鋼材之傳播速率為一定值，因此，由探頭傳送出一彈性波，經鋼材表面至內壁之傳播時間，即可算出波通過路徑之距離(鋼材厚度)，精準度可達 $\pm 0.1\text{mm}$ ，可由接收器直接讀取厚度，其量測原理簡示於圖 10。

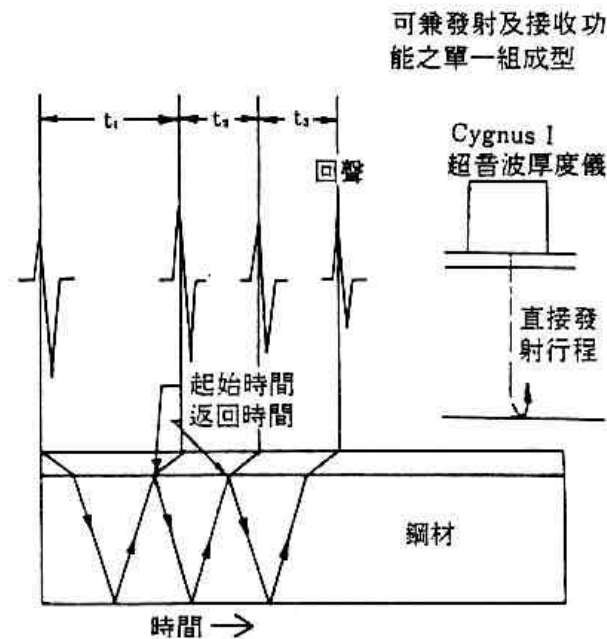


圖 10 測厚儀量測之示意圖

厚度計算可由下列數學式求得：

$$S_i = V \times 1/2(t_{i+1} - t_i).$$

式中 V ：超音波在鋼板樁中之傳播速度 (5920m/sec)

S_i ：現有鋼板樁厚度讀數(mm)

t_{i+1} ， t_i ：探頭接受回聲及初始傳播的時間

(4)腐蝕速率計算

將各測點所測得之厚度數據平均之，可得鋼板樁現有厚度，再以鋼板樁原有厚度減去現有厚度，即可得出鋼板樁實際減少之厚度(亦即腐蝕厚度)。將減少之厚度再除以鋼板樁使用之年期，可計算鋼板樁之實際腐蝕速率。腐蝕速率換算公式如下；

$$\begin{aligned}\text{腐蝕速率} &= \text{腐蝕量} / \text{使用年期} \\ &= (\text{原始厚度} - \text{現有厚度}) / \text{使用年期}\end{aligned}$$

第四章 結果與討論

4.1 資料蒐集與分析

1. 構造物背景

本調查範圍之 # 4、# 5、# 6、# 7、# 8、# 9 碼頭及航道西側岸壁等鋼板樁構造物，其相關背景資料如表 1，檢測碼頭之位置如圖 11 所示。

表 1 碼頭、航道鋼板樁背景資料

構造物 名 稱	長度 (m)	水深 (m)	版樁型式	原始厚度 (mm)	完工日期 年、月 (民國)	防蝕 處理	前次調查 年度 (民國)	本次調查 年、月 (民國)
四號碼頭	60	9.5	Belvol-Z	凸凹：15.2 側：10.2	50	無	81	89.6
五號碼頭	260	9.5	Belvol-Z	凸凹：15.2 側：10.2	50	無	82	89.6
六號碼頭	150	8.25	Z-25	凸凹：13.0 側：9.6	60	無	82	89.6
七號碼頭	18	10.25	Z-25	凸凹：13.0 側：9.6	60	無	---	89.6
八號碼頭	220	10.25	Hoesch175	凸凹：15.2 側：10.2	61.8	無	83	89.6
九號碼頭	51	9.5	FSP VL	24.3	66.4	無	84	89.6
航道	527	9.5	FSP VL	24.3	67.7	無	84	89.6

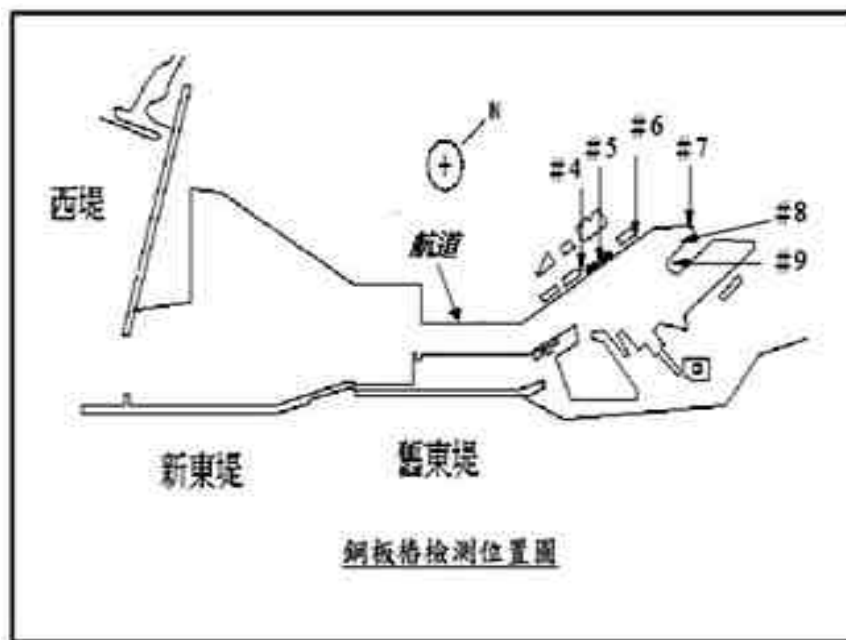


圖 11 鋼板樁碼頭之檢測位置圖

2. 潮汐資料

潮位資料包括天文潮及暴潮，本計畫量測時間為 89 年 1 月至 89 年 8 月，觀測站之地理位置在花蓮港內 $23^{\circ}58'49''\text{N}$ 與 $121^{\circ}37'23''\text{E}$ ，使用超音波式儀器量測，其時間序列圖如圖 12 所示，圖中縱座標為水位變化量(單位公分)，橫座標為時間(單位日)。各時間之潮位資料如表 2 所示。經就各資料分析，得到花蓮港潮位記錄如下；

MHWL +3.05m (含暴潮偏差)

MHWL +1.81m

MWL +1.33m

MLWL +0.84m

LLWL -0.28m

其中零水位在基隆港外，中等潮位下 1.323 公尺。

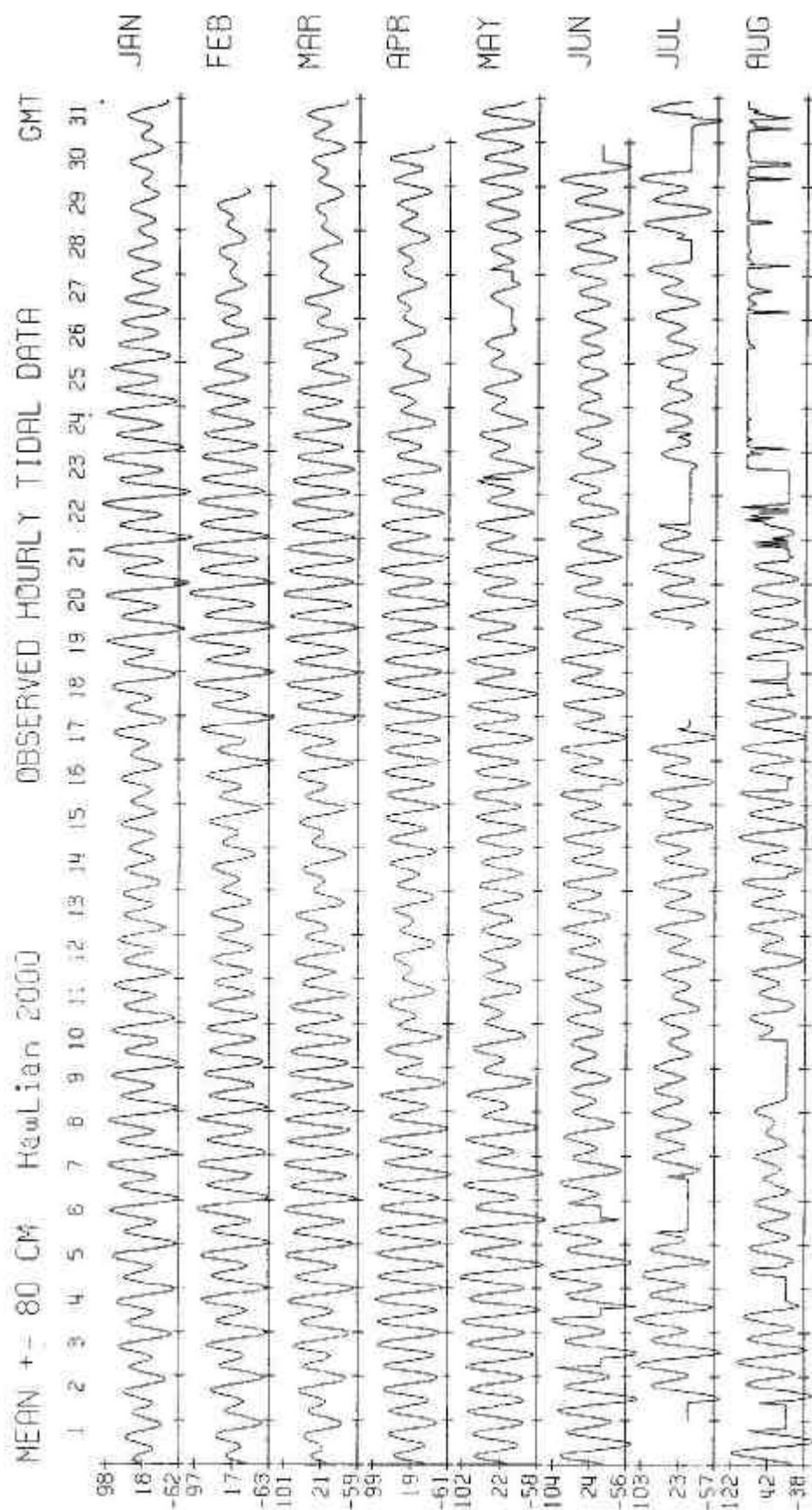


圖 12 潮汐時間序列圖

表 2 潮位資料表

日期時間: 民國99年1月一週潮位資料																								
*H 99																								

表 2 潮位資料表 (續)

125	20000120	713	759	-566	-254	159	526	764	752	666	446	227	-100	-313	-299	-118	134	473	794	1025	1009	923	595	197	-302 Q	
125	20000121	-521	-4536	-585	-337	-20	546	678	654	827	632	346	0	-257	-390	-332	-147	203	551	942	968	1011	595	197	-302 Q	
125	20000122	-327	537	-610	-487	-151	209	540	777	361	790	545	218	-93	-306	-379	-274	-22	300	605	818	916	644	644	334 Q	
125	20000123	38	-352	-537	-469	-274	43	372	620	701	815	651	360	85	-169	-342	-321	-172	62	336	620	794	801	696	473 Q	
125	20000124	183	-594	-318	-303	-247	-12	253	523	605	714	724	321	281	3	-238	-201	-122	-63	167	363	382	664	636	540 Q	
125	20000125	347	130	-21	-203	-128	75	107	485	665	740	790	598	508	232	117	-113	-189	-115	4	209	391	549	500 Q		
125	20000126	346	242	112	-30	-43	-7	127	288	561	611	624	567	497	312	101	-58	-176	-159	-123	-58	131	233	345	568 Q	
125	20000127	331	391	120	-46	-4	10	101	141	121	327	495	548	542	515	411	308	155	38	-60	-42	-99	-18	67	185 Q	
125	20000128	270	230	207	179	153	55	108	126	198	320	587	426	474	465	412	314	159	62	-47	-96	-86	-68	-22	91 Q	
125	20000129	142	222	289	283	270	270	158	138	194	327	292	282	483	493	507	493	273	273	184	-37	-131	-202	-164	-169 Q	
125	20000130	14	132	259	361	340	363	310	191	131	186	195	249	331	466	527	580	539	446	384	-90	-75	-210	-245	-252 Q	
125	20000131	-132	9	198	320	-428	457	408	335	218	144	96	128	242	369	518	651	695	654	511	364	66	-165	-271	-359 Q	
125	20000132	-288	-190	115	320	514	620	469	441	316	129	75	-20	58	236	488	669	766	771	471	472	170	-83	-266	-388 Q	
125	20000133	-459	-292	-38	296	491	633	632	555	369	193	-5	-75	-62	87	314	378	773	998	857	694	367	38	-225	-470 Q	
125	20000134	-504	-426	176	158	441	665	732	766	527	314	54	-119	-162	-74	122	423	565	594	264	-32	594	264	-32	-270 Q	
125	20000135	-664	-471	-271	-23	32	549	395	781	654	409	115	-122	-282	-267	-54	207	531	795	998	959	796	515	140	-236 Q	
125	20000136	-666	-547	-447	-175	161	-469	754	947	770	595	273	-20	-287	-399	-247	-37	335	676	890	990	921	702	336	-52 Q	
125	20000137	-314	-487	-243	-173	32	388	682	876	838	730	395	90	-216	-588	-436	-231	82	434	731	915	933	785	517	127 Q	
125	20000138	-183	-360	-435	-173	-123	220	555	712	836	839	579	268	-76	-521	-500	-424	-132	131	493	726	873	837	666	376 Q	
125	20000139	34	-245	-378	-389	-153	115	403	648	807	846	730	473	98	-198	-402	-443	-277	-81	203	498	702	751	655	465 Q	
125	20000140	257	-202	-268	-170	11	276	573	573	768	890	833	637	335	71	-209	-198	-406	-185	-53	268	455	591	599	528 Q	
125	20000141	414	-246	68	-64	-139	-19	194	380	593	711	758	674	545	294	65	-184	-297	-299	-208	-31	168	363	476	300 Q	
125	20000142	472	289	217	92	42	61	160	294	409	614	720	435	462	462	291	-79	-121	-225	-276	-121	-255	-42	189	312 Q	
125	20000143	337	352	308	267	183	132	137	179	238	366	497	588	614	590	460	144	-28	-102	-260	-134	-207	-129	16 Q		
125	20000144	196	315	344	404	375	313	213	173	145	191	278	377	536	646	665	593	495	297	66	-126	-290	-340	-315	-190 Q	
125	20000145	12	203	390	498	523	465	369	329	138	87	38	164	312	503	845	696	699	565	375	81	-311	-366	-492	-150 Q	
125	20000146	-245	-18	251	434	585	607	516	537	166	-2	-85	-402	90	288	334	721	577	813	694	361	72	-256	-459	-537 Q	
125	20000147	-431	-247	46	344	617	714	730	529	396	73	-117	-216	-141	77	210	595	865	936	843	675	145	-7	-342	-531 Q	
125	20000148	-570	-391	-91	219	314	737	803	729	319	239	-40	-273	-337	-212	45	381	691	903	960	867	624	332	-167	-491 Q	
125	20000149	-580	-536	-368	16	369	672	819	868	671	521	351	26	-267	-469	-382	-196	140	478	815	894	805	505	101	-444 Q	
125	20000150	-406	-484	-392	-38	249	535	598	887	774	529	180	-183	-424	-400	-384	-135	171	535	801	941	869	620	305	-43 Q	
125	20000151	-336	-504	-415	-251	31	435	685	811	814	620	324	-21	-332	-467	-508	-334	-37	266	564	760	843	750	493	156 Q	
125	20000152	-148	-260	-408	-260	11	312	638	733	814	727	496	192	-147	-407	-503	-422	-216	34	340	579	704	716	573	344 Q	
125	20000153	78	-167	-264	-243	-84	386	410	688	811	791	596	343	21	244	-411	-436	-235	-75	156	544	538	607	532	276 Q	
125	20000154	293	-34	-165	-245	-120	71	342	537	691	702	639	423	142	-152	-314	-406	-387	-249	-70	152	288	397	414	345 Q	
125	20000155	311	73	-68	-151	-132	2	182	238	524	589	588	438	229	-35	-154	-302	-336	-316	-107	-110	110	241	285	300 Q	
125	20000156	-270	-570	-408	-260	72	68	153	277	450	547	564	530	395	243	74	-77	-188	-247	-105	-111	12	120	207	238 Q	
125	20000157	78	-167	-264	-243	-84	386	410	688	811	791	596	343	21	244	-411	-436	-235	-75	156	544	538	607	532	276 Q	
125	20000158	293	-34	-165	-245	-120	71	342	537	691	702	639	423	142	-152	-314	-406	-387	-249	-70	152	288	397	414	345 Q	
125	20000159	311	73	-68	-151	-132	2	182	238	524	589	588	438	229	-35	-154	-302	-336	-316	-107	-110	110	241	285	300 Q	
125	20000160	-270	-570	-408	-260	72	68	153	277	450	547	564	530	395	243	74	-77	-188	-247	-105	-111	12	120	207	238 Q	
125	20000161	78	-167	-264	-243	-84	386	410	688	811	791	596	343	21	244	-411	-436	-235	-75	156	544	538	607	532	276 Q	
125	20000162	293	-34	-165	-245	-120	71	342	537	691	702	639	423	142	-152	-314	-406	-387	-249	-70	152	288	397	414	345 Q	
125	20000163	311	73	-68	-151	-132	2	182	238	524	589	588	438	229	-35	-154	-302	-336	-316	-107	-110	110	241	285	300 Q	
125	20000164	-246	-334	-468	-266	536	783	901	767	561	245	-45	-330	-404	-379	-74	781	575	806	940	869	660	337	0	-299 Q	
125	20000165	-465	-440	-205	119	412	678	854	859	698	393	37	-316	-526	-529	-330	-51	397	625	841	921	791	550	186	-172 Q	
125	20000166	-438	-470	-353	-52	261	578	805	896	808	555	365	-208	-512	-639	-912	-333	3	357	642	821	823	673	386	32 Q	
125	20000167	273	-428	-357	-203	190	414	683	836	831	660	335	-208	-512	-639	-912	-333	3	357	642	821	823	673	386	32 Q	
125	20000168	11	-324	-257	-185	-13	280	548	738	810	799	585	390	-79	-421	-624	-601	-503	-237	102	372	346	619	568	398 Q	
125	20000169	163	137	-184	-197	81	126	162	162	721	470	162	-152	-435	-545	-556	-396	-176	67	201	499	495	495	447 Q		
125	20000170	308	137	-30	-81	81	40	206	402	194	688	714	603	402	137	-111	-323	-454	-480	-354	-181	53	335	392	445 Q	
125	20000171	366	322	189	94	87	75	199	280	467	559	590	465	393	465	393	22	-216	-319	-169	-255	-162	14	153	262 Q	
125	20000172	393	341	303	257	191	116	161	187	238	352	490	513	500	520	407	259	86	46	-258	-308	-344	-262	-109	26 Q	
125	20000173	198	340	398	415	370	275	171	137	112	148	214	326	429	210	557	496	349	178	-25	-208	-295	-434	-281	-151 Q	
125	20000174	24	221	396	453	471	411	301	180	106	-58	2	19	133	277	618	531	644	601	463	277	-25	-197	-311	-373	-244 Q
125	20000175	-42	181	598	594	660	615	496	301	106	-63	-159	-493	32	208	415	643	728	696	572	306	25	-250	-408	-358 Q	
125	20000176	-223	-16	361	472	658	662	625	432	141	-154	-232	-228	-215	-47	248	514	705	724	724	231	223	-45	-424 Q		

日期	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

表 2 潮位資料表 (續)

125	20000613	310	317	678	701	821	908	917	387	31	-176	-328	-358	-45	340	392	368	679	686	592	608	478	234	41	-4	16 Q
125	20000614	138	286	518	741	815	767	620	371	102	-144	-271	-382	-305	-160	71	322	525	634	668	478	267	90	-50	-84 Q	
125	20000615	43	201	489	612	770	609	712	519	218	-48	-271	-382	-305	-160	71	185	430	598	668	606	469	280	96	-10 Q	
125	20000616	-5	129	361	571	743	845	838	723	368	-414	-481	-481	-481	-420	-240	27	288	461	620	637	557	358	134	-23 Q	
125	20000617	45	45	303	428	632	807	836	792	568	344	-485	-334	-407	-541	-428	-213	67	336	538	602	564	417	221	23 Q	
125	20000618	-69	-65	96	269	508	701	828	815	680	411	101	-300	-426	-521	-421	-281	-29	345	500	621	648	526	366	163 Q	
125	20000619	41	-23	99	226	437	639	816	890	811	666	322	12	302	445	-466	-324	-134	132	353	540	622	387	478	309 Q	
125	20000620	133	16	-1	109	295	495	680	707	807	698	482	180	-149	-376	-468	-394	-253	-10	557	601	552	397 Q			
125	20000621	221	65	4	50	187	379	540	726	790	742	501	318	-323	-410	-426	-289	-153	81	285	435	317	518	440 Q		
125	20000622	286	123	3	-21	49	175	312	592	680	684	529	480	233	-35	-252	-347	-229	-38	164	362	479	529	501 Q		
125	20000623	399	269	324	51	66	133	231	415	575	673	673	568	385	166	-36	-206	-275	-232	-123	34	288	365	424	517 Q	
125	20000624	477	360	264	141	54	34	105	205	339	476	574	572	462	348	147	0	-188	-201	-139	-22	123	258	409	503 Q	
125	20000625	500	480	412	278	157	51	31	38	133	272	620	492	513	438	348	187	27	-63	-119	-88	-8	144	314	423 Q	
125	20000626	528	528	515	416	256	82	-15	-41	-12	84	221	341	429	456	826	332	210	67	-15	-91	-49	54	196	353 Q	
125	20000627	492	893	615	571	411	219	39	-91	-162	141	-31	111	288	425	508	499	462	246	90	-9	-74	-48	69	340 Q	
125	20000628	420	803	698	619	619	433	302	-44	229	-303	-255	-112	106	306	470	576	554	483	394	137	-10	-58	-2	328 Q	
125	20000629	337	586	721	823	892	667	424	118	-160	-371	-449	-387	-272	20	279	483	599	607	528	355	160	-9	-89	-29 Q	
125	20000630	137	307	632	832	928	890	689	373	18	-310	-481	-487	-668	-645	-495	-225	122	437	668	783	767	582	300	127 Q	
125	20000701	-17	-18	158	398	691	947	1105	1101	941	616	278	-208	-540	-713	-676	-923	-302	195	503	722	802	760	541	309 Q	
125	20000702	93	-2	-63	265	534	899	1042	1180	1169	943	517	247	-173	-420	-549	-427	-233	9	342	804	899	808	740	543 Q	
125	20000703	308	73	49	68	285	372	621	989	992	947	788	488	229	184	-379	-477	-258	66	198	438	705	810	811	640 Q	
125	20000704	456	214	104	69	134	321	516	495																Q	
125	20000705	740	615	431	279	109	59	96	385	540	475	595	701	686	561	190	-42	-193	-203	-71	42	337	356	653	799 Q	
125	20000706	399	708	608	479	311	165	121	178	341	368	580	715	715	745	515	323	332	182	-55	24	193	406	373	722 Q	
125	20000707	317	758	650	525	416	217	36	-25	-82	13	119	215	319	395	421	401	562	192	13	57	218	287	431	395 Q	
125	20000708	489	602	602	602	487	297	102	-105	-93	-230	-346	-48	30	214	337	330	349	306	208	167	-31	-44	137	276 Q	
125	20000709	201	439	544	609	564	431	227	24	198	-207	-346	-240	-132	17	207	342	427	345	216	107	-4	-39	65 Q		
125	20000710	324	494	588	690	739	637	485	247	-2	-224	-339	-341	-398	-232	36	304	451	514	483	346	205	65	-54	-4 Q	
125	20000711	111	329	523	651	741	752	581	367	143	161	-138	-403	398	273	-50	211	389	534	570	480	307	198	31	-21 Q	
125	20000712	23	177	286	522	694	735	811	571	311	8	-331	-484	-512	465	-228	9	253	450	533	547	452	290	82	-59 Q	
125	20000713	43	66	241	400	652	811	817	720	598	198	-136	-304	-517	302	-217	-76	187	417	553	501	525	395	218	31 Q	
125	20000714	-31	-15	117	301	576	701	865	820	621	312	21	-279	-523	-556	-484	-287	-5	223	223	439	592	664	598	463 Q	
125	20000715	113	-55	-101	-30	174	415	525	778	854	792	598	324	-1	-245	-387	-380	-265	27	147	414	575	647	661	562 Q	
125	20000716	241	34	-49	-64	51	242	442	684	709	790	692	474	209	-32	-231	-315	-276	-112	147	414	575	647	661	562 Q	
125	20000717	398	207	48	3	8	113	310	509	696															Q	
125	20000718	610	498	329	168	30	4	23	117	225															Q	
125	20000719	669	591	485	312	157	28	-31	-20	53	166	307	442	506	441	456	222	403	103	148	342	514	609	646 Q		
125	20000720	699	764	684	590	362	150	0	-44	-117	-46	57	215	306	465	507	655	414	288	185	129	190	278	432	607 Q	
125	20000721	620	754	790	737	616	418	171	-33	-50	-181	-108	30	217	383	341	619	640	514	418	312	237	204	275	379 Q	
125	20000722	536	710	838	896	733	682	386	186	150	-179	-355	-425	-378	176	182	459	684	826	802	689	803	286	123	86 Q	
125	20000723	408	613	837	1001	1051	985	801	492	154															Q	
125	20000724	158	333	574	842	1038	1127	1072	826	438															Q	
125	20000725	-127	-56	147	366	676	965	1195	1179	1027	721	-86	-430	-456	630	364	850	881	850	881	881	764	259	277	4 Q	
125	20000726	699	764	684	590	362	150	0	-44	-117	-46	57	215	306	465	507	655	414	288	185	129	190	278	432	607 Q	
125	20000727	620	754	790	737	616	418	171	-33	-50	-181	-108	30	217	383	341	619	640	514	418	312	237	204	275	379 Q	
125	20000728	536	710	838	896	733	682	386	186	150	-179	-355	-425	-378	176	182	459	684	826	802	689	803	286	123	86 Q	
125	20000729	408	613	837	1001	1051	985	801	492	154															Q	
125	20000730	158	333	574	842	1038	1127	1072	826	438															Q	
125	20000731	-127	-56	147	366	676	965	1195	1179	1027	721	-86	-430	-456	630	364	850	881	850	881	881	764	259	277	4 Q	
125	20000801	699	764	684	590	362	150	0	-44	-117	-46	57	215	306	465	507	655	414	288	185	129	190	278	432	607 Q	
125	20000802	620	754	790	737	616	418	171	-33	-50	-181	-108	30	217	383	341	619	640	514	418	312	237	204	275	379 Q	
125	20000803	536	710	838	896	733	682	386	186	150	-179	-355	-425	-378	176	182	459	684	826	802	689	803	286	123	86 Q	
125	20000804	408	613	837	1001	1051	985	801	492	154															Q	
125	20000805	158	333	574	842	1038	1127	1072	826	438															Q	
125	20000806	500	414	165	25	-37	-38	67	229	389	511	586	598	497	382	229	41	-55	-45	114	305	500	662	798	752 Q	
125	20000807	643	316	340	171	33	-49	-42	70	195	233	349	478	509	462	384	258	161	124	163	233	332	473	574	642 Q	
125	20000808	802	657	521	381	233	132	9	-2	59	107	222	323	416	425	437	397	338	287	241	255	281	308	413	558 Q	
125	20000809	644	591	609																					Q	
125	20000810	-465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465 Q	
125	20000811																								Q	

表 2 潮位資料表 (續)

125	20000812	266	401	584	728	777	738	612	360	70	-139	-301	-359	-289	-147	67	359	435	557	564	465	393	219	95	92 Q
125	20000813	147	278	475	673	809	853	804	563	278	48	-177	-370	-310	-167	11	257	516	707	766	686	556	311	159	60 Q
125	20000814	88	228	398	648	863	965	962	814				-232	-206	-225	-87	190	447	659	773	743	604	412	182	26 Q
125	20000815	-2	58	258	523	768	970	1054	944	725	389	51	-223	-355	-313	-168	47	342	601	777	825	750	525	296	64 Q
125	20000816	-81	-77	77	354	621	851	1007	989								-100	156	463	702	827	778	600	367	137 Q
125	20000817	-52	-119	-41	168	426	704	930	993	915	710	365	17	-245	-390	-372	-210	30	349	627	778	817	705	504	251 Q
125	20000818	-6	-157	-156	-39	186	477	734	872	917	817	562	205	-176							722	830			Q
125	20000819																-259	-134	106	383	614	795	804	719	526 Q
125	20000820	258	-7	-204	-225	-140	43	330	466	743	832	701	391	68	-209	-314	-268	-187	-14	231	473	645	753	772	851 Q
125	20000821	425	118	-97	-210	-308	-97	75	318	528	876	775	577	279	10	-187	-107								724 Q
125	20000822		371	90	-26	-133	-96	-33	158	382	516	526	945	305	811	559		642		1025	537				Q
125	20000823																841	914	914	914	913	914	914		553 Q
125	20000824	806	854		859	910	905	915	791	914	907	914	914	912	868	924	894	907	906	806	914	914	914	914	914 Q
125	20000825	914	914	913	914	914	905	913	913	904	900	903	901	901	901	902	911	912	914	915	915	914	914	914	914 Q
125	20000826	914	913	914	914	914	914	914	915	902	724	780	897	803	887	905	899	906	906	912	913	913	914	909	913 Q
125	20000827	914	914	913	914	914	914	910	894	763	708	810	899	896	869	770	357	520	719	889	890	898	914	908	913 Q
125	20000828	914	913	912	913	911		898	784	805	907	895	905	903	893	856	891	897	907	908	910	908	911	906	912 Q
125	20000829	914	913	913	914	783	367	913	912	905	906	906	909	887	879	893	881	895	908	907	912	915	915	915	915 Q
125	20000830	914	914	914	914	913	913	914	913	905	905	906	906	887	879	893	871	854	891	901	890	906	912	906	914 Q
125	20000831	914	914	914	915	910	913	915	901		764	747	742	905	774	872	511	540	792	678	902	906	911	902	913 Q

4.2 海水水質分析

花蓮港緊臨太平洋，港區腹地有限，主要以散雜貨物為大宗，近年來每年貨物吞吐量約 1,200 萬噸，船隻進出港內次數較其它港口少。又港區附近並無大型化工廠或工業區之廢水排放等問題，因此，港內之海水較國內其它港口清澈，受污染程度較小。

表 3 為港內各調查碼頭水域之海水水質分析結果。表中顯示各碼頭水域之海水水質差異不大，電導度值約介於 42,000 ~ 47,000 mho/cm，平均以四號碼頭之 44,220 mho/cm 最小，八號碼頭之 46,840 mho/cm 最大。平均比電阻值則以四號碼頭之 $22.6\Omega\text{-cm}$ 為最大，八號碼頭之 $21.3\Omega\text{-cm}$ 為最小，海水比電阻之大小會影響犧牲陽極材料放出電流之多寡，如比電阻值小，陽極材料放出之電流則大，可保護之鋼板樁面積較大，在陰極防蝕設計時為一重要參數，影響陽極材料之需求量。海水之平均溶氧量，以五號碼頭最高為 4.7 mg/l，八號碼頭為最小為 3.6 mg/l，整體而言，港區內之溶氧量比其它港口高出許多，顯示港區海水水質並無受到其它有機質之污染。海水酸鹼度平均值約介於 6.43 ~ 6.88，比一般正常值略低，以四號碼頭最高(pH 6.88)，八號碼頭最低(pH 6.43)。海水之氯離子濃度在高程 0m 處，各碼頭水域約為 22,000~24,000ppm，以四號碼頭最高為 23,879ppm，航道水域最低為 21,233ppm。高程-5m 處之氯離子濃度較水深 0m 處為低，約介於 20,000~22,000ppm，以四號碼頭水域最低為 20,206ppm，航道水域最高為 22,022ppm，顯示水深與氯離子濃度有關。各碼頭水域之海水溫度約為 27.6~28.2°C。

表 3 海水水質分析結果

檢測位置		電導度 (mho/cm)	比電阻 (Ω -cm)	溶氧量 (mg/l)	酸鹼度 (pH)	水 溫 (°C)	氯離子 (ppm)
碼頭	水深 (m)						
四 號	+1.5	42,080	23.0	4.0	6.85	28.3	
	+0.5	43,760	22.9	4.5	6.92	28.3	
	0	46,820	21.4	4.4	6.91	28.2	23,879
	-1.0	44,230	22.6	4.1	6.87	28.0	
	平均	44,220	22.6	4.3	6.88	28.2	
五 號	+1.5	44,130	22.7	4.3	6.70	28.2	
	+0.5	45,250	22.1	4.8	6.68	28.1	
	0	45,200	22.1	4.8	6.64	27.9	22,939
	-1.0	46,510	21.5	4.7	6.50	27.3	
	平均	45,270	22.1	4.7	6.63	27.6	
六 號	+1.5	46,110	21.7	4.3	6.80	28.2	
	+0.5	47,150	21.2	3.5	6.66	28.0	
	0	47,140	21.2	3.7	6.56	27.6	23,886
	-1.0	47,370	21.1	3.5	6.54	26.7	
	平均	46,950	21.3	3.8	6.62	27.6	
七 號	+1.5	46,320	21.6	4.3	6.70	28.2	
	+0.5	47,130	21.2	4.8	6.85	27.9	
	0	47,100	21.2	3.6	6.80	27.5	22,441
	-1.0	47,330	21.1	3.4	6.55	26.7	
	平均	46,950	21.3	4.0	6.70	27.6	

表 3 海水水質分析結果(續)

檢測位置		電導度 (mho/cm)	比電阻 (Ω -cm)	溶氧量 (mg/l)	酸鹼度 (pH)	水溫 (°C)	氯離子 (ppm)
碼頭	水深 (m)						
八 號	+1.5	45,500	22.0	4.1	6.60	28.3	
	+0.5	47,130	21.2	3.9	6.57	28.3	
	0	47,280	21.2	3.3	6.12	27.8	22,067
	-1.0	47,440	21.1	3.2	6.52	26.8	
	平均	46,840	21.3	3.6	6.43	27.8	
九 號	+1.5	44,470	22.4	3.7	6.61	28.2	
	+0.5	47,000	21.3	4.6	6.46	27.9	
	0	47,360	21.1	4.3	6.57	27.8	22,408
	-1.0	47,390	21.1	4.2	6.58	27.0	
	平均	46,560	21.4	4.2	6.52	27.7	
航 道	+1.5	46,280	21.6	3.4	6.85	28.1	
	+0.5	45,380	22.0	4.3	6.85	28.0	
	0	46,660	21.4	4.3	6.78	27.6	21,233
	-1.0	46,950	21.3	4.5	6.82	27.6	
	平均	46,320	21.6	4.1	6.83	27.8	

附註: 1. 取樣日期: 民國 89 年 6 月 28 日

2. 水深-5m 處各碼頭水域之氯離子濃度分別為:

四號碼頭 20,206(ppm) , 五號碼頭 20,850(ppm)

六號碼頭 20,979(ppm) , 七號碼頭 21,962(ppm)

八號碼頭 21,926(ppm) , 九號碼頭 21,968(ppm)

航 道 22,022(ppm)

4.3 鋼板樁檢測

4.3.1 四號碼頭

民國 50 年完工，水深-9.50 m，全長 60 m，採用盧森堡製之 Belvol Z 型鋼板樁建造，使用迄今約 39 年，無任何防蝕措施。在高潮位線時，仍有一截鋼板樁約 80~120 公分之長度，全年裸露於大氣中，與國內其它港區碼頭鋼板樁完全浸入海水中略有不同。四號碼頭結構斷面如圖 13，使用鋼板樁型式如圖 14。

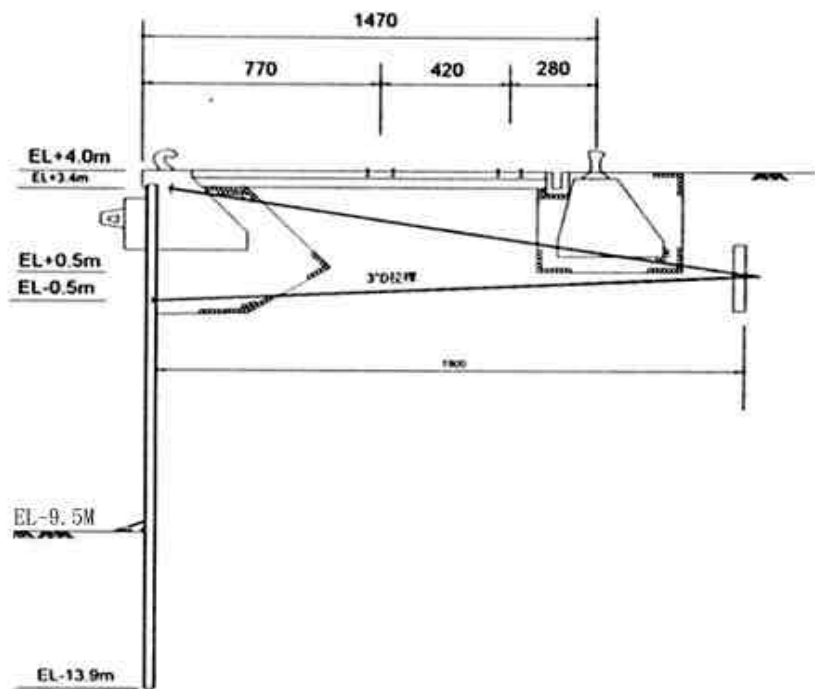


圖 13 四、五號碼頭結構斷面圖

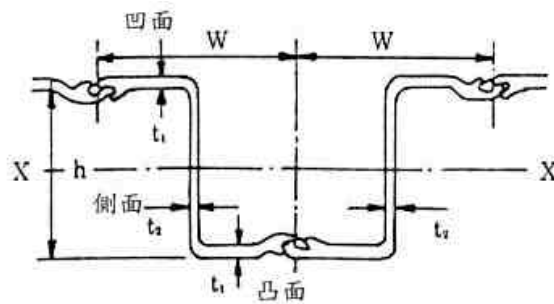


圖 14 Z 型鋼板樁簡示圖

1.目視檢測

本碼頭於民國 79 及 81 年間，港研所曾進行腐蝕現況調查，裸露於大氣帶之鋼板樁表面，往年曾做塗覆保護可阻絕或降低腐蝕之侵襲，因此，裸露大氣中之鋼板樁並無嚴重腐蝕穿孔或破洞現象，但是受到海生物之附著影響，鋼板樁表面之塗覆層，到處可見大量剝落之小斑點，腐蝕程度屬輕微。

裸露之鋼板樁由於曝露於較易腐蝕之區域，鑑於防範未然港務局特要求對大氣帶部位之鋼板樁，進行詳細且間距較密集的檢測。相隔 10 年之後，曝露大氣帶之鋼板樁表面，全區帶狀仍有明顯塗覆層剝落殘留之痕跡，表面甚多小斑點之腐蝕，實際腐蝕狀況如圖 15 與圖 16 所示。至於浸泡於水面下之鋼板樁，並未發現有嚴重的腐蝕穿孔、破洞等情況，但是鋼板樁表面仍然附著許多海生物。依港研所歷年之調查，附著之海生物種類甚多，主要種類計有藤壺、蚶類、管虫、腔腸動物、藻類、珊瑚等，這些海生物附著對鋼板之腐蝕，有一定程度之影響，值得深入探討。水下檢測情形如圖 17 與圖 18。



圖 15 四號碼頭大氣帶鋼板樁腐蝕現況(1)



圖 16 四號碼頭大氣帶鋼板樁腐蝕現況(2)

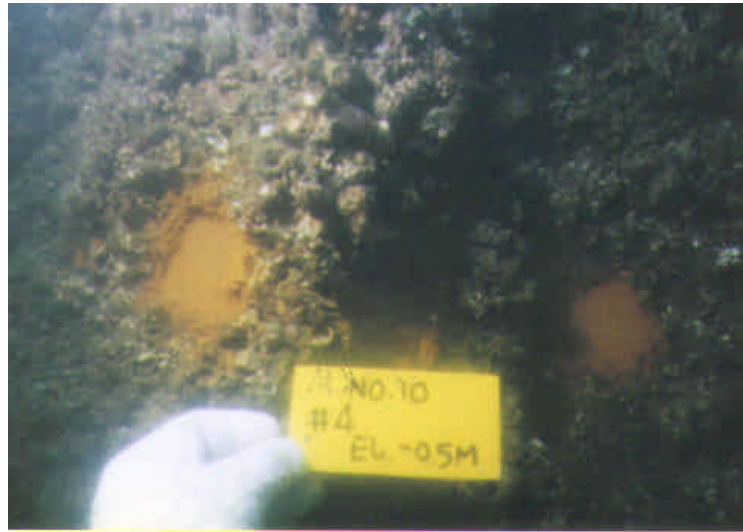


圖 17 四號碼頭水面下鋼板樁腐蝕現況(1)

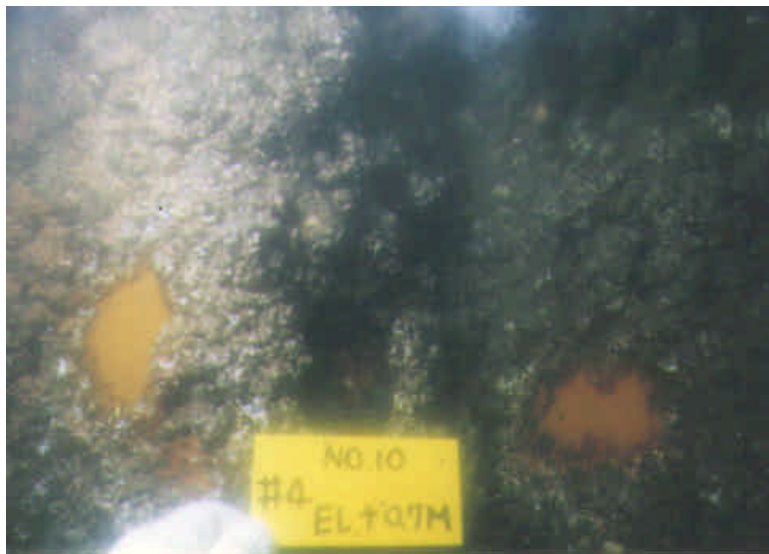


圖 18 四號碼頭水面下鋼板樁腐蝕現況(2)

2.厚度量測

本碼頭每隔 5~8m 選一支檢測樁，檢測水深(高程)分別為+3.3m、+1.8m、+0.7m、+0.2m 與-0.5m，亦即三個高程測點在大氣帶，另二個分別在潮汐帶或水面臨界處下端，總計 5 個高程測點。相關檢測之高程與鋼板樁每一面上之厚度量測位置如圖 19 所示，整座碼頭共有 21 支檢測樁處，各測樁之檢測結果(包括現有厚度、減少厚度及腐蝕速率等)，詳列於附錄或如圖 20 所示。圖中可明顯看出，任一支檢測樁在水深+3.3m 至+1.8m 區間之腐蝕速率，均比水深+0.7m 至-0.5m 間低出許多，推究其原因乃是水深+0.7m 至-0.5m 間恰為潮汐帶，長年受到潮汐衝擊與溶氧量之變化，鋼板樁在此區域腐蝕程度較嚴重。在 21 支檢測樁中，大多數之腐蝕速率均小於 0.1mm/yr.，但有少數幾支樁在水深-0.5m 處，其腐蝕速率較大(接近 0.1mm/yr.)，第 No.9 支鋼樁之凸面在水深+0.2m 至-0.5m 間之腐蝕速率為 0.19mm/yr.，屬於腐蝕較為嚴重。整體而言大氣帶之鋼板樁，其凹、凸、側面所量測之厚度與原有厚度相較，厚度約減少 2~3mm 不等，換算成腐蝕速率約為 0.02~0.08mm/yr.。

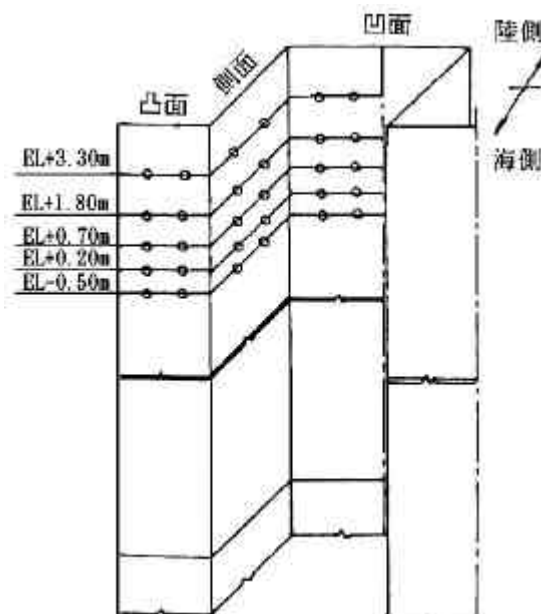


圖 19 檢測高程與鋼板樁厚度量測位置示意圖

(以四、五號碼頭為例)

表 4 為四號碼頭鋼板樁整體平均腐蝕速率，表中顯示腐蝕速率隨鋼板樁所處高程之降低而有增大的趨勢。在高程+3.3m 至+1.8m 間，鋼板樁側面之腐蝕速率最大，凸、凹面相對較小。在高程+0.7m 至-0.5m 間(屬於潮汐帶區域)，凸、凹、側等三面之平均腐蝕速率約為 0.07~0.08mm/yr.，以側面之腐蝕速率最小。圖 21 為四號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖，圖中腐蝕速率明顯區分成兩個等級，高程+3.3m 至+1.8m 間腐蝕速率較小，+0.7m 至-0.5m 間腐蝕速率較大。

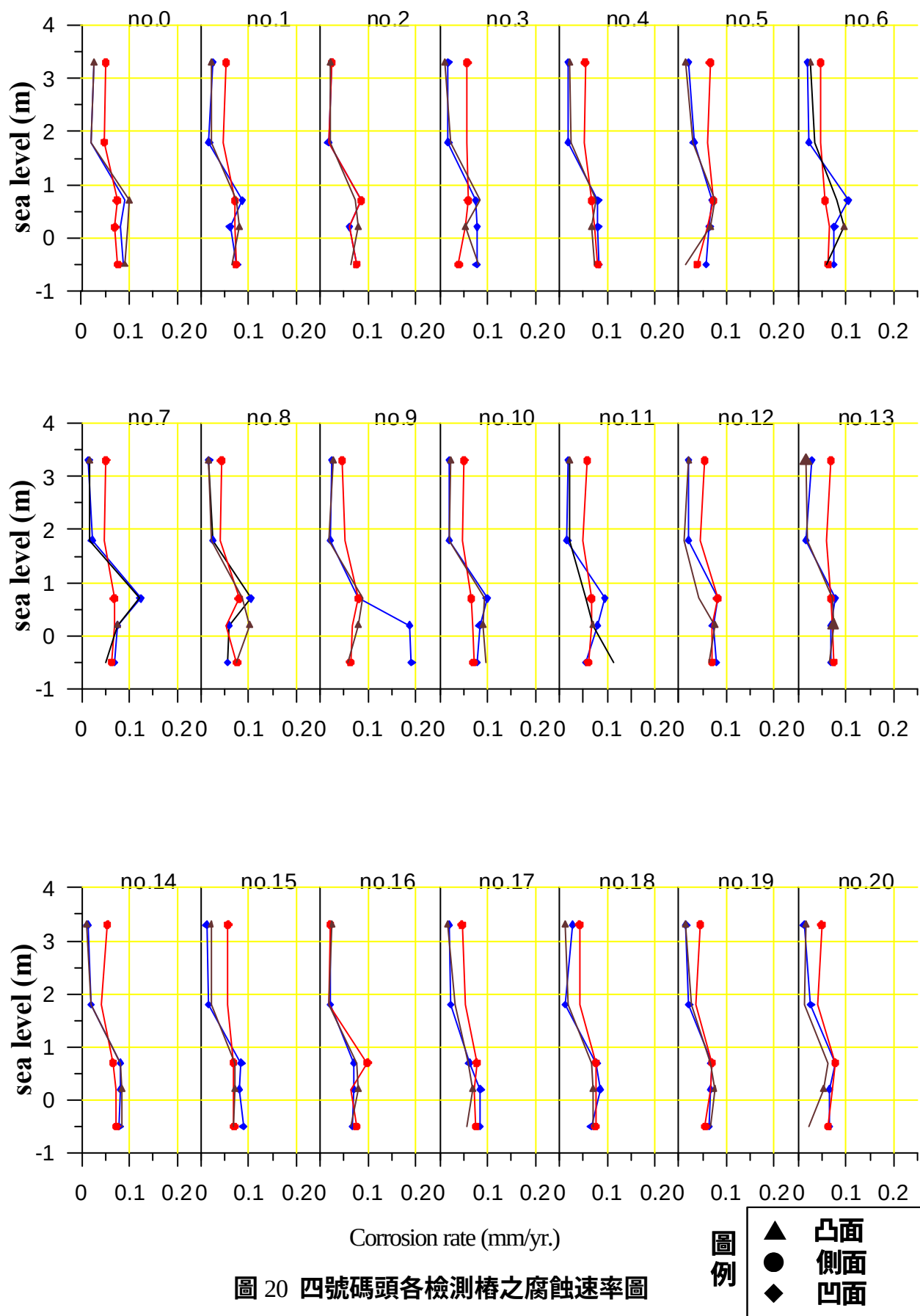


圖 20 四號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖

表 4 四號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)						
碼頭	位置	高 程				
		+3.3m	+1.8m	+0.7m	+0.2m	-0.5m
四 號	凸面	0.02	0.02	0.08	0.08	0.08
	側面	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07
	凹面	0.02	0.02	0.08	0.08	0.07

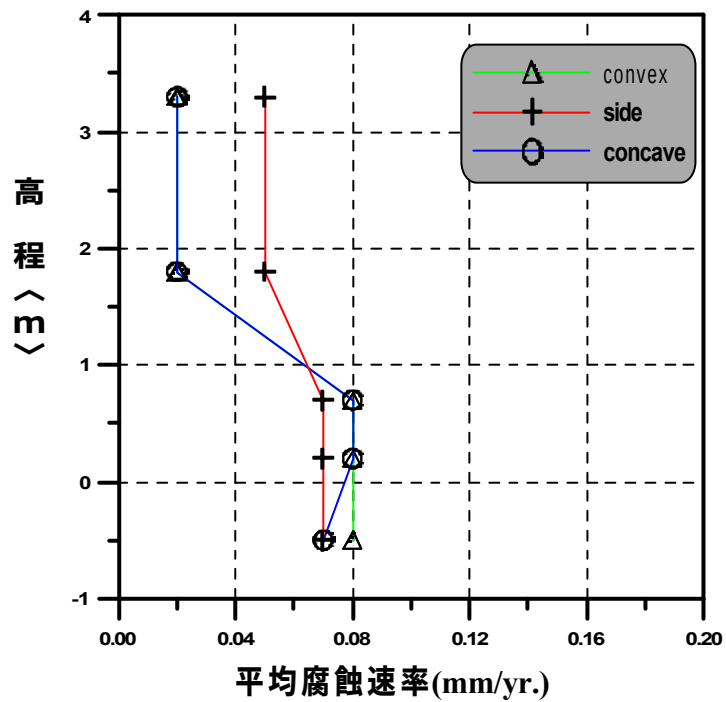


圖 21 四號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖

4.3.2 五號碼頭

本碼頭與四號碼頭之建造型式相同，同一年代完工，水深-9.50 m，全長 260

m, 採用盧森堡製之 Belvol Z 型鋼板樁建造, 使用迄今約 39 年, 無任何防蝕措施。在高潮位時鋼板樁約有 80~120 公分之範圍, 終年裸露於大氣中。圖 13 為五號碼頭結構斷面圖(與四號碼頭相同)。

1. 目視檢測

裸露於大氣帶之鋼板樁, 由於表面曾有塗覆保護, 因此起用迄今表面雖有海生物附著, 但並無嚴重腐蝕情形, 僅塗覆層有小斑點剝落, 散佈於全表面。整體而言, 大氣帶部位之鋼板樁腐蝕輕微。水面下之鋼板樁, 檢測結果大致與四號碼頭之結果相似, 無嚴重的腐蝕情形。

2. 厚度量測

本碼頭每隔 5~8m 選定一支檢測樁, 檢測高程為 +3.3m、+1.8m、+0.7m、+0.2m 與 -0.5m 等五點, 與四號碼頭之檢測相同, 整座碼頭共有 21 支檢測樁。各測樁量測之結果詳列於附錄或如圖 22 所示。圖 22 之各測樁腐蝕與四號碼頭(如圖 20)之趨勢相似, 整座碼頭之腐蝕速率明顯分成兩個區段。腐蝕速率低的區段, 位於高程 +3.3m 至 +1.8m 間, 其間鋼板樁三面之平均腐蝕速率約為 0.02~0.05mm/yr, 以側面之腐蝕速率較大。腐蝕速率高的區段, 則位於水深 +0.7m 至 -0.5m 間, 平均腐蝕速率約為 0.07mm/yr。(其間鋼板樁三面之腐蝕速率差異很小)。在高程 +1.8m 至 +0.7m 間為潮汐帶範圍, 恰是腐蝕速率轉變最為明顯的部位。又 21 支檢測樁中, 大多數之腐蝕速率均小於 0.1mm/yr, 僅第 No.13 樁有幾點部位之腐蝕速率為 0.1mm/yr。表 5 為五號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率。圖 23 為五號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖, 腐蝕速率明顯分成兩個等級與四號碼頭之結果相似。

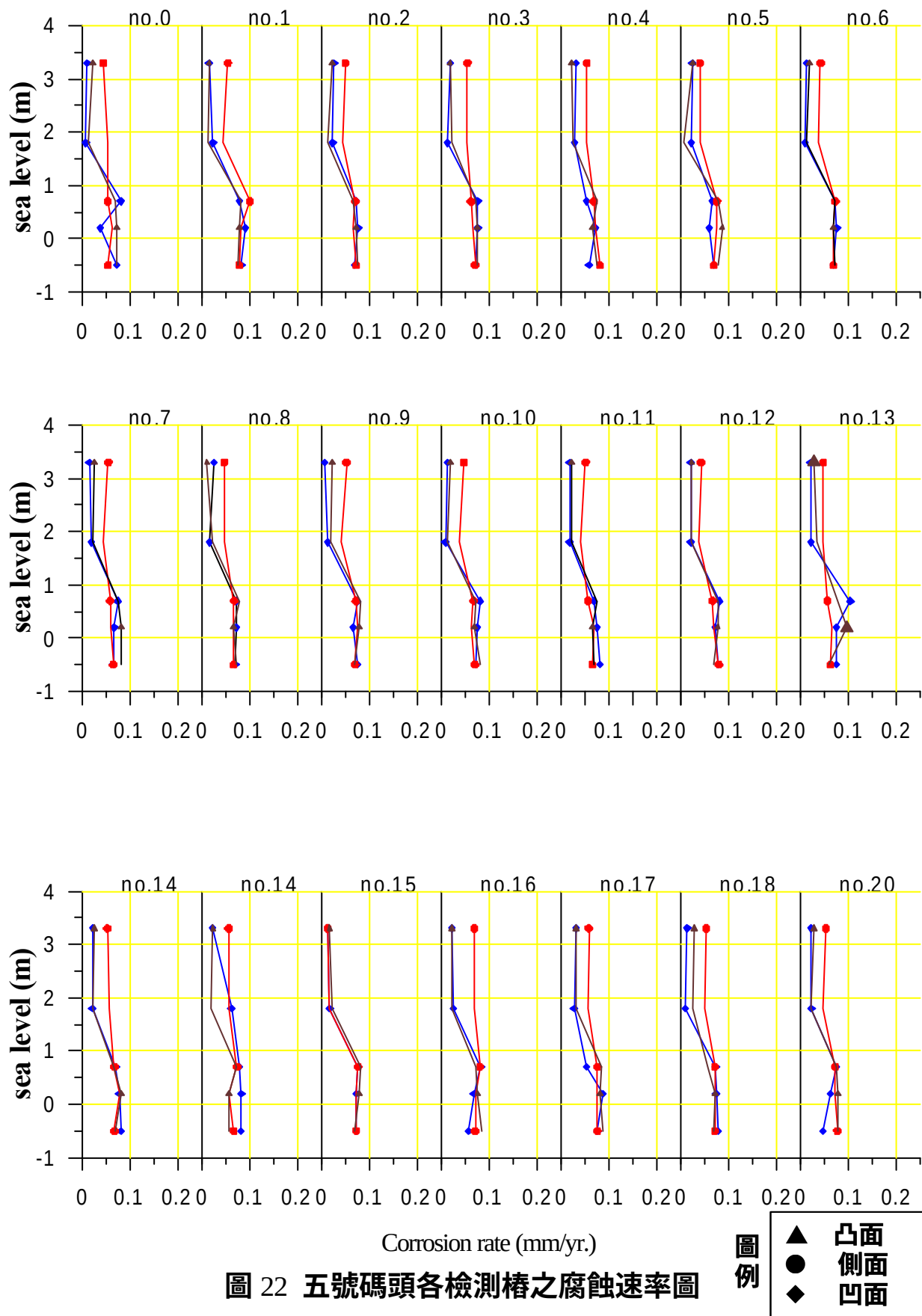


圖 22 五號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖

表 5 五號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)						
碼頭	位置	高 程				
		+3.3m	+1.8m	+0.7m	+0.2m	-0.5m
五 號	凸面	0.02	0.02	0.07	0.07	0.07
	側面	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07
	凹面	0.02	0.02	0.07	0.07	0.08

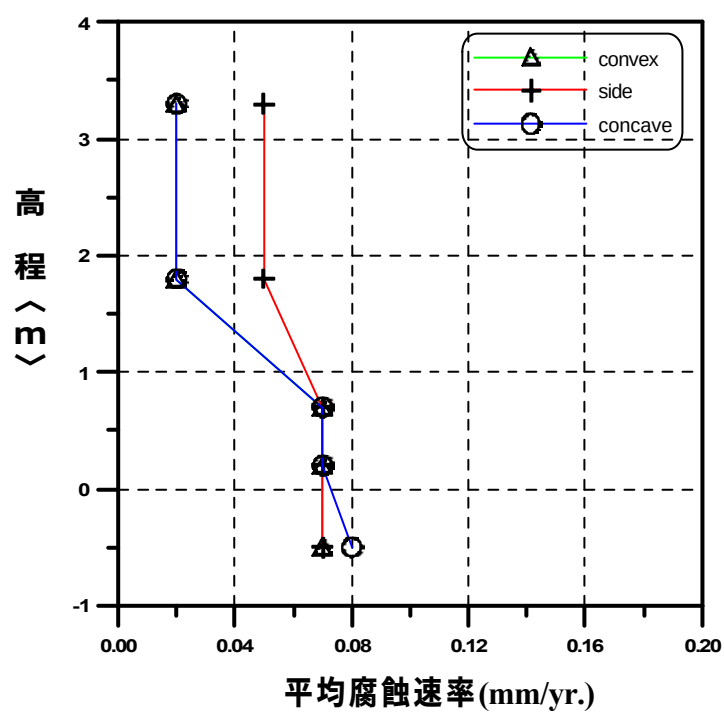


圖 23 五號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖

4.3.3 六號碼頭

本碼頭於民國 60 年完工，水深-9.50 m，全長 150 m，採用日本製 Z-25 型鋼板樁建造，建造時碼頭混凝土冠牆灌注至低潮位線下 0.75m，因此，鋼板樁完全浸入於海水面下，使用迄今約 29 年，無任何防蝕措施。碼頭結構斷面如圖 24 所示。

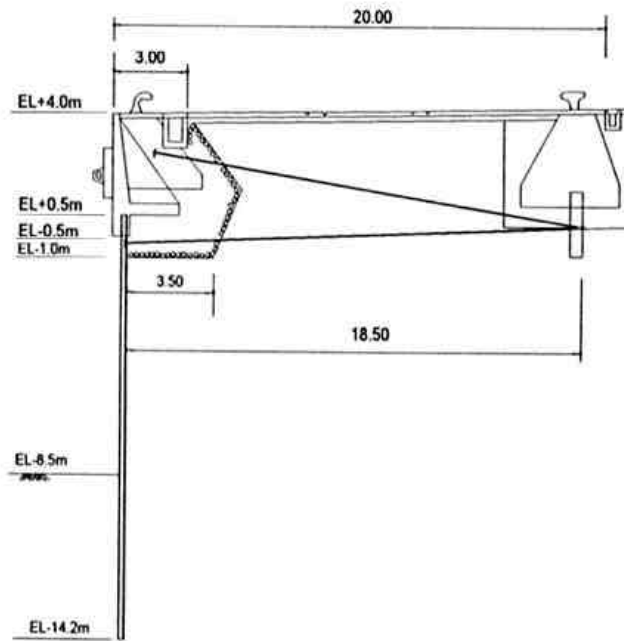


圖 24 六號碼頭結構斷面圖

1. 目視檢測

本碼頭轉角與七號碼頭接鄰處，在碼頭面上可清楚看到冠牆下方有兩處排水之箱涵，可能為港區內廢水下水道。鋼板樁結構全部浸入海水中，目視檢測時並無發現有孔蝕或破洞等之嚴重腐蝕現象，僅自本碼頭起點 112m 處(距 No.11 測樁約 2m)，在水深-7.9 至-8.5m 部位，發現兩鋼板樁接合處有部份開裂(如圖 25 所示)，開裂寬度約有 30cm，深度有 10~20 cm。

至於鋼板樁表面依然有許多海生物附著，這些海生物之附著與累積，形成一層厚厚的保護層，在某方面或有保護鋼板之效應，但亦不排除有加速腐蝕鋼板的潛能存在。

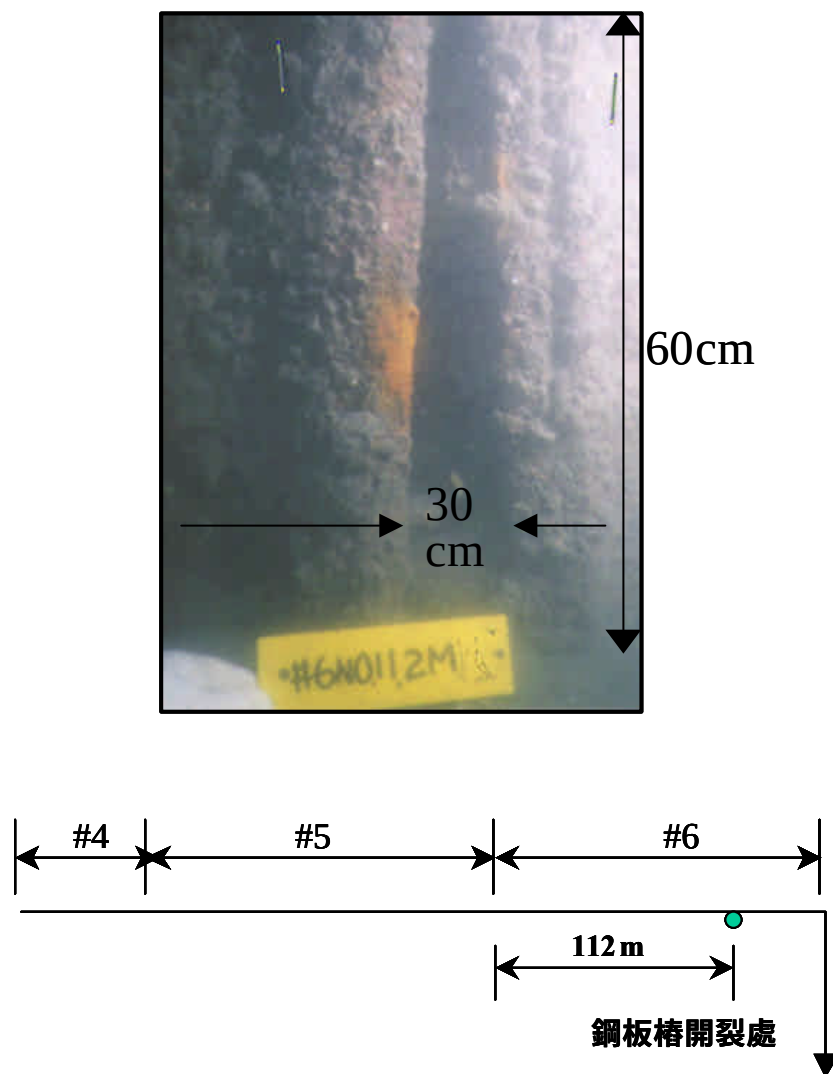


圖 25 六號碼頭 112m處開裂之情形

2.厚度量測

本座碼頭每隔 8~10m 取一支檢測樁，總計有 16 支檢測樁，Z-25 型鋼板樁原有厚度，凹、凸面均為 13.0mm、側面為 9.6mm，由於碼頭混凝土冠牆深入低潮位下，鋼板樁完全沒入水面下，因此，每支測樁之檢測高程選定為-0.5m、-1.0m、-1.5m 等三點。歷經 29 年的歲月，鋼板樁厚度分別減少約 1~3mm 不等，視不同測樁與水深部位略有差異，換算成腐蝕速率約為 0.05~0.07mm/yr. 左右，與本中心於民國 82 年所測得之結果(0.05~0.08mm/yr.)大致相同，顯然鋼板樁之腐蝕狀況大致穩定，並無太大的變化。本次詳細檢測之結果列於附錄或如圖 26 所示。圖中各檢測樁之腐蝕速率幾乎均小於 0.1mm/yr.，鋼板樁之任一面之腐蝕速率差異不大，凹面為 0.05mm/yr.，凸面為 0.06~0.07mm/yr.，側面為 0.07~0.08mm/yr.。以水深 0.5m 處第 No.6 支之腐蝕速率較大，其側面約為 0.11mm/yr.。表 6 為六號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率，圖 27 為六號碼頭水深與鋼板樁平均腐蝕速率圖。

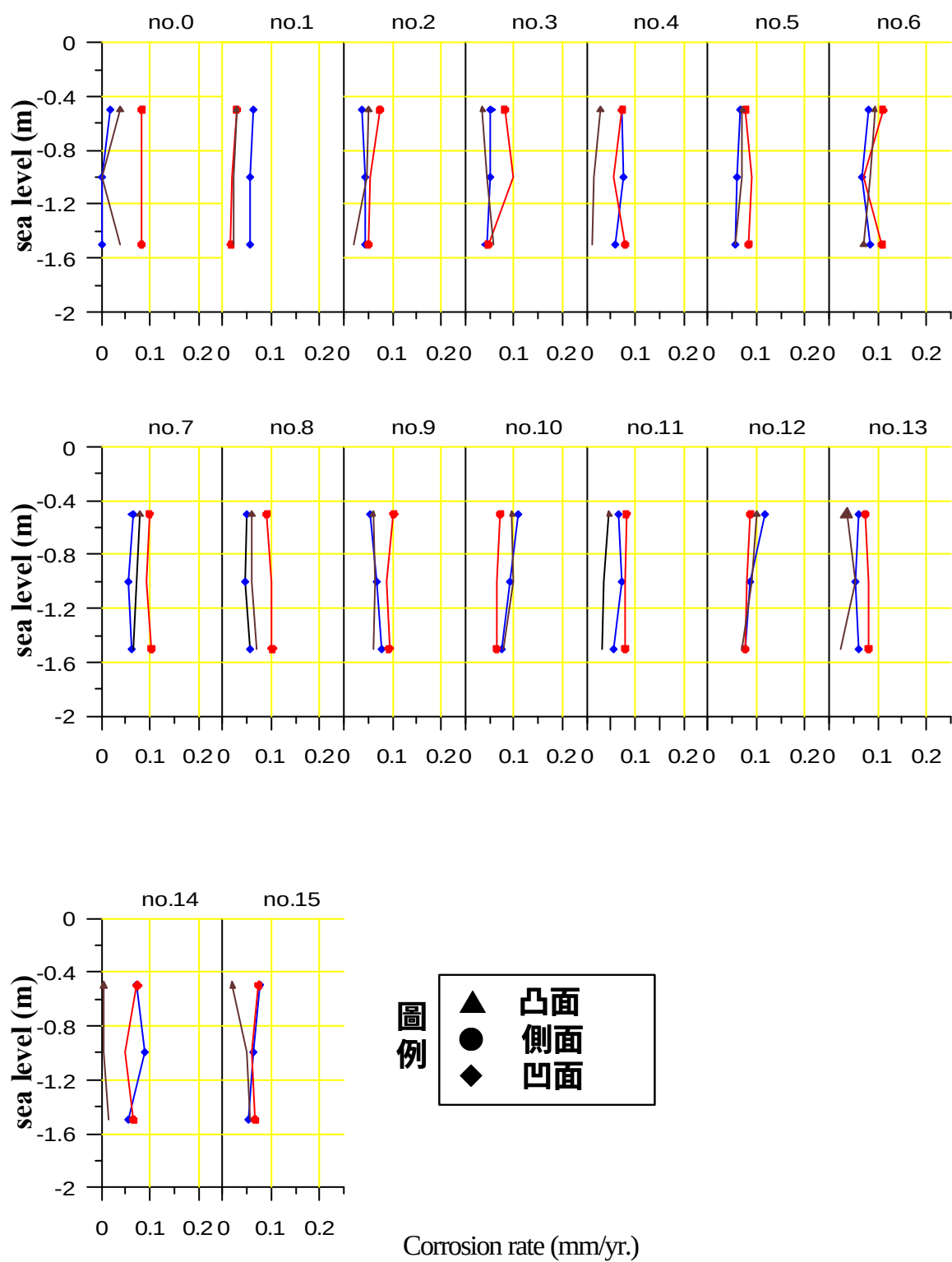


圖 26 六號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖

表 6 六號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)				
碼 頭	位 置	高 程		
		-0.50m	-1.0m	-1.5m
六 號	凸面	0.07	0.06	0.06
	側面	0.08	0.07	0.08
	凹面	0.05	0.05	0.05

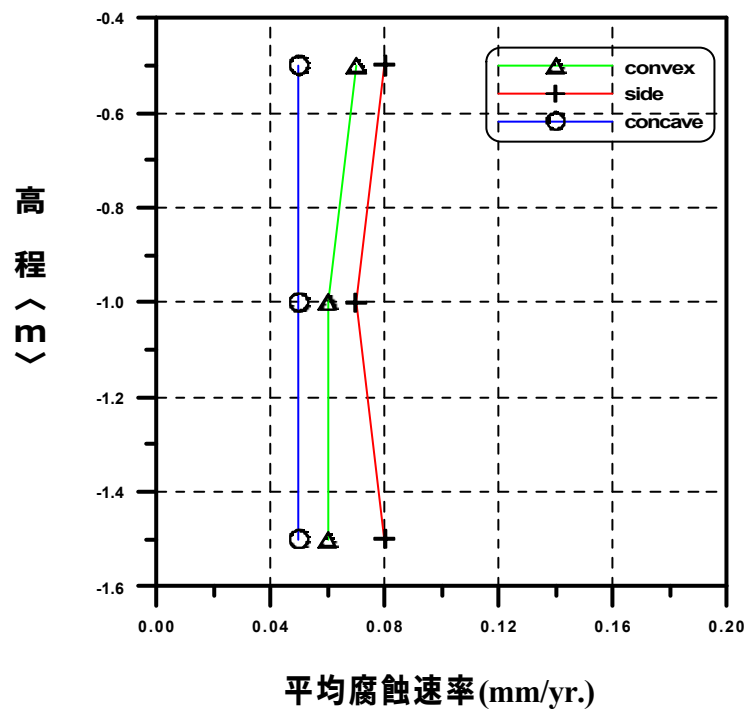


圖 27 六號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖

4.3.4 七號碼頭

七號碼頭長度很短，大部份為重力式結構，水深-9.50 m，僅轉角處以鋼板

樁結構建造銜接，全長僅 18m，板樁型式為日本製之 Z-25 型，民國 60 年完工，使用迄今約 29 年，無任何防蝕措施。圖 28 為七號碼頭結構斷面圖。

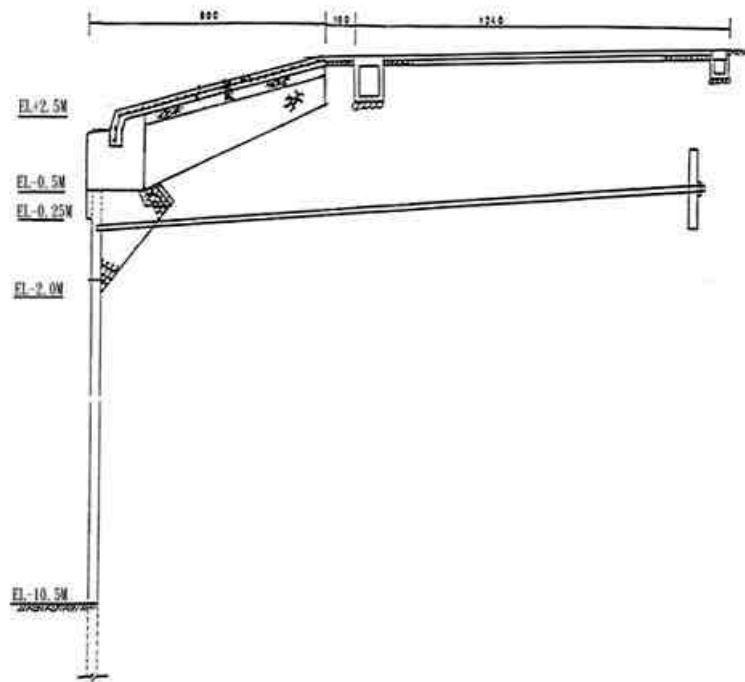


圖 28 七號碼頭結構斷面圖

1.目視檢測

目視檢測與前述幾座碼頭之結果相似，水面下鋼板樁表面附著許多海生物體，並無發現有孔蝕、破洞等嚴重腐蝕或其它異常現象。

2.厚度量測

本碼頭鋼板樁全長 18m，僅選擇一支檢測樁做腐蝕現況分析，檢測水深為 -0.5m、-1.0m、-1.5m 等三點，檢測結果列於附錄，其腐蝕趨勢如圖 29 所示。腐蝕速率凹面約為 0.01~0.02 mm/yr.，凸面為 0.02~0.04 mm/yr.，側面最大約為 0.06~0.09mm/yr.，整體上腐蝕速率均很小。

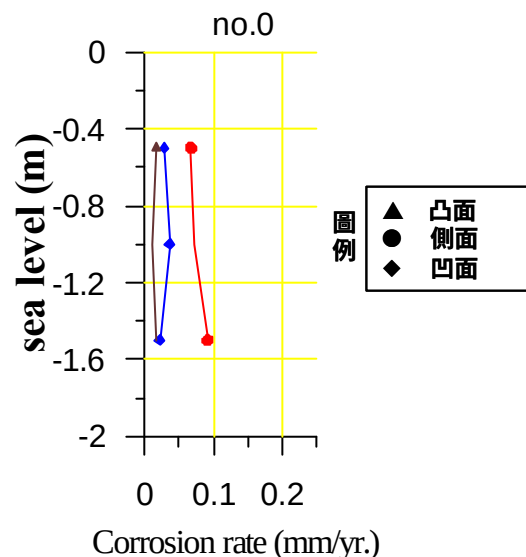


圖 29 七號碼頭檢測樁之腐蝕速率圖

4.3.5 八號碼頭

本碼頭於民國 61 年完工，水深-10.25m，使用 Hoesch(為 Z 型)鋼板樁建造，全長 220m，使用迄今約 28 年，鋼板樁凹、凸面原始厚度為 15.2mm，側面為 10.2mm，混凝土冠牆灌至低潮位線下，因此鋼板樁完全浸入於水面下，總計有測樁 22 支，無任何防蝕措施。圖 30 為八號碼頭結構斷面圖。

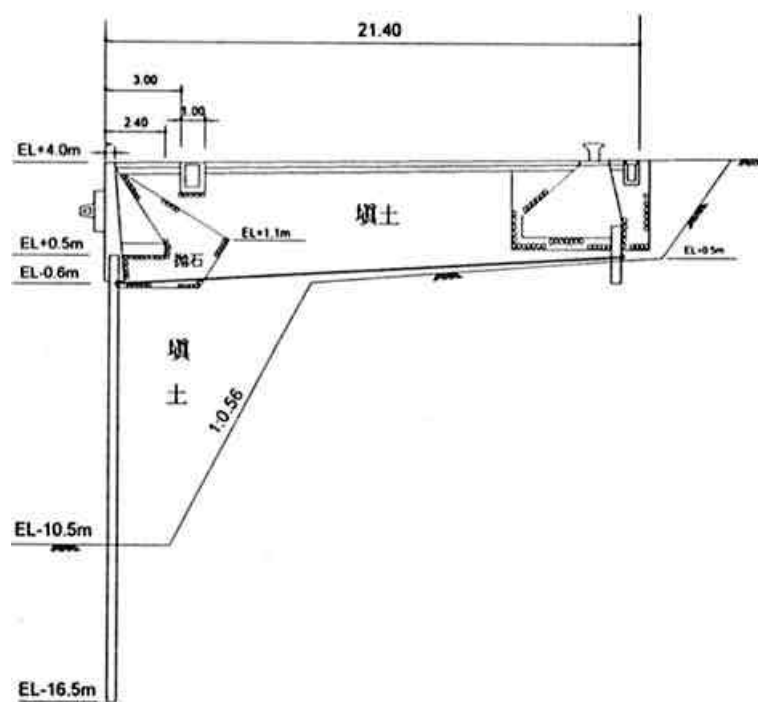


圖 30 八號碼頭結構斷面圖

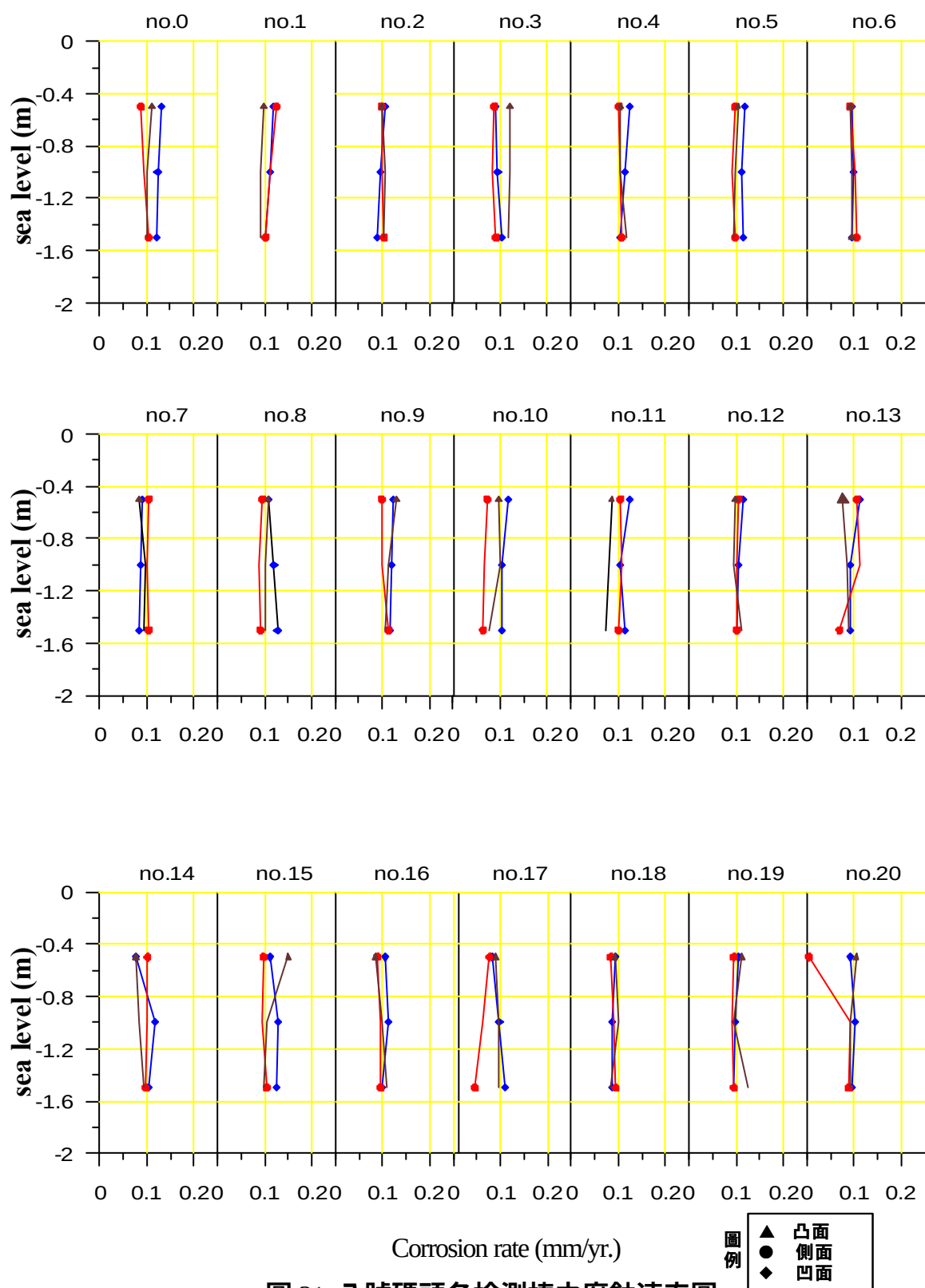
1.目視檢測

鋼板樁完全沒入水面下，表面附著許多海生物體，目視檢測並無發現有嚴重腐蝕、破洞或其它異常現象。

2.厚度量測

本碼頭每隔 10~15m 選取一支檢測樁，檢測高程為-0.5m、-1.0m、-1.5m 等三點，整座碼頭共有 22 支檢測樁，各檢測樁之檢測結果列於附錄或如圖 31 所示。圖 31 顯示，鋼板樁約有百分之五十其腐蝕速率超過 0.1mm/yr.，顯然比港區其它碼頭鋼板樁之腐蝕速率要高。腐蝕速率較大的部位在高程-0.5m 處，且有隨高程降低而降低之趨勢。表 7 為八號碼頭整體之平均腐蝕速率，鋼板樁三面之腐蝕速率大致相同，以凸面之腐蝕速率略高。圖 32 為八號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖。

民國 83 年港研所調查顯示，鋼板樁在低潮位線下 1.25m~1.75m 之腐蝕速率較高約為 0.1mm/yr.，與本次調查之結果大致相同，並無明顯差異。



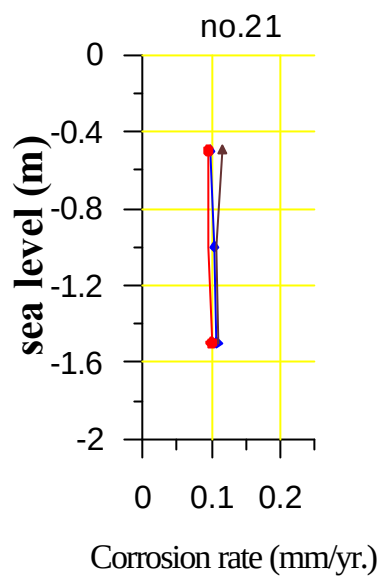


圖 31 八號碼頭各檢測樁之腐蝕速率圖(續)

表 7 八號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率

鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)				
碼 頭	位 置	高 程		
		-0.50m	-1.0m	-1.5m
八 號	凸面	0.11	0.11	0.10
	側面	0.09	0.09	0.10
	凹面	0.10	0.10	0.10

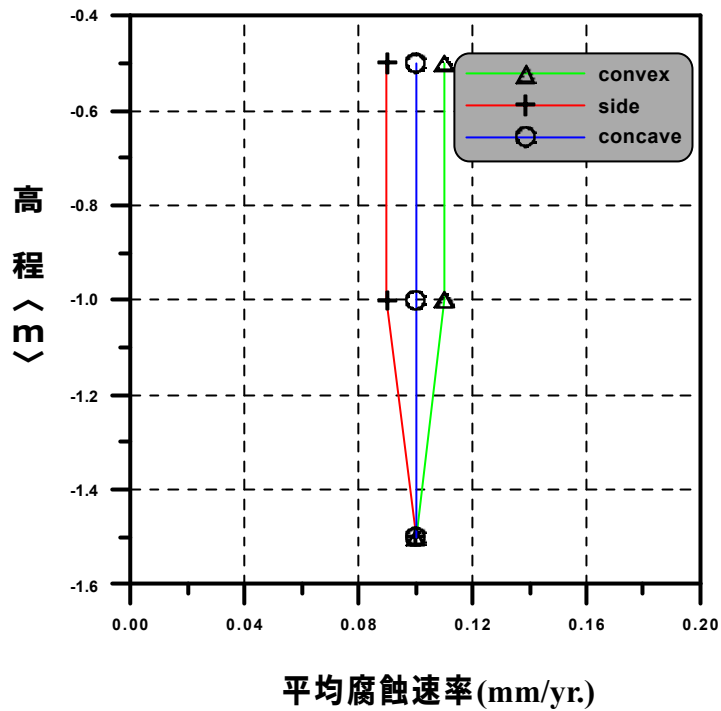


圖 32 八號碼頭高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖

4.3.6 九號碼頭

本碼頭民國 66 年完工，水深-9.5m，全長 51m，採用日本製 FSP VL U 型鋼板樁(厚度 24.3mm)。或許建造當時整批採購之 U 型鋼板樁數量不足，因此，碼頭有部份範圍之鋼板樁，可能夾雜使用其它碼頭剩餘之 Z 型鋼板樁建造。九號碼頭結構斷面如圖 33 所示，圖 34 為 U 型鋼板樁簡示圖。

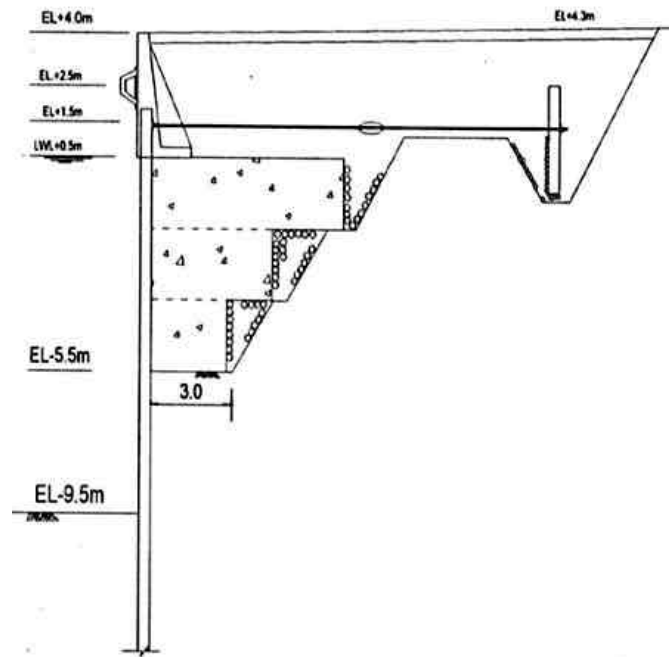


圖 33 九號碼頭結構斷面圖

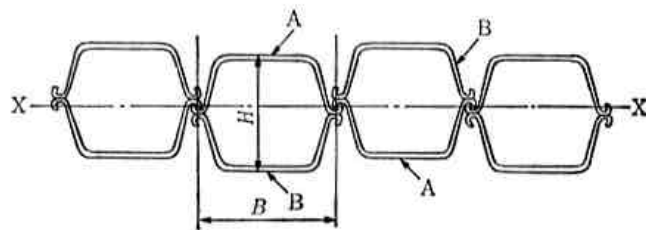


圖 34 U-型鋼板樁簡示圖

1.目視檢測

鋼板樁完全沒入水面下，碼頭水域海水清澈，鋼板樁表面附著許多海生物體，並無發現有嚴重腐蝕穿孔、破洞等情形或其它異常現象。

2.厚度量測

本碼頭每隔 10~15m 選取一支檢測樁，檢測高程為-0.5m、-1.0m、-1.5m 等三個，共有四支檢測樁。各檢測樁之厚度檢測結果列於附錄或如圖 35 所示。本碼頭建造時可能會夾雜使用其它型類之剩餘鋼板樁，由於相關資料無法確定，在分析腐蝕速率時確有困難。從檢測結果顯示，第 No. 0 及 No.1 之鋼板樁現有厚度約為 22~23mm 左右，如鋼板樁型號為日製 FSP VL U 型，則厚度約減少 1~2mm 左右，換算成腐蝕速率為 0.1mm/yr.。第 3 及 4 支(No.2 與 No.3)之鋼板樁，據潛水人員檢視及厚度量測數據顯示，應是屬於 Z 型鋼板樁，但是原始型號無法確定，因此無法精確計算腐蝕速率。如假設為 Belvol-Z 型時，則鋼板樁三面之腐蝕速率均超過 0.1mm/yr.(凸凹面約為 0.10~0.17mm/yr.)，腐蝕速率為第 No.0 及 No.1 樁之兩倍，腐蝕應屬於較為嚴重區，必需注意之。

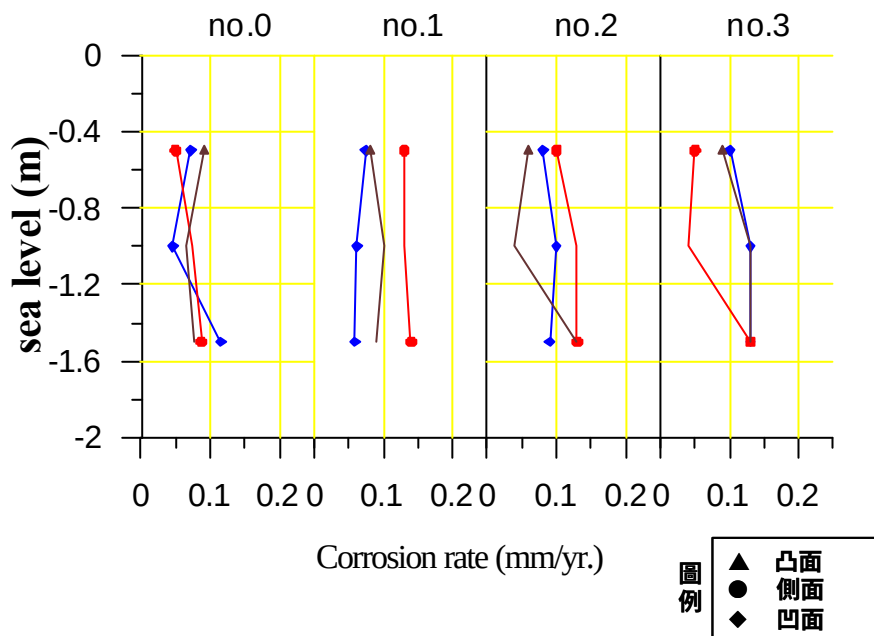


圖 35 九號碼頭鋼板樁腐蝕速率圖

4.3.7 航道

航道岸壁(西側)結構於民國 67 年完工，水深-9.5m，岸壁全長 527m，採用日本製 FSP VL U-型鋼板樁建造，原始厚度為 24.3 mm。圖 36 為航道岸壁結構斷面圖。

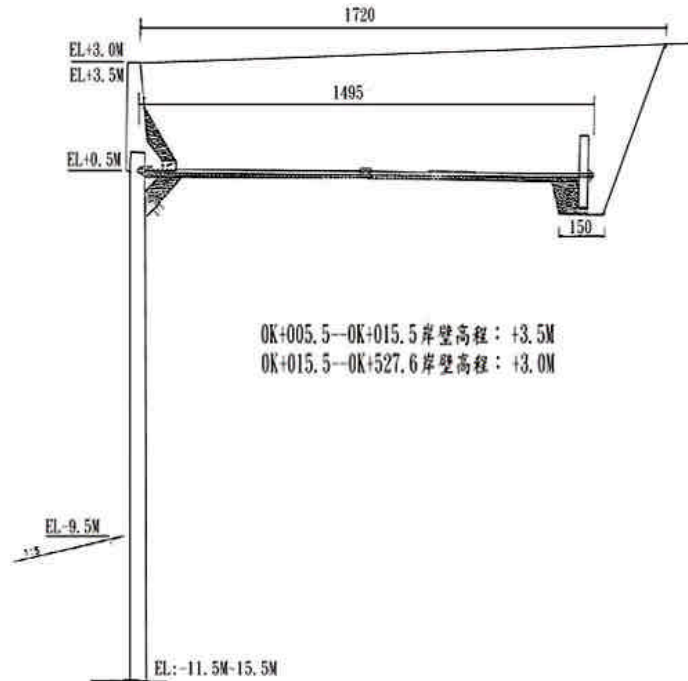


圖 36 航道岸壁結構斷面圖

1.目視檢測

本航道水域狹窄，為扼鎖船隻進出港區之重要水道，因此，航道結構之安全，影響港區營運甚巨。港研所於民國 84 年，對航道岸壁鋼板樁腐蝕現況調查時，於 0^k+28m 及 $0^k+230.5m$ 處，水深 1.2m 位置，曾發現各有一處破洞， 0^k+461m 處有一排水口。本次檢測時，特別對該位置及附近周圍之鋼板樁腐蝕現況，再加以詳細檢測了解。經潛水人員水下檢測，整座航道鋼板樁結構除上述地點之破(損)洞外，並無發現其它嚴重的腐蝕現象，鋼板樁依舊附著一層厚厚之海生物體。

2.厚度量測

民國 84 年港研所曾檢測之鋼板樁數計 108 支，檢測高程有 10 點，當時檢

測結果發現，有少數幾支測樁於高程 0~-2m 間，其腐蝕速率超過 0.20mm/yr.，整體鋼板樁結構之平均腐蝕速率約為 0.13mm/yr.，屬於腐蝕較為嚴重區。

本次航道檢測每隔 10~15m 選定一支測樁，需檢測 40 支樁，但實際上每一支測樁之前後鋼樁亦一併檢測，故總檢測樁達 120 支樁。檢測高程為-0.05m、-0.25m、-0.5m、-1.0m 等四點，各檢測樁檢測結果列於附錄或如圖 37 所示。整體而言，鋼板樁任一面之腐蝕差異不大，其平均腐蝕速率約為 0.05~0.06mm/yr.，如表 8 所示。圖 38 為航道高程與鋼板樁平均腐蝕速率之關係

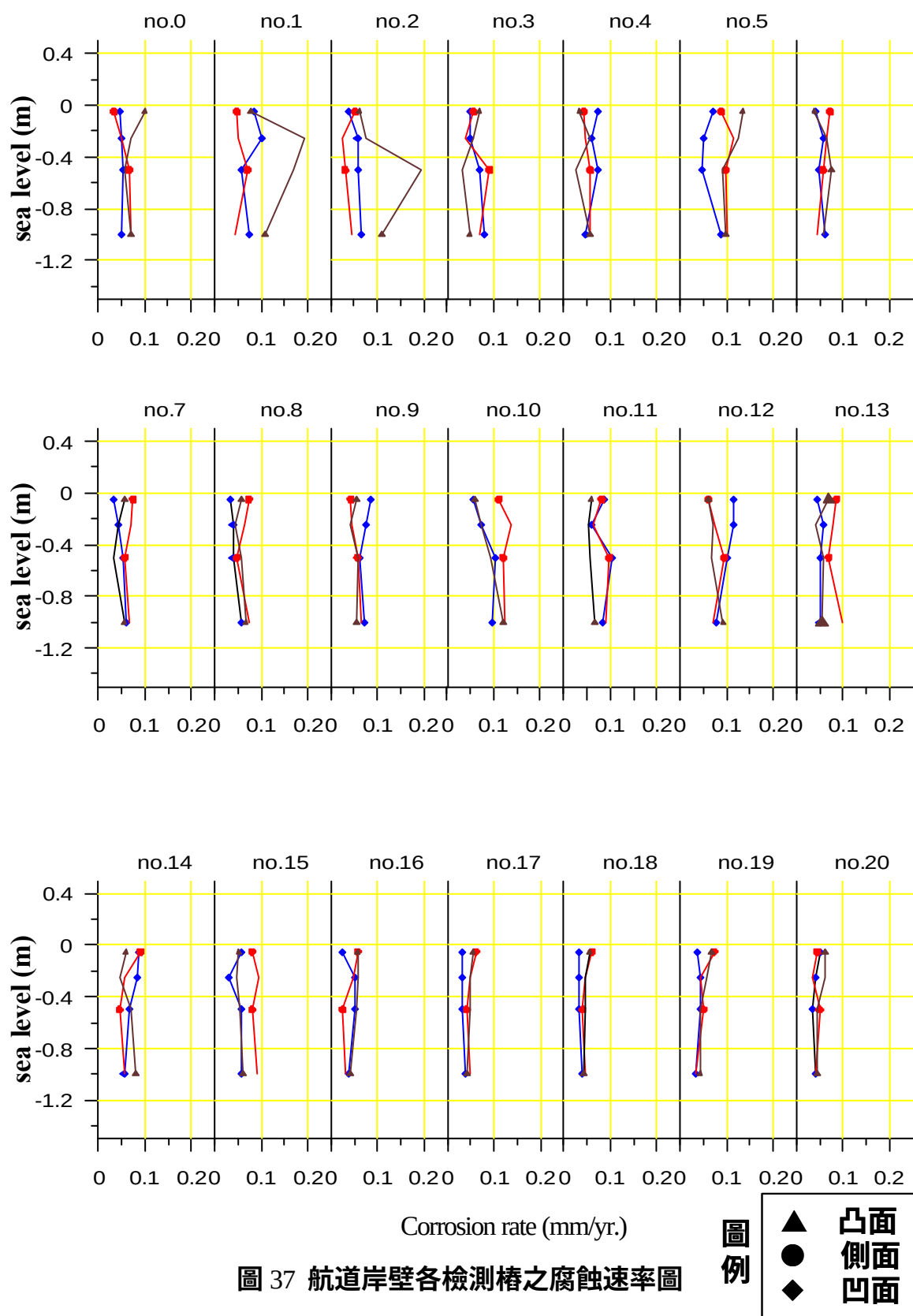


圖 37 航道岸壁各檢測樁之腐蝕速率圖

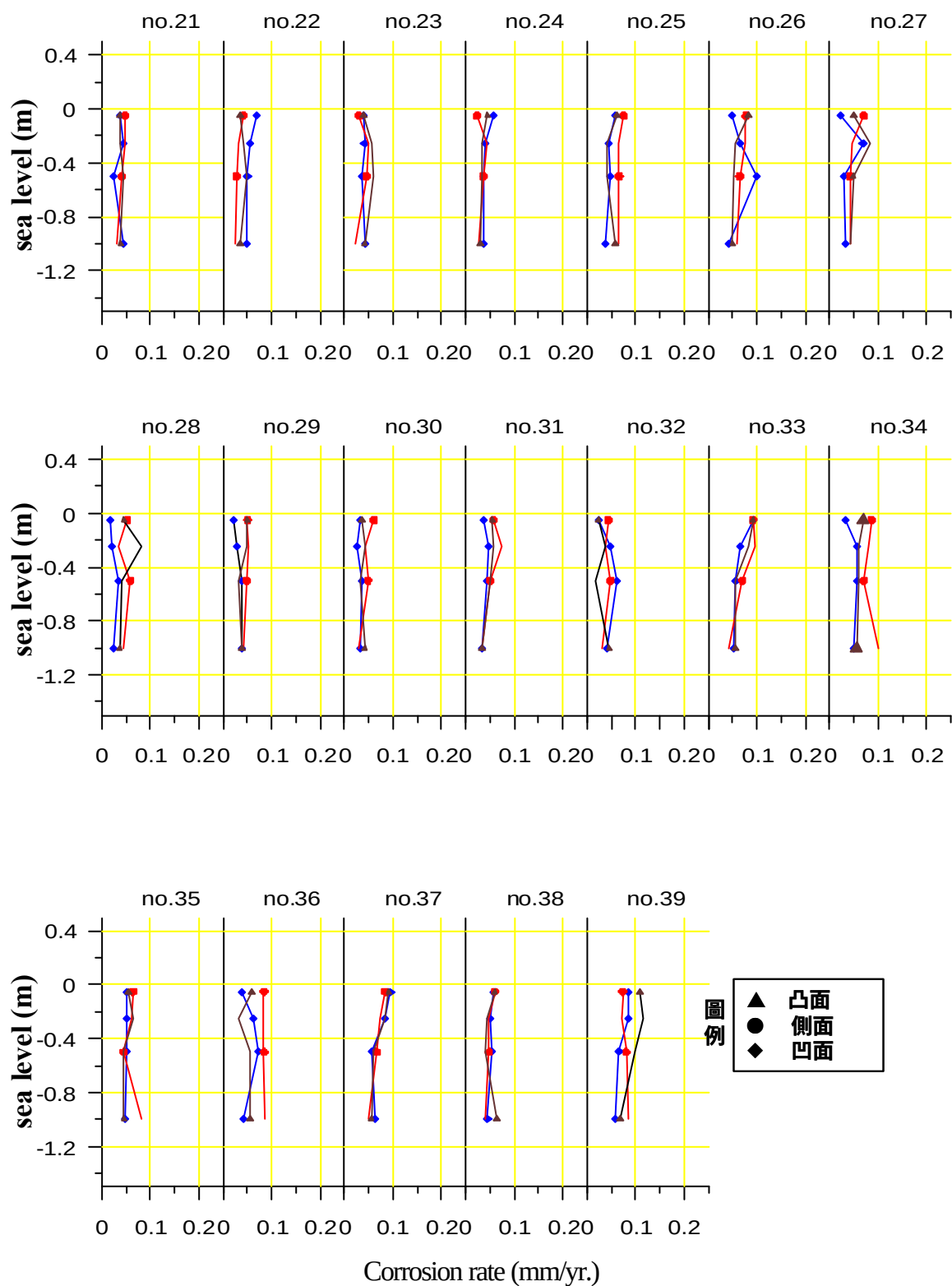


圖 37 航道岸壁各檢測樁之腐蝕速率圖(續)

表 8 航道岸壁鋼板樁平均腐蝕速率

鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)					
碼頭	位置	高 程			
		-0.05m	-0.25m	-0.5m	-1.0m
航 道	左	0.05	0.06	0.06	0.05
	中	0.06	0.06	0.06	0.06
	右	0.06	0.06	0.06	0.06

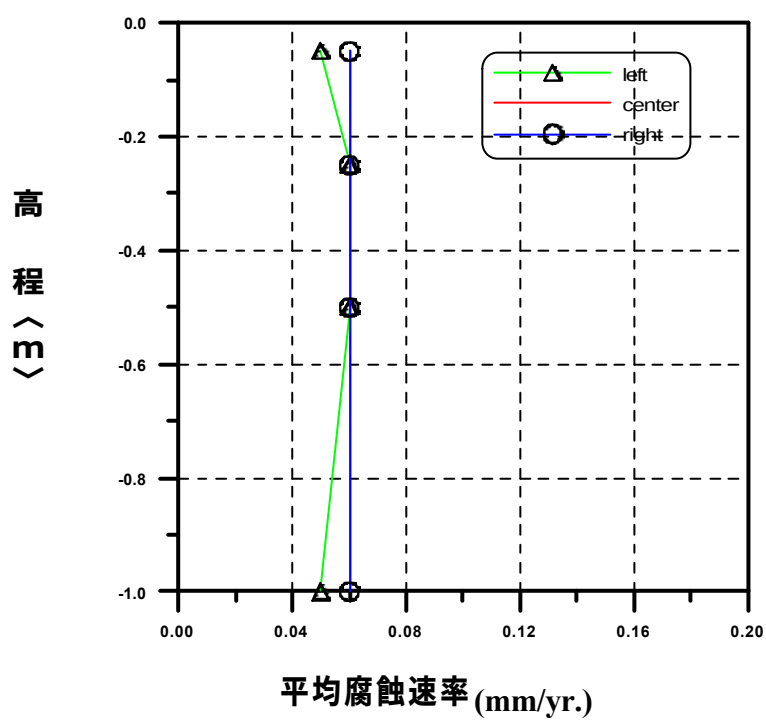


圖 38 航道高程與鋼板樁平均腐蝕速率圖

五、結論與建議

5.1 結 論

- 1.整港區鋼板樁碼頭自完工使用迄今，未作任何防蝕保護措施。
- 2.曝露大氣區之鋼板樁(四、五號碼頭)，過去曾做防蝕塗覆保護，每 3 年塗覆一次，但目前已損壞剝落，全區表面有明顯銹蝕斑點，腐蝕速率不大，約為 0.02~0.05mm/yr.，且鋼板樁表面有少量海生物附著於上。位於潮汐帶鋼板樁之腐蝕速率為 0.07mm/yr.，水下鋼板樁表面有許多海生物附著，對鋼材具腐蝕威脅，腐蝕速率小於 0.1mm/yr.。
- 3.除八號與九號外，其它碼頭之腐蝕現況與四、五號碼頭之情形大致相同，水面下之腐蝕速率均小於 0.1mm/yr.，無嚴重腐蝕之情形。
- 4.多數鋼板樁碼頭起用迄今已有三四十年之久，腐蝕速率大多在 0.1mm/yr. 以下，腐蝕速率雖未超過設計規範，但碼頭鋼板樁原設計年限為 20 年，如以腐蝕速率規範 0.2 mm/yr 計算，鋼板樁最大允許腐蝕厚度為 4.0 mm。本次調查顯示四、五、六號碼頭鋼板樁之厚度減少量約 2-3 mm、八號碼頭約 2.5-4.0 mm 不等，九號碼頭平均減少量約 2.0 mm、航道岸壁減少量大多為 1-2 mm，雖然均未超過允許腐蝕厚度但已相當接近，對鋼板樁結構之安全具嚴重威脅。
- 5.由於鋼板樁表面附著許多海生物體，目視檢測不易發現有腐蝕穿孔或破洞之情形。
- 6.限於經費，本次檢測僅以抽檢方式處理，且檢測之測點不多，無法全面了解鋼板樁縱深的腐蝕狀況，在評估腐蝕現況，資料略嫌不足。

5.2 建 議

- 1.鋼板樁碼頭未做防蝕保護，為確保碼頭結構物之安全與正常營運，應定期派員檢測腐蝕現況及進行維護工作。

- 2.應儘速委請專家學者就鋼板樁斷面結構現況、碼頭原有之設計條件(諸如基礎、地質、錨碇設施、碼頭面載重等)，進行詳細評估可繼續使用之年限，確保碼頭與航道安全。**
- 3.如結構評估為安全無慮且可繼續使用之年限亦達經濟效益時，為防範於未然，鋼板樁碼頭應考慮採取適當的防蝕措施。諸如四、五號碼頭於大氣帶之鋼板樁，應定期做塗覆保護措施，全港區水面下之鋼板樁應做陰極防蝕，以延長碼頭之使用年限與安全。**

參考文獻

- [1] 陳桂清等(1991)港灣鋼構造物耐久性研究第二年報告，港灣技術研究所，80研(十一)。
- [2] 陳桂清等(1993)港灣鋼構造物耐久性研究第四年報告，港灣技術研究所，82研(十二)。
- [3] 陳桂清等(1994)港灣鋼構造物耐久性研究第五年報告，港灣技術研究所，83研(十二)。
- [4] 陳桂清等(1993)基隆港碼頭鋼板樁檢測及其維護改善方案研究，港灣技術研究所專刊第 81 號。
- [5] 陳桂清等(1993)港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究，港灣技術研究所，80-研(九)。
- [6] 饒正等(1995)港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究，港灣技術研究所 84-研(五)
- [7] 饒正等(1996)港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究，港灣技術研究所 85-研(六)。
- [8] 侯保榮(1997)海洋腐蝕與防護，新科學出版社，北京。
- [9] **Handbook of Corrosion Protection for Steel Pile Structures in Marine Environments**(1981), 1st Ed., American Iron and Steel Institute, Washington, D.C., U.S.A..
- [10] Samuel A. Bradford(1993) **Corrosion Control**, , Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. p.97.

附 錄 一

(各碼頭檢測結果)

花蓮港四號碼頭鋼板樁厚度測定結果⁽¹⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.0	+3.3	14.20	8.20	14.20	1.00	2.00	1.00	0.03	0.05	0.03
	+1.8	14.35	8.35	14.40	0.85	1.85	0.80	0.02	0.05	0.02
	+0.7	11.60	7.30	11.25	3.60	2.90	3.95	0.09	0.07	0.10
	+0.2	12.05	7.45	11.45	3.15	2.75	3.75	0.08	0.07	0.10
	-0.5	11.75	7.20	11.65	3.45	3.00	3.55	0.09	0.08	0.09
NO.1	+3.3	14.25	8.15	14.35	0.95	2.05	0.85	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.55	8.35	14.40	0.65	1.85	0.80	0.02	0.05	0.02
	+0.7	11.85	7.40	12.30	3.35	2.80	2.90	0.09	0.07	0.07
	+0.2	12.85	7.40	12.10	2.35	2.80	3.10	0.06	0.07	0.08
	-0.5	12.25	7.35	12.65	2.95	2.85	2.55	0.08	0.07	0.07
NO.2	+3.3	14.45	8.30	14.05	0.75	1.90	1.15	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.20	7.70	14.30	1.00	2.50	0.90	0.03	0.06	0.02
	+0.7	12.70	7.20	12.90	2.50	3.00	2.30	0.06	0.08	0.06
	+0.2	11.85	7.45	12.70	3.35	2.75	2.50	0.09	0.07	0.06
	-0.5	12.05	7.40	12.75	3.15	2.80	2.45	0.08	0.07	0.06
NO.3	+3.3	14.50	7.95	14.75	0.70	2.25	0.45	0.02	0.06	0.01
	+1.8	14.50	8.00	14.25	0.70	2.20	0.95	0.02	0.06	0.02
	+0.7	12.30	7.90	11.85	2.90	2.30	3.35	0.07	0.06	0.09
	+0.2	12.15	8.15	13.15	3.05	2.05	2.05	0.08	0.05	0.05
	-0.5	12.20	8.65	12.05	3.00	1.55	3.15	0.08	0.04	0.08
NO.4	+3.3	14.45	8.10	14.30	0.75	2.10	0.90	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.45	8.15	14.20	0.75	2.05	1.00	0.02	0.05	0.03
	+0.7	12.05	7.55	12.25	3.15	2.65	2.95	0.08	0.07	0.08
	+0.2	12.05	7.35	12.60	3.15	2.85	2.60	0.08	0.07	0.07
	-0.5	12.00	7.05	12.30	3.20	3.15	2.90	0.08	0.08	0.07
NO.5	+3.3	14.40	7.65	14.65	0.80	2.55	0.55	0.02	0.07	0.01
	+1.8	13.95	7.80	14.05	1.25	2.40	1.15	0.03	0.06	0.03
	+0.7	12.45	7.35	12.20	2.75	2.85	3.00	0.07	0.07	0.08
	+0.2	12.70	7.80	12.60	2.50	2.40	2.60	0.06	0.06	0.07
	-0.5	12.95	8.70	14.60	2.25	1.50	0.60	0.06	0.04	0.02
NO.6	+3.3	14.40	8.35	14.15	0.80	1.85	1.05	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.35	8.40	13.90	0.85	1.80	1.30	0.02	0.05	0.03
	+0.7	11.15	8.00	12.10	4.05	2.20	3.10	0.10	0.06	0.08
	+0.2	12.25	7.70	11.40	2.95	2.50	3.80	0.08	0.06	0.10
	-0.5	12.30	7.75	12.90	2.90	2.45	2.30	0.07	0.06	0.06

註:1. 民國50年完工

2. 鋼板樁原始厚度; 15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港四號碼頭鋼板樁厚度測定結果(2)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.7	+3.3	14.60	8.20	14.55	0.60	2.00	0.65	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.35	8.35	14.50	0.85	1.85	0.70	0.02	0.05	0.02
	+0.7	10.40	7.55	10.45	4.80	2.65	4.75	0.12	0.07	0.12
	+0.2	12.25	7.55	12.25	2.95	2.65	2.95	0.08	0.07	0.08
	-0.5	12.50	7.75	13.25	2.70	2.45	1.95	0.07	0.06	0.05
NO.8	+3.3	14.55	8.55	14.60	0.65	1.65	0.60	0.02	0.04	0.02
	+1.8	14.25	8.60	14.30	0.95	1.60	0.90	0.02	0.04	0.02
	+0.7	11.15	7.10	11.80	4.05	3.10	3.40	0.10	0.08	0.09
	+0.2	12.90	8.10	11.20	2.30	2.10	4.00	0.06	0.05	0.10
	-0.5	13.05	7.25	12.30	2.15	2.95	2.90	0.06	0.08	0.07
NO.9	+3.3	14.25	8.45	14.15	0.95	1.75	1.05	0.02	0.04	0.03
	+1.8	14.40	8.20	14.55	0.80	2.00	0.65	0.02	0.05	0.02
	+0.7	12.10	7.05	11.80	3.10	3.15	3.40	0.08	0.08	0.09
	+0.2	7.90	7.55	12.10	7.30	2.65	3.10	0.19	0.07	0.08
	-0.5	7.75	7.75	12.95	7.45	2.45	2.25	0.19	0.06	0.06
NO.10	+3.3	14.45	8.20	14.35	0.75	2.00	0.85	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.40	8.35	14.45	0.80	1.85	0.75	0.02	0.05	0.02
	+0.7	11.35	7.65	11.60	3.85	2.55	3.60	0.10	0.07	0.09
	+0.2	11.95	7.55	11.65	3.25	2.65	3.55	0.08	0.07	0.09
	-0.5	12.15	7.45	11.40	3.05	2.75	3.80	0.08	0.07	0.10
NO.11	+3.3	14.45	7.90	14.40	0.75	2.30	0.80	0.02	0.06	0.02
	+1.8	14.55	8.30	14.40	0.65	1.90	0.80	0.02	0.05	0.02
	+0.7	11.50	7.60	13.00	3.70	2.60	2.20	0.09	0.07	0.06
	+0.2	12.10	7.55	12.50	3.10	2.65	2.70	0.08	0.07	0.07
	-0.5	13.05	7.85	10.75	2.15	2.35	4.45	0.06	0.06	0.11
NO.12	+3.3	14.40	8.10	14.35	0.80	2.10	0.85	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.40	8.45	14.75	0.80	1.75	0.45	0.02	0.04	0.01
	+0.7	12.05	7.05	13.55	3.15	3.15	1.65	0.08	0.08	0.04
	+0.2	12.40	7.45	12.25	2.80	2.75	2.95	0.07	0.07	0.08
	-0.5	12.10	7.50	12.70	3.10	2.70	2.50	0.08	0.07	0.06
NO.13	+3.3	14.10	7.55	14.55	1.10	2.65	0.65	0.03	0.07	0.02
	+1.8	14.55	7.90	14.40	0.65	2.30	0.80	0.02	0.06	0.02
	+0.7	12.20	7.55	12.40	3.00	2.65	2.80	0.08	0.07	0.07
	+0.2	12.55	7.45	12.35	2.65	2.75	2.85	0.07	0.07	0.07
	-0.5	12.55	7.30	12.60	2.65	2.90	2.60	0.07	0.07	0.07

註:1.民國50年完工

2.鋼板樁原始厚度: 15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港四號碼頭鋼板樁厚度測定結果(3)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.14	+3.3	14.70	8.10	14.75	0.50	2.10	0.45	0.01	0.05	0.01
	+1.8	14.45	8.60	14.45	0.75	1.60	0.75	0.02	0.04	0.02
	+0.7	12.00	7.65	12.05	3.20	2.55	3.15	0.08	0.07	0.08
	+0.2	12.05	7.40	11.95	3.15	2.80	3.25	0.08	0.07	0.08
	-0.5	12.10	7.35	11.85	3.10	2.85	3.35	0.08	0.07	0.09
NO.15	+3.3	14.75	8.00	14.40	0.45	2.20	0.80	0.01	0.06	0.02
	+1.8	14.60	8.05	14.35	0.60	2.15	0.85	0.02	0.06	0.02
	+0.7	11.90	7.55	12.45	3.30	2.65	2.75	0.08	0.07	0.07
	+0.2	12.05	7.50	12.45	3.15	2.70	2.75	0.08	0.07	0.07
	-0.5	11.75	7.50	12.60	3.45	2.70	2.60	0.09	0.07	0.07
NO.16	+3.3	14.40	8.20	14.20	0.80	2.00	1.00	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.50	8.20	14.55	0.70	2.00	0.65	0.02	0.05	0.02
	+0.7	11.35	7.20	12.25	3.85	3.00	2.95	0.10	0.08	0.08
	+0.2	12.75	7.65	12.15	2.45	2.55	3.05	0.06	0.07	0.08
	-0.5	12.25	7.25	12.65	2.95	2.95	2.55	0.08	0.08	0.07
NO.17	+3.3	14.45	8.40	14.60	0.75	1.80	0.60	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.30	8.15	14.00	0.90	2.05	1.20	0.02	0.05	0.03
	+0.7	12.80	7.20	12.85	2.40	3.00	2.35	0.06	0.08	0.06
	+0.2	11.85	7.35	12.50	3.35	2.85	2.70	0.09	0.07	0.07
	-0.5	11.95	7.25	12.95	3.25	2.95	2.25	0.08	0.08	0.06
NO.18	+3.3	14.15	8.55	14.75	1.05	1.65	0.45	0.03	0.04	0.01
	+1.8	14.70	8.50	14.50	0.50	1.70	0.70	0.01	0.04	0.02
	+0.7	12.15	7.25	12.55	3.05	2.95	2.65	0.08	0.08	0.07
	+0.2	11.90	7.20	12.40	3.30	3.00	2.80	0.08	0.08	0.07
	-0.5	12.60	7.25	12.40	2.60	2.95	2.80	0.07	0.08	0.07
NO.19	+3.3	14.60	8.45	14.65	0.60	1.75	0.55	0.02	0.04	0.01
	+1.8	14.35	8.80	14.20	0.85	1.40	1.00	0.02	0.04	0.03
	+0.7	12.55	7.50	12.65	2.65	2.70	2.55	0.07	0.07	0.07
	+0.2	12.60	7.65	12.30	2.60	2.55	2.90	0.07	0.07	0.07
	-0.5	12.75	8.05	12.65	2.45	2.15	2.55	0.06	0.06	0.07
NO.20	+3.3	14.75	8.30	14.60	0.45	1.90	0.60	0.01	0.05	0.02
	+1.8	14.15	8.55	14.65	1.05	1.65	0.55	0.03	0.04	0.01
	+0.7	12.15	7.20	12.75	3.05	3.00	2.45	0.08	0.08	0.06
	+0.2	12.65	7.45	13.15	2.55	2.75	2.05	0.07	0.07	0.05
	-0.5	12.70	7.75	14.30	2.50	2.45	0.90	0.06	0.06	0.02

註:1.民國50年完工

2.鋼板樁原始厚度; 15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港五號碼頭鋼板樁厚度測定結果⁽¹⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.0	+3.3	14.75	8.45	14.30	0.45	1.75	0.90	0.01	0.04	0.02
	+1.8	14.85	8.05	14.70	0.35	2.15	0.50	0.01	0.06	0.01
	+0.7	12.05	8.05	12.50	3.15	2.15	2.70	0.08	0.06	0.07
	+0.2	13.70	7.70	12.35	1.50	2.50	2.85	0.04	0.06	0.07
	-0.5	12.35	8.05	12.40	2.85	2.15	2.80	0.07	0.06	0.07
NO.1	+3.3	14.60	8.05	14.60	0.60	2.15	0.60	0.02	0.06	0.02
	+1.8	14.25	8.45	14.75	0.95	1.75	0.45	0.02	0.04	0.01
	+0.7	12.15	6.30	12.05	3.05	3.90	3.15	0.08	0.10	0.08
	+0.2	11.60	6.95	12.15	3.60	3.25	3.05	0.09	0.08	0.08
	-0.5	11.95	7.15	12.20	3.25	3.05	3.00	0.08	0.08	0.08
NO.2	+3.3	14.15	8.25	14.25	1.05	1.95	0.95	0.03	0.05	0.02
	+1.8	14.25	8.45	14.75	0.95	1.75	0.45	0.02	0.04	0.01
	+0.7	12.40	7.45	12.65	2.80	2.75	2.55	0.07	0.07	0.07
	+0.2	12.20	7.65	12.35	3.00	2.55	2.85	0.08	0.07	0.07
	-0.5	12.50	7.35	12.25	2.70	2.85	2.95	0.07	0.07	0.08
NO.3	+3.3	14.45	8.05	14.50	0.75	2.15	0.70	0.02	0.06	0.02
	+1.8	14.70	8.10	14.25	0.50	2.10	0.95	0.01	0.05	0.02
	+0.7	12.20	7.80	12.35	3.00	2.40	2.85	0.08	0.06	0.07
	+0.2	12.20	7.60	12.25	3.00	2.60	2.95	0.08	0.07	0.08
	-0.5	12.45	7.45	12.20	2.75	2.75	3.00	0.07	0.07	0.08
NO.4	+3.3	14.00	8.00	14.55	1.20	2.20	0.65	0.03	0.06	0.02
	+1.8	14.05	8.45	14.80	1.15	1.75	0.40	0.03	0.04	0.01
	+0.7	13.10	7.55	11.95	2.10	2.65	3.25	0.05	0.07	0.08
	+0.2	12.45	7.60	11.90	2.75	2.60	3.30	0.07	0.07	0.08
	-0.5	12.95	7.25	11.65	2.25	2.95	3.55	0.06	0.08	0.09
NO.5	+3.3	14.25	8.65	14.20	0.95	1.55	1.00	0.02	0.04	0.03
	+1.8	14.40	8.65	14.95	0.80	1.55	0.25	0.02	0.04	0.01
	+0.7	12.65	7.25	12.10	2.55	2.95	3.10	0.07	0.08	0.08
	+0.2	12.85	7.30	11.85	2.35	2.90	3.35	0.06	0.07	0.09
	-0.5	12.55	7.50	12.20	2.65	2.70	3.00	0.07	0.07	0.08
NO.6	+3.3	14.65	8.55	14.45	0.55	1.65	0.75	0.01	0.04	0.02
	+1.8	14.85	8.80	14.75	0.35	1.40	0.45	0.01	0.04	0.01
	+0.7	12.40	7.35	12.40	2.80	2.85	2.80	0.07	0.07	0.07
	+0.2	12.25	7.50	12.55	2.95	2.70	2.65	0.08	0.07	0.07
	-0.5	12.50	7.55	12.45	2.70	2.65	2.75	0.07	0.07	0.07

註:1. 民國50年完工

2. 鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸凹面),10.20mm(側面)

花蓮港五號碼頭鋼板樁厚度測定結果(2)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.7	+3.3	14.60	8.05	14.20	0.60	2.15	1.00	0.02	0.06	0.03
	+1.8	14.40	8.50	14.35	0.80	1.70	0.85	0.02	0.04	0.02
	+0.7	12.30	7.90	12.30	2.90	2.30	2.90	0.07	0.06	0.07
	+0.2	12.55	7.80	11.95	2.65	2.40	3.25	0.07	0.06	0.08
	-0.5	12.65	7.65	11.95	2.55	2.55	3.25	0.07	0.07	0.08
NO.8	+3.3	14.20	8.35	14.75	1.00	1.85	0.45	0.03	0.05	0.01
	+1.8	14.55	8.35	14.35	0.65	1.85	0.85	0.02	0.05	0.02
	+0.7	12.35	7.55	12.10	2.85	2.65	3.10	0.07	0.07	0.08
	+0.2	12.40	7.60	12.60	2.80	2.60	2.60	0.07	0.07	0.07
	-0.5	12.45	7.60	12.35	2.75	2.60	2.85	0.07	0.07	0.07
NO.9	+3.3	14.95	8.15	14.35	0.25	2.05	0.85	0.01	0.05	0.02
	+1.8	14.65	8.60	14.45	0.55	1.60	0.75	0.01	0.04	0.02
	+0.7	12.30	7.40	12.05	2.90	2.80	3.15	0.07	0.07	0.08
	+0.2	12.60	7.30	12.15	2.60	2.90	3.05	0.07	0.07	0.08
	-0.5	12.25	7.45	12.45	2.95	2.75	2.75	0.08	0.07	0.07
NO.10	+3.3	14.65	8.35	14.45	0.55	1.85	0.75	0.01	0.05	0.02
	+1.8	14.85	8.75	14.65	0.35	1.45	0.55	0.01	0.04	0.01
	+0.7	12.05	7.55	12.40	3.15	2.65	2.80	0.08	0.07	0.07
	+0.2	12.30	7.70	12.45	2.90	2.50	2.75	0.07	0.06	0.07
	-0.5	12.40	7.45	11.95	2.80	2.75	3.25	0.07	0.07	0.08
NO.11	+3.3	14.50	8.20	14.30	0.70	2.00	0.90	0.02	0.05	0.02
	+1.8	14.50	8.65	14.35	0.70	1.55	0.85	0.02	0.04	0.02
	+0.7	12.50	8.00	12.25	2.70	2.20	2.95	0.07	0.06	0.08
	+0.2	12.30	7.55	12.60	2.90	2.65	2.60	0.07	0.07	0.07
	-0.5	12.05	7.65	12.55	3.15	2.55	2.65	0.08	0.07	0.07
NO.12	+3.3	14.60	8.55	14.30	0.60	1.65	0.90	0.02	0.04	0.02
	+1.8	14.55	8.75	14.35	0.65	1.45	0.85	0.02	0.04	0.02
	+0.7	12.30	7.60	12.10	2.90	2.60	3.10	0.07	0.07	0.08
	+0.2	12.15	7.50	12.20	3.05	2.70	3.00	0.08	0.07	0.08
	-0.5	12.25	7.10	12.55	2.95	3.10	2.65	0.08	0.08	0.07
NO.13	+3.3	14.40	8.35	14.15	0.80	1.85	1.05	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.35	8.40	13.90	0.85	1.80	1.30	0.02	0.05	0.03
	+0.7	11.15	8.00	12.10	4.05	2.20	3.10	0.10	0.06	0.08
	+0.2	12.25	7.70	11.40	2.95	2.50	3.80	0.08	0.06	0.10
	-0.5	12.30	7.75	12.90	2.90	2.45	2.30	0.07	0.06	0.06

註:1.民國50年完工

2.鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸、凹面), 0.20mm(側面)

花蓮港五號碼頭鋼板樁厚度測定結果(3)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.14	+3.3	14.30	8.15	14.20	0.90	2.05	1.00	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.35	8.00	14.25	0.85	2.20	0.95	0.02	0.06	0.02
	+0.7	12.45	7.55	12.60	2.75	2.65	2.60	0.07	0.07	0.07
	+0.2	12.15	7.15	11.95	3.05	3.05	3.25	0.08	0.08	0.08
	-0.5	12.05	7.55	12.45	3.15	2.65	2.75	0.08	0.07	0.07
NO.15	+3.3	14.30	8.00	14.25	0.90	2.20	0.95	0.02	0.06	0.02
	+1.8	12.80	8.00	14.50	2.40	2.20	0.70	0.06	0.06	0.02
	+0.7	12.10	7.30	12.30	3.10	2.90	2.90	0.08	0.07	0.07
	+0.2	11.95	8.00	13.00	3.25	2.20	2.20	0.08	0.06	0.06
	-0.5	12.00	7.60	12.95	3.20	2.60	2.25	0.08	0.07	0.06
NO.16	+3.3	14.65	8.10	14.50	0.55	2.10	0.70	0.01	0.05	0.02
	+1.8	14.50	8.45	14.35	0.70	1.75	0.85	0.02	0.04	0.02
	+0.7	12.20	7.85	12.00	3.00	2.35	3.20	0.08	0.06	0.08
	+0.2	12.30	7.55	12.15	2.90	2.65	3.05	0.07	0.07	0.08
	-0.5	12.35	7.55	12.45	2.85	2.65	2.75	0.07	0.07	0.07
NO.17	+3.3	14.30	7.50	14.30	0.90	2.70	0.90	0.02	0.07	0.02
	+1.8	14.20	7.50	14.35	1.00	2.70	0.85	0.03	0.07	0.02
	+0.7	11.95	7.05	12.35	3.25	3.15	2.85	0.08	0.08	0.07
	+0.2	12.55	7.30	12.20	2.65	2.90	3.00	0.07	0.07	0.08
	-0.5	12.95	7.45	11.85	2.25	2.75	3.35	0.06	0.07	0.09
NO.18	+3.3	14.00	7.95	14.00	1.20	2.25	1.20	0.03	0.06	0.03
	+1.8	14.15	8.05	14.00	1.05	2.15	1.20	0.03	0.06	0.03
	+0.7	13.15	7.25	11.95	2.05	2.95	3.25	0.05	0.08	0.08
	+0.2	11.85	7.30	12.05	3.35	2.90	3.15	0.09	0.07	0.08
	-0.5	12.25	7.25	11.75	2.95	2.95	3.45	0.08	0.08	0.09
NO.19	+3.3	14.65	8.15	14.15	0.55	2.05	1.05	0.01	0.05	0.03
	+1.8	14.85	8.30	14.25	0.35	1.90	0.95	0.01	0.05	0.02
	+0.7	12.35	7.45	13.00	2.85	2.75	2.20	0.07	0.07	0.06
	+0.2	12.30	7.45	12.35	2.90	2.75	2.85	0.07	0.07	0.07
	-0.5	12.15	7.45	12.50	3.05	2.75	2.70	0.08	0.07	0.07
NO.20	+3.3	14.35	8.15	14.15	0.85	2.05	1.05	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.30	8.40	14.35	0.90	1.80	0.85	0.02	0.05	0.02
	+0.7	12.30	7.40	12.30	2.90	2.80	2.90	0.07	0.07	0.07
	+0.2	12.80	7.45	12.10	2.40	2.75	3.10	0.06	0.07	0.08
	-0.5	13.35	7.20	12.20	1.85	3.00	3.00	0.05	0.08	0.08

註:1.民國50年完工

2.鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港五號碼頭鋼板樁厚度測定結果(4)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.21	+3.3	14.60	8.05	14.60	0.60	2.15	0.60	0.02	0.06	0.02
	+1.8	14.65	8.25	14.25	0.55	1.95	0.95	0.01	0.05	0.02
	+0.7	12.25	7.85	12.30	2.95	2.35	2.90	0.08	0.06	0.07
	+0.2	12.55	7.60	12.35	2.65	2.60	2.85	0.07	0.07	0.07
	-0.50	12.55	7.25	12.30	2.65	2.95	2.90	0.07	0.08	0.07
NO.22	+3.3	14.60	8.35	14.05	0.60	1.85	1.15	0.02	0.05	0.03
	+1.8	14.45	7.70	14.55	0.75	2.50	0.65	0.02	0.06	0.02
	+0.7	12.50	7.55	12.45	2.70	2.65	2.75	0.07	0.07	0.07
	+0.2	12.35	7.30	12.10	2.85	2.90	3.10	0.07	0.07	0.08
	-0.50	12.20	7.25	12.10	3.00	2.95	3.10	0.08	0.08	0.08

註:1.民國50年完工

2.鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港六號碼頭鋼板樁厚度測定結果⁽¹⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.0	-0.50	12.45	7.15	11.90	0.55	2.45	1.10	0.02	0.08	0.04
	-1.00	13.15	7.20	12.90	-0.15	2.40	0.10	-0.01	0.08	0.00
	-1.50	13.05	7.20	11.90	-0.05	2.40	1.10	0.00	0.08	0.04
NO.1	-0.50	11.15	8.80	12.20	1.85	0.80	0.80	0.06	0.03	0.03
	-1.00	11.35	9.05	12.30	1.65	0.55	0.70	0.06	0.02	0.02
	-1.50	11.35	9.10	12.40	1.65	0.50	0.60	0.06	0.02	0.02
NO.2	-0.50	11.95	7.45	11.55	1.05	2.15	1.45	0.04	0.07	0.05
	-1.00	11.70	8.05	11.65	1.30	1.55	1.35	0.04	0.05	0.05
	-1.50	11.70	8.15	12.45	1.30	1.45	0.55	0.04	0.05	0.02
NO.3	-0.50	11.45	7.25	11.95	1.55	2.35	1.05	0.05	0.08	0.04
	-1.00	11.55	6.75	11.70	1.45	2.85	1.30	0.05	0.10	0.04
	-1.50	11.75	8.25	11.35	1.25	1.35	1.65	0.04	0.05	0.06
NO.4	-0.50	10.85	7.45	12.20	2.15	2.15	0.80	0.07	0.07	0.03
	-1.00	10.80	7.95	12.55	2.20	1.65	0.45	0.08	0.06	0.02
	-1.50	11.25	7.30	12.65	1.75	2.30	0.35	0.06	0.08	0.01
NO.5	-0.50	11.05	7.35	10.95	1.95	2.25	2.05	0.07	0.08	0.07
	-1.00	11.25	7.00	10.95	1.75	2.60	2.05	0.06	0.09	0.07
	-1.50	11.35	7.15	11.35	1.65	2.45	1.65	0.06	0.08	0.06
NO.6	-0.50	10.65	6.40	10.30	2.35	3.20	2.70	0.08	0.11	0.09
	-1.00	11.10	7.55	10.55	1.90	2.05	2.45	0.07	0.07	0.08
	-1.50	10.55	6.45	10.95	2.45	3.15	2.05	0.08	0.11	0.07

註:1. 民國60年完工

2. 鋼板樁原始厚度: 13.0mm(凸、凹面), 9.6mm(側面)

花蓮港六號碼頭鋼板樁厚度測定結果(2)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.7	-0.50	11.15	6.75	10.70	1.85	2.85	2.30	0.06	0.10	0.08
	-1.00	11.40	6.95	10.90	1.60	2.65	2.10	0.06	0.09	0.07
	-1.50	11.20	6.60	11.05	1.80	3.00	1.95	0.06	0.10	0.07
NO.8	-0.50	11.55	6.95	11.25	1.45	2.65	1.75	0.05	0.09	0.06
	-1.00	11.65	6.65	11.30	1.35	2.95	1.70	0.05	0.10	0.06
	-1.50	11.35	6.65	10.95	1.65	2.95	2.05	0.06	0.10	0.07
NO.9	-0.50	11.45	6.60	11.25	1.55	3.00	1.75	0.05	0.10	0.06
	-1.00	11.10	7.05	11.15	1.90	2.55	1.85	0.07	0.09	0.06
	-1.50	10.70	6.90	11.25	2.30	2.70	1.75	0.08	0.09	0.06
NO.10	-0.50	9.85	7.50	10.20	3.15	2.10	2.80	0.11	0.07	0.10
	-1.00	10.30	7.70	10.10	2.70	1.90	2.90	0.09	0.07	0.10
	-1.50	10.85	7.75	10.75	2.15	1.85	2.25	0.07	0.06	0.08
NO.11	-0.50	11.05	7.25	11.65	1.95	2.35	1.35	0.07	0.08	0.05
	-1.00	10.85	7.35	11.95	2.15	2.25	1.05	0.07	0.08	0.04
	-1.50	11.35	7.30	12.05	1.65	2.30	0.95	0.06	0.08	0.03
NO.12	-0.50	9.55	7.05	10.10	3.45	2.55	2.90	0.12	0.09	0.10
	-1.00	10.50	7.30	10.40	2.50	2.30	2.60	0.09	0.08	0.09
	-1.50	10.80	7.40	11.00	2.20	2.20	2.00	0.08	0.08	0.07
NO.13	-0.50	11.25	7.45	11.95	1.75	2.15	1.05	0.06	0.07	0.04
	-1.00	11.40	7.25	11.45	1.60	2.35	1.55	0.06	0.08	0.05
	-1.50	11.25	7.25	12.30	1.75	2.35	0.70	0.06	0.08	0.02

註:1.民國60年完工

2.鋼板樁原始厚度; 13.0mm(凸、凹面), 9.6mm(側面)

花蓮港六號碼頭鋼板樁厚度測定結果⁽³⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.14	-0.50	10.90	7.45	12.85	2.10	2.15	0.15	0.07	0.07	0.01
	-1.00	10.45	8.20	12.85	2.55	1.40	0.15	0.09	0.05	0.01
	-1.50	11.35	7.70	12.60	1.65	1.90	0.40	0.06	0.07	0.01
NO.15	-0.50	10.75	7.45	12.40	2.25	2.15	0.60	0.08	0.07	0.02
	-1.00	11.15	7.85	11.55	1.85	1.75	1.45	0.06	0.06	0.05
	-1.50	11.45	7.65	11.35	1.55	1.95	1.65	0.05	0.07	0.06

註:1. 民國60年完工

2. 鋼板樁原始厚度; 13.0mm(凸、凹面), 9.6mm(側面)

花蓮港七號碼頭鋼板樁厚度測定結果

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.0	-0.50	12.20	7.65	12.50	0.80	1.95	0.50	0.03	0.07	0.02
	-1.00	11.95	7.55	12.70	1.05	2.05	0.30	0.04	0.07	0.01
	-1.50	12.40	6.95	12.50	0.60	2.65	0.50	0.02	0.09	0.02

註:1. 民國60年完工

2. 鋼板樁原始厚度: 13.0mm(凸、凹面), 9.6mm(側面)

花蓮港八號碼頭鋼板樁厚度測定結果(1)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.0	-0.50	11.55	7.75	12.10	3.65	2.45	3.10	0.13	0.09	0.11
	-1.00	11.75	7.55	12.40	3.45	2.65	2.80	0.12	0.09	0.10
	-1.50	11.85	7.30	12.35	3.35	2.90	2.85	0.12	0.10	0.10
NO.1	-0.50	11.90	6.70	12.45	3.30	3.50	2.75	0.12	0.13	0.10
	-1.00	12.05	7.05	12.65	3.15	3.15	2.55	0.11	0.11	0.09
	-1.50	12.35	7.35	12.65	2.85	2.85	2.55	0.10	0.10	0.09
NO.2	-0.50	12.25	7.45	12.45	2.95	2.75	2.75	0.11	0.10	0.10
	-1.00	12.55	7.40	12.20	2.65	2.80	3.00	0.09	0.10	0.11
	-1.50	12.75	7.30	12.30	2.45	2.90	2.90	0.09	0.10	0.10
NO.3	-0.50	12.70	7.75	11.85	2.50	2.45	3.35	0.09	0.09	0.12
	-1.00	12.55	7.90	11.80	2.65	2.30	3.40	0.09	0.08	0.12
	-1.50	12.35	7.65	11.95	2.85	2.55	3.25	0.10	0.09	0.12
NO.4	-0.50	11.75	7.35	12.25	3.45	2.85	2.95	0.12	0.10	0.11
	-1.00	12.00	7.30	12.25	3.20	2.90	2.95	0.11	0.10	0.11
	-1.50	12.30	7.20	11.90	2.90	3.00	3.30	0.10	0.11	0.12
NO.5	-0.50	11.85	7.45	12.30	3.35	2.75	2.90	0.12	0.10	0.10
	-1.00	12.10	7.65	12.45	3.10	2.55	2.75	0.11	0.09	0.10
	-1.50	12.00	7.45	12.50	3.20	2.75	2.70	0.11	0.10	0.10
NO.6	-0.50	12.50	7.65	12.60	2.70	2.55	2.60	0.10	0.09	0.09
	-1.00	12.45	7.35	12.55	2.75	2.85	2.65	0.10	0.10	0.09
	-1.50	12.55	7.25	12.55	2.65	2.95	2.65	0.09	0.11	0.09

註:1.民國61年完工

2.鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港八號碼頭鋼板樁厚度測定結果(2)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.7	-0.50	12.65	7.30	12.85	2.55	2.90	2.35	0.09	0.10	0.08
	-1.00	12.75	7.35	12.45	2.45	2.85	2.75	0.09	0.10	0.10
	-1.50	12.85	7.30	12.55	2.35	2.90	2.65	0.08	0.10	0.09
NO.8	-0.50	12.15	7.55	12.20	3.05	2.65	3.00	0.11	0.09	0.11
	-1.00	11.85	7.70	12.40	3.35	2.50	2.80	0.12	0.09	0.10
	-1.50	11.65	7.65	12.35	3.55	2.55	2.85	0.13	0.09	0.10
NO.9	-0.50	11.75	7.45	11.60	3.45	2.75	3.60	0.12	0.10	0.13
	-1.00	11.80	7.45	12.05	3.40	2.75	3.15	0.12	0.10	0.11
	-1.50	11.95	7.05	12.20	3.25	3.15	3.00	0.12	0.11	0.11
NO.10	-0.50	11.95	7.65	12.60	3.25	2.55	2.60	0.12	0.09	0.09
	-1.00	12.30	7.65	12.15	2.90	2.55	3.05	0.10	0.09	0.11
	-1.50	12.30	7.50	12.30	2.90	2.70	2.90	0.10	0.10	0.10
NO.11	-0.50	11.75	7.25	12.80	3.45	2.95	2.40	0.12	0.11	0.09
	-1.00	12.25	7.15	12.95	2.95	3.05	2.25	0.11	0.11	0.08
	-1.50	12.05	7.40	13.10	3.15	2.80	2.10	0.11	0.10	0.08
NO.12	-0.50	11.95	7.25	12.45	3.25	2.95	2.75	0.12	0.11	0.10
	-1.00	12.25	7.35	12.55	2.95	2.85	2.65	0.11	0.10	0.09
	-1.50	12.35	7.35	12.05	2.85	2.85	3.15	0.10	0.10	0.11
NO.13	-0.50	12.10	7.20	13.05	3.10	3.00	2.15	0.11	0.11	0.08
	-1.00	12.60	7.10	12.80	2.60	3.10	2.40	0.09	0.11	0.09
	-1.50	12.60	8.25	12.70	2.60	1.95	2.50	0.09	0.07	0.09

註:1.民國61年完工
厚度:15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港八號碼頭鋼板樁厚度測定結果(3)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.14	-0.50	13.05	7.35	13.05	2.15	2.85	2.15	0.08	0.10	0.08
	-1.00	11.90	7.35	12.85	3.30	2.85	2.35	0.12	0.10	0.08
	-1.50	12.25	7.45	12.55	2.95	2.75	2.65	0.11	0.10	0.09
NO.15	-0.50	12.05	7.45	11.00	3.15	2.75	4.20	0.11	0.10	0.15
	-1.00	11.55	7.55	12.30	3.65	2.65	2.90	0.13	0.09	0.10
	-1.50	11.70	7.30	12.45	3.50	2.90	2.75	0.13	0.10	0.10
NO.16	-0.50	12.20	7.70	12.05	3.00	2.50	3.15	0.11	0.09	0.11
	-1.00	12.10	7.55	12.40	3.10	2.65	2.80	0.11	0.09	0.10
	-1.50	12.45	7.50	12.45	2.75	2.70	2.75	0.10	0.10	0.10
NO.17	-0.50	12.85	8.05	12.65	2.35	2.15	2.55	0.08	0.08	0.09
	-1.00	12.45	8.40	12.45	2.75	1.80	2.75	0.10	0.06	0.10
	-1.50	12.15	8.90	12.55	3.05	1.30	2.65	0.11	0.05	0.09
NO.18	-0.50	12.55	7.85	12.60	2.65	2.35	2.60	0.09	0.08	0.09
	-1.00	12.75	7.65	12.35	2.45	2.55	2.85	0.09	0.09	0.10
	-1.50	12.75	7.55	12.85	2.45	2.65	2.35	0.09	0.09	0.08
NO.19	-0.50	12.30	7.55	12.05	2.90	2.65	3.15	0.10	0.09	0.11
	-1.00	12.45	7.65	12.55	2.75	2.55	2.65	0.10	0.09	0.09
	-1.50	12.50	7.50	11.65	2.70	2.70	3.55	0.10	0.10	0.13
NO.20	-0.50	12.65	10.05	12.25	2.55	0.15	2.95	0.09	0.01	0.11
	-1.00	12.35	7.60	12.65	2.85	2.60	2.55	0.10	0.09	0.09
	-1.50	12.55	7.70	12.65	2.65	2.50	2.55	0.09	0.09	0.09

註:1.民國61年完工

2.鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港八號碼頭鋼板樁厚度測定結果⁽⁴⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.21	-0.50	12.45	7.55	11.95	2.75	2.65	3.25	0.10	0.09	0.12
	-1.00	12.30	7.55	12.20	2.90	2.65	3.00	0.10	0.09	0.11
	-1.50	12.20	7.40	12.15	3.00	2.80	3.05	0.11	0.10	0.11

註:1. 民國₆₁年完工

2. 鋼板樁原始厚度;15.20mm(凸、凹面), 10.20mm(側面)

花蓮港九號碼頭鋼板樁厚度測定結果

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		1		2	1		2	1		2
NO.0	-0.50	22.65		23.15	1.65		1.15	0.07		0.05
	-1.00	23.25		22.60	1.05		1.70	0.05		0.07
	-1.50	21.65		22.30	2.65		2.00	0.12		0.09
NO.1	-0.50	22.20		22.60	2.10		1.70	0.09		0.07
	-1.00	22.80		22.90	1.50		1.40	0.07		0.06
	-1.50	22.55		22.95	1.75		1.35	0.08		0.06

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
NO.2	-0.50	13.15	9.35	12.60	2.05	0.85	2.60	0.13	0.08	0.17
	-1.00	13.20	9.20	12.80	2.00	1.00	2.40	0.13	0.10	0.16
	-1.50	13.00	9.25	12.85	2.20	0.95	2.35	0.14	0.09	0.15
NO.3	-0.50	13.65	9.60	13.85	1.55	0.60	1.35	0.10	0.06	0.09
	-1.00	13.15	9.75	13.15	2.05	0.45	2.05	0.13	0.04	0.13
	-1.50	13.30	8.85	13.20	1.90	1.35	2.00	0.13	0.13	0.13

註:1.民國66年4月完工

2.鋼板樁原始厚度;24.30mm(U-型)

3. No.0與No.1為U型鋼, No.2與No.3可能為Z型鋼板樁

4. Z型鋼可能是Hoesch型, 厚度15.2mm(凸凹面); 10.2mm(側面)

花蓮港航道鋼板樁厚度測定結果(1)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右
NO.0	-0.05	23.25	23.55	22.10	1.05	0.75	2.20	0.05	0.03	0.10
	-0.25	23.20	23.20	22.75	1.10	1.10	1.55	0.05	0.05	0.07
	-0.50	23.10	22.85	23.05	1.20	1.45	1.25	0.05	0.07	0.06
	-1.00	23.20	22.75	22.75	1.10	1.55	1.55	0.05	0.07	0.07
NO.1	-0.05	22.45	23.25	22.60	1.85	1.05	1.70	0.08	0.05	0.08
	-0.25	22.05	23.15	20.05	2.25	1.15	4.25	0.10	0.05	0.19
	-0.50	23.05	22.75	20.60	1.25	1.55	3.70	0.06	0.07	0.17
	-1.00	22.65	23.35	21.90	1.65	0.95	2.40	0.08	0.04	0.11
NO.2	-0.05	23.45	23.15	22.95	0.85	1.15	1.35	0.04	0.05	0.06
	-0.25	23.05	23.75	22.65	1.25	0.55	1.65	0.06	0.03	0.08
	-0.50	23.00	23.65	20.05	1.30	0.65	4.25	0.06	0.03	0.19
	-1.00	22.85	23.30	21.90	1.45	1.00	2.40	0.07	0.05	0.11
NO.3	-0.05	23.20	23.05	22.80	1.10	1.25	1.50	0.05	0.06	0.07
	-0.25	23.25	23.45	23.05	1.05	0.85	1.25	0.05	0.04	0.06
	-0.50	22.75	22.30	23.55	1.55	2.00	0.75	0.07	0.09	0.03
	-1.00	22.55	22.75	23.25	1.75	1.55	1.05	0.08	0.07	0.05
NO.4	-0.05	22.65	23.35	23.55	1.65	0.95	0.75	0.08	0.04	0.03
	-0.25	22.95	23.25	23.05	1.35	1.05	1.25	0.06	0.05	0.06
	-0.50	22.70	23.05	23.75	1.60	1.25	0.55	0.07	0.06	0.03
	-1.00	23.25	23.05	23.05	1.05	1.25	1.25	0.05	0.06	0.06
NO.5	-0.05	22.75	22.35	21.35	1.55	1.95	2.95	0.07	0.09	0.13
	-0.25	23.15	21.75	21.55	1.15	2.55	2.75	0.05	0.12	0.13
	-0.50	23.25	22.15	22.25	1.05	2.15	2.05	0.05	0.10	0.09
	-1.00	22.35	22.10	22.15	1.95	2.20	2.15	0.09	0.10	0.10
NO.6	-0.05	23.40	22.70	23.45	0.90	1.60	0.85	0.04	0.07	0.04
	-0.25	23.00	22.85	22.85	1.30	1.45	1.45	0.06	0.07	0.07
	-0.50	23.25	23.05	22.65	1.05	1.25	1.65	0.05	0.06	0.08
	-1.00	22.95	23.30	23.05	1.35	1.00	1.25	0.06	0.05	0.06

註:1.民國67年7月完工

2.鋼板樁原始厚度：24.30mm

花蓮港航道鋼板樁厚度測定結果(2)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右
NO.7	-0.05	23.55	22.65	23.05	0.75	1.65	1.25	0.03	0.08	0.06
	-0.25	23.35	22.75	23.35	0.95	1.55	0.95	0.04	0.07	0.04
	-0.50	23.15	23.05	23.55	1.15	1.25	0.75	0.05	0.06	0.03
	-1.00	23.00	22.80	23.10	1.30	1.50	1.20	0.06	0.07	0.05
NO.8	-0.05	23.55	22.70	23.05	0.75	1.60	1.25	0.03	0.07	0.06
	-0.25	23.45	22.90	23.30	0.85	1.40	1.00	0.04	0.06	0.05
	-0.50	23.45	23.25	23.05	0.85	1.05	1.25	0.04	0.05	0.06
	-1.00	23.05	22.70	22.85	1.25	1.60	1.45	0.06	0.07	0.07
NO.9	-0.05	22.40	23.35	23.10	1.90	0.95	1.20	0.09	0.04	0.05
	-0.25	22.65	23.30	23.35	1.65	1.00	0.95	0.08	0.05	0.04
	-0.50	22.95	23.05	23.05	1.35	1.25	1.25	0.06	0.06	0.06
	-1.00	22.70	22.85	23.10	1.60	1.45	1.20	0.07	0.07	0.05
NO.10	-0.05	23.05	21.85	23.00	1.25	2.45	1.30	0.06	0.11	0.06
	-0.25	22.70	21.25	22.70	1.60	3.05	1.60	0.07	0.14	0.07
	-0.50	22.00	21.65	22.20	2.30	2.65	2.10	0.10	0.12	0.10
	-1.00	22.15	21.60	21.65	2.15	2.70	2.65	0.10	0.12	0.12
NO.11	-0.05	22.40	22.50	23.00	1.90	1.80	1.30	0.09	0.08	0.06
	-0.25	23.00	22.90	23.15	1.30	1.40	1.15	0.06	0.06	0.05
	-0.50	22.00	22.15	23.10	2.30	2.15	1.20	0.10	0.10	0.05
	-1.00	22.45	22.30	22.85	1.85	2.00	1.45	0.08	0.09	0.07
NO.12	-0.05	21.75	22.95	22.95	2.55	1.35	1.35	0.12	0.06	0.06
	-0.25	21.75	22.70	22.75	2.55	1.60	1.55	0.12	0.07	0.07
	-0.50	22.10	22.20	22.80	2.20	2.10	1.50	0.10	0.10	0.07
	-1.00	22.60	22.75	22.25	1.70	1.55	2.05	0.08	0.07	0.09
NO.13	-0.05	23.30	22.40	22.75	1.00	1.90	1.55	0.05	0.09	0.07
	-0.25	23.05	22.55	23.35	1.25	1.75	0.95	0.06	0.08	0.04
	-0.50	23.15	22.75	23.05	1.15	1.55	1.25	0.05	0.07	0.06
	-1.00	23.20	22.10	23.10	1.10	2.20	1.20	0.05	0.10	0.05

註:1.民國67年7月完工

2.鋼板樁原始厚度：24.30mm

花蓮港航道鋼板樁厚度測定結果(3)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右
NO.14	-0.05	22.40	22.30	23.00	1.90	2.00	1.30	0.09	0.09	0.06
	-0.25	22.45	23.05	23.25	1.85	1.25	1.05	0.08	0.06	0.05
	-0.50	22.85	23.30	22.75	1.45	1.00	1.55	0.07	0.05	0.07
	-1.00	23.10	23.10	22.55	1.20	1.20	1.75	0.05	0.05	0.08
NO.15	-0.05	23.00	22.55	23.15	1.30	1.75	1.15	0.06	0.08	0.05
	-0.25	23.65	22.25	23.25	0.65	2.05	1.05	0.03	0.09	0.05
	-0.50	23.00	22.55	23.10	1.30	1.75	1.20	0.06	0.08	0.05
	-1.00	23.00	22.30	22.95	1.30	2.00	1.35	0.06	0.09	0.06
NO.16	-0.05	23.75	23.05	23.05	0.55	1.25	1.25	0.03	0.06	0.06
	-0.25	23.20	23.25	23.00	1.10	1.05	1.30	0.05	0.05	0.06
	-0.50	23.20	23.75	23.10	1.10	0.55	1.20	0.05	0.03	0.05
	-1.00	23.45	23.60	23.40	0.85	0.70	0.90	0.04	0.03	0.04
NO.17	-0.05	22.95	23.10	22.85	1.35	1.20	1.45	0.06	0.05	0.07
	-0.25	22.90	23.05	22.70	1.40	1.25	1.60	0.06	0.06	0.07
	-0.50	21.55	23.70	22.70	2.75	0.60	1.60	0.13	0.03	0.07
	-1.00	22.60	23.15	22.55	1.70	1.15	1.75	0.08	0.05	0.08
NO.18	-0.05	23.60	22.95	23.10	0.70	1.35	1.20	0.03	0.06	0.05
	-0.25	23.60	23.25	23.25	0.70	1.05	1.05	0.03	0.05	0.05
	-0.50	23.60	23.40	23.25	0.70	0.90	1.05	0.03	0.04	0.05
	-1.00	23.45	23.25	23.35	0.85	1.05	0.95	0.04	0.05	0.04
NO.19	-0.05	23.50	22.70	22.80	0.80	1.60	1.50	0.04	0.07	0.07
	-0.25	23.30	23.30	23.05	1.00	1.00	1.25	0.05	0.05	0.06
	-0.50	23.35	23.20	23.35	0.95	1.10	0.95	0.04	0.05	0.04
	-1.00	23.55	23.55	23.35	0.75	0.75	0.95	0.03	0.03	0.04
NO.20	-0.05	23.20	23.30	22.95	1.10	1.00	1.35	0.05	0.05	0.06
	-0.25	23.40	23.50	22.95	0.90	0.80	1.35	0.04	0.04	0.06
	-0.50	23.55	23.20	23.30	0.75	1.10	1.00	0.03	0.05	0.05
	-1.00	23.40	23.35	23.30	0.90	0.95	1.00	0.04	0.04	0.05

註:1.民國67年7月完工

2.鋼板樁原始厚度：24.30mm

花蓮港航道鋼板樁厚度測定結果⁽⁴⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右
NO.21	-0.05	23.45	23.25	23.50	0.85	1.05	0.80	0.04	0.05	0.04
	-0.25	23.30	23.25	23.50	1.00	1.05	0.80	0.05	0.05	0.04
	-0.50	23.80	23.40	23.35	0.50	0.90	0.95	0.02	0.04	0.04
	-1.00	23.35	23.65	23.45	0.95	0.65	0.85	0.04	0.03	0.04
NO.22	-0.05	22.80	23.40	23.55	1.50	0.90	0.75	0.07	0.04	0.03
	-0.25	23.10	23.60	23.35	1.20	0.70	0.95	0.05	0.03	0.04
	-0.50	23.20	23.70	23.25	1.10	0.60	1.05	0.05	0.03	0.05
	-1.00	23.25	23.80	23.55	1.05	0.50	0.75	0.05	0.02	0.03
NO.23	-0.05	23.45	23.65	23.45	0.85	0.65	0.85	0.04	0.03	0.04
	-0.25	23.40	23.25	23.10	0.90	1.05	1.20	0.04	0.05	0.05
	-0.50	23.50	23.30	23.00	0.80	1.00	1.30	0.04	0.05	0.06
	-1.00	23.35	23.80	23.40	0.95	0.50	0.90	0.04	0.02	0.04
NO.24	-0.05	23.05	23.80	23.30	1.25	0.50	1.00	0.06	0.02	0.05
	-0.25	23.40	23.30	23.55	0.90	1.00	0.75	0.04	0.05	0.03
	-0.50	23.50	23.50	23.55	0.80	0.80	0.75	0.04	0.04	0.03
	-1.00	23.50	23.75	23.65	0.80	0.55	0.65	0.04	0.03	0.03
NO.25	-0.05	23.05	22.65	22.95	1.25	1.65	1.35	0.06	0.08	0.06
	-0.25	23.30	22.90	23.40	1.00	1.40	0.90	0.05	0.06	0.04
	-0.50	23.25	22.85	23.40	1.05	1.45	0.90	0.05	0.07	0.04
	-1.00	23.45	22.85	23.05	0.85	1.45	1.25	0.04	0.07	0.06
NO.26	-0.05	23.20	22.60	22.50	1.10	1.70	1.80	0.05	0.08	0.08
	-0.25	22.85	22.60	23.10	1.45	1.70	1.20	0.07	0.08	0.05
	-0.50	22.15	22.90	23.15	2.15	1.40	1.15	0.10	0.06	0.05
	-1.00	23.35	23.00	23.20	0.95	1.30	1.10	0.04	0.06	0.05
NO.27	-0.05	23.80	22.75	23.20	0.50	1.55	1.10	0.02	0.07	0.05
	-0.25	22.80	23.30	22.50	1.50	1.00	1.80	0.07	0.05	0.08
	-0.50	23.65	23.40	23.25	0.65	0.90	1.05	0.03	0.04	0.05
	-1.00	23.55	23.35	23.35	0.75	0.95	0.95	0.03	0.04	0.04

註: 1. 民國67年7月完工
 2. 鋼板樁原始厚度: 24.30mm)

花蓮港航道鋼板樁厚度測定結果(5)

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右
NO.28	-0.05	23.90	23.15	23.30	0.40	1.15	1.00	0.02	0.05	0.05
	-0.25	23.85	23.55	22.50	0.45	0.75	1.80	0.02	0.03	0.08
	-0.50	23.55	23.00	23.40	0.75	1.30	0.90	0.03	0.06	0.04
	-1.00	23.75	23.35	23.50	0.55	0.95	0.80	0.03	0.04	0.04
NO.29	-0.05	23.85	23.20	23.20	0.45	1.10	1.10	0.02	0.05	0.05
	-0.25	23.70	23.15	23.25	0.60	1.15	1.05	0.03	0.05	0.05
	-0.50	23.45	23.25	23.65	0.85	1.05	0.65	0.04	0.05	0.03
	-1.00	23.45	23.35	23.45	0.85	0.95	0.85	0.04	0.04	0.04
NO.30	-0.05	23.55	22.95	23.50	0.75	1.35	0.80	0.03	0.06	0.04
	-0.25	23.75	23.35	23.35	0.55	0.95	0.95	0.03	0.04	0.04
	-0.50	23.50	23.25	23.60	0.80	1.05	0.70	0.04	0.05	0.03
	-1.00	23.55	23.65	23.40	0.75	0.65	0.90	0.03	0.03	0.04
NO.31	-0.05	23.50	23.05	23.10	0.80	1.25	1.20	0.04	0.06	0.05
	-0.25	23.25	22.65	23.05	1.05	1.65	1.25	0.05	0.08	0.06
	-0.50	23.30	23.20	23.20	1.00	1.10	1.10	0.05	0.05	0.05
	-1.00	23.55	23.55	23.55	0.75	0.75	0.75	0.03	0.03	0.03
NO.32	-0.05	23.75	23.35	23.80	0.55	0.95	0.50	0.03	0.04	0.02
	-0.25	23.25	23.45	23.50	1.05	0.85	0.80	0.05	0.04	0.04
	-0.50	22.95	23.25	23.90	1.35	1.05	0.40	0.06	0.05	0.02
	-1.00	23.40	23.65	23.30	0.90	0.65	1.00	0.04	0.03	0.05
NO.33	-0.05	22.25	22.30	22.30	2.05	2.00	2.00	0.09	0.09	0.09
	-0.25	22.85	22.20	22.50	1.45	2.10	1.80	0.07	0.10	0.08
	-0.50	23.05	22.75	23.10	1.25	1.55	1.20	0.06	0.07	0.05
	-1.00	23.15	23.35	23.10	1.15	0.95	1.20	0.05	0.04	0.05
NO.34	-0.05	23.60	23.65	22.80	0.70	0.65	1.50	0.03	0.03	0.07
	-0.25	23.05	23.40	23.00	1.25	0.90	1.30	0.06	0.04	0.06
	-0.50	23.05	23.00	23.00	1.25	1.30	1.30	0.06	0.06	0.06
	-1.00	23.20	23.15	23.10	1.10	1.15	1.20	0.05	0.05	0.05

註:1.民國67年7月完工

2.鋼板樁原始厚度:24.30mm

花蓮港航道鋼板樁厚度測定結果⁽⁶⁾

測定位置	水深(m)	平均現有厚度(mm)			平均厚度減少量(mm)			平均腐蝕速率(mm/yr)		
		左	中	右	左	中	右	左	中	右
NO.35	-0.05	23.15	22.90	23.10	1.15	1.40	1.20	0.05	0.06	0.05
	-0.25	23.20	22.95	22.90	1.10	1.35	1.40	0.05	0.06	0.06
	-0.50	23.15	23.30	23.30	1.15	1.00	1.00	0.05	0.05	0.05
	-1.00	23.25	22.55	23.30	1.05	1.75	1.00	0.05	0.08	0.05
NO.36	-0.05	23.45	22.45	23.00	0.85	1.85	1.30	0.04	0.08	0.06
	-0.25	22.95	22.50	23.60	1.35	1.80	0.70	0.06	0.08	0.03
	-0.50	22.70	22.45	23.10	1.60	1.85	1.20	0.07	0.08	0.05
	-1.00	23.35	22.40	23.10	0.95	1.90	1.20	0.04	0.09	0.05
NO.37	-0.05	22.20	22.45	22.30	2.10	1.85	2.00	0.10	0.08	0.09
	-0.25	22.45	22.70	22.50	1.85	1.60	1.80	0.08	0.07	0.08
	-0.50	23.05	22.85	23.00	1.25	1.45	1.30	0.06	0.07	0.06
	-1.00	22.90	23.25	23.10	1.40	1.05	1.20	0.06	0.05	0.05
NO.38	-0.05	23.05	23.00	23.00	1.25	1.30	1.30	0.06	0.06	0.06
	-0.25	23.20	23.25	23.30	1.10	1.05	1.00	0.05	0.05	0.05
	-0.50	23.10	23.25	23.40	1.20	1.05	0.90	0.05	0.05	0.04
	-1.00	23.30	23.40	22.90	1.00	0.90	1.40	0.05	0.04	0.06
NO.39	-0.05	22.40	22.70	21.90	1.90	1.60	2.40	0.09	0.07	0.11
	-0.25	22.40	22.75	21.80	1.90	1.55	2.50	0.09	0.07	0.11
	-0.50	22.85	22.55	22.10	1.45	1.75	2.20	0.07	0.08	0.10
	-1.00	23.05	22.40	22.80	1.25	1.90	1.50	0.06	0.09	0.07

註:1. 民國67年7月完工
2. 鋼板樁原始厚度:24.30mm

附 錄 二

(平均腐蝕速率)

花蓮港四號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)

水深	+3.3m			+1.8m			+0.7m			+0.2m			-0.5m		
測樁	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
0	0.03	0.05	0.03	0.02	0.05	0.02	0.09	0.07	0.10	0.08	0.07	0.10	0.09	0.08	0.09
1	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.09	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07
2	0.02	0.05	0.03	0.03	0.06	0.02	0.06	0.08	0.06	0.09	0.07	0.06	0.08	0.07	0.06
3	0.02	0.06	0.01	0.02	0.06	0.02	0.07	0.06	0.09	0.08	0.05	0.05	0.08	0.04	0.08
4	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.03	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07
5	0.02	0.07	0.01	0.03	0.06	0.03	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06	0.04	0.02
6	0.02	0.05	0.03	0.02	0.05	0.03	0.10	0.06	0.08	0.08	0.06	0.10	0.07	0.06	0.06
7	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.12	0.07	0.12	0.08	0.07	0.08	0.07	0.06	0.05
8	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.10	0.08	0.09	0.06	0.05	0.10	0.06	0.08	0.07
9	0.02	0.04	0.03	0.02	0.05	0.02	0.08	0.08	0.09	0.19	0.07	0.08	0.19	0.06	0.06
10	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.10	0.07	0.09	0.08	0.07	0.09	0.08	0.07	0.10
11	0.02	0.06	0.02	0.02	0.05	0.02	0.10	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.11
12	0.02	0.05	0.02	0.02	0.04	0.01	0.08	0.08	0.04	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06
13	0.03	0.07	0.02	0.02	0.06	0.02	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
14	0.01	0.05	0.01	0.02	0.04	0.02	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09
15	0.01	0.06	0.02	0.02	0.06	0.02	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07
16	0.02	0.05	0.03	0.02	0.05	0.02	0.10	0.08	0.08	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07
17	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.03	0.06	0.08	0.06	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0.06
18	0.03	0.04	0.01	0.01	0.04	0.02	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07
19	0.02	0.04	0.01	0.02	0.04	0.03	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07
20	0.01	0.05	0.02	0.03	0.04	0.01	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.02
平均	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07

花蓮港五號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)

水深	+3.3m			+1.8m			+0.7m			+0.2m			-0.5m		
測樁	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
0	0.01	0.04	0.02	0.01	0.06	0.01	0.08	0.06	0.07	0.04	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07
1	0.02	0.06	0.02	0.02	0.04	0.01	0.08	0.10	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
2	0.03	0.05	0.02	0.02	0.04	0.01	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
3	0.02	0.06	0.02	0.01	0.05	0.02	0.08	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08
4	0.03	0.06	0.02	0.03	0.04	0.01	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09
5	0.02	0.04	0.03	0.02	0.04	0.01	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	0.09	0.07	0.07	0.08
6	0.01	0.04	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
7	0.02	0.06	0.03	0.02	0.04	0.02	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07	0.08
8	0.03	0.05	0.01	0.02	0.05	0.02	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
9	0.01	0.05	0.02	0.01	0.04	0.02	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07
10	0.01	0.05	0.02	0.01	0.04	0.01	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08
11	0.02	0.05	0.02	0.02	0.04	0.02	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
12	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07
13	0.02	0.05	0.03	0.02	0.05	0.03	0.10	0.06	0.08	0.08	0.06	0.10	0.07	0.06	0.06
14	0.02	0.05	0.03	0.02	0.06	0.02	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
15	0.02	0.06	0.02	0.06	0.06	0.02	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06
16	0.01	0.05	0.02	0.02	0.04	0.02	0.08	0.06	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
17	0.02	0.07	0.02	0.03	0.07	0.02	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06	0.07	0.09
18	0.03	0.06	0.03	0.03	0.06	0.03	0.05	0.08	0.08	0.09	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
19	0.01	0.05	0.03	0.01	0.05	0.02	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
20	0.02	0.05	0.03	0.02	0.05	0.02	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.05	0.08	0.08
21	0.02	0.06	0.02	0.01	0.05	0.02	0.08	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07
22	0.02	0.05	0.03	0.02	0.06	0.02	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
平均	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08

花蓮港六號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)

水深	+3.3m			+1.8m			+0.7m		
測樁	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
0	0.02	0.08	0.04	-0.01	0.08	0.00	0.00	0.08	0.04
1	0.06	0.03	0.03	0.06	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02
2	0.04	0.07	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.02
3	0.05	0.08	0.04	0.05	0.10	0.04	0.04	0.05	0.06
4	0.07	0.07	0.03	0.08	0.06	0.02	0.06	0.08	0.01
5	0.07	0.08	0.07	0.06	0.09	0.07	0.06	0.08	0.06
6	0.08	0.11	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0.11	0.07
7	0.06	0.10	0.08	0.06	0.09	0.07	0.06	0.10	0.07
8	0.05	0.09	0.06	0.05	0.10	0.06	0.06	0.10	0.07
9	0.05	0.10	0.06	0.07	0.09	0.06	0.08	0.09	0.06
10	0.11	0.07	0.10	0.09	0.07	0.10	0.07	0.06	0.08
11	0.07	0.08	0.05	0.07	0.08	0.04	0.06	0.08	0.03
12	0.12	0.09	0.10	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07
13	0.06	0.07	0.04	0.06	0.08	0.05	0.06	0.08	0.02
14	0.07	0.07	0.01	0.09	0.05	0.01	0.06	0.07	0.01
15	0.08	0.07	0.02	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.06
平均	0.07	0.08	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.08	0.05

花蓮港七號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)

水深	+3.3m			+1.8m			+0.7m		
測樁	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
0	0.03	0.07	0.02	0.04	0.07	0.01	0.02	0.09	0.02
平均	0.03	0.07	0.02	0.04	0.07	0.01	0.02	0.09	0.02

花蓮港八號碼頭鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)

水深	-0.5m			-1.0m			-1.5m		
測樁	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面	凸面	側面	凹面
0	0.13	0.09	0.11	0.12	0.09	0.10	0.12	0.10	0.10
1	0.12	0.13	0.10	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09
2	0.11	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11	0.09	0.10	0.10
3	0.09	0.09	0.12	0.09	0.08	0.12	0.10	0.09	0.12
4	0.12	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.12
5	0.12	0.10	0.10	0.11	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10
6	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.11	0.09
7	0.09	0.10	0.08	0.09	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09
8	0.11	0.09	0.11	0.12	0.09	0.10	0.13	0.09	0.10
9	0.12	0.10	0.13	0.12	0.10	0.11	0.12	0.11	0.11
10	0.12	0.09	0.09	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.10
11	0.12	0.11	0.09	0.11	0.11	0.08	0.11	0.10	0.08
12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.10	0.09	0.10	0.10	0.11
13	0.11	0.11	0.08	0.09	0.11	0.09	0.09	0.07	0.09
14	0.08	0.10	0.08	0.12	0.10	0.08	0.11	0.10	0.09
15	0.11	0.10	0.15	0.13	0.09	0.10	0.13	0.10	0.10
16	0.11	0.09	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
17	0.08	0.08	0.09	0.10	0.06	0.10	0.11	0.05	0.09
18	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08
19	0.10	0.09	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.13
20	0.09	0.01	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
21	0.10	0.09	0.12	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.11
平均	0.11	0.09	0.10	0.11	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10

花蓮港航道岸壁鋼板樁平均腐蝕速率(mm/yr.)

水深	-0.05m			水深-0.25			-0.5m			-1.0m		
測樁	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
0	0.05	0.03	0.10	0.05	0.05	0.07	0.05	0.07	0.06	0.05	0.07	0.07
1	0.08	0.05	0.08	0.10	0.05	0.19	0.06	0.07	0.17	0.08	0.04	0.11
2	0.04	0.05	0.06	0.06	0.03	0.08	0.06	0.03	0.19	0.07	0.05	0.11
3	0.05	0.06	0.07	0.05	0.04	0.06	0.07	0.09	0.03	0.08	0.07	0.05
4	0.08	0.04	0.03	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06	0.03	0.05	0.06	0.06
5	0.07	0.09	0.13	0.05	0.12	0.13	0.05	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10
6	0.04	0.07	0.04	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.08	0.06	0.05	0.06
7	0.03	0.08	0.06	0.04	0.07	0.04	0.05	0.06	0.03	0.06	0.07	0.05
8	0.03	0.07	0.06	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
9	0.09	0.04	0.05	0.08	0.05	0.04	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05
10	0.06	0.11	0.06	0.07	0.14	0.07	0.10	0.12	0.10	0.10	0.12	0.12
11	0.09	0.08	0.06	0.06	0.06	0.05	0.10	0.10	0.05	0.08	0.09	0.07
12	0.12	0.06	0.06	0.12	0.07	0.07	0.10	0.10	0.07	0.08	0.07	0.09
13	0.05	0.09	0.07	0.06	0.08	0.04	0.05	0.07	0.06	0.05	0.10	0.05
14	0.09	0.09	0.06	0.08	0.06	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.05	0.08
15	0.06	0.08	0.05	0.03	0.09	0.05	0.06	0.08	0.05	0.06	0.09	0.06
16	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04
17	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.07	0.13	0.03	0.07	0.08	0.05	0.08
18	0.03	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04
19	0.04	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04
20	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	0.06	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05
21	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04
22	0.07	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.02	0.03
23	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04	0.02	0.04
24	0.06	0.02	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
25	0.06	0.08	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.07	0.04	0.04	0.07	0.06
26	0.05	0.08	0.08	0.07	0.08	0.05	0.10	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05
27	0.02	0.07	0.05	0.07	0.05	0.08	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04
28	0.02	0.05	0.05	0.02	0.03	0.08	0.03	0.06	0.04	0.03	0.04	0.04
29	0.02	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04
30	0.03	0.06	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04
31	0.04	0.06	0.05	0.05	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
32	0.03	0.04	0.02	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.02	0.04	0.03	0.05
33	0.09	0.09	0.09	0.07	0.10	0.08	0.06	0.07	0.05	0.05	0.04	0.05
34	0.03	0.03	0.07	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
35	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.05
36	0.04	0.08	0.06	0.06	0.08	0.03	0.07	0.08	0.05	0.04	0.09	0.05
37	0.10	0.08	0.09	0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
38	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.06
39	0.09	0.07	0.11	0.09	0.07	0.11	0.07	0.08	0.10	0.06	0.09	0.07
平均	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06

第二子計畫

外港防波堤監測之研究

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
第一章 前言	1
第二章 計畫背景與目的	3
第三章 工作項目	5
3.1 本計畫之工作範圍及內容	5
3.2 工作項目	5
第四章 研究方法及步驟	7
4.1 防波堤堤面波力量測	7
4.2 防波堤地震震度量測系統	7
4.3 防波堤高程、法線基本資料之建立	7
4.4 堤腳與堤址之調查	7
4.5 量測資料傳輸儲存系統之建立	7
4.6 長期監測站之設立	8
4.7 研究報告撰寫	8
4.8 提出期末報告初稿	8
4.9 提出正式報告	8
第五章 計畫執行內容和結果	9
5.1 防波堤堤面波力量測	9
5.1.1 工作項目	9
5.1.2 施工規範說明	9
5.1.3 儀器安裝施工規格	10
5.2 防波堤地震震度量測系統	12
5.2.1 工作項目	12

5.2.2	施工規範說明	12
5.2.3	儀器安裝施工規格	13
5.3	防波堤高程、法線基本資料之建立	14
5.3.1	現場水準測量及資料整理	14
5.3.2	測量範圍	14
5.3.3	工作項目	14
5.3.4	作業方式	15
5.3.5	成果表示和分析	16
5.4	堤腳與堤址之調查	32
5.4.1	工作項目	32
5.4.2	成果表示和分析	32
5.5	量測資料傳輸儲存系統之建立	35
5.5.1	工作項目	35
5.5.2	施工規範說明	35
5.5.3	儀器安裝施工規格	35
5.5.4	成果表示和分析	37
5.6	長期監測站之設立	37
第六章	結論及建議	41
6.1	結論	41
6.2	建議	42
參考文獻		42

圖目錄

圖 1	45#沉箱胸牆安裝之波壓計	43
圖 2	波壓計於沉箱胸牆安裝之上視圖	43
圖 3	波壓計裝設之前置作業	44
圖 4	胸牆內部加裝之 3 只波壓計.....	44
圖 5	碧利斯颱風侵襲後東堤胸牆損壞情形	45
圖 6	強烈颱風碧利斯侵襲後東堤胸牆損壞情形	45
圖 7	碧利斯颱風侵襲後東堤胸牆破壞情形	46
圖 8	碧利斯颱風侵襲後東堤沉箱路面損壞情形	46
圖 9	花蓮港地震及波壓儀器裝設位置示意圖	47
圖 10	花蓮港東堤胸牆地震及波壓儀器位置圖	47
圖 11	花蓮港東防波堤地震及波壓長期觀測系統	48
圖 12	花蓮港外港防波堤高程、法線測量工作.....	48
圖 13	測量三角控制點美崙山 E008 檢測	49
圖 14	測量水準控制點 8094 檢測	50
圖 15	測量控制點 T14 檢測.....	51
圖 16	測量控制點 990 檢測.....	52
圖 17	沉箱高程、法線 GPS 控制測量圖.....	53
圖 18	沉箱高程、法線控制點測量成果圖	53
圖 19	東防波堤地震及波壓長期觀測量測資料傳輸儲存系統	54
圖 20	東防波堤 2000/10/15/06:00~07:00 地震計 ch1 之觀測量測資料	54
圖 21	東防波堤胸牆外 2000/10/15/06:00~07:00 波壓計 ch4 之觀測量 測資料	55

圖 22 東防波堤胸牆內 2000/10/15/06:00~07:00 波壓計 ch10 之觀測量測資料	55
圖 23 #1 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	56
圖 24 #2 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	56
圖 25 #4 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	57
圖 26 #21 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	57
圖 27 #21 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	58
圖 28 #22 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	58
圖 29 #23 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	59
圖 30 #26 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	59
圖 31 #27 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	60
圖 32 #27 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	60
圖 33 #39 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	61
圖 34 #40 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	61
圖 35 #41 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	62
圖 36 #42 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	62
圖 37 #43 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	63
圖 38 #44 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	63
圖 39 #44 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	64
圖 40 #46 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	64
圖 41 #49 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影	65

第一章 前言

為確知花蓮港舊東防波堤和東防波堤，在季風和颱風期間所受之波力和地震期間防波堤之震動特性，同時調查堤腳、堤址之現況、防波堤高程及法線等，做為每年變化之比對，來瞭解其差異性並做未來預測推估之基礎。以上即為本子計畫執行目的。

依據花蓮港整體規劃及配合國家政策，就航運需求、運量預測與開發方針而言，經前省府交通處之同意，辦理「花蓮港港區整體規劃計畫」中，修正原規劃之港埠設施及改善港內穩靜度，為規劃設計目標；並同時辦理「外港防波堤監測」獲同意在案；在對於減輕不利環境影響之海象中承諾辦理觀測，故緣有此計畫。

且本計畫於工作執行期間，遭遇強烈颱風碧利斯¹之侵襲，導致花蓮港東防波堤多處胸牆破損，增加計畫執行的不便與困難，並衍生許多工作超時和超量的問題，仍一并克服之，而其中影響東堤之安全性分析，也將於報告中一一贅述清楚。

1 颱風命名以交通部中央氣象局民國 89 年編號第 10 號颱風，國際命名：BILIS。

第二章 計畫背景與目的

花蓮港外側防波堤包括舊東防波堤與東防波堤共計長約 2,550 公尺，舊東防波堤肇建於民國二十一年，由於當時物資、經費、機具設備等缺乏，因此堤身之建造以採用級配砂或填置卵石為主，且混凝土採用低強度值，後因經年受颱風、地震及東北季風波浪之侵襲，堤面及胸牆處處龜裂，堤體有下陷及淘空，每年必需編列維修經費，以維其效能。同時考慮以減輕其外來作用力來修復舊東堤而於堤外築潛堤方式，雖可修復舊堤、減少災害，但花蓮港東堤外海浪波濤洶湧、暗礁多，拋置之消波塊流失，無法有效修護舊東堤。民國六十五年到八十年擴建外港完成，其外廓防波堤稱為東防波堤，由於花蓮港每年平均受 3.1 次颱風的侵襲，因此東防波堤在颱風期間受波浪之作用，亦引起消波式胸牆的破壞，由以上對討論很明確的得知東防波堤與舊東防波堤受到惡劣波浪與颱風期間極端大浪的侵襲又有地震作用，造成防波堤必需每年加以維修與復建，故在花蓮港整體規劃及未來發展計畫中便明確指示必需加以長期監測東防波堤之安全，本計畫即依此需要而提出。

花蓮港舊東防波堤與東防波堤安全監測目的，主要須瞭解防波堤堤面之受力特性、堤址沖刷、堤腳淘空、受地震之影響，防波堤變位或下陷，同時需了解沉箱壁面混凝土龜裂調查。基於以上各項之調查資料配合未來的預測，提供花蓮港務局瞭解東防波堤之現況，可能破壞情況及維修之參考。

第三章 工作項目

3.1 本計畫之工作範圍及內容

本計畫針對舊東防波堤海側尾段 330m 和新東防波堤（含港口港側及突堤）需建立現況基本資料，包括東防波堤之高程、法線、堤腳保護現況調查，防波堤堤面波力量測，地震時震動特性量、資料之研析與判斷。

3.2 工作項目

- 1.資料搜集、現況調查以及水下錄影**
- 2.防波堤堤面波力量測系統建立**
- 3.防波堤地震時震度量測系統建立**
- 4.防波堤高程、法線基本資料之建立**
- 5.堤腳與堤址前之錄影之影像資料建立**
- 6.量測資料擷取儲存系統之建立**
- 7.長期監測站之設立**
- 8.研究報告撰寫**
- 9.提出期末報告初稿**
- 10.提出正式報告**

第四章 研究方法及步驟

4.1 防波堤堤面波力量測

在東防波堤上取一適當的斷面，由海底到胸牆間設立 9 個壓力計量測堤面上波力分布【由於本年度經費並不充裕，因此儀器設備費用更加捉襟見肘，原先只考慮於胸牆堤面裝置波壓計 6 個，但經過碧利斯颱風後，東堤部份胸牆嚴重受創，所以乃節省計畫中其他預算，需要在胸牆內部堤面裝設另 3 只波壓計，屆時用以明瞭波浪於開口胸牆內所造成之壓力動態情況】，計算在每一固定時間之防波堤受力，由受力特性可以和設計條件做比較，在監測一段時間後，即可比對現場波力和設計條件間之差異，做為未來預測之參考。

4.2 防波堤地震震度量測系統

在防波堤上設一個三軸向之地震計，量測地震時防波堤之震度及震動特性，此量測為一無法預測之量測，故採用自動擷取資料系統，即震動超過某一震度，如規模 1 級以上震度，便開始記錄防波堤的震度。此量測同時可監測在地震時所受之堤面波力。

4.3 防波堤高程、法線基本資料之建立

以現場水準測量方式，量測沉箱高程、法線位置做為每一年比對沉箱是否有下陷或傾斜之依據，並進一步比對沉箱間是否有相對位移之破壞

4.4 堤腳與堤址之調查

堤腳和堤址調查之要以潛水人員採用錄影和觀看之方式，並且發現有沖蝕時，再量測其破壞範圍，每年即以錄影資料來比對其差異性。

4.5 量測資料傳輸儲存系統之建立

現場量測資料採用定時量測方式、自動量測與手動量測三種方式來擷取資料，未來擴展至以自動傳輸與接收系統來記錄資料，以便於即時之監測。

4.6 長期監測站之設立

由花蓮港務局為提供一個有電源之空間，設立一長期監測站，使整個系統能有長期使用之功能。

4.7 研究報告撰寫

將前述所應執行之工作項目完成後，進行結果的整理撰寫與分析比較，以供日後花蓮港務局瞭解東防波堤之現況，可能破壞情況及維修之參考。

4.8 提出期末報告初稿

於計畫初步完成時提出研究報告初稿，由花蓮港務局邀請相關之學術研究學者及政府決策人員進行研討，提供對本研究計畫有所助益之建議和意見，作為往後計畫的方針。

4.9 提出正式報告

修正計畫之研究初稿，提出一個有建設性之正式報告，俾能讓花蓮港務局有港灣工程施工之參考依據。

第五章 計畫執行內容和結果

5.1 防波堤堤面波力量測

5.1.1 工作項目：

- 1.裝設波壓計 9 只**
- 2.資料擷取系統及信號調整器安裝測試**
- 3.管線配置施工及材料**
- 4.報告成果簿，包含下列各項：**
 - (1)工作觀測範圍圖、氣溫、天候、作業方式說明。**
 - (2)系統監測點之原始觀測記錄、位置及相關資料說明。**
 - (3)監測系統所採用之儀器及其相關說明。**

5.1.2 施工規範說明：

- 1.波壓計置於固定架後，安裝於防波堤水下，並將電纜線延伸至消波池內之記錄系統。**
- 2.波壓計安裝深度，平均於固定管上。波壓計及電纜接線特別注意其防水性能。**
- 3.波壓計安裝前和信號調整器連接校正後，才可安裝上去。**
- 4.選定適當地點（避免直接受到大浪的衝擊），安裝資料擷取系統，防水型保護箱需為防水、防衝擊及防銹，保護箱全部封閉，管口部分需堅固，不得有鬆動，同時做防水處理。**
- 5.資料擷取裝置本體需為防水型包裝，保護箱內的主要設備有資料擷取系統、信號調整器、電源器及相關附屬設備。**

6.信號電纜線必須使用防水 PE 材料，全線連線盡量減少接頭，接頭必須做好防水處理。所有信號電纜線全部穿入 PVC 管保護，每隔 1 公尺以白鐵管夾固定，相鄰兩座沈箱需以軟管連接兩端 PVC 管，防止沈箱間相互位移，扯斷管線，PVC 管內有信號線及電源線，個別獨立之電纜線。

7.有關現場之施工方式及位置，廠商需依現場施工圖指示辦理。

8.儀器安裝前廠商需自行檢測，並提出檢測報告，符合正常功能始能安裝，並將測試報告附於完工報告內書內。

5.1.3 儀器安裝施工規格

1.波壓計（含信號調整器）

(1)【波壓計】

容 量： 0~2kgf/ c m²

非直線性： 1 % R0

靈 敏 度： 0.8mv/v 以上

慮 網： 40 μ m

操作溫度： 0~+60°C

工作電壓： 10v 以下

(2)【信號調整器】

輸入型號： 平衡差動式

Sensor 供應電壓： DC5V，60mA 以下

輸出電壓： 0~±10v

輸出電流： 0~20mA

增益調整： 0.6mv/v~1.4mv/v (HI)

1.3mv/v~3.2mv/v (LOW)

內部切換 H 或 L

歸零調整： $\pm 0.4\text{mv/v}$

零點漂移： $1\mu\text{v}/^{\circ}\text{C}$

校正值： 1mv/v

非直線性： $0.02\% \text{F.S}$

電 源： $\text{AC}100\text{V} \pm 10\% , 50/60\text{HZ}$

2.資料擷取系統

本裝置外箱必須是防水、耐高溫，所有之信號線不得使用端子，信號線直接和內部連接，為一封閉型之包裝。內部之工作電源為外接型，不得裝設於本機箱內。

輸入點數：12CH

輸入電壓： $\pm 10\text{v}$

A/D 轉換：22bit 以上

動態範圍：110dB 以上 (rms)

記 憶 體：至少 20MB 以上

取樣頻率：全頻道同時取樣

自動起動 100HZ (地震量測)

定時起動 10HZ (波壓量測)

起動方式：自動起動 任選 3CH，起動基準 $0.01 \sim 9.99\% \text{F.S}$

定時起動 每小時起動，記錄長度為 30 分鐘

停電功能：維持至少 3 小時以上

界 面： $\text{RS}-232\text{C}$

操作溫度範圍： $-5^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$

電 源： 100V±10% 50HZ/60HZ

5.2 防波堤地震震度量測系統

5.2.1 工作項目：

1.裝設地表地震計 1 台及資料擷取系統

2.管線配置施工及材料

3.報告成果簿，包含下列各項：

- (1)工作觀測範圍圖、氣溫、天候、作業方式說明。
- (2)系統監測點之原始觀測記錄、位置及相關資料說明。
- (3)監測系統所採用之儀器及其相關說明。

5.2.2 施工規範說明：

- 1.地震計事先校正完成後，安裝於防波堤消波池內，地上打設水泥基座，並以不銹鋼保護蓋保護。電纜線延伸至記錄系統。
- 2.選定適當地點（避免直接受到大浪的衝擊），安裝資料擷取系統，防水型保護箱需為防水、防衝擊及防銹，保護箱全部封閉，管口部分需堅固，不得有鬆動，同時做防水處理。
- 3.資料擷取裝置本體需為防水型包裝，保護箱內的主要設備有資料擷取系統、信號調整器、電源器及相關附屬設備。
- 4.信號電纜線必須使用防水 PE 材料，全線連線盡量減少接頭，接頭必須做好防水處理。所有信號電纜線全部穿入 PVC 管保護，每隔 1 公尺以白鐵管夾固定，相鄰兩座沈箱需以軟管連接兩端 PVC 管，防止沈箱間相互位移，扯斷管線。
- 5.PVC 管內有信號線及電源線，個別獨立之電纜線。
- 6.有關現場之施工方式及位置，廠商需依現場施工圖指示辦理。

7.儀器安裝前廠商需自行檢測，並提出檢測報告，符合正常功能始能安裝，並將測試報告附於完工報告書內。

5.2.3 儀器安裝施工規格

1.地震計

型 式：	伺服型加速度計
頻率特性：	DC~100HZ
量測範圍：	±2000gal
解 析 度：	0.001gal 以下
阻 尼 比：	h=0.6~0.7
輸出電壓：	±10v 以上
校正線圈：	3.5 μA/gal
供應電壓：	±15V.DC
避 雷 器：	18V，耐突波電流 5kv/100A
耐 水 壓：	30kgf/c m ² （防水型）

2.資料擷取系統

本裝置外箱必須是防水、耐高溫，所有之信號線不得使用端子，信號線直接和內部連接，為一封閉型之包裝。內部之工作電源為外接型，不得裝設於本機箱內。

輸入點數：	12CH
輸入電壓：	±10v
A/D 轉換：	22bit 以上
動態範圍：	110dB 以上（rms）
記 憶 體：	至少 20MB 以上

取樣頻率：	全頻道同時取樣
	自動起動 100HZ（地震量測）
	定時起動 10HZ（波壓量測）
起動方式：	自動起動 任選 3CH，起動基準 0.01~9.99 % F.S
	定時起動 每小時起動，記錄長度為 30 分鐘
停電功能：	維持至少 3 小時以上
界 面：	RS-232C
操作溫度範圍：	-5°C~60°C
電 源：	100V±10 % 50HZ/60HZ

5.3 防波堤高程、法線基本資料之建立

5.3.1 現場水準測量及資料整理：

以現場水準測量方式，量測沉箱高程、法線位置，做為每一年比對沉箱是否有下陷或傾斜之依據，並進一步比對沉箱間是否有相對位移之破壞，斷面測量之斷面樁位及測線，須斟酌實際情況增加。

5.3.2 測量範圍：

測量範圍為【舊東堤 1330M(實做 300M)、新舊東堤交接轉角 30M、新東堤 1837M、新東堤堤頭 300M】。

5.3.3 工作項目：

主要係採用現場水準測量方式，量測沉箱高程、法線位置，配合 GPS 衛星定位系統擷取座標位置，做為每一年比對沉箱是否有下陷或傾斜之依據，並進一步比對沉箱間是否有相對位移之破壞，再利用 GIS 或 AUTOCAD 地理繪圖系統繪製變化圖，以分析沉箱高程、法線位置變化情況。

1.三角點檢測 1 點

- | | |
|----------|---------|
| 2.水準點檢測 | 2 點 |
| 3.控制點檢測 | 5 點 |
| 4.主控制測量 | 5 點 |
| 5.主水準測量 | 2500 公尺 |
| 6.法線斷面測量 | 約 25 公里 |

7.測算簿，包含下列各項：

- (1)測量範圍圖、氣溫、天候、作業方式說明。
- (2)測點之原始觀測記錄平面座標及資料磁片。
- (3)所使用之 WGS84 至 GRS67 轉換之參數記錄。
- (4)每 100 公尺斷面圖及其變化圖(圖籍及磁片)。
- (5)施測採用儀器及其規格說明。
- (6)採用控制點(水平及高程)分佈圖，引測計算及精度與變動分析。

5.3.4 作業方式：

- 1.平面控制：採用 TM 二度分帶座標系統。
- 2.高程控制：以內政部頒定之台灣省一等水準系統及花蓮港築港高程系統。
- 3.點位控制及測點密度：各測線上之測點間距以不大於 10M 為原則。
- 4.陸地測量：

- (1)導線測量：角度閉合差需小於 $10\sqrt{N}$ 秒(N 為測站數)，邊長閉合差需小於 $L/10,000$ (L 為導線全長)。
- (2)水準測量：高程閉合差不得大於 $\pm 8\text{mm}\sqrt{K}$ (K 為水準線公里數)。
- (3)圖根測量：可以副導線連測或引測，但每公頃不得少於一點。

(4)地形圖比例尺：1/5,000 與 1/20,000。

(5)控制樁埋設：陸上埋設測量用定位控制樁，作為長期監測之控制依據。

(6)內業：

a.原圖均採用 300 號半透明膠片製作，須黑墨清繪。

b.測算簿以布面燙金精裝成冊辦理。

(7)主控制樁及斷面樁，得使用 GPS 定位測量，其規範精度如下：

a.平差計算後，基線測量均方根值(RMS)應小於 50PPM，網形平差後各點位中誤差不得大於 20PPM。

b.點位座標需經平差計算轉換至台灣 TM 二度分帶座標系統上。

5.3.5 成果表示和分析：

1.成果數量：

工 作 項 目	單位	實做數量
三角點檢測	點	1
水準點檢測	點	2
控制點檢測	點	5
主控制測量	點	5
斷面樁埋設及放樣	點	219
主水準測量	公里	2.8
法線斷面測量	公里	2.5
成果報告及水深圖繪製(測算簿)	式	1

2.控制測量系統：

(1)平面控制測量：採用 TM 二度分帶(2° TM)座標系統。

(2)高程控制測量：以內政部頒定之台灣省一等水準系統及花蓮港築港高程系統。

3.平面控制測量：

(1)三角點檢測使用 GPS 衛星定位測量，衛星定位各測站須對空通視良好，同時段在仰角 15 度以上天空至少有四顆以上分佈良好之衛星，衛星訊號接收時間至少半小時以上。觀測量之處理皆經過週波脫落偵測與改正；並且點位座標平差計算後轉換至台灣 TM 二度分帶。

(2)三角點檢測「E008」、「2422」、「T14」、「BM01」、「BM03」等 5 點，經檢測後「BM01」、「BM03」二點距離、角度誤差超出規範，故以「E008」、「2422」、「T14」此三點作為平面控制之依據。

(3)斷面樁共計測設 219 點，作為本次斷面樁放樣監測之依據。

(4)三角點檢測成果（GPS 測量＞座標系統檢核及座標轉換成果）說明。

4.高程控制測量：

(1)採直接水準往返觀測。

(2)主水準檢測：共檢測「8094」、「990」等二點，二點距離長約 0.9 公里，檢測其閉合精度為 $0.849\text{mm}\sqrt{K}$ (K 以水準線公里數計)，故以「8094」、「990」作為本次高程控制系統之基準點。

(3)各水準線量測精度如下表：

水準編號	水準線總里程	水準閉合差	水 準 閉 合 精 度
001.LVL	0.8874km	-0.0008m	$0.849\text{mm}\sqrt{K} < \pm 8\text{mm}\sqrt{K}$
002.LVL	2.8724km	+0.0049m	$2.891\text{mm}\sqrt{K} < \pm 8\text{mm}\sqrt{K}$
003.LVL	4.6704km	-0.0101m	$4.674\text{mm}\sqrt{K} < \pm 8\text{mm}\sqrt{K}$

5.斷面樁測量：

(1)導線點(HA01~HA05)以 GPS 定位方式施測，由檢測可用三角點作為轉換基準

點，將 WGS84 座標轉換為 TM 二度座標，作為斷面樁測量控制之依據。

(2)以電子光波測距儀(Geodimeter System 540)，於導線點上直接架設儀器以引點支距方式觀測一測回，以獲較準確之距離、角度值，再由電腦計算出各點之 N、E 座標值。

(3)各斷面樁高程以直接水準方式測量，先走一條主水準線串連沉箱，再引測至各斷面樁，以獲得各點高程。

6.使用儀器：

(1)控制點 GPS 衛星定位測量：

a.Leica system 299 衛星定位儀四套。

b.Ashtech Z-12 衛星定位儀二套。

(2)斷面測量及法線測量：使用 Geodimeter System 540 全站式經緯儀。

(3)水準測量：使用 WILD NA2002 自動記錄水準儀。

7.測量時間：

於八十九年八月一日至八十九年八月三十一日完成外業測量工作。

8.報告除特別標註外其餘單位均採用公尺。

9.坐標系統檢核及坐標轉換成果

(1) 坐標值檢核：

GPS 施測成果		原地測成果		坐標差值		
點名	縱坐標(N) 橫坐標(E)	縱坐標(N) 橫坐標(E)	縱坐標 橫坐標	備註		

T14 1	2654137.5347 313718.8971	2654137.4550 313718.8270	.080 .070			
2422 1	2653276.8496 313724.8619	2653276.7840 313724.9660	.066 -.104			
E008 1	2654585.1819 311681.1887	2654585.2560 311681.1170	-.074 .072			

(2) 距離檢核

			GPS 坐標	地測坐標			
FROM	---	TO	反算距離	反算距離	距離差值	1/PPM	備註
T14	---	2422	860.7058	860.6929	.0129	66720.6	
T14	---	E008	2086.2990	2086.3336	-.0346	-60354.5	
2422	---	E008	2426.5888	2426.8123	-.2234	-10861.4	

(3) 方位角檢核：

			GPS 坐標	地測坐標			
FROM		TO	反算方位角	反算方位角	角度差值		備註
T14	---	2422	179.361056	179.352878	41.78		
T14	---	E008	282.232407	282.233889	-14.83		
2422	---	E008	302.373658	302.373853	-1.95		

(4) WGS84 轉換至 TWD67 之坐標轉換參數

a. 坐標轉換基準點分量差值：

NAME	Vx	Vy	Vz	Vector
T14 1	-.075474	-.087558	.064616	.132431
2422 1	.068944	.041993	.013766	.081891
E008 1	-.010769	.001065	-.013382	.017210

SUM[VV] .010566 .009431 .004544 .024540

[VV] = .0245 degree of freedom = 5

SD0 = .0701 [M]

XM = -3056780.4830 YM = 4964926.3189 ZM = 2577234.4518

b. 未知數(三軸旋轉量及尺度比)：

XX(1) = -.203035046E-04 [-4.187898 SEC] +- .107922E-03 [22.260552 SEC]

XX(2) = .963835748E-05 [1.988054 SEC] +- .568048E-04 [11.716837 SEC]

XX(3) = .526775434E-05 [1.086552 SEC] +- .634058E-04 [13.078376 SEC]

XX(4) = 1.00005481379 [54.813788 PPM] +- .365776E-04 [36.577589 PPM]

c. 未知數之法方程式距陣：

INVERSE OF NORMAL EQUATION MATRIX:

.237307347E-05 .892022033E-06 .105198226E-05 .000000000E+00

.892022033E-06 .657446001E-06 .435864216E-06 .000000000E+00

.105198226E-05 .435864216E-06 .819118921E-06 .000000000E+00

.000000000E+00 .000000000E+00 .000000000E+00 .272596154E-06

(5) 衛星定位測量自由網平差成果(WGS84)

Adjustment Summary

A-posteriori standard deviation of unit weight

$\text{SQRT}[VtPV/df]$ = 5.485//驗後權單位中誤差

Number of measurements used = 105//觀測量數目

Number measurements rejected = 3//剔除觀測量數目

Total number of measurements = 108//觀測量總數

Degrees of freedom(df) = 75//自由度

Number of singularities = 0//唯一觀測量數目

Chi-Square test prob (alpha) = .050// χ^2 測試 95%信心區間

Weighted sum of squares = 2256.7

Lower limit Chi-Square test = 52.9

Upper limit Chi-Square test = 100.8

Masterfile:D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\MASTER.DAT//參數設定檔(master.dat)

Error File error.err //錯誤訊息檔

Summary file 890805.sum //基線成果輸入檔

Results file 890805.res //平差成果輸入檔

Scratch file out

Cartesian //卡式座標系統

Geodetic //大地座標系統

Longitudes East //東經系統(台灣位置)

Distance Tol 10000.0

RATIO 2.0 //Ratio>2 才參與平差

Edit	3.0	//標準化改正數>5 即剔除
Error Ellipses		//輸出誤差橢圓
Flatinv	298.257223563d0	//Datum 扁率(WGS84)
Semi Major Axis	6378137.000d0	//Datum 長半徑(WGS84)
Max Iters	9	//最大漸近次數
Min Iters	1	//最小漸近次數
No Tau		
Type I error	0.05	//x ² 95%信心區間測試
\$Apriori Coordinates		//已知點位之座標值
E008		
4	-3056284.435	.1000d-04 !wgs84
E008		
5	4965129.402	.1000d-04 !wgs84
E008		
6	2577624.119	.1000d-04 !wgs84
\$End Apriori Coordinates		
\$DXF	890805.DXF	//平差成果圖(誤差橢圓圖)
3D FIXED	polygon 4	
DEFAULT SYMBOL	CIRCLE	
ERROR ELLIPSES		
HORIZONTAL FIXED	CIRCLE	
INCLUDE EDITED BASELINES		
NAME SIZE SCALE FACTOR	1:6	

NORTH ARROW

BASELINE LAYER 3

BORDER LAYER 0

EDITED BASELINE LAYER 2

ERROR ELLIPSE LAYER 8

LOGO LAYER 5

STATION NAME LAYER 4

NORTH ARROW LAYER 7

SCALE LAYER 6

SYMBOL LAYER 1

\$END DXF

a. 卡式坐標系統

Adjusted Cartesian Coordinates

Iteration Number 2

station num/name

x-coordinate(stdv)		y-coordinate(stdv)		z-coordinate(stdv)	
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)

1 156

-3057967.053(.006)	4965210.150(.009)	2575235.791(.004)
---------------------	--------------------	--------------------

2 2422

-3058251.885(.005)	4964437.689(.007)	2576379.083(.003)
---------------------	--------------------	--------------------

3 BM01

-3057340.648(.005)	4965025.899(.008)	2576312.719(.004)
---------------------	--------------------	--------------------

4 BM03

-3058168.096(.006)	4964094.519(.008)	2577119.657(.005)
5 E008		
-3056284.435(.000)	4965129.402(.000)	2577624.119(.000)
6 HA01		
-3057952.821(.007)	4965219.298(.010)	2575220.434(.006)
7 HA02		
-3058052.343(.006)	4965015.988(.008)	2575506.667(.006)
8 HA03		
-3058110.031(.005)	4964885.444(.008)	2575689.109(.004)
9 HA04		
-3058210.154(.006)	4964657.931(.008)	2576006.714(.004)
10 HA05		
-3058173.247(.006)	4964307.663(.008)	2576720.655(.006)
11 T14		
-3058063.496(.005)	4964135.862(.009)	2577162.880(.004)

b.

Adjusted Geodetic Coordinates

Iteration Number 2

station num/name

latitude(stdv)	longitude(stdv)	Height (stdv)
(d:m:s) (m)	(d:m:s) (m)	(m) (m)
1 156		
N 23 58 11.15286(.003)	E 121 37 40.90737(.003)	29.568(.011)
2 2422		

N 23 58 51.82097(.003) E 121 38 3.81640(.002) 29.671(.008)

3 BM01

N 23 58 49.54671(.003) E 121 37 25.45769(.003) 23.685(.010)

4 BM03

N 23 59 18.25454(.004) E 121 38 7.66017(.003) 23.608(.010)

5 E008

N 23 59 34.64205(.000) E 121 36 51.72001(.000) 131.409(.000)

6 HA01

N 23 58 10.69246(.004) E 121 37 40.30905(.004) 23.626(.012)

7 HA02

N 23 58 20.79033(.004) E 121 37 47.07780(.003) 29.424(.010)

8 HA03

N 23 58 27.27707(.003) E 121 37 51.23696(.003) 29.634(.009)

9 HA04

N 23 58 38.57449(.003) E 121 37 58.47329(.003) 29.674(.010)

10 HA05

N 23 59 3.97215(.004) E 121 38 3.86042(.003) 29.674(.010)

11 T14

N 23 59 19.79791(.004) E 121 38 3.74247(.003) 23.215(.010)

c. 已知點位坐標系統

Apriori Station Coordinate Values and Residuals

Station num/name

Meas Type A priori Value (v, v') stdv(apost)

	(m)	(m)
1 E008		
X-Coordinate(m)	-3056284.435(.000, .0)	.000
2 E008		
Y-Coordinate(m)	4965129.402(.000, .0)	.000
3 E008		
Z-Coordinate(m)	2577624.119(.000, .0)	.000
v-residual	v'-normalized residual	stdv(apost)-aposteriori stdv

d. 點位誤差橢圓

Error Ellipses in Local Horizon

Iteration Number 2

Station	Semi-Major	Semi-Minor	Major Axis	Height	Station
Num	Axis	Axis	Azimuth	Stdv	Name
	(m)	(m)	(deg)	(m)	
1	.004	.003	20.67	.011	156
2	.003	.002	15.59	.008	2422
3	.004	.003	23.98	.010	BM01
4	.004	.003	5.54	.010	BM03
5	.000	.000	92.38	.000	E008
6	.004	.004	1.03	.012	HA01
7	.004	.003	15.01	.010	HA02
8	.003	.003	22.54	.009	HA03
9	.004	.003	19.80	.010	HA04
10	.004	.003	17.32	.010	HA05

11 .004 .003 24.21 .010 T14

e. 參與平差之基線

Vector No./GPS Solution File/From Station->To Station

- 1 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008905.SSF 2422(2) --> HA05(10)
- 2 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008924.SSF HA04(9) --> HA03(8)
- 3 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008898.SSF 2422(2) --> HA04(9)
- 4 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008945.SSF HA03(8) --> 156(1)
- 5 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008931.SSF HA04(9) --> HA02(7)
- 6 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009032.SSF BM03(4) --> 2422(2)
- 7 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009024.SSF 2422(2) --> BM03(4)
- 8 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008891.SSF 2422(2) --> HA03(8)
- 9 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008983.SSF 2422(2) --> T14(11)
- 10 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008902.SSF 2422(2) --> HA02(7)
- 11 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008987.SSF 2422(2) --> BM01(3)
- 12 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008980.SSF 2422(2) --> BM01(3)
- 13 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008887.SSF 2422(2) --> 156(1)
- 14 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008938.SSF HA05(10)--> HA02(7)
- 15 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008997.SSF T14(11) --> BM01(3)
- 16 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008994.SSF T14(11) --> BM01(3)
- 17 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009043.SSF 2422(2) --> HA01(6)
- 18 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009021.SSF 2422(2) --> HA01(6)
- 19 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009007.SSF E008(5) --> BM01(3)
- 20 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009004.SSF E008(5) --> BM01(3)

21 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009000.SSF T14(11) --> E008(5)

22 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009039.SSF BM03(4) --> E008(5)

23 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008951.SSF BM03(4) --> E008(5)

24 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009036.SSF BM03(4) --> HA01(6)

25 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008941.SSF HA05(10)--> E008(5)

26 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009046.SSF 2422(2) --> E008(5)

27 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009028.SSF 2422(2) --> E008(5)

28 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008909.SSF 2422(2) --> E008(5)

29 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008990.SSF 2422(2) --> E008(5)

30 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008894.SSF 2422(2) --> E008(5)

31 E D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009010.SSF E008(5) --> 2422(2)

32 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009017.SSF HA04(9) --> E008(5)

33 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008948.SSF HA03(8) --> E008(5)

34 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008966.SSF HA02(7) --> E008(5)

35 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00008969.SSF 156(1) --> E008(5)

36 D:\GPSDATA\HOWLANG\NET\00009050.SSF E008(5) --> HA01(6)

f. 卡式座標系統基線分量及改正數

Measurements(Cartesian Vectors)

Iteration Number 2

Vector No.	dx	(vdx,v'dx)	dy	(vdy,v'dy)	dz	(vdz,v'dz)
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	78.640(	.001, .2)	-130.027(	-.001, .1)	341.571(	-.001, .3)
2	100.122(	-.001, .2)	227.517(	.004, .5)	-317.604(	.001, .3)

3	41.731(.000, .1)	220.244(.002, .4)	-372.368(.001, .3)
4	142.978(-.001, .1)	324.708(.002, .2)	-453.316(.002, .4)
5	157.810(-.002, .1)	358.057(.000, .0)	-500.039(.007, .6)
6	-83.786(.004, .7)	343.169(-.001, .1)	-740.574(.001, .1)
7	83.792(.002, .3)	-343.170(.000, .0)	740.574(-.001, .1)
8	141.855(.001, .2)	447.755(.000, .0)	-689.974(.000, .0)
9	188.389(.000, .1)	-301.828(-.001, .2)	783.798(.000, .1)
10	199.543(.000, .0)	578.299(.001, .1)	-872.416(-.001, .1)
11	911.233(-.005, 1.0)	588.197(-.013, 1.2)	-66.356(.008, 1.6)
12	911.246(.008, 1.1)	588.209(-.001, .1)	-66.367(-.003, 1.2)
13	284.834(.001, .2)	772.462(.001, .1)	-1143.293(-.001, .3)
14	120.906(.002, .3)	708.323(-.002, .2)	-1213.990(-.002, .3)
15	722.840(-.008, 1.3)	890.023(-.013, 1.0)	-850.159(.002, .5)
16	722.856(.008, .9)	890.039(.003, .2)	-850.163(-.002, .5)
17	299.075(.010, 1.1)	781.598(-.011, .8)	-1158.652(-.003, .3)
18	299.056(-.009, .8)	781.618(.009, .5)	-1158.651(-.002, .2)
19	-1056.203(.010, .6)	-103.522(-.019, .6)	-1311.411(-.011, .7)
20	-1056.222(-.009, .4)	-103.461(.042, 1.4)	-1311.407(-.007, .7)
21	1779.066(.005, .3)	993.518(-.022, .8)	461.242(.003, .3)
22	1883.644(-.017, .6)	1034.885(.002, .1)	504.450(-.012, .8)
23	1883.670(.009, .3)	1034.855(-.028, .5)	504.432(-.030, .8)
24	215.271(-.004, .6)	1124.782(.003, .4)	-1899.223(.000, .1)
25	1888.811(-.001, .0)	821.746(.007, .2)	903.462(-.002, .1)

26	1967.436(-.014, .4)	691.709(-.004, .1)	1245.017(-.019, .6)
27	1967.442(-.008, .3)	691.704(-.009, .3)	1245.032(-.004, .5)
28	1967.456(.006, .3)	691.705(-.008, .3)	1245.019(-.017, .9)
29	1967.457(.007, .6)	691.693(-.020, .9)	1245.040(.004, .4)
30	1967.447(-.003, .2)	691.741(.028, 1.4)	1245.039(.003, .3)
31	-1968.342(-.892, .2)	-689.573(2.140, .4)	-1245.387(-.351, .1)E
32	1925.727(.008, .3)	471.471(.000, .0)	1617.393(-.012, .6)
33	1825.596(.000, .0)	243.981(.023, 1.0)	1935.010(.000, .0)
34	1767.917(.009, .4)	113.415(.001, .0)	2117.448(-.004, .1)
35	1682.622(.004, .3)	-80.733(.015, .7)	2388.334(.006, .5)
36	-1668.354(.032, 1.0)	89.881(-.015, .4)	-2403.674(.011, .6)

v-residual

v'-normalized residual

E-manually edited

*-automatically edited

N-nocheck obs

Measurement (dx,dy,dz) sigma editor used - Critical value = 3.0

g.

Measurements(Geodetic Vectors, Heights)

Iteration Number 2

Vector No.	dlat (vdlat,v'dlat)	dlon (vdlon,v'dlon)	dh (vdh,v'dh)
	d:m:s (m)	d:m:s (m)	(m) (m)
1	0 0 12.151(-.001, .2)	0 0 .044(-.001, .2)	.001(-.002, .2)
2	-0 0 11.297(-.001, .2)	-0 0 7.236(-.001, .4)	-.036(.004, .5)
3	-0 0 13.246(.000, .1)	-0 0 5.343(-.001, .3)	.005(.002, .3)
4	-0 0 16.124(.001, .3)	-0 0 10.330(.000, .1)	-.064(.002, .2)
5	-0 0 17.784(.006, .7)	-0 0 11.395(.001, .2)	-.246(.004, .2)

6 -0 0 26.434(.002, .5) -0 0 3.844(-.003, .9) 6.062(-.002, .2)
7 0 0 26.434(.000, .0) 0 0 3.844(-.002, .5) -6.065(-.002, .1)
8 -0 0 24.544(.000, .1) -0 0 12.579(-.001, .3) -.038(.000, .0)
9 0 0 27.977(.001, .2) -0 0 .074(.001, .4) -6.457(-.001, .1)
10 -0 0 31.031(-.001, .2) -0 0 16.739(.000, .1) -.247(.000, .0)
11 -0 0 2.274(.011, 2.7) -0 0 38.358(.011, 2.7) -5.991(-.004, .4)
12 -0 0 2.274(-.001, .2) -0 0 38.359(-.007, 2.2) -5.992(-.006, .4)
13 -0 0 40.668(-.001, .3) -0 0 22.909(-.001, .4) -.104(-.001, .1)
14 -0 0 43.182(-.001, .2) -0 0 16.783(-.001, .2) -.253(-.003, .3)
15 -0 0 30.251(.005, 1.0) -0 0 38.284(.014, 3.0) .464(-.005, .4)
16 -0 0 30.251(-.001, .1) -0 0 38.285(-.008, 2.2) .467(-.002, .2)
17 -0 0 41.128(.003, .5) -0 0 23.507(-.003, .5) -6.060(-.015, .9)
18 -0 0 41.129(-.007, .8) -0 0 23.507(.003, .4) -6.035(.010, .5)
19 -0 0 45.095(-.001, .1) 0 0 33.738(.001, .1) -107.748(-.024, .6)
20 -0 0 45.096(-.023, 1.9) 0 0 33.737(-.014, 1.8) -107.690(.034, 1.0)
21 0 0 14.845(.012, 1.1) -0 1 12.022(.007, .8) 108.176(-.018, .5)
22 0 0 16.387(-.015, 1.1) -0 1 15.940(.013, 1.0) 107.807(.005, .1)
23 0 0 16.387(-.015, .7) -0 1 15.940(.007, .4) 107.763(-.038, .6)
24 -0 1 7.562(-.002, .4) -0 0 27.351(.002, .5) .023(.005, .4)
25 0 0 30.670(-.004, .3) -0 1 12.141(-.003, .3) 101.740(.005, .1)
26 0 0 42.820(-.019, .9) -0 1 12.096(.014, .7) 101.734(-.004, .1)
27 0 0 42.821(-.003, .2) -0 1 12.096(.012, 1.3) 101.733(-.005, .1)
28 0 0 42.821(-.012, 1.0) -0 1 12.096(-.001, .1) 101.722(-.016, .5)

29 0 0 42.821(.012, 1.6) -0 1 12.096(.005, .7) 101.721(-.017, .7)
 30 0 0 42.821(-.008, 1.0) -0 1 12.097(-.012, 1.6) 101.762(.025, 1.0)
 31 -0 0 42.862(-1.251, .2) 0 1 12.084(-.362, .1) -99.789(1.949, .4)E
 32 0 0 56.067(-.010, .5) -0 1 6.754(-.007, .4) 101.726(-.009, .2)
 33 0 1 7.365(-.008, .9) -0 0 59.517(-.012, 1.5) 101.793(.018, .6)
 34 0 1 13.852(-.002, .1) -0 0 55.358(-.008, .7) 101.979(-.006, .1)
 35 0 1 23.489(.001, .1) -0 0 49.188(-.012, 1.5) 101.854(.012, .4)
 36 -0 1 23.949(.022, 1.3) 0 0 48.588(-.019, 1.3) -107.805(-.022, .5)

v-residual

v'-normalized residual

E-manually edited

*-automatically edited

N-nocheck obs

5.4 堤腳與堤址之調查

5.4.1 工作項目【堤腳和堤址調查】：

主要以潛水人員採用錄影和觀看之方式，並且發現有沖蝕時，再量測其破壞範圍，每年即以錄影資料來比對其差異性。

5.4.2 成果表示和分析：

以東防波堤堤頭起，每個沉箱依序編號(1#~50#)，由潛水人員採用錄影和觀看之方式，並且發現有沖蝕時，再量測其破壞範圍，每年即以錄影資料來比對其差異性，範圍如圖。

1#正常，並無破壞情況。

2#護基方塊小裂縫間隙但正常，無嚴重損壞情形。

3#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤址部份應是穩定。

4#堤腳部份應屬正常，無損壞情形。

5#堤址與堤腳部份正常，但些許護基卵石已流失。

- 6#護基卵石已流失，但堤基暫時無損傷之虞。
- 7#大致正常，但卵石流失問題應注意。
- 8#沉箱護基未損壞，些許護基卵石被拋至方塊上面。
- 9#堤腳塊石部份小傾斜應屬正常，無嚴重損壞情形。
- 10#AB 護基方塊不平整，應注意卵石流失問題。
- 11#沉箱堤基屬於正常，目前無損壞。
- 12#護基方塊傾斜嚴重有損壞情形，並且大塊卵石由較深海之下面處，被海浪拋至基塊上面。
- 13#AB 方塊前有大量大石頭，疑似颱風期間颱風浪將附近卵石搬到此處，且沉箱接縫處間隙大。
- 14#些許護基方塊不平整，有傾斜狀況。
- 15#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤基暫時無損傷之虞。
- 16#沉箱堤基屬於正常，目前無損壞。
- 17#正常，方塊間縫隙大。
- 18#護基方塊外石頭紊亂，似颱風大浪所造成。
- 19#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤基暫時無損傷之虞。
- 20#大卵石在護基方塊上，堤腳無損傷之虞。
- 21#方塊不甚平整，應注意卵石流失問題。
- 22#護基 AB 方塊彼此分離開的距離有 60 公分之多，雖暫無破壞之虞但須預防颱風來襲的風浪。
- 23#護基方塊旁有 120 公分高的巨大石頭直立，而小卵石則不見，判斷颱風造成之大浪所影響。

- 24#方塊間隙縫 30 公分，雖無立即損壞的危險，但仍需注意。
- 25#大顆石頭被拋於基塊上，沉箱堤址正常。
- 26#沉箱堤基屬於正常，目前無損壞。
- 27#護基方塊間分離 40 公分，需注意堤腳保護。
- 28#護基方塊間分離、有裂縫，且小卵石被拋至其上面。
- 29#方塊外石頭亂堆，似是巨大波浪所造成。
- 30#小卵石被拋至基塊其上面，應注意卵石流失問題。
- 31#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤腳部份應屬正常穩定。
- 32#方塊高低不平整，小卵石跑到其上。
- 33#護基方塊不平整，沉箱堤基屬於正常，目前無損壞。
- 34#堤腳、方塊一切正常。
- 35#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤址部份應是穩定。
- 36#護基方塊間距變大，小卵石拋至上面。
- 37#大致正常，但卵石流失問題應注意。
- 38#沉箱護基未損壞，些許護基卵石被拋至方塊上面。
- 39#護基方塊翹起，分離情況頗為嚴重
- 40#護基方塊高低不平整，小卵石跑到其上。
- 41#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤基暫時無損傷之虞。
- 42#部份卵石已不在護基方塊旁，但堤址部份應是穩定。
- 43#大致正常，但卵石流失問題應注意。
- 44#AB 方塊損壞、破裂，護基方塊外石頭紊亂，似颱風大浪所造成。

45#堤基、堤址、方塊正常，並無破壞情況，此處為波壓計之儀器安裝位置所在的沉箱。

46#方塊間隙有些許剝離、分開現象。

47#堤腳、方塊一切正常，部份卵石已不在護基方塊旁。

48#沉箱堤基屬於正常，目前無損壞。

49#護基方塊有些紊亂，，雖無立即損壞的危險，但仍需注意。

50#堤腳、方塊一切正常。

5.5 量測資料傳輸儲存系統之建立

5.5.1 工作項目：

1.資料傳輸系統軟體安裝及測試

2.報告成果簿，包含下列各項：

(1)工作觀測範圍圖、氣溫、天候、作業方式說明。

(2)系統監測點之原始觀測記錄、位置及相關資料說明。

(3)監測系統所採用之儀器及其相關說明。

5.5.2 施工規範說明：

1.遠方觀測站內裝設 1 台工業級電腦，和現地觀測站連線。由於距離遠，有關信號傳輸方式，廠商需要自行克服處理。

2.儀器安裝前廠商需自行檢測，並提出檢測報告，符合正常功能始能安裝，並將測試報告附於完工報告書內。

5.5.3 儀器安裝施工規格

1.資料傳輸系統

- (1)本系統配置一套個人電腦和遠端現地資料擷取系統連線。
- (2)現地和觀測站距離在 2.5km 以上，有關資料的傳輸，信號的衰減，廠商考慮處理方式。
- (3)現地和觀測站之連線能夠自動傳送，當現地收錄到觀測資料，同時也能自動傳送至電腦端，自動存檔記錄。所有設定、修改、收錄料都可以在電腦上處理。
- (4)現地資料擷取系統，記憶體飽和或每次自動傳送資料到電腦存檔完成後能夠自動清除資料擷取系統的記憶體。記憶體永遠保持空間待取觀測資料。

個人電腦：工業級電腦型式

19" 14-Slot IPC. 330W. PIS

Pentium III 500M HZ 以上

S DRAM 128MB 以上

1.44MB FDD

HDD 1.3GB 以上

2.數據機

型 式：專線 4 線式

調變方式：TCM (2400~33600bps) QAM

操作方式：撥接電話或 4 線專線

終極速度：最高可至 115200bps

資料縮壓：ITU-T V.42 規範

診測功能：ITU-T V.54 規範

傳輸準位：專線 0~-31dBm

界 面：RS-232C

電 源：AC90~260V，±10%，50HZ~60HZ 5.2 防波堤地震震度量測系統

5.5.4 成果表示和分析：

Station Name Station1Period

Channel Name CH1

Trigger Time 2000/10/12 06:00:00.00

Delay Time(s) 0.000

Last Corrected Time -

Sampling Freq(Hz) 10

Duration Time(s) 1200.000

Unit of Data gal

Number of Data 12000

Max. Amplitude -0.92773

-0.859375

-0.842773

-0.834961

-0.848633

-0.830078

-0.848633

-0.856445

-0.828125

-0.868164

.....

Station Name Station1Period

Channel Name	CH9
Trigger Time	2000/10/12 06:00:00.00
Delay Time(s)	0.000
Last Corrected Time	-
Sampling Freq(Hz)	10
Duration Time(s)	1200.000
Unit of Data	kg/cm^2
Number of Data	12000
Max. Amplitude	0.50651

0.407855

0.411232

0.414730

0.418242

0.421879

0.425486

0.429051

0.432391

0.435537

.....

Station Name	Station1Period
--------------	----------------

Channel Name	CH12
--------------	------

Trigger Time	2000/10/12 06:00:00.00
--------------	------------------------

Delay Time(s)	0.000
---------------	-------

Last Corrected Time -

Sampling Freq(Hz) 10

Duration Time(s) 1200.000

Unit of Data kg/cm²

Number of Data 12000

Max. Amplitude -0.00264

-0.002570

-0.002558

-0.002565

-0.002563

-0.002567

-0.002572

-0.002573

-0.002568

-0.002567

.....

5.6 長期監測站之設立

由花蓮港務局委託本中心所辦理此代理計畫中，於東防波堤 45#沉箱處(自堤頭為 1#沉箱算起)裝設波壓和震動觀測儀器，用來監測東防波堤所受到的波浪動態，透過即時線路傳遞，並於東防波堤港警檢查站，建立設置一資料傳輸與搜集之長期監測站，在監測一段時間後，即可比對現場波力和設計條件間之差異，做為未來預測之參考，提供日後花蓮港務局瞭解東防波堤之現況，可能破壞情況及維修之工程施工依據。

第六章 結論與建議

6.1 結 論

- 1.目前由強烈颱風碧利斯侵襲花蓮港之後的東防波堤損壞情形看來，應屬於胸牆部份的損壞而已，並未損傷到沉箱整體結構，目前應僅須對損壞之胸牆部份考慮其補強修復，不似蘇澳港南堤的破壞乃屬沉箱基礎已破壞，恐需要從沉箱基礎、堤址等較多方面考量著手。**
- 2.本計畫中對東防波堤所做的堤腳與堤址之水下錄影調查，其中 12#、13#、22#、23#(以東堤堤頭為 1#算起)等沉箱之 AB 護基方塊是屬受到颱風波浪損壞較為嚴重的情況，但目前應無即時損壞之虞，除此之外其他的沉箱堤腳卵石，多半遭受波浪的沖擊已大量移位，恐應注意以切實保護堤址。**
- 3.於 45#沉箱處裝設有波壓計 9 只【由於本年度經費並不充裕，因此儀器設備費用更加捉襟見肘，原先只考慮於胸牆堤面裝置波壓計 6 個，但經過碧利斯颱風後，東堤部份胸牆嚴重受創，所以乃節省計畫中其他預算，需要在胸牆內部堤面裝設另 3 只波壓計，屆時用以明瞭波浪於開口胸牆內所造成之壓力動態情況】，用來觀測波浪的即時動態情形，且比較波浪對東堤沉箱是否有其他效應影響。**
- 4.於 45#沉箱處同時裝設有震動計 1 只，當颱風波浪來時對沉箱結構整體量測其震度，同時間與波壓量測值可做一比較探討，而若有地震產生時，亦可監測地震是否造成的波浪異常現象。**
- 5.沉箱高程及法線測量，為的是明瞭沉箱受到波浪衝擊後，是否產生移位及傾斜，本年度之工作已於碧利颱風來前完成，為能確實了解其變化的狀況，將於下年度初即展開作業，以期能立即掌握時效，進行比較和分析。**

6.2 建議

- 1.目前本計畫中對沉箱之堤腳與堤址現況調查發現，其中護基方塊外的保護卵石，部份已大量流失，雖無立即損壞之虞，為考量沉箱基礎安全，花蓮港務局應有因應的對策
- 2.本計畫之執行工作皆只是對所謂新東堤部份，進行檢測與監測的作業，至於原東堤和新東堤交接處，由陸上胸牆頂一一檢視後，發現亦有多處損害的地方，也可能發生沉箱掏空破壞狀況，也應在日後提出相關檢測或改善計畫。
- 3.計畫於執行期間中遭遇多次颱風，因此在工作受到許多困難和阻礙，但承蒙花蓮港務局、花蓮港警所及各方的協調與幫助，終能匆匆完成此工作，為求可以儘快接續因颱風後，對沉箱的高程法線測量作業，並且避免計畫執行之擠壓壓力，故將未來計畫改善方針提出，俾能辦理計畫之工作事項。

參考文獻

- [1] 張金機等〔1986〕波壓試驗研究，*港灣技術研究所* 76-研四。
- [2] 張金機等〔1988〕波壓調查研究報告，*港灣技術研究所*。
- [3] 張金機等〔1991〕波壓調查研究(二)，*港灣技術研究所* 80-研(六)。
- [4] 邱永芳〔1994〕波壓及水粒子速度與波高間轉換函數之研究，*國立交通大學土木系博士論文*。
- [5] 饒正〔2000〕蘇澳港南外堤沉箱灌漿試驗研究，*港灣技術研究中心* MOTC-IOT-IHMT-ME8801。



圖 1 45#沉箱胸牆安裝之波壓計

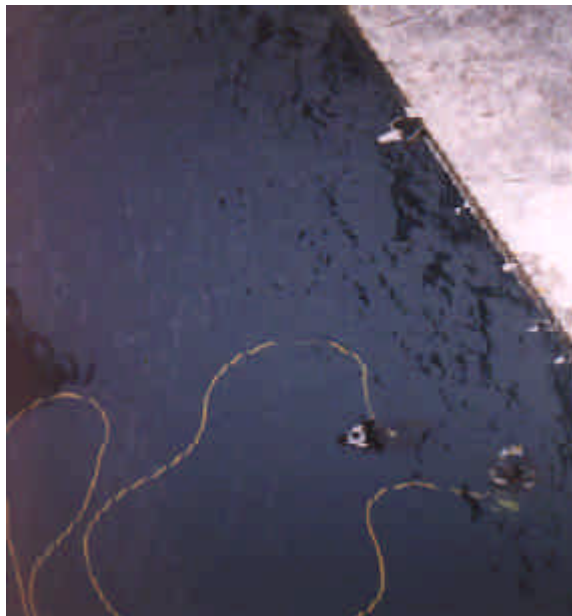


圖 2 波壓計於沉箱胸牆安裝之上視圖



圖 3 波壓計裝設之前置作業



圖 4 胸牆內部加裝之 3 只波壓計



圖 5 碧利斯颱風侵襲後東堤胸牆損壞情形



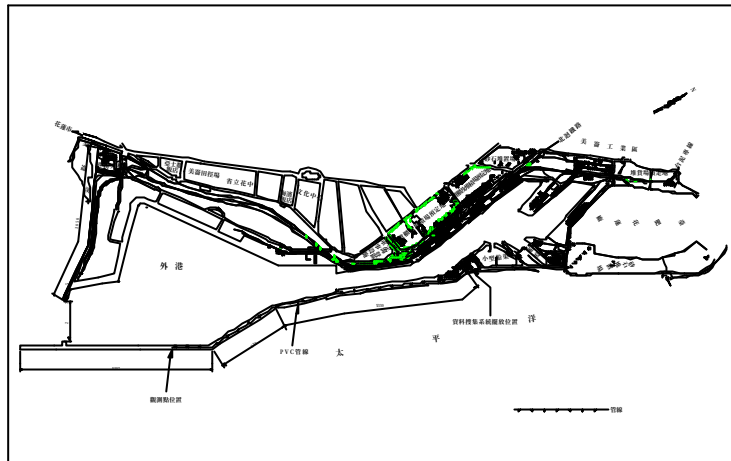
圖 6 強烈颱風碧利斯侵襲後東堤胸牆損壞情形



圖 7 碧利斯颱風侵襲後東堤胸牆破壞情形

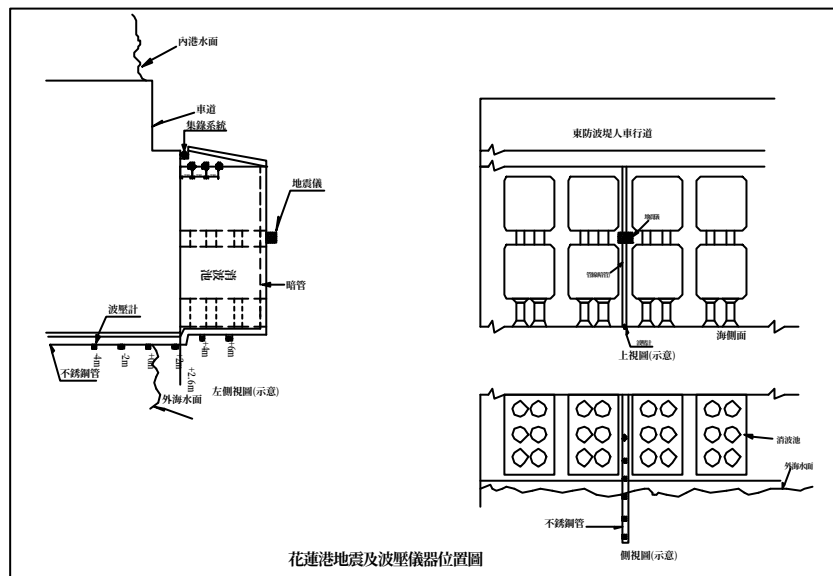


圖 8 碧利斯颱風侵襲後東堤沉箱路面損壞情形



花蓮港地震及波壓儀器位置示意圖

圖 9 花蓮港地震及波壓儀器裝設位置示意圖



花蓮港地震及波壓儀器位置圖

圖 10 花蓮港東堤胸牆地震及波壓儀器位置圖

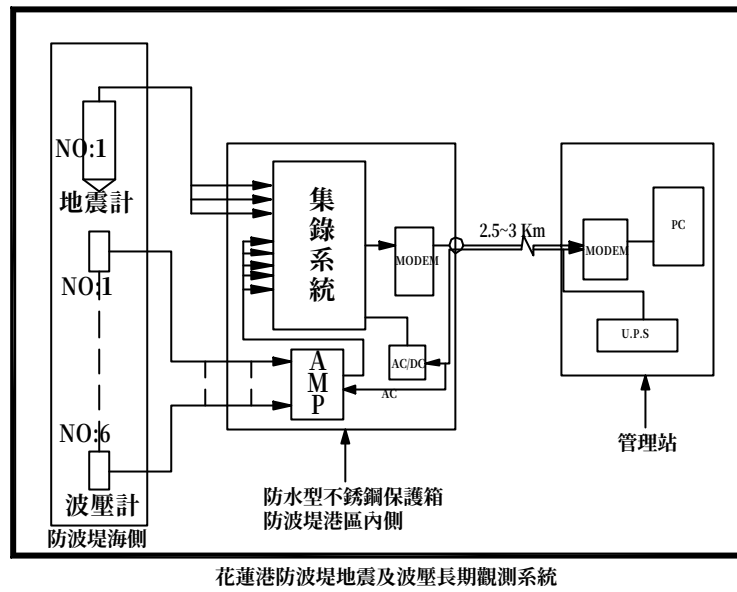


圖 11 花蓮港東防波堤地震及波壓長期觀測系統

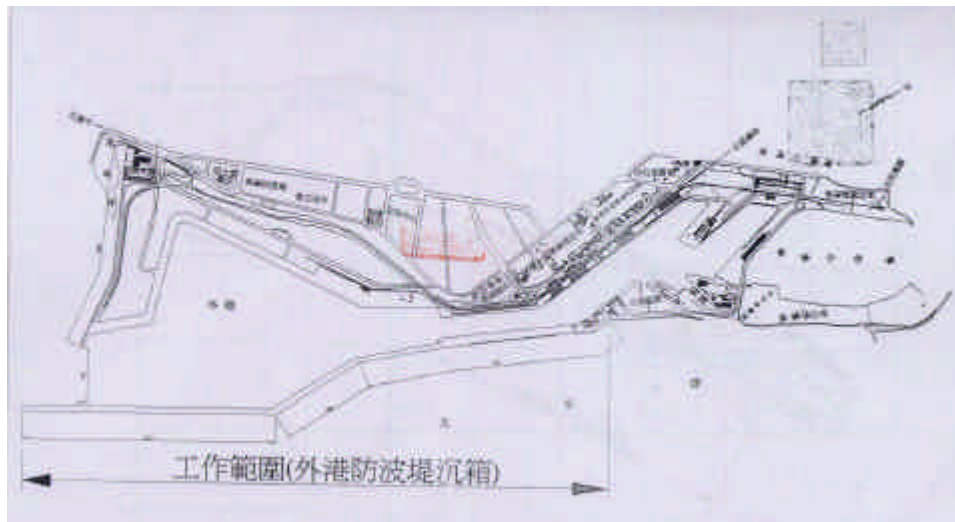


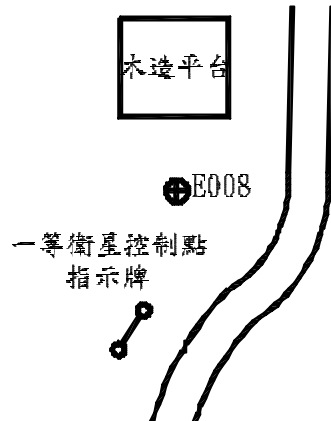
圖 12 花蓮港外港防波堤高程、法線測量工作

控制點樁位指示圖

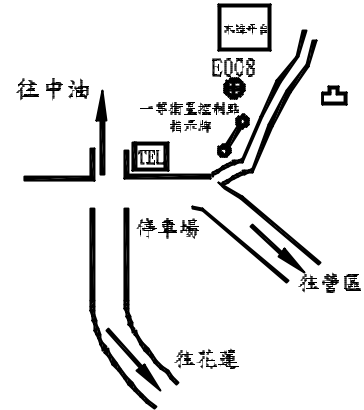
SURVEY STATION SHEET

圖 號		日 期	89 年 08 月
埋 設 單 位		縱 座 標	2654585.256m
樁 號	美崙山 E008	橫 座 標	311681.117m
樁 別	石樁	高 程	109.973m

位置詳圖：



略圖：



說明：由美崙山公園入口車行 0.6KM 至停車場，再由電話亭旁之階梯往上步行約 250 米，右方有一礮堡，左方即點位處，步行時間約 7 分鐘。

照片：



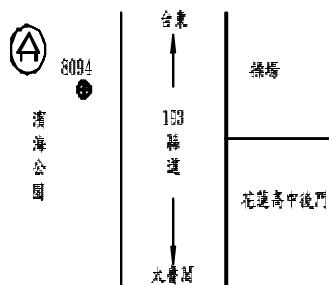
圖 13 測量三角控制點美崙山 E008 檢測

控制點樁位指示圖

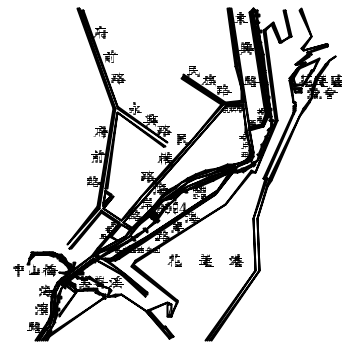
SURVEY STATION SHEET

圖 號		日 期	89 年 08 月
埋 設 單 位		縱 座 標	
樁 號	8094 (水準點)	橫 座 標	
樁 別	石樁	高 程	23.299m

位置詳圖：



略圖：



說明：點位於 193 號道路花圃旁，花蓮高中後門對面草地上。

照片：



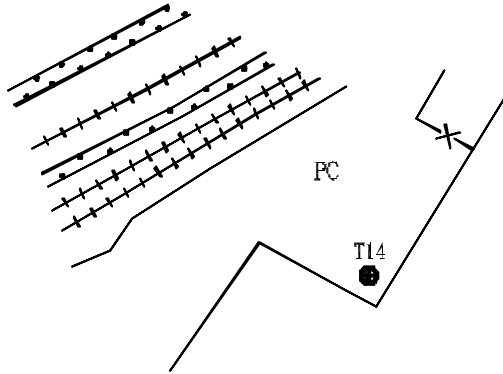
圖 14 測量水準控制點 8094 檢測

控制點樁位指示圖

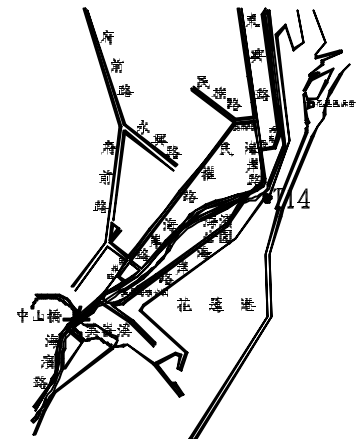
SURVEY STATION SHEET

圖 號		日 期	89 年 08 月
埋 設 單 位		縱 座 標	2654137.455m
樁 號	T14	橫 座 標	313718.827m
樁 別	鋼標	高 程	2.7097m

位置詳圖：



略圖：



說明：由花蓮港大門入花蓮港向北方行駛，行約 1100m 過高架輸送帶，右轉行約 20m 處，點位位於堤防轉角處。

照片：



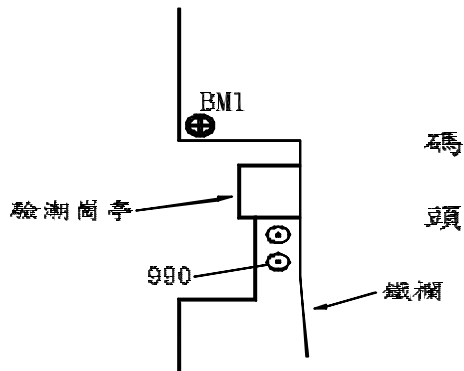
圖 15 測量控制點 T14 檢測

控制點樁位指示圖

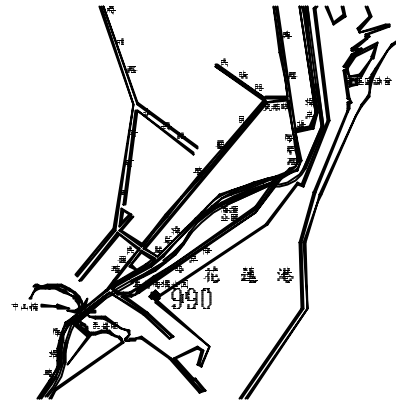
SURVEY STATION SHEET

圖 號		日 期	89 年 08 月
埋 設 單 位		縱 座 標	
樁 號	990 (驗潮站)	橫 座 標	
樁 別	石樁	高 程	2.7943m

位置詳圖：



略圖：



說明：由花蓮港大門入花蓮港經港務大樓順路直行約 150m，於堤防轉角處見一花蓮港口驗潮站，點位即位於花蓮港口驗潮站邊。

照片：



圖 16 測量控制點 990 檢測

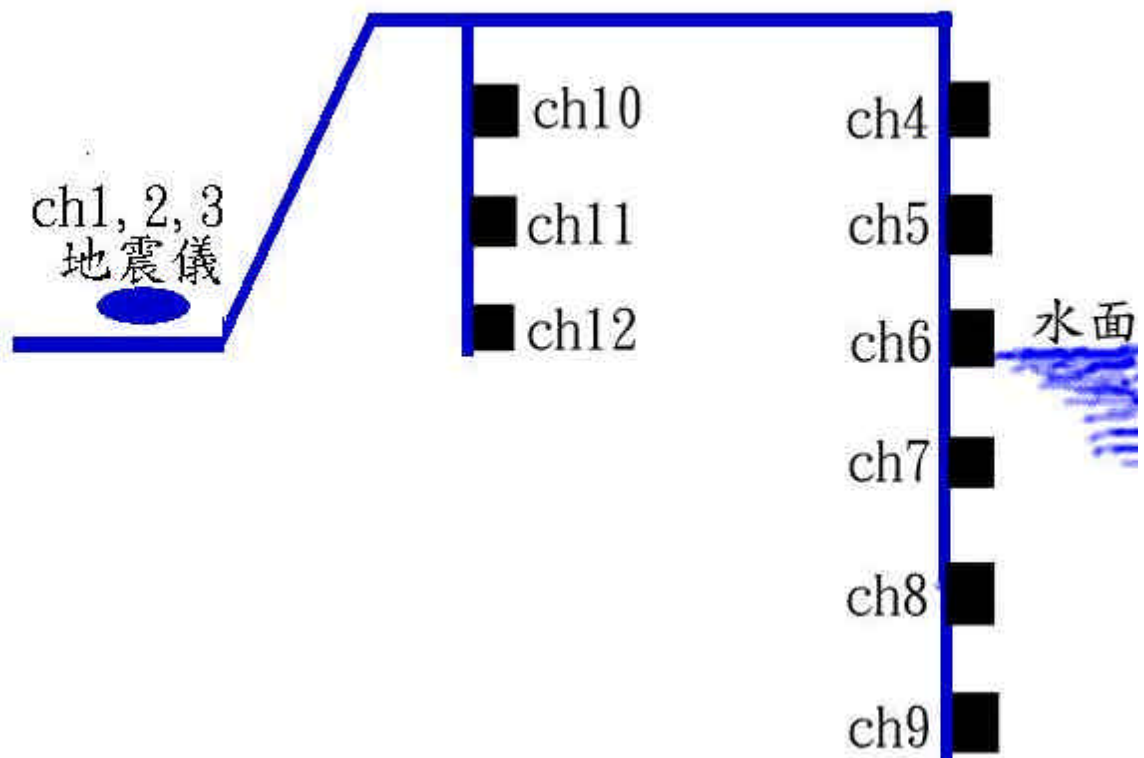


圖 19 東防波堤地震及波壓長期觀測量測資料傳輸儲存系統

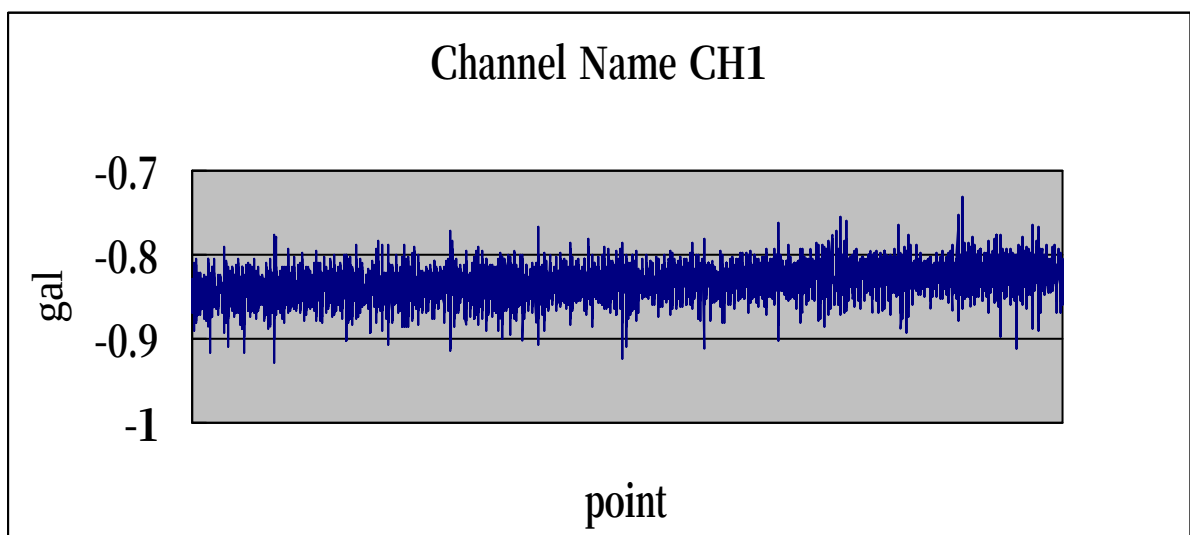


圖 20 東防波堤 2000/10/15/06:00~07:00 地震計 ch1 之觀測量測資料

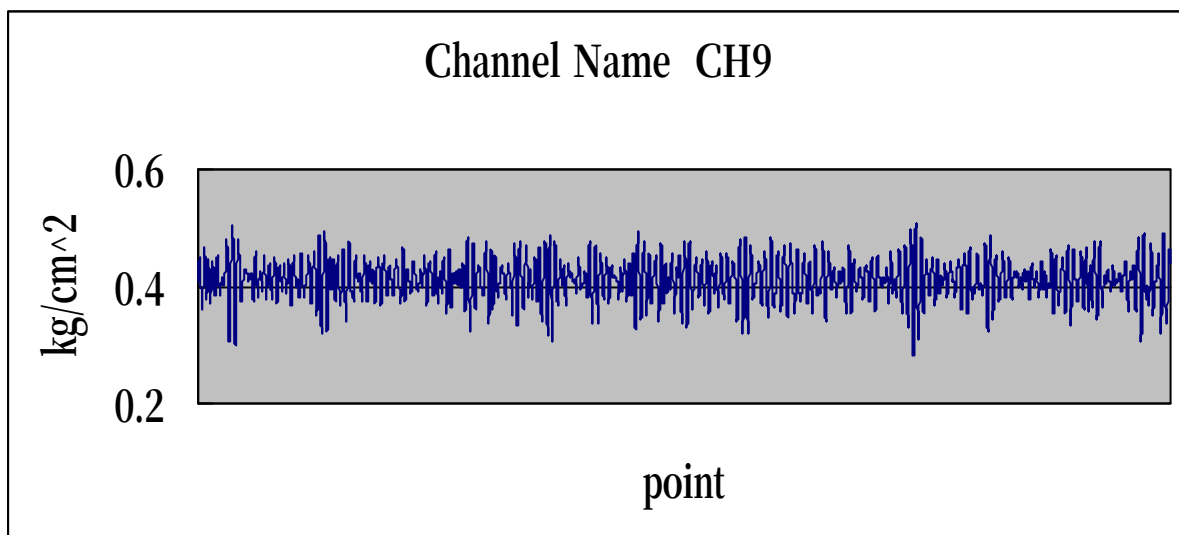


圖 21 東防波堤胸牆外 2000/10/15/06:00~07:00 波壓計 ch9 之觀測量測資料

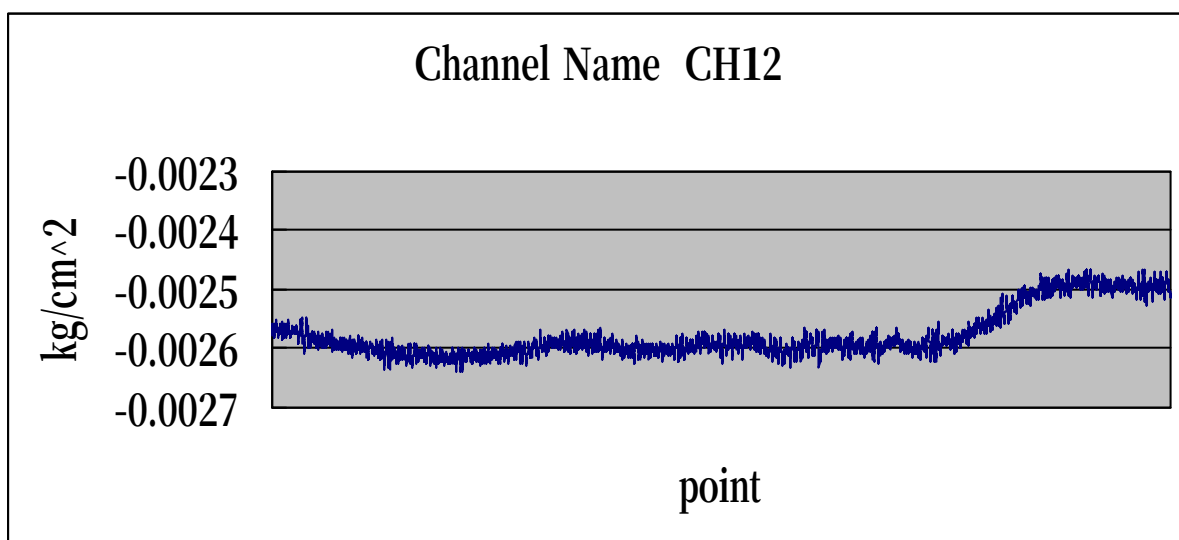


圖 22 東防波堤胸牆內 2000/10/15/06:00~07:00 波壓計 ch12 之觀測量測資料

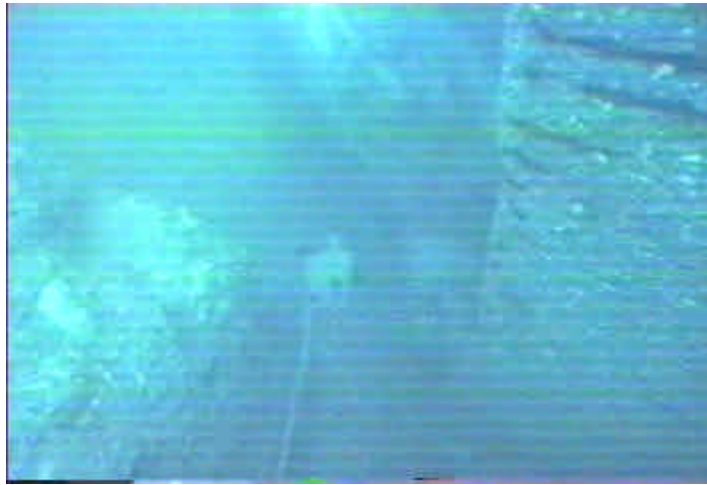


圖 23 #1 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影

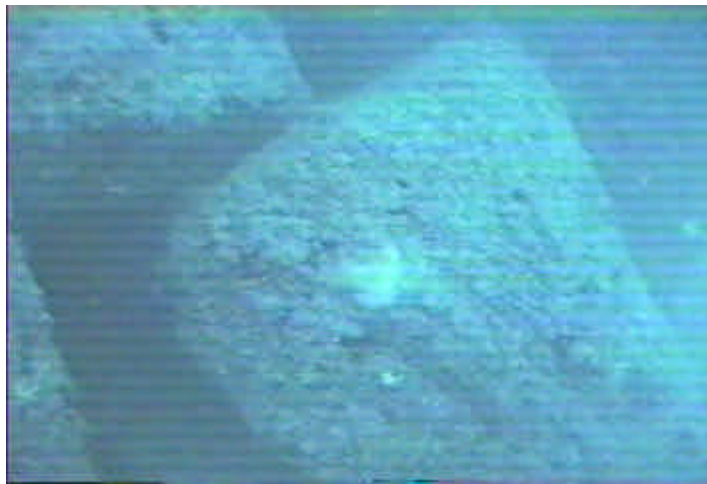


圖 24 #2 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影

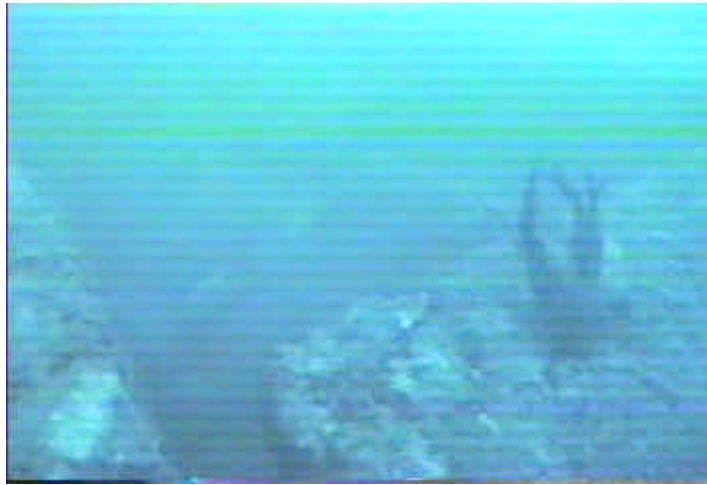


圖 25 #4 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 26 #21 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 27 #21 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 28 #22 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 29 #23 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 30 #26 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 31 #27 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 32 #27 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 33 #39 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 34 #40 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影

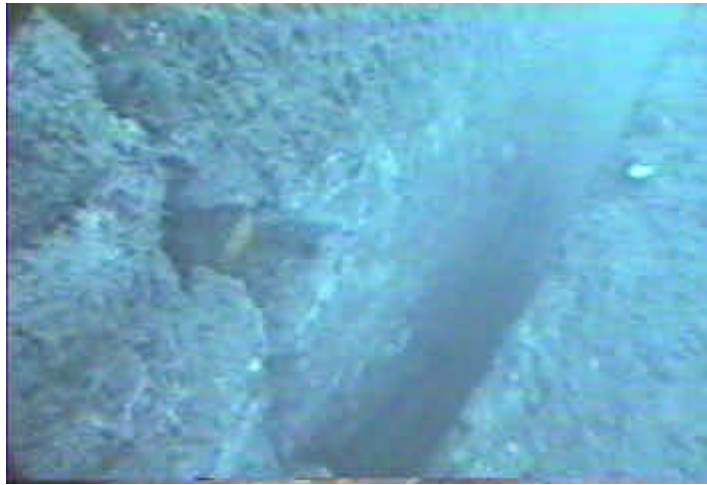


圖 35 #41 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影

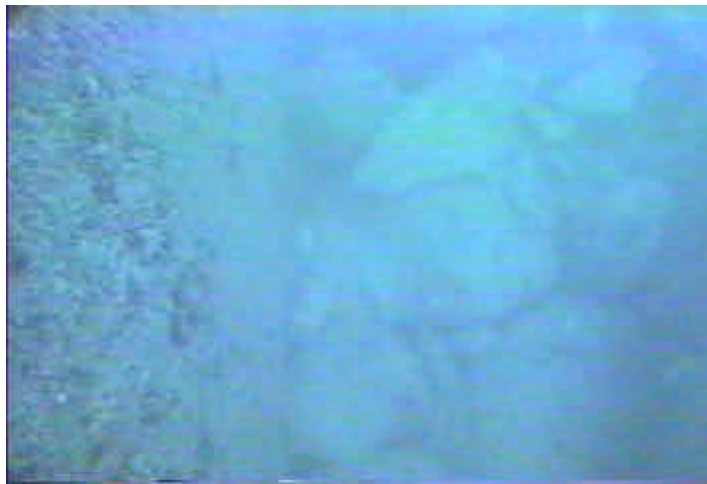


圖 36 #42 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 37 #43 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 38 #44 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影

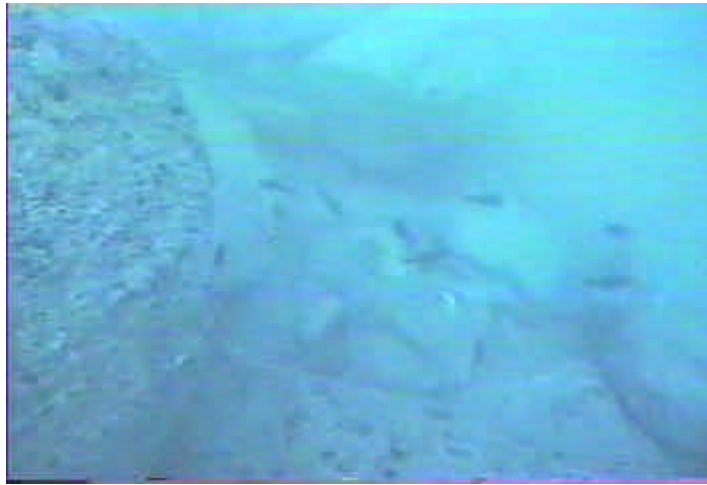


圖 39 #44 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 40 #46 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影



圖 41 #49 東防波堤沉箱堤腳堤址水下調查攝影

「花蓮港構造物檢測」期末報告審查會議紀錄

壹、時間：八十九年十月十八日下午二時

貳、地點：本局三樓會議室

參、主持人：方總工程司

肆、出席單位：

紀錄：范良勳

港務組 宋學平

港埠工程處 柯登福

會計室 楊惠芳

工務組 賴福順

港灣技術研究中心 邱永芳 許英正 楊美華 陳桂清 饒正

洪一生 柯正龍 張道光

伍、審查意見：

柯副處長：本構造物檢測期末報告初稿內容豐富，鋼板樁及新東堤堤址破壞部份希能有更詳細資料說明比對。

賴課長：

一、本組係本計畫主辦單位，有關 P-14 鋼皮樁檢測範圍 #9 碼頭與航道鋼皮樁取點位置與合約規定取點位置不符，請港研中心提出說明。另東堤監測 P-4、4-1 節資料搜集、現況調查內容過於簡單，希能補充資料加以說明。

二、依本報告鋼板樁檢測資料分析所得，雖內港碼頭及航道鋼板樁腐蝕速率均在標準值(0.2mm/yr)之下，且本港港池水質良好無污染情況，但無法永遠保證無污染，故陰極防蝕保護是否有必要或急要辦理及經濟效益、費用、安裝時機等，請再做評估，提供本局參考。

三、報告書內對本港鋼板樁水下部份均有附著厚厚一層海生物或貝類生存之論述，該項海生物或貝類對鋼板樁腐蝕速率或防止腐蝕作用是有益或有害，希能作進一步探討分析並提供意見，俾所因應。

四、東堤監測之波壓計依現場勘查安裝位置在 0k+650 處(即新

東堤全長一八五 0 公尺之 $\frac{1}{3}$ 處)該處水深約-21 公尺，而該堤堤頭水深約-26 公尺波能可能較大，如經費許可是否可考慮增加延長纜線至堤頭 1k+800 處增設波壓計，以求取正確之波壓數據，並互相比對，以作新東堤胸牆維修之參考數據。

五、本港四、五號鋼板樁碼頭水上部份每三~四年均列有預算油漆塗覆以降低鋼板樁腐蝕速率，是否有更佳之施作方式或更好之材料，請併入結論建議以供本局參考。

六、新東堤堤基最脆弱部份(淘空破壞)之位置依歷年經驗觀察，其位置應在第一~第三座沉箱(即新舊東堤交角處)，應為本次水下調查之重點，希能再有更詳細之資料分析，以作本局維修之參考。

結論：

一、本次水下調查作業鋼板樁及東堤之錄影帶，請各送本局乙份備查。

二、依基隆港之設計經驗，一般鋼板樁壽年為二十年，而本港設計壽年請再詳查，以作下年度腐蝕速率確立之依據。

三、有關測點位、儀器安裝、水下調查作業...等工作項目，作業前應與本局主辦單位協調連繫，以利業務執行。

四、本次「碧利斯」颱風造成新東堤胸牆之破壞，數位大學教授曾來局勘查，並提供意見，貴中心如有更好之意見，亦請提供，以作修復工程設計之參考。

五、本東堤監測項目之沉箱高程、法線等位置，請以平面位置圖編號表示，以資對照，如圖面能表示者，儘量以圖面表示。另沉箱完工高程資料希能蒐集，以資比對沉陷量。

六、本報告書內本港營運量已達一、四 00 萬噸有誤，請更正。

七、本港航道狹窄，鋼板樁岸壁結構之安全，影響航行安全至鉅，故其鋼板樁腐蝕狀況下年度應增檢測比重。另航道鋼板樁發現有一處小破洞，請提出維修方式，以作補強措施。

八、以上意見(含本局各單位審查意見)請參考修正或補充說明後，再提送正式報告送局核定備查。

九、 下年度監測計畫希能儘速提送本局審查，以配合本計畫之延續作業。

「花蓮港構造物檢測」 期末報告審查意見及答覆表

項次	審查意見	意見答覆
	柯登福副處長	
1	本構造物檢測期末報告初稿內容豐富，鋼板樁及新東堤堤址破壞部份希能有更詳細資料說明比對。	新東堤堤址破壞部份，將在正式報告中以文字方式敘明，並列於結論說明與建議，且以部份附圖來說明表示之，而本計畫亦把水下觀測結果，製成VCD光碟片，用以提供 貴局製作簡報及方便觀看。
	賴福順課長	
1	本組係本計畫主辦單位，有關P-14鋼皮樁檢測範圍 # 9碼頭與航道鋼皮樁取點位置與合約規定取點位置不符，請港研中心提出說明。另東堤監測P-4、4-1節資料搜集、現況調查內容過於簡單，希能補充資料加以說明。	# 9碼頭與航道鋼板樁取點位置係依據現場實際情形選取，選取點數仍依合約規定之數量實施。
2	依本報告鋼板樁檢測資料分析所得，雖內港碼頭及航道鋼板樁腐蝕速率均在標準值(0.2mm/yr)之下，且本港港池水質良好無污染情況，但無法永遠保證無污染，故陰極防蝕保護是否有必要或急要辦理及經濟效益、費用、安裝時機等，請再做評估，提供本局參考。	1.本港區碼頭鋼板樁之腐蝕速率大多小於0.1mm/yr.，比規範設計值(每年允許厚度損耗0.2mm)小得很多。但碼頭鋼板樁原設計使用年限為20年，如以腐蝕速率規範計算，鋼板樁最大允許腐蝕厚度為4 mm，本次厚度調查顯示，雖然均未超過允許腐蝕量，但已相當接近，對鋼板樁結構之安全具嚴重威脅。 2.海水原本就是鋼材最容易腐蝕的環境，碼頭鋼板樁在興建時即需做防蝕之措施，以確保或延長結構物使用之年限與安全，陰極防蝕公認為海水環境下鋼材最有效之防蝕方法。由於本港區之多數鋼板樁碼頭起用迄今已有三四十之久，應儘速委請專家學者就鋼板樁斷面結構現況、碼頭原有之設計條件(諸如基礎、地質、錨碇設施、碼頭面載重等)，進行詳細評估可繼續使用之年限，確保碼頭與航道安全。 3.如結構評估為安全無慮且可繼續使用之年限亦達經濟效益時，為防範於未然，鋼板樁碼頭應考慮採取適當的防蝕措施。諸如四、五號碼頭於大氣帶之鋼板樁，應定期做塗覆保護措施，全港區水面下之鋼板樁應做陰極防蝕，以延長碼頭之使用年限與安全。 4.本港區鋼板樁碼頭全長1286公尺，如安裝陰極防蝕措施時，所需經費初估需新台幣2200萬元左右。

3	報告書內對本港鋼板樁水下部份均有附著厚厚一層海生物或貝類生存之論述，該項海生物或貝類對鋼板樁腐蝕速率或防止腐蝕作用是有益或有害，希能作進一步探討分析並提供意見，俾所因應。	有關海生物附著於鋼板樁，對鋼板樁之腐蝕是否有影響，目前國內外並無明確之定論。對響鋼板樁之結構承載等問題，所牽涉之領域廣泛與複雜，必須結合生物、結構、材料等專家共同分析探討，本中心目前並無法處理。
4	東堤監測之波壓計依現場勘查安裝位置在0k+650處(即新東堤全長一八五0公尺之1/3處)該處水深約-21公尺，而該堤堤頭水深約-26公尺波能可能較大，如經費許可是否可考慮增加延長纜線至堤頭1k+800處增設波壓計，以求取正確之波壓數據，並互相比對，以作新東堤胸牆維修之參考數據。	東堤監測之波壓計安裝位置，乃是依現場勘查選擇在東堤平均壓力斷面處，即目前0k+650地方(水深約-21m)，至於賴課長所提水深-26m堤頭位置，其波能是比較大且應屬於極端破壞值的地方，而本研究則是找尋常態觀測斷面地點進行監測分析，並非以最極端值來分析；但是於未來之研究中，會考量經費及資料需求，酌量增加觀測點波壓計，以增加分析比對，做為未來東堤胸牆維護之依據。
5	本港四、五號鋼板樁碼頭水上部份每三~四年均列有預算油漆塗覆以降低鋼板樁腐蝕速率，是否有更佳之施作方式或更好之材料，請併入結論建議以供本局參考。	飛沫帶之防蝕目前較可行之防蝕方法，乃是用表面塗覆方式處理，至於以防蝕帶之處理並不經濟與有效。
6	新東堤堤基最脆弱部份(掏空破壞)之位置依歷年經驗觀察，其位置應在第一~第三座沉箱(即新舊東堤交角處)，應為本次水下調查之重點，希能再有更詳細之資料分析，以作本局維修之參考。	依照賴課長多年來經驗觀察說明，新東堤堤基最脆弱部份(掏空破壞)之位置，應在新舊東堤的交角處的沉箱位置，但本次(年)水下觀測，即以新東堤為主，自堤頭起1850公尺的水下沉箱進行堤址、堤腳現況之錄影，至於舊東堤部份並未包含於此次監測項目內，並非不願一併多做觀察，實在是礙於經費之緊迫【由於本年度經費並不充裕，儀器設備費用更加捉襟見肘，原先只考慮於胸牆堤面裝置波壓計6個，但經過碧利斯颱風後，東堤部份胸牆嚴重受創，所以乃節省計畫中其他預算，需要在胸牆內部堤面裝設另3只波壓計，用以瞭解波浪於開口胸牆內所造成之壓力動態情況】，以致無法再進行更加繁重的工作，因此於未來之計畫中會列入考量。
	主席結論	
1	本次水下調查作業鋼板樁及東堤之錄影帶，請各送本局乙份備查。	鋼板樁檢測錄影帶及東堤水下調查作業結果之光碟VCD，隨文附上。

2	依基隆港之設計經驗，一般鋼板樁壽年為二十年，而本港設計壽年請再詳查，以作下年度腐蝕速率確立之依據。	建議 貴局提供相關原始資料，以利後續聘請專家學者就原構造物設計條件(包括地質及碼頭載重等方面)進行評估。
3	有關測點位、儀器安裝、水下調查作業……等工作項目，作業前應與本局主辦單位協調連繫，以利業務執行。	本計畫中有關量測點、儀器安裝，水下調查作業……等，都經過細心的現場勘查與分析判斷，才選定作業的地點及方式，因此都應該是符合規定之適當工作地方，並且於工作執行期間得到賴課長之鼎力相助，因此主動連繫港務局會同參與工作，乃是本計畫進行的必要過程。
4	本次「碧利斯」颱風造成新東堤胸牆之破壞，數位大學教授曾來局勘查，並提供意見，貴中心如有更好之意見，亦請提供，以作修復工程設計之參考。	針對碧利斯颱風後造成東堤嚴重損壞，本計畫中目前僅是初步的觀測及分析工作，對於颱風所造成破壞之眾多原因還未能一一探討，因此並未有任何明確的判斷意見，需要待更進一步的資料分析後，再做一歸納整合意見。
5	本東堤監測項目之沉箱高程、法線等位置，請以平面位置圖編號表示，以資對照，如圖面能表示者，儘量以圖面表示。另沉箱完工高程資料希能蒐集，以資比對沉陷量。	東堤監測之沉箱高程、法線位置測量工作，本計畫於執行期間遭到碧利斯颱風造成東堤胸牆嚴重損壞，許多測點亦須更新或增加，原本於計畫期末階段再進行一次測量比較，礙於研究經費嚴重不足，因此決定在明年度計畫一開始時便著手進行，以利本計畫的延續作業；有關平面位置圖及相關的測算簿，將另行製作一份成果報告書提供港務局使用。
6	本報告書內本港營運量已達一、四00萬噸有誤，請更正。	已更正為一、二00萬噸
7	本港航道狹窄，鋼板樁岸壁結構之安全，影響航行安全至鉅，故其鋼板樁腐蝕狀況下年度應增檢測比重。另航道鋼板樁發現有一處小破洞，請提出維修方式，以作補強措施。	航道鋼板樁檢測下年度將增加其比重，目前發現之小破洞因其直徑小於5公分，位置在水深1.2公尺處，背填土壓不大，建議可繼續觀察或實施水中焊補作業。
8	以上意見(含本局各單位審查意見)請參考修正或補充說明後，再提送正式報告送局核定備查。	針對港務局各單位之審查意見的修正或補充說明，都在正式報告中修正或上述說明中詳細贅述清楚，敬請 貴局核定備查及不吝指教。
9	下年度監測計畫希能儘速提送本局審查，以配合本計畫之延續作業。	下年度計畫之提送，將於本年度執行完畢後，儘速提出計畫書供 貴局審查，以配合本計畫之延續工作和經費預算。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



花蓮港構造物檢測

著者：陳桂清、柯正龍、饒正、林受勳

出版機關：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

地址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號

網址：www.ihmt.gov.tw

電話：(04)6564216

出版年月：中華民國八十九年十月

印刷者：建州企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊

工本費：300 元

展售處：

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 電話：(04)6564216

GPN：009254890102