

82—研（十一）

港灣R.C.結構物修理系統之評估研究
第二年報告

執行期間：民國八十一年七月至八十二年六月

計劃計持人：饒 正

共同主持人：陳桂清

協同主持人：吳信昇

研究人員：柯正龍 陳正義 何木火 王培源

李昭明 林隆貞(港灣技術研究所)

吳斐然 (台灣省政府交通處)

林坤田 (基隆港務局)

林勝義 (高雄港務局)

郭豪彥 (台中港務局)

賴福順 (花蓮港務局)

林 勝 (蘇澳港務分局)

目 錄

壹、研究計劃概述

貳、花蓮港舊東堤之維護

參、鋼筋混凝土構造物陰極防蝕

壹、研究計劃概述

一、緣起

海洋混凝土結構物，由於所處之海洋環境有惡劣之腐蝕因子，及所承受之負荷相當大，因此較容易發生破壞，而由於海洋結構物修理較為困難，修理後常感效果不彰，經常需要再作重覆之修理，浪費人力、物力，因此急需研究。

二、目的

1. 對目前各大港口RC結構物之現況作一調查，以為維修之依據。
2. 對目前各大港口RC結構物之修理方法，先作一通盤瞭解並檢討優劣點。
3. 提出各種修理方法，以供日後維修參考。

三、實施方法

1. 調查各港口現有RC結構物之現況（尤其是水下部份）。
2. 調查各港口現有海洋RC結構物之修理方法，並比較檢討。
3. 在試驗室對各種補強方法進行試驗比較。
4. 各種修理方法之現場試驗。

四、預期效果

本研究結果，欲期所提出之修理方法及使用材料，可供將來各港務局維修之參考。

五、預定全程進度甘梯圖

工 作 項 目	81年度		82年度		83年度	
	80年 7 月	81年 1 月	81年 7 月	82年 1 月	82年 7 月	83年 1 月
收集相關文獻與研討						
調查現有結構物修理情形						
修補材料試驗室內之各項 試驗						
現有結構物修理試驗						
整理報告						

六、各港務局近五年來之維修

各港務局近五年之R.C.構造維修記錄

	基隆港	蘇澳港	花蓮港	高雄港	台中港	權重
碼頭	1.西14、15號碼頭底樑維修。 (2,550,000) 2.西2號碼頭底樑維修 (2,328,500)	1.4、5號碼頭沉箱間隙改善 (630,000)		1.70號碼頭撞損修護 (3,212,584) 2.48~53號碼頭整修 (12,787,614)	1.10號碼頭船撞修護 (9,690,000)	30%
防波堤	1.破損沉箱修補 (3,539,000)	1.胸牆改善 (13,480,000)	1.堤身修護及保固 (40,000,000)			55%
碼頭面	1.西7、8號碼頭 (4,747,000) 2.西21號碼頭入口 (5,072,760)	1.8、9號碼頭 (1,120,000)		1.高法線碼頭 (314,577) 2.漁檢站碼頭 (137,671) 3.38、39號碼頭 (412,789) 4.蓬萊區碼頭 (448,329) 5.53、57號碼頭 (396,194) 6.52、53、56號碼頭 (455,855) 7.36~39號碼頭 (399,149)		13%
倉庫通棧				1.棧7號-2、9號-1 (847,345) 2.棧具所 (311,711)	1.26號通棧 (230,000)	7%
合計	18,237,260	15,231,000	40,000,000	19,723,818	9,920,000	

根據上表可知，各港務局過去之維修以防波堤為大宗，其次為碼頭結構物，故本年度之研究主題為花蓮港舊東堤維修及鋼筋混凝土結構物之陰極防蝕為主。

貳、花蓮港舊東堤之維護

一、緣起

花蓮港舊東堤全長 1,330公尺，肇建於民國廿一年，因限於當時物質、經費、機具設備等缺乏，堤程標示區段除 1 K+080—1 K+330計長 250公尺段為採用沉箱構造製作及 0 K+990～1 k+080係方塊疊置外，餘 990公尺外緣皆採方塊疊置而成之合成堤式，其堤心則採用級配砂石或填置卵石，堤面在澆置一公尺厚度之 $210\text{Kg}/\text{cm}^2$ 之混凝土，內側堤面澆置五十公分厚 $210\text{Kg}/\text{cm}^2$ 混凝土，其胸牆部份採 $140\text{Kg}/\text{cm}^2$ 混凝土澆製，由於其混凝土採用低強度值，復遭終年受颱風、地震及東北季風波浪之侵襲，堤面及胸牆龜裂處處，堤體有下陷及淘空之害，故每年均列有維修經費，以維其效能。

二、歷年維修概況

由於該堤已超過一般混凝土在惡劣環境下使用之年限（壽年約五十年）致近年來災害頻繁，維修費用有逐年增加之趨勢，茲就歷年維修列述如附表一所示。依表列統計分析，往年除護基方塊製拋保護堤基外，其基礎沖失之損害及堤身淘空部分均在堤程 0 K+200～0 K+990之間，亦為本堤受破壞最嚴重區段，應為今後本堤維護加固之重點。

三、現況調查

依港灣技術研究所在民國79年所做之堤面鑽探調查資料顯示，目前本堤堤身嚴重淘空段計有在堤程 0 K+200～0 K+220、0 K+635—0 K+657、0 K+685～0 K+710、0 K+795～0 K+860、0 K+890～0 K+905、0 K+970～0 K+990 六處，至於胸牆外側堤面及護基方塊部份依花港局實際所做之調查結果：胸牆部份因原使用混凝土強度為 $140\text{Kg}/\text{cm}^2$ 混凝土，故除堤程 0k+000～0k+263（前段）0k+910～1k+300（後段，已加高）龜裂不嚴重外，中間段計有 300尺龜裂嚴重。外側堤面則除堤程 0 K+200前段尚完整外，歷年來陸續修復381公尺，餘 429公尺均呈龜裂。護基型塊部全堤需補拋 200塊。

四、維修方式之探討

爲徹底解決本堤淘空下陷情形，花港局曾於79年間委託港研所進行「舊東堤堤身灌漿加固修復可行性研究」經鑽心取樣顯示成效不佳。至於堤外築堤方式，雖可保護舊堤，減少災害，但本港東堤外海浪濤洶湧，暗礁多，施工機船作業困難，風險大，一年中實際可工作天數不多（約三～四個月），尚需顧慮到施工中之災害，拋置之消波塊流失，無法測計之波流，地震以及海床變遷所造成海底波流變化沖擊影響，且在時效上可能亦緩不濟急。

另花港局亦曾在淘空情形不嚴重之堤身，以鑿孔灌入PC之方式塞填堤身，但效果亦不佳，僅可作爲避免淘空情形繼續擴大之臨時措施，若干年後仍不保再遭破壞。故近幾年來花港局均採用舊堤加固法，在顧及本港環境與地質形態，且能在經費，時間控制，風險程度上均能顧及應在不影響自然條件情況下，以治標方式依據損壞程度分階段作整體性之加固維護，以延長本堤使用壽年，其施工順序如下：破碎堤身舊混凝土挖除堤心級配料至零水位高程→堤外吊放太空包 $175\text{Kg}/\text{cm}^2$ 混凝土保護並以麻袋混凝土疊砌填縫→外側模板組立→澆灌 $210\text{Kg}/\text{cm}^2\text{P.C}$ ，使堤身形成一巨積混凝土之不透水構造，穩定堤體，不再受淘空坍塌之害，經此澈底整修之堤身，迄今尚未發現有再遭破壞之情事，效果良好。

五、分年改善計畫

年 度	施 工 期 間	工 程 內 容	預定投資金額（元）	備 註
82年度	82、3～82、6	製拋70T護基 方塊46個。 堤身修補40 公尺。	6,245,471	正施工中，預 定82、7、15 前完工。
83年度	83、3～83、6	堤身修補60 公尺。	6,000,000	
84年度	84、3～84、6	一、堤身修補 100公尺 。 二、70T方塊製	11,800,000	

		拋30個。		
85年度	85、3~85、6	一、堤身修補 80公尺。 二、70T方塊製 拋30個。	10,000,000	
86年度	86、3~86、6	一、堤身修補 80公尺。 二、70T方塊製 拋30個。	10,000,000	
87年度	87、3~87、6	堤身修補 100公尺。	10,000,000	
合 計			54,045,471	

六、結 論

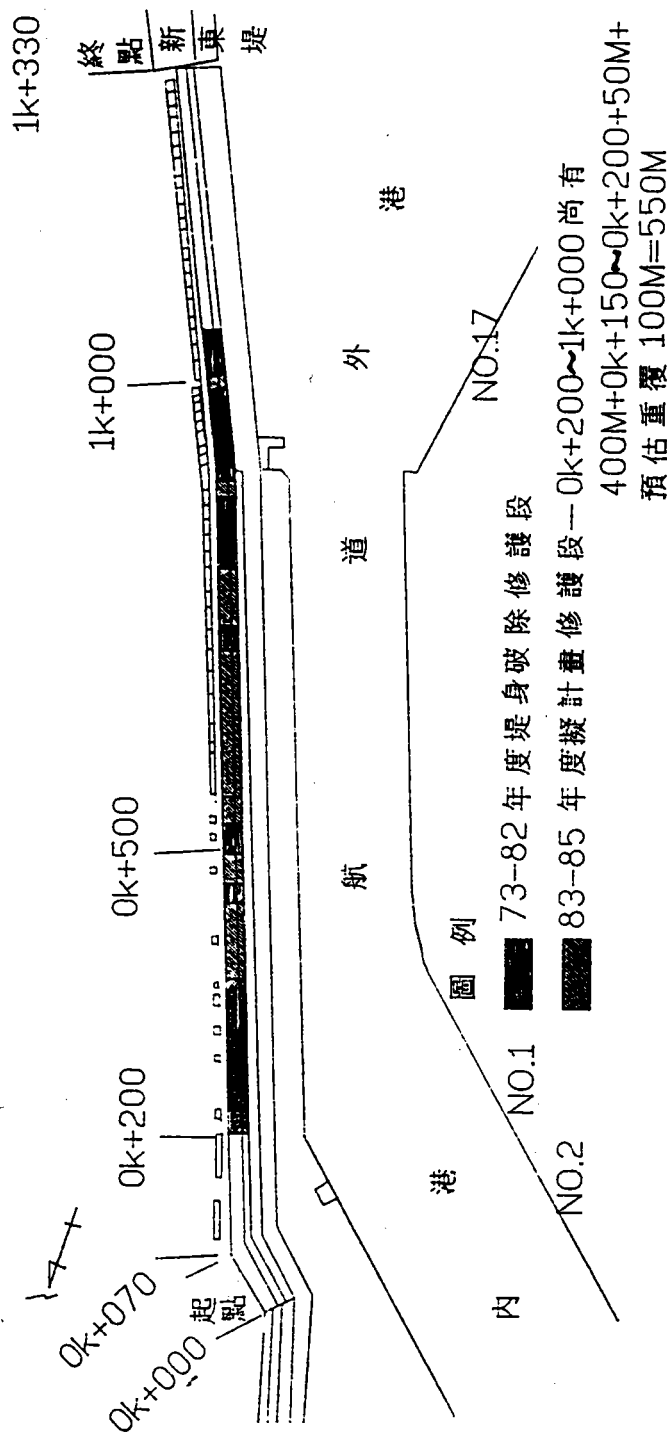
花港舊東堤使用迄今已逾五十餘年（在惡劣環境下一般混凝土壽年約為五十年），由於堤身及基礎終年受海水潮湧侵蝕及颱風、地震、東北季風等波浪之沖擊而致破裂坍塌，使原堤心級配砂石料淘空堤身坍塌。理應在舊東堤外海側再建新堤予保護，然東堤外海浪濤洶湧，施工困難費用昂貴，貿然從事，恐難有效益。故花港局參酌歷年修護經驗及其成效檢討，提出較為可行之整建方式，依歷年之修護經驗及實地情況，觀察本堤堤身原淘空段，計長 458公尺，分別為73~81年度所修護，經修護後堤身形成一巨積混凝土，能抵擋巨浪之沖擊，迄今完好無缺、效果良好，其經濟、安全、耐用，不失為本堤淘空段較佳施工方式之一，如有更佳維護方式，請各位先進，多提供意見。

附表一 歷 年 維 修 費 用 統 計 表

年 度	起 訖 樁 號	維 修 內 容	工 程 費 (元)	備 註
69	1 K+250~1 K+330	40T 雙T塊製拋 85個	2,255,277.00	保護堤基
70	1 K+100~1 K+220	20T 雙T塊製拋114個	3,767,310.00	保護堤基
71	1 K+090~1 K+100	20T 雙T塊製拋 14個	905,890.00	保護堤基
72	0 K+438~0 K+524 0 K+070~0 K+175 0 K+438~0 K+524	130T 方塊製拋 9個 60T 方塊製拋 25個	2,650,733.00	保護堤基
73	1 K+005~1 K+046 1 K+005~1 K+045	堤身修補1,500m ³ 40T 雙T塊製拋 40個	6,017,180.00	保護堤基及堤身洶空修復41M
74	0 K+890~0 K+981	堤身修補4,400m ³ 及 20T 雙T塊製拋 50個	7,129,122.00	堤基洶空91M及胸牆坍塌85M
75	0 K+495~0 K+520 0 K+215~0 K+289 0 K+890	堤身修補615m ³ (35M) 堤身修補1,277m ³ (74M) 20T 雙T塊50個	4,937,894.00	堤身洶空修復109M及保護堤基
76	0 K+230~0 K+690 0 K+290~0 K+360	70T 方塊製拋 30個 堤身修補70M	5,011,509.00	堤身洶空修復70M及保護堤基
77	0 K+070~0 K+200 0 K+200~0 K+700	70T 方塊製拋 25個 70T 方塊製拋 58個	4,434,276.00	保護堤基
78	0 K+070~0 K+220 0 K+420~0 K+990	70T 方塊製拋167個	8,258,490.00	保護堤基
79				
80	0 K+800~0 K+830 0 K+891~0 K+911 0 K+975~0 K+990 1 k+095~1 k+100	堤身修補71M 胸牆修補85M	6,759,000.00	「歐菲利」及「黛特」颱風災 保護堤基害堤身修復71M
81	0 K+444~0 K+459 0 K+712~0 K+738 0 K+828~0 K+838	堤身修補76M 胸牆修補35M 70T 方塊製拋 30個	5,753,385.00	堤身修復76M
82	0 K+200~1 K+000 0K+514.3~0K+554.3	70T 方塊製拋46個 堤身修補40M	6,245,471.00	保護堤基

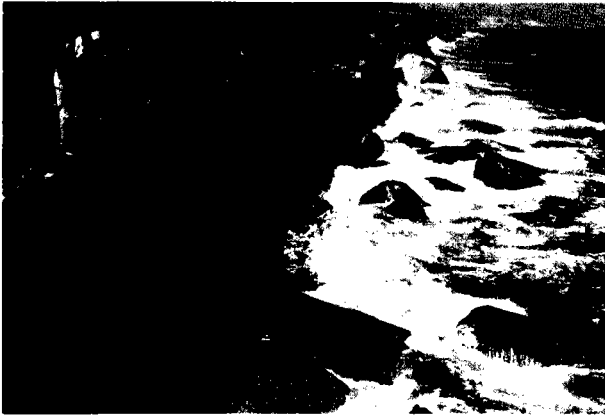
花蓮港舊東堤整修計畫圖

(自 0k+000-1k+330)



- [illegible]

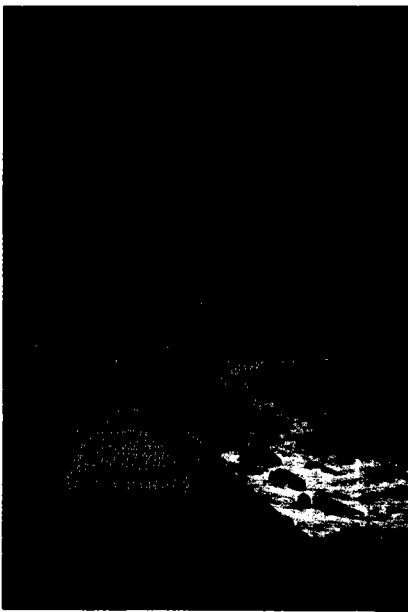
- 8 - 2 -



0^k+200~1^k+000碎波情形



舊東堤70^T護基方塊保護情形



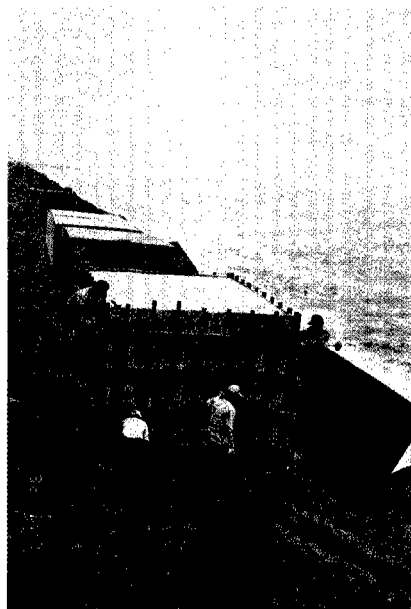
堤線海流波浪(含湧浪)情形



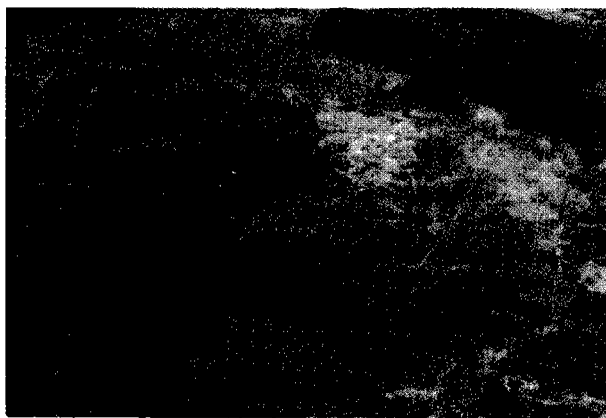
1^k+000~1^k+330段於69年~71年曾製拋40^T及20^T雙T型塊250個，由基礎面至胸牆頂（+10.5^m），目前已全部流失斷裂



0^k+980~1^k+000基礎淘空，以太空包吊裝(175kg/cm²PC)堵塞缺口，以利堤身灌築210kg/cm²PC。圖為太空包吊放(1)



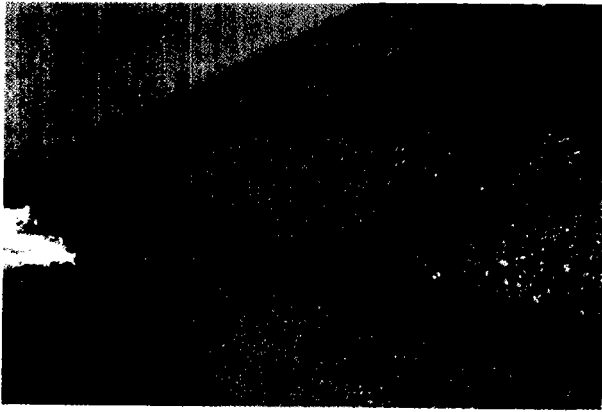
製作70^r方塊，保護堤基。



太空包吊放(2)浪擊洶湧



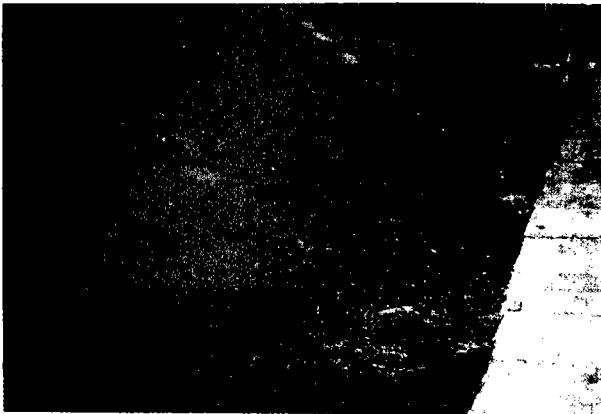
太空包吊放(3)



0^k+750~0^k+850段基礎型塊與堤身接縫
受浪淘洗沖刷，所形成之破壞面間隙



間隙擴大



0^k+400~0^k+800段堤身斜牆面龜裂情形



0^k+810處基礎型塊傾倒堤身淘空情形



$0^k+710\sim 0^k+840$ 段堤身淘空坍塌災害之(1)



$0^k+514\sim 0^k+564$ 段基礎災害淘空情形

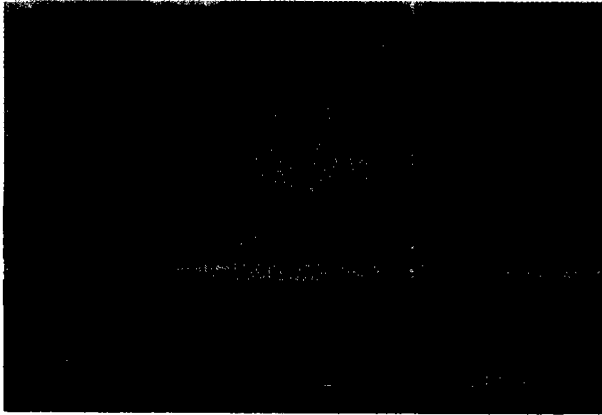


$0^k+710\sim 0^k+840$ 段堤身級配料及石料全被
淘空情形(2)



0^k+740 處堤身級配料淘空情形

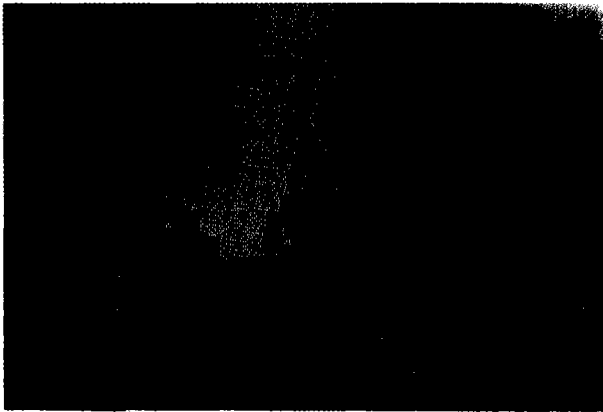
$0^k+514\sim 0^k+554$ 段施工照片之(一)



$0^k+514\sim 0^k+554$ 段破堤搶修情形之(1)



$0^k+554\sim 0^k+564$ 段基礎沖毀以太空包先行堵塞，再由內部灌填 $210\text{kg}/\text{cm}^2\text{PC}$ ，緊急修復，防止災害擴大



$0^k+514\sim 0^k+554$ 段胸牆鑿除情形之(2)



$0^k+514\sim 0^k+554$ 段挖土機基礎開挖作業之(3)

0^k+514~0^k+554段施工照片之(二)



開挖後發現 0^k+554~0^k+564堤心級配料
有淘空現象



0^k+514~0^k+554堤身已被淘空至內牆斜坡



完成基礎開挖及清理



堤心級配料情形

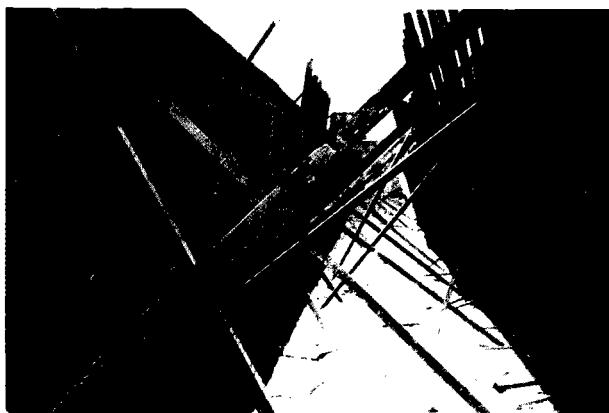
$0^{\text{K}}+514\sim 0^{\text{K}}+554$ 段施工照片之(三)



基礎澆置 $210\text{kg}/\text{cm}^2\text{PC}$



基礎開挖



胸牆組模情形



外側斜牆組模情形

參、鋼筋混凝土構造物陰極防蝕

一、前言

台灣屬亞熱帶海島型氣候，沿海地區腐蝕環境惡劣，鋼筋混凝土構造物常因氯離子滲入而造成鋼筋銹斷而危害整個結構物安全性。

目前，歐美等國家已開發出一種鋼筋混凝土陰極防蝕方法，所謂陰極防蝕定義為：藉由外加直流電或附加犧牲陽極後，欲保護金屬變為陰極，以達到減低或消除腐蝕，可以有效防治腐蝕，使用此一方法可以延長結構物壽命10~20年，節省結構物重建費用。

本研究擬引進此技術，並研究其在台灣環境下之相關工法。本研究之陰極防蝕方法其原理，主要是鋼筋腐蝕本身是一種放出電子的反應，如果利用陽極材料將足夠電子供應給鋼筋，則鋼筋就不會發生腐蝕。基於此，本計劃擬用最常見二種工法去研究，其一為鈦陽極網系統，另一為導電性塗料法，研究在飛沫區、潮汐區之防蝕電流大小及評估其效果，進而建立在台灣環境下港灣鋼筋混凝土構造物之陰極防蝕施工要點。

二、試體製作與試驗方法

1. 試體製作

本研究試體依試驗不同製作長500公分×高150公分×厚40公分試驗牆三座（編號A.B.C.）另製作長90公分×寬90公分×厚10公分版計七個版（編號1~7）在試體未灌製前先綁紮三種不同參考電極，以供日後量測電位及耐久性，穩定定研究。試體之配比如表3-1，試體數量及試驗項目如表3-2，試驗牆及版之示意圖，如圖3-1，3-2。

表 3 - 1 配 比 表

粗骨材最大 粒徑(mm)	水灰比 W/C	單位重 (kg/m ³)				
		水	水泥	砂	石	鹽
20	0.42	160	380	772	1046	11.4

表 3 - 2 試體數量及試驗項目

試體種類	含鹽量 (Wt% cement)	不通電	鈦陽極網	導電性塗料
試驗版	3 %	1	3	3
試驗牆	3 %	1	1	1

2. 參考電極

(1) Ag/AgCl 電極：

本電極為 ELTECH 公司提供。

(2) MMO (Mixed Metal Oxide) 電極：

本參考電極亦由 ELTECH 公司提供，電極基本材料為外表被覆氧化鈦及活性氧化鈦所組成。

(3) MnO₂ 電極：

此電極為挪威 FORCE INSTITUTE 所發展及製造生產。

有關參考電極之埋設位置，如圖 3 - 3 ~ 3 - 6。

3. 試驗方法

(1) 試驗版

7 個試驗版放進本所海水試驗槽中，以人工潮汐每天預定進行高低潮位兩次，在高潮位試片一半浸泡海水中，在低潮位則全部露在水面上，如此為期二年。保護電流密度分別為 0，15，50mA/m²（鋼筋表面積）等 3 種，其日後預定量測項目：

A. 施加陰極防蝕電流之前，測量鋼筋的腐蝕電位及腐蝕速度各五點。

B. 施加預定的防蝕電流，記錄 DC power 的輸出電流和電壓。

C. 施加防蝕電流之後

(a) 第一日測量鋼筋的腐蝕電位及腐蝕速度各五點，後將電源暫時關掉 4 小時後測量腐蝕電位。

(b) 每月重覆動作上述(a)一次。

(c) 第二年每一實驗條件下均取出一個試體進行破壞性檢查，檢查項目及方法如下：

- (i) 測量腐蝕電位及腐蝕電流各五點。
- (ii) 用 1 kg 重鐵鎚敲擊試體表面並記錄任何空洞聲音之地方。
- (iii) 敲開混凝土表面。
- (iv) 觀察並記錄鋼筋表面生銹情形。
- (v) 拍照。

(2) 試驗牆

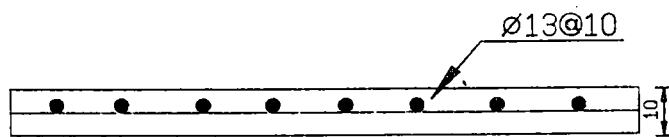
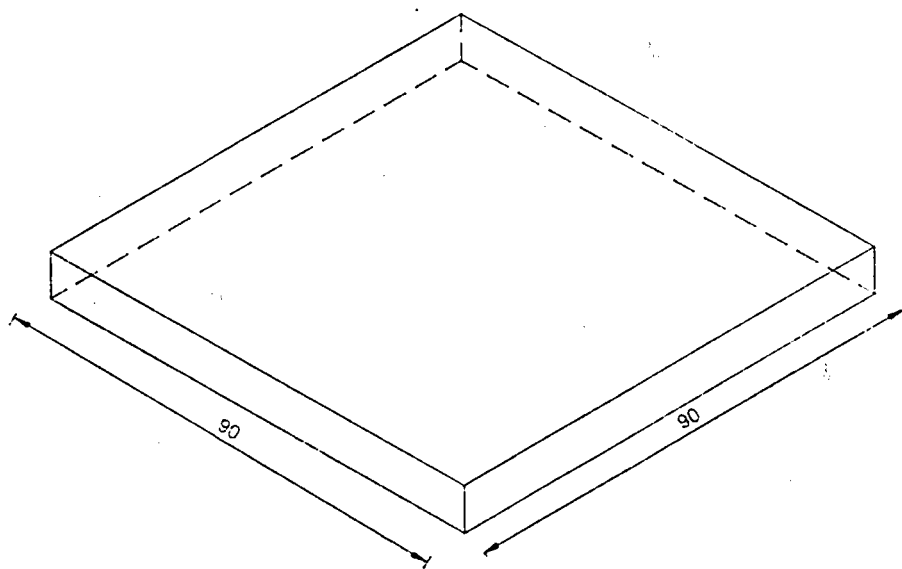
研究目的在證實陰極防蝕法對實際大小位於飛沫區 RC 結構物的防蝕效果。此三座試驗牆，一座不加陰極防蝕，另外兩座其陽極材料分別為鈦陽極網系統及導電性塗料系統。試驗牆暴露條件為暴露於大氣中，每天噴灑天然海水，以模擬位於飛沫區結構物情形。其日後量測項目：

- (1) 試體在不施加防蝕電流下進行 3 個月室外暴露，3 個月後利用 E-log i 方法測定保護電流大小並量測腐蝕電流及電位。
- (2) 施加電流之前將牆面噴砂，使表面粗糙，安裝鈦陽極網並以噴漿、手工鏟平、塗裝方式進行塗佈被覆層混凝土，並測量 10 個位置點腐蝕電流及電位。
- (3) 施加電流之後第一日，測量腐蝕電位及電流之後暫時關掉電流 4 小時後再測量腐蝕電流及電位，每個重覆乙次。
- (4) 破壞性檢查項目同上述試驗版破壞性檢查項目。

三、初期試驗結果與後續研究工作

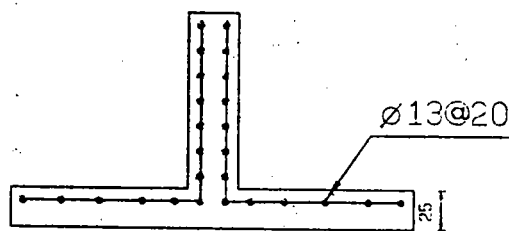
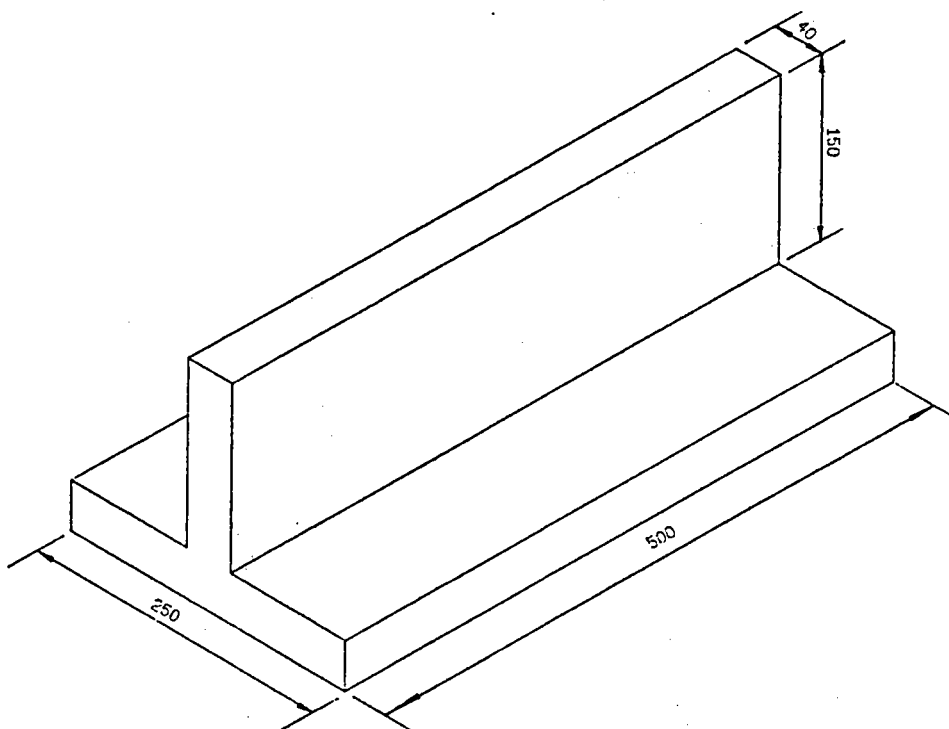
由於整個試驗牆及試驗版從 5 月初開始量測其三種不同參考電極之電位，至今 5 週，每週量測一次，量測結果如圖 3-7 ~ 3-12。

後續研究工作為試驗牆 A 擬作為鈦陽極網系統，乃經 3 個月噴灑海水後，鑿除面牆混凝土，覆蓋鈦陽極網後再覆蓋一層約 2 ~ 5 公分厚水泥型被覆材料，牆之兩面，一面擬用噴漿方式覆蓋水泥型被覆材料，另一面擬用手工鏟平方式覆蓋水泥型被覆材料，以作為日後研究此二種施工方法對新舊混凝土抗剝離性能力。試驗牆 B 為導電性塗料系統。試驗牆 C 則為自然暴露不作任何處理。試驗版 1 ~ 7 均放於海水試驗槽內試驗，並量取電位。



單位：cm

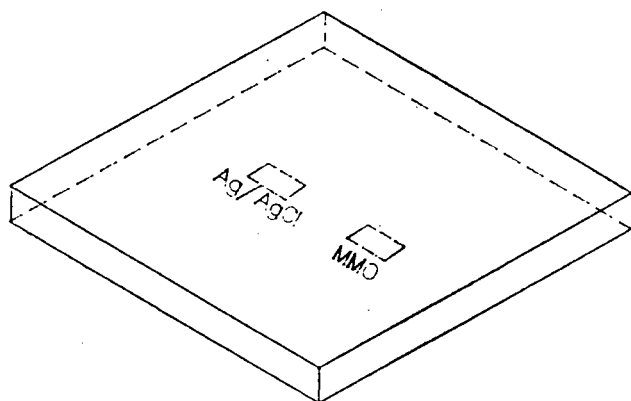
圖 3-1 試驗版略圖及配筋圖



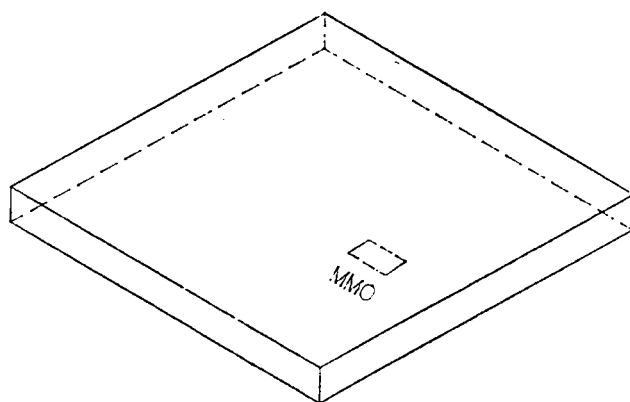
配筋圖

單位 :Cm

圖 3-2 試驗構造圖及配筋圖

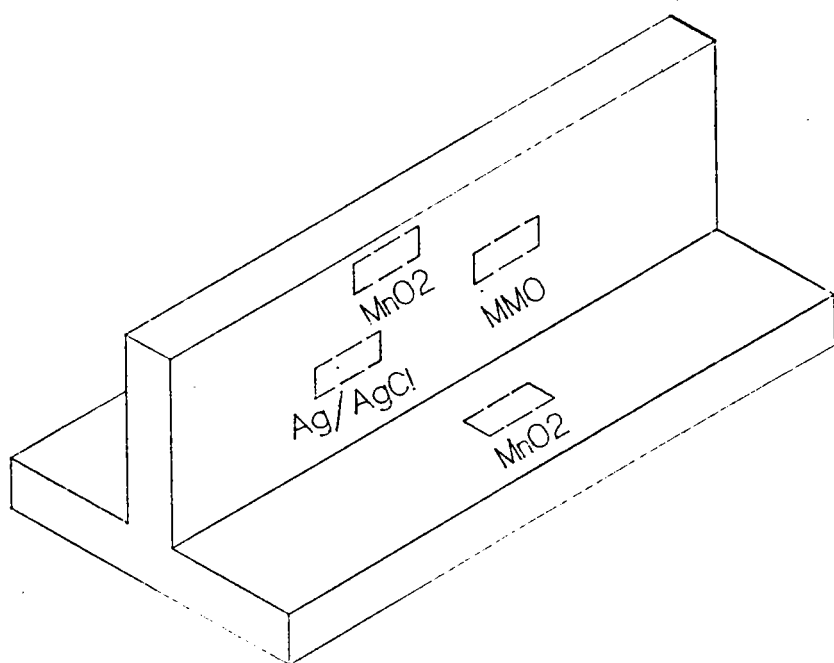


試驗版 1-3 參考電極佈設

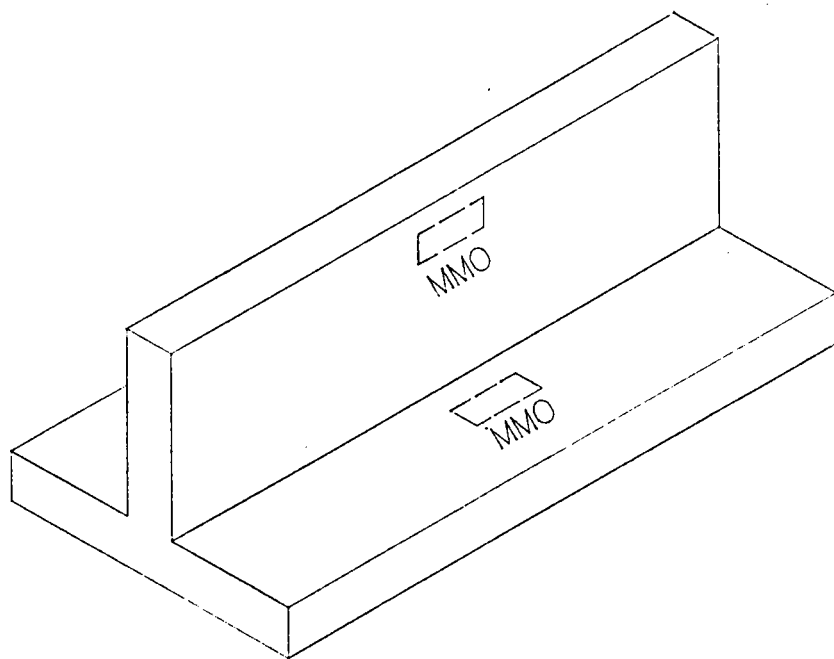


試驗版 4-7 參考電極佈設

圖 3-3 試驗版參考電極佈設位置示意圖

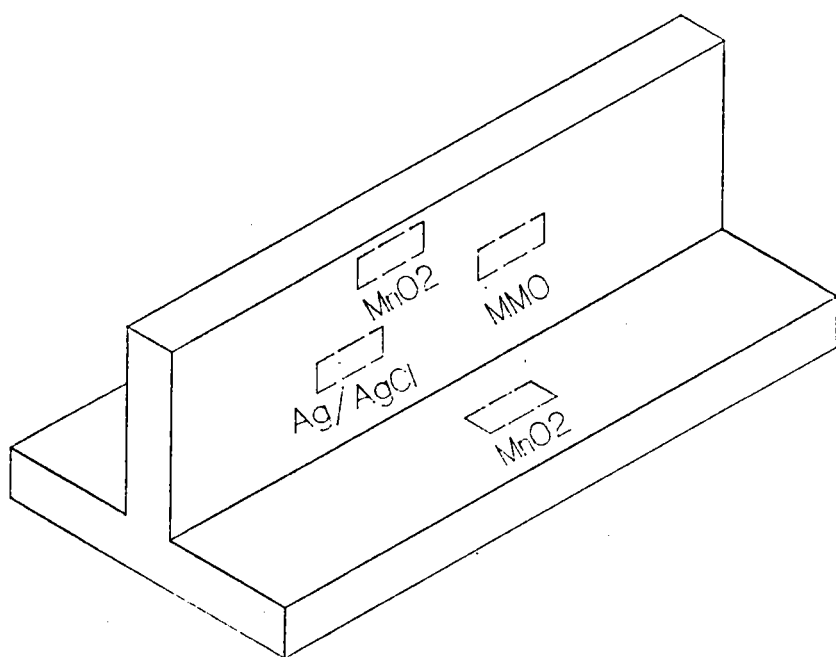


試驗牆A1參考電極埋設

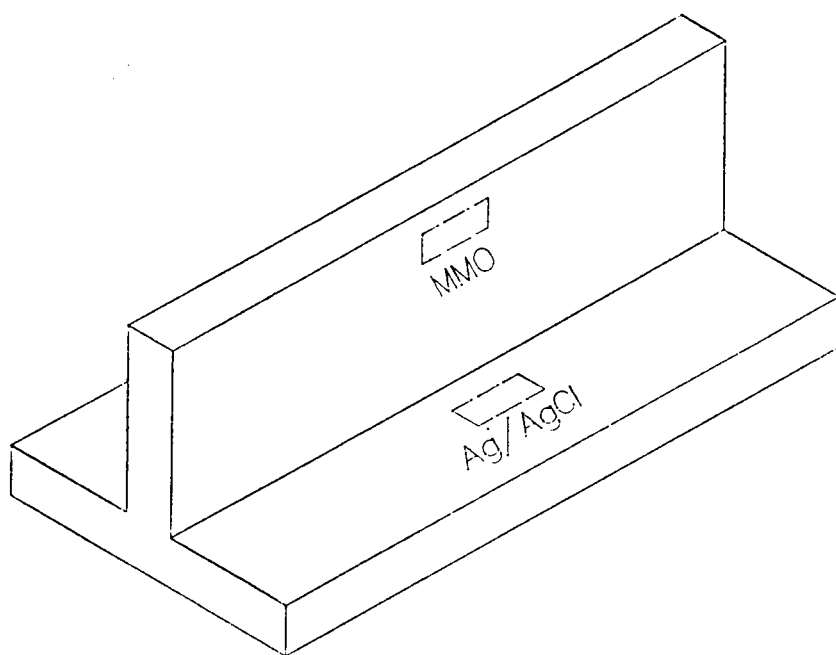


試驗牆A2參考電極埋設

圖3-4 試驗牆A參考電極埋設示意圖

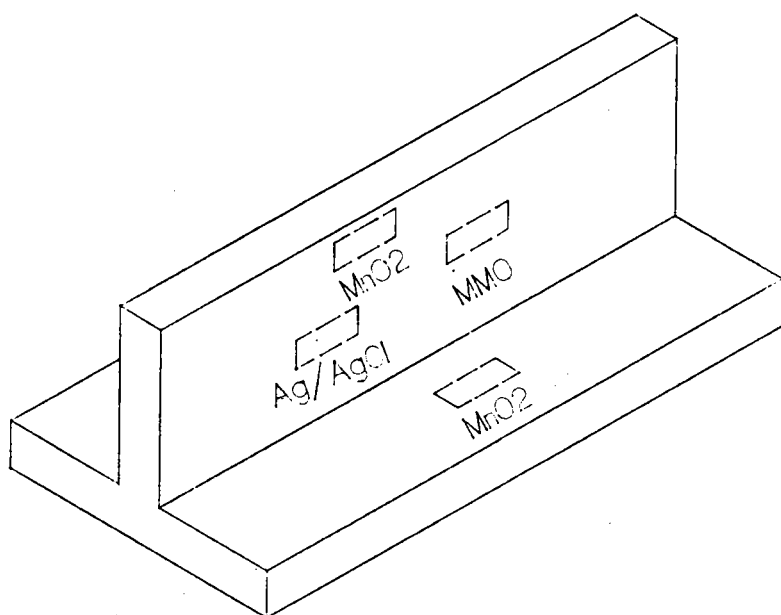


試驗牆B1參考電極埋設

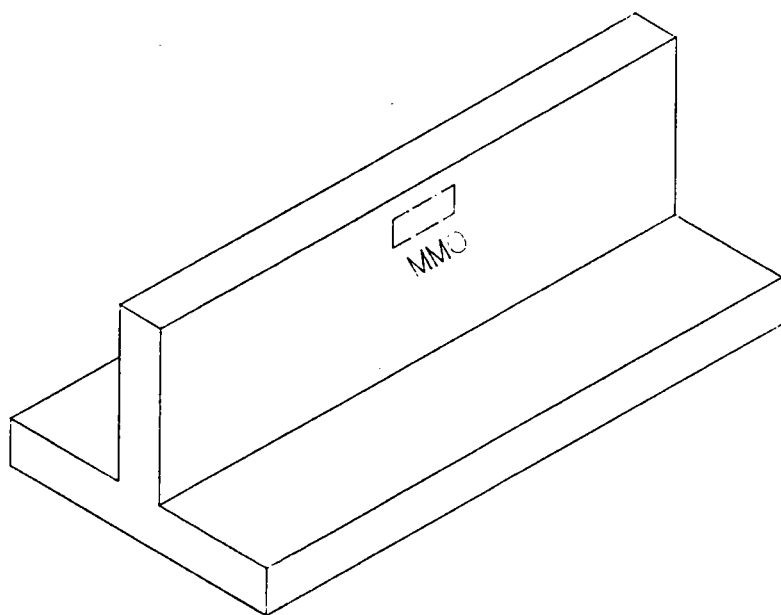


試驗牆B2參考電極埋設

圖3-5 試驗牆B參考電極埋設示意圖



試驗牆C1參考電極埋設



試驗牆C2參考電極埋設

圖3-6 試驗牆C參考電極埋設示意圖

圖 3-7 試驗牆 Ag/AgCl 電位

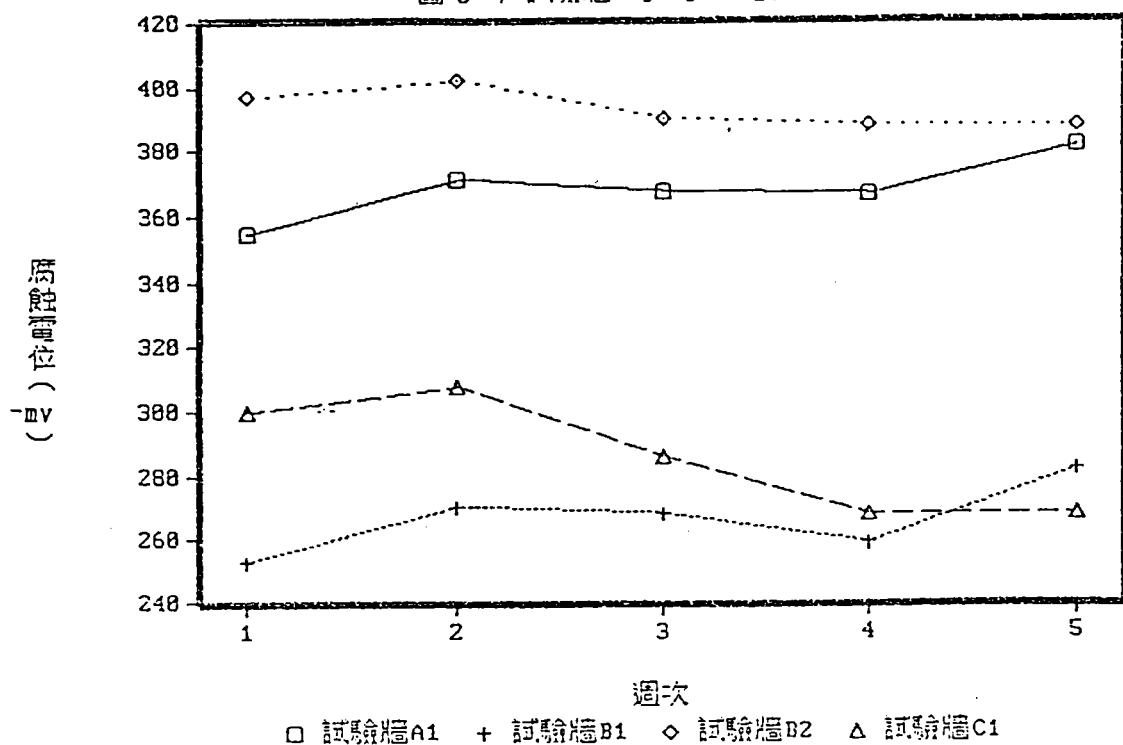


圖 3-8 試驗牆 MnO₂ 電位

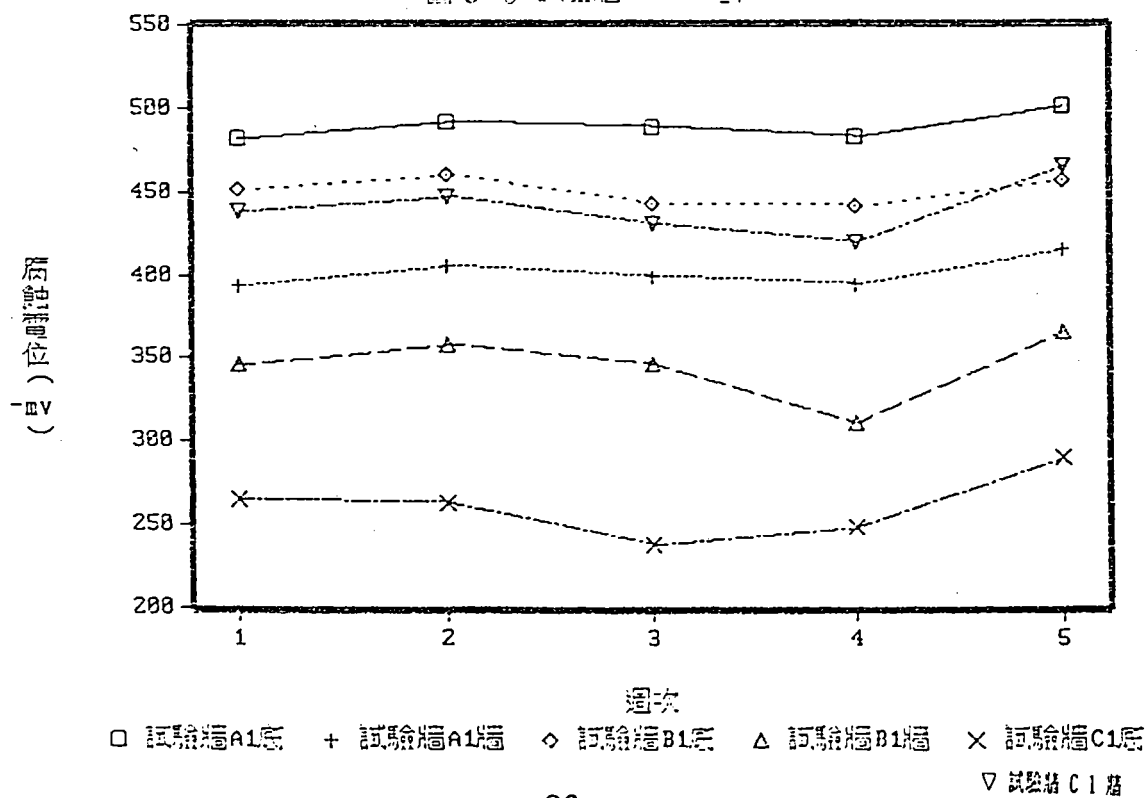


圖 3-9 試驗牆 mmo 電位

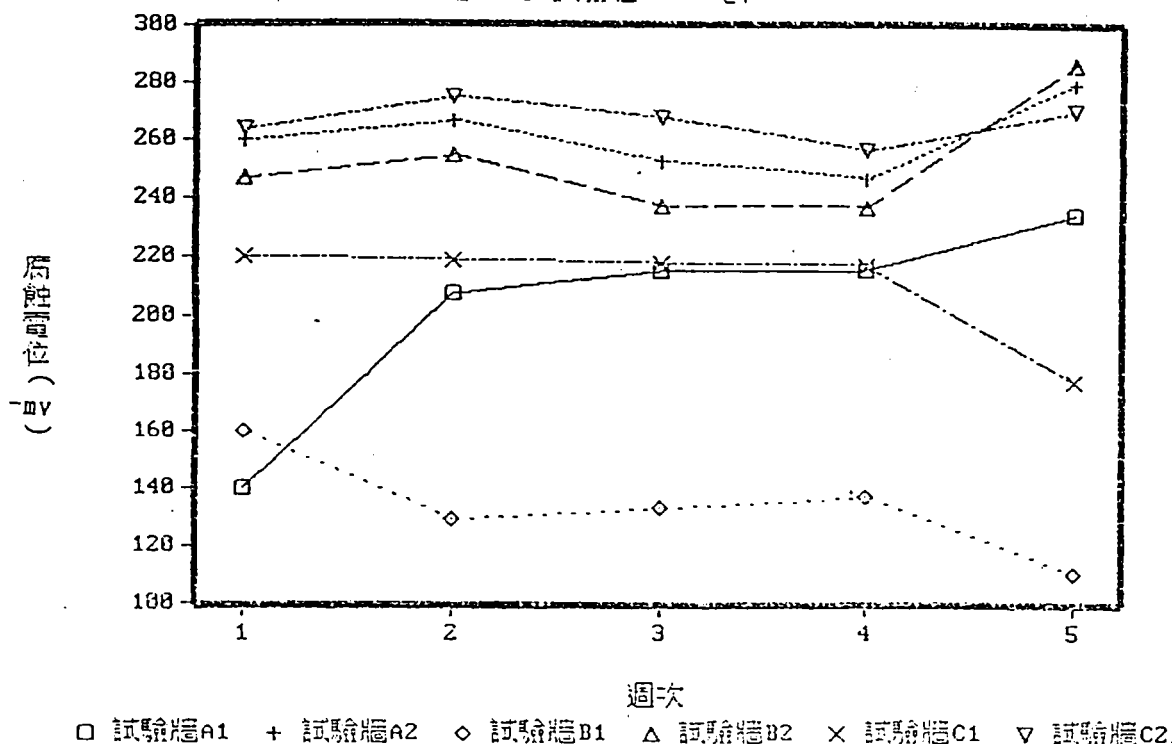


圖 3-10 1--3版 Ag/AgCl 電位

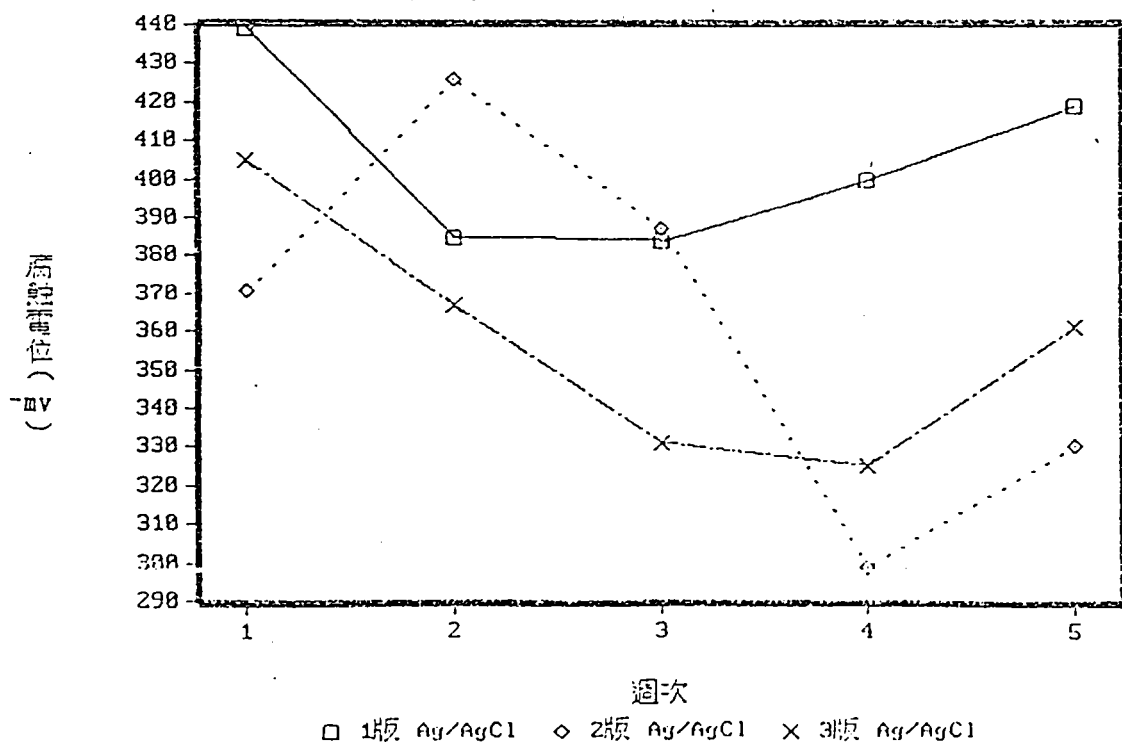
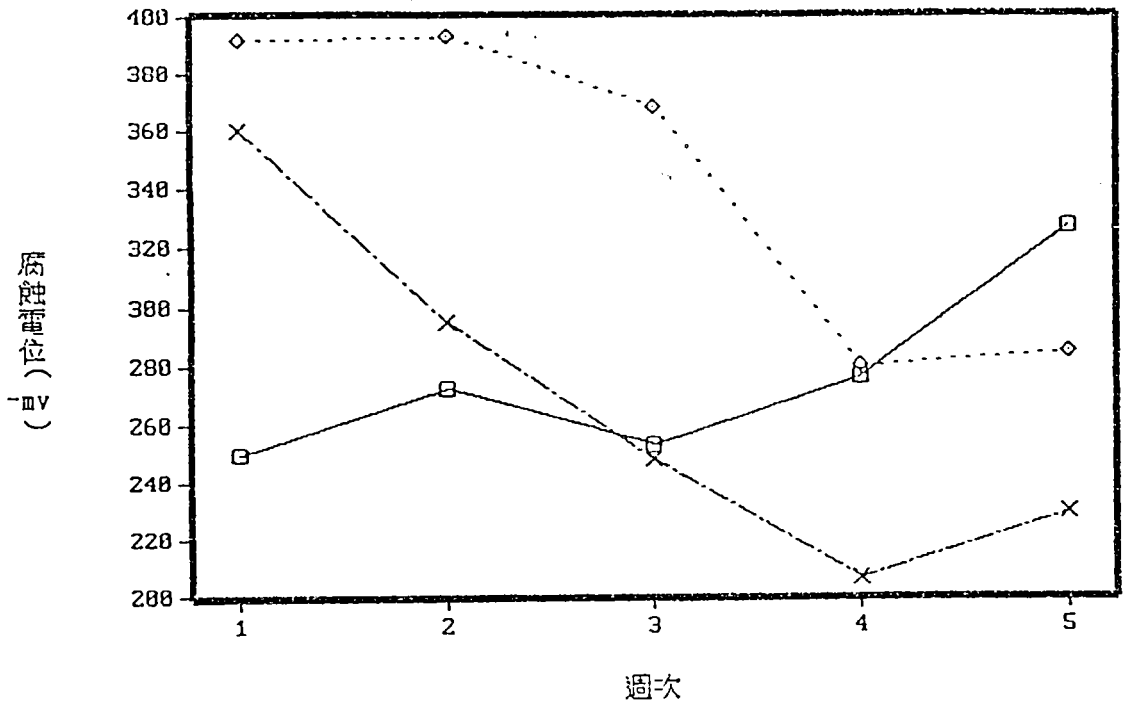
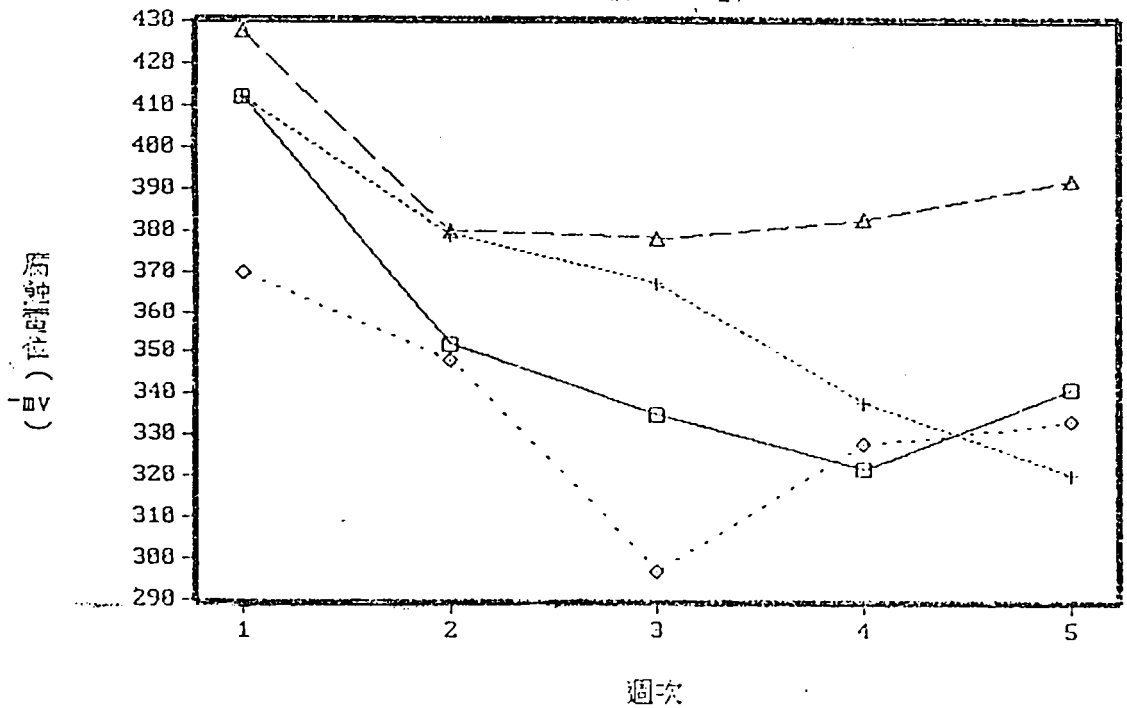


圖 3-11 1--3版 MMO 電位



□ 1版 MMO ◇ 2版 MMO × 3版 MMO

圖 3-12 4--7版 MMO 電位



□ 4版 + 5版 ◇ 6版 △ 7版