

8 3 - 研 (十 一)

港灣R.C.結構物修理系統之評估研究

台灣省政府交通處

港灣技術研究所

台 中 梧 棲

中華民國八十三年六月

港灣R. C. 結構物修理系統之評估研究

執行期間：民國八十年七月至八十三年六月

計畫主持人：饒 正(81.3.1~83.6.30)

林維明(80.7.1~81.2.28)

共同主持人：陳桂清(81.3.1~83.6.30)

協同主持人：黃永光(82.7.1~83.6.30)

吳信昇(80.7.1~82.6.30)

研究人員：柯正龍 李國綱 陳正義

何木火 李昭明 王培源

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)

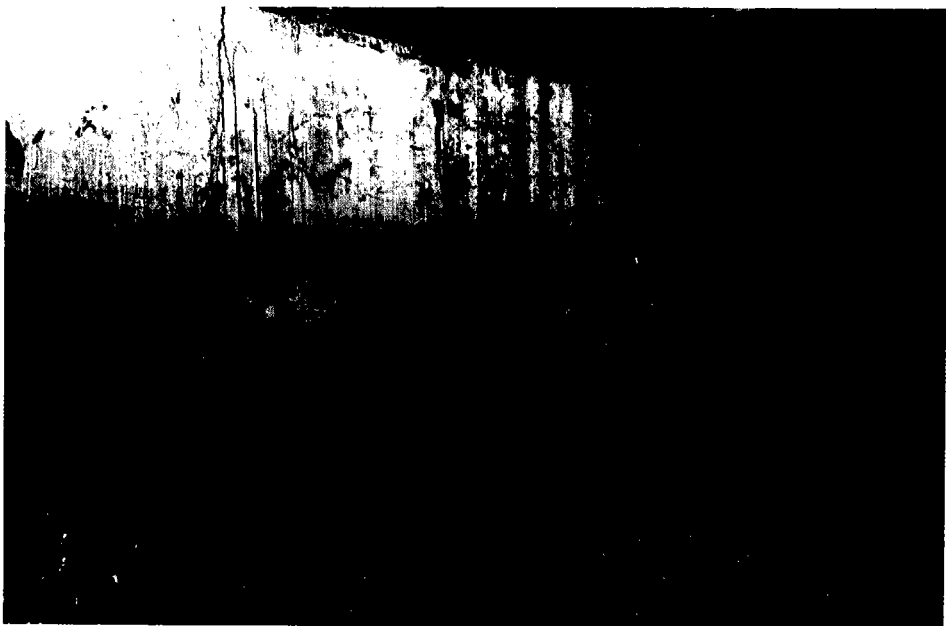
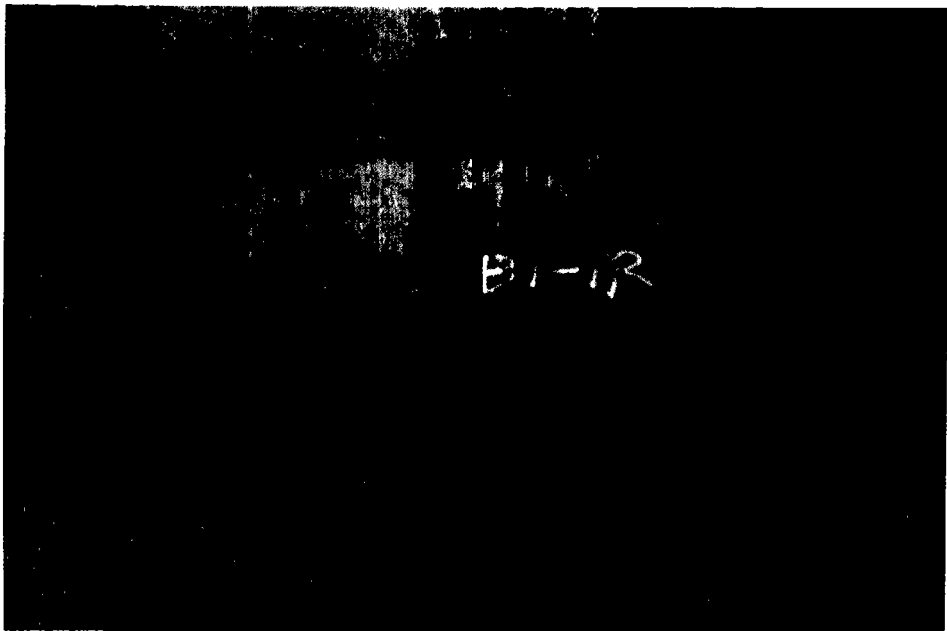
賴福順(花蓮港務局)

林 勝(蘇澳港務分局)

台灣省政府交通處

港灣技術研究所

中華民國八十三年六月



蘇澳港11號碼頭
底版及樑之裂縫及吐銹水現況

目 錄

目 錄	I
摘 要	IV
第一章 緒 論	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	1
1-3 研究方法	1
1-4 預期效果	1
1-5 全程進度	2
第二章 文獻回顧	3
2-1 修補之定義	3
2-2 混凝土修補材料之選擇標準	5
2-2-1 修理材料之性質	5
2-2-2 修理材料之評估	7
2-2-3 修理材料之選擇	13
2-3 修補技術	14
2-4 修補工作現有之問題	22
第三章 港灣R.C. 結構物現場調查	25
3-1 前言	25
3-2 檢測方法	25
3-2-1 裂縫觀測	25

3-2-2	腐蝕電位量測	26
3-2-3	超音波速度量測	26
3-2-4	R. C. 表面反彈係數	27
3-2-5	電阻量測	27
3-2-6	氯離子含量試驗	28
3-3	結果與討論	28

第四章 現有修理系統調查 40

4-1	前言	40
4-2	五大港口修理系統	40
4-2-1	基隆港之修理系統	40
4-2-2	蘇澳港之修理系統	41
4-2-3	花蓮港之修理系統	43
4-2-4	台中港之修理系統	43
4-2-5	高雄港之修理系統	43
4-3	結果與討論	43

第五章 港灣R. C. 結構物之陰極防蝕 45

5-1	前言	45
5-2	電化學腐蝕	46
5-3	腐蝕控制	47
5-4	陰極防蝕	48
5-5	研究規劃	51
5-5-1	陰極防蝕方法	51
5-5-2	試體製作	52
5-5-3	參考電極	52
5-5-4	防蝕電流	55

5-5-5	被覆材之耐久性	55
5-6	試驗方法	60
5-6-1	試體製作	60
5-6-2	暴露條件	60
5-6-3	電位量測	60
5-6-4	陰極防蝕系統安裝	60
5-6-5	防蝕效果量測	62
5-6-5-1	電流量測	62
5-6-5-2	效果觀察	62
5-6-6	被覆材之耐久性	62
5-7	試驗結果與討論	68
第六章 結論與建議		70
6-1	結論	70
6-2	建議	70
第七章 參考文獻		72
附錄一		74
附錄二		93

摘 要

港灣 R.C. 結構物經年處在惡劣海洋環境下，容易損壞需經常維修，本研究針對各港務局五年來之主要維修工作，進行材料及工法之調查與評估，發現主要維修對象除花蓮港舊東堤外，均以棧橋式碼頭之樑與版為主，維修材料以一般混凝土及樹脂砂漿，其工法係噴漿或塗鏝之傳統工法，有些碼頭之維修效果不彰，大約每五年需重覆維修乙次(此為正常現象)，其中值得注意的是各港務局並未定期進行 R.C. 結構物之檢測，發現問題時，才逕行維修。

本研究亦提出一套非破壞之檢測方法，進行蘇澳港 11 號碼頭之底樑與版之檢測，結果顯示其氯離子濃度高，混凝土電阻係數值在 $5 \sim 10K \Omega \cdot CM$ 之間，鋼筋腐蝕電位超過 $350 mV(CES)$ ，底樑下部沿主筋方向有裂縫及吐銹水之狀況，肯定其內部鋼筋已發生腐蝕，需進行維修(該構造物之使用才 17 年)。

鋼筋混凝土結構物，因鹽害造成鋼筋腐蝕，不論使用何種材料維修，均會因材料含水量、成熟度…等不同，產生電位差生成濃度差電池，使腐蝕繼續發生，故歐美及日本…等國家，目前均採用認定之唯一維修工法——陰極防蝕法，本研究針對陰極防蝕法模擬港灣工程使用之樑及版、製做大尺寸試體、暴露於飛沫帶與潮汐帶之環境下、評估防蝕電流之大小、參考電極之穩定性、陽極系統之安裝、被覆材之耐久性…等重點，相信兩年後之結果，可做為陰極防蝕設計準則之依據。

第一章 緒 論

1-1 研究動機

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。

1-2 研究目的

1. 對目前各大港口R.C.結構物之現況作一調查，以作為維修之依據。
2. 對目前各大港口R.C.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。

1-3 研究方法

1. 調查各港口現有R.C.結構物之現況(尤其是水下部分)。
2. 調查各港口現有海洋R.C.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。

1-4 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。

1-5 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
蒐集相關文獻與研討						
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		—		—		—

第二章 文獻回顧

2-1 修補之定義

鋼筋混凝土結構物係以鋼筋加強混凝土之抗彎及抗拉強度，並以鋼筋之混凝土保護層及水泥之高鹼性防制其發生腐蝕現象，如果設計正確，材料使用適當及施工技術優良，則極具耐久性，例如，高雄港及花蓮港有許多碼頭為日據時代建造的，而至今仍相當健全。

結構體施工時如果拌合時使用材料不當或施工條件不良，竣工後再受到各種自然或環境力量及使用條件等因素之作用，而逐年產生化學上變質及物理性變形等惡化現象，因而造成損壞而危及結構物之安全、耐久或喪失其使用功能。

為能經常保持其安全及耐久性，必須作適當之維修管理措施，圖2-1-1 為其流程圖。若檢查評估發現異常現象，應判斷採取適當之修補、補強措施。

一般結構物已發生損壞再作修補者稱為事後維護，而經過檢查，發現結構體已開始惡化，事先所作之修補及補強工作，則稱為預防維護，如圖2-1-2 所示，結構物之惡化程度隨使用歷時而變，惡化程度及損傷程度等而異。大致可區分為：

- (1) 為維持結構物現有耐力所應考慮之安全性、耐久性及發揮其使用功能等而加以控制，使之不再持續擴展其惡化及損壞現象。
- (2) 對已經或可能發生惡化或損壞之結構物，使之恢復，而不致於影響其使用功能。

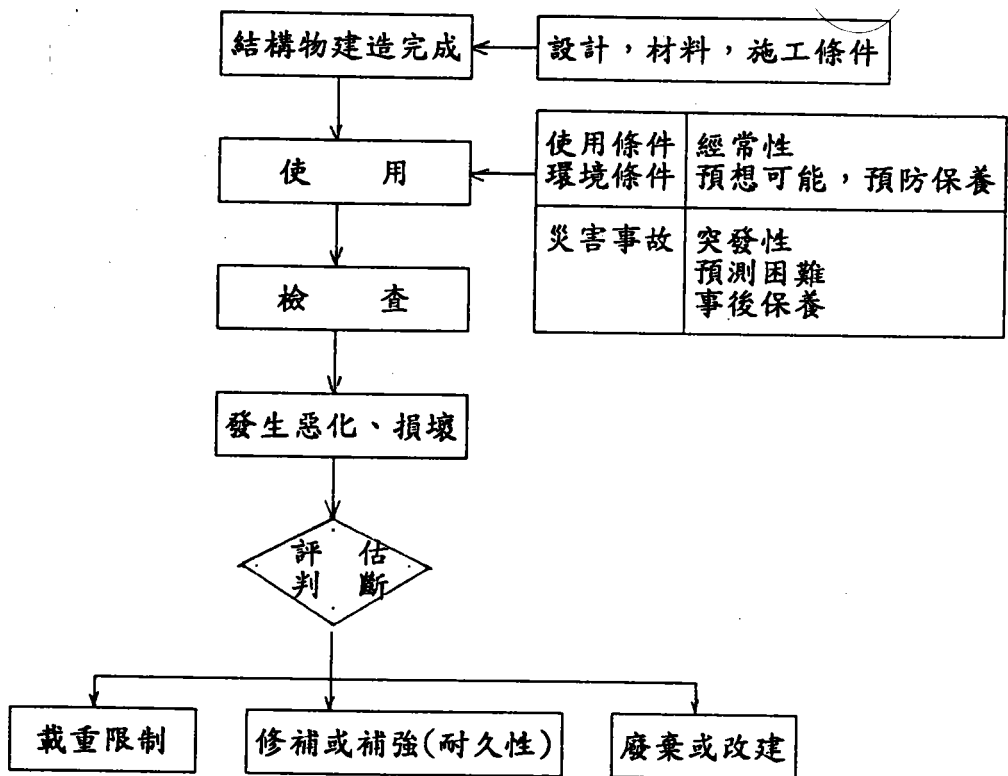


圖2-1-1 結構物維護管理之流程圖

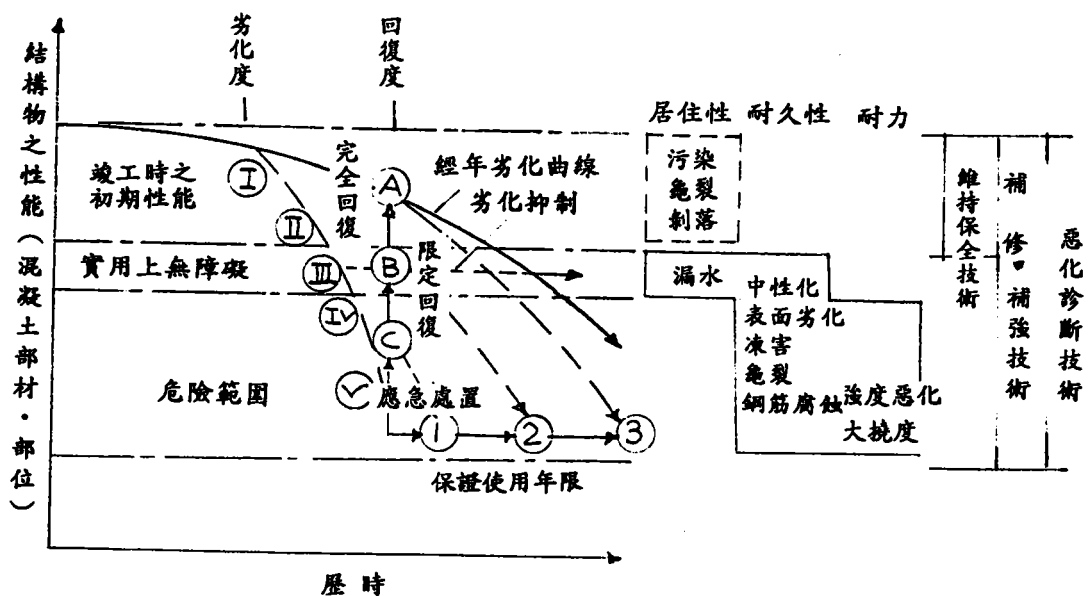


圖2-1-2 修補及補強技術之基本概念

- (3) 對已經或可能發生惡化或損壞之結構物，使之改善，完全恢復至初期之使用功能。

修補及補強之定義，後者為除恢復耐力外更可增強其結構行為。而修補則為預期在設計耐久年限內，能使結構物充分發揮其使用功能。圖2-1-2 為其基本概念。

2-2 混凝土修補材料之選擇標準

對一修補計畫，選擇適當之修補材料是相當重要的。以下討論各種修補材料之性質及評估的方法。

2-2-1 修補材料之性質

一座結構物之任何修補方法必須滿足下列三個基本需求：

1. 修補必須能阻止結構物之惡化，特別是防止鋼筋再度腐蝕，此可設法防止氧氣、水或侵蝕性離子侵至鋼筋或提供一環境使鋼筋保持在鈍態，陰極防蝕亦為可能的方法之一。
2. 恢復結構之完整性，對於修補材料能承受多少之負荷仍有些爭議，但是除非純粹為修飾之修理外，所有使用之修補材料之強度必須與其底材之強度相同，這是普遍被接受之觀點。
3. 一個稱心如意之修補為其可提供一站在實用上可被接受之修飾，在一完整之結構物上作表面塗裝，最好的方法是能達到外表均勻且能提供額外之保護，而不再有惡化的跡象發生。

當評估可行之修補系統時，必須考慮數種材料之性質，這些特性包括下列各項：

- (1) 對底材有足夠之黏著能力。
- (2) 與底材之相對運動，可根據乾縮、熱膨脹及乾濕行為等加以判斷。
- (3) 水、氣體及有害離子之滲透性。

(4)鋼筋之電化學鈍態。

(5)強度。

(6)易於應用。

(7)對凍融循環、化學侵蝕及天候等之耐久性。

圖2-2-1及圖2-2-2指出修補材料與基材相容性之影響因子及混凝土修補系統耐久性之影響因子。

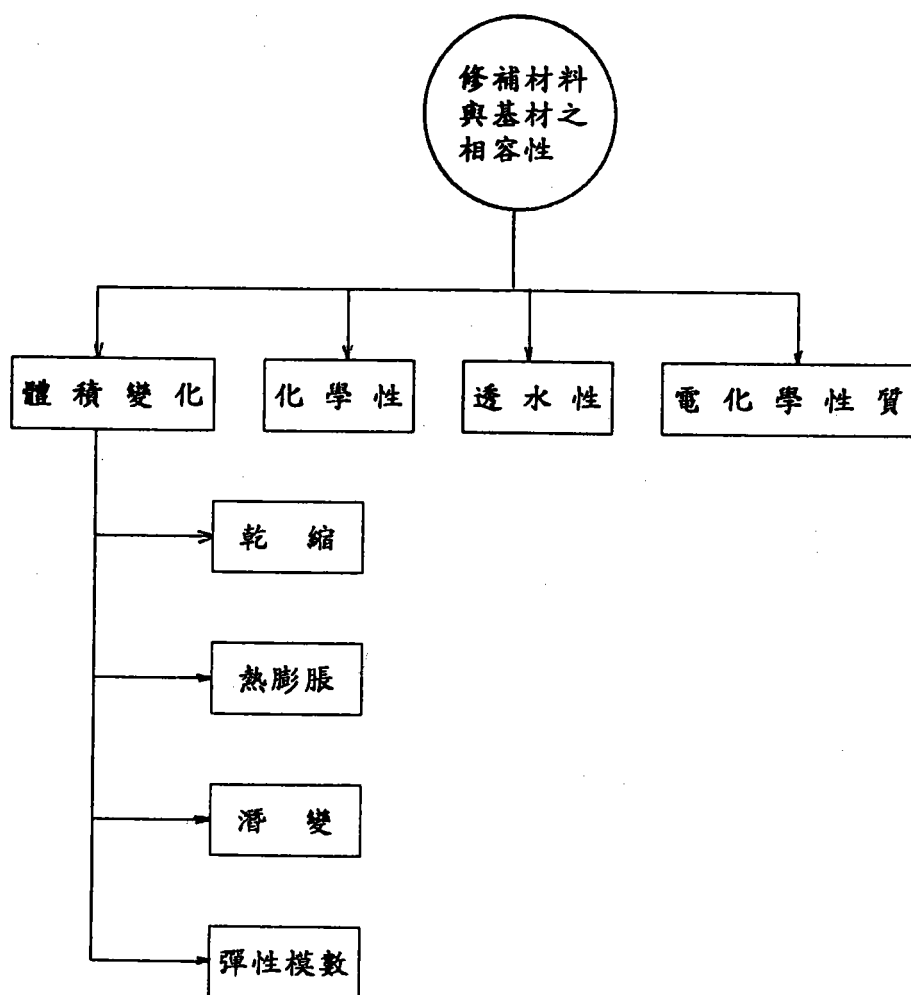


圖2-2-1 修補材料與基材相容性之影響因子

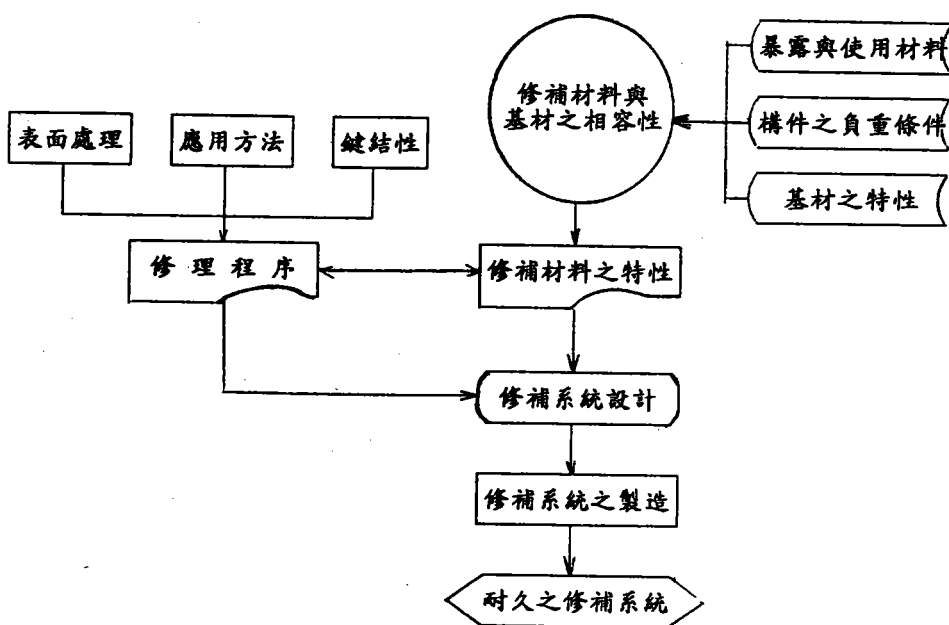


圖2-2-2 混凝土修補系統耐久性之影響因子

2-2-2 修補材料之評估

1. 黏著/結合(Adhesion/bond)

修補材料對底材有很強之黏著性是非常重要的，且後繼之應力必須會造成未黏著，現所使用評估黏著性之一些試驗，包括下列各項：

- 直接抗拉試驗--通常這種試驗包含在一已硬化之水泥砂漿底質上澆置新拌水泥砂漿，然後在一標準抗拉試驗儀器上作拉力測試，標準方法：ASTM E 149及RILEM 13MR。
- 直接拉出試驗(Direct pull-off test)--有關地板鋪面封頂之各種技術及製造商專利設備等曾有一些論文討論，ACI 文獻中亦可發現此方面測試之方法。測試標準方法：無。
- 抗彎試驗--使用於測試抗彎為三點負荷，最好是四點法，標準測試法--ASTM E 518, RILEM 13MR。
- 直接剪力測試--水泥砂漿試體承受力矩，通常以一力矩轉扭作用

而使表面達到一適當之攪拌式結合，標準測試法--RILEM 13MR。

- 斜面剪力測試(Slant shear)-- 製作一長方形試體如圖2-2-3 所示，修補材料與底材黏著線與垂直方向成30度，在抗壓試驗機壓碎，若黏結性良好，則試體以一整個單一試體破壞而非沿著黏著線破壞。

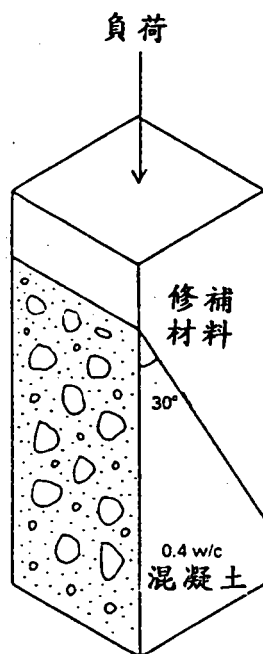


圖2-2-3 根據ASHTO-237規範準備修補材料之試體

為評估修補材料之結合性，必須進行上述各項試驗，而根據經驗，斜面剪力試驗方法對於水泥砂漿試體之黏著性評估可提供最可靠之數據。

2. 收縮、溫差變化運動與龜裂現象

修補材料另一基本性質為其表現無收縮或非常輕微程度之膨脹，常用之評估方法如下(圖2-2-4)：

- (1) 柱狀試驗(prism test)--剛開始24小時柱體上有五邊受抑制，另一邊未受限，爾後柱體上所有各邊均受抑制，標準試驗方法：ASTM C157。

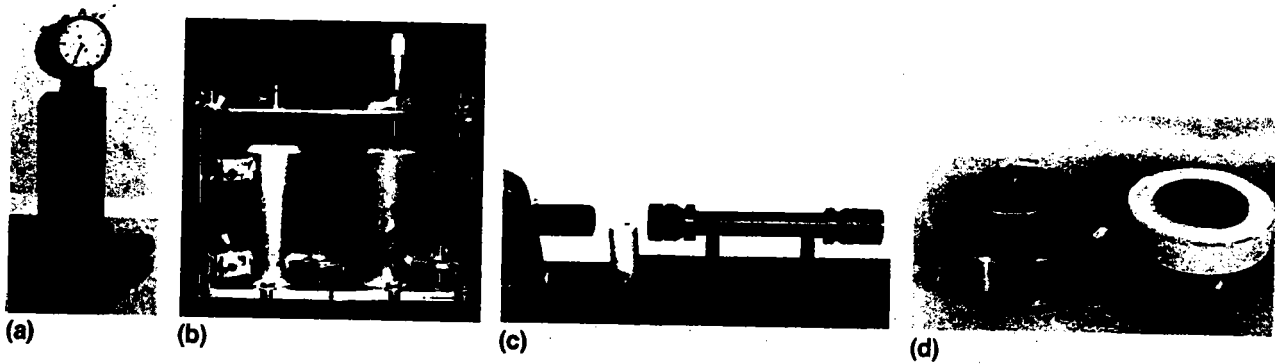


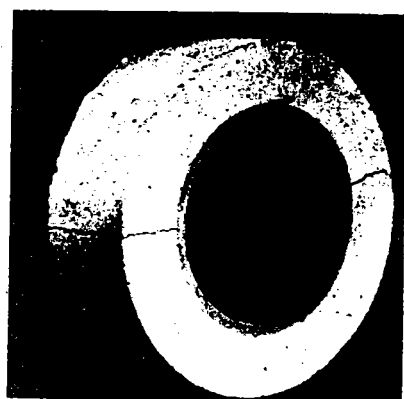
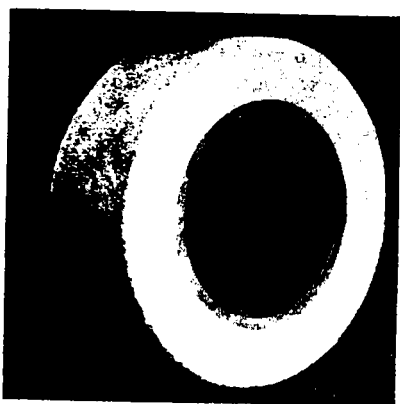
圖2-2-4 收縮試驗儀器設備

(a)ASTM C157 (b)ASTM C827 (c)CRD-621 (d)Shrinkage ring method

- (2) 輕便測試(Light test)--在整個測試期限，除上側外，其他各邊均受抑制，標準測試方法：ASTM C827。
- (3) 測微針一支架試驗(Micrometer-bridge test)--除上側外，其他各邊均受抑制，標準測試方法：美國陸軍工兵署CRD-C-621。
- (4) 收縮環試驗(Shrinkage ring test)--除上側外，所有各表面均受抑制，直到凝結拆模後一小時，拆模後除內環之表面，所有表面均未受抑制，標準測試方法：無。

量測長期收縮及溫度移動之常用方法為使用ASTMC 157 所定義之標準柱狀體(Standard prisms)，這些試驗可得到自由運動很有用之指標，而由於抗拉強度及應力鬆弛之發展很難與收縮龜裂建立關係，因此不易由這些試驗建立與收縮龜裂之相關性。

另一評估龜裂趨勢之方法為執行受抑制收縮試驗(restrained shrinkage tests)，為達成此項評估之目的，曾嘗試各種方法，例如澆置水泥砂漿於模型中，使可在保持一定長度下能承受抗拉負荷，或較簡單的方法為沿一硬的嵌入物 (rigid insert) 澆置水泥砂漿，並按時紀錄龜裂情形，而如圖2-2-5 所示之收縮環試驗(Shrinkage ring test) 為最容易執行且可得到很有用之結果。



(a)一特殊材料經過一年後之結果

(b)另一材料7天後之結果

圖2-2-5 兩種不同水泥質修理材料曝露在70°F及相對濕度65%下之受抑制收縮試驗

3. 滲透性

鋼筋之腐蝕可由阻止氧氣及濕氣侵至鋼筋處而加以避免，因此修補材料具低透水性是相當重要的。在水泥砂漿情形，在低滲透性情況下，其中性化速率亦較慢，現有一些技術可用於量測滲透性。

- (1) 安裝水泥砂漿試體於一特殊之試驗裝置上，在試體兩側使用液體或氣體之壓力差及量測流動速率。
- (2) 量測氣體通過一試體之擴散速率。
- (3) 表面吸水方法，例如在英國國家標準BS1818所說明之ISAT試驗法，為評估修補水泥砂漿之滲透性最實用的方法，然而亦需量測氧氣及CO₂之滲透速率，因為這些因素對鋼筋保護佔相當的重要性。

4. 鋼筋之電化學鈍態

有一些方法曾用於評估在各種不同環境下鋼筋腐蝕之風險性包括極化技術。但最簡單的方法為加速腐蝕試驗(圖2-2-6)。在實驗之情形為鋼筋埋於一具外加腐蝕電流之固態介質下，而使其表面生成穩定之鈍態膜。當確定是與摻加含有氯化鈣之早強劑有關之問題

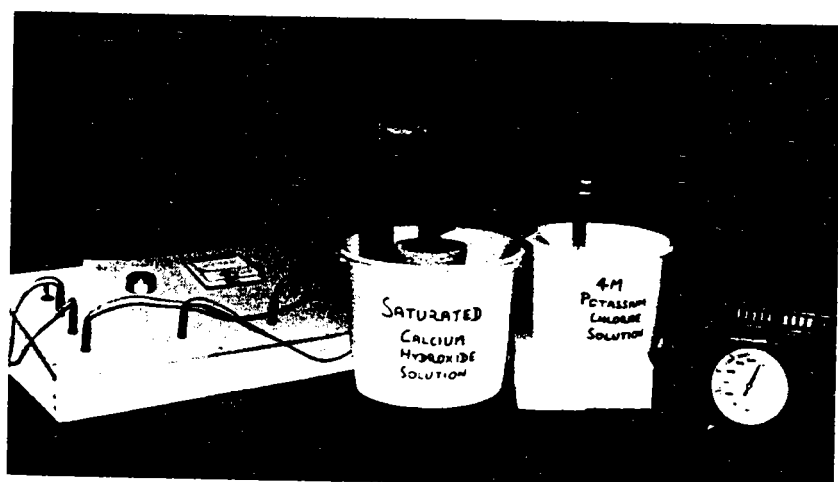


圖2-2-6 量測修補材料中鋼筋腐蝕之加速試驗設備

時，曾廣泛地使用此試驗方法來測試摻料，由於試驗需有一固態之介質可導電，因此不可能調查環氧樹脂砂漿直接對鋼筋之影響性。

大多數水泥基之修補材料均顯示具有獨特之鋼筋鈍態，但仍值得使用加速試驗校核預先包裝的 (Prepackaged) 水泥質修補水泥砂漿，確保無摻料或其他材料出現可能影響鈍態之變化(圖2-2-7)。

在水泥質砂漿情況下，中性化進行之速率保持為最低也是很重要的，此可使用標準之酚太指示液試驗法，檢測保存在標準條件下之試體(圖2-2-8及圖2-2-9)。

5. 力學強度

在許多實例上發現，一修補材料預期能提供一結構物之力學強度。因此通常依據ASTM C109 及 C348 規範進行抗壓及抗彎強度試驗，同時根據ASTM C469 規範量測修補材料之楊氏模數也是重要的，一般楊氏模數低具有保持內部應力低之優點且可確保良好長期之握裹及減少龜裂現象。

然而若預期在修補斷面上之負荷傳達為均勻的，則經常爭論修補材料之彈性模數必須與修補區之混凝土的彈性模數相符合一致。

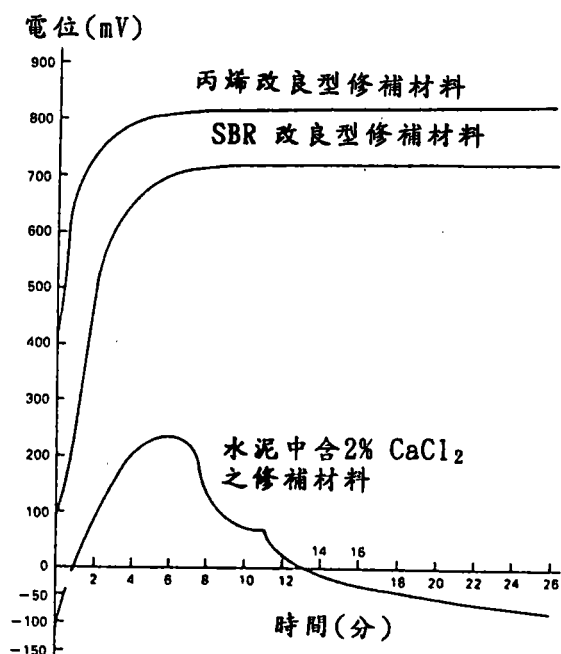


圖2-2-7 預先包裝的水泥質修補材料與含氯化鈣修補材料之加速試驗結果



圖2-2-8 丙烯改良型修補材料貯存於68°F, 相當濕度65% 達1.5年, 黑色區為酚太指示劑顯示變紫色為鹼性環境



圖2-2-9 砂水泥比為4:1之水泥砂漿在圖2-2-8同樣條件下進行中性化測試

然而新的修補材料相對於原材料可能有些收縮現象，則將對楊氏模數造成負面之影響，而較重要的是具有相對之移動量為最小之趨勢及其模數與原材料之模數必須儘可能地接近。

6. 易於應用

為確保滿意之性能，相當重要的是修補材料可在正確之配比下易於拌合，適當稠度之濕拌較具工作性，在這方面使用預疊材料可避免許多問題。

在聚酯材料情況下，樹脂系統之化學性質可設計為能耐廣大範圍之樹脂/催化劑配比，而此可提供材料以一特別容易及可靠之拌合及養生性能。

在環氧樹脂材料情況下，必須精確地保持樹脂與硬化劑之配比，可使用預先稱重之容器容易地執行配比工作。

有關未養生材料之物理性質，現可能可得各種稠度下之專利材料。包括與輕質球狀之填料配方，因而使得材料可在樑之底側(soffit) 或垂直表面上塗抹，可厚達5至15公分而無垂流之現象(依表面材料之剖面而定)。

7. 凍融試驗

可根據ASTM C666 方法評估耐凍融之能力，除此試驗為評估材料本身外，亦值得評估凍融循環對黏結強度之影響性。

8. 耐化學性

耐化學性經常限於一特殊修補計畫之特別需要上，其性能可以曝露試驗評估，常使用高溫以加速惡化之進行。

9. 整體之性能

修補後之性能導自各種因素，雖然大多數之性質均可個別量測而評估整體之性能仍然相當的重要，長期曝露試驗為一可取之道，然而經常需加速惡化之進行。嚴酷之環境例如海水噴灑或提高溫度再加上凍融循環可能使用為加速試驗之評估。在試驗進行中，可使用半電池技術（腐蝕電位儀）偵測修補試體之鋼筋電位變化。

2-2-3 修補材料之選擇

對一特殊場所選用修補材料需根據上述各種試驗方法量測其性質加以評估。而重要者係必須考慮材料費用，因修補工作而暫停生產或

使用之時間損失及勞工工資等。

通常在修補較薄之斷面，樹脂基材料較受愛用，在此情況下係取樹脂材料之滲透性低，具良好之黏性及不需特殊之養護需求等優點。

對於較大之修補，最好是使用水泥基材料，這種材料較樹脂砂漿費用低廉，且其熱膨脹特性與混凝土底質較為相配，易於拌合與大體積使用，而在養護時較樹脂材料所放出之熱量為低，然而需注意由於早期時水份快速流失至多孔性之底質或自表面失水，不至發生脫水之現象。

在水泥質之砂漿之配方仍在繼續進步，特別是經由使用特殊之水泥、填充料及摻料等以改進使之容易使用，減少收縮應力及降低滲透性等特性。材料符合此需求並非明日之美景，而是現在可利用的。

2-3 修補技術

多年來工程師與科學家鍥而不捨之努力研究發展有效的修補技術，常見之方法如圖2-3-1 所示，包括更換鋼筋，修補、陰極防蝕及套裝等，圖2-3-2及圖2-3-3為修補程序。為使鋼筋之鐵銹能清除乾淨，必須清除劣化之混凝土至鋼筋背後如圖2-3-4 所示。圖2-3-5 為自檢查至修補效果之確認之工作流程，檢查之目的為可以：

- (1) 早點發現結構體內潛在性或具顯著性之惡化及損傷情形。
- (2) 瞭解惡化及損傷之原因。
- (3) 評估結構物之健全程度並判斷是否需進行修補。
- (4) 有系統的紀錄結構物逐年劣化之變化情形。
- (5) 可獲取適切修補，施工效率高及經濟的所需資料。
- (6) 判斷建造所使用正確設計，材料與施工之反饋資料。

表2-3-1 為一般橋樑及建築物需進行修補應確認的要項，而表2-3-2 為修補計畫、調查及設計上應檢討之項目概況。

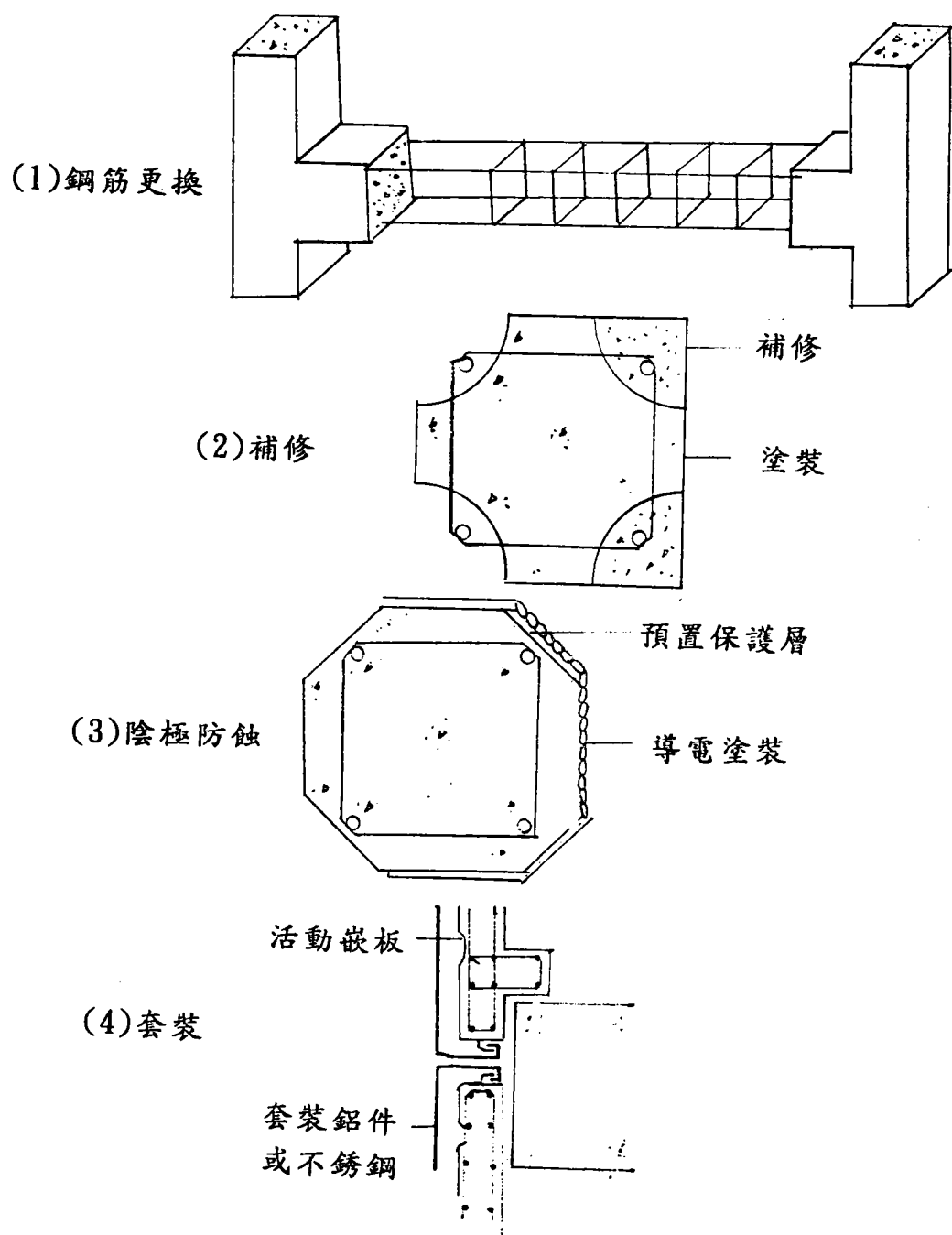


圖2-3-1 常見之鋼筋混凝土修理方法

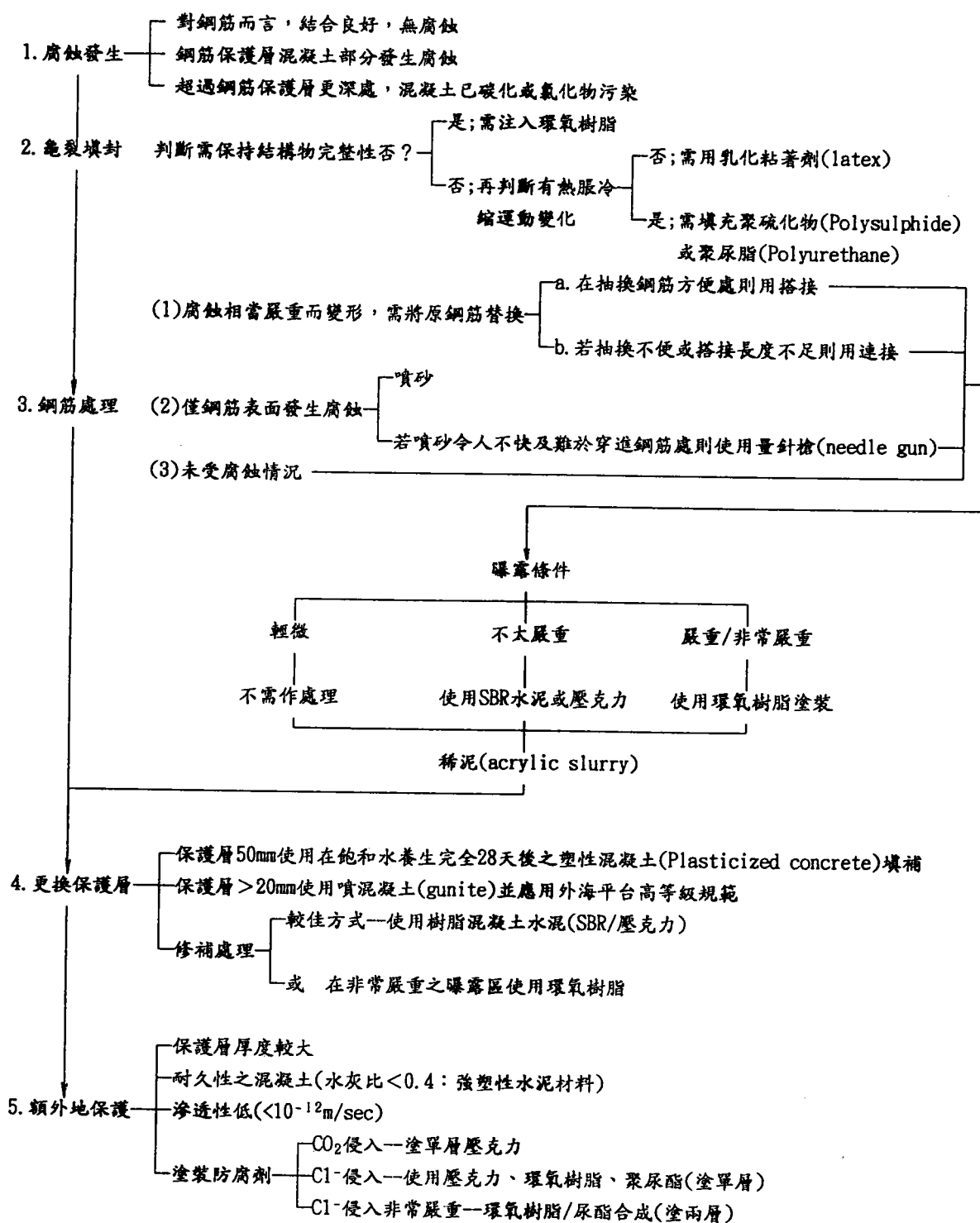


圖2-3-2 海洋混凝土結構物修理程序流程圖

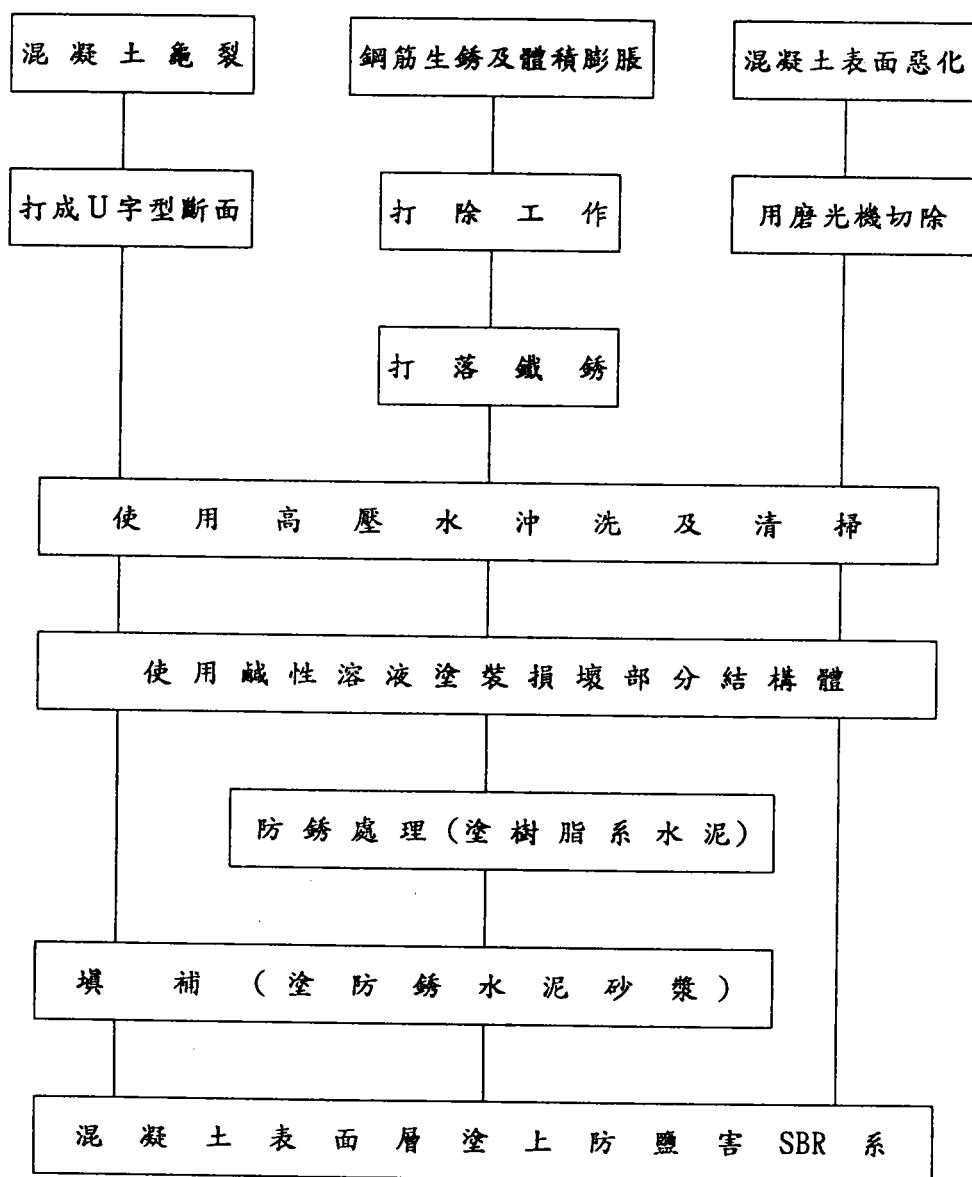


圖2-3-3 鋼筋混凝土結構物修補程序

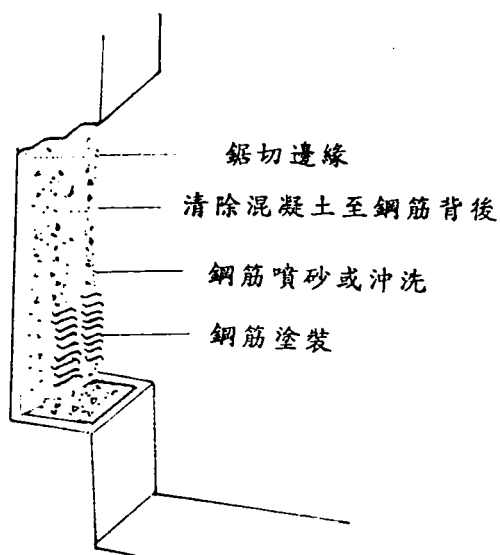
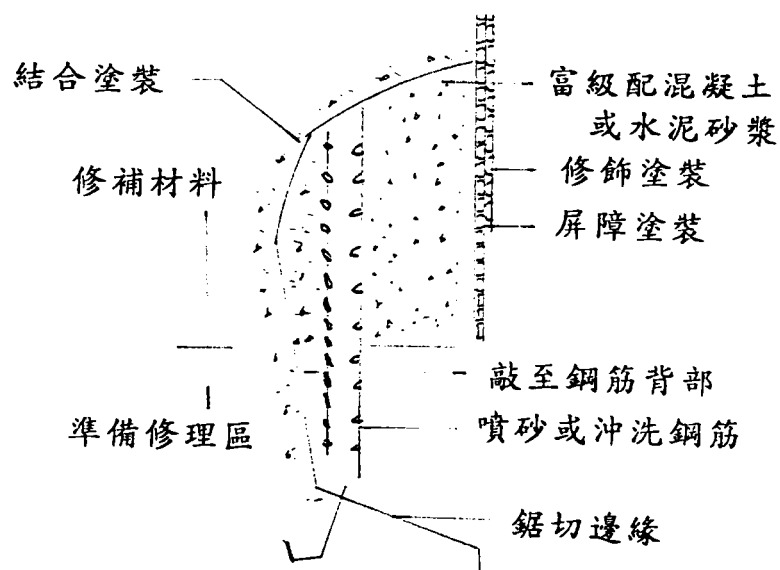


圖2-3-4 鋼筋混凝土修補情形

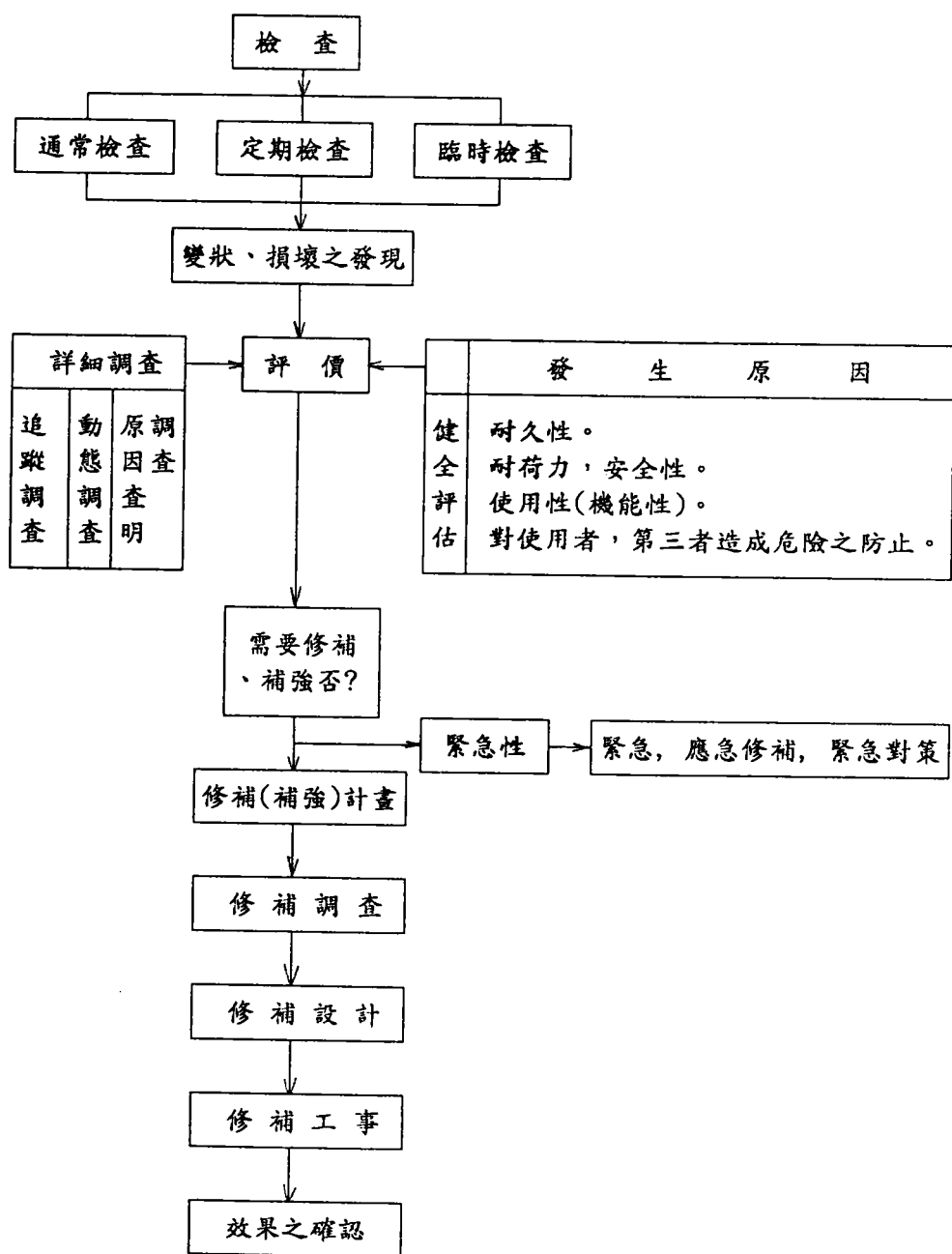


圖2-3-5 檢查與修補流程圖

表2-3-1 需要修補、補強地方應確定之項目

構造物	結構系統	無筋，RC，PC。			
	構造種類	橋樑	高欄，橋面版，樑，橋墩，基礎。		
		建築	構造部位 公共設施	屋基，陽台，壁，樓板，樑，柱，牆。 屋基，天井，壁，樓板，樓梯。	
	範圍	全體，部分，局部。			
惡化、 損壞之 狀況	形態	部材之破損，變位，變形，龜裂，剝離，斷面破損，鋼材之腐蝕，破壞，品質劣化，磨耗，漏水。			
	原因	構造物	設計上不健全 使用材料品質不良 混凝土之品質不適當 鋼筋，PC鋼材 施工上之缺陷	對結構物不適合計算與圖面不完整。 水泥，骨材，拌合材料，水。 強度，透水性，空氣量，含水狀態，養生，夯實。 品質不良(強度)，配筋，灌漿不足。 保護層不足，蜂窩，膨脹，施工不良，初期龜裂。	
			外在作用	物理性	荷重(過大荷重，反覆荷重)，沈陷量不同，氣象作用(凍融，乾濕，溫度變化)，磨耗作用，火災作用，潛變乾縮。
				化學性	水，空氣，酸，鹽類，有害氣體，電流作用。
	程度	1. 使用無問題。 2. 安全性，耐久性，機能降低(進行性有無)。 3. 耐荷力不太有問題，對利用者、第三者將造成危險。 4. 使用上接近危險。			
	要修補、 補強時期	1. 立即 2. 儘速 3. 早點 4. 必要時 5. 觀察。			

表2-3-2 修補、補強之計畫、調查、設計上應檢討項目

修補計畫	短期，中期，長期之修補計畫			
	1. 預算經費 2. 修補對象之地方、範圍之選定 3. 施工體系之確保 4. 修補期間影響使用功能及暫停使用之對策 5. 修補時期 6. 修補方法之選定			
修補調查	補充檢查結果	正確把握損壞之內容，數量及現場條件等		
	詳細調查	調查分析損傷之原因，獲取更完整之修補設計之資料		
修補設計	目的	修補、補強之功能		耐荷力，耐久性，機能，第三者危險防止，美觀
		維持、改善水準		1. 現狀維持(進行抑制) 2. 回復實用性能 3. 改善使達到初期水準以上
	修補方法	修補 補強	鋼筋，混凝土之斷面修護，龜裂修復，惡化，腐蝕防止，保護層厚度增大 強度，剛度增大(斷面擴大，添加補強材料)	
	材料	水泥系	普通，早強，超早強，超速凝，無收縮，高鋁水泥	
		鋼材	鋼板，塑鋼，鋼筋，PC鋼材，螺栓	
	材料	樹脂系	樹脂混凝土，樹脂砂漿，聚脂混凝土 塗裝用樹脂，含浸用樹脂	
		內襯材 基座材	玻纖，內襯用樹脂 橡皮系，樹脂系，柏油系	
	修補	修補	表面處理 龜裂 斷面破損	樹脂混凝土工法，FRP技術工法，水泥漿工法，樹脂含浸工法 注入工法，密封工法，鋼棒錨碇工法 補縫工法，預疊工法
	工法	補強	直接的方法 間接的方法	混凝土打足工法，打替之工法，鋼板接著工法，預力導入工法 部材增設工法

修補工程之計畫、調查、設計與施工技術方面在執行上發生錯誤之情形仍然相當多，目前尚待解決之技術問題如表2-3-3 所示。

表2-3-3 檢查及修補、補強技術之課題

檢 查 技 術	修 補 、 補 強 技 術
損壞機理之闡明	養護管理水準之設定化
預測方法之開發	修補之實施基準
檢查之定量評估方法之開發	修補材料之開發
檢查儀器之開發	修補工法之開發
檢查修補病歷卡之建立	修補儀器之開發
維護管理情報之系統化	

2-4 修補工作現有之問題

由於修補材料在養護期間與舊混凝土有相對之收縮問題存在，或在修補之構件上有特別軟或硬之區域發生。例如，使用樹脂基材料，則在與底材之界面上可能會產生乾縮現象而降低其耐久性。如果新舊混凝土之彈性模數或熱膨脹係數不同將會引起材料不相容之現象，因此結構物所能發揮之功能將不如原先之效果。如果修補時僅清除可看見之銹蝕，而部分埋在未龜裂區已發生銹蝕現象並未清理，因此可能修補一段時間後，將會再度發生龜裂與剝落現象。另外有與底材之黏著握裹力不足，或填著易於垂流跌落現象。同時修補材料在持續之應力下產生之潛變，可能使得修補材料隨時間之增長而較缺效力。而在養護期間內，現有結構物受負荷或反覆荷重，則對修補之效果影響很大。事實上在修補期間中或修補前無法承受負荷，否則將使應力傳至構件上未受損傷的區域，使得修補效果不彰。

現市面上有數百種混凝土修補材料，而為方便起見，可加以歸類

，如表2-4-1 所示。而工程人員需充分瞭解現有產品的力學及物理特性，以及預定修補地點的底材特性，才可作適當的選擇修補材料系統和評估工作，表2-4-2 是建議一般修補材料為達到結構上相配性之需求。

一般修補材料由化學師配方，而由一些大公司製造，但基於商業上之考量，配方均甚為機密，而在銷售前常由未具有化學家研究能力以及工程師對性質要求等充足經驗的零售商加以修改與供銷。他們經常未有設備可供力學性質測試，而經常僅有抗壓強度之數據，但此並非最為重要之工程性質，所選用之修補材料必須經過測試證實可達到表2-4-2 所列之性質，才能確保修補材料在結構體上之相容性能發揮其功能。

表2-4-1 混凝土修補材料系統歸類

樹 脂 材 料	高分子改良型水泥材料	水 泥 材 料
A. 環氧樹脂砂漿	D. S. B. R. 改良型	G. 普通卜特蘭水泥砂漿
B. 聚脂砂漿	E. 乙烯乙酸鹽改良型	H. 高鋁水泥砂漿
C. 壓克力砂漿	F. 磷酸鎂改良型	I. 流動性混凝土

表2-4-2 修補材料與混凝土基材匹配性一覽表

性 質	修補材料(R)與混凝土基材(C)之關係
抗壓強度	$R \geq C$
抗拉強度	$R \geq C$
抗彎強度	$R \geq C$
黏著強度	$R \geq C$
彈性模數	$R \approx C$
熱膨脹係數	$R \approx C$
溫度效應	$R \leq C$
潛變性	$R \ll C$
抗疲勞性	$R \geq C$
抗化學性	$R \geq C$
養護收縮	$R \ll C$ *乾縮
應變能力	$R \geq C$
柏松比	視彈性模數及修補形式而定
剝蝕性	$R \leq C$

第三章 港灣 R.C. 結構物現場調查

3-1 前言

港灣鋼筋混凝土結構物經年曝露在海洋環境下，容易受海水中腐蝕因子之侵入，造成混凝土腐蝕及鋼筋銹蝕而促使結構物提早破壞，為使結構物在使用期限內充份發揮功能，港灣結構物必需定期檢測及適時維修。

3-2 檢測方法

蘇澳港11號碼頭為棧橋式碼頭於民國六十六年完工，其下部結構浸泡於海水中，板樑易受海水之潑濺，較岸邊結構物更易腐蝕，其底樑三十餘支，每支由五支小樑在現場灌鑄接頭而成五跨度連續樑其斷面如圖3-2-1，為瞭解腐蝕現況選擇10號樑作詳細之檢測，其它樑做選擇性檢測以供評估維修之時機，其檢測示意圖如圖3-2-2，蘇澳港11號碼頭平面圖及底樑編號如圖3-2-3，在選定之樑側面及底面繪間距20 cm方格，為往後各項試驗之測試點如圖3-2-4，現場搭架及檢測情形如圖3-2-5~6，各項檢測方法分述如下：

3-2-1 裂縫觀察

R.C. 結構物以強度設計法設計時，為充份利用鋼筋之強度，承受拉力區域常有裂縫發生，裂縫為腐蝕因子侵入之捷徑，亦為鋼筋銹蝕膨脹的結果，若發生過大之裂縫(於潑濺區超過0.15mm時)，即應評估對鋼筋腐蝕之影響，樑底沿拉力筋方向之水平裂縫則為鋼筋銹蝕膨脹之徵兆，腐蝕因子更易侵入，最後造成保護層剝落，因此發現水平裂

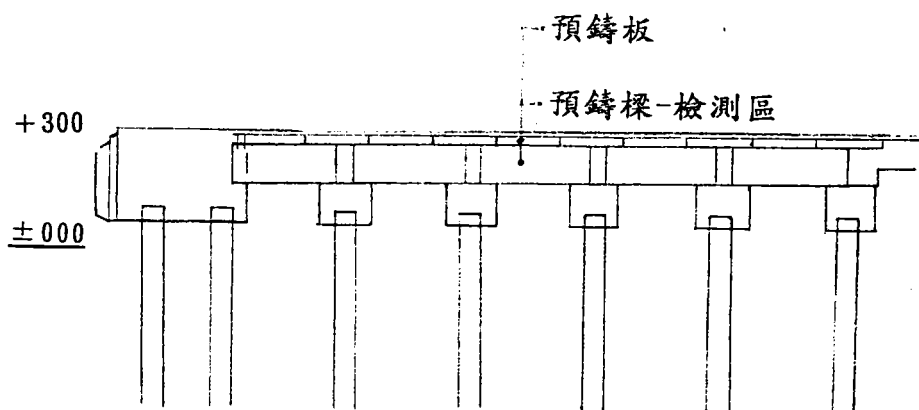
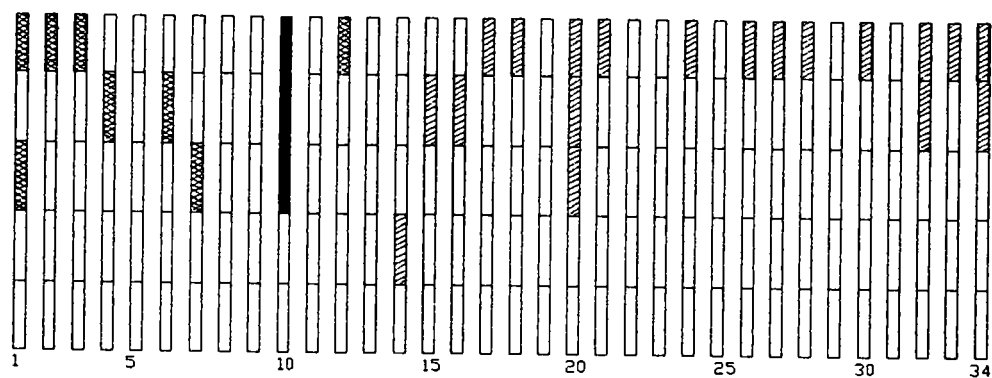


圖3-2-1 試驗樑斷面圖

10

11

12



：裂縫觀察
腐蝕電位試驗

：反彈試錘試驗

：裂縫觀察
腐蝕電位試驗
反彈試錘試驗
超音波速度試驗
電阻試驗
氯離子濃度試驗

圖3-2-2 檢測項目示意圖

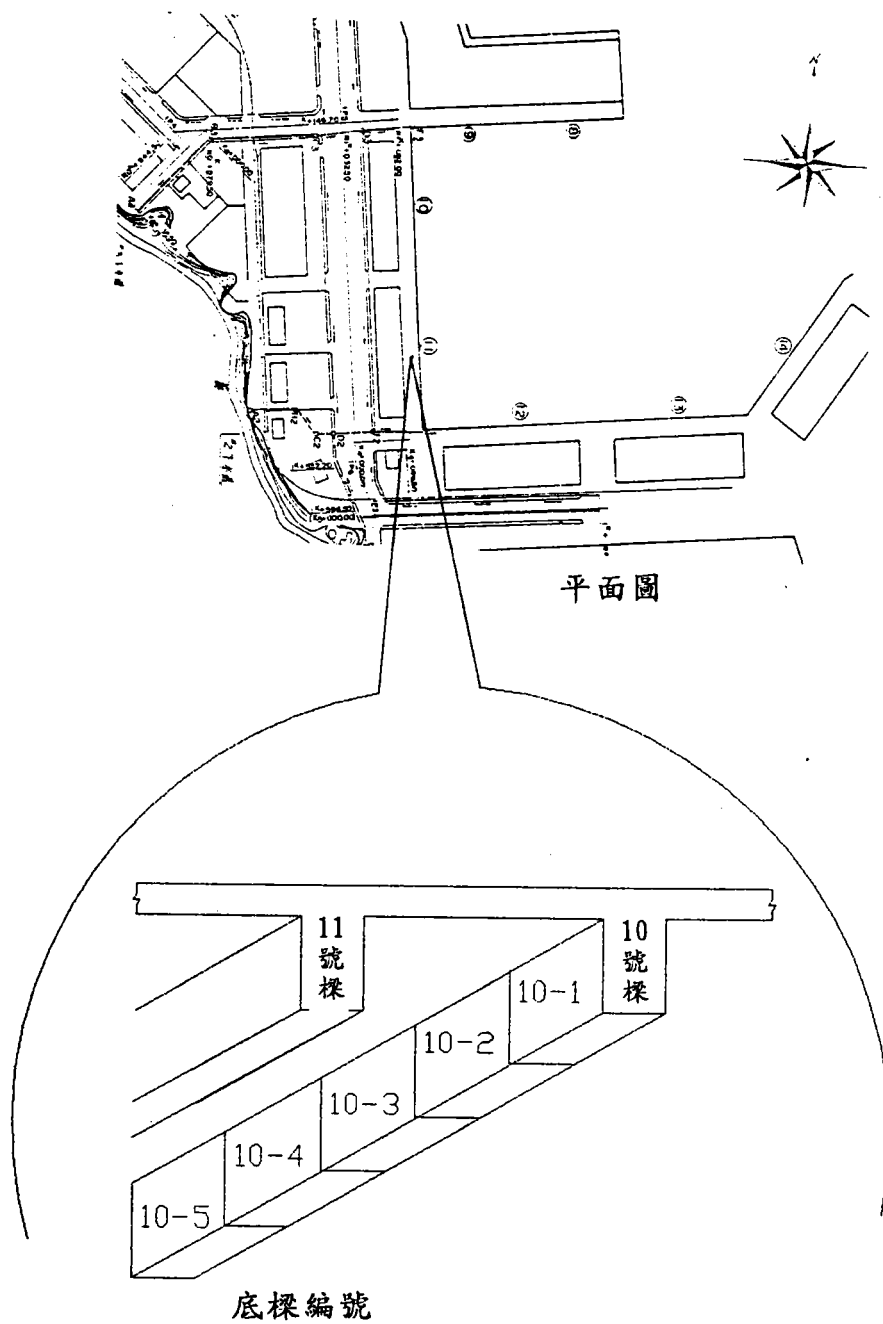


圖3-2-3 蘇澳港11號碼頭平面圖及底樑編號

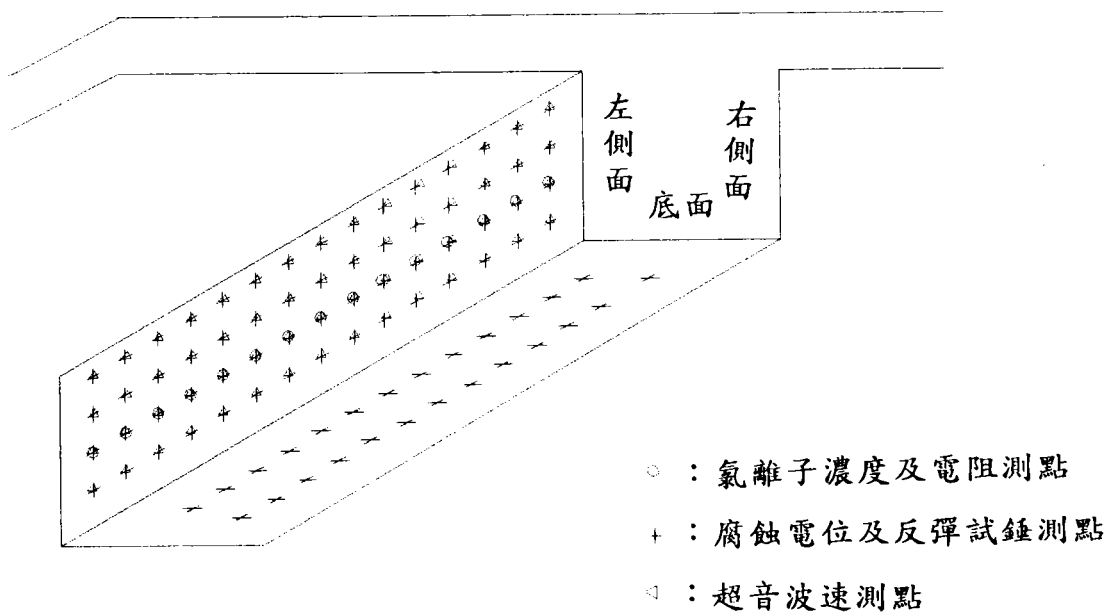


圖3-2-4 各測試點位置

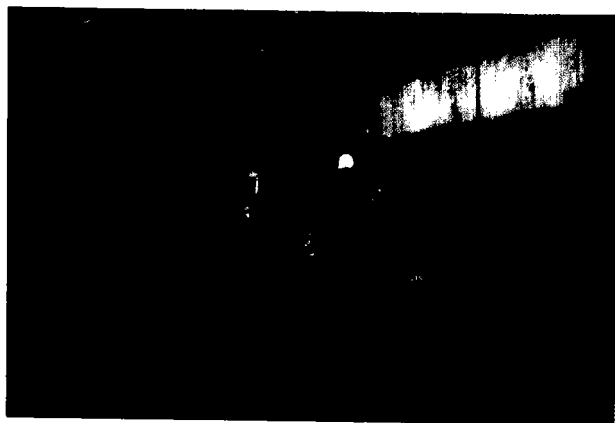


圖3-2-5 現場檢測情形



圖3-2-6 現場搭架情形

縫即應採取防蝕措施，避免鋼筋進一步腐蝕。以目測描繪裂縫為一簡潔的方法，在光線充足的場所可配合裂縫寬度計觀測器計錄裂縫寬度。本次檢測棧橋碼頭底樑，因光線不足僅計錄裂縫位置。

3-2-2 腐蝕電位量測

腐蝕電位可預測鋼筋混凝土中鋼筋之腐蝕機率，ASTM C-876 規範腐蝕機率與電位之關係如下表，本次量測方法以銅--飽和硫酸銅電極為參考電極具有攜帶方便不怕震動等優點為一現場試驗之好方法。

電位數值 (mV)(CSE)	腐蝕機率
>-200	< 5%
-200 ~ -350	>50%
<-350	>95%

3-2-3 超音波速度量測

量測超音波穿過混凝土之時間，再換算成波速以判別混凝土之孔隙多寡，一般而言強度佳結構密實之混凝土波速較快，反之亦然，一般準則如下表：

超音波速度 (Km/sec)	混凝土品質
<2.5	不良
2.5 ~ 3.0	中等
>3.0	優良

3-2-4 R.C. 表面反彈係數

以試錘打擊混凝土表面，利用混凝土之反彈力測得反彈係數(Rebound Number)，每一測點取三數據平均以評估其強度，反彈係數與圓柱混凝土試體抗壓強度之關係，據儀器製造廠提供之參考數值如下表所示。

試錘反彈數	20	25	30	35	40	45	50
估計強度 (Kg/cm ²)	86	141	205	276	351	432	513

3-2-5 電阻量測

於 10-1, 10-2, 10-3 號樑每格 20 cm 量測乙次，當電流經由混凝土內離子流動則產生電阻，因此假設電阻與混凝土中孔隙量相關，電阻大則混凝土內孔隙少則腐蝕因子不易侵入則鋼筋不易腐蝕。通常電阻值超過 20 千歐姆公分則表示混凝土狀況極佳，鋼筋尚無腐蝕之慮，一般準則如下表。孔隙中之水份多寡對電阻影響亦大水份多則電阻小，水中離子多則電阻小。

電阻值 (Kohm. cm)	鋼筋腐蝕機率
< 5	非常高
5~10	高
10~20	較低
> 20	非常低

3-2-6 氯離子含量試驗

氯離子會侵蝕水泥石中具膠結性的C-H-S 膠體及在中性化的環境下破壞鋼筋之鈍態膜，而使鋼筋容易銹蝕，為瞭解氯離子侵入之深度選定點10-1 10-2 10-3三支樑每格20 cm以電鑽 鑽取深1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm 之混凝土粉末再以硝酸淬取氯離子測定其含量（以混凝土重量為基準），ACI對混凝土中最大氯離子含量規定如下表：

構 件 型 式	混凝土中最大水溶性氯離子含量(%)
預力混凝土	0.06
暴露在氯化物中之鋼筋混凝土	0.15
鋼筋混凝土使用時為乾燥或不受潮環境	1.00
其它鋼筋混凝土構造物	0.30

3-3 結果與討論

1. 裂縫檢測結果10-1, 10-2 號樑除微裂縫外側面拉力筋位置亦有水平裂縫，其裂縫分佈如圖3-3-1、2 所示，10-3 號樑僅有微小裂縫應為乾縮形成影響不大，其它裂縫較為嚴重者有 1-1, 1-3, 12-1, 26-1 均有拉力筋位置之水平裂縫，部份裂縫並有銹水滲出，其內鋼筋可能正在腐蝕中，並影響混凝土與鋼筋間之裹握力，應及早加以防制以防進一步惡化。
2. 腐蝕電位量測結果如圖3-3-3、4、5、6及附錄二，電位約在-300~-400，故研判已發生腐蝕之機率約在50-90%間。

3. 超音波速度量測結果如圖3-3-3、4及附錄二，波速介於 1.5~4 Km/sec 間，顯示混凝土部份區域之品質不良。

4. 反彈試錘試驗結果如圖3-3-3、4、5、6及附錄二，原預鑄混凝土設計強度為210Kg/cm，相對應試錘反彈數約為30，明顯的大部份區域現況均符合當初之設計強度。

5. 電阻試驗結果如圖3-3-4，大部份位於5~10間，故鋼筋可能位於高腐蝕狀態，數值較低並不確實表示混凝土中孔隙較多，因棧橋碼頭面臨海水，混凝土中含水較多，而海水中含豐富之離子可能導致電阻較小。

由電阻試驗、腐蝕電位試驗及裂縫觀察研判，內部鋼筋已開始生銹，應採取防蝕措施以防進一步惡化。

6. 氯離子濃度試驗結果如圖3-3-7，大部份都在0.5% 以下，由圖中觀察，越遠離船席部份氯離子濃度有越高的趨勢。該棧橋碼頭已完工十餘年，氯離子含量因海水潑濺顯得較高，而臨近之10號碼頭中性化深度僅3 mm，只要混凝土保持高鹼性使 Cl^-/OH^- 之值小於0.63則對鋼筋之腐蝕影響不大。但經由裂縫侵入易達鋼筋處，故高氯離子環境下應特別注意裂縫之發展。

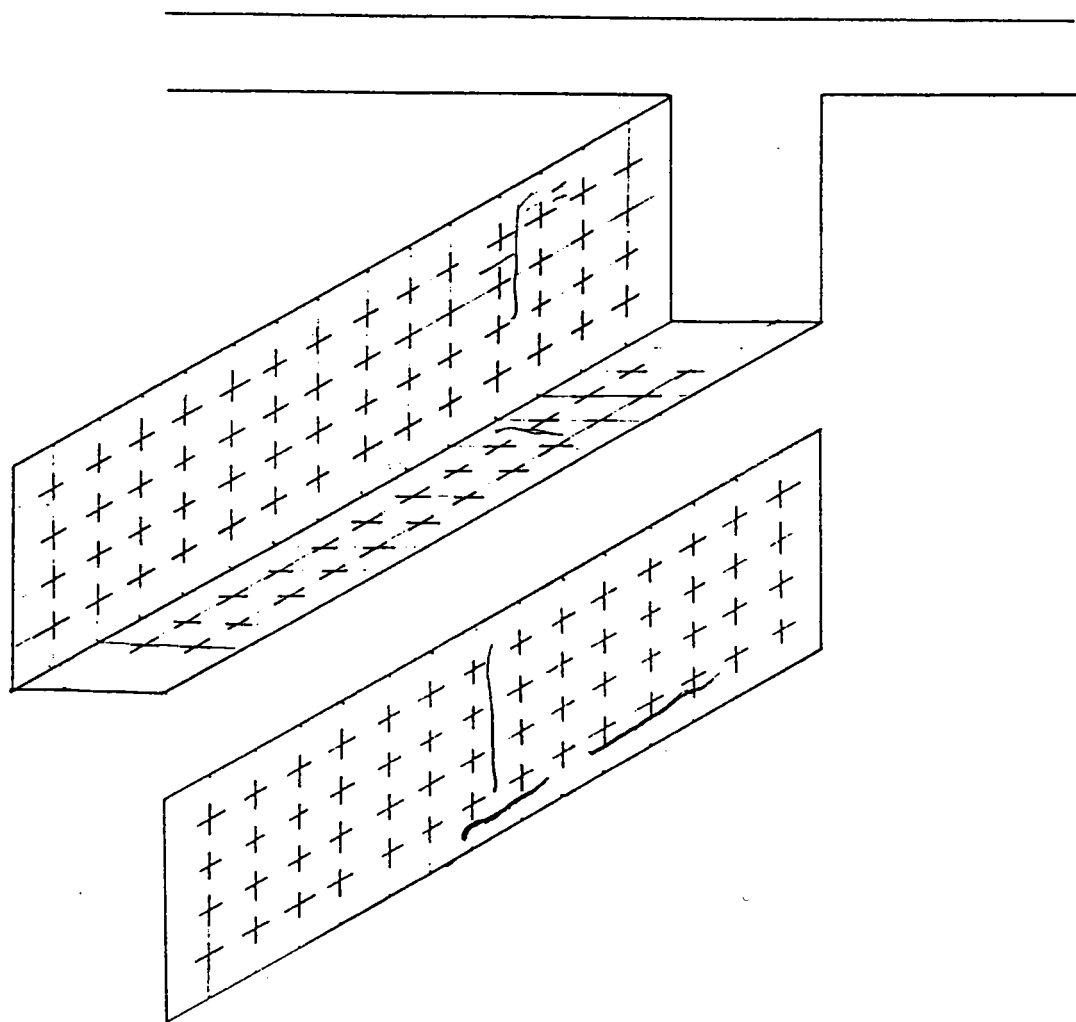


圖3-3-1 10-1號樑裂縫分佈情形

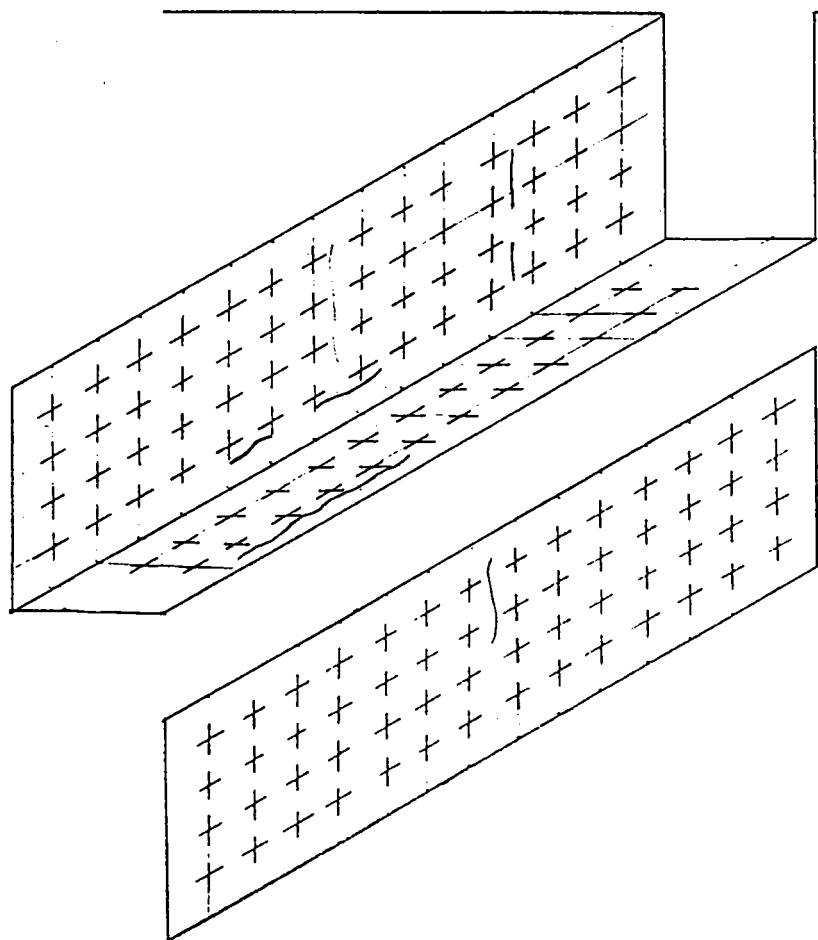


圖3-3-2 10-2號樑裂縫分佈情形

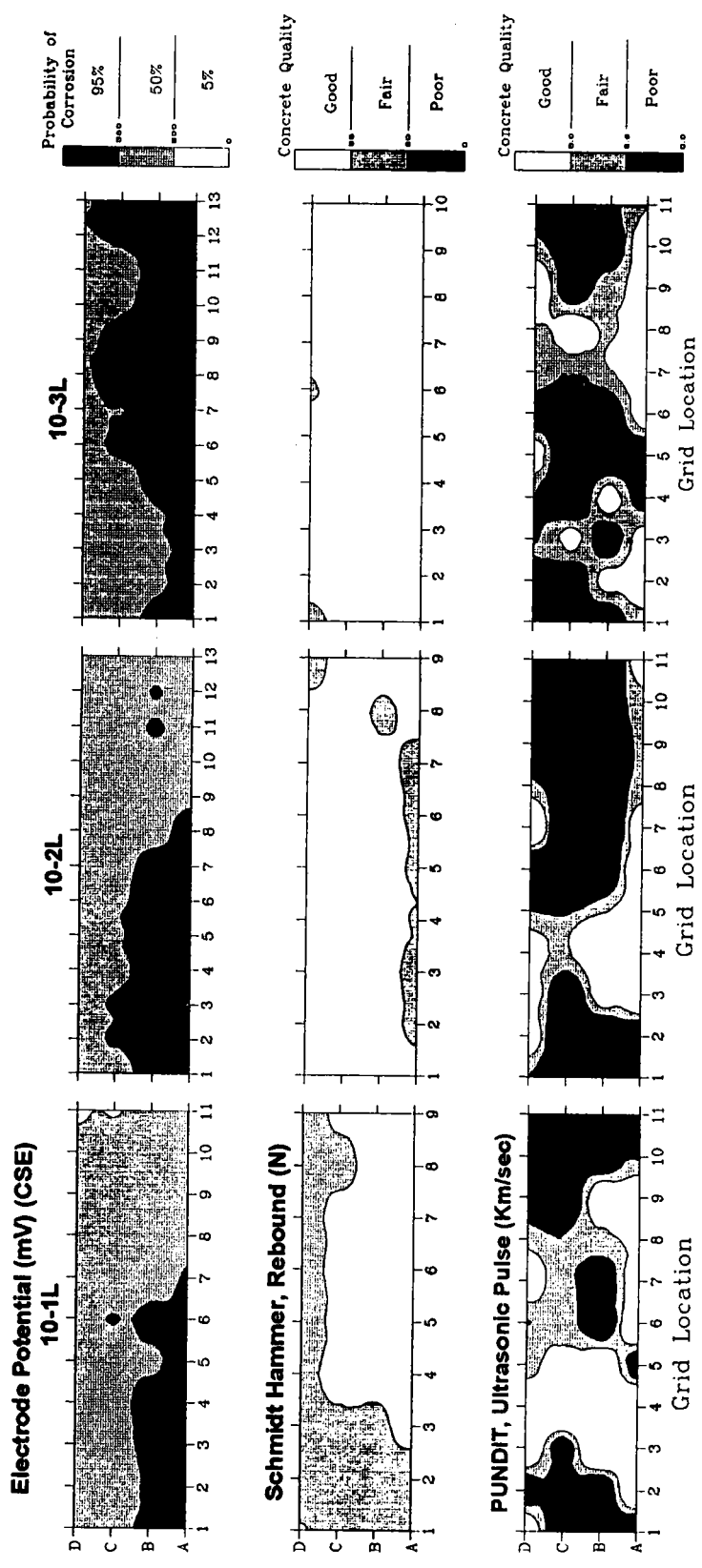


圖3-3-3-3 10號樑左側腐蝕電位，反彈數，超音波波速之等高線圖

Electrode Potential (mV) (CSE)

10-1L

D	254	261	239	247	259	241	193	268	248	217	183
C	325	249	300	318	273	365	242	264	265	236	190
B	372	366	373	403	327	389	298	281	256	264	228
A	405	418	410	387	389	369	361	340	350	300	276
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

10-2L

	271	298	315	302	313	301	280	261	292	298	271	252	311
	250	359	355	316	344	343	335	286	300	314	312	258	289
	393	422	399	397	419	378	381	323	331	306	382	359	286
	400	408	347	386	411	363	368	389	348	343	340	236	305
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

10-3L

	336	316	305	330	350	311	298	343	325	332	259	348	344
	326	303	270	291	314	372	345	412	373	336	281	375	396
	367	340	335	344	363	395	424	446	416	401	373	421	473
	429	397	376	423	444	438	457	453	470	439	443	489	488
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Schmidt Hammer, Rebound (N)

D	36	26	31	34	24	26	30	35	31
C	32	34	34	39	38	40	38	32	36
B	32	32	33	36	37	40	26	38	38
A	33	29	40	38	40	41	37	35	39
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	38	42	42	41	43	44	38	37	25
	42	42	41	40	44	43	36	40	44
	42	41	42	44	42	40	36	32	43
	39	31	26	34	32	32	32	38	37
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	31	40	42	40	42	32	44	42	41	38
	36	40	40	40	45	45	44	38	42	41
	40	38	38	40	42	40	41	41	38	41
	38	38	46	40	41	38	37	41	38	45
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

PUNDIT, Ultrasonic Pulse (Km/sec)

D	4	2	4	4	2	2	4	2	2
C	2	2	2	4	4	3	3	2	2
B	2	2	5	4	4	1	2	4	2
A	2	4	3	4	2	4	4	4	2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	4	4	3	2	4	2	4	2
	2	1	1	2	1	2	1	2
	2	1	4	4	2	1	2	2
	2	4	4	4	4	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

	3	2	4	4	2	3	4	4
	2	2	4	1	1	2	4	2
	2	3	2	4	2	2	3	3
	3	4	3	2	2	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

Electrical Resistance, Resistivity (KΩ-cm)

D													
C	11	10	7	6	11	5	12	7	10	11	9	8	
B													
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

	8	6	4	11	4	6	4	4	7	5	9	5	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

	8	4	3	6	5	6	6	6					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

圖 3-3-3-4 10 號樑左側腐蝕電位，反彈數，超音波波速及電阻係數數據圖

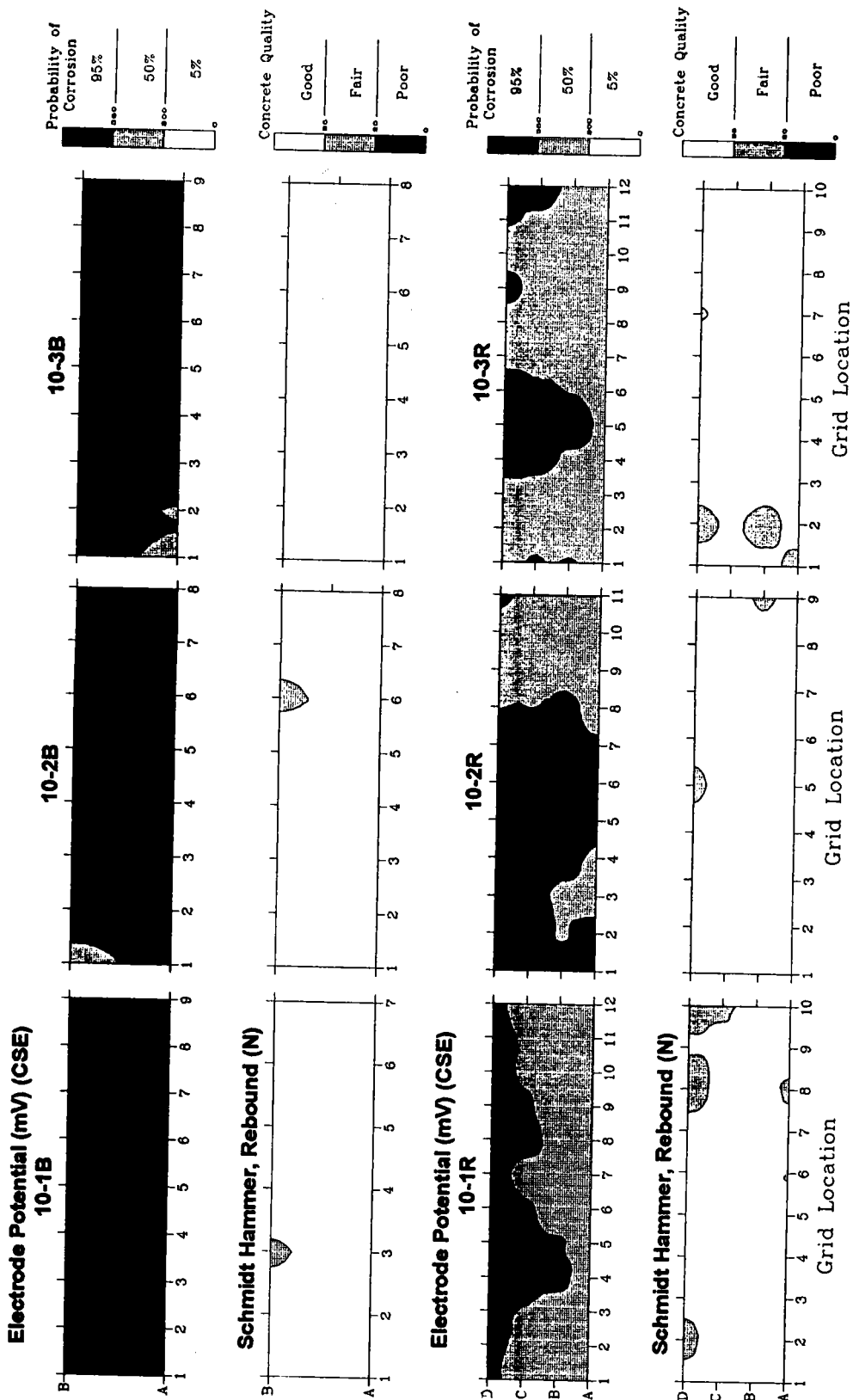


圖3-3-3-5 10號樑底部及右側之腐蝕電位，反彈數之等高線圖

Electrode Potential (mV) (CSE)

10-1B

B	381	374	361	368	402	379	398	411	411
A	373	364	353	353	370	365	392	409	405
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

10-2B

335	364	361	361	460	391	375	361	
352	358	375	445	512	399	381	398	
1	2	3	4	5	6	7	8	

10-3B

401	399	438	535	448	436	378	362	380	
315	341	418	558	487	448	430	390	394	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Schmidt Hammer, Rebound (N)

B	37	35	34	38	45	42	46	
A	36	38	40	40	49	48	48	
1	2	3	4	5	6	7		

Electrode Potential (mV) (CSE)

10-1R

D	377	381	374	410	389	416	421	453	403	387	432	387
C	302	343	343	405	400	361	282	407	359	338	339	260
B	284	295	286	397	357	283	336	334	268	292	311	297
A	283	306	304	311	313	318	320	241	202	235	256	245
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

10-2R

356	350	354	432	491	402	392	346	340	319	368	
363	363	356	383	386	387	371	348	330	330	330	
369	346	342	357	384	381	372	368	335	356	278	
383	357	337	334	391	374	353	316	316	293	258	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

10-3R

337	314	325	373	444	398	318	303	397	307	357	368	
358	328	324	364	487	356	314	347	316	334	346	375	
357	312	313	326	420	345	312	306	290	318	328	348	
345	286	285	309	336	304	302	276	288	313	350	304	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Schmidt Hammer, Rebound (N)

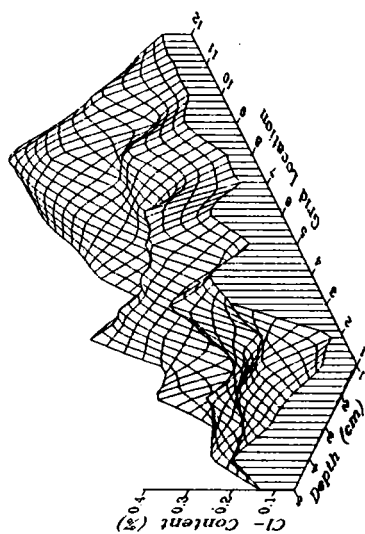
D	40	29	37	39	43	44	40	22	36	32	
C	40	40	39	42	45	44	40	38	38	34	
B	38	39	36	41	41	40	42	41	36	35	
A	39	37	35	36	42	34	41	32	45	36	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

Grid Location

Grid Location

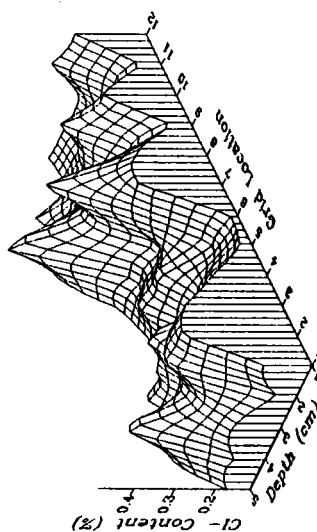
Grid Location

圖3-3-3-6 10號樑底部及右側之腐蝕電位及反彈數數據圖



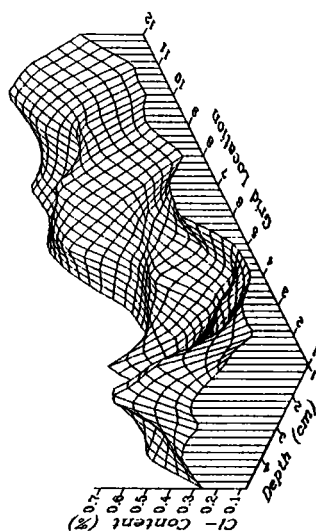
Chloride Content (%)
10-1L

Depth (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.1
4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3
5	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3



10-2L

Depth (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.2	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
2	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.5	0.2	0.4	0.2	0.3
3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
4	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2



10-3L

Depth (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3
2	0.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6
3	0.4	0.8	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.3	0.5	0.5
4	0.4	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.3	0.4	0.3
5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2

圖3-3-3-7 10號樑左側氯離子濃度與深度關係圖

第四章 現有修理系統調查

4-1 前言

國外結構物之修補方法可概分為(1)將損壞之混凝土去除—噴砂(Blasting)，切除(Cutting)，敲除(Impacting)，預裂(Presplitting)…等；(2)鋼筋維護—噴砂處理、鋼筋置換…等；(3)表面處理—使原有混凝土基材與新修補材料有好的黏結，如機械方法(Mechanical Methods)，化學清潔法(Chemical Cleaning Methods)…等；(4)修補—噴凝土(Shotcreting)，環氧樹脂貫入(Epoxy Injection)，塗裝(Protective Coating)，覆襯(Lining)，水中混凝土之Pumping，特密管(Tremie)…等。

目前國內五大港口之 R.C. 結構物使用多年，其沉箱、護岸、碼頭面、底樑版…等，均有損壞及維修之紀錄，為確實瞭解其修理系統，本所研究人員配合個港務局人員共同蒐集過去五年來之維修資料(見附錄一)，做為評估之依據。

4-2 五大港口修理系統

4-2-1 基隆港之修理系統

- (1)碼頭構造物：在底樑噴漿上使用壓克力樹脂、樹脂石英砂，彈性密封料及接著層等處理，如圖 4-2-1-1，其維修效果尚好，唯需每五年維修乙次。
- (2)沉箱：打除混凝土頂層，拋卵石填充，以特密管澆製混凝土(210 Kg/cm^2)。
- (3)碼頭路面：使用一般混凝土施工，在硬化前使用金剛砂，按 5 Kg/m^2 用量，均勻撒佈再粉光，以增加抵抗貨櫃車對路面磨損。

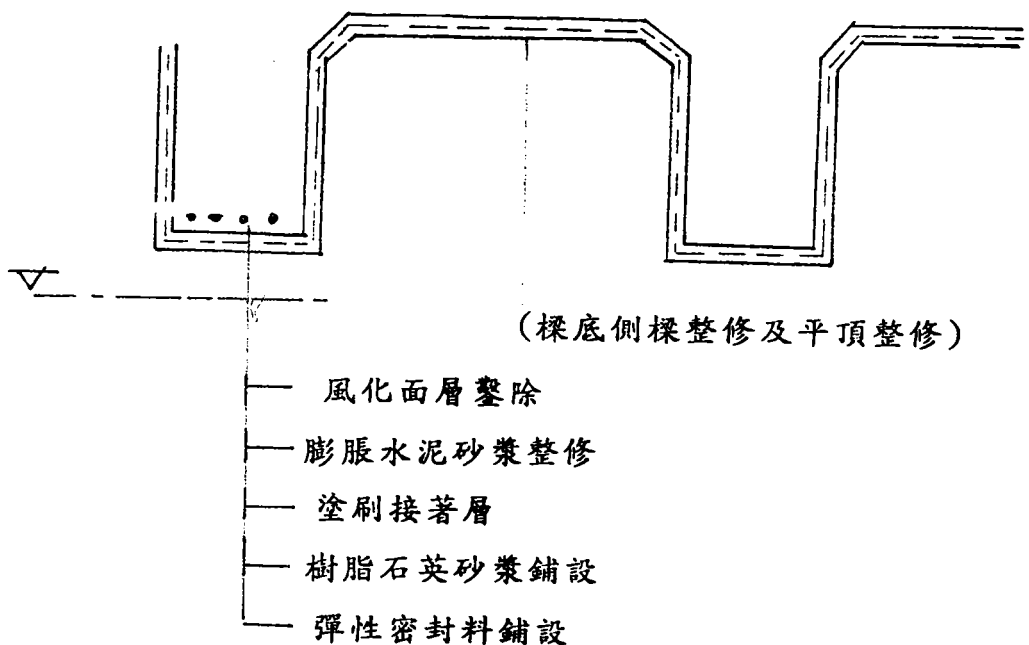


圖4-2-1-1 碼頭底樑整修示意圖

4-2-2 蘇澳港之修理系統

(1)碼頭構造物：R.C. 預鑄底版先將風化面鑿除，再以高壓水柱去除浮鬆物質，將鋼筋銹蝕部份予以除銹，斷裂部份切除後置換新品，分二層噴漿，如圖 4-2-2-1，但係使用波特蘭Ⅱ型水泥及速凝劑，其施工前後如圖 4-2-2-2。

(2)胸牆：以波特蘭Ⅱ型水泥打設，在新舊混凝土面使用接著劑。

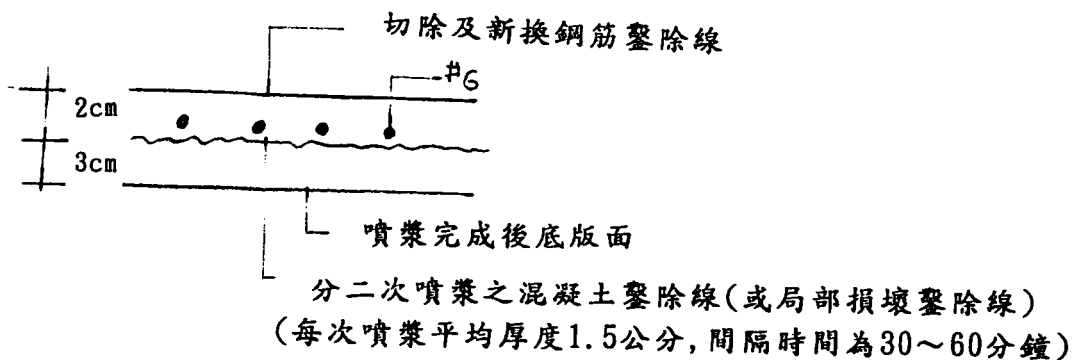
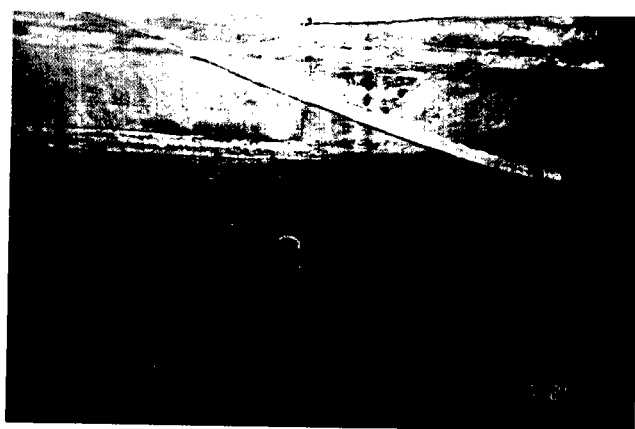


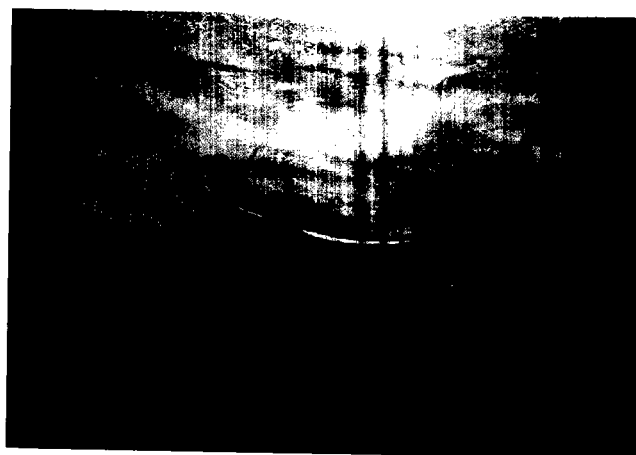
圖4-2-2-1 碼頭底版整修示意圖



底版損壞情形



風化層鑿除



噴漿維修後

圖4-2-2-2 蘇澳港12號碼頭之底版維修

4-2-3 花蓮港之修理系統

(1)防波堤：以混凝土摻入減水劑，以傳統工法維修。

4-2-4 台中港之修理系統

均以傳統工法及材料維修。

4-2-5 高雄港之修理系統

(1)碼頭構造物：將嚴重腐蝕處鑿除，使用一般混凝土維修。

(2)碼頭路面：以傳統工法將舊有及裂化部份挖除後，澆注 MC-1 透層或瀝青乳劑粘層後鋪設新的瀝青混凝土。

(3)倉庫：用環氧樹脂為連層底漆，以樹脂砂漿及無收縮型灌漿漆加水泥增強劑灌注。

4-3 結果與討論

1. 統計近五年來各港務局維修紀錄，如表 3-3-1，以防波堤之維護為大宗，其次為碼頭結構物之維修。
2. 在防波堤之維修部份，以花蓮港舊東堤之維修佔最大費用，其維修材料為一般混凝土。
3. 在碼頭構造物維修部份，均係棧橋式碼頭之底版及樑，其維修材料為水泥砂漿或樹脂，維修工法為噴漿或塗鏝，在基隆港以樹脂處理後，約每五年需再維修乙次。
4. 以環氧樹脂維修過的結構物，因其絕緣性、彈性…等性質，目前針對混凝土之非破壞性檢測儀器均無法派上用場，以致對基隆港西14號碼頭檢測時無功而返。

表3-3-1 各港務局近五年之R. C. 構造物維修紀錄

	基隆港	蘇澳港	花蓮港	高雄港	台中港	比例
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. 高馬線碼頭 (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	100%

第五章 港灣R.C.結構物之陰極防蝕

5-1 前言

一般而言，混凝土提供了優良之鹼性環境(pH值約12)，使內部鋼筋生成鈍態保護膜而不會生銹，可是一旦氯離子侵入，則一切條件均改變了。港灣之鋼筋混凝土結構物就是常年浸泡於海水中或經年受氯離子的侵入。

氯離子一旦侵入混凝土內與鋼筋接觸時，腐蝕就開始發生，如圖5-1-1所示，腐蝕生成物（鐵銹）使鋼筋之體積增大，產生約500psi

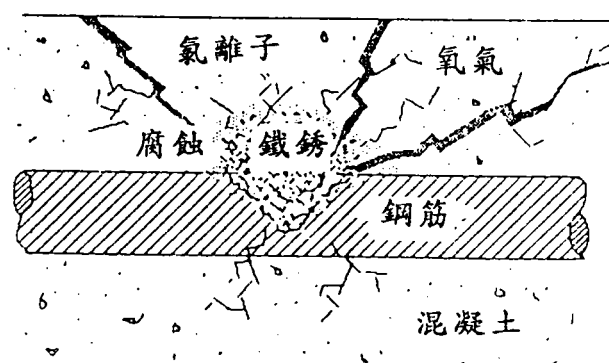


圖5-1-1 鋼筋之鐵銹佔較原鋼筋大的體積--
壓力使得混凝土開裂

的壓力衝擊著混凝土，造成混凝土裂縫或剝落的產生。一般造成嚴重腐蝕的氯離子含量門檻值約 0.77kg/m^3 ，在美國可經常檢測到氯離子含量在 $4\sim 7\text{ kg/m}^3$ 之間的混凝土，此種混凝土已有危機存在。事實上

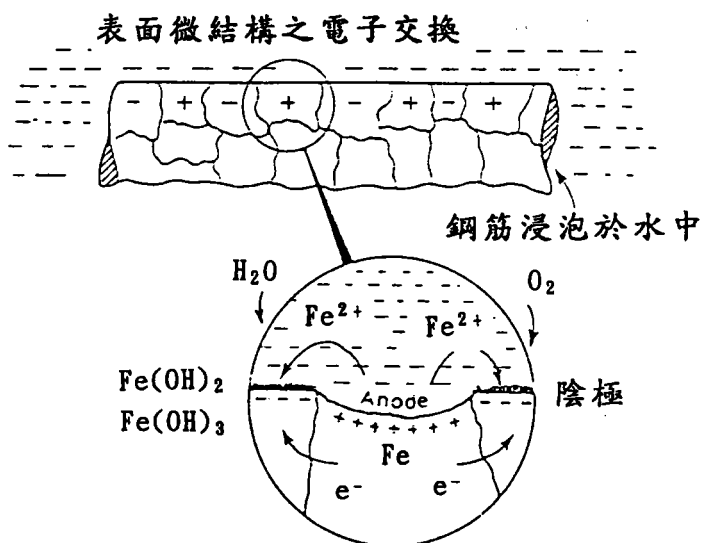
，一旦腐蝕反應產生，其過程係加速地發展，氯離子移動到腐蝕區(陽極區)，使濃度明顯地增加，此時 pH 值就與混凝土環境無關，在鋼筋 / 鐵銹 / 混凝土介質中的 pH 值成為 3.0；而鄰近混凝土之 pH 值為 12 或更高，所以一旦此種狀況發生，則腐蝕區域會增大，而腐蝕反應的速率會增加。氯離子何以能加速混凝土內鋼筋的腐蝕，其理論是非常複雜，至今仍無法完全瞭解，但吾人知道在混凝土孔隙中之氯離子能破壞鋼筋之鈍態膜而加速其溶解。

腐蝕速率與氯離子之侵入、氧氣之擴散及混凝土之 pH 值與電阻有關，與氯離子接觸之鋼筋表面為陽極，較小濃度或無氯離子存在的鋼筋表面為陰極，濕氣或較多水份混凝土成為電解質，則形成一腐蝕電池，腐蝕係從陽極之電流通過電解質到達陰極的一種電化學過程，一般可藉由電位分佈量測找出陽極與陰極的位置。

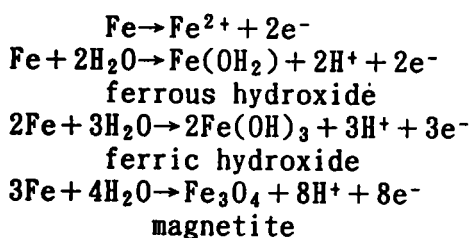
5-2 電化學腐蝕

在材料表面之不同地點上有電位差之存在，且與電解質相連時，就會產生腐蝕，如鐵浸泡於水中，如圖 5-2-1，其與水接觸之表面微結構為不均質(Inhomogeneity)就會產生腐蝕，此腐蝕過程中包括在陽極之鐵溶解，而鐵離子在溶液中移動至鐵表面之負極區，即陰極。這種離子之移動會產生電子移動及電流 I ，電流流動即產生腐蝕。

腐蝕的速率及趨勢，基本上可由法拉弟定律(Faraday's Law)及歐姆定律(Ohm's Law)控制，電流受材料表面二地區之電位差及電阻之控制，即電壓 $V = \text{電阻 } R \times \text{電流 } I$ ，電阻 R 一般以電阻係數(Resistivity)來表示。一般海水約為 20 ohm cm，花崗岩(Granite)約為 100,000 ohm cm，混凝土之電阻係數則與其骨材母材之組成與密度及混凝土之暴露之環境有關，如在海中之基樁與陸地上的構造物，即使在陸地的構造物，如果有濕氣及氯離子之加入，會降低其電阻係數至 1,000 ohm cm 以下，就會加速鋼筋之腐蝕。



陽極反應



陰極反應

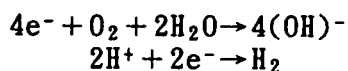


圖5-2-1 腐蝕之發生

5-3 腐蝕控制

混凝土內鋼筋之腐蝕，主要來源是氯離子的侵入，而港灣 R.C. 結構物中氯離子之侵入來源為處在海洋環境下及使用含鹽之骨材。

防止氯離子進入混凝土內或與鋼筋接觸就可使腐蝕不致發生。在新建立之結構物可使用防護塗裝、腐蝕抑制劑、被覆材…等技術或工法來保護之。但是在已被氯離子侵入之老舊結構物，上述之方法就不

能派上用場，若氯離子已侵入混凝土內，則表面塗裝之處理亦是無效。

在 1982 年美國聯邦公路局(FHWA)經過多年之研究與試驗，提出下列之政策陳述：

"Rehabilitation techniques such as overlays, sealers and waterproof membranes have been evaluated in both the laboratory and the field in an effort to protect the reinforcing steel from the corrosive effects of salt.

The only rehabilitation technique that has proven to stop corrosion in salt-contaminated bridge decks regardless of the chloride content of the concrete is cathodic protection."

即唯一能停止氯離子腐蝕之維修方法是陰極防蝕法，FHWA 所提係應用橋樑工程上，但是港灣工程之棧橋式碼頭如同橋樑有版、樑、柱之結構，如前章所提目前各港 R.C. 結構物損壞亦以棧橋式碼頭之底樑及版為主，美國混凝土橋樑之陰極防蝕實績如表 5-3-1。日本鋼筋混凝土構造物陰極防蝕實績如表 5-3-2，由表中可看出日本應用陰極防蝕之構造物以碼頭結構物為主。本研究經前章之調查認為現行之維修工法，亦無法完全達到隔絕氯離子之目的，故亦以受鹽害 R.C. 結構物的陰極防蝕為本研究重點。

5-4 陰極防蝕

早在 1824 年(約與英國 Joseph Aspdin 第一次生產波特蘭水泥同時)由 Humphrey Davy 和 Michael Faraday 設計與安裝第一套陰極防蝕系統。陰極防蝕之原理概述如下：

圖 5-4-1(a) 是說明如圖 5-3-1 之不均勻表面產生之腐蝕電池引申至一支腐蝕的鋼筋在混凝土內的情形，很顯然的，如果此種區域性產生之電池能被中和，則沒有電流流動，即腐蝕反應不會發生。

表 5-3-1 美國橋樑陰極防蝕實績

施 工 年 分 類		施 工 部 位 分 類		
施 工 年	件數	施工部位	件數	施工面積(m ²)
1989-1991	75	版	251	824,673
1989.3	22	樑	4	465
1988	41	柱	25	1,858
1987	46			
1986	39			
1985	56			
1980-1984	39			
1975-1979	24			
1970-1974	6			
1969年以前	1			
合 計	349	合 計	280	826,996

施 工 環 境 分 類	
施 工 環 境	件數
海洋以外環境	206
海洋環境	33
合 計	229

表 5-3-2 日本R.C. 結構物陰極防蝕實績

施 工 年 分 類			施 工 對 象 分 類	
施 工 年	件數	施工面積(m ²)	構造物種類	件數
1991	3	713	橋樑(樑、版、柱)	4
1990	5	1,881	棧橋(樑、版)	8
1989	6	824	碼頭、岸壁	5
1988	2	47	建築物	1
1987	1	6	隧道	1
1986	2	21		
合 計	19	3,492	合 計	19

塗裝鋼筋是一種能將鋼筋上的電與混凝土隔絕的方法，在新建構造物中使用環氧樹脂鋼筋是可被接受的方法，可是無法使用在老舊構造物上。有時可注入化學藥劑，使它在混凝土之孔隙內凝結以阻止水份與氯離子的侵入，但是此種方法費用很高，如事先未作全面仔細診斷則失敗率很大。

在含離子的導電環境下，將鋼筋與提供電子給金屬的電源連接，如鋼筋成為電流之負極，如圖 5-4-1(b)，此電流能逐漸增加直到所有的小的地域性電池轉變成抑制的型態，這種過程即為陰極防蝕，因為所需之電流密度(Current Density)很小，所以一般暴露於大氣中之構造物約須需數百伏特之電力即可，(Watts=Volts x Amps)，一般之燈泡約200W。

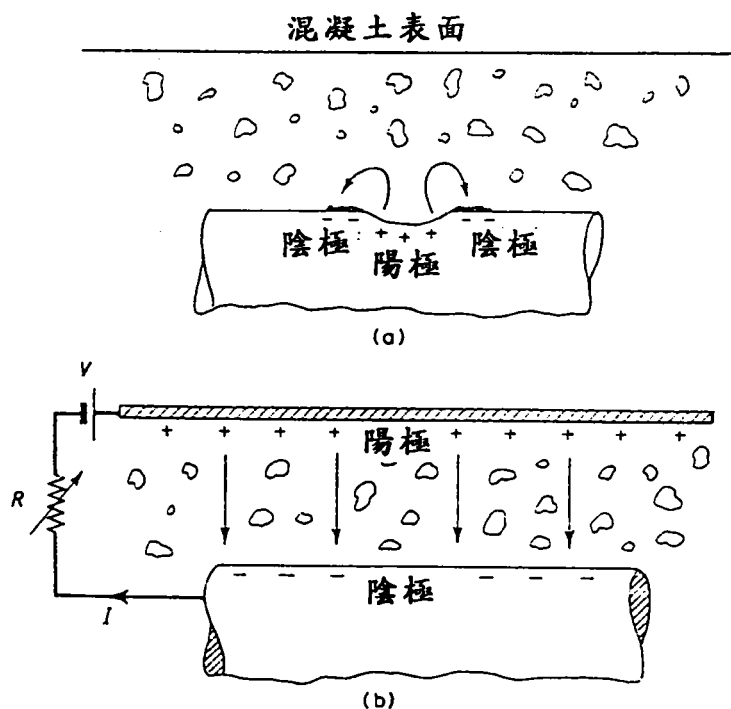


圖5-4-1 (a)一支腐蝕中之鋼筋
(b)使鋼筋成為陰極

這種外部電流能由二種方法提供，一種係將鋼筋與電化學系列(Electrochemical Series)較鐵高之金屬連接，如鎂、鋁、鋅…等，此稱為犧牲陽極法(Sacrificial Anodes Methods)；另一種是提供一直流電給鋼筋，一般由交流電整流而來，此稱為外加電流法(Impressed Current Methods)。方法的選擇一般由構造物所處的環境與克服電阻係數所需之電壓而定。

5-5 研究規劃

5-5-1 陰極防蝕方法

本研究採用陰極防蝕法中之外加電流法，其方法依陽極材料不同而有不同之設計，其中最常用的為鈦陽極網法及導電塗料法。如圖5-5-1-1及圖5-5-1-2所示。

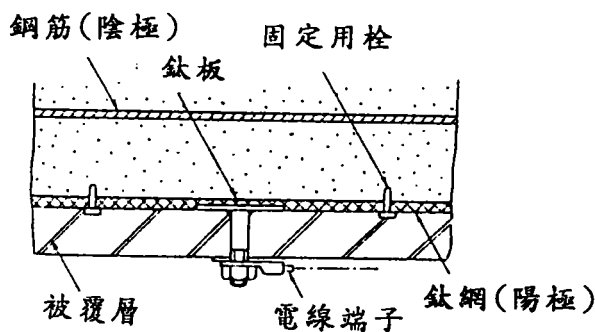


圖5-5-1-1 鈦陽極網系統

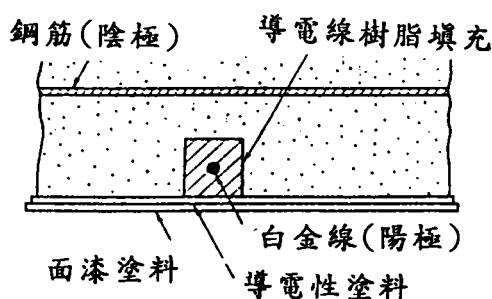


圖5-5-1-2 導電性塗料系統

- (1) 鈦陽極網系統的陽極材料為一層鈦陽極網，這鈦網的基材是鈦金屬，而在鈦金屬上面則塗上一層有利的活性氧化鈦，由於活性氧化鈦在供電過程不會損耗，而且可避免產生氯氣，因此陽極材料的壽命可以超過20年。
- (2) 使用鈦陽極系統時，鈦網上必須覆蓋一層約2~5公分厚的水泥型被覆材料以保護鈦網並使電流分佈平均，然而當結構物不足以承受水泥被覆重量時，鈦陽極系統就不適合使用，這時就需使用導電性塗料系統，該系統使用白金被覆銅電線為陽極材料，且在白金線上塗上導電性塗料，以使電流分佈均勻。

5-5-2 試體製作

本研究模擬棧橋式碼頭之底樑與版處在港灣環境下，以陰極防蝕維修之效果，故試體製作二種型式。

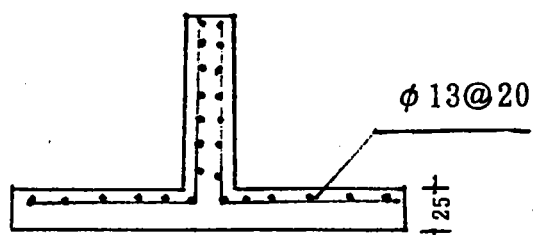
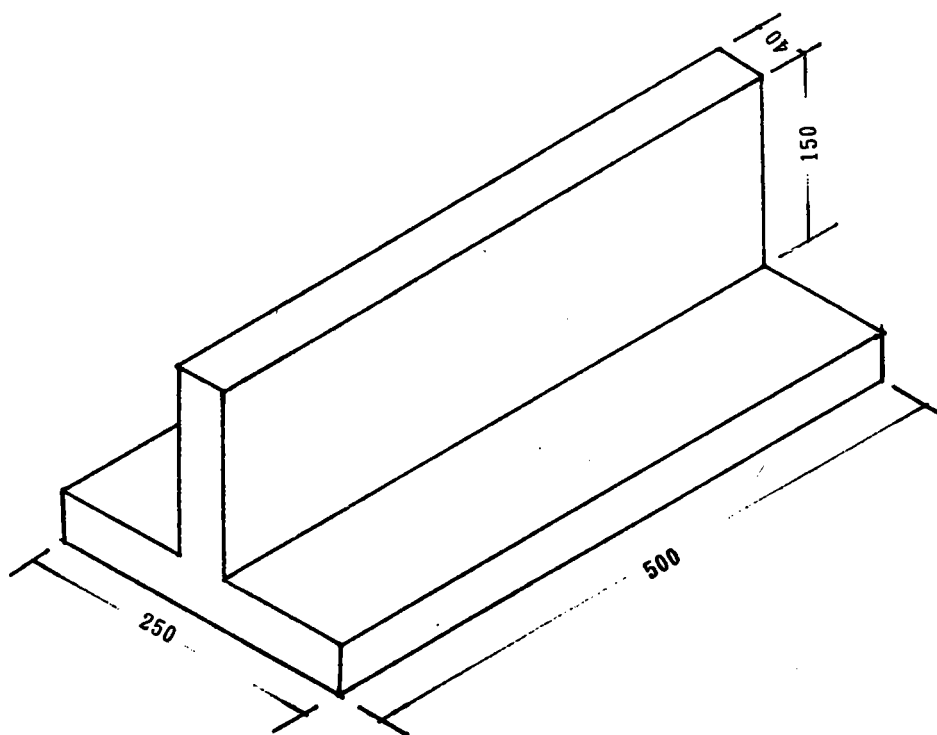
- (1) 試驗牆：模擬底樑之構造，製作長500公分，高150公分，厚40公分之試驗牆三座，其略圖及配筋如圖5-5-2-1。其配比如表5-5-2-1，在此配比中加入3%水泥重之食鹽，以加速其腐蝕。
- (2) 試驗版：模擬底版之構造，製作長90公分，寬90公分，厚10公分之版共七塊，其略圖及配筋如圖5-5-2-2，其配比如表5-5-1。

表5-5-2-1 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

5-5-3 參考電極

一般通防蝕電流後之鋼筋混凝土結構物，都要進行鋼筋腐蝕電位之量測，以確定鋼筋已被保護，腐蝕電位的量測可用一電位計，一端



配筋圖

單位：cm

圖5-5-2-1 試驗牆略圖及配筋圖

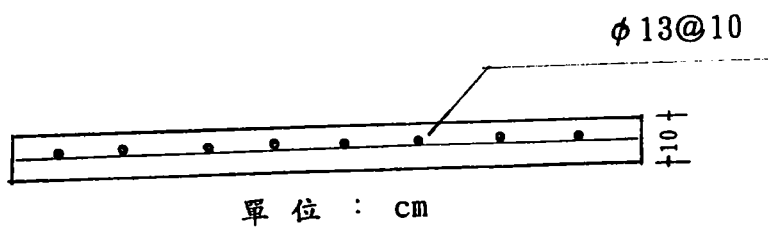
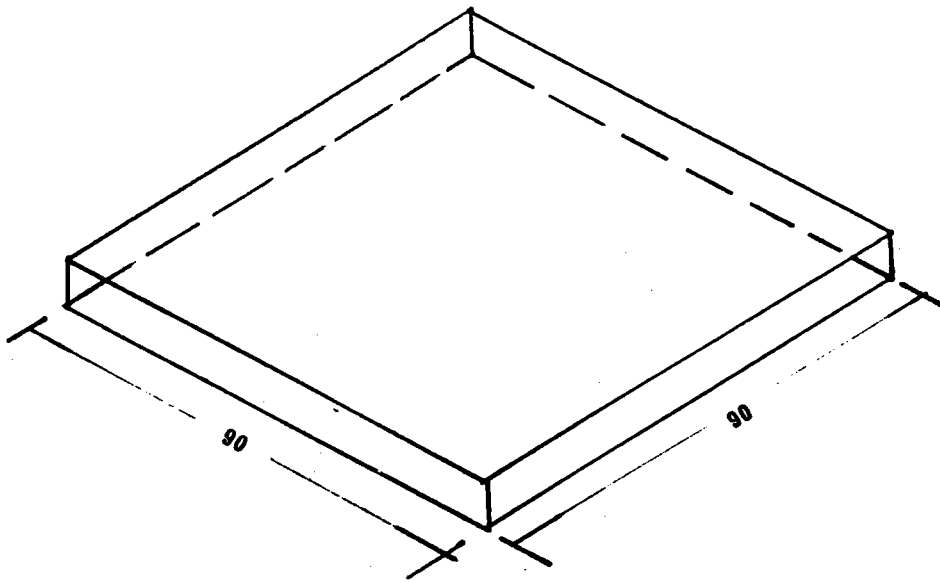


圖5-5-2-2 試驗版略圖及配筋圖

接鋼筋，另一端接參考電極，參考電極埋在混凝土中可測得較準確的電位。但由於參考電極長期埋在混凝土中，必須準確而且長期使用要穩定，但在市面上的參考電極如銅／硫酸銅電極並不適合鋼筋混凝土中使用。因此本研究使用三種新型參考電極以評估其適用性。

(1)Ag/AgCl電極

本電極由ELETCH公司提供。

(2)MMO(Mixed Metal Oxide)電極

本參考電極由ELETCH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 Institue所發展及製造生產。

上述三種電極埋設在試驗牆及版的位置，如圖5-5-3-1～圖5-5-3-4所示。

5-5-4 防蝕電流

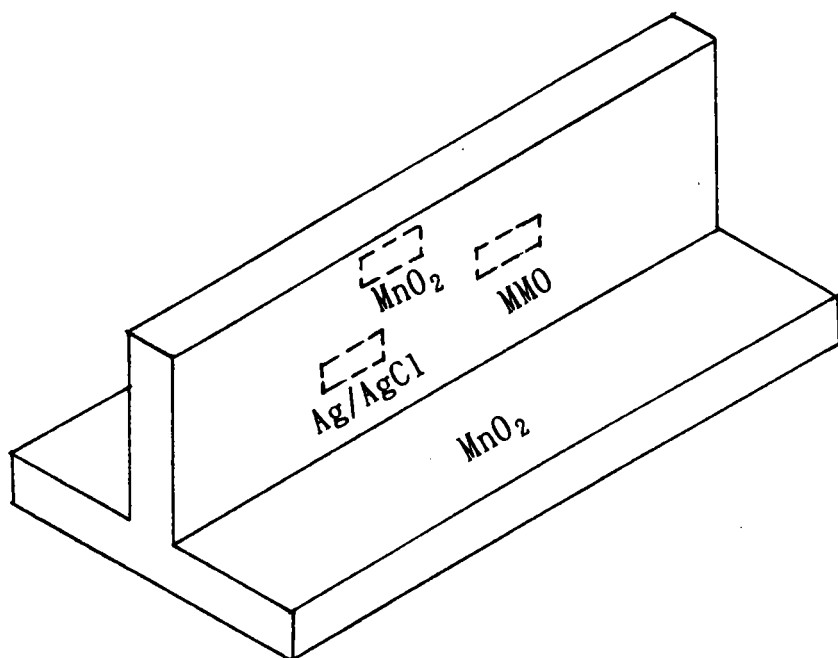
由於鋼筋混凝土結構物的腐蝕環境會影響其所需的電流大小，使用外加電流法必須先設計正確的防蝕電流大小及供電方法，以確保電流能均勻分佈到結構物的各個位置。

本研究採用之保護電流密度分別為0, 15, 50mA/m²(鋼筋表面積)，利用三部電源供應器提供正確之直流電。

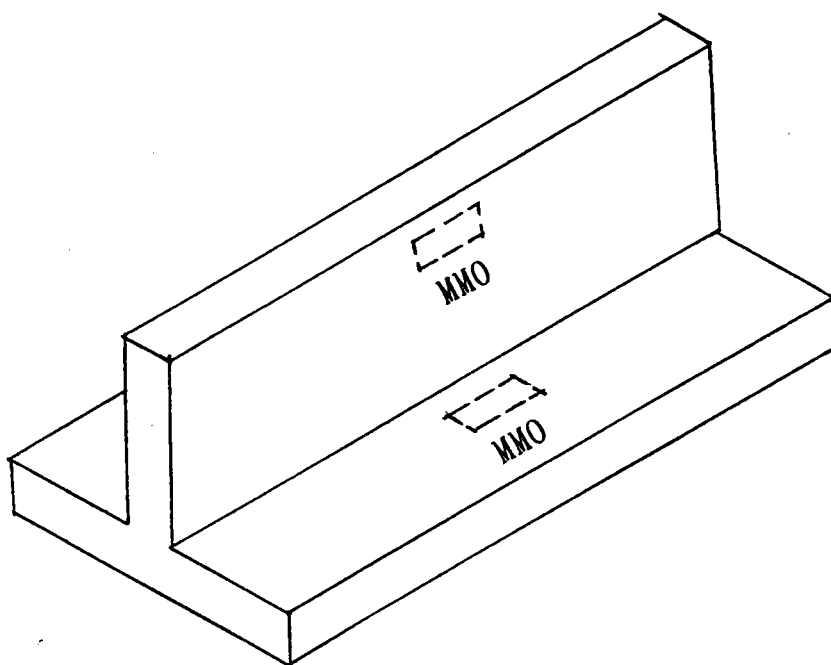
5-5-5 被覆材之耐久性

在正確的設計及使用條件下，陰極防蝕方法應該可以保證在10～20年內，結構物不會受腐蝕影響，但是為確保系統之壽命，陽極材料及被覆材料的壽命也必須有10～20年，陽極材料在放電過程可能會因環境離子侵蝕而耗損，被覆材會因熱漲冷縮而和混凝土剝離，如發生上述損耗，系統則無法達到預期壽命。

本研究在鈦陽極網系統採用 (1)Portland Cement (2)Fiber Ce-

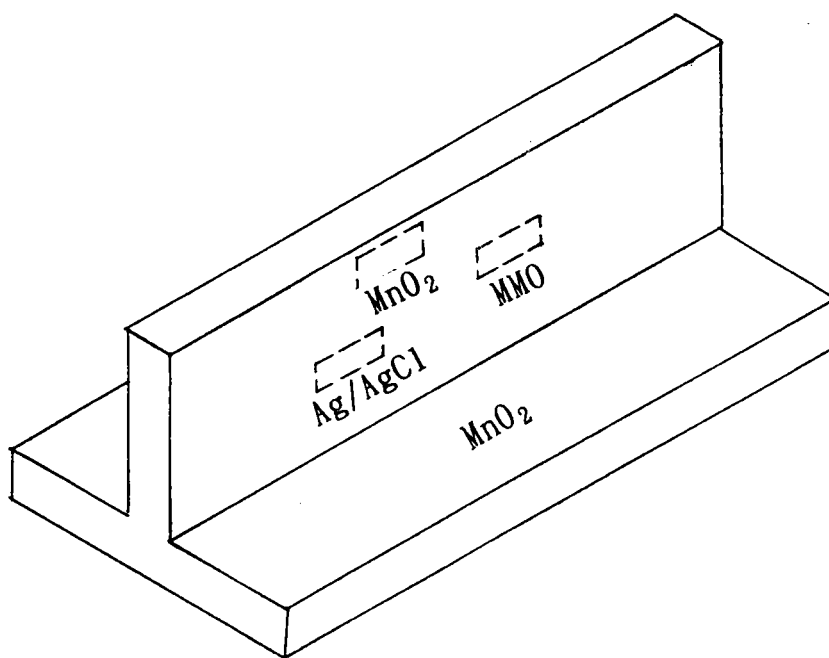


試驗牆1(東側)參考電極埋設

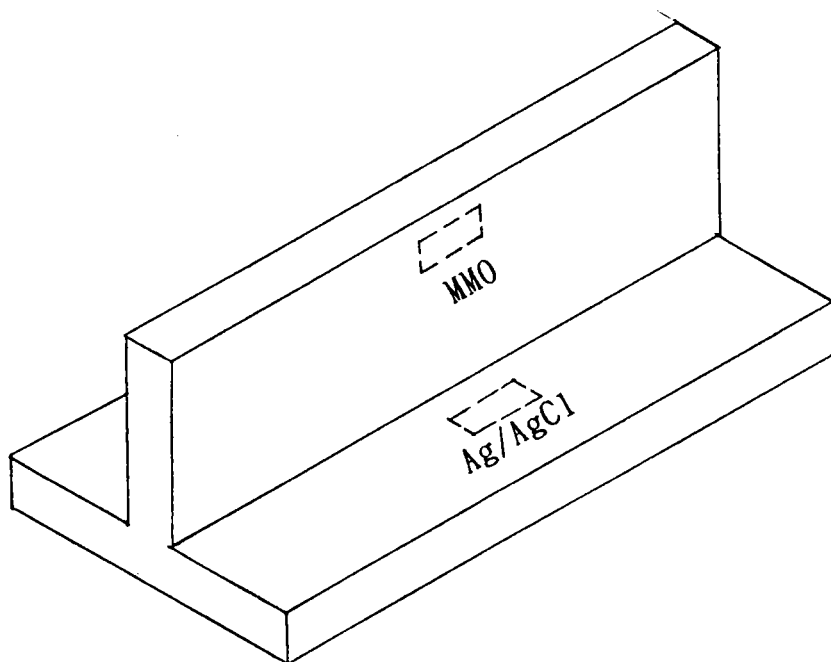


試驗牆1(西側)參考電極埋設

圖5-5-3-1 試驗牆1參考電極埋設示意圖

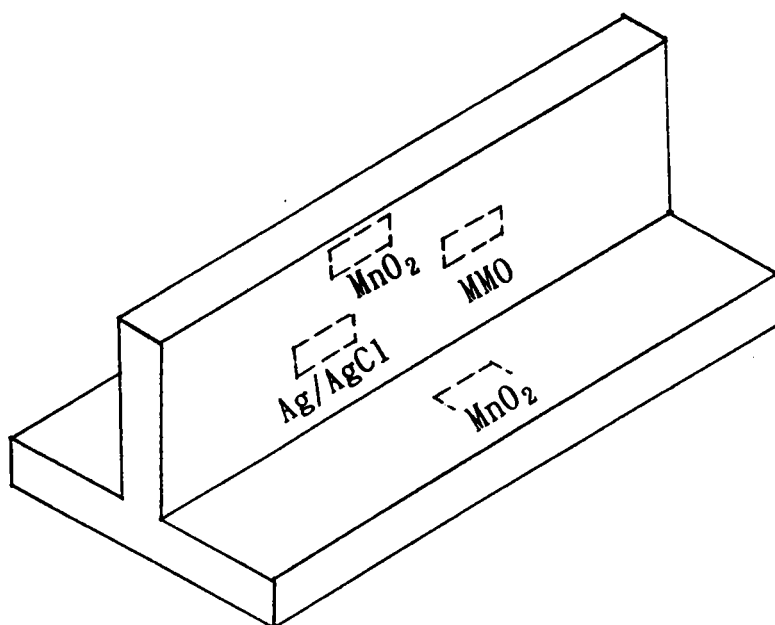


試驗牆2(東側)參考電極埋設

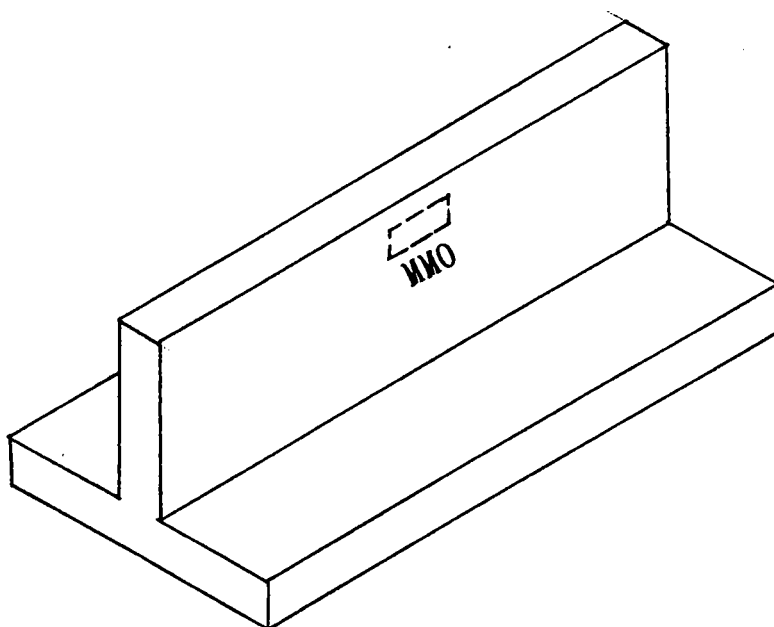


試驗牆2(西側)參考電極埋設

圖5-5-3-2 試驗牆2參考電極埋設示意圖

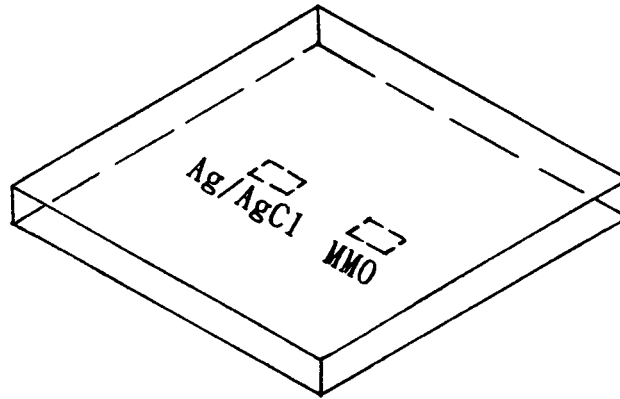


試驗牆3(東側)參考電極埋設

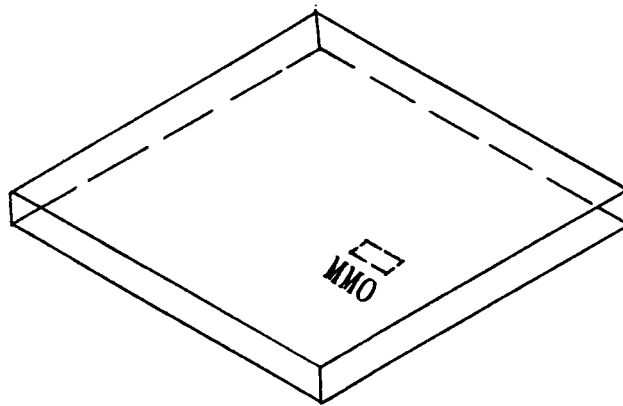


試驗牆3(西側)參考電極埋設

圖5-5-3-3 試驗牆3參考電極埋設示意圖



試驗版1-3參考電極埋設



試驗版4-7參考電極埋設

圖5-5-3-4 試驗版參考電極埋設位置示意圖

ment (3)Thorite Cement (4)Austec Cement 四種被覆材。在導電性塗料系統採用 (1)永記-1 (2)永記-2 (3)永記-3 (4)永記-4 (5)慶泰五種塗料。

在混凝土之前處理採用水刀處理及無處理兩種。

5-6 試驗方法

5-6-1 試體製作

本研究按照5-5-2節之配比及尺寸製作試驗牆3座，如圖5-6-1-1版七塊，並將5-5-3節之參考電極銲接在定點，如圖5-6-1-2~3。

5-6-2 暴露條件

- (1)試驗牆 3座，模擬飛沫區之情形，每日以海水噴灑兩次，自拆模後一直暴露三個月。
- (2)試驗版 7塊，模擬潮汐區之情形，放入本所之試驗水槽中，每日高低潮各兩次，在高潮水位時試片一半浸泡在海水中，在低潮位時，試片全部露在水面上。如圖5-6-2-1。

5-6-3 電位置測

在上述之暴露條件下暴露三個月，在這期間每隔一星期量測電位一次，以比較各參考電極之穩定性，在三個月後利用E-log i 的方法量測腐蝕電流及電位，如圖5-6-3-1及圖5-6-3-2。

5-6-4 陰極防蝕系統安裝

- (1)試驗牆1，(鈦網陽極系統)：將東面牆(T_1)之一半以水刀處理，將混凝土面層去除，以增加與覆蓋材料之黏結力，如圖5-6-4-1，另一半不作處理。安裝鈦網後，上半部以Fiber Cement 覆蓋鈦網，下半部以Portland Cement覆蓋。西面牆前處理亦同，上半部使用

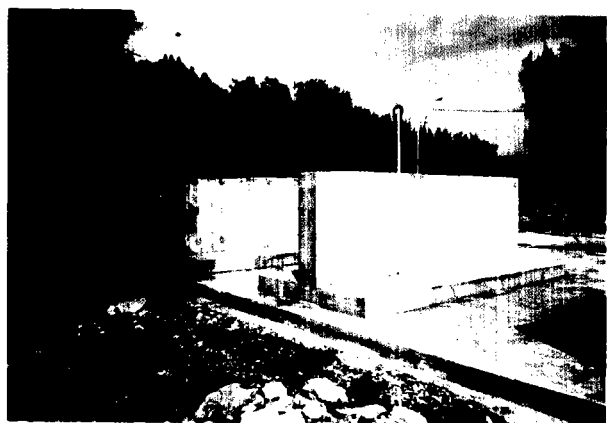


圖5-6-1-1 三座試驗槽

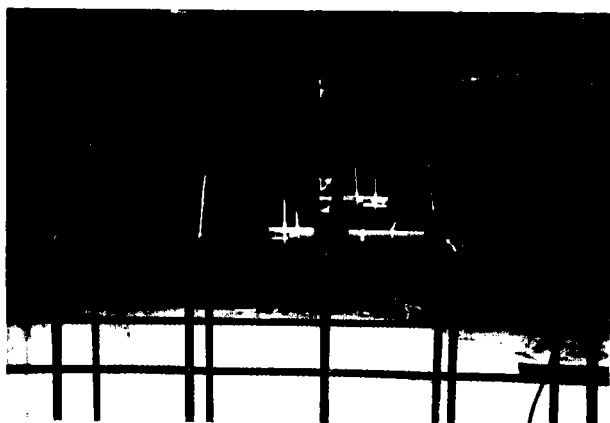


圖5-6-1-2 參考電極之安裝



圖5-6-1-3 量測參考電極
與鋼筋間之電阻

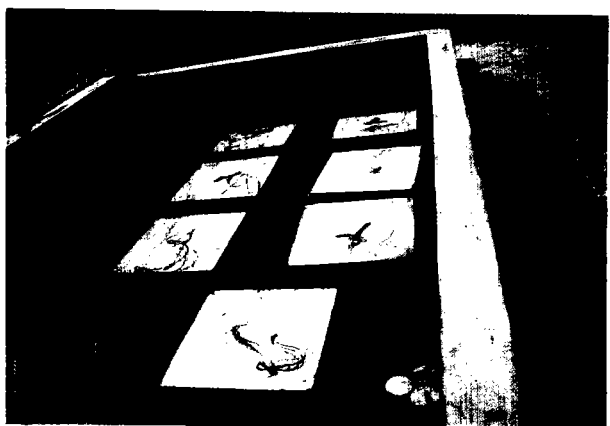


圖5-6-2-1 浸泡於水池中的
七塊版

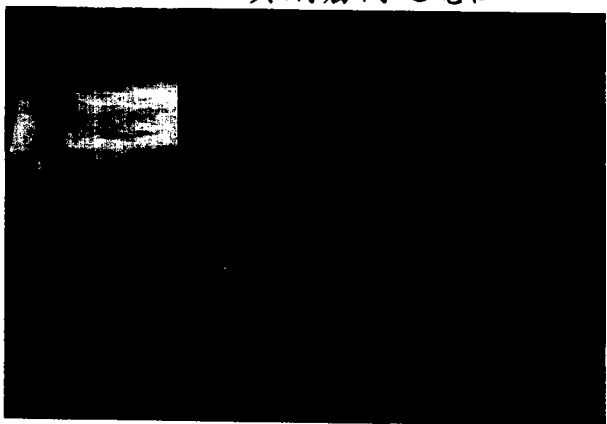


圖5-6-3-1 量測腐蝕速率
之探頭

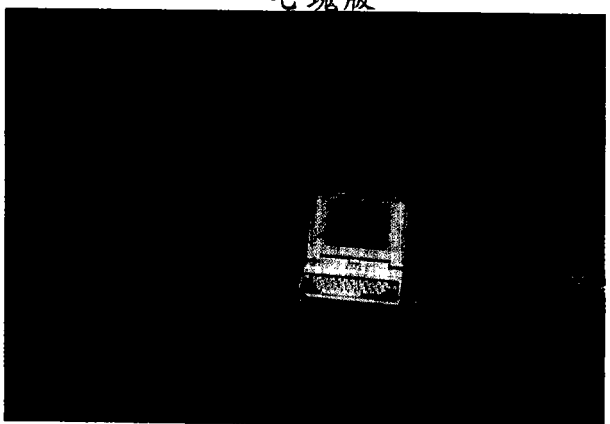


圖5-6-3-2 量測腐蝕速率之
儀器

Thorite Cement，下半部使用Austec Cement，均使用鏟刀處理(如圖5-6-4-2~5)。

- (2)試驗牆2，(導電性塗料系統)：均以水刀處理混凝土表面，如圖5-6-4-4，安裝陽極材後(如圖5-6-4-6)，東面牆噴上慶泰型導電性塗料(如圖5-6-4-7)，西面牆分成四部分，噴上永記1~4型導電性塗料(如圖5-6-4-8~9)，再塗上面漆(如圖5-6-4-10~11)。
- (3)試驗牆3，(空白試驗)：不作任何處理，以比較上述兩種陰極防蝕之效果。
- (4)試驗版：兩塊版不作處理，三塊版以鈦陽極網方式處理上覆蓋Portland Cement(如圖5-6-4-12)，另兩塊以塗電性塗料處理，並以保護電流密度5, 15, 50 mA/m²(鋼筋表面積)通電。
- (5)試驗牆及版之系統安裝見表5-6-4-1~4。
- (6)將所有之參考電極線路，供電系統線路均安裝於主控製箱內。

5-6-5 防蝕效果量測

5-6-5-1 電流量測

- (1)施加防蝕電流後，第一日量測五處鋼筋之腐蝕電位及腐蝕速率，後將電源關掉後4小時量測腐蝕電位。
- (2)每月重覆(1)之動作一次，預訂量測兩年。
- (3)每季量測保護電位Decay 及 E-log i 曲線乙次。

5-6-5-2 效果觀察

- (1)施加防蝕電流兩年後，以試錘作表面檢測。
- (2)敲開混凝土層，觀察並紀錄鋼筋銹蝕狀況。

5-6-6 被覆層之耐久性

- (1)施加防蝕電流兩年後，以試錘作表面檢測。
- (2)每一年，鉗取試體2個，送試驗室試驗，並進行Pull out試驗，來量測被覆層與混凝土基材之附著力。



圖5-6-4-1 以水刀處理混凝土表面

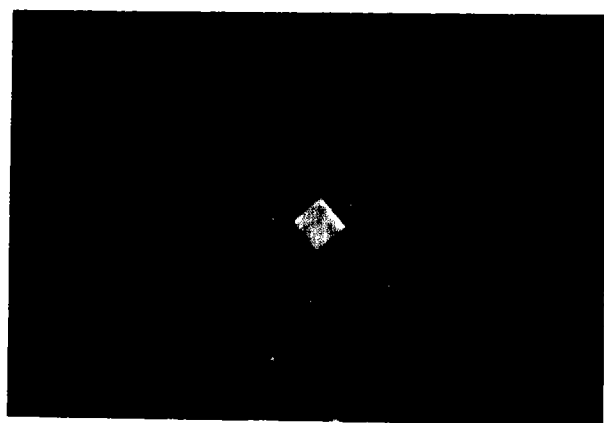


圖5-6-4-2 安裝鈦陽極網



圖5-6-4-3 以Portland Cement
覆蓋



圖5-6-4-4 以Thorite Cement
覆蓋

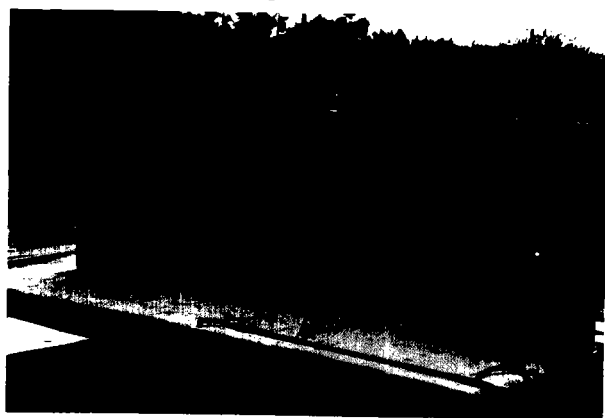


圖5-6-4-5 完成陰極防蝕系統
(鈦陽極網)



圖5-6-4-6 導電性塗料系統之
陽極線安裝



圖5-6-4-7 慶泰導電性塗料塗裝



圖5-6-4-8 永記-1導電性塗料塗裝



圖5-6-4-9 完成永記1~4導電性
塗料塗裝



圖5-6-4-10 面漆塗裝

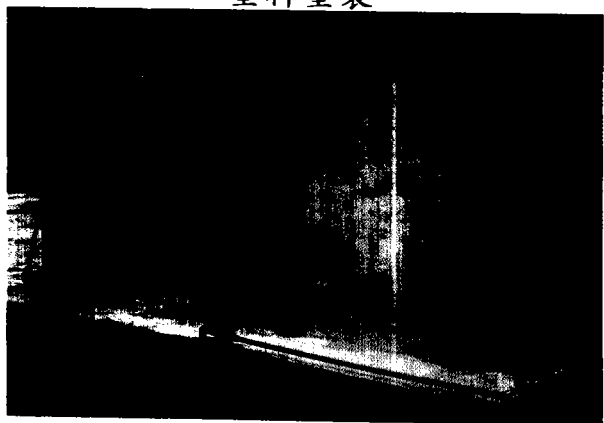


圖5-6-4-11 完成陰極防蝕系統
(導電性塗料)



圖5-6-4-12 版塊之陰極防蝕系統

表5-6-4-1 (牆1)鈦網陽極系統條件及偵測探頭分佈

試體 編號	保護 系統	保護區 編號	試體上 位置	覆 蓋 層 種 類	覆蓋層與 混 凝 土 介面情形	參考電極 種 類	電流量 探測頭 編 號
牆1	鈦網 陽極 系統	T ₁ (東側)	底座	Portland Cement	水刀處理		CR
					無處理	MnO ₂	CS
			立牆	Portland Cement (下)	水刀處理		BR
					無處理		BS
				Fiber Cement (上)	水刀處理		AR
					無處理	MMO MnO ₂ Ag/AgCl	AS
		T ₁ (西側)	底座	Portland Cement	水刀處理		CR
					無處理	MMO	CS
			立牆	Thorite Cement (上)	水刀處理		ER
					無處理	MMO	ES
				Austec Cement (下)	水刀處理		DR
					無處理		DS

表5-6-4-2 (牆2)導電性塗料陽極系統條件及偵測探頭分佈

試體 編號	保護 系統	保護區 編號		試體上 位置	參考電極 種類	電流量 探測頭 編號
牆2	導電性 陽極 系統	C (東側)		底座	MnO ₂	EF
						CF
				立牆	MnO ₂ MMO Ag/AgCl	EW
						CW
		Y (西側)	1	底座		AF
			2		Ag/AgCl	BF
			3			CF
			4			DF
			1	立牆		AW
			2		MMO	BW
			3			CW
			4			DW

表5-6-4-3 (牆3 無陰極防蝕保護)之偵測探頭分佈

試體編號	保護系統	保護區編號	試體上位置	參考電極種類
牆3	無	M1 (東側)	底座	MnO ₂
			立牆	MMO Ag/AgCl MnO ₂
		M2 (西側)	底座	
			立牆	MMO

表5-6-4-4 試驗版陰極防蝕系統及埋置參考電極種類

試體編號	保護系統		參考電極種類
	陽極種類	保護電流量 mA/m ² to rebar	
1(c)	導電性塗料type C	15	MMO Ag/AgCl
2(E)	無保護	0	MMO Ag/AgCl
3(Y)	導電性塗料type Y-2	15	MMO Ag/AgCl
4(t3)	Ti網	5	MMO
5(T10)	Ti網	15	MMO
6(M)	無保護	0	MMO
7(T26)	Ti網	50	MMO

5-7 試驗結果與討論

- (1) Ag/AgCl, MMO, MnO_2 三種參考電極埋入混凝土內，到目前甚穩定（如圖5-7-1）。
- (2) 試驗牆在未施加防蝕電流前，量測其腐蝕電流約150 μA ，換算成腐蝕速率約0.013 mm/Yr。
- (3) 試驗牆及版之腐蝕電位及電流量測如表5-7-1及表5-7-2。由表中可看出其腐蝕電位已達350mV以上，表示其腐蝕機率達95%以上。

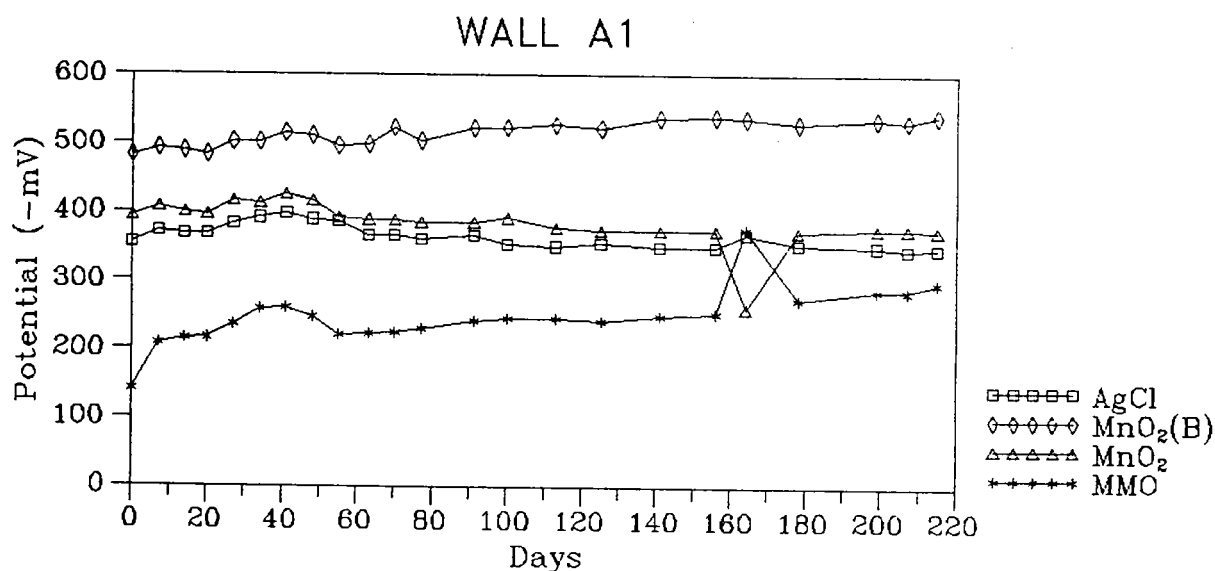


圖5-7-1 埋設於混凝土內之參考電極長期量測結果

表5-7-1 試驗版之腐蝕電位與電流

測點 號	E _{corr} (-mV)				I _{corr} (uA)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	369	322			82.88	139.2		
2	352	346		346	127.5			16.67
3	408		339		207.4		14.49	
4	439	439			304.3	273.6		
5	405	399	423	430	41.99	38.33	44.30	38.04
6	379	387	396	395	145.9	155.6	227.3	185.1
7	364	360	363		15.63	12.25	12.09	

備註：(1)測點位置

2	1
3	4

N←

(2)探頭面積 0.0147m²
(3)測試日期 82.12.07

表5-7-2 試驗牆之腐蝕電位與電流

測點 牆號	E _{corr} (-mV)		I _{corr} (uA)	
	1	2	1	2
1 (東側)	332	332	1.12	2.01
1 (西側)	369		85.07	
2 (東側)	348		27.39	
2 (西側)	329	323	21.07	9.12
3 (東側)	334	349	10.37	21.29
3 (西側)	317		6.09	

備註：(1)測試日期 83.01.31

第六章 結論與建議

6-1 結論

1. 港灣 R.C. 結構物，需定期做檢測，以瞭解其現況，發現狀況，就要維修，但在維修前需診斷其損壞原因，對診下藥，使用正確之維修材料及工法，才能奏效。反觀目前並未診斷其原因，就進行維修，而維修多以傳統材料及工法為主，使維修工作重覆進行，相當浪費人力與物力。
2. 根據現場調查顯示，蘇澳港 11 號碼頭之底樑及版之氯離子濃度高，混凝土電阻在 $5\sim 10K\Omega \cdot CM$ 之間，腐蝕電位已超過 $350mV(CES)$ ，混凝土表面有銹水痕跡，底樑下部沿主筋有裂縫並吐出銹水…等症狀，肯定其內部鋼筋已腐蝕，使用僅 17 年之鋼筋混凝土結構物就產生問題，其原因及防制，維修方法值得探討。
3. 目前國內港灣工程之維修，除花蓮港東堤外，多以棧橋式碼頭之底樑及版為主，其主因為鹽害，與美國聯邦高速公路局(FHWA)經年維修鹽害之橋樑情形相同，FHWA於1982提出正式之陳述指出陰極防蝕法為唯一之一勞永逸維修方法。近年歐美各國及日本已在碼頭工程上使用陰極防蝕法維修，效果良好，雖然本研究計劃已於本年度結束，但陰極防蝕法之研究仍持續進行，相信在二年後可提供參考電極、防蝕電流、被覆材、防蝕系統…等相關數據，做為防蝕工程之依據。

6-2 建議

1. 各港務局應逐年進行R.C.結構物之檢測，先行診斷損壞原因後才進行維修。

2. 建立一套現場非破壞檢測方法供業主使用，其檢測結果可做為重建、維修或無需動作之依據。
3. 港灣 R.C. 結構物不論是新建或維修，在設計時應考慮使用陰極防蝕工法。港灣技術研究所在實驗室進行陰極防蝕研究，有初步結果時，應進行現場大型構件之試驗，並完成設計準則之建立。

第 七 章 參 考 文 獻

1. 港灣技術研究所，" 澎湖跨海大橋腐蝕調查研究"，專刊-41，1988。
2. 港灣技術研究所，" 鋼筋混凝土結構物腐蝕調查研究"，專刊-43，1988。
3. 港灣技術研究所，" 港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究"，80-研(五)，1988。
4. ACI "Concrete Repair Basic"，SCM-24(91).
5. ACI "Corrosion, Concrete, and Chloride"，sp-102, 1987。
6. ACI "Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures and Innovations in Design"，sp-128, 1992.
7. ACI "Repair & Rehabilitation II"，c-20.
8. ASTM "Corrosion Forms & Control for Infrastructure"，sTp-1137, 1992.
9. Noel P. Mailvaganam "Repair and Protection fo Concrete Stuctures"，CRC Press, 1991.
10. V.M. Malnotra, N.J. Carino "Handbook on Nondestructive Testing of Concrete"，CRC Press, 1991.
11. RILEM "Corrosion of Steel in Concrete"，1988.
12. RILEM "Testing during Concrete Construction"，1991.
13. Alan P. Crane, "Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction"，Ellis Horwood Limited, U.K., 1983.
14. Allen, Edwards and Shaw, "The Repair of Concrete Structures"，Blackie Academic & Professional，U.K., 1993.
15. C.L. Page, K.W.J. Treadaway, P.B. Bamforth, "corrosion of Reinforcement in Concrete"，Elsevier Applied Science, U.K., 1990.

16. Geoff Mays, "Durability of Concrete Structures" , E. & F. N. Spon, U. K. , 1992.
17. J. H. Bungey, "Testing of Concrete in Structures" 2nd ed. Surrey University Press, U. K. , 1989.
18. K. G. C. Berkely, S. Pathmanaban, "Cathodic Protection of Reinforcement Steel in Concrete" , Butterworths & Co. , Ltd, U. K. , 1990.
19. Mehta, "Concrete in the Marine Environment" , Elsevier Applied Science, U. K. , 1991.
20. Philip, Perkins, "Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures" , Elsevier Applied Science, U. K. 1986.
21. P. H. Emmous, A. M. Vaysburd, and J. E. McDonald, "concrete Repair in the Future Turn of the Century-Any Problems? " , Concrete International, vol. 16, No. 3, 1994.
22. Ravindra K. Dhir, Jeffery W. Green, "Protection of Concrete" , E. & F. N. Spon, U. K. , 1990.
23. "コンクソートのひびわれ調査，補修・補強指針"，日本コンクソート工學協會，1989。
24. コンクソート工學，vol. 31, No. 7, 日本コンクソート工學協會，1989。
25. "コンクソート構造物的維修，補修，取壊し"，土木學會編，技報堂，1985。
26. "コンクソート構造物的補修ハンドブック"，編集委員會編，技報堂，1980。
27. "鐵筋コンクソート造建築物の耐久性向上技術"，(財)國土開發技術研究センター編，技報堂，1986。

基隆港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	西14、15號碼頭
工 程 名 稱	底樑整修工程
完 工 日 期	78年 月 日
經 費	2,550,000元
施 工 材 料	1. 接著層：以水性壓克力樹脂做底劑，以水泥50kg，海菜粉250g，水性壓克力樹脂10kg及水20kg。 2. 樹脂石英砂漿配比：以水性壓克力樹脂26kg/m³，石英砂1360kg/m³，水泥13包/m³及水拌合。 3. 彈性密封塗料採（天麗 A-11，Bond coatAEG-1 或 Hydrocide）
工 法	1. 鋼刷全面清除污垢，鬆動部份應徹底鑿除至堅硬面，再以高壓噴水沖洗，凹陷部份以無收縮水泥砂漿補平。 2. 接著層施工配比同上①。 3. 樹脂石英砂漿配比同上②，做全面粉光，厚度5mm。 4. 待砂漿全面硬化後以高彈性密封材料全面塗佈 3次，每次厚度0.2mm。
備 註	1. 水性壓克力樹脂抗拉強度6kg/cm²以上。 2. 彈性密封料，抗拉強度12kg/cm²以上，延伸率450%以上，與混凝土剝離強度12kg/cm²以上。

基隆港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	西7、8號碼頭
工 程 名 稱	碼頭路面、岸肩整修工程
完 工 日 期	80年 月 日
經 費	4,474,000元
施 工 材 料	1. 混凝土 (強度4000psi) 2. 金剛砂 (5kg/m^2)
工 法	1. 碼頭面瀝青層刨除，混凝土刨除20cm以後排紮#3新鋼筋雙向間距20cm。 2. 底層塗抹一層水泥漿以利接著，澆置4000psi混凝土。 3. 表面混凝土較乾固時以金鋼砂按 5kg/m^2 用量均勻撒佈並粉光之。
備 註	

基隆港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	東防波堤
工 程 名 稱	破損沉箱修補工程
完 工 日 期	79年 月 日
經 費	3,539,000元
施 工 材 料	1. 混凝土材料 (強度 210kg/cm^2)
工 法	1. 打除混凝土底層，檢視沉箱孔中淘空情形，拋卵石填充，(直徑$15\sim 30\text{cm}$)。 2. 型鋼、鐵板組立吊放焊接之。 3. 水中澆置混凝土，採特密管施工。
備 註	

蘇澳港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	#4、#5號碼頭
工 程 名 稱	沉箱間隙改善工程
完 工 日 期	76年 8月 日
經 費	630,000元
施 工 材 料	混凝土（強度4000psi）
工 法	1. 先拋卵石（每個約200kg），先行護基，再使用麻袋混凝土，強度4000psi。 2. 水中灌置混凝土。
備 註	

蘇澳港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	南外堤 0k+390.8~1k+024.53
工 程 名 稱	胸牆改善工程
完 工 日 期	年 月 日未完工
經 費	13,480,000元
施 工 材 料	1. 卜蘭特II型水泥。 2. 新舊混凝土使用接著劑以利粘著。
工 法	1. 原有南外堤胸牆鑿除及新設胸牆以沉箱為主。
備 註	

蘇澳港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	八、九號碼頭
工 程 名 稱	路面改善工程
完 工 日 期	79年 月 日
經 費	1,121,000元
施 工 材 料	1. 混凝土強度4000psi。 2. 12#鐵絲網。
工 法	1. 將舊有混凝土路面鑿除及露出鋼筋50%以上，後鋪設鐵絲網。 2. 距面層3cm處鋪設12#1"目鐵絲網後，以4000psi pc澆置。
備 註	

蘇澳港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	#12—#13號碼頭
工 程 名 稱	R.C. 底版防蝕噴漿工程
完 工 日 期	82年 月 日
經 費	元
施 工 材 料	1. 採波特蘭Ⅱ型抗硫水泥。 2. 速凝劑，用量為水泥重之2~4%。 3. 以水泥與砂製成噴漿材料。
工 法	1. 以高壓水柱將原龜裂之RC底版去除浮鬆物質。 2. 原R.C. 底版鋼筋銹蝕部份予以除銹，斷裂部份切除後置換新品。 3. 分二層噴漿，每層平均厚度不超過1.5公分。
備 註	

花蓮港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	東防波堤 ok+290~ok+360 ok+290~ok+360
工 程 名 稱	路面改善工程
完 工 日 期	79年 月 日
經 費	20,487,000元
施 工 材 料	1. 混凝土 2. 減水劑
工 法	1. 堤身下拋太空袋後組模。 2. 以175/kg/cm ² 之pc澆置之。 3. 混凝土方塊30m ³ ，以210kg/cm ² 澆置後推下海中以利路基用。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	70號碼頭
工 程 名 稱	70號碼頭波麗輪撞損修復工程
完 工 日 期	79年 7月 日
經 費	3,212,584元
施 工 材 料	1. 環氧樹脂 (E200, CW343或同等品) 2. 瀝青混凝土 3. 混凝土 4. 工型鋼
工 法	1. 預壁鋼板樁臨時錨定，在鋼板樁及陸側軌道基礎外側設置足夠斷面工型鋼為橫擋樑，以鋼索配以緊縮器拉緊錨定。 2. 新舊混凝土接著面均勻塗佈或噴撒環氧樹脂接著劑，使用量為1.2Kg/m^2以上。 3. A.C 路面結合層分二層鋪築，面層分一層鋪築。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	48—53號碼頭
工 程 名 稱	48—53號碼頭整修工程
完 工 日 期	78年 4月15日
經 費	12,787,614元
施 工 材 料	1. 預鑄混凝土板 2. 混凝土
工 法	1. 面臨法線兩個間隔腐蝕嚴重，予以鑿除後，版樑下半部採用預鑄版。 2. 上半部約30公分，採用現場澆築。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	高馬線碼頭
工 程 名 稱	高馬線碼頭路面整修工程
完 工 日 期	75年10月 日
經 費	314,577元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有劣化部化施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/m²。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/m²。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15℃以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110℃以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	旗后漁檢站
工 程 名 稱	旗后漁檢站碼頭路面整修工程
完 工 日 期	77年 3月 日
經 費	137,671元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有劣化部份施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/m ² 。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/m ² 。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15℃以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110℃以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	38、39號碼頭
工 程 名 稱	38、39號碼頭路面整修工程
完 工 日 期	77年 6月 日
經 費	412,789元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有劣化部份施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/m ² 。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/m ² 。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15℃以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110℃以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	蓬萊區碼頭
工 程 名 稱	蓬萊區碼頭路面整修工程
完 工 日 期	77年 6月 日
經 費	448,329元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有部份劣化施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/m ² 。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/m ² 。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15℃以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110℃以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	53、57號碼頭
工 程 名 稱	53、57號碼頭路面整修工程
完 工 日 期	78年 6月 日
經 費	396,194元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有部份劣化施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/m²。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/m²。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15℃以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110℃以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	52、53及56號碼頭
工 程 名 稱	53、53及56號碼頭路面整修工程
完 工 日 期	79年 2月 日
經 費	455,855元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有部份劣化施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/m²。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/m²。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15°C以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110°C以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

施 工 地 點	36—39號碼頭
工 程 名 稱	36—39號碼頭路面整修工程
完 工 日 期	80年 9月 日
經 費	399,149元
施 工 材 料	1. 瀝青混凝土 2. MC-1透層 3. 瀝青乳劑粘層
工 法	1. 路面整修材料以鋪築瀝青混凝土為主，舊有部份劣化施工前須先挖除。 2. 第一層鋪設前，須先均勻噴佈MC-1透層，使用量0.6公升/ m^2 。 3. 其後各層鋪設前，須先均勻噴佈瀝青乳劑，使用量0.6公升/ m^2 。 4. 瀝青混凝土施工應在晴天實施，室外溫度15°C以上。 5. 瀝青混凝土混合料鋪築時之溫度應在110°C以上。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

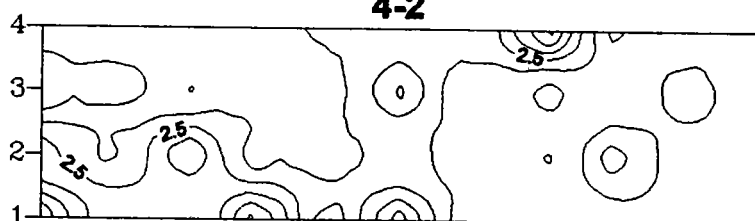
施 工 地 點	棧7#-2，9#-1倉庫
工 程 名 稱	棧7#-2，9#-1倉庫龜裂整修工程
完 工 日 期	76年 5月 9日
經 費	847,345元
施 工 材 料	1. primer (連層底漆)：使用大豪公司合固鋼環氧樹脂T-160S型產品，為不垂流型，可視情形調整硬化時間。 2. 樹脂砂漿：使用大豪合固鋼環氧樹脂T-210型，攪拌細砂之配比為1：5。 3. RC結構體：漆加2% superbarra puls水泥增強劑，上部間隙灌注無數縮型灌漿料(non-shrink grout)，七天後強度約增加3成。 4. 粉刷：漆加Tafu Ttaku-200型接著劑混合比為1：3：0.06。 5. 灌漿使用環氧樹脂(大豪公司合固鋼環氧樹脂T-210型) 6. 灌漿：砂漿加增強劑，水溶性接著劑與適量之促進劑。
工 法	1. 伸縮縫側RC橫樑損壞，以5支8#鋼筋與原鋼筋搭接並加焊。 2. RC樓板保護層損壞腐蝕用5#鋼筋加強，下方用8#鐵絲網固定。 3. 壁面大方支柱鋼筋及小方柱鋼筋用8#鋼筋補強。
備 註	

高雄港現有結構物維修情形調查表

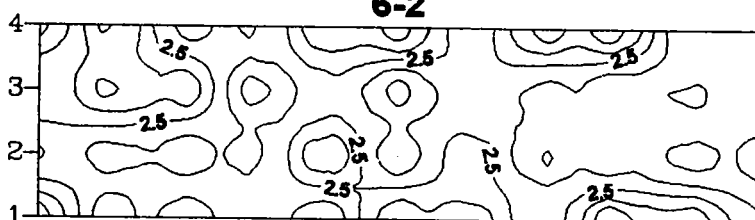
施 工 地 點	棧具所
工 程 名 稱	棧具所陽台柱、樑版整修工程
完 工 日 期	79年 7月 2日
經 費	311,711元
施 工 材 料	1. primer (連層底漆)：使用大豪公司合固鋼環氧樹脂T-160S型產品，為不垂流型，可視情形調整硬化時間。 2. 樹脂砂漿：使用大豪合固鋼環氧樹脂T-210型，攪拌細砂之配比為1：5。 3. RC結構體：漆加2% superbarra puls水泥增強劑，上部間隙灌注無數縮型灌漿料 (non-shrink grout)，七天後強度約增加3成。 4. 粉刷：漆加Tafu Ttaku-200型接著劑混合比為1：3：0.06。 5. 灌漿使用環氧樹脂 (大豪公司合固鋼環氧樹脂T-210型) 6. 灌漿：砂漿加增強劑，水溶性接著劑與適量之促進劑。
工 法	1. 新舊混凝土面塗佈環氧系樹脂為接著劑。 2. 樑柱裂縫處灌注環氧系樹脂。
備 註	

PUNDIT, Ultrasonic Pulse, Velocity (Km/sec)

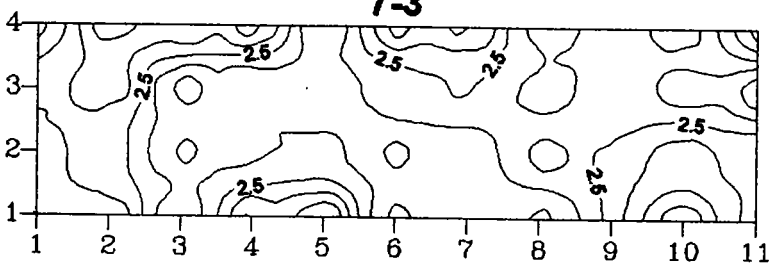
4-2



6-2



7-3



4-2

						2	4	1	2	2
1	1	1	2	2	3	1	1	2	2	2
3	2	4	2	2	2	1	1	3	2	
4	3	3	4	2	4	2	2	2	2	

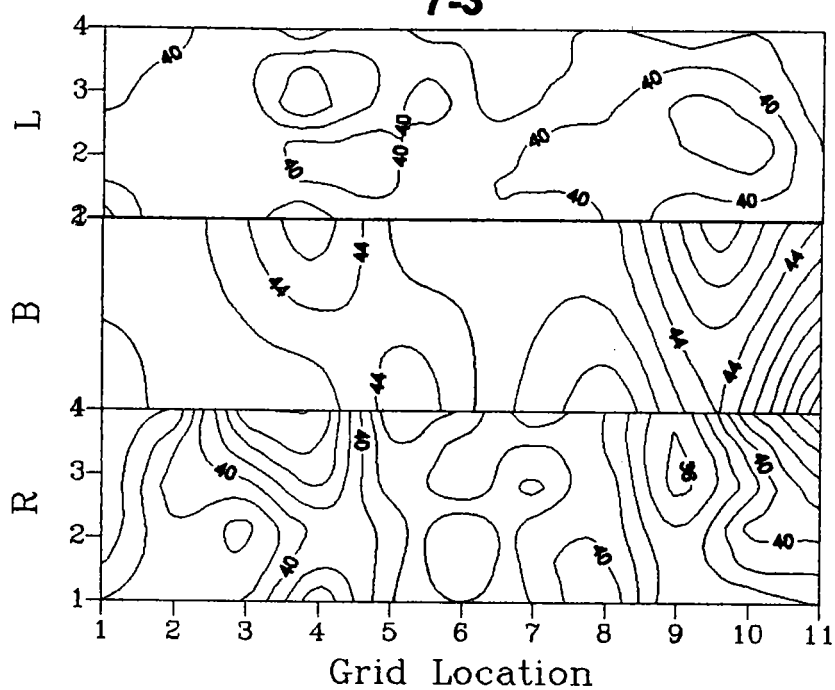
6-2

2	4	2	2	4	4	2	4	4	2	2
3	4	3	1		1		2	2	1	
2	2	2	2	4	1	3	1	2	1	1
4	2	3		2	3	3	2	4	3	

7-3

2	4	3	4	1	4	4	2		2	4
	3	1	2	1	2	3	2		2	1
3	3	1	2	2	1	2	3		3	3
3	3	1	4	4	1	2	1		4	3

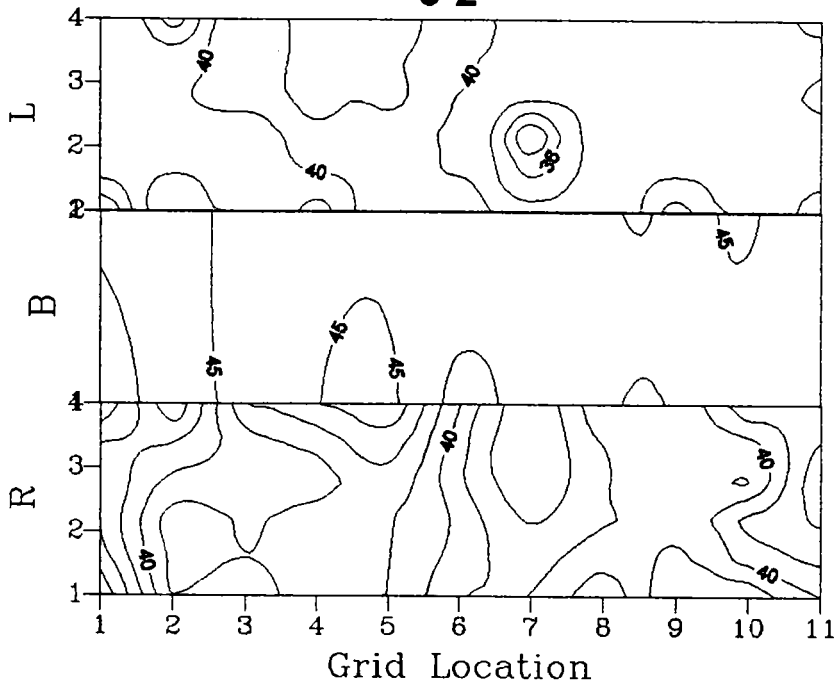
Schmidt Hammer, Rebound (N) 7-3



40	41	38	42	39	37	38	38	38	36	38	36
41	39	40	32	37	42	36	38	40	43	40	36
38	40	40	42	42	38	40	42	40	42	44	38
43	38	39	36	39	40	40	38	41	38	38	38
42	43	46	42	43	43	43	48	44			
44	42	42	45	42	40	44	37				
36	37	44	44	37	38	41	39	36	42	45	
36	40	40	43	38	41	37	40	35	38	42	
36	39	37	40	40	36	40	40	37	41	40	
38	39	39	43	39	38	39	41	37	37	38	

Schmidt Hammer, Rebound (N)

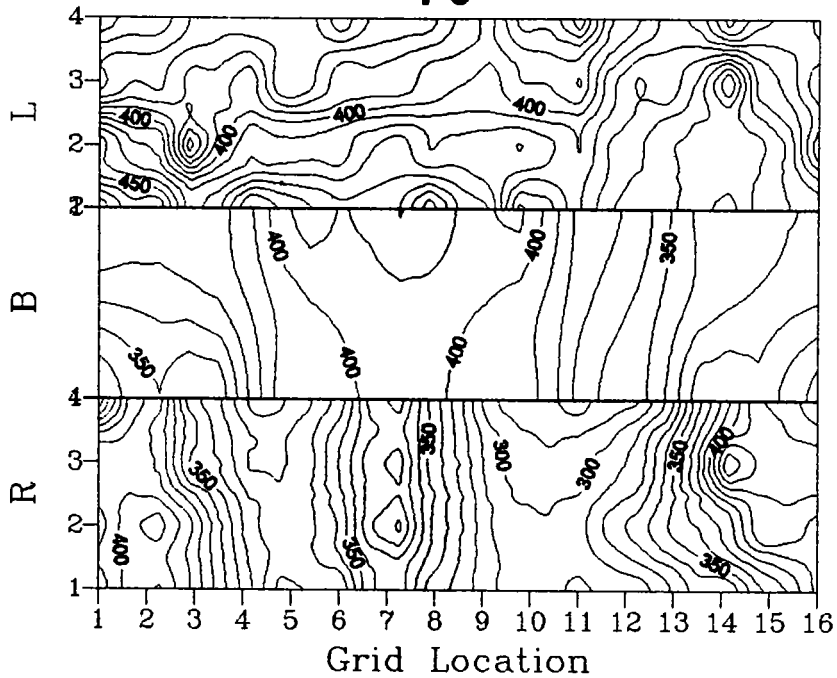
6-2



40	35	42	43	44	42	38	40	40	39	37
39	40	42	45	44	40	39	38	38	39	41
40	40	37	41	40	40	29	39	39	39	39
34	42	40	37	42	42	39	40	35	38	41
41	44	48	46	46	47	51	44	47		
37	44	47	42	52	48	44	47	47		
41	37	42	43	44	40	37	40	39	42	41
38	40	40	40	42	39	37	39	40	38	43
38	42	41	42	41	40	38	39	39	42	42
36	41	40	42	41	39	39	41	38	38	40

Electrode Potential (mV) (CSE)

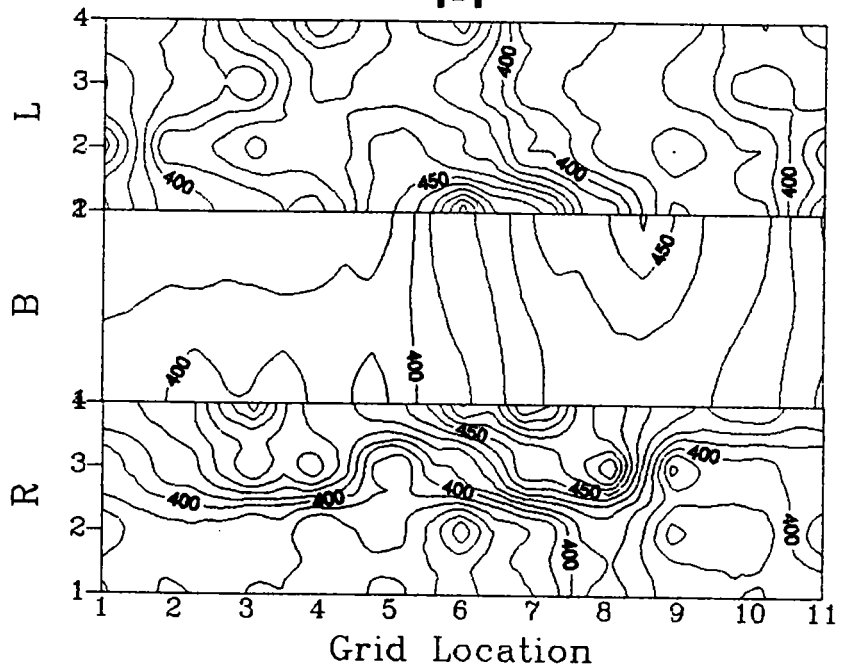
1-3



333	336	360	364	365	343	357	365	395	360	344	395	416	372	393	412
357	364	384	401	348	387	382	394	406	387	379	438	422	485	423	390
445	425	349	420	411	415	441	418	423	441	409	439	450	454	458	391
486	481	423	475	489	441	452	480	442	373	419	452	448	467	444	434
378	375	415	421	413	372	336	329								
333	338	400	403	397	357	310	296								
456	402	343	307	303	334	396	348	292	277	276	278	310	387	425	440
391	392	348	318	316	351	394	347	305	290	295	308	343	443	420	418
385	425	395	333	319	341	408	351	311	298	305	339	351	373	415	397
384	418	392	343	310	320	373	335	312	303	298	296	318	328	353	394

Electrode Potential (mV) (CSE)

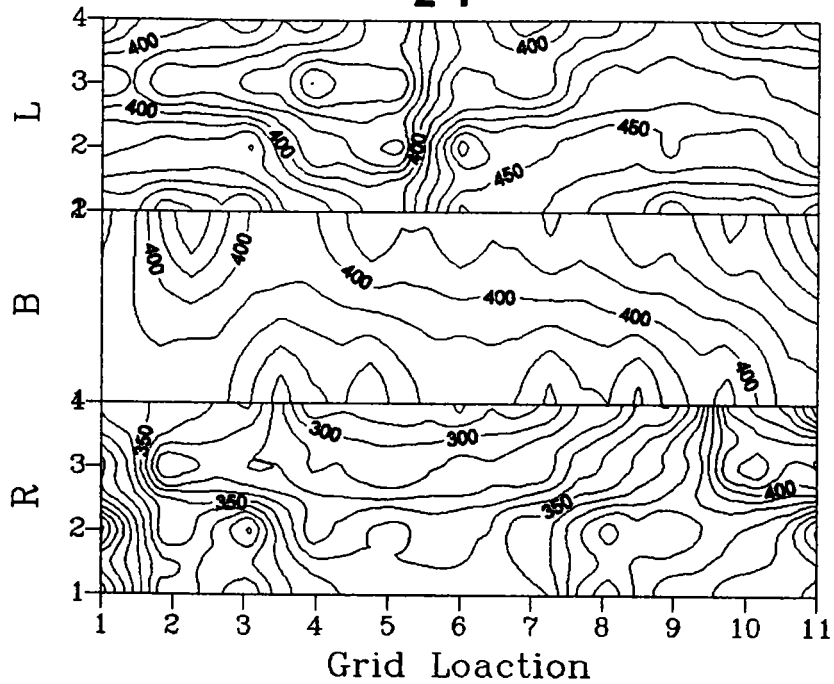
1-1



387	387	427	461	428	445	380	380	373	402	384
369	389	391	433	423	415	379	371	382	410	398
346	425	435	423	448	430	396	372	359	377	426
368	394	402	404	452	505	472	416	366	372	432
381	383	380	384	419	446	461	440	409		
393	405	405	386	408	431	439	428	408		
419	426	476	422	440	481	516	456	433	443	430
393	415	450	448	376	411	460	492	375	394	402
371	388	379	369	383	343	374	418	375	380	419
379	392	379	372	383	365	377	419	396	389	395

Eletrode Potential (mV) (CSE)

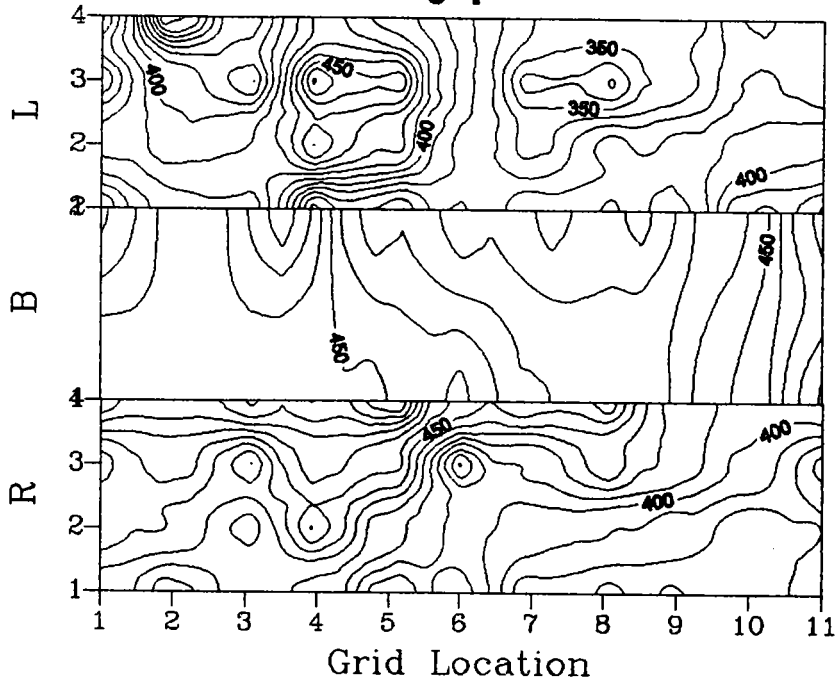
2-1



428	404	406	395	360	405	381	406	423	391	391
384	366	365	338	346	418	399	436	439	432	423
419	423	432	381	360	464	450	459	448	456	430
447	470	461	426	405	462	460	475	498	491	484
396	354	366	380	388	447	512	530	482		
305	281	276	281	297	361	471	489	397		
359	347	342	280	280	278	283	309	328	437	477
393	303	319	309	301	312	310	341	361	432	410
443	351	394	324	345	335	358	396	389	368	328
435	361	388	354	342	346	343	399	363	350	347

Electrode Potential (mV) (CSE)

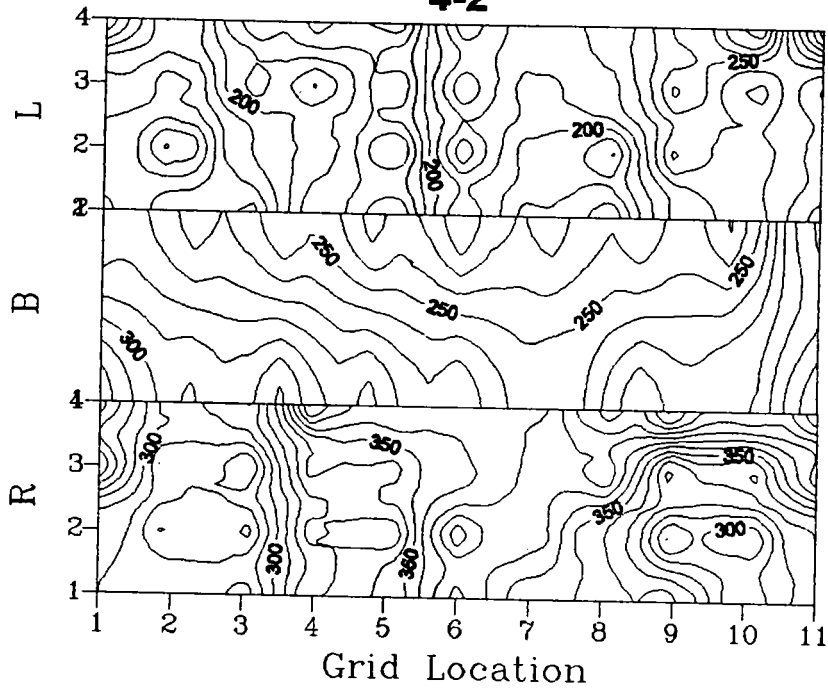
3-1



442	310	372	422	404	383	360	356	350	384	373
449	395	368	474	462	385	332	327	352	383	370
418	401	410	452	426	375	354	387	383	395	400
459	425	428	344	348	369	388	393	372	425	432
418	448	413	476	486	494	494	465	415		
450	447	446	448	447	470	476	450	408		
498	489	503	501	528	456	460	468	414	407	410
445	466	428	477	464	379	408	438	418	399	365
459	452	423	472	422	408	391	390	384	371	380
436	412	431	428	386	418	372	366	368	369	388

Electrode Potential (mV) (CSE)

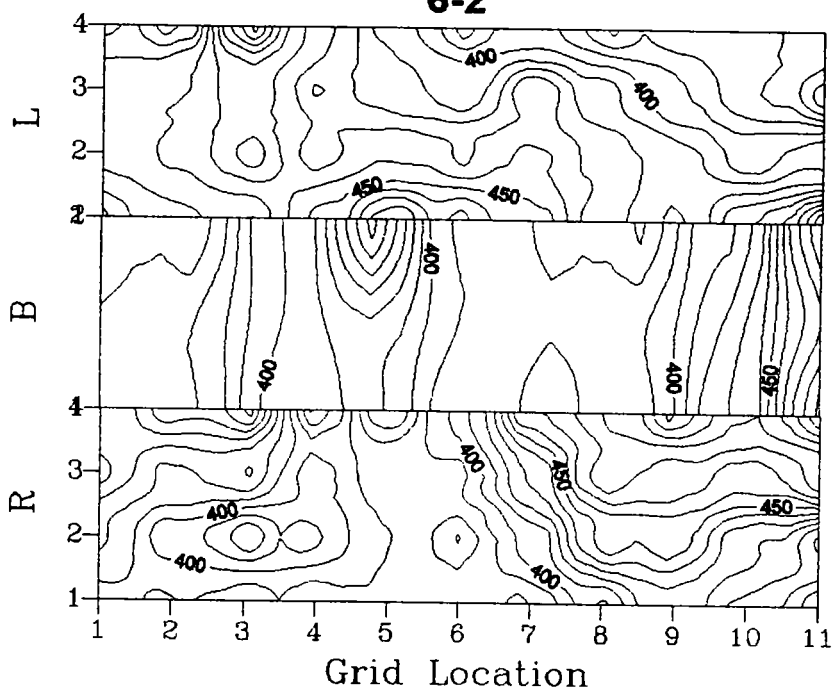
4-2



172	223	172	166	163	239	214	220	252	292	185
221	237	184	212	169	240	204	217	263	223	261
235	267	209	195	155	238	195	178	253	233	255
242	224	233	180	159	220	186	170	222	236	266
273	255	240	226	211	225	233	229	303		
326	301	312	293	279	255	289	278	320		
344	297	299	393	369	363	366	405	423	400	418
349	277	269	343	335	355	370	369	316	325	385
296	266	267	334	320	396	377	339	288	286	330
290	290	276	330	341	384	354	346	346	302	325

Electrode Potential (mV) (CSE)

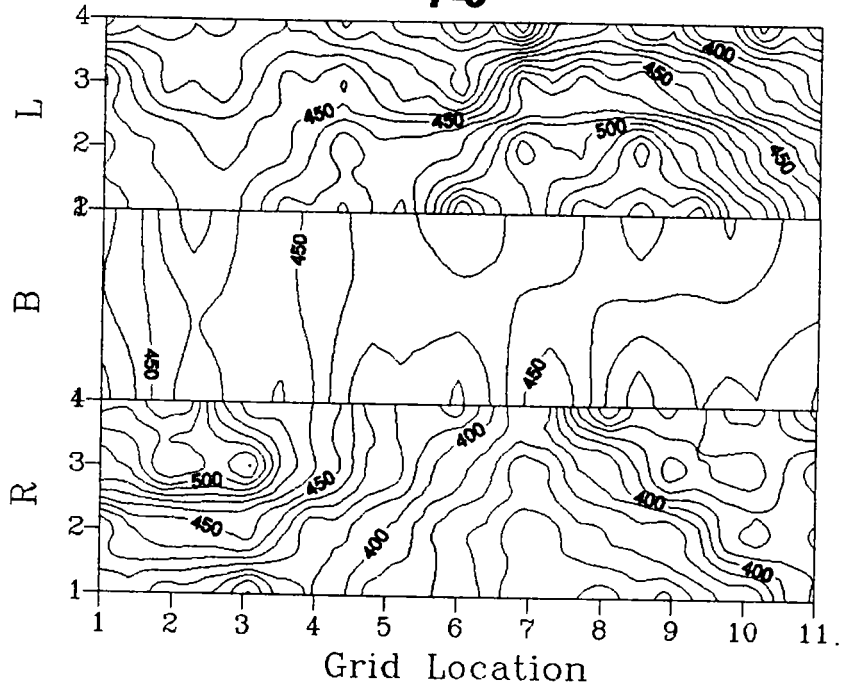
6-2



408	390	496	434	404	375	390	367	373	376	360
426	428	448	418	414	400	445	413	392	368	342
421	433	458	422	439	427	443	428	416	392	409
398	416	419	452	495	473	458	422	406	444	489
352	350	400	464	386	377	368	408	500		
360	368	407	413	380	375	384	430	503		
369	341	324	423	356	404	475	493	524	490	528
355	384	368	408	380	385	429	491	475	462	487
377	410	431	415	390	369	401	458	459	418	397
392	389	382	383	389	381	375	398	427	405	380

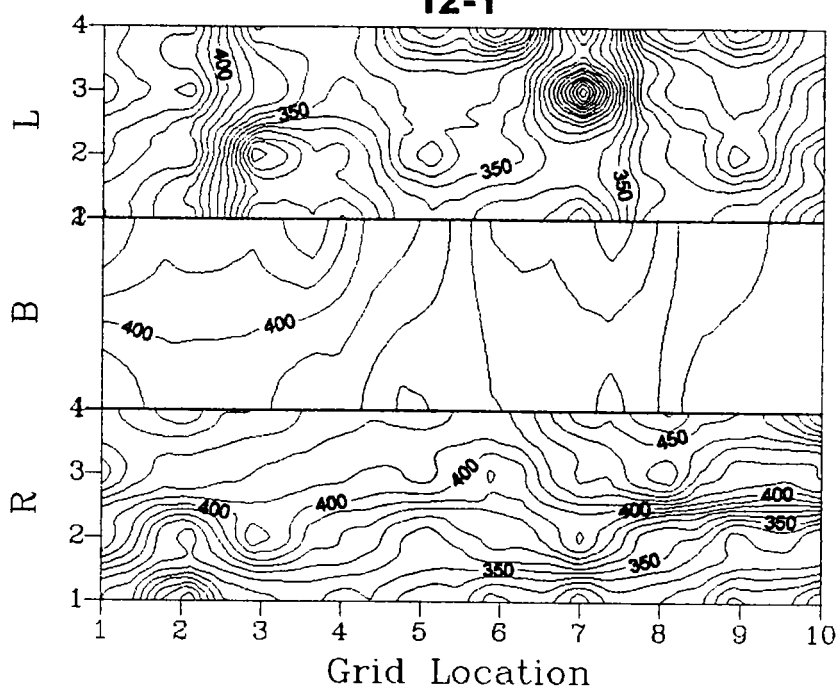
Electrode Potential (mV) (CSE)

7-3



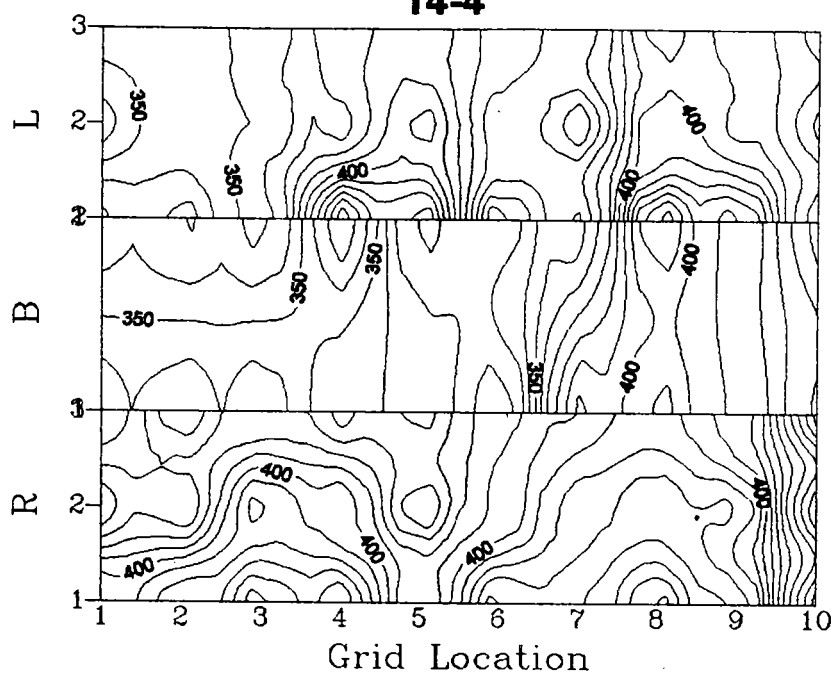
397	400	407	420	398	395	372	361	414	401	381	346	352
462	417	412	443	451	426	403	476	475	468	446	411	381
464	449	434	447	478	462	470	515	499	536	498	459	427
470	452	443	474	482	456	531	493	538	546	546	497	450
437	476	452	437	445	436	455	451	438				
427	465	461	422	418	460	415	429	419				
514	535	463	461	419	424	378	461	443	412	454		
487	524	523	463	426	393	359	392	435	438	404		
423	444	454	413	399	371	349	370	371	427	421		
410	403	377	411	380	378	348	345	346	369	412		

Electrode Potential (mV) (CSE) 12-1



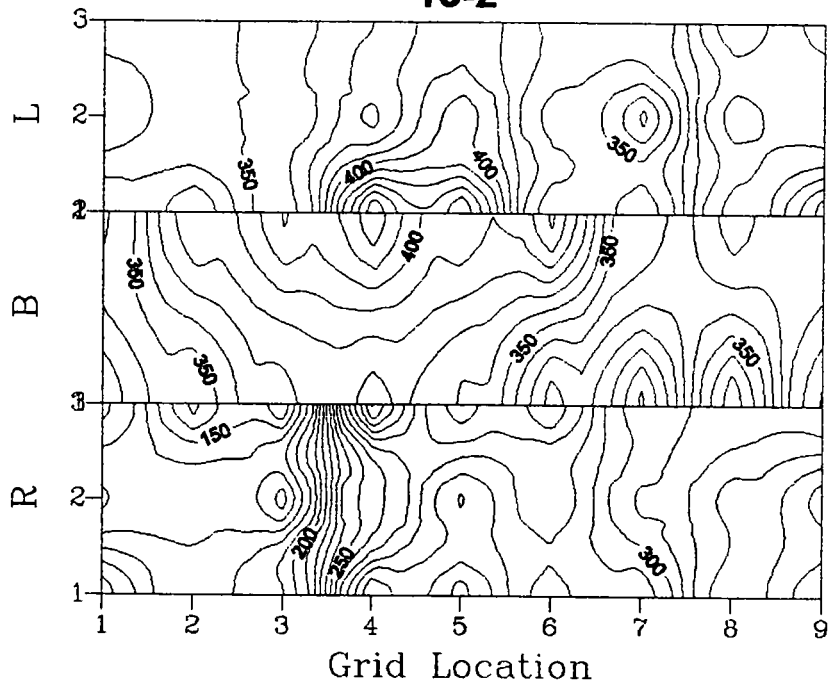
449	435	345	351	421	448	295	445	466	403
457	447	380	347	359	362	212	407	419	369
433	419	276	317	379	359	335	383	419	342
421	396	296	299	340	321	302	380	365	322
372	385	372	408	445	455	421	416		
420	404	416	432	430	442	409	410		
356	350	354	432	491	402	392	346	340	319
363	363	356	383	386	387	371	348	330	330
369	346	342	357	384	381	372	368	335	356
383	357	337	334	391	374	353	316	316	293
									258

Electrode Potential (mV) (CSE) 14-4



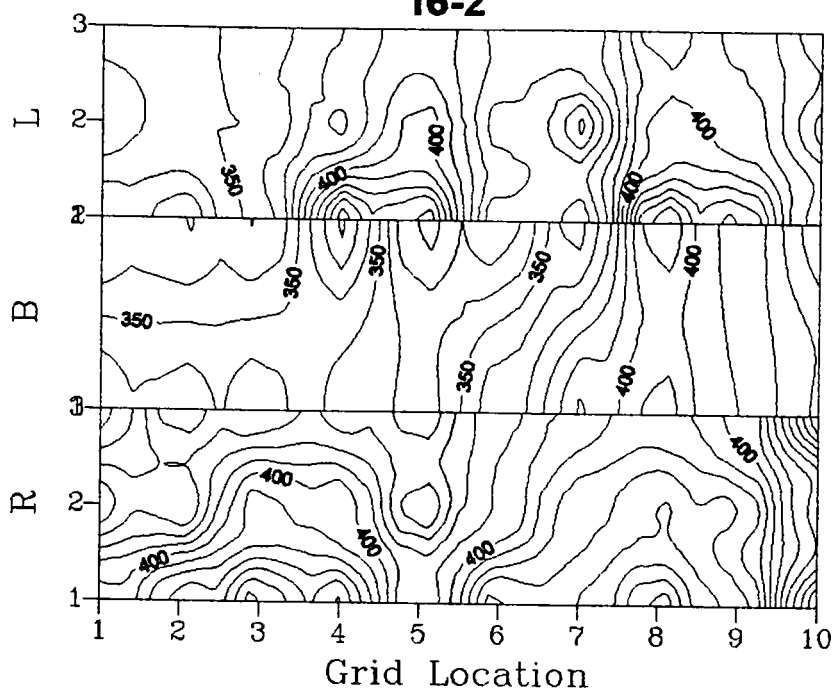
348	345	352	376	391	366	351	408	385	365
365	340	350	365	405	353	330	409	388	357
329	325	353	456	439	320	349	470	447	361
335	328	325	380	315	322	346	423	387	345
365	368	368	346	334	308	402	415	390	358
390	350	370	356	355	386	400	414	395	306
352	357	425	408	346	390	425	440	436	320
410	430	457	450	378	445	439	476	442	325

Eletrode Potential (mV) (CSE) **15-2**



349	346	353	370	390	368	361	410	387
360	347	351	368	406	355	328	406	395
332	320	352	458	449	350	341	406	446
338	389	411	427	397	412	344	315	324
322	340	368	367	359	316	288	377	299
183	127	132	321	255	251	307	312	312
159	166	146	257	301	272	312	334	355
205	170	189	310	314	275	282	339	360

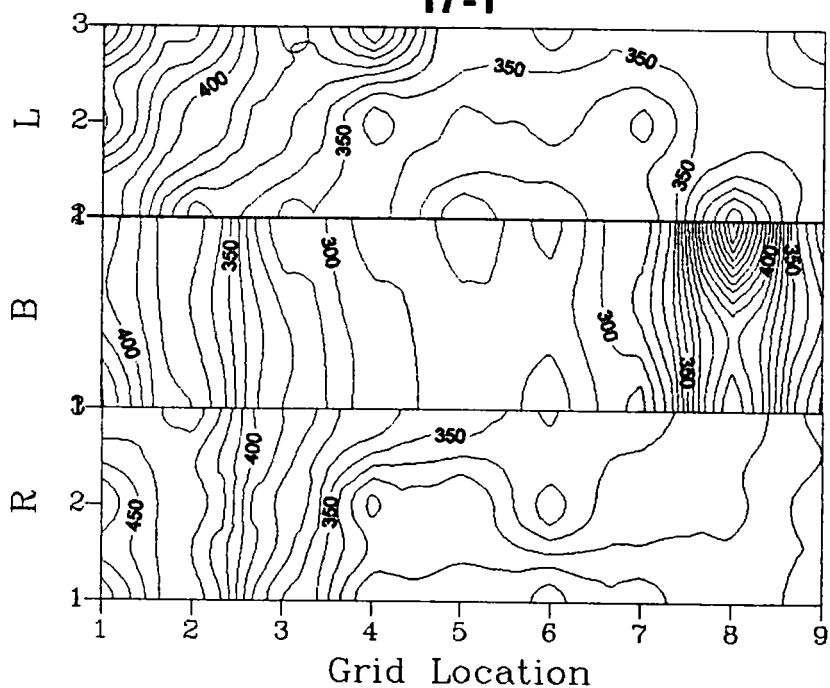
Eletrode Potential (mV) (CSE) **16-2**



349	346	353	370	390	368	361	410	387	361
360	347	351	368	406	355	328	406	395	356
332	320	352	456	449	350	341	466	446	371
330	328	328	382	314	320	347	421	386	351
368	366	368	348	335	366	401	417	391	368
395	350	360	366	350	386	401	415	398	310
352	357	415	409	346	389	426	442	436	364
402	438	467	451	378	446	440	478	440	329

Eletrode Potential (mV) (CSE)

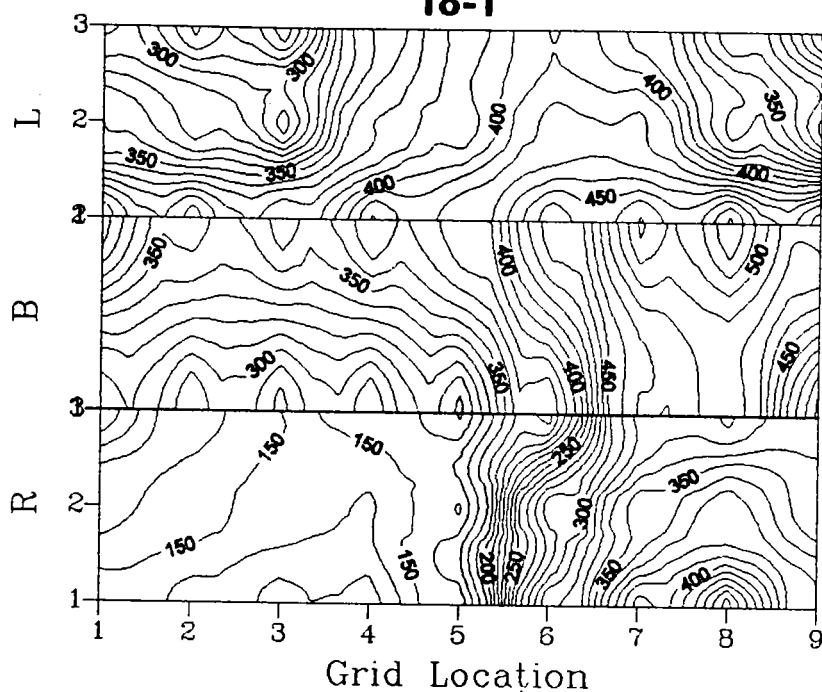
17-1



481	432	377	419	352	365	353	356	380
452	396	371	335	338	342	326	356	352
417	355	348	342	310	322	333	407	353
407	376	300	284	276	276	301	491	312
432	380	320	297	284	272	286	410	308
436	447	390	368	358	351	344	337	317
469	437	377	317	320	356	333	332	314
477	438	360	310	312	305	315	330	313

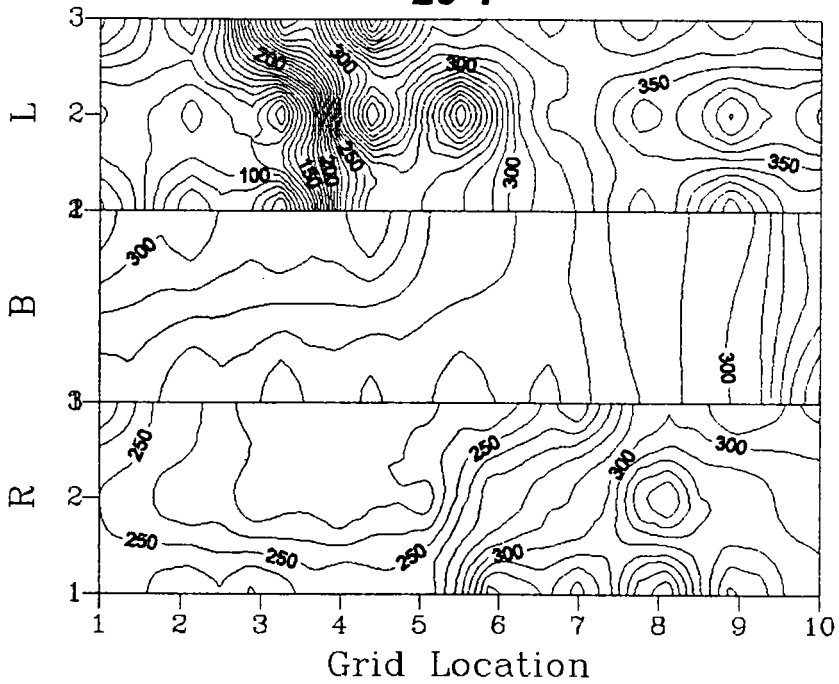
Eletrode Potential (mV) (CSE)

18-1



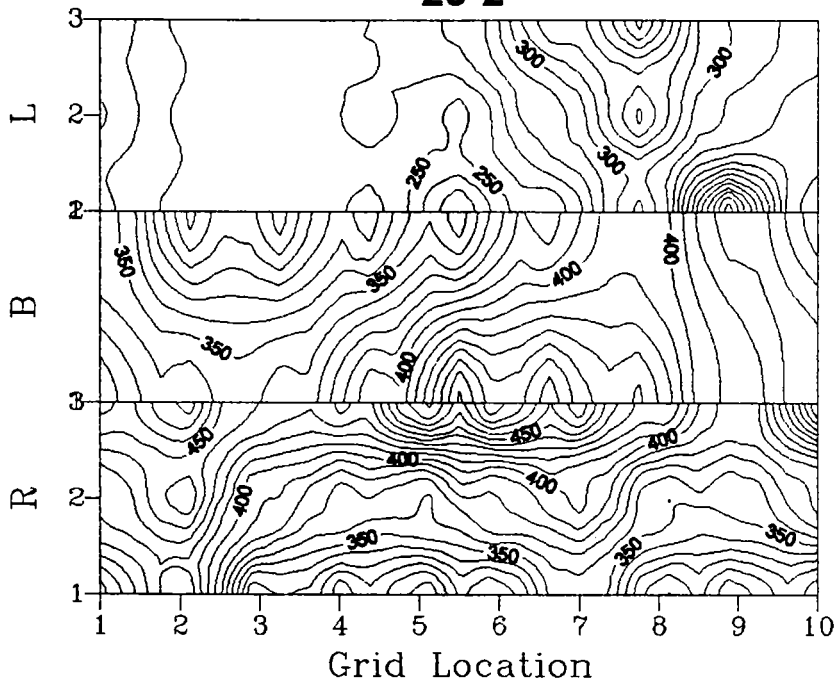
299	268	253	351	384	411	386	330	278
340	315	285	370	383	423	422	355	317
417	405	388	431	428	468	471	482	466
396	354	366	380	388	447	512	530	482
305	281	276	281	297	361	471	489	397
199	166	150	155	139	187	324	318	331
164	157	144	139	149	296	357	377	340
146	136	125	124	151	318	404	455	370

Eletrode Potential (mV) (CSE) **20-1**



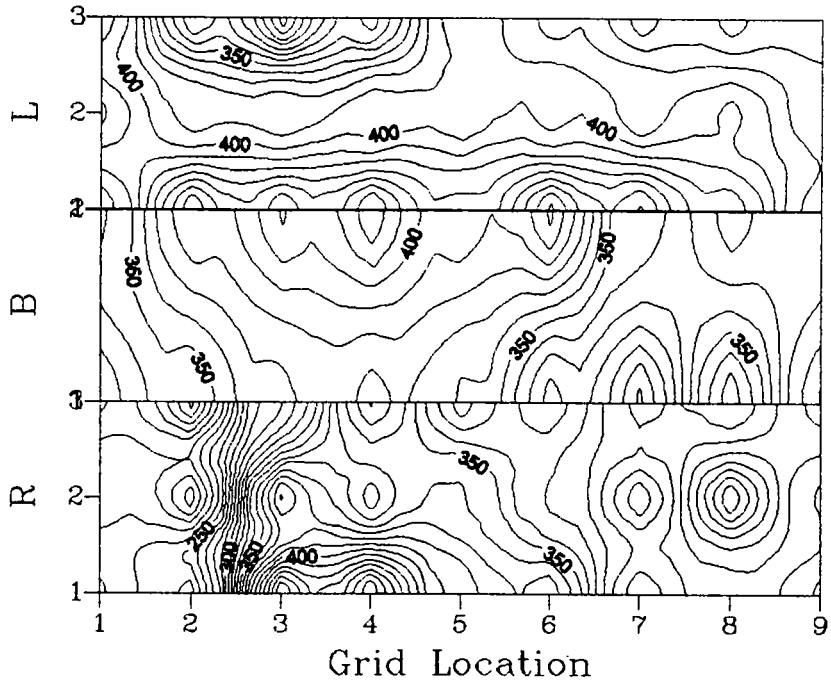
162	102	295	416	333	344	313	325	322
109	98	83	350	201	332	365	391	382
142	70	49	268	279	314	355	293	336
315	308	300	310	278	266	283	292	340
276	260	253	258	254	257	280	300	361
280	243	224	222	226	231	242	300	278
250	232	222	221	224	277	291	355	317
251	270	273	260	252	338	334	258	345
								312

Electrode Potential (mV) (CSE) **20-2**



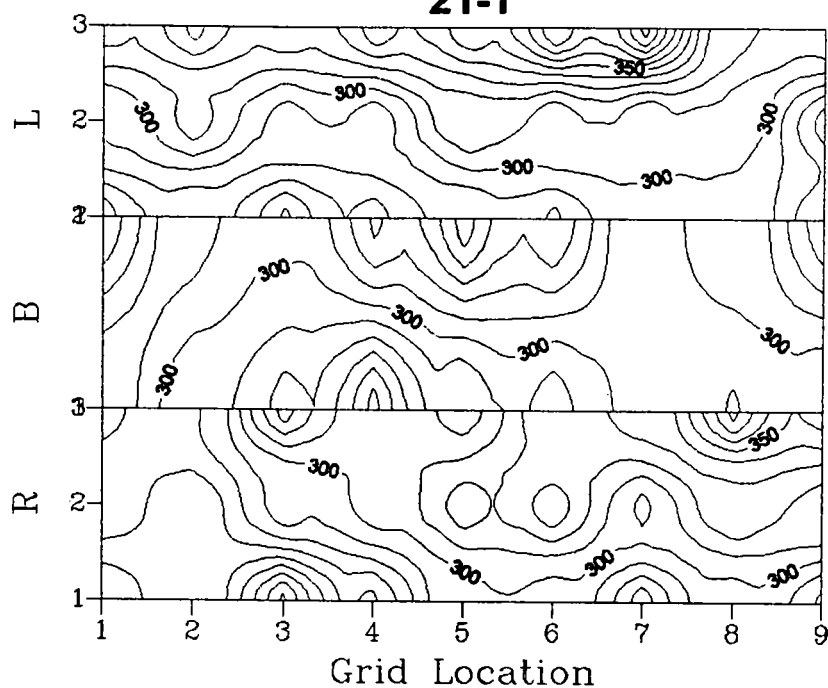
278	257	252	260	272	327	373	300	282
282	257	250	265	246	284	342	289	272
272	256	251	264	220	251	313	174	290
356	287	285	314	334	375	410	364	332
388	366	364	407	472	466	442	388	361
462	488	442	442	498	503	477	433	481
420	460	389	366	356	377	403	348	350
376	428	319	304	289	307	359	296	289
								304

Electrode Potential (mV) (CSE) **20-3**



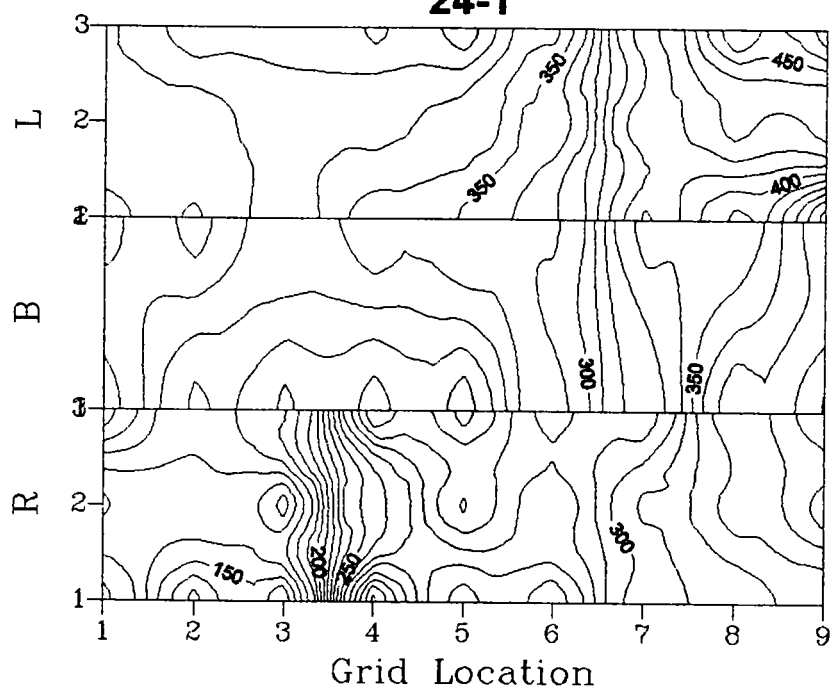
418	321	276	326	400	377	355	356	360
422	386	385	396	392	397	382	403	371
383	468	457	470	431	482	461	427	371
338	389	411	427	397	412	344	315	324
322	340	368	367	359	316	288	377	299
209	167	290	381	315	347	307	301	334
225	195	391	335	361	329	282	379	308
228	236	460	469	386	377	291	317	298

Electrode Potential (mV) (CSE) **21-1**



324	344	327	346	357	390	404	322	318
290	316	285	283	317	301	300	305	264
255	272	248	266	280	278	292	299	270
251	286	299	268	244	260	299	305	338
284	310	324	354	320	316	300	289	291
267	278	335	307	293	327	336	383	353
277	261	296	305	326	338	297	329	316
250	269	218	258	297	296	264	296	278

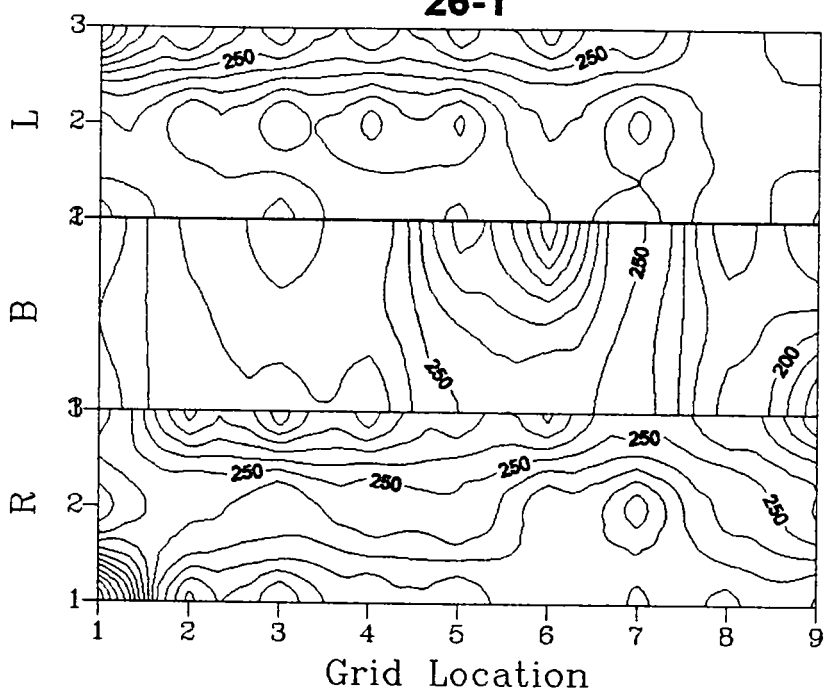
Electrode Potential (mV) (CSE) **24-1**



331	313	313	308	303	337	418	470	475
340	335	326	329	332	352	420	433	433
342	341	324	346	351	369	422	388	345
279	295	278	289	289	288	345	343	377
295	258	248	246	244	285	323	379	391
205	170	189	310	314	275	282	339	360
159	166	146	257	301	272	312	334	355
183	127	132	323	255	251	307	312	324

Electrode Potential (mV) (CSE)

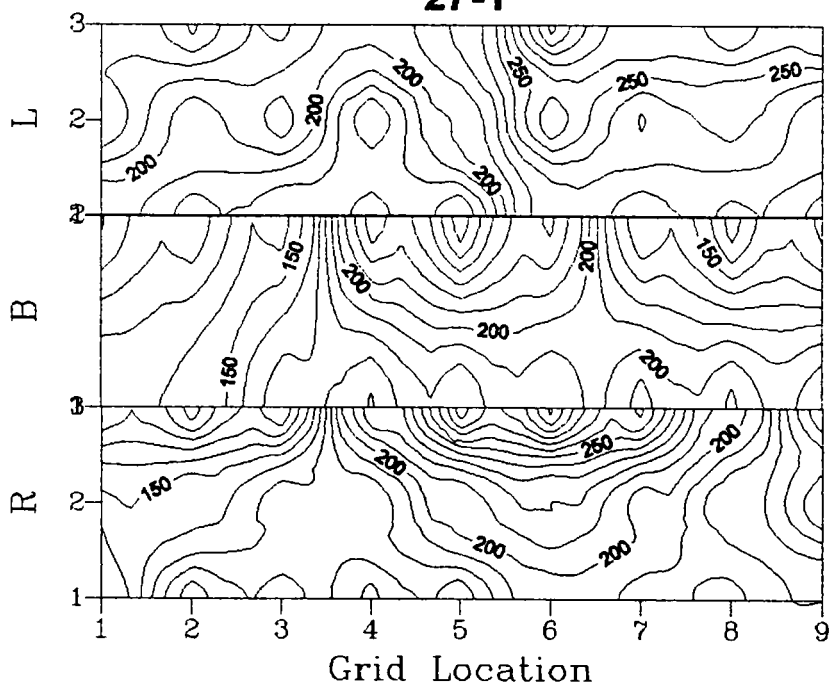
26-1



309	280	265	257	266	275	260	231	220
229	210	200	196	198	231	205	234	237
207	221	234	210	209	220	216	239	219
202	232	249	231	284	317	252	202	228
204	229	228	222	250	253	244	206	173
236	293	306	295	276	282	255	270	298
224	240	231	244	250	222	204	242	261
338	197	190	211	210	229	219	217	219

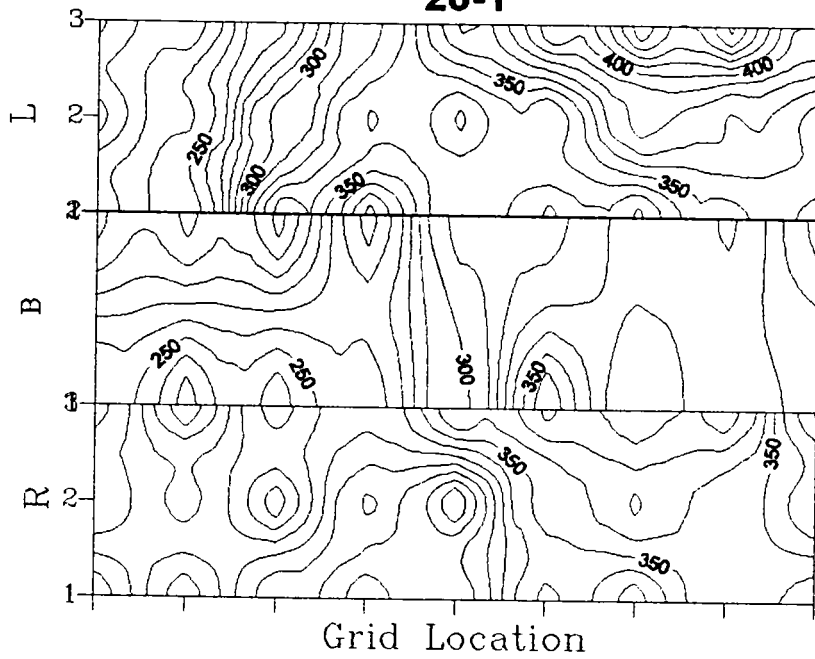
Electrode Potential (mV) (CSE)

27-1



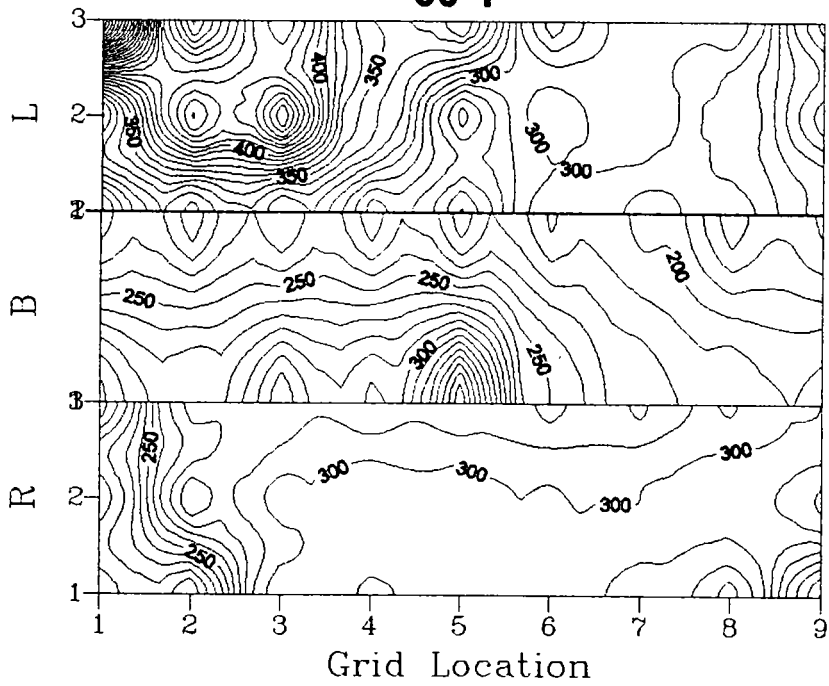
222	242	222	201	222	303	270	279	270
230	194	215	160	201	268	229	242	220
191	174	171	166	160	227	212	218	205
99	111	135	236	267	232	150	125	137
136	142	177	159	170	180	214	212	208
113	95	110	228	295	312	272	207	130
151	159	176	172	203	220	195	170	140
140	197	185	157	163	195	185	193	180

Electrode Potential (mV) (CSE) **28-1**



208	221	268	316	371	408	447	452	398
206	238	305	341	318	330	384	369	353
224	241	346	383	334	318	318	347	346
303	303	314	245	315	317	332	342	306
250	225	234	250	295	370	322	335	330
355	301	356	331	370	382	390	387	319
350	326	366	309	280	355	371	356	330
313	357	313	293	301	353	324	358	366

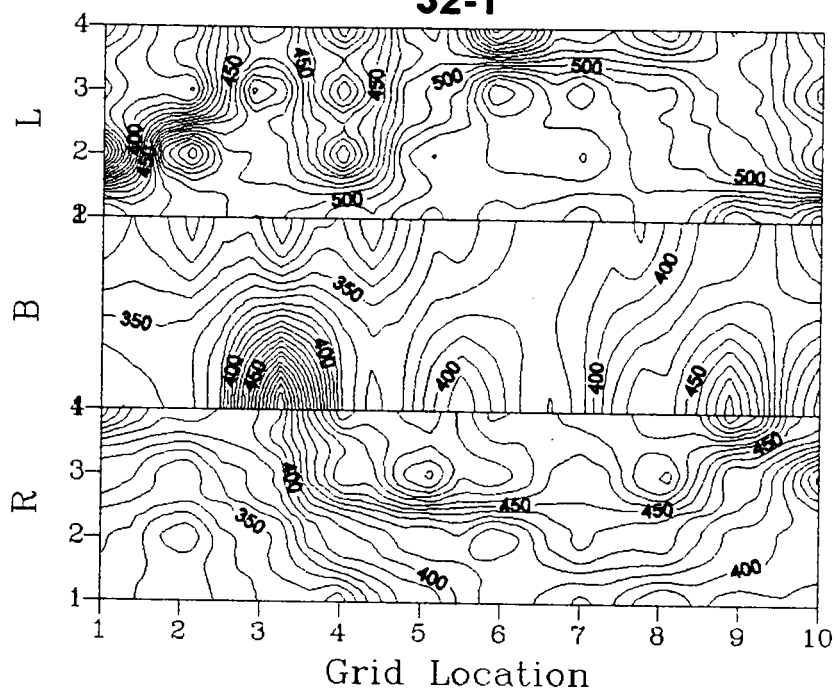
Electrode Potential (mV) (CSE) **30-1**



621	348	440	350	370	264	294	291	374
308	451	480	342	256	308	290	312	366
268	306	311	275	249	309	314	303	333
216	203	220	214	204	198	197	163	168
303	280	318	302	378	250	227	219	213
183	285	285	283	284	277	278	289	300
201	300	305	308	306	301	300	310	322
202	200	310	312	310	303	315	335	249

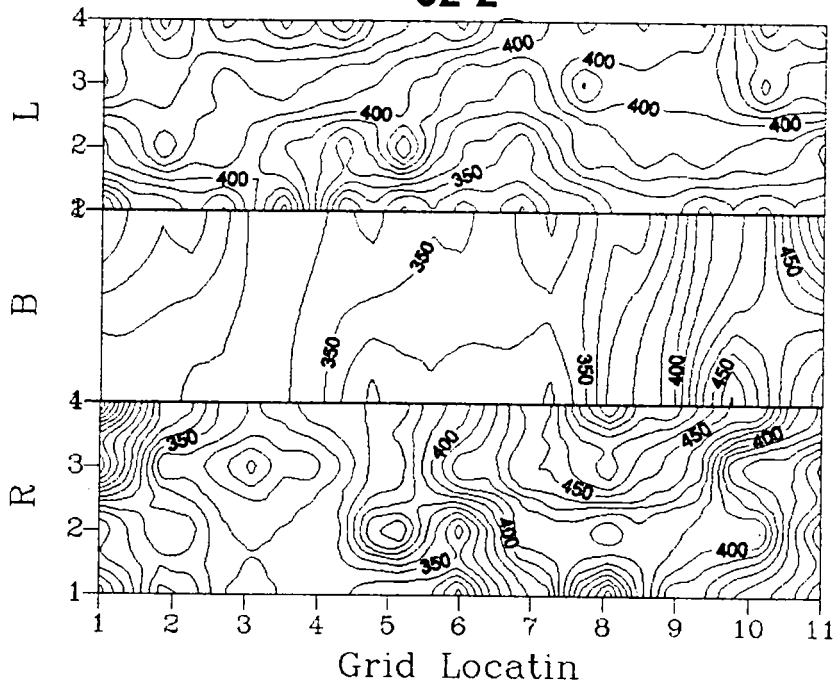
Electrode Potential (mV) (CSE)

32-1



352	393	484	393	498	388	464	439	493	434
366	372	520	401	505	565	536	515	486	425
308	557	491	410	533	532	541	509	489	440
491	483	501	518	535	516	503	523	574	579
324	306	302	312	355	370	378	412	455	
370	357	550	355	419	369	438	495	375	
437	394	385	496	498	456	472	485	533	443
368	341	370	467	518	488	450	497	421	357
341	310	344	397	411	398	443	434	407	390
334	319	339	335	381	415	398	378	384	385

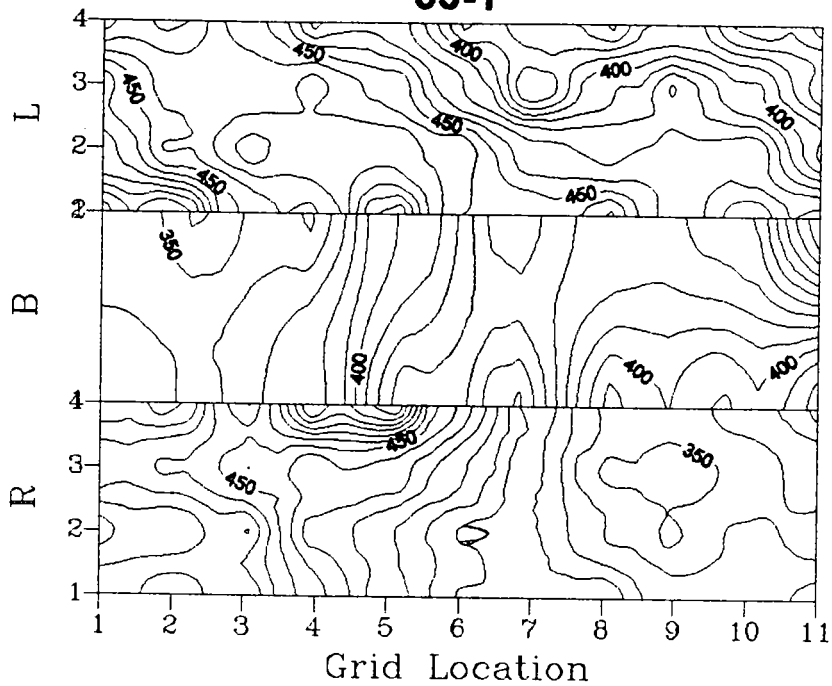
Electrode Potential (mV) (CSE) **32-2**



466	405	452	463	468	431	433	410	388	389	389	457	453
452	435	415	423	413	401	380	373	421	402	402	443	426
398	438	418	390	364	419	360	342	387	397	397	387	367
337	373	369	434	329	328	326	318	342	364	347	347	350
409	395	361	362	352	328	355	417	496				
373	369	361	328	337	328	382	471	405				
489	376	338	356	361	393	441	522	489	455	387		
436	326	306	325	362	427	454	476	448	355	337		
334	373	337	341	418	336	420	402	411	419	321		
306	378	333	342	330	306	376	489	383	351	320		

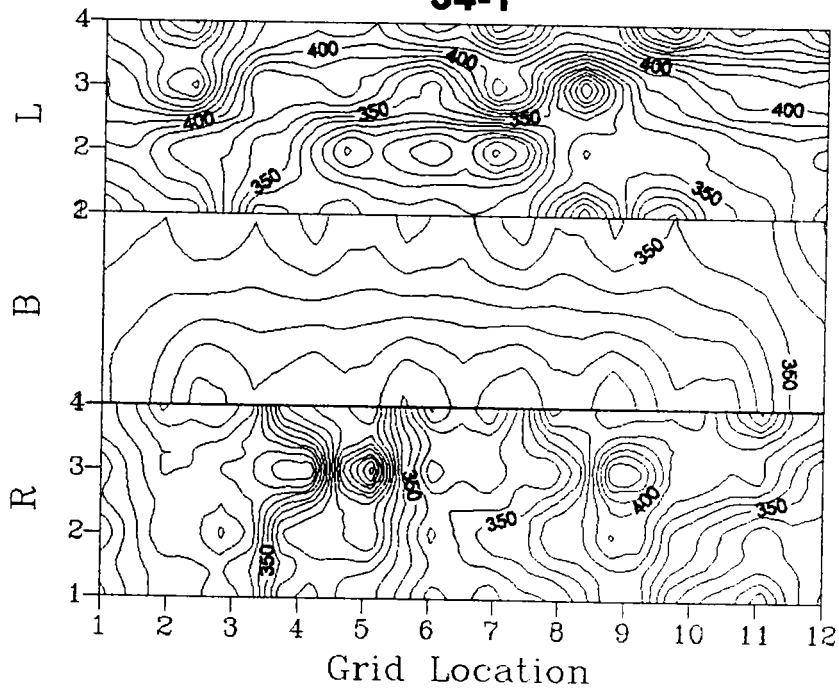
Electrode Potential (mV) (CSE)

33-1



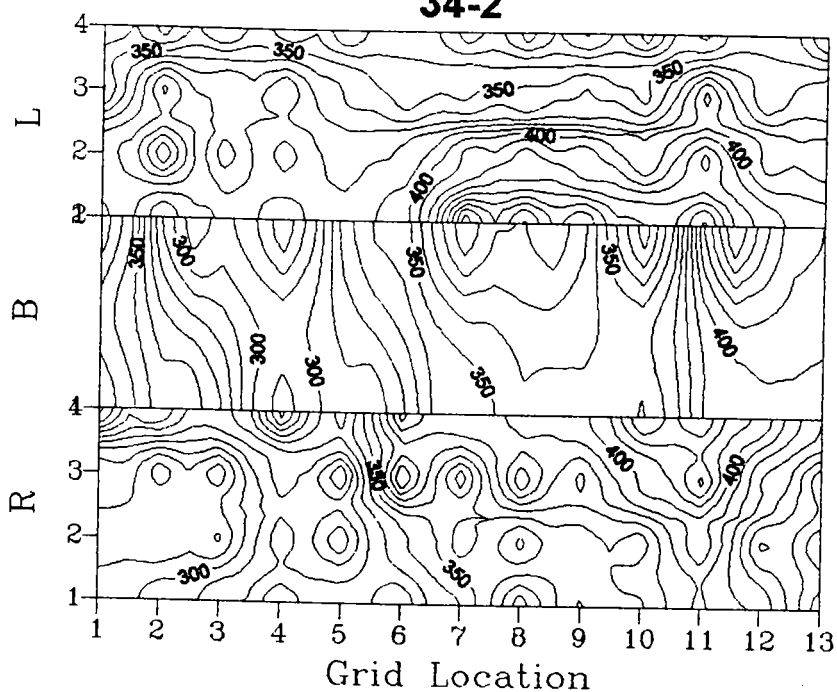
483	486	454	416	425	378	369	357	381	350	346
434	467	463	475	459	420	364	410	433	403	362
425	465	489	476	480	468	434	427	432	442	387
365	383	454	457	523	460	457	473	433	461	442
353	337	348	401	449	427	434	499			
366	358	374	437	463	386	387	375			
485	499	438	512	527	438	388	357	355	367	383
460	456	439	430	436	412	382	346	340	350	366
495	493	482	424	409	389	381	359	347	363	355
476	462	480	445	416	389	389	391	362	369	375

Electrode Potential (mV) (CSE) 34-1



441	497	420	416	437	473	412	490	466	473
419	479	366	385	344	421	290	380	402	406
399	369	356	298	288	271	361	352	367	368
429	407	322	345	336	330	408	302	349	385
345	348	354	354	366	362	357	351		
331	295	300	288	290	291	314	359		
326	287	286	397	415	297	301	397	372	373
347	309	322	280	475	313	324	327	454	385
360	311	293	398	403	327	356	379	408	348
353	325	310	390	363	326	325	339	383	317

Electrode Potential (mV) (CSE) **34-2**



331	326	330	336	321	331	316	306	309	306	329	346	319
339	402	378	389	359	344	349	350	361	347	403	351	365
386	428	364	395	374	382	413	425	416	390	433	387	387
392	362	381	378	383	395	485	481	468	440	462	415	406
387	284	262	341	398	387	314	460	410				
378	346	285	303	346	358	349	399	398				
374	349	325	384	325	403	388	394	396	440	440	408	370
294	275	274	326	291	400	335	407	368	402	432	370	331
282	281	279	327	292	338	365	338	354	354	400	339	320
293	306	318	340	323	310	340	386	349	358	383	369	323