

77-研(八)

港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究

第二年報告

執行期間：民國七十六年七月至七十七年六月

計劃主持人：林維明

協同主持人：陳桂清

顧問：黃兆龍  
國立台灣工業技術學院營建工程系教授

研究人員：饒正 周祖望 吳信昇  
徐如娟 陳正義 何木火  
曾文傑 李小萍 郭德嫻

台灣省交通處參與人員：張碧森 吳斐然

各港務局參與人員：林坤田 楊義忠 呂芳甫  
楊永德 嚴文裕

## 誌 謝

本研究在本年度採海水樣鑽心取樣及蒐集各港資料方面期間，承蒙各港務局派交通船及研究人員支援，不勝感激，尤其高雄港務局楊隊長義忠、基隆港務局林主任坤田、台中港務局呂芳甫先生、花蓮港務局楊永德先生及蘇澳港分局嚴文裕先生參與研究，使本計劃更為順利，同時感謝國立台灣工業技術學院營建工程學系黃兆龍教授之親臨指導，使得本研究內容更為充實，亦為結合學術界與工程界共同研究使技術界昇級之一大研究計劃。在此衷心感謝各位參與人員之付出與努力之辛勞與投入。

台灣省交通處港灣技術研究所

港工材料組組長 林維明

中華民國七十七年七月三十一日

# 目

# 錄

誌謝	I
目錄	II
壹、研究工作概述	林維明 ··· 1-1
貳、港灣鋼筋混凝土結構物惡化機理	林維明 ··· 2-1
參、曝露試驗	陳桂清 ··· 3-1
肆、港灣鋼筋混凝土結構物腐蝕調查研究	陳桂清 ··· 4 1
伍、海水化性分析	吳信昇 ··· 5-1
陸、循環水槽之規劃與設計	周祖望 ··· 6-1

## 壹、研究工作概述

林維明\*

本計劃研究動機為港灣RC結構物由於受到含有腐蝕因子之海洋環境侵襲，因此易發生銹蝕影響其耐久性。為了分析惡化致因，提供維修良策，因此激發本研究計劃。

本研究目地為對港灣RC結構物之耐久性提供良好之設計與施工規範以為日後建港之參考，並對目前各港之RC結構物之腐蝕特性作一通盤性之了解，並提供防蝕良策以為進行維修之參考。

### 一、全程研究工作概述

本研究計劃共計五年，自75年7月至80年6月止，其工作進度如表1所示。現就各項工作項目概述如下：

- (一)文獻蒐集：儘量出國參加國際會議及至各先進國家考察並蒐集許多國家無法蒐集到之資料，以作為研究之參考提昇國內研究層次及成果。
- (二)現場觀測：了解結構物使用之材料，並以NDT(非破壞性)法量測結構物目前之狀況腐蝕情形..等。
- (三)腐蝕環境調查：在台灣五大港口作長期之海氣象、水文資料調查並作海水分析，以了解其現場之腐蝕環境及變化情形。
- (四)曝露試驗：以不同之材質（包括不同之水泥、W/C、保護層厚度、鋼筋、摻料..等）作成曝露試驗試體，放至現場作長期之曝露試驗，並與試驗室之試體作比對。
- (五)腐蝕速率量測（DC法）：在試驗室內，就不同材質之試體，以電化學方法量測其鋼筋之腐蝕速率，可知其材質與腐蝕速率之關係。

---

\*港灣技術研究所研究員兼港工材料組組長

- (六)鑽心試體：在現場之結構物鑽取試體，攜回試驗室內作抗壓強度試驗，含鹽量、中性化測試、透水性試驗.....等基本性質測定並作SEM(掃描式電子顯微鏡)，XRD(X光繞射)等定性定量分析。
- (七)乾濕試驗：以不同材質之混凝土試體放入乾濕試驗機內量測其對乾濕環境之耐久性。
- (八)腐蝕速率之量測(AC法)：在試驗室內，就不同材質之試體，以電化學方法(AC電阻法)，量測其鋼筋之腐蝕速率，並與DC法之方法與結果作一比較。
- (九)中性化試驗：以不同材質之混凝土試體放入中性化試驗箱內量測其中性化之程度，以了解其材質與中性化之關係。
- (十)凍融試驗：以不同材質之混凝土試體放入凍融試驗機內，以量測其對凍融之耐久性因子，以判斷不同之材質混凝土內部結構之孔隙與耐久性關係。
- (十一)氯離子滲透試驗：就不同材質之混凝土試體，作其透水性試驗及氯離子之滲透速率量測，以了解其材質在海洋環境下之耐久性。
- (十二)報告撰寫：每年就試驗狀況及結果作一概述，等試驗全部完成後撰寫總結報告。

## 二、本年度主要執行之研究工作内容為：

### (一)搜集資料：

本年度內本組曾主辦『海洋混凝土工程研討會』共有22篇論文發表。參加人員有210人，與會人員對於港灣鋼筋混凝土耐久性之討論相當熱烈，同時為使本研究積極進行，曾向美國、英國、日本、採購有關圖書及向著名學者蒐集有關之論文與報告，詳見參考文獻。

### (二)海水化性分析：

赴全省五大港口在基隆港選定六處、台中港五處、高雄港七處、花蓮港六處、蘇澳港五處，用自動海水化性測定儀測量海水之PH值、導電度、溶氧量及水溫

等資料，分別在水上，水深下1m及2m及高低潮時間各量壹次，同時採集海水樣  
在本所之海水化性試驗室，進行分析水質中所含氯離子 ( $Cl^{-}$ )，硫離子 ( $S^{-2}$ )  
及硫酸根離子 ( $SO_4^{-2}$ ) 各港務局均派員參與本計劃研究並派交通船協助，本計  
劃得以順利進行。本年度內已進行二次調查工作，本報告中列有夏季及秋季兩  
次海水化性分析資料，並將一年四季之資料整理分析，以便了解各港海水化性  
之特性比較。

(三)現場鑽心取樣觀測：

本年度內曾兩次赴基隆、台中、高雄、花蓮及蘇澳等五大港口調查觀測各種不  
同港灣RC結構物損壞情形，並鑽心取樣分析，在第四章中說明。

(四)現場曝露試驗：

現正在趕製試體試驗，詳細情形請參考第參章說明。

(五)成果效益：

本計劃在國內為先驅工作，即將展開一系列完整之試驗。成果效益必須等待所  
有試驗均完成後才能肯定。

### 三、參考文獻

防蝕工程係專業之學問，鋼筋混凝土之防蝕在國內亦是起步階段，本所目前正  
積極投入大批人力及物力參與本項研究工作，茲就目前本所蒐集之重要相關文獻分  
列如下。

- 1.ACI " Manual of Concrete Practice " Part 1- 5
- 2.ACI " Manual of Concrete Inspection " SP-2
- 3.ACI " Formwork for Concrete " SP-4
- 4.ACI " Corrosion of Metals in Concrete " SP-49
- 5.ACI " Performance of Concrete in Marine Environment " SP-65
- 6.ACI " Sulfate Resistance of Concrete " SP-77
- 7.ACI " Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products " SP-79

8. ACI " In Situ/Nondestructive Testing of Concrete " SP-82
9. ACI " Concrete Durability - Proceeding of Katharine and Bryant Mather International Symposium " SP-100
10. ACI " Corrosion, Concrete and Chloride " SP-102
11. ACI " Corrosion of Metals in Concrete " ACI 222R-85
12. ASTM " Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete " STP-713
13. ASTM " Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Material " STP-169B
14. ASTM " Corrosion of Rebars in Concrete " STP-906
15. ASTM " Laboratory Corrosion Test and Standards " STP-866
16. ASTM " Corrosion of Metals in Association with Concrete " STP-818
17. ASTM " Chloride Corrosion of Steel in Concrete " STP-629
18. ASTM " Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete " STP-713
19. ASTM " Durability of Building Materials and Components " STP-691
20. ASTM " Electrochemical Corrosion Testing " STP-727
21. ASTM " Corrosion in Natural Environments " STP-558
22. NACE " Solving of Rebar Corrosion Problems in Concrete Proceedings " Sep. 1982
23. NACE " Corrosion Basics - An Introduction "
24. NACE " Cathodic Protection "
25. NACE " Concrete Reinforcing Steel Rebar Corrosion , 1976-1983
26. ICE " Corrosion in Civil Engineering "
27. " Seminar On Corrosion In Concrete Proceedings " May 1986 London, U.K.
28. " Concrete in Marine Environments Proceedings " Jun. 1987 Hong Kong
29. " Problems in Service Life Prediction of Building and Construction Materials Proceedings " Sep. 10-12 1984 Paris, France

- 30." Concrete in the Marine Environment Proceeding " Sep. 22-24 1986  
London, U.K.
- 31." Concrete in the Oceans " Technical Report 1-6 Cement and Concrete  
Association, Department of Energy, U.K.
- 32." Concrete Manual " 8th ed. U.S. Department of the Interior, U.S.A.
- 33." Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction " 1983 Ellis  
Horwood Limited U.K.
- 34.F.D.Lydan " Developments in Concrete Technology - 1 " 1979 U.K.
- 35.技報堂"コンクリート 構造物の耐久性 ミリ-ス" "
- |          |      |
|----------|------|
| (1)中性化   | 喜多達夫 |
| (2)化學的腐蝕 | 水上國男 |
| (3)鹽害(I) | 大即信明 |
- 36.技報堂 " 鐵筋コンクリート 造建築物の耐久性向上技術 "
- 37." 海洋コンクリート 構造物の防蝕指針(案) " 日本 コンクリート 工學協會
- 38." 港灣鋼筋混凝土結構物防蝕技術研討會資料彙刊 " 港研所 民國74年 8月
- 39." 材料與腐蝕研討會資料彙刊 " 港研所 民國75年 6月
- 40." 海洋混凝土工程研討會資料彙刊 " 港研所 民國76年10月

# 貳、港灣鋼筋混凝土結構物劣化機構

林維明\*

## 一、前言

港灣混凝土結構物中發生鋼筋腐蝕惡化大部份為棧橋碼頭結構物，而且集中在波浪潑濺範圍之上部結構。

主要劣化原因為鹽害，因此本文探討有關處於海洋環境下鋼筋或預力混凝土結構物之鹽害機構及發生要因。

## 二、鋼筋腐蝕理論

### (一) 氯離子存在下之混凝土中鋼筋腐蝕概述

影響海洋結構物腐蝕要因為有氯離子存在，當混凝土中不含氯離子，由於其酸鹼度PH值) 在12以上，因此鋼筋表面形成鈍態，腐蝕活動受限制，而當鋼筋表面含有氯離子溶液時鈍態被破壞，將有進行腐蝕之可能性，特別當混凝土有龜裂等之損害情況下，其部份鋼筋形成陽極之可能性高，如果氧氣之供應也較為充份，則更易促進形成腐化電池，上述學說為一般性腐蝕原理已有許多學者支持，本文不詳加檢討。

### (二) 鋼筋腐蝕理論及混凝土中防蝕機構

#### 1. 鋼材之腐蝕理論

在自然界存在之鐵礦石幾乎不以純鐵元素之狀態存在，其中含有碳酸鹽與硫化物，鋼材為此種自然狀態安定之鐵石經過煉鋼廠冶煉所得之產品，因此均有或多或少之腐蝕傾向，欲回復原來鐵礦石之自然安定狀態之性質。鋼材腐蝕反應與水有關者稱為濕蝕，反之為乾蝕。混凝土中鋼材腐蝕為濕蝕反應。

腐蝕機構為形成鋼材之金屬鐵成為鐵離子，再氧化後形成  $Fe_2O_3$  或  $Fe_3O_4$  等之鐵銹之反應，此反應含電子移動與化學反應之電化學反應。

---

\*港灣技術研究所研究員兼港工材料組組長

混凝土中之鋼材表面以掃描式電子顯微鏡微觀凹凸不均一，致因為銹皮層（Mill Scale）不均一性，以及混凝土密度不同、乾濕不均一、含氧量、PH值等之變化，因而使得鋼材表面產生電位差形成有陽極及陰極反應即所謂腐蝕電池（Corrosion Cell）或稱為伽凡尼電池（Galvanic Cell，如圖一所示。即金屬鐵在陽極區域變為鐵離子（Iron）而溶解（ $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$ ），此時放出之電子移至陰極區與氧氣及水作用形成氫氧根離子（ $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ ），而此 $\text{OH}^-$ 自陰極區移至陽極，再與 $\text{Fe}^{+2}$ 反應形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 。 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 與氧氣作用之生成物為 $\text{Fe}_2\text{O}$ 或 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，即為鐵銹。特別在稍微離開鋼筋表面所形成之 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，為層狀且孔隙多並且形成不附著於鋼筋之鐵銹層，形成這樣的銹層時，更易加速腐蝕反應，使鐵銹量增加。在此情況下，若有氯離子在近旁時，氯離子易受陽極所吸引，因此鈍態將愈難存在。

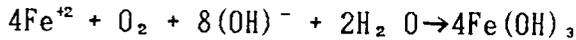
## 2. 混凝土結構物防蝕機構

有充分氧氣與水之供應下，鋼材才可能腐蝕。若未受氯化物影響及中性化之健全混凝土，其中之鋼材大致不易發生腐蝕。係因鐵離子仍貼緊於鐵金屬上而被氧化，而有薄層之氧化膜將金屬鐵表面覆蓋。此氧化膜厚度約小於或等於 $30 \text{ \AA}$ （ $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ ）相當地薄，防蝕效果觀念如圖二所示。此種氧化膜之腐蝕速度相當地低通常稱為鈍態皮膜。

### (三) 氯化物之腐蝕

在健全之混凝土中之鋼材處於鈍態，然而在海洋環境下氯化物容易侵入。混凝土中之氯化物含量超過某一界限值，則鈍態將被破壞，對此現象之發生機構亦與鈍態一樣有氧化皮膜，吸著及競合等學說，例如圖四所示可想像為具有化學吸著性之氧原子或水分子擠進 $\text{Cl}^-$ 則將引起特異之吸著性。此部份之皮膜將發生破壞，鋼材將發生溶解現象。無論如何，在氯化物溶液中鋼材將會發生活性溶解，腐蝕速率增強，腐蝕風險性高。另一特徵為發生孔蝕現象，孔蝕之機構如同圖五所示，會產生圓形之蝕孔，在孔底會發生鐵金屬被溶解之陽極反應，在蝕孔外之鋼材表面發生陰極反應，而且由陽極反應所產生之鐵離子一部份擴散至蝕孔外，與溶存之氧氣發生

氧化作用所產生之氫氧化鐵。溶度小者沉澱於蝕孔入口而妨礙其它Fe<sup>2+</sup>擴散至外界。反應式如下：



因此蝕孔內之陽離子與陰離子為了保持平衡，水溶液中含有Cl<sup>-</sup>侵入蝕孔內，將使Cl<sup>-</sup>量愈趨增多。因為鐵之加水分解而使蝕孔內之PH值降低因此使得孔蝕繼續成長。在Cl<sup>-</sup>存在之情況下鋼材之Pourbaix圖如圖六所示，由圖中可判定鈍態，孔蝕或全面腐蝕等之範圍。

#### (四)巨大腐蝕電池 (Macrocell Corrosion)

上述為局部電池(Micro Cell)腐蝕，若陽極與陰極距離較遠所產生之腐蝕稱為Macro Cell腐蝕，形成原因為鋼材或混凝土不均一所致，分為濃淡電池與活性動態電池兩類討論如下：

##### 1. 濃淡電池

在混凝土中PH值，Cl<sup>-</sup>，O<sub>2</sub>之濃度分佈不均，高濃度者為陽極，低者為陰極，因此促進腐蝕反應，海洋環境下之混凝土常可見到因氯離子或氧氣所造成之濃淡電池腐蝕現象。

##### 2. 活性-鈍態電池

因混凝土龜裂等影響Cl<sup>-</sup>及O<sub>2</sub>之濃度分佈特別不均一之情況，鋼筋上部呈現活性或仍維持鈍態，呈活性區域為陽極，其它鈍態區域為陰極，陽極之面積較陰極為小情況，則腐蝕速度愈快。

#### (五)關於律速過程

腐蝕反應中陽極與陰極同時具有同一化學當量進行反應，若任一反應因某種理由受抑制時，則其受抑制反應之速度即變為腐蝕速度。抑制之過程稱為律速過程。海洋環境下混凝土結構物中鋼材之腐蝕必須考慮律速過程。氫氣、水及鈍態等均對鋼材之腐蝕速率造成影響，在海洋環境下有充分之水供應，因此水不為律速過程因

素。混凝土密實情況氧氣不易侵入，如果陽極反應以 $10^6 \text{ nA/cm}^2$  ( $10\text{A/m}^2$ ) ( $1\text{nA}=10^{-9} \text{ A}$ ) 以上之腐蝕速率進行。陰極反應所需之氧氣因缺乏之故，所以腐蝕速率僅為  $10^3 \text{ nA/cm}^2$  以下，此為氧氣成為速率過程之原因所在。特別在海洋環境下，氯離子容易侵入，不動態被破壞之可能性極高，而關係到氧氣之供給成為速率過程之情形較多。

鈍態為速率過程之原因為混凝土之厚度薄或無密實、氧氣供應充分且被覆薄，水灰比高且無氯化物自外界侵入之混凝土部材，此對建築物混凝土具有這種可能性較高，在海洋環境需考慮飛沫帶之混凝土部材發生鈍態為速率過程之可能性。

### 三、混凝土受氯化物之侵襲

海洋環境下，海水容易接觸混凝土部材表面，而海水中所含 $\text{Cl}^-$  會滲透侵入混凝土中，以下概述 $\text{Cl}^-$  自混凝土表面入侵到達鋼表面之過程，混凝土龜裂或未龜裂之情況將分別加以討論。

#### (一)無裂縫情況

在海水化學成份中除氯離子外，尚含有各種離子，而影響混凝土中鋼筋之腐蝕之因子中僅為氯離子侵至鋼筋處。

氯離子在混凝土中之擴散被認為遵循 Fick 原理即：(5, 6, 7)

$$C/C_0 = 1 - \text{erf}\left(\frac{X}{\sqrt{2Dt}}\right)$$

式中X：侵入混凝土之深度

C：於X地點之氯離子含量(%)

$C_0$ ：X = 0處(混凝土表面)之氯離子含量(%)

D：氯離子之擴散係數 ( $\text{cm}^2/\text{Sec}$ )

t：經過時間

表一為碼頭建造經過15年或20年在靠近潮汐區棧橋底版之氯離子含量。根據此資料所計算得之混凝土表層之氯離子擴散係數  $C$ 。將表中資料③繪於圖7 與實測值比較相當接近。表二為混凝土岸壁及護岸之建設15-44年後在感潮帶稍微上方之飛沫部位置之氯離子含量。規範中規定混凝土伴合使用海水其氯離子含量約為0.25%(對水泥漿之重量比)。

圖8 為在日本茨城縣鹿兒港浸於海中15年之混凝土方塊中之氯離子含量，圖中可見氯離子侵入深度為7 公分之氯離子含量為0.25%而與圖7 中飛沫帶比較，氯含量似乎稍多，圖9 為埋於海床下之預鑄混凝土樁 (Precast Reinforced Concrete Pile)之氯離子含量，由圖中可見雖為預鑄混凝土樁而亦有多量之氯離子侵入其中。如上述，氯離子將侵入處於海洋環境下之混凝土結構物，影響之要因將在下章詳述。例如表三為使用不同之水泥種類製作之15cm $\Phi$ ×30cm圓柱體曝露在海中達10年，保護層厚度為2 公分，4 公分及7 公分時之氯離子含量，可見水泥種類不同將影響水泥品質及氯離子含量。

## (二) 龜裂情況下

混凝土結構物發生龜裂時，氯離子沿裂縫侵入或由於混凝土毛細管吸收現象而使氯離子容易到達鋼筋表面。

龜裂可能發生於混凝土結構體表面或內部，裂縫形態相當複雜，如圖10為一範例，圖11示由於龜裂造成混凝土與鋼筋之剝離之現象，比較本情況與無龜裂之情況，氯離子更易到達鋼筋表面，而且二氧化碳及氧氣等對腐蝕有害物質亦易侵入。

## 四、沿鋼筋方向龜裂發生腐蝕機構

圖12示海蚶波濺區之 RC 結構物鋼筋腐蝕過程，自工程建造完成後，氯離子侵入，蓄積於混凝土中，擴散至鋼筋處而使鋼筋發生腐蝕，體積膨脹造成龜裂至目視可見之腐蝕程度之發展。

結構物施工完成後，短時間不會有任何異常，而飛來之鹽份附著於混凝土表面

馬上進行蓄積於混凝土內部，因此混凝土中之鋼筋開使發生腐蝕，混凝土表面可以看見銹汁流出，而鋼筋表面像鱗狀般之剝離，腐蝕進行中可見沿鋼筋軸向發生龜裂，在外觀上有明顯的損傷，由此可判定混凝土已喪失保護防蝕機能。

由於產生龜裂、腐蝕因子容易侵入，因此腐蝕進行迅速，局部腐蝕(Micro Corrosion)作用增強；使得腐蝕機構變化複雜。雖然在外觀判斷裂縫寬度為小及長度為短為輕度腐蝕，然而內部鋼筋已進行腐蝕中。隨著劣化之進行，混凝土保護層厚度與周圍之濕氣條件因此可能可在混凝土表面看見銹斑。

而發生龜裂之補修工作相當困難，由於鋼筋保護層已失去保護功能而且混凝土已積蓄多量鹽份，混凝土已發生惡化之故。如果能夠阻止惡化繼續進行，使耐荷力在安全範圍內，則可維持結構物之使用功能，因此必須要確立防蝕效果佳之對策判斷，因此防蝕困難，需進行補修及補施工作。

## 五、腐蝕影響要因

海洋環境下，港灣混凝土結構物中之鋼材發生腐蝕之影響要因分述如下：

### (一) 混凝土品質

混凝土品質優良則可阻止氧氣、濕氣、氯離子等對腐蝕影響之有害物質之侵入，另外混凝土本身含有害物質亦影響腐蝕。影響混凝土品質之要因如水泥之種類、骨材、水灰比，養生與透氣性及 $Cl^-$ 來源等將分別討論如：

#### (1) 水泥種類

表四顯示三種不同水泥作為混凝土材料製成試體曝露於潮汐帶之試驗結果，表中可見氯化物侵入量，隨侵入混凝土表面增加而遞減而高爐水泥與卜特蘭水泥比較，其氯化物侵入量較少，使用AE減水劑與普通卜特蘭水泥相差不大。另外也有早強卜特蘭水泥，中庸熱卜特蘭水泥或加飛灰等，然而其氯離子侵入量不比普通卜特蘭水泥多。所以欲降低氯化物侵入量應適當地選則水泥種類。

#### (2) 骨材

骨材對氯化物之侵入量之影響性比水泥種類小，圖13示使用天然骨材與人工

輕質骨材所製成混凝土氯化物之滲透量，水灰比70%情況下，使用後者僅為前者之半。水灰比40%情況下，則相差不大。

### (3) 水灰比

水灰比低則可提高混凝土之透水性可使混凝土之強度增加并並抵抗海水中各種鹽類之侵襲，提高對凍結融解及磨耗之抵抗性，增加結構體之耐久性，圖14為水灰比與滲透係數之關係，水灰比愈小，則滲透係數愈降低。骨材愈小，混凝土中孔隙路徑就愈增長，因此透水性就愈低如圖15所示。

水灰比與鹽份滲透量之關係如圖16為水泥砂漿試體暴露於海中二年，以水灰比0.5與0.6兩種情況比較在侵入1公分以內者水灰比高者，其鹽份滲透量較低，但超過1公分則鹽份滲透量不隨水灰比而變，而水灰比0.4與0.5比較則在侵入2公分內者水灰比低者滲透量較低，而超過2公分者，則相差不明顯，由此圖可見水灰比與鹽份之分佈關係並不顯著。而關於圖17中則可見含鹽量隨水灰比增大而遞增。

因此日本混凝土學會所定海洋混凝土結構物之防蝕指針規定若施工條件良好情況下水灰比為44~50%，而施工條件不良情況則水灰比為40~45%，比一般土木學會對於陸上工程所定之標準較為嚴格，上述水灰比範圍，低者適用於飛沫帶，高者為海中。而混凝土之抗壓強度與透水係數之關係如圖18所示，透水係數將隨抗壓強度增加而遞減。

在海洋環境下，為了製造能具有充分防蝕能力之混凝土時，需以富配比之水泥含量，使工作度增加，而且能使混凝土能與鋼筋結合達到鋼筋密實，由於單位水泥量增加；因此對於海中之鹽類之化學性抵抗能力將增大，故可提高耐久性，然而如果單位水泥量使用過量時，薄的斷面將發生乾燥收縮，在厚斷面由於水和熱發生膨脹收縮，致使混凝土發生龜裂之可能性大，因此一般使用每單位立方米之水泥重以500kg以下為宜，在海洋防蝕指針如表五所示者為施工條件及環境條件下最低單位水泥用量之標準值。

### (4) 養生與透氣性

前面已概述有關海氣象惡劣環境對於氯離子侵入混凝土之擴散現象及混凝

土之透水性影響鋼筋之防蝕即及耐久性之現象。如果沒有氧氣供應，則鋼筋不易生銹，有關混凝土對於氧氣通過之抵抗性研究論文並不多，而在腐蝕環境下混凝土之透氣性為結構物之耐久性必要之研究專題。

神田等(12)曾列舉施工上之缺陷將影響混凝土之氣密性，透氣性比透水性之容積小600~3000倍，顯示極為敏感，因此施工上之缺陷對於混凝土之氣密性影響很大，圖19為養生條件乾燥條件與透氣性之關係，剛開始置於養生室時，透氣性較大，隨著材齡增大，則透氣性將愈小。而且放置於試體膜中比置於水中養生之結果較差，因此可見脫膜後再由水之供給養生是增加氣密性之必要工作。

#### (5) 其它施工要因

為了使海洋混凝土結構物能發揮耐久性之功能，對於材料之處理，混凝土之製作，夯實、養生等必須比陸上一般結構物之施工更嚴格，必須製作均質及密實之混凝土，因此在材料儲存，搬運及加工上必需注意不受海水及海風之直直接影響，而且鋼筋等鋼材之頭部必須確保端正，混凝土施工時必須確保模型不要移動，要固定。混凝土表面有間隔物 (Spacer) 等必須使用與混凝土結構物本體同等之品質。施工接縫為防蝕上最大之缺點，該部位發生損害之機率大多，因此在飛沫帶盡量不要設施工接縫。

#### (6) 混凝土拌合中含有 $Cl^-$ 或 $Cl^-$ 自外界侵入

混凝土中鋼材腐蝕，影響因素最大者為 $Cl^-$ ，其來源有二。一為混凝土拌合材料骨材、水、水泥及滲料中含有 $Cl^-$ ，另一來源為自外界侵入，前者稱為內在 $Cl^-$ ，後者為侵入 $Cl^-$ 。

在內在 $Cl^-$  最多之情況為使用海水拌合，使用海水與自來水作混凝土試體分別在相同之養生條件下，然後常期曝露在海洋環境下，測定混凝土之氯離子含量，可以知道內在與侵入 $Cl^-$  量之差別。

表六說明使用海水及自來水製成混凝土試體，曝露在感潮帶10年，測定不同保護層厚度2公分、4公分及7公分在各種不同之水泥種類下之含量，普通卜特蘭水泥之 $Cl^-$  含量比高爐B種水泥為多。在普通卜特蘭水泥情況下比較使

用海水與自來水拌合，使用自來水者其表面層之 $Cl^-$ 含較多，顯示由外界侵入之 $Cl^-$ 量增多，在海洋環境下，長時間受海水影響，拌合水中含 $Cl^-$ 較侵入之 $Cl^-$ 影響性小，主要還是受環境之影響。

表七示不同之水灰比使用自來水及含鹽量不同之海水拌合製成水泥砂漿試體之配方。同時在試體中埋設鋼筋並曝露在大氣中，潮汐帶及海中到材一年後觀察鋼筋腐蝕狀況，可瞭解鋼筋腐蝕受內在 $Cl^-$ ，水灰比及曝露條件之影響性。表八則說明鋼筋腐蝕程度判定標準。而在圖20為材齡與腐蝕程度之關係，根據此圖顯示材齡低之情況下腐蝕程度受內在 $Cl^-$ 量所影響，材齡達1年時則用海水拌合與自來水拌合之腐蝕程度一致，而養生條件下以海中養生腐蝕最大，潮汐帶次之，大氣區腐蝕程度較低。由此可了解環境因素對於腐蝕之影響性。

## (二)鋼筋表護層厚度與龜裂寬度

混凝土龜裂寬度越小及鋼筋保護層厚度愈厚則混凝土外界對腐蝕之有害因子侵入結構物中造成腐蝕之機率就愈小，這是很明顯之現象，而保護層厚度以及龜裂寬度如何對鋼筋腐蝕造成影響將討論如下：

### (1)控制鋼筋保護層厚度及龜裂寬度應注意事項

鋼筋保護層厚度及龜裂寬度，則可減少氯離子及氧氣之侵入量，而且亦可減少中性化進行之要因二氧化碳之侵入量。控制之目的大概有兩種想法：一為混凝土中鋼材之不動態在耐用期間內可以完全地保持，希望能完全阻止生銹。

另一為鈍態可允許破壞至某種程度，容許生銹至某種程度但必須減緩腐蝕之進行速率，能控制在耐用期間內對於使用機能不至發生影響。前一想法為混凝土中不容許有 $Cl^-$ 附著於鋼材上，因此50年之耐用年限，至少必須有10公分之保護層厚度。絕不容許混凝土有龜裂現象。所以對於材料之品質必須要求嚴格，原則上使用材料中不得含有 $Cl^-$ 量。水灰比亦需在40%以下。為控至龜裂必要時需採取預力混凝土，這種想法適用於巨型而且非常重要之結構物例如海域石油生產平台，海洋原子能發電等，為達到防蝕目的需考慮在混凝土表面全面性塗刷防水防鹽份之塗膜及使用鋼筋塗裝環氧樹脂。而後一想法為容許 $Cl^-$ 有某一程度侵入及

發生裂縫。不過 $Cl^-$ 及氧氣侵入要抑制在某一程度以下。使得在耐用年限內，鋼材之腐蝕量可在容許範圍內。這種想法在過去港灣結構物設計已被採用。在耐用年限內鋼材之腐蝕可分為兩個階段第一階段唯為自施工完成後至開使發生腐蝕（時間以 $t_0$ 表示），而第二階段為自發生腐蝕以後到腐蝕程度對於結構物之使用已構成不能容許之程度（時間以 $t_1$ 表示）。

$t_0$ 。是否可被認為與耐用年限比較可以忽視呢？並非如此。認為不容忽視而需在設計時詳加考慮防蝕。在 $t_0$ 。被認為比較短之情況為結構物部材置於海水中或潮汐帶，建造後承受之負載超過設計荷重而發生彎曲龜裂現象。因而混凝土中之鋼材與海水接觸或混凝土使用材料中已含有足夠之 $Cl^-$ 破壞鋼材之鈍態之情況。於是造成鋼筋開始發生腐蝕，後者可由選定適當之使用材料而加以避免。而前者因破壞鋼材之鈍態現象在鋼筋混凝土中為不可避免的，而使用預力混凝土建造則相當不經濟，因此在這種情況下，對於防蝕鈍態被破壞及腐蝕之發生，不得不考慮如何抑制氧之供給，使達到抑至腐蝕之效果。至於有關抑制氧氣侵入可以考慮混凝土製作密實，保護層厚度充足及龜裂寬度相當小等項，而在 $t_0$ 。為認定為比較長之情況為部材不直接與海水接觸及位發生龜裂現象之情況，在這種情況下易需考慮保護層大及龜裂寬度越小越不會開始發生腐蝕。不過其條件比前述的比較有相當放寬之現象。還有容許生銹之程度問題，在鋼筋軸向發生龜裂則容易發生銹蝕，如果保護層越大軸向之龜裂救難於發生。

## (2) 保護層之效果

將混凝土圓柱型試體（ $15cm\Phi \times 30cm$ ）其中埋入鋼筋（ $9mm\Phi \times 18cm$ 長之丸鋼）在潮汐帶曝露10年實驗發生鈍蝕情形加以檢討。

混凝土之配合比較條件為粗骨材最大粒徑為 $25cm$ ，單位水泥重為 $290kg/m^3$ ，坍度為5公分，水灰比約為50~55%鋼材之保護層後度分別為2公分，4公分及7公分而且試體不允許有龜裂，圖21為混凝土試體之配筋情形。經過10年後，將混凝土試體割裂取出鋼筋觀察銹蝕情形，測定其腐蝕面積。於表九及表十示不同保護層厚度下之鋼筋發生銹蝕之程度及腐蝕面積率。根據這些表可知保護層越大，則發生腐蝕之可能就越小，腐蝕量也愈小。

### (3) 龜裂寬度與腐蝕

有關龜裂寬度與混凝土中鋼材腐蝕之關係有兩種不同之看法，第一種看法認為混凝土龜裂寬度增大則容易發生腐蝕。表11列出許多支持此一觀點之實驗結果。而表面裂縫寬度為 0.1~0.2mm 為一臨界值。另一觀點為Beeby 及 Fjeld等學者曾做過許多實驗果證實龜裂寬度與腐蝕關係在剛開始時，若龜裂寬度，則在短時間內就會發生腐蝕，而後腐蝕速率主要由混凝土品質所控制而與龜裂寬度無關，這雖然是一很有趣之想法，而一般仍支持第一種看法，即腐蝕量隨龜裂寬度增加而遞增。

混凝土品質與龜裂之關係為品質佳者，龜裂對腐蝕之影響為小，而品質差者，則裂縫寬度之影響性較小，其理由為品質差者其孔隙多，因此氧氣及氯離子侵入混凝土之擴散係數亦增大，因此不論有無裂縫存在，腐蝕因子都會迅速地侵入。在品質優良之混凝土情況下，腐蝕因子只能從龜裂處侵入。宮川曾進行過龜裂混凝土不同水灰比情況下自然腐蝕電位之測定（圖22）在此圖中顯示水灰比大（混凝土變壞）龜裂試體之自然腐蝕電位較低（圖22）腐蝕電流低（圖23），因此可以說品質差之混凝土，其鋼筋腐蝕不受裂縫寬度所影響。

### (4) 龜裂寬度與負荷關係之檢討

考慮控制混凝土龜裂，有關龜裂寬度有許多不同之觀點，而檢討用何種荷重以控制龜裂寬度，例如表12為 CEB-FIP 及 FIP 之看法，而應以使用狀態下或是荷重頻率來檢討龜裂寬之極限值。使用荷重超過某一定荷重之持續時間（龜裂寬度限制值以上對應荷重之持續時間）何種程度之荷重頻率（對應於某點龜裂寬度發生頻率之對應荷重），以下敘述後者。

如考慮荷重發生頻率，以複現期考慮 (a) 複現期=0 (相當於永久荷重) (b) 1分鐘 (c) 1 小時 (d) 1 日 (e) 1 週 (f) 1 月 (g) 1 年 (h) 10年及 (i) 構造物預定耐用期間。那一種複現期之負荷能夠控制龜裂呢？站在鋼筋混凝土之防蝕觀點意義相差很大，例如道路橋、鐵路橋應以公稱荷重或荷重頻率定義較明確很難說。不過在交通量多，超載卡車多之大都市一等橋與幾乎沒有交通量地方之一等橋使用同一公稱荷重，則由荷重控制龜裂寬度時，其意義會相差很大而海洋混凝土結構物承

受之波力、若沒有明確定出以某一波高頻率作為控制龜裂寬度之對象，則不太可能訂出合理的龜裂寬度之規定。

考慮荷重頻率訂出合理裂縫寬度之重要性，舉一港灣混凝土結構物其負荷與波高成正比為考慮因素，例如以圖24為日本金沢港一年中波浪之波高週期相對出現次數之波浪特性加以說明。如果荷重頻率複現期間為一分鐘，對應之總出現次數約為 $5 \times 10^5$ ，由圖中可看出所對應之波高約為1公尺。假設一年內出現總出現次數為1000次時對應波高為6公尺，而一年內總出現次數約為10次時波高約為12公尺。假定混凝土所承受之荷重與波高成正比時，若每年波高出現之總次數為 $5 \times 10^5$ 次或10次，則荷重相差約12倍。因此如果不考慮荷重出現頻率而僅以強度設計或將裂縫寬度規定為0.1mm或0.2mm作為設計標準，似乎無意義，理由為對應一年總出現次數多者與少者均以考慮限制裂縫寬度為0.3mm設計，後者承受之荷重較大，因此都以一定之龜裂寬度為設計容許值是否合宜值得商榷，荷重之定義未明確時，則無法作合理之裂縫控制。

#### (5) 龜裂寬度之定義及容許值之推算值

如前述裂縫形狀相當複雜到底應以那個位置之龜裂寬度為準為一大問題，通常以混凝土結構物表面之最大龜裂寬度作為考慮。而有關龜裂寬度容許值之推算有許多經驗公式例如鋼筋混凝土結構物有 Gergely-Lutz 公式，CEB-FIP 公式（1970年及1978年式）及角田公式等。而預力混凝土結構物有CEB-FIP 公式（與RC相同）Nawy-Hawng 公式及 Bennet 式等。各種公式主要參數之取用大都有理論之特徵，根據實驗資料決定係數但是都是經驗或半經驗公式，算式大同小異。一般常用 CEB-FIP 式及 Gergely-Lutz 式，將來期望能僅用一公式可適用於各種基準。

#### (6) 保護層厚度與龜裂寬度有關之規定

如上述說明了保護層厚度與龜裂寬度之控制但在實際結構物設計時需要過果斷的工學判斷，此依各國、機關、個人而有所差異。如表13及表14說明各國以及個機構所制定有關控制鋼筋或預力混凝土在飛沫帶、大氣區及海中受鹽份作用大其保護層厚度及龜裂寬度之設計施工規定值，由於混凝土中鋼材之腐蝕理論研究尚未相當完整，因此這些數據並非算是絕對的。

### (7) 保護層厚度與龜裂寬度之相關性

由表13及14可見僅規定保護層厚度或龜裂寬度，而未考慮兩者之相關性，假如保護層轉厚時，龜裂寬度是否可以稍大些，若裂縫控制為微小些，則保護層是否可以縮薄，而同樣可以具有防蝕效果，圖25說明混凝土結構體置於海中，保護層厚度、龜裂寬度與氧氣供給量之關係，由於鋼筋混凝土腐蝕機構中腐蝕量與氧氣供給量成正比，因此例如圖中A、A'、A''及B、B'、B''分別為同一腐蝕量情況下，保護層厚度與龜裂寬度之關係，保護層厚度若較大，則所允許之龜裂寬度亦相對地增加，如表15為日本土木學會「混凝土構造的限界狀態設計法指針(案)」所定出之標準。保護層厚度轉厚則腐蝕量較低，將來研究及設計法應朝此方向努力建立保護層厚度、龜裂寬度與腐蝕量之關係。

### (三) 結構形態

在海洋環境下，由於結構形態不同，受鹽害之情形亦不同，棧橋及浮體結構較亦受鹽害，其它如L型塊碼頭，沉箱受鹽害例較小，至於結構部位如樑、橋底板之水平方向和栓壁之鉛直方向較易受鹽害，既時是在同一棧道上，鹽害程度亦因部位而異。

在日本於昭和40年所建之N棧橋，結構型式如圖26所示採用打鋼管樁，而上部結構為以現鑄RC結構施工。RC使用水泥材料為普通卜特蘭水泥，強度為 $210\text{kg/cm}^2$ ，坍度為15cm，粗骨材最大粗徑為25mm水灰比50%鋼筋直徑使用13,16,19及22mm，保護層最小為7公分。建設20年後進行含鹽量與目視外觀檢查發現橋面底板混凝土剝離，鋼筋露出及發生銹蝕，石灰很明顯地游離。在樑之底面和側面發現龜裂，代表性樑和橋面底板之含鹽量如圖27所示，根據圖8所示在保護層7公分下含鹽量為混凝土重量之0.25%為腐蝕之臨界值。

另一範例為N棧橋如圖28所示，為計劃水深10公尺下鋼管樁突堤式棧橋結構，上部結構為現鑄鋼筋混凝土，沒有施工記錄及混凝土資料，不過由慣例推想為使用普通卜特蘭水泥，根據配比分析推定水灰比為50%，鋼筋探查機測定保護層厚度為5公分。目視檢查發現樑及橋面底板有數處龜裂，而未顯著地發現有混凝土剝離，

銹汁和鋼筋露出之現象，代表性之樑與橋面底版之含鹽量如圖29所示。於此圖海側為靠船岸壁，在本棧橋中塊混凝土中之含鹽量為混凝土含量之0.15% 以下。

以上兩個棧橋之氣象條件大致相同，T 棧橋之吹風區域較長，波高較大，而 N 棧橋背後岸壁有波浪容易受反射而容易發生飛沫，而T 棧橋背後沒有岸壁，因為坡浪直接通過，較少有發生飛沫之現象。

根據以上調查結果發現海洋混凝土結構物建造數年後，氣象條件，施工方法及混凝土品質相似之棧橋然而構造形式之不同，則容易受到坡浪濺灑之部位，其含鹽量較高而且腐蝕惡化亦較為顯著。日本港灣技術研究所對所有日本港灣結構物目視調查及蒐集各港建造結構物形態發現腐蝕惡化事例大都為棧橋結構，其中以樑及橋面底版佔大部份，柱與壁發生惡化事例較少，因此建議碼頭結構盡量不要使用棧橋，僅可能採用沉箱或 L型塊岸壁，而且容易引起波浪濺灑，波浪直接沖擊RC結構之部位，氯離子較容易蓄積，鋼筋更容易發生腐蝕，因此在此部位之結構體必須特別加強防蝕。

#### (四)環境條件，施工及耐用年限

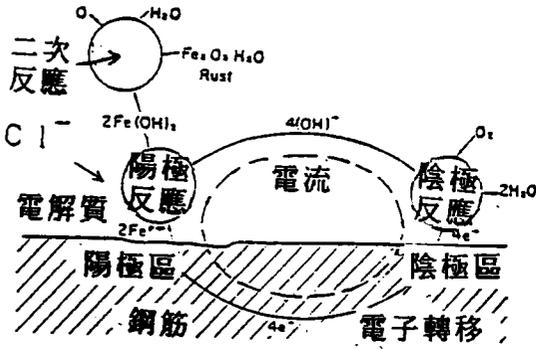
環境條件變化影響氯離子，氧氣和水之侵入量。特別是波浪濺灑區，鹽害程度較大。施工時品質控制不良未按設計所訂之保護層厚度，則將影響混凝土惡化，例如棧橋上部結構如果保護層不足，很容易發生劣化。施工技術良否影響到混凝土之透水性容易造成鹽害，在結構物建造後應定期檢查腐蝕進行速率了解各部位在耐用年限內能夠阻止腐蝕之容許值。

## 六、結論與建議

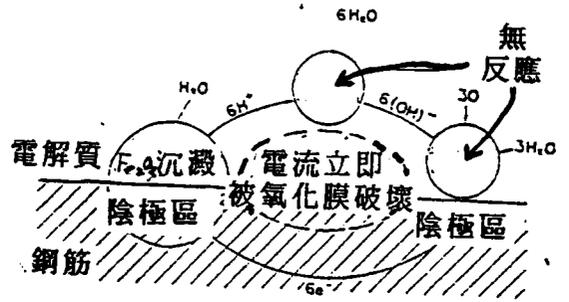
在海洋環境下鋼筋混凝土結構物之劣化機構相當複雜，至少尚未能完全被了解，建議在材料使用上，設計與施工上及維修保養等技術多予研究發展，相信可使結構物達到耐久性高。

## 七、参考文献

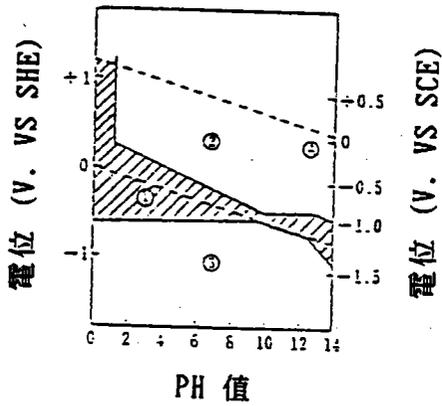
- (1) 大即信明、樫野紀元、片脇清土、小林明太、宮川豊章：鹽害 (I)、技報堂(株) 1986, 158P
- (2) C.Dehghanian & C.E.Locke: Electrochemical behaviour of steel in concrete as result of chloride diffusion into concrete - Part 2, Corrosion NACE. vol. 38. No. 9, Sep, 1982, pp. 494-499.
- (3) A.W.Beeby: Concrete in the Ocean - Cracking and Corrosion - Technical Report No. 1 CIRIA/UEG C CA. 1987.77 p.
- (4) K.G.Montana and N.D.Green: Corrosion Engineering McGRAW - Hill Book CO., P. 319-337.
- (5) 近藤連一、佐竹實、牛山宏隆：セメント硬化體中のイオン擴散、セメント技術年報28, 1974 pp. 55-61.
- (6) O.E.Gj  $\phi$ rv and  $\phi$ . Vennesland: Diffusion of Chloride ions from Seawater into Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 9, No. 2, 1979, pp. 229-239.
- (7) 大即信明、森好生、關博：海洋環境におけるコンクリート中 鹽素に関する一考察、土木學會論文報告集、第332 號、1983年 4月 pp. 107-108.
- (8) Y. Goto: Cracks from concrete around deformed tension bars, Journal of ACI, 1971
- (9) 依田、中島、中川：10年間氫海水の作用を受けた高爐セメントコンクリート、セメント技術年報35, 1981.
- (10) 西、大鹽、曾根、城國：コンクリートの海水に對する 水密性、セメント技術年報 34, 1980.
- (11) 日本コンクリート工學協會：海洋コンクリート 構造物の防食指針(案), 1983年 2月。
- (12) 神田、鈴木、小柳：コンクリートの透氣に関する 2.3の實驗、セメント技術年報 23, 1978.



圖一 鋼筋腐蝕反應概圖



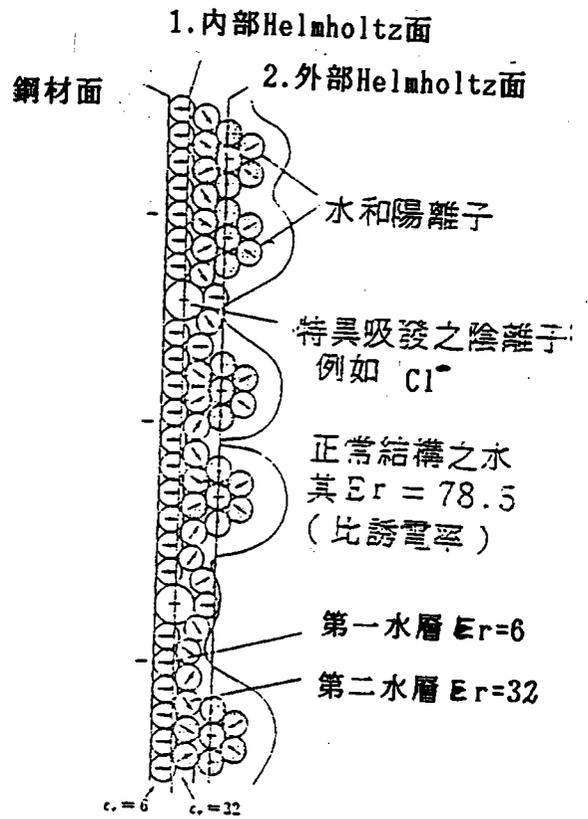
圖二 鈍態之效果



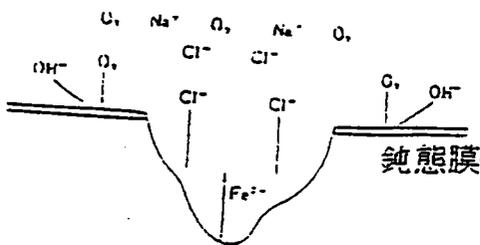
圖三 鐵之電位 PH圖

(不含氯離子之情況)

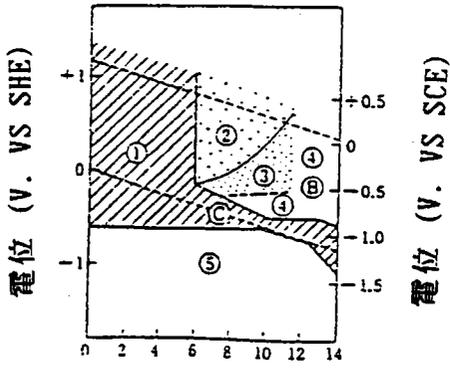
- ① 全面腐蝕
- ② 鈍態
- ③ 免銹區 (陰極防蝕)



圖四 赫氏電夾層

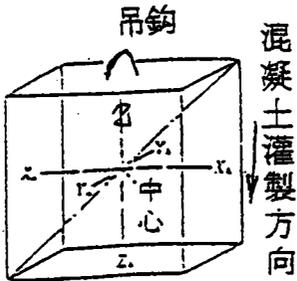


圖五 孔蝕之機構

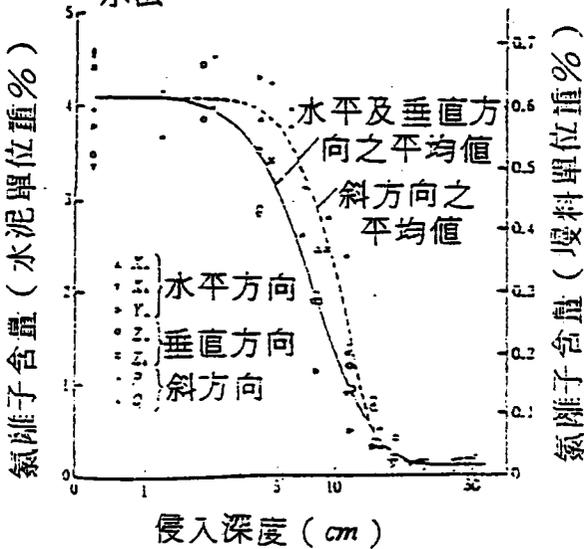


- ①全面腐蝕②孔蝕③不完全鈍態
- ④完全鈍態⑤免銹區（陰極防蝕）

圖六 鐵之電位 - pH 圖



- ②暴露於海中之混凝土塊
- 氯離子含量測定位置表示法



③含鹽量分佈

圖8 混凝土塊中氯離子含量

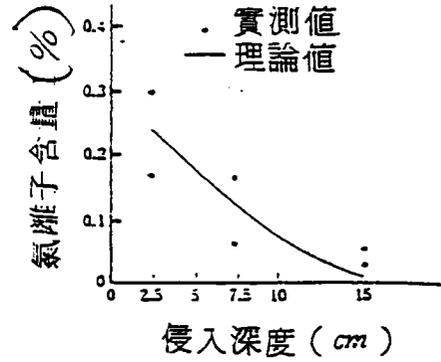


圖7 碼頭面底版含鹽量實測值

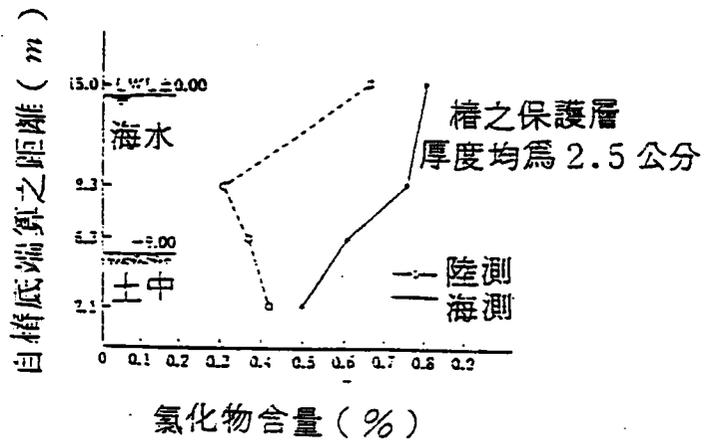


圖9 預力混凝土樁之氯化物含量

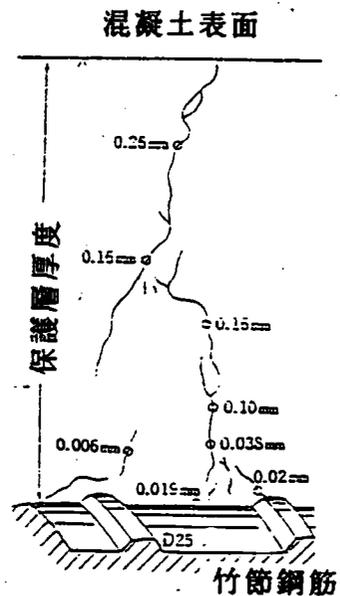


圖10 龜裂範例

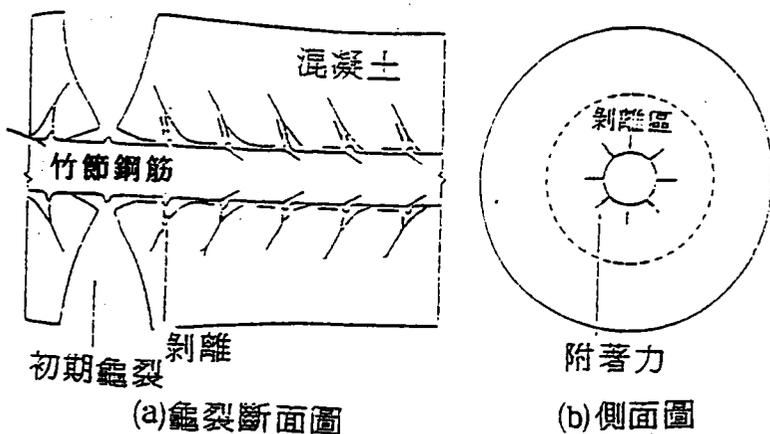


圖11 由於龜裂造成混凝土與鋼筋之剝離現象

鋼筋之腐蝕機構

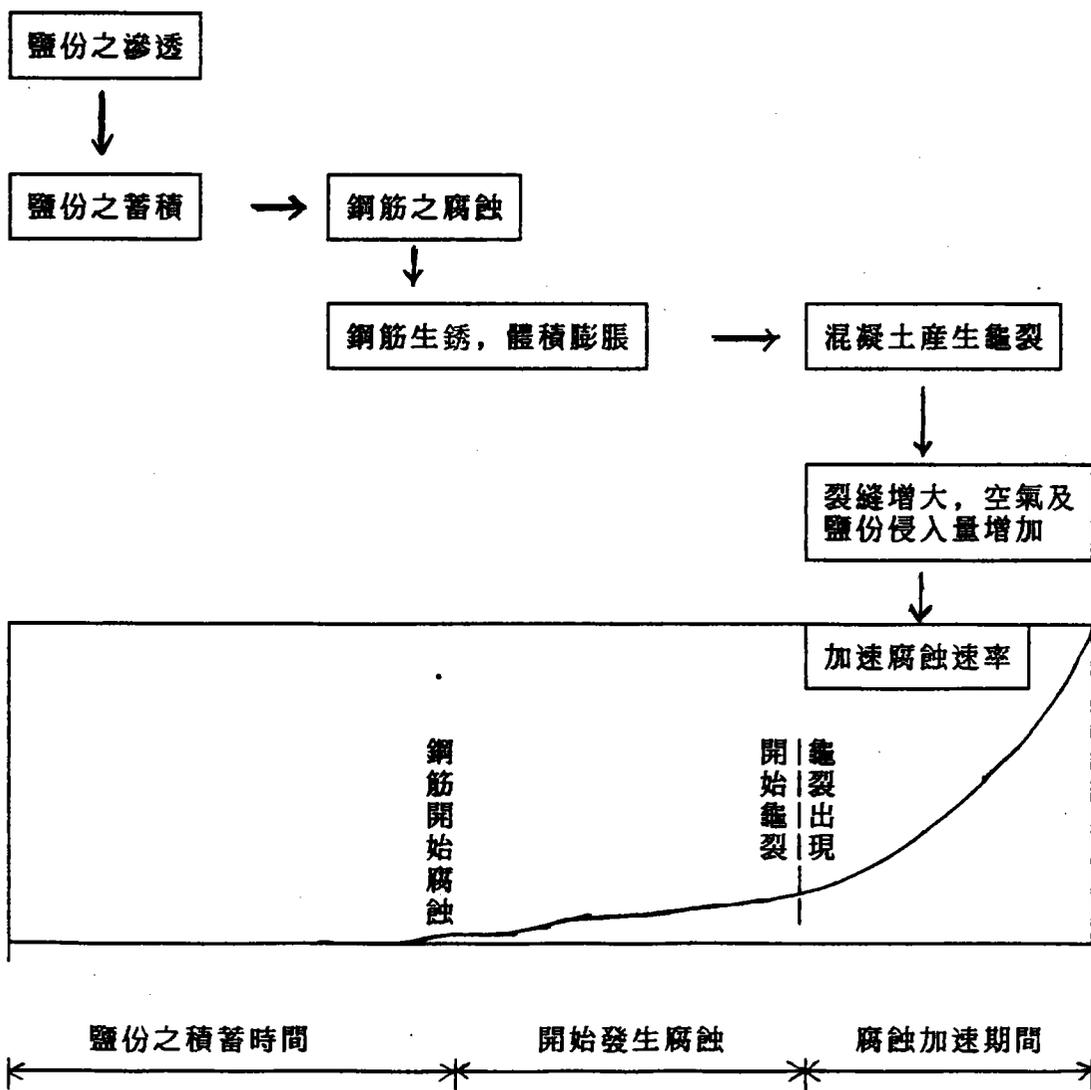


圖12 海洋溼潤試驗區之RC結構物鋼筋腐蝕過程

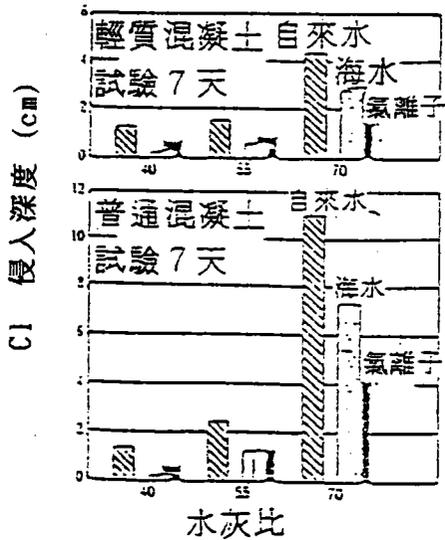


圖13 不同混凝土種類之水灰比與氯化物滲透深度之關係

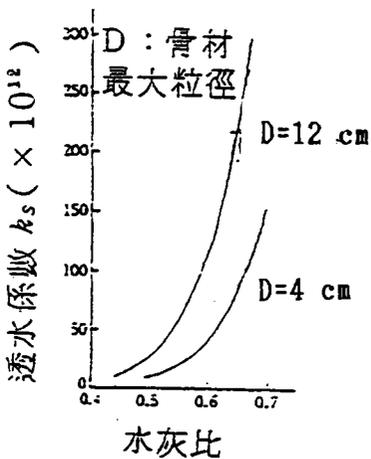


圖15 混凝土水灰比與透水性之關係

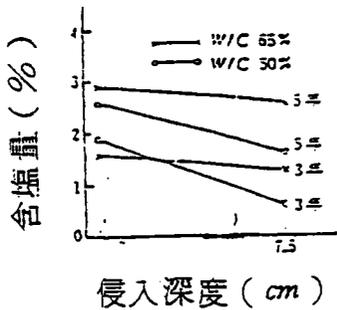


圖17 水灰比與含鹽量分佈

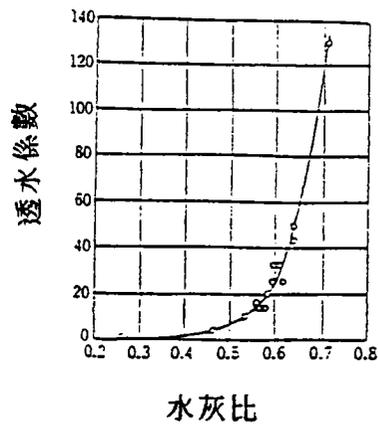


圖14 熱成水泥漿(水泥水和93%)之水灰比與透水係數之關係

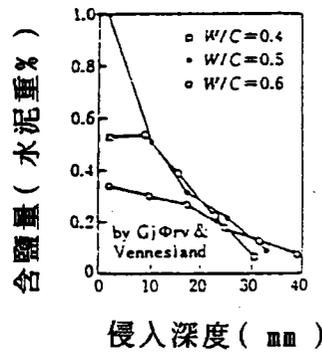


圖16 水灰比與鹽份分佈關係 (海中暴露二年結果)

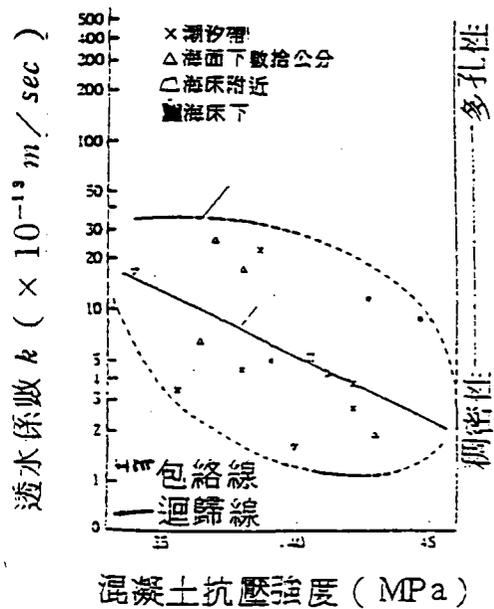


圖18 混凝土抗壓強度與透水係數

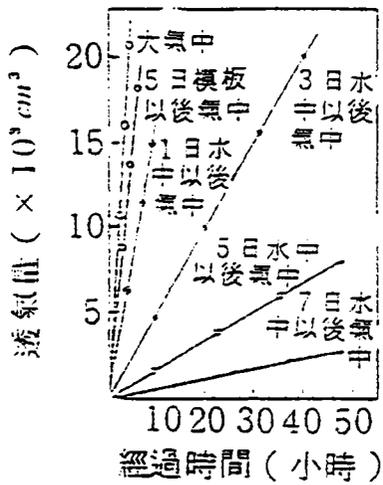


圖19 養生條件與氣密性關係

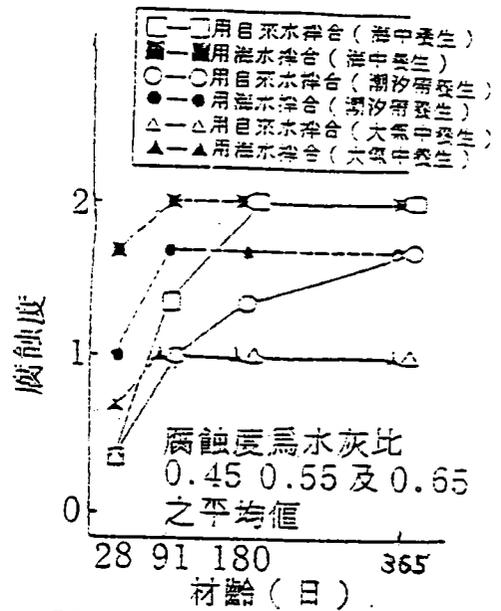


圖20 腐蝕度與材齡之關係

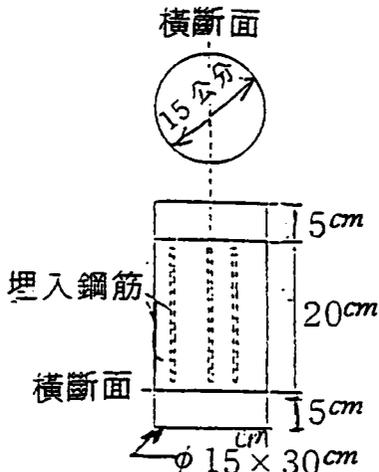


圖21 混凝土試體鋼筋配置

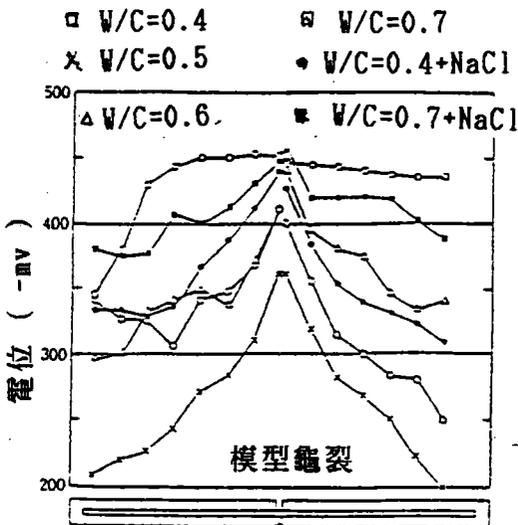


圖22 已龜裂模型試體之水灰比與電位分佈之關係

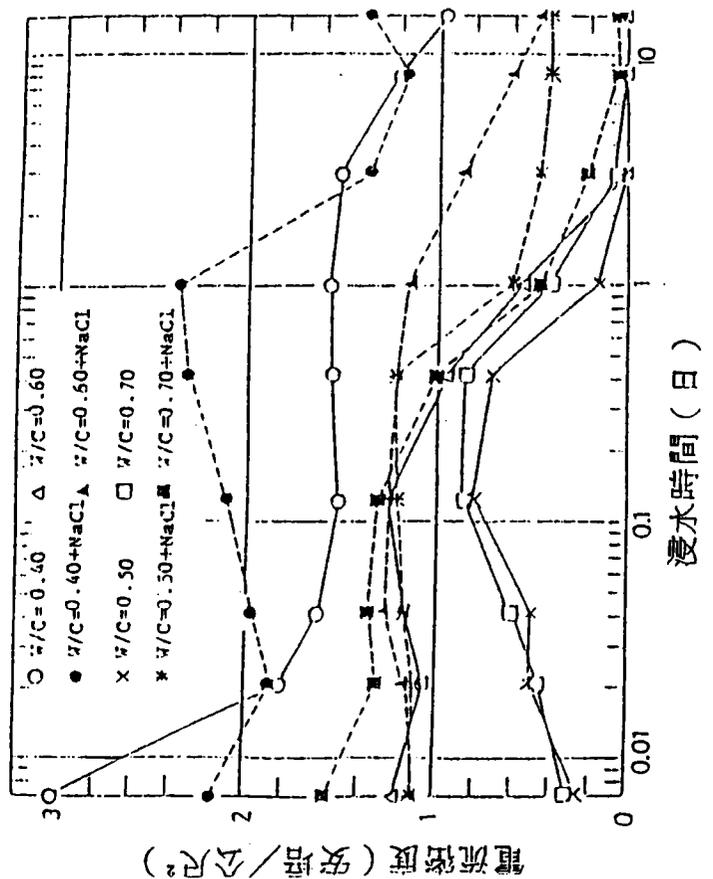


圖23 水灰比對電流密度之影響性

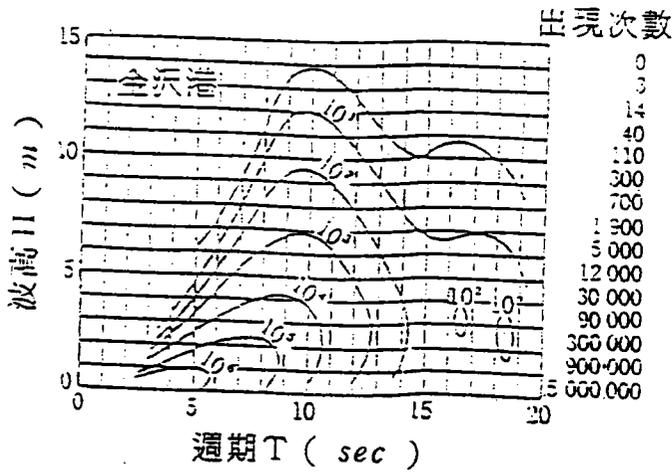


圖 24 波高與週期之出現次數關係範例

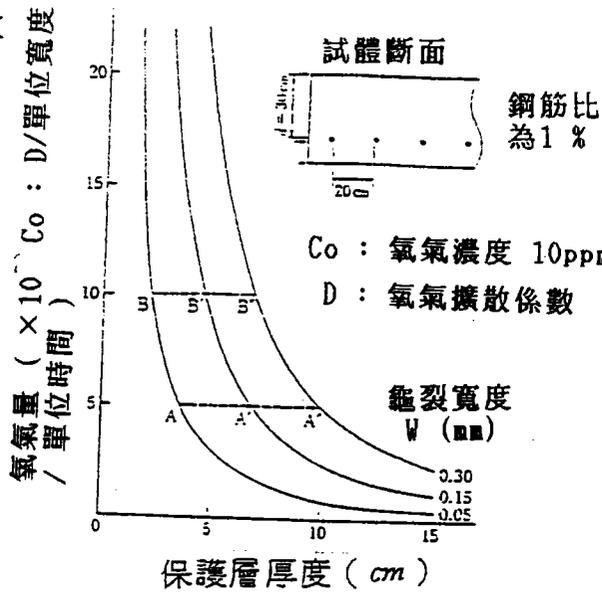
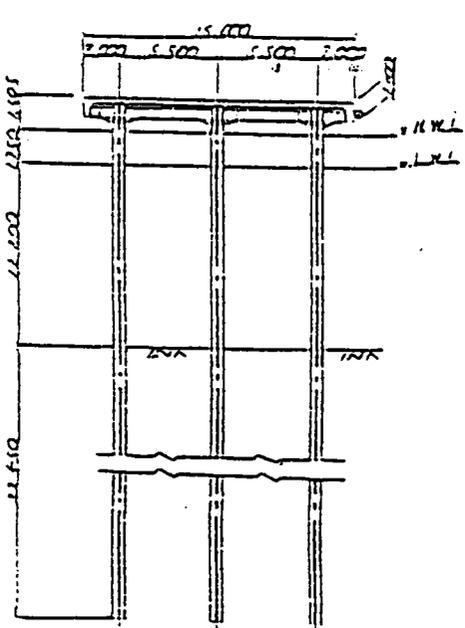
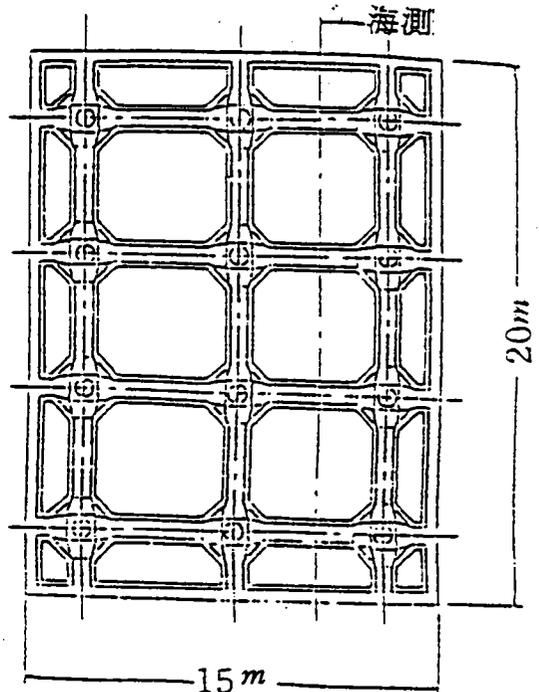


圖 25 保護層厚度、龜裂寬度與氧氣滲透量之關係



(a) 立面圖



(b) 平面圖

圖 26 T 棧橋式碼頭概圖

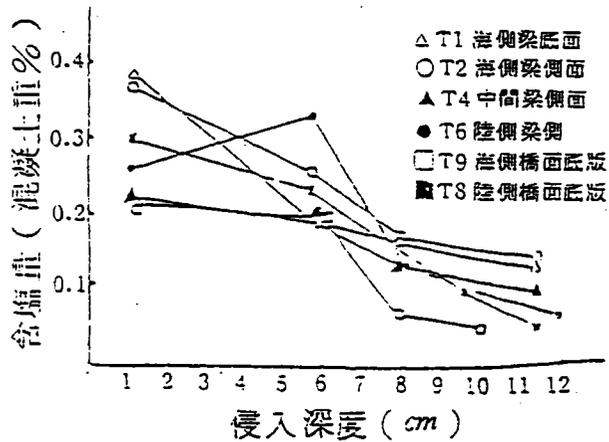


圖 27 T 碼頭下部結構之混凝土含塩量分佈

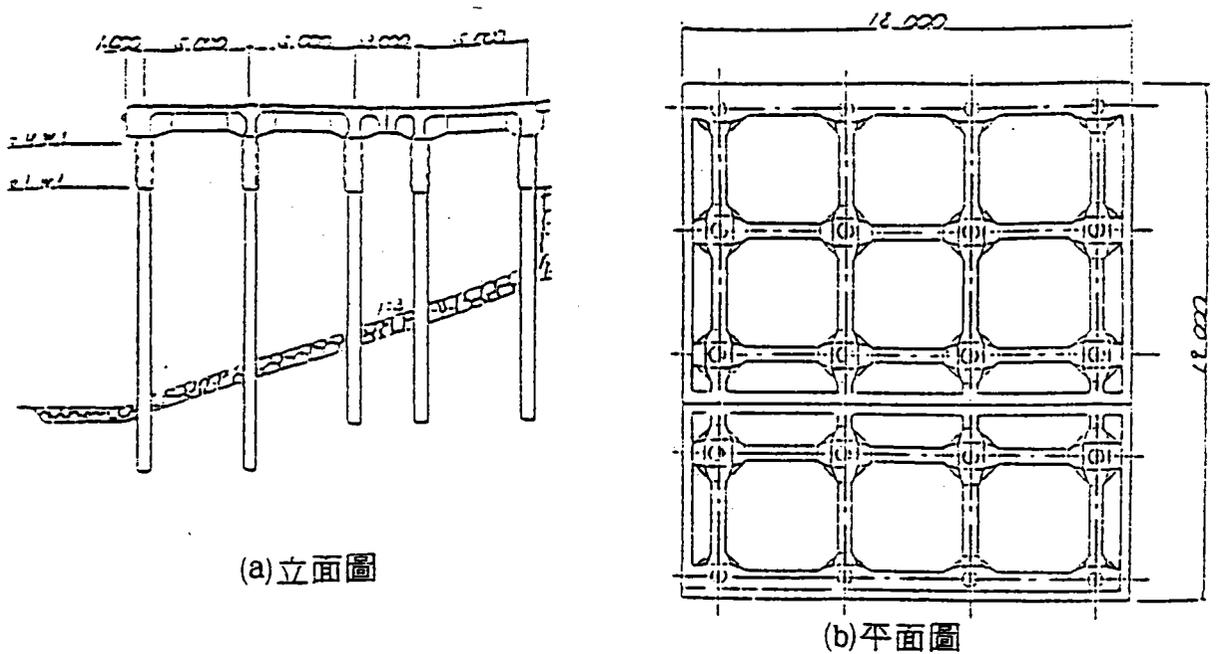


圖 28 N 碼頭概圖

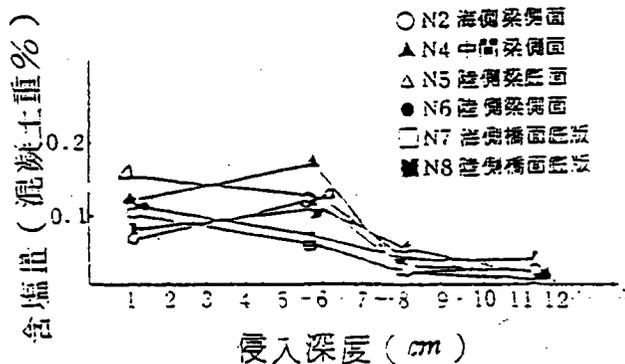


圖 29 N 碼頭上部結構之混凝土含塩量分佈

表一、碼頭之氯離子含量及外表之擴散係數

混凝土品質	保護層厚度 ( cm )	氯離子含量 (%) <sup>*2</sup>	材 齡 ( 年 )	計 算 值	
				C (%)	Dc <sup>*1</sup>
棧橋面底版 C=315kg/cm W/C=36%	2.5	0.08	20	0.10	3.9
	7.5	0.05			
	12.5	0.035			
	17.5	0.03			
棧橋面底版 C=430kg/cm W/C=43%	2.5	0.53	20	0.56	1.3
	7.5	0.21			
	12.5	0.10			
	17.5	0.02			
樑 部 份  W/C=50%	2.5	0.29	15	0.28	2.5
	2.5	0.16			
	7.5	0.10			
	7.5	0.06			
	15.0	0.02			
	15.0	0.05			

\*1  $\times 10^{-3} \text{ cm}^2 / \text{s}$

C : 水泥單位重

\*2 對水泥漿之重量比 (%)

W/C: 水灰比

表二、混凝土岸壁及護岸中之氯離子含量 (%)

結構物	材 齡	保 護 層 厚 度 ( cm )					
		0 ~ 4		8 ~ 12		16 ~ 20	
七尾港岸壁	18年	0.24		0.22		0.23	
		0.32	0.29	0.32	0.31	0.38	0.29
		0.29		0.37		0.34	
		0.29		0.32		0.21	
滝港護岸	44年	0.26		0.12		0.04	
		0.20		0.12		0.05	
		0.23	0.21	0.14	0.12	0.05	0.04
		0.23		0.10		0.02	
		0.13		0.10		0.05	
津港護岸	15年	0.13		0.08		0.06	
		0.08	0.10	0.07	0.07	0.06	0.06
		0.08		0.07		0.06	
宇治山田護岸	15年	0.10		0.05		0.08	
		0.07	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07
		0.08		0.09		0.07	

表三、水泥種類不同，Cl<sup>-</sup> 含量之差異

水泥種類	保護層 厚度 (cm)	氯離子含量 (對水泥砂漿重量%)
普通卜特蘭水泥	2	1.73
	4	1.55
	7	1.33
早強卜特蘭水泥	2	1.53
	4	1.40
	7	1.00
高爐水泥 B 型	2	1.08
	4	0.30
	7	0.40
高鋁水泥	2	0.35
	4	0.16
	7	0.08

表四、混凝土之中性化深度及含量

骨材之種類	劑之種類	水泥之種類	水灰比	混凝土中性化									
				深度 (mm)									
				1年	5年	7年	10年	5年	7年	10年	5年	7年	10年
河砂及粗骨材	無	B C P	55 51 59	0-3									
				3-6									
				5-10									
河砂及粗骨材	Poz S L	B C P	52 49 57	0.42	0.45	0.69	0.97	0.13	0.15	0.07	0.10	0.15	
				0.23	0.30	0.53	0.08	0.06	0.08	0.07	0.05	0.05	0.07
				0.50	0.42	0.94	0.19	0.18	0.54	0.03	0.12	0.29	
河砂及粗骨材	無	B C P	45 42 49	0.45	0.49	0.70	0.06	0.08	0.11	0.05	0.05	0.06	
				0.39	0.30	0.44	0.07	0.05	0.08	0.02	0.05	0.05	
				0.52	0.59	0.94	0.10	0.28	0.54	0.03	0.13	0.39	
輕質粗骨材	Poz S L	B C P	43 39 47	0.57	0.61	0.61	0.07	0.05	0.08	0.05	0.04	0.04	
				0.42	0.43	0.59	0.09	0.03	0.05	0.08	0.03	0.05	
				0.67	0.65	1.19	0.25	0.37	0.71	0.05	0.12	0.29	
人工砂	V L	B C P	55 51 58	0.62	0.78	0.78	0.08	0.10	0.21	0.04	0.06	0.11	
				0.45	0.58	0.69	0.12	0.07	0.14	0.06	0.06	0.12	
				0.57	0.80	0.86	0.23	0.43	0.56	0.08	0.18	0.32	

B : 使用高爐B種水泥  
 C : 使用高爐C種水泥  
 P : 使用普通卜特蘭水泥

表五、最低水泥單位重標準值 (kg/m<sup>3</sup>)

防蝕種類	施工條件	優良		不良	
	粗骨材最大粒徑(mm)	25	40	25	40
A 型		375	350	400	375
B 型		350	325	375	350
C 型		325	300	350	325

表六、混凝土之氯離子含量

水泥種類	保護層厚度 (cm)	全氯含量		水溶性氯含量 (%) *	
		W	S	W	S
普通卜特蘭水泥	2	1.73	1.65	1.53	1.40
	4	1.55	1.70	1.48	1.25
	7	1.33	1.30	1.15	1.60
早強卜特蘭水泥	2	1.63	2.70	1.60	2.13
	4	1.00	1.75	0.90	1.55
	7	1.40	1.50	1.40	1.43
B 型高爐水泥	2	1.08	1.50	0.90	1.33
	4	0.08	0.98	0.90	0.35
	7	0.40	0.98	1.40	0.87
高鋁水泥	2	0.35	—	0.34	—
	4	0.16	—	0.14	—
	7	0.08	—	0.04	—

\* : 對水泥砂漿之重量比

W : 用自來水拌合

S : 使用海水拌合

表 7 水泥砂漿配合比

試體編號	W/C (%)	水 泥 (kgf/m <sup>3</sup> )	水 (kgf/m <sup>3</sup> )	砂 (kgf/m <sup>3</sup> )	含Cl 量 (%)
40-W	40	674.9	270.0	1340.8	0
40-1S	40	674.9	270.0	1340.8	0.20
40-2S	40	674.9	270.0	1340.8	0.41
40-4S	40	674.9	270.0	1340.8	0.82
45-W	45	652.0	293.8	1305.7	0
45-1/4S	45	652.0	293.8	1305.7	0.06
45-1/2S	45	652.0	293.8	1305.7	0.11
45-1S	45	652.0	293.8	1305.7	0.23
45-2S	45	652.0	293.8	1305.7	0.45
50-W	50	632.2	316.1	1264.5	0
50-1S	50	632.2	316.1	1264.5	0.25
55-W	55	612.9	337.1	1225.7	0
55-1/4S	55	612.9	337.1	1225.7	0.07
55-1/2S	55	612.9	337.1	1225.7	0.14
55-1S	55	612.9	337.1	1225.7	0.27
55-2S	55	612.9	337.1	1225.7	0.54
55-4S	55	612.9	337.1	1225.7	1.08
60-W	60	594.6	356.7	1189.3	0
60-1S	60	594.6	356.7	1189.3	0.29
65-W	65	582.2	378.4	1164.3	0
65-1/4S	65	582.2	378.4	1164.3	0.08
65-1/2S	65	582.2	378.4	1164.3	0.16
65-1S	65	582.2	378.4	1164.3	0.31
65-2S	65	582.2	378.4	1164.3	0.62

表 8 腐蝕度之判定

腐蝕度 0	全無腐蝕、有光澤
腐蝕度 1	雖無腐蝕、而鋼筋已失去光澤、或部份生
腐蝕度 2	銹斑擴及很大範圍
腐蝕度 3	腐蝕擴及很大範圍

表 9 鋼筋保護層厚度與腐蝕程度之關係

水泥種類	保護層厚度 (cm)		
	2	4	7
普通卜特蘭水泥	3 / 4	1 / 4	0 / 4
高爐 B 型水泥	1 / 3	0 / 3	0 / 3
合計	4 / 7	1 / 7	0 / 7

說明：表中分母為測定鋼筋數、分子為已腐蝕數量

表 10 鋼筋保護層厚度與腐蝕面積關係

水泥種類	保護層厚度 (cm)		
	2	4	7
普通卜特蘭水泥	1.93	0.25	0
高爐 B 型水泥	0.1	0	0

表 11 龜裂寬度與鋼筋腐蝕相關研究一覽表

研究者	試體形狀	暴露條件	龜裂寬度 (mm)				
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Trcmper	形狀： 20.3x20.3x3.8= 鋼筋：1.6mm； 6mm及 異型鋼( 4.5mm) 水灰比：W/C=0.4 保護層厚度：29cm 試體荷重：載重固定 龜裂寬度：0.13, 0.25, 0.50, 0.13	暴露於大氣 中(海岸線) 10年美國華 盛頓氣候溫 暖 雨量：1295 mm/年	0.13 1.3 所有鋼筋全腐蝕。 腐蝕之嚴重性與混凝土品質或 龜裂寬度之關係不明確				
Shdlons Rapohael	形狀： 7x7x14= 保護層 2公分 形狀： 10x10x50= 保護層 2公分及 4公分 鋼筋：軟鋼 6cm 混凝土：W/C=0.6 C=300kg/cm <sup>2</sup> 大多數試體之龜裂寬度 維持在0.1~0.7mm	暴露在以色 列五個地方 A: 高溫高濕 B: 砂灘 C: 高溫低濕 (不管晝夜) D: 溫濕度變 化大 E: 地中海沿 岸	0.15 鋼筋全腐蝕 雨量、溫度、相對濕度中對腐蝕影 響性最大者為相對濕度，龜裂寬度 愈大則腐蝕愈容易進行 龜裂寬度與腐蝕量並無明顯之關係				
田村	RC標試體 鋼筋：13mm 保護層：2.0及5.0公分 持續負荷維持龜裂寬度 一定	在東京之建 築物屋頂上 暴露一年	0.2 保護層有 2公分以上時，幾乎不發 生腐蝕，龜裂寬度雖有0.2mm以上之 情況，如果保護層厚度大，則腐蝕 現象會緩和。				
神山	形狀： 試體長60公分 鋼筋：SR 35, SD 35, 16, 19, 25 水灰比：W/C=0.55 保護層厚度：2.5, 3.0, 3.5, 7.5公分 載重後解除負荷	在東京之屋 外暴露一 6 ~8年	保護層厚度2.5公分 =1400kg/cm <sup>2</sup> 殘留龜裂寬度為0.01mm亦會發生腐 蝕，保護層厚度5.0及7.5cm， = 2600kg/cm <sup>2</sup> ，則不會發生腐蝕 保護層厚度與 蝕之關係密切				
關、丸山	形狀： 15x30x180公分(RC標) 鋼筋：丸鋼 13 水灰比：W/C=0.44 ~ 0.78 保護層厚度1.5公分 載重後解除負荷	在潮汐帶及 海水中暴露 9年之水槽 試驗氣候溫 暖	半數鋼筋發生腐蝕 潮汐帶海水 鋼筋半數有顯著之腐蝕 潮汐帶海水中				
西田·杉木	形狀： 22x20x5cm (埋入 6鋼筋) 22x20x6cm (埋入 13鋼筋) 保護層： 前者：13:20mm 後者：20:25mm 試體荷重固定 龜裂寬度為0.05~0.5 mm	20年暴露於 降雨地區	微量 發生 雖進行腐蝕，由於鋼筋之段 面積減少，引起耐力減低尚 不多。				
片曾等	形狀： 20x20x75, 20x20x150, 30x30x150cm 鋼筋：SR 24, 16 持續負荷，維持龜裂寬 度一定	在東京灣之 暴露架大氣 中，大氣 - 等暴露條件 下經過 3年	有龜裂寬度愈大，愈容易發生腐蝕 之傾向，能停止於輕微腐蝕之龜裂 寬度約為0.1mm				

表 11 龜裂寬度與鋼筋腐蝕相關研究一覽表

研究者	試體形狀	暴露條件	龜裂寬度 (mm)				
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Trempier	形狀： 20.3x20.3x3.8cm 鋼筋：Φ1.6mm；Φ6mm及 異型鋼(Φ4.5mm) 水灰比：W/C=0.4 保護層厚度：29cm 試體荷重：載重固定 龜裂寬度：0.13, 0.25, 0.50, 0.13	暴露於大氣 中(海岸線) 10年美國華 盛頓氣候溫 暖 雨量：1295 mm/年	0.13 _____ 1.3 所有鋼筋全腐蝕。 腐蝕之嚴重性與混凝土品質或 龜裂寬度之關係不明確				
Shdlons Rapohael	形狀： 7x7x14cm 保護層 2公分 形狀： 10x10x50cm 保護層 2公分及 4公分 鋼筋：軟鋼Φ6cm 混凝土：W/C=0.6 C=300kg/cm <sup>3</sup> 大多數試體之龜裂寬度 維持在0.1~0.7mm	暴露在以色 列五個地方 A: 高溫高濕 B: 沙漠 C: 高溫低濕 (不管晝夜) D: 溫濕度變 化大 E: 地中海沿 岸	0.15 _____ 鋼筋全腐蝕 雨量、溫度、相對濕度中對腐蝕影 響性最大者為相對濕度，龜裂寬度 愈大則腐蝕愈容易進行， 龜裂寬度與腐蝕量並無明顯之關係				
田村	RC標試體 鋼筋：Φ13mm 保護層：2.0及5.0公分 持續負荷維持龜裂寬度 一定	在東京之建 築物屋頂上 暴露一年	0.2 _____ 保護層有 2公分以上時，幾乎不發 生腐蝕，龜裂寬度雖有0.2mm以上之 情況，如果保護層厚度大，則腐蝕 現象會緩和。				
禰山	形狀： 試體長60公分 鋼筋：SR 35, SD 35, Φ13, Φ16, Φ19, Φ25 水灰比：W/C=0.55 保護層厚度：2.5, 3.0, 3.5, 7.5公分 載重後解除負荷	在東京之屋 外暴露一 6 ~8年	保護層厚度2.5公分 $\sigma_s = 1400\text{kg/cm}^2$ 殘留龜裂寬度為0.01mm亦會發生腐 蝕，保護層厚度5.0及7.5cm, $\sigma_s =$ 2600kg/cm <sup>2</sup> ，則不會發生腐蝕 保護層厚度與腐蝕之關係密切				
關、丸山	形狀： 15x30x180公分(RC標) 鋼筋：丸鋼Φ13 水灰比：W/C=0.44 ~ 0.78 保護層厚度1.5公分 載重後解除負荷	在潮汐帶及 海水中暴露 9年之水槽 試驗氣候溫 暖	0.05 .10 半数鋼筋發生腐蝕 潮汐帶海水 0.2 鋼筋半数有顯著之腐蝕 潮汐帶海水中				
西田·杉木	形狀： 22x20x5cm (埋入Φ6鋼筋) 22x20x6cm (埋入Φ13鋼筋) 保護層： 前者：13:20mm 後者：20:25mm 試體荷重固定 龜裂寬度為0.05~0.5 mm	20年暴露於 陰雨地區	0.1 0.2 0.3 微量 雖進行腐蝕，由於鋼筋之斷 生銹 面積減少，引起耐力減低尚 不多。				
片岡等	形狀： 20x20x75, 20x20x150, 30x30x150cm 鋼筋：SR 24, Φ16 持續負荷，維持龜裂寬 度一定	在東京灣之 暴露架大氣 中，海水中 等暴露條件 下經過 3年	有龜裂寬度愈大，愈容易發生腐蝕 之傾向，能停止於輕微腐蝕之龜裂 寬度約為0.1mm				

表 12 控制龜裂寬度之構想

CEO-FIP Model Cold	考慮永久，反覆及異常等荷重以 控制龜裂寬度。
FIP Sea Structures* (第三版)	考慮正常環境條件（復現期一個月）及 極端環境條件下（復現期50~100年）等 各種荷重控制荷重龜裂寬度

\* 第四版（1984）已無上述明確區分

表 13 鹽害情況下，保護層厚度之規定

設計 項 目 基準	海洋混凝土構 造物設計與施 工指針 (案)(1997)	港灣設施之技 術基準、同解 說 (1979)	Recommendations for the design and con- struction of concrete sea structure (1983)		海洋混凝土構造物 之防蝕指針 (案)(1983)	道路橋之鹽害對策指 針及解說 (1984)				
制定機關	土木學會	日本港灣協會	F I P		日本混凝土工學協會	日本道路協會				
適用範圍	適用於海洋混 凝土構造物之 設計與施工	適用於港灣設施 之建設、改善及 維修等	適用於海洋混凝土構 造物之設計與施工		大型重要海洋混凝土 結構物	濱海地區、受鹽害嚴 之公路橋樑				
鋼 筋	飛沫帶	7 cm以上	65cm 以上	骨材最大粒徑之 1.5倍或最大鋼 筋直徑之1.5倍 以上	100mm以上	125mm 以上	上部 結構	I	5.0cm以上	7.0cm以上
	海面大氣中	5 cm以上	65mm 以上		100mm以上	125mm 以上		II	3.5cm以上	5.0cm以上
	海 中	5 cm以上	75mm 以上		75mm以上	100mm 以上		III	2.5cm以上	3.5cm以上
P C 鋼 材	飛沫帶	由負責之工 程師決定	依照預力混 凝土設計施工基 準(土木學會)	同 上	同 上	同 上	下部 結構	I	7.0cm以上	7.0cm 以上
	海面大氣中							90mm以上	5.0cm以上	5.0cm以上
	海 中							65mm 以上	3.5cm以上	4.0cm以上
備 註	水中混凝土 施工時規定 在10cm以上		壁厚50公分以上		施工條件良好		I	海岸線或海上橋樑		
			壁厚50公分以下		施工條件不良		II	近海岸線100公尺以內		
							III	距海岸線100~200公尺		

表14 鹽害情況下，龜裂寬度之規定

設計 條 準 件	海洋混凝土 構造物設計 與施工指針 (案)(1977)	港灣設施之技 術上基準、同 解說 (1979)	Recommendations for the design and cons- truction of concrete sea structure (1984)	海洋混凝土構 造物之防蝕指 針 (案)(1983)	道路橋之鹽害 對策指針·同 解說 (1984)	
鋼 筋	飛沫帶	0.15mm以下	0.15mm以下	0.3mm以下	0.05mm以下	呆荷重之 應力為 100 kg/cm <sup>2</sup> 以下
	海 面 大 氣 中	(0.15mm)	0.15mm以下		0.1mm以下	
	海 中	0.2mm以下	0.15mm以下		0.1mm以下	
P C 鋼 筋	飛沫帶	——	——	0.1mm以下	de	
	海 面 大 氣 中				de	
	海 中				0.1mm以下	
裂縫寬度 之推算	依日本港灣 學會編"海 洋構造物設 計基準"計 算	日本港研所 (赤塚)式	CEB-FIP公式			

——：無特別之規定  
de：不使產生拉應力

表 15 容許龜裂寬度

(cm)

結構型態	鋼材種類	一 般 環 境	腐 蝕 性 環 境	腐 蝕 性 特 別 嚴 重 之 環 境
鋼筋混凝土	竹節鋼筋 普通丸鋼	0.005c	0.004c	0.0035c
預力混凝土	竹節鋼筋 P C 鋼材	0.005c	0.004c	0.0035c
		0.004c	0.0035c	0.003c

C:保護層厚度

# 參、曝露試驗

陳桂清\*

## 一、前言

為了完成真實性的海域混凝土結構物使用壽命的估計，鋼筋混凝土的劣化之原因必須加以檢討。

海域環境下之結構物，結構物劣化最普通的原因就是由混凝土的剝落而引起內部鋼筋之腐蝕。這些劣化的原因可以採用具有足夠鋼筋保護層厚度高品質之混凝土予以防止。然而，氯離子能藉由結構物的龜裂或藉由混凝土之高透水率，而滲透進入鋼筋混凝土結構物之內部。為了有效控制並防止結構物的惡化加速，必須進行現場曝露試驗。

曝露試驗，主要探討造成結構物腐蝕的原因以及其腐蝕劣化的速率發生之過程。因此製作適當尺寸之試體擺放於真實的海域，進行實地環境下的曝露試驗，量測 $Cl^-$ 滲透的速率，以及鋼筋腐蝕生銹的速率。

本試驗實地曝露海域現場設於台中港3號貯木池，並於本所內亦設計開挖試驗用貯水池一座，藉由台中港區內之涵管引道，直接抽取台中港區內之海水，注入試驗水池，隨著每天海水潮汐的漲落，水池相對配合做抽取與排放海水，希望試驗水池的狀況與實際海水潮汐漲落的情形配合一致。

## 二、試體曝露擺放之範圍

1. 潮汐帶
2. 海面下（以滲入海中約10米深左右）

---

\*港灣技術研究所港工材料組副研究員

### 三、試驗時間區分

為了有效測量鋼筋發生腐蝕生銹的速率大小，試體曝露期間依下列幾個期間進行。

1. 6個月 期間
2. 1年 期間
3. 1年6個月 期間
4. 2年 期間
5. 3年 期間
6. 4年 期間
7. 5年 期間

### 四、試體模規格：

採用一般標準規格試體模，直徑15cm，長度30cm，如圖1所示。

### 五、使用材料：

1. 水泥（第一型普通水泥）
  2. 骨材（粗骨材，3/4"以下）
  3. 細砂
  4. 水（自來水）
  5. 鋼筋：採用直徑10mm，長度270mm 表面刨光之圓鋼筋，鋼筋兩端亦加工磨光。
  6. 塗有 Epoxy（環氧樹脂）鋼筋：為一般竹節鋼筋表面塗有一層環氧樹脂隔絕空氣接觸。直徑為10mm，長度270mm。如圖2所示。
  7. 摻料：防銹劑（Inhibitor）、矽灰（Silica fume）、飛灰（Fly-ash）····。
- 材料之使用將視試驗進度與需要隨時做適當的調整與選用，本年度預計先採用第一型水泥，摻料先選用防銹劑一種。往後將陸續改用第二型、或第五型水泥，摻料可能選用矽灰、飛灰····，鋼筋可能採用鍍鋅鋼筋等。

## 六、試體製作種類及個數：

混凝土水灰比 (W/C) 分別採用0.4, 0.5, 0.6三種。於不同混凝土水灰比內分別加入下列材料：

1. 普通鋼筋
2. Epoxy 鋼筋
3. 普通鋼筋，混凝土添加防銹劑摻料。

上述不同之水灰比配合不同的材料，其試體各製作3個，以利試驗分析。表1為試體之種類與個數之明細表。

## 七、試體製作過程：

1. 混凝土試體之型狀，尺寸及鋼筋之配置：混凝土之試體以 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ 之標準規格試體模型製作，如圖1所示。試體內鋼筋之配置如圖3所示；以固定之木模將3支鋼筋固定，以保持保護層厚度分別為2cm, 4cm, 7cm。
2. 混凝土之配比：  
混凝土配比，依ACI 211.1-815之規定，進行設計。為了統一配比之數據，特將骨材中之含水率均設為零，亦即假設砂、石骨材均為乾的狀況。詳細的混凝土配比之設計資料，如表2至表4所示。
3. 混凝土之澆置：混凝土依ASTM之規定澆置。
4. 將澆置好的試體於隔天拆模後，予於編號，然後擺入養生室，溫度調於 $23 \pm 0.7$  °C，養生28天後，取出試體，讓試體乾燥四、五天後，在試體兩端約2cm距離及底面各塗予Epoxy，密封兩底端，(避免海水從兩底端滲入試體內部)，密封完畢後，將試體運至海邊現場擺放，進行曝露試驗。

## 八、鋼筋置入混凝土之前處理：

1. 鋼筋表面必須加工磨光。

2. 用丙酮溶液清洗鋼筋表面之油脂。
3. 處理過之鋼筋，稱重之，然後置入混凝土內。

## 九、現場曝露試體固定鐵架：

為防止試體遭受海水衝擊造成試體碰撞，損害試體外表之環氧樹脂保護層，因此必須將試體予於固定，且更可防止試體流失。試體固定鐵架如圖4所示。

## 十、試驗室分析：

將擺放於曝露現場之試體，依曝露的期間區分，按時將試體取回試驗室，進行鋼筋保護層厚度對鋼筋發生腐蝕生銹的觀測，鋼筋生銹的速度，以及 $Cl^-$ 滲透速率的分析。

試體分析的過程：

### (1) 鋼筋腐蝕速率測定：

1. 取回曝露現場之試體。
2. 劈裂試體，取出鋼筋。
3. 觀察鋼筋是否有生銹發生。
4. 測定鋼筋之腐蝕面積。

(a) 於鋼筋表面，覆以透明薄片，印出或臨模腐蝕部位，再以適當方法求其腐蝕面積 ( $mm^2$ )。

(b) 以鋼筋長方向之中心，向兩端各10或12cm，合計為20或24cm之部份，作為測定範圍。

5. 將鋼筋表面腐蝕之鐵銹用化學藥品清洗，除去鐵銹，秤量鋼筋重量。

6. 記錄鋼筋重量之損失 (試驗前磨光無銹之鋼筋重 - 試驗後去除鐵銹之鋼筋重)

### (2) $Cl^-$ 滲透速率之測定：

1. 取回曝露現場之試體。
2. 將試體從底端 1cm, 2cm, 3cm, 3-5cm, 5-10cm, 10-15cm之深度切割之。
3. 將上述每一小段試體，依ASTM規範磨成細粉。

4. 測定每一小段試體 $Cl^-$ 之含量。

5. 代入 Fick's  $Cl^-$  擴散定律，可推算 $Cl^-$  滲透速率。

(3) 鋼筋保護層厚度對鋼筋生銹之觀測：

步驟如(1)之 1, 2, 3 部份。

## 十一、參考文獻：

1. K.M. Book and J.A. Stillwell, " Exposure Tests on Concrete for Off-shore Structure" , Wimpey Lab. Ltd, Hayes, Middlesex UB. OLS, UK.
2. " Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction" , 1983 The Society of Chemical Industry/Ellis Horwood Limited, British.
3. The Japan Concrete Institute Vol1~10 1984.

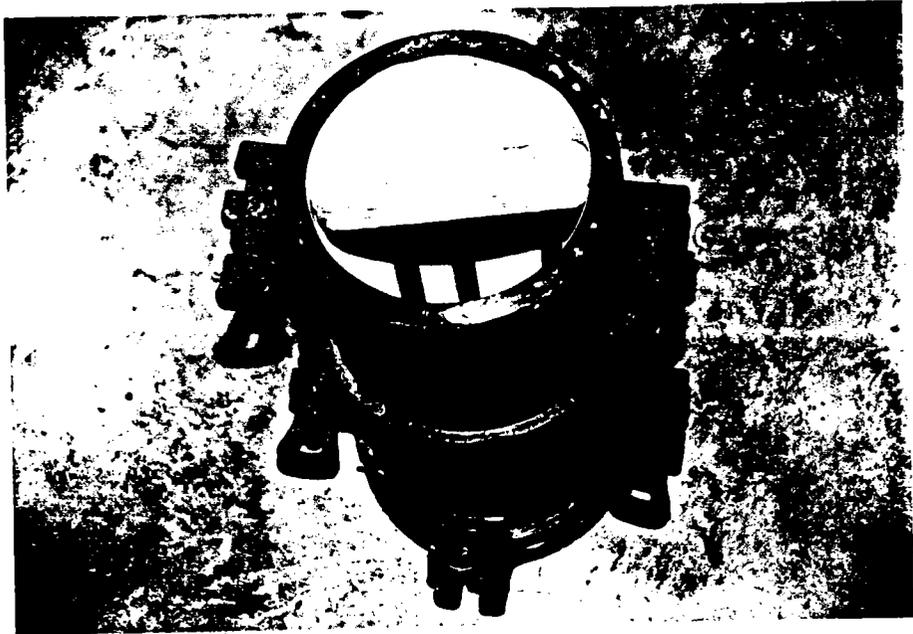
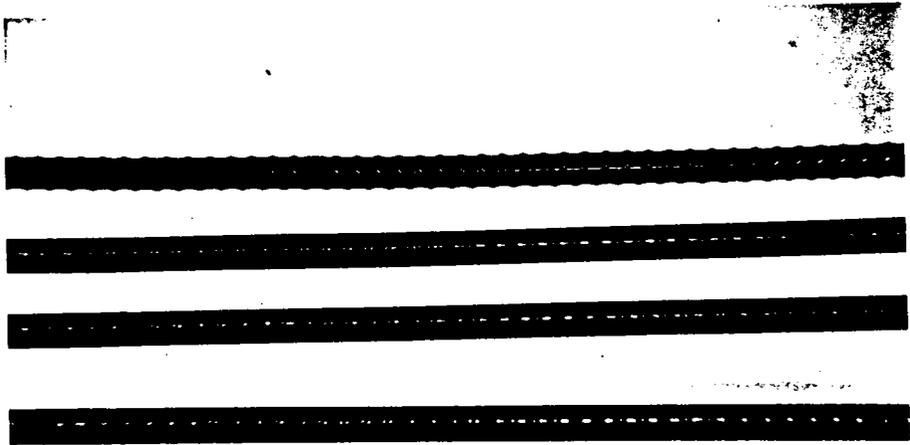
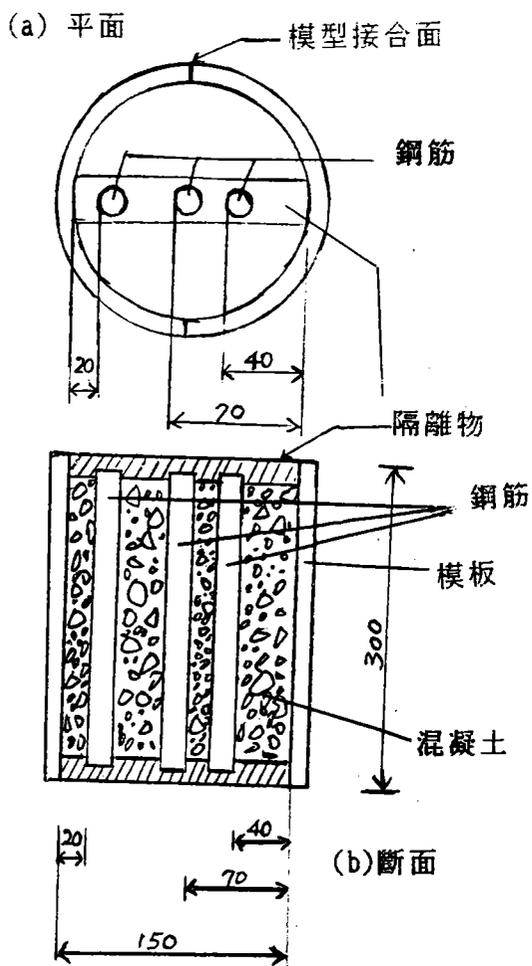


圖 1 標準規格試體模 ( $\Phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ )



真彩色 FUJICOLOR

圖 2 Epoxy(環氧樹脂)鋼筋



(單位: mm)

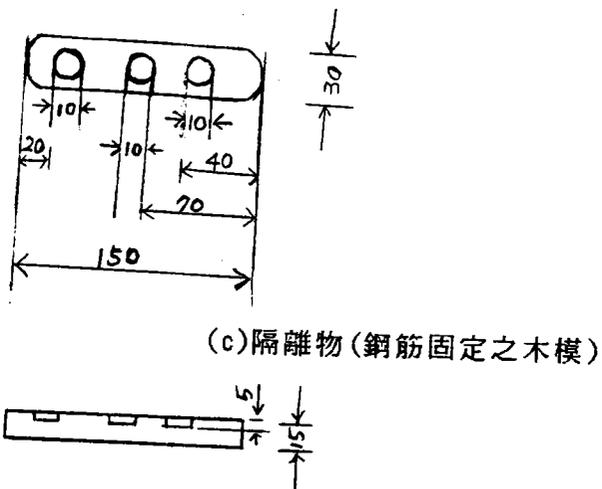


圖 3 試體內鋼筋之配置圖



凱麗彩色 FUJICOLOR

圖 4 試體固定鐵架

表 1 試體種類與試體製作個數明細表

水灰比 (W/C) 材 料		0.4 三 0.5 0.6 種	0.4 三 0.5 0.6 種	0.4 三 0.5 0.6 種
水 泥 種 類	I	✓	✓	✓
	II			
	V			
鋼 筋 種 類	普 通	✓		✓
	Epoxy		✓	
	鍍 鋅			
摻 料 種 類	防 劑	✓		
	砂 灰			
	飛 灰			
試 體 個 數 每種(W/C)比之		3	3	3

表 2 混凝土配比之設計資料(W/C=0.4)

\*\*\*\*\*  
 工程名稱：曝露試驗

日期：7/14/1988

水泥廠牌：台泥 TYPE I

水質狀況：良好

\*\*\*\*\*  
 設計強度 (ksc) = 430.0

輸氣 (Y/N)：N

每盤拌合量 (m<sup>3</sup>) = 1.0000

水灰比 (W/C) = 0.40

最大粒料尺寸 (cm) = 2.0

設計塌度 (cm) = 10.0

水泥比重 = 3.15

\*\*\*\*\* 細骨材 \*\*\*\*\*

細度模數 (FM) = 2.72

乾比重 = 2.63

吸水率 = 1.23 %

含水率 = 0.00 %

\*\*\*\*\* 粗骨材 \*\*\*\*\*

乾比重 = 2.63

乾搗實重 = 1547.0 kg/m<sup>3</sup>

吸水率 = 1.07 %

含水率 = 0.00 %

-----  
 設計配合比：

水泥：砂：石子 = 1：1.3：1.9

單位重：

2350.8 kg/m<sup>3</sup>

→ 每 1.0000 m<sup>3</sup> 混凝土配合量 (kg)：

材 料	設 計 量	調 整 量*
-----	-----	-----
水 泥	503.333	3.333
水	219.799	1.256
砂	656.134	-6.290
石 子	971.516	
空 氣	2.00 %	

(\*：調整量為塌度每加減 1 cm 之修正量)

\*\*\*\*\*

表 3 混凝土配比之設計資料(W/C=0.5)

\*\*\*\*\*

工程名稱：曝露試驗

日期：7/14/1988

水泥廠牌：台泥 TYPE I

水質狀況：良好

\*\*\*\*\*

設計強度 (ksc) = 335.7

輸氣 (Y/N)：N

每盤拌合量 (m<sup>3</sup>) = 1.0000

水灰比 (W/C) = 0.50

最大粒料尺寸 (cm) = 2.0

設計塌度 (cm) = 10.0

水泥比重 = 3.15

\*\*\*\*\* 細骨材 \*\*\*\*\*

細度模數 (FM) = 2.72

乾比重 = 2.63

吸水率 = 1.23 %

含水率 = 0.00 %

\*\*\*\*\* 粗骨材 \*\*\*\*\*

乾比重 = 2.63

乾搗實重 = 1547.0 kg/m<sup>3</sup>

吸水率 = 1.07 %

含水率 = 0.00 %

-----  
設計配合比：

水泥：砂：石子 = 1：1.8：2.4

單位重：

2335.2 kg/m<sup>3</sup>

→ 每 1.0000 m<sup>3</sup> 混凝土配合量 (kg)：

材 料	設 計 量	調 整 量*
-----	-----	-----
水 泥	402.667	2.667
水	220.833	1.263
砂	740.183	-5.733
石 子	971.516	
空 氣	2.00 %	

(\*：調整量為塌度每加減 1 cm 之修正量)

\*\*\*\*\*

表 4 混凝土配比之設計資料 (W/C=0.6)

\*\*\*\*\*  
 工程名稱：曝露試驗  
 日期：7/14/1988  
 水泥廠牌：台泥 TYPE I  
 水質狀況：良好  
 \*\*\*\*\*

設計強度 (ksc) = 264.3  
 每盤拌合量 (m<sup>3</sup>) = 1.0000  
 最大粒料尺寸 (cm) = 2.0  
 水泥比重 = 3.15  
 輸氣 (Y/N) : N  
 水灰比 (W/C) = 0.60  
 設計塌度 (cm) = 10.0

\*\*\*\*\* 細骨材 \*\*\*\*\*

細度模數 (FM) = 2.72  
 乾比重 = 2.63  
 吸水率 = 1.23 %  
 含水率 = 0.00 %

\*\*\*\*\* 粗骨材 \*\*\*\*\*

乾比重 = 2.63  
 乾搗實重 = 1547.0 kg/m<sup>3</sup>  
 吸水率 = 1.07 %  
 含水率 = 0.00 %

-----  
 設計配合比： 水泥：砂：石子 = 1：2.4：2.9  
 單位重： 2324.8 kg/m<sup>3</sup>  
 → 每 1.0000 m<sup>3</sup> 混凝土配合量 (kg)：

材 料	設 計 量	調 整 量*
-----	-----	-----
水 泥	335.556	2.222
水	221.522	1.267
砂	796.215	-5.362
石 子	971.516	
空 氣	2.00 %	

(\*: 調整量為塌度每加減 1 cm 之修正量)

\*\*\*\*\*

# 肆、港灣結構物腐蝕調查

陳桂清\*

## 一、前言

混凝土在常態環境條件下為極具耐久性之材料。一般工程材料中鋼筋混凝土的使用亦最為廣泛與經濟，但腐蝕初期不易由外表觀察，一旦發生銹蝕，將造成混凝土結構物的龜裂與剝落，甚至使結構物之使用年限降低，因而浪費大量的維修與重建費。

台灣位處於亞熱帶地區，四面環海為一典型的海島型氣候，終年高溫多濕，鋼筋混凝土結構物常年曝露於此海洋嚴酷的腐蝕環境下，極易受到鹽害的侵襲而發生銹蝕。根據國外資料顯示，每年因腐蝕所造成的金錢損失約為國民生產毛額的 2% 以上，數目之鉅令人嘆為驚訝！

過去由於科技不發達，資訊缺乏，國人一般都忽略腐蝕的嚴重性，因此在公共設施、設計、工程施工上均缺乏考慮可能造成腐蝕的因子，結果工程完工啓用不久，使用尚未達年限即陸續發現嚴重的品質缺失，甚至影響整個設施的使用安全，例如澎湖跨海大橋，僅使用十四年即發生嚴重的腐蝕而改建為路堤[1]，即為一最好的例子。

由於港灣鋼筋混凝土結構物長年浸漬於海洋腐蝕惡劣的環境下，混凝土結構物極易受到海水鹽分、硫酸鹽等有害物質的侵入，構造物中之混凝土品質開始劣化，發生龜裂、剝落、鋼筋腐蝕、... 等不良現象，時間一久，構造物加速劣化，最後將危及安全，縮短構造物使用年限。因此，研究分析造成鋼筋混凝土腐蝕之因素及剖析造成鋼筋混凝土變質的原因，以及建立港灣鋼筋混凝土結構物的防蝕規範，以做為港灣結構物維修及將來建造新港時，在工程設計、施工上的參考與依據，實在已刻不容緩。

本研究乃以台灣本島現有五大港口(基隆港、台中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港)之老舊碼頭結構物為調查研究對象，進行現場目測觀察，非破壞性試驗(N.D.T)及鑽心取樣，並配合試驗室內做化學成份與物理性質的分析，同時並採用精密儀器，諸如掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscopy, 簡稱 SEM)分析、能量消散法(Energy Dispersive X-Ray Spectrometry, 簡稱 EDX)、X-射線繞射(X-Ray Diffrac

---

\* 港灣技術研究所港工材料組副研究員

-tion, 簡稱 XRD)分析, 微觀混凝土結構物發生劣化之形成物成份。綜合上述各種分析資料, 可研判混凝土結構物目前的品質狀況, 以及發生腐蝕劣化的可能因子, 並預估鋼筋混凝土構造物中鋼筋開始腐蝕生銹的時間, 在五大港口中, 特別選擇台中港做各項試驗中進一步詳細的探討, 主要原因是建港歷史較久之港口 (基隆港、高雄港、花蓮港等), 由於年代久遠, 當初建造時, 或許科技尚未昌明, 當時可能並無考慮鋼筋混凝土腐蝕劣化的觀念, 加上物資材料的匱乏, 因此在設計、施工、材料使用上均不是理想狀況, 因此時間一久, 結構物發生劣化、腐蝕、損壞、乃是必然現象。加上由於年代久遠當初設計、施工、材料品質....等各方面的原始資料, 隨著星移物換, 大都殘缺不全, 或已無從考據, 因此特別選擇新港口做更深入的剖析。

## 二、構造物概要

本研究乃以台灣本島現有五大港口之老舊碼頭結構物為調查對象, 由港務局提供 1~2座老舊碼頭做為研究, 於民國76年11月至12月間, 分赴各港進行現場實地之非破壞性試驗, 並對碼頭結構物做鑽心取樣之工作, 將鑽心試體攜回試驗室, 進行詳細相關性質之分析。各港口碼頭平面佈置及鑽心取樣(Core Drilling)之相關位置如圖 4-1至圖 4-5所示。各港口鑽心取樣之碼頭其簡略背景資料如表 4-1所示。碼頭型式及其構造斷面圖如圖 4-6至圖 4-10。

## 三、調查與試驗

### (一)調查方法

港灣鋼筋混凝土結構物之品質發生耐久性的問題原因很多, 包括保護層不足、混凝土施工品質不佳, 加上結構體常年浸漬、曝露於海洋嚴酷腐蝕的環境下, 海水中之硫化物( $SO_4^{2-}$ )的侵蝕, 造成構造物之龜裂或剝落, 氯化物( $Cl^-$ )的滲入, 大氣中二氧化碳及濕氣的侵入, 更加速混凝土品質的劣化、鋼筋的腐蝕, 為探討結構物可能發生劣化、腐蝕的原因及其影響性, 因此必須進行非破壞性之試驗及鑽心取樣並做化性、物性及相關性質的分析。

## 1. 現場非破壞性試驗 (In Situ/Nondestructive Testing) [2]

### (1) 現場實地觀測 (Field Observation)

由各港務局提供老舊碼頭並支援小型交通船赴現場，實地觀察碼頭結構體外表是否有龜裂、剝落損壞或鋼筋銹蝕等情形，並拍照繪圖紀錄之。此項工作依 ACI 201, IR-68 規範辦理 [3]。

### (2) 試驗錘試驗 (Test Hammer Test)

本試驗依 ASTM C-805 規範執行。測試範圍以鑽心取樣位置為中心點，1~2 公尺見方內，每相隔十或二十公分之距離繪一測試點，作一網狀分佈測試。利用試驗錘撞擊混凝土表面，發生反彈作用，根據反彈力可推導混凝土表面強度，判斷混凝土表面的品質狀況。

### (3) 鋼筋測定儀試驗 (R-Meter Test)

此種儀器，鋼筋受到磁場作用會發生偏離，因此可測知鋼筋位置，並由磁力的強弱可辨別鋼筋混凝土保護層之厚度，同時可供鑽心取樣位置選定之參考。

### (4) 腐蝕電位測定 (Half-Cell Potential Measurement)

混凝土中鋼筋之腐蝕為一種電化學反應過程，因此在鋼筋表面會發展出有陰極(鈍態)及陽極(正在腐蝕中)的現象。由於有兩極的產生，只要有導線溝通，則在不同的位置或區域，即可建立不同之電位及電流流動之形態。由上述的原理，只要有效的量測某一範圍之電位，則可評估該範圍鋼筋表面發生腐蝕之程度。

本次試驗腐蝕電位所量測範圍，包含鑽心取樣位置在內，二公尺見方之面積，每相隔20公分之距離做一量測電位點，作一網狀分佈量測。

## 2. 混凝土結構體鑽心取樣 (Core Test)

各港口老舊碼頭結構體雖然其建造日期不一，有的已使用五、六十年(如花蓮港)，有的僅使用七、八年(如蘇澳港)，但常年浸漬、曝露於海洋環境下，混凝土之品質狀況將發生變化，這種狀況依海水鹽份及硫酸鹽份侵入的程度與當初建造或許在設計、施工及使用材料上有所不同而定。為瞭解混凝土

劣化的致因，因此必須做混凝土結構體鑽心取樣，利用化學分析方法及物理分析來研判。本研究鑽心取樣位置大都位於潮汐帶及飛沫帶之間。

## (二) 試驗室分析

試驗室分析工作包括下列各項：

### 1. 鑽心試體描繪

將試體表面展開描繪，由此資料粗略可看出當時使用混凝土配比是否適當、老化現象.....等。

### 2. 抗壓試驗 (Compressive Strength Test)

試體作試驗錘及抗壓試驗、比較分析其抗壓強度，本試驗依 ASTM C39-84 規範執行。

### 3. 透水試驗 (Permeability)

本試驗之目的在測定混凝土之透水係數，間接檢定混凝土之水密性。試驗原理，即用圓柱形鑽心試體將一定壓力之水，在單位時間內自單位面積流出水量的多寡，利用 Darcy 定理，即可求出透水係數。

### 4. 中性化試驗 (Carbonation Depths Test) [4]

將鑽心試體劈裂後，利用化學指示劑 (酚酞)，塗抹於試體劈裂面，觀測劈裂面顏色之變化，量出碳化的深度。

### 5. 比重試驗 (Gravity Test)

依 ASTM C-642 規範執行。

### 6. 吸水率試驗 (Absorption Test)

依 ASTM C-642 規範執行。本試驗目的在了解混凝土結構物吸水狀況。

### 7. 水泥含量分析 (Cement Content Analysis)

各港口鑽取之試體依 ASTM C85-66 之規範處理，測定水泥含量。

### 8. 化學成份分析 (Chemical Analysis)

各港口鑽取之試體，直徑 3" 或 4"，深度約 15-20 公分，如圖 4-11 至圖 4-12 所示。試體從表面 (亦即與海水接觸面) 算起，依次以深度 1 公分、2 公分、3 公

分、3至5公分、5至10公分、10至15公分等切割之，見圖 4-13 所示。將切割後之每一深度試體，依ASTM規範處理，然後研磨成粉狀顆粒，此為化學分析之試樣，然後再依 ASTM C114-85，進行 CaO、MgO、SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup> 含量之化學分析。

### 9. 氯離子侵入之分析

由於氯離子的侵入會破壞混凝土中鋼筋表面之鈍態氧化膜，造成局部提昇鋼筋之腐蝕活性 (Corrosion Activation)，促使鋼筋發生氧化作用而生成鐵銹。其化學反應過程，已在前述鋼筋腐蝕機理中提及。

氯離子侵入混凝土之程度，依結構物所處之位置而不同，一般結構物曝露於飛沫帶地區，氯離子的侵入最為嚴重，主要原因是飛沫帶有乾濕反復之作用存在，在潮濕情況下，由於毛細作用，因此大量的Cl<sup>-</sup> 和水侵入混凝土中，而在乾燥時，水份蒸發掉，因此只有Cl<sup>-</sup> 留在混凝土中，因此造成混凝土表面內留存有大量的Cl<sup>-</sup>。

為了模擬實際氯離子含量侵入混凝土中之分佈狀況，依據Fick's [ 5]第二擴散定律，氯離子濃度 (C) 與滲透深度 (X) 之控制方程式 (Governing Equation) 如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots (1)$$

上述公式，代入下列邊界條件：

B.C.1.        X = 0,     C = C<sub>0</sub> ;

B.C.2.        X → ∞,    C → 0.

可解得此偏微分方程式之特殊解為：

$$C(X,t) = C_0 [ 1 - 2 \text{Erf}(X / \sqrt{2Dt}) ] \dots\dots\dots (2)$$

式中  $C_0$  : 氯離子表面濃度,  
 $C$  : 任何時間、任何深度處之氯離子濃度,  
 $X$  : 深度,  
 $D$  : 有效擴散係數,  
 $t$  : 時間,  
 $\text{Erf}$ : 誤差函數 (Error function), 其定義為

$$\text{Erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-y^2 / 2) dy.$$

#### 10. 掃描式電子顯微鏡分析 (Scanning Electron Microscopy)

各試體經此精密儀器，可分析出混凝土劣化之形成物，及惡化現象。

### 四、結果與討論

#### (一) 現場非破壞性試驗

1. 現場實地觀測各港口鑽心取樣之老舊碼頭壁面，在潮汐帶、飛沫帶以上，壁面外觀均呈完好，沒有明顯龜裂、剝落、吐銹...等不良現象(但有些其它碼頭結構體已有銹斑或鋼筋腐蝕損壞之現象發生)基隆港W.4號碼頭曾經發生碼頭壁面，遭受船隻撞擊而破損龜裂，因此碼頭壁面曾經有做噴漿修補。各港碼頭壁面，均有海生物(諸如貝類等)棲息於壁面上，造成表面些微浸蝕。惟高雄港所調查之碼頭(第四船渠及第九船渠)，由於高雄港位於工業區附近，廢水大量排放至港內，加上港內拆船業清艙解體廢船所造成的嚴重油污外洩所致，因此碼頭壁面竟然沒有海生物棲息於上，壁面只呈現一層厚厚的油污存在，此種現象恰可印証海岸一旦受到嚴重污染，海生物將無法生存下去。

#### 2. 試錘試驗

各港口碼頭結構體其試錘試驗結果列於表 4-2，從表中可看出各碼頭結構體混凝土表面品質尚為良好。(根據文獻顯示其試錘數值與混凝土表面之品質關係如表 4-3 所示 [3]。)

### 3. 鋼筋保護層厚度

根據國外資料顯示，在惡劣的腐蝕環境下，鋼筋混凝土結構物的保護層厚度在飛沫帶至少須 10 cm 以上。

基隆港 W.4 號碼頭及 W.14 號碼頭其保護層厚度約在 4-5cm。

台中港 3 號碼頭，保護層厚度約 6-8cm 左右。

高雄港第四船渠，鑽心取樣部份之結構體，經鋼筋探測儀量測並未發現有鋼筋受磁力偏離之感應，可能此結構體並非是鋼筋混凝土結構體。由鑽心取樣之試體，發現結構體大多數為骷髏石構成的。

高雄港第九船渠，保護層厚度約 5 cm 左右。

花蓮港 3 號碼頭，保護層厚度約 5cm。

蘇澳港碼頭約 8-10cm 左右。

由以上資料可看出，新建港口(如台中、蘇澳港)，其保護層厚度都尚未符合規範。而老舊港口碼頭之保護層厚度更嫌不夠。

### 4. 腐蝕電位量測

五大港口，各港建造日期不一，建港歷史較久之港(如高雄港、基隆港、花蓮港等)，有些碼頭結構物早已有銹斑或鋼筋腐蝕損壞之現象出現如圖 4-14 至圖 4-16，由於年代長久，此為無可避免。但台中港及蘇澳港，建港期間相近，至今僅十數年左右，有些碼頭結構物壁面已有銹斑出現，參見圖 4-17 至圖 4-18 令人吃驚，因此為了深入了解鋼筋銹蝕的狀況，乃以台中港碼頭結構物做詳細深入的腐蝕電位量測，量測的範圍更擴大為 7公尺(長)× 4公尺(深)。台中港3號碼頭，經腐蝕電位儀量測所得結果列於表 4-4。從表中可看出量測面積範圍內之鋼筋其腐蝕電位值都在 -350mV 至 -600mV 之間。根據表 4-5 指出腐蝕電位值在小於 -350mV 以下時，即可判斷該量測範圍內之鋼筋已有 90% 或 95% 之概率已經發生銹蝕作用了。因此為了印證鋼筋是否生銹，將該碼頭所鑽取之試體劈裂，敲出鋼筋觀察，結果發現鋼筋表面已有銹蝕斑點出現，如圖 4-19 所示。因此台中港 3 號碼頭結構體內部之鋼筋可證明確實已發生腐蝕現象了。

## (二) 混凝土結構體之鑽心取樣

利用鑽心取樣設備，赴各港做鑽心取樣，鑽心試體如圖 4-11 至圖 4-12 所示。試體攜回試驗室作化學成份及物理性分析。

## (三) 試驗室分析

### 1. 鑽心試體外觀描繪，如圖 4-20 所示。

大多數之試體，其粗細骨材粒徑懸殊，骨材分佈不均。例如花蓮港舊東堤粗骨材最大粒徑為50mm，又粗骨材粒料多呈扁平狀，容易造成浮水現象，使骨材界面處停滯許多氣泡無法排除，增加混凝土之透水性，一旦受到外力，極易沿著界面處產生龜裂，加速混凝土濕氣及氯離子之滲入擴散，增加腐蝕速率。又高雄港第四船渠碼頭，水泥漿含量少，大多數是骷髏石堆積而成的，因此從試體外觀亦可窺略一二。

### 2. 抗壓強度試驗

各港口鑽心試體抗壓強度如表4-2 所示。從表中可看出花蓮港舊東堤抗壓強度相當差，又該堤防目前已有許多處損壞，堤防嚴重下陷及掏空，準備進行堤防固結修護。高雄港第四船渠碼頭，抗壓強度亦很差，經鑽心取樣，發現結構體大多數是骷髏石堆積而成的，水泥漿含量少，因此抗壓效果很差。

### 3. 透水試驗

各港口混凝土試體其透水係數如表4-2 所列。從表中可看出，各碼頭試體之透水係數極高，超過臨界值 ( $K \leq 10^{-12}$  m/sec) 甚多 [3]，因此可粗略判定試體之孔隙極大，混凝土配比不當，或是施工不良等造成。此研判與試體外觀描繪，大致配合。由於混凝土透水率高，海水易於侵入混凝土，將起化學反應而造成破壞。

### 4. 比重試驗

結果列於表 4-2。

### 5. 吸水試驗

結果列於表 4-2。

### 6. 中性化深度試驗

五大港口碼頭結構體鑽心試體之中性化深度及其碳化係數列於表 4-6 所示。表 4-6中,各港碼頭混凝土結構物,其中性化深度都很小,幾乎都只有3-4mm左右。惟高雄港第四船渠碼頭,其中性化深度達20mm,主要原因乃該船渠碼頭混凝土材料使用不當,大多使用黏土堆積而成的,因此結構體內部孔隙很大,所以CO<sub>2</sub>亦很容易滲透進入較深之處。

花蓮港舊東堤,由於堤防結構有部份已受損龜裂,甚致造成內部掏空下陷,因此CO<sub>2</sub>氣體很容易滲進入內部因此其中性化深度亦達11mm。

台中港 3號碼頭,中性化深度為 0mm,亦謂此碼頭結構體尚未受CO<sub>2</sub>氣體滲透侵襲,可能建港啓用年數不長,加上鑽心取樣位於潮汐帶,碼頭結構物內部之孔隙可能充滿著水份(此時混凝土相對濕度為 100%),阻礙了 CO<sub>2</sub>的滲透,相互印證。

#### 7. 水泥含量分析

按 ASTM C85-66規範分析,各鑽心試體水泥含量如表 4-7。依富級配混凝土(1:2:4)之配比混凝土中,水泥含量至少應佔有14%以上。從表中可看出全部試體水泥含量均偏低。由上述之分析結果,可看出其混凝土品質甚不穩定,亦即施工品質不良。

#### 8. 化學成份分析

各港口碼頭之鑽心試體,其化學成份如圖 4-21至圖 4-29所示,實驗數據參考表4-8 至表 4-16 所示。由於各港結構體常年浸漬於海洋環境中,因此混凝土的化學成份已起了明顯變化, MgO, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> 之含量已明顯超過原來的標準 [3]。

#### 9. 氯離子侵入之分析

由港口鑽心試體化學成份分析數據中,每一港口各選擇一碼頭結構物之氯離子含量分佈,彙整列於表 4-17 以便分析。

將表4-17中每一碼頭結構物每一段深度之氯離子含量代入公式(2),藉由數值分析方法,設計電腦程式來分析計算表 4-17中各碼頭結構物表面氯離子濃度及其有效擴散係數,分析所得之結果列於表 4-18。

由於  $\text{Cl}^-$  的侵入為造成鋼筋腐蝕的主因，因此從  $\text{Cl}^-$  的滲透分佈，可預測 R.C. 內之鋼筋需要多久的時間 (亦即因為有鋼筋保護層厚度的阻延)，即可能被氯離子的侵入而接觸到並開始有鋼筋腐蝕的作用發生。

Van Daveer [6], 以及 P.K. Mehta [7] 等指出，當混凝土中氯離子與水泥之重量百分比大於 0.4 % 時，鋼筋即開始活性化，亦即有開始氧化生銹之情形發生。因此依據公式 (2)，藉由數值分析方法，設計電腦程式來分析計算各碼頭結構物完工啓用後，氯離子含量小於 0.4% 時，第 1 年、10 年、50 年、及 100 年後之臨界滲透深度，結果列於表 4-19 或如圖 4-30 至圖 4-34 所示。

由於台中港建港啓用至今僅十數年，可謂是一個較新又現代化的港口，當初建造時，必然參考世界各國建造港口的經驗與資料，結合現代科技，因此無論在設計或施工上，均對結構體防蝕應有所考量，然而有些碼頭結構體有出現銹斑的現象，在前述腐蝕電位測定結果，亦發現 R.C. 內部已經發生腐蝕作用的現象。因此本研究特別詳細探討氯離子侵入對結構物耐久性的影響。

由建港之設計資料，以及現場經鋼筋探測器測之，台中港 3 號碼頭，其保護層厚度約 8 cm，將此 8 cm 當做氯離子的滲透深度代入 Fick 氯離子擴散公式，經由電腦程式計算，測得  $\text{Cl}^-$  滲透進入鋼筋混凝土內 8cm 處時，只須兩年的時間即可到達，換言之，台中港 3 號碼頭於建造完工啓用兩年後，鋼筋混凝土結構物內之鋼筋即與海水中滲入之  $\text{Cl}^-$  接觸了，並開始對鋼筋發生銹蝕作用。此項分析推測所得之結果由圖 4-19 (台中 3 號碼頭鑽心試體內鋼筋腐蝕生銹之照片) 即可相互印証。

#### 10. 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 分析

表 4-20 為鑽心試體經 SEM 分析之結果。

圖 4-35 可明顯看出基隆港 W.4 號碼頭鑽心試體在 1-2 公分深度已有 Ettringite (鈣矾石,  $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 針狀結晶物，顯示此處受硫酸鹽嚴重侵蝕的現象。圖 4-36 顯示基隆港 W.14 號碼頭鑽心試體在 2-3 公分深度有許多氯離子出現，形成鈣氯鋁石 (Monochloroaluminate,  $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2$ )

•  $10\text{H}_2\text{O}$ ) 有害物質。圖 4-37 顯示基隆港 W.14 號碼頭鑽心試體在 2-3 公分深度亦有片狀之氫氧化鎂 ( Brucite,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ) 形成。圖 4-38 為基隆港 W.14 號碼頭鑽心試體在 3- 5 公分處，圖中圓點顯示混凝土受到  $\text{CO}_2$  氣體的侵入而礦化形成碳酸鈣 ( Calcite,  $\text{CaCO}_3$  ) 的證據，針狀如線之部份即為 Ettringite [8]。

綜合上述之物性、化性及 SEM 微觀分析，各港口碼頭鋼筋混凝土結構體之狀況如后：

## 基隆港

W. 4號虎石碼頭		W. 14號虎石碼頭	
項目	目前狀況	項目	目前狀況
1. 結構體外觀	: 仍然良好, 壁面有貝類生物棲息, 壁面有生物孔蝕現象。	1. 結構體外觀	: 仍然良好, 壁面略有孔蝕。
2. 試錘讀數	: 30 (混凝土品質在平均值以下)	2. 試錘讀數	: 34 (混凝土品質在平均值以下)。
3. 保護層厚度	: 4 - 5 cm	3. 保護層厚度	: 4 - 5 cm
4. 抗壓強度	: 219 kg/cm <sup>2</sup>	4. 抗壓強度	: 198kg/cm <sup>2</sup>
5. 水泥含量	: 6.80 %	5. 水泥含量	: 5.98 %
6. 中性化深度	: 2.5mm	6. 中性化深度	: 3.0mm
7. 碳化係數	: $4.11 \times 10^{-2}$ mm <sup>2</sup> /年	7. 碳化係數	: $7.63 \times 10^{-2}$ mm <sup>2</sup> /年
8. 化學成份	: MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯變化	8. 化學成份	: MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯變化。
9. Cl <sup>-</sup> 滲透深度	: 約 15cm 左右	9. Cl <sup>-</sup> 滲透深度	: 15cm以上
10. Cl <sup>-</sup> 擴散係數	: $1.38 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec	10. Cl <sup>-</sup> 擴散係數	: —
11. SEM微觀及 X-Ray繞射分析	: 在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在 (諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate等)。	11. SEM微觀及 X-Ray繞射分析	: 在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在 (諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate 等)。
12. 透水率	: —	12. 透水率	: $2.03 \times 10^{-11}$ m/sec
13. 比重	: —	13. 比重	: 2.25
14. 吸水率	: —	14. 吸水率	: 5.07 %

# 台中港

## 3號碼頭

項目	目前狀況
1.結構體外觀	: 仍然良好, 壁面有貝類生物棲息, 壁面有生物孔蝕現象。
2.試錘讀數	: 44 (混凝土品質仍然良好)
3.保護層厚度	: 約 6 - 8 cm
4.抗壓強度	: 327 kg/cm <sup>2</sup>
5.水泥含量	: 10.03 %
6.中性化深度	: 0.0 mm
7.碳化係數	: 0
8.化學成份	: MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯不規則變化
9.Cl <sup>-</sup> 滲透深度	: 約 15 cm 左右
10.Cl <sup>-</sup> 擴散係數	: 1.27 × 10 <sup>-7</sup> cm <sup>2</sup> /sec
11.SEM微觀及 X-Ray繞射分析	: 在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在 (諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate等)。
12.透水率	: 4.86 × 10 <sup>-9</sup> m/sec
13.比重	: 2.32
14.吸水率	: 3.85%

## 高雄港

### 第四船渠碼頭

項目	目前狀況
1. 結構體外觀	: 尚為良好，壁面有厚油污存在，表面有孔蝕現象。
2. 試錘讀數	: 28 (混凝土品質在平均值以下)
3. 保護層厚度	:
4. 抗壓強度	: 126kg/cm <sup>2</sup>
5. 水泥含量	: 5.17 %
6. 中性化深度	: 20mm
7. 碳化係數	: 7.14×10 <sup>-2</sup> mm <sup>2</sup> /年
8. 化學成份	: MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯不規則變化。
9. Cl <sup>-</sup> 滲透深度	: 約 15 cm 以上
10. Cl <sup>-</sup> 擴散係數	: —
11. SEM微觀及 X-Ray繞射分析	: 在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在 (諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate等)。
12. 透水率	: —
13. 比重	: —
14. 吸水率	: —

### 第九船渠碼頭

目前狀況
仍然完好，壁面有厚油污存在，表面略有孔蝕現象。
38 (混凝土品質仍然完好)
約 5 cm
262kg/cm <sup>2</sup>
7.78%
3.0mm
2.64×10 <sup>-1</sup> mm <sup>2</sup> /年
MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯不規則變化。
約 15 cm 左右
2.20×10 <sup>-8</sup> cm <sup>2</sup> /sec
在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在。(諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate 等)。
5.95×10 <sup>-8</sup> m/sec
2.30
5.78 %

## 花蓮港

### 3號碼頭

### 舊東堤

項目	目前狀況	目前狀況
1.結構體外觀	: 尚為良好，壁面有貝類生物棲息，壁面有生物孔蝕現象。	仍然完好，然部份地區有掏空下陷。
2.試錘讀數	: 34 (混凝土品質在平均值以下)	32 (混凝土品質在平均值以下)
3.保護層厚度	: 約 5 cm	
4.抗壓強度	: 207kg/cm <sup>2</sup>	96 kg/cm <sup>2</sup>
5.水泥含量	: 8.39 %	10.59 %
6.中性化深度	: 4.0mm	11.0mm
7.碳化係數	: 1.43×10 <sup>-1</sup> mm <sup>2</sup> /年	1.08×10 <sup>-1</sup> mm <sup>2</sup> /年
8.化學成份	: MgO, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯變化。	MgO, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯變化。
9.Cl <sup>-</sup> 滲透深度	: 約 10cm 左右	約 10cm 左右
10.Cl <sup>-</sup> 擴散係數	: 1.73×10 <sup>-9</sup> cm <sup>2</sup> /sec	—
11.SEM微觀及 X-Ray繞射分析	: 在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在。 (諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate等)。	在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在。 (諸如 Ettringite, Portlandite Monochloroaluminate 等)。
12.透水率	: 4.61×10 <sup>-10</sup>	2.61×10 <sup>-11</sup> m/sec
13.比重	: 2.55	2.41
14.吸水率	: 2.36 %	2.80 %

## 蘇澳港

### 2號碼頭

項目	目前狀況
1. 結構體外觀	: 尚為良好，壁面有貝類生物棲息，壁面有生物孔蝕現象。
2. 試錘讀數	: 31 (混凝土品質在平均值以下)
3. 保護層厚度	: 8 - 10 cm
4. 抗壓強度	: 150kg/cm <sup>2</sup>
5. 水泥含量	: 10.08 %
6. 中性化深度	: 3.9mm
7. 碳化係數	: $1.27 \times 10^{-1}$ mm <sup>2</sup> /年
8. 化學成份	: MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯變化。
9. Cl <sup>-</sup> 滲透深度	: 約 10cm 左右
10. Cl <sup>-</sup> 擴散係數	: —
11. SEM微觀及 X-Ray繞射分析	: 在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在。 (諸如 Ettringite, Portlandite, Monochloroaluminate等)。
12. 透水率	: $6.48 \times 10^{-8}$
13. 比重	: 2.30
14. 吸水率	: 7.04 %

### 10號碼頭

目前狀況
尚為良好，壁面有貝類生物棲息，壁面有生物孔蝕現象。
35 (混凝土品質在平均值以下)
8 - 10 cm
290kg/cm <sup>2</sup>
9.87%
3.9mm
$7.64 \times 10^{-1}$ mm <sup>2</sup> /年
MgO, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> 含量均有明顯變化。
約 10cm 左右
$6.78 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec
在試體中已形成劣化混凝土中品質之有害物質存在。 (諸如 Ettringite, Portlandite Monochloroaluminate 等)。
$6.0 \times 10^{-9}$ m/sec
2.35
4.45 %

## 五、結論與建議

### (一)結論

1. 五大港口碼頭結構物從外觀,以及現場非破壞性試驗上,似乎看出鋼筋混凝土結構體之狀況仍然完好,但從化學分析以及 X-Ray、SEM等儀器分析下,發現結構體之內部混凝土的品質已發生變化,混凝土中之化學成份已起明顯變化,海水鹽份( $Cl^-$ )亦已滲入結構體內部10公分左右。
2. 可能造成港灣鋼筋混凝土腐蝕劣化的原因有下列：
  - (1) 鋼筋保護層不足  
由調查研究當中,五大港口僅新建立港口(台中港、蘇澳港)尚符合施工規範,其餘各港鋼筋混凝土之保護層厚度均明顯不足。
  - (2) 施工不良或配比不當,造成品質不一。由各港碼頭鑽心試體做透水試驗,即發現各試體透水率均偏高很多,有的甚至超過規範極限有 200倍之大。顯然可見其混凝土內部之孔隙率一定很大。
  - (3) 當初設計不當,沒有遵行規範施行。五大港口中,建港較久之港,由施年代較久,人事變遷,星移物換,當初設計之資料早已殘缺不全,或早已不存在了,這些港尚且不談,但誠如現代科技昌明不建立之台中港,施工設計時,仍然並沒有完全遵照規範施行,例如材料配比當中,W/C 比台中港僅採用 0.53,與標準規範值 0.4 - 0.45,相差很大,因此造成結構物加速或早期劣化乃是必然現象。
  - (4) 各港口均未定期檢查碼頭結構物的腐蝕劣化狀況並有效掌握控制劣化的範圍。
3. 氯離子的侵入為造成鋼筋混凝土(R.C.)結構物內鋼筋發生腐蝕生銹主要的原因。由於海水氯離子對R.C.結構物的滲入,乃是無法避免,因此建造港灣結構物時必須嚴格遵行施工規範。
4. 藉由非破壞性之試驗,諸如腐蝕電位儀的量測,已偵測出R.C.內之鋼筋已發生銹蝕現象,再經由破壞性之試驗,諸如鑽心取樣,劈裂試體,實際觀測內

部鋼筋是否生鏽，並利用化學分析，測定 $Cl^-$  侵入之含量，再藉由 $Cl^-$  擴散速率方程式，可預估結構物完工啓用後，1年、10年、50年及100年後 $Cl^-$  滲入之深度。由上述兩方面的試驗，可相互印証鋼筋混凝土結構體內之鋼筋是否已發生腐蝕。因此，往後有關鑑定鋼筋混凝土結構體是否已經劣化腐蝕現象，可經由非破壞試驗方法即可偵測出來，而不用破壞結構體。

5. 本研究藉由破壞性的鑽心取樣，印証了現場非破壞性檢驗的方法是可行的，因此可推廣至各港務局，進行定期碼頭混凝土結構物之劣化腐蝕檢查，以期早期發現有問題的結構物，即早修護改善。

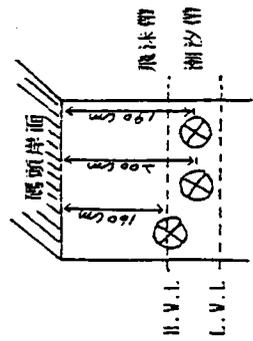
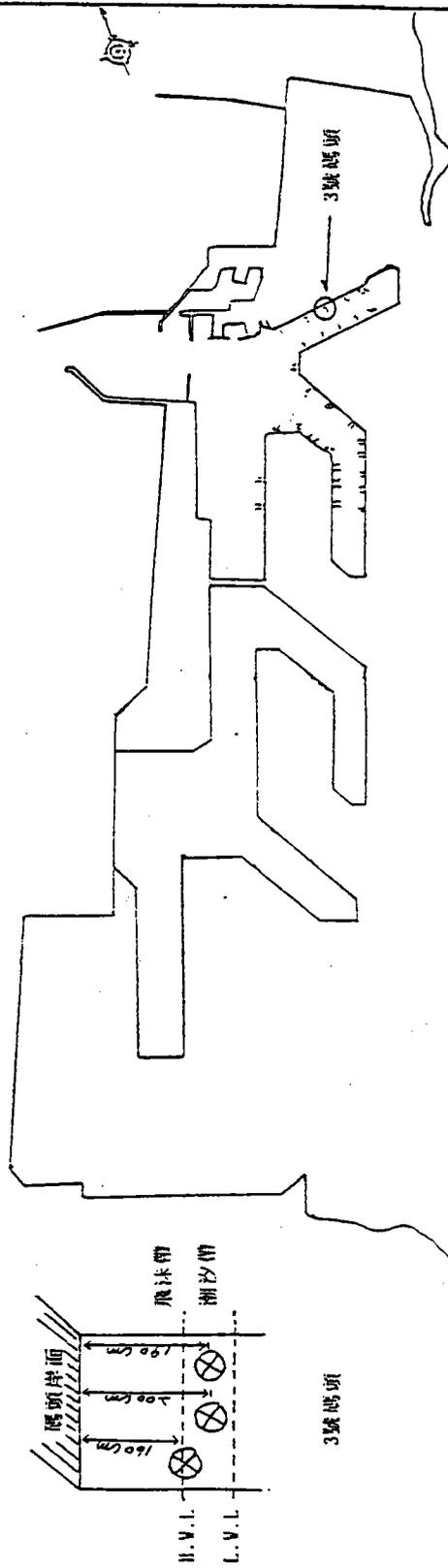
## (二) 建議

1. 本島地處極易腐蝕之海洋環境，至今尚未建立海洋環境下之預力及鋼筋混凝土結構物之設計與施工規範，請政府有關單位儘速檢討並訂定規範，以確保工程品質。
2. 國內有關R.C及P.C腐蝕調查研究、維修技術、經濟效益及實務工程經驗等之研究心得，應定期舉行學術研討會，以推動國內海洋混凝土之研究技術水準，確保工程結構與安全。
3. 在海洋混凝土結構物設計規劃時，必須作海域環境條件下，防蝕材料選用及施工技術等之評估。

## 六、參考文獻

1. "澎湖跨海大橋腐蝕調查研究"，港灣技術研究所專刊第41號，1987
2. Mehta, P.K., "Concrete -Structure, Properties and Materials", PP.152~154 Prentice-Hall, Inc. N.J. (1986)
3. 黃兆龍, "混凝土破裂原因分析及診治建議", 混凝土工程技術研討會, PP.X 1-1~34, 台灣營建研究中心, 台北(1985).
4. Mehta, P.K., "Durability of Concrete in Marine Environment — A Review", in Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65, PP.1~19 (1980).

台中港



(b)鑽心取樣位置圖

(a)碼頭平面佈置圖

圖 4-2 台中港碼頭平面佈置圖及鑽心取樣位置圖

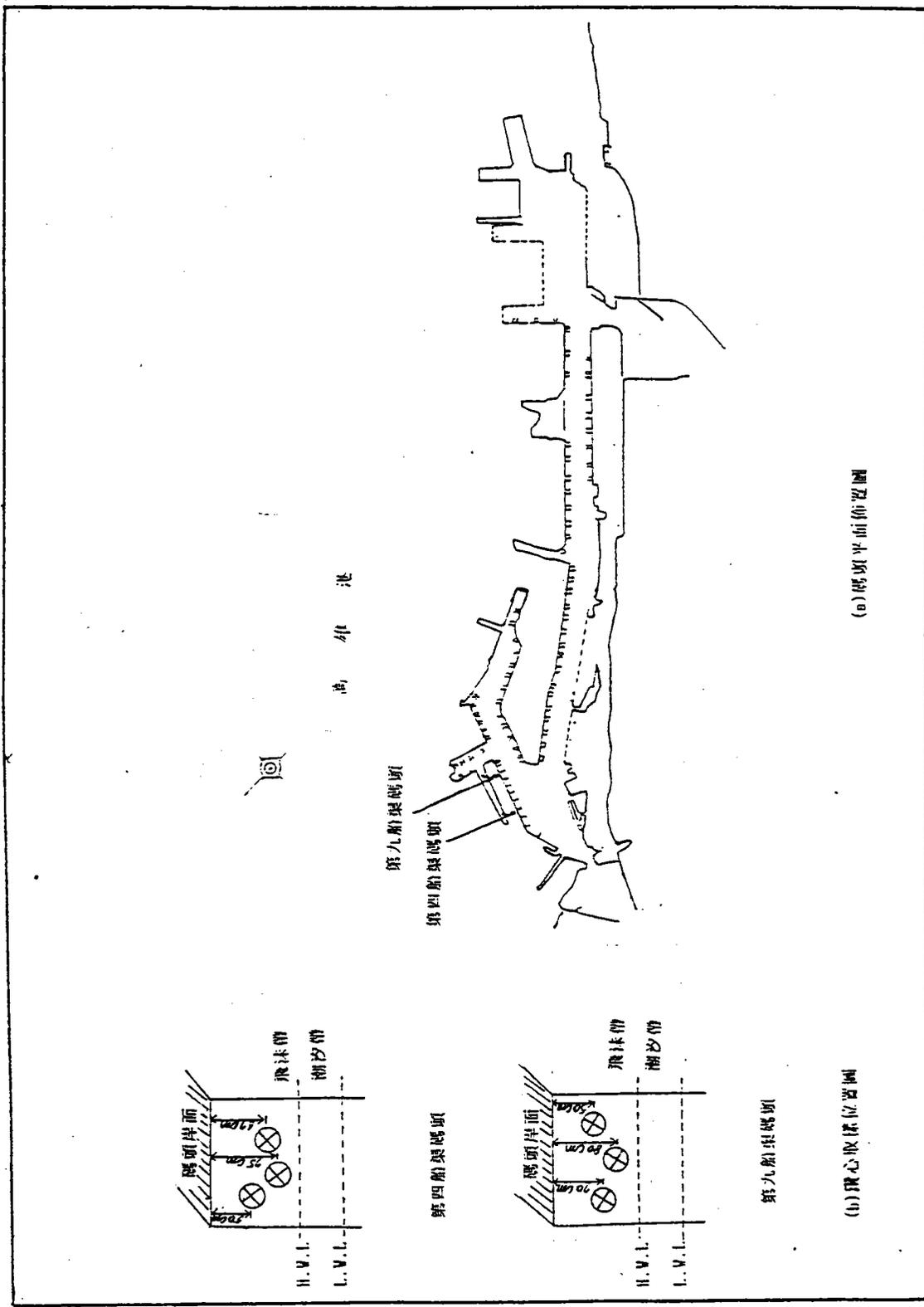


圖 4-3 高埠港碼頭平面佈置圖及鑽心取樣位置圖

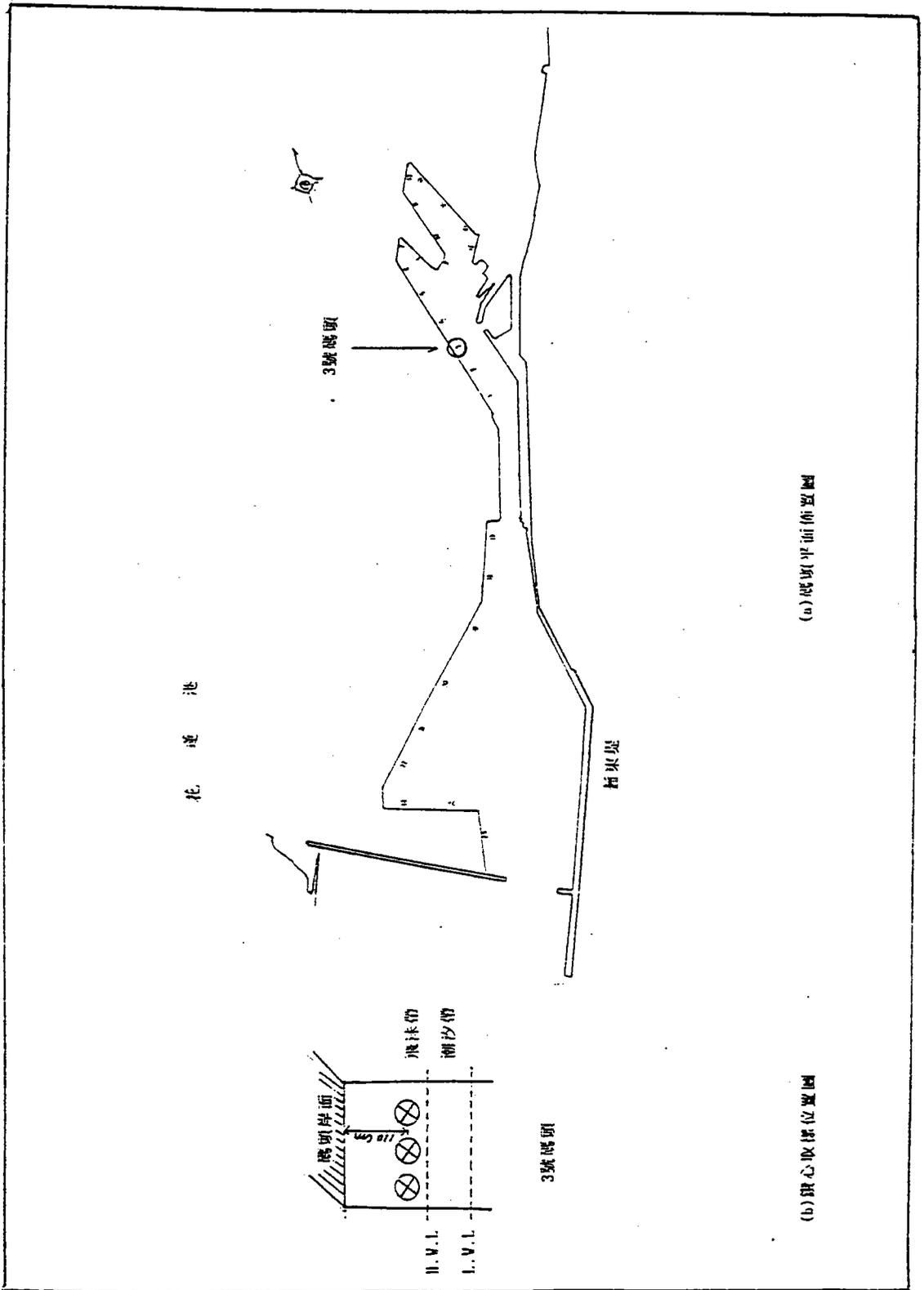


圖 4-4 花蓮港碼頭平面佈置圖及鑽心取樣位置圖

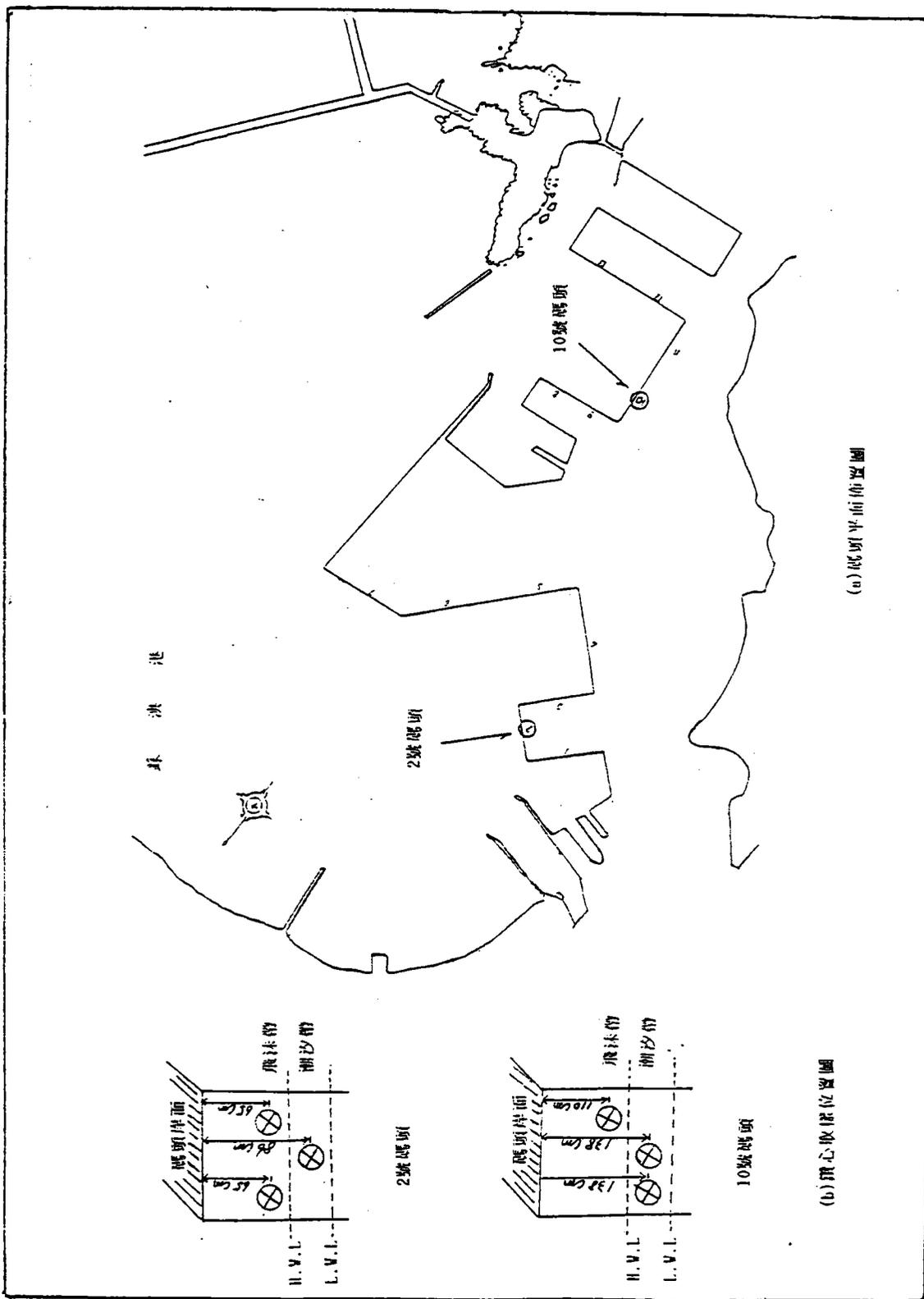
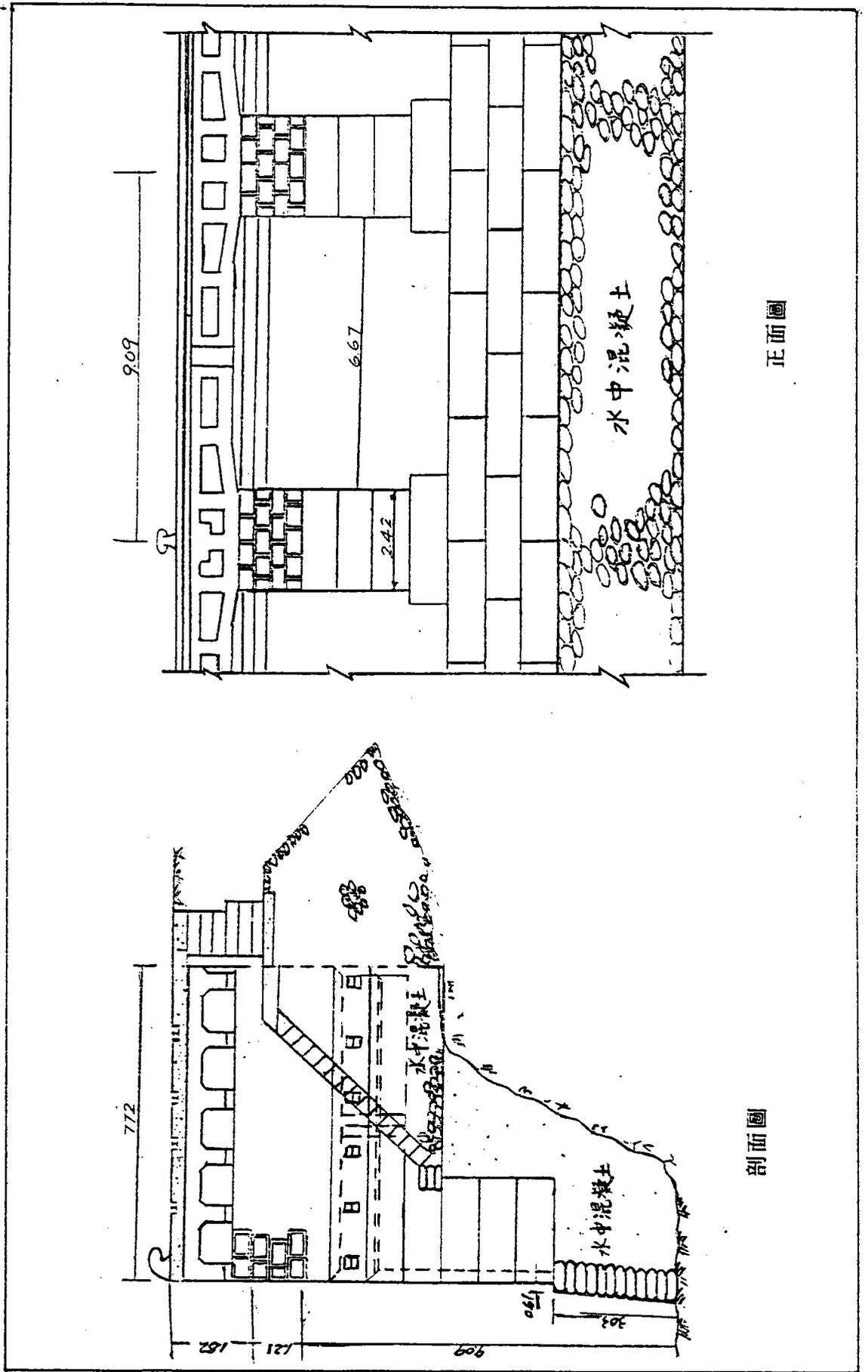


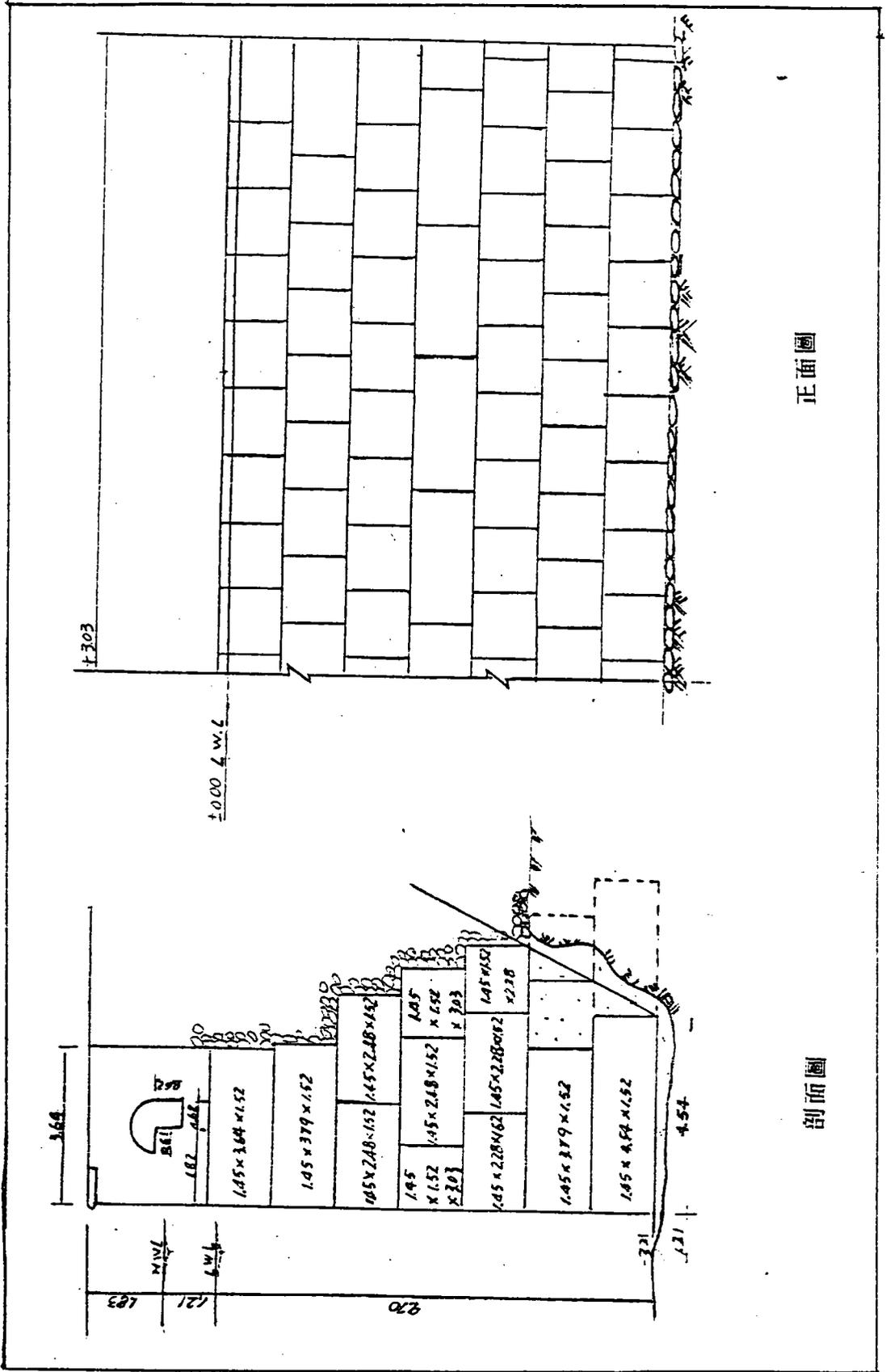
圖 4-5 蘇州港碼頭平面佈置圖及鑽心取樣位置圖



正面圖

剖面圖

圖 4-6 橋墩式碼頭構造圖



正面圖

剖面圖

圖 4-7 混凝土方塊堆壁式碼頭構造圖

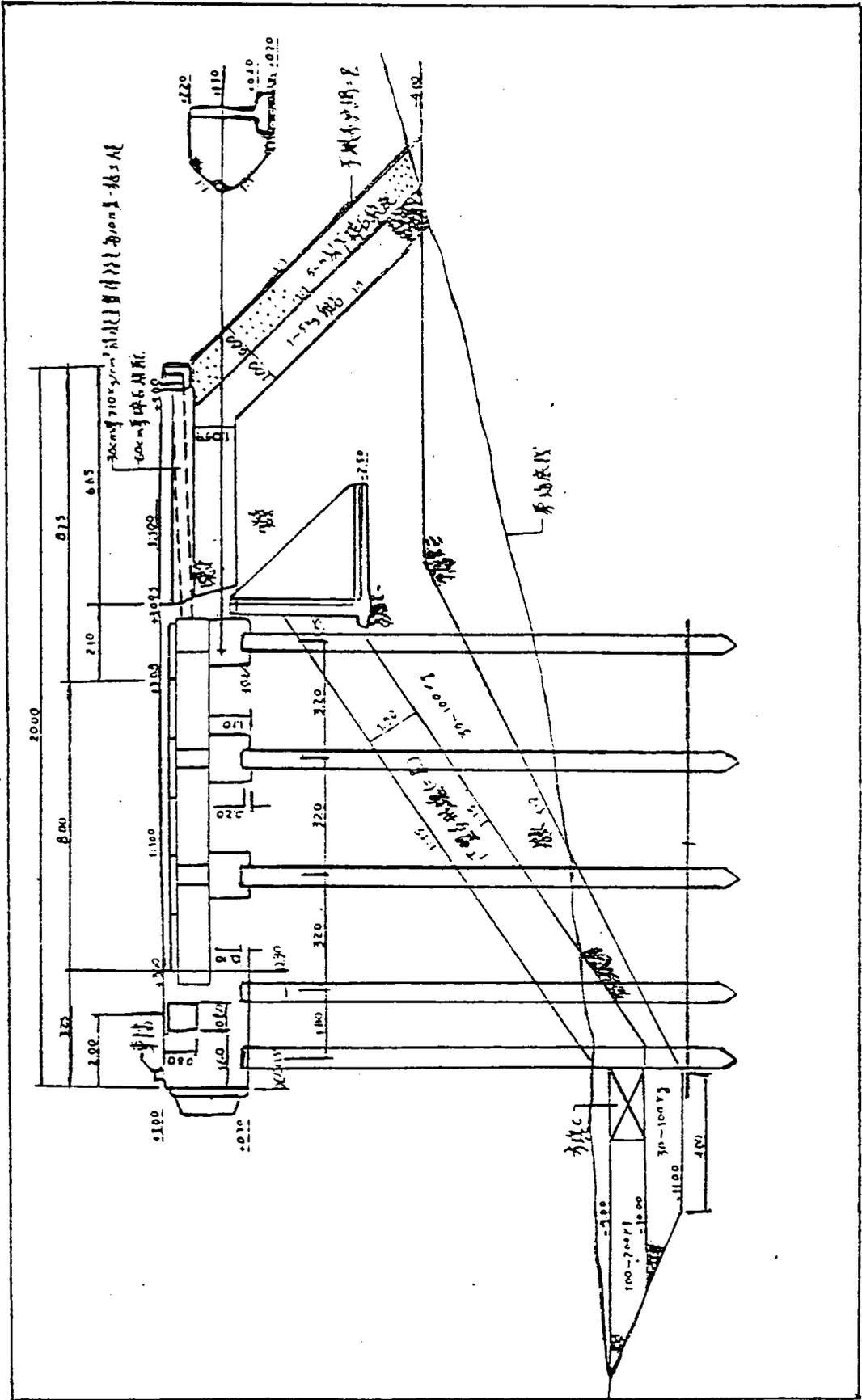


圖 4-8 基樁棧橋式碼頭斷面圖



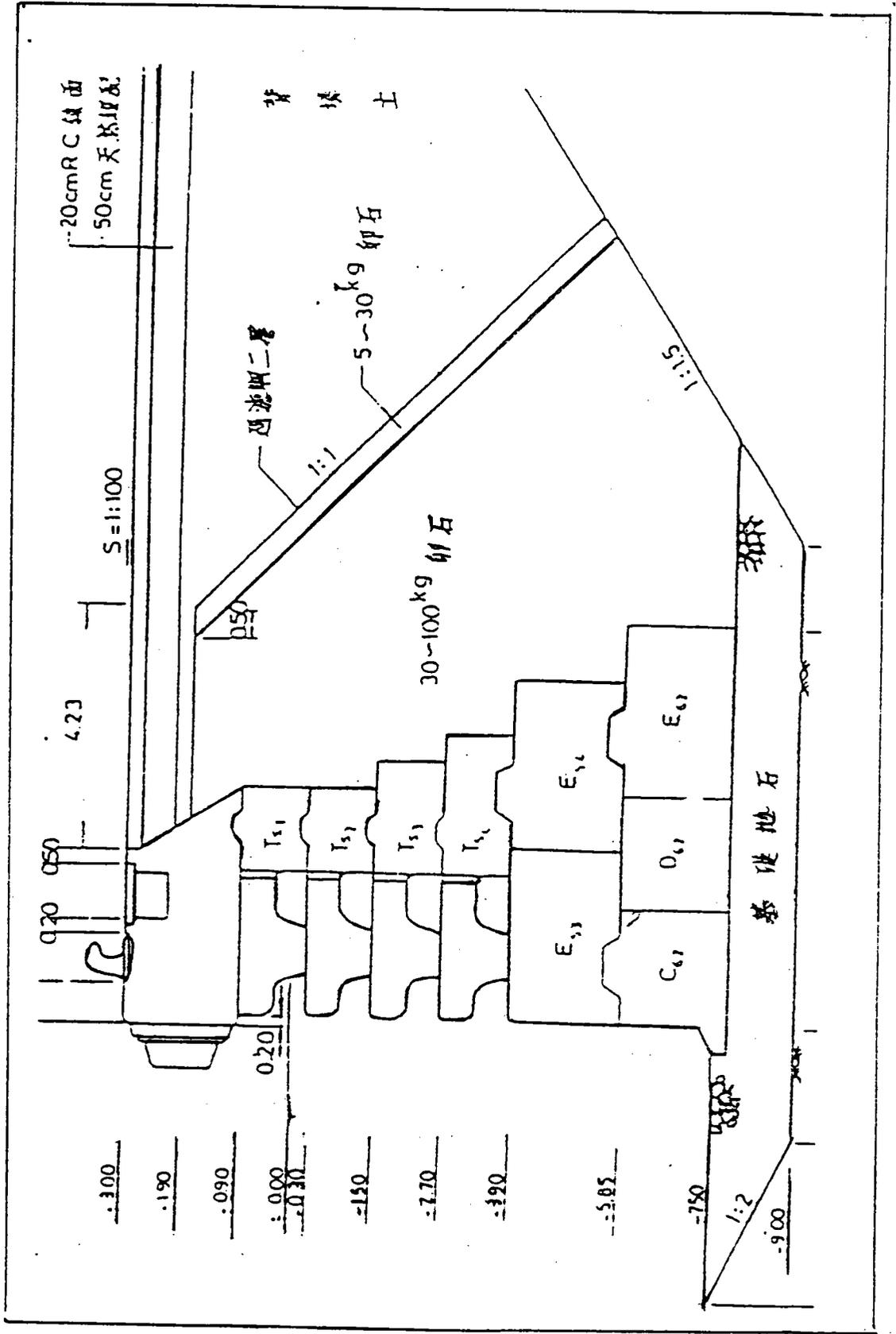
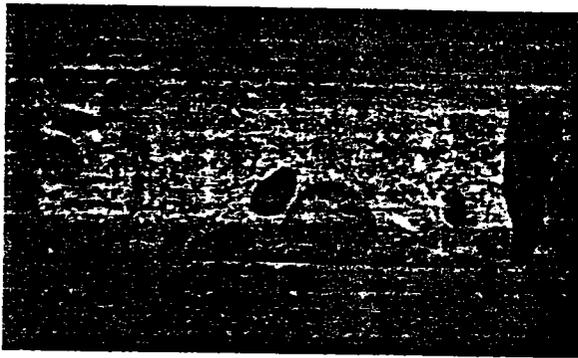
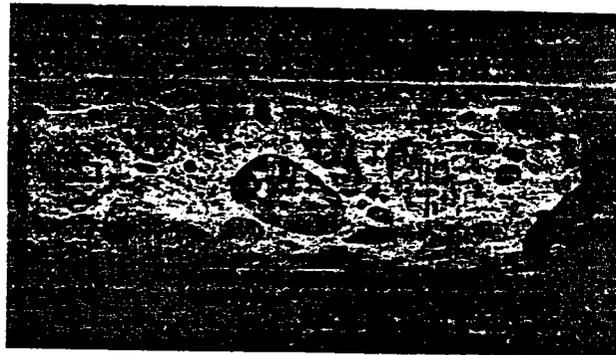


圖 4-10 沉箱消波式碼頭斷面圖



基隆港W.4號碼頭鑽心試體



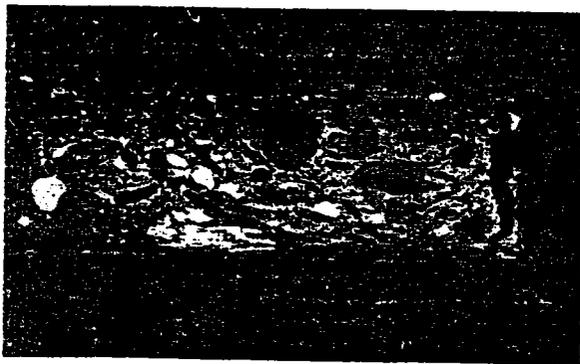
基隆港W.14號碼頭鑽心試體



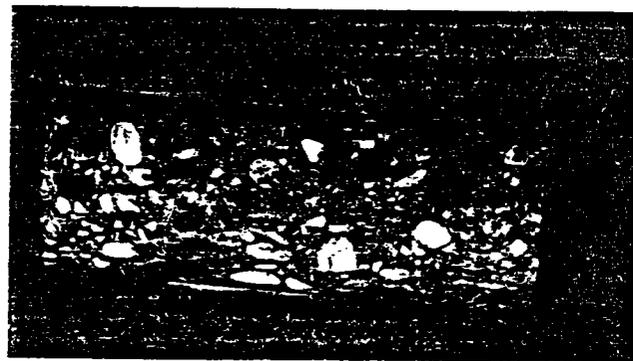
台中港3號碼頭鑽心試體



高雄港第四船渠碼頭鑽心試體



高雄港第九船渠碼頭鑽心試體



花蓮港3號碼頭鑽心試體

圖 4-11 各港口碼頭鑽心試體之照片



花蓮港舊東堤鑽心試體



蘇澳港2號碼頭鑽心試體



蘇澳港10號碼頭鑽心試體

圖 4-12 各港口碼頭鑽心試體之照片(續)

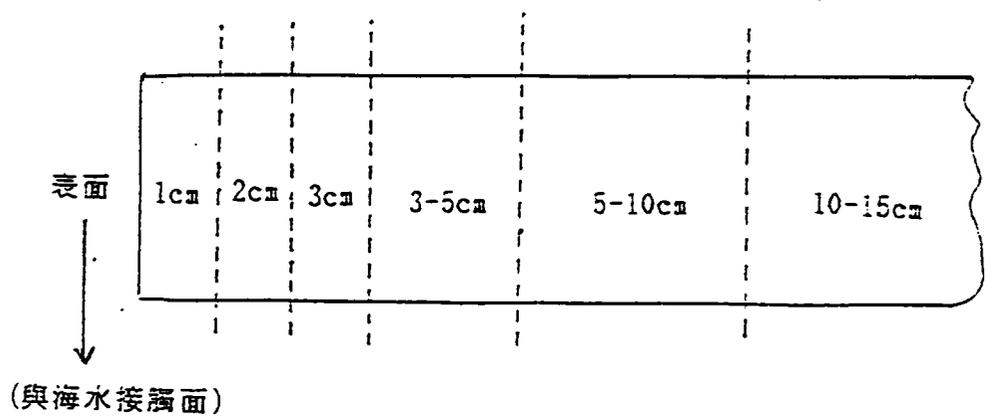


圖 4-13 鑽心試體依深度切割之簡圖

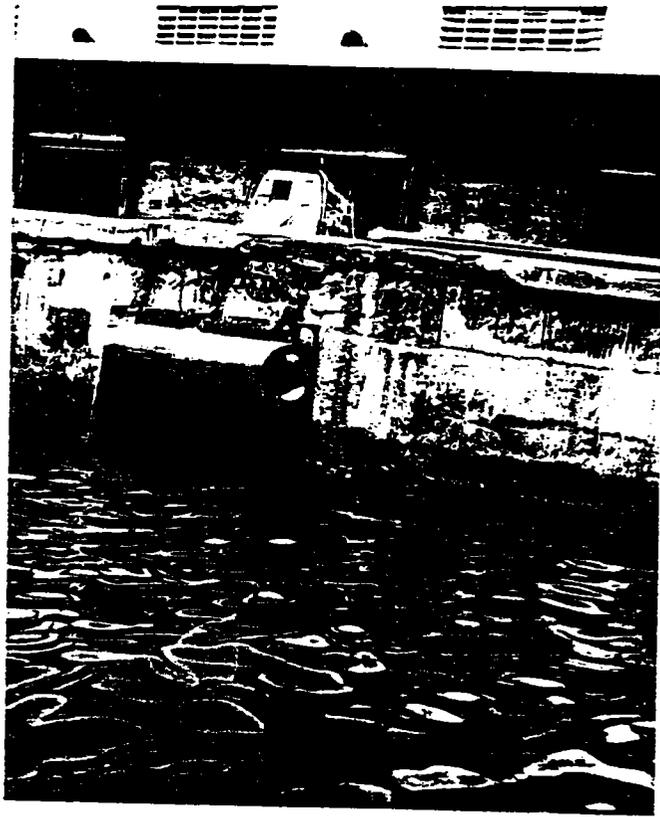


圖 4-14 基隆港碼頭鋼筋混凝土結構物生銹之圖片

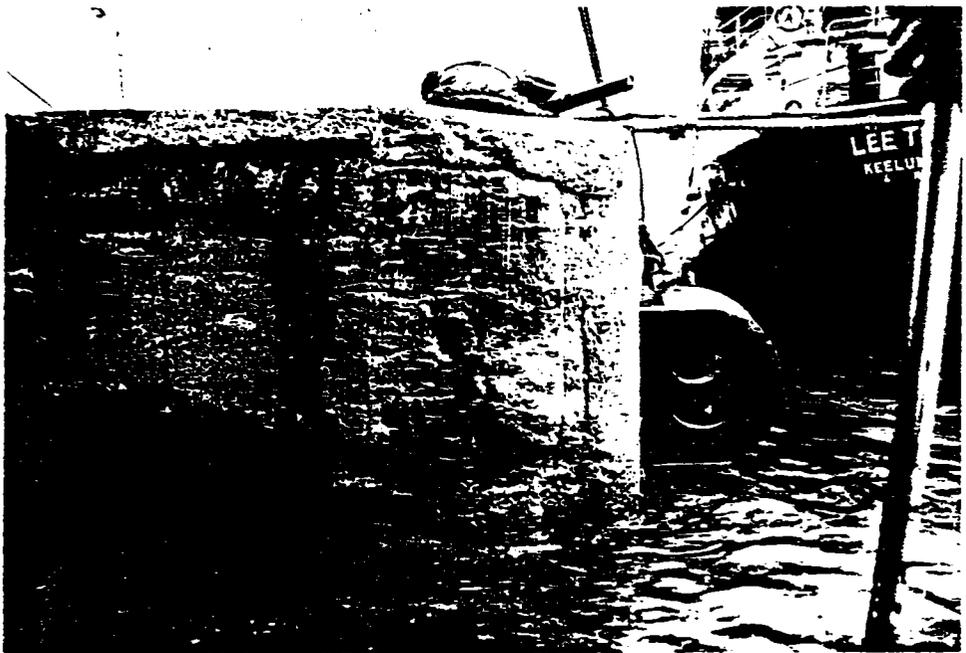


圖 4-15 基隆港碼頭鋼筋混凝土結構物生銹之圖片

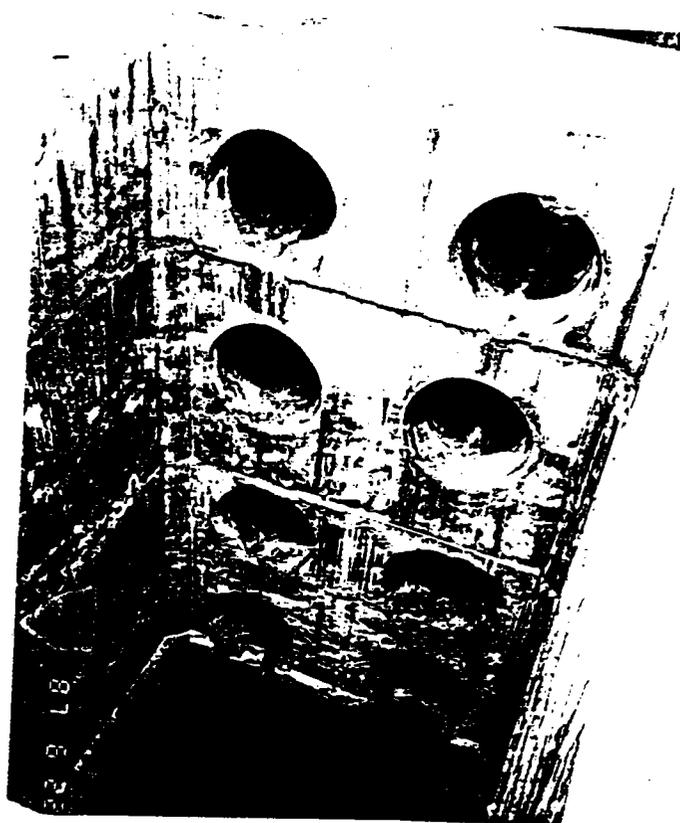


圖 4-16 花蓮港碼頭鋼筋混凝土結構物生鏽之圖片

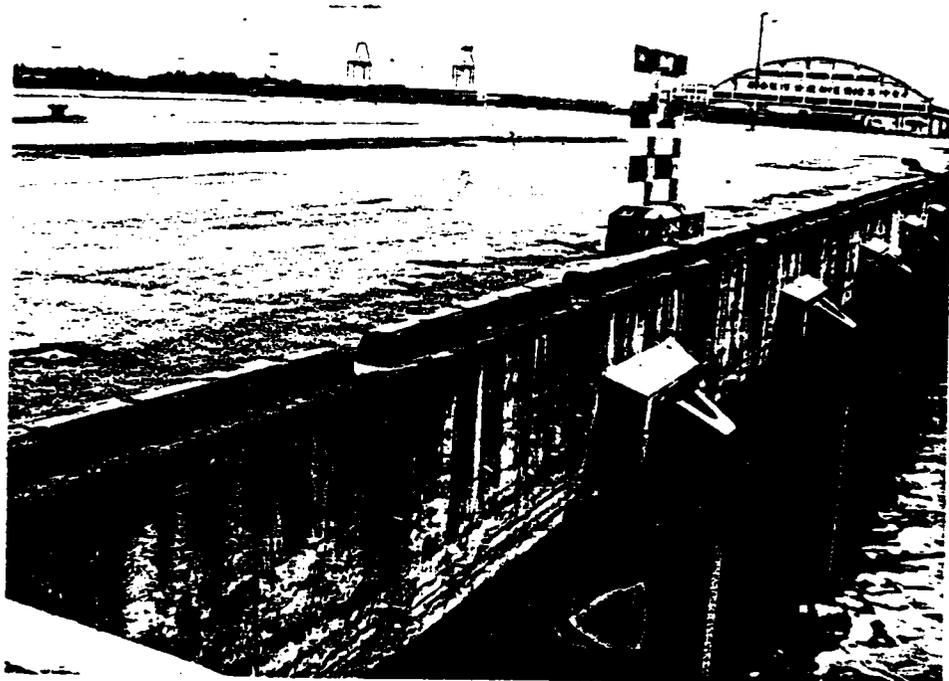


圖 4-17 台中港碼頭鋼筋混凝土結構物生鏽之圖片

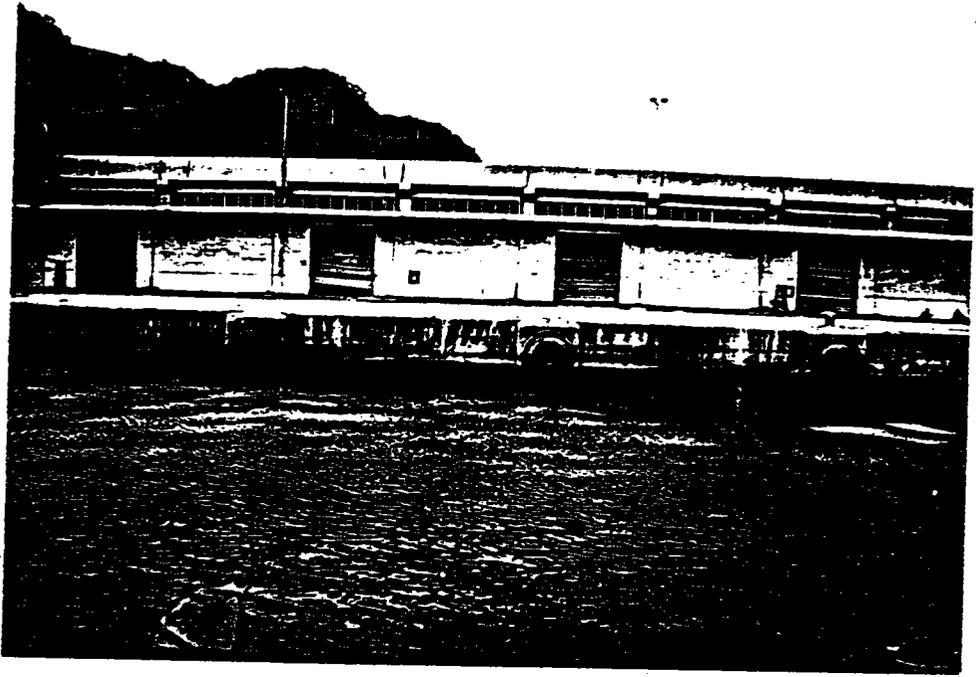
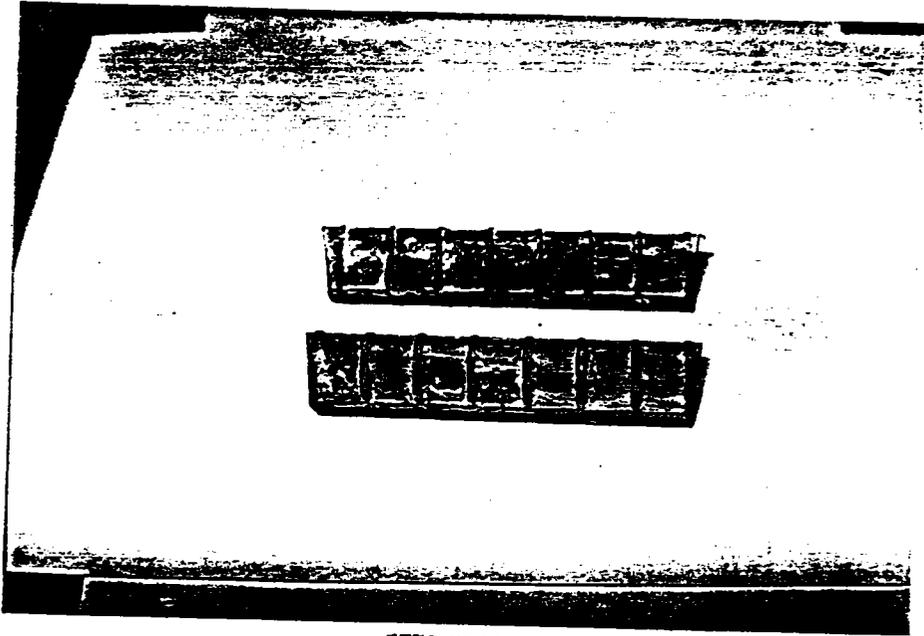
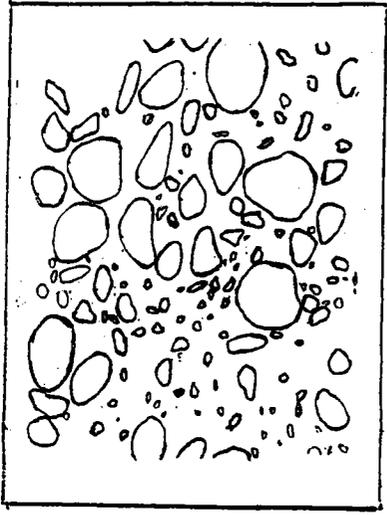


圖 4-18 蘇澳港碼頭鋼筋混凝土結構物生銹之圖片

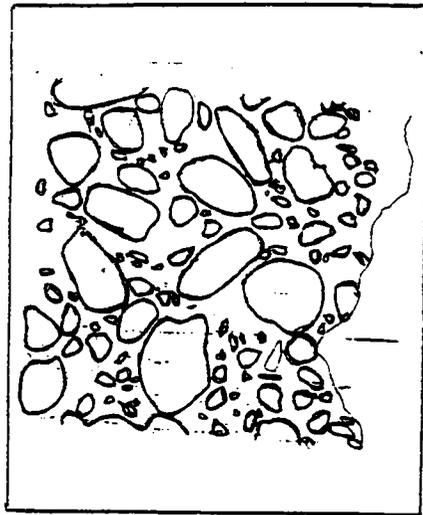


鳳凰彩色 FUJICOLOR

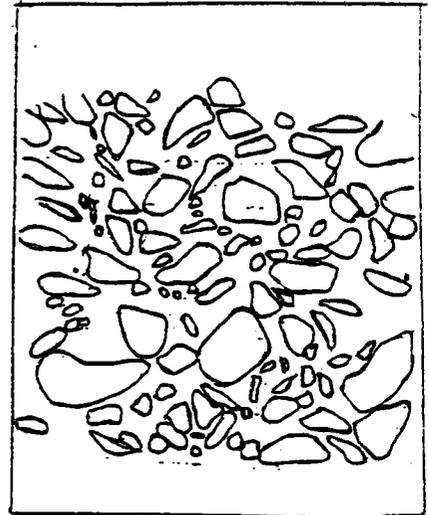
圖 4-19 台港3號碼頭鋼筋混凝土內出現斑點銹蝕之圖片



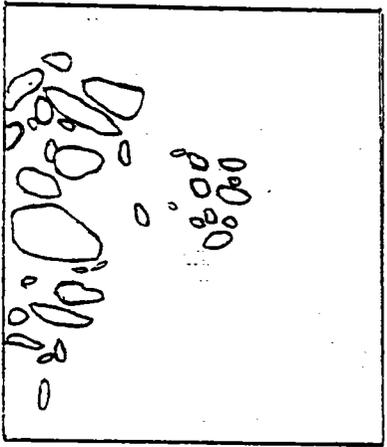
基隆港W. 4號碼頭



基隆港W. 14號碼頭



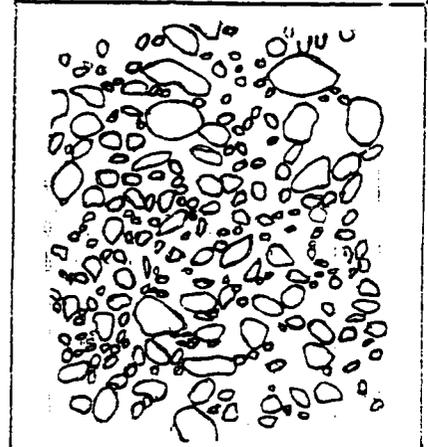
台中港3號碼頭



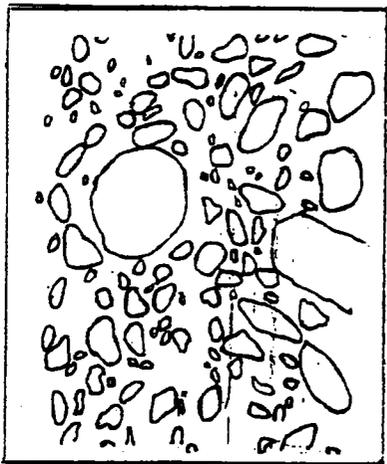
高雄港第四船渠碼頭



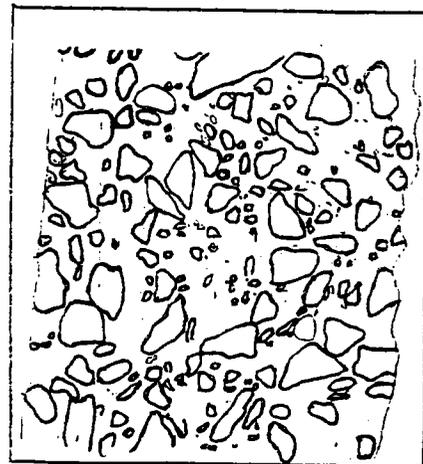
高雄港第九船渠碼頭



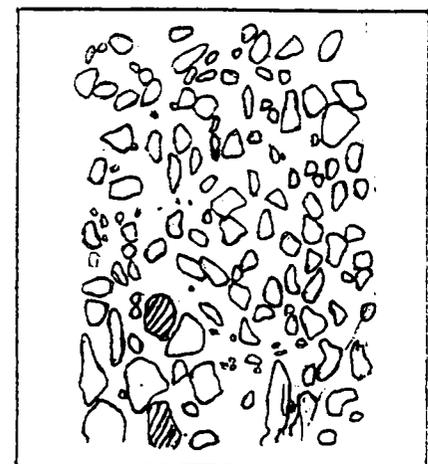
花蓮港3號碼頭



花蓮港舊東堤



蘇澳港2號碼頭



蘇澳港10號碼頭

圖 4-20 鑽心試體外觀描繪圖

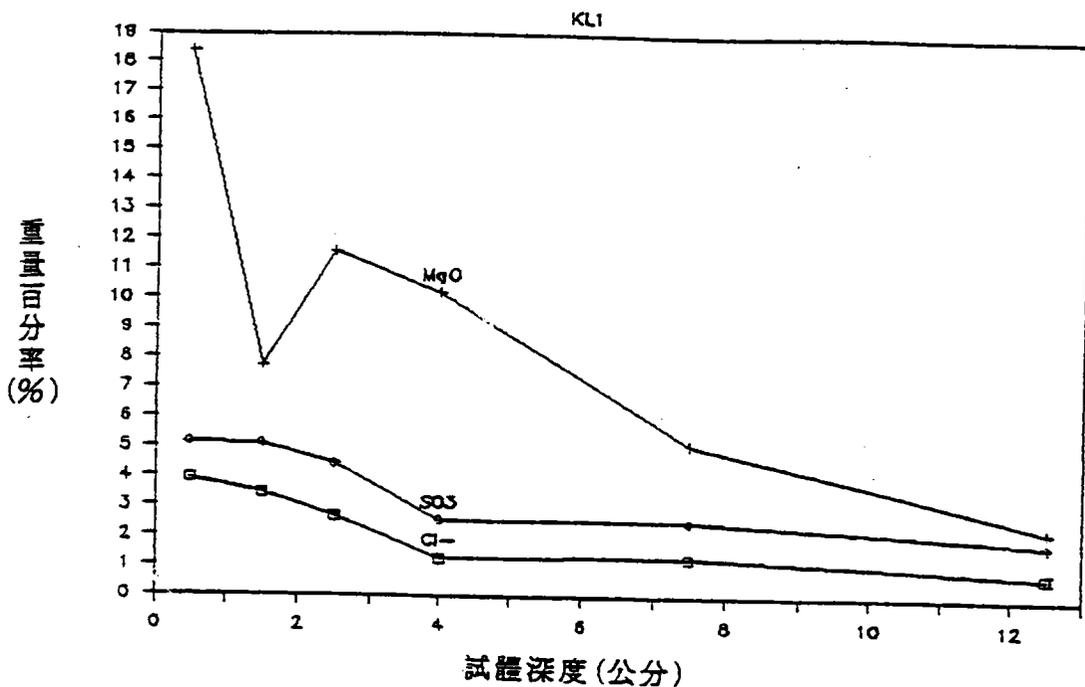


圖 4-21 基隆港W.4號碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

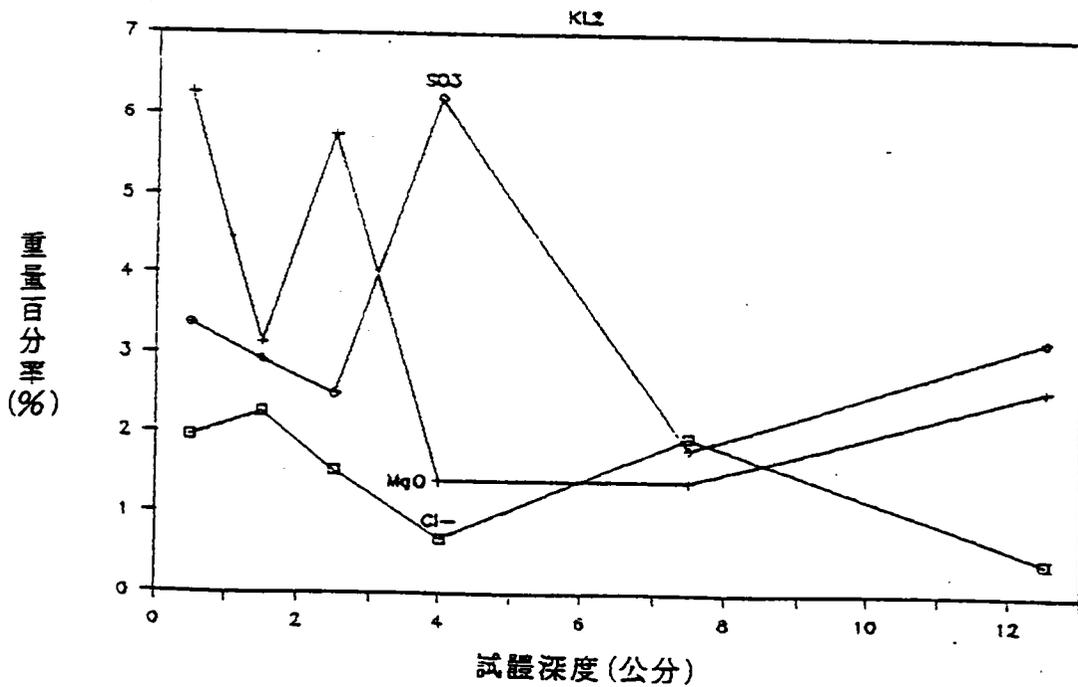


圖 4-22 基隆港W.14號碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

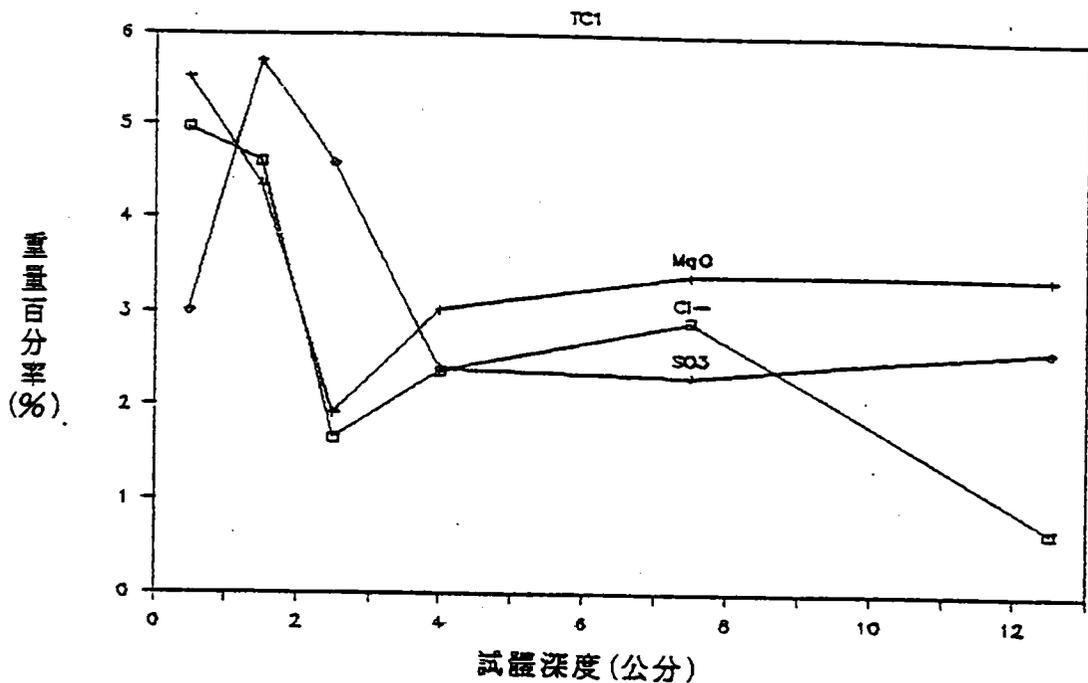


圖 4-23 台中港3號碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

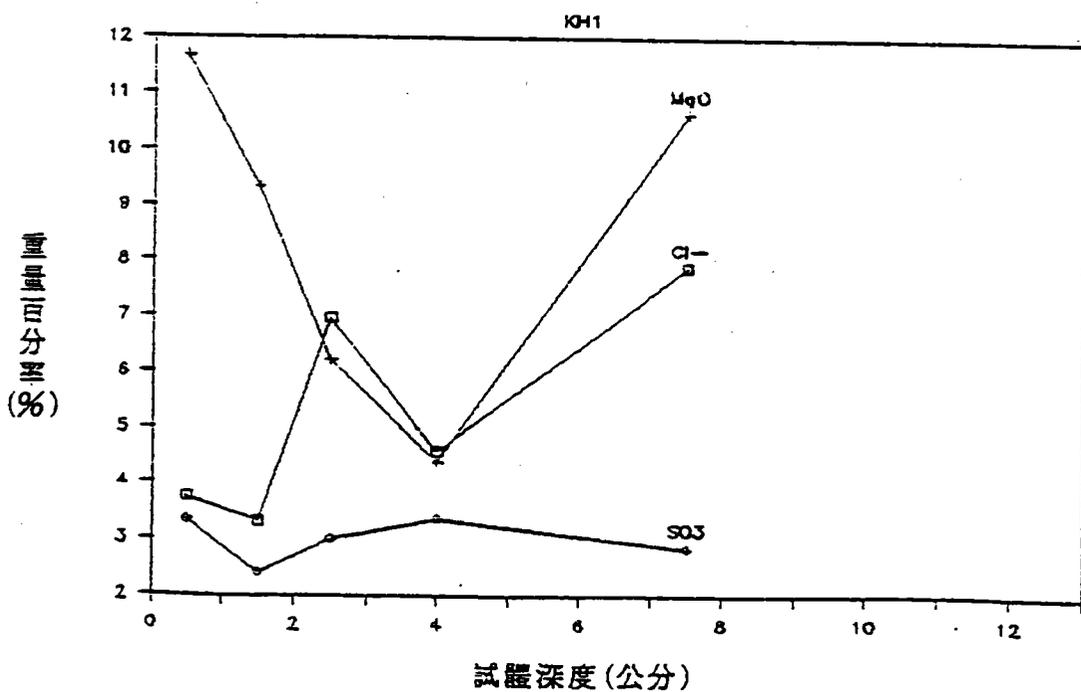


圖 4-24 高雄港第四船渠碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

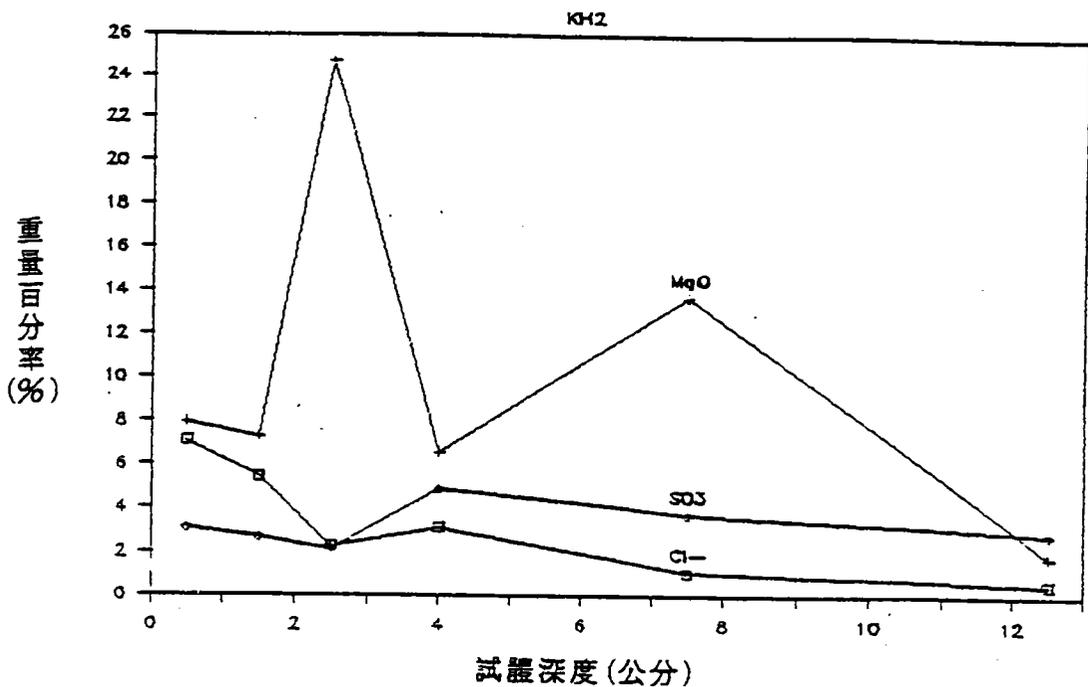


圖 4-25 高雄港第九船渠碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

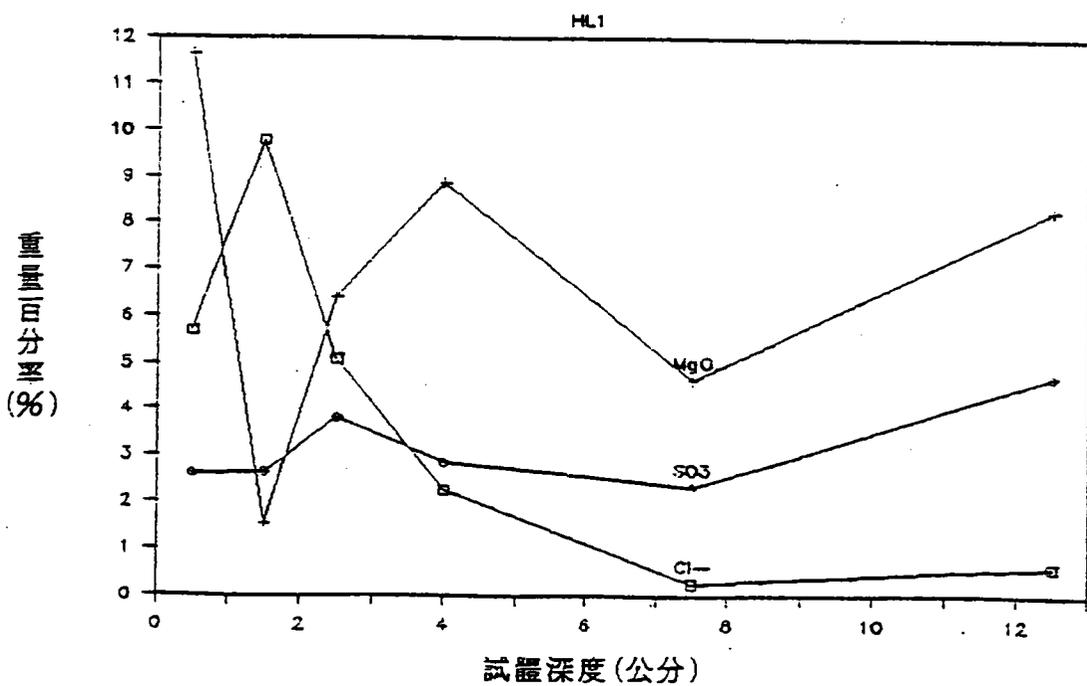


圖 4-26 花蓮港3號碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

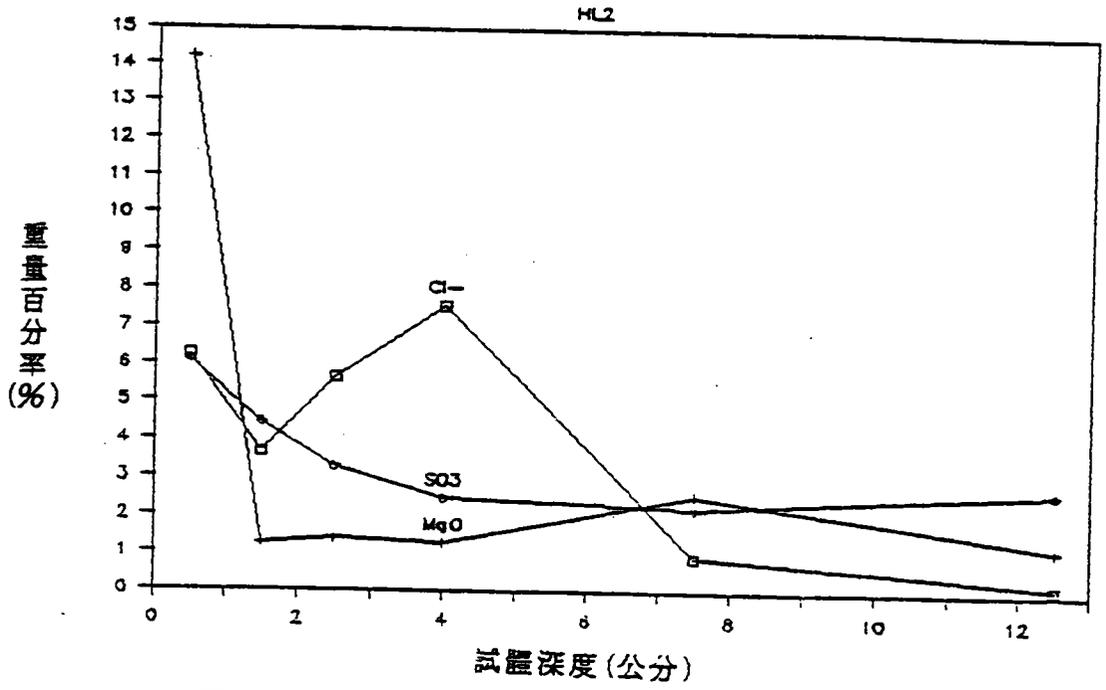


圖 4-27 花蓮港舊東堤鑽心試體化學成份含量與深度關係

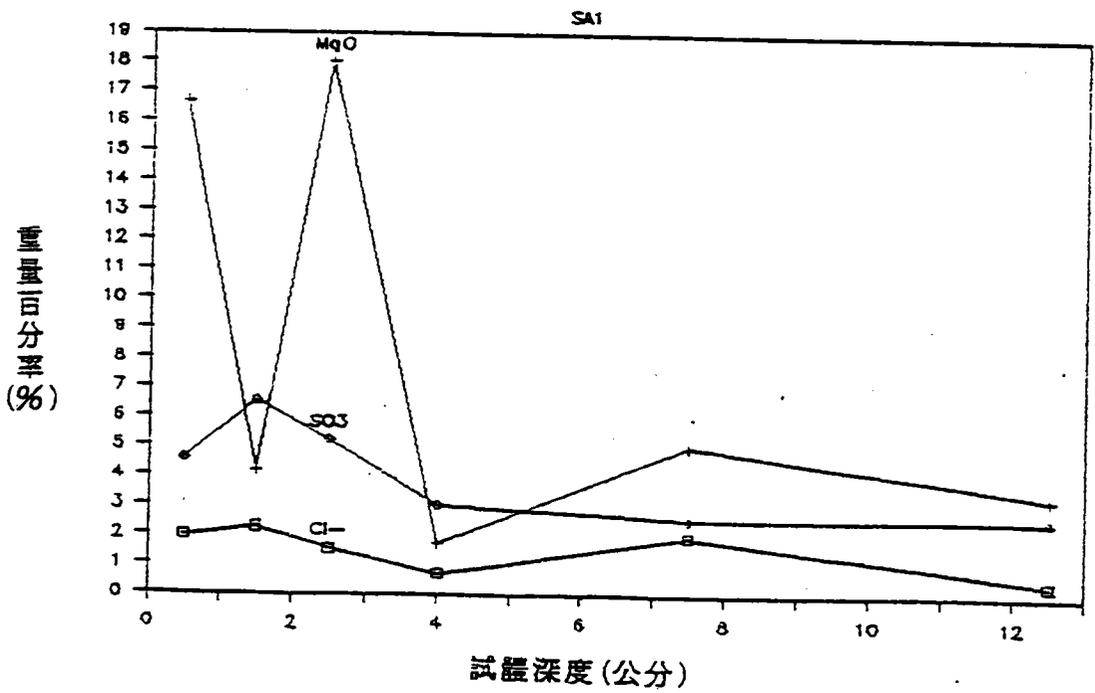


圖 4-28 蘇澳港2號碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

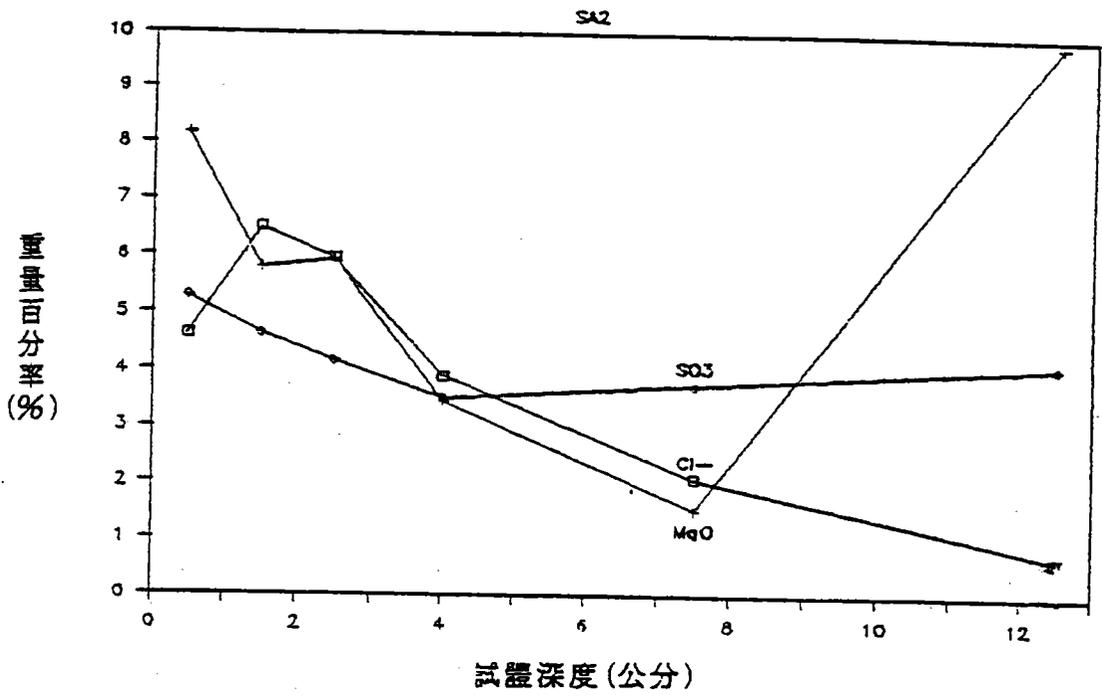


圖 4-29 蘇澳港10號碼頭鑽心試體化學成份含量與深度關係

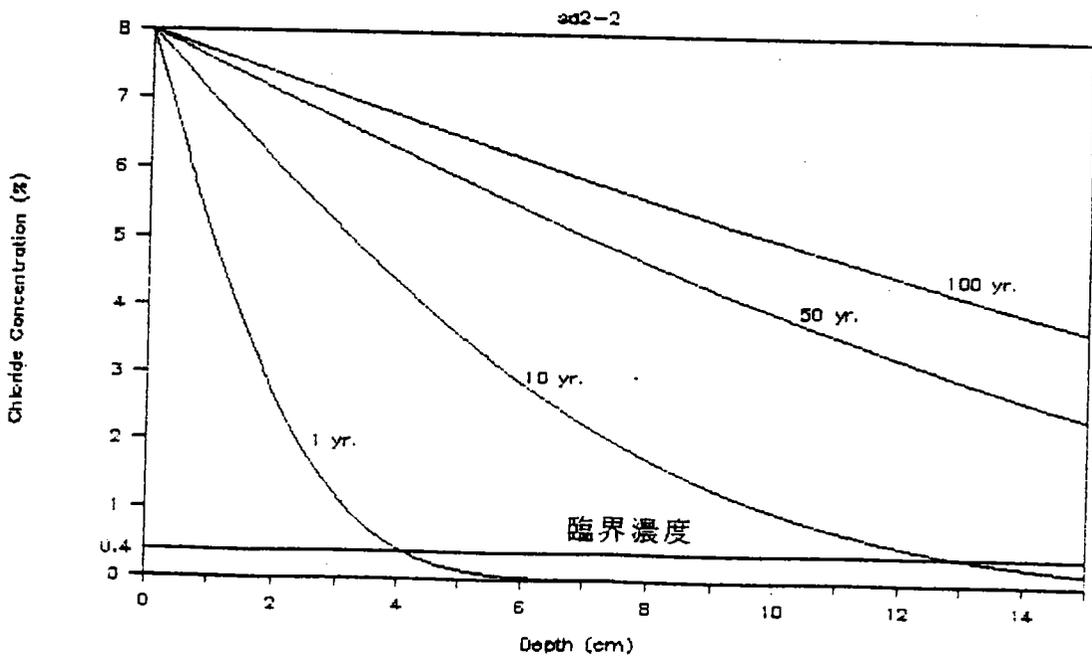


圖 4-30 蘇澳港10號碼頭氯離子含量小於 0.4 % 時之臨界滲透深度與啓用年數關係

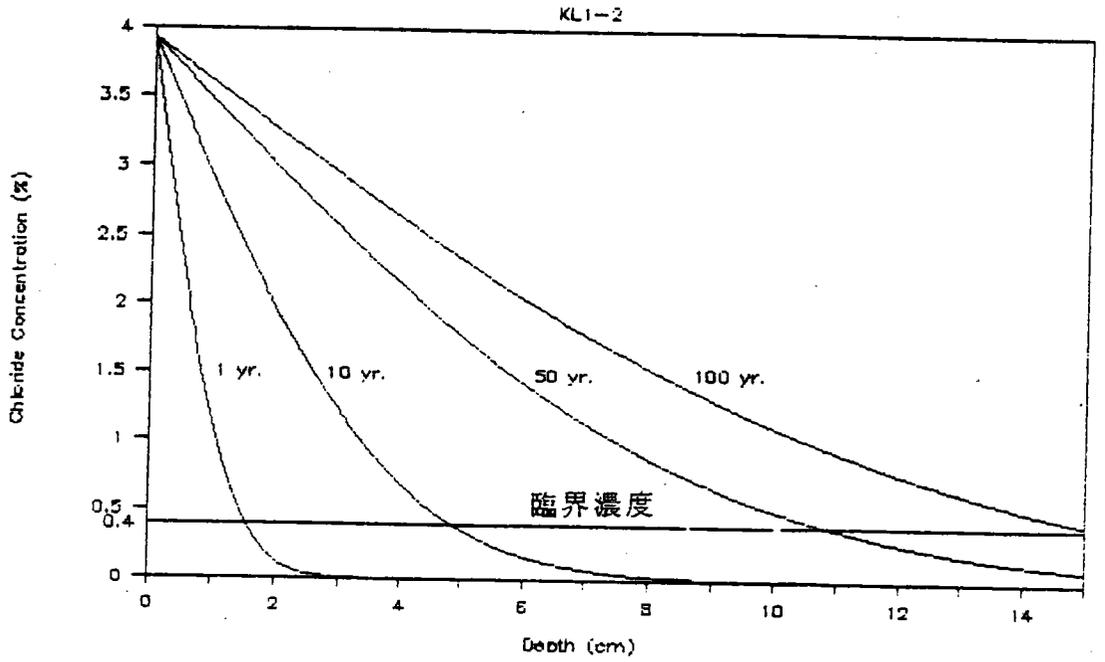


圖 4-31 基隆港 W.4 號碼頭氯離子含量小於 0.4% 時之臨界滲透深度與啓用年數關係

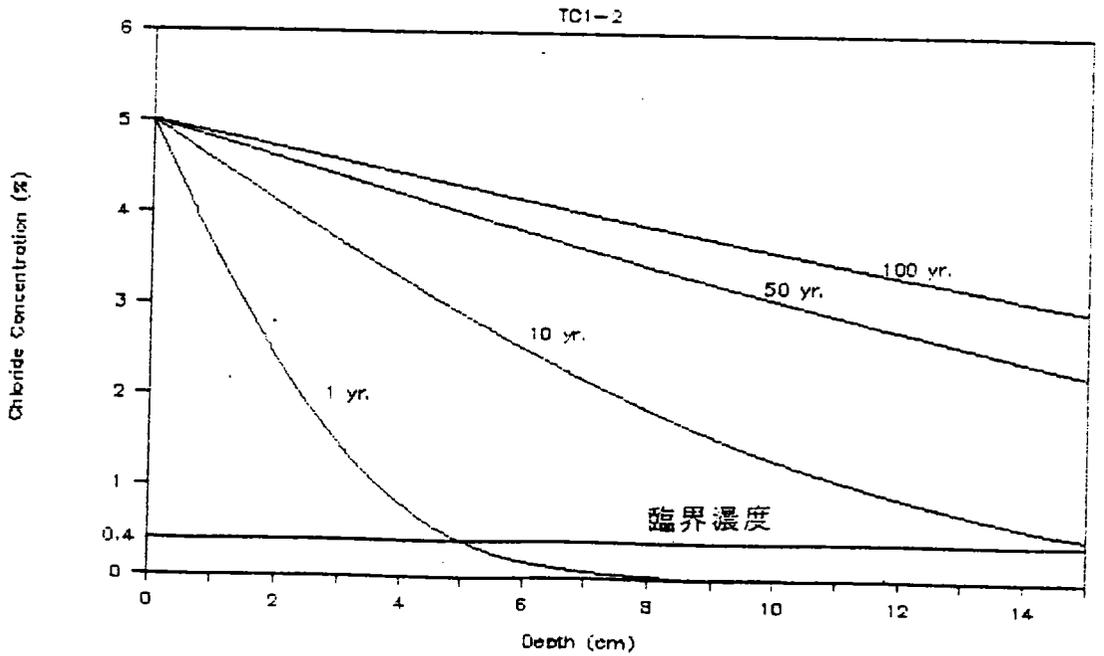


圖 4-32 台中港 3 號碼頭氯離子含量小於 0.4% 時之臨界滲透深度與啓用年數關係

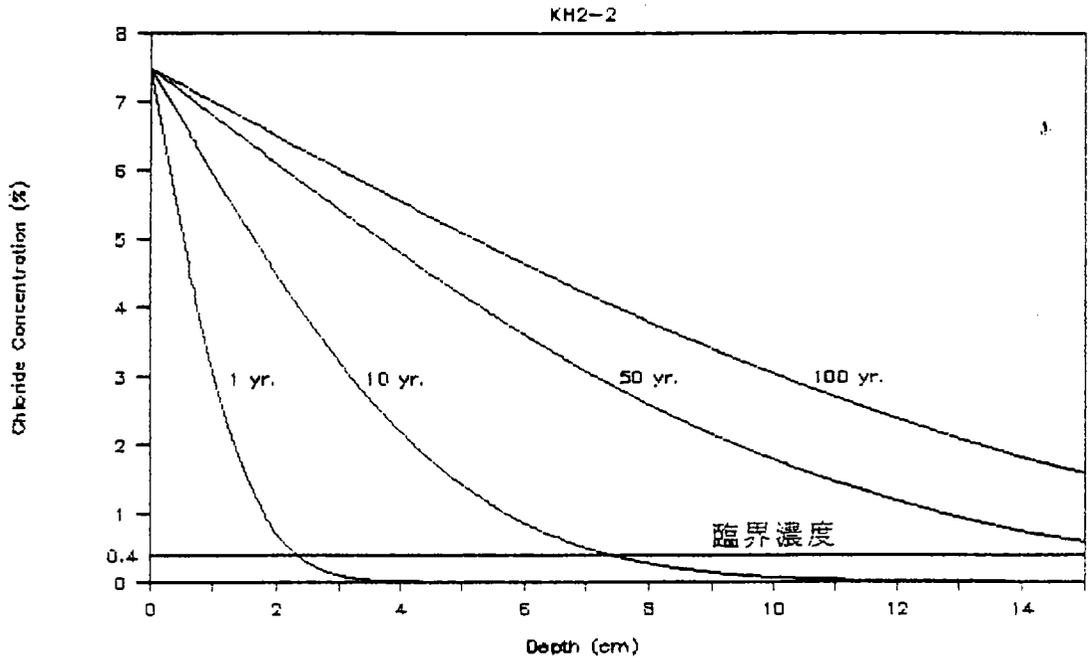


圖 4-33 高雄港第九船渠氯離子含量小於 0.4 % 時之臨界滲透深度與啓用年數關係

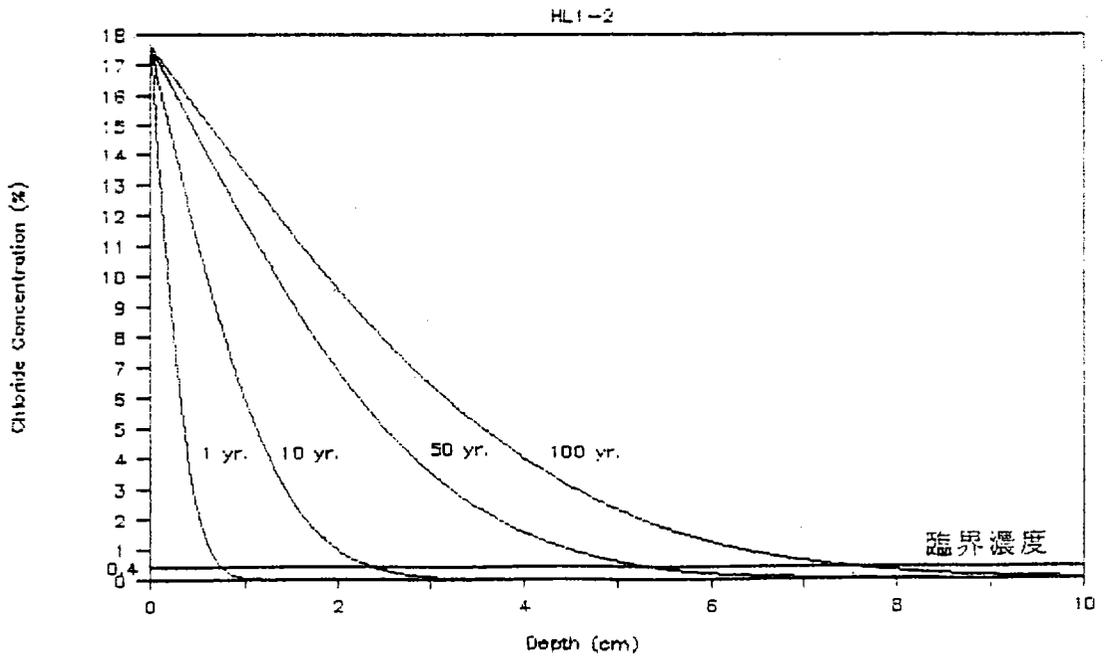


圖 4-34 花蓮港3號碼頭氯離子含量小於 0.4 % 時之臨界滲透深度與啓用年數關係

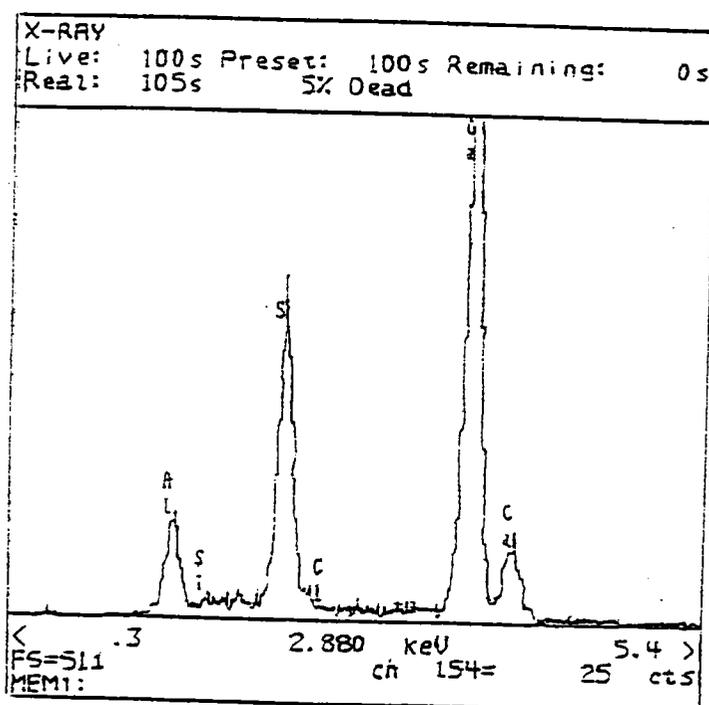
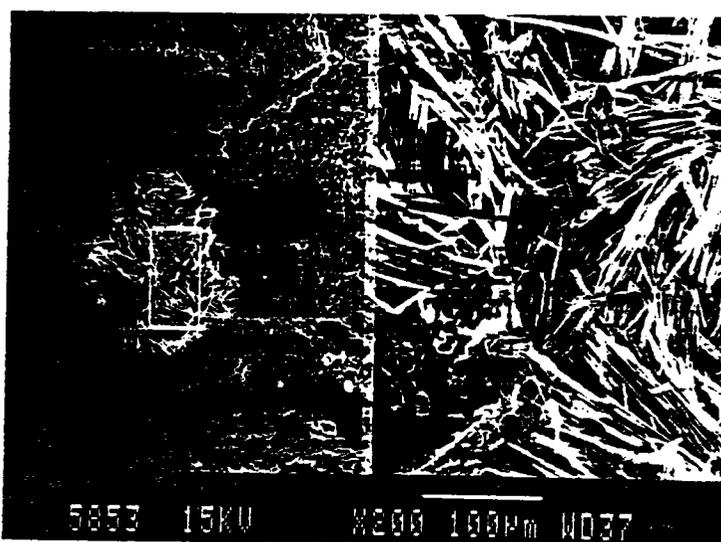


圖 4-35 基隆港W.4號碼頭鑽心試體 SEM 圖

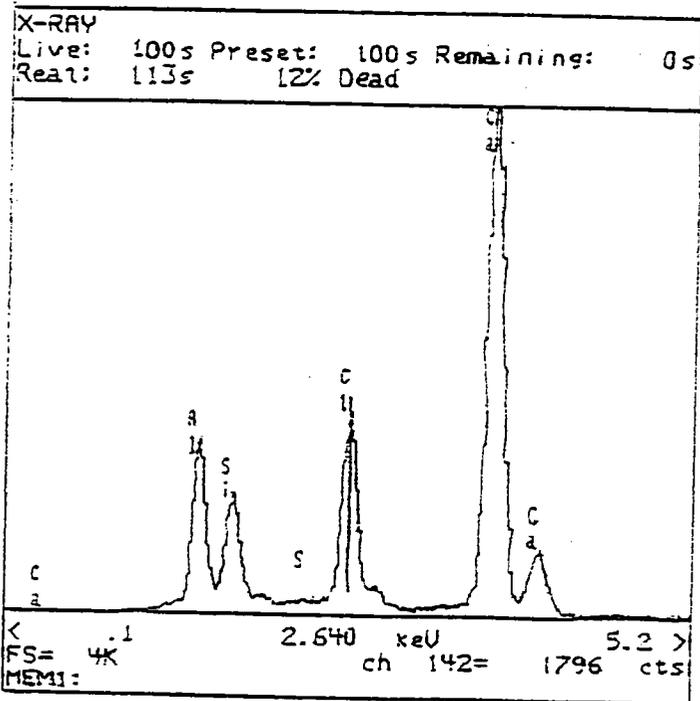
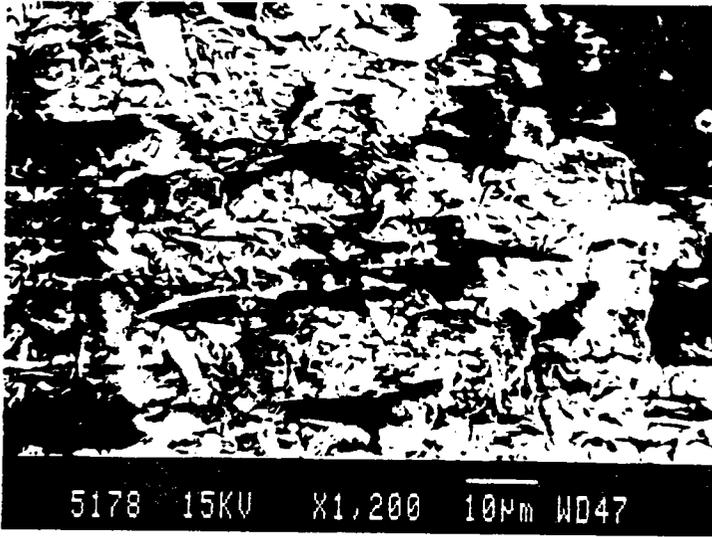


圖 4-30 基隆港W.14號碼頭鑽心試體 SEM 圖

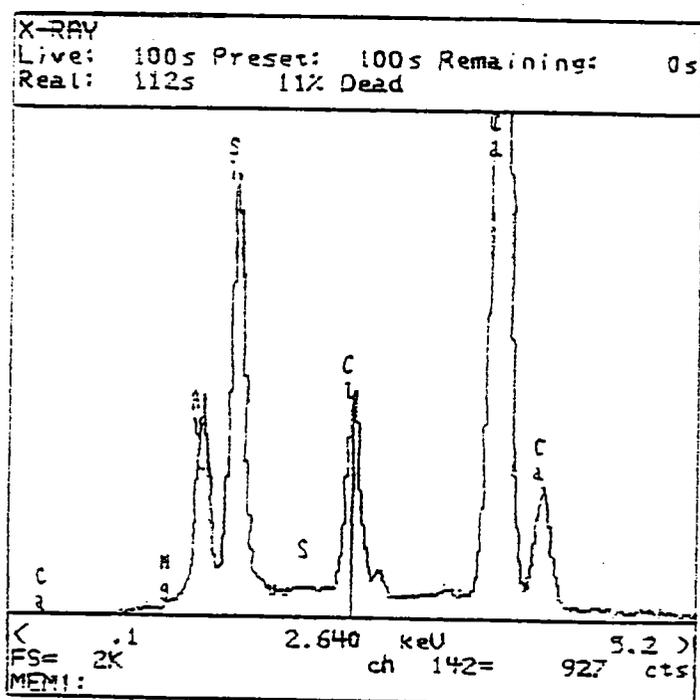
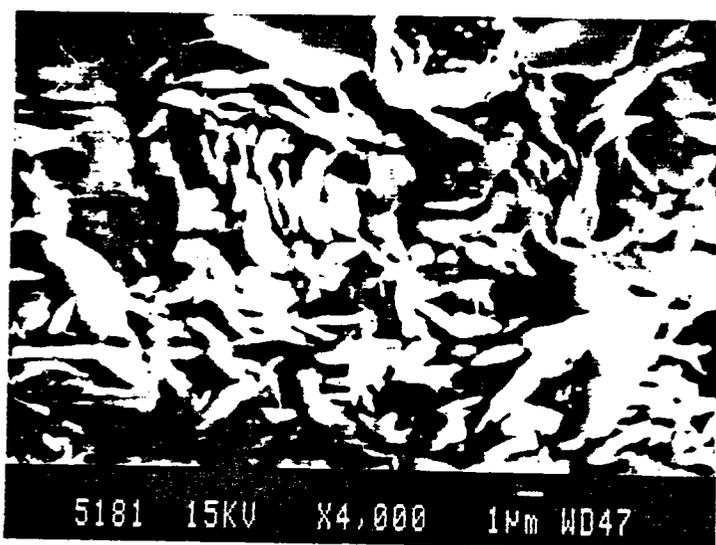


圖 4-37 基隆港W.14號碼頭鑽心試體 SEM 圖

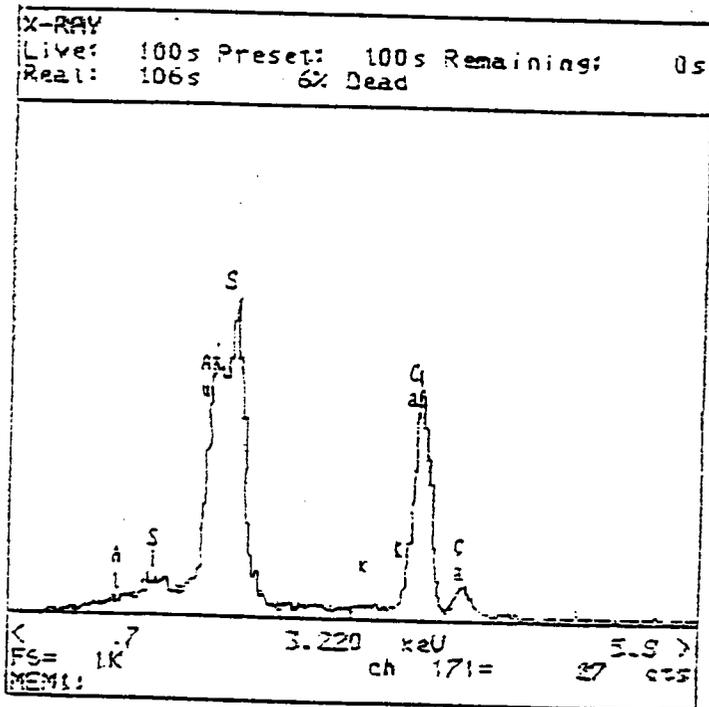
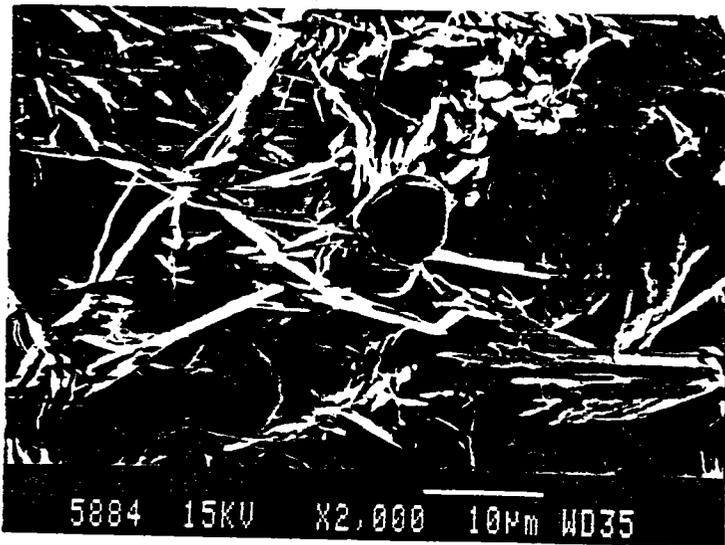


圖 4-38 基隆港W14號碼頭鑽心試體 SEM 圖

表 4-1 各港口碼頭結構體鑽心取樣之背景資料

碼頭編號	長度(m)	深度(m)	碼頭型式	建造日期	使用材料	承載量
基隆港W.4號	167	- 9.0	橋墩式	民國元年	RC	2.50T/m <sup>2</sup>
基隆港W.14號	172.4	- 9.0	方塊擁壁式	民國17年	RC	2.50T/m <sup>2</sup>
台中港3號	250	- 13	重力沉箱式	民國65年	RC	3.0 T/m <sup>2</sup>
高雄港第四船渠	185	- 9.0	—	民國48年		—
高雄港第九船渠	155	- 9.0	—	民國59年	RC	—
花蓮港3號	150	—	重力沉箱式	民國20年	PC	2.48T/m <sup>2</sup>
花蓮港舊東堤	1330	- 7.0	—	民國20年	PC	—
蘇澳港2號	175	-11.0	沉箱消波式	民國70年	RC	4.0T/m <sup>2</sup>
蘇澳港10號	175	- 9.0	基樁棧橋式	民國66年	RC	4.0T/m <sup>2</sup>

表 4-2 各港口碼頭鑽心試體物理性質

混凝土結構 體試體編號	透水率 (m/sec)	試錘讀數 N	比重	吸水率 (%)	抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
基隆港W.4號碼頭	—	30	—	—	219
基隆港W.14號碼頭	$2.03 \times 10^{-11}$	34	2.25	5.07	198
台中港 3號碼頭	$4.86 \times 10^{-10}$	44	2.32	3.85	327
高雄港第四船渠碼頭	—	28	—	—	126
高雄港第九船渠碼頭	$5.95 \times 10^{-10}$	38	2.30	5.78	262
花蓮港3號碼頭	$4.61 \times 10^{-10}$	34	2.55	2.36	207
花蓮港舊東堤	$2.61 \times 10^{-11}$	32	2.41	2.80	96
蘇澳港2號碼頭	$6.48 \times 10^{-10}$	31	2.30	7.04	150
蘇澳港10號碼頭	$6.00 \times 10^{-10}$	35	2.35	4.45	290

表 4-4 台中港 3號碼頭腐蝕電位值(單位:mv)

415	400	395	405	390	775	420	465	505	505	485	465	480	535	455	445	410	385	435	425	370	430	470	485	645	485	485	550	560	510	495	475	435	405	480
380	385	390	380	380	405	420	435	470	465	450	425	425	440	395	380	370	360	385	405	395	435	450	450	435	445	435	475	440	420	405	415	380	380	345
390	400	425	410	405	425	430	425	425	415	425	410	405	395	375	370	365	360	385	405	455	425	430	425	410	415	385	430	390	395	385	405	370	360	360
405	420	425	435	420	435	440	440	440	415	430	420	420	415	390	375	380	380	390	395	415	415	425	415	405	430	395	430	400	395	395	415	385	390	380
435	455	455	455	450	465	475	475	475	470	460	470	465	460	435	395	400	395	405	410	410	420	425	425	405	435	405	435	410	400	405	415	390	390	380
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	455	445	440	445	435	440	450	455	460	435	470	435	455	430	470	415	445	410	410	400
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	545	540	515	500	485	480	490	495	505	485	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

註：表中數值均為負值

表 4-3 試錘數值與混凝土品質關係

試錘數值	預估強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	混凝土品質
< 25	170	差
25~35	170~330	平均值以下
>35	330	好

表 4-5 腐蝕電位與鋼筋內部之腐蝕機率關係

電位數值 (mV v. s. CSE)	腐蝕機率	
	ASTM C-876	Van Daeveer
> - 200	< 10%	< 5%
- 200 ~ - 350	> 50%	> 50%
< - 350	> 90%	> 95%

表 4-6 各港口鑽心試體中性化深度及其碳化係數

混凝土結構 體試體編號	中性化 深度 (mm)	碳化係數 ( $\text{mm}^2/\text{年}$ )
基隆港W.4號碼頭	2.5	$4.11 \times 10^{-2}$
基隆港W.14號碼頭	3.0	$7.63 \times 10^{-2}$
台中港 3號碼頭	0.0	0
高雄港第四船渠碼頭	20	7.14
高雄港第九船渠碼頭	3.0	$2.64 \times 10^{-1}$
花蓮港3號碼頭	4.0	$1.43 \times 10^{-1}$
花蓮港舊東堤	11.0	1.08
蘇澳港2號碼頭	3.9	1.27
蘇澳港10號碼頭	3.9	$7.6 \times 10^{-1}$

表 4-7 各港口鑽心試體水泥含量

混凝土結構 體試體編號	混凝土中水 泥含量 (%)
基隆港W.4號碼頭	6.80
基隆港W.14號碼頭	5.98
台中港 3號碼頭	10.03
高雄港第四船渠碼頭	5.17
高雄港第九船渠碼頭	7.78
花蓮港3號碼頭	8.39
花蓮港舊東堤	10.58
蘇澳港2號碼頭	10.08
蘇澳港10號碼頭	9.87

表 4-8 基隆W.4號碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度 (mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	18.44	5.13	3.92	1.水泥含量: 6.80% 2.中性化深度: 2.5mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	7.74	5.10	3.44	
20-30	65	11.58	4.43	2.66	
30-50	65	10.25	2.55	1.26	
50-100	65	5.15	2.52	1.29	
100-150	65	2.32	1.84	0.77	

表 4-9 基隆W.14號碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度 (mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	6.26	3.38	2.89	1.水泥含量: 5.98% 2.中性化深度: 3.0mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	3.14	2.92	8.45	
20-30	65	5.74	2.49	11.29	
30-50	65	1.40	6.21	7.49	
50-100	65	1.40	1.81	4.88	
100-150	65	2.59	3.23	3.46	

表 4-10 台中港3號碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度 (mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	5.51	3.01	4.96	1.水泥含量: 10.03% 2.中性化深度: 0.0mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	4.34	5.69	4.59	
20-30	65	1.92	4.58	1.66	
30-50	65	3.04	2.40	2.38	
50-100	65	3.41	2.33	2.92	
100-150	65	3.41	2.64	0.68	

表 4-11 高雄港第四船渠碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度(mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	11.68	3.35	3.77	1.水泥含量: 5.17% 2.中性化深度: 20mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	9.32	2.41	3.33	
20-30	65	6.21	3.00	6.96	
30-50	65	4.37	3.36	4.56	
50-100	65	10.65	2.84	7.90	
100-150	—	—	—	—	

表 4-12 高雄港第九船渠碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度(mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	7.97	3.07	7.10	1.水泥含量: 7.78% 2.中性化深度: 3.0mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	7.28	2.65	5.46	
20-30	65	24.70	2.11	2.23	
30-50	65	6.60	4.89	3.11	
50-100	65	13.76	3.69	1.03	
100-150	65	1.79	2.82	0.48	

表 4-13 花蓮港3號碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度(mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	11.64	2.61	5.71	1.水泥含量: 8.39% 2.中性化深度: 4.0mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	1.56	2.64	9.78	
20-30	65	6.40	3.84	5.08	
30-50	65	8.88	2.86	2.26	
50-100	65	4.64	2.33	0.25	
100-150	65	8.29	4.73	0.61	

表 4-14 花蓮港舊東堤鑽心試體化學成份分析

試體深度 (mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	14.21	6.12	6.26	1. 水泥含量: 10.59% 2. 中性化深度: 11mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	1.26	4.46	3.67	
20-30	65	1.37	3.29	5.64	
30-50	65	1.27	2.46	7.57	
50-100	65	2.55	2.21	0.92	
100-150	65	1.20	2.70	0.15	

表 4-15 蘇澳港2號碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度 (mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	16.67	4.55	1.96	1. 水泥含量: 10.08% 2. 中性化深度: 3.9mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	4.13	6.52	2.26	
20-30	65	18.01	5.20	1.52	
30-50	65	1.71	3.01	0.68	
50-100	65	4.97	2.52	1.96	
100-150	65	3.30	2.55	0.42	

表 4-16 蘇澳港10號碼頭鑽心試體化學成份分析

試體深度 (mm) (從表面算起)	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	Cl <sup>-</sup> %	其 他
0-10	65	8.17	5.29	4.63	1. 水泥含量: 9.87% 2. 中性化深度: 3.9mm  註: MgO %, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %, Cl <sup>-</sup> % 之表示均以CaO 佔水泥重量65 %為基準。
10-20	65	5.80	4.64	6.49	
20-30	65	5.94	4.15	5.97	
30-50	65	3.45	3.50	3.86	
50-100	65	1.52	3.73	2.08	
100-150	65	9.90	3.12	6.66	

表 4-17 各港口鑽心試體氯離子 (Cl<sup>-</sup>) 含量與試體深度關係

試體深度 (mm) \ 碼頭編號	基隆港 W.4碼頭	台中港 3號碼頭	高雄港 第九船渠	花蓮港 3號碼頭	蘇澳港 10號碼頭
0-10	3.92%	4.96%	7.10%	5.71%	4.63%
10-20	3.44%	4.59%	5.46%	6.78%	4.63%
20-30	2.66%	1.66%	2.23%	5.08%	5.97%
30-50	1.26%	2.38%	3.11%	2.26%	3.89%
50-100	1.29%	2.92%	1.03%	0.25%	2.08%
100-150	0.77%	0.68%	0.08%	0.61%	0.66%

表 4-18 各港口鑽心試體 Cl<sup>-</sup> 之擴散係數與表面濃度

碼頭編號	擴散係數	Cl <sup>-</sup> 表面濃度 (Co)
基隆港 W.4 號碼頭	$1.38 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec	3.93%
台中港 3 號碼頭	$1.27 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec	5.00%
高雄港 第九船渠	$2.20 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec	7.43%
花蓮港 3 號碼頭	$1.73 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec	17.64%
蘇澳港 10 號碼頭	$6.78 \times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec	7.99%

表 4-19 各港口碼頭氯離子 (Cl<sup>-</sup>) 臨界滲透深度與啓用年數關係

啓用年數 (年) \ 碼頭編號	基隆港 W.4碼頭	台中港 3號碼頭	高雄港 第九船渠	花蓮港 3號碼頭	蘇澳港 10號碼頭
第 1 年	1.52cm	4.95cm	2.32cm	0.75cm	4.05cm
第 10 年	4.82cm	15.67cm	7.33cm	2.38cm	12.82cm
第 50 年	10.79cm	35.05cm	18.40cm	5.33cm	28.67cm
第 100 年	15.25cm	49.55cm	26.16cm	7.54cm	40.54cm
啓用至今 (民國 76 年止)	15.30cm (76 年)	18.43cm (11 年)	9.56cm (17 年)	5.64cm (58 年)	12.82cm (10 年)

表 4-20 各港口碼頭結構體鑽心試體有害形成物之 SEM 及 XRD分析

試體深度 (mm)	0~10	10~20	20~30	30~50	50~100	100~150
基隆港W.4 號碼頭	Portlandite Calcite	Portlandite Calcite Ettringite Monochloro- aluminate		Portlandite Calcite Ettringite	Portlandite Calcite Ettringite	Portlandite Calcite Ettringite
基隆港W.14 號碼頭	Portlandite Calcite Brucite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite Brucite	Portlandite Calcite Brucite Ettringite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite Ettringite	Portlandite Calcite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite Brucite
台中港3號 碼頭	Calcite Brucite Ettringite	Calcite Brucite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite Monochloro- aluminate Ettringite	Portlandite Calcite	Portlandite Calcite Monochloro- aluminate Ettringite
高雄港第四 船渠碼頭			Portlandite Calcite Ettringite	Portlandite Calcite Ettringite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite Ettringite	
高雄港第九 船渠碼頭	Portlandite Calcite Ettringite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite	Portlandite Calcite	Portlandite Calcite Brucite Ettringite Monochloro- aluminate	Portlandite Ettringite	
花蓮港3號 碼頭	Portlandite Calcite Brucite Ettringite	Portlandite Calcite Brucite Ettringite Gibbsite	Portlandite Calcite Ettringite Monochloro- aluminate	Portlandite Calcite	Portlandite Calcite Ettringite	Monochloro- aluminate
花蓮港舊 東堤	Portlandite Calcite Ettringite	Portlandite Calcite Ettringite				
蘇澳港2號 碼頭	Portlandite Calcite		Portlandite Ettringite		Portlandite Ettringite	
蘇澳港10號 碼頭	Portlandite Calcite Ettringite Brucite	Portlandite	Portlandite Calcite Ettringite Monochloro- aluminate		Portlandite Calcite Gibbsite	

註: Portlandite  $Ca(OH)_2$   
 Calcite  $CaCO_3$   
 Brucite  $Mg(OH)_2$   
 Ettringite  $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$   
 Monochloroaluminate  $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$   
 Gibbsite  $Al(OH)_3$

## 伍、海水化性分析

吳信昇\*

### 一、前言

海水的化學成份種類截至目前為止可化驗出77種之多（如表5-1），各種溶質間幾乎維持著一定比例，但在靠近海岸或港灣的海水，因受到河水沖淡或工廠排放廢水影響，可形成另一種完全不同的溶液。另外含有對港灣結構物具有腐蝕因子如 $(Cl^-、S^{2-}、SO_4^{2-})$ 因此易發生銹蝕，直接影響結構物之耐久性，於是本研究乃針對本省五大港口碼頭設施附近海水於（0M、1M、2M）三種不同深度海水採集，來探討各港口一年四季中測其海水化性變化情形，以便將來對港灣結構物之耐久性設計與施工參考，並提供防蝕良策。

### 二、取樣地點與調查

本研究所採集之海水試樣，依各港口碼頭分佈之不同做適當之定點取樣，計在基隆港六處、台中港五處、高雄港七處、花蓮港六處、蘇澳港五處（如圖5-1～5-5），在現場使用自動海水化性測定儀，分別在水面、水面下1公尺及2公尺處各量測一次，測量海水之PH值、導電度、溶氧量及水溫等數據，同時採集海水試樣回所作 $Cl^-、S^{2-}、SO_4^{2-}$ 檢驗，經一年四季採集檢驗結果如表5-2～5-41。

### 三、結果與討論

現場調查工作是從民國75年11月至民國76年10月止分赴各港採集水樣。春冬兩季所採集之水樣由國立中興大學環境工程系進行水質分析，夏秋兩季所採之水樣由本所港工材料組化學實驗室進行水質分析。各港海水化性極端值如表5-46及表5-49所示，為便於比較，將五大港口四季海水化性分析結果表平均值繪製如圖5-6至圖5-11所示。

---

\*港灣技術研究所港工材料組助理

深之變化各港不同。

夏季：高雄港最高（約 $1.87 \times 10^4$  ppm），其他各港相差不顯著，隨水深之變化各港不同。

秋季：蘇澳港最高（約 $1.97 \times 10^4$  ppm），其他各港相差不顯著，隨水深之變化各港不同。

冬季：基隆港最高（約 $1.60 \times 10^4$  ppm），花蓮港最低（約 $1.45 \times 10^4$  ppm）

#### (5) 硫離子 ( $S^{2-}$ ) 含量

春季：高雄港最高（高潮時0.14ppm，低潮時1.05ppm）

夏季：高雄港最高（高潮時0.21ppm，低潮時0.17ppm）

秋季：各港含量均很低（約0.01~0.02ppm之間）

冬季：高雄港最高（高潮時0.06ppm，低潮時0.51ppm）

高雄港臨近工業區，受到工廠排水放廢水、廢氣之污染、硫離子之含量，較其他各港顯著。

#### (6) 硫酸根離子 ( $SO_4^{2-}$ ) 含量

春季：高雄港最高（約2850ppm）

夏季：高雄港最高（約2650ppm）

秋季：蘇澳港最高（約3100ppm）

冬季：高雄港最高（約2910ppm）

各港之 $SO_4^{2-}$ 含量，變化約略界於 $(2.4 \sim 3.0) \times 10^3$  ppm。

### 2. 各港內調查所得極端值分析

根據表 5-2~5-5各不同取樣地點所取海水分析結果可以看出下列顯著的現象：

- (1) 溶氧量PH值 $Cl^-$ 、 $S^{2-}$ 、 $SO_4^{2-}$ 等均以高雄港相差最大，而花蓮港最少，可能係高雄港近臨工業區，工業污水所致，花蓮港面臨太平洋受波浪作用稀釋所致。
- (2) 各港不同取樣地點及水深下所得數值變化很大例如以花蓮港為例冬季 $Cl^-$ 值隨水深增加而變化數值增大有待深入研究。

## 1. 各港海水化性平均值檢討

根據圖 5 - 6 ~ 5 - 11 , 可得提出下列現象 :

### (1)各港平均水溫

春季：台中港最高(28.1℃)，基隆港最低(18.3℃)

夏季：台中港最高(30.7℃)，基隆港最低(26.0℃)

秋季：高雄港最高(29.5℃)，台中港最低(15.1℃)

冬季：高雄港最高(25.9℃)，台中港最低(16.1℃)

大致在同一地區，於在高低潮或水深0M, 1M, 2M, 之變化性不大，但台中港在低潮位情況下，水深之影響較大。

### (2)各港平均PH值

春季：台中港最高(8.9)，蘇澳港最低(8.0)

夏季：花蓮港最高(8.7)，台中港最低(8.0)

秋季：花蓮港最高(8.4)，高雄港最低(7.7)

冬季：台中港最高(8.3)，高雄港最低(7.7)

同一地點，受高低潮及水深之影響變化不大。

### (3)各港平均溶氧量

春季：台中港最高 (高潮時6.7mg/l, 低潮時7.6mg/l)

基隆港最低 (高潮時3.5mg/l, 低潮時3.4mg/l)

夏季：台中港最高 (高潮時5.8mg/l, 低潮時5.4mg/l)

高雄港最低 (高潮時3.7mg/l, 低潮時2.3mg/l)

秋季：台中港最高 (高潮時6.7mg/l, 低潮時6.3mg/l)

高雄港最低 (高潮時3.6mg/l, 低潮時6.1mg/l)

冬季：台中港最高 (高潮時6.7mg/l, 低潮時7.6mg/l)

高雄港最低 (高潮時3.3mg/l, 低潮時3.9mg/l)

溶氧量與水深變化以台中港最顯著。

### (4)氯離子(Cl<sup>-</sup>)含量

春季：台中港最高 (約 $1.93 \times 10^4$  ppm), 其他各港相差不顯著，隨水

## 四、結論與建議

### 1. 結論

- (1)各港口海水氯離子濃度均屬正常，且稍微偏低，除台中港維持在 $1.9 \times 10^4$  ppm左右，較其它各港偏高可能係台中港潮差大離子交換劇烈之故。
- (2)硫離子 ( $S^{2-}$ )含量以高雄港最高，因高雄港臨近工業區所致，另外硫離子濃度高相對會減少海水PH值，如此可能造成高雄港附近海洋生態環境的改變。
- (3)各港之 $SO_4^{2-}$ 含量變化約介於  $(2.4 \sim 3.0) \times 10^3$  ppm，含量相當多比表 5 - 1建議值814多3倍，有待進一步探討。

### 2. 建議

- (1)水深 0 ~ 2m下，海水水質變化不大，應進一步加測水深至海底之海水水質特性。
- (2)應由各港口儘速建立海水水質資料。
- (3)港內應設法減少污染，可延長港灣結構物使用壽命。

表 5-1 海水中溶解物質之濃度

元 素	含 量 (ppm)	主 要 種 類	元 素	含 量 (ppm)	主 要 種 類
Cl	19,353	Cl <sup>-</sup>	Sb	5×10 <sup>-4</sup>	Sb(OH) <sub>3</sub> , <sup>-</sup> (?)
Na	10,760	Na <sup>+</sup>	Cs	5×10 <sup>-4</sup>	Cs <sup>+</sup>
Mg	1,294	Mg <sup>2+</sup> ; MgSO <sub>4</sub>	Ce	4×10 <sup>-4</sup>	Ce <sup>3+</sup>
S	812	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Kr	4×10 <sup>-4</sup>	-
Ca	413	Ca <sup>2+</sup> ; CaSO <sub>4</sub>	Y	3×10 <sup>-4</sup>	-
K	387	K <sup>+</sup>	Ag	3×10 <sup>-4</sup>	AgCl <sub>2</sub> <sup>-</sup> ; AgCl <sub>2</sub> <sup>-2</sup>
Br	67.3	Br <sup>-</sup>	La	3×10 <sup>-4</sup>	-
C	28	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ; H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; CO <sub>2</sub> <sup>-2</sup> ; 有機化合物	Cd	1×10 <sup>-4</sup>	Cd <sup>2+</sup> ; CdSO <sub>4</sub>
Sc	8.0	Sr <sup>2+</sup> ; SrSO <sub>4</sub>	Ne	1×10 <sup>-4</sup>	-
B	4.6	B(OH) <sub>3</sub> ; B(OH) <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Xe	1×10 <sup>-4</sup>	-
Si	3	Si(OH) <sub>4</sub> ; Si(OH) <sub>3</sub> O <sup>-</sup>	W	1×10 <sup>-4</sup>	WO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
F	1.3	F <sup>-</sup> ; MgF <sup>+</sup>	Ge	7×10 <sup>-5</sup>	Ge(OH) <sub>4</sub> ; Ge(OH) <sub>3</sub> O <sup>-</sup>
A	0.6	A(g)	Cz	5×10 <sup>-5</sup>	-
N	0.5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ; NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ; N <sub>2</sub> (g); 有機化合物	Tn	5×10 <sup>-5</sup>	-
Li	0.17	Li <sup>+</sup>	Sc	4×10 <sup>-5</sup>	-
Rb	0.12	Rb <sup>+</sup>	Ga	3×10 <sup>-5</sup>	-
P	7×10 <sup>-2</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ; HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ; PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ; H <sub>2</sub> PO <sub>3</sub>	Hg	3×10 <sup>-5</sup>	HgCl <sub>2</sub> <sup>-</sup> ; HgCl <sub>2</sub> <sup>-2</sup>
I	6×10 <sup>-2</sup>	IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ; I <sup>-</sup>	Pb	3×10 <sup>-5</sup>	Pb <sup>2+</sup> ; PbSO <sub>4</sub>
Ba	3×10 <sup>-2</sup>	Ba <sup>2+</sup> ; BaSO <sub>4</sub>	Bi	2×10 <sup>-5</sup>	-
In	< 2×10 <sup>-2</sup>		Nb	1×10 <sup>-5</sup>	-
Al	1×10 <sup>-2</sup>	Al(OH) <sub>3</sub>	Tl	1×10 <sup>-5</sup>	Tl <sup>+</sup>
Fe	1×10 <sup>-2</sup>	Fe(OH) <sub>3</sub>	He	5×10 <sup>-6</sup>	-
Zn	1×10 <sup>-2</sup>	Zn <sup>2+</sup> ; ZnSO <sub>4</sub>	Au	4×10 <sup>-6</sup>	AuCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Mo	1×10 <sup>-2</sup>	MoO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Nd	2×10 <sup>-6</sup>	-
Se	4×10 <sup>-3</sup>	SeO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Dy	7×10 <sup>-7</sup>	-
Cu	3×10 <sup>-3</sup>	Cu <sup>2+</sup> ; Cu <sub>2</sub> O	Pr	6×10 <sup>-7</sup>	-
As	3×10 <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ; HAsO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ; H <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub> ; H <sub>2</sub> AsO <sub>2</sub>	Er	6×10 <sup>-7</sup>	-
Sa	3×10 <sup>-3</sup>		Be	6×10 <sup>-7</sup>	-
U	3×10 <sup>-3</sup>	UO <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-4</sup>	Gd	6×10 <sup>-7</sup>	-
V	2×10 <sup>-3</sup>	VO <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> <sup>-2</sup>	Yb	5×10 <sup>-7</sup>	-
Mn	2×10 <sup>-3</sup>	Mn <sup>2+</sup> ; MnO <sub>2</sub>	Sm	4×10 <sup>-7</sup>	-
Ni	2×10 <sup>-3</sup>	Ni <sup>2+</sup> ; NiSO <sub>4</sub>	Ho	2×10 <sup>-7</sup>	-
Ti	1×10 <sup>-3</sup>	Ti(OH) <sub>4</sub>	Tm	1×10 <sup>-7</sup>	-
Co	5×10 <sup>-4</sup>	Co <sup>2+</sup> ; CoSO <sub>4</sub>	Eu	1×10 <sup>-7</sup>	-
			Lu	1×10 <sup>-7</sup>	-
			Pa	2×10 <sup>-8</sup>	-
			Ra	1×10 <sup>-10</sup>	Ra <sup>2+</sup> ; RaSO <sub>4</sub>
			Rn	6×10 <sup>-15</sup>	-

表 5 - 2 基隆港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 1 ) □ H □ L

深度	調查季節		76年春季										平均值	
	項目	測站	E 0	E 20	30	23	14	1						
0M	水溫 (°C)		18.8	18.1	18.1	18.1	18.4	18.3						18.3
	酸鹼度 PH值		8.4	8.2	8.4	8.3	8.2	8.2						8.3
	溶氧 (mg/l)		4.1	2.9	4.4	3.8	3.1	2.7						3.5
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17349	16109	17557	17762	16936	16729						17073
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03						0.025
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2653	2377	2805	2411	3017	2768						2672
	水溫 (°C)		18.6	18.3	18.1	18.1	18.3	18.2						18.3
	酸鹼度 PH值		8.4	8.3	8.4	8.4	8.2	8.2						8.3
	溶氧 (mg/l)		4.1	3.3	4.4	3.8	3.3	2.9						3.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17432	16523	17142	17349	17142	16936						17087
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02						0.02
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2449	2749	2213	2704	2615	2794						2587
	水溫 (°C)		18.4	18.3	18.0	18.0	18.3	18.2						18.2
	酸鹼度 PH值		8.4	8.3	8.4	8.5	8.2	8.2						8.3
	溶氧 (mg/l)		4.3	3.6	4.4	4.0	3.3	3.0						3.8
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17968	16626	16626	17143	16730	16730						16971
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03						0.03
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2687	2856	2615	2424	2844	2856						2712

表 5 - 3 基隆港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 1) □ II ☑ L

76年春季

調查季節

深度

項目

站

深度	項目	站	E 6	E 20	30	23	14	1	平均值
0M	水溫 (°C)		18.7	19.0	18.0	18.4	18.4	18.3	18.5
	酸鹼度 PH值		8.1	8.1	8.3	8.1	8.1	8.0	8.1
	溶氧 (mg/l)		4.0	3.0	4.0	3.6	3.2	2.7	3.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17555	16486	16591	17245	17222	17349	17074
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2729	2360	2972	3200	2640	2704	2768
	水溫 (°C)		18.6	18.4	17.9	18.0	18.4	18.3	18.3
	酸鹼度 PH值		8.2	8.1	8.3	8.2	8.2	8.1	8.2
	溶氧 (mg/l)		4.1	3.0	4.0	3.8	3.1	2.5	3.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17555	16316	17012	16802	17349	16316	16892
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2589	2436	2487	2551	2640	2853	2593
	水溫 (°C)		18.4	18.4	17.9	18.0	18.4	18.2	18.2
	酸鹼度 PH值		8.2	8.5	8.3	8.3	8.2	8.1	8.3
	溶氧 (mg/l)		4.1	3.1	4.0	3.8	3.2	2.5	3.5
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17555	17452	17968	17557	17432	16936	17317
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2729	2868	2576	2296	2933	2749	2692

表 5 - 4 台中港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 2 )  II  L

深度		調查季節		76年 春季							平均值
				4 A	5 A	8 A	25A	29A			
項目	站	4 A	5 A	8 A	25A	29A	平均值				
0M	水溫 (°C)	28.3	28.5	28.4	28.0	27.3	28.1				
	酸鹼度 PH值	9.0	9.0	9.0	8.9	8.8	8.7				
	溶氧 (mg/l)	9.8	9.6	9.0	7.8	7.3	8.7				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18249	18739	18984	19474	19474	18984				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.028				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2101	2528	2302	2858	2841	2526				
1M	水溫 (°C)	28.1	28.3	27.9	27.7	27.2	27.8				
	酸鹼度 PH值	9.0	9.0	9.0	8.9	8.9	9.0				
	溶氧 (mg/l)	9.4	10.3	8.2	7.4	7.6	8.6				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19107	18984	19962	19596	19964	19523				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.022				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2347	2945	2459	2302	2190	2449				
2M	水溫 (°C)	27.3	27.9	27.5	27.4	27.1	27.4				
	酸鹼度 PH值	9.0	9.0	8.8	8.9	8.9	8.9				
	溶氧 (mg/l)	7.5	9.6	7.3	6.8	7.4	7.7				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19474	19352	19229	19229	19351	19327				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.026				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2562	2580	2945	2538	2667	2658				

表 5 - 5 台中港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 2)  H  L

深度	項目	76年 春季							平均值
		4 A	5 A	8 A	25 A	29 A			
0M	水溫 (°C)	30.3	30.4	28.5	29.5	29.0			29.5
	酸鹼度 PH值	8.9	8.8	8.9	8.8	8.9			8.8
	溶氧 (mg/l)	8.8	7.9	8.5	8.3	8.2			8.3
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18249	17269	19229	19352	19842			18788
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02			0.026
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2528	2284	2615	2667	2269			2473
1M	水溫 (°C)	27.6	29.4	27.9	29.1	28.0			28.4
	酸鹼度 PH值	9.0	8.9	8.9	8.9	8.9			8.9
	溶氧 (mg/l)	7.2	8.8	8.4	9.1	7.8			8.3
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18372	18494	19719	18862	19352			18960
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02			0.024
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2736	2493	2269	2875	2597			2594
2M	水溫 (°C)	26.9	27.7	27.4	28.3	27.2			27.5
	酸鹼度 PH值	8.8	8.9	8.9	8.9	8.9			8.9
	溶氧 (mg/l)	5.8	7.9	7.3	8.2	7.6			7.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18984	19351	18617	19474	19596			19204
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02			0.024
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2910	2701	2858	2560	2582			2722

表 5 - 6 高雄港區海域海水生化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3 )  H  L

調查季節		76年 春季										平均值
深度	項目	41	50	64	16	30	2	70				
0M	水溫 (°C)	21.6	21.2	21.1	21.7	24.5	21.3	21.2				21.8
	酸鹼度 PH值	8.0	7.9	8.1	7.9	7.6	8.0	8.1				7.9
	溶氧 (mg/l)	2.2	4.3	4.6	2.9	0.6	4.1	4.4				3.3
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17030	16447	16447	17251	16020	17914	16809				16845
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.04	0.05	0.11	0.09	0.69	0.02	0.03				0.14
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2496	2593	3206	2732	2646	2785	2475				2713
	水溫 (°C)	21.6	21.2	21.1	21.6	23.2	21.3	21.2				21.6
	酸鹼度 PH值	8.0	8.1	8.2	8.0	7.8	8.1	8.2				8.1
	溶氧 (mg/l)	1.9	4.6	4.7	2.5	0.3	4.1	4.5				3.2
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	16809	17472	17251	16809	16809	16587	17472				17030
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.06	0.07	0.07	0.07	0.55	0.05	0.02				0.13
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3052	2785	3052	2667	2924	2913	3138				2933
	水溫 (°C)	21.3	21.2	21.1	21.7	21.7	21.3	21.2				21.4
	酸鹼度 PH值	8.2	8.1	8.2	8.0	7.9	8.1	8.2				8.1
	溶氧 (mg/l)	2.6	3.9	4.7	2.3	0.1	4.0	4.2				3.1
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17472	17030	16875	17472	17472	16875	16875				17153
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0	0.03	0.1	0.06	0.04	0.03	0.04				0.04
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	17472	17030	16875	17472	17472	16875	16875				17153

表 5 - 7 高雄港區海域海水生化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 3) □ H □ L

深度	項目	76年 春季										平均值
		41	50	64	16	30	2	70				
0M	水溫 (°C)	21.3	21.5	21.5	22.1	27.3	21.4	21.2				22.3
	酸鹼度 PH值	8.0	7.9	8.0	8.1	7.7	8.0	8.2				8.0
	溶氧 (mg/l)	5.0	4.0	4.7	2.8	1.4	4.2	5.5				3.9
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17472	16234	16366	16447	16366	16020	17472				16625
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.06	0.02	0.06	0.04	7.00	0.07	0.08				1.05
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3288	2806	2806	3159	2560	2806	2614				2863
	水溫 (°C)	21.1	21.4	21.4	22.0	26.6	21.4	21.2				22.2
	酸鹼度 PH值	8.2	8.0	8.1	8.0	7.6	8.1	8.2				8.0
	溶氧 (mg/l)	5.3	3.8	8.1	8.0	7.6	8.1	8.2				8.0
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17251	16587	17251	16875	16366	17088	17251				16953
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.05	0.02	0.06	0.02	11.9	0	0.02				1.72
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3181	2785	3250	2582	2518	3074	2950				2907
	水溫 (°C)	21.1	21.4	21.4	21.7	25.3	21.5	21.2				21.9
	酸鹼度 PH值	8.2	8.1	8.1	8.0	7.7	8.1	8.2				8.1
	溶氧 (mg/l)	5.6	3.7	4.6	1.4	1.0	4.1	5.6				3.7
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17251	17088	16234	17030	16447	17251	16809				16872
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.07	0	0.04	0.03	5.55	0.03	0.09				0.83
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2389	2839	2774	2944	2518	3149	2165				2683

表 5 - 8 花蓮港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 4 )  H  L

深度		調查季節		70年 春季										平均值	
		測	站	23	18	15	12	5	3						
項目															
0M	水溫 (°C)	23.3	23.2	23.2	23.2	23.0	23.1	23.2	23.0	23.1					23.2
	酸鹼度 PH值	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.4	8.3	8.3	8.2					8.3
	溶氧 (mg/l)	5.2	4.7	4.3	4.6	4.6	4.2	4.5	4.6	4.3					4.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17603	17143	17142	16936	16299	17555	17453	17747	16697					16970
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03					0.025
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2540	2564	2391	2511	2424	2424	2411	2615	2462					2482
1M	水溫 (°C)	23.2	23.2	23.1	23.0	22.9	23.0	22.9	22.9	22.9					23.1
	酸鹼度 PH值	8.3	8.3	8.4	8.3	8.3	8.4	8.3	8.3	8.3					8.3
	溶氧 (mg/l)	5.3	4.7	4.2	4.5	4.8	4.2	4.5	4.8	4.6					4.7
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17169	17349	17555	17453	17747	17555	17453	17747	16801					17346
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02					0.023
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2691	2716	2424	2411	2615	2424	2411	2615	3123					2663
2M	水溫 (°C)	23.1	23.1	22.9	23.0	22.9	22.9	23.0	22.9	22.9					23.0
	酸鹼度 PH值	8.3	8.3	8.4	8.3	8.4	8.4	8.3	8.4	8.3					8.3
	溶氧 (mg/l)	5.5	4.7	4.4	4.5	4.7	4.4	4.5	4.7	4.7					4.8
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17555	17350	17143	16951	17603	17555	16951	17603	17452					17342
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03					0.026
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2615	2704	2424	2678	2466	2424	2678	2466	2665					2592

表 5 - 9 花蓮港區海域海水化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 4) □ II ☑ L

深度	項目	76年 春季										平均值
		23	18	15	12	5	3					
0M	水溫 (°C)	22.9	22.9	22.8	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
	酸鹼度 PH值	8.3	8.3	8.3	8.2	8.2	8.3	8.2	8.2	8.2	8.3	8.3
	溶氧 (mg/l)	5.8	5.9	5.7	5.7	5.4	5.3	5.7	5.4	5.4	5.3	5.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17142	17169	17762	16951	17349	17169	16951	17349	17349	17169	17257
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.026
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2653	2496	2793	2972	2602	2762	2972	2602	2602	2762	2731
1M	水溫 (°C)	22.0	22.9	22.9	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.9
	酸鹼度 PH值	8.4	8.3	8.5	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4
	溶氧 (mg/l)	6.1	6.0	5.7	5.5	5.2	5.3	5.5	5.2	5.2	5.3	5.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17349	17169	17142	17169	17169	16951	17169	17169	17169	16951	17158
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2526	2674	3032	2487	2920	2818	2487	2920	2920	2818	2743
2M	水溫 (°C)	22.9	22.9	22.9	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.9
	酸鹼度 PH值	8.5	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4
	溶氧 (mg/l)	6.2	6.1	5.7	5.4	5.3	5.2	5.4	5.3	5.3	5.2	5.7
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17346	16109	17762	17386	17386	17143	17386	17386	17386	17143	17186
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2691	2917	2525	3226	2627	2525	3226	2627	2627	2525	2761

表 5 - 10 蘇澳港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 )  H  L

調查季節		76年 春季											平均值
		3	7	8	11	13							
深度	項目	測 站											
		0M	水溫 (°C)	21.5	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.1
酸鹼度 PH值	7.7		7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8
溶 氧 (mg/l)	6.2		5.5	4.8	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	5.0
Cl <sup>-</sup> (PPM)	16299		15756	16734	17060	17060	17060	17060	17060	17060	16517	17060	16473
S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03		0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2362		2691	2729	2525	2525	2525	2525	2525	2525	2500	2525	2561
1M	水溫 (°C)	21.7	21.5	21.4	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.2	21.2	21.6	21.5
	酸鹼度 PH值	8.0	8.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.9	7.9	8.0	8.1
	溶 氧 (mg/l)	6.2	5.7	4.8	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.3	5.0
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17762	17557	17349	16951	16951	16951	16951	16951	18038	18038	16951	17531
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2691	2322	2600	2640	2640	2640	2640	2640	2868	2868	2640	2624
2M	水溫 (°C)	21.6	21.5	21.5	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6
	酸鹼度 PH值	8.1	8.1	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0	8.1	8.1
	溶 氧 (mg/l)	6.0	5.4	5.0	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.1	4.1	4.4	5.0
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17142	17821	17142	17109	17109	17109	17109	17109	17169	17169	17109	17289
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2754	3166	2818	2794	2794	2794	2794	2794	2564	2564	2794	2819

表 5 - 11 蘇澳港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 )  II  L

深度		調查季節		76年 春季								平均值
		測	站	3	7	8	11	13	11			
0M	水溫 (°C)			21.0	21.3	21.5	21.5	21.5	21.5	21.2	21.3	
	酸鹼度 PH值			7.8	7.5	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
	溶氧 (mg/l)			5.1	5.9	5.0	4.4	4.4	4.4	4.4	5.0	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16381	17349	16936	17349	17349	17349	17349	16626	16928
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			3166	2856	2570	2665	2665	2665	2665	2475	2746
1M	水溫 (°C)			21.8	21.5	21.6	21.6	21.6	21.6	21.1	21.5	
	酸鹼度 PH值			8.0	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0	
	溶氧 (mg/l)			5.8	6.0	5.0	4.5	4.5	4.5	4.6	5.2	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16517	17432	17432	17012	17012	17012	16082	16895	
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2729	2589	2360	2576	2576	2576	2462	2543	
2M	水溫 (°C)			21.7	21.5	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	
	酸鹼度 PH值			8.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.0	8.1	
	溶氧 (mg/l)			5.8	6.0	5.2	4.6	4.6	4.6	4.5	5.2	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16730	16951	16951	16082	16082	16082	16571	16646	
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2627	2576	2793	2742	2742	2742	2332	2614	

表 5 - 12 基隆港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 1 )  日  月  年

76年夏季

深度	項目	測站							平均值
		E 6	E 20	1	14	23	30		
0M	水溫 (°C)	26.3	26.0	25.9	25.9	25.9	26.0	26	
	酸鹼度 PH值	8.6	8.6	8.5	8.5	8.7	8.7	8.6	
	溶氧 (mg/l)	2.9	3.4	2.3	2.6	3.5	3.8	3.08	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17599	17495	18862	17286	17599	17703	17757.3	
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.052	0.032	0.031	0.032	0.031	0.029	0.035	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2235	2261	2527	2231	2364	2439	2342.83	
1M	水溫 (°C)	26.0	26.0	25.9	26.0	26.0	26.1	26	
	酸鹼度 PH值	8.6	8.7	8.6	8.6	8.7	8.7	8.65	
	溶氧 (mg/l)	3.2	3.4	2.7	2.8	3.7	3.9	3.28	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17182	17078	18626	17212	19098	19098	18049	
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.029	0.027	0.040	0.026	0.024	0.023	0.028	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2439	2498	2364	2424	2853	2572	2525	
2M	水溫 (°C)	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.1	26.2	
	酸鹼度 PH值	8.6	8.7	8.6	8.6	8.7	8.7	8.65	
	溶氧 (mg/l)	3.3	3.4	3.0	2.9	3.7	3.9	3.37	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17286	17703	18862	17919	19805	16740	18052.5	
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.024	0.025	0.029	0.032	0.033	0.030	0.0288	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2290	2587	2587	2542	2542	2676	2537.3	

表 5 - 13 基隆港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 1 ) □ II  L

調查季節		76年 夏季										平均值
		站	E 6	E 20	1	14	23	30				
深度	項目											
		0M	水溫 (°C)	26.4	26.3	26.0	26.1	26.2	26.3	26.22		
酸鹼度 PH值	8.8		8.8	8.5	8.6	8.8	8.8	8.72				
溶氧 (mg/l)	2.7		3.6	2.5	2.9	3.9	4.0	3.27				
Cl <sup>-</sup> (PPM)	19098		18391	17286	17495	17286	19805	18226.8				
S <sup>-2</sup> (PPM)	0.027		0.029	0.039	0.027	0.031	0.030	0.031				
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2350		2527	2083	2379	2320	2424	2347.17				
1M	水溫 (°C)	26.4	26.3	26.0	26.1	26.1	26.4	26.22				
	酸鹼度 PH值	8.8	8.8	8.6	8.6	8.7	8.8	8.72				
	溶氧 (mg/l)	2.8	3.5	2.6	3.0	4.0	4.0	3.32				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17448	17286	17286	17286	17078	18155	17423.17				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.029	0.027	0.045	0.035	0.026	0.029	0.032				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2364	2335	2364	2300	2750	2602	2452.5				
2M	水溫 (°C)	26.4	26.2	26.1	26.2	26.1	26.3	26.22				
	酸鹼度 PH值	8.8	8.8	8.6	8.7	8.8	8.8	8.75				
	溶氧 (mg/l)	3.0	3.5	2.8	3.1	3.9	3.9	3.37				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18353	18026	16662	18328	17495	18119	17930.5				
	S <sup>-2</sup> (PPH)	0.176	0.025	0.046	0.028	0.028	0.027	0.055				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2364	2572	2631	2276	2320	2483	2441				

表 5 - 14 台中港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 2 )  II □ L

深度		調查季節		76年夏季							平均值
		測	站	25	29	8	5	4A			
0M	水溫 (°C)			30.3	30.6	30.3	31.4	30.8	30.7		
	酸鹼度 PH值			8.2	8.2	8.0	8.1	8.3	8.2		
	溶氧 (mg/l)			6.3	6.1	4.4	5.3	6.9	5.8		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			18419	17969	18319	15122	18119	17590		
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.011	0.010	0.011	0.009	0.010	0.010		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2050	2050	1950	1800	2050	1980		
1M	水溫 (°C)			30.0	30.5	29.7	29.9	30.4	30.1		
	酸鹼度 PH值			8.2	8.2	8.0	8.1	8.3	8.2		
	溶氧 (mg/l)			6.7	6.2	4.3	5.0	7.0	5.8		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			17820	18269	18519	18619	18969	18439		
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			1950	2200	2300	1850	1950	2050		
2M	水溫 (°C)			30.0	30.5	29.6	29.8	29.8	29.9		
	酸鹼度 PH值			8.1	8.2	8.0	8.1	8.1	8.1		
	溶氧 (mg/l)			5.8	6.2	4.1	4.5	5.1	5.1		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			17470	20219	18369	18118	18369	18509		
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.009	0.010	0.010	0.010	0.009	0.0096		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2050	2050	2125	2375	2200	2160		

表 5 - 15 台中港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 2) □ Ⅱ □ L

深度		調查季節		76年 夏季							平均值
		測	站	25	20	8	5	4A			
0M	水溫 (°C)			30.3	29.9	29.8	29.9	29.8	29.9	29.8	29.9
	酸鹼度 PH值			8.0	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	溶氧 (mg/l)			5.5	5.7	5.5	5.3	5.1	5.4	5.4	5.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			18219	18469	18019	18619	16070	17879	17879	17879
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2125	2500	1925	1850	1825	2045	2045	2045
1M	水溫 (°C)			30.2	29.9	29.7	29.9	29.8	29.9	29.9	29.9
	酸鹼度 PH值			8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
	溶氧 (mg/l)			5.4	5.0	6.0	5.3	5.5	5.6	5.6	5.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			19069	18319	18469	18419	18169	18489	18489	18489
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.01	0.009	0.01	0.01	0.01	0.0098	0.0098	0.0098
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2050	2500	1950	2125	2375	2200	2200	2200
2M	水溫 (°C)			29.6	29.9	29.8	30.0	29.8	29.8	29.8	29.8
	酸鹼度 PH值			8.1	8.2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1
	溶氧 (mg/l)			4.8	5.7	5.0	5.7	4.6	5.2	5.2	5.2
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			18619	18669	18719	17320	17520	18169	18169	18169
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.009	0.010	0.010	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2125	1600	1950	2050	1950	1935	1935	1935

表 5 - 16 高雄港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3)  II  L

調查季節		76年 夏季											
深度	項目	測站										平均值	
		70	16	30	2	41	50	64					
0M	水溫 (°C)	28.8	29.4	31.6	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	28.8	23.33
	酸鹼度 PH值	8.6	8.5	8.1	8.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.53
	溶氧 (mg/l)	4.0	2.7	2.6	4.6	4.4	4.2	4.2	4.4	4.2	3.5	3.71	3.71
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17448	17448	16740	18744	18391	16504	18626	18391	16504	18626	17700.14	17700.14
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.023	0.030	0.032	0.034	0.027	0.028	1.278	0.027	0.028	1.278	0.207	0.207
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3031	3002	2542	2735	2853	2350	2527	2853	2350	2527	2720	2720
1M	水溫 (°C)	28.5	29.2	31.4	28.9	28.9	28.7	28.9	28.9	28.7	28.7	28.7	29.19
	酸鹼度 PH值	8.7	8.6	8.4	8.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
	溶氧 (mg/l)	3.6	2.1	1.5	4.5	4.3	4.1	3.2	4.3	4.1	3.2	3.33	3.33
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19098	8825	18862	20004	17919	19334	18626	17919	19334	18626	18952.57	18952.57
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.029	0.029	0.031	0.027	0.025	0.031	0.039	0.025	0.031	0.039	0.030	0.030
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2690	2572	2527	2631	2750	2661	2602	2750	2661	2602	2633.29	2633.29
2M	水溫 (°C)	28.3	28.9	29.5	28.8	28.9	28.7	28.9	28.9	28.7	28.7	28.7	28.83
	酸鹼度 PH值	8.6	8.6	8.4	8.7	8.7	8.7	8.6	8.7	8.7	8.6	8.6	8.67
	溶氧 (mg/l)	2.8	2.3	1.4	4.3	4.4	4.4	3.3	4.4	4.4	3.3	3.27	3.27
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19569	19098	19805	19805	19805	19098	17050	19805	19098	17050	19240.71	19240.71
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.726	0.034	0.023	0.030	0.054	0.023	0.025	0.054	0.023	0.025	0.131	0.131
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2572	2616	2631	2439	2483	2616	2305	2483	2616	2305	2523.1	2523.1

表 5 - 17 高雄港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3 ) □ II ☑ L

深度	項目	76年 夏季										平均值
		70	16	30	2	41	50	64				
0M	水溫 (°C)	28.5	30.7	30.9	28.8	29.0	28.5	28.7				29.3
	酸鹼度 PH值	8.6	8.3	8.1	8.5	8.5	8.5	8.5				8.43
	溶氧 (mg/l)	3.2	0.4	0.8	3.1	2.9	2.9	2.6				2.27
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17286	18825	17448	18627	18862	18862	17683				18227.57
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.029	0.025	1.036	0.029	0.034	0.028	0.025				0.172
1M	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2720	2705	2527	2735	2631	2690	2927				2705
	水溫 (°C)	28.5	29.3	30.3	28.7	28.9	28.6	28.5				28.97
	酸鹼度 PH值	8.6	8.4	8.3	8.6	8.5	8.6	8.5				8.5
	溶氧 (mg/l)	3.2	1.2	0.8	3.2	2.8	2.9	2.4				3.36
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17911	19098	19061	19061	19805	17683	19569				18884
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.023	0.033	0.044	0.039	0.029	0.025	0.026				0.031
	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2557	2927	2631	2705	2587	2587	2557				2650.14
	水溫 (°C)	28.5	29.0	29.0	28.7	28.7	28.5	28.6				28.71
	酸鹼度 PH值	8.6	8.5	8.4	8.6	8.5	8.6	8.5				8.53
	溶氧 (mg/l)	3.3	1.5	0.8	3.0	2.9	3.0	2.4				2.41
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19805	18026	19334	18862	18391	19570	19569				19165.29
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.025	0.024	0.035	0.027	0.039	0.029	0.027				0.029
	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2483	2631	2972	2779	2498	2653	2409				2632.14

表 5 - 18 花蓮港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 4 )  II  L

調查季節		76年 夏季										平均值	
		3	12	15	18	23	5	5	5	5	5		
深度	項目	測站											
		0M	水溫 (°C)	28.4	27.1	27.5	27.1	29.2	28.4				
酸鹼度 PH值	8.7		8.8	8.8	8.7	8.7	8.7						8.73
溶氧 (mg/l)	4.6		4.5	4.5	4.6	4.6	4.7						4.58
Cl <sup>-</sup> (PPM)	16453		16974	17495	18744	16453	17390						17251.5
S <sup>-2</sup> (PPH)	0.028		0.038	0.036	0.038	0.030	0.028						0.033
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)	2157		2394	2379	2202	2350	2098						2263.3
1M	水溫 (°C)	27.9	26.9	27.1	26.6	28.3	28.3						27.52
	酸鹼度 PH值	8.7	8.9	8.8	8.8	8.8	8.7						8.78
	溶氧 (mg/l)	4.5	4.4	4.6	4.4	4.7	4.8						4.57
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17078	16870	17911	18119	16037	17703						17286.3
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.025	0.030	0.028	0.044	0.023	0.033						0.0305
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2172	2542	2468	2379	2394	2157						2352
2M	水溫 (°C)	27.6	26.9	26.9	25.9	28.1	27.1						27.08
	酸鹼度 PH值	8.8	8.9	8.8	8.8	8.8	8.8						8.82
	溶氧 (mg/l)	4.4	4.5	4.5	4.4	4.7	4.7						4.53
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18015	18328	17182	17703	17286	17703						17702.8
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.032	0.026	0.036	0.030	0.029	0.027						0.030
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2379	2483	2439	2350	2572	2231						2409

表 5-19 花蓮港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5-4) □ II □ L

深度		調查季節		76年 夏季										平均值
		測	站	3	12	15	18	23	5					
項	目	站	3	12	15	18	23	5						
0M	水溫 (°C)		27.2	28.1	27.5	27.5	28.4	27.9						
	酸鹼度 PH值		8.8	8.7	8.8	8.8	8.8	8.1						
	溶氧 (mg/l)		4.7	4.3	4.2	4.4	4.6	4.3						
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		16245	13294	16662	18391	10369	16245						
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.027	0.034	0.062	0.047	0.025	0.028						
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2231	1683	2157	2690	2216	1950						
1M	水溫 (°C)		26.8	27.3	27.3	27.4	28.0	27.3						
	酸鹼度 PH值		8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7						
	溶氧 (mg/l)		4.4	4.6	4.3	4.5	4.7	4.3						
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17286	16662	17286	17911	17495	17078						
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.038	0.027	0.033	0.034	0.031	0.027						
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2350	2616	2216	2261	2661	2305						
2M	水溫 (°C)		26.8	27.1	27.1	27.3	27.8	27.2						
	酸鹼度 PH值		8.8	8.9	8.8	8.8	8.8	8.8						
	溶氧 (mg/l)		4.5	4.5	4.2	4.4	4.9	4.2						
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17495	17911	17703	18536	16870	17078						
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.044	0.026	0.025	0.033	0.036	0.027						
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2527	2276	2498	2513	2429	2564						

表 5 - 20 蘇澳港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 )  H  L

深度		調查季節		76年 夏季										平均值
				3	7	8	11	13						
項目		站	7	8	11	13								
0M	水溫 (°C)		29.6	28.4	28.5	28.4	27.3	28.4	27.3	28.4	27.3	28.44		
	酸鹼度 PH值		8.5	8.6	8.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6		
	溶氧 (mg/l)		5.1	5.6	5.6	5.4	4.6	5.4	4.6	5.4	4.6	5.26		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17078	18328	19334	17182	18536	17182	18536	17182	18536	18091.6		
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.029	0.025	0.034	0.027	0.029	0.027	0.027	0.027	0.029	0.0288		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2246	2646	2290	2350	2498	2350	2498	2350	2498	2406		
1M	水溫 (°C)		27.9	28.0	28.7	28.2	26.9	28.2	26.9	28.2	26.9	27.94		
	酸鹼度 PH值		8.6	8.6	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.66		
	溶氧 (mg/l)		5.3	6.1	6.2	5.8	5.0	5.8	5.8	5.8	5.0	5.68		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		18224	17286	18328	17703	18536	17703	18536	17703	18536	18015.4		
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.297	0.027	0.031	0.041	0.328	0.041	0.328	0.041	0.328	0.1448		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2231	2335	2424	2527	2468	2527	2468	2527	2468	2397		
2M	水溫 (°C)		26.9	27.1	28.2	26.5	26.7	26.5	26.7	26.5	26.7	27.08		
	酸鹼度 PH值		8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7		
	溶氧 (mg/l)		5.0	5.8	6.8	5.5	5.3	5.5	5.5	5.5	5.3	5.68		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		21660	16037	19509	18862	18015	18862	18015	18862	18015	18828.6		
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.025	0.025	0.033	0.036	0.030	0.036	0.036	0.036	0.030	0.0298		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2898	2200	2350	2720	2498	2720	2498	2720	2498	2551.2		

表 5 - 21 蘇澳港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 ) □ H ☑ L

深度	調查季節		76年夏季										平均值					
	測	站	3	7	8	11	13											
0M	水溫 (°C)		27.6	27.5	27.4	27.3	26.8											
	酸鹼度 PH值		8.6	8.6	8.5	8.6	8.6											27.32
	溶氧 (mg/l)		4.6	4.7	4.6	4.4	3.5											8.58
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		16504	17495	17703	18952	17078											4.36
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.028	0.027	0.032	0.029	0.031											17546.4
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2083	2320	2542	2216	2646											0.0294
1M	水溫 (°C)		26.8	27.3	27.0	26.4	26.8											2361.4
	酸鹼度 PH值		8.6	8.7	8.6	8.6	8.6											26.86
	溶氧 (mg/l)		4.6	4.6	4.9	3.9	4.3											8.62
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17078	18980	17495	17807	16662											4.46
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.031	0.027	0.042	0.027	0.023											17604.4
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2394	2395	2409	2290	2498											0.030
2M	水溫 (°C)		26.6	26.7	26.6	26.5	26.6											2397.2
	酸鹼度 PH值		8.7	8.7	8.7	8.7	8.7											26.6
	溶氧 (mg/l)		4.6	4.7	4.8	5.1	4.8											8.7
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		19161	17495	17495	18980	18536											4.8
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.031	0.030	0.029	0.027	0.034											18333.4
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2720	2690	2335	2350	2542											0.0302
																	2527.4	

表 5 - 22 基隆港區海域海水化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 1 )  日  月  年

深度		調查季節		76年秋季							平均值
		測	站	E 6	E 20	30	23	14	1		
0M	水溫 (°C)			18.5	18.4	17.7	18.3	18.6	18.1	18.3	
	酸鹼度 PH值			8.0	8.2	8.1	8.1	8.1	7.7	8.0	
	溶氧 (mg/l)			4.7	5.2	5.4	5.3	4.5	3.8	4.8	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			1770	19100	18269	19719	18619	15420	18161	
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.01	0.021	0.01	0.018	0.007	0.01	0.0127	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2750	3100	3100	2750	2600	2439	2342.83	
1M	水溫 (°C)			18.5	18.5	17.8	18.4	18.7	18.7	18.4	
	酸鹼度 PH值			8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	7.9	8.1	
	溶氧 (mg/l)			4.7	5.3	5.3	5.3	4.9	4.1	4.9	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			1770	19119	18569	19369	18119	17820	18461	
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.020	0.007	0.021	0.006	0.023	0.0075	0.0141	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2500	2800	3700	2950	2500	2650	2850	
2M	水溫 (°C)			18.7	18.5	18.0	18.4	18.8	18.8	18.5	
	酸鹼度 PH值			8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.0	8.1	
	溶氧 (mg/l)			5.1	5.3	5.5	5.4	5.0	4.0	5.1	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			18069	19619	18369	19369	20369	18269	19011	
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.020	0.007	0.016	0.011	0.009	0.011	0.0123	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			3100	3600	3350	3700	2650	3350	3292	

表 5 - 23 基隆港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 1 ) □ II ☑ L

調查季節		76年秋季										平均值
深度	項目	站	E 6	E 20	30	23	14	1				
0M	水溫 (°C)		18.6	18.4	18.1	18.6	18.4	18.2	18.4			
	酸鹼度 PH值		8.0	8.0	8.0	8.1	7.9	7.9	8.0			
	溶氧 (mg/l)		4.5	5.0	5.2	5.4	4.5	4.5	3.8			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		18119	18219	19119	20069	16170	15220	17819			
	S <sup>2-</sup> (PPM)		0.007	0.0075	0.0075	0.009	0.007	0.030	0.0113			
1M	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPM)		2950	2650	2500	3100	2750	1700	2608			
	水溫 (°C)		18.7	18.5	18.1	18.6	18.6	18.6	18.5			
	酸鹼度 PH值		8.0	8.0	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0			
	溶氧 (mg/l)		4.7	5.0	5.2	5.3	4.8	4.4	4.9			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		17820	19669	18269	20319	15970	16570	18103			
2M	S <sup>2-</sup> (PPM)		0.010	0.007	0.007	0.008	0.015	0.015	0.0103			
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPM)		2650	3100	2800	3400	2950	2950	2975			
	水溫 (°C)		18.7	18.5	18.2	18.6	18.7	18.7	18.6			
	酸鹼度 PH值		8.1	8.1	8.1	8.2	8.1	8.0	8.1			
	溶氧 (mg/l)		5.0	4.9	5.1	5.5	4.8	4.5	5.0			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		18319	19569	16920	20269	18719	18969	18794			
	S <sup>2-</sup> (PPM)		0.015	0.006	0.009	0.006	0.008	0.008	0.0087			
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPM)		2950	3600	2500	3600	3275	3600	3254			

表 5 - 24 台中港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 2 )  H  L

調查季節		76年 秋季								平均值
		4A	5A	8A	25A	29A	平均			
深度	項目									
	0M	水溫 (°C)	16.6	16.0	15.1	15.5	17.2	16.1		
酸鹼度 PH值		8.3	8.3	8.3	8.3	8.2	8.3			
溶氧 (mg/l)		6.5	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7			
Cl <sup>-</sup> (PPM)		19615	20177	13858	21019	21709	19276			
S <sup>-2</sup> (PPM)		0.027	0.025	0.003	0.002	0.026	0.026			
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2552	2943	2681	2263	2650	2618			
1M	水溫 (°C)	15.9	15.6	14.7	15.1	16.4	15.5			
	酸鹼度 PH值	8.4	8.5	8.4	8.4	8.4	8.4			
	溶氧 (mg/l)	6.5	6.8	6.5	6.6	6.7	6.7			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18820	17842	19079	19079	18079	18580			
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2654	2425	2120	2422	2895	2503			
2M	水溫 (°C)	15.3	15.3	14.8	14.9	15.5	15.2			
	酸鹼度 PH值	8.4	8.5	8.4	8.4	8.3	8.4			
	溶氧 (mg/l)	6.4	6.7	6.6	6.6	6.7	6.6			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	14332	19873	17164	21709	20413	18693			
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.030	0.020	0.030	0.020	0.025	0.025			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2426	2607	2686	2735	2653	2621			

表 5 - 25 台中港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 2 ) □ II □ L

深度		調查季節		76年 秋季							平均值
		項目	測站	4A	5A	8A	25A	29A	平均值		
0M	水溫 (°C)		14.8	14.7	14.8	16.1	15.1	15.1			
	酸鹼度 PH值		8.2	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3			
	溶氧 (mg/l)		6.1	6.3	6.6	6.1	6.3	6.28			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		16735	15549	19230	16735	13263	16302			
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.030	0.030	0.026	0.030	0.030	0.029			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		1853	2209	2207	2208	2175	2130			
1M	水溫 (°C)		14.6	14.6	14.6	15.5	14.9	14.8			
	酸鹼度 PH值		8.4	8.5	8.4	8.4	8.3	8.4			
	溶氧 (mg/l)		6.1	6.6	6.5	6.3	6.5	6.4			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		18308	17385	14664	18320	18785	17492			
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.026	0.020	0.030	0.030	0.020	0.025			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2421	2203	2340	2035	2296	2259			
2M	水溫 (°C)		14.6	14.6	14.5	15.0	14.7	14.7			
	酸鹼度 PH值		8.4	8.5	8.4	8.3	8.4	8.4			
	溶氧 (mg/l)		6.1	6.4	6.4	6.0	6.5	6.3			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		15550	17611	19079	17385	19344	17794			
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.030	0.020	0.030	0.020	0.020	0.026			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2474	2735	2653	2196	2680	2548			

表 5 - 26 高雄港區海域海水生化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3 )  H  L

深度		調查季節		76年秋季										平均值
		項	測	站	16	30	2	41	50	64	70			
0M	水溫 (°C)			29.1	31.9	28.8	29.1	28.6	28.5	28.5	29.2			
	酸鹼度 PH值			7.8	7.1	7.9	7.8	7.6	7.9	7.8	7.7			
	溶氧 (mg/l)			3.3	1.5	4.7	4.1	3.9	3.7	3.9	3.6			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			18219	19519	19419	19469	18369	19019	18869	18983			
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.010	0.010	0.010	0.009	0.010	0.011	0.008	0.010			
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2750	2500	32275	3275	3400	3100	3350	3093			
	水溫 (°C)			29.4	30.5	28.8	29.0	28.5	28.5	28.4	29.0			
	酸鹼度 PH值			7.9	7.6	8.0	7.9	8.0	8.0	7.9	7.9			
	溶氧 (mg/l)			3.6	1.9	4.8	4.0	3.8	3.8	4.0	3.7			
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			18969	20219	19369	19319	19419	19869	18669	19405			
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.009	0.011	0.009	0.009	0.010	0.010	0.010	0.010			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			3600	3350	2350	2750	3600	3400	2950	3143			
	水溫 (°C)			29.1	28.9	28.6	28.9	28.5	28.4	28.4	28.7			
	酸鹼度 PH值			7.9	7.9	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0			
	溶氧 (mg/l)			3.5	2.7	4.5	4.1	3.9	3.4	3.8	3.7			
2M	Cl <sup>-</sup> (PPM)			19719	19069	19569	18869	19769	18169	19219	19198			
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.010	0.008	0.009	0.006	0.008	0.001	0.001	0.009			
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2350	3800	3100	3100	2950	2500	3275	3011			

表 5 - 27 高雄港區海域海水氯化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3 )  H  L

深度		調查季節		76年秋季										平均值
		測	站	10	30	2	41	50	64	70				
0M	水溫 (°C)	30.2	31.2	29.3	29.2	28.9	29.1	28.6	29.5					
	酸鹼度 PH值	8.0	7.9	8.2	8.1	7.8	8.1	8.0	8.0					
	溶氧 (mg/l)	4.0	4.0	7.0	5.4	4.4	5.2	4.6	6.1					
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19319	16370	19519	18769	18919	19819	19569	18898					
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.009	0.010	0.009	0.008	0.010	0.010	0.009	0.009					
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3350	2500	2350	2950	2750	3400	3275	2939					
	水溫 (°C)	29.9	30.5	29.3	29.2	28.9	29.1	28.6	29.4					
	酸鹼度 PH值	8.0	8.0	8.3	8.1	8.0	8.1	8.1	8.1					
	溶氧 (mg/l)	3.8	3.6	7.2	5.5	4.3	5.2	4.8	4.9					
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19719	17270	20119	19969	19419	18819	20119	19348					
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.010	0.009	0.009	0.010	0.010	0.008	0.010	0.009					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2950	2300	2650	3400	3400	2500	3400	2943					
	水溫 (°C)	29.3	30.1	29.3	29.2	28.5	29.1	28.5	29.1					
	酸鹼度 PH值	8.0	8.0	8.3	8.2	8.0	8.1	8.1	8.1					
	溶氧 (mg/l)	3.8	3.6	7.3	5.7	3.0	5.2	4.4	4.7					
Cl <sup>-</sup> (PPM)	19669	19169	19119	19019	19369	19469	19519	19333						
S <sup>-2</sup> (PPM)	0.008	0.009	0.008	0.010	0.009	0.011	0.011	0.010	0.010					
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3400	3100	2500	3100	3100	2500	3350	3007						

表 5 - 28 花蓮港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 4 )  H  L

深度		調查季節		76年秋季										平均值
		測	站	24	18	15	12	5	3					
項目	站	24	18	15	12	5	3							
0M	水溫 (°C)	22.8	22.9	22.3	22.1	23.1	22.5						22.6	
	酸鹼度 PH值	8.3	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2						8.2	
	溶氧 (mg/l)	5.6	4.9	4.9	5.0	4.8	5.1						5.1	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17570	16870	16170	17220	15520	15020						16395	
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.030	0.008	0.010	0.009	0.012	0.012						0.014	
1M	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3100	2050	2750	1725	2500	1925						2342	
	水溫 (°C)	22.6	22.8	22.1	22.0	21.9	22.3						22.3	
	酸鹼度 PH值	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3						8.3	
	溶氧 (mg/l)	5.7	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3						5.3	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	16820	17320	16720	17120	16820	16420						16870	
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.008	0.020	0.020	0.006	0.025	0.009						0.015	
	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2950	2600	2600	2400	2600	2950						2683	
	水溫 (°C)	23.1	22.8	21.9	22.0	21.9	22.1						22.3	
	酸鹼度 PH值	8.3	8.3	8.3	8.4	8.3	8.3						8.3	
	溶氧 (mg/l)	5.7	5.4	5.3	5.3	5.1	5.2						5.3	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17770	17520	16920	16520	17120	17170						17170	
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.028	0.035	0.007	0.009	0.010	0.010						0.0165	
	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3350	2800	3275	2750	3350	2800						3054	

表 5 - 29 花蓮港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 4 )  H  L

調查季節		76年秋季										平均值	
		24	18	15	12	5	3						
深度	項目	測站											
		0M	水溫 (°C)	22.0	22.1	21.3	21.3	21.8	21.8	21.3	21.3	21.3	21.8
酸鹼度 PH值	8.3		8.2	8.2	8.2	8.3	8.3	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3
溶氧 (mg/l)	5.1		6.2	6.0	6.2	6.0	6.2	6.2	6.0	6.2	6.0	5.9	5.9
Cl <sup>-</sup> (PPM)	17620		17070	15820	16970	17120	17120	16970	15820	16970	17120	17170	16962
S <sup>-2</sup> (PPM)	0.014		0.0075	0.010	0.009	0.012	0.012	0.009	0.010	0.009	0.012	0.009	0.0102
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3275		2500	2600	2500	2375	2375	2500	2600	2500	2375	2375	2604
1M	水溫 (°C)	22.4	22.2	21.4	21.7	21.8	21.8	21.4	21.7	21.8	21.9	21.9	21.9
	酸鹼度 PH值	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.3
	溶氧 (mg/l)	5.4	6.1	6.0	5.8	5.9	5.9	5.8	6.0	5.9	5.7	5.7	5.8
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18119	17370	16370	16320	16769	16769	16320	16370	16320	16970	16970	16986
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.031	0.012	0.030	0.010	0.015	0.015	0.010	0.030	0.010	0.015	0.013	0.0185
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3350	2800	2600	2800	2950	2950	2800	2600	2800	2950	2800	2883
2M	水溫 (°C)	22.9	23.1	22.2	22.2	21.7	21.7	22.2	22.2	21.7	22.2	22.2	22.4
	酸鹼度 PH值	8.4	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
	溶氧 (mg/l)	5.5	6.1	5.8	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	5.8	5.7	5.7	5.8
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17770	18219	17570	17420	17770	17770	17420	17570	17420	17770	17919	17778
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.010	0.007	0.011	0.016	0.0075	0.0075	0.016	0.011	0.016	0.0075	0.071	0.0204
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2275	2800	2600	2950	2750	2750	2950	2600	2950	2750	2500	2646

表 5 - 30 蘇澳港區海域海水氯化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 ) □ II □ L

深度		調查季節		76年秋季									
		項目	站	3	7	8	11	13	平均値				
0M	水溫 (°C)		23.3	22.1	22.1	22.1	22.4	21.7	22.3				
	酸鹼度 PH值		8.1	7.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0				
	溶氧 (mg/l)		5.1	5.5	5.1	5.0	4.8	5.1	5.1				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		20969	18019	19419	19469	19469	19469	19469	19469			
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.005	0.008	0.014	0.010	0.007	0.0088	0.0088				
1M	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		3400	2800	2500	3400	2750	2970	2970				
	水溫 (°C)		23.4	23.4	22.1	23.3	21.9	22.8	22.8				
	酸鹼度 PH值		8.2	8.1	8.1	8.2	8.0	8.1	8.1				
	溶氧 (mg/l)		5.2	5.3	5.4	5.1	4.6	5.1	5.1				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		20869	20619	19819	19569	19569	20089	20089				
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.008	0.007	0.002	0.010	0.015	0.012	0.012				
	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		3350	3700	2000	2950	2500	3020	3020				
	水溫 (°C)		23.5	23.5	22.1	23.4	23.0	23.1	23.1				
	酸鹼度 PH值		8.2	8.2	8.1	8.2	8.0	8.1	8.1				
	溶氧 (mg/l)		5.2	5.4	5.3	5.2	4.7	5.2	5.2				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		21069	20269	19669	19919	19569	20099	20099				
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.04	0.012	0.028	0.011	0.012	0.0206	0.0206				
	S <sub>04</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		3700	2650	3275	2400	3700	3145	3145				

表 5 - 31 蘇澳港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 ) □ H ☑ L

調查季節		76年秋季										
深度	項目	測站										平均值
		3	7	8	11	13	13	13	13	13	13	
0M	水溫 (°C)	23.1	21.4	22.1	22.0	21.9	22.1	22.0	22.0	21.9	22.1	22.1
	酸鹼度 PH值	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	溶氧 (mg/l)	5.7	6.0	5.1	5.3	4.8	5.1	5.3	5.3	4.8	5.1	5.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	20019	17370	19419	19519	19169	19419	19519	19519	19169	19099	19099
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.006	0.006	0.0075	0.018	0.010	0.0075	0.018	0.018	0.010	0.0095	0.0095
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3850	3275	2950	2800	2950	2950	2800	2800	2950	3165	3165
1M	水溫 (°C)	23.2	23.4	22.5	22.7	21.9	22.5	22.7	22.7	21.9	22.7	22.7
	酸鹼度 PH值	8.2	7.9	8.1	8.1	8.0	8.1	8.1	8.1	8.0	8.1	8.1
	溶氧 (mg/l)	5.9	5.6	5.2	5.1	4.9	5.2	5.1	5.1	4.9	5.3	5.3
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19968	19869	19669	19569	18869	19669	19569	19569	18869	19589	19589
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.007	0.012	0.015	0.007	0.012	0.015	0.007	0.007	0.012	0.0106	0.0106
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2950	3600	2500	3350	2800	2500	3350	3350	2800	3040	3040
2M	水溫 (°C)	23.5	23.6	23.6	23.7	23.4	23.6	23.7	23.7	23.4	23.6	23.6
	酸鹼度 PH值	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
	溶氧 (mg/l)	5.8	5.7	5.4	5.0	5.2	5.4	5.0	5.0	5.2	5.4	5.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	20219	20369	19419	19719	19169	19419	19719	19719	19169	19779	19779
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.0075	0.032	0.008	0.010	0.018	0.008	0.010	0.010	0.018	0.0151	0.0151
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3350	3350	3275	3400	3350	3275	3400	3400	3350	3345	3345



表 5 - 33 基隆港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 1 ) □ II ☒ L

深度	項 目	75年冬季										平均值		
		30	E 6	E 20	1	14	23							
0M	水 溫 (°C)	18.8	19.2	18.9	19.2	19.1	18.6							19.0
	酸 鹼 度 PH值	7.9	7.9	7.9	7.4	7.8	8.0							7.8
	溶 氧 (mg/l)	6.4	5.2	5.6	4.0	5.5	6.3							5.5
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	16325	16567	16514	12986	16378	16378							15858
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0	0	0	0	0	0							0
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2856	2020	3091	2236	3323	3476							2984
	水 溫 (°C)	18.6	19.1	18.7	18.7	18.9	18.6							18.8
	酸 鹼 度 PH值	8.0	8.0	8.0	7.9	7.9	8.0							8.0
	溶 氧 (mg/l)	6.4	5.2	5.5	4.6	5.4	6.3							5.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	16407	16299	15846	15473	16165	16674							16144
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)	0	0	0.02	0	0	0							0.003
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3049	2392	2729	2450	2781	2837							2717
	水 溫 (°C)	18.6	18.9	18.6	18.6	18.8	18.6							18.7
	酸 鹼 度 PH值	8.1	8.0	8.0	7.9	8.0	8.0							8.0
	溶 氧 (mg/l)	6.2	5.3	5.5	4.7	5.4	6.4							5.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	16325	16006	15953	16059	16246	16537							16188
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0	0	0.02	0	0.02	0							0.007
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3177	2868	2909	3027	3262	2805							3008

表 5 - 34 台中港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 2 )  H  L

調查季節		75年 冬季									
深度	項目	測站									
		4 A	5 A	8 A	25	30	平均值				
0M	水溫 (°C)	16.2	16.2	16.1	15.8	16.5	16.2				
	酸鹼度 PH值	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3				
	溶氧 (mg/l)	5.6	6.8	6.6	7.0	7.3	6.7				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	15485	16148	15927	15706	15706	15794				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0	0	0	0	0	0				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2877	2654	3036	2477	2784	2766				
1M	水溫 (°C)	30.0	30.5	29.7	29.9	30.4	30.1				
	酸鹼度 PH值	8.2	8.2	8.0	8.1	8.3	8.2				
	溶氧 (mg/l)	6.7	6.2	4.3	5.0	7.0	5.8				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17820	18269	18519	18619	18969	18439				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	1950	2200	2300	1850	1950	2050				
2M	水溫 (°C)	30.0	30.5	29.6	29.8	29.8	29.9				
	酸鹼度 PH值	8.1	8.2	8.0	8.1	8.1	8.1				
	溶氧 (mg/l)	5.8	6.2	4.1	4.5	5.1	5.1				
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	17470	20219	18369	18119	18369	18509				
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.009	0.010	0.010	0.010	0.009	0.0096				
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2050	2050	2125	2375	2200	2160				

表 5 - 35 台中港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 2) □ II □ L

深度	調查季節		75年冬季								平均值
	項	目	4 A	5 A	8 A	25	30				
0M	水溫 (°C)		18.5	18.0	17.0	16.9	18.2			17.7	
	酸鹼度 PH值		8.2	8.2	8.3	8.3	8.3			8.3	
	溶氧 (mg/l)		6.2	7.6	7.8	8.3	8.2			7.6	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		15927	14379	15485	15706	18803			16060	
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0	0	0	0	0			0	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2626	2505	2467	2831	1983			2482	
1M	水溫 (°C)		16.8	17.3	16.4	16.6	17.3			16.9	
	酸鹼度 PH值		8.3	8.3	8.3	8.3	8.3			8.3	
	溶氧 (mg/l)		6.8	7.5	8.0	8.0	7.6			7.6	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		15706	15927	15706	15485	18148			15794	
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0	0	0	0	0			0	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2859	2485	2672	2868	2570			2685	
2M	水溫 (°C)		16.3	16.3	16.1	16.3	16.5			16.3	
	酸鹼度 PH值		8.4	8.4	8.3	8.3	8.3			8.3	
	溶氧 (mg/l)		6.5	7.5	7.8	8.1	7.8			7.5	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		15927	15485	15706	15042	15263			15485	
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0	0	0	0	0			0	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2160	2691	2756	2495	2877			2596	

表 5 - 36 高雄港區海域海水化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3 )  H  L

深度		調查季節		75年 冬季										平均值
				2	16	30	41	50	64	70				
項目	站													
0M	水溫 (°C)	25.5	25.9	27.8	25.6	25.6	25.4	25.4	25.9	25.4	25.4	25.9		
	酸鹼度 PH值	7.7	7.5	7.4	7.7	7.7	7.8	7.8	7.7	7.9	7.9	7.7		
	溶氧 (mg/l)	2.1	0.3	0.1	0.8	1.5	3.7	3.7	1.5	6.1	6.1	2.1		
	Cl <sup>-</sup> (PPH)	15766	12380	15502	15714	15555	15925	15925	15555	16190	16190	15290		
	S <sup>-2</sup> (PPH)	0.03	0.20	0.09	0.03	0	0.03	0.03	0	0.05	0.05	0.06		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2629	2371	2594	2465	2875	2922	2922	2875	3098	3098	2708		
1M	水溫 (°C)	25.5	26.1	27.8	25.6	25.6	25.4	25.4	25.6	25.4	25.4	25.9		
	酸鹼度 PH值	7.8	7.6	7.5	7.7	7.7	7.9	7.9	7.7	8.0	8.0	7.7		
	溶氧 (mg/l)	1.9	0.0	0.0	0.4	1.1	3.4	3.4	1.1	6.0	6.0	1.8		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	15766	15449	14867	15766	15555	15766	15766	15555	15819	15819	15570		
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.03	0.06	0.20	0	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3027	2969	2805	2945	2793	3203	3203	2793	2945	2945	2955		
2M	水溫 (°C)	25.5	26.2	27.8	25.5	25.6	25.4	25.4	25.6	25.4	25.4	25.9		
	酸鹼度 PH值	7.8	7.6	7.5	7.7	7.7	7.9	7.9	7.7	8.0	8.0	7.7		
	溶氧 (mg/l)	1.9	0.0	0.0	0.6	1.1	3.5	3.5	1.1	6.0	6.0	1.9		
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	15766	15714	14973	16031	15343	15872	15872	15343	16190	16190	15698		
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.05	0.06	0.10	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05		
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3109	2980	3074	2840	3074	2969	2969	3074	3215	3215	3037		

表 5 - 37 高雄港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 3 )  H  L

深度		調查季節		75年 冬季										平均值		
		測	站	2	16	30	41	50	64	70						
0M	水溫 (°C)			25.8	26.1	28.2	25.8	25.6	25.3							26.0
	酸鹼度 PH值			7.6	7.4	7.4	7.6	7.8	7.8							7.7
	溶氧 (mg/l)			1.4	1.7	0.3	0.4	2.4	3.3							2.2
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15481	11058	14761	15343	15925	16243							15023
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.04	0.40	3.02	0.05	0	0.05							0.51
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			3039	2207	3051	2957	2980	2781						2868	
	水溫 (°C)			25.7	26.2	28.1	25.7	25.6	25.4						26.0	
	酸鹼度 PH值			7.6	7.5	7.4	7.6	7.8	7.8						7.7	
	溶氧 (mg/l)			1.0	1.2	0.5	0.4	2.3	3.3						2.0	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15608	15079	14814	15132	16031	16243						15570	
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.03	0.07	0.12	0.05	0.02	0.03						0.05	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2676	3121	3004	3121	2371	2652						2855	
	水溫 (°C)			25.6	25.8	26.7	25.7	25.6	25.4						25.7	
	酸鹼度 PH值			7.7	7.7	7.6	7.7	7.8	7.9						7.8	
	溶氧 (mg/l)			0.9	0.7	0.1	0.4	2.3	3.4						1.8	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15237	15502	15396	15343	15925	16190						15668	
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.02	0.05	0.131	0.06	0.03	0.05						0.05	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			3051	2676	3863	3039	3215	2734						3078	

表 5 - 38 花蓮港區海域海水理化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 4)  H  L

深度		調查季節		75年 冬季										平均值	
		測	站	3	5	12	15	18	23						
0M	水溫 (°C)			22.1	22.7	23.0	22.9	23.4	21.6						22.6
	酸鹼度 PH值			8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1						8.1
	溶氧 (mg/l)			6.6	6.4	6.4	6.4	6.6	6.8						6.5
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15075	14857	14376	14676	15846	13272						14683
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0	0					0
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2053	2032	2064	2578	2816	2333						2613
	水溫 (°C)			23.2	23.0	23.3	23.1	23.7	22.0						23.1
	酸鹼度 PH值			8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1						8.1
	溶氧 (mg/l)			6.5	6.3	6.2	6.5	6.6	6.7						6.5
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15261	14942	15338	15474	16165	13627						15135
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0						0
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2681	2474	2771	2749	2910	2454						2673
	水溫 (°C)			23.4	23.1	23.2	23.2	23.8	22.9						23.3
	酸鹼度 PH值			8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2						8.2
	溶氧 (mg/l)			6.4	6.4	6.2	6.2	6.5	6.8						6.4
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15551	16193	15925	16218	16032	13400						15553
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0						0
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2867	3049	2712	2712	2814	2412						2761

表 5 - 39 花蓮港區海域海水化化性分析結果(測站位置參見圖 5 - 4 ) □ II ▣ L

深度		調查季節		75年 冬季										平均值					
		測	站	3	5	12	15	18	23										
0M	水溫 (°C)			21.4	22.2	21.5	21.3	21.3	21.3	21.6									
	酸鹼度 PH值			8.1	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1									
	溶氧 (mg/l)			6.8	6.7	6.7	6.8	6.8	6.8	7.3									
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			13521	13857	13347	13253	13253	13040	13298									
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0	0.02									
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2474	2472	2599	2360	2412	2664										
	水溫 (°C)			21.4	22.4	22.3	21.3	21.3	21.3	21.6									
	酸鹼度 PH值			8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1									
	溶氧 (mg/l)			7.0	6.7	6.7	6.8	7.5	7.5	8.2									
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			14477	15208	14643	13512	13405	13405	13631									
2M	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0										
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2112	2536	2526	2795	2309	2350										
	水溫 (°C)			22.5	22.6	22.4	21.8	21.6	21.9										
	酸鹼度 PH值			8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2										
	溶氧 (mg/l)			6.4	6.6	6.6	6.9	7.0	7.2										
2M	Cl <sup>-</sup> (PPM)			14370	15335	15067	13673	13146	13826										
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0										
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)			2942	2792	2634	2319	2407	2472										

表 5 - 40 蘇澳港區海域海水理化分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 )  II  I

調查季節		75年冬季										平均值
深度	項目	站	3	7	8	11	13					
0M	水溫 (°C)		21.8	22.0	21.7	22.0	21.6					21.8
	酸鹼度 PH值		7.8	7.7	7.7	7.8	7.8					7.8
	溶氧 (mg/l)		6.6	6.2	5.8	5.7	5.4					5.9
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		15846	13458	16300	15984	16218					15561
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0	0.02	0	0	0					0.004
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2940	2429	2514	2739	2835					2691
1M	水溫 (°C)		22.6	22.3	21.8	22.0	21.7					22.1
	酸鹼度 PH值		8.0	8.0	7.9	7.9	7.8					7.9
	溶氧 (mg/l)		6.3	6.2	6.0	5.7	5.6					6.0
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		16264	15580	15633	16246	15793					15903
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0	0	0	0.02	0					0.004
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		2785	2661	3006	2792	2247					2698
2M	水溫 (°C)		22.8	22.8	21.8	22.0	21.7					22.2
	酸鹼度 PH值		8.0	8.0	7.9	8.0	7.9					8.0
	溶氧 (mg/l)		6.1	6.1	5.9	5.6	5.4					5.8
	Cl <sup>-</sup> (PPM)		16165	16006	16059	16006	16139					16075
	S <sup>-2</sup> (PPM)		0.02	0	0	0	0					0.004
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)		3177	2514	2311	2867	3369					2848

表 5 - 41 蘇澳港區海域海水理化性分析結果 (測站位置參見圖 5 - 5 )  H  L

深度		調查季節		75年 冬季										平均值	
		測	站	3	7	8	11	13							
0M	水溫 (°C)			22.4	21.6	21.2	21.7	21.6	21.7	21.7	21.7	21.7	21.6	21.7	
	酸鹼度 PH值			7.9	7.4	7.6	7.9	7.4	7.9	7.9	7.9	7.8	7.7	7.7	
	溶氧 (mg/l)			5.7	6.3	5.7	5.7	6.3	5.7	5.7	5.7	4.8	5.6	5.6	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16112	15846	16032	15953	15846	15953	15953	15953	15953	15953	15979	15979
	S <sup>2-</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1M	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2877	2557	2775	2696	2557	2696	2696	2696	2771	2735	2735	
	水溫 (°C)			22.5	22.3	21.1	21.8	22.3	21.8	21.8	21.8	21.7	21.9	21.9	
	酸鹼度 PH值			8.0	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	7.9	7.9	
	溶氧 (mg/l)			5.8	6.1	5.6	5.5	6.1	5.5	5.5	5.5	4.6	5.5	5.5	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16112	15899	15580	16165	15899	16165	16165	16165	15633	15878	15878	
2M	S <sup>2-</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.004	0.004	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2754	2760	2712	2525	2760	2525	2525	3006	2751	2751	2751	
	水溫 (°C)			22.6	22.4	20.9	22.1	22.4	22.1	22.1	22.1	22.0	22.0	22.0	
	酸鹼度 PH值			8.0	8.0	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
	溶氧 (mg/l)			5.7	5.8	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.0	5.6	5.6	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16406	15368	15978	15953	15368	15953	15953	15953	15793	15900	15900	
	S <sup>2-</sup> (PPM)			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			3049	2343	2963	2610	2343	2610	2610	2824	2758	2758	2758	

表5-42各港區海域海水化性平均值(春季)

深度	項 目	港 名		基		隆		台		中		高		雄		花		蓮		蘇		澳			
		位		高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低
		潮	位	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮	潮
0M	水溫 (°C)			18.3	18.5	28.1	29.5	21.8	22.3	23.2	22.9	21.4	21.3												
	酸鹼度 PH值			8.3	8.1	8.9	8.9	7.9	8.0	8.3	8.3	7.8	7.7												
	溶 氧 (mg/l)			3.5	3.4	8.7	8.3	3.3	3.9	4.6	5.6	5.0	5.0												
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			17073	17074	18984	18788	16845	16625	16970	17257	16473	16928												
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.025	0.02	0.028	0.026	0.14	1.05	0.025	0.026	0.026	0.02	0.02											
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2672	2768	2526	2473	2713	2868	2482	27.3	2561	2746												
1M	水溫 (°C)			18.3	18.3	27.8	28.4	21.6	22.0	23.1	22.9	21.5	21.5												
	酸鹼度 PH值			8.3	8.2	9.0	8.9	8.1	8.0	8.3	8.4	8.1	8.0												
	溶 氧 (mg/l)			3.6	3.4	8.6	8.3	3.2	3.7	4.7	5.6	5.0	5.2												
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			17087	16892	19523	18960	17030	16953	17346	17158	17531	16895												
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.02	0.03	0.022	0.024	0.13	1.72	0.023	0.02	0.03	0.02	0.02											
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2587	2593	2449	2594	2933	2907	2663	2743	2624	2543												
2M	水溫 (°C)			18.2	18.2	27.4	27.5	21.4	21.9	23.0	22.9	21.6	21.6												
	酸鹼度 PH值			8.3	8.3	8.9	8.9	8.1	8.1	8.3	8.4	8.1	8.1												
	溶 氧 (mg/l)			3.8	3.5	7.7	7.4	3.1	3.7	4.8	5.7	5.0	5.2												
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16971	17317	19327	19204	17153	16872	17342	17186	17289	16646												
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.03	0.03	0.026	0.024	0.04	0.83	0.026	0.02	0.02	0.02	0.02											
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2712	2692	2658	2722	2913	2683	2592	2761	2819	2614												

表5-43各港區海域海水化性平均值(夏季)

深度	港名	基		隆		台		中		高		雄		花		蓮		蘇		澳
		目		潮		潮		潮		潮		潮		潮		潮		潮		
		位	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	
0M		水溫 (°C)	26.0	26.22	30.7	29.9	26.0	26.22	29.9	26.0	26.0	26.22	26.0	26.22	26.0	26.22	27.77	26.0	28.44	27.32
		酸鹼度 PH值	8.0	8.72	8.2	8.0	8.6	8.72	8.2	8.0	8.6	8.72	8.6	8.72	8.6	8.72	8.67	8.6	8.6	8.58
		溶氧 (mg/l)	3.08	3.27	5.8	5.4	3.08	3.27	5.8	5.4	3.08	3.27	3.08	3.27	3.08	3.27	4.42	3.08	5.26	4.36
		Cl <sup>-</sup> (PPM)	17757.3	18226.8	17590	17879	17757.3	18226.8	17590	17879	17757.3	18226.8	17757.3	18226.8	17757.3	18226.8	16706.83	17757.3	18091.6	17546.4
		S <sup>-2</sup> (PPM)	0.035	0.031	0.01	0.01	0.035	0.031	0.01	0.01	0.035	0.031	0.01	0.01	0.035	0.031	0.0372	0.035	0.0288	0.0294
		SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2342.83	2347.17	1980	2045	2342.83	2347.17	1980	2045	2342.83	2347.17	1980	2045	2342.83	2347.17	2154	2342.83	2406	2361.4
1M		水溫 (°C)	26.0	26.22	30.1	29.9	26.0	26.22	29.9	26.0	26.0	26.22	26.0	26.22	26.0	26.22	27.35	26.0	27.94	26.86
		酸鹼度 PH值	8.65	8.72	8.2	8.1	8.65	8.72	8.2	8.1	8.65	8.72	8.65	8.72	8.65	8.72	8.78	8.65	8.66	8.62
		溶氧 (mg/l)	3.28	3.32	5.8	5.6	3.28	3.32	5.8	5.6	3.28	3.32	3.28	3.32	3.28	3.32	4.47	3.28	5.68	4.46
		Cl <sup>-</sup> (PPM)	18049	17423.17	18439	18489	18049	17423.17	18439	18489	18049	17423.17	18049	17423.17	18049	17423.17	17303	18049	18015.4	17604.4
		S <sup>-2</sup> (PPM)	0.028	0.032	0.01	0.0098	0.028	0.032	0.01	0.0098	0.028	0.032	0.028	0.032	0.028	0.032	0.032	0.028	0.1448	0.03
		SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2525	2452.5	2050	2200	2525	2452.5	2050	2200	2525	2452.5	2525	2452.5	2525	2452.5	2401.5	2525	2397	2397.2
2M		水溫 (°C)	26.02	26.22	29.9	29.8	26.02	26.22	29.8	26.02	26.02	26.22	26.02	26.22	26.02	26.22	27.22	26.02	27.08	26.6
		酸鹼度 PH值	8.65	8.75	8.1	8.1	8.65	8.75	8.1	8.1	8.65	8.75	8.65	8.75	8.65	8.75	8.82	8.65	8.7	8.7
		溶氧 (mg/l)	3.37	3.37	5.1	5.2	3.37	3.37	5.1	5.2	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	4.45	3.37	5.68	4.8
		Cl <sup>-</sup> (PPM)	18052.5	17930.5	18509	18169	18052.5	17930.5	18509	18169	18052.5	17930.5	18052.5	17930.5	18052.5	17930.5	17598.8	18052.5	18828.6	18333.4
		S <sup>-2</sup> (PPM)	0.0288	0.055	0.0096	0.01	0.0288	0.055	0.0096	0.01	0.0288	0.055	0.0288	0.055	0.0288	0.055	0.032	0.0288	0.0298	0.0302
		SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2537.3	2441	2160	1935	2537.3	2441	2160	1935	2537.3	2441	2537.3	2441	2537.3	2467.83	2537.3	2467.83	25551.2	2527.4

表 5-44 各港區海域海水化性平均值 (秋季)

深度	項 目	港 名		隆		台		中		高		雄		花		蓮		蘇		澳					
		潮 位		高 潮		低 潮		高 潮		低 潮		高 潮		低 潮		高 潮		低 潮		高 潮		低 潮			
		水 溫 (°C)	酸 鹼 度 PH 值	溶 氧 (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (PPM)	S <sup>-2</sup> (PPH)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)	水 溫 (°C)	酸 鹼 度 PH 值	溶 氧 (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (PPM)	S <sup>-2</sup> (PPM)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	水 溫 (°C)	酸 鹼 度 PH 值	溶 氧 (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (PPM)	S <sup>-2</sup> (PPH)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	水 溫 (°C)	酸 鹼 度 PH 值	溶 氧 (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (PPM)	S <sup>-2</sup> (PPH)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)
0M	水 溫 (°C)	18.3	18.4	16.1	15.1	29.5	29.5	22.6	21.7	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
	酸 鹼 度 PH 值	8.0	8.0	8.2	8.2	7.7	7.7	8.2	8.3	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	溶 氧 (mg/l)	4.8	4.9	6.7	6.3	3.6	3.6	5.1	5.9	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18161	17819	19276	16302	18983	18983	16395	16962	18898	18898	16395	16962	18898	18898	16395	16962	18898	18898	16395	16962	18898	18898	16395	16962
	S <sup>-2</sup> (PPH)	0.013	0.011	0.026	0.029	0.01	0.01	0.014	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.014	0.01	0.01	0.01	0.014	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)	2704	2608	2618	2130	3039	3039	2342	2604	2949	2949	2342	2604	2949	2949	2342	2604	2949	2949	2342	2604	2949	2949	2342	2604
1M	水 溫 (°C)	18.4	18.5	15.5	14.8	29.0	29.0	22.3	21.9	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	
	酸 鹼 度 PH 值	8.1	8.0	8.3	8.3	7.9	7.9	8.3	8.3	8.1	8.1	8.3	8.3	8.1	8.3	8.3	8.3	8.1	8.3	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
	溶 氧 (mg/l)	4.9	4.9	6.7	6.4	3.7	3.7	5.3	5.8	4.9	4.9	5.3	5.8	5.1	5.3	5.3	5.3	5.1	5.3	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	18461	18103	18580	17492	19405	19405	16870	16986	19348	19348	16870	16986	19348	19348	16870	16986	19348	19348	16870	16986	19348	19348	16870	
	S <sup>-2</sup> (PPM)	0.014	0.01	0.03	0.025	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01	0.01	0.01	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	2850	2975	2503	2259	3143	3143	2683	2885	2943	2943	2683	2885	2943	2943	2683	2885	2943	2943	2683	2885	2943	2943	2683	
2M	水 溫 (°C)	18.5	18.6	15.2	14.7	28.7	28.7	22.4	22.3	29.1	29.1	22.4	22.3	23.1	22.4	22.3	23.1	23.1	22.4	22.3	23.1	23.1	22.4	22.3	
	酸 鹼 度 PH 值	8.1	8.1	8.3	8.3	8.0	8.0	8.3	8.4	8.1	8.1	8.3	8.4	8.1	8.3	8.4	8.1	8.1	8.3	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
	溶 氧 (mg/l)	5.1	5.0	6.6	6.3	3.7	3.7	5.3	5.8	4.7	4.7	5.3	5.8	5.2	5.3	5.8	5.2	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)	19011	18794	18698	17794	19198	19198	17170	17778	19333	19333	17170	17778	20099	19779	17170	17778	20099	20099	17170	17778	20099	20099	17170	
	S <sup>-2</sup> (PPH)	0.012	0.009	0.025	0.026	0.01	0.01	0.017	0.02	0.01	0.01	0.017	0.02	0.021	0.015	0.02	0.02	0.021	0.021	0.017	0.02	0.021	0.021	0.015	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)	3292	3254	2621	2548	3100	3100	3054	2646	3007	3007	3054	2646	3145	3054	2646	3145	3145	3054	2646	3145	3145	3054	2646	

表 5-45 各港區海域海水化性平均值 (冬季)

深度	項目	港名		基		隆		台		中		高		雄		花		蓮		蘇		澳			
		潮		高		低		高		低		高		低		高		低		高		低		高	
		位	目	潮	高	潮	低	潮	高	潮	低	潮	高	潮	低	潮	高	潮	低	潮	高	潮	低	潮	高
0M	水溫 (°C)			18.6	19.0	16.2	17.7	25.9	26.0	22.6	21.6	21.7	25.9	26.0	22.6	21.6	21.7	25.9	26.0	22.6	21.6	21.7	25.9	26.0	
	酸鹼度 PH值			7.8	7.8	8.3	8.3	7.7	7.7	8.1	8.1	8.3	7.7	7.7	8.1	8.1	8.1	7.7	7.7	8.1	8.1	8.1	7.7	7.7	
	溶氧 (mg/l)			5.9	5.7	6.7	7.6	2.1	2.2	6.5	6.9	7.6	2.1	2.2	6.5	6.9	6.9	2.1	2.2	6.5	6.9	6.9	2.1	2.2	
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15919	15858	15794	16060	15290	15023	14683	13386	16060	15290	15023	14683	13386	14154	15290	15023	14683	13386	15909	15979	15290	15023
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0.006	0	0	0	0.006	0.51	0	0	0	0.006	0.51	0	0.003	0	0.006	0.51	0	0.003	0.004	0	0.004	0
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2985	2984	2766	2482	2708	2868	2613	2497	2766	2482	2708	2868	2613	2497	2691	2691	2613	2497	2691	2691	2691	2691
1M	水溫 (°C)			18.5	18.8	16.1	16.9	25.9	26.0	23.1	21.7	16.9	25.9	26.0	23.1	21.7	22.1	25.9	26.0	23.1	21.7	22.1	25.9	26.0	
	酸鹼度 PH值			8.0	8.0	8.4	8.3	7.7	7.7	8.1	8.1	8.3	7.7	7.7	8.1	8.1	7.9	7.7	7.7	8.1	8.1	7.9	7.9	7.7	7.7
	溶氧 (mg/l)			5.9	5.6	6.5	7.6	1.8	2.0	6.5	7.2	7.6	1.8	2.0	6.5	7.2	6.0	1.8	2.0	6.5	7.2	6.0	5.5	5.5	5.5
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			15905	16144	15971	15794	15570	15570	15135	14154	15794	15570	15570	15135	14154	15909	15909	15570	15135	14154	15909	15878	15909	15570
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0.003	0	0	0.05	0.05	0	0	0	0.05	0.05	0	0	0.004	0.004	0.05	0	0	0.004	0.004	0.004	0.004
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2740	2717	2654	2685	2955	2855	2673	2438	2654	2685	2955	2855	2673	2438	2698	2698	2673	2438	2698	2698	2698	2698
2M	水溫 (°C)			18.5	18.7	16.0	16.3	25.9	25.7	23.3	22.1	16.3	25.9	25.7	23.3	22.1	22.2	25.9	25.7	23.3	22.1	22.2	25.9	25.7	
	酸鹼度 PH值			8.0	8.0	8.4	8.3	7.7	7.8	8.2	8.2	8.3	7.7	7.8	8.2	8.2	8.0	7.7	7.8	8.2	8.2	8.0	8.0	7.7	7.7
	溶氧 (mg/l)			5.9	5.6	6.3	7.5	1.9	1.8	6.4	6.8	7.5	1.9	1.8	6.4	6.8	5.8	1.9	1.8	6.4	6.8	5.8	5.6	5.6	5.6
	Cl <sup>-</sup> (PPM)			16188	16188	15794	15485	15698	15668	15553	14236	15485	15698	15668	15553	14236	16075	16075	15698	15553	14236	16075	15900	16075	15698
	S <sup>-2</sup> (PPM)			0	0.007	0	0	0.05	0.05	0	0	0	0.05	0.05	0	0	0.004	0.004	0.05	0	0	0.004	0	0.004	0
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPM)			2484	3008	2728	2506	3037	3078	2761	2594	2728	2506	3037	3078	2761	2848	2848	3078	2761	2594	2848	2848	2848	2848

表 5-40 各港區海域海水理化指標值 (春季)

深度	港名		基		隆		台		中		高		礁		花		連		蘇		澳		
	項目	單位	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	
			湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖
0H	水溫 (°C)		18.1	18.0	27.3	30.4	21.2	21.3	23.0	22.8	21.5	21.5	22.8	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	
	酸鹼度 PH值		8.2	8.3	8.0	8.0	7.6	7.2	8.2	8.3	7.7	7.8	8.2	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
	溶氧 (mg/l)		2.7	2.7	7.3	7.8	0.6	1.4	4.3	5.3	0.6	1.4	4.3	5.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		16109	16489	18240	17300	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020	16020
	S <sup>-2</sup> (PPH)		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	SO <sup>-2</sup> (PPH)		3377	3360	2191	2269	2475	2588	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391	2391
1H	水溫 (°C)		18.1	17.9	27.2	20.1	21.1	23.2	21.1	21.1	23.2	21.1	21.1	22.8	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	
	酸鹼度 PH值		8.2	8.3	8.0	8.0	7.8	7.8	8.2	8.2	7.8	7.8	8.2	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	
	溶氧 (mg/l)		2.9	2.5	7.4	7.2	0.3	1.2	4.7	5.6	0.3	1.2	4.7	5.6	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		16523	16319	18984	18372	16587	16360	16587	16360	16587	16360	16587	16360	16587	16360	16587	16360	16587	16360	16587	16360	16587
	S <sup>-2</sup> (PPH)		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	SO <sup>-2</sup> (PPH)		2213	2346	2190	2269	2067	2518	23138	2518	2518	23138	2518	2518	23138	23138	23138	23138	23138	23138	23138	23138	23138
2H	水溫 (°C)		18.4	17.0	27.1	28.3	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	
	酸鹼度 PH值		8.2	8.5	8.0	8.0	7.9	7.2	8.2	8.2	7.9	7.2	8.2	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	
	溶氧 (mg/l)		3.0	2.5	6.8	5.8	0.1	1.0	4.7	5.8	0.1	1.0	4.7	5.8	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		16620	16300	19220	18017	16875	16234	16875	16234	16875	16234	16875	16234	16875	16234	16875	16234	16875	16234	16875	16234	16875
	S <sup>-2</sup> (PPH)		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	SO <sup>-2</sup> (PPH)		2421	2290	2538	2500	2475	2165	2475	2165	2475	2165	2475	2165	2475	2165	2475	2165	2475	2165	2475	2165	2475

表 5-47 各港區海域海水理化性極端值 (夏季)

深度	港名		基		隆		台		中		高		雄		花		建		興			
	項目	單位	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低		
			湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	
0M	水溫 (°C)		25.9 26.3	26.0 26.4	30.3 31.4	29.8 30.6	28.8 31.6	28.5 30.5	27.1 29.2	27.2 28.4	27.1 29.2	27.1 29.2	27.1 29.2	27.2 28.4	27.2 28.4	27.1 29.2	27.1 29.2	27.2 28.4	27.1 29.2	27.1 29.2		
	酸鹼度 PH值		8.5 8.7	8.5 8.8	8.0 8.3	8.0 8.1	8.1 8.7	8.1 8.6	8.7 8.8	8.1 8.8	8.7 8.8	8.1 8.8	8.5 8.7	8.5 8.8								
	溶氧 (mg/l)		3.3 3.8	2.5 4.0	4.4 6.9	5.1 5.7	2.6 4.6	3.2 3.2	4.6 4.6	4.4 4.6	4.6 4.6											
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		17280 18862	17280 19805	15122 18418	19070 18618	16504 18862	17280 18744	16453 19369													
	S <sup>2-</sup> (PPH)		0.029 0.052	0.027 0.039	0.009 0.011	0.01 0.01	0.023 1.278	0.025 1.038	0.023 1.278													
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPH)		2231 2527	2083 2527	1800 2050	1825 2500	2350 3031	2527 2927	2350 3031													
1M	水溫 (°C)		25.9 26.1	26.0 26.4	29.7 30.5	29.7 30.2	28.5 31.4	28.5 30.3	28.5 31.4	28.5 30.2	28.5 31.4	28.5 30.2	28.5 31.4	28.5 30.3	28.5 30.8							
	酸鹼度 PH值		8.6 8.7	8.6 8.8	8.0 8.3	8.1 8.2	8.4 8.7	8.3 8.6	8.4 8.7	8.3 8.6	8.4 8.7	8.3 8.6	8.4 8.7	8.3 8.6								
	溶氧 (mg/l)		3.9 3.9	2.6 4.0	4.3 4.3	5.3 6.0	1.5 4.5	3.2 3.2	4.5 4.5	4.3 4.3												
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		17078 19068	17078 18155	17820 18969	18169 19069	17919 20004	17883 19805	17919 20004													
	S <sup>2-</sup> (PPH)		0.023 0.040	0.028 0.045	0.01 0.01	0.009 0.01	0.025 0.038	0.023 0.044	0.025 0.038													
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPH)		2384 2853	2300 2750	1950 2300	1950 2500	2527 2750	2557 2927	2527 2750													
2M	水溫 (°C)		26.0 26.1	26.1 26.4	29.8 30.5	29.8 30.0	28.3 29.5	28.5 30.0	28.3 29.5	28.3 30.0	28.3 29.5											
	酸鹼度 PH值		8.6 8.7	8.6 8.8	8.0 8.2	8.1 8.2	8.4 8.7	8.3 8.6	8.4 8.7	8.3 8.6	8.4 8.7	8.3 8.6	8.4 8.7	8.3 8.6								
	溶氧 (mg/l)		3.9 3.9	3.8 3.8	4.2 4.2	4.9 5.7	1.4 4.4	3.3 3.3	4.4 4.4													
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		18740 19805	18626 18626	17470 20270	18719 18719	17505 19805	18626 19805	17505 19805													
	S <sup>2-</sup> (PPH)		0.024 0.033	0.025 0.170	0.01 0.01	0.009 0.012	0.023 0.0726	0.023 0.038														
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPH)		2290 2678	2270 2631	2050 2375	1905 2125	2350 2631	2492 2972	2350 2631													

表 5-48 各港區海域海水理化性極端值 (秋季)

深度	項目	名目	基		隆		台		中		高		雄		花		蓮		蘇		澳			
			高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低
			湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖	湖
0M	水溫 (°C)		17.7 18.6	18.1 18.6	15.2 17.2	14.7 16.1	28.5 31.9	28.6 31.2	22.1 23.1	21.3 22.1	22.1 23.1	21.3 22.1												
	酸鹼度 PII值		7.2 8.1	7.9 8.1	8.2 8.3	8.2 8.4	7.1 7.9	7.6 8.2	8.3 8.3															
	溶氧 (mg/l)		3.8 5.4	4.5 5.4	6.5 6.7	6.1 6.1	1.5 4.7	4.0 7.0	4.8 5.6	5.1 6.2														
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		15420 19719	15220 20069	21708 21708	13293 19230	18219 19519	16370 19819	15020 17570	15820 17820														
	S <sup>2-</sup> (PPH)		0.007 0.021	0.007 0.03	0.02 0.03	0.028 0.03	0.008 0.011	0.008 0.01	0.008 0.003	0.007 0.014														
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPH)		1925 3100	1700 3100	2263 2943	1853 2209	2500 3400	2350 3400	1725 3100	2375 3275	2375 3275													
1M	水溫 (°C)		17.8 18.7	18.1 18.7	14.7 16.4	14.9 15.5	28.4 30.5	28.6 30.5	22.8 23.8	21.4 22.4														
	酸鹼度 PII值		7.9 8.1	8.0 8.1	8.4 8.5	8.3 8.5	7.6 8.0	8.0 8.3	8.3 8.3															
	溶氧 (mg/l)		4.1 5.3	4.4 5.3	6.5 6.8	6.1 6.6	1.9 4.8	3.6 7.2	5.1 5.7	5.1 6.1														
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		17770 19369	15970 20319	17842 19079	14689 18785	18669 20219	17270 20119	16420 17320	16320 18119														
	S <sup>2-</sup> (PPH)		0.006 0.021	0.007 0.015	0.02 0.03	0.02 0.03	0.009 0.011	0.008 0.01	0.008 0.003	0.008 0.014														
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPH)		2500 3700	2650 3400	2120 2895	2035 2421	3350 3600	3300 3400	2400 2650	2900 3350														
2M	水溫 (°C)		18.9 18.8	18.2 18.7	14.8 15.5	14.5 15.0	28.4 29.1	28.5 30.1	23.9 23.1	23.7 23.1														
	酸鹼度 PII值		8.0 8.1	8.0 8.2	8.3 8.5	8.3 8.5	7.9 8.1	8.0 8.3	8.3 8.3															
	溶氧 (mg/l)		4.9 5.5	4.5 5.5	6.4 6.7	6.5 6.5	2.7 4.5	3.0 7.3	5.1 5.7	5.1 6.1														
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		18009 20309	10920 20268	14332 21708	15550 19314	18169 19169	19019 19669	16520 17770	17420 18219														
	S <sup>2-</sup> (PPH)		0.007 0.02	0.008 0.015	0.02 0.03	0.02 0.03	0.009 0.011	0.008 0.01	0.008 0.003	0.008 0.014														
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (PPH)		2950 3700	3500 3600	2429 2735	2198 2735	3350 3800	2500 3400	2750 3400	2650 3250														

表 5-40 各港區海域海水理化性極端值 (冬季)

深度	港名		基		陸		台		中		高		雄		花		建		基		換		
	項目	湖位	高	湖	低	湖	高	湖	低	湖	高	湖	低	湖	高	湖	低	湖	高	湖		低	湖
			值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值	值		值	值
0H	水溫 (°C)		18.4	18.2	19.2	18.6	15.8	16.5	16.9	18.9	25.4	27.8	25.2	27.4	21.0	22.2	21.3	22.2	21.0	22.0	21.2	22.4	
	酸鹼度 PH值		7.7	7.4	7.6	7.4	8.3	8.3	8.3	8.3	7.4	7.9	7.4	8.0	8.1	8.0	8.1	8.0	7.7	7.8	7.7	7.4	
	溶氧 (mg/l)		4.3	4.0	4.4	4.0	5.0	7.3	8.3	8.3	0.1	6.1	0.3	5.7	6.4	7.3	7.3	6.4	5.4	6.6	6.4	4.8	
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		13857	12989	16587	15485	16148	14379	18803	14379	12380	16190	11058	16348	13272	13040	12857	13459	16300	13459	16300	15846	
	S <sup>-2</sup> (PPH)		0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.09	0.0	3.02	0.0	0.0	0.02	0.02	0.0	0.02	0.02	0.02	0.0	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)		2004	3238	3478	2477	3036	1983	2831	1983	3371	3098	3207	3051	2333	2412	2664	2429	2940	2429	2940	2557	
1H	水溫 (°C)		18.4	18.1	18.6	16.8	16.4	16.4	17.3	16.4	25.4	27.8	25.3	28.1	23.2	23.2	21.3	22.2	23.2	22.6	21.3	22.1	
	酸鹼度 PH值		7.8	7.9	7.8	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	7.5	8.0	7.4	8.0	8.1	8.1	8.2	8.0	7.8	8.0	8.1	7.9	
	溶氧 (mg/l)		4.6	4.9	4.4	5.7	7.1	8.8	8.8	8.8	0.0	6.0	0.4	5.0	6.7	6.7	6.2	5.6	6.3	6.3	6.2	4.6	
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		14729	15473	16674	15485	16148	15485	16148	15485	14867	15816	14814	16243	13627	13405	15208	16284	15580	16284	15208	15580	
	S <sup>-2</sup> (PPH)		0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.02	0.02	0.0	0.02	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)		2557	3392	3049	2421	2943	2458	2858	2458	3203	3371	3371	3121	2454	2112	2765	3006	2447	3006	2112	2525	
2H	水溫 (°C)		18.4	18.6	18.6	15.8	16.3	16.3	16.3	16.3	25.4	27.8	25.3	28.7	23.9	23.9	21.6	22.8	23.9	22.8	21.6	22.6	
	酸鹼度 PH值		7.9	7.9	7.9	8.3	8.4	8.3	8.4	8.3	7.5	8.0	7.6	8.0	8.2	8.1	8.42	7.9	8.2	8.1	8.42	7.9	
	溶氧 (mg/l)		4.5	4.7	4.4	5.5	6.8	6.5	8.1	6.5	0.0	6.0	0.1	5.0	6.8	7.2	9.4	5.4	6.1	5.4	7.2	5.8	
	Cl <sup>-</sup> (PPH)		15308	15053	16537	15700	15027	15042	15027	15042	14973	16160	15237	16190	13409	13409	15335	18009	18009	18009	15335	16408	
	S <sup>-2</sup> (PPH)		0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.06	0.13	0.02	0.0	0.0	0.0	0.02	0.02	0.02	0.0	0.0	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (PPH)		2009	2850	3262	2309	2933	2495	2877	2495	3849	3215	3879	3883	2412	2412	2942	3361	3361	3361	2942	3349	

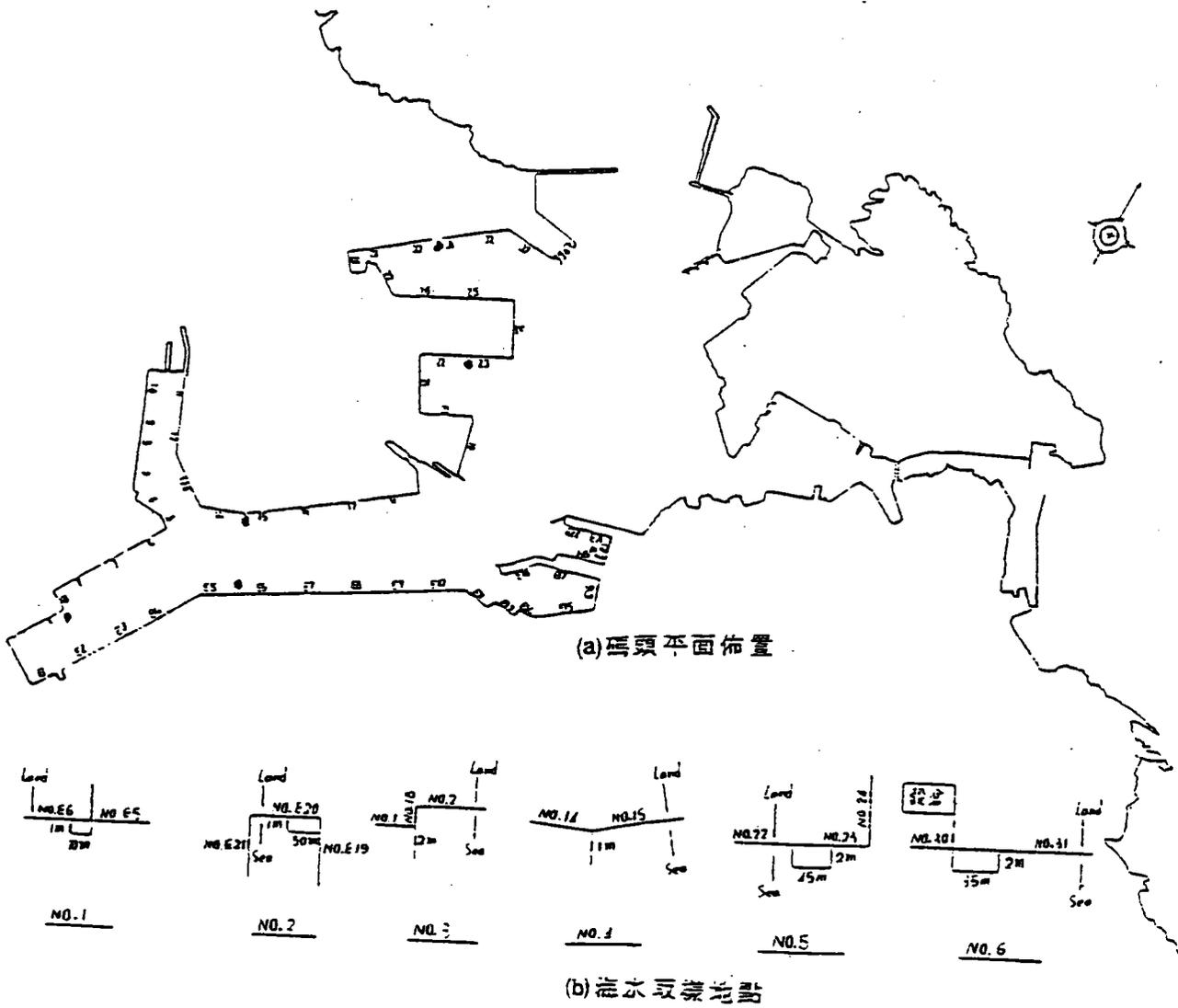
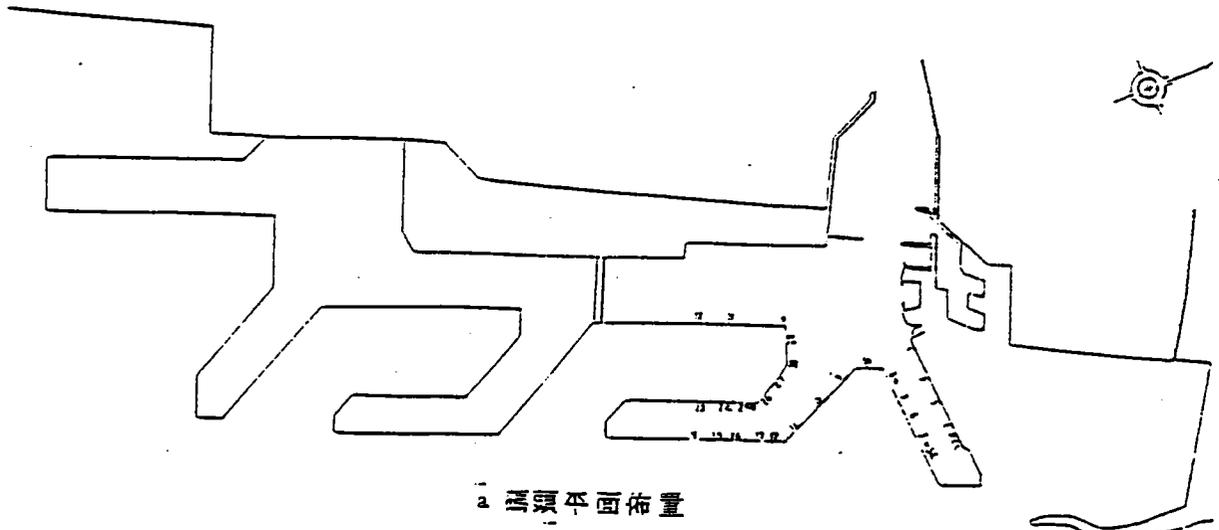
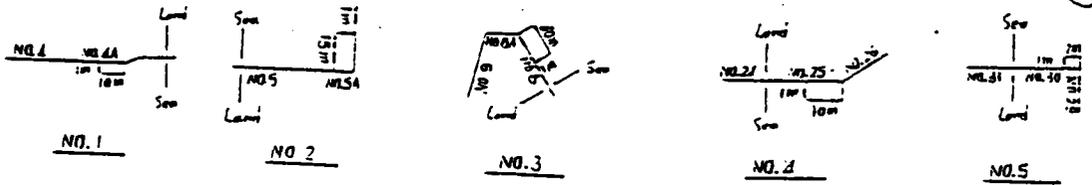


圖 5-1 試驗樣區分佈圖

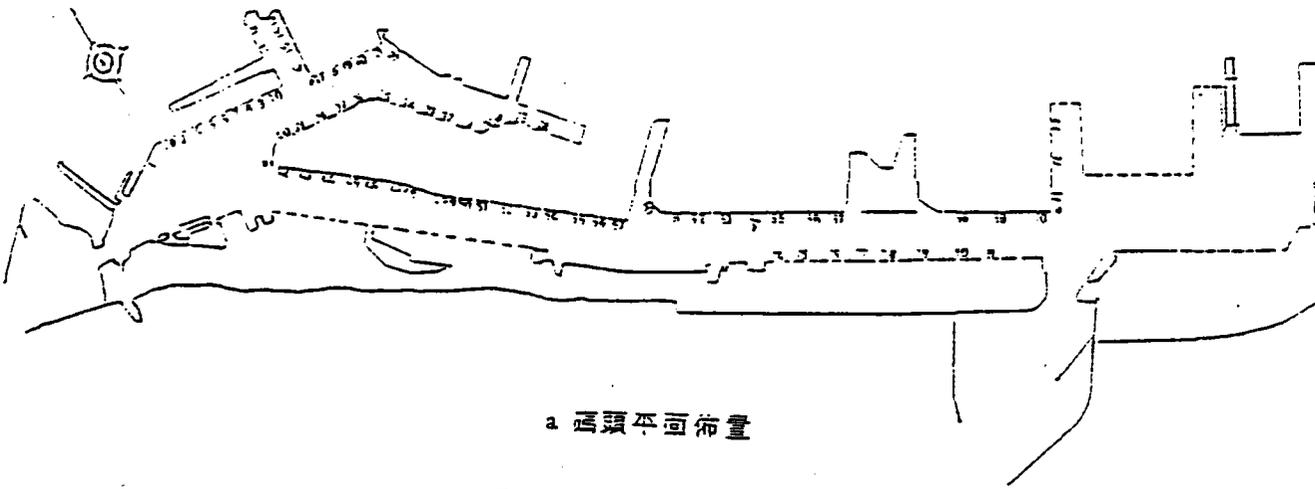


a 碼頭平面佈置

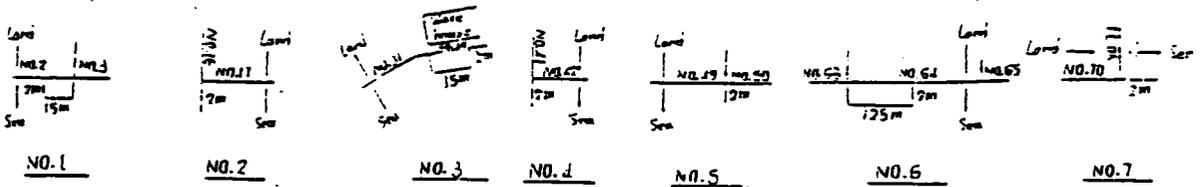


b 取水取樣地點

圖 5-2 台中港現有碼頭平面佈置及取樣位置圖



a 碼頭平面佈置



b 取水取樣地點

圖 5-3 高雄港現有碼頭平面佈置及取樣位置圖

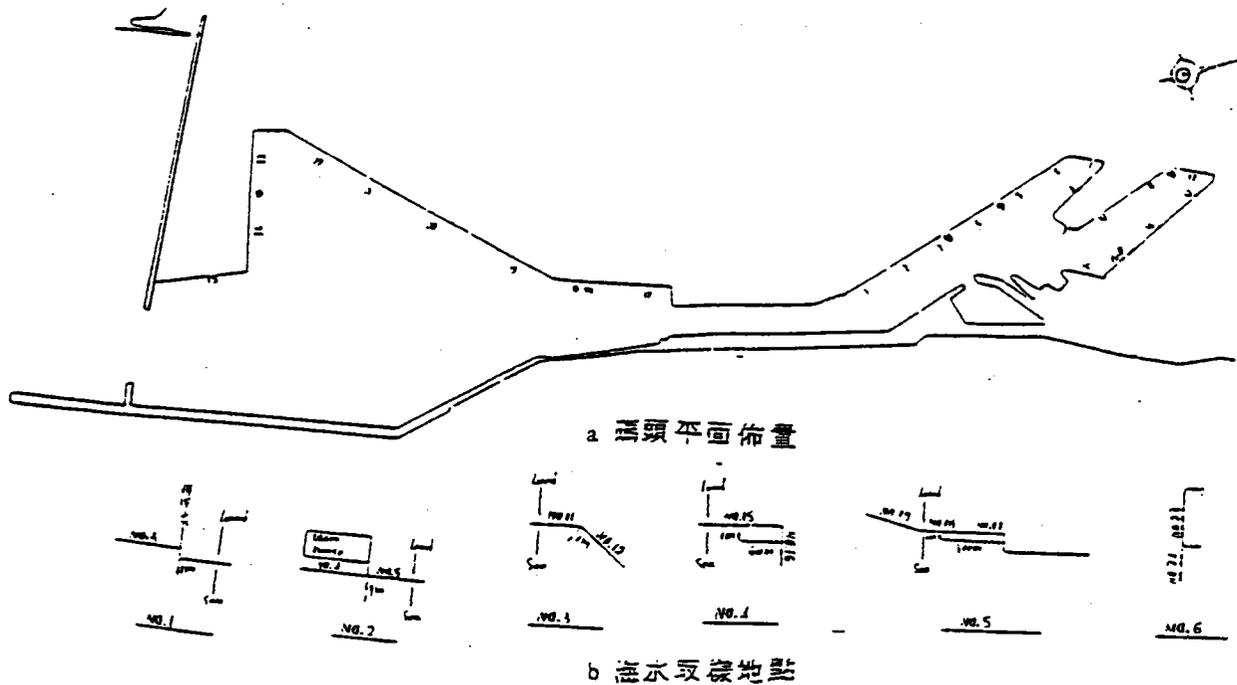


圖 5-4 花蓮港現有碼頭平面佈置及取樣位置圖

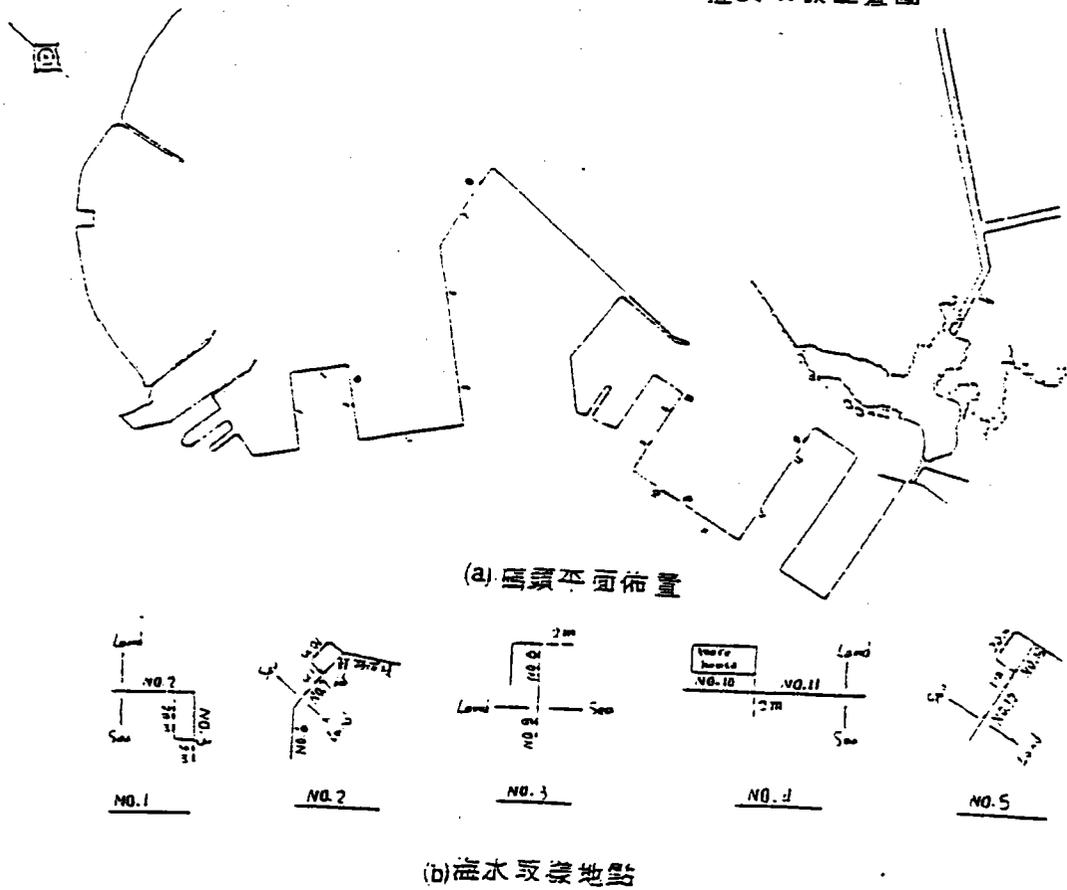


圖 5-5 基隆港現有碼頭平面佈置及取樣位置圖

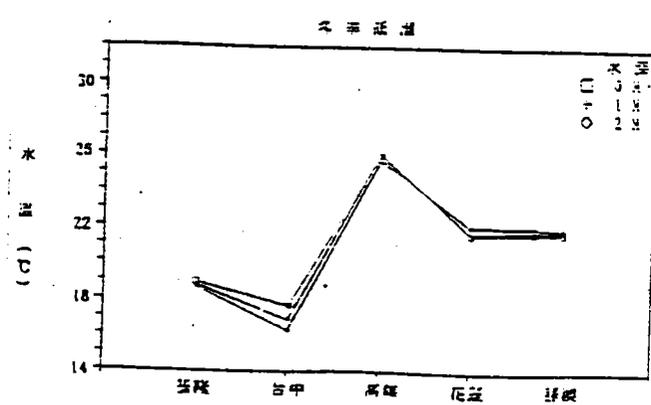
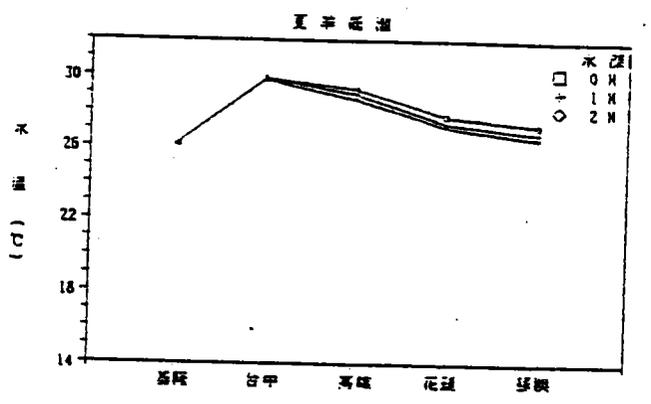
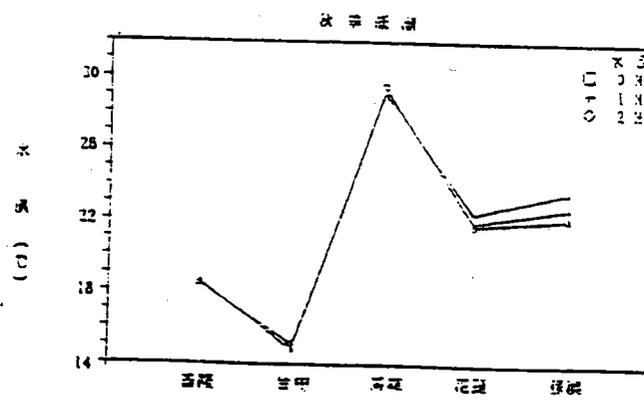
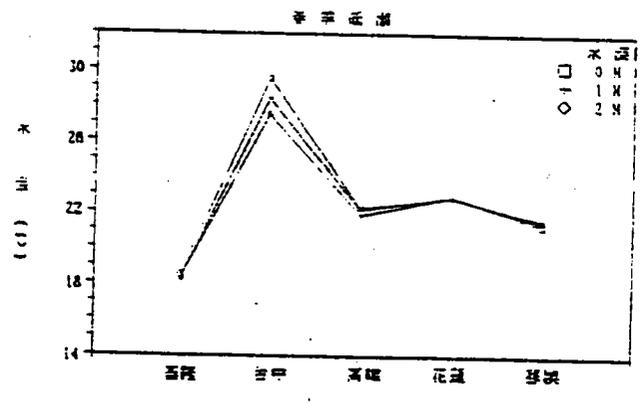
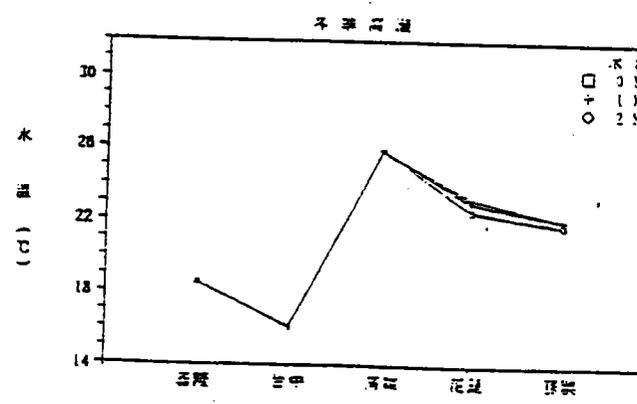
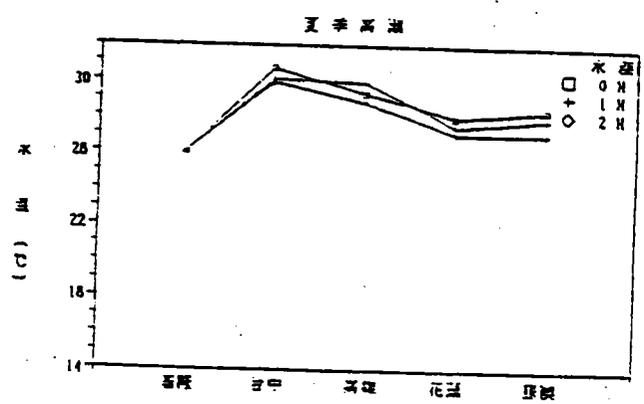
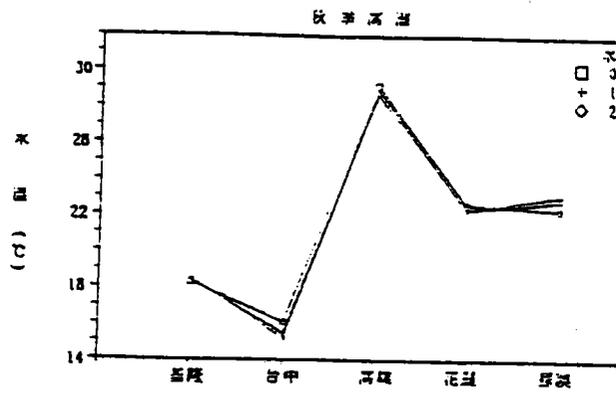
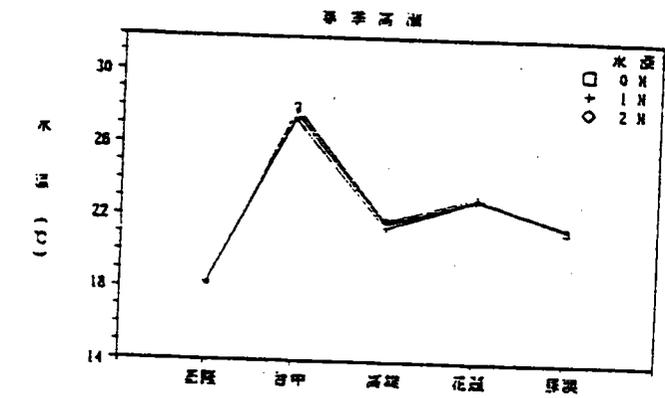


圖 5-6 各港區海域平均水溫

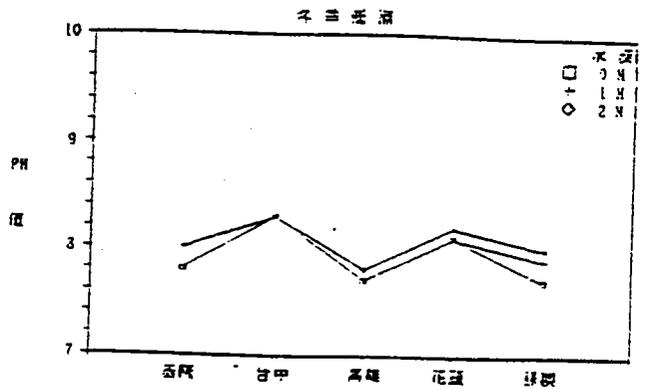
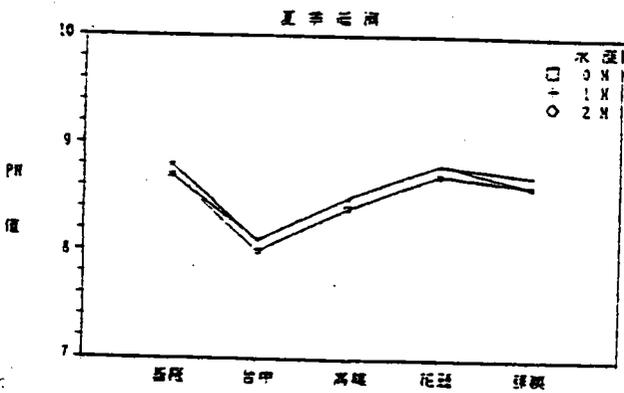
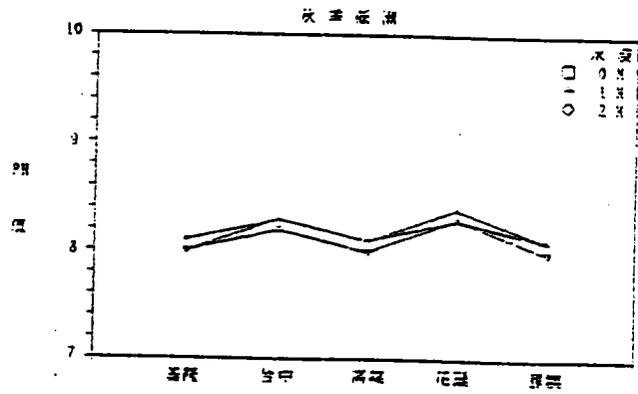
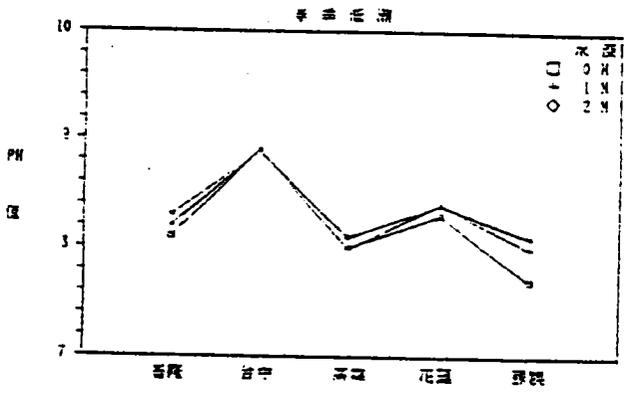
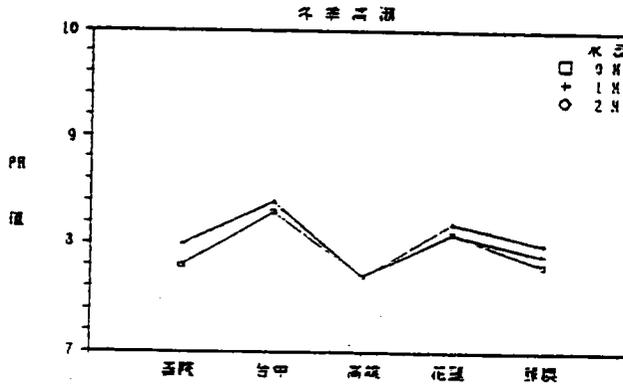
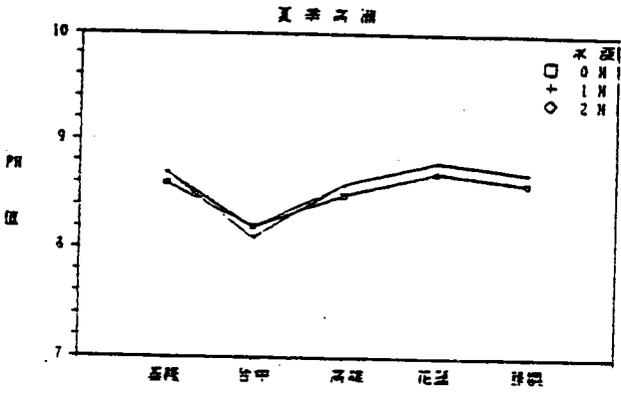
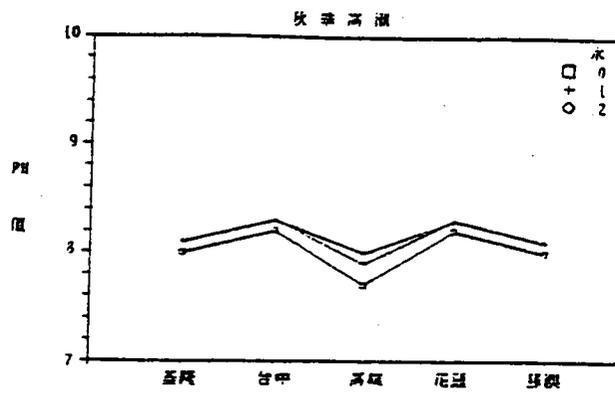
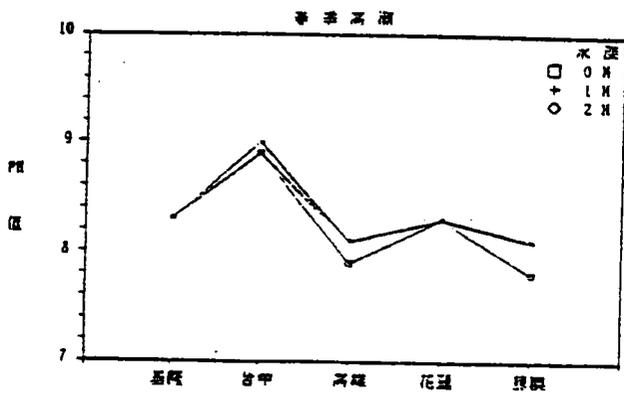


圖 5-7 各港區海域平均PH值

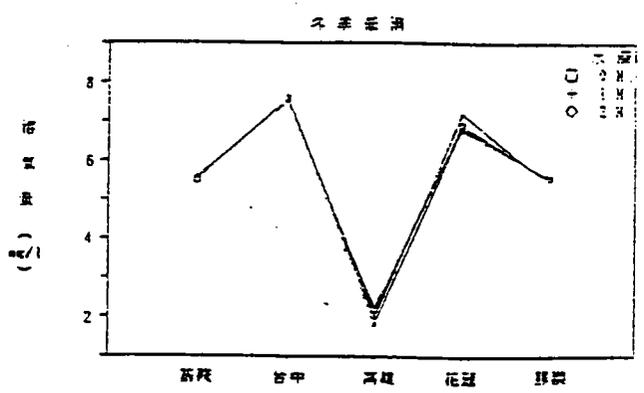
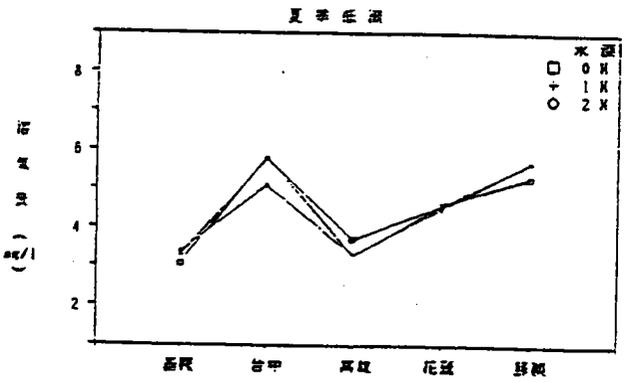
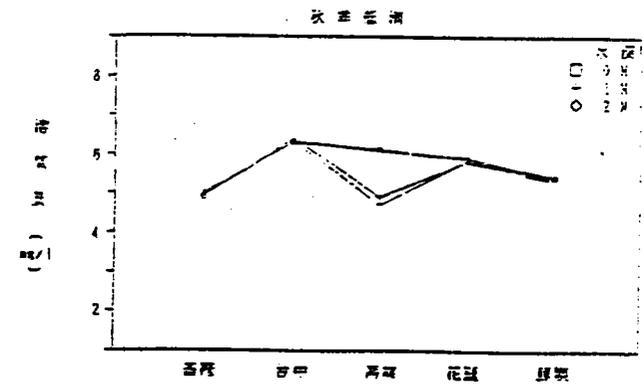
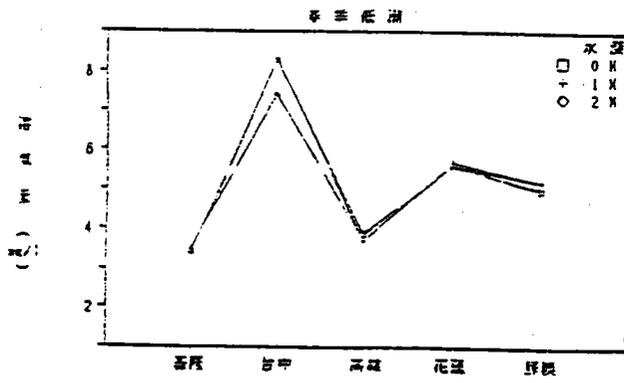
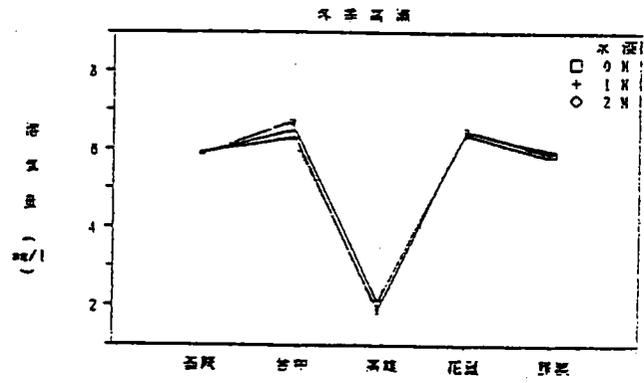
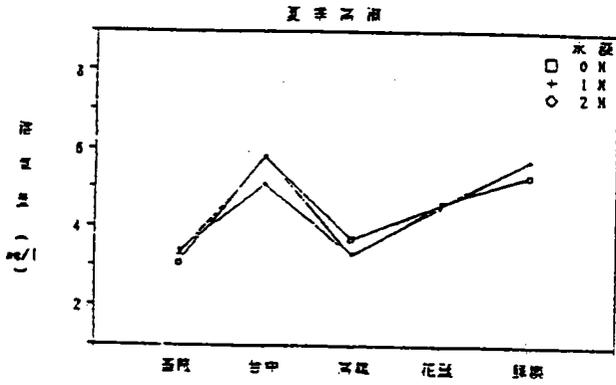
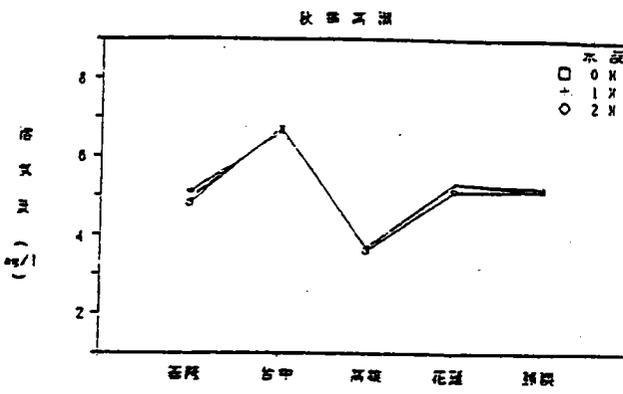
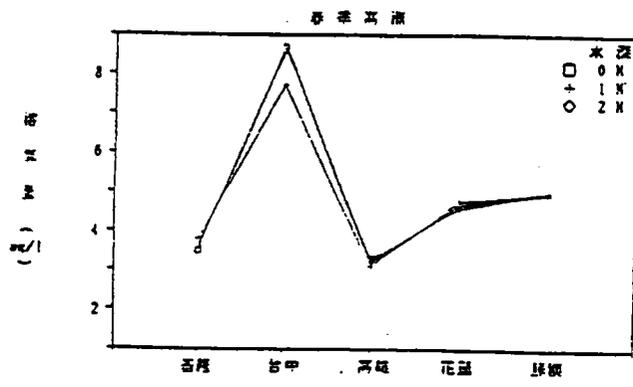


圖 5-8 各港區海域平均溶氧量

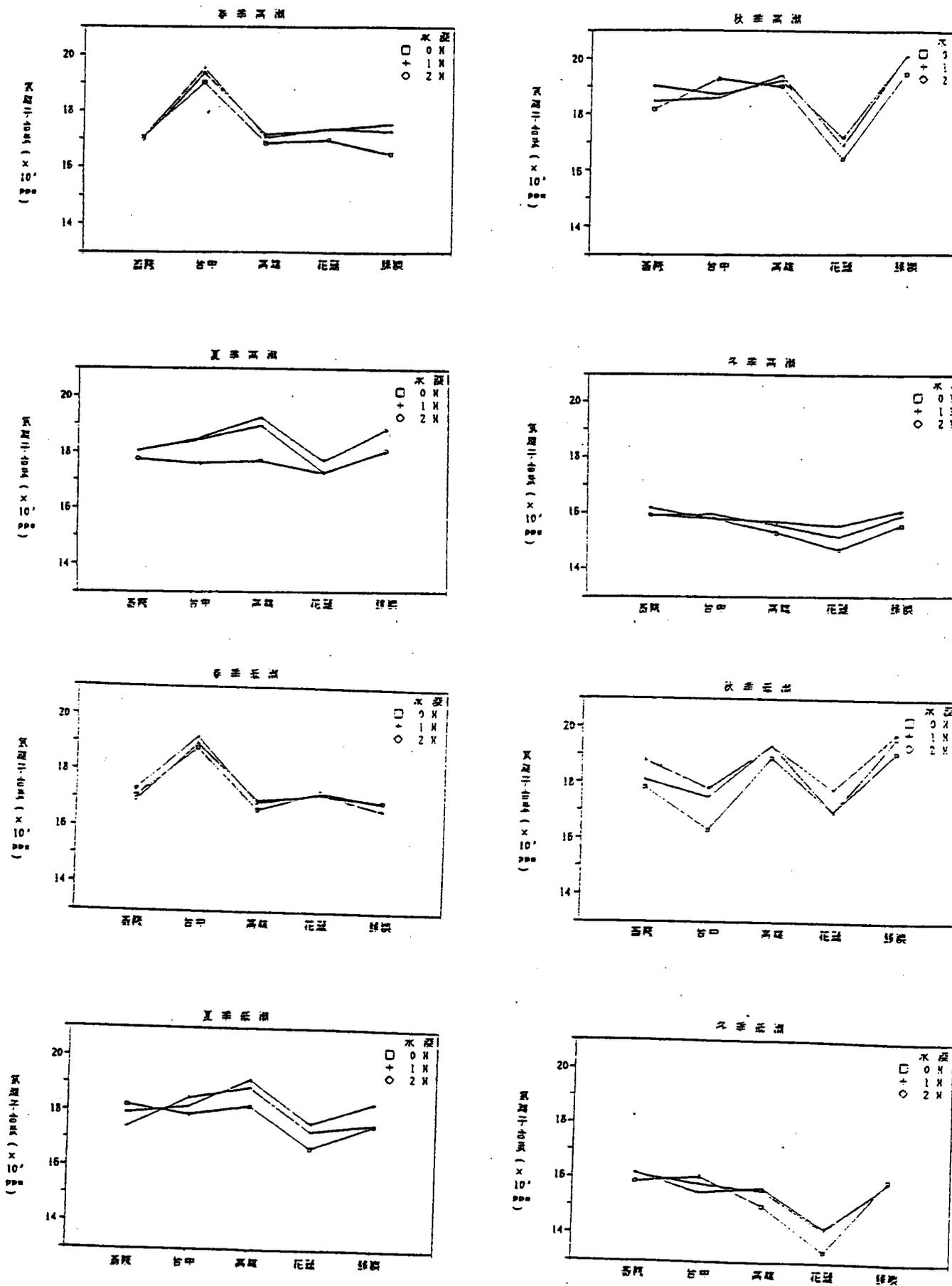


圖 5-9 各港區海域平均氮化物含量

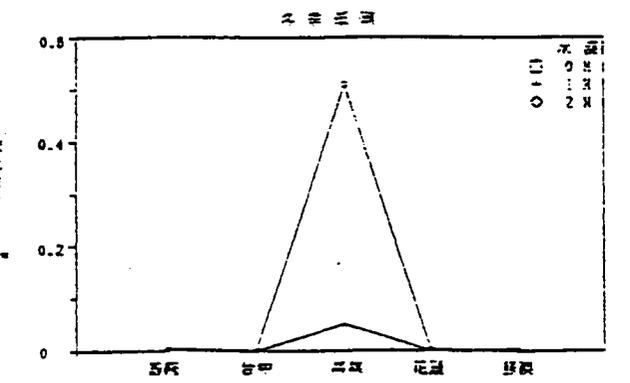
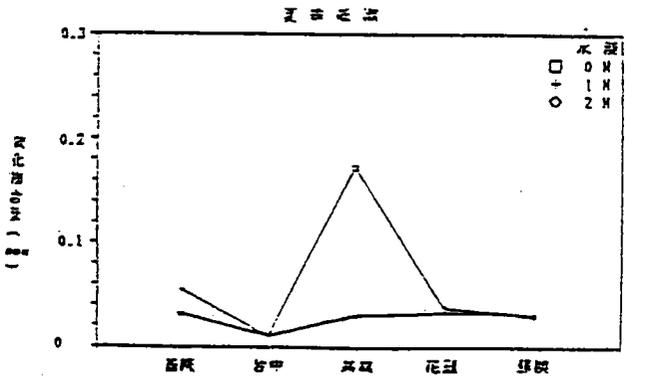
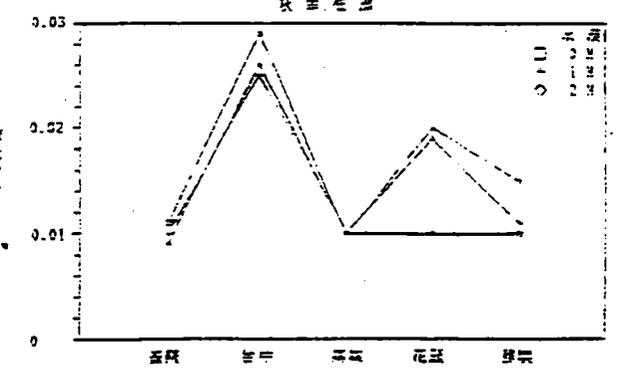
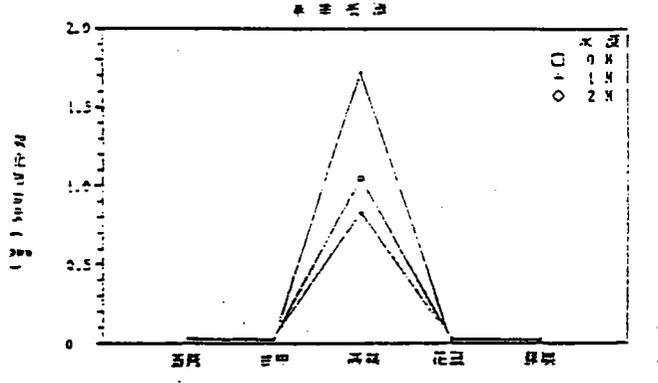
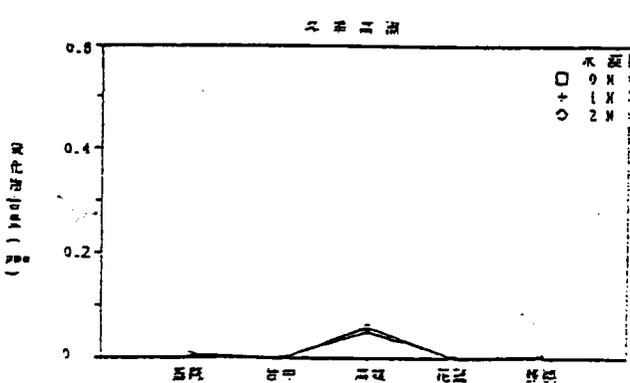
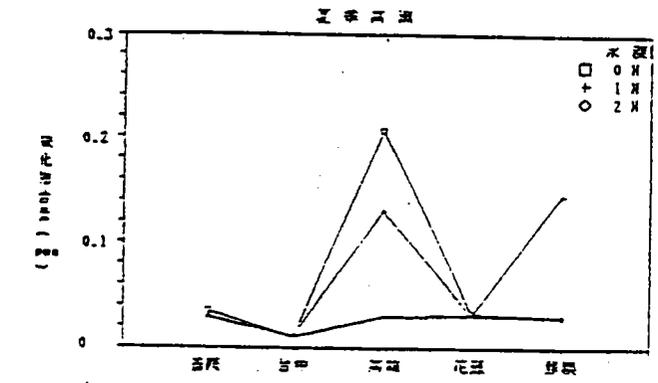
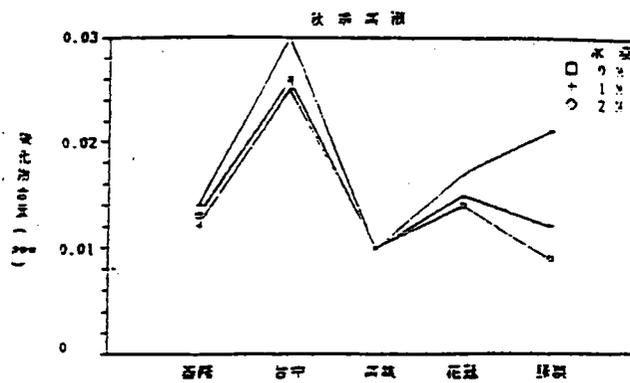
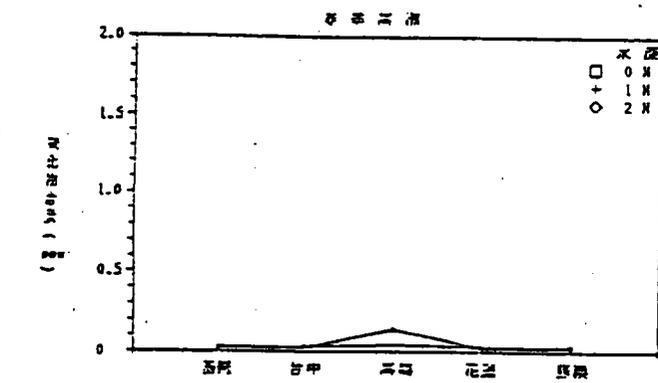


圖 5-10 各港區海域平均硫化物含量(S<sup>2-</sup>)

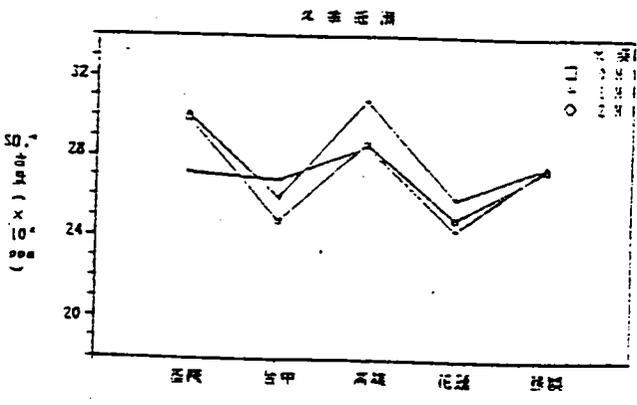
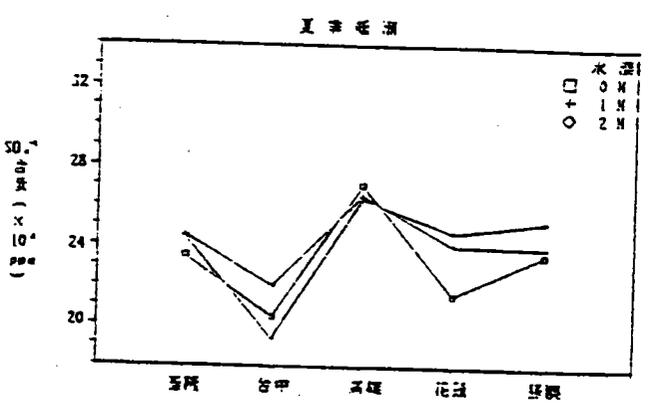
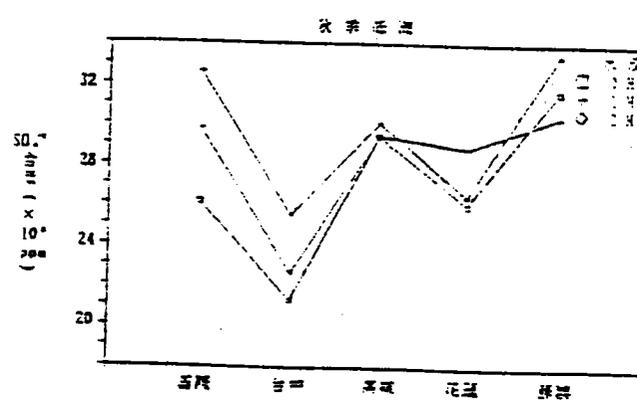
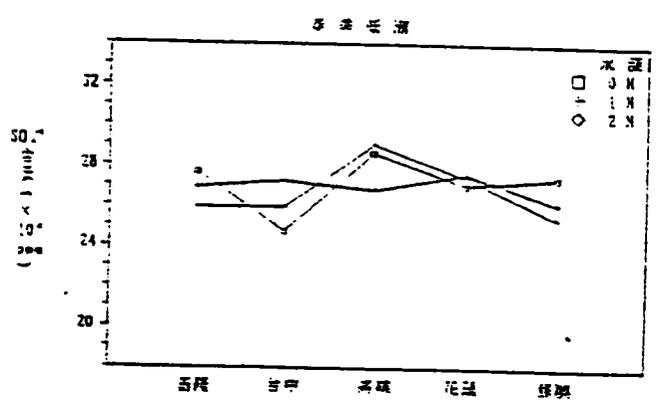
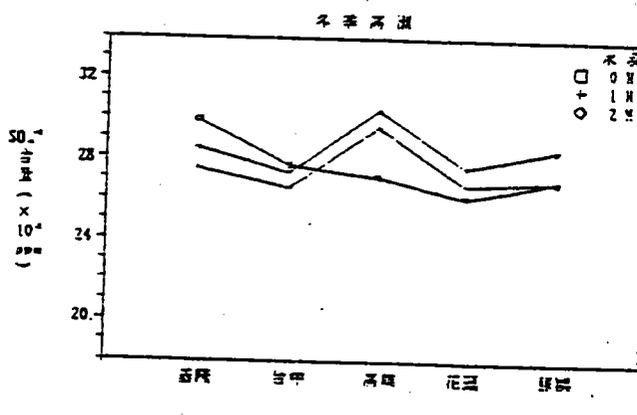
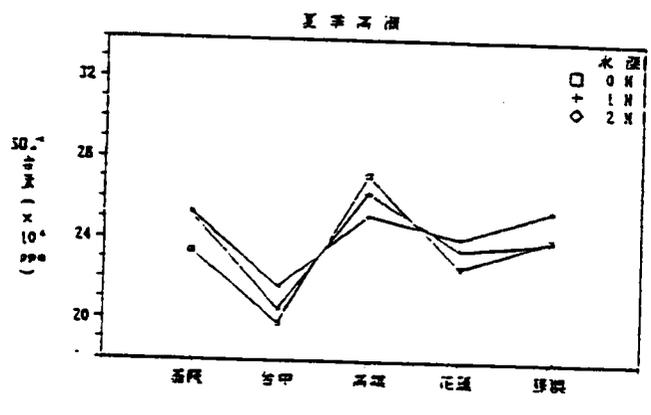
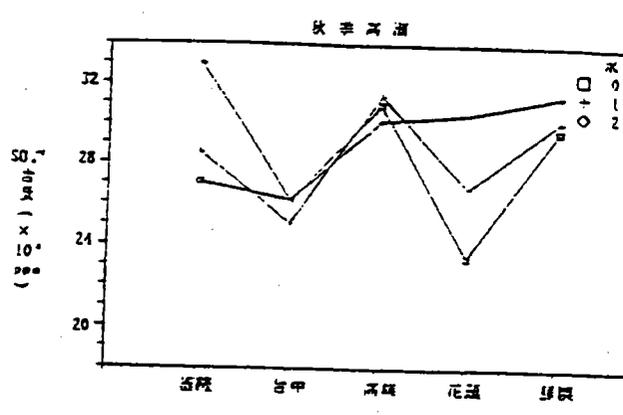
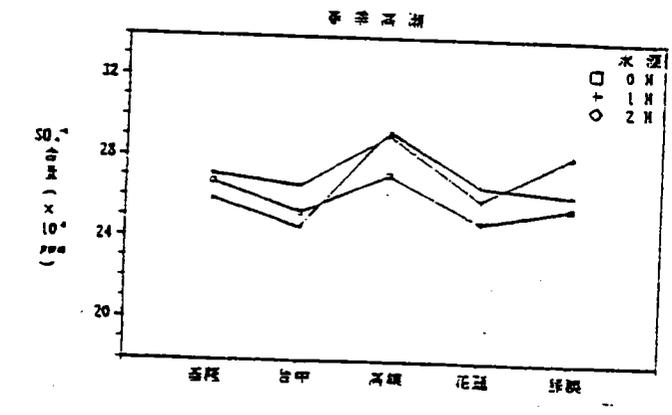


圖 5-11 各港區海域平均硫酸根離子(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)含量

# 陸、海水循環水槽規劃與設計

周 祖 望 \*

## 一、前言

在鋼筋混凝土之耐久性研究中，必須對各種不同配比與摻料之混凝土進行現地曝露試驗，以分析其內部鋼筋銹蝕之速率與混凝土之品質特性，藉以瞭解不同配比與添加物對抗腐蝕性之能力為何？但由於現地之環境因素往往使得此試驗工作之外在條件難以掌握進行。因此，除了現地曝露試驗外，我們亦在本所內設計開挖一海水循環水槽，以使曝露試驗之環境因子易於瞭解與控制。

## 二、構想

為模擬實際海水中結構物所處之環境，將直接由台中港內抽取海水，經由港區內之涵管導入本所海水循環水槽內。又由於海水隨著潮汐而有所漲落，因此循環水槽之抽放水亦將配合潮汐之高低而運作，高低差定為1.5公尺。

## 三、規劃與設計

### (一)位置

經勘查後選定位於本所之右後方，緊臨水工模型之供水槽旁（圖1），並經由現有之涵管至台中港之13號至14號碼頭間引取海水。

### (二)結構形式

參考日本港灣技術研究所之海水循環槽[4]，依照ACI 318-83以強度設計法[1, 2]，並以Micro-Etabs86電腦程式[8]進行分析，經調整後之平面圖和斷面圖分別繪於圖2。

---

\* 港灣技術研究所港工材料組助理研究員

### (三) 容量

#### 第一試驗槽：

面積為 64 平方公尺 (4 公尺 × 16 公尺)，最大可容納 1600 個標準圓柱試體 ( $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ )，其中水中區可放 1000 個，潮汐帶可放置 600 個試體。

#### 第二試驗槽：

面積為 24 平方公尺 (4 公尺 × 6 公尺)，最大可容納 600 個標準試體。

### (四) 耐久性

鋼筋在混凝土中，因 PH 值高達 12~13，所以表面形成一鈍態膜，此鈍態膜係由氫氧化鐵 ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) 構成，可防止鋼筋繼續氧化。但由於氯離子 ( $\text{Cl}^-$ ) 之侵入，此鈍態膜會被破壞，使得鋼筋活性化。此時若氧氣供應充足，鋼筋便很快形成紅鐵銹 ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ )，由於紅鐵銹較鐵體積約膨脹 4~6 倍，當銹蝕數量到某一程度時，混凝土即因膨脹受到張力而開裂。如此，氧氣與氯離子供應更為充份，鋼筋銹蝕情況將更愈快速。因此，在海洋環境中鋼筋混凝土之耐久性往往受此鈍態膜之存在年限所決定。

Hausmann [ 7 ] 以含氯化物之飽和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液對鋼材之實驗中發現  $\text{Cl}^-$  與  $\text{OH}^-$  之濃度比值大於 0.6 時，鋼筋之鈍態膜將受到破壞。Van Daveer [ 9 ] 在研究橋面版受除水鹽侵蝕，發現當混凝土中氯離子與水泥量之重量百分比大於 0.4 % 時，鋼筋表面即由鈍態轉為活性化。

#### 1. 採樣分析

以五大港口之碼頭結構物進行抽樣鑽心調查，發現混凝土中不同深度之氯離子濃度分佈如表 1 [3] 及圖 3。又按 Fick's 第二擴散定律，以最小二乘方法 (Least Square Method)，可分析得各鑽心試體之表面氯離子濃度與有效擴散係數 (表 2)，再經電腦模擬可得曝露 20 年時之氯離子分佈狀況 (圖 4) 及氯離子入侵之臨界深度 ( $\text{Cl}^- = 0.4\%$ ) 與曝露時間之關係 (圖 5)。若考慮 20 年之鈍態年限，則混凝土之保護層厚度需 5.25~18.13 公分 (圖 4)。

## 2. 年限評估

參考日本港灣設施之技術基準 (1979) (附錄 1), 鋼筋表護層定為 7.0 公分。又根據五大港口之鑽心資料經電腦分析 7.0 公分厚之保護層其鈍態年限在 3.0 ~ 35.5 年之間 (表 3)。並發現愈晚建造之結構物有鈍態年限愈短之趨勢, 而民國 38 年前後所建造之結構物有更明顯的差距。若僅考慮民國 38 年後所建之碼頭, 按 95% 之信心度 (Confidence level) [5, 6], 鈍態年限在 2.1~9.1 年之間。由於各鑽心試體之水灰比不詳, 採樣空間即取為試體空間。若其鈍態年限依照對數常態分佈 (Logarithmic normal distribution) [5] (圖 6), 則超過 20 年之機率為 0.281, 而以民國 38 年後之碼頭結構物分析, 其機率僅為 0.003。

### (五) 混凝土材料之選擇與配比

由於混凝土保護層 7 公分之鈍態年限超過 20 年之機率僅有 0.003~ 0.281, 因此考慮在混凝土中摻入輸氣劑並使用 Type V 水泥以延長其耐久性。因為輸氣劑係一種界面活性劑, 可在混凝土中產生不連續之微小氣泡, 且能使氣泡平均分佈避免連接產生毛細作用。其具有下列優點:

- 工作性佳;
- 對凍融之耐久性大;
- 水密性大;
- 減少骨材鹼性反應;
- 減少水合熱, 避免龜裂;
- 可減少單位用水量, 體積變化小。

因此期望能降低混凝土中氯離子之有效擴散速率。而 type V 水泥之使用在抵抗海水中之硫酸鹽侵蝕, 避免混凝土品質惡化龜裂, 以減少氯離子及氧氣之入侵鋼筋表面。除此之外, 並在水槽內部以 1:2 加寒水石防水粉刷以增加阻絕效果。

### 1. 摻料

參考樂工處及中華工程公司之經驗，選用DAREX AEA 輸氣劑，其每100公斤水泥加50ml輸氣劑約可產生4~6%空氣量。如水泥用量不變，輸氣後混凝土強度不會下降。若水灰比固定，則每增加含氣量1%，會使抗壓強度下降4~6%。

### 2. 水泥

採用台泥 type V 水泥，參考海洋結構物設計建造與檢驗規則 ( Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structure , 1977) (附錄 1)，每一方混凝土水泥含量應為400 公斤以上。

### 3. 水灰比

根據 ACI 211.1-81 ，最大容許水灰比為 0.45 (表 4 ) 。考慮設計強度為350ksc，則水灰比取為0.4。

### 4. 骨材

最大粒料尺寸為2.5 公分 (表 5)。

### 5. 場度

取為10公分 (表 5)。

混凝土之設計配比按 ACI 211.1-81 以電腦設計列於表 6 。

## 四、參考文獻

1. 中國土木水利工程學會，混凝土工程研究會(1980)，"鋼筋混凝土設計手冊(強度設計法)"，土木404-64。
2. 卓瑞年(1983)，"鋼筋混凝土房屋結構設計手冊(強度設計法)"。
3. 陳桂清 (1988)，"港灣結構物腐蝕調查"，港灣技術研究所專刊 No.43, pp.61~100。
4. 大即信明，下沢治 (1983)，"PC港灣構造物のかふ"りをと"う考えるか"，ヤメント・コンクリート No.435, May 1983。

5. Ang A.H-S. and Tang W.H. (1975), " Probability Concepts in Engineering Plainning and Design" , Vol. I , John Wiley & Sons, New York.
6. Bajpai A.C., Calus I.M. and Fairley J.A. (1978), " Statistical Methods for Engieers and Scientists".
7. Hausmann D.A. (1967), " Steel Corrosion in Concrete " , Materials Pro-tecton , Vol.6, No.11, pp.19~23.
8. Microcomputer Club for Application in Civil Engineering (1986), "Micro-Etabs 86" , U.S.A..
9. Van Daveer J.R. (1975), " Techniques for Evaluating Reinforced Concrete Bridge Decks", Journal of the American Concrete Institute, pp. 697 ~ 704.

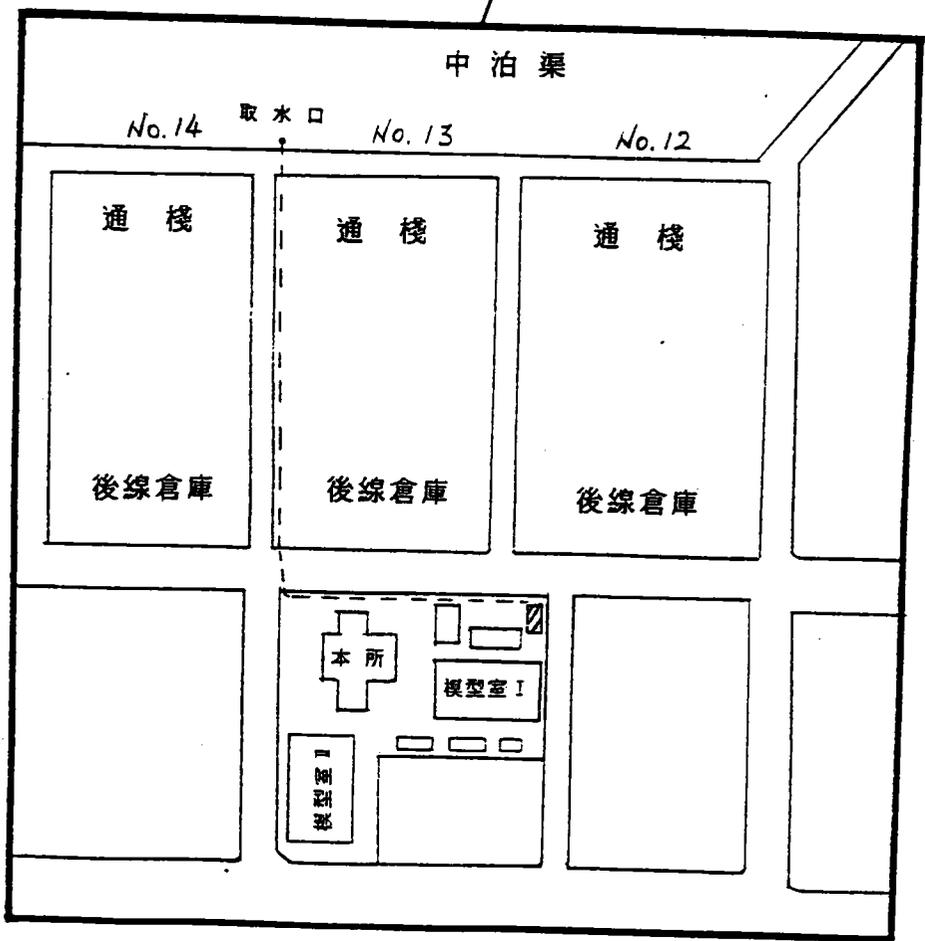
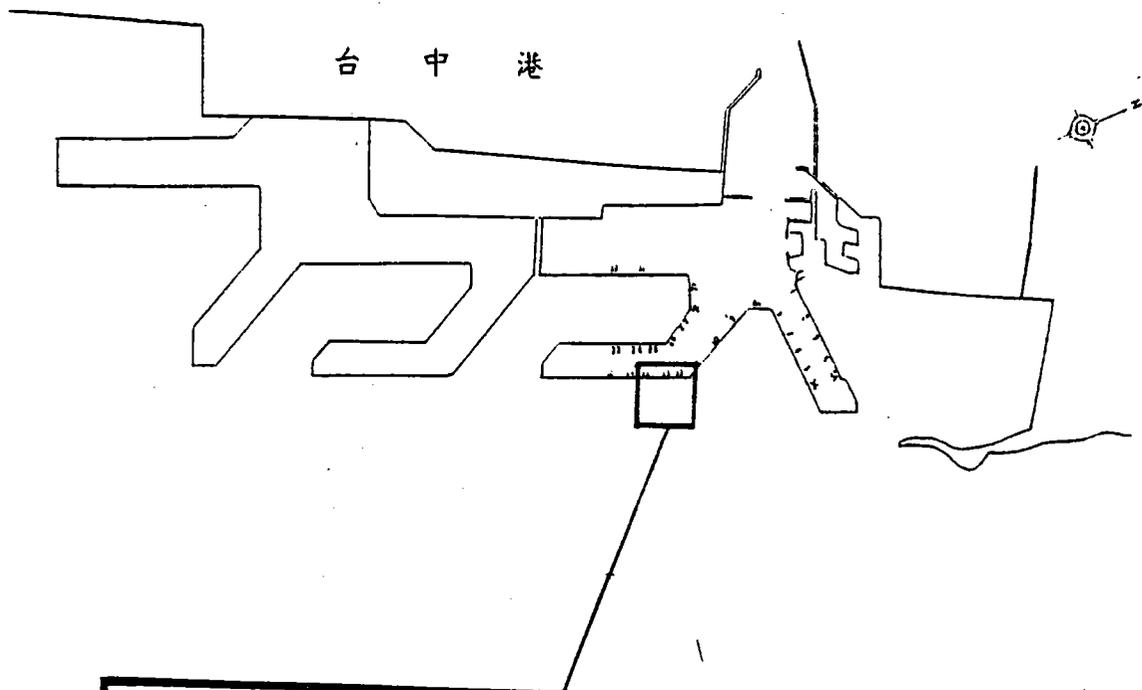


圖1 海水循環水槽之平面配置

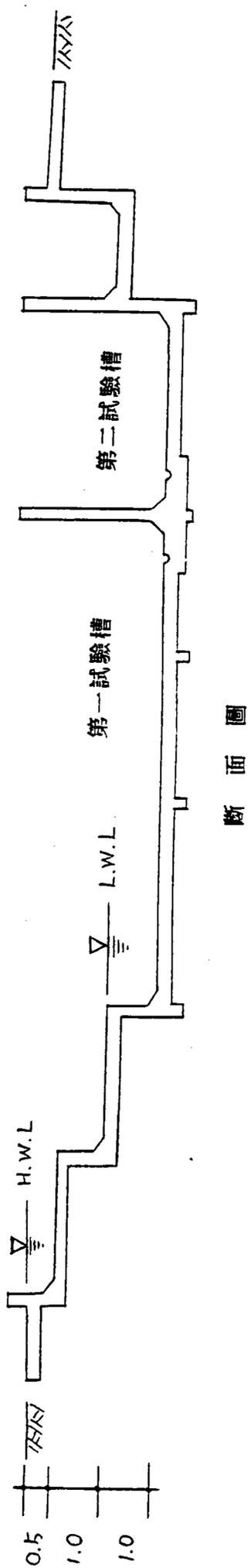
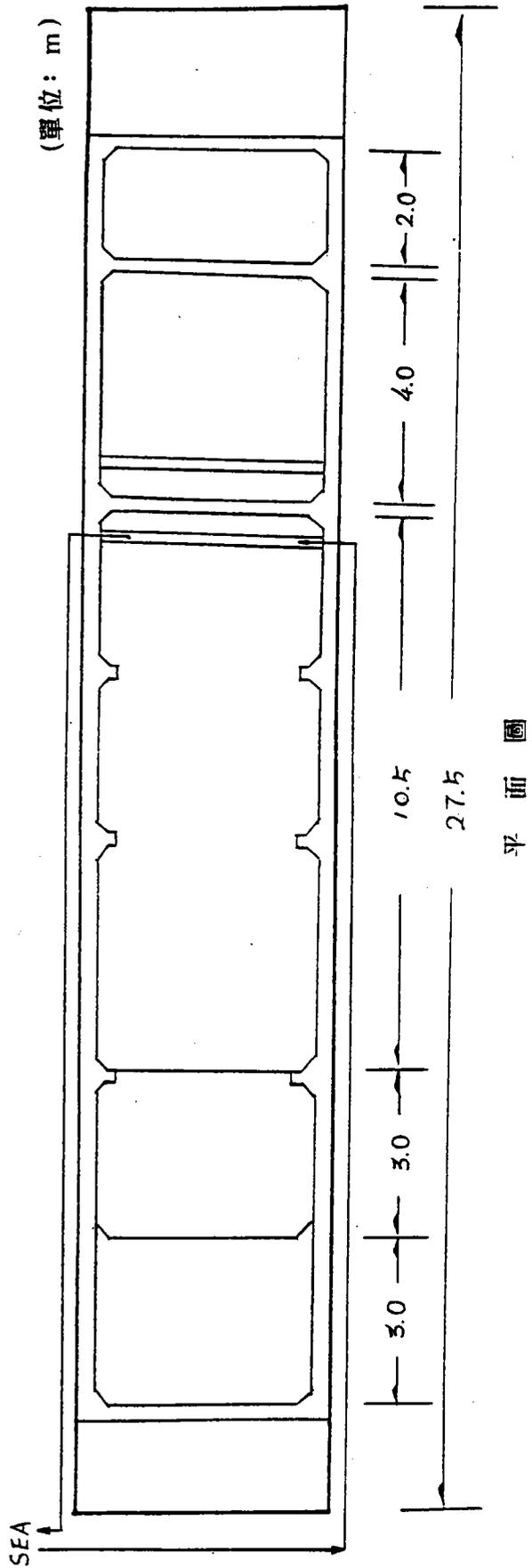


圖2 海水循環水槽之平面與斷面

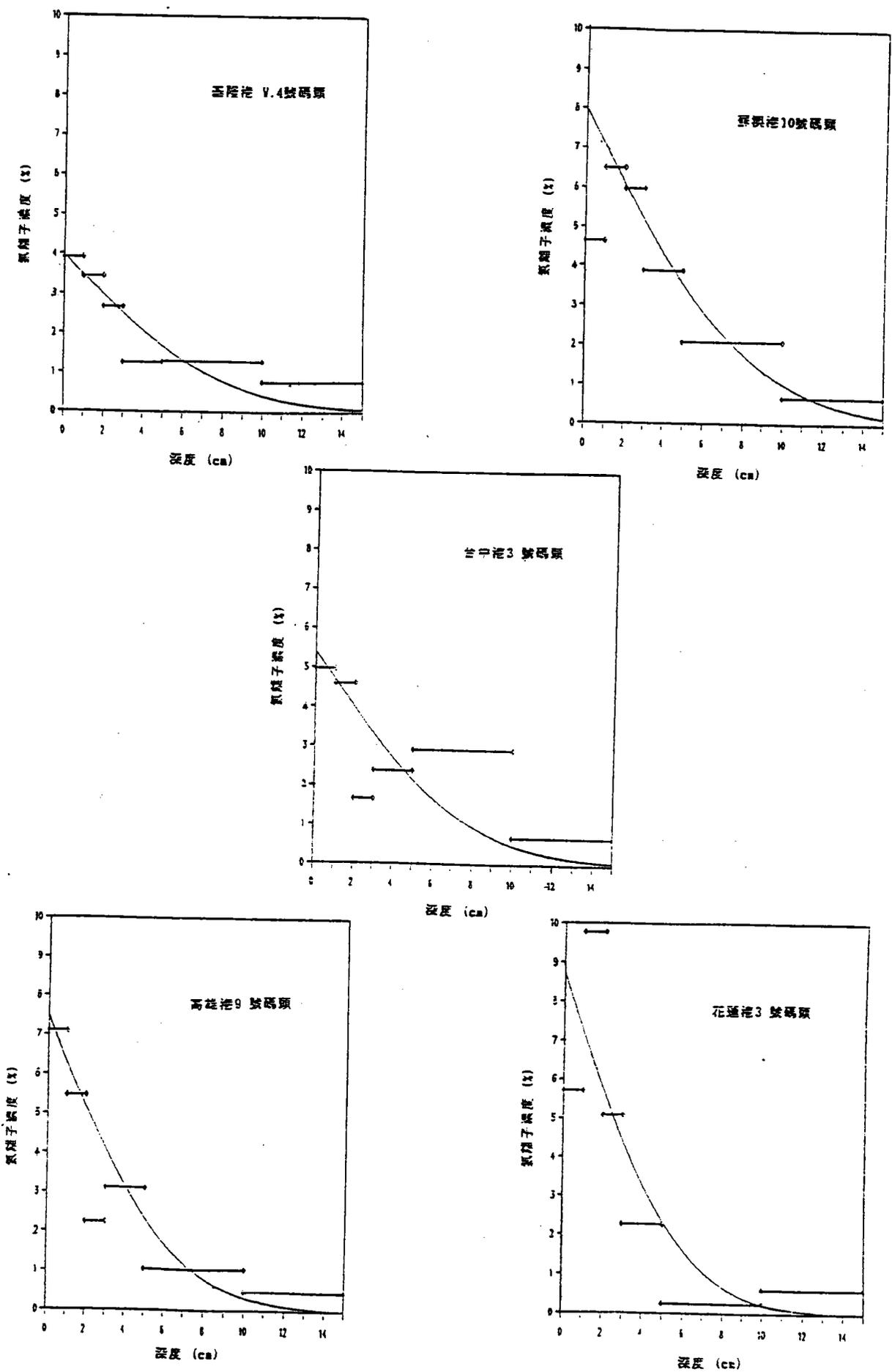


圖3 五大港口抽樣鑽心試體之氣離子分佈

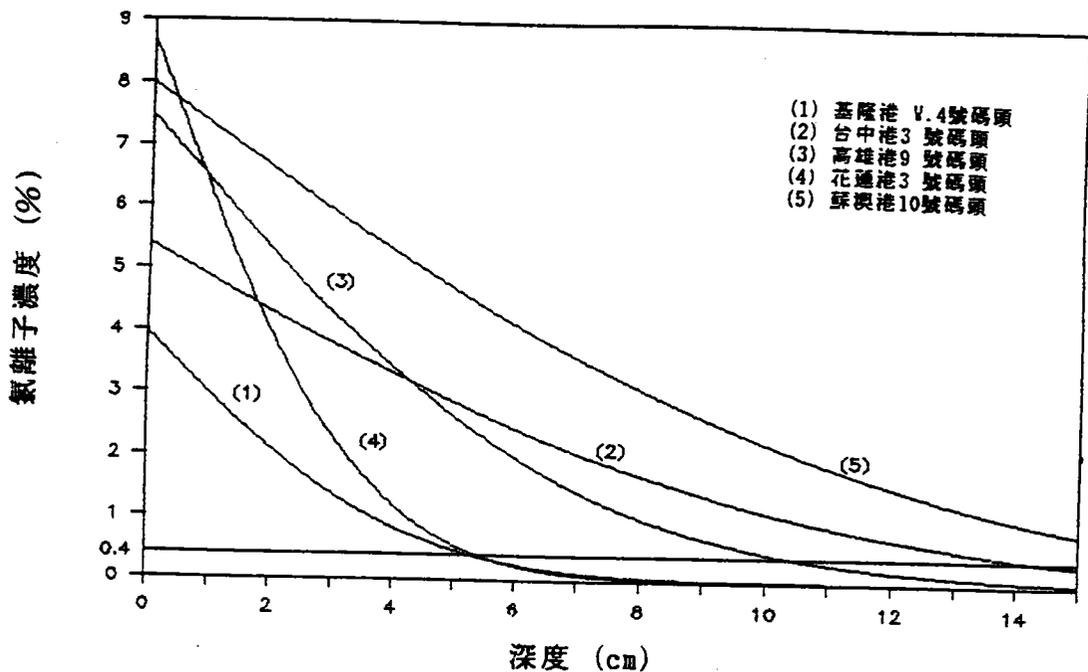


圖4 模擬曝露20年之氣離子分佈

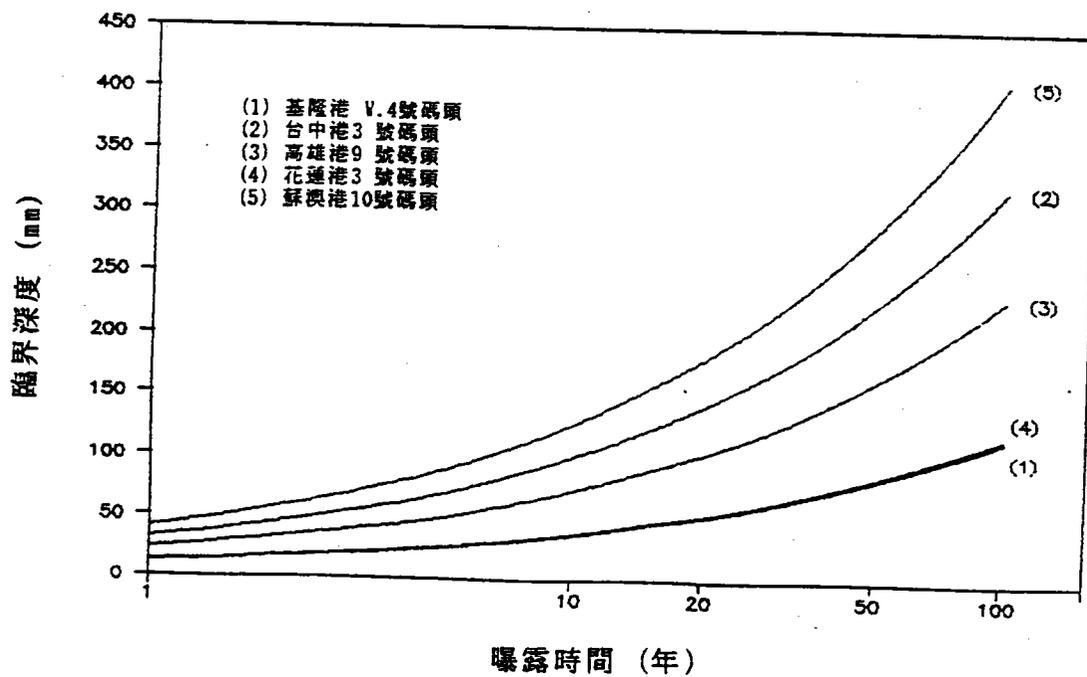


圖5 氣離子入侵之臨界深度與曝露時間關係

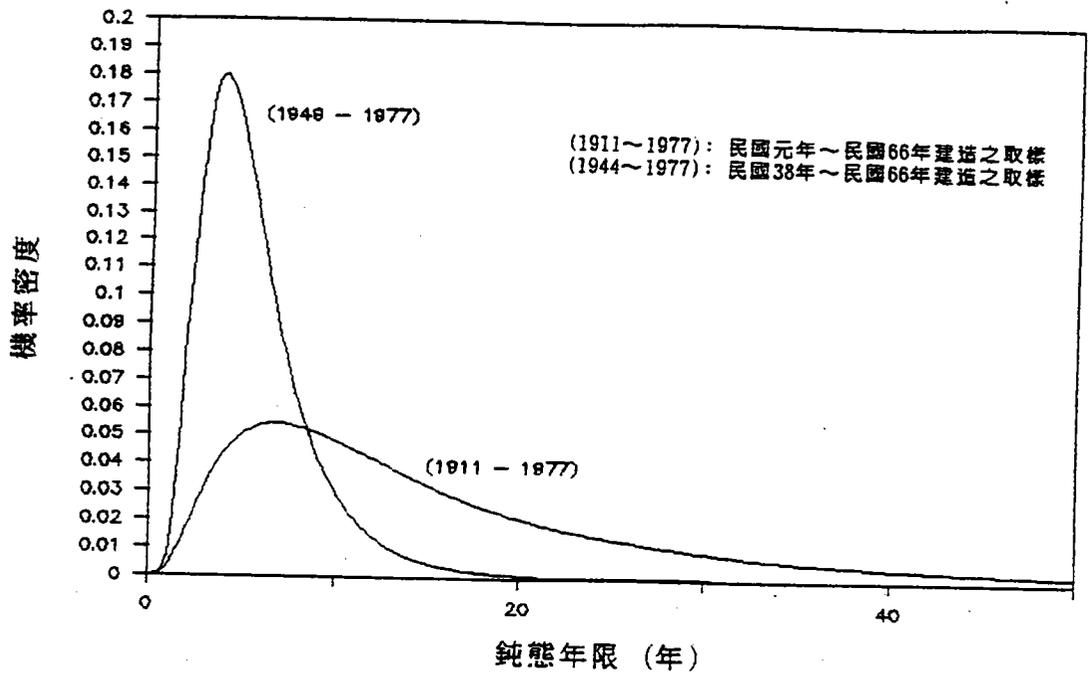


圖6 鈍態年限之對數常態分佈

表 1 五大港抽樣鑽心試體氯離子侵入濃度(%)

碼頭編號	深 度 (cm)					
	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 5	5 - 10	10-15
基隆港W.4號碼頭	3.92	3.44	2.66	1.26	1.29	0.77
台中港 3號碼頭	4.96	4.59	1.66	2.38	2.92	0.68
高雄港 9號碼頭	7.10	5.46	2.23	3.11	1.03	0.48
花蓮港 3號碼頭	5.71	9.78	5.08	2.26	0.25	0.61
蘇澳港10號碼頭	4.63	6.49	5.97	3.89	2.08	0.66

(\* %濃度:係相對於水泥之重量百分率, 以CaO佔水泥重量65%為基準)

表 2 五大港抽樣鑽心試體氯離子分析資料

碼頭編號	表面氯離子濃度(%)*	有效擴散係數( $\times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ )	海水中氯離子平均濃度(ppm)	平均水溫(°C)	位置
基隆港W.4號碼頭	3.98	0.81	17350	20.38	飛沫帶
台中港 3號碼頭	5.40	5.06	17787	22.48	飛沫帶
高雄港 9號碼頭	7.50	2.28	17568	26.52	飛沫帶
花蓮港 3號碼頭	8.72	0.57	16517	23.78	飛沫帶
蘇澳港10號碼頭	7.99	6.79	17650	23.39	飛沫帶

(\* %濃度:係相對於水泥之重量百分率, 以CaO佔水泥重量65%為基準)

表 3 五大港抽樣鑽心試體之鋼筋鈍態年限分析

碼 頭 編 號	建 築 年 代	鈍 態 年 限
基隆港 W.4 號碼頭	民國元年	35.5年
花蓮港 3 號碼頭	民國 20 年	33.9年
高雄港 9 號碼頭	民國 59 年	9.1年
台中港 3 號碼頭	民國 65 年	4.8年
蘇澳港 10 號碼頭	民國 66 年	3.0年
平 均 鈍 態 年 限		17.3年 (5.6)
標 準 偏 差		16.1年 (3.1)

(註：1.鈍態年限係以鋼筋保護層 7公分厚，氯離子侵入濃度小於0.4%計算。  
2. ( )內為民國38年後所建碼頭之計算結果。)

表 4 最大容許水灰比 ( ACI 211.1-81 )

結 構 形 式	潮 溼 或 凍 融 區 *	海 水 中 **
斷面 < 13 公分 或保護層 < 3 公分	0.45	0.40
其他	0.50	0.45

(\*: 使用輪氣水泥. \*\*: 若用TYPE II、V 水泥, W/C 可加 0.05)

表 5 最大粒料尺寸及設計塌度

構 造 物	最 大 粒 徑 尺 寸 * (公分)	塌 度 ** (公分)
RC版、牆、樑	2.5	2 - 10
RC柱、構架	2.5	2 - 10
RC基腳、基牆	3.8	2 - 8
PC基腳、基牆、沉箱、次構件	5.0	2 - 8
PC路面、版	5.0	2 - 8
巨積構造物	7.5 - 15	2 - 5

(\* : 最大粒料尺寸不得大於最小斷面寬度之 1/5 , 鋼筋距之 3/4 或輸送管之 1/3.  
 \*\*: 澆灌時未使用振動器搗實者, 塌度可增加 2公分.)

表6 混凝土設計配合比

工程名稱：海水循環水槽

日期：7/5/1988

水泥廠牌：台泥 TYPE V

水質狀況：良好

設計強度 (ksc) = 350.0

輸氣 (Y/N) : Y

每盤拌合量 (m<sup>3</sup>) = 1.0000

水灰比 (W/C) = 0.40

最大粒料尺寸 (cm) = 2.5

設計塌度 (cm) = 10.0

水泥比重 = 3.15

\*\*\*\*\* 細骨材 \*\*\*\*\*

細度模數 (FM) = 2.77

乾比重 = 2.62

吸水率 = 1.38 %

含水率 = 4.50 %

\*\*\*\*\* 粗骨材 \*\*\*\*\*

乾比重 = 2.62

乾搗實重 = 1570.0 kg/m<sup>3</sup>

吸水率 = 1.20 %

含水率 = 1.50 %

設計配合比：

水泥：砂：石子 = 1：1.4：2.4

單位重：

2298.5 kg/m<sup>3</sup>

→ 每 1.0000 m<sup>3</sup> 混凝土配合量 (kg)：

材 料	設 計 量	調 整 量*
水 泥	440.833	3.333
水	154.327	1.529
砂	630.903	-6.548
石 子	1072.459	
輸氣劑 (DAREX AEA)	0.227	
空 氣	5.00 %	

(\*: 調整量為塌度每加減 1 cm 之修正量)

附錄1：相關海洋混凝土構造物之標準規範

(1)

名稱		海洋混凝土構造物設計施工規範案 (1977)	海灣設施之技術標準 (1979)	預力混凝土 Purge 標準 (1975)
制定機關		土木學會	日本海灣協會	日本海軍協會
適用範圍		適用於海洋混凝土構造物之設計及施工	適用於海灣設施建設改良、維護等	適用於預力混凝土 Purge 之整體材料之設計及施工
設計	鋼筋	海上大氣中 飛沫帶 海中 5 cm 以上 7 cm 以上 5 cm 以上 (水中混凝土 10 cm 以上)	50 mm 以上 70 mm 以上 50 mm 以上	船側及船底外周部 70 mm 以上 上述以外之部分 40 mm 以上
	P.C. 鋼筋	海上大氣中 飛沫帶 海中 由負責工程師判斷	依照預力混凝土設計施工標準 (土木學會)	船側及船底外周部 100 mm 以上 上述以外之部分 45 mm 以上
裂縫	裂縫	不發生有害裂縫 海上大氣中 飛沫帶 海中 0.15 mm 以下 0.2 mm 以下 裂縫寬度之推定，根據海洋構造物設計標準 (日本海灣協會編) 之計等式。	裂縫容許寬度 (1) 直接與海水接觸部分 被海水沖洗部分，及受激烈潮風部分 0.15 mm (2) 上述以外之部分 0.20 mm $W = 16 C \sigma_s ; D/E_s$ 其中 W: 裂縫寬度 (mm) C: 應變力與拉力比 彎曲料 上側鋼筋， 光面鋼筋 = 1.2 竹節鋼筋 = 0.6 彎曲料 下側鋼筋， 光面鋼筋 = 0.8 竹節鋼筋 = 0.4 $\sigma_s$ : 對裂縫發生断面之鋼筋強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) j: 弱於裂縫之鋼筋混凝土断面之係數 D: 鋼筋之公稱直徑 (mm) E: 鋼筋之彈性模數 (kg/cm <sup>2</sup> ) $E_s = 2.1 \times 10^4$ kg/cm <sup>2</sup>	鋼筋混凝土構造時規定裂縫寬度，以便控制，使不致發生有害裂縫。
鋼筋	海上大氣中 飛沫帶 海中	R.C 沒有規定。 P.C 用預力混凝土 先拉法 350 kg/cm <sup>2</sup> 以上 後拉法 300 kg/cm <sup>2</sup> 以上	素筋混凝土 135 ~ 180 kg/cm <sup>2</sup> 鋼筋混凝土 240 kg/cm <sup>2</sup> 以上 預力混凝土 先拉法 350 kg/cm <sup>2</sup> 以上 後拉法 300 kg/cm <sup>2</sup> 以上	先拉方式 400 kg/cm <sup>2</sup> 以上 後拉方式 350 kg/cm <sup>2</sup> 以上
材料	水泥	波特蘭水泥 (4 種) 高爐水泥、砂灰水泥 飛灰水泥 須符合 JIS R5210 R5211 R5212 R5213	符合 JIS	波特蘭水泥 (3 種) 高爐水泥、飛灰水泥、砂灰水泥
	材料	材料選具備之條件，不可含雜質，有害物，海砂中之氯化物在絕對重量之 0.1% 以下	不可使用：易碎者，發開性者，強度低者，吸水性高的、有膨脹性的鋼筋混凝土儘量避免使用海砂。	不可含雜質。
	水	不可含有害物質。 禁止使用海水。	禁止使用海水。 (僅無筋混凝土可使用海水)	不可含有害物質。 禁止使用海水。

名稱	Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore concrete structure (1978)	Recommendation for the Design and Construction of Concrete Sea Structures (1977)	Rules and Regulations for the Construction and Classification of Offshore Platforms (1975)	Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures (1977)	Guidelines for the Design, Construction and Classification of Floating Concrete Structures (1978)									
制定機關	ACI	FIP	BV	DNV	DNV									
適用範圍	適用於鋼筋混凝土及預力混凝土，固定式(重力式)海洋構造物之設計及施工	適用於海洋混凝土構造物之設計及施工	適用於鋼製及混凝土製海洋海上平台之施工及指定船艙	適用於鋼製及混凝土製海洋構造物	適用於浮網式混凝土構造物之設計施工及指定船艙									
鋼筋	海上大氣中	(1)厚度(註1) 50cm以上 之構材 50mm以上 65mm以上 50mm以上	(2)厚度 50cm以下 之構材 採用左側數 值，不得已 時採用註2 之最大値	(1)厚度 0.5cm以上 75mm以上 60mm以上	(2)厚度 0.50cm以下 材料最大尺 寸之1.5倍 以上，最大 鋼筋直徑之 1.5倍以上	50mm以上	部分	65mm以上	50mm以上	40mm以上	也需要最大 粒料之 1.5倍以上	25mm以上	40mm以上	25mm以上
	海中	75mm以上 90mm以上 75mm以上	註2之(a) (b)(c)之最大 値加13 mm	100mm 以上 100mm 以上 100mm 以上	sheath之保護層 75mm以上	sheath之保護層 80mm以上 sheath之保護層 100mm以上 sheath之保護層 100mm以上	sheath之保護層 50mm以上 sheath之保護層 80mm以上 sheath之保護層 50mm以上							
預力	海上大氣中	75mm以上 90mm以上 75mm以上	註2之(a) (b)(c)之最大 値加13 mm	100mm 以上 100mm 以上 100mm 以上	sheath之保護層 75mm以上	sheath之保護層 80mm以上 sheath之保護層 100mm以上 sheath之保護層 100mm以上	sheath之保護層 50mm以上 sheath之保護層 80mm以上 sheath之保護層 50mm以上							
	海中	75mm以上 90mm以上 75mm以上	註2之(a) (b)(c)之最大 値加13 mm	100mm 以上 100mm 以上 100mm 以上	sheath之保護層 75mm以上	sheath之保護層 80mm以上 sheath之保護層 100mm以上 sheath之保護層 100mm以上	sheath之保護層 50mm以上 sheath之保護層 80mm以上 sheath之保護層 50mm以上							
裂縫	海上大氣中	混凝土發生應力者，其 最小鋼筋量A <sub>s</sub> ，用下式 規定。 $A_s = \frac{f_t}{f_y} \cdot b \cdot d$ 其中 f <sub>t</sub> : 混凝土平均張力強 度 f <sub>y</sub> : 鋼筋屈服點 b : 斷面之寬度 d : 1.5C + db c : 混凝土保護層 d <sub>c</sub> : 鋼筋直徑 0.2h ≤ d <sub>c</sub> < 0.5(n-x) h : 斷面厚度 x : 壓縮層深度	RC 平時荷重時 表面裂縫寬度0.3mm以 下及三筋之保護層4/ 1000倍以下 最後荷重時 鋼筋應力0.8f <sub>y</sub> 以下 PC 平時荷重時 表面裂縫寬度0.2mm 以下，但裂縫引起之 PC鋼筋之應力增加， 相當於0.2mm裂縫的 鋼筋應力之50%以下 最後荷重時 表面裂縫寬度0.3mm 以下鋼筋應力0.8f <sub>y</sub> 以下	國際預力協會發行之海洋 混凝土構造物之設計與施 工介紹為基礎。 rm rm ULS 1.50 1.5	$A_s \geq \frac{f_{te} + W}{f_{se}} \cdot b \cdot d$ 其中 f <sub>te</sub> : 混凝土平均張力強 度 f <sub>se</sub> : 鋼筋之比例界限 W : 裂縫部之水壓 b : 構材寬度 d : 有效張力Q = 1.5C + 10φ C : 混凝土保護層 φ : 鋼筋直徑 0.2h < de < 0.5 (h-x) x保以全斷面有效來計算	$A_s \geq \frac{f_{te} + W}{f_{se}} \cdot b \cdot d$ 其中 f <sub>te</sub> : 混凝土平均張力強 度 f <sub>se</sub> : 鋼筋之比例界限 ( < f <sub>se</sub> ) b : 構材寬度 d : 有效張力 = 1.5C + 10φ C : 混凝土保護層 φ : 鋼筋直徑								
	海中	352kg/cm <sup>2</sup> 以上	408kg/cm <sup>2</sup> 但不宜在 海洋環境中者 408kg/cm <sup>2</sup> 306kg/cm <sup>2</sup> 以上 306kg/cm <sup>2</sup> 受嚴重應力 459kg/cm <sup>2</sup> 以上	306kg/cm <sup>2</sup> 以上	以RILEM試驗之φ15 cm × 30cm，齡期28天 強度為基礎。 齡期28天以後之強度 增加以考慮。 齡期28天以前承受荷 重時，以實際測定強度 為準。	數值未明示，但使用φ15 cm × 30cm之28天齡期強 度。 同上 關於張力強度，以海上規 則之附件D 4為根據。								
水泥	波特蘭水泥 (ASTM-C150, C595) C <sub>3</sub> A含量: 4~10% 使用於海構時規定C <sub>3</sub> A 須減少。	波特蘭水泥，耐硫酸鹽水 泥，混合水泥，須符合各 國規範 C <sub>3</sub> A含量在12%以 下	符合法國規範，C <sub>3</sub> A含 量8%以下	普通、修改、速凝、燻熱 、耐硫酸鹽、高爐、波紫 蘭水泥 (ASTM-I、II 、III、IV、IS與IP)	海上規範 7.2, 7.12, 7.13為依據									
	與洗滌物同等或硬質更 大者。 適合ASTM C33, C330 海砂用淡水洗淨	與水泥接觸就變質，與水 泥反應者不可用。 海砂之含水量，與砂含量 在容許值以下。	不可含有害物質。SO <sub>2</sub> 化合物0.1%以下。 雜質(黏土)2%以下。	具充分強度，耐久性較 良好。 不可含有害物質或發生化 學反應者。	依據海上規範									
土	RC C1-水泥重×0.07%以下 SO <sub>2</sub> -水泥重×0.09%以下 PC或瀝青料 C1-水泥重×0.04%以下 SO <sub>2</sub> -水泥重×0.09%以下	不可使用海水	塩分2g/l以下飲用水 同等之水質	不可含有害物質	依據海上規範									

註：單位：公尺  
RC：鋼筋混凝土  
PC：預力混凝土

		Guide for the Design and construction of Fixed Offshore Concrete Structure (1978)	Recommendations for the Design and Construction of concrete Sea Structures (1977)	Rules and Regulations for the Construction and classification of Offshore plat forms (1975)	Rules for the Design construction and Inspection of Off-shore structure (1977)	Guidelines for the Design, Construction and classification of Floating concrete structures (1978)
混凝土材料	材料	被被索圖試驗結果使用	含氯離子 0.1 % 以上之氯化鈣、摻料、顏料不可使用	不可含摻分	須經本協會承認	依照海上規定
	氯化物之規定 (拌合時)	RC : Cl <sup>-</sup> 水泥重 × 0.10 % 以下 PC : Cl <sup>-</sup> 水泥重 × 0.06 % 以下	依照各種材料規定	依照各種材料規定	禁止使用 CaCl <sub>2</sub>	依照海上規定
配 比	單位水泥量	海上大氣中飛沫帶 海中	無記載 400 kg/m <sup>3</sup> 以上 G <sub>max</sub> = 40mm 時 320 kg/m <sup>3</sup> 以上 G <sub>max</sub> = 20mm 時 360 kg/m <sup>3</sup> 以上	350 kg/m <sup>3</sup> 以上 (400 kg/m <sup>3</sup> 較好)	300 kg/m <sup>3</sup> 以上 400 kg/m <sup>3</sup> 以上 無 記 載	依照海上規定 依照海上規定 無 記 載
	水 灰 比	海上大氣中飛沫帶 海中	45 % 以下 40 % 以下 40 % 以下	40 % ~ 45 %	45 % 以下 45 % 以下 45 % 以下	40 % 以下較好 最大 45 %
項	空氣含量 (包括凍結緩解對策)	需要凍結緩解對策時, 依照 ACI 201, 2R-78 之規定	最大粒徑 10 ~ 40mm 使用 4 ~ 7 % 但須注意氣泡徑之分布及氣泡間隔	無 記 載	最大粒徑 40mm 時 3 % 以下 最大粒徑 20mm 時 5 % 以下 氣泡大小 0.25mm 以下	依照海上規定
	PC 等 類	適合 ACI 318-77, 16 ~ 18 項者	全膨脹率 10 % 以下 禁止使用海水	抗壓強度 306 kg/cm <sup>2</sup> 以上 粘度 2800 μ/m	抗壓強度 300 kg/cm <sup>2</sup> 以上 Cl : c × 0.05 % 以下 全膨脹率 10 % 以下	依照海上規定
事 項	混 凝 土	需要水密性構材之施工時 (1) 粗粒料在直徑之 25 % 應明顯。 (2) 塗刷樹脂塗層。 (3) 施工前附近之混凝土水灰比多。	接縫補修處, 水化之溫度上升, 其中施工, 養護等, 規定其安全。	禁止使用金屬或塑膠的隔離板。 注意, 施工縫 (列有補修方案)。	水泥勿與鋼澆置 (省略)	新於鋼筋位置位置及 PC 鋼筋位置位置, 依照 "海上規定"。
	鋼 筋	每 5 年實施檢查範圍 (1) 一般目視。 (2) 材料劣化。 (3) 初期裂縫。 (4) 寄生生物。 (5) 防蝕系統。 (6) 防腐防止及基礎。	定期實施檢查場所: 飛沫部 區港部 檢查範圍 (1) 一般目視。 (2) 材料劣化。 (3) 裂 縫。 (4) 鋼筋電位測定。	每年實施檢查場所 (1) 飛沫區域。 (2) 檢查員指定場所。 檢查項目 (1) 一般目視。	5 年以內實施檢查範圍 (1) 一般目視。 (2) 材料劣化。 (3) 初期裂縫。 (4) 防蝕系統。 (5) 寄生生物。 (6) 堆 砂。	每 2 年實施檢查範圍 (1) 裂 縫。 (2) 混凝土劣化。 (3) 鋼筋之腐蝕。
備 註	特別檢查	事故、損傷、發現劣化時 影響構造物安定之構材變更時 多項條件變更時	無 記 載	每 4 年, 必須更新時實施檢查場所 (1) 飛沫區域。 (2) 裝置、設備。	事故或發現損傷劣化時 不適當通知檢查場所	每 4 年實施檢查範圍 (1) 0.2mm 以上裂縫 (2) 混凝土劣化。 (3) 鋼筋腐蝕。 (4) 防蝕系統。 檢查場所 (1) 飛沫區域。 (2) 結構部分。 (3) 補修場所。 (4) 應力集中場所。
	與第 2 種防蝕法與其製保	有冰凍時, 使用聚合物覆蓋表面。 電防鋼材與鋼筋離開 5 cm 以上。 鋼材及其固定部分, 須能電防。	保護層施聚合物使債或 佈等之特別防蝕時, 保護層厚度可調整。	無 記 載	塗膜、黃銹、陰極防蝕也可以。 異質之 PC 鋼材可能發生電性, 不可使用。	依照海上規定

註 1: 搭接, 厚度 50 cm 以上之構材, 由其值減去 13mm 以後之數值以上。  
註 2: (1) 粒料最大尺寸之 1.5 倍; (2) 鋼筋最大直徑之 1.5 倍; (3) 20mm 以上。  
註 3: "海上規定" 指 Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structures (1977)。

名稱		海洋混凝土構造物設計施工規範 (1977)	港灣設施之技術基準 (1979)	預力混凝土 Purge 基準 (1975)
混 凝 土 材 料	種 類	儘量使用品質優良之澆水劑、AE劑 按常規之使用，須經負責工程師之 判斷。	澆水劑、AE劑，其品質須符合土 木學會規格。	品質優良，並由本協會承認者。
	氯化物規定 (拌合時)	在材料內規定。	在各種材料規定。	在各種材料規定。
配 比 要 項	單位 水 泥 量	無記載 330 kg/m <sup>3</sup> 以上 (但水中混凝土須 370 kg/m <sup>3</sup> 以上) 無記載	依照混凝土標準規範 (土木學會)	400 kg/m <sup>3</sup> 以上 400 kg/m <sup>3</sup> 以上 無記載
	水 灰 比	海上大氣中 淡水帶 中	附表 1	45% 以下 45% 以下 45% 以下
	空氣含量 (包括凍結、融 解對面)	推薦使用AE劑、澆水劑	使用AE混凝土 空氣含量以 4% 為標準	推薦使用AE劑、澆水劑
	PC 種類	W/C = 45% 以下 依照預力混凝土標準規範	依照預力混凝土標準規範 (土木學會)	W/C = 35 ~ 45%
施 工 要 項	齡期 4 天以內，須加強保護不可接 觸到海水。 海中及接觸到漲退潮部分，應先修 施工縫。 墊塊儘量避免，使用繩絲較好。	注意施工縫	施工可參照建造工程之要領，詳細可 參考預力混凝土標準規範(土木學會)	
檢 查 要 項	定期檢查	依照混凝土標準規範	無記載	製造中登記檢査 (1)材料試驗 (2)水壓與水密試驗 (3)海上試驗群 (4)搭設裝置之有效試驗
	特別檢查	依照混凝土標準規範	無記載	為繼續的記錄而檢查
備 註	第二種防蝕性與 其關係	磨損、衝擊等作用嚴重的地方，須 用適當材料保護，保護層厚度或斷 面積須增加。	無記載	無記載

註(1): 塔接，厚度 50 cm 以上之構材，由其值減去 13 mm 以後之數值以上。

註(2): (a) 粒料最大尺寸之 1.5 倍。

(b) 鋼筋最大直徑之 1.5 倍

(c) 20 mm 以上。

註(3): "海上規定" 係指 Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structure (1977)