

水文及污損生物對材料腐蝕之探討

台灣省政府交通處

港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十四年六月

水文及污損生物對材料腐蝕之探討

執行單位：港工材料組

計畫主持人：饒正 副研究員兼組長

共同主持人：柯正龍 助理研究員

參與人員：陳正義 王培源 何木火

李昭明 林隆貞

摘 要

相同之港灣結構材料在不同之海域，會產生不同之腐蝕型態與腐蝕速率，在同一海域同一碼頭區之相同材料，產生完全不同之腐蝕型態，此與當地之水文及污損生物必有密切之關係。

本研究在基隆港東2、西21、西22、西26、西27號碼頭現場擺放試架觀察海生物種類，探討材料(AISI 1015碳鋼、AISI 304不銹鋼，防海生物附著油漆塗料，犧牲陽極)，水深(低潮位線上1公尺及低潮位線下1.0, 3.0, 5.0公尺)與水文及污損生物之關係。

經過三及六個月之現場浸漬後，發現(1)犧牲陽極及防污塗料均能使鋼料防蝕，裸鋼之腐蝕速率則因水深而異，不銹鋼易因海生物附著而產生孔蝕，且易在海水中造成間隙腐蝕。(2)海生物種類因不同碼頭而異。(3)西21、22、26、27號碼頭，第二次附著生物採樣所採獲種類，均較第一次採樣之種類多。(4)東2碼頭的兩次附著生物採樣，採獲種類與優勢種則沒有明顯的變化。(5)防污塗料之試片上，附著生物之種類與數量都遠多於其他材料試片；且優勢種都為線蟲與苔蘚蟲。(6)陰極防蝕、不銹鋼、混凝土與裸鋼等四種試片之附著生物種類皆無明顯不同。(7)四種深度的附著生物種類與數量也有所不同，以中間兩層深度之種類與數量較多。

實驗室內之生物腐蝕分析發現(1)裸鋼浸泡在海水中，不多時pH值就會增加，裸鋼也開始腐蝕，可是當海水之pH值增至9.0時，pH值就穩定下來。(2)海水中添加 MoO_4^{2-} (硫酸還原菌抑制劑)會抑制裸鋼之生物腐蝕率。(3)海水中添加BESA(甲烷菌抑制劑)，對含裸鋼之海水pH值變化沒有抑制作用。(4)塗有防污塗料試片之海水中，其pH值不會增加。

水文及污損生物對材料腐蝕之探討

目 錄

	頁 數
摘要.....	I
目 錄.....	II
表 目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
壹、前 言.....	1
貳、研究方法及過程.....	4
一、現場腐蝕實驗.....	4
二、附著生物之種類.....	4
三、實驗室內生物腐蝕分析.....	5
參、資料分析與討論.....	5
一、現場腐蝕試驗.....	10
二、海生物分類.....	12
三、實驗室內生物腐蝕.....	19
肆、結論與建議.....	43
伍、參考文獻.....	48
陸、附 錄.....	51
(基隆港區常見附著生物圖)	

表 目 錄

頁 數

表2.1	試片之化學成份(Wt%)與厚度.....	7
表3.1	試片擺放三個月(84年1月)與六個月(84年4月)後, 不同擺放地點, 附著生物種類與數量(1).....	25
表3.2	試片擺放三個月(84年1月)與六個月(84年4月)後, 不同擺放地點, 附著生物種類與數量(2).....	26
表3.3	5號試架(西26、27碼頭)擺放三個月後(84年1月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	27
表3.4	4號試架(西26、27碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	27
表3.5	20號試架(西21、22碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	28
表3.6	14號試架(西21、22碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同材質在4種深度所附著生物之種類與數量....	28
表3.7	10號試架(東2碼頭)擺放三個月後(84年1月), 不同 材質在4種深度所附著生物之種類與數量.....	29
表3.8	9號試架(東2碼頭)擺放六個月後(84年4月), 不同 材質在4種深度所附著生物之種類與數量.....	30

圖 目 錄

	頁 數
圖2.1 試片安裝設計.....	8
圖2.2 試片實際擺放方式.....	8
圖2.3 試片擺放位置.....	9
圖3.1 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係 (基隆港碼頭浸漬三個月).....	31
圖3.2 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係 (基隆港碼頭浸漬六個月).....	31
圖3.3 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係 (浸漬在東二碼頭六個月).....	32
圖3.4 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬三個月).	33
圖3.5 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬六個月).	33
圖3.6 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量 (浸漬三個月).....	34
圖3.7 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量 (浸漬六個月).....	34
圖3.8 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 表層水).....	35
圖3.9 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 3M 水).....	35
圖3.10 裸鋼之pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 表層水).....	36
圖3.11 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西2碼頭, 3M 水).....	36
圖3.12 水泥塊之pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 3M 水)....	37
圖3.13 大裸鋼片及大裸鋼片加上犧牲陽極之 pH值與時間關係 數圖(東2碼頭, 3M 水).....	37
圖3.14 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東2碼頭表層水).....	38
圖3.15 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西22碼頭表層水).....	38

圖3.16 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	39
圖3.17 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭, 3M 水).....	39
圖3.18 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西27碼頭表層水).....	40
圖3.19 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西27碼頭, 3M 水).....	40
圖3.20 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	41
圖3.21 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自西22碼頭表層水).....	41
圖3.22 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭表層水).....	42
圖3.23 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖 (海水取自東 2 碼頭, 3M 水).....	42

壹 前 言

本所五年多來，調查國內五大港口（基隆港、高雄港、台中港、花蓮港、蘇澳港）之碼頭鋼板樁腐蝕狀況⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾，發現相同廠牌與型式之鋼板樁在不同之港口會產生不同之腐蝕速率與型態，即使使用在同一碼頭，亦會有完全不同之腐蝕型態，譬如基隆港之西21、西22、東4 與東5 號碼頭之部份鋼板樁在潮汐帶有連續十多支鋼板樁破孔之現象發生，其餘鋼板樁均為均勻腐蝕，吾人考慮其破孔原因是否與當地之水文及污損生物有關，故初期選定基隆港進行本研究。

結構材料浸泡於海水環境中，微型污損和腐蝕這兩個過程立刻就開始了，可是在研究上與這種環境中實際上發生的過程剛好相反，對這兩個過程習慣上往往是分開來加以處理，儘管在金屬腐蝕過程中與海生物有關的證據非常多，可是往常的腐蝕研究一直是在不考慮生物因素的情況下進行。康氏提出，一些科學家把海水看作是一種混入少量其他鹽類的單純氯化鈉溶液之見解是天真的，他還提醒大家對海水特性的腐蝕性要注意到“生物因素”。

海洋附著生物是指在海水中以其基盤固著於基底而行固著生活，或在基底表面之動、植物，其中附著或附生於船舶與港灣構造物表面之生物稱為污損生物，污損生物可分為微生物(microfouling)如細菌及生物所排放之黏液及巨污生物(macrofouling)如海藻、浮游生物及貝殼類。海生物附著會增加荷重，也可能增加腐蝕速率。污損是由所有附生物的主要種群以不同方式組成，污損之類型和程度常常有一定序列，可以隨季節、水深、海水性質變化，優勢種類等而變化。

在新浸泡于水中的物體表面上，根據觀察，首先附著的生物一般是細菌和細粒藻類。可以認為，他們構成了其他生物繼續附著的基礎或基底。生物繼承的通常模式（即某假設生物在新浸沒表面上佔優勢的時期）可歸納如下：最初1 至3 天是細菌，而後3 至7 天是海藻細粒，以後1至3 個星期是原生動物，以後3至10星期是藤壺，以後10至16星期是被囊動物；以後3 至6 個月是海草；以後6 至12月是貽貝；再以後貽貝可能占支配地位，或由某種生物篡取貽貝地位而代之。最終支配的生物隨著地理、氣候、化學、物理和生物等因素而定。因為許多生物的再生產率大都由水溫調節，在溫帶，污損程度隨著季節變化，在熱帶保持相對

穩定。一般，生物愈大，污損成長所需要的時間愈久。

細菌對促進污損和一般性生物侵蝕的重要作用不會估計過分。佐貝爾(Zobell)⁽⁸⁾對於海洋微生物這個課題作過詳細研究。他注意到細菌分佈遍及整個水柱，但是最大密度存在於海床，在那裏每克濕泥中就有上百萬個細胞。喜氣細菌佔據了底部泥土上層1至2英寸厚度，而厭氣性細菌則在這一層下面佔統治地位，並且在構造物腐蝕歷程中佔特別重要地位，因為他們棲身於保護塗層泡之下和金屬結構固著生物的基底下。硫黃菌能在缺氧環境下產生 H_2S ，使鋼材產生硫化應力裂紋。一般細菌為動物提供了立足點和食物來源，並可能有助於固著生物的附著，例如藤壺就促使石灰質水泥沉澱來實現附著。所有纖維繩索都被分解纖維素的細菌所襲擊，橡膠製品也為某種細菌所分解，雖然試驗室試驗表明，聚乙烯和氯丁橡膠的隋性較大。混凝土污水管道和埋入的鐵管道被硫黃菌嚴重損壞；有些放線狀細菌能分解石油製品，並可能使木樁的塗油基層剝落，促使木樁暴露於海蛀蟲的侵襲之下。

許多重要的污損者，如藤壺等是過濾食客，他們需要活水帶來新鮮的營養物和氧氣，並帶走排泄物。這些動物喜歡有顯著潮流流動的地方。許多生物（藤壺又是其中主要的實例）呈現分期的生命階段。藤壺在自由生活動態時期叫做nauplius（無節幼蟲），在定居和開始附著時期（即cyprid階段），生物還很小甚至是微細的，最後是生長和成熟階段。成熟的藤壺是有膠質的外殼和板狀的石灰質甲殼，也叫鱗甲。體內有可伸縮的刷狀觸鬚，用來從水中濾食。藤壺有極強的黏著力，他們能在大到4節的流水中附著自己，甚至在更高的流速下仍能保持附著，這使他們在構造物的海水入口處造成特殊的麻煩。藤壺還可成為其他生物附著的基底。在生物死亡後，他們的甲殼還要永久保留在附著位置上。藤壺附著的類似黏膠的物質會滲入保護塗層。氧濃差電池要圍繞藤壺的基底產生，以致造成嚴重的孔蝕。

台灣位處亞熱帶，海洋生物繁殖旺盛，各港口碼頭及船隻均受海生物附著而造成腐蝕等相關問題。國內有關海水附著物與防污之研究甚少（楊等⁽⁹⁾）-⁽¹¹⁾。台電公司⁽¹²⁾亦曾調查南部興達電廠進水涵道附著海生物，即使採用防污塗料經半年後，仍有海生物附著，而以藤壺(barnacle)，管棲多毛蟲(polychaet)，苔蟲(hydrozon)，海綿(sponge)，

海藻，軟體動物(tube worm)，腔腸動物(coelendrium)及貽貝(mussel)等爲主。本所在調查台中港海域材料之腐蝕性時亦發現浸泡海水中之試片也有各種海生物附著。但該等研究之結果，著重於微污生物與部份巨污生物之分類與防污處理之效果；並未能涵蓋附著生物之整體研究。因此，本研究計劃乃配合主計劃及其他分支計劃，定期採集基隆港不同地點，不同深度，不同材料試片上之附著生物樣本，攜回實驗室，進行附著生物之歸類鑑定，及豐度計量（包括顯微鏡下之計數與拍照計算覆蓋面積，以了解不同材料試片在不同光度（深度）、溫度（季節），及地區（水質及潮汐）之環境下，附著生物之種類差異，與各種附著生物之滋生速度；以期能完整地了解基隆港附著生物之種類及其因時空差異而產生之變化。此項結果爲探討海洋材料腐蝕部份研究所必須之基本資料，對了解港灣結構材料受海洋生物之破壞及尋思其防治方法甚爲重要。

本研究跨越海洋生物與材料防蝕技術之領域，必須結合此兩領域之學者專家共同攜手合作，才能開拓解決問題之契機，故本研究委託國立海洋大學辦理，由材料工程所之吳建國教授主持，成員包括河海工程所之黃然博士，海洋生物所的劉秀美所長及中央研究院動物所的邵廣昭博士，期能對海生物附著及其對材料腐蝕影響有初步瞭解。

本文係節錄自國立海洋大學提出之研究報告，如有不詳之處，請參考原文。

貳、研究方法與過程

一、現場腐蝕實驗

本實驗在基隆港內浸漬的試片架分四層，分別離碼頭面下約二、四、六、八公尺深，試片架如圖2.1、2.2所示。試片均與鋼架絕緣。試片的材料大小約 200mm*200mm，有AISI 1015鋼片，AISI 1015鋼片鎖上鋅塊，AISI 1015鋼片塗上含錫防污塗料，AISI 1015鋼片塗上無錫防污塗料，及304不銹鋼片等五種材料浸漬在基隆港東 2號碼頭，西 21、22，西26、27三處碼頭，試架擺放位置如圖2.3所示。材料的成份厚度如表2.1所示。本研究浸泡時間則以分別 3 個月，0.5年，1年，1.5年，2年，2.5年，及3年後取出部份試片分別研判附著之海生物造成之腐蝕及腐蝕速率。試片從海水中取出立即照相，量腐蝕電位，清水清洗並除銹後再秤重，藉由重量損失法計算腐蝕速率。目前已完成之實驗為3個月及0.5年之腐蝕速率及腐蝕型態評估。

二、附著生物之種類

了解附著生物之種類與豐度，與影響之環境因子；及附著生物季節與消長之變化的方法包括了：(1)定期至不同環境之港灣採取樣本分析。(2)在不同環境之港灣放置試片，定期採樣之。第一種方法除了定量不易外，亦無法了解試片材質與處理的效果，及附著生物消長變化；故目前多以放置採樣試片，進行長期而定時的採樣為主。因此，本研究於民國83年10月，在基隆港之西21、22號碼頭，西26、27號碼頭與東 2號碼頭等三個水文環境不同之碼頭分別擺放試架。每個試架有六種不同材質或處理之試片，皆分別擺設於四層深度。每隔三個月即至此三個碼頭，將一試架取出，分別拍照與刮取試板上之附著生物。並依下列步驟進行採樣工作：

1. 將每個試片分別拍照，以便比較各個試片上附著物覆蓋之面積。
2. 將每個實驗材質表面上的附著生物，以刮刀刮取1/4的面積。
3. 每個實驗材質所刮取的附著物皆分別浸泡於 5%福馬林固定之，攜回實驗室內進行附著生物的鑑定與計數。

4. 在實驗室內以30倍的解剖顯微鏡進行初步的分類工作。
5. 動物之分類，乃依據岡田要⁽¹³⁾ (1965)、波部忠重⁽¹⁴⁾ (1974)、波部忠重與小菅貞男⁽¹⁵⁾ (1974)、波部忠重與伊藤潔⁽¹⁶⁾ (1975)、Morriset al⁽¹⁷⁾ (1980)、武田正倫⁽¹⁸⁾ (1982)鑑定之。植物則依據千原光雄⁽¹⁹⁾ (1983)、江等⁽²⁰⁾ (1980)鑑定之。
6. 除了基本分類外，並將各主要附著生物計數，推估各試片上，附著生物之相對豐度，並以R (1-5隻或株)，O (6-50隻或株)，C (51-500隻或株)，與A (>501隻或株)表示之。

三、實驗室內生物腐蝕分析

(一)鋼片及混凝土塊試片

試片種類及其尺寸、重量如下：

1. 裸鋼試片 (2.5cm×7cm×0.2cm 重約27~29g)
2. 不銹鋼試片 (5cm×2.4cm×0.4cm 重約34~36g)
3. 塗有藍色油漆試片(7.2cm×2.7cm×0.2cm 重約32~34g)
4. 塗有紅色油漆試片(7.2cm×2.7cm×0.2cm 重約32~34g)
5. 混凝土塊 (2.7cm×2.7cm×6.8cm 重約110~130g)
6. 裸鋼+鋅片(犧牲陽極) (裸鋼 5.9cm×10.0cm×0.2cm重約94.0g)
(犧牲陽極 直徑4.0cm×高3.9cm)

(二)海水之採集及處理

採取三個地方—基隆港東2號碼頭，西22號碼頭及西27號碼頭處海水，每個碼頭亦取一定點，從此定點用採水器採取表層水，3m深處水及9m深處水。將採取之海水裝滿於瓶中儘快帶回實驗室，然後將氮氫混合氣($N_2:H_2=95\%:5\%$)注入瓶內，使瓶內呈厭氧狀態。再將此海水移入厭氧箱(Anaerobic glove box, Coy laboratories products, Ann Arbor, Mich)此箱內亦填充以氮氫混合氣($N_2:H_2=95\%:5\%$)。用作厭氧非生物浸泡(abiotic incubation)之水須用高溫高壓滅菌(121°C, 30min)過後再移入厭氧箱。

(三)試片之前處理

裸鋼片先用2.0M鹽酸(HCl)處理約2分，去除表面銹垢，然後用去離子水清洗，移入丙酮(acetone)液，乾燥後稱重。其他塗有油漆試片，不銹鋼及水泥塊，則刷洗乾淨後用去離子水清洗，移入丙酮(acetone)液，乾燥後稱重。將這些試片各別放入廣口之血清瓶(Schott, Duran, 250ml)，然後將這血清瓶用高溫高壓滅菌法殺菌(121°C, 30min)。做非生物之浸泡實驗之血清瓶，則在滅菌後，移入無菌操作台一面充入氮氫混合氣一面加入滅菌之海水150ml，蓋好蓋子後再移入厭氧箱內。做生物培養實驗之血清瓶，則在滅菌後移入厭氧箱，在箱內加入厭氧之碼頭海水。

(四)生物與非生物培養

每一種試片或是水泥塊皆作做厭氧生物培養(anaerobic biological incubation)及厭氧非生物培養(anaerobic abiotic incubation)。生物與非生物培養又各分為三組：

第一組：加入海水(滅菌海水)及試片。

第二組：海水(滅菌海水)+2mM Bromoethanesulfonic acid (BESA)及試片。

第三組：海水(滅菌海水)+2mM Molybdate (MoO_4^-)及試片。

每一組皆做二重覆實驗。

在生物及非生物培養期間，每隔7~14天，從各瓶內採取3.5ml海水測其中之氯離子(Cl^-)、鎂離子(Mg^{++})，鈣離子(Ca^{++})，硫酸根離子(SO_4^-)，硫離子(S^-)量外，亦測海水之pH值。

從各個瓶中硫酸根離子(SO_4^-)量之減少及硫離子(S^-)量之增加可以算出硫酸還原率(Sulfate reduction rate)。

(五)分析方法

1. Cl^- 、 Mg^{++} 、 Ca^{++} 及 SO_4^- 之測量

這些離子量之測量，是用連接離子交換管柱(ion exchange column, Nuchessil 5SB, Macherey-Nagel, Germany)之高速液相層析儀分析。流動液(mobile phase)是 2mM diaminocyclohexane tetraacetic acid (DCTA)，流速是每分鐘1.5ml。

高速液相層析儀包括 Hitachi L-6200A 之幫浦(pump)， Shodex CD-5 導電度偵測器 (conductivity detector) 及 Hitachi D-2500 積分儀(integrator)。

2. S²⁻之測量

採用 J.D.Cline(1969) 之methylene blue method, 利用分光光度計測量水中之 hydrogen sulfide量。

3. 水中總碳量(Total organic carbon)之測量

利用總碳測量儀(Total Organic carbon analyzer Model 700, O.I. Analytical, Texas, USA)

4. 鐵銹成份之分析

可以利用 scanning election microscopy, X-Ray diffraction 及 energy dispersive X-Ray analysis(EDXA) 等分析方法了解鐵銹之物理及化學特性。

5. 生銹速率之測量(corrosion measurement)

這是用鋼片重量降低之速率作為腐蝕程度之定量。將鋼片從瓶中取出放入含 50ml 之 4% sodium citrate solution之廣口瓶,用超音波震盪,乾燥後稱重。比較實驗前與實驗後鋼片減輕之重量為weight loss。腐蝕率是用mpy表示之。

表2.1 試片化學成份(Wt%)與厚度

成份 材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	Al	厚度	備註
304	0.03	0.46	1.35	0.022	0.003	18.9	8.14	0.112	—	4mm	
1015	0.13	0.01	0.51	0.022	0.013	—	—	—	0.042	2.1mm	

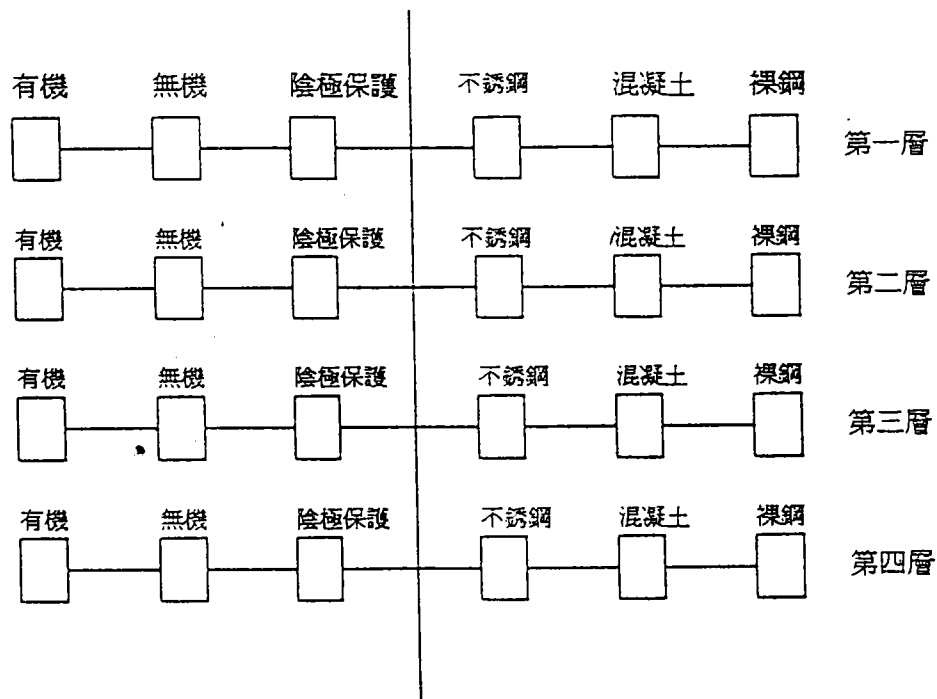


圖2.1 試片安裝設計

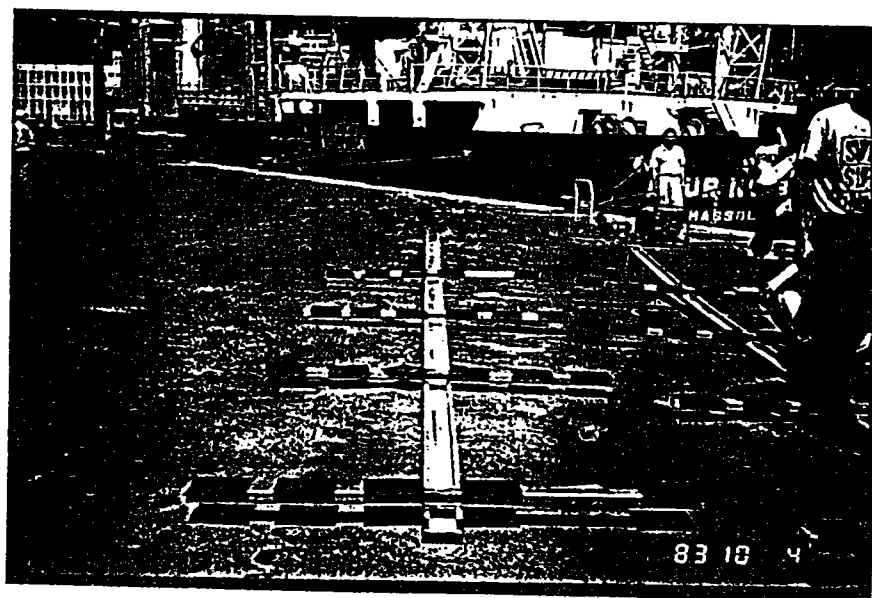


圖2.2 試片實際擺放方式

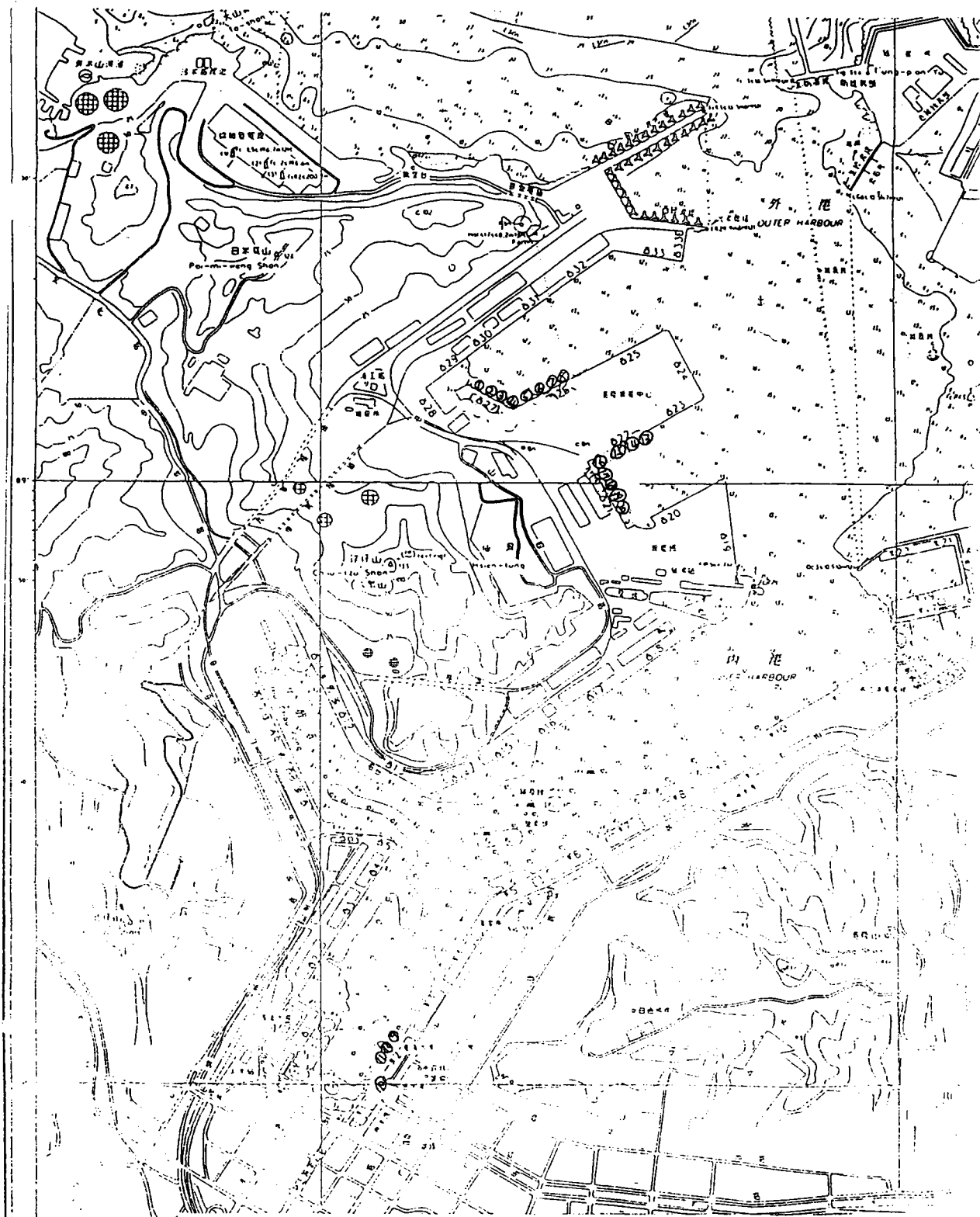


圖2.3 試片擺放位置

參、資料分析與討論

一、現場腐蝕試驗

(一) AISI 1015 裸鋼

在基隆港西21、22、26、27碼頭海域之試片，隨著離海平面深度增加，AISI 1015 裸鋼的腐蝕速率減少。其原因為海水深度增加，海浪減緩，且含氧量減少，則陽極氧化反應 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 與陰極還原反應 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ 隨著含氧量減少，陽極與陰極反應降低，腐蝕速率減少。而室內浸漬三個月腐蝕速率接近水深 4-6 公尺的浸漬結果，其腐蝕速率為 2.065mpy。基隆港浸泡三個月（自民國83.10.05~84.01.05）的結果如圖3.1所示。浸漬六個月（民國83.10.05~84.03.31）結果顯示，上兩層試片的腐蝕速率有減緩的跡象。如圖3.2所示。其可能原因如下：

1. 浸漬六個月，鋼材表面有橘色到紅棕色腐蝕產物，表層腐蝕產物與基材間，包含一層厭氧狀態黑色的 Fe_3O_4 的腐蝕產物，（浸漬三個月，沒有此層的腐蝕產物發現）。並且試片有一層緻密泥垢。基材表面的金屬氧化物與厚的泥垢，阻礙金屬氧化還原反應，因此腐蝕速率下降。
2. 溫度的差異也是重要因素之一。夏季與冬季有明顯的溫度差。冬天因海水溫度較低，因此腐蝕速率會減緩。季節性生態的改變也是一大因素，不適合在冬季生存的生物均會銳減，譬如易造成快速腐蝕的貝類（如藤壺），在冬季明顯的減少。

浸漬六個月，試片位於四種浸漬深度的腐蝕速率差距，有明顯的縮減。其原因是因為浸漬初期離海平面較淺，海浪較大含氧量較多，金屬氧化還原反應較激烈，所以試片浸漬於四種深度，腐蝕速率差距較大。經過一段時間，腐蝕產物產生，表面更易附著泥垢，使一、二層試片氧化還原反應減緩。而在三、四層的試片，因與泥垢中的生物發生反應，腐蝕速率增加。因此四種浸漬深度的腐蝕速率差異明顯的較浸漬三個月縮小差距。

東2碼頭位於(田寮河)淡水與海水交界處，海生物特別的豐富，

每層裸鋼均附著豐盛的海生物於試片表面上，試片大部份因海生物附著所造成腐蝕。因此四種浸漬深度的試片腐蝕速率差異不大。如圖 3.3 所示。

(二)犧牲陽極

AISI 1015 鋼片鎖上鋅塊(陰極防蝕)，由於裸鋼 AISI 1015 鋼片腐蝕電位(-0.60V , SCE)，鋅塊腐蝕電位(-1.0V , SCE)兩者差 0.4V ，因此形成一伽凡尼電池，鋅釋放出電子，保護裸鋼。浸漬三個月結果顯示，AISI 1015 試片沒有生銹，即使有海生物附著受損亦不明顯。鋅塊的重量損失，隨著離海平面深度增加，鋅的重量損失有減緩的趨勢。如圖 3.4所示。而室內浸漬鋅的重量損失接近水深八公尺深的浸泡結果。浸漬六個月，其結果如圖 3.5所示，一、二層試片因泥垢的附著緻密，反應較緩和，耦合電位升為(-0.89V , SCE)，鋅的重量損失已有明顯的下降。若試片位於碼頭轉角處，海浪較大，泥垢附著困難，反應較激烈，浸漬六個月鋅塊完全消耗殆盡。東二碼頭由於有大量的海生物附著，其鋅鋅塊重量損失，四層試片隨海生物附著多寡而異，如圖 3.6、3.7所示。

(三)防污塗料試片

有錫與無錫防污塗料試片(塗料厚度約 $200\mu\text{m}$)，浸漬在海水中，緩慢溶解釋出有毒顏料，使海生物無法附著，浸漬三個月，兩種塗料試片均表面良好，未有剝落現象。浸漬六個月，兩種防污塗料試片仍然沒有海生物附著，但是藍色含錫防污塗料明顯的較紅色無錫防污塗料溶解快速。

(四)AISI 304 型不銹鋼

不銹鋼在海水中，因海水中有氯離子與海生物，易使不銹鋼表面鈍態膜遭破壞，造成孔蝕或間隙腐蝕的現象發生。室內掃極化亦有孔蝕現象發生，海生物中的貝類(簾壺)附著在 304 型不銹鋼片上，由於簾壺在軀殼內新陳代謝，使的殼內 pH 值下降。附著區與不銹鋼本體產生腐蝕電池。間隙腐蝕先從簾壺軀殼邊緣開始腐蝕，然後往中間沿伸腐蝕，形成一放射狀的間隙腐蝕。如果簾壺死於軀殼內，簾壺肉被分解，導致腐

敗，會形成一均勻的孔蝕坑洞。東二碼頭附著藤壺附著最多，依次為西26、西27碼頭，西21、西22碼頭。試片依附著的多寡與時間的長久，會有不同程度的孔蝕現象。

304 不銹鋼在海水中由壓克力墊片固定附著下面，由於氧氣缺乏，造成不銹鋼試片表面氧濃度不同，形成氧濃度差電池，在氧較少地區為陽極，金屬氧化成金屬離子，氧較多區域為陰極，氧還原成氫氧離子，形成氫氧化物沉澱，造成嚴重的間隙腐蝕。隨著離海平面深度增加，間隙腐蝕愈嚴重。

二、海生物分類

民國八十三年十月五日置放試樣架，在民國八十四年一月五日與三月三十一日，於基隆港進行第一與第二次之採樣工作。每一試架應有24個樣本（6種材質 * 4層），但因部份試片遺失、損毀，或大部份之有機錫與無機錫塗料試片上並未有任何附著生物外，總計共刮取 141個樣本，第一次刮取51個樣本，第二次刮取 90個樣本；包括：

西26, 27 號碼頭：試架編號 5 — 17 個樣本(84.1.5)

試架編號 4 — 18 個樣本(84.3.31)

西21, 22 號碼頭：試架編號17 — 18 個樣本(84.1.5)

試架編號20 — 24 個樣本(84.3.31)

試架編號14 — 24 個樣本(84.3.31)

東 2 號碼頭：試架編號 10 — 16 個樣本(84.1.5)

試架編號 9 — 24 個樣本(84.3.31)

(一)附著生物種類

由於附著生物之分離、檢出、鑑定與計算工作十分繁重與不易，僅能就已進行初步鑑定的種類，進行概略的比較；而矽藻類藻體太小，且不易鑑定，乃將其排除於研究結果外。在兩次採樣 141個試板中，共已鑑定附著生物約 37種，共有分屬 8門，8綱，13目，27科的 33種動物以上；其中，以外肛動物、節肢動物與尾索動物較多。

在這些附著動物中，依其運動能力之有無，可區分為附著性與附生

性動物兩大類；附著性動物爲僅在幼體期才有運動能力，成體則不具運動能力，如：筒螞、苔蘚蟲、貝類、纓鰓蟲目、藤壺、與尾索動物。附生性動物則是成體往往會聚泥成管或鑽木而行管棲，但仍卻具運動能力，可自由選擇棲所。

另外，若依附著動物之結構又可區分爲兩類，筒螞、苔蘚蟲與部份海鞘(白腹海鞘與菊海鞘)爲群體共棲，其餘附著動物則屬個體性。

而分屬 4 門，4 綱，4 目，4 科的 4 種藻類中，則以綠藻較多。其中，布氏藻、水雲與紅藻爲絲狀藻；腸漚苔則爲葉狀藻。以下爲各類動植物之分類歸屬，及其附生或附著之狀態。

動物部分：

腔腸動物門 Coelentera

水螞蟲綱 Hydrozoa

花水母目 Athomedusae

筒螞水母科 Tubulariidae

筒螞 Tubularia sp. (附著，群體)

線形動物門 Aschelminthes

線蟲綱 Nematoda

線蟲 Nematoda sp. (附生)

外肛動物門 Ectoprocta

苔蟲綱 Bryozoa

唇口目 Cheilostomata

膜孔苔蘚科 Membraniporidae

膜孔苔蘚蟲 Membranipora sp. (附著，群體)

裂孔苔蘚科 Schizoporellidae

裂孔苔蘚 Schizoporella sp. (附著，群體)

草苔蟲科 Bugulidae

多室草苔蟲 Bugula neritina (附著，群體)

扁形動物門 Plathelminthes

渦蟲綱 Turbellaria

三岐腸目 Tricladida

Uteriporidae

Uteriporus sp. (附生)

軟體動物門 Mollusca

斧足綱 Pelecypoda

翼形目 Pteriomorphia

貽貝科 Mytilidae

翡翠貽貝 *Perna viridis* (附著)

扇貝科 Pectinidae

扇貝 *Chlamys* sp. (附著)

鉗貝科 Isognomonidae

鉗貝 *Isognomon* sp. (附著)

牡蠣科 Ostidae

牡蠣 *Ostrea* sp. (附著)

環節動物門 Annelida

多毛綱 Polychaeta

纓鰓蟲目 Sabellida

龍介蟲科 Serpulidae

旋鰓蟲 *Spirobranchus* sp. (附著)

纓鰓蟲科 Sabellidae

纓鰓蟲 *Sabellidae* sp. (附著)

葉鬚蟲目 Phyllodocida

沙蠶科 Nereididae

沙蠶 *Nereididae* sp. (附生)

眼蠶科 Alciopidae

水蠶 *Naiades cantrainii* (附生)

盤首蠶科 Lopadorhynchidae

游蠶 *Pelagobia longicirrata* (附生)

節肢動物門 Arthropoda

甲殼綱 Crustacea

完胸目 Cirripedia

藤壺科 Balanidae

網紋藤壺 *Balanus reticulatus* (附著)

三角藤壺 *Balanus trigonus* (附著)

等足目 Isopoda

團水虱科 Sphaeromatidae

腔齒海底水虱 *Dynoides dentisinus* (附生)

端足目 Amphipoda

鉤蝦科 Gammaridae

片鉤蝦 *Elasmopus japonicus* (附生)

泥鉤蝦 *Eriopisella sechellensis* (附生)

馬爾它鉤蝦 *Melita dentata* (附生)

玻璃鉤蝦科 Hyalidae

玻璃鉤蝦 *Hyale grandicornis* (附生)

白鉤蝦科 Leucothoidae

白鉤蝦 *Leucothoe alata* (附生)

螺羸蜚科 Corophiidae

螺羸蜚 *Corophium uenoi* (附生)

Corophium crassicorne (附生)

Nippochelura brevicauda (附生)

麥桿蟲科 Caprellidae

麥桿蟲 *Caprella scaura* (附生)

原足目 Tanaidacea

原足科 Tanaidae

原足蟲 *Anatanais normani* (附生)

尾索動物門 Prochordata

海鞘綱 Ascidiacea

內性目 Enterogona

二段海鞘科 Didemnidae

毛氏白腹海鞘 *Didemnum moseleyi* (附著, 群體)

玻璃海鞘科 Cionidae

玻璃海鞘 *Ciona intestinalis* (附著)

側性目 Pleurogona

菊海鞘科 Batryllidae

史氏菊海鞘 *Botryllus* sp. (附著, 群體)

瘤海鞘科 Styelidae

褶瘤海鞘 *Styela plicata* (附著)

冠瘤海鞘 *Styela canopus* (附著)

植物部分：

綠藻植物門 Chlorophyta

綠藻綱 Chlorophyceae

管枝藻目 Siphonocladales

布氏藻科 Boodleaceae

布氏藻 *Boodlea composite*

石蓴目 Ulvaceae

石蓴科 Ulvaceae

腸澼苔 *Enteromorpha intestinalis*

褐藻門 Phaeophyta

褐藻綱 Phaeophyceae

水雲目 Ectocarpales

水雲科 Ectocarpaceae

水雲 *Ectocarpus confervoides*

紅藻門 Rhodophyta

紅藻綱 Rhodophyceae

仙菜目 Ceramiales

仙菜科 Ceramiaceae

紅藻 sp. *Ceramiaceae* sp.

在這些附著生物中，端足目的部份種類不易區分，乃將這些容易混淆的種類予以合併。片鉤蝦、泥鉤蝦與馬爾它鉤蝦，具淡黃體色與長觸角，合稱為鉤蝦(長觸角)；另兩種體色淡黃之玻璃鉤蝦與白鉤蝦則有短觸角，合稱為鉤蝦(短觸角)；而螺贏蜚科的三種螺贏蜚(*Corophium ue-noi*, *Corophium crassicorne*與 *Npochelura brevicauda*皆具為淡黃體色雜以黑斑，此三種合稱為螺贏蜚。此外，部份種類未能鑑定至‘種’之階層，乃以‘sp.’稱之。基隆港區常見附著生物圖，詳見附錄。

(二)附著生物之時空差異

示如表3.1, 附著生物種類與豐度不僅因試片擺放地點不同而有所差異，也會因擺放期間長短，而有所變異。西26, 西27 號碼頭的兩次採樣，共採獲11種動物與 4種植物，動物以苔蘚蟲、旋鰓蟲與鉤蝦(長觸角)數量較多，植物則以水雲較多。5號試架有8種動物而未發現植物，以苔蘚蟲、線蟲與旋鰓蟲為優勢種。4號試架有13種附著生物，比5號試架多了螺贏蜚、兩種海鞘與 4 種植物；以旋鰓蟲與鉤蝦(長觸角)為優勢種。此外，苔蘚蟲、線蟲、旋鰓蟲與藤壺的數量均有明顯的減少。

西21, 西22 號碼頭的兩次採樣共採獲 11種動物與4種植物，動物以線蟲與旋鰓蟲較多，植物則以布氏藻與水雲較多。21號試架僅採獲 6種附著動物而無植物，線蟲與旋鰓蟲為優勢種。20號試架的 11種動物中，線蟲、旋鰓蟲與史氏菊海鞘為優勢種，4種植物中，則以布氏藻與水雲為優勢種。20號試架較17號試架多了鉤蝦(長觸角與短觸角)與史氏菊海鞘，及 4種植物。14號試架之附著生物種類及優勢種，與20號試架相似，僅增多了少量的鉗貝、沙蠶與毛氏白腹海鞘等三種，而少了水雲藻一種。因此，若將14號試架與20號試架之附著生物合併，則西21, 22 號碼頭共有15種動物與 4種植物。

東2 碼頭兩次採樣共採獲27種附生動物，而未採獲任何植物。10號試架共採獲25種附著動物，以旋鰓蟲、螺贏蜚、鉤蝦(長觸角)與毛氏白腹海鞘為優勢種。9號試架 25種附著動物中，以螺贏蜚、鉤蝦(長觸角)與史氏菊海鞘為優勢種。10號試架中即已稀少的膜孔苔蟲與線蟲，不復在9號試架發現。旋鰓蟲、藤壺與優勢的毛氏白腹海鞘也都大量減少，而玻璃海鞘、褶瘤海鞘的數量則增加。此外，史氏菊海鞘則大量增加。

整體而言，三個碼頭兩次採樣間均有一些相似的變化，包括了：苔蘚蟲、線蟲與藤壺數量都減少或消失，而團水虱、螺羸蜚與鉤蝦類的數量則增加。

然而，三個碼頭間的附著生物則有所不同。21, 22 號碼頭與 26, 27 號碼頭的附著生物，不僅在種類與優勢種相似，因浸漬時間不同而產生的變化也相近。第一次採樣時種類少，且皆無任何藻類附著，以苔蘚蟲與旋鰓蟲等小形附著生物或線蟲等微小之附生生物為主。第二次採樣時，附著種類大量增加，也增加了四種藻類；雖然小形附著與微細附生生物仍多，但也增加了一些行管棲的中、小形附生生物，但數量不多，如：團水虱、螺羸蜚與鉤蝦類。較大形的附著生物，如：貝類與海鞘類則數量稀少或未曾發現。

東 2 碼頭的附著生物則與前兩個碼頭有明顯的不同：種類多，無附生藻類，浸漬時間長短並未造成明顯變化；且以大形的附著生物與中小形附生生物為優勢。

(三) 試片材質與處理造成的差異

在相同擺放地點，附著生物的種類與數量與試片處理有關(表3.2至表3.8)。有機錫塗料與無機錫塗料之試片上，附著生物之種類與數量均少，而且以線蟲與苔蘚蟲為主；浸漬六個月後，才增加了少數的貝類、螺羸蜚、鉤蝦、群棲性海鞘與藻類。而其他四種材質試板之附著生物的種類與數量，則沒有明顯的差別。

有機錫塗料，無機錫塗料 < 陰極，不銹鋼，混凝土，控制組

(四) 試片深度的差異

在相同擺放地點，相同材質的試板，附著生物的種類與數量，與試片擺置深度有點關係；但上層的試片表面附著生物的種類與數量較少，中間兩層的試板表面附著生物則似乎較多(表3.2至表3.8)。此種現象以附著生物種類較多或增加後愈形明顯。如：東2碼頭之9號試架之上層試片有8種生物，中層則分別有17與 24種生物，下層則有18種生物。東 2 碼頭10號試架則分別有11種、22種、21種與 16種附著生物。而就各別種類之深度分布而言，海鞘類生物以中、下層試板較多；貝類、藤壺

與藻類以中、上層較多；多毛類與苔蘚蟲類以中層較多。而團水虱、螺、蠃蜚與鉤蝦類則無明顯的深度變化。

三、實驗室內生物腐蝕

(一)海水中pH之變化,除水泥塊之外其它任何一種試片,在非生物實驗組與生物實驗組有很明顯之差異,非生物實驗組pH變化少,而生物實驗組變化較大。

含裸鋼、不銹鋼或是裸鋼加上鋅片(犧牲陽極)、藍色油漆片之生物實驗組 pH 依培養時間增長而增加,可是含紅色油漆試片之實驗組及含水泥塊之實驗組pH依培養時間增長而減少。以下以各種試片作一說明:

1. 裸鋼:

各碼頭表層水、3M水、9M水之裸鋼試片實驗,其各水層與各組之pH變化範圍如下:

採水位置	試驗組別	pH 值之變化 / 70 days	
		表層水	3M 水 9M 水
東 2 號	滅菌組	7.5 ~ 8.32	
	海水組	8.36~ 9.46	
	海水+ BESA	8.40~ 9.35	
	海水+ $\text{MoO}_4^{=}$	8.33~9.26	8.29~8.88
西 22 碼頭	滅菌組	8.1 ~ 8.32	
	海水組	8.2 ~ 9.24	
	海水+ BESA	8.34~ 9.2	
	海水+ $\text{MoO}_4^{=}$	8.2 ~8.95	8.2 ~9.24
西 27 碼頭	滅菌組	8.12~ 8.32	
	海水組	8.2 ~ 9.45	
	海水+ BESA	8.30~ 9.35	
	海水+ $\text{MoO}_4^{=}$	8.32~ 9.07	

由以上裸鋼浸泡在各碼頭及各不同水層結果來看，其滅菌組變化比其他各組為小，其他各組pH變化有明顯增加趨勢，滅菌組的pH較低浸泡70天後滅菌與實驗組之pH差約有1.0。如圖3.8及3.9所示。

除東2碼頭表層海水+ MoO_4^{2-} 其pH變化與海水+BESA組及實驗組相差不多(如圖3.10)，其他各碼頭水層海水+ MoO_4^{2-} 其pH值增加情形比海水+BESA組及實驗組緩慢皆約20天後pH才有增加情形(如圖3.11所示)，故推測添加 MoO_4^{2-} 初期有抑制海水中硫酸還原菌活動現象但後期可能由於生物膜形成後硫酸還原菌不直接與 MoO_4^{2-} 接觸，故 MoO_4^{2-} 無抑制作用、海水之pH值有升高現象，滅菌組則因抑制細菌活動故pH值無明顯變化，海水+BESA組及實驗組因不影響微生物活力故pH值有漸漸升高現象。但從這些實驗組可以知道浸泡50天後pH升至9.0-9.2後pH值即有穩定下來不再增加之趨勢。這可能是在此高pH值下一般生物不易作用之緣故。

2. 紅色油漆片：

以東2碼頭3m深處水之塗有紅色油漆片浸泡結果如下：

採 水 位 置	試 驗 組 別	pH 值之變化/73 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	7.66 ~ 7.87
	海水組	7.56 ~ 7.76
	海水 + BESA	7.68 ~ 7.48
	海水 + MoO_4^{2-}	7.7 ~ 7.84

以上可見各組pH變化皆很少為 0.2之間明顯的紅色油漆有抑制微生物活動之作用。

紅色油漆片浸泡在含 MoO_4^{2-} 或是含BESA之海水60天之變化幾乎與滅菌組相同，其pH與實驗組相比低約1.0。

3. 藍色油漆片：

以加入東 2 碼頭 3m 深處水之塗有藍色油漆試片實驗結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化 / 73 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	8.59 ~ 8.35
	海水組	7.96 ~ 7.99
	海水 + BESA	7.86 ~ 7.8
	海水 + MoO_4^{2-}	7.92 ~ 8.06

以上可見各組pH變化皆很少為0.2之間，明顯的藍色油漆有抑制微生物活動之作用。藍色油漆片浸泡在含 MoO_4^{2-} 之海水60天其pH之變化幾乎與滅菌組相同，其pH與實驗組相比低約1.0。

4. 不銹鋼片：

以加入東 2 碼頭 3m 深處水之不銹鋼試片實驗結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化 / 71 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	8.62 ~ 8.68
	海水組	8.17 ~ 8.71
	海水 + BESA	8.52 ~ 8.62
	海水 + MoO_4^{2-}	8.58 ~ 8.64

實驗組pH升約0.5, 第30天就平穩下來其他各組pH幾乎沒有變化且較低。

5. 混凝土塊：

以加入東 2 碼頭 3m 深處水之混凝土塊實驗結果如下：

採水位置	試驗組別	pH 值之變化/57 days
		3M 水
東 2 號	滅菌組	10.64 ~ 10.64
	海水組	10.68 ~ 10.70
	海水 + BESA	10.69 ~ 10.32
	海水 + $\text{MoO}_4^{=}$	10.68 ~ 10.9

由以上可見各組pH並沒有明顯變化。如圖3.12所示pH偏高的原因是水泥是鹼性，且培養海水量較水泥塊重量還少，另生物不易在此高pH作用。

6. 大裸鋼片及鋅塊：

以加入東 2 碼頭3m深處水之大裸鋼片實驗結果如圖3.13其pH變化為8.28~8.51/71days，另大裸鋼片加上犧牲鋅極實驗結果如圖 4.8其pH變化為 6.31~7.0/71days，由此實驗可見加上鋅極片明顯降低pH值可能也有抑制微生物活力效果。另不加試片之海水pH由7.86~8.54 /73 days, 而滅菌海水pH由8.7~8.5/73 days, 未滅菌海水pH升高約0.7而滅菌海水pH不升反而降約 0.1，故由此可以看出，海水中之微生物作用造成pH之升高，故非生物浸泡與生物培養皆會造成pH之變化。

(二)依肉眼之觀察，發現滅菌組之試片產生之鐵銹並不比生物培養組之試片產生之鐵銹少。滅菌組之鐵銹似乎是較重較大粒，而生物培養

組之鐵銹像是棉絮狀，並在瓶子之表層形成一個薄薄的黑膜。可能是生物作用(電化學作用)與非生物作用產物不同，此鐵銹有待分析以進一步證實。

- (三)不論是何種試片之實驗，海水內添加 MoO_4^{2-} (硫酸還原菌抑制劑)者pH之變化比起海水對照組，或是海水內添加BESA(甲烷產生菌抑制劑)者少，腐蝕速率也小，故硫酸還原菌在厭氧腐蝕作用較重要。硫酸還原菌之活力(activity)或是硫酸還原作用，可能是造成pH變化之主要原因。
- (四)在生物培養實驗，剛開始海水中有很低濃度的硫離子，依培養時間增長，硫離子濃度增加，而硫酸根離子濃度則依培養時間增長而降低，如圖3.14及3.15所示，此即硫酸還原作用。不論是何種鋼片取何處之海水皆有此現象，但此現象以用裸鋼加入東2碼頭表層水之實驗最顯著。實驗組與海水+BESA組之硫酸還原率最高。可能因東2碼頭表層水比起西22碼頭，西27碼頭污染程度較高，其有機物含量可能造成東2碼頭表層水硫酸還原速率較高。
- (五)紅色油漆內含抗生物附著劑(antifouling agent)，但不含錫。藍色油漆內則含抗生物附著劑及錫。雖然含紅色油漆或是藍色油漆試片之海水pH都會下降，且兩者pH下降之速率並沒有多大差異，但從肉眼觀察，含藍色試片比含紅色油漆之海水較清澄，也只在一二處角落看到鐵銹，含紅色試片之海水則有許多紅色小粒狀之物像是油漆剝落。造成pH降低之原因則不明有待進一步之研究。有關藍色油漆是否較毒就不清楚，此亦有待進一步研究。
- (六)裝有鋅片(犧牲陽極)之裸鋼不會生銹，反而在裸鋼之表面四周產生白色的鹽。沒有裝鋅片之裸鋼則產生許多黑色棉絮狀之黑色銹於裸鋼表面四周。
- (七)裸鋼之生銹在水污染較嚴重之東2碼頭表層海水最多，在3m深處或是9m深處鐵銹似乎少一點，其他碼頭水不論是表層水或是3m深處水，9m深處水，鐵銹程度相近，此論點俟爾後量測各碼頭各深度海水之總碳量後，可以較明確。
- (八)通常鋼片試片放入海水中，很快地就有一層很薄的生物膜產生。已有報告指出硫酸還原菌屬於金屬表面很複雜之生物膜內微生物群（

microbial community)之一員。生物膜是一個很生動的(dynamic)構造，其中包括有細胞，胞外多糖類(extracellular polymeric substances)及無機物(包括腐蝕物)。此生物膜位於金屬與外界海水之間有傳遞溶解物質與氣體的功能。含試片之海水經生物或是非生物培養一段時間後，pH升高至9.4以上或是6.0以下，對生物膜之影響，甚至腐蝕速率之影響有待查明。

- (九)現場試驗(field test)約兩個月後亦發現，不同碼頭的水或是不同深處的海水對裸鋼腐蝕之程度似乎是無直接關係。塗上油漆不論含錫或是不含錫很明顯地降低腐蝕及附著生物附著之機率。
- (十)不論是含任何一種試片或是不含試片之海水中 Cl^- ， Ca^{+2} ， Mg^{+2} 離子之濃度在浸泡期間皆一樣沒有變化，如圖3.16~3.23所示。

表3.1 試片擺放三個月(84.1)與六個月(84.4)後,不同擺放地點,附著生物的種類與數量。
以各試片之採樣數量推估各站試片上各種生物之平均總量。()內為採集月份。

				西26.27碼頭		西21.22碼頭			東2 碼頭	
				NO.5 (84.1)	NO.4 (84.3)	NO.17 (84.1)	NO.20 (84.3)	NO.14 (84.3)	NO.10 (84.1)	NO.9 (84.3)
外肛動物門	苔蟲綱	唇口目	膜孔苔蘚蟲	C	0	R	R	0	R	
			裂孔苔蘚蟲	0	0		R	0		
			多室草苔蟲	0					0	R
	裸唇綱	梯口目	葡萄苔蟲						0	0
線形動物門	線蟲綱		線蟲	C	0	A	0	0	R	R
扁形動物	渦蟲綱	三歧腸目	渦蟲						R	R
軟體動物	斧足綱	翼形目	翡翠貽貝						R	R
			牡蠣						0	0
			扇貝	R		R	R	R	R	R
			鉗貝					R	R	R
環節動物門	多毛綱	纓鰓蟲目	旋鰓蟲	A	C	0	0	C	A	0
			纓鰓蟲						0	R
		葉鰓蟲目	沙蠶					R	R	R
			水蠶						R	
			游蠶						R	
節肢動物門	甲殼綱	完胸目	三角藤壺	0	R	R	R	R	0	R
			網紋藤壺						0	R
		等腳目	圓水虱			R	R	R	C	R
		端腳目	螺蟲蜚		R	R	R	R	C	C
			鉤蝦(長觸角)	0	C		R	R	C	C
			鉤蝦(短觸角)				R	R	0	0
			參桿蟲						R	R
尾索動物門	海鞘綱	原足目	原足蟲							R
		內性目	玻璃海鞘						0	0
			毛氏白腹海鞘		R			R	A	R
		側性目	褶瘤海鞘						R	0
			冠瘤海鞘						0	0
			史氏菊海鞘		C		R	0		C
綠藻門	綠藻綱	管枝藻目	布氏藻		R		0	0		
		石蓴目	腸漚苔		R		R	R		
紅藻門		仙菜目	紅藻sp.		R		R	0		
褐藻門		水雲目	水雲		0		0			
總種數				8	13	6	15	17	25	26

R:1-5隻(株), 0:6-50隻(株), C:51-500隻(株), A:500隻(株)以上

表3.2 試片擺放三個月(84.1)與六個月(84.4)後，不同擺放地點，附著生物的種類與數量。
以各試片之採樣數量推估各站試片上各種生物之平均總量。()內為採集月份。

				西26.27碼頭		西21.22碼頭			東2 碼頭	
				NO.5 (84.1)	NO.4 (84.3)	NO.17 (84.1)	NO.20 (84.3)	NO.14 (84.3)	NO.10 (84.1)	NO.9 (84.3)
腸腔動物門	水螅蟲綱	花水母目	筒螭						O	O
外肛動物門	苔蟲綱	唇口目	膜孔苔藓蟲	C	O	R	R	O	R	
			裂孔苔藓蟲	O	O		R	O		
			多室草苔蟲	O					O	R
線形動物門	線蟲綱		線蟲	C	O	A	O	O	R	R
扁形動物	渦蟲綱	三岐腸目	渦蟲						R	R
軟體動物	斧足綱	翼形目	翡翠貽貝						R	R
			牡蠣						O	O
			扇貝	R		R	R	R	R	R
			鉗貝					R	R	R
環節動物門	多毛綱	纓鰓蟲目	旋鰓蟲	A	C	O	O	C	A	O
			纓鰓蟲						O	R
		葉鰓蟲目	沙蠶					R	R	R
			水蠶						R	
			游蠶						R	
節肢動物門	甲殼綱	完胸目	三角藤壺	O	R	R	R	R	O	R
			網紋藤壺						O	R
		等腳目	圓水虱			R	R	R	C	R
		端腳目	螺贏蜚		R	R	R	R	C	C
			鈎蝦(長觸角)	O	C		R	R	C	C
			鈎蝦(短觸角)				R	R	O	O
			麥桿蟲						R	R
尾索動物門	海鞘綱	原足目	原足蟲							R
		內性目	玻璃海鞘						O	O
			毛氏白腹海鞘		R			R	A	R
		側性目	褶瘤海鞘						R	O
			冠瘤海鞘						O	O
			史氏菊海鞘		C		R	O		C
綠藻門	綠藻綱	管枝藻目	布氏藻		R		O	O		
		石莖目	腸浒苔		R		R	R		
紅藻門		仙菜目	紅藻sp.		R		R	O		
褐藻門		水雲目	水雲		O		O			
總種數				8	13	6	15	17	25	26

R:1-5隻(株)，O:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上

表3.3 在西26.27號碼頭(NO.5)擺放三個月後(84年1月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第一層						第二層						第三層						第四層						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
裂孔苔蘚蟲	-	-		-		-		C	C	C	C	-	-	C			C	-	-				C	
膜孔苔蘚蟲				0	0				0	0	0			0	0	0	0				0			
多室苔蘚蟲	-	-		-		-	R	C	0	0	0	-	-	0	0	R	R	-	-	R	R	0	0	
綠蟲	-	-	C	0	-	0	-	C	0	C	C	-	-	0	0	C	0	-	-	0	C	0	C	
扇貝										R														
三角藤壺	-	-	0	0	-	R	-	R	R	0	R	R	-	-			0	-	-		0	R		
螺蟲蜆	-	-	R		-	R	-		0	0	0	R	-	-	C	0	0	0	-	-	0	0	0	
旋鰓蟲	-	-	C	0	-	0	-		C	C	0	C	-	-	C	C	C	C	-	-	C	R	C	
種數			4	4	1	4			3	6	8	7	7			6	5	5	7			4	6	5

R:1-5隻(株), 0:6-50隻(株), C:51-500隻(株), A:500隻(株)以上, -:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.4 在西26.27號碼頭(NO.4)擺放六個月後(84年3月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第一層						第二層						第三層						第四層						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
裂孔苔蘚蟲								0	C	0	R				C	0	R	R						
膜孔苔蘚蟲									C	0	R				0			R			0	R	R	R
綠蟲						0	0	0				0	0						0	0				
旋鰓蟲									C	0		0			C	C	0	0			C	0	0	0
三角藤壺									R	0					R					R	R	R		
螺蟲蜆												R				R			R			0	R	R
鈎蝦(長觸角)																		R						
毛氏白腹海鞘									R	R														
史氏菊海鞘									0	C	C	C			C	0	C	C	R		0	0		
布氏藻									0	C						R								
腸游苔																	R							
水雲									R	0	R	R			R	R	0				R			
紅藻									0	R					R	0					R	R		
種數						1	2	10	9	4	4	1	1	7	7	5	4	3	2	6	6	4	2	

R:1-5隻(株), 0:6-50隻(株), C:51-500隻(株), A:500隻(株)以上, -:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.5 在西21.22號碼頭(NO.20)擺放六個月後(84年4月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第 一 層						第 二 層						第 三 層						第 四 層						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
裂孔苔蘚蟲									0					0	0									
膜孔苔蘚蟲																0	0	0	C					
綠扇貝	C	C	C	0	0	R	0	0	C	0	R	R	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
旋鈕蟲				R	R	R		0	0	0	0	0	0		0	0	0	R	R	0				
三角藤壺						R						R								0			0	
圓水虱						R																	R	
螺蟲蜆			R			0			R		R				R		R				R	R	R	
鈎蝦(長觸角)											0	R												
鈎蝦(短觸角)		0			0																			
史氏菊海鞘								0	0	R				0	R									
布氏藻			R	R	0		C	C	C	C		C	C	0	R	0	C	R	R		R	R		
腸游苔					R		R				R	R					0							
水雲		0	0	R			0	0	R	0						R	0					R	R	
紅藻			R	0			0	0	R	0				R	0	0								
種數	1	1	6	5	4	8	1	2	7	7	9	5	4	2	7	8	7	7	2	5	5	4	5	4

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.6 在西21.22號碼頭(NO.20)擺放六個月後(84年4月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第 一 層						第 二 層						第 三 層						第 四 層						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
裂孔苔蘚蟲									0					0	0			0				0		
膜孔苔蘚蟲		0		0	0			0	0						0		0		0			0		
綠蟲	0	0	C	0		C	0	0				C	0					C	0			0		
扇貝								0		R				R						R				
鈎貝									R						R									
旋鈕蟲				0	0	R	0	C	0	0	0	R	R	C	0	R	R		0	C	0	0	0	
沙蠶											R													
三角藤壺					O				0															
圓水虱					R																			
螺蟲蜆			R		0	R		R	0	R	R					R	R		R			R	0	
鈎蝦(長觸角)											R					R						R		
鈎蝦(短觸角)			R								R					R						R		
毛氏白腹海鞘																					R	0		
史氏菊海鞘									0	C	0								0					
布氏藻				R	0	R	R	0	C	0	R		R	0	C	R	R			0	0	0	R	
腸游苔				R	R	R		R	0	0	R	0												
紅藻		R	R	0	R		R	R	0	R				0	0	0	R			R		0	C	
種數	1	2	2	8	7	4	4	5	8	10	7	7	2	3	5	6	5	5	1	4	6	3	9	4

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失
 1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片
 6:控制組試片

表3.7 在東2 號碼頭(NO.10) 擺放三個月後(84年1月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

	第一層						第二層						第三層						第四層					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
膜狀苔蘚蟲	-	-			0		-	-		0	0		-	-			0	0	-	-				
多室苔蘚蟲			0	0	0					0	0	0			0	0	0	0			0	0	0	0
筒地										0	0					0	0	0				0	0	
練蟲	-	-	0	0	0		-	-	0	0	0	R	-	-		R	R		-	-	R	R		
渦蟲	-	-					-	-					-	-			R	R	-	-				
翡翠貽貝	-	-					-	-					-	-					-	-			R	
牡蠣	-	-					-	-			R		-	-		R	0		-	-	R	R	0	R
扇貝										R		R				R					R	R	R	
鉗貝											R						R					R		
旋鰓蟲	-	-		R	R	R	-	-	C	C	A	C	-	-	C		C	C	-	-	C	0	0	C
螺鰓蟲	-	-					-	-	0	R	0		-	-		C	0	R	-	-	0	0	0	0
沙蠶	-	-					-	-					-	-		R		R	-	-				
水蠶	-	-					-	-					-	-		R			-	-				
游蠶	-	-					-	-					-	-		R			-	-				
三角藤壺	-	-					-	-					-	-			R		-	-		0		
網紋藤壺	-	-	0	0	0	R	-	-	0	0	0	0	-	-	0	C	C		-	-	0	0	0	
圓水虱	-	-			C		-	-					-	-	R	R			-	-				0
螺蟲蜆	-	-		0	0		-	-	0	0	R		-	-	R	0	R	C	-	-	0	C	0	A
鈎蝦(長觸角)	-	-		0	R		-	-	0	0	A		-	-	0	C	C	0	-	-	0	C	C	0
鈎蝦(短觸角)	-	-					-	-	R	0	0		-	-	R	0	0	0	-	-	0	0	0	0
麥桿蟲	-	-					-	-					-	-				R	-	-				R
玻璃海鞘	-	-					-	-	R		0	0	-	-			R	0	-	-		R		
褶瘤海鞘	-	-					-	-		R	0		-	-			R		-	-				
冠瘤海鞘	-	-					-	-	R	0	0		-	-			0	R	-	-				
毛氏白腹海鞘	-	-					-	-		C	C		-	-	A	A	A	C	-	-	A	A	A	A
種數			3	5	8	3			9	14	16	6			8	15	18	14			11	15	12	10

R:1-5隻(株)，0:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失

1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片

6:控制組試片

表3.8 在東2 號碼頭(NO.9) 擺放六個月後(84年3月)，不同材質試片在四種深度，附著生物之種類與數量。

第 一 層						第 二 層						第 三 層						第 四 層					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
多室苔蘚蟲																							
筒螭																							
線蟲																							
渦蟲																							
翡翠貽貝																							
牡蠣																							
扇貝																							
鉗貝																							
旋鰓蟲																							
纓鰓蟲																							
沙蠶																							
水蠶																							
游蠶																							
三角藤壺																							
網紋藤壺																							
團水虱																							
螺蟲蜆																							
鈎蝦(長觸角)																							
鈎蝦(短觸角)																							
麥桿蟲																							
原足蟲																							
玻璃海鞘																							
褶瘤海鞘																							
冠瘤海鞘																							
毛氏白腹海鞘																							
史氏菊海鞘																							
種數																							

R:1-5隻(株)，O:6-50隻(株)，C:51-500隻(株)，A:500隻(株)以上，-:未刮取或遺失

1:有機錫塗料 2:無機錫塗料 3:陰極試片 4:不銹鋼試片 5:混凝土試片

6:控制組試片

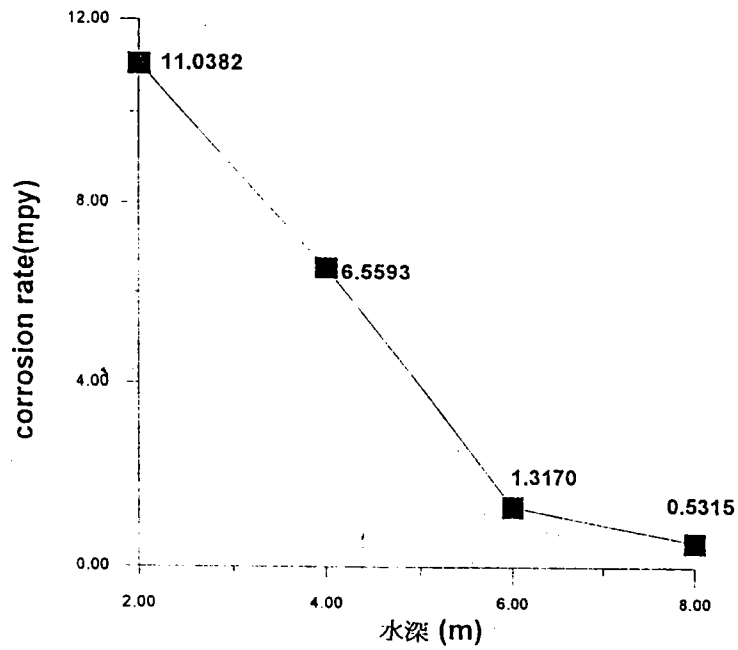


圖3.1 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係
(基隆港碼頭浸漬三個月)

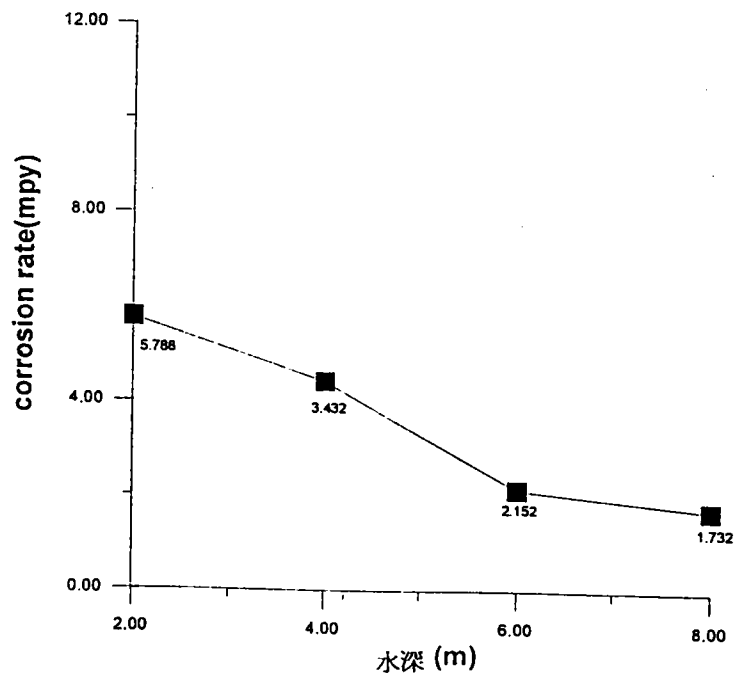


圖3.2 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係
(基隆港碼頭浸漬六個月)

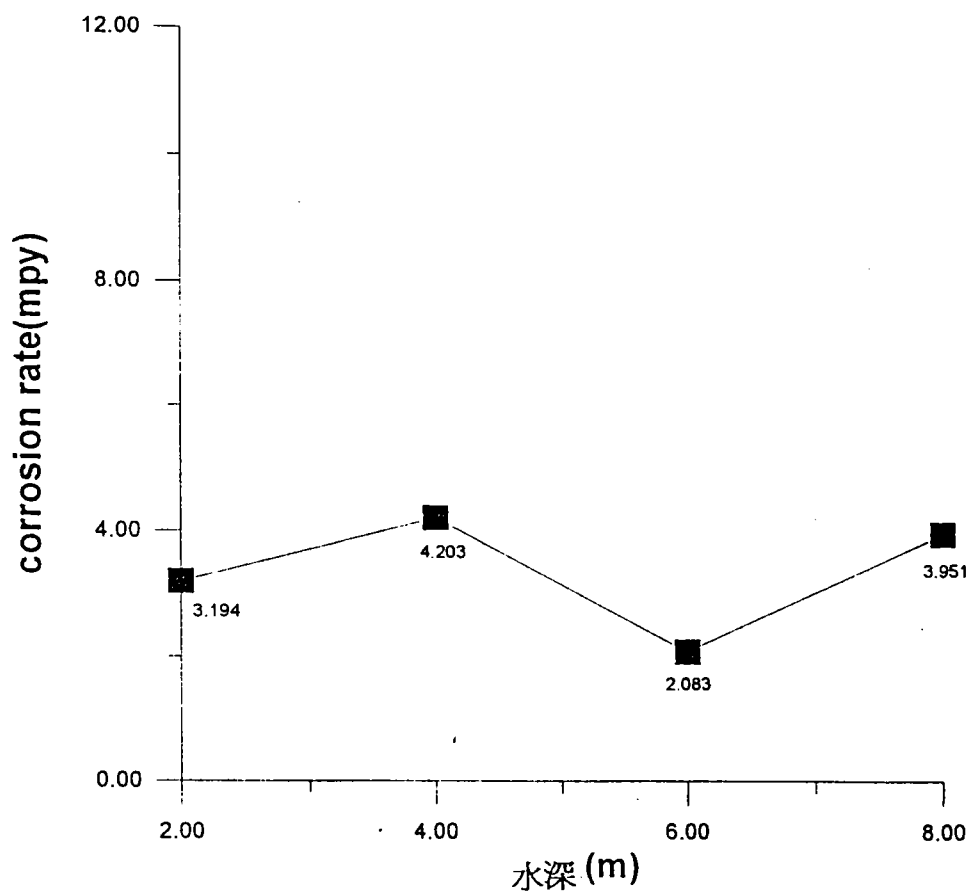


圖3.3 AISI 1015裸鋼腐蝕速率與海水深度關係
(浸漬在東二碼頭六個月)

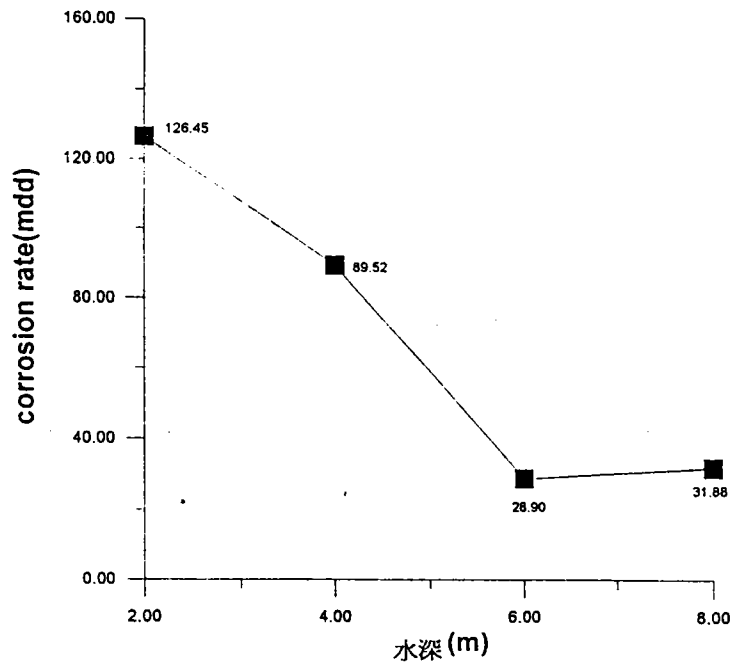


圖3.4 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬三個月).

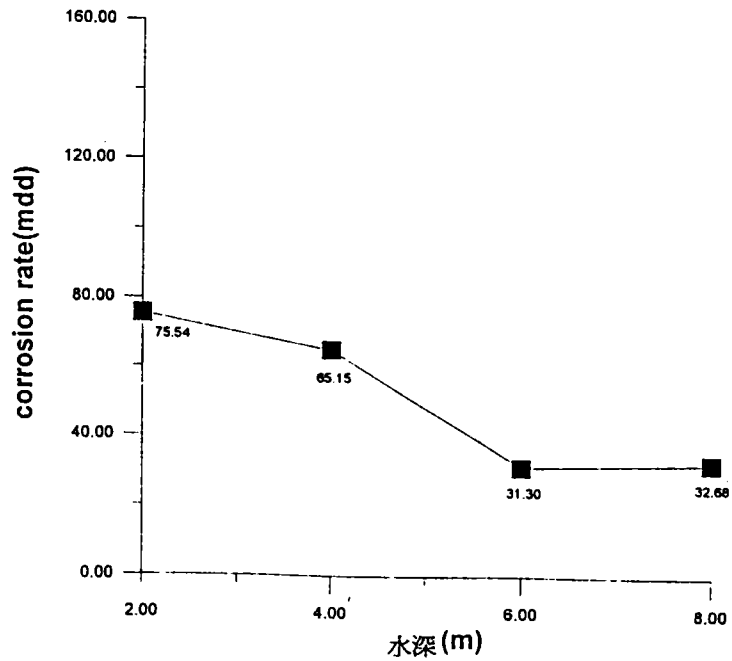


圖3.5 每天每單位面積犧牲陽極鋅損失的重量(浸漬六個月).

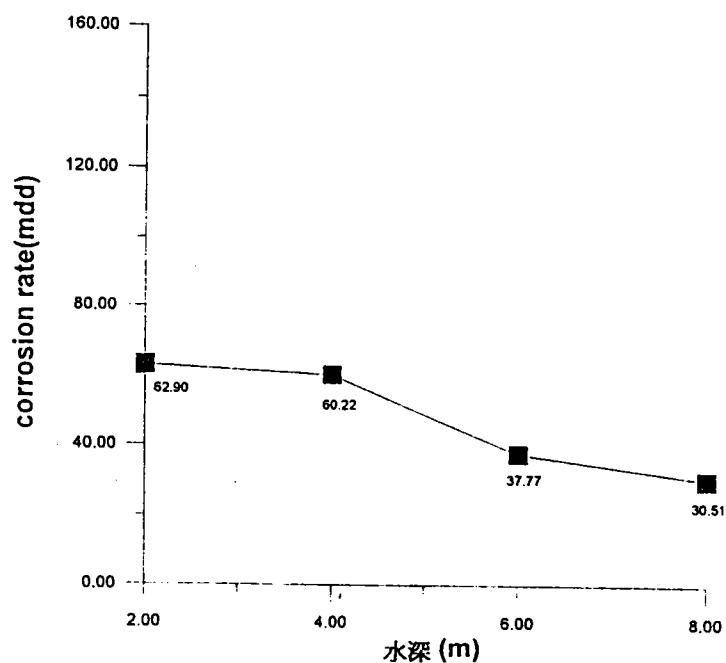


圖3.6 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量(浸漬三個月)

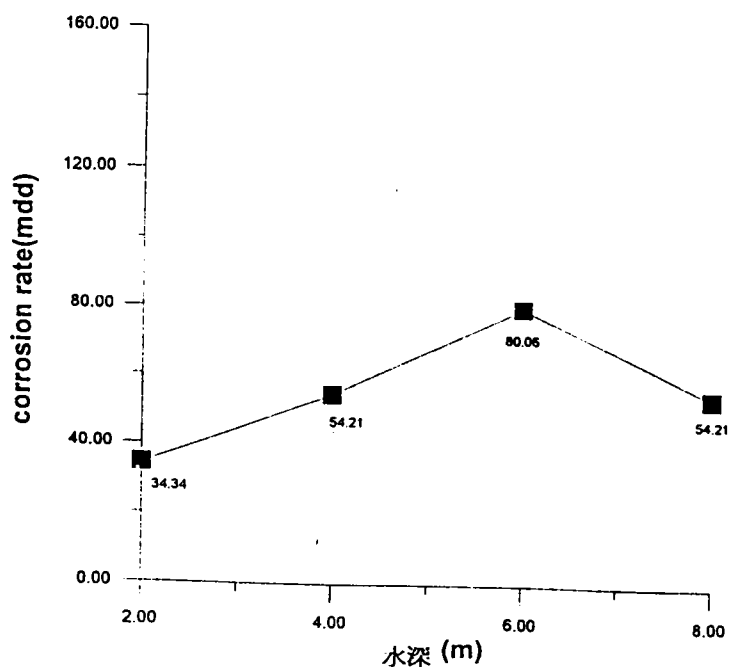


圖3.7 東二碼頭犧牲陽極每天每單位面積鋅塊損失的重量(浸漬六個月)

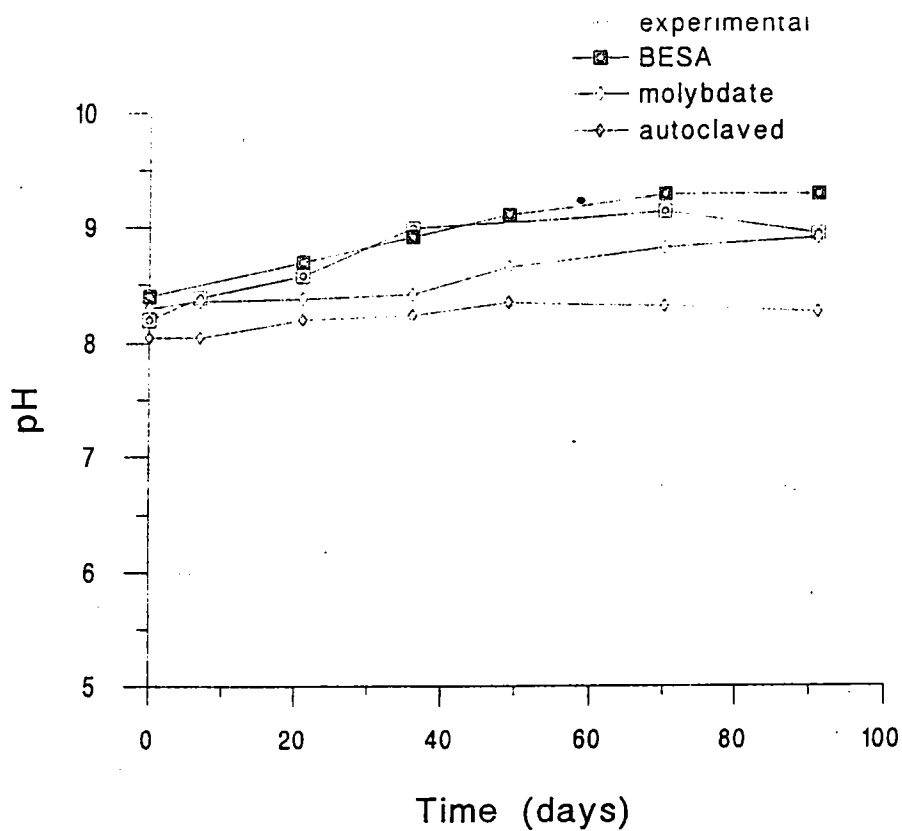


圖3.8 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 表層水)

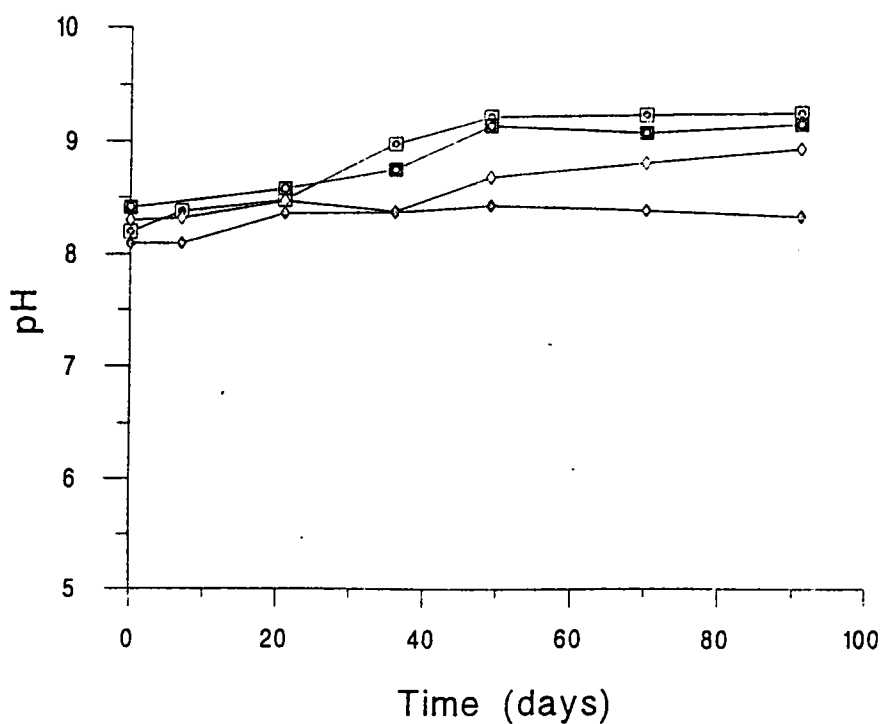


圖3.9 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西22碼頭, 3M 水)

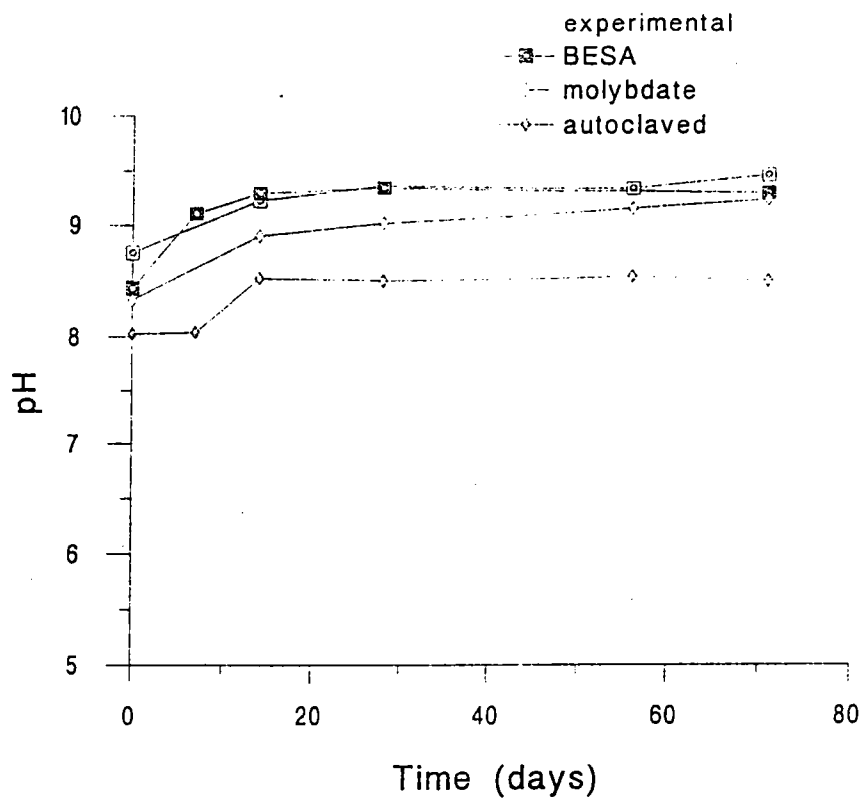


圖3.10 裸鋼之pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 表層水)

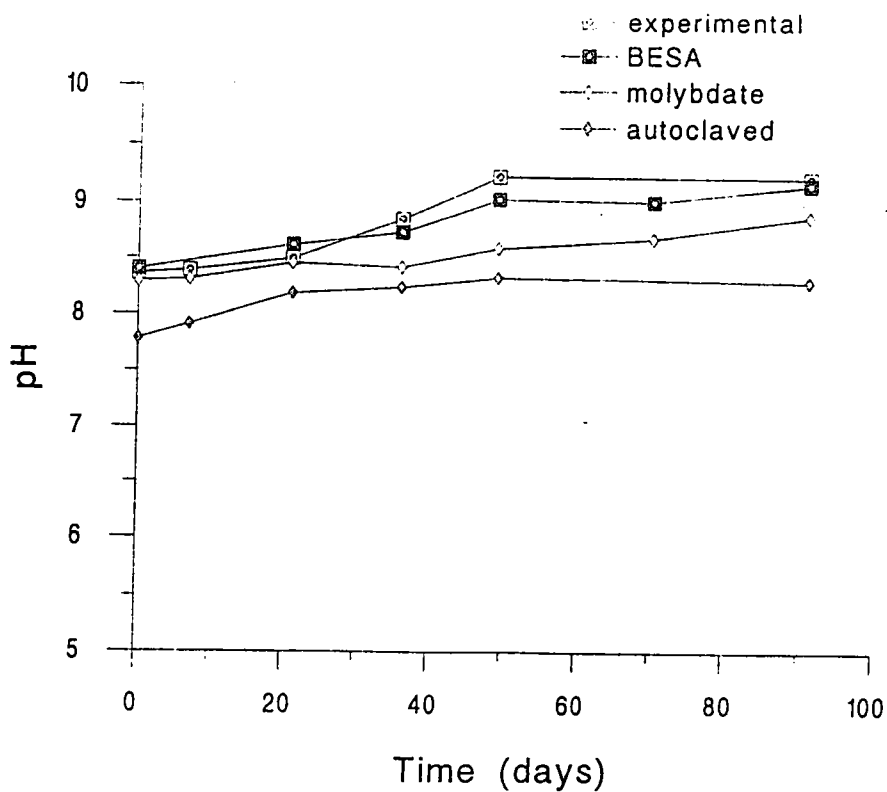


圖3.11 裸鋼之pH值與時間關係數圖(西2碼頭, 3M 水)

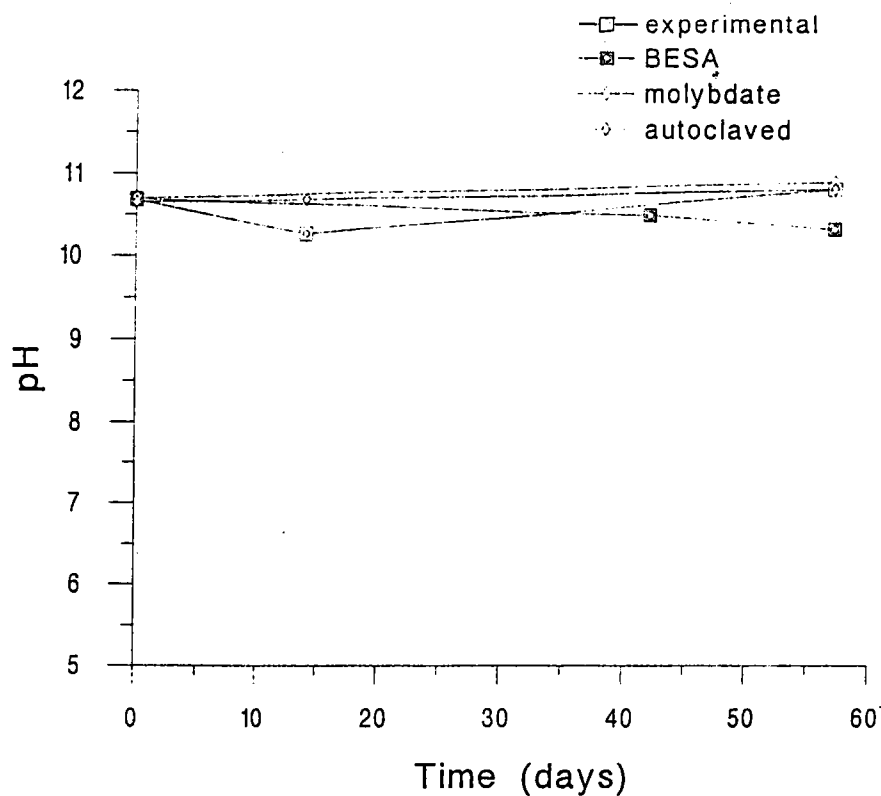


圖3.12 水泥塊之pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 3M 水)

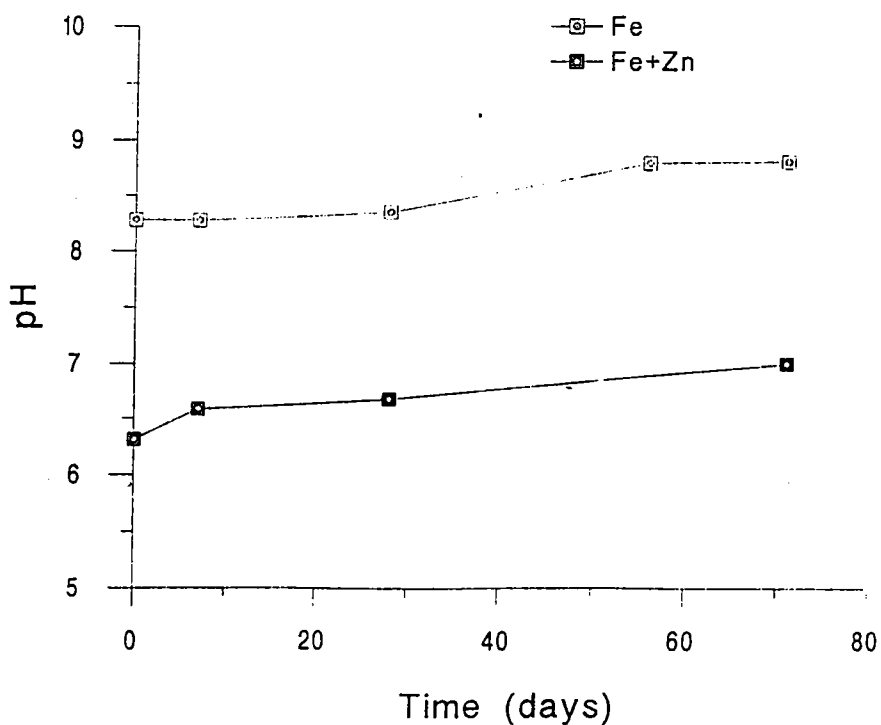


圖3.13 大裸鋼片及大裸鋼片加上犧牲陽極之 pH值與時間關係數圖(東2碼頭, 3M 水)

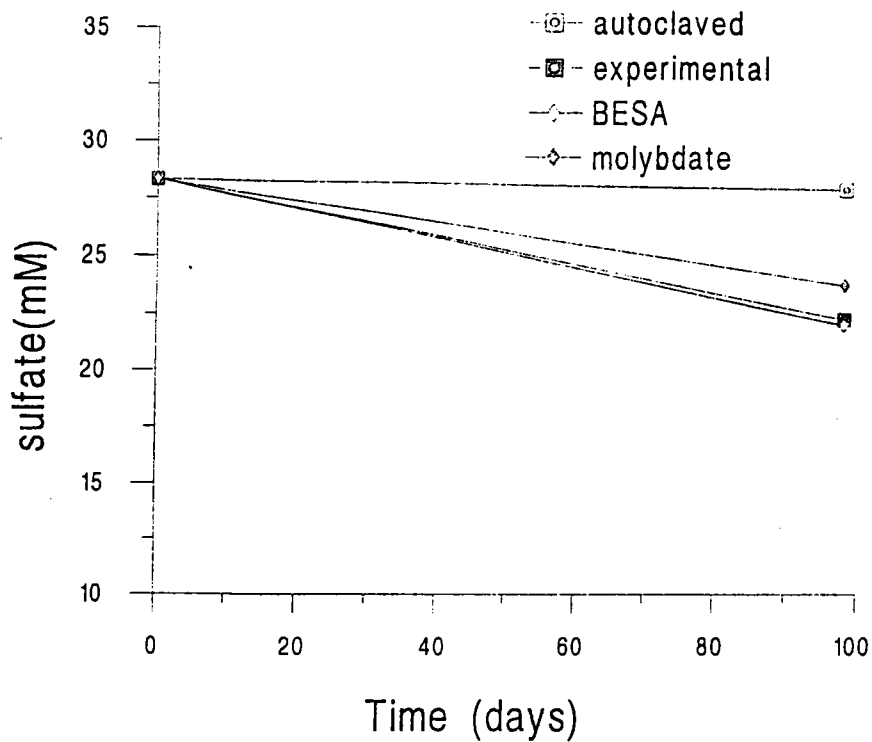


圖3.14 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

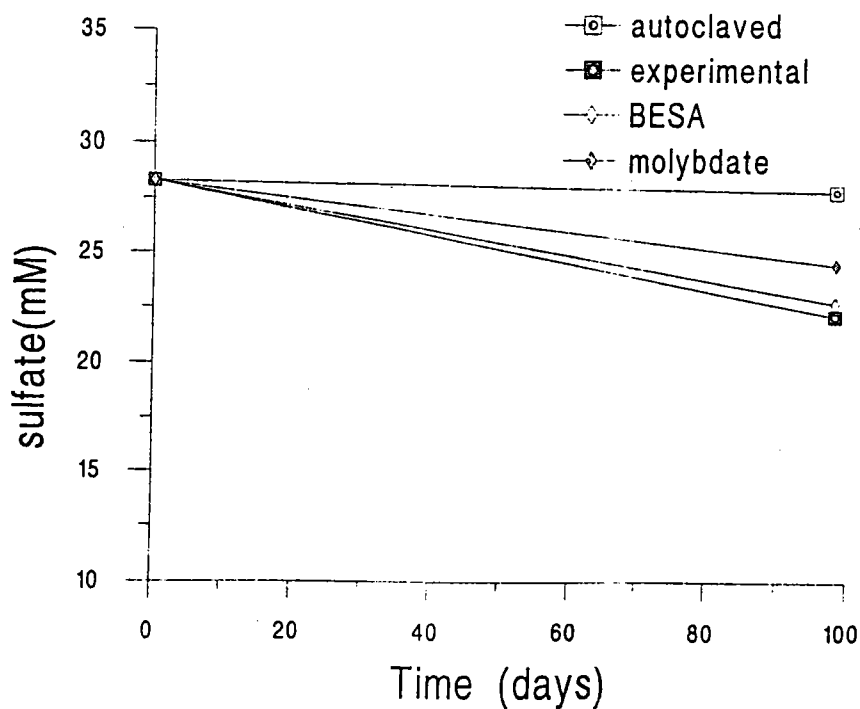


圖3.15 含裸鋼之海水之 sulfate 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西22碼頭表層水)

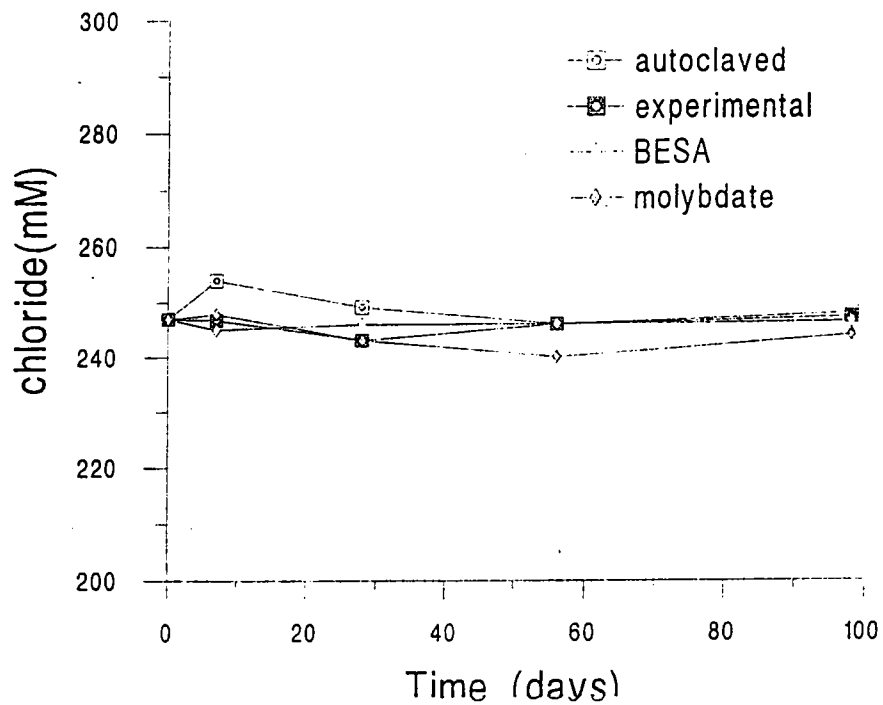


圖3.16 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

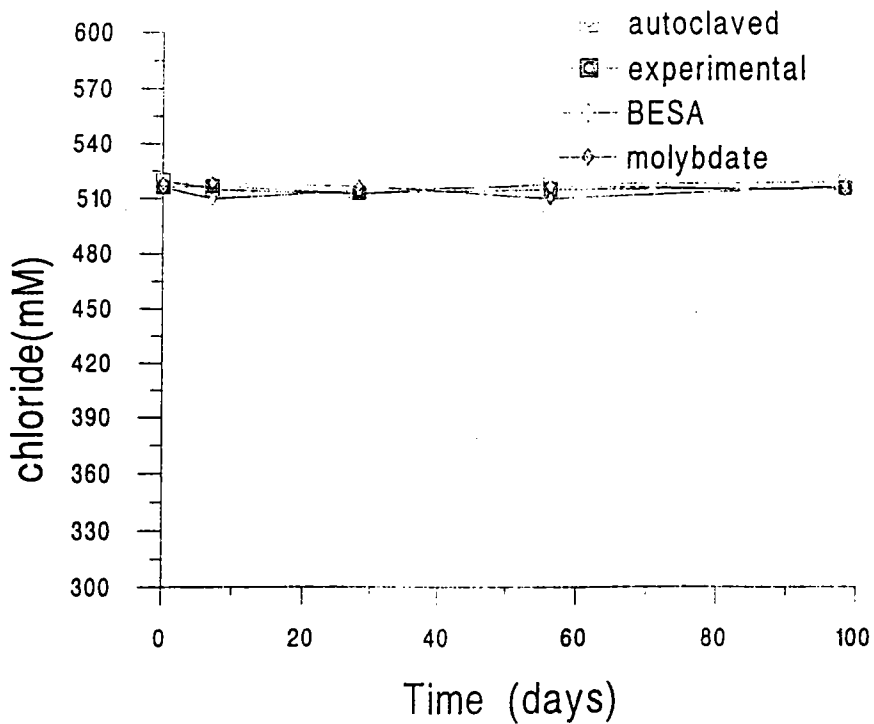


圖3.17 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭, 3M 水)

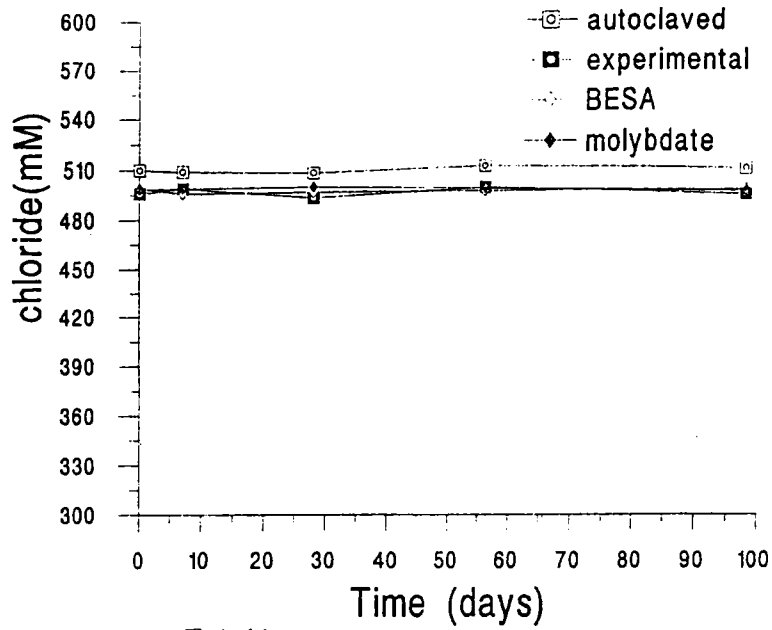


圖3.18 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西27碼頭表層水)

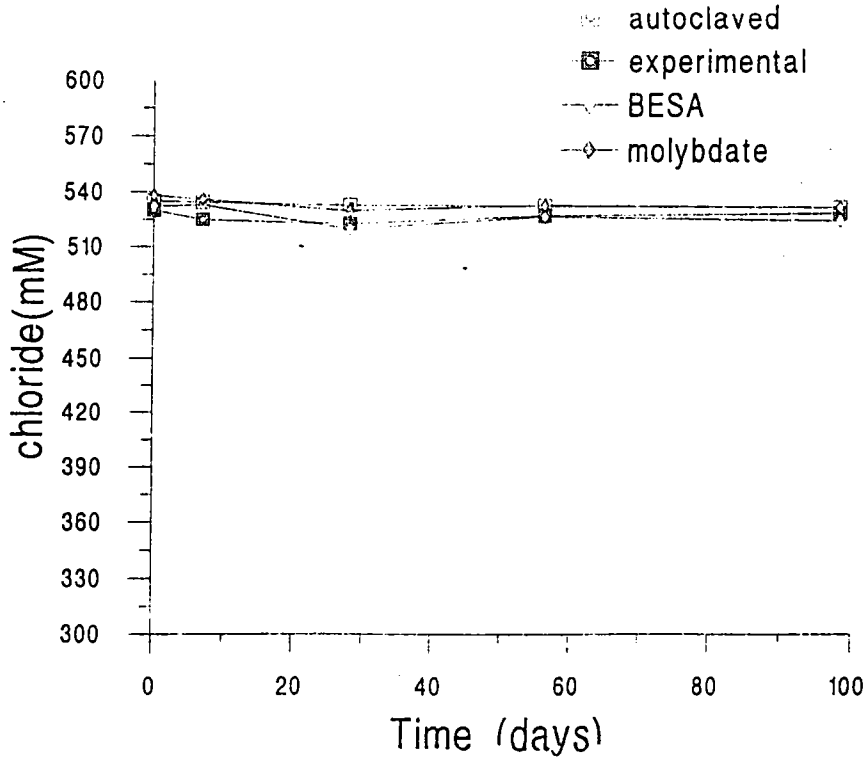


圖3.19 含裸鋼之海水之 chloride 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西27碼頭, 3M 水)

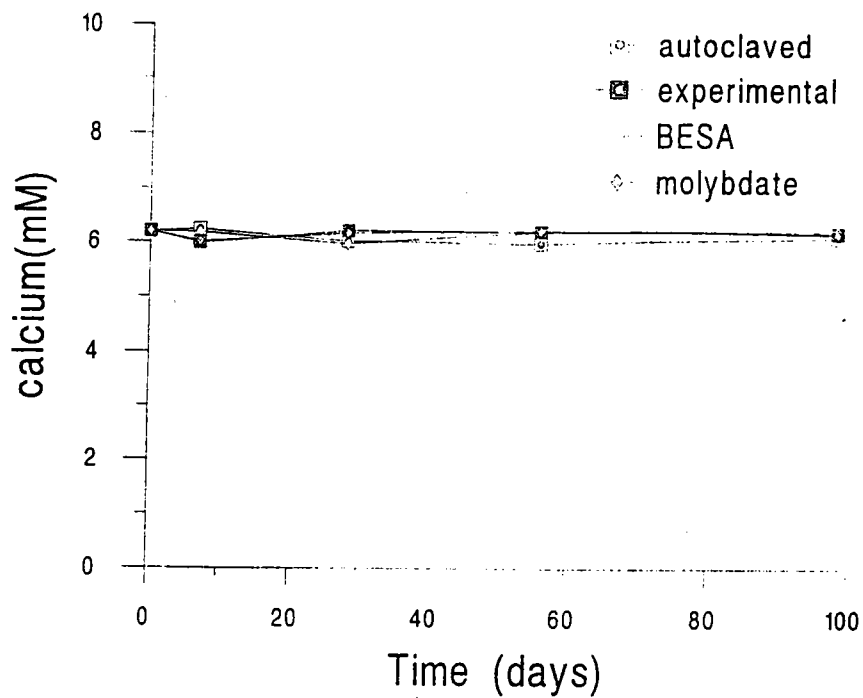


圖3.20 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

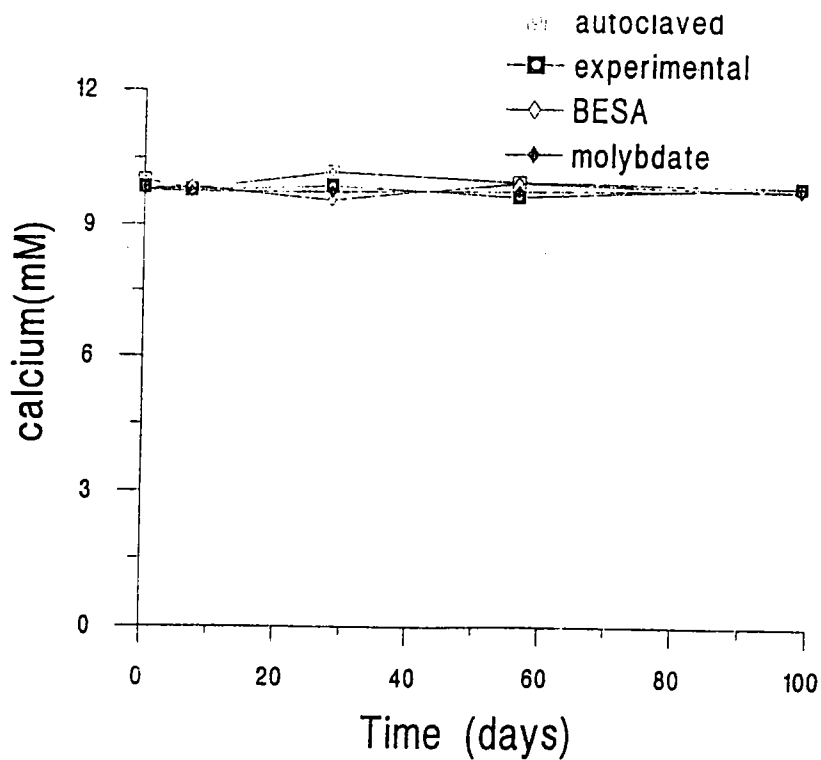


圖3.21 含裸鋼之海水之 calcium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自西22碼頭表層水)

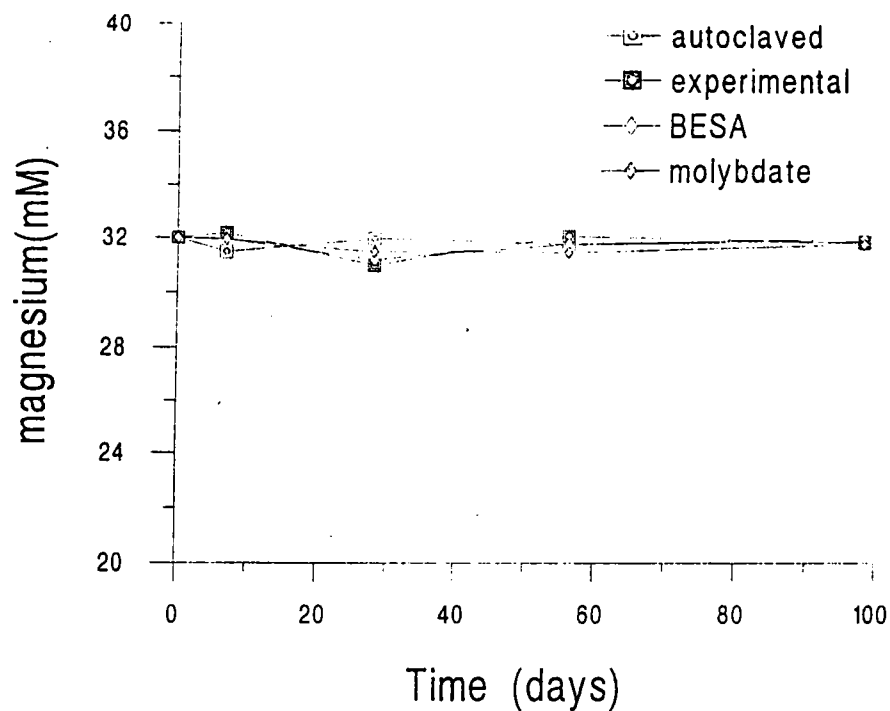


圖3.22 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭表層水)

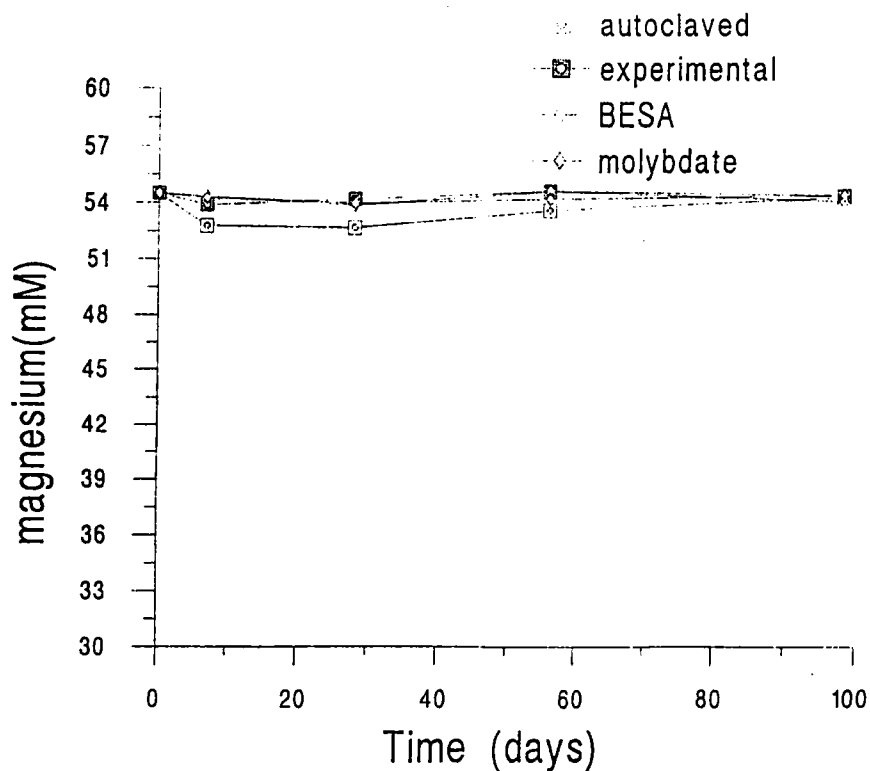


圖3.23 含裸鋼之海水之 magnesium 濃度變化與時間關係圖
(海水取自東2碼頭, 3M 水)

肆、結論與建議

一、結 論

- (一)進行中的基隆港海域材料腐蝕情況結果顯示，犧牲陽極能保鋼材有效防蝕，有錫與無錫防海生物附著塗料，6 個月亦能有效防蝕及防污附著，未保護之裸鋼顯示腐蝕速率隨海水深度增加而降低，304 不銹鋼因海生物附著有嚴重孔蝕現象。且亦受間隙腐蝕。
- (二)各試樣初期附著生物多為體型小，鑑定困難之種類為多，也包括線蟲、苔蘚蟲、端腳類、等腳類等附生性之生物；浸漬六個月後，大型與群體性附著生物增加，如：海鞘與貝類等；此等種類均甚難鑑定，且國內相關的學者與研究甚少，相關的參考資料不多；故計劃於未來全部試樣完成初步分類後，再將若干樣本寄送國外專家協助，作進一步之詳細鑑定。
- (三)附著生物覆蓋面積之定量，亦為了解附著生物影響的重要指標，限於人力與時間，未來將嘗試利用以拍照之幻燈片，以影像分析方法計算之。
- (四)附著生物之種 與數量明顯地與擺放位置有關。東二碼頭之試片表面的生物種類多於其他兩個碼頭，且兩次採樣間沒有明顯變化，可能單純為環境因子，如：營養物質含量、水流、潮汐等限制，如此區之試板表面均未發現藻類附著，有可能是因其水質混濁，透光度低所致。此外，也可能是因環境因子不同，造成附著生物的自然演替速率不同所致。一般而言，矽藻、細菌、線蟲與真菌等微細生物為早期附著生物；水螅、海葵、苔蘚蟲、旋鰓蟲與藤壺往往是中期附著生物；而貝類、海鞘與中小形附生生物，如：螺贏蜚，則屬於最終之附著生物。由此觀之，西21, 22號碼頭與 西26, 27 號碼頭之附著生物相類似於中期的附著生物相，而東二碼頭之附著生物相類似於晚期的附著生物相。東二碼頭附近海域營養物質較豐富，有可能導致其附著生物演替加快。

(五)浸漬三個月與六個月後，三個碼頭之藤壺、旋鰓蟲、纓鰓蟲與毛氏白腹海鞘的數量減少或消失，除了附著生物的自然演替現象外，也可能是季節變化所致，第一次採樣時間(84.1.5)採集之生物，為秋季之附著生物，較不耐低溫；冬季時，溫度降低，即大量死亡；因此，第二次採樣時(84.4.1)，這些生物之數量即大量減少。至於何者是主要原因，則可由往後各季之採樣結果而得之。

(六)有機錫與無機錫之塗料，均含有不利於生物之化學物質，能有效的延緩附著生物之演替速率；在浸漬三個月之試板，附著生物都以線蟲與苔蘚蟲等早期演替生物為主；浸漬六個月之試片，部份表面黏附了一層泥屑，並開始出現少量的貝類、螺、蠃蜚與海鞘等晚期演替生物。而其他材質之試板表面，在浸漬三個月與六個月後，都先後出現大量的晚期演替生物。因此，此兩種塗料能有效的防止附著生物之附著；而其防止生物附著的有效時期，則有待後續的採樣，才得以了解。

(七)裸鋼浸泡在海水不多時 pH 就會增加，裸鋼也開始被腐蝕，不過當海水 pH 增加至 9.0-9.2 時 pH 就穩定下來。這可能意味著 pH 增加至 9.0 以上微生物作用較少。但此時腐蝕作用是否仍在進行就不清楚。有報告指出 pH 增高(>8.0)生物腐蝕速率就會降低⁽²¹⁾。

(八)海水內添加 2mM 之 MoO_4^{2-} (硫酸還原菌抑制劑)會抑制裸鋼之生物腐蝕速率。不過從海水之 pH 變化來看， MoO_4^{2-} 添加初期對含裸鋼海水 pH 增加有抑制作用，但浸泡一陣子後，pH 就漸漸增加，此可能意味著，浸泡一陣子後，裸鋼表層之生物膜形成⁽⁹⁾⁽¹³⁾⁽²²⁻²³⁾，生物膜可以防止硫酸還原菌直接接觸 MoO_4^{2-} ，不過此須進一步研究來證實。但以整體來看添加 MoO_4^{2-} 對生物腐蝕有抑制作用。

(九)添加 BESA (甲烷菌抑制劑)於海水，對含裸鋼之 pH 增加沒有抑制作用，且其海水之生物腐蝕率與實驗組之生物腐蝕率相同。這可能表示甲烷菌在生物腐蝕作用較不重要⁽¹²⁾⁽²¹⁾⁽²⁴⁾。

(十)含裸鋼之海水其 pH 值會增加，但塗有紅色油漆或是藍色油漆之裸鋼之海水其 pH 不會增加，有時反而會降低。從肉眼觀察也知道紅色油漆片或是藍色油漆片之海水較澄清。紅色油漆與藍色油漆均含防污劑，藍色油漆內更含有有機錫，它們對水生生物之毒性仍不清楚，不過以環保眼光來看，我們在中長程研究中須做這方面的探討找出毒性低但防蝕防銹效果好的防污劑^(16, 18, 19)。

(十一)添加 BESA，或是 MoO_4^- 於含紅色油漆片或是藍色油漆片海水，其 pH 不變幾乎與滅菌組相同，故細菌抑制劑與油漆防污劑同時使用對防銹防蝕有效。

(十二)不論是含任何一種試片，或是不含試片之海水中 Cl^- 、 Mg^{+2} 、 Ca^{+2} 離子在浸泡期間皆一樣沒有變化。

(十三)浸泡裸鋼之海水其 SO_4^- 離子在浸泡期間低，尤其是東 2 碼頭表層水中 SO_4^- 離子降低速率及 S^- 離子生成速率最快。因為裸鋼在東 2 碼頭表層水中之腐蝕速率最大，故在厭氧環境下硫酸還原作用可能是造成腐蝕主因⁽²⁵⁻³³⁾。東 2 碼頭表層水，比起 3M 深或 9M 深處水及其西 22 碼頭，西 27 碼頭表層，3M 深或 9M 深之硫酸還原速率高，此可能也是由於此處污染程度較高有機物含量較高所致。因過去有報告指出有機污染物含量較高的海水中腐蝕速率較高，此亦須進一步研究證實。

二、建 議

(一)附著生物之附著狀況，除了與深度與試片處理有關外，擺置點之各項物化因子，如：透光度、酸鹼值、水溫、營養鹽濃度與重金屬離子濃度，也都有可能影響附著生物之種類與數量。未來須考慮採水樣以測定其水質環境。

(二)國內相關研究與參考資料甚少；故須添購歐、美、日各國與大陸地

區相關之研究專書；此外，若能將若干樣本寄送國外專家協助，則除能作進一步之詳細鑑定外，亦有助於國內此類研究水準之提昇；俾提供正確且有效之除污損生物方法。

(三)限於人力與物力，本研究中僅能以附著生物之數量進行比較；但卻無法考慮附著生物之體型差距頗大之情況。未來若能增加人力，則除了以影像分析方法計算之附著面積外，亦將比較附著生物之重量差異；以能正確掌握各附著生物之變化及各類附著生物之相對重要性。

(四)有機錫或無機錫塗料均能在浸泡初期有效地防止海生物附著；未來除了繼續追蹤此兩種塗料之時效性外，也應嘗試了解此兩種塗料之自然分解率，與其對附著生物之生物毒理作用，以確實掌握其對海洋生態之影響；進而能評估此兩種塗料之實用性。

(五)附著生物往往具有明顯之季節性變化與消長變化，了解這些變化，有助於擬定除污損生物之對策。由本研究兩次採樣雖能發現其可能之趨勢；但仍須繼續採樣，以求了解此兩種變化之確實情形。

(六)建議未來進行長期研究以探討

(a)含不同防污劑之油漆對防銹防蝕之作用

(b)不同防污劑或細菌抑制劑在水中之傳遞，或是細菌抑制劑與防污劑在生物膜內之傳遞與濃縮，細菌抑制劑與防污劑在水中或是生物膜內之分解。

(c)不同防污劑或細菌抑制劑對生物膜形成之影響。

(d)細菌抑制劑與防污劑同時使用之效果。

(e)長期使用防污劑對水生生物之影響，或是防污劑之毒性。

(七)一般而言，附著生物之研究，都是為了解決船舶與港灣設施污損情況；因此，其研究之成員往往由兩組不同領域人員組成。(1)生物領域：生物分類、生態、微生物、生理學與生物化學等專業人員。

(2)工程領域:與化學、物理、機械、船舶及港灣設計與技術等相關之專業人員。而經組合後採行之研究，其結果往往事半功倍。因此，本研究之模式應值得往後類似研究採行。

伍、參考文獻

1. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第一年報告(1990, 6).
2. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第二年報告(1991, 6).
3. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第三年報告(1992, 6).
4. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第四年報告(1993, 6).
5. 港灣技術研究所, 港灣鋼結構物耐久性研究, 第五年報告(1994, 6).
6. 港灣技術研究所, 基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究專刊第59號, 1990. 1980.
7. 港灣技術研究所, 基隆港碼頭鋼板樁檢測及其維護改善方案研究, 專刊第81號, 1993.
8. 蓋斯維特, 海洋環境與建築物設計, 海洋出版社, 1992.
9. 楊盛行、洪秀琤、林義宗, "海生物之吸附調查研究", 第二十九屆中國農化年會, pp. 96(1991).
10. 楊盛行, 黃哲崇、王瑋龍、林義宗。1992。臺灣地區港區之海生物附著研究。中華生質能源學會會誌。11: 42 - 66。
11. 楊盛行, 胡光濬、魏嘉碧、林義宗。1994。防污漆對海生物吸附之影響。中華生質能源學會會誌。13: 168 - 189。
12. 鄭錦榮、白書禎、陳瑤湖, "防污塗料之效果評估研究試驗", 台電工程月刊, No. 484, pp. 59-80(1988, 12).
13. 岡田要。1965。新日本動物圖鑑。北隆館。
14. 波部忠重。1974。續原色日本貝類圖鑑。保育社。
15. 波部忠重, 小菅貞男。1974。原色世界貝類圖鑑(II)。保育社。
16. 波部忠重, 伊藤潔。1975。原色世界貝類圖鑑(I)。保育社。
17. Morris, R. H., D. P. Abbott, and E. C. Haderlin. 1980. Intertidal invertebrates of California. Stanford University Press. Stanford, California.
18. 武田正倫。1982。原色甲殼類檢索圖鑑。北隆館。
19. 千原光雄。1983。海藻。學習研究社。
20. 江永棉, 王瑋龍, 黃淑芳。1980。臺灣海藻簡介。臺灣省立博物館。
21. R. B. Griffin, L. R. Cornwell, W. Seitz and E. Estes, "Lo-

- calized Corrosion Under Biofouling", Materials Performance, Vol. 28, pp. 71-74(1989).
22. F. P. Ijsseling, "General Guideline for Corrosion Testing of Materials for Marine Applications", British Corrosion Journal, Vol. 24, No. 1, pp. 53-78(1989).
 23. G. J. Verbeck, "Corrosion of Metals in Concrete", ACI, SP-49, pp. 21-38, (1975).
 24. F. Lolugue, Marine Corrosion Causes and Prevention, John Wiley & Sons, NY, (1983).
 25. P. D. Gilbert, P. A. Attwood, T. D. B. Morgan and B. N. Herbert., "Biofilm Associated Corrosion", Industrial Corrosion, Vol. 7, No. 9, pp. 13-18(1989).
 26. R. A. Cottis, P. J. Laycock, D. Holt, S. A. Moir, and P. Scarft, "The Statistics of Pitting Corrosion of Austenitic Stainless Steels in Chloride Solutions International Conference on Localized Corrosion, Orlando, FL, (1987, 7).
 27. D. Cubicciotti, G. J. Licina, "Electrochemical Aspects of Microbially Induced Corrosion", Materials Performance, Vol. 29, No. 1, pp. 72-75(1990).
 28. M. J. Round, "A New Concept in Anti-Fouling Treatment", Corrosion Prevention and Control, Vol. 34, No. 3, pp. 74-79 (1987).
 29. R. H. Heidersbach, Metals Handbook, 9th ed., Vol. 13, pp. 893-918(1988).
 30. Shigeyoshi Nagataki, Nobuaki Otsuki, Tiong-Huan Wee, and Kenji Nakashita, "Condensation of Chloride Ion in Hardened Cement Matrix Materials and on Embedded Steel Bars", ACI Material Journal, Vol. 90, No. 4, pp. 323-332, (1993).
 31. R. L. Kean, L. Woolf and M. E. BBeardsley, "Corrosion and Protection of Offshore Structures", Metals and Materials, Vol. 6, No. 12, pp. 792-795(1990).

32. R. H. Heidersback, Metals Handbook, 9th ed., Vol. 13, pp, 466-477(1988).
33. 黃宗國。1984。海洋污損生物及其防除(上冊)。海洋出版社。

陸、附 錄

(基隆港區常見附著生物圖)

基隆港區常見附著生物圖

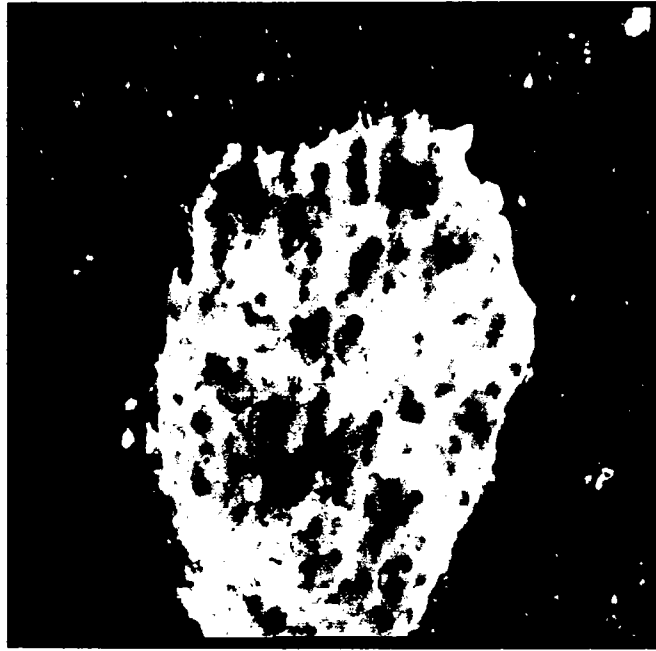


線蟲 *Nematoda* sp. (40X)

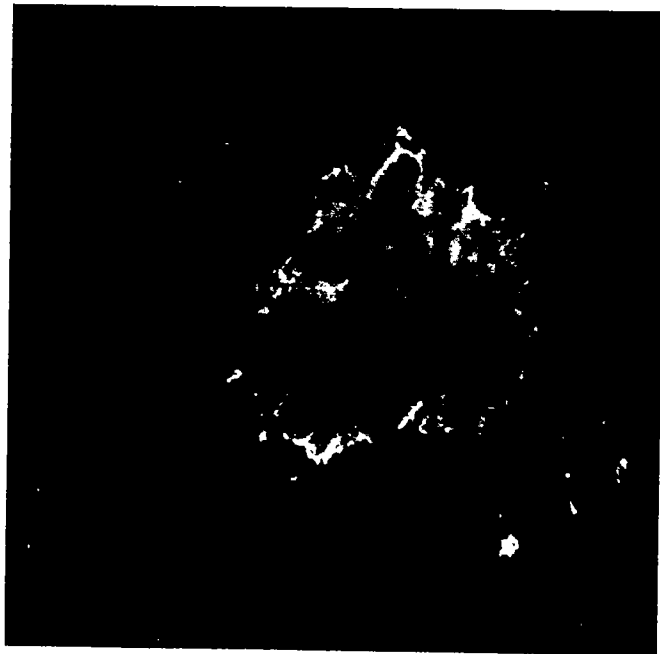


渦蟲 *Uteriporus* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖



裂孔苔蘚蟲 *Schizoporella* sp. (40X)

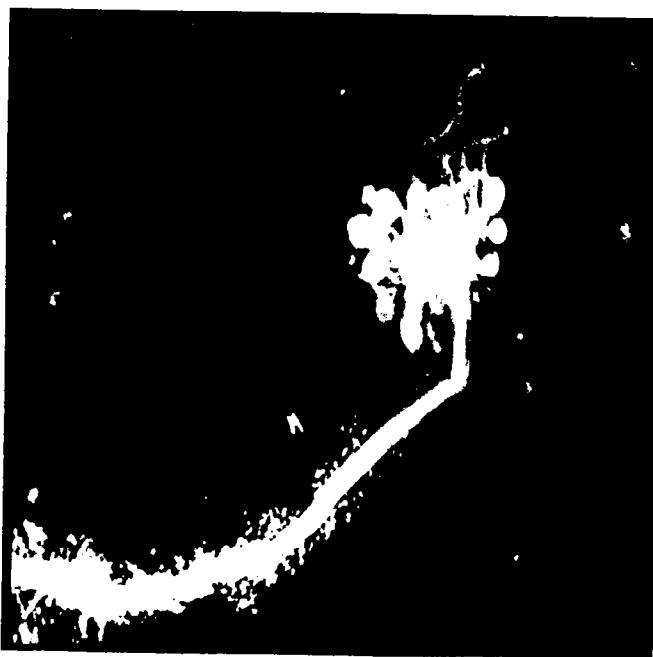


膜孔苔蘚蟲 *Membranipora* sp. (40X)

基隆港區常見附著生物圖



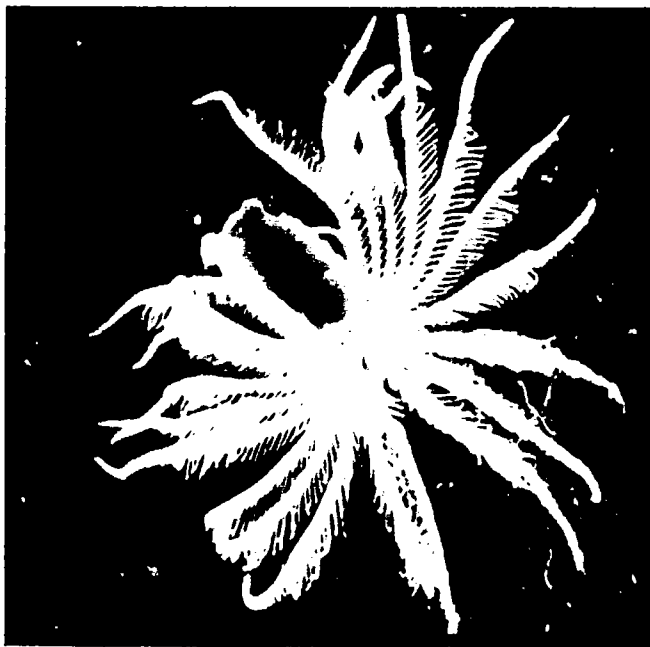
多室草苔蟲 *Bugula neritina* (24X)



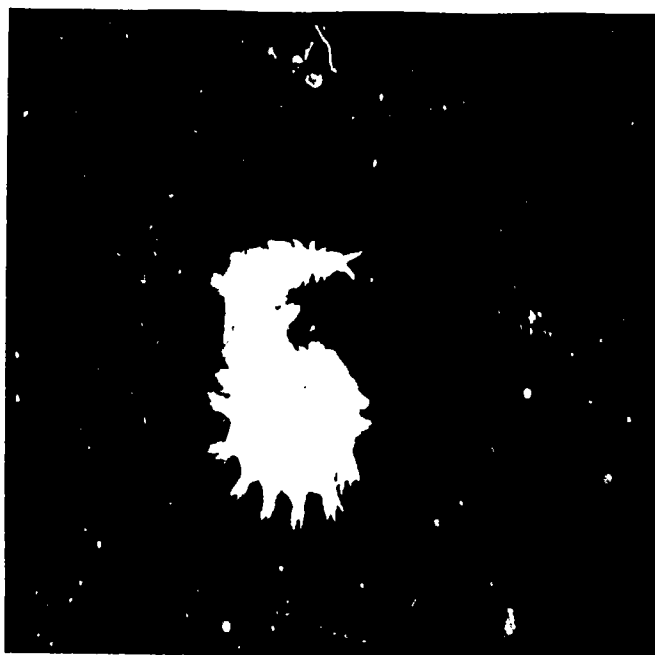
葡萄苔蟲 *Zoobotryon pellucidum* (24X)



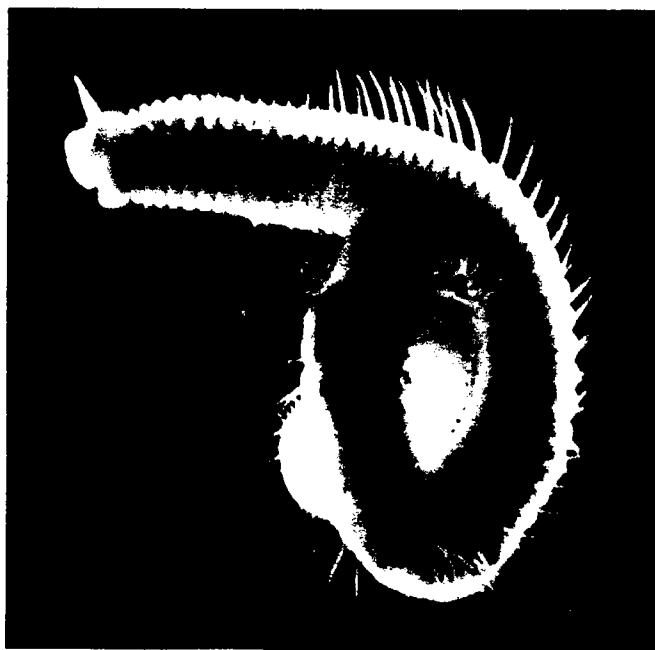
旋鰓蟲 *Spirobranchus* sp. (24X)



纓鰓蟲 *Sabellidae* sp. (24X)

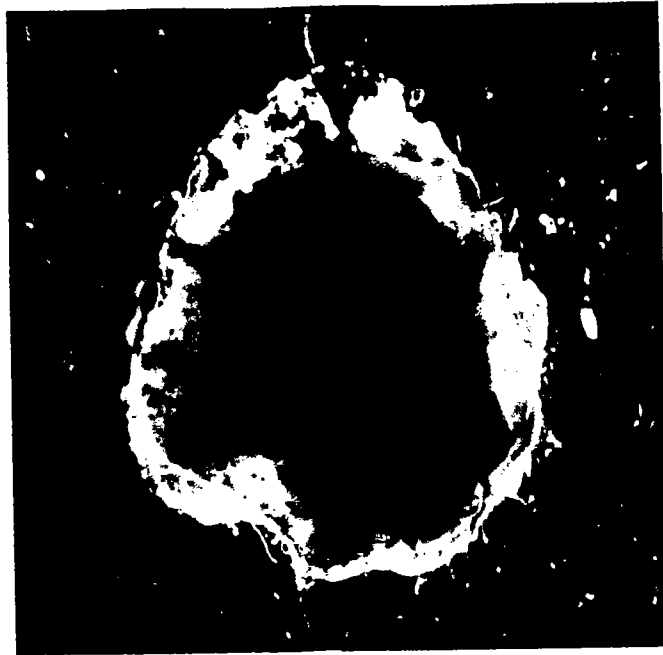


游蠶 *Pelagobia* sp. (24X)



水蠶 *Naiades* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖

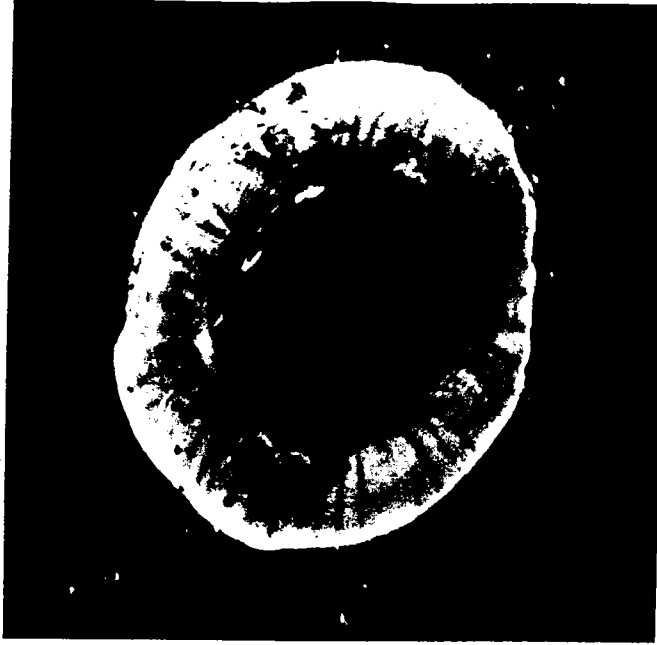


扇貝 *Chlamys* sp. (24X)



鉗貝 *Isognomon* sp. (24X)

基隆港區常見附著生物圖



三角藤壺 *Balanus trigonus* (24X)



網紋藤壺 *Balanus reticulatus* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



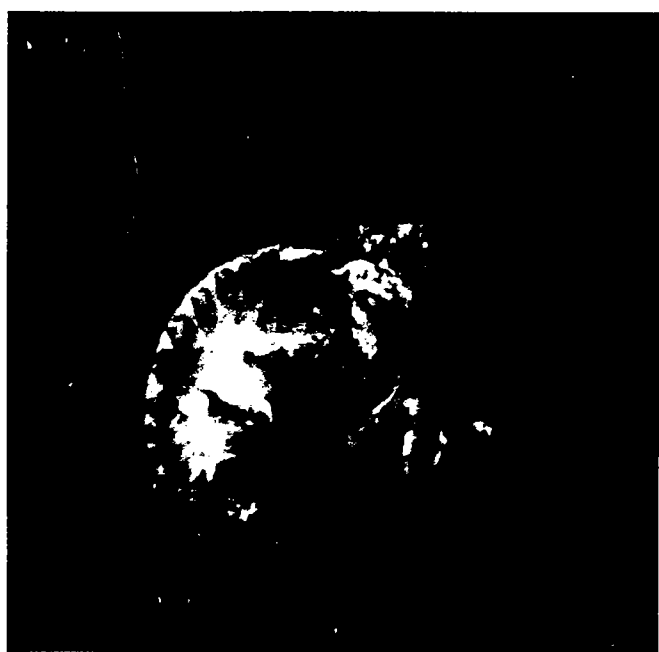
腔齒海底水虱 *Dynoides dentisinus* (24X)



Nippochelura brevicauda (24X)



Corophium crassicorne (24X)



螺贏蜚 *Corophium uenoi* (24X)



片鈎蝦 *Elasmopus japonicus* (24X)



泥鈎蝦 *Eriopisella sechellensis* (24X)



玻璃鉤蝦 *Hyale* sp. (24X)



馬爾它鉤蝦 *Melita dentata* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



白鈎蝦 *Leucothoe* sp. (24X)



麥桿蟲 *Caprella scaura* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



毛氏白腹海鞘 *Didemnum moseleyi* (40X)



史氏菊海鞘 *Botryllus* sp. (40X)

基隆港區常見附著生物圖



冠瘤海鞘 *Styela canopus* (24X)

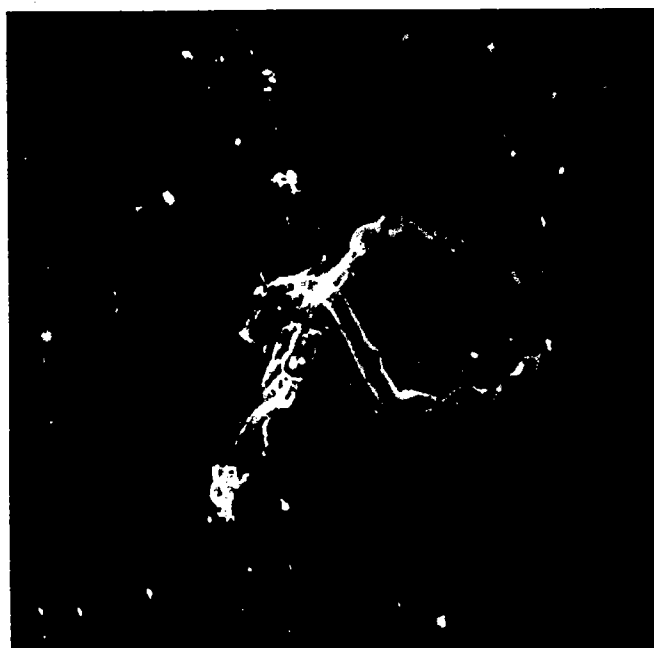


玻璃海鞘 *Ciona intestinalis* (24X)

基隆港區常見附著生物圖



布氏藻 *Boodlea composite* (40X)



腸澹苔 *Enteromorpha intestinalis* (24X)

基隆港區常見附著生物圖

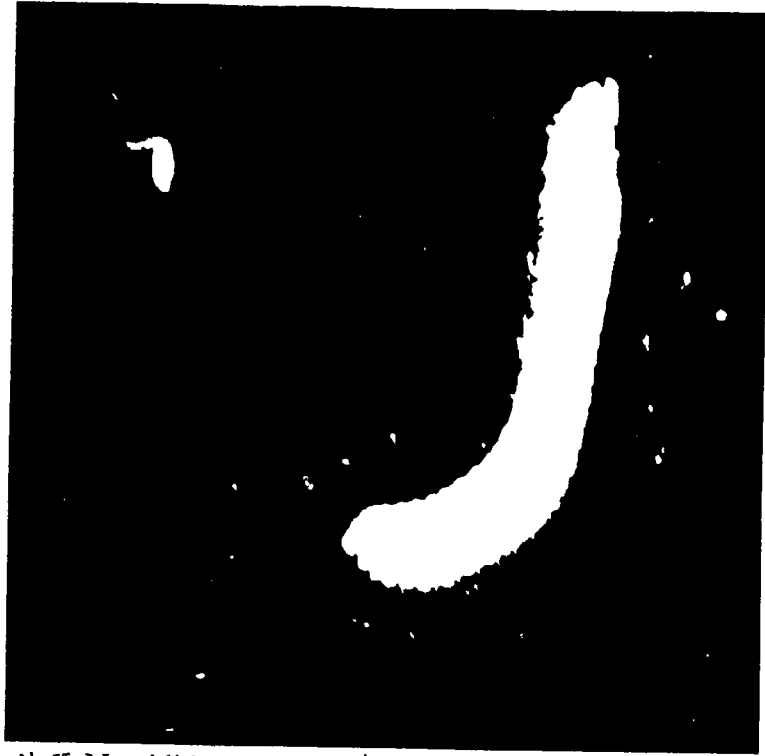


水雲 *Ectocarpus confervoides* (24X)



紅藻 sp. *Ceramiaceae* sp. (40X)

基隆港區常見附著生物圖



沙蠶 Nereididae sp. (24X) |