

# 港灣報導



季刊NO.22

## 要 目

/// 細說岬灣－動態灣與靜態灣轉換的探討

/// 台灣遊艇港建設系列報導－

墾丁後壁湖遊艇港計畫概況簡介

/// RO-RO船舶及靠船坡道之規劃探討

/// 超級深水港防波堤斷面之研究

/// GPS衛星測量－實驗室現況簡介

/// 港灣防蝕(I)

/// 混凝土的新主流－飛灰混凝土

/// 21世紀革命性新建材－

環保產品的高爐水泥簡介

/// 利用電阻錐探測地下水污染

/// 高雄港貨櫃碼頭租賃制度之探討(上)

中華民國八十一年十月出版

# 目 錄

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 一、細說岬灣—動態灣與靜態灣轉換的探討.....  | 1  |
| 西澳洲大學土木及環境工程學系教授 許榮中博士    |    |
| 二、台灣遊艇港建設系列報導—            |    |
| 墾丁後壁湖遊艇港計畫概況簡介 .....      | 11 |
| 宇泰工程顧問公司經理 鍾兆君            |    |
| 三、RO-RO船舶及靠船坡道之規劃探討.....  | 18 |
| 宇泰工程顧問公司經理 黃來旺            |    |
| 四、超級深水港防波堤斷面之研究 .....     | 26 |
| 中華港埠顧問 徐忠猷                |    |
| 五、GPS衛星測量—實驗室現況簡介.....    | 30 |
| 國立中央大學太空遙測中心 吳究副教授、林修國研究生 |    |
| 六、港灣防蝕(I) .....           | 37 |
| 匯茂實業股份有限公司 李定湘、李定宇、王維寧    |    |
| 七、混凝土的新主流—飛灰混凝土 .....     | 40 |
| 台灣電力公司營建處 林炳炎             |    |
| 八、21世紀革命性新建材—             |    |
| 環保產品的高爐水泥簡介.....          | 42 |
| 中聯爐石處理資源化公司經理 蔣昭章         |    |
| 九、利用電阻錐探測地下水污染.....       | 48 |
| 港研所副研究員 陳圭璋               |    |
| 十、高雄港貨櫃碼頭租賃制度之探討(上) ..... | 56 |
| 港研所助理研究員 王克尹              |    |

## 細說岬灣—動態灣與靜態灣轉換的探討

西澳洲大學土木及環境工程學系教授 許榮中博士

### 一、天然岬灣的安定狀態

天然的岬灣，在平面佈局上有大小與深淺之別，其安定性則有動態與靜態之分。在突出於鄰近海岸線的堅硬岬頭的下游，若有鬆軟的沙質海灘，常有灣岸的形成。灣的大小受附近硬岩的間隔或沙灘海岸線的長短而定；而灣入比率的深淺，則受海底地形的坡度和常年卓越波浪的入射方向而變。由於上游岬頭的形狀和突出於海岸線的長度不一，和入射波浪經折射與繞射的過程的不同，所以天然岬灣的灣岸曲線，有許多不同的組合。小型的灣岸，祇有一段短短的平直海岸線，根本談不上有曲線美，（其實，這是拋物線的一個極端，也是灣的一種）。中型的灣岸，除了最下游的直線段之外，還有一段稍為彎曲的漸近段在岬頭的後方。最有曲線美的灣岸，應該是有一大部份的灣岸都呈近乎圓弧的形狀，再往下游逐漸轉變為平直的海岸（如圖1）。

天然岬灣的安定狀態，作者在「岬灣控制工法」（見港灣報導季刊第21期）中已經簡要地介紹過了。所謂「安定狀態」是指岬灣的海岸線，在受常年卓越波浪的作用之下，是否會遭侵蝕而後退。如果，有沿岸漂沙經過上游的岬頭而被帶入灣岸之內，則

這個岬灣應屬「動態灣」；或在灣岸之內有河川供給沙源，也是「動態灣」的一例（見圖1）。動態岬灣的灣入比率比較淺小。有沿岸漂沙進出的動態灣，一旦上游的漂沙源被減少了，灣岸的海岸線就會後退；如果被完全中斷了，灣岸就會被逐漸侵蝕而後退到「靜態灣」的最後防線（見圖1）。靜態灣如有上游漂沙補充，其海岸曲線會因淤積而前進。這種由靜態的天然岬灣，因上游漂沙的供給，而轉換為動態灣，並不表示所增加的沙灘寬幅可以被永久地使用；因為它的存在很可能是短暫性、過渡性的。

靜態安定性的岬灣，它的彎曲海岸線的平面位置，可以利用作者所倡導的一個二次多項式來表示（符號參見圖2）：

$$R/R_0 = C_0 + C_1(\beta/\theta) + C_2(\beta/\theta)^2 \quad (\text{式一})$$

上式中，控制線長 $R_0$ 和修正後的波浪入射角度 $\beta$ 是基本量，而沿灣岸的平面極座標 $(\beta, \theta)$ 可以經由每個 $\beta$ 角度值相關連的三個 $C$ 係數來計算（參見文獻：Hsu and Evans, 1989）。運用這個公式所估計的灣岸形狀，若在現有的灣岸的陸側（後方），則該天然岬灣可視為「動態灣」。圖2右下方說明天然岬頭的幅度和走向，因其不同而造成岬頭後方近乎圓弧形海岸

的大小。因而人工海岸構造物而引起的下游海岸線的變化，每有異曲同工的结果。

岬灣海岸線的平面位置，通常可以卓越波浪（可能是常年的湧浪、卓越性的冬夏交替波浪、或當地的優勢風浪等）來表示。在颱風暴浪作用下，即使已經是靜態的岬灣也會受到侵蝕。被冲刷的前灘沙土往往會被帶往淺海中而形成潛洲，而後在適當的時機，再回歸而恢復原有的沙灘。天然的岬灣比平直的海岸，具有比較可靠的回復沙土的能力，所以前者也比較安定。

## 二、人工岬灣的形成

天然岬灣固然所在皆是，因保護海岸而建造的結構物所形成的人工岬灣，也不乏其例。這些結構物，尤其是巨長的，包括與海岸線呈垂直或斜向的突堤，與海岸線平行的離岸堤，或大型港口的防波堤等。這些構造物，如果因為某種特殊的需要，在初建之後的若干年再加延長或擴建，都會把已經造成的灣岸重新修正。在上小節提到的圖1和圖2之中，若其中的岬頭是由人工設計及建造而成的，而不是天然的，祇要這人工岬頭不被破壞，其所造成的下游灣岸，仍然會與天然岬灣一樣。國內也有相近的例子，比如：花蓮港東防波堤延伸後對美崙溪南岸海岸的關係。淡水國內商港的北沉箱堤將來對南岸紅水仙溪河口海岸的影響等。至於台中港北防波堤對南海堤的影響，因為沒有天然沙灘的存在，所以祇有進一進掏空海堤前

消波塊下方的底沙；因為它也俱有造灣的潛在力。

以上所提到的人工岬灣的形成，可以用圖3的例子來說明。雖然圖3所舉的岬灣是因為興建一座單離岸堤而引起的，而堤後的灣岸平面形狀，在堤長與其離岸距離的某種比值之下，尚不致有「陸連島」或「繫陸砂洲」（Tombolo）發生。祇要這種比率因擴建延伸而增加，堤後的沙舌（Salient）尖端就會向堤體逼近，而所需要的沙量，一般都由灣下游海岸的侵蝕而供給的。如果，下游缺乏天然的海灘，那麼海底的比降就會變深變陡；如有大型海堤及護岸，時常導致該構造物的遭到破壞及崩潰。由於堤後沙舌面積和體積的增加，堤背河口常遭淤沙阻塞，如為港口的出入航道，則需經常浚深。這種人工岬灣的形成和沙舌的推進，在海岸地貌學上的應用，都是近幾年來，才被認定的（參考文獻：Hsu and Silvester, 1990; Silvester and Hsu, 1993）。因為離岸堤或防波堤堤端的延伸，所堆積的堤後岬灣和下游為供給沙土而引起的海岸侵蝕，往往常被忽視。這真是：無心插柳、柳成蔭，無心造灣、灣已成。這種岬灣的大小轉換，一般都是由一種動態灣與另一個動態灣之間的替代，也有可能由一個已經靜定的岬（堤頭）灣，再變換為另一種形式的動態灣。

人工岬灣的形成，若為規劃遊憩設施和海水浴場而起，自有其正面的意義。若為興建防波堤，而不同時預測下游海岸線，將來的變化和所可能

形成的岬灣的規模，才不致在設計的階段或施工之後，運用大筆的財力，去興建可能避免的硬體結構物，來保護下游海岸的免於被侵蝕。往昔的港灣規劃人員，因缺乏這種海岸地貌學的觀念，所以祇就事論事地規劃防波堤的走向與長短，全然沒有顧及下游海岸成灣的潛在性，和減輕海岸被侵蝕的可能性。現在我們有了這新觀念，理應好好加以研究、發揚和運用；不要為建港而建港，為穩定港域而單純地延伸防波堤的堤頭到任意位置。因為人工結構物的不當佈局，將會令現存灣岸在動與靜之間互相轉換而影響到下游海岸的淤積與侵蝕，甚至需大量財力的長期投入，以保護受侵蝕的海岸，這是值得海工界的朋友一齊來探討的。

### 三、動態灣與靜態灣的雙向交通

因上游漂沙量的增減和人工構造物的建造和延伸，一個岬灣的安定狀態，隨著在動態與靜態之間轉變。在造灣的外力沒有改變的情況之下，每一個地方祇有一個靜態灣，但是可以有許多深淺不同的動態灣。由靜態轉為動態，因海灘寬幅增加，每受歡迎；唯一的缺點是淤積的沙灘可能會阻塞河口或航道；再者岬灣的下游海岸，因必須供給造新灣的沙土，常遭侵蝕。由動態灣變為靜態灣，則因前灘損失，必須以海堤、突堤或離岸堤，來保護海岸，在現有村落集中的濱海地區，都不是好現象。

在一動與一靜之間的岬灣變化，在海岸地貌的學理上，可用圖4來說明。假設在兩岬頭之間，存在著一個岬灣。這個灣岸因有上游漂沙的供給，幾十年或幾百年來，維持著一種很安定的灘線，人們都認為這個灣岸既安定又美麗，於是社區形成了，海水浴場及觀光遊憩設施也投資了。要是有一天，上游的漂沙量因某種原因而減少了，它的後果呢？讓我們急就章地興建海堤、突堤和離岸堤（假設財源充足），來保護海岸嗎？景觀與美觀的考量呢？是否有其他更好的方法？人工養灘？

首先讓我們用上面提到的靜態岬灣的新公式（如式一）來驗證在岬頭A與E之間的靜態灣岸的平面位置，如圖4中所表示的static bay for AE。這條曲線遠在現有海岸之後，代表在上游零漂沙的最壞的情況下，該處海岸線的最後防線。如果在這最後防線和現有海岸線之間，有永久性的建築物，而岬灣海岸線將要全面受侵蝕。這該怎麼辦呢？全線構築海堤或離岸堤嗎？如果，在上游岬頭A後方，興建一個小漁港，其主防波堤堤長為AB，可能引起的靜態灣線BE，比靜態灣AE減少了若干的損失，可是還不能避免海岸的被侵蝕。若再加一道外環的防波堤，如FG，則所可能相關連的靜態灣岸，幾乎與現有海岸線非常接近，如灣岸GE。最好的選擇，可能是把控制點定在圖中的H點。應用靜態灣公式所預測的岬灣海岸（如圖4中的小圓點的連線），恰當現有海岸非常吻合。這是巧合，抑或特

設的例子？這個例子顯示岬灣海岸的受侵蝕，可由上游岬頭的適當佈點去減輕到最小的程度。這是經由上游岬頭的控制（Headland Control），把一個動態灣轉變為靜態灣的例子，而不必以硬體結構物去保護海岸。

#### 四、日本經驗

在日本和澳洲兩國科學與技術研究協定中，作者與日本建設省土木研究所的宇多高明博士和西澳洲大學土木環工學系的 Silvester 教授，一齊負責一項安定海灘的計畫。計畫重點包括港口防波堤延伸對下游海岸的影響。當時選了十個具有代表性的大小港埠，由歷年的航空攝影照片，逐一加以印證港口防波堤下方岬灣的安定性變化。讓我們先看兩個實例。

##### 個例一：新潟縣北部的岩船港

岩船港附近海岸在日本海的風浪作用下，呈北北東（NNE）走向，主要漂沙來源為其北方的河川為主。該港原為不毛的河口，先後經 1929 及 1935 年的河口整治和突堤的興建，及 1957 年的河口導流堤及護岸修築，才稍有河口港的模樣（如圖 5）。到 1965 年為止，主防波堤延伸已到可以影響下游海岸的程度。這時的海岸線如照片 1 所示（照片原圖由宇多博士向日本建設省國土地理院購得，在此致謝）。用靜態灣公式加以印證，得知岩船港在 1965 年的下游岬灣，幾乎接近於靜態灣。如果防波堤不再延伸，下游海岸很可能不需要硬體的保護。後來，因為經濟活動的需要，先後又在 1976，1979，1984 及 1986 諸年，

延伸主防波堤，造成堤背沙舌的逐年相應地增大，如圖 6 所示。堤背沙舌的沙源絕大部份來自下游海岸與沙丘的侵蝕土方。在 1988 年的空照圖上，可以看到很多的突堤，長短不一，更下游的海岸，也加建了離岸堤群（見照片 2）。那時的沙舌還在持續的成長，而且航道口常受懸浮質沉澱而淤淺，因此需要經常浚深；整個堤後岬灣還在動態安定的範圍裡變化。

讓我們想一想，主防波堤延伸的理由和所付出的代價，該主防波堤延伸的方向和堤頭的最後位置，在海岸地貌學理而言，是否為最佳佈局？抑或為港池擴建而延伸到一任意點？我們是否可以由這一個寬例學到一些警惕和經驗？

##### 個例二：茨城縣中部的大洗港

大洗港在比較聞名的鹿島港之北約 45 公里，下游海岸在大洗岬之後呈西北北走向，每年有 55% 的入射波浪來自東北東；因為海岸走向與太平洋傳到鹿島灘的波浪，大洗港的波浪上游方向在北，而在大洗港南部的鹿島港的波浪上游方向，是在該港之南。

大洗港的原址，本名為「磯濱港」，是在公元 1910 年（日本明治 43 年）開始建設的。主、副兩道外廊防波堤在 1915 年（大正 4 年）為暴浪侵襲而致港池全遭漂沙埋沒。那時的岬灣當屬動態無疑。大約 50 年後，在 1961 年（昭和 36 年），才重新開始復港，而正名為「大洗港」，當時的港口附近海岸線如照片 3 所示。到 1976 年為止，主防波堤外延已達 620 公尺，而內防波浪尚未興建（見照片 4）；此

時的岬灣已有規模。以靜態灣公式印證得知，當時的岬灣正是完完全全的靜態灣，非常巧合，抑或當時的那位工程師有海岸地貌學上的高明？（或是，應該頒一個獎給他）。

後來主防波堤因港埠擴建而繼續外延，到1978年中為800公尺，已足以在堤後下游造成沙舌（Salient），所以副防波堤也開始建造了（那時已達400公尺）。到了1980年底，主堤已達1020公尺，隨後副堤也一再延伸。為了達到港池穩靜，在主防波堤外海較深處，由1981年開始建造沖防波堤，同時為了阻止漂沙由下游海岸流入港口方向，所謂的小突堤也開始規劃了。到1988年底，主防波堤堤長為1020公尺，副堤堤長900公尺，沖防堤為800公尺，第一小突堤約300公尺，第二小突堤約230公尺（見照片5）。

現在讓我們比較一下，由1961到1976再到1988年的空照圖所顯示的海岸線變化。在大洗港復港建設的1961年，主防波浪尚短，還談不上對下游海岸有任何影響。隨著主堤的延伸，到1976年呈現了靜態灣。這一個由動態變為靜態的過程，全靠主堤延伸到一個順合於當地地貌的最佳點。可惜港口一再擴充，配合各種防波堤的興建與延伸，原來下游海岸的侵蝕祇到副堤下游約三公里處，現在已向下延續到七公里處。目前在副防堤下游2至7公里處，必須藉海堤、護岸來保護。這些構造物因堤前地形變深變陡，時遭暴浪侵襲而倒壞，堤背土方被吸出。連緩坡度的護岸和堤前消波塊也不能阻止這種侵蝕的命運。堤前被

掏挖的沙土被帶到外海和順岸迂迴北上；這提供了因主防波堤和外圍沖防波堤的延伸，而在堤背及下游造成沙舌的主要來源。今年二月，大洗海岸保全對策檢討委員會在茨城縣召開第二回委員會，還在討論該怎麼下下一步的棋。海工界的朋友們，如果這是發生在我們國內的事，我們該怎麼辦呢？

大洗港的各種防波堤及突堤的延伸擴建到1988年為止，暫時告一段落；目前港口下游正逐漸在因應由防波堤堤頭向外海延伸而造成的一個新的靜態灣的灣岸推進。這個新的預測的灣岸是圖3提到過的單離岸堤背後沙舌的一種。海工界的朋友們，如果您有興趣，不妨試一試，看這新預測的靜態岬灣海岸線，離現在的海岸線有多遠（在海中），然後再閉上眼睛想一想，祇靠傳統的海堤及護岸和突堤等，有沒有正面的效果呢？

## 五、有心人的結論

讓我們大家來做海岸地貌學的有心人，不要以傳統的海岸工程的老觀念去處理海岸保護的任務。在日本港灣建設由運輸省全權負責，為港建港，向來未顧及可能對港口下游海岸的影響；而這些被侵蝕的海岸却全在建設省的管轄權下。這兩省的協調，如眾所知，一向不夠，加以人們沒有地貌學的新觀念，才造成了許多原來可以避免的財力浪費和災害的發生。

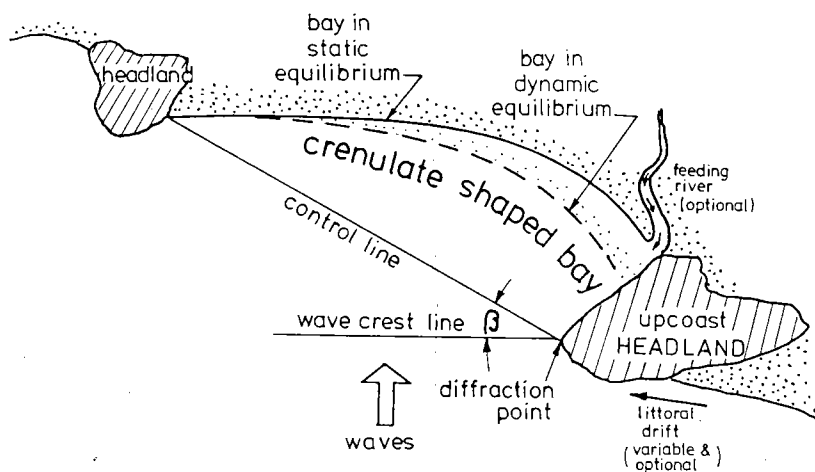
我國港國建設早已起步，許多遊憩及遊艇計劃也在開發中。有心人都應該在任何防波堤及重大計劃開始規

劃的階段，同步考慮到對下游海岸變遷的量的影響，而不僅考慮到小魚小蝦和海草的環境生態的影響。任何建港的環境評估，亦應如是觀，海工界的朋友，您看這建議合理嗎？

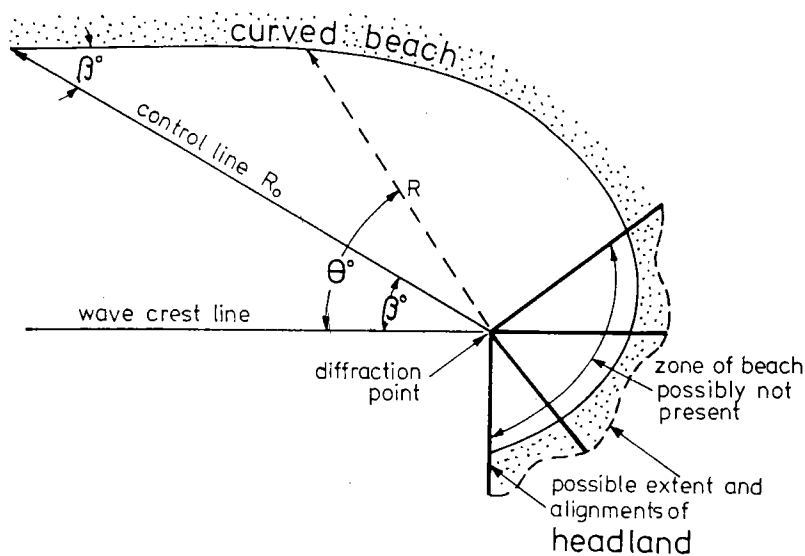
在動態灣和靜態灣的互變中，也許是一種雙行道，可是我們付出的社會成本呢？由動而靜，可以上游新岬頭來改變，比較單純。由靜態而動態呢？我們就必須付出很多的雙重代價，又得幾乎永遠地支出大筆的維護費了，其能不慎重考慮乎？！

## 六、參考文獻

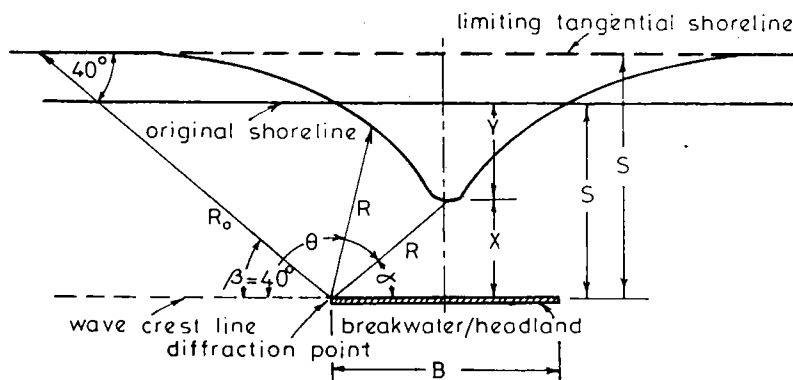
1. IIsu, J.R.C. and Evans, C. (1989) Parabolic bay shapes and applications. Proc. Instn. Civil Engrs., UK, 87:557-570.
2. IIsu, J.R.C. and Silvester, R.(1990). Accretion behind single offshore breakwater, J. Waterway, Port, Coastal & Ocean Eng., ASCE, USA, 116(3): 362-380.
3. Silvester, R. and IIsu, J.R.C.(1983), Coastal Stabilization: Innovative Concepts. Prentice Hall, Englewood cliffs, USA , 578 pp(新書)



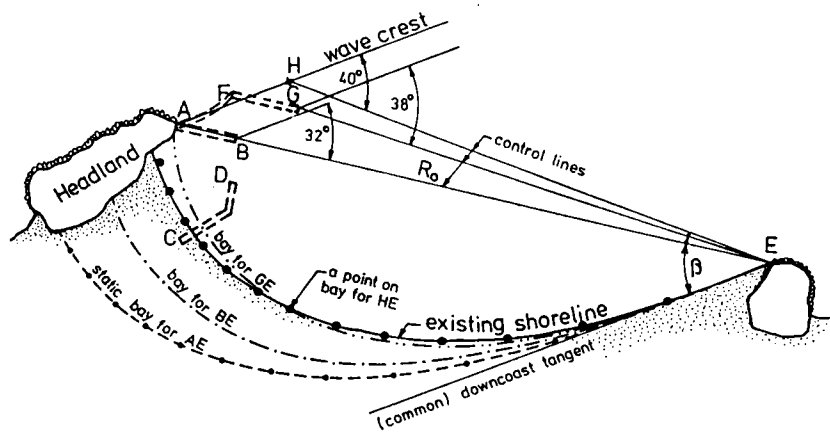
圖一 在兩岬頭之間所形成的動態灣和靜態灣



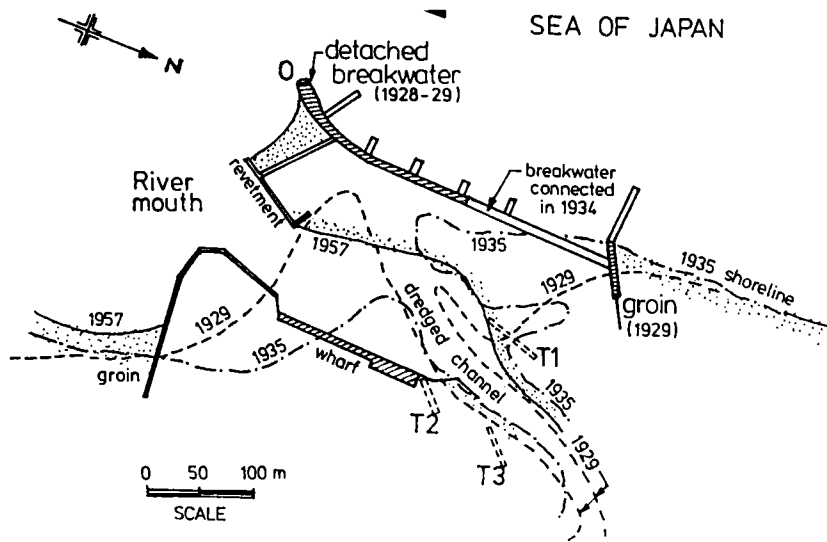
圖二 靜態岬灣預測公式的數學符號定義



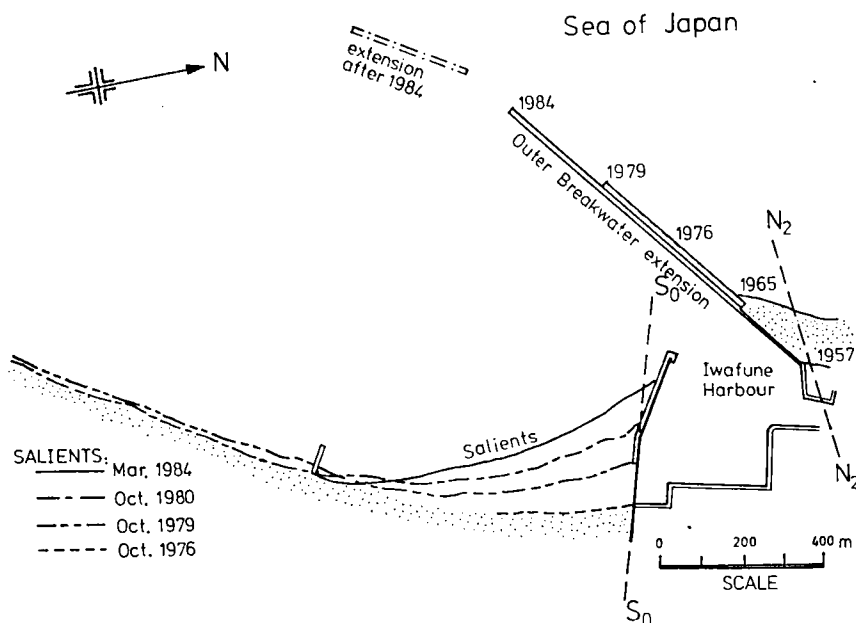
圖三 單離岸堤背後沙舌的佈局和岬灣的關係



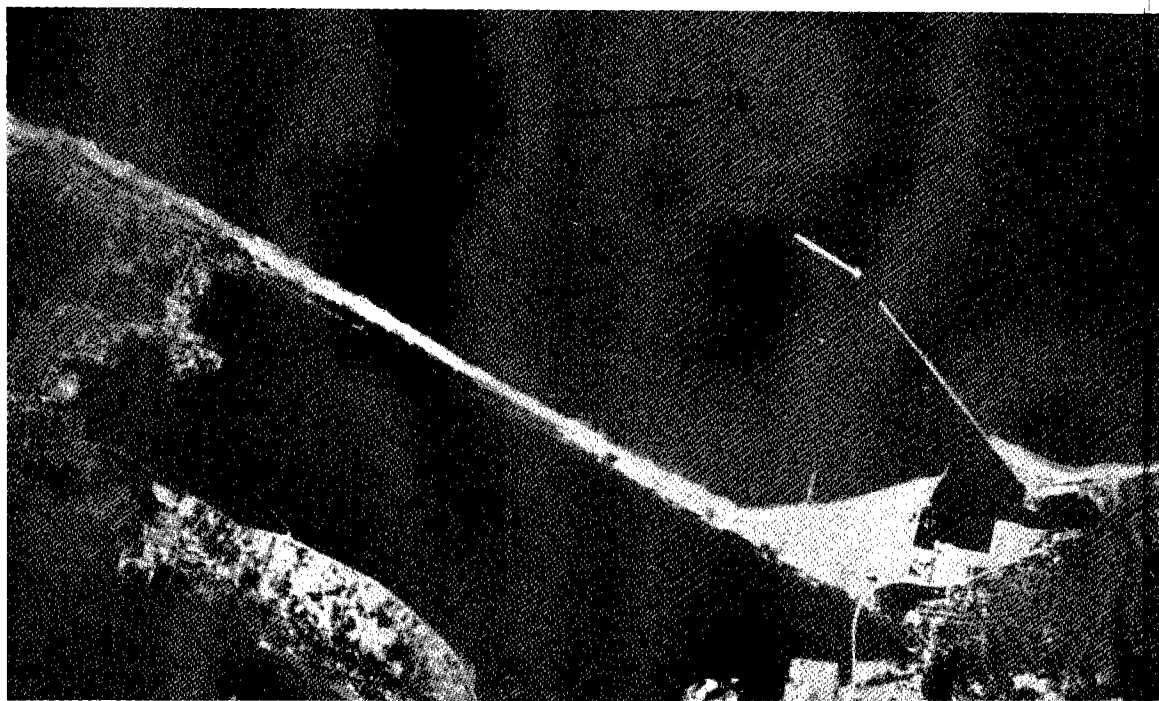
圖四 上游岬頭控制點對動態灣的影響



圖五 岩船港早期在1929到1957年間，河口改善開始的情形



圖六 岩船港防波堤延伸所引起的砂舌推進的海岸線



照片 1 岩船港周邊在公元1965年的海岸線



照片 2 岩船港周邊在公元1988年的海岸線



照片3 大洗港周邊在公元1961年的海岸線



照片4 大洗港周邊的海岸線（1976年）



照片5 大洗港周邊的海岸線（1988年）

## 墾丁後壁湖遊艇港計畫概況簡介

宇泰工程顧問公司經理 鍾兆君

### 一、計畫緣起

墾丁國家公園風景秀麗，自然生態資源豐富，為國人最嚮往之旅遊地點之一。惟過去相關建設多集中於陸上遊憩據點之開發，近年國民對海洋遊憩需求與日俱增，每年夏季墾丁沿海戲水遊客人潮如織，現有設施早已無法滿足遊客需要。為疏解龐大遊憩需求壓力，墾管處即有開發遊艇碼頭之構想，以藉此拓展活動範圍，提供國人親睹當地豐富之海洋生態景觀資源之機會。

墾管處最早於民國74年即委託顧問公司辦理墾丁及鵝鑾鼻遊艇碼頭規劃工作，原構想選擇墾丁員山鼻及鵝鑾鼻二處建港。鑑於前者引導過量遊客進入墾丁地區，將對環境生態造成嚴重衝擊；後者建港條件不佳，規模過小無經濟效益，以致該計畫未能執行。

民國78年墾管處另請美國EDAW公司重新檢討規劃遊艇港，初步建議利用現有後壁湖漁港北測空地開挖遊艇港所需水域，該區原屬核三廠用地，經獲台電公司支持，本案始得順利進行。而後於民國79年經廣徵遴選本顧問公司辦理本計畫設計及監造工作，迄今第一期港灣主體工程已近完成

，目前正辦理陸上服務設施發包興建工作，工程尚稱順利。本工程首創擴建漁港作為遊艇港使用之先例，其間與當地漁民經無數次折衝協調，並維持十分融洽之關係，堪為爾後類似案例之借鏡。

### 二、基地現況概述

本港址位於後壁湖漁港北側窪地，採陸挖方式闢建港池水域，港口航道與漁港共用。鄰近海岸為本國家公園特有之海域特別景觀區，珊瑚生長繁茂色彩豔麗，為墾管處最積極提供遊客觀賞之區域。港址陸側有台電核三廠溫排水渠道通過，限制土地利用，鄰近海岸相關地理位置詳如圖1。

港址土地原屬核三廠所有，台電公司已同意墾管處徵收溫排水渠道以東至海岸邊土地。排水渠道以西（陸側）大部份土地仍為台電保有，該公司已同意本計畫闢建停車場使用，其間尚有10餘筆私地，目前已完成拆遷補償作業。

台電公司擬配合本計畫於排水渠道西側規設核能展示館及相關公園設施，以共同開發本區為南台灣最具規模之海洋遊憩區。另墾管處積極開闢本港聯外道路，避免本港建設對當地

居民帶來不便與干擾。

### 三、平面佈置研擬

#### 1. 計畫目標

港址緊鄰本國家公園僅有之兩個海域特別景觀區，海底地形景觀秀麗，珊瑚生長繁茂。在不破壞海域特有生態景觀之前題下，有效開發海上觀光遊憩資源，以達到育教於樂之目的，為本計畫最高指導原則。

#### 2. 開發規模

##### (1) 容納船型及船數擬定

本港依可利用土地及水域面積估算，可容納之遊艇數概估如下：

|                 |      |
|-----------------|------|
| A. 玻璃底觀光船       | 8艘   |
| B. 海釣船          | 10艘  |
| C. 大型遊艇(含水域及陸置) | 122艘 |
| D. 小型遊艇(陸置)     | 120艘 |
| 合計              | 250艘 |

##### (2) 計畫服務遊客人數

將來前往本港之遊客可簡化分為搭乘玻璃底觀光船短暫停留遊客、乘坐動力艇或帆船參與海上遊憩活動遊客、及至海岸游泳或潛水遊客三類。依遊憩承載量估算，本區每日最大可供4,700人次活動。

#### 3. 平面佈置研擬

依基地條件及計畫服務遊客量，研擬本遊艇港平面佈置詳圖2，圖3為本港模型一景。茲將主要設施概述如下：

##### (1) 港灣主體設施

本港與漁港共用相同港口航

道水域，故無需另築外廓設施。工址西側為核三廠溫排水渠道，東側為高約+7~+12m之工然沙丘。由於沙丘表面海岸原生植物生長良好，擬予保留。故僅利用沙丘與排水渠道間寬約100m，長約300m之窪地開挖成港池，呈曲折狀，深度-2.7m（築港基點），可提供60呎以下遊艇進泊。

港渠四週均為直立式岸壁，於主要登船岸壁設置4組浮棧橋，供遊艇繫泊。港區北側空地闢為舟艇服務區，設置起船滑道、維修廠、臨時置艇區及長期置艇區等設施。

遊艇所需加油設備則由壟管處函請中油公司利用漁港加油站增設遊艇所需油料之儲油、加油設備，及提供液化石油氣出售服務。

##### (2) 陸上服務設施

由於溫排水渠道以西尚屬台電用地，固於土地法令限制，本港服務設施限制於排水渠道以東狹小土地內。港區建築基本上因應墾丁地區炎熱天候，採六邊型結構體及框架為單元所組成虛實空間，建築色彩以淡色為主，以營造活潑愉快氣氛，主要服務設施說明如下：

##### A. 遊客服務中心

本建築主要提供乘坐玻璃底觀光船或至本港租船之大眾遊客購票、候船、餐飲、休憩、寄物、浴廁等服務空

間。本建築旁為溫排水渠道，予以加蓋70公尺，以期獲得較完整使用土地。建築本體順應地形為三層建築，遊客由中間地面層進入，下至登艇碼頭區，上至餐廳服務區。

#### B.管理站

管理站主要作為港區管理及遊客教育使用，建物內設辦公室、教室、會議室、展示室等設施，提供遊客觀賞海洋生態教育影片及業者舉辦遊艇操作講習之場所。

本建築原應與服務中心合併，惟基地中間受現有一座小廟所阻隔，本計畫乃將此小廟整修美化，成為本港遊客休憩參觀之焦點。

#### C.商店區建築

本建築緊鄰漁港區，共設置22間小型賣店。本賣店原則上由壑管處投資，但交由當地漁會經營，但以本計畫所徵收土地地主優先取得承租權。賣店所得收益，全數作為對當地漁民之回饋，藉此調和本港於漁民利益之衝突。

#### D.海洋生態研究室及海濱休憩中心

海洋生態研究室位於港區東側靠海岸邊，內部設置部份試驗室及學員寢室，供國內海洋研究學者利用本港為基地，從事海洋生態保育之

研究。

本建築另規劃部份空間，提供前往海濱沙灘活動之遊客休憩、淋浴、販售等服務。

#### E.警察隊營舍

本港遊艇出入由恒春警分局負責管制，壑管處另成立一水上警察隊負責海洋生態之維護與取締工作，同時協助維護遊客出海安全。於本港入口處設警察隊營舍乙處，作為警員陸上生活設施。

#### F.港區交通設施

本港停車區位於溫排水渠道西側，設置一容納300輛小汽車、15輛遊覽車及100輛機車之大型停車場。於區內設置兩座車行拱橋，達到人車分道效果。全區並以無障礙環境規劃，提供殘障人士利用之權利。於主要遊客動線設有遮蔭迴廊，引導遊客進入港區。

另於遊客服務中心與海濱休憩中心兩建築物間設一A型跨港人行步橋，聯絡兩區遊客動線，避免遊客繞道穿越遊艇服務區之不便。

該人行步橋具有遊艇揚帆之意象，橋面離水面高20公尺，巨大新穎造形可創造本港極醒目之地標（Landmark）。惟部份人士鑑於本結構體對墾丁整體景觀環境造成極大改變，如將大量遊客引

入海濱，可能破壞海岸生態。故對此橋之構想暫持保留態度，將來本港營運後審慎研究其利弊得失，再決定是否設置。

#### G. 景觀休憩設施

港區由於用地有限，無法設置大區域休憩公園。故港區停車場、框架迴廊、主要步道等空地加強種植整丁地區特有海岸原生樹木，除處處提供樹蔭外，並創造本港獨特之景象。

另於台電核能展示館預定地，保留約5公頃公園預定地，將可提供本港遊客共同利用。

#### 4. 環境保育措施

國家公園第一要務為保育自然生態資源，墾管處以戒慎恐懼之態度審慎進行遊艇港開發工作。故於設計時即充份考慮各項環保措施，茲舉例如下：

- 於海域特別景觀區各控制點設置警戒淨燈標，限制任何未經許可之船舶侵入，並由水警隊負責取締任務。
- 於置艇區角隅設污水處理廠，收集港區陸地及船舶所產生污水，經處理後始放流入海域，並嚴格限制遊艇污水排放。
- 港渠開挖所得大量珊瑚礁咕咾石要求承商集中保管，作為爾後景觀建築使用。
- 各項船艇活動採逐步開放為原則，以觀察是否對生態造成負面影響，並適時採取補救措施。

響，並適時採取補救措施。

- 遊艇業者需定期參與墾管處講習，並協助海洋生態教育宣導工作。

## 四、開發計畫及執行現況

本遊艇港建設經費約需新台幣6億元，為避免營運初期即引進大量遊客及船舶，對環境造成無可挽救之破壞，本港乃採循序漸進分期建設之開發方式，隨時檢討本港負面影響，適時修正開發營運方式。

全計畫擬分為五期進行，第一期先完成港灣主體工程，後四期再逐步擴充陸上服務設施。目前第一期工程預定於本年年底完成，現正進行第二期遊客服務中心建築及附屬停車場等工程，預定在民國82年底完成後，即先行對外開放營運。

在工程建設同時，墾管處另委託管理顧問公司進行經營管理計劃草擬工作，以期及早對外公告招標，讓業者有充足時間進行營運前準備作業。

## 五、結語

後壁湖遊艇港為融合港灣、建築、景觀及環境之綜合開發計畫。本工程最值得外界效法之處為對環境生態保育之重視，以期使國人徜徉於海洋同時，學習如何尊重自然保護自然，以達到育教於樂之目標。

於計畫執行過程，與漁民百姓溝通協調，獲得地方人士充分支持與協助，為本港順利推動之主要關鍵，此經驗可作為相關單位擬開發利用漁港餘裕，作為海洋遊憩使用之效法學習案例。

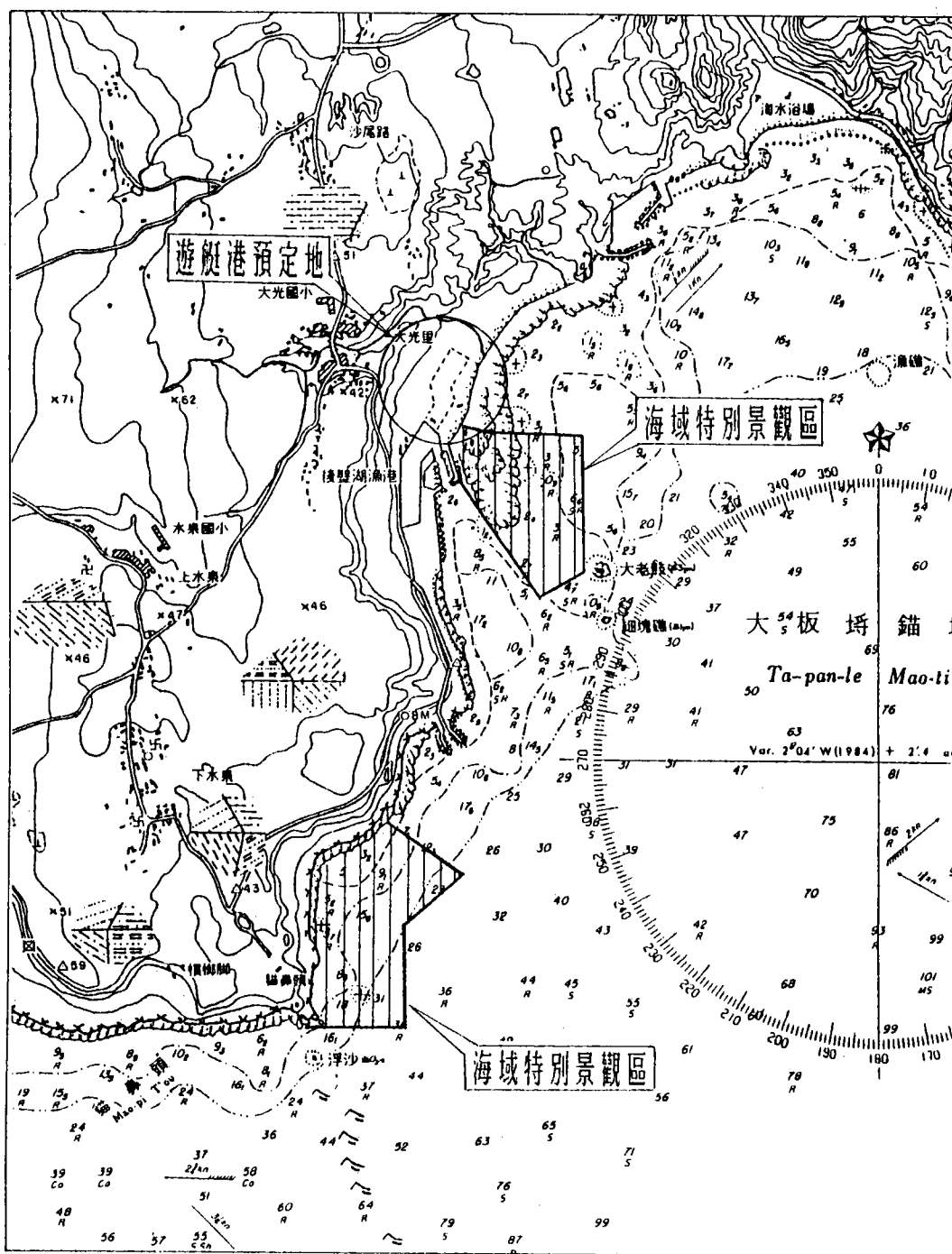


圖 1 計畫區鄰近海岸地理位置圖

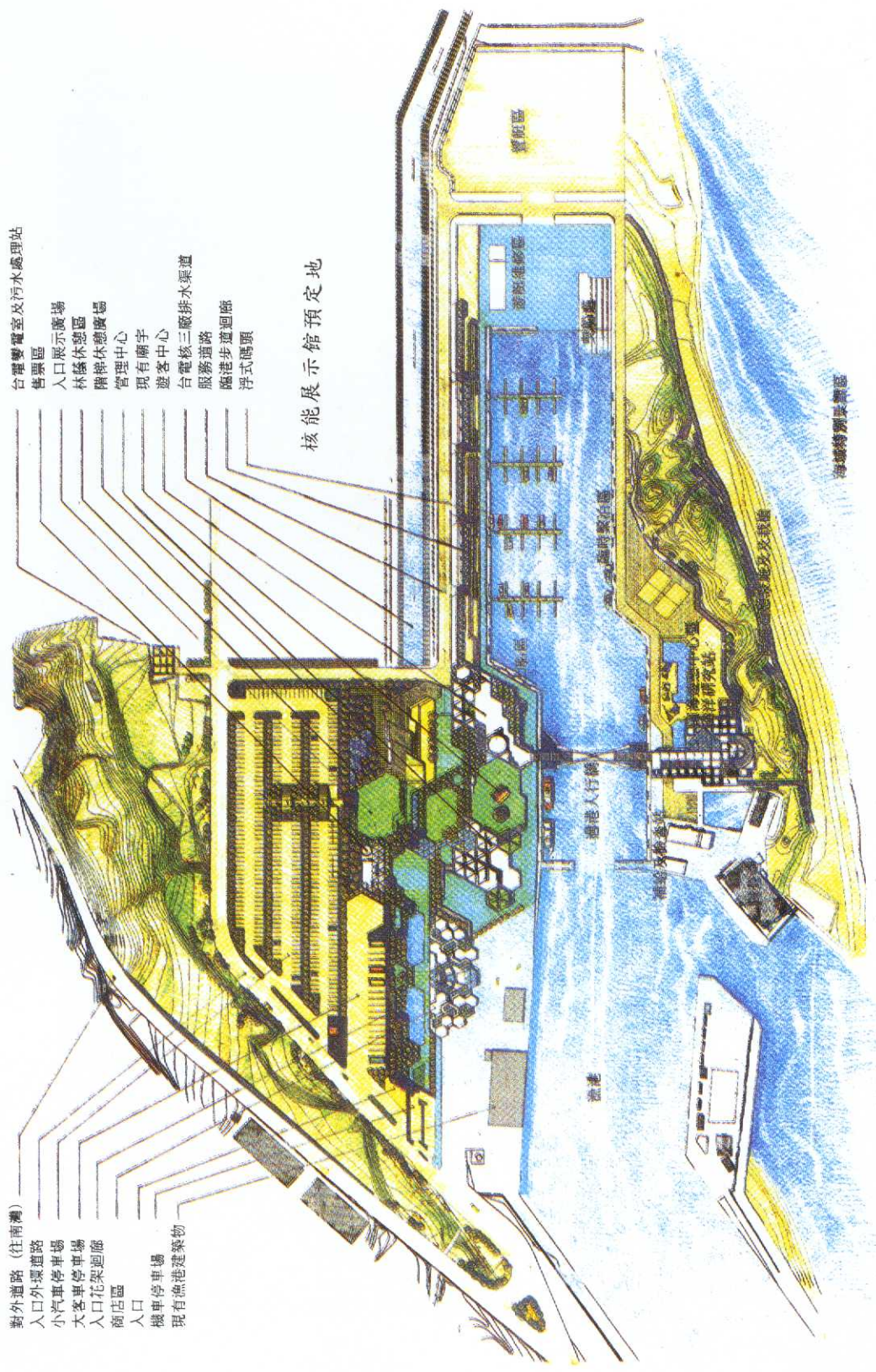


圖 2 後壁湖遊艇碼頭全區配置圖

宇泰工程顧問有限公司  
薛晉屏建築師事務所

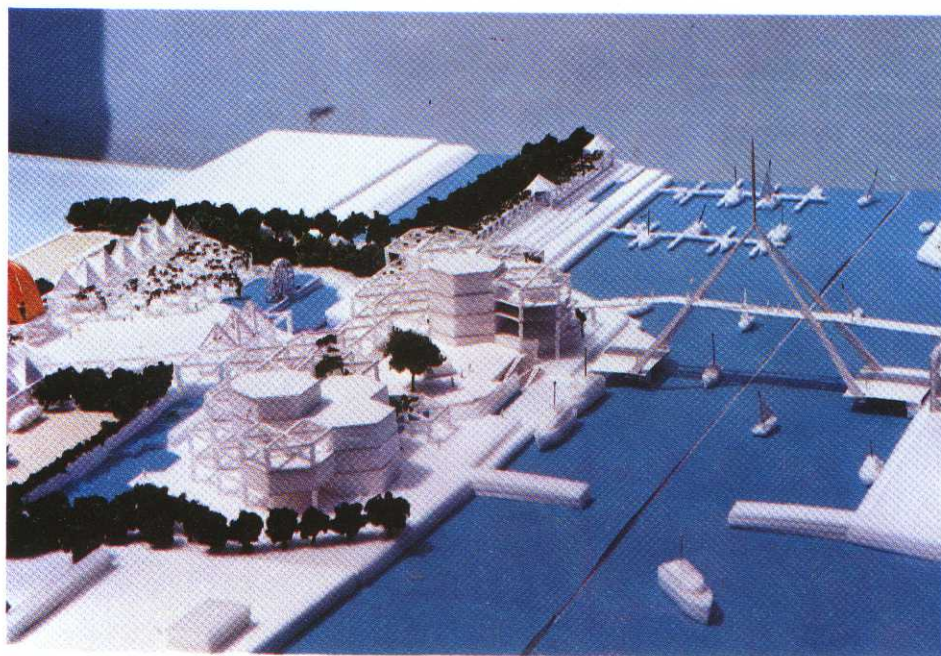


圖3 後壁湖遊艇港及相關設施立體模型一景

# RO-RO 船舶及靠船坡道之規劃探討

宇泰工程顧問公司經理 黃來旺

## 一、前言

船舶不論自備坡道(Ship Ramp)或藉助岸上坡道(Shore Ramp)而使貨物能以水平移動(Horizontal Movement)方式裝船或卸船者，稱之駛上駛下船(RO-RO Ship)。

RO-RO 船在港口缺乏起吊設備情況下可發揮其特長，尤其大陸現有港埠設施落後，主要國際商港如大連、上海、廣州、海南島等之岸上吊上吊下設備落伍，嚴重影響裝卸作業，尤其以貨櫃船影響最大，造成船東須多付快卸費。因此，以 RO-RO 船來擔負兩岸間之貨物運輸，將有助於解決大陸港口裝卸設備不足之問題。

展望將來為因應兩岸直航需要，國內 RO-RO 碼頭將應運而生。惟在規劃一 RO-RO 碼頭前，應先對 RO-RO 船特性有深入了解，因此，本文主要針對 RO-RO 船舶特性及靠船坡道加以分析，以供國內規劃 RO-RO 碼頭之參考。

## 二、RO-RO 船分類及其分佈

根據英國 Fairplay International Research Services (FIRS) 按運載貨物

、車輛、及旅客等不同將 RO-RO 船分成下列八種型式，即：

1. RO-RO 貨櫃船 ( Container Ship / RO-RO )
2. 汽車運輸船 ( Car Carrier )
3. 火車／汽車渡輪 ( Train / Vehicle Ferry )
4. 火車渡輪 ( Train Ferry )
5. 貨物渡輪 ( Freight Ferry )
6. 旅客／火車／汽車渡輪 ( Passanger / Train / Vehicle Vessel )
7. 旅客／汽車渡輪 ( Passanger / Car Ferry )
8. 旅客／貨物運輸船 ( Passanger / Cargo Vessel )

國內有關 RO-RO 船資料不多，茲就 FIRS 資料庫記錄 1967～1985 年建造之 RO-RO 船計 1,674 艘，扣除其中資料不全資料共 1,617 艘後進行數量分佈統計如附圖一所示，其中以 RO-RO 貨櫃船所佔比率最高，其次為汽車運輸船、旅客／汽車渡輪。整體而言，RO-RO 船仍以 6,000DWT 以下居多，但隨著 RO-RO 船加入深海運輸，船型有大型化之趨勢；此外，各類船因其用途及船型特性，載重噸位分佈並不一致，其中兼具載客之旅客／火車／汽車渡輪、旅客／汽車渡輪、

旅客／貨物運輸船等之載重噸一般均較同型貨輪（長×寬×吃水之積相當者）為小。

目前大陸RO-RO船共16艘，其噸級約分佈在5,000～8,000DWT及12,000～14,000DWT等二級，其船種大部份為貨櫃RO-RO船及汽車運輸船。

### 三、RO-RO 船船型諸元特性

RO-RO 船運送貨物之種類及裝卸方式與一般貨船有明顯之差異，因此有獨特之船型及設備，RO-RO 船為便於安置船艙處之裝卸設施，在水線以上有較大之艙間容積及甲板面積，此外，其船寬／吃水比值亦較一般貨船為大。

一般 RO-RO 船製造前，必須根據船東對貨物種類、載貨重量、空間及速度等要求，並考慮航行區域、港口，甚至船席大小之限制，以決定 RO-RO 船之主要尺寸。RO-RO 船設計時一方面要求高速船之細瘦線型，另一方面又要求較大船寬以增加裝載空間，以及小之長寬比以利港內操縱，因此在各項因素相互牽制下，決定船型主要尺寸時必須考慮其間適當之匹配。

統計FIRS資料庫內之1,617艘RO-RO 船之船長、船寬與吃水等資料顯示：船長在150m以下者佔73.4%，而以100～125m最多。船寬在22.5 m以下者佔65.1%，而以17.5～20m最多。船吃水在7m以下者佔69.7%，以5～6m最多。而各噸級 RO-RO 船船長、船寬與吃水典型尺寸如附表一所示，但

對於載客之 RO-RO 船之載重噸位比同型載運車輛、貨櫃之 RO-RO 船小得甚多，因此為表示載客 RO-RO 船之尺寸，宜以總噸位為準，方不致產生混淆。

附表一 Ro-RO船不同載重噸級船型之主要尺寸

| 船型尺寸  | 6,000 DWT | 8,000 DWT | 10,000 DWT | 12,000 DWT | 15,000 DWT |
|-------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 船長(m) | 130       | 144       | 158        | 172        | 193        |
| 船寬(m) | 19.7      | 21.3      | 22.9       | 24.5       | 26.9       |
| 吃水(m) | 6.1       | 6.8       | 7.5        | 8.1        | 9.2        |

### 四、RO-RO 船通道

#### (一)通道型式

根據FIRS資料庫記錄之665艘RO-RO 船通道型式資料，通道型式可概分為：船舶坡道（Bow Ramp）、船艙門（Stern Door）、船艙坡道（Stern Ramp）、船艙斜向坡道（Stern Quater Ramp）、船艙迴旋坡道（Stern Slewing Ramp）、船側向坡道（Side Ramp）、船側門（Side Door）等七種。

為配合船舶裝卸需要及碼頭條件，往往一艘 RO-RO 船同時設置二處通道，或三處通道，因此組合而成之

通道型式至為繁多，而碼頭規劃時應儘量考慮以適應最多數之通道型式。就個別通道使用之船舶數予以統計顯示，以船艙坡道為最多，其次為船艙斜向坡道。

### (二)坡道寬度

根據 I.C.H.C.A. ( International Cargo Handling Coordination Association ) 曾蒐集數百艘 RO-RO 船坡道之寬度，統計其坡道寬度與滿載吃水之關係顯示，坡道之寬度隨噸級增加而增加，貨輪一般介於 6m~16m 間，以 10m~14m 最多；客輪一般介於 10m~15m 間。

### (三)坡道出水高度

RO - RO 船坡道之出水高度 ( Threshold Height above Load Water line ) 之變化可達 1~7m，一般隨船之種類、噸級、吃水及空載或滿載有所差異，而碼頭岸上坡道要求設計與船艙口門檻一致將十分困難。依 I.C.H.C.A. 調查 RO-RO 船坡道出水高度與船隻滿載吃水之關係顯示，貨輪絕大多數坡道出水高度在 3m 以下，平均為 1.5m；客輪絕大多數為 5m 以下，平均為 2.5m。

## 五、靠船坡道型式

在一般潮差小之港口，RO-RO 船靠泊碼頭後，放下其船外坡道 ( Ship Ramp ) 便可供車輛行駛於船內及岸上之間。但對正常潮差在 1.5m 以上時將顯困難，茲就一般靠船坡道型概要如下：

### (一)機械式調整坡道

機械式調整坡道係利用鋼纜控制或油壓控制方式將活動橋 ( Bridge Ramp ) 之靠船端作昇降調整，以適應各種潮位變化，使 RO-RO 船之艙口坡道與活動橋間能經常保持緩和坡度，供車輛駛上駛下。

此種裝置設施主要包括活動橋 ( Bridge Ramp ) 及調節塔 ( Adjustable Tower ) 二部份，如附圖二所示，另如活動橋如坡度較陡時，則岸上與其銜接段仍需設置一固定之岸上坡道 ( Shore Ramp )，藉以緩和由活動橋至岸上或岸上至活動橋之坡度變化。活動橋為介於岸上坡道與船坡道間之鋼橋，可上下活動，一端與陸上坡道銜接，另一端依調節塔之控制可自由昇降。此種裝置之使用一般係以特定船型或水域空間不足之處為對象，彈性不大。

### (二)水力浮動式調整坡道

水力浮動式調整坡道裝置上與上述機械式調整坡道主要差別在於將機械調節塔改為隨水位升降之浮船 ( Pontoon )，以自動調整活動橋與浮船銜接之高程，使 RO-RO 船在任何潮位下，均可順利停靠裝卸貨。此種裝置主要包括活動橋 ( Bridge Ramp ) 及浮船 ( Pontoon ) 等二部份，如附圖三所示。

### (三)岸上固定式坡道

岸上固定坡道如附圖四所示，係在岸上設置連續緩坡供船上坡道降放，以供車輛駛上駛下，岸上固定坡道僅適用於正常潮差小於 1.5m 之港口使用。

## 六、靠船坡道型式比較

靠船坡道型式之選擇應考慮港口潮差變化、及計畫可作業之水位、船席水域空間、及工程經濟性等因素，根據PIANC（Permanent International Association of Navigation Congresses）及ISO（International Organization for Standardization）規範，正常潮差大於1.5m時應設置可調整式坡道；高雄港平均潮差0.7m，大潮平均潮差0.88m。基隆港平均潮差0.48m。因此，基、高二港可採岸上固定坡道，至於台中港平均潮差3.74m，大潮平均潮差更高達4.59m，宜採可調整式坡道。茲就三種型式之坡道在建造費用、維護保養、操作使用比較如下：

### （一）建造費用

岸上固定式坡道構造最簡單，工程費最低。而其它兩種型式之調整式坡道均需要聯絡之活動橋，其主要差別在於靠船端之控制，機械式調整坡道靠船端需設置垂直升降之調節塔，由於需承擔由活動橋上之靜載重及活載重所傳遞之力量，因此調節塔下之墩基礎應詳加設計，此外，活動橋上下係藉調節塔內之絞盤牽引或伸放鋼纜來控制，並須透過岸上控制室之儀控系统來操控。

水力浮動式調整坡道靠船端為一浮船，浮船船殼由堅硬防水之隔壁構成，船殼為堅硬防水之壁體，可為防銹鐵殼，船殼內則由隔壁分成不少隔間，構造簡單，浮船控制活動橋上下完全依賴水位升降。因此其建造費用

將明顯較機械式調整坡道為低。

### （二）維護保養

機械式調整坡道為升降活動橋，必須裝置機卸設備及儀控設施，在港口風害鹽害之侵襲下，維護保養不易，維護費用將不低。而水力浮動式調整坡道構造及操作簡單，無需精密設備，維護保養容易。至於岸上固定式坡道則較前二者更容易維護保養。

### （三）操作使用

岸上固定式坡道限水位變化在1.5m以內使用，方能維持一合理之坡度，因此將限制潮差變化較大地區之使用。

世界上調整坡道之使用以水力浮動式為最多，水力浮動式牽動活動橋上下完全依賴水位升降，不需額外之儀控設施及人力。而機械式調整坡道則隨水位升降，需由經儀控系统操控，操作上不及水力浮動式方便。

此外，水力浮動式坡道很容易牽移至其它碼頭使，使用上較具彈性，惟浮船必須佔用部份水域，對空間受限之碼頭，是一重要之限制。

## 七、靠船坡道規劃注意事項

有關RO-RO靠船坡道之規劃作業，參考PIANC及ISO規範，摘述其規劃時應注意要點分述如下：

1. 使用艀艀坡道之駛上駛下船須於碼頭尾端設一平台（Platform）供船上坡道放置，此平台須設固定坡道或可調整之坡道或輔助機卸設備。
2. 如設固定坡道，則碼頭尾端平台（

Platform) 之寬度最好為 32M, 或最大可能靠泊船隻之船寬。

3. ISO 針對 RO-RO 船特性建議下列兩種固定式坡道標準斷面, 如附圖五所示。

CLASS A: RO-RO 船在裝載情形下船上自備之坡道可降放在正常高水位上 0.25m, 及正常低水位上 1.75m 間。

CLASS B: RO-RO 船在裝載情形下船上自備之坡道可降放在正常高水位上 1.5m, 及正常低水位上 3.0m 間。

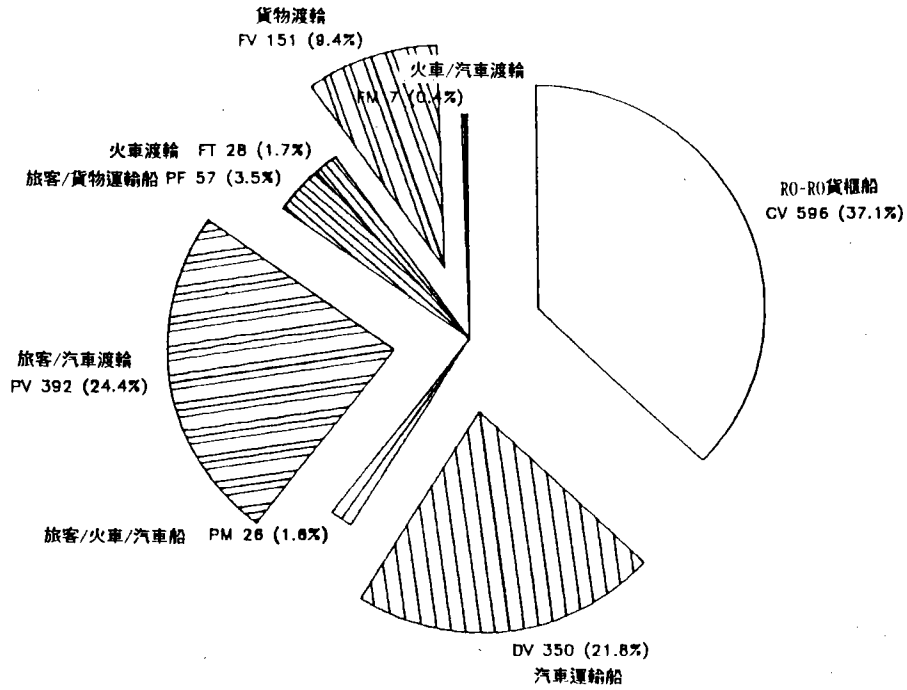
4. 可調整式坡道應可在正常低水位以上 1.75m, 正常高水位以上 1.5m 之區間作業。
5. 岸上坡道或可調整坡道之淨寬, 單車道最小 5m; 雙車道 ISO 規定最小為 9m, PIANC 規定最小為 7m。
6. 由坡道表面計起之淨高, PIANC 規定最小為 7m, ISO 規定最小為 8m。
7. 坡道之上下坡度變化要平緩, 必須考慮小輪胎載運機具之行駛安全, 一般而言岸上坡道或可調整式坡道接船上坡道處之坡度最大為 1: 10, 若確有困難局部段可採 1: 8。

8. 岸上坡道前緣高程視碼頭用途可採 RO-RO 船出水高度平均值擬訂之, 即貨輪坡道出水高度平均為 1.5m, 客輪平均為 2.5m。

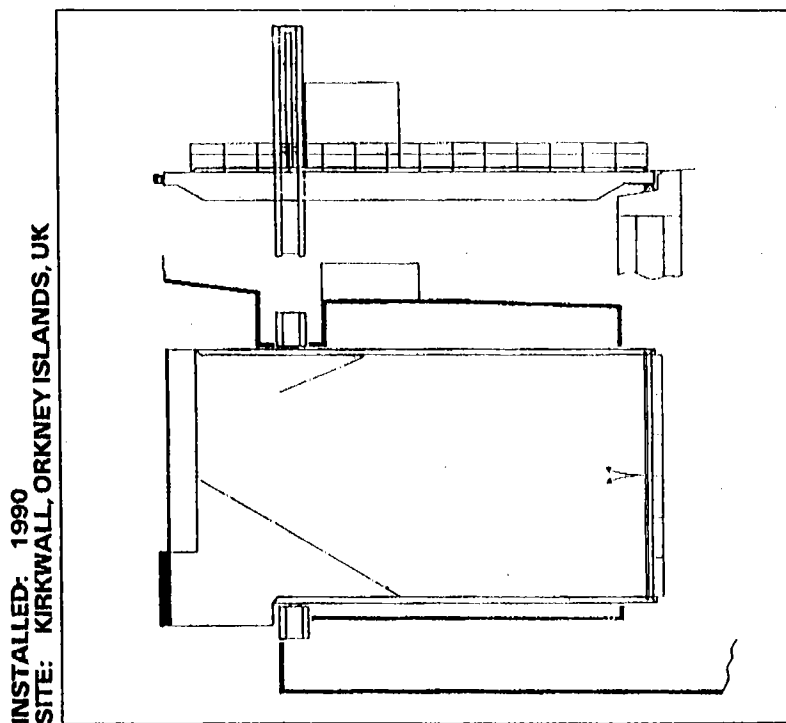
## 八、結論

RO-RO 船雖然具有高效率之作業能力, 且在缺乏起吊設備之港口更能發揮其特長, 但 RO-RO 船造價卻較一般船舶昂貴, 以 1992 年船價基準, 一艘 400TEU 之 RO-RO 貨櫃船約 2,700 萬美元, 同型之全貨櫃船及半貨櫃船僅需 1,500 萬美元, RO-RO 船之投資成本 (Capital Recovery Cost) 較高。此外, RO-RO 船因有內部坡道 (Internal Ramp) 損失許多可資獲利之空間, 使經營者處於較不利地位。因此, 為彌補上述不利之弱點, RO-RO 船之裝卸作業應維持一定水準之效率, 而靠船坡道是否完善將是影響 RO-RO 船裝卸作業之重要關鍵之一。因此, 將來在規劃 RO-RO 船碼頭時, 應特別對計畫採用之 RO-RO 船特性及靠船坡道詳加研究, 方不致因考慮欠周, 導致影響未來營運之方便性, 而降低其成效。

### Distribution of Ro-Ro Vessel Type

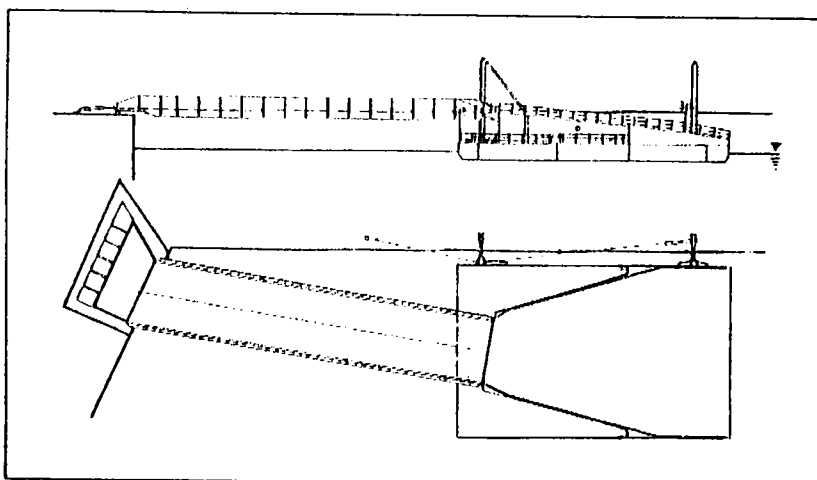


附圖一 Ro-Ro船分類及其數量分佈

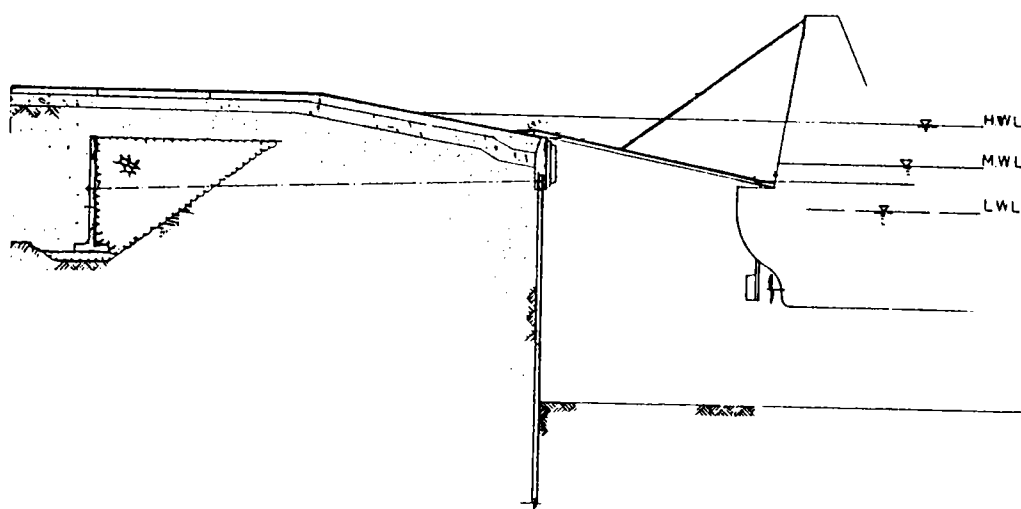


附圖二 機械式調整坡道示意圖

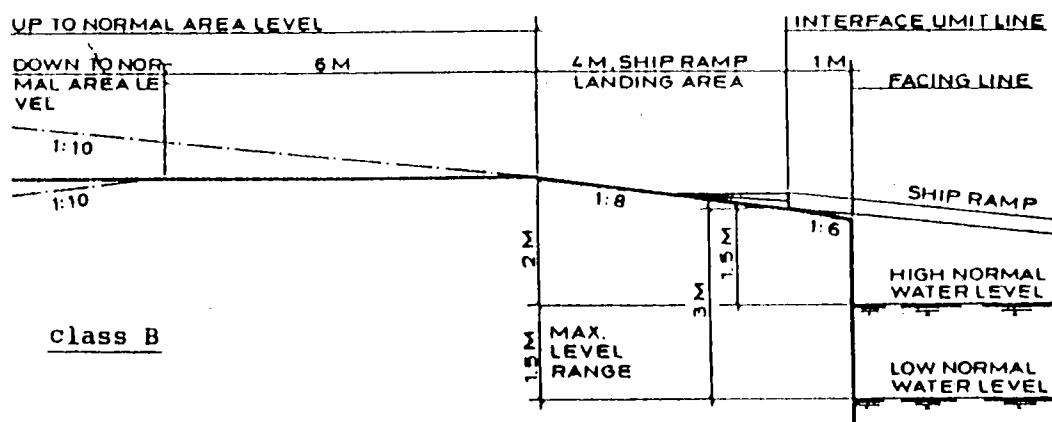
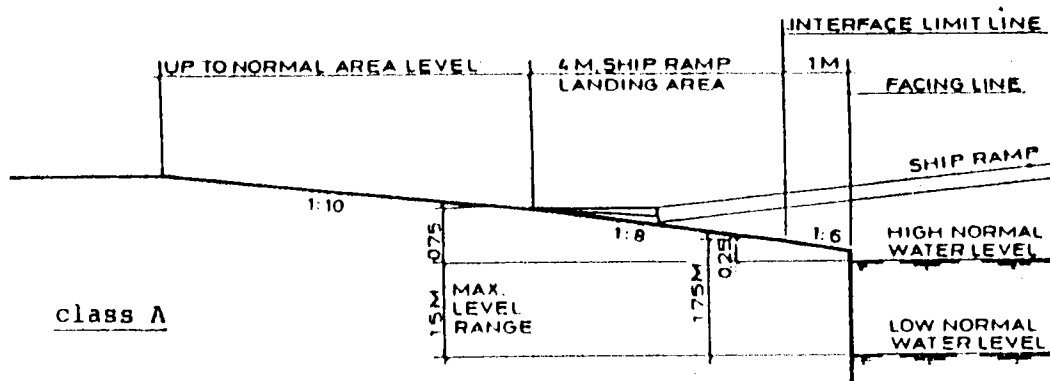
INSTALLED: 1984  
SITE: ZEEBRUGGE, BELGIUM



附圖三 水力浮動式調整坡道示意圖



附圖四 岸上固定式坡道示意圖



附圖五 ISO建議之固定式坡道標準斷面圖

# 超級深水港防波堤斷面之研究

中華港埠顧問（前花蓮港務局總工程司） 徐忠猷

自從基隆野柳擬建超級深水港，防波堤水深最深處達—55公尺，本省港灣工程界方涉及超級深水防波堤之設計。

著者當時即想如此深水，如按傳統設計，拋石層厚度將達20~30公尺，拋石數量過於龐大，不但工期增長，工程費亦遽增。同時又想到台中港能在漂沙海底建港，我等自己建造沙底，當亦可建造防波堤，俾減輕成本，其後又想到製造沙底，苟無邊緣填沙量過於龐大，亦同樣不經濟，故在填沙邊緣拋石製造石堤以阻沙。其初步構想防波堤深水斷面發表於第六屆海洋工程研討會，推介填沙斷面。第七屆海洋工程研討會，侯和雄及王慶福兩位，又推介日本港灣研究所研究深水防波堤之填沙斷面，與著者不謀而合，今又得日本新瀉港東港區西防波堤已完成填沙斷面如附圖1，故可斷言，超級深水港防波堤填沙斷面確實可行，日本人能，我們也能。（將來如正式設計，不妨再經過斷面水工試驗。）

推介新填沙深水防波堤斷面，如圖2。該斷面較第六屆海洋工程研討會所發表者做兩點修正：一、考慮防波堤受波浪衝擊，地基之滑動，故在

滑動線以內，均改為拋石。二、防波堤胸牆退後7公尺，故波浪對防波堤波力，原係一次產生，現分成兩次產生，中間發生時差，取其大者作為設計之依據。傳統設計產生之波壓如圖3，改良後產生之波壓如圖4，因此點之改進，防波堤之斷面可以大為減少（約20%），因此節省工程費不少。

對其他深水防波堤斷面設計之看法，圖5，沉箱座落於拋石面—35M，圖6，沉箱座落於拋石面—45M。

該兩種斷面，其主要目的在減少拋石厚度，可是進一步研究發現有許多問題，有些問題尚能克服；有些問題，則無法克服。

—35M及—45M水深，水壓均已超過三倍大氣壓力，進入中深度潛水範圍，台灣一般潛水工均為淺水潛水工，水深—20M左右，從事中深度潛水工必須另行訓練，否則一不小心即得潛水病。

在沉箱製作方面，兩邊基腳伸出部份，不能以滑模施工，勢必以人工組立模板，當然要增加工期，基腳隔艙無法填沙，勢必須以混凝土幫浦輸送混凝土填充，基腳上部封蓋時模板及支架均無法取出，僅使用一次便得

報消。又一35M沉箱完成後吃水達36.8M，一45M沉箱吃水達40.21M，故該兩種沉箱在製造時，必須特建超級深水碼頭（-41M），水域及航道，（台灣現有各港無一港可供其使用），以供該兩種沉箱之製作加高，拖曳及沉放，且一35M沉箱，本身吃水竟達36.8M，遇大潮，放置于-35M石基仍嫌不足，顯然原設計不可行，似不得不改善設計，減低吃水。

憑以上之申論，可以斷言的說，該兩案不可行。

至於填沙之液化問題，kishida（1969）發現有效覆土壓力大於 $2\text{ kg/cm}^2$ 時，未有液化現象產生，沉箱基礎沙面，承受沉箱重量及8M厚拋石重量

，每 $\text{cm}^2$ 壓力遠大於 $2\text{ kg}$ ，當不致液化。至於其他區域填沙，承受荷重當不及 $2\text{ kg/cm}^2$ ，防止液化問題，尚待進一步之研究。南非 Koeberg 核能電廠基礎土層之液化潛能，建議於原砂土層內加入少量之水泥以改良砂土之抗液化強度，發現混合5%水泥量之砂土，獲得最佳之效果。此種改良土壤強度之方法主要是利用水泥於砂土顆粒間生成一化學鍵，該化學鍵有足夠之強度之抵抗液化作用，將來分層填沙後，於填沙可能液化區內注入高壓水泥漿，以穩定填沙，以防液化。只要將來計算成本，較拋石便宜仍可考慮執行。

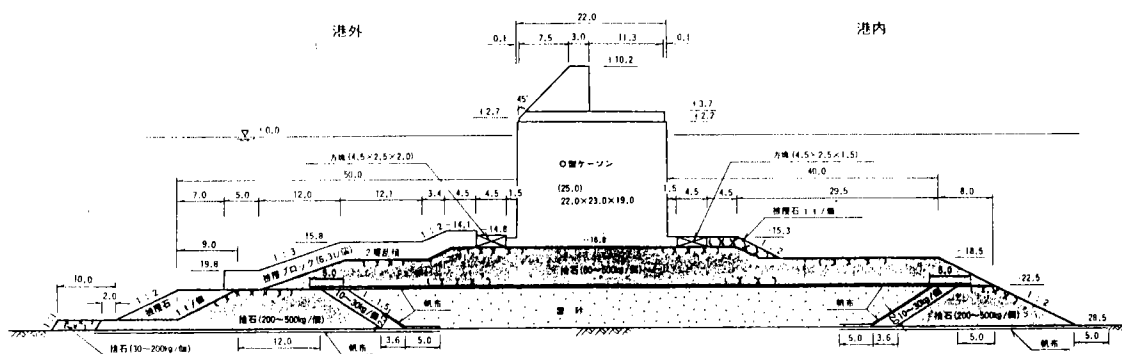
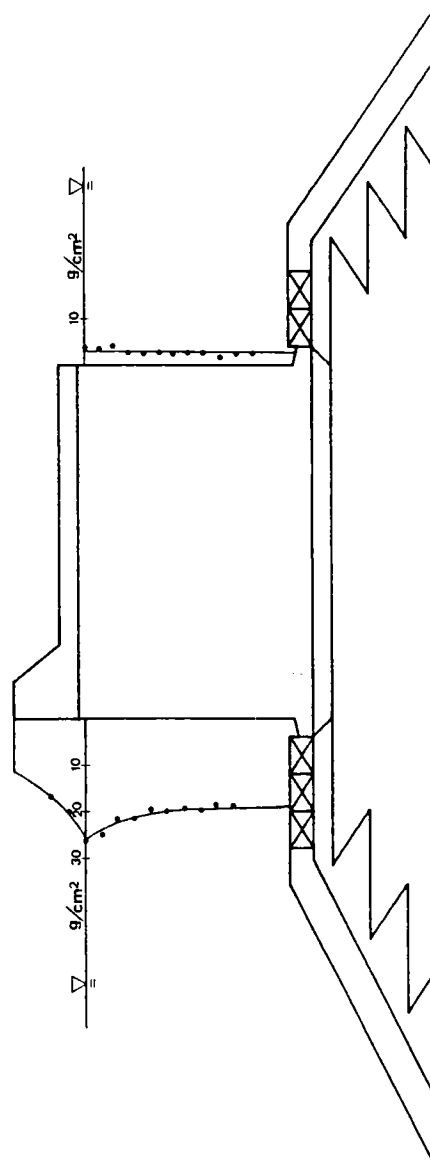
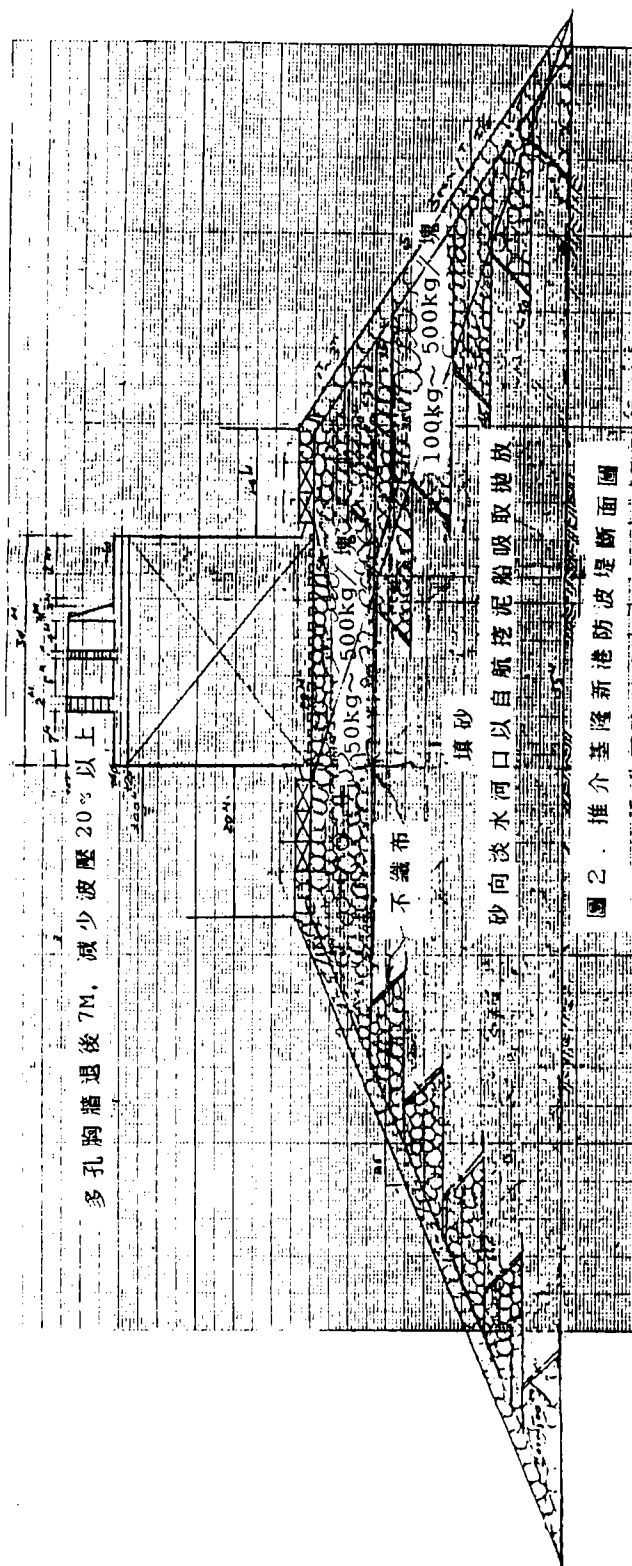


圖1. 日本新瀉港西防波堤已完成之断面圖



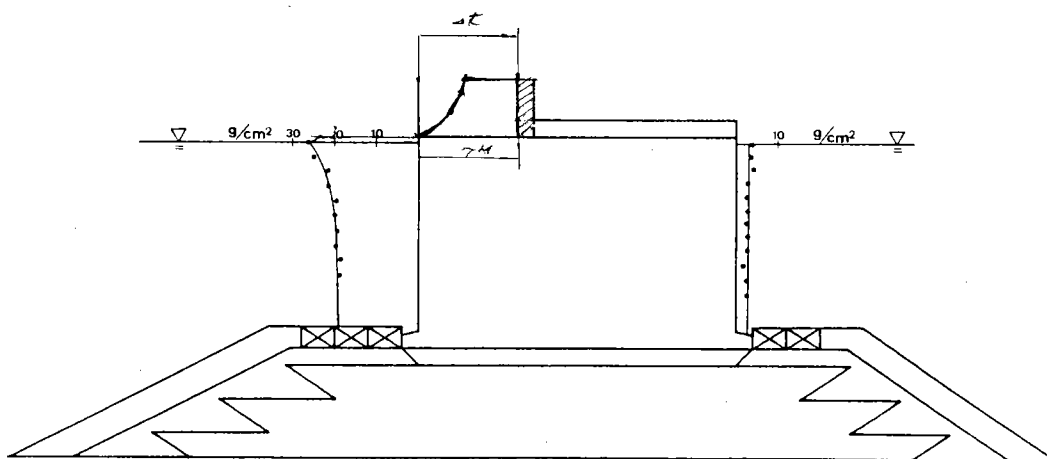


圖 4. 改良設計後，波壓分佈圖

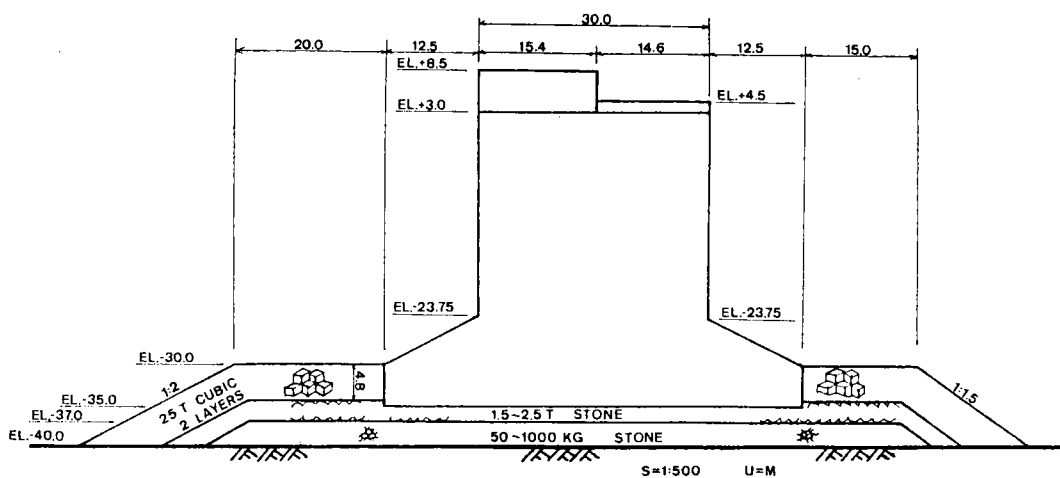


圖 5. 沉箱座落拋石面-35M斷面設計圖

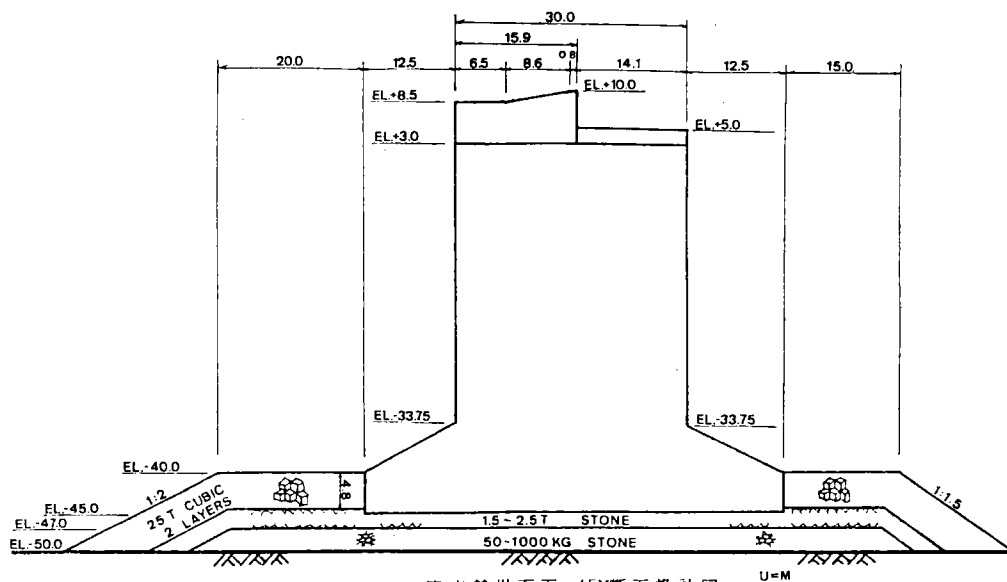


圖 6. 沉箱座落拋石面-45M斷面設計圖

# GPS 衛星測量——實驗室現況簡介

國立中央大學太空及遙測研究中心 副教授 吳 究

國立中央大學太空及遙測研究中心 研究生 林修國

## 一、前言

全球定位系統 GPS，原是美國軍方計劃做為即時性導航及定位的衛星系統，後來，在開放給民間使用之後由於理論及運用方式的不斷改善與更新，反而發展出許多意想不到的應用：如大地測量，航空測量，電離層全電子含量的計算。

## 二、GPS 之系統介紹

### 1. GPS 之系統架構

在六十年代中期，美國的空軍及海軍為了軍事上的導航和定位方面的需要，各自研擬了「NAVSTAR」及「TIMATION」定位計劃。後來，在 1973 年，該國國防部整合這兩項計劃，並且將它擴大應用於民事的定位測量上，而發展成現今之全球定位系統 GPS (Global Positioning System)。

而 GPS 的架構，大致上分成三個部份 (Segments)：1. 太空部份：即包含所有的衛星及衛星訊息方面；2. 控制部份：包含地面上的主控制站、監視站及地面天線等項目；3. 使用者

部份：即接收器與衛星訊號的處理方面。其中，在太空及控制部份之間為雙向的訊息溝通方式，此目的在於監控衛星訊息內容的正確性以及更新；而在使用者與太空部份之間則為單向的訊息溝通方式，其目的除了可以同時提供多位使用者接收使用之外，在軍事上，尚有避免使用者暴露其位置的作用。

目前整個 GPS 的計劃中，所有的衛星尚未佈署完畢，預計在九十年代中期，將可完全正式作業。屆時，將有 18 顆操作衛星 (Operational satellites) 平均分佈在 6 個軌道面上，每個軌道有 3 顆衛星；而在同一軌道的衛星之間相隔  $120^\circ$ ，在相鄰軌道的衛星之間相隔  $40^\circ$ 。另就赤道面的觀點而言，相鄰軌道面之間相隔  $60^\circ$ ，而每個軌道面與赤道面之間的傾角為  $55^\circ$ 。

。所有的軌道距離地表的高度約為 20200 公里，而衛星運行於軌道上的週期約為 12 小時。除了這 18 顆衛星之外，尚有 3 顆主動式預備衛星 (Active spares)，其作用為：平時可以加強整個衛星的幾何分佈；另外，一旦其它的操作衛星失效時，可加以替代。故整個 GPS 的計劃中，總共有 21 顆衛

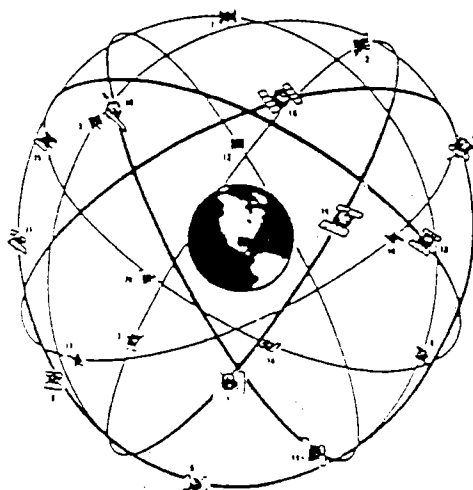


圖 1 GPS 正式運作時 21 顆衛星之立體分佈圖  
[ Hartl and Wehr, 1986 ]

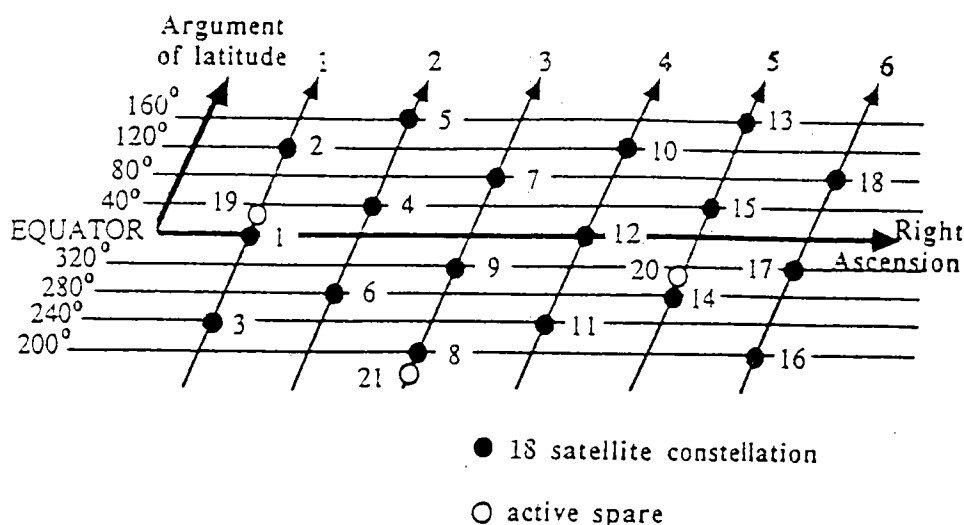


圖 2 GPS 正式運作時 21 顆衛星之平面分佈圖  
[ Wells, et al., 1986 ]

星；其衛星的立體及平面分佈情況，  
如圖1及圖2。

當所有的衛星如上述分佈時，則  
在地表上的任何地點、任何時刻，至

少可以同時接收到 4 顆以上的衛星訊  
息；而且由於衛星的幾何分佈更加理  
想，故未來將更有利於使用 GPS 做空  
間三向度的定位與測量。

## 2. GPS之衛星訊號

基本上，每顆GPS衛星攜帶著頻率穩定的原子鐘，其基本頻率（Fundamental frequency）為10.23MHz；然後依此頻率設計出L1、L2兩種載波及C/A、P兩種電碼。此外，於載波L1

及L2上，分別再調制50 BPS（Bits per second）的衛星訊息（Satellite message）。因此，對同一顆衛星而言，所有的訊號皆同步產生，其整個訊號架構如圖3。即載波L1上含有C/A、P電碼以及衛星訊息；而載波L2上僅含P電碼及衛星訊息。此外，所有訊號的波長，可見表1。

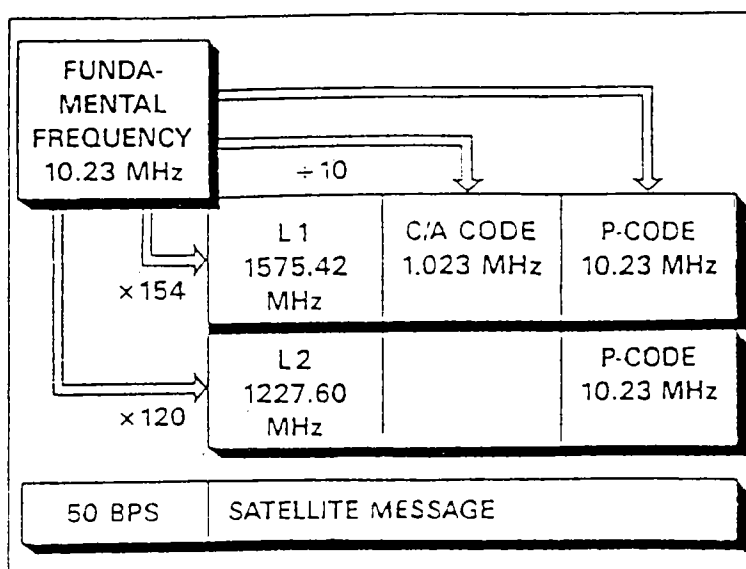


圖 3 GPS 之衛星訊號架構 [ Scherrer, 1985 ]

表 1 GPS 訊號與波長的對照表

| 訊 號 | 頻 率         | 波 長      |
|-----|-------------|----------|
| L1  | 1575.42 MHz | 19.04 cm |
| L2  | 1227.60 MHz | 24.44 cm |
| C/A | 1.023 MHz   | 293.3 m  |
| P   | 10.23 MHz   | 29.33 m  |

另就訊號的性質而言，載波L1及L2為簡單的餘弦波；而C/A電碼Clear/Access code或稱Standard code及P電碼(Precise code)為二位元之虛擬隨機雜訊PRN(Pseudo-Random Noise)電碼，即由0、1組成的方形波。因其排列方式依某種特定程序產生，且存在週期性，故有別於一般的隨機雜訊；其中，C/A電碼的週期為千分之一秒，而P電碼的週期約長達38個星期。故原則上將P電碼分成38節，提供給各顆衛星使用，另於每個星期六午夜GPS零時重新分配一次；而C/A電碼則以不同型的PRN電碼分配給各顆衛星使用。因此，PRN電碼除了可供辨識衛星之外，本身尚可做時間上的比對。至於PRN電碼的產生原理，可參考[Hartl and Wehr, 1986]。

因此，整個L1、L2的訊號可表為：

$$S_{L1}(t) = A_c P(t) D(t) \cos(2\pi f_1 \cdot t + \Phi) + A_p C(t) D(t) \sin(2\pi f_1 \cdot t + \Phi) \quad (1)$$

$$S_{L2}(t) = A_c P(t) D(t) \cos(2\pi f_2 \cdot t + \Phi) \quad (2)$$

其中：

$f_1, f_2$ ：為載波L1、L2的頻率。

$\cos$ 項：為載波L1、L2。

$A_c, A_p$ ：為C/A、P電碼的振幅。

$C(t), P(t), D(t)$ ：為C/A、P電碼及衛星訊息D電碼。

而在(1)式中，可發現C/A電碼項為正弦波，這原因在於C/A電碼與P電碼的相位調制相差 $90^\circ$ ；另外，在上兩式中，尚保留著所調制的起始相位 $\Phi$ 。

此外，由於P電碼的波長較短且結構精密，因而P電碼的精度較C/A電碼高。故美國軍方基於軍事上的考

量，對於P電碼的使用者有所管制，而C/A電碼則開放給民間的使用者使用。

而關於衛星訊息方面，其整個架構排列與所需的接收時間如圖4，即一幅(Frame)的衛星訊息長度共有1500 bits；且一幅中又再分成五個子幅(Subframes)，這五個子幅的大致內容如表2；而每子幅含有10個字(Words)，每個字為30 bits所組成。另外，第四及第五子幅共分成二十五頁(Pages)，即欲得到完整的衛星訊息，必須接收12.5分鐘共二十五幅的衛星訊息資料。

至於較詳細及重要的衛星訊息內容，可參考附錄A之RINEX格式；本文即以此種統一規格的資料做處理。此外，關於每個字與bits的詳細結構與意義，可以參考ICD-GPS-200(1987)。

### 3. GPS之廣播星曆及應用

GPS的基本定位原理相當簡單，只要能同時觀測到三顆以上的GPS衛星，並且已知各顆衛星的空間位置，以及各顆衛星與接收器之間的距離，便可利用後方交會(Resection)的方式，算得該接收器的座標。

而衛星位置的求取，一般有兩種方式：

#### 一、精確星曆(Precise ephemeris)：

又稱後處理星曆(Post-processed ephemeris)；此星曆乃地面追蹤站經由長時間的觀測推算而得，在應用時必須做內插，故不具即

表 2 GPS 之訊息內容 [ ICD-GPS-200, 1987 ]

| 子 架 構 | 內 容                 |
|-------|---------------------|
| 1     | 衛星的星期時間、狀況及時鐘改正係數等。 |
| 2 + 3 | 廣播星曆的軌道參數。          |
| 4     | 電離層參數、調整世界時及衛星配置等。  |
| 5     | 所有衛星在軌道上的概略位置及其狀況等。 |

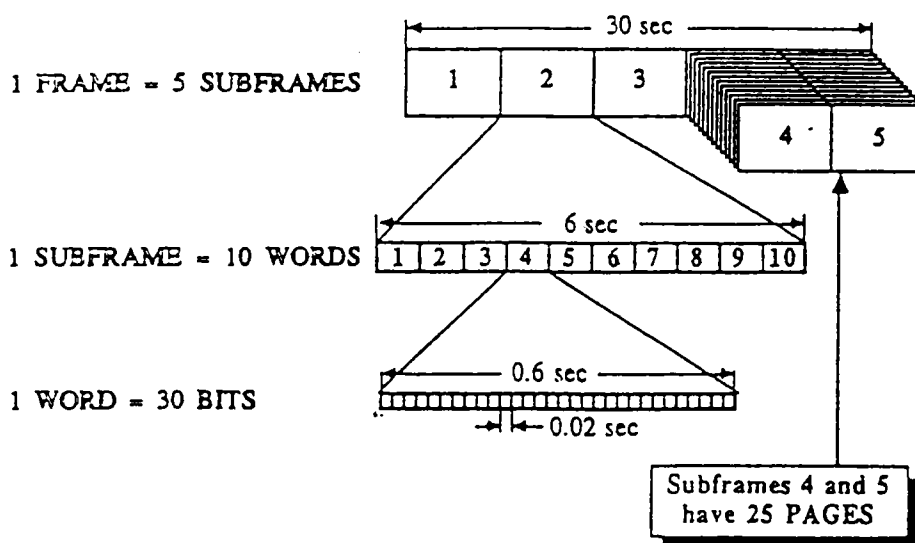


圖 4 GPS 之訊息架構 [ Wells, et al., 1986 ]

時性。但其精度較佳，約10m至20m，這對於高精度的大地測量極有助益。至於此精確星曆的來源及應用方面，可參考〔劉正倫，1988〕。

## 二、廣播星曆 (Broadcast ephemeris)

：即GPS衛星訊息所提供的星曆；此星曆乃以過去的最新後處理星曆為參考，並配合地面監視站所搜集到的數據及大氣資料等，以外插的方式算得未來的衛星位置，以及此位置前後的隨時間變

量等參數，再將這些參數傳送給衛星播放。故廣播星曆具即時性，即其精度較差，約在40m至100m之間。不過，對於即時導航定位或一般的定位測量而言，廣播星曆已足以使用。因此，本文的處理方法，乃採用廣播星曆。

此外，在理想的情況下，廣播星曆每小時會更新一次。其主要的目的在於維持星曆的精確性，儘可能避免因長時間的外插計算，而使衛星位置產生更大偏差〔ICD-GPS-200，1987〕。

### 三、衛星測量 軟／硬體項目：

#### 1. 目前本中心之衛星定位實驗室擁有之硬體有：

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| ◎AOA Rogue SNR-8A GPS                    | 兩台 |
| ◎PC 486                                  | 一台 |
| ◎EPSON LQ-570 印表機                        | 一台 |
| ◎SYQUEST 400 抽取式硬機                       | 一台 |
| ◎AOA Portable Rubidium Model PR-1000 振盪器 | 一台 |
| ◎Portable PC 386                         | 一台 |

軟體有：

- XTALK：溝通接收器與PC之軟體
- GPPSII：用以計算基線長度
- MP：用以規劃衛星接收時段
- RGRINX：用以將接收器所收之資料轉到通用的格式(RINEX)
- 本中心研發之GPS軟體：可計算長度，電離層全電子含量

#### 2. 接收器基本功能：

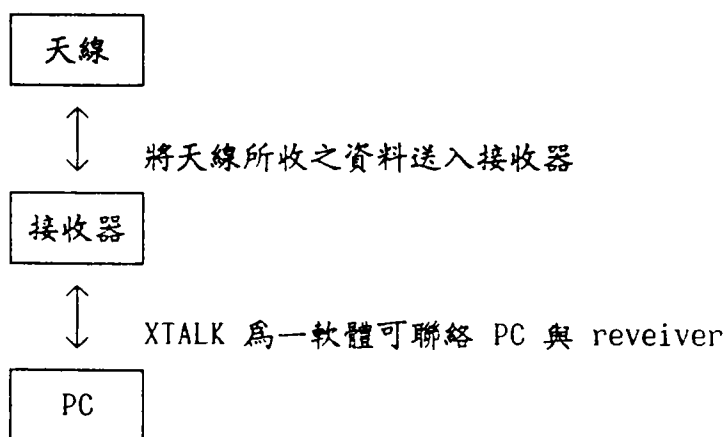
本中心所擁有的GPS接收器具有雙頻載波與雙頻P電碼接收能力，當P電碼保密，無法接收時，可藉由比較相關性的方式，來產生一種非電碼的觀測量。而接收器操作的指令說明如下：

- ☆Auto rogue：此一指令可自動的對時錶差加以修正，且會自動尋找剛從地平面升起的衛星，並加以鎖定。
- ☆AZel：此一指令可列出衛星的仰角與方位角。
- ☆Configure：此一指令使接收器開始追蹤星，當鎖定衛星訊號後並會自動將資料記錄於接收器的記憶體中。
- ☆Dataclr：將接收器的記憶體中之資料消除。
- ☆Newsat：可強迫接收器去尋找由此指令所指定之衛星。
- ☆Position：可列出目前求解所得之接收器天線位置。
- ☆Samprate：可決定資料接收的間隔，最小值為1秒。
- ☆Selftest：可使接收器進行自我測試，以確定接收器是否正常。
- ☆Status：可顯示所有頻道的資料，如取樣間隔，各頻率狀態…等。
- ☆Terminate：使接收器停止追蹤與記錄。
- ☆Upload：將接收器記憶體中的資料傳到所連接之電腦中。
- ☆??：列出所有可執行的指令。
- ☆Warmstart：即將接收器重新開機(reset)。

以上即平時操作時常用的指令。

◎下表即接收器與週邊軟體之使用流程圖：

◎ 下表即接收器與週邊軟體之使用流程圖：



到PC後便可將所收之資料轉成可用之格式 (RINEX) 至此可藉由一套裝軟體 GPPS II 進行計算，或由本中心所

研發的 GPS 軟體進行計算。可依不同的需求，求得基線長度，點位位置，電離層全電子含量等。

# 港灣防蝕探討 (I)

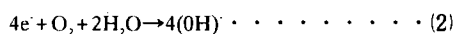
匯茂實業股份有限公司

李定湘、李定宇、王維寧

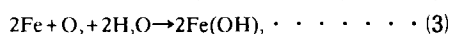
## I. 港灣防蝕之一般原理及重要性

### A、一般原理：

- (1) 鋼鐵在海水中（海泥中，土壤中），一般而言有“自然腐蝕”之傾向，一亦即鐵之離子化，由於鐵之離子化使得鋼鐵本體結構遭受破壞，因而變得較為脆弱，假以時日，腐蝕日益嚴重，終將不堪負載而崩散潰壞，如圖一所示。（此處未將海生物附著之影響包含在內）簡而言之，腐蝕之化學反應如下：



(1)，(2)兩個半反應合起來即成為



由以上之反應即可造成腐蝕電流之迴路。

除此而外，其他之腐蝕反應亦有可能，視海水成份，含氧量，污染程度，溫度、海生物附著等等因素而定。

- (2) 從熱力學的觀點來看，這個反應（在海水中）係自發反應，亦即，

$$\Delta G = -nF\Delta E, \text{ 經計算後、}\Delta G \text{ 帶負號。}$$

$$\Delta G = -(1)(2) \text{ 兩個半反應之自由能差}$$

$n$ —摩爾數（以上反應為2）

$\Delta E$ —(1)(2)兩個半反應之金反應電位

- (3) 為了避免圖一所示之過程發生，而造成可能的人員、財物等之損失，防蝕之措施乃屬必需，由世界各先進國家之統計資料顯示，由於腐蝕所造成之財物損失約佔國民生產總額（GNP）4%左右。

港灣鋼鐵結構物之防蝕目前多半採用防蝕陽極法（犧牲陽極法），而於潮汐帶配合防蝕塗料、防蝕帶共同防蝕。

（潮汐帶含氧量多，腐蝕特別嚴重，所以必需特別注意）

- (4) 防蝕陽極法、防蝕塗料、防蝕帶等之使用相當普遍其經濟、安全效益均佳。除此而外，外加電流法（IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION）亦可，但甚少用之於港灣防蝕之用，其維修、可靠性等尚待時間之證實。

防蝕陽極法目前多使用鋁合金陽極（鋁合金陽極之材料成份，測試及其他將於“港灣防蝕探討（II）”中加以敘述），其原理甚為簡單，可用勒沙特列原理加以解釋，鋼鐵材料在海水中之腐蝕反應為：



若有一外來之材料，能夠提供許多的 $e$ （代表電子），則反應(4)中①之走向將被阻擋，利於②之走向，而使鋼鐵材料維持原樣，不離子化，亦即防止了腐蝕的發生。

防蝕塗料及防蝕帶之使用，主要是為了避免潮汐帶中含氧量多之海水與鋼鐵材料接觸而造成腐蝕（防蝕陽極之保護作用在潮汐帶中不完全），其材料通常使用飽和碳氮化合物及樹脂（EPOXY），聚乙烯等。

飽和碳氮化合物中均為單鍵沒有雙鍵或三鍵等，所以在沒有其他功能基（FUNCTIONAL GROUPS）之狀況下，不致於高分子化（Polymerize）而結塊、硬化、裂化，因之失去其隔離海水與鋼鐵材料接觸之作用。（飽和碳氮化合物是親油性，排水性的）。

其漆加物，保護層之作用係用來確保飽和碳氮化合物之黏著性，抗幅射性，位置之固定等，使得飽和碳氮化合物與鋼鐵材料得以緊密接合（工程設計部份將詳述於“港灣防蝕探討(III)”）而達到防蝕的效果。

#### (5)成本分析：

建立一座碼頭之成本，一般而言，包含挖泥，打樁（或板），拋石，碼頭上之建築物、設備等等，費用相當的大，若鋼管或鋼板沒有適當保護，而使得碼頭維修費用增加或需重建，則對納稅人而言，是一種莫大的浪費，這些資金可以用來做更有意義的事情。

用很簡單之數學模式分析即可

得知防蝕陽極之經濟效用。

$C_1(t)$  = 建立一座碼頭之總費用，含材料、人力、設備、建築物等（TOTAL CAPITAL COST）。 $t$  代表時間，碼頭建立之時間。

$Y$  = 設計碼頭使用年限，年。

$C_2 = C_1(t)/Y$ , AMORTIZED OVER  $Y$  YEARS, 每年固定之消耗費用（折舊費用），不包括利息。

$C_3(t)$  = 每年之運作成本，OPERATING COST，含水、電、人力、維修、利息、inflation 等等，為變數， $t$  代表時間。

$C_4(t) = C_2 + C_3(t)$  每年之總運作費，TOTAL OPERATING COST

若設計使用年限為 $Y$ 年，而碼頭因未安裝防蝕陽極在 $A$ 年底即需重建，則納稅人之損失約為：

$$(Y-A)C_4(t) + C_1(t)$$

防蝕陽極安裝之成本以 $A(t)$ 來代表，依經驗所得

$$(Y-A)C_4(t) + C_1(t) > A(t)$$

如此，安裝防蝕陽極，而使得碼頭能使用至 $Y$ 年，則可為納稅人節省：

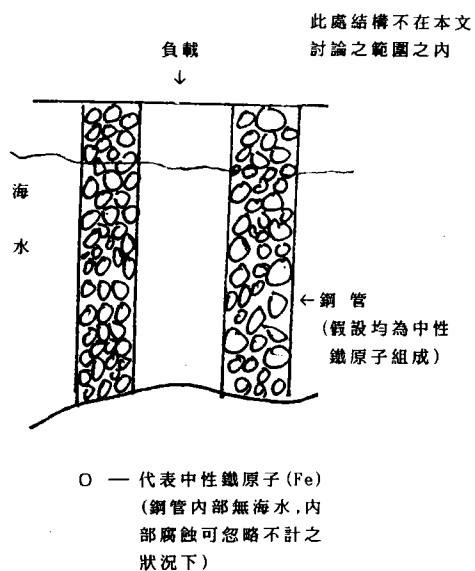
$$(Y-A)C_4(t) + C_1(t)A(t)$$

（以上之分析僅為概念上之分析，並未進入細部、分項討論）

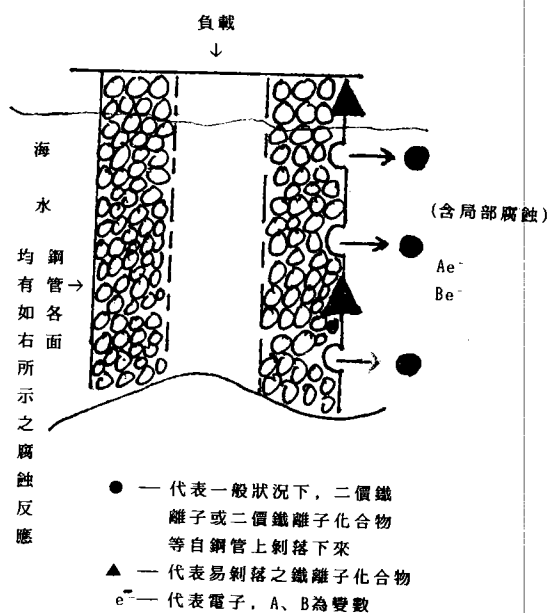
#### B、重要性：

由(A)中所討論之安全性、經濟之效益，可得知港灣防蝕之重要性，唯港灣鋼鐵結構物在海水中之防蝕方法不斷的在改進、在發展之中，欲能在國際上有競爭力，而實際上又更有安全及經濟效益，港灣防蝕之研究發展是不容忽視的。

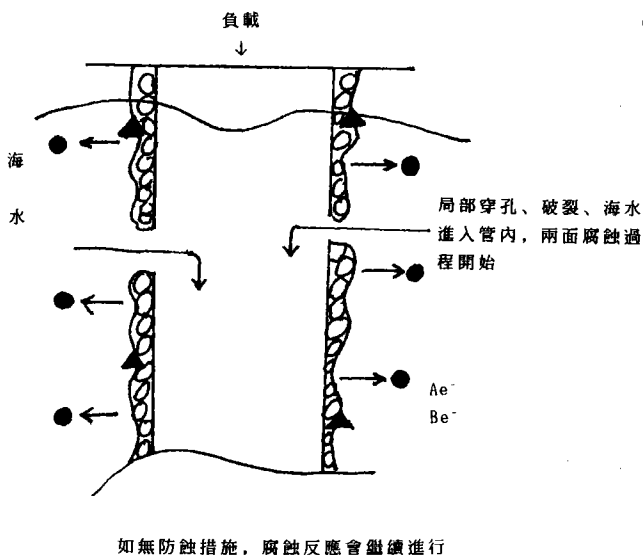
(a)



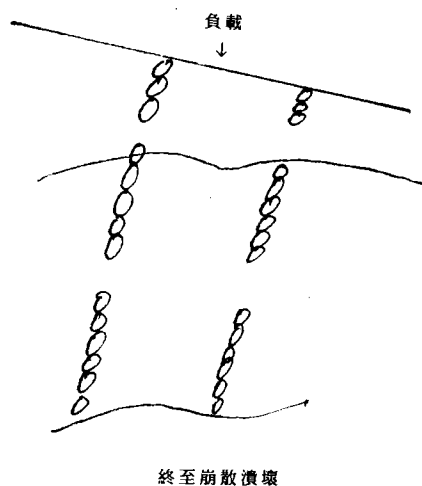
(b)



(c)



(d)



圖一 鋼鐵在海水中腐蝕之簡示過程圖((a)→(b)→(c)→(d))

# 混凝土的新主流—飛灰混凝土

台灣電力公司營建處

林炳炎

飛灰 (fly ash) 是火力發電廠中粉煤燃燒的副產品，在燃燒氣體排放至大氣以前用靜電集塵器收集殘留微粒而成。飛灰顆粒是球形玻璃質，它的直徑範圍為1~150um。飛灰的化學成分由所燃燒煤的型式之礦物組成相對分量決定，由  $\text{SiO}_2$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ， $\text{CaO}$ ， $\text{MgO}$ ， $\text{SO}_3$ ， $\text{Na}_2\text{O}$  及少量微量元素所組成。燃燒煙煤或無煙煤所得飛灰，其  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$ ，稱為 F 類飛灰；而燒次煙煤或褐煤所得飛灰，其  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$ ， $\text{CaO}$  含量較高會高達10%以上，稱為 C 類飛灰。台電燒進口煤為含碳量高之高热值煤，故絕大多數為 F 類飛灰。

早在1914年就有混凝土專家知道，飛灰可放入混凝土中充當膠結材料。這是延伸古羅馬以火山灰與石灰混合製作天然水泥混凝土的技術。1922年2月27日台灣日日新報（今台灣新生報）頭版廣告有“火山灰”三字，廣告詞有“與水泥與石灰混用時凝固力增加數倍，減少永久龜裂，土木建築必需品，……台灣電力會社曾使用”。經查台電粗坑、北山、竹子門、高屏水力電廠皆在1922年以前完工，當時如何使用火山灰，現已查不到

有關檔案。1937年2月23~26日在紐約舉行第33屆美國混凝土協會 (ACI) 年會，R.E.Davis等四人共同發表了“含飛灰的水泥和混凝土之性質”的先鋒論文，55年來所出版飛灰混凝土論文可謂汗牛充棟。1942年美國墾務局以飛灰混凝土來修補哈佛壩的排洪隧道。1948年墾務局將多年對飛灰混凝土研究結果正式用在 Hungry Horse Dam，此壩在1953年竣工，緊接著台電霧社壩在1955年，立霧壩在1956年施工，皆使用台電南部火力電廠飛灰。以後，台電的壩工程皆使用飛灰。這是由於水壩是巨積混凝土，為了減少水泥水化後所產生的水化熱，用飛灰來取代部份水泥，適足以解決這種巨積混凝土的水化熱問題。

1972年能源危機後，舉世莫不朝節約能源方向努力，由於製造水泥須耗費很多能源，用飛灰來取代部份水泥，不但可以節省能源消耗，並且可以減少飛灰污染環境生態的問題。飛灰混凝土的研究日新月異，目前更朝高強度混凝土使用飛灰或高飛灰量混凝土用於房屋結構之研究發展。高強度混凝土之水泥含量高，水化熱量大，易造成龜裂問題，以飛灰取代部份水泥，可改善該問題，且晚期強度甚

至比普通未摻飛灰者還高。混凝土摻飛灰除有上述優點外，亦可增進混凝土水密性、增進混凝土抗硫酸鹽侵蝕的能力（這是港灣工程所重視，詳林維明先生的論文或拙著），抑制混凝土的鹼骨材反應癌症。飛灰顆粒較水泥細，且是球形，由於其軸承作用，能增進混凝土工作度及可泵性並減少用水量。飛灰在混凝土中所扮演的角色是：除了能與水泥水化後的氫氧化鈣產生波索蘭反應形成 C-S-H 膠體外，亦可充當填充材料。由其累積作用及波索蘭反應可使混凝土強度及水密性增大。通常飛灰混凝土的早期強度會比普通混凝土略低；若燒失量大，則輸氣劑用量大增；飛灰混凝土對養護溫度很敏感，養護工作除須加強外，時間亦需延長，這些特性是使用傳統飛灰混凝土者所必需面對和調適的，請閱拙著「飛灰用在混凝土中」一書。

滾壓混凝土壩在十餘年內，經過概念萌芽、理論形成、試驗及實體完成等階段，日本完成第一座 RCC 壩（1980），美國於 1982 年完成 Willow Creek Dam。在 U. Stillwater 壩使用飛灰佔膠結材料總量 69%，齡期一年的強度達 335kgf/cm<sup>2</sup>。1985 年起，由 Malhotra 所領導的 CANMET 對於含 40~60% 低鈣飛灰（F 類）強塑化混凝土在結

構上應用的開發研究，水泥用量 180 kg/cm<sup>2</sup>，飛灰用量 220kg/m<sup>3</sup>，在齡期 120 天的抗壓強度高達 751kgf/cm<sup>2</sup>，其它性質亦非常優秀，並實際用在辦公電影院計畫之 7 樓及 22 樓建築物中。如此高強度但水泥量如此低，會讓很多混凝土專家跌破眼鏡。請參閱即將出版拙著「飛灰·矽灰·高爐爐石用在混凝土中」。

台灣電力公司從 1980 年飛灰產量 29 萬噸，利用率僅 0.87%，皆為自用，至 1991 年飛灰產量連續五年超過 100 萬噸，飛灰利用率高達 65.60%（絕大部份用在混凝土中）詳表，如此高的利用率（用在混凝土中），可能居世界第一。66 萬噸飛灰能生產多少混凝土？以飛灰取代水泥 25% 估計，若水泥量是 300kg/m<sup>3</sup>，估計可生產 880 萬立方公尺混凝土，約佔台灣市場佔有率之一半，由此可見，台電之飛灰推廣，已在混凝土界造成革命，飛灰混凝土已變成混凝土的主流。相信拙著「飛灰·矽灰·高爐爐石用在混凝土中」會在高飛灰量高強度混凝土方面造成另一新潮流，促進提高混凝土品質，迎接高強度低成本之經濟混凝土時代之來臨。

#### 參考資料

1. 林炳炎，「飛灰用在混凝土中」，現代營建雜誌社 1991 出版。
2. 林炳炎，「飛灰·矽灰·高爐爐石用在混凝土中」出版中。

台灣電力公司飛灰利用率（1980 ~ 1991）

| 年    | 用煤量<br>(ton) | 產灰量<br>(ton) | 飛灰利用率<br>(%) |
|------|--------------|--------------|--------------|
| 1980 | 2,421,854    | 291,950      | 0.87         |
| 1981 | 1,932,020    | 232,900      | 0.41         |
| 1982 | 1,780,293    | 214,610      | 8.21         |
| 1983 | 4,546,270    | 548,050      | 10.45        |
| 1984 | 4,746,270    | 616,370      | 9.58         |
| 1985 | 5,155,247    | 654,390      | 7.86         |
| 1986 | 7,216,860    | 918,480      | 15.09        |
| 1986 | 7,970,914    | 1,027,380    | 25.97        |
| 1988 | 8,224,245    | 1,042,550    | 27.87        |
| 1989 | 8,158,843    | 1,093,840    | 40.81        |
| 1990 | 10,916,305   | 1,005,040    | 58.31        |
| 1991 | 8,843,998    | 1,073,374    | 65.60        |

## 21世紀革命性新建材 ——環保產品的高爐水泥簡介

中聯爐石處理資源化股份有限公司 蔣昭章經理

中聯爐石處理資源化股份有限公司成立於民國80年5月25日，係由中國鋼鐵等公司轉投資於新興環保工業的子公司，目前國人普遍具有一方面關心環保，另一方面又期望有關工程建設能繼續推動的矛盾心理，中聯公司之成立，能同時滿足國人在這兩方面的需求，實具有重大意義。

中鋼公司在高爐煉鐵過程中，有大量的爐石產出，一般而言生產一噸銑鐵約可相伴生產0.3噸以上之高爐石；以往中鋼公司皆以拋海及道路級配來處理氣冷高爐石，資源化價值偏低，而在歐美日先進國家，皆視爐石為高價值資源產物。以熔融爐渣經高壓水流噴射之水淬設備處理後，造粒成為水淬高爐石，具有十分穩定而優異的物理及化學性質，其主要成份 $\text{SiO}_2$ ， $\text{CaO}$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{MgO}$ 共約佔96%之比例，其他成份則為少量之 $\text{MnO}$ ， $\text{FeO}$ ， $\text{TiO}_2$ ， $\text{S}$ 等，很類似水泥熟料（clinker）成份，因水淬高爐石含有高量玻璃質，故具有潛在的膠結能力，若加以適當的催化作用如氫氧化鈣 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ，石膏 $(\text{CSH}_2)$ 等礦鹽，以激發其水化活性，會與石灰進行波索蘭反應（Pozzolanic Reaction）形成

類似水泥熟料之水化物 $\text{C}-\text{S}-\text{H}$ 膠體，又因其含極低之鹼性物質，因而可製成抗蝕性極佳的高爐水泥。

一般水淬高爐石之物性及化性，在國家標準CNS 12223中，皆有詳細規定。中鋼水淬高爐石物理性質為①單位重（乾基）為 $1.0\sim 1.2\text{T/m}^3$ ②含水量在7~12%③玻璃質率要求在95%以上④平均粒徑在 $1.0\sim 1.3\text{m/m}$ ⑤比重約2.90。請參照水淬高爐石化性與卜特蘭水泥化性之比較（表1）及高爐熟料與卜特蘭水泥成份之 $\text{C}-\text{A}-\text{S}-\text{F}$ 相位平衡圖（圖1）

中聯公司，總投資約新台幣20億元，成立爐石資源化廠，預定研磨爐石粉每年60萬噸，以每年生產高爐水泥120萬噸為目標，並且不惜鉅資成立國內最具規模的水泥與混凝土實驗室，以提昇國內混凝土品質及開發新技術（參照圖2、圖3），以及高爐水泥生產流程，實驗室設備流程，如圖4、圖5。

高爐水泥的生產有兩種方式，第一種方式是將水泥熟料與水淬高爐合併研磨，第二種方式是將水泥熟料與水淬高爐石分開研磨，再予混拌；基於水泥熟料與水淬高爐石硬度不同，

研磨條件不同以及產品的多樣化，目前生產高爐水泥，大都採用分開研磨，再予混拌；兩者生產方式不同，造成粒度分佈及強度不同，如圖6、圖7所示。總結分開研磨爐石粉之優點：①低耗電量②最佳粒度分佈③配比多樣化④粉末度多樣化⑤僅爐石乾燥，不影響強度⑥爐石可以高溫中研磨⑦原料要求條件有彈性⑧料倉數目較少；缺點：①需要混拌②少數量爐石研磨，不具經濟效益。

傳統上分開研磨爐石粉的設備都採用Tube Mill（即Ball Mill），因研磨耗電量大，粉末細度偏低，已漸淘汰中，另Vertical Mill雖較Tube Mill耗電量低，但粒度分佈及粉末度仍不甚理想。中聯公司採用最先進科技研磨設備High Pressure Roller Mill，研磨耗電量低，粉末度及粒度分佈等條件皆較Tube/Vertical Mill為優，參照表2有關Tube Mill，Vertical Mill、High Pressure Roller Mill之設備比較表。

高爐水泥在歐美、日國家中，已經是一項十分成熟的產品，其優異特性：(1)具有優異的後續強度增延性。(2)低水合熱。(3)提升混凝土的耐久性，即具有化學，海水及鹽害之抵抗性。(4)抑制鹼性骨材反應。(5)可獲得高緻密性的混凝土。(6)預防混凝土鋼筋腐蝕。故高爐水泥非常普遍應用於許多重要工程建設上；尤其在日本，各地政府指定產業界在水壩、橋樑、隧道、海堤及下水道等工程，必須優先使用高爐水泥。舉一個例子來說，我們公司同仁在民國80年10月21日赴日本考察時，拍攝到新日鐵化學株式會

社君津水泥廠的三座水泥料倉照片，其中兩座以普通水泥混凝土建造（1956年），另一座以高爐水泥混凝土建造（1960年），由於料倉靠海邊，受海風侵蝕影響，兩座普通水泥混凝土建造的料倉已具明顯的剝落，甚至有部份可看見內部腐蝕的鋼筋，而另一以高爐水泥混凝土建造的料倉，歷經三十餘年仍如新的一樣。由此想到，國內的澎湖跨海大橋，歷經二十餘年歲月，已被海水及海風侵蝕到無法使用；如果第二座澎湖大橋改用高爐水泥混凝土建造，必定成為百年之橋，為國家創造更多的經濟效益。

隨著建築材料的不斷革新和發展，對混凝土材料的耐久品質，高強度、低水合熱及良好的工作度等皆有更高的要求，而高爐水泥特性，正符合未來混凝土發展趨勢的需求，參照表3。為了加速國家現代化，政府正大力推動六年國家建設；六年國家建設的主要項目包括高速公路、高速鐵路、捷運系統、水庫....等工程，依估計百分之六十二之工程須用混凝土材料，相對水泥需求量將倍增，而台灣西部石灰石礦源已面臨枯竭，水泥生產業者勢必東移，故高品質、高效能符合環保要求的高爐水泥，預定82年初開始生產，不論在產量及工程品質上對國家經濟建設皆有正面的影響，亦希望在政府、產業界、學術界共同合作並有系統的機動下，早日製定嚴謹的高爐水泥使用標準及預拌混凝土品質保證等規範，進而帶動中華民國混凝土科技邁向21新世紀。

表 1 水淬高爐石與卜特蘭水泥化性比較

| 化學氧化物(%)                             | 台泥品牌*<br>第一型卜特蘭水泥 | 水淬高爐石 |          |
|--------------------------------------|-------------------|-------|----------|
|                                      |                   | 一般    | 中鋼*      |
| 氧化矽(SiO <sub>2</sub> )               | 20.69             | 28~38 | 34.35    |
| 氧化鋁(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 6.04              | 8~24  | 13.80    |
| 氧化鐵(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 3.29              | —     | 0.42     |
| 氧化鈣(CaO)                             | 63.91             | 30~50 | 41.67    |
| 氧化鎂(MgO)                             | 2.04              | 1~18  | 7.45     |
| 氧化硫(SO <sub>2</sub> )                | 1.81              | 1~2.5 | 0.878    |
| 燒失量(LOI)                             | 1.06              | —     | —        |
| 物理性質                                 | 3400              |       |          |
| 細度(cm <sup>2</sup> /g)<br>%停留在#325號  |                   |       |          |
| 比重                                   |                   |       |          |
|                                      | 3.15              | —     | 2.93-3.0 |

\*由台灣水泥公司、中國鋼鐵公司提供

表 2 Tube Mill, Vertical Mill, High Pressure Roller Mill 設備比較表

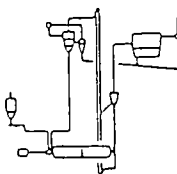
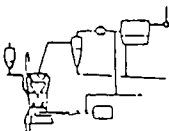
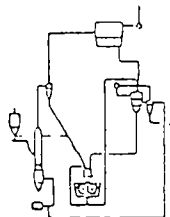
| Mill<br>差異點 | Tube Mill                                                                           | Vertical Mill                                                                       | High Pressure<br>Roller Mill                                                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 系統上         |  |  |  |
| 構造上         | 滾筒式，在其內放置鋼球，藉鋼球之滾磨將原料磨細；選粉機與研磨機分開設置，滾筒體積大，佔空間。                                      | 輪盤式，即由輪與轉盤間之擠壓力與磨擦力將原料磨細，選粉機與研磨組合成一體，外型直立龐大。                                        | 液軸式，即由兩只液軸之間擠壓，將原料磨細，選粉機與研磨機分開設置，體積較小，不佔空間。                                          |
| 運轉上         | 振動及噪音大，研磨鋼球耗損大。                                                                     | 振動及噪音最大，研磨輪盤耗損大。                                                                    | 振動及噪音小，研磨液軸耗損小。                                                                      |
| 粒度分佈條件      | 同High Pressure Roller Mill                                                          | 粒度分佈值(R-R N Value)，固定在某一點，對需水性條件不易調整。                                               | 粒度分佈可調整範圍較廣，對需水性之條件較易調整，對成品品質之調配性大，可適應市場需求多樣化。                                       |
| 耗電量         | 100%                                                                                | 60%                                                                                 | 50%                                                                                  |
| 投資成本        | 100%                                                                                | 90~100%                                                                             | 90%                                                                                  |

表 3 未來混凝土發展趨勢

| 項 目                   | 應 用 範 圍                                    | 目 的                                                                        | 解 決 方 法 (混合水泥；混拌料)                                                                                                                                                                                                                                         | 解 決 方 法 (混凝土)                                                                                                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 超低水合熱<br>(空氣中、水中)     | 巨價混凝土<br>地下涵洞壁<br>橋樑基礎                     | 把過去之低熱水泥<br>(中熱熱水泥，高熱<br>水泥的水合熱)，減<br>到4~50%之超低水<br>合熱水泥，可防止溫<br>度升高產生之龜裂。 | 〈降低水合熱，確保強度〉<br>○混合水泥(熟料之相成以 C <sub>3</sub> S 為主，<br>及調整比表面積)<br>○三項成分混合水泥<br>卜特蘭水泥：40~50% 之中熱熱水泥<br>矽 石 粉：30~50%，比表面積為<br>4000~5000 cm <sup>2</sup> /g<br>飛 灰：20~30%<br>○二項成分混合水泥<br>①卜特蘭水泥：早強水泥<br>②矽 石 粉：70~85%，比表面積為<br>4,000~6,500 cm <sup>2</sup> /g | 〈降低水合熱，確保強度〉<br>使用高性能 AE 減水劑，以降低單位水灰比。<br>〈防止拌料分離〉<br>在混凝土中添加助黏劑。                                                                                          |
| 超流動性                  | 一般混凝土<br>結構物                               | 提高耐久性。                                                                     | 〈降低水合熱，提高耐久性〉<br>●二項成分混拌料：<br>①矽 石 粉：30~50%，比表面積：<br>5,500~6,000 cm <sup>2</sup> /g<br>②飛 灰：20~30%<br>●矽石混拌料：<br>矽 石 粉：約 70%，比表面積：<br>5,500~6,000 cm <sup>2</sup> /g                                                                                       | 〈確保流動性〉<br>使用高性能 AE 減水劑<br>〈提高耐久性〉<br>降低水結合比(約 30%)<br>〈防止拌料分離〉<br>提高單位結合材量(500~600 kg/m <sup>3</sup> )<br>使用助黏劑                                           |
| 快速硬化                  | RCD<br>重力式水壩                               | 用機械化施工，可縮<br>短工期，可防止溫度<br>升高產生龜裂。                                          | 〈降低水合熱，改善凝固均勻性〉<br>●混拌料(中熱熱水泥+飛灰)<br>●混拌料(中熱熱水泥+矽石粉)<br>矽石粉：50~70%，比表面積：<br>3,500~4,500 cm <sup>2</sup> /g                                                                                                                                                 | 〈降低水合熱〉<br>減少單位結合材量(120~130 kg/m <sup>3</sup> )<br>〈縮短工期〉<br>減少單位水重(90~105 kg/m <sup>3</sup> )                                                             |
|                       | RCCP<br>道路路面                               | 用機械化施工，可縮<br>短工期，可防止乾燥<br>收縮之龜裂。                                           | 〈降低乾燥收縮〉<br>○普通水泥+石膏+乾燥收縮劑                                                                                                                                                                                                                                 | 〈降低水合熱〉<br>減少單位結合材量(250~300 kg/m <sup>3</sup> )<br>〈減少乾燥收縮，縮短工期〉<br>減少單位水重(90~105 kg/m <sup>3</sup> )                                                      |
| 超高強度<br>(新式鋼<br>筋混凝土) | 高樓鋼筋<br>混凝土                                | 可做高樓的鋼筋水泥<br>之建築物，28 日之抗<br>壓強度約 800~1,500<br>kgf/cm <sup>2</sup> 以下       | 〈設計抗壓強度 600~1,000 kgf/cm <sup>2</sup> ，<br>平均抗壓強度：800~1,200 kgf/cm <sup>2</sup> 〉<br>●使用超高粉末矽石：比表面積：<br>8,000~10,000 cm <sup>2</sup> /g<br>〈設計抗壓強度 1,200 kgf/cm <sup>2</sup> ，<br>平均抗壓強度：1,500 kgf/cm <sup>2</sup> 〉<br>○必須開發高強度用之特殊水泥(現在未開發)              | 〈降低水灰比〉使用高性能減水劑<br>W/C = 25%-35%                                                                                                                           |
| 超 早 強                 | RCCP<br>①壓路施工<br>②隧道內襯<br>③噴漿混凝土<br>④預鑄廠製品 | 〈縮短工期〉<br>可提前完工<br>不須支保工程<br>縮短養生時間<br>不須特殊養生                              | 〈提高初期強度〉日本建設廳土木研究所提出的<br>○大阪水泥公司：早強水泥+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系之異物<br>○小野田水泥公司：普通水泥<br>○住友水泥公司：特殊水泥<br>●電化水泥：Calcium Sulfurate 混拌料<br>●電化水泥：Calcium Aluminate 混拌料<br>☆電化水泥：Slag 系特殊水泥(SAC)                                                          | 〈降低水灰比〉使用高性能之減水劑<br>W/C = 40%，厚度 = 8 cm<br>W/C = 25%，厚度 = 8 cm<br>W/C = 42%，厚度 = 8 cm<br>W/C = 45%，厚度 = 8 cm<br>W/C = 34%，厚度 = 8 cm<br>W/C = 38%，厚度 = 8 cm |
| 超高耐久性                 | 一般混凝土<br>結構物                               | 免保養。                                                                       | 〈提高耐久性〉<br>○特殊水泥<br>●Silicium<br>●高微粉末矽石粉(依構造物種類，具耐久之<br>程度各異，可考慮發展高微粉末之矽石粉)                                                                                                                                                                               | 〈降低水灰比〉<br>使用高性能減水劑                                                                                                                                        |

表中符號 ○：水泥 ●：混拌料 ☆ Slag Alkali Cement (SAC)

· RCD: Roll Compact Dam  
· RCCP: Roll Compacted Concrete Pavement

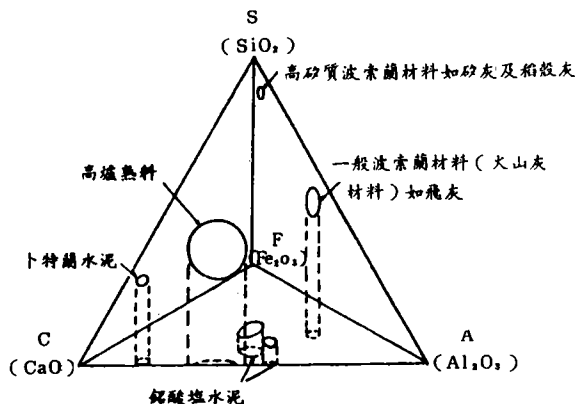


圖 1 高爐水泥及普通卜特蘭水泥成份之C-A-S-F相位平衡圖

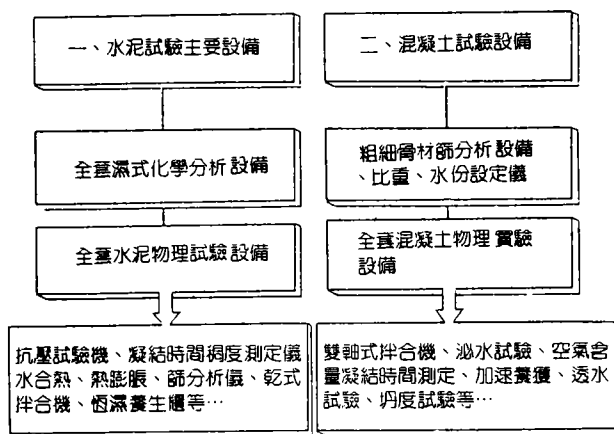
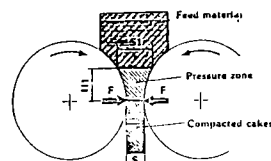


圖 3 線外實驗室設備配置圖

(一)設備供應商：

- 德國 KRUPP POLYSIUS
- ROLLER PRESS
- 研磨機示意圖



(二)設備規範

- 水淬爐石原料貯存區：容量 19,000 MT
- 水淬爐石研磨系統：50 MT/HR × 2 SET
- 混拌機：150 MT/HR × 2 SET
- 筒倉設施：
  - 卜特蘭水泥筒倉：3,300 MT (大小倉共 3 個)
  - 添加物筒倉：300 MT (2 個小倉)
  - 爐石粉 (半成品) 筒倉：10,500 MT (7 個大倉)
  - 高爐水泥 (成品) 筒倉：2,400 MT (大小倉共 4 個)
  - 備用筒倉：3,000 MT (2 個大倉)
- 其他設備：自動造袋裝系統、線上線外實驗設備

圖 2 爐石資源化工廠配置簡介圖

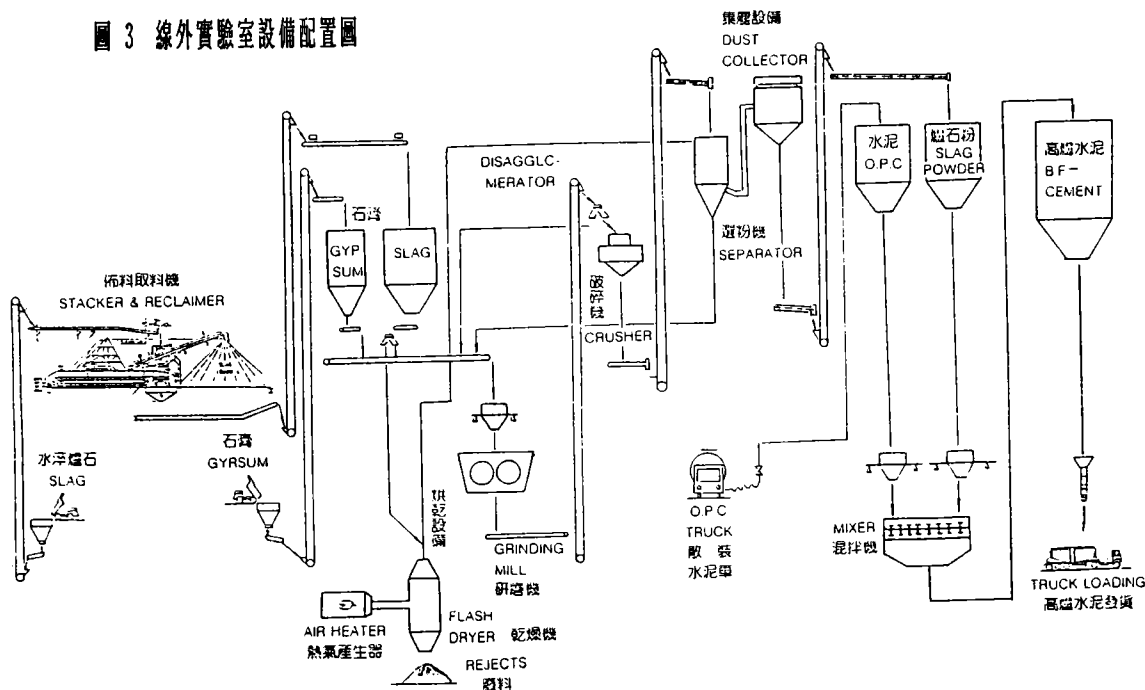


圖 4 高爐水泥生產流程圖

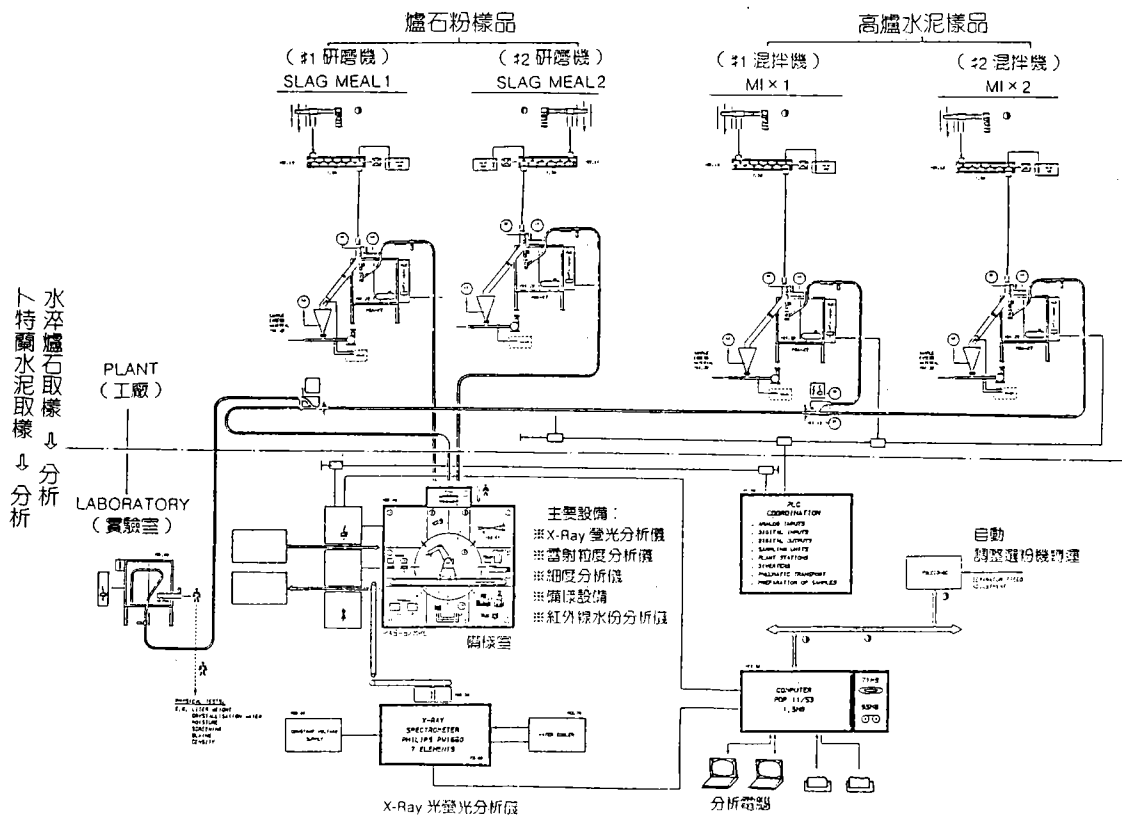


圖 5 線上實驗室設備流程圖

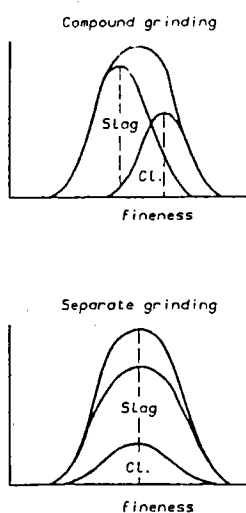


圖 6 粒度分佈圖

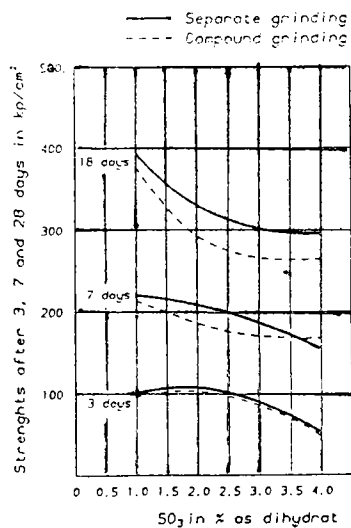


圖 7 強度分佈圖

# 利用電阻錐探測地下水污染

港研所副研究員 陳圭璋

## 一、前言

隨著工商業之進步與提高生活品質之要求，世界各國均面臨嚴重之環保問題，於水污染方面，由於家庭污水與工業廢水之大量產生，若未將其作適當處理再放流，於放流過程若與地下水接觸，將使地下水品質受到嚴重之威脅。國內沿海地區之養殖魚塭因大量抽取地下水導至海水侵入地下水層，亦為地下水污染之另一重要課題。欲了解地下水是否受到污染，最佳方法是開挖鉆孔利用適宜之水樣採取設備採取水樣至試驗室進行水質之試驗分析，該種方法雖可靠且具代表性，惟水樣採取過程繁複，耗時甚久，且因試驗費用所限無法進行大面積測試，因之對評估地下水受污染區域及其嚴重程度將無法獲致正確之結果。荷式錐貫入試驗經過去數十年之研究發展與改進，目前常用之水壓錐已成為探測土壤工程性質之極佳工具，其所能量測之錐頭阻力、摩擦阻力、動態孔隙水壓、動態波速等工程性質能據以研判土壤種類、土層分佈、液化潛能分析，並應用於各種大地工程之設計分析。於過去數年間，許多學者專家為增加貫入試驗之測試功能，於水壓錐頭後段增加量測土壤電阻係

數(Resistivity)之設備，該種量測錐頭我們稱之為電阻錐(Resistivity Cone)，該錐頭除可量測前述之各種工程性質外，亦可藉由所量測之土壤電阻係數來研判地下水受污染之區域及嚴重程度。

## 二、電阻錐試驗之原理與儀器構造

### 1. 土壤之統體電阻係數(Bulk Resistivity)

欲量測土壤之電阻係數(Resistivity)，應先決定土壤之電阻(Resistance)，該土壤電阻是對置於其內之一對電極板(Electrode)，通以一電流 $I$ 後，量測兩電極板間之電壓 $V$ (Voltage)，再根據 $R = V / I$ 之關係式，求取土壤之電阻 $R$ 。前述求取之土壤電阻並非是一種具唯一性(Ungue)之參數，而是隨所量度物質之斷面積及長度之不同而改變，土壤之電阻係數 $\rho$ 應依下式求取之。

$$\rho = (A / l) \times R = (\text{導電係數})^{-1}$$

式中

$\rho$ ：電阻係數，ohm-m

$A$ ：斷面積， $m^2$

$l$ ：長度，m

$R$ ：電阻，ohm

前述土壤電阻係數與電阻間之關係式通常以  $\rho = K \times R$  取代之，式中常數  $K$  與電極鉅之幾何形狀(Geometry)有關。

## 2. 土壤及其內含孔隙流體兩者電阻係數之關係

土壤之電阻係數隨土壤顆粒種類、排列情況及其內含孔隙流體之不同而改變。土壤內產生電傳導(electrical conduction)之主要機制( mechanism ) 為水溶液內因電解傳導(electrolytic conduction)引致之電荷傳送，該種情形亦即在電場( electric field ) 作用下所產生之離子( ion ) 移動現象。一般言之，水溶液內若存有較多之離子，則該水溶液之電阻係數將愈小而傳導係數(conductivity)愈大，另一影響傳導係數之因素為主宰水溶液粘滯性( Viscosity)之溫度，溫度愈高傳導係數愈大。

受到污染之土壤為一多相系統( multiphase system )，其內含有土壤顆粒，水溶性流體( aqueous phase liquid, APL )，非水溶性流體( Non aqueous phase liquid, NAPL ) 及氣體等四種成份組成，土壤之電阻係數便是在前述四種成份相互作用下所得之總電阻係數，欲了解一土壤其電阻係數之改變到底是因何種成份改變所造成，並非是易事，為簡化問題之分析。為研究方便通常以混合律( mixing laws ) 來說明傳導介質( medium ) 之電阻係

數，此處我們以混合律中最簡單之 Archie's 公式( formula ) 來說明，該公式假設土壤之統體電阻係數為孔隙流體電阻係數與土壤孔隙幾何形狀之函數，土壤電阻係數與孔隙流體電阻係數之關係式可以下式表之

$$F = \rho_b / \rho_f = a \times n^{-m}$$

式中

$F$ ：構造因子( formation factor )

$\rho_b$ ：土壤之統體電阻係數，ohm-m

$\rho_f$ ：孔隙流體之電阻係數，ohm-m

$a, m$ ：常數(因土壤種類而異)

$n$ ：土壤之孔隙率( porosity )

對非固結性土壤( unconsolidated soil )，常數  $a=1$ ，而常數  $m$  則依土壤種類而異，砂土其  $m$  值約為 1.5，粘土之  $m$  值則介於 1.8 與 3.0 之間，常數  $m$  通常可用以研判土壤孔隙之彎曲度( tortuosity )，雖然 Archie's 公式將土壤電阻係數與孔隙流體電阻係數之關係過度簡化將影響其準確性，但當孔隙流體之電阻係數不大且土壤內僅含有少量粘土礦物成份時，Archie's 公式仍具有相當高之準確度。前述之構造因子由於並未將土壤所含粘土礦物成份之影響加以考慮，通常將該種構造因子稱之為假構造因子( Apparent formation factor )，欲正確估測孔隙流體之電阻係數，構造因子之準確性是非常重要的。

## 3. 電阻率之構造

UBC ( University of British

Columbia) Campanella 教授所研製之電阻錐 (Resistivity cone) 為將探測一般工程性質之水壓錐 (piezocone) 後面加上電阻量測單元 (Resistivity module) 所組成，如圖 1 所示。電阻錐之量測過程有兩種電的傳導模式 (conduction mode) 產生，其一是流經孔隙流體之電解傳導 (electrolytic conduction)，另一是流經兩金屬電極鈹之歐姆傳導 (ohmic conduction)，這種電傳導之發生均係由於氧化還原反應 (oxidation-reduction reaction) 之故。因此我們知道由兩電極鈹所量取之電阻將是孔隙流體內離子流動 (flows of ions) 及將電荷由電解液移至電極鈹之阻抗 (impedance) 兩者之函數，根據前述理論我們可知欲設計一良好之電阻量度單元應考慮 (1) 電極鈹之個數與磁化頻率 (excitation frequency) 及 (2) 電極鈹之幾何構造等兩個因素。

於一具有二電極鈹之量度單元通一直接電流後，由於氧化還原反應並未產生逆向反應，因之電極鈹處將產生電化學反應 (electrochemical changes)，以致於電極鈹處將有離子生成 (build up)，此種離子持續生成之現象被稱為極化現象 (polarization)，此種極化現象將使量測之電阻發生改變，此種極化現象之影響於直流電且低磁化頻率時非常重要。

具有四個電極鈹組成之電極

鈹陣列 (Array)，若僅利用內側之電極鈹來量測電阻係數，將可減少極化現象之影響，該現象是由於流經四電極鈹之電流很小，因之沒有離子於電極鈹處生成，通常具四電極鈹之電阻量度單元就是在極低磁化頻率下操作亦不致造成極化現象。

UBC 電阻錐具有四個電極鈹，但其內側及外側兩組電極鈹可同時用來量度土壤之電阻係數，但為避免外側電極鈹極化現象之產生，控制其磁化頻率維持 1000 HZ。較短之電極鈹間距可偵測出較薄之土層，但於均勻土層若能使用較大間距之電極鈹，將可因電場貫入較深之不擾動土層，而使所量得電阻係數之準確性提高。UBC 電阻錐之電極鈹是由銅製成，並以塑膠絕緣體被覆之，電極鈹為 5mm 寬，中心至中心之間距為 25mm，距離水壓錐頭最遠之電極鈹為電流源 (current source)，操作電流是由地面控制，其尖峰電流通常不大，一般約為  $150 \mu A$ ，因此所量得之電壓須放大以便供資料收集系統處理。

#### 4. 電阻錐之校核 (calibration)

電阻錐所量度者為土壤之電阻並非土壤之電阻係數，為將電阻轉為電阻係數，內外側兩對電極鈹均應在室內進行校核試驗，為減少邊端影響 (edge effect)，將電阻錐置於一圓柱形開口水槽內，槽內加滿水，再依電解液

濃度之大小加入不同劑量之氯化鉀 (KCl)，由電阻計所量得該溶液之電阻係數與由電阻錐之量測結果加以比較，便能求取校核常數K，UBC電阻錐其外側電極鉅之K值為0.0994m，而內側電極鉅之K值為0.838m。

#### 5. 測試過程

電阻錐之測試過程大致與水壓錐相同，均能將錐頭以靜壓力將之連續貫入土壤內以量取土壤之電阻係數，不同點為電阻錐試驗須依所測試土層電阻係數之高低來調整操作電流，高電阻係數土壤，應使用較低之電流，但所有試驗其磁化頻率均應維持在1000Hz。

### 三、電阻錐試驗結果之詮釋與討論

#### 1. 土層剖面分層之研判

影響土壤電阻係數之因素有種種，但最重要因素是孔隙流體之電阻係數，於低電阻係數流體時，表面傳導 (surface conduction) 與流體內之電解傳導比較顯得不重要，如圖2於11.8米處之粘土其電阻係數與相鄰土層比較，並未有明顯改變，此是因為該地區土層受含鹽水之入侵，使土壤內孔隙流體之電阻係數很低約為4ohm-m，以致粘土表面傳導之特性未顯現出來。當孔隙流體電阻係數較高時，則表面傳導變得較明顯，於圖3、圖4顯示粘土之電阻係數分別為35及25

ohm-m 而砂土層之電阻係數分別為110及70ohm-m，兩者間有明顯之差異。粘土礦物 (clay minerals) 之高表面傳導受其含高量陽離子交換能力 (cation exchange capacity, CEC) 之影響遠較孔隙率為大，而具高CEC之土壤為粘土及有機土壤，活性粘土 (Active clay) 尤其含有高量CEC。

#### 2. 孔隙流體電阻係數之決定

電阻錐現地量測結果為土壤之電阻係數，而欲決定孔隙流體之電阻係數須先決定土壤之構造因子 (formation factor)，構造因子之決定可根據(1)各地區電阻錐試驗結果與該地區實際採取土壤孔隙流體所量測電阻係數兩者比較推估而得。(2) Archie's 公式 (假如土壤常數a，m為已知且土壤孔隙率能精確估求)。由於受所含粘土礦物表面傳導之影響，欲正確估量粘土內之孔隙流體電阻係數較為困難，通常粘土之構造因子是與粘土之孔隙流體電阻係數，粘土礦物含量及其種類有關。Colebrook地區其構造因子於深度0.6米處之粘土層為1.43，該值明顯與 McDonald 農場砂土層之3~4.0不同且較低，該農場粘土質沈泥其構造因子為4.0~5.0與由Archie's公式所求取者4.0是大致一樣的，於Colebrook地區 (n=0.6，m=2) 根據Archie's公式計算之構造因子為2.8與測試結果算出之1.43不同，其原因可能由於粘土礦物之表面傳導促成。

### 3. 內外側電阻量測單元其量測結果之比較

電阻係數量測單元之測試結果將依土壤之狀態及因電阻錐頭貫入土壤後產生之改變而定，若電極鉋未能完全位於某土層內，則將無法完全反應該土層之電阻係數，欲正確量測土層電阻係數，其土層最小厚度須較兩電極鉋間之距離為大。於圖 5 顯示，McDonald 農場於緊密砂土層其外側電極鉋之量測結果較內側為高，但於沈泥質砂土層其內外側電極鉋量測結果差異不大，於深度 15 米以下之粘土質沈泥或其它高塑性及高靈敏度沈泥質粘土則其內外側電極鉋將測得幾乎相同之結果。對緊密土壤，當電阻錐頭貫入土層後，於錐頭表面附近將有一薄層土壤受擾動以致有膨脹或較疏鬆之現象產生，相反於疏鬆土壤，將因錐頭之貫入而使土壤有壓縮或緊密之作用。若砂土層受到壓縮作用則內側電極鉋將量得較大之結果，McDonald 農場緊密砂土層其內側電極鉋量得較小之結果，便是因錐頭貫入後土層產生膨脹現象之故。

圖 6 顯示假構造因子 ( Apparent formation factor ) 與 E 規化錐頭阻力之相關圖，其中 E 規化錐頭阻力是為除去土壤覆土壓力與密度改變之影響，以錐頭阻力除以水平有效應力之結果稱之，該圖可看出外側電極鉋量測結果之假構造因子有良好變化趨勢

，其值由 3 變至 4，但由內側電極鉋所得之假構造因子則未有良好之變化趨勢，其假構造因子維持在 3.2 左右。上述內外側電極鉋未能獲得相同結果，主要是外側電極鉋之間距較大，因此電之輻射影響 ( radial effect ) 寬度較大，則使其量測之電阻係數較準確，而間距甚小之內側電極鉋將去除因土壤孔隙率改變對電阻係數之影響，因此就如同對固定體積或臨界狀態之砂來量測電阻係數。

### 4. 水壓錐量測之工程參數與電阻係數之關係

Robertson ( 1988 ) 認為錐頭阻力與水平有效應力、土壤壓縮性及相對密度有關，因為相對密度與錐頭阻力除以水平有效應力後之正規化錐頭阻力間有良好相關性，而假構造因子為孔隙率之函數，因之假構造因子與正規化錐頭阻力間將具有良好相關性，於低電阻係數之土壤該相關性非常正確，亦即正規化錐頭阻力之增加 ( 相對密度增加或孔隙率減少 ) 將使假構造因子增加。土壤之摩擦比  $R_f$  將隨靜止土壓係數  $K_0$  及細料率之增加而增加，於砂性土壤其  $K_0$  為常數，故  $R_f$  可用來研判土壤之細料率。砂性土壤含細料因下列二種原因而影響其電阻係數 (1) 增加細料率將減少孔隙率，因該等細料將佔據顆粒間之孔隙，故減少孔隙率將增加電阻係數，(2) 細料若為傳導性粘土礦物

將使電阻係數減少。圖7為McDonald農場摩擦比 $R_f$ 與電阻係數之比較圖，圖中顯示 $R_f$ 之波峰處剛好與電阻係數之波谷處相對應，可知該土壤所含之細料應為粘土礦物成份。

#### 四、結論

電阻錐為最近幾年才研發出來之儀器，其可供參考之文獻資料不多，其測試結果如何正確詮釋亦有待加強研究，本所於今年引進該種測試儀器

，希望在爾後數年能就國內不同特性之地區均進行研究試驗，研究方向預定包括下列三方面，(1)於重要港區進行電阻錐試驗，了解港區土層電阻係數之變化情形，並進而研判土壤對鋼管樁之腐蝕性如何，評估港灣結構物基礎使用鋼管樁之適宜性。(2)於沿海養殖地區進行測試以了解因超抽地下水引致海水入侵之程度如何。(3)對地下水可能遭受家庭污水或工業廢水污染之地區進行測試以了解地下水受污染之區域與嚴重程度。

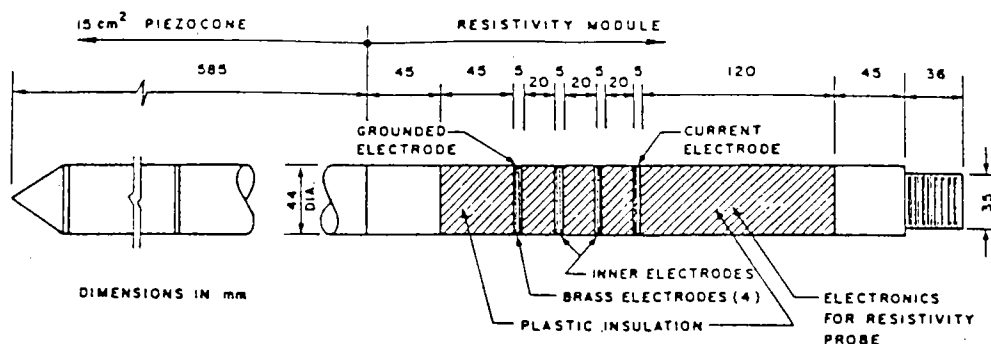


圖1. 電阻錐結構示意圖

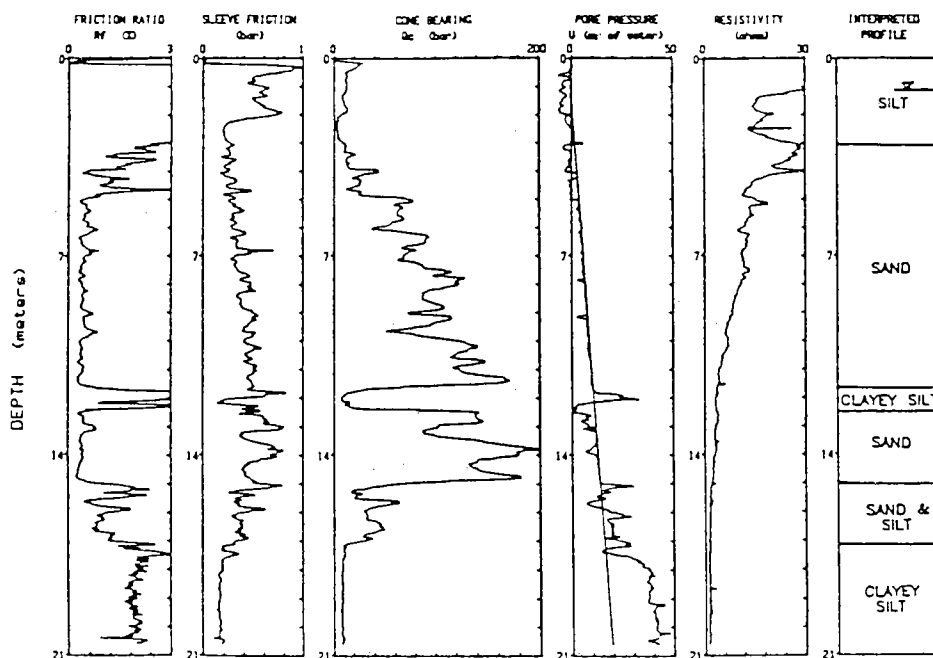


圖2. McDonald地區電阻錐試驗結果

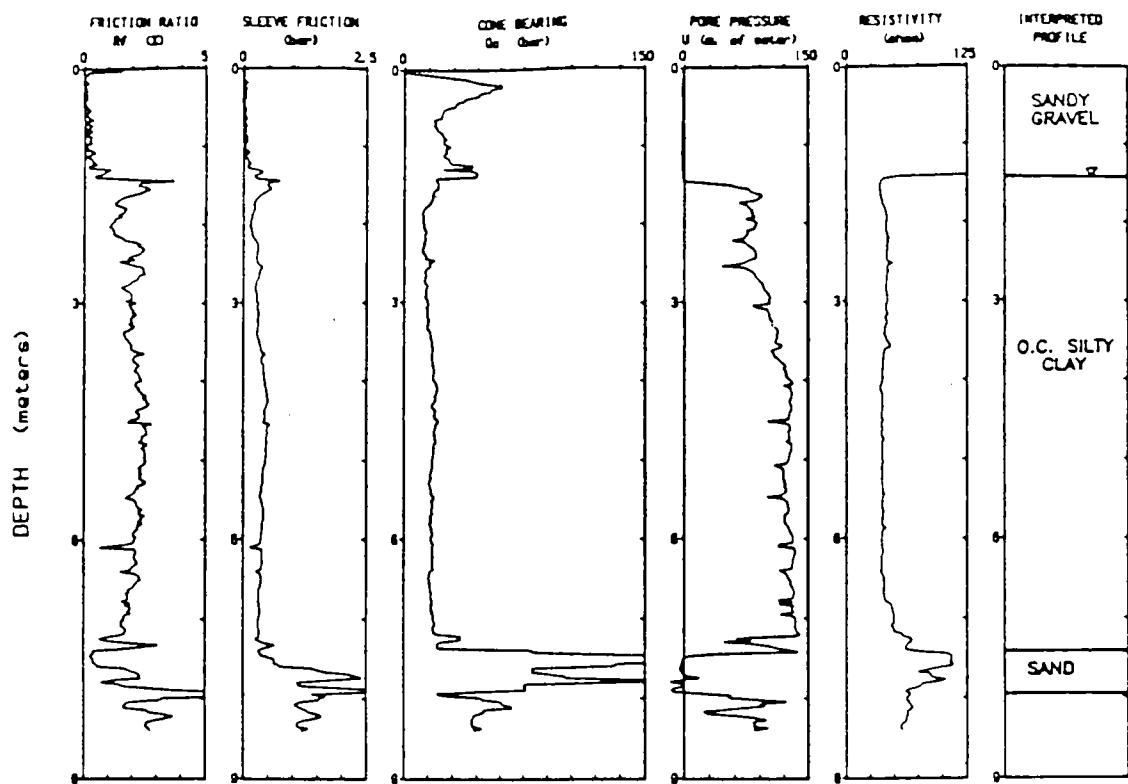


圖3. Aldergrove地區電阻錐試驗結果

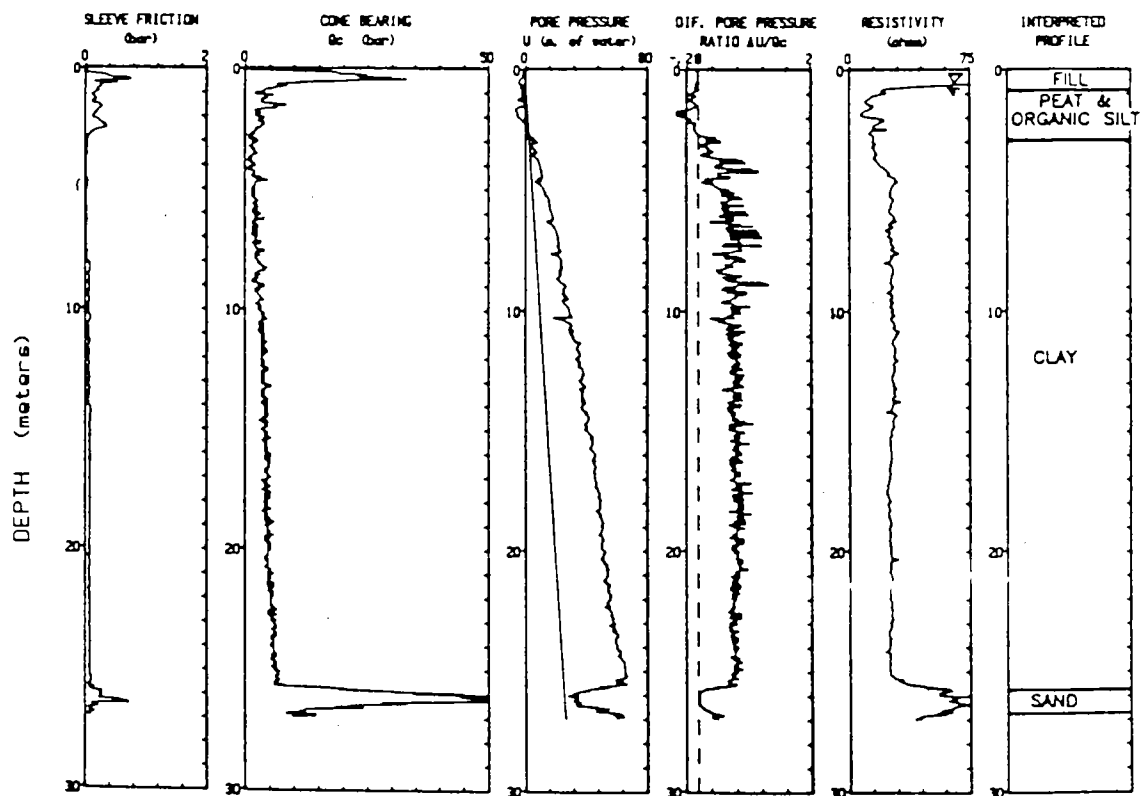


圖4. Colebrook地區電阻錐試驗結果

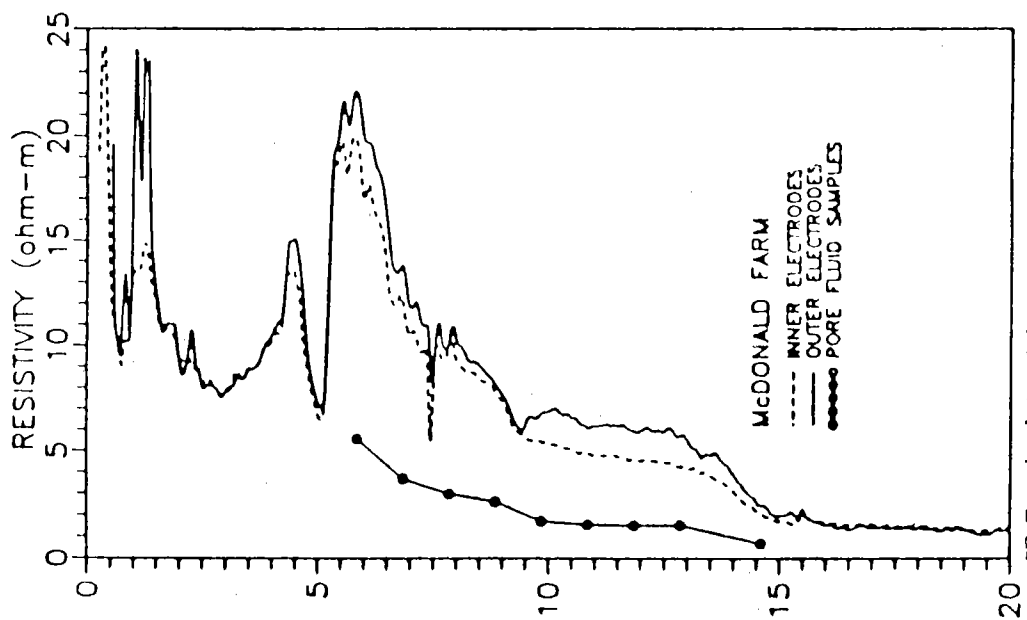


圖5. 內外側電極鉅測試結果之比較

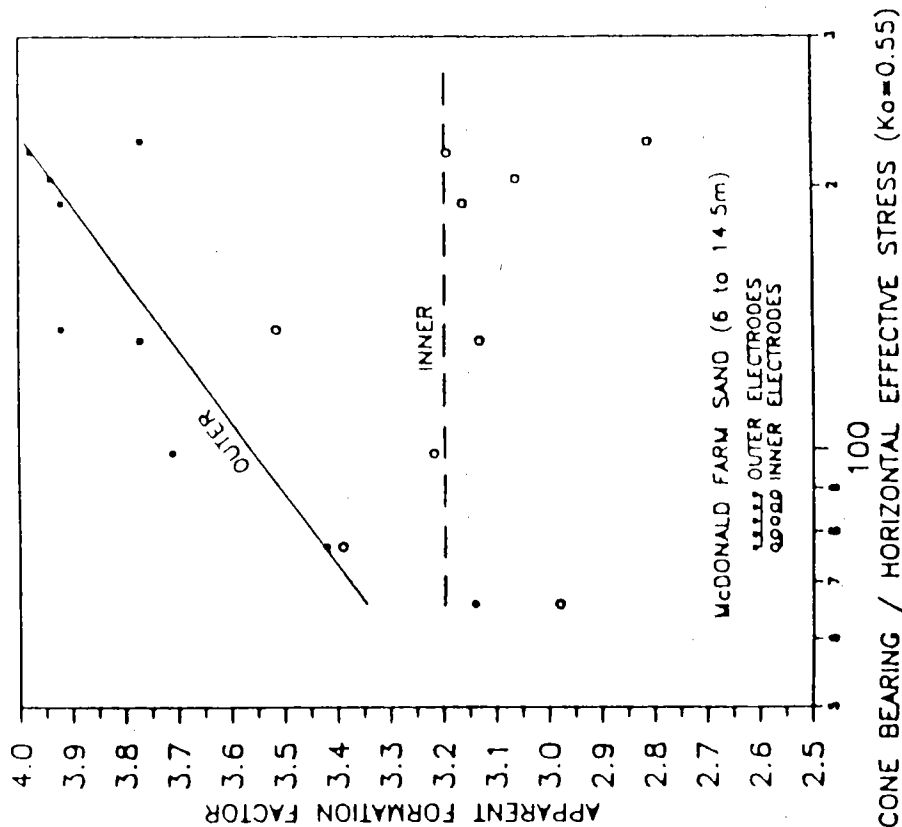


圖6. 正規化錐頭阻力與假構造因子之關係圖

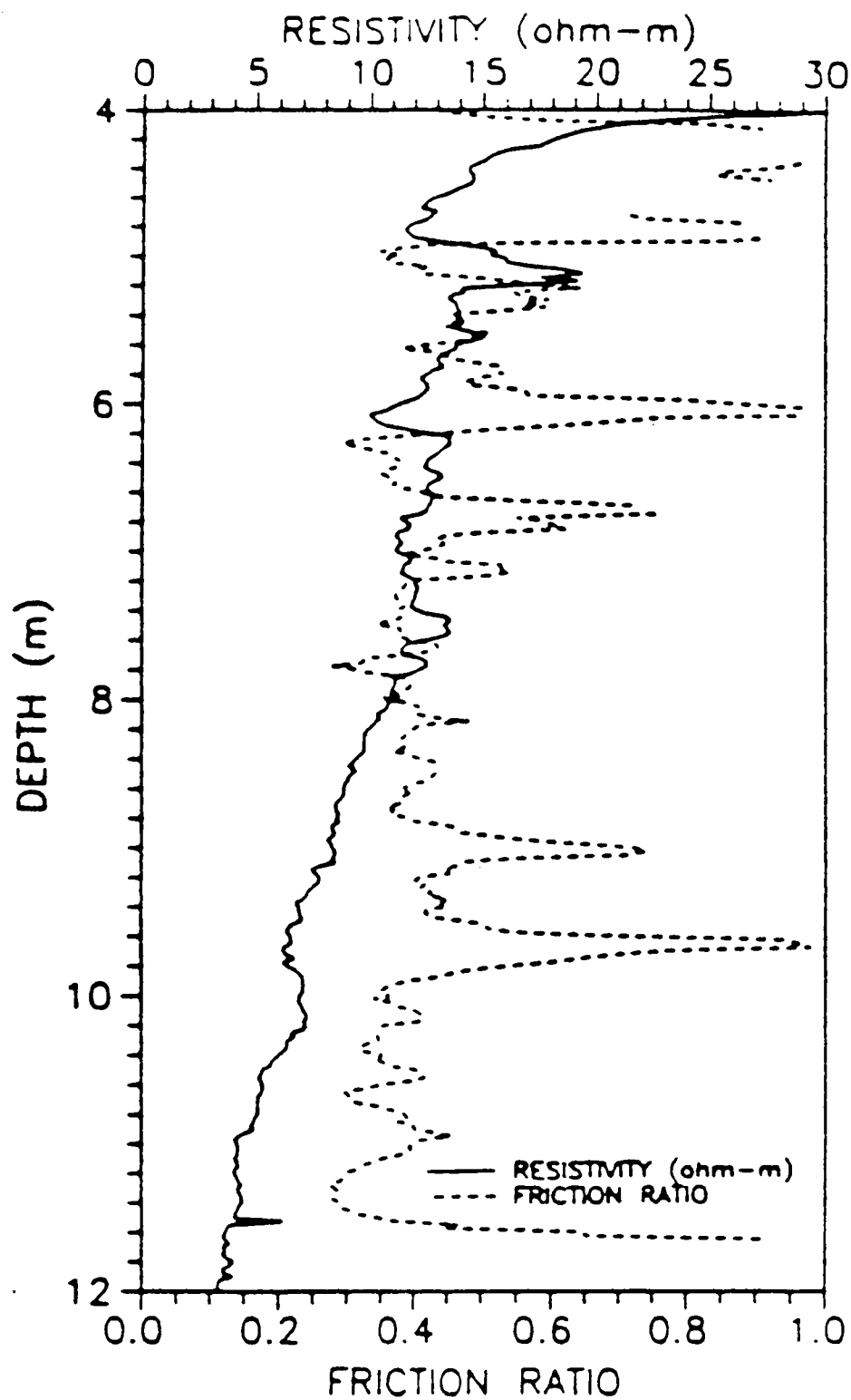


圖 7. 摩擦比 $R_f$ 與電阻係數之比較圖

# 高雄港貨櫃碼頭租賃制度之探討(上)

港研所助理研究員 王克尹

## 一、前言：

貨櫃碼頭之經營方式有三種，即公用碼頭營運方式，優先靠泊營運方式，和出租專用營運方式，高雄港大部份之貨櫃碼頭自民國 66 年起即採用出租專用之營運方式。

高雄港民國 80 年之貨櫃裝卸量已達 391 萬 TEU，居全球第三大貨櫃港，然高雄港迄今仍一直沿用以往的固定費率租賃方式對貨櫃碼頭出租後航商之營運績效及港務局之投資效益未見任何評估，仍以低廉之費率出租給航商專用，依國外經驗港埠單位在實施固定費率式的租約經常無形中造成低價補貼航商之缺夫 (Subsidize)，而高雄港是否有低價補貼航商之嫌疑？若有時補貼原因何在？長期而言是否值得？現行制度下有何缺失？有何改善替選方案以供選擇等等問題均有待研究。

本文由於篇幅所限僅針對現行制度之缺失和航商營運績效及港務局之投資效益提出檢討分析，並提出改善租賃方式之評估方向以供參考。

## 二、高雄港租賃業務檢討

高雄港目前共有 10 座貨櫃碼頭出

租 (表一)，租約均大同小異其租金之計收係以年為基礎，收取一固定總金額，原則上其租賃方式類似固定費率式，所不同的是其租金明訂係經各項資產設備租金費用的總和而各項資產設備租金計算公式如下：

1. 土地：按公告地價年息 7.5 % 計算，未加收管理費。(80 年 7 月 1 日起實施)

2. 碼頭：按建造成本總額加一次 10 % 合理利潤後分十年回收成本核算租金即：

$$\begin{aligned}\text{年租金} &= [\text{建造成本} \times (1 + 10\%)] \div 10 \text{年} \\ &= \text{建造成本} \times 11\%\end{aligned}$$

3. 倉棧：按建造總成本加一次 10 % 為合理利潤分五年回收

$$\begin{aligned}\text{即年租金} &= [\text{建造成本} \times (1 + 10\%)] \div 5 \text{年} \\ &= \text{建造成本} \times 22\%\end{aligned}$$

4. 露置場：租金計算方式與倉棧相同為建造成本之 22 %。

5. 機具設備：均按購置成本加一次 10 % 合理利潤，分五年回收成本即為購置成本之 22 %。

碼頭出租後，租用碼頭之貨櫃量

大幅成長，其佔高雄港貨櫃裝卸量之比例亦逐年提高（表二），對高雄港貨櫃量之成長具有相當重要之影響，由於港務局採取出租策略之成功使得高雄港80年之貨櫃裝卸量達3,913,107 TEU，居全球第三大貨櫃港為國家爭取不少榮譽並提昇高雄港之國際形象與知名度，此乃出租後港務局所獲之最大效益。至於貨櫃碼頭出租後承租航商營運績效及港務局投資效益則分析檢討如下：

#### 1. 承租航商之營運績效檢討：

(1)各承租航商均極力發展轉口櫃業務，其中以APL數量最大，80年度轉口櫃高達638,679TEU佔APL年度營運量的60.5%其次為長榮的204,754TEU佔全年營運量的44.2%，各承租航商除萬海公司經營近洋航線致轉口櫃較少外，其餘各航商之轉口櫃平均佔四成以上（表三）而轉運業務之直接利益在於

表一 高雄港貨櫃碼頭出租一覽表

| 承租公司                 | 承租碼頭 |      |     | 橋式機數量 | 租用年限   | 起迄日期     | 備註                        |
|----------------------|------|------|-----|-------|--------|----------|---------------------------|
|                      | 編號   | 水深   | 長度  |       |        |          |                           |
| 美國總統輪船公司<br>APL      | 68   | 14   | 320 | 3     | 9年9個月  | 77.6.1   | 69號碼頭四部橋式機9部門式機由航商自購      |
|                      | 69   | 14   | 320 | 4     |        | 87.8.31  |                           |
| 陽明海運公司<br>YML        | 70   | 14   | 320 | 3     | 9年9個月  | 75.12.16 |                           |
|                      |      |      |     |       |        | 85.9.15  |                           |
| 長榮海運公司<br>EVER GREEN | 116  | 14   | 320 | 5     | 5年     | 76.4.1   | 116號碼頭5部跨載機由航商自購其餘向港務局承租  |
|                      |      |      |     |       |        | 81.3.31  |                           |
| 宏洋海運                 | 117  | 14   | 320 | 2     | 5年     | 76.2.1   | 已申請辦理續約中                  |
|                      |      |      |     |       |        | 81.1.31  |                           |
| 海陸運輸公司<br>Sea land   | 118  | 14   | 320 | 4     | 9年9個月  | 78.1.19  | 119號碼頭一部橋式機，3部門式機由航商自購    |
|                      | 119  | 14   | 320 | 1     |        | 87.10.18 |                           |
| 萬海航運公司               | 42   | 10.5 | 230 | 2     | 9年11個月 | 76.7.17  |                           |
|                      |      |      |     |       |        | 86.6.16  |                           |
| 中國航運公司               | 65   | 12   | 250 | 4     | 8年     | 81.1.1   | 66號碼頭一部橋式機8部門式機2部推高機由航商自購 |
|                      | 66   | 12   | 384 | 1     |        | 88.12.31 |                           |
| 三聯貨櫃輪船公司             | 64   | 12   | 245 | 2     |        |          | 80年4月1日起由港務局收回作為公用碼頭      |

資料來源：高雄港務局

表二 高雄港歷年來公用碼頭與租用碼頭貨櫃裝卸量  
統計表（單位：TEU）

| 年次 | 公 用 碼 數 |       | 租 用 碼 頭   |       | 合 計       |
|----|---------|-------|-----------|-------|-----------|
|    | 櫃數      | 百分比   | 櫃數        | 百分比   |           |
| 70 | 252,721 | 22.5% | 871,384   | 77.5% | 1,124,105 |
| 71 | 273,292 | 22.9% | 920,705   | 77.1% | 1,193,997 |
| 72 | 325,071 | 22 %  | 1,154,410 | 78 %  | 1,479,481 |
| 73 | 387,914 | 21.7% | 1,397,069 | 78.3% | 1,784,983 |
| 74 | 347,519 | 18.3% | 1,553,334 | 81.7% | 1,900,853 |
| 75 | 462,354 | 18.6% | 2,000,113 | 81.4% | 2,482,467 |
| 76 | 433,486 | 15.6% | 2,345,349 | 84.4% | 2,778,785 |
| 77 | 458,973 | 14.9% | 2,623,864 | 85.1% | 3,082,837 |
| 78 | 368,423 | 10.9% | 3,014,088 | 89.1% | 3,382,511 |
| 79 | 385,598 | 11.0% | 3,109,032 | 89.0% | 3,494,630 |
| 80 | 413,161 | 10.6% | 3,499,946 | 89.4% | 3,913,107 |

提高港埠設施使用與增加勞務服務之收入，亦形同勞務輸出，對國內經濟成長幾無助益，港務局亦得不到任何收益，相對的承租航商卻可藉其進出，省下不少作業費用，無怪乎各承租航商皆極力發展轉口櫃以節省營運成本。

- (2)各承租航商平均每TEU貨櫃作業費用（不含碼頭工人工資）與公用碼頭每TEU費用比（表四）得知承租航商平均每TEU（含轉口櫃）費用為721元僅為公用碼頭費用之19.9%（二成），而進出口櫃（不含轉口櫃）費用為1094元僅為公用碼頭費用之30.2%（三成）且航商引進貨櫃數量愈多，其作業

費用則愈低，例如APL平均每TEU費用僅為公用碼頭之7.4%而進出口櫃僅為17.9%，此皆係規模經濟所造成之效果，因而形成各大航商爭先恐後搶租貨櫃專用碼頭的事實，這也是高港貨櫃專用碼頭供不應求之重要原因。

- (3)各承租航商之進出口櫃數量以APL的45.8萬TEU為最大，其次為中航的39.5萬TEU和Sealand的34.7萬TEU，陽明最少亦有14萬TEU，平均每家航商進出口之貨櫃量為28.7萬TEU（表五）若航商不承租專用碼頭而完全使用公用碼頭，由表六每TEU作業費用為3618元，合計需花費10.38億元與承租專

用碼頭每年約3億元相比，顯然各承租航商享受可觀之高額利益。

(4)由平均每艘船在高雄港之貨櫃裝卸量而言以即APL的69號碼頭最大，平均每艘船裝卸2623 TEU，其次為68號碼頭的1645 TEU，第三為Sea land 119號碼頭的1346TEU，可充分證明APL，Sea land均將高雄港當作亞太地區之轉運中心，各航商均以母船直接靠泊高雄港。  
(表七)

(5)由各航商靠泊高雄港之船舶艘次分析，總艘次以中航的644艘居冠，其次為長榮的538艘和APL的496艘，如以平均每座碼頭每月靠泊艘次分析，則以長榮的每月44.8艘居冠，以陽明的12.8艘為最低，各承租航商碼頭使用率及運轉效率以長榮最佳，平均每天有1.5艘船舶靠泊碼頭。而陽明公司之使用率最低平均2.3天才有一艘船靠泊。(表三)

(6)同屬第三貨櫃中心的68, 69, 70號三座碼頭水深相同，長度相同且同時興建完成組給美商及本國航商之租金卻有顯著之差距，相差幾以倍計，顯然美商享受超國民待遇。以營運績效而言80年1~12月APL兩座碼頭之營運量為1,117,006TEU，陽明公司最少僅231,275TEU高營運量的結果使APL每TEU作業費用降至266元，而陽明公司高達1219元，兩者相差3.6倍。

(7)各承租航商近三年來貨櫃裝卸量平均成長率為29.5%。其中以陽明公司成長率最高90.9%，但櫃數增加量以APL最多三年來增加15萬TEU。各承租航商在民國80年貨櫃裝卸量均超過20萬TEU，其中以APL的111萬TEU最大，海陸公司的60萬TEU居次。(表八)，台灣地區進出口貨源充足亦是吸引航商前來灣靠之重要原因。

| 航商  | 碼頭數     | 年租金    | 貨櫃量(TEU)  | 元/TEU |
|-----|---------|--------|-----------|-------|
| APL | 68.69兩座 | 297百萬元 | 1,117,006 | 265   |
| 陽明  | 70一座    | 281百萬元 | 231,275   | 1219  |

第四貨櫃中心的Sea land與長榮亦有類似情形。

| 航商       | 碼頭數       | 年租金    | 貨櫃量(TEU) | 元/TEU |
|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Sea land | 118.119兩座 | 237百萬元 | 604,516  | 394   |
| 長榮       | 116一座     | 278百萬元 | 488,405  | 570   |

表三 高雄港80年度(79.7~80.6)租賃碼頭營運分析表

| 項次<br>航商碼頭          | 年租金(元)<br>(含土地租金、機具) | 櫃數TEU<br>(含轉口) | 轉口櫃數    | 轉口櫃<br>百分比 | 艘次  | TEU/Ship | 元/TEU |
|---------------------|----------------------|----------------|---------|------------|-----|----------|-------|
| APL<br>68.69        | 297,721,498          | 1,056,434      | 638,679 | 60.5%      | 496 | 2130     | 282   |
| Sea land<br>118.119 | 237,974,680          | 489,685        | 198,588 | 40.6%      | 383 | 1278     | 486   |
| 長榮<br>116           | 278,459,638          | 463,325        | 204,754 | 44.2%      | 538 | 861      | 601   |
| 陽明<br>70            | 281,964,938          | 181,898        | 68,028  | 37.4%      | 153 | 786      | 1550  |
| 中航<br>65.66         | 306,323,879          | 506,072        | 155,261 | 30.7%      | 644 | 786      | 605   |
| 萬海<br>42            | 173,337,166          | 206,073        | 18,744  | 9.1%       | 414 | 498      | 841   |
| 宏洋<br>117           | 326,680,806          | 224,591        | 60,590  | 27 %       | 383 | 586      | 1454  |

資料來源：台灣省政府交通處，高雄港務局本研究整理

表四 高雄港各承租航商80年1~12月平均每櫃作業費用與公用碼頭費用比較表

| 項次<br>航商碼頭          | 租 金         | 櫃數TEU<br>(含轉口櫃) | 元/TEU<br>(A) | 進出口櫃    | 元/TEU<br>(b) | 公用碼頭<br>費用<br>(C) | $\frac{A}{C}(\%)$ | $\frac{B}{C}(\%)$ |
|---------------------|-------------|-----------------|--------------|---------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| APL<br>68.69        | 297,721,498 | 1,117,006       | 266          | 458,547 | 649          | 3618              | 7.4               | 17.9              |
| Sea land<br>118.119 | 237,974,680 | 604,516         | 394          | 346,327 | 687          | 3618              | 10.9              | 19.0              |
| 長榮<br>116           | 278,459,638 | 488,405         | 570          | 267,938 | 1039         | 3618              | 15.8              | 28.7              |
| 陽明<br>70            | 281,964,938 | 231,275         | 1219         | 140,848 | 2002         | 3618              | 33.7              | 55.3              |
| 中航<br>65.66         | 306,323,879 | 552,262         | 555          | 395,294 | 775          | 3618              | 15.3              | 21.4              |
| 萬海<br>42            | 173,337,166 | 218,707         | 793          | 196,334 | 883          | 3618              | 21.9              | 24.4              |
| 宏洋<br>117           | 326,680,806 | 261,870         | 1247         | 201,208 | 1624         | 3618              | 34.5              | 44.9              |
| 平均                  |             |                 | 721          |         | 1094         |                   | 19.9              | 30.2              |

資料來源：交通處，高雄港務局，本研究分析

註：1.小數點以下採四捨五入法

2.專用碼頭平均每TEU費用不含碼頭工人費用

表五 80年1~12月承租航商貨櫃裝卸統計量表 (TEU)

| 項次<br>航商碼頭 | 櫃數        | 轉口櫃       | 進出口櫃      | 備註            |
|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| 萬海<br>42   | 218,707   | 22,373    | 196,334   |               |
| 中航<br>65   | 260,174   | 76,817    | 183,357   | 合計<br>395,294 |
| 中航<br>66   | 292,174   | 80,151    | 211,937   |               |
| APL<br>68  | 398,202   | 220,038   | 178,164   | 合計<br>458,547 |
| APL<br>69  | 718,804   | 438,421   | 280,383   |               |
| 陽明<br>70   | 231,275   | 90,427    | 140,848   |               |
| 長榮<br>116  | 488,405   | 220,460   | 267,938   |               |
| 宏洋<br>117  | 261,870   | 60,662    | 201,208   |               |
| 海陸<br>118  | 257,714   | 109,730   | 147,984   | 合計<br>347,128 |
| 海陸<br>119  | 346,802   | 147,658   | 199,144   |               |
| 合計         | 3,474,042 | 1,467,545 | 2,007,297 |               |
| 平均         |           |           | 286,757   |               |

註：平均值係以航商數目為準

資料來源：高雄港務局本表不包括64號碼頭之運量

表六 公用碼頭船邊作業各項費用

| 港別<br>貨櫃分類<br>項目 | 高雄    |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
|                  | 實櫃    |       | 空櫃    |       |
|                  | 40'   | 20'   | 40'   | 20'   |
| 貨櫃裝卸費            | 1,612 | 1,023 | 1,612 | 1,637 |
| 碼頭前線機械<br>使用費    | 880   | 880   | 748   | 1,047 |
| 碼頭通過費            | 710   | 355   | —     |       |
| 過磅費              | 39    | 39    |       |       |
| 碼頭後線機械<br>使用費    | 782   | 782   | 782   | 782   |
| 拖車頭使用費           | 176   | 176   | 176   | 176   |
| 車架費              | 98    | 98    | 98    | 98    |
| 直接自船卸下<br>裝入車架費  | 15    | 15    | 15    | 15    |
| 理貨費              | 150   | 150   | 150   | 150   |
| 拉繩費              | 100   | 100   | 100   | 100   |
| 支付合計             | 4,562 | 3,618 | 3,681 | 3,092 |

資料來源：亞洲各國貨櫃作業費用比較表

表七 高雄港80年度(77.9~80.6)國輪航商與美商專用碼頭營運分析表

| 第二貨櫃中心 | 項次     | 櫃數TEU   | 艘次  | TEU/ship | 艘/月  |
|--------|--------|---------|-----|----------|------|
|        | 航商     |         |     |          |      |
|        | APL 68 | 411,198 | 250 | 1645     | 20.8 |
|        | APL 69 | 645,236 | 246 | 2623     | 20.5 |
|        | 陽明 70  | 181,898 | 153 | 1189     | 12.8 |

| 第四貨櫃中心 | 長榮 116 | 463,325 | 530 | 861  | 44.8 |
|--------|--------|---------|-----|------|------|
|        | 海陸 118 | 120,919 | 109 | 1109 | 9.1  |
|        | 海陸 119 | 368,766 | 274 | 1346 | 22.8 |

資料來源：高雄港務局本研究分析118號碼頭因在本期間受損，故使用率偏低

表八 各承租航商近三年來之貨櫃裝卸量表 (TEU)

| 年度貨櫃量<br>航商 | 78      | 79        | 80        | 平均        | 成長率% |
|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|------|
| 萬海 42       | 150,797 | 193,658   | 218,707   | 187,721   | 45.0 |
| 中航 65.66    | 513,586 | 491,306   | 552,262   | 519,051   | 7.5  |
| APL 68.09   | 967,588 | 1,013,749 | 1,117,006 | 1,032,387 | 15.4 |
| 陽明 70       | 121,120 | 125,765   | 231,275   | 159,387   | 90.9 |
| 長榮 116      | 420,503 | 471,023   | 488,405   | 459,977   | 16.1 |
| 宏洋 117      | 262,916 | 220,907   | 261,870   | 248,564   | -3.9 |
| 海陸 118,117  | 446,634 | 469,717   | 640,516   | 506,956   | 35.3 |
| 平均          |         |           |           |           | 29.5 |

## 2. 港務局投資效益分析

港務局投資興建貨櫃碼頭之效益，本文利用益本比來分析，其中有關成本之認定計算與資本成本之處理是以 UNCTAD (1975) 的港埠定價 PORT PRICING 為主要參照依據。高雄港之貨櫃專用碼頭由於各承租航商僅承租碼頭、機具等固定設施並自行僱用碼頭工人進行裝卸作業和負責機具保養維修，故分析益本比時，屬於

航商部份之變動成本不予考慮，僅考慮港務局投資之固定設施成本。本文以年金攤銷法 (annuity) 來計算，其要素有二，一是資金的机会成本即利息，二是資產的折舊額，UNCTAD建議之計算公式為

$$R = \frac{Cf_i}{1 - (1+i)^{-nf}}$$

其中 R：年度費用

Cf：購建成本

i：年利率

nf：設施使用年限

年金攤銷法有兩個優點，第一在資產可使用的經濟年限中每年資產成本折現值之和等於期初的資本支出。第二是每年的資本成本費用相等，可避免港埠費率經常調整之困擾，此法與港務局現行計算資本成本的方式不同，現行辦法僅將購買成本按經濟使用年限平均分攤其折舊值。忽略了資金的机会成本，以經濟眼光來看並不適合。

在實際計算時，碼頭設施費用及機具成本費用皆以原始成本為基礎，根據該項資產可使用之年限，以年利率8.5%（政府發行建設公債之利率），利用年金攤銷法計算每年之資本成本年金，而直接與港埠營運有關的一般成本如全港之維持費用、業務費用、管理費用與研發費用之分攤，則以承租碼頭平均每公尺長度，佔全港碼頭總長度之百分比來分攤全港之共同費用，而土地費用則以土地租金為基準。各承租航商中本文選擇最具代表性之美商 APL, Sea land 和國輪的陽明，長榮，四家公司分析高雄港務局出租貨櫃碼頭之效益與成本之比值即（B/C 值），本文以 B/C 值是否大於 1 來判定港務局是否有低價補貼航的事實。

(1)若 B/C 值小於 1，即表示港務局為虧本投資，代表港務局有低價補貼航商情形。

(2)若 B/C 值大於 1，即表示港務局之投資可行，並無補貼航商之情形。茲將 68, 69 號專用碼頭各項成本項目說明如下：

1. 68, 69, 70 三座碼頭及附屬設施屬第三貨櫃中心，水深 14 公尺長度各為 320 公尺於 64 年 7 月興建 69 年元月完工總投資額為 19 億五千萬美元，平均每座碼頭之購建成本為 6 億 5 千萬美元，使用年限 40 年。
2. 橋式起重機港務局購買三部，原始成本為 1 億 9 千萬美元使用年限 15 年。
3. 門式機二部總價為 5120 萬元，使用年限 12 年。
4. 空櫃堆放機一部價格 560 萬元，使用年限 10 年。
5. 土地租金依合約規定，公告地價每  $m^2$  為 6400 元，68 號碼頭 195,547.5  $m^2$ ，69 號碼頭 203529  $m^2$  年租率為 7.5 %，則全年土地租金為 196.1 百萬元。
6. 全港維持費用 80 年度共為 473546.2 萬碼頭總長度為 21346 公尺平均每公尺分攤共同成本費 22.2 萬元，68, 69 號碼頭全長 640 公尺合計分攤 142.1 百萬元。

依上述數據港務局投資在 APL 專用碼頭之年度成本費用折算現值為 379.4 百萬元（表九），而港務局收取之年租金為 297.7 百萬元，因此  $B/C = 297.7/379.4 < 1$  顯然收益太低屬虧本投

資，顯示港務局有低價補貼美商之情形。（表十）為重置成本之年度資本成本費用茲說明如下：

1. 碼頭重置成本以目前第五貨櫃中之8座碼頭總預算106億平均每座碼頭13.25億元估算，使用年限40年。
2. 橋式機重置成本依80年市場價格每部一億伍仟萬元，使用年限，15年。
3. 門式機重置成本依80年市場價格每部3500萬元，年限12年。
4. 堆高機重置成本為2000萬元年限10年。

重置成本之益本比更小於1，B/C值僅為0.48，港務局投資更屬入不敷出，補貼航商之情形，更為嚴重。由

表九 APL租用68,69號碼頭原始投資成本年度費用分析表

| 項次<br>機具、種類 | 購建成本   | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|--------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 1300.0 | 40       | 2   | 114.9 |
| 橋式機         | 190.0  | 15       | 3   | 22.9  |
| 門式機         | 51.2   | 12       | 2   | 7.0   |
| 空櫃堆放機       | 5.6    | 10       | 1   | 0.9   |
| 土地費用        | 2554.1 |          | 二筆  | 191.6 |
| 共同成本分攤      | 0.222  |          | 640 | 142.1 |
| 合計          |        |          |     | 479.4 |

資料來源：高雄港務局

（表11~16）得知港務局投資興之貨櫃碼頭租給Sea land和陽明、長榮之租金收益和年度資產成本費用比值僅陽明公司之B/C值為1.06其餘皆小於1。

若以重置成本來評估，則各出租碼頭之B/C值均小於1，顯然港務局低價補貼航商之情形極為普遍，相對的各承租航商皆獲得高額之利益。

如依B/C值之大小，來判定港務局補助航商之多寡，則其排名依為Sea land(0.43), APL(0.48)長榮(0.69), 陽明(0.79)。

經由上述分析，可知港務局投資效益不彰，乃是租金收益太低所致，因此租用碼頭租金計價結構之合理調整，乃是港務局亟待改善之重要問題。

表十 APL租用68,69號碼頭重置成本年度費用分析表  
單位：百萬元

| 項次<br>機具、種類 | 重置成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 2650  | 40       | 2   | 234.2 |
| 橋式機         | 300   | 15       | 3   | 36.1  |
| 門式機         | 70    | 12       | 2   | 9.5   |
| 空櫃堆放機       | 20    | 10       | 1   | 3.0   |
| 土地費用        | 2554  |          | 二筆  | 191.6 |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 640 | 142.1 |
| 合計          |       |          |     | 616.5 |

資料來源：高雄港務局

$$B/C = 297.7 \div 616.5 = 0.48 < 1$$

表十一 Sea land公司租用118,119號碼頭原始  
投資成本年度費用分析表 (百萬元)

| 項次<br>機具、種類 | 購建成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 2210  | 40       | 2   | 195.3 |
| 橋式機         | 225   | 15       | 2   | 27.1  |
| 門式機         | 82    | 12       | 3   | 11.2  |
| 土地費用        | 1670  | 7.5      | 1   | 125.3 |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 640 | 142.1 |
| 合計          |       |          |     | 501   |

資料來源：高雄港務局

表十二 Sea land公司租用118,119碼頭重置成本  
年度費用分析表 (單位：百萬元)

| 項次<br>機具、種類 | 重置成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 2650  | 40       | 2   | 234.2 |
| 橋式機         | 300   | 15       | 2   | 36.1  |
| 門式機         | 105   | 12       | 3   | 14.3  |
| 土地費用        | 1670  | 7.5      | 1   | 125.3 |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 640 | 142.1 |
| 合計          |       |          |     | 552   |

資料來源：高雄港務局

$$B/C = 237.9 \div 552 = 0.43 < 1$$

表十三 陽明公司70號租用碼頭原始成本年度  
費用分析表 (單位：百萬元)

| 項次<br>機具、種類 | 購建成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 650   | 40       | 1   | 57.5  |
| 橋式機         | 252   | 15       | 3   | 30.6  |
| 門式機         | 78    | 12       | 3   | 10.6  |
| 空櫃堆放機       | 32    | 10       | 2   | 4.9   |
| 土地費用        | 1230  | 7.5      | 一筆  | 92.3  |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 320 | 71.0  |
| 合計          |       |          |     | 266.9 |

資料來源：高雄港務局

表十四 陽明公司租用70號碼頭重置成本年度  
費用分析表 (單位百萬元)

| 項次<br>機具、種類 | 重置成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 1325  | 40       | 1   | 117.1 |
| 橋式機         | 450   | 15       | 3   | 54.2  |
| 門式機         | 105   | 12       | 3   | 14.3  |
| 空櫃堆放機       | 40    | 10       | 2   | 6.1   |
| 土地費用        | 1230  | 7.5      | 一筆  | 92.3  |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 320 | 71.0  |
| 合計          |       |          |     | 355   |

資料來源：高雄港務局

$$B/C = 281.9 \div 355 = 0.79 < 1$$

表十五 長榮公司租用116號碼頭原始成本年度  
費用分析表 (單位：百萬元)

| 項次<br>機具、種類 | 購建成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 1105  | 40       | 1   | 97.7  |
| 橋式機         | 241   | 15       | 3   | 29.0  |
| 門式機         | 98    | 12       | 3   | 13.3  |
| 土地費用        | 313.8 | 7.5      | 一筆  | 47.1  |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 596 | 132.3 |
| 合計          |       |          |     | 319.4 |

資料來源：高雄港務局

表十六 長榮公司租用116號碼頭重置成本年度  
費用分析表 (單位：百萬元)

| 項次<br>機具、種類 | 重置成本  | 使用<br>年限 | 數量  | 年度費用  |
|-------------|-------|----------|-----|-------|
| 碼頭          | 1325  | 40       | 1   | 117.1 |
| 橋式機         | 450   | 15       | 3   | 54.2  |
| 門式機         | 105   | 12       | 3   | 14.3  |
| 土地費用        | 1135  | 7.5      | 一筆  | 85.1  |
| 共同成本分攤      | 0.222 |          | 596 | 132.3 |
| 合計          |       |          |     | 403.0 |

資料來源：高雄港務局

$$B/C = 278.4 \div 403 = 0.43 < 1$$