

波 壓 調 查 研 究

主 持 人：張 金 機

協同主持人：簡 仲 璟

參與人員：陳 明 宗（儀器安裝測試）

曾 相 茂 吳 基

陳 肇 興 何 炳 紹

蔡 金 吉 蔡 瑞 成

李 永 勝

波 壓 調 查 研 究

摘 要	III
ABSTRACT	IV
圖 名	VI
一、前 言	1
二、往昔之研究	4
三、現場波壓觀測	13
四、資料分析	22
五、結論與建議	57
六、參考文獻	61

摘 要

花蓮港位於台灣東北部海岸，面對廣闊太平洋幾無天然屏障。每年受二到三次颱風威脅，外海波浪超過 10 m 以上。為消滅越波，降低波壓力，經多次模型試驗採用開孔胸牆防波堤。本研究旨在辦理現場直立牆與開孔胸牆波壓調查，以了解開孔胸牆防波堤消滅波壓效能。

波壓調查資料顯示，在同一波列侵襲下，直立牆波壓有 93% 以上較開孔胸牆大。位於 +3.1m 處波壓計直立牆波壓感應值約為開孔胸牆的兩倍。每二小時紀錄 15 分鐘之平均波壓有 90% 以上直立牆大於開孔胸牆。當潮位為 +1.6m 時，CH1 波壓計正位於靜水面上，波壓無因次參數 $P_{ave}/w H_{ave}$ ， $P_s/w H_s$ 及 $P_{max}/w H_{max}$ 之值分別為 0.64, 0.65, 0.69，與谷本等 1980 年在鹿島港所作調查結果極為一致，但這些值均較直立堤試驗值 0.8 至 0.92 偏低。顯然地，主要原因是受波壓計上方開孔胸牆吸收波能的緣故。最大波壓無因次參數顯示開孔胸牆防波堤較直立牆防波堤最少可減少 20% 以上波壓力。

ABSTRACT

Hwa-Lian Harbour is located at the northeast coast of Taiwan, where is relatively exposed to the offshore waves from the Pacific Ocean. Huge typhoon which can generated waves more than 10 m waves, attacks this harbour two or three times a year. In order to eliminate wave overtopping and to reduce acting wave force, after a series of model studies, perforated parapet breakwater was adopted. The purpose of this study is to get some information about wave force reducing efficiency of perforated wall through field investigation of wave pressure on both solid and perforated breakwater.

Field observation wave pressure data which indicates under the action of the same wave train, more than 93 % solid wall pressure larger than perforated wall pressure. The pressure response value for gauges located at +3.1 m, solid wall is about twice of that of perforated wall. When the tidal level is +1.6 m, pressure sensor of CH1 is just located on the still water level, the values of wave pressure dimensionless parameters $Pave/$

w Have, $P_s/w H_s$ and $P_{max}/w H_{max}$ are 0.64, 0.69 and 0.65 respectively, which are very agree with the results obtained by Tanimoto at Kashima in 1980, but are smaller than the values 0.8 to 0.92 obtained from model tests of solid wall breakwater. Obviously, this is due to wave energy absorption of perforated wall on the top of pressure gauge. The dimensionless parameter of the maximum wave pressure shows that the perforated wall breakwater can eliminate at least 20% wave force in comparision with the solid wall breakwater.

圖 名

- 圖 2 - 1 P_t / rd^2 與 H_i / L 之變化關係 (簡 1983)
- 圖 2 - 2 P_i / rd^2 與 H_i / L 之變化關係 (簡 1983)
- 圖 2 - 3 鹿島港波壓計安裝位置 (谷本 1980)
- 圖 2 - 4 波壓分佈置 (谷本 1980)
- 圖 2 - 5 波壓與波高關係 (谷本 1980)
- 圖 2 - 6 開孔牆型式及波壓計佈置 (谷本 1981)
- 圖 2 - 7 直立牆與開孔牆試驗結果 (谷本 1981)
- 圖 2 - 8 試驗值與計算值比較 (谷本 1981)
- 圖 2 - 9 神戶垂水區波壓調查波壓計佈置 (高橋 1984)
- 圖 2 - 10 波壓與波高關係 (高橋 1984)
- 圖 3 - 1 波壓觀測位置圖
- 圖 3 - 2 波壓感應器斷面位置圖
- 圖 3 - 3 波壓感應器平面位置圖
- 圖 3 - 4 波壓延時紀錄
- 圖 4 - 1 波壓延時與潮位關係
- 圖 4 - 2 波壓作用次數與潮位關係
- 圖 4 - 3 同波列作用下直立牆波壓與開孔胸牆波壓關係
- 圖 4 - 4 觀測期間受同波列作用時直立牆波壓
與開孔胸牆波壓關係
- 圖 4 - 5 $P(2) / P(1)$ 與 $P(1)$ 之相對應關係
- 圖 4 - 6 $P(3) / P(1)$ 與 $P(1)$ 之相對應關係
- 圖 4 - 7 開孔胸牆波壓 $P(2)$ 與 $P(1)$ 之相對應關係
- 圖 4 - 8 直立牆波壓 $P(3)$ 與 $P(1)$ 之相對應關係

- 圖 4 - 9 平均波壓 $P(2)_{ave}$, $P(3)_{ave}$ 與 $P(1)_{ave}$ 之關係
- 圖 4 - 10 最大三分之一平均波壓 $P(2)_{1/3}$,
 $P(3)_{1/3}$ 與 $P(1)_{1/3}$ 之關係
- 圖 4 - 11 最大三分之一平均波壓感應值關係
- 圖 4 - 12 平均波壓感應值關係
- 圖 4 - 13 直立牆與開孔胸牆統計波壓關係
- 圖 4 - 14 直立牆與開孔胸牆統計波壓比值概率分佈
- 圖 4 - 15 波高、波壓超過率平均值與超過概率關係
- 圖 4 - 16 花蓮港與新港波高關係
- 圖 4 - 17 平均波高及波壓與超過概率關係
- 圖 4 - 18 最大三分之一平均波高及波壓與超過概率關係
- 圖 4 - 19 最大波高及波壓與超過概率關係
- 圖 4 - 20 $P / w H$ 與潮位關係
- 圖 4 - 21 直立堤試驗值 $P / w H$ 與 H / h 關係 (張 1987)
- 圖 4 - 22 直立堤試驗值 $P / w H$ 與 h / L 關係 (張 1987)
- 圖 4 - 23 最大波壓無因次參數 $P_{max} / w H_{max}$ 與潮位關係
- 圖 4 - 24 計算值與觀測值 $P_{max} / w H_{max}$ 比較

一、前 言

防波堤是維持港池穩靜，保護港灣設施及腹地免受海浪侵襲之主要構造物。近年來由於海上運輸蓬勃發展，為減少運輸成本，數以萬噸、十萬噸計之大型貨輪因應而生，船舶吃水深急遽增加，原有港池水深已漸漸不符使用。為闢建更深、更寬闊水池以容納船舶巨型化的需求，防波堤必需往外海更深處延伸。

防波堤愈向外海延伸，水深更深，愈缺乏天然屏障遮蔽，所遭遇波浪更洶湧險惡。台灣沿海缺乏天然港，興建港灣必需構築大量防波堤。若採用傳統合成式防波堤，勢必隨水深增加或波高增大而比例增大斷面，以維持防波堤穩定。

合成式防波堤與拋石堤相較，雖可大量減少築堤材料，但因堤身毫無消波特性，往往堤身反射而造成大量越波，或斜向入射而產生導浪現象，影響港池穩靜。築堤經驗告訴我們，在相同之海象條件下，合成式防波堤建築費用隨水深平方比例增加。因此，尋求一種防波堤可以消滅波能，減小越波導浪，增加港池穩靜，節省築堤經費，成為海岸工程重要研究課題。

花蓮港務局為辦理花蓮港第四期擴建工程，早在民國六十六年曾委託台中港務局辦理擴建計畫水工模型試驗，

根據試驗結果，建議針對防波堤導波、越波情形辦理斷面試驗，以尋求最佳防波堤斷面。隨後在六十九年台中港務局接受中華顧問工程司委託辦理開孔胸牆防波堤越波、傳遞波試驗研究，肯定開孔胸牆防波堤有消波及減小波力作用。嗣後花蓮港務局又委託成功大學台南水工試驗所辦理開孔胸牆防波堤波力試驗研究，確認開孔胸牆防波堤不但可以減低波浪溯上，使傳遞波減小，還可以消滅波能，降低作用於防波堤斷面波力。中華顧問工程司根據此項研究結果，為花蓮港第四期擴建設計開孔胸牆防波堤。花蓮港四期擴建所完成之防波堤，已證實開孔胸牆能大量減小波浪溯上，使港池不受傳遞波威脅，其所受波壓力究竟減到何種程度，確是無法驗證。本研究計畫旨在比較現場調查所獲傳統直立式與開孔胸牆波壓力，分析開孔胸牆消滅波壓之效能，以作為爾後規劃設計之依據。

本計畫自 76 年 7 月開始執行，首先蒐集資料，辦理儀器採購，並著手安裝儀器準備工作，埋設管路，封閉六個開孔，製作觀測小屋等。封口工程完成後受 9 月 9 日傑魯得颱風侵襲，因消波槽強大外向水壓力，使兩塊封口鐵板被沖掉落海裡。76 年 10 月初開始安裝儀器，此時季節風已增強，花蓮港外海時而平靜，時而波濤洶湧，使本所研究人員無法充份把握安裝進度。77 年初現場波壓計

安裝即將完成時，遭受強大季風侵襲，使安裝於封口防波堤四個波壓計因壁虎脫落掉入海中。元月 20 日再度將剩下三個波壓計安裝完成，並於外海裝置壓力式波高計，同時進行波浪、波壓觀測。謹將調查經過，資料分析結果敘述如后。

二、 往昔之研究

為消滅合成式防波堤直立堤身反射能量，早期均在堤身海側拋石基礎上拋放混凝土型塊，利用混凝土型塊孔隙消殺部份入射波浪能量。基礎拋放型塊在水深較淺處，雖可消滅波能，減小反射波及傳遞波，但沉箱拋石基礎提高，水深減小，有時可能導致堤前碎波，造成極大之衝擊波壓力。為避免基礎拋置型塊造成碎波產生異常波壓力，消波潛堤在五十年代被廣泛採用。消波潛堤通常被佈置在防波堤海側一個波長左右位置，藉可透水之潛堤，使水深淺化，造成碎波以達到大量消滅波能之目的。但隨著防波堤設置，水深增加，為使較大之入射波受潛堤作用發生碎波，以達消滅波能之目的，勢必增加潛堤高度，築堤材料因而大量增加。為減少築堤材料，降低築港經費，於是開孔胸牆防波堤 (Perforated Parapet Breakwater) 曲面條型防波堤 (Curve Slit-Type Breakwater) 或斜面、曲面防波堤乃因應而生。

開孔胸牆消波沉箱式防波堤係傳統式沉箱海側為一開孔牆與消波槽；其特點為波浪透過開孔牆時，能量被消耗而得以減小越波、反射波，溯上及波壓力等多重功用。此種開孔胸牆防波堤自 1961 年 Jarlan 提出後，廣受海岸

工程界重視，1962 年加拿大曾首先應用於築港工程上。日本則發展各類型之直立消波岸壁，應用於漁港或小型商港之碼頭。隨後 1968 年，Marks 及 Jarlan 以試驗證明第一道開孔胸牆確實能有效降低防波堤波壓力。1968 年 Terrett 等辦理理論及試驗研究，發現開孔胸牆防波堤有消減波力作用，而且短週期波比長週期波更理想。

1980 年，台中港務局水工試驗室辦理花蓮港第四期擴建防波堤斷面試驗結果顯示，開孔胸牆防波堤消波槽內有隔牆較無隔牆更能有效減小傳遞波高，且消波槽越長，隔牆效果越顯著。就堤身穩定而言，相同之沉箱堤重量，開孔胸牆防波堤能抵擋入射波高約為傳統性防波堤之 1.2 倍。

1981 年簡仲和等辦理花蓮港消波胸牆防波堤波力模型試驗研究證明，採用消波胸牆可以將波力減為傳統直立式胸牆之 50 - 90 %，水面上設置第二道開孔胸牆對消減波力並無顯著效果。

1983 年，簡仲和在郭金棟教授指導下，辦理開孔胸牆防波堤之波力研究，獲得直立式防波堤與開孔胸牆防波堤斷面全波力分為：

$$\frac{P_t}{wd^2} = 0.213 (d/L)^{-1.65} \frac{H_i}{L} \quad (2-1)$$

$$\frac{P_1}{wd^2} = 0.213 e^{-2.2v} \left(\frac{d}{L} \right)^{-1.65-0.75v} \frac{H_i}{L} \quad (2-2)$$

上二式中 P_t 及 P_1 分別為直立式及開孔胸牆防波堤之斷面全壓力， w 為水之單位重， d 為水深， L 為波長， H_i/L 為波浪尖度， V 為開孔率。

開孔胸牆對波浪溯上及波力消滅效果均隨開孔率 V 增加，當 $V=42.2\%$ ，波力可消滅為直立式防波堤波力之 0.6 倍至 0.8 倍，而溯上則可減為直立式防波堤溯上之 0.6 至 0.75 倍。圖 2-1 及 2-2 分別為直立式與開孔胸牆 ($V=42.2\%$) 防波堤波壓力試驗值與計算值。

1980 年谷本勝利等辦理鹿島港北海濱直立消波護岸之波壓觀測資料解析研究，在開孔胸牆前後，消波槽四周及底板共安裝 16 個波壓計，如圖 2-3。波壓資料分析結果顯示，在水面附近開孔胸牆前，波壓數相當接近波浪數，波壓頻率分佈接近理萊分佈 (Rayleigh Distribution)；消波槽內波壓分佈則集中於平均波壓附近，如圖 2-4。開孔胸牆前面及後面靜水位附近之波壓與波高關係如圖 2-5， $P_s/w H_s$ 之平均值約為 0.7。而 $P_{max}/w H_{max}$ 則顯得相當散亂。

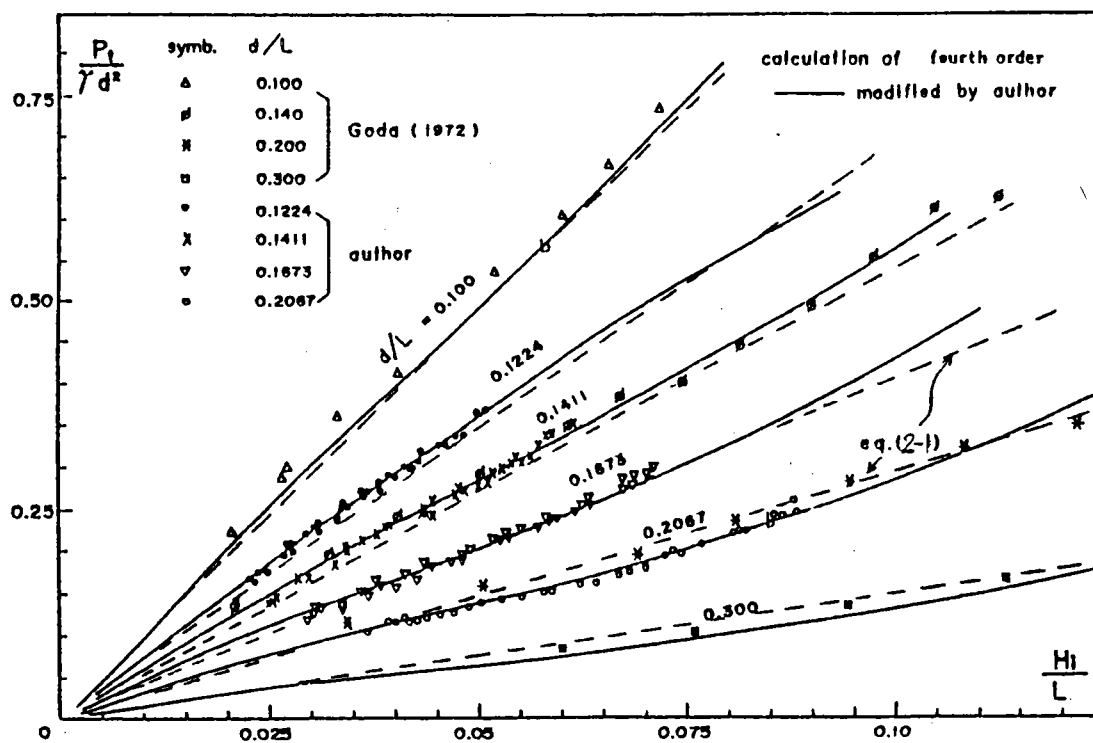


圖 2 - 1 $P_1 / \gamma d^2$ 與 H_i / L 之變化關係 (國 1983)

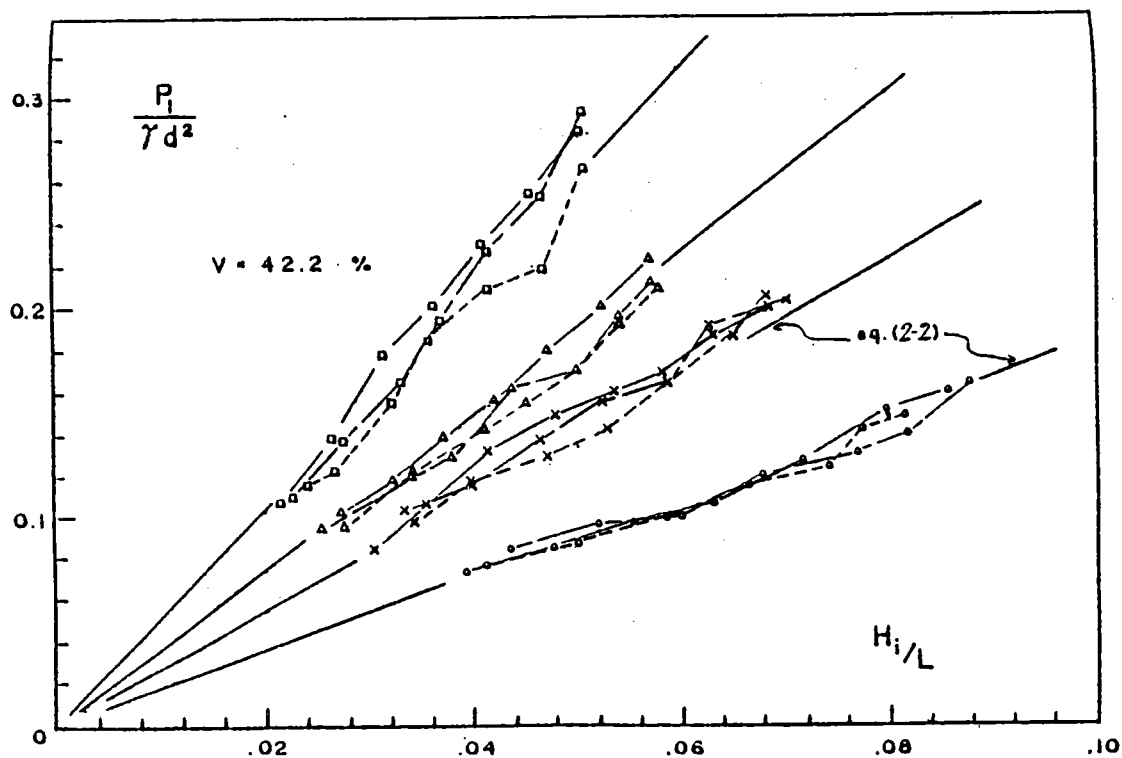


圖 2 - 2 $P_1 / \gamma d^2$ 與 H_i / L 之變化關係 (國 1983)

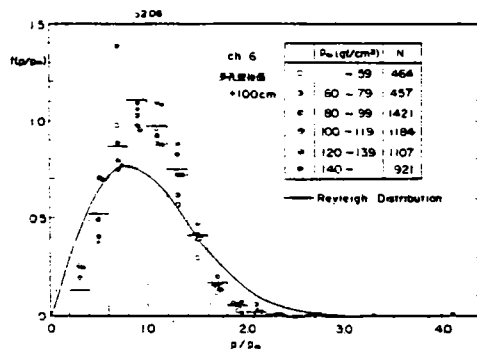
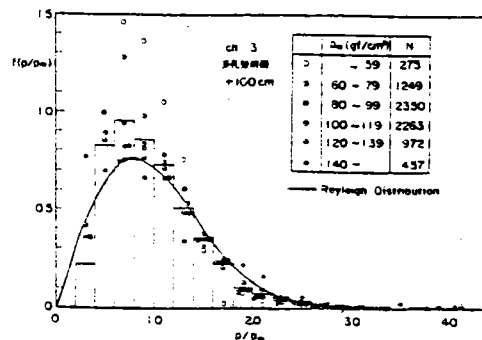
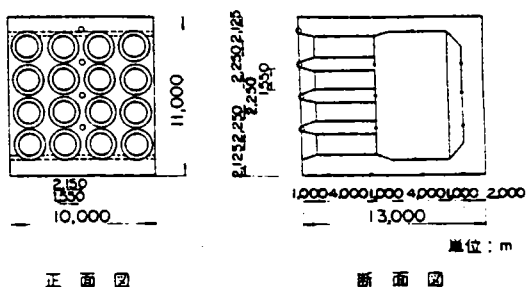
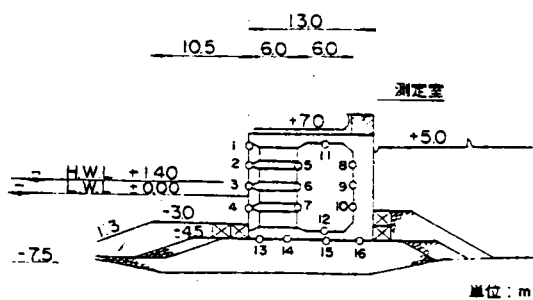


圖 2 - 3 鹿島港波壓計安裝位置 (谷本 1980)

圖 2 - 4 波壓分佈圖 (谷本 1980)

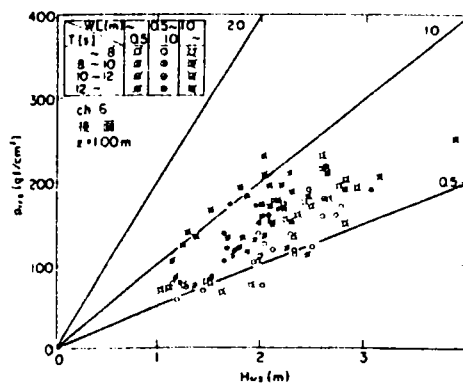
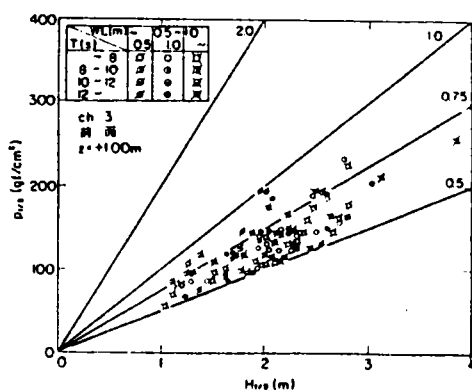


圖 2 - 5 波壓與波高關係 (谷本 1980)

1981 年谷本勝利等合成式防波堤衝擊波壓對策試驗研究，辦理堤前拋石基礎拋放消波塊及開孔胸牆防波堤試驗。雖然以消波塊保護堤身對防止碎波所產生之衝擊波壓具有顯示效果，但工程費隨水深驟增。圖 2-6 為試驗所採用三種開孔胸牆型式，其開孔率分別為多孔圓型為 0.306，平型及駒型版條為 0.25，傳統式防波堤與開孔胸牆防波堤試驗結果如圖 2-7。當 $d/h=0.405$ (d 與 h 如圖示) 傳統式防波堤所受平均波壓無因次參數 P/wH 可達 2.3；而開孔胸牆防波堤不論是多孔或平型駒型版條， P/wH 最大值僅為 1.25。試驗證明開孔胸牆防波堤波力作用狀況與拋放消波塊有顯著差異，捲型碎波雖然在開孔胸牆防波堤產生，但因前牆受力面積減小，使衝擊波壓減低。

利用合田公式並考慮修正係數計算開孔胸牆波壓力與試驗值比較如圖 2-8，圖中 P_e 為試驗值， P_g 為計算值 P_e/P_g 範圍在 0.7 與 1.3 之間，超過 1.0 約佔 30%。

1984 年谷本勝利等從事防波堤直立段不規則波波力試驗研究結果顯示，在未碎波作用時應用合田公式，可以相當準確的計算各種統計波高所造成波壓力，但當碎波發生時，最大波壓力遠超過計算值。堤前拋放混凝土消波型塊可以大幅減低波壓力，最大三分之一波壓平均值無因次

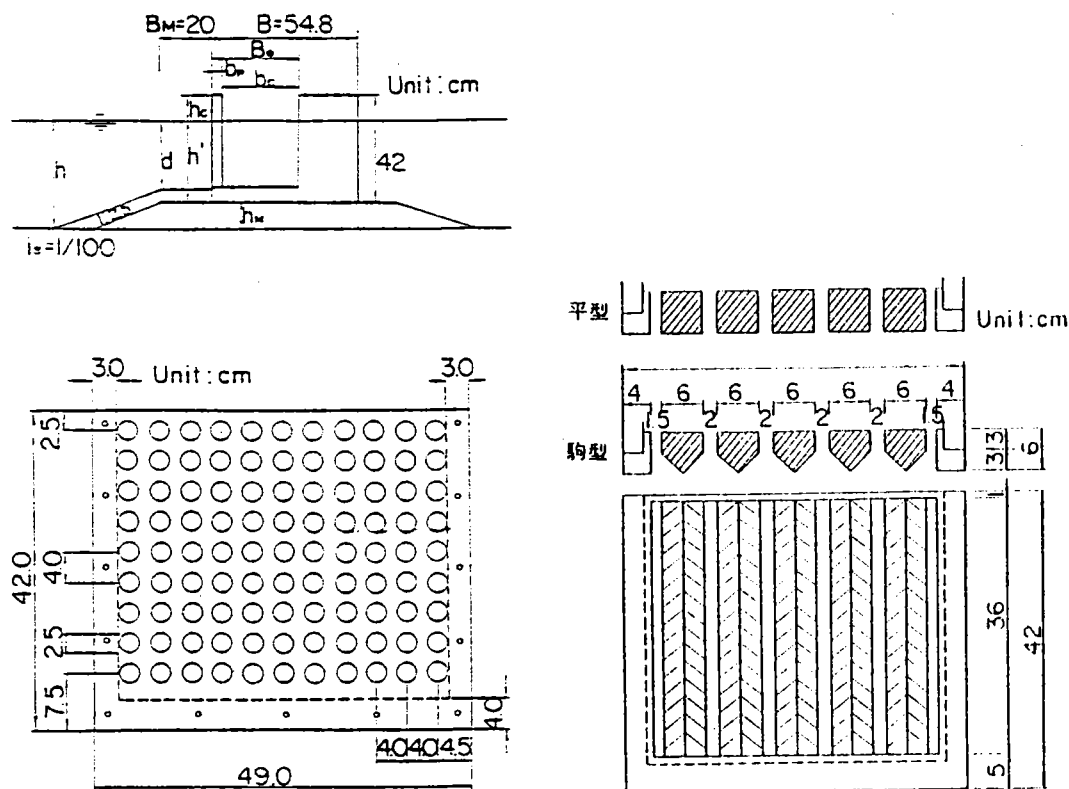


圖 2 - 6 開孔牆型式及波壓計佈置 (谷本 1981)

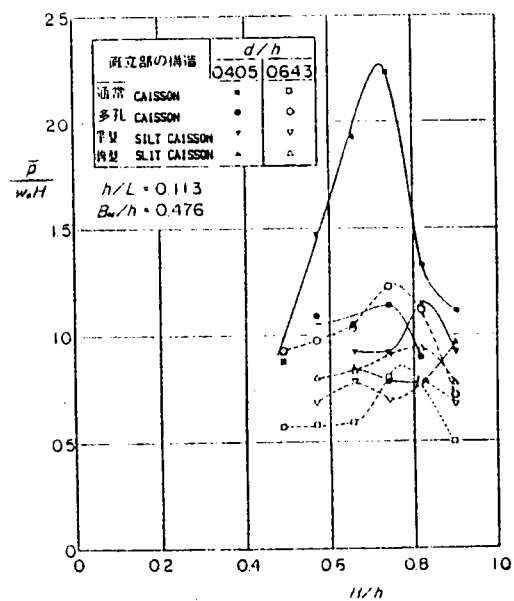


圖 2 - 7 直立牆與開孔牆試驗結果 (谷本 1981)

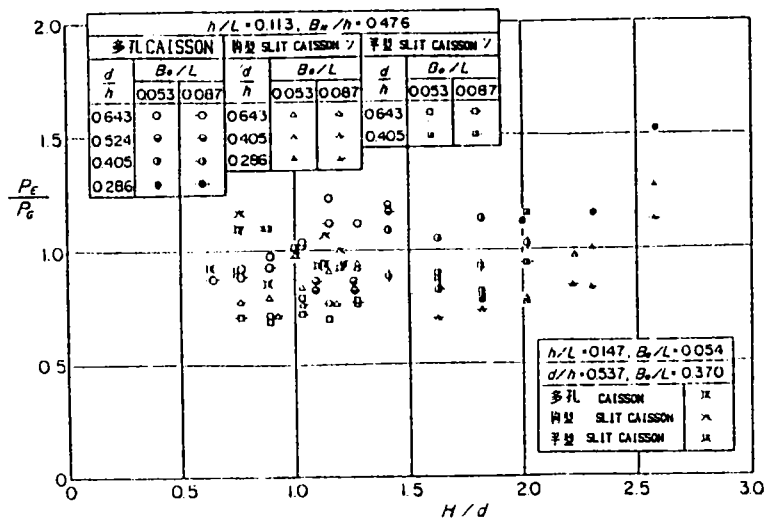


圖 2 - 8 試驗值與計算值比較 (谷本 1981)

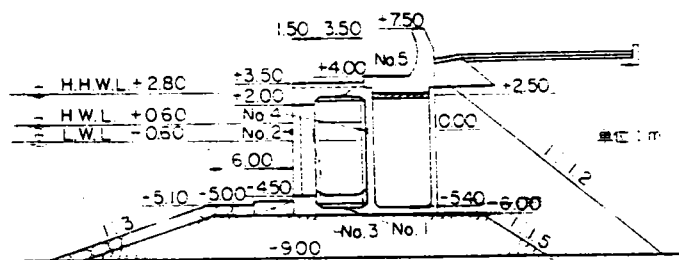


圖 2 - 9 神戶垂水區波浪調查波壓計佈置 (高橋 1984)

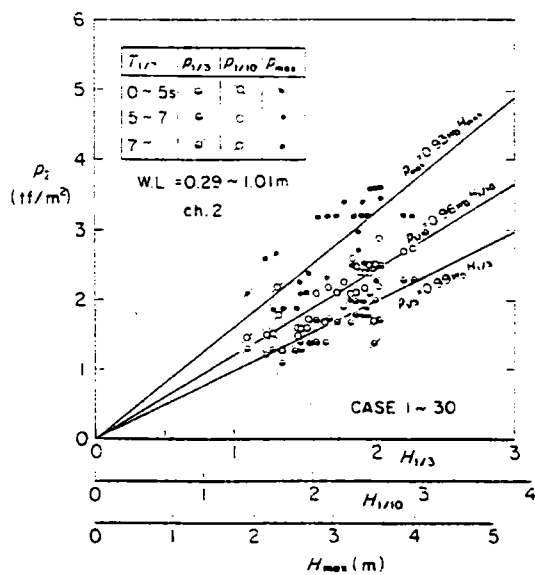


圖 2 - 10 波壓與波高關係 (高橋 1984)

參數 $P_s/w H_s$ 由未置消波塊時的 0.62 至 2.92 減小為 0.59 至 0.95。

1984 年，高橋重雄等實地觀測分析透水牆直立消波沉箱上床版揚壓力，波壓計安裝如圖 2-9，分別安裝於沉箱底，透水牆前後，消波槽後壁，上床版等，觀測資料分析結果顯示，上床版開孔對減小消波槽因空氣壓縮所產生之揚壓力效果極為顯著，當上床版因空氣壓縮而產生揚壓力時，消波槽內亦同時受影響，透水牆前、後及消波槽後壁波壓與波高關係如圖 2-10。在潮位 0.29 與 1.01m 範圍，安裝高程在 -0.6 m 處，波壓計所測得波壓統計概率無因次參數 $P_{max}/w H_{max}$ ， $P_{1/10}/w H_{1/10}$ 及 $P_s/w H_s$ 值在透水牆前後極為接近約在 0.92 與 0.99 間，而消波槽後壁則介於 1.25 與 1.28 之間。

三、 現場波壓觀測

花蓮港務局為減低東部巨浪作用於防波堤上之巨大波壓力，並減少傳遞波對港池穩靜之影響。經研究結果在東堤延伸擴建工程採用開孔式胸牆防波堤。現場證明此種防波堤具有極佳之消波性能，減少傳遞波對港內的影響，但波壓力對傳統直立壁式之防波堤，與開孔胸牆防波堤的效果比較，則有待進一步觀測，本所辦理開孔胸牆防波堤現場波壓觀測，藉以瞭解實際情形。

(一)觀測儀器設備

觀測儀器及設備主要有下列六項：

1. 波壓力感應器

波壓之訊號係由波壓感應器偵測出後傳送給訊號增幅器。本觀測使用之波壓感應器係採用日本製 Kyowa 廠牌 PGM-10KE 型，感應器 7 組。

2. 訊號增幅器

由於訊號來源可能過大或過小，因此須藉增幅器縮小或放大感應器偵測後輸出之電壓或電流，使其能配合記錄器之性能，及吾人之需求。所使用之增幅器係日本製 Kyowa 廠牌 DPM-6H 型增幅器 2 套，每套各有 6 個頻道。可使用交流、直流電源，具自動平衡功能。

3. 訊號記錄器

由於考慮現場電源問題，故採用交直流兩用之日本製 Kyowa 廠牌 RTP-650A型記錄器一套。此記錄器共有 14 個頻道。記錄儲存媒體為卡式錄影帶 (Video Cassette Tape)。可有 7 種影帶轉速功能。並具有監看螢幕 (Monitor)，可隨時監看某一頻道，或全部的記錄情形及設定狀況。而其對本觀測最大的優點是其具自動開啓，及關閉電源的功能，而使得電瓶的消耗減至最小，以符合現場長期自動觀測的需求。

4. 觀測屋

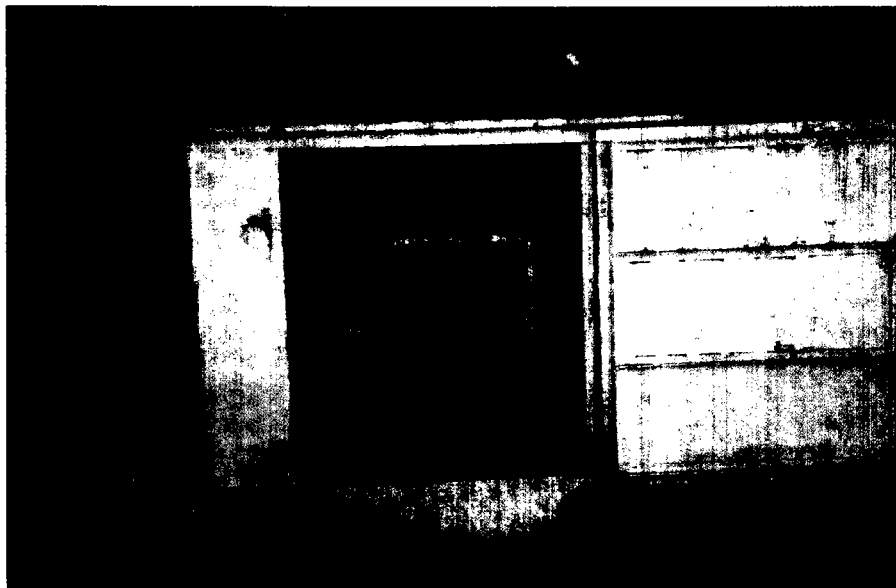
由於現場為空曠之防波堤上，沒有任何遮蔽物，因此為了安裝觀測設備，以防外力的破壞，故以3mm厚鐵板搭建一臨時觀測小屋於胸牆背後。如照片3-1及 3-2。

5. 封口鐵板

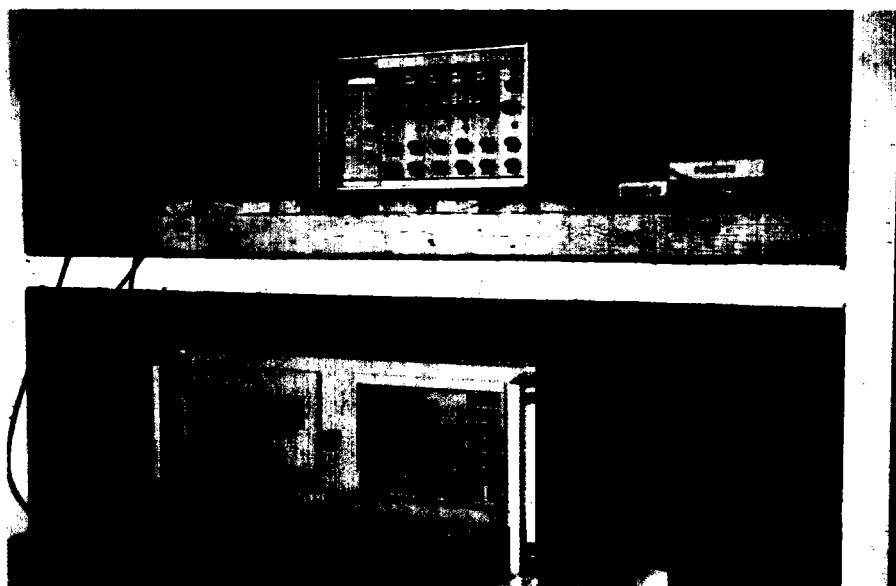
為了比較密閉直立壁與開孔式防波堤的波壓力之差異性，故製作了六個封口板，將開孔胸牆封閉，以模擬直立壁。

6. 電瓶

因為現場無交流電源供應，因此購買 YUASA 牌 12 伏特電瓶 8 個，每次 4 個並聯供電，4個充電，



照片 3-1 現場觀測小屋



照片 3-2 現場增幅器及記錄器安置圖

如此輪流使用以供觀測電源之需。

(二)現場佈置安裝

從 76 年 7 月開始進行現場觀測，佈置之準備工作如 (1)對口工程 (2)管線鋪設 (3)觀測屋搭建 (4)壓力感應器之防水處理及率定。這些工作中以第一及第四項較為困難。因封口板每個重達 500 kg 以上，且安放位置為胸牆面海外側，因此吊放不易。再加上胸牆開孔並非圓形，因此不易密合使其完全封閉，增加工作困難。封口工程完工後，曾遇傑魯得颱風 (76.9) 結果因強大的水流衝壓力將壁虎及混凝土一同拔起，而丟失兩塊封口板，後曾進行再補強工作。至於管線鋪設，由於鋪設位置在防波堤面海外側，人員無立足之地，再加上離海平面很近，因而增加危險性。同時混凝土強度高達 3000 psi 以上，更使施工益形困難，雖屢經多次失敗，但在全體工作人員的辛苦冒險努力下完成現場佈置與儀器安裝工作。而於同年 12 月開始進行初步觀測。有關儀器佈置與安裝平面位置如圖 3-1，斷面位置如圖 3-2 及 3-3。現場照片如照片 3-1~3-4。

花蓮港港區平面圖

比例尺 1:8000

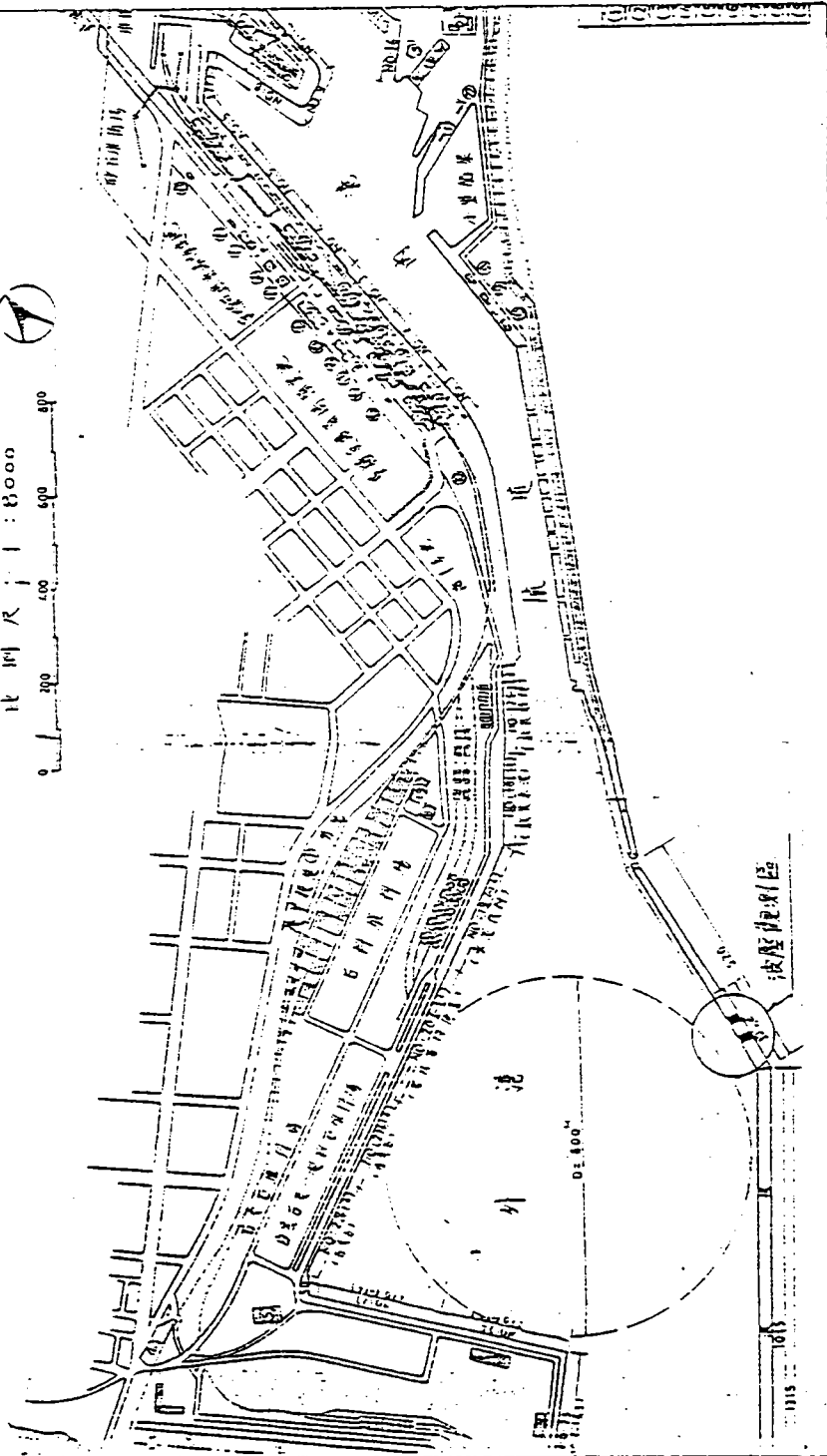



圖 3-1 波壓觀測位置圖

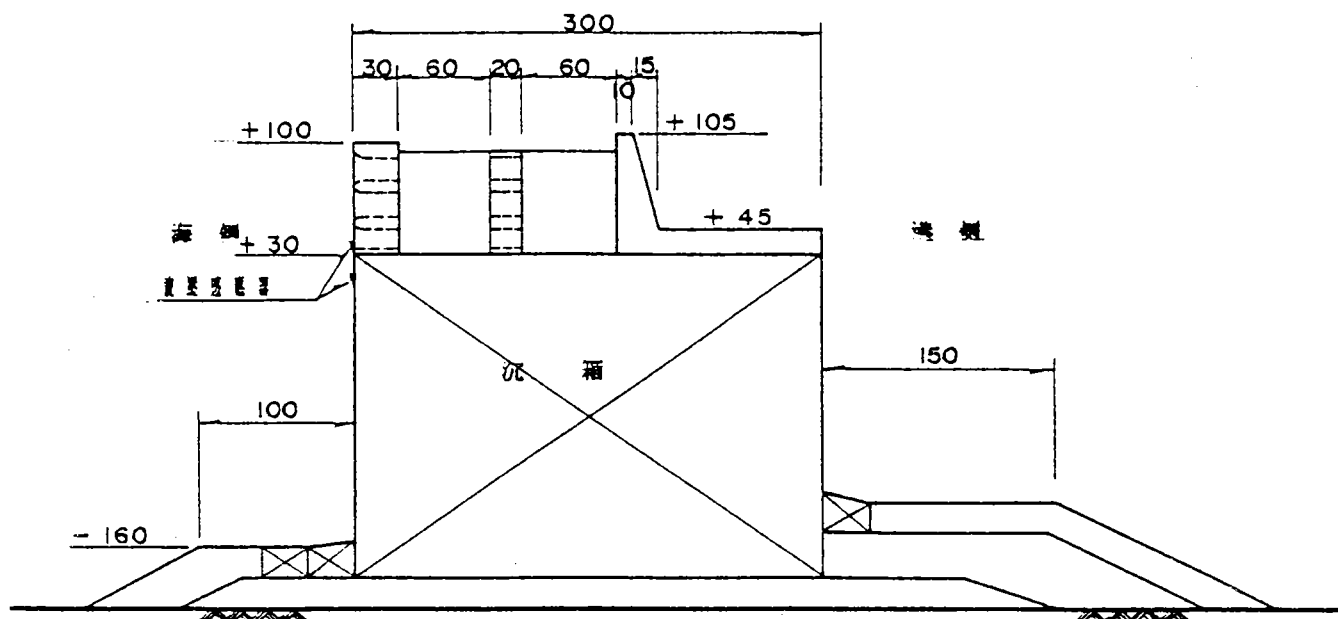


圖 3-2 波壓感應器位置圖

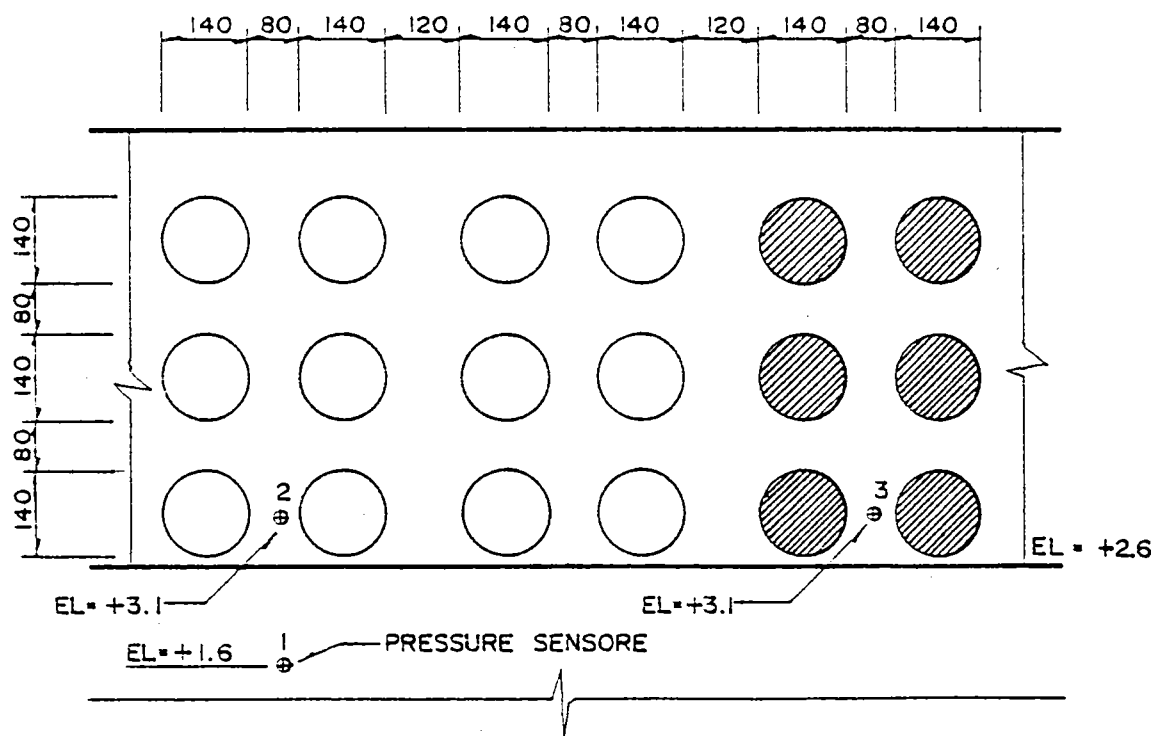
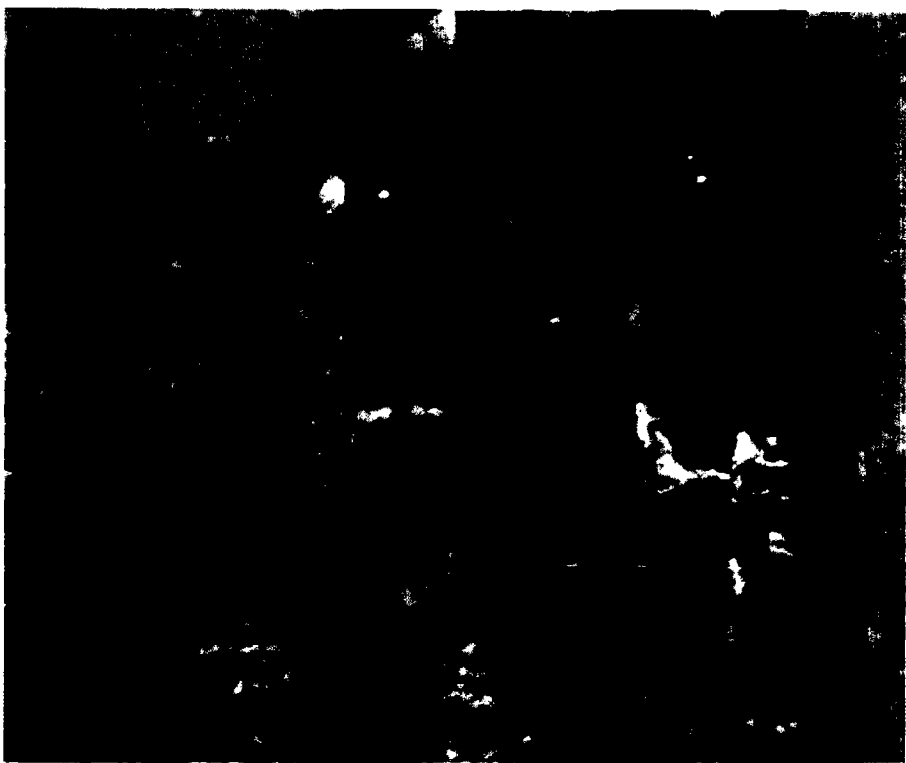


圖 3-3 波壓感應器位置圖



照片 3-3 管線埋設及封口板



照片 3-4 波壓感應器安置

(三)觀測期間記錄

全部觀測期間，大致上分兩段 77 年 1 月 20 日至 77 年 1 月 28 日，及 77 年 2 月 4 日至 77 年 2 月 12 日，每二小時觀測一次，每次觀測 15 分鐘。觀測頻道數原共七個。但因受強烈季風侵襲流失四個，波壓感應計剩下三個 (CH1, CH2, CH3)，其同時段的波壓記錄如圖 3-4 所示。由於 CH1 所安裝位置高程較低約為 +1.6 m，故較易受波浪作用，因此波壓值較大且個數最多。CH2 及 CH3 則處同一高程約為 +3.1m，但不同位置 (CH2 在開孔胸牆處，CH3 則在封口胸牆，即直立壁處)。由 CH2, CH3 的紀錄中可大略看出 CH3 的波壓較 CH2 大，且個數也較多。因此可見開孔式胸牆比直立壁式防波堤有較佳的消滅波力作用。

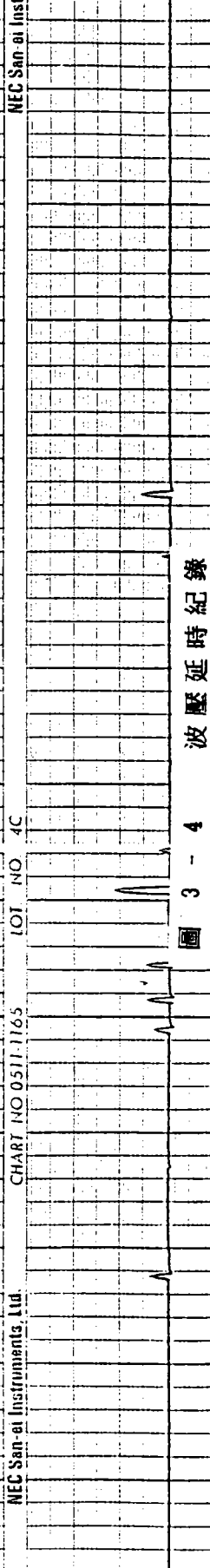
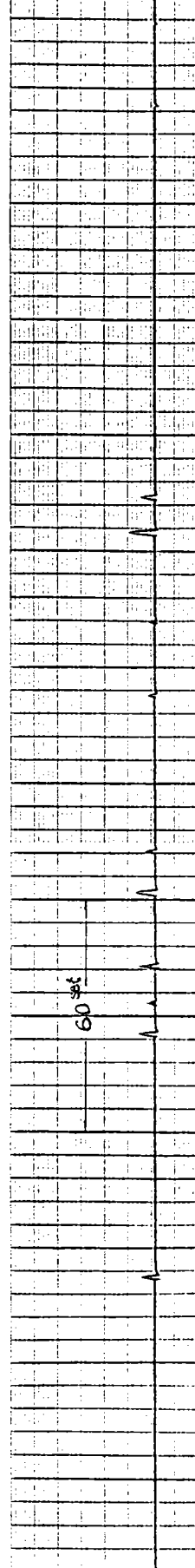
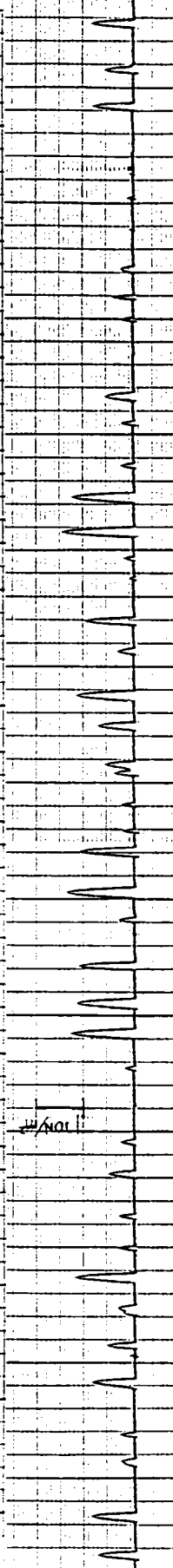
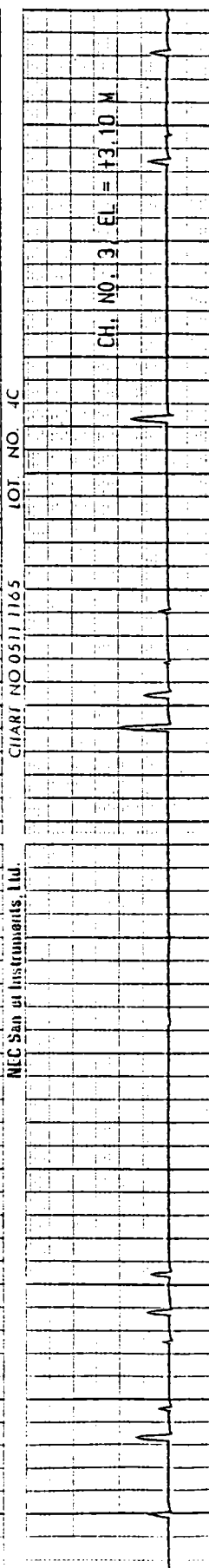
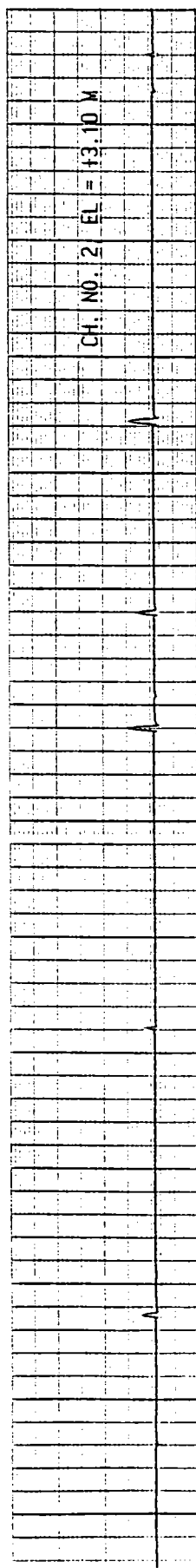
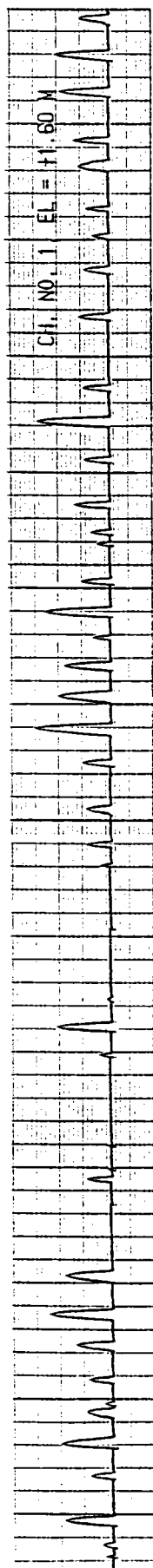


圖 3 - 4 波壓延時紀錄

四、 資料分析

(一)波壓延時特性

部份觀測波壓延時繪如圖 4-1 所示。因波壓計安裝在低潮位上約 1.6 m 及 3.1 m 處，作用於波壓計之機率隨潮位升降而增減。高潮位時，如圖 4-1(a)，潮位約為 +1.60m，此時 CH1 波壓計約在靜水面附近，波壓計感應波壓時間約為 50 %，但因波高不大，在 CH1 上面 1.5 m 處，高程 +3.1m 安裝於開孔胸牆之 CH2，只有極為短暫時間感應波峰時之波壓；位於同樣高度安裝於直立牆之 CH3 波壓計感應波壓時間顯然大於 CH2。圖 4-1(b)－(d) 分別為 2 月 9 日 9，11 及 13 時所測得之波壓延時關係。根據推算所得該段時間之潮位分別為 1.52m，1.41m 及 1.05m，由延時關係圖顯示作用於波壓計之頻率隨潮位降低而減少。2 月 7 日至 11 日，波高大都在 1.8m 至 2.0m 間，觀測十五分鐘波壓計感應次數與潮位關係如圖 4-2。三個頻道迴歸線分別為

$$\begin{aligned}\text{CH1} &: Y = -13.58 + 83.88X \\ \text{CH2} &: Y = -7.682 + 19.13X \\ \text{CH3} &: Y = -15.02 + 38.98X\end{aligned}\quad (4-1)$$

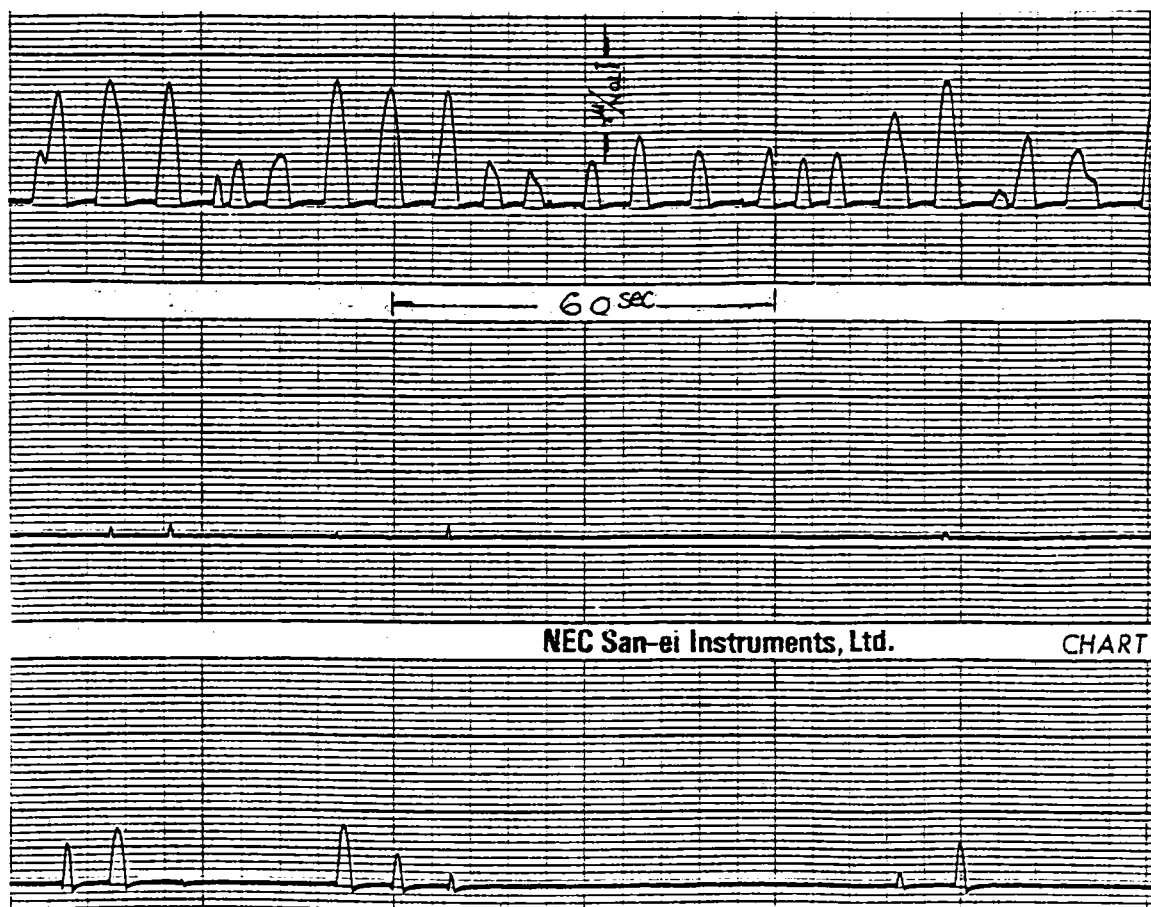


圖 4 - 1(a) 波壓延時與潮位關係

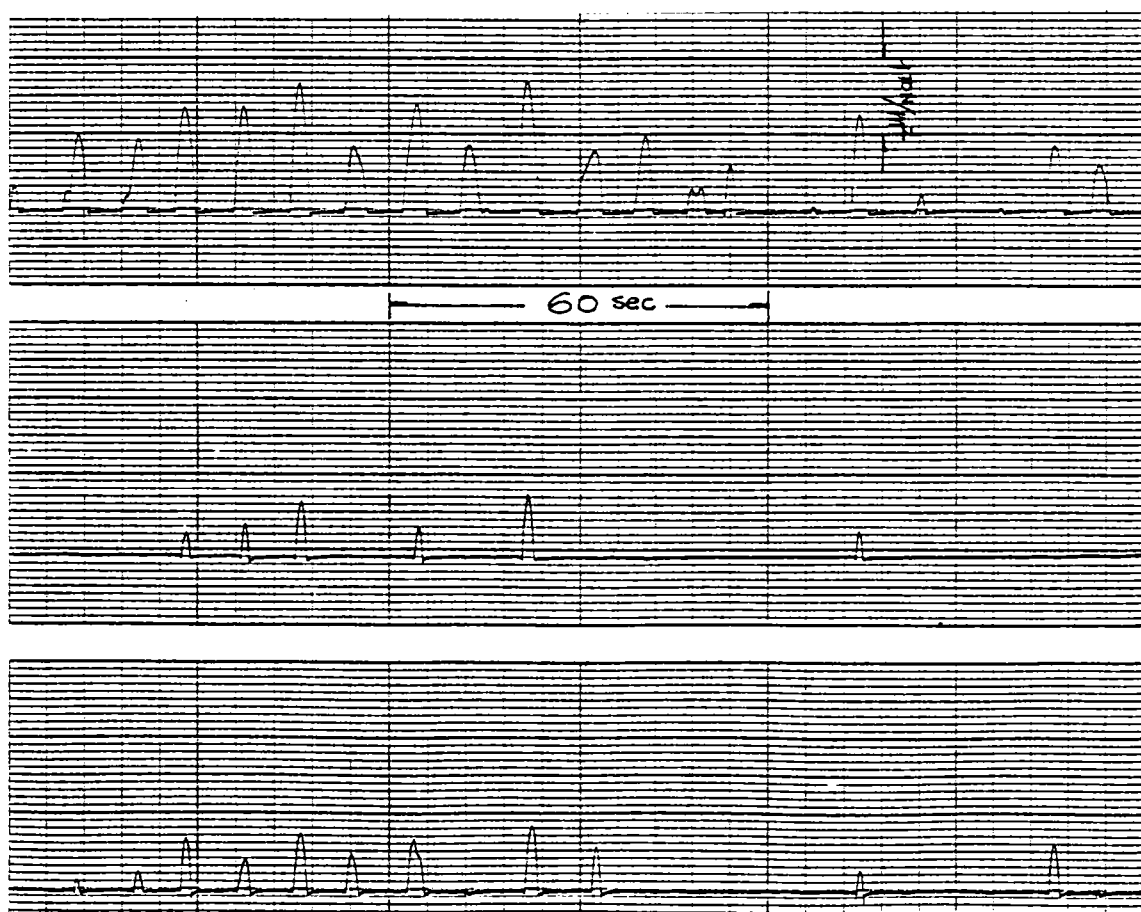


圖 4 - 1(b) 波壓延時與潮位關係

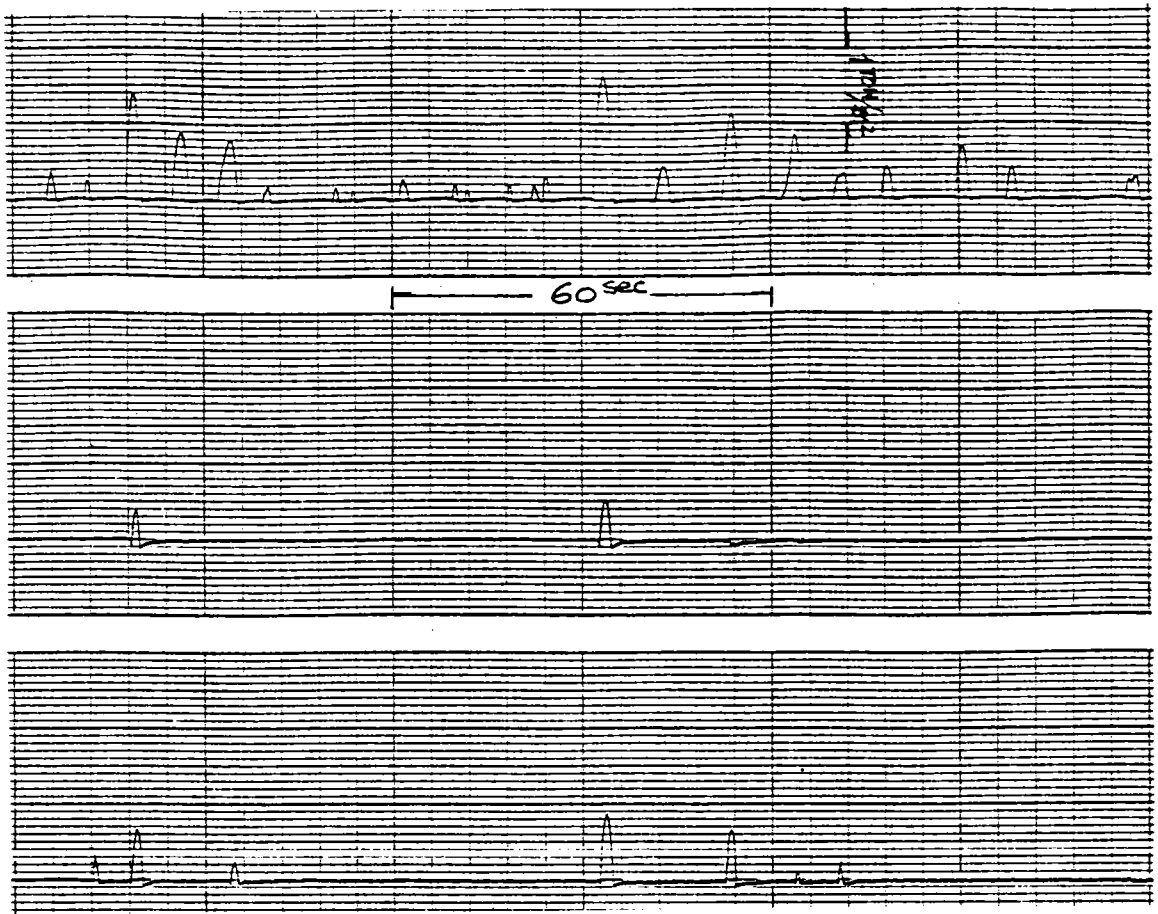


圖 4 - 1 (c) 波壓延時與潮位關係

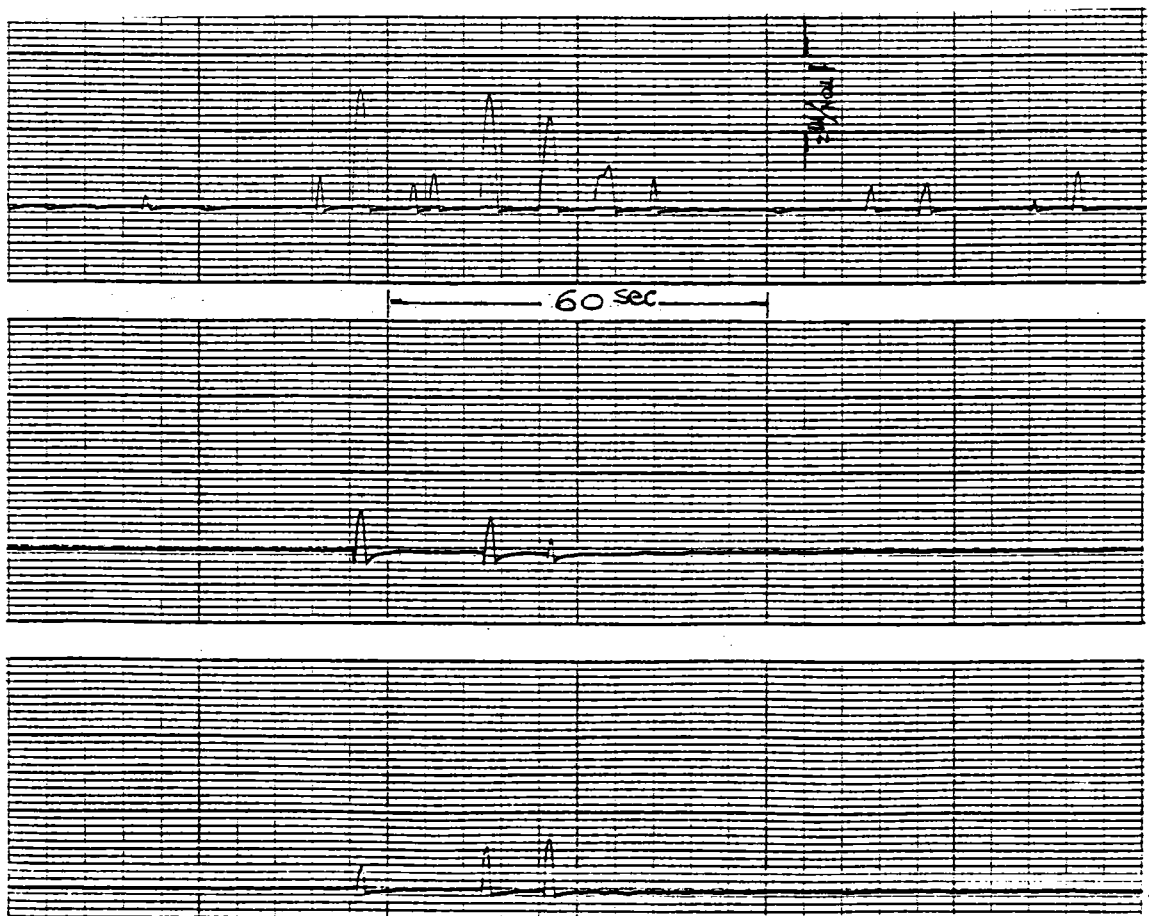


圖 4 - 1 (d) 波壓延時與潮位關係

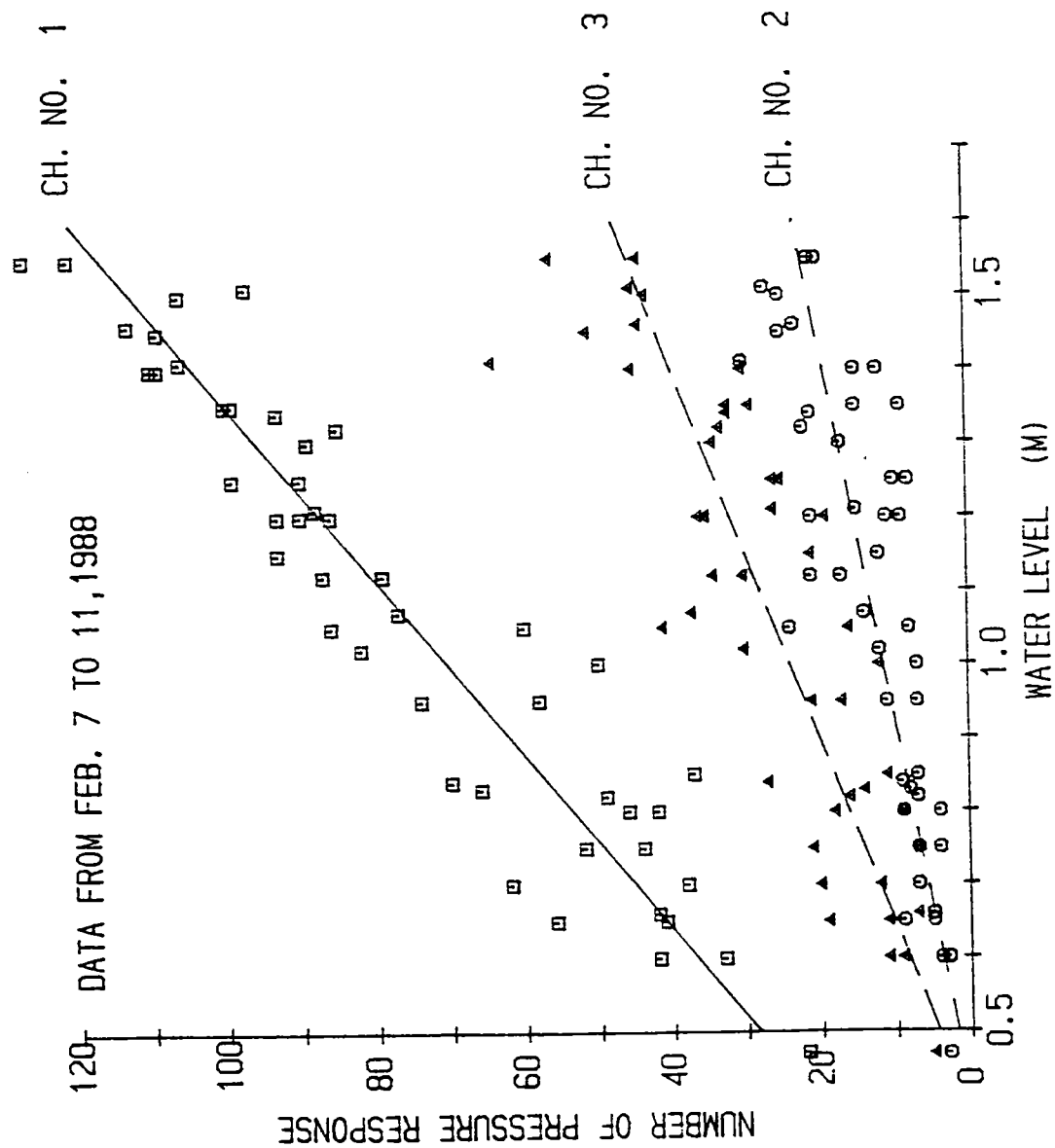


圖 4 - 2 波壓作用次數與潮位關係

上式中 Y 為感應次數， X 為潮位，由圖 4-2 可知，在同一高程觀測期間直立牆波壓感應次數約為開孔胸牆之二倍。

CH1 與 CH2 安裝在同一斷面上，高程相差 1.5m，因此 CH1 較 CH2 先感應波壓，而 CH3 安裝高程與 CH2 相同，但在不同斷面，大部份時間均較 CH1 及 CH2 稍晚感應波壓，僅有少數情況可能受入射波向影響，CH3 較 CH1 先感應波壓。

(二) 對應時間波壓特性

為了解同一波浪作用於開孔胸牆 CH1，CH2 與直立牆 CH3 所造成波壓相互關係，選擇 1 月 23 日至 2 月 11 日觀測資料中三個頻道同時紀錄波壓作相關性分析。圖 4-3 為逐日開孔胸牆 (CH2) 測得波壓 $P(2)$ 與直立牆 (CH3) 波壓 $P(3)$ 之對應關係及 $P(3)/P(2)$ 概率分佈。圖 4-4 為 1 月 23 日至 2 月 11 日同時發生波壓之對應關係及 $P(3)/P(2)$ 之概率分佈，由概率分佈可以顯示 $P(3)/P(2)$ 小於 1.0 之概率只佔 6.5%，而約有 36% 介於 1 與 1.5 之間，介於 1.0 與 3.0 間之概率達 83% 以上。

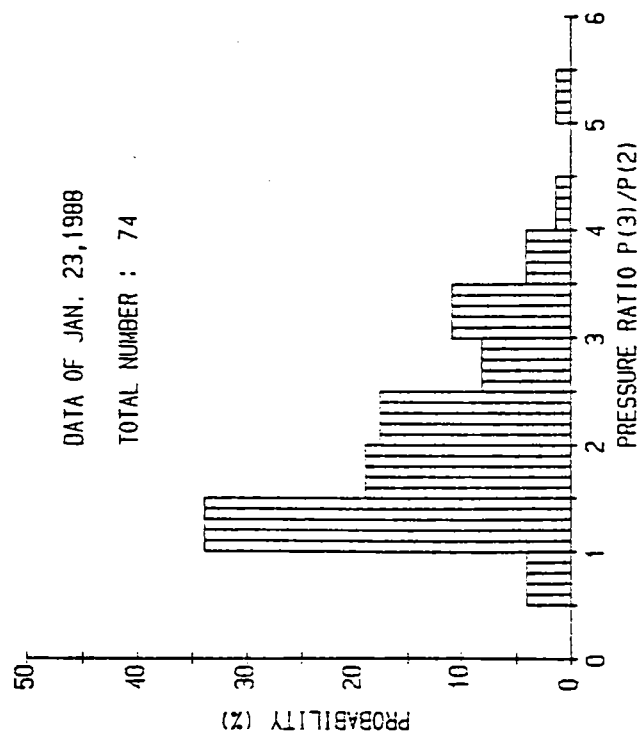
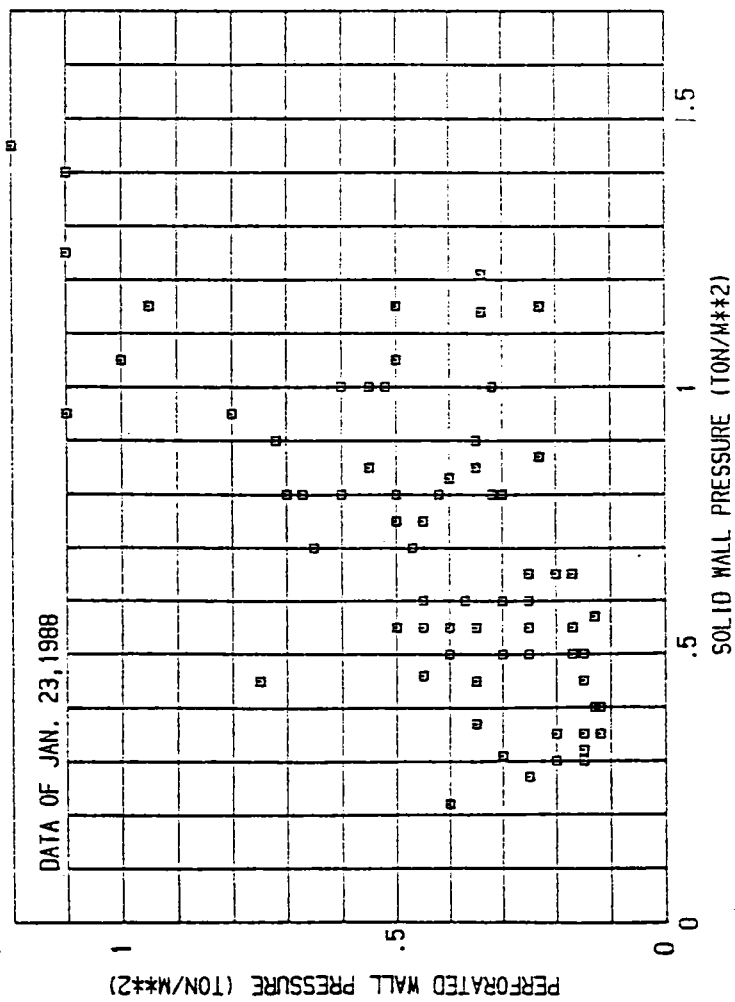


圖 4 - 3 (a) 同波列作用下直立牆波壓與開孔胸牆波壓關係

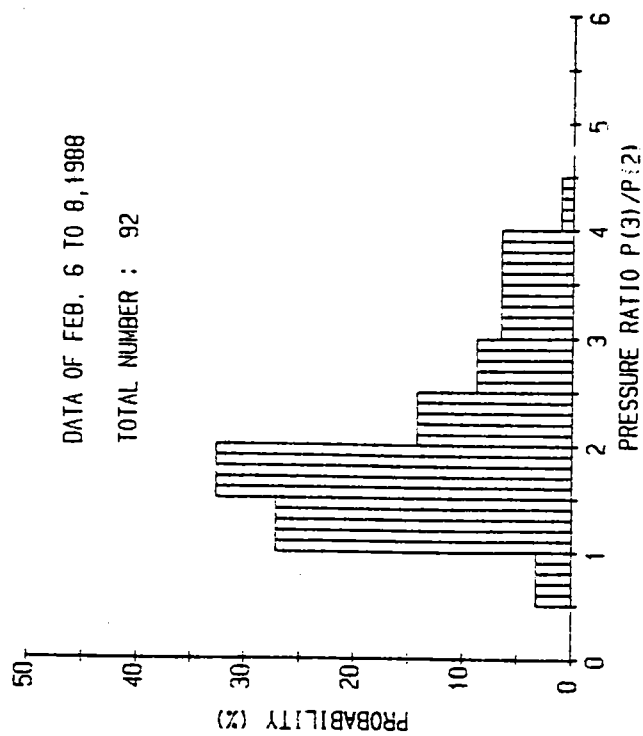
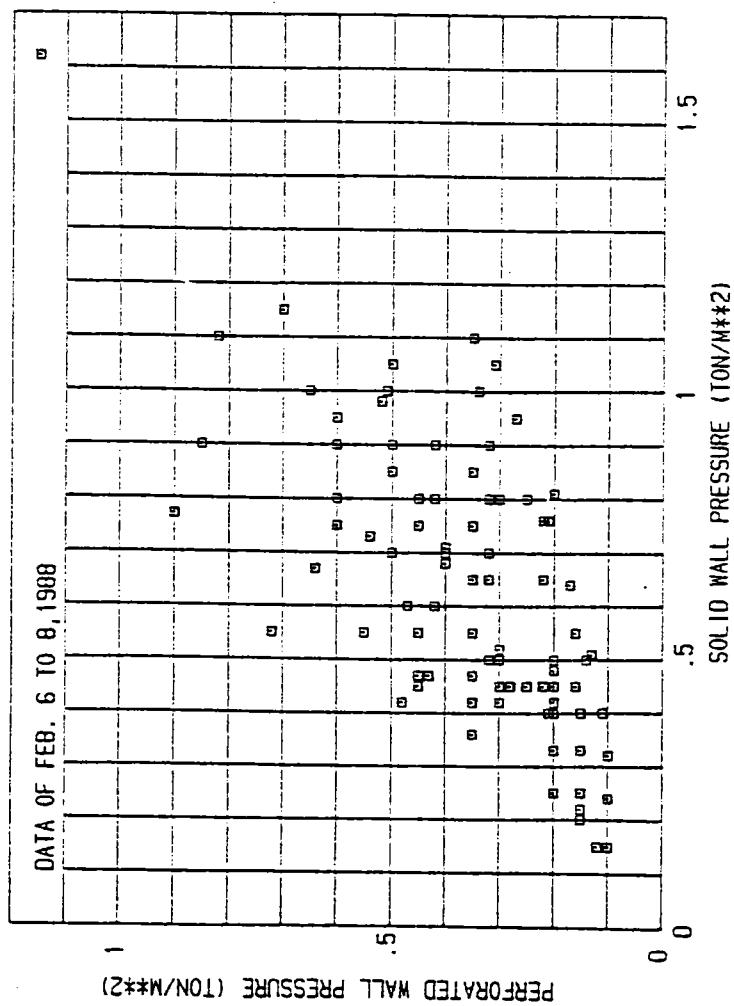


圖 4 - 3(b) 同波列作用下直立牆波壓與開孔胸牆波壓關係

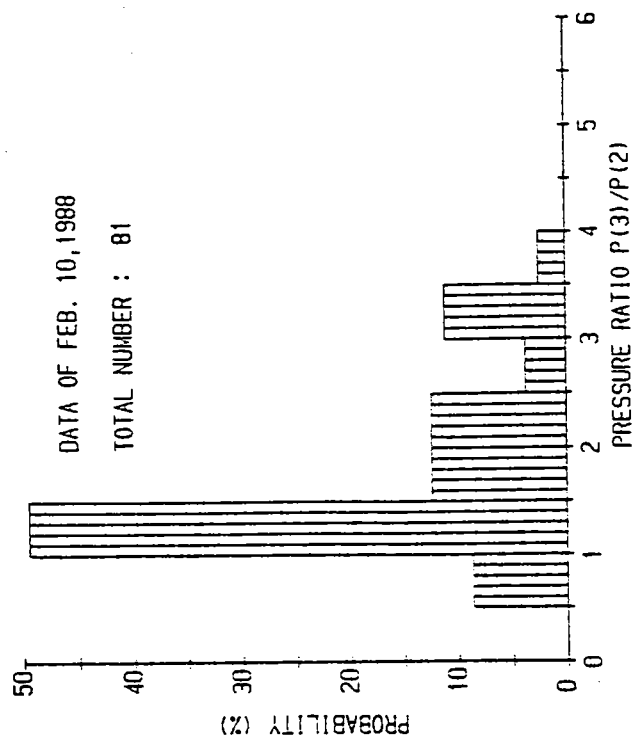
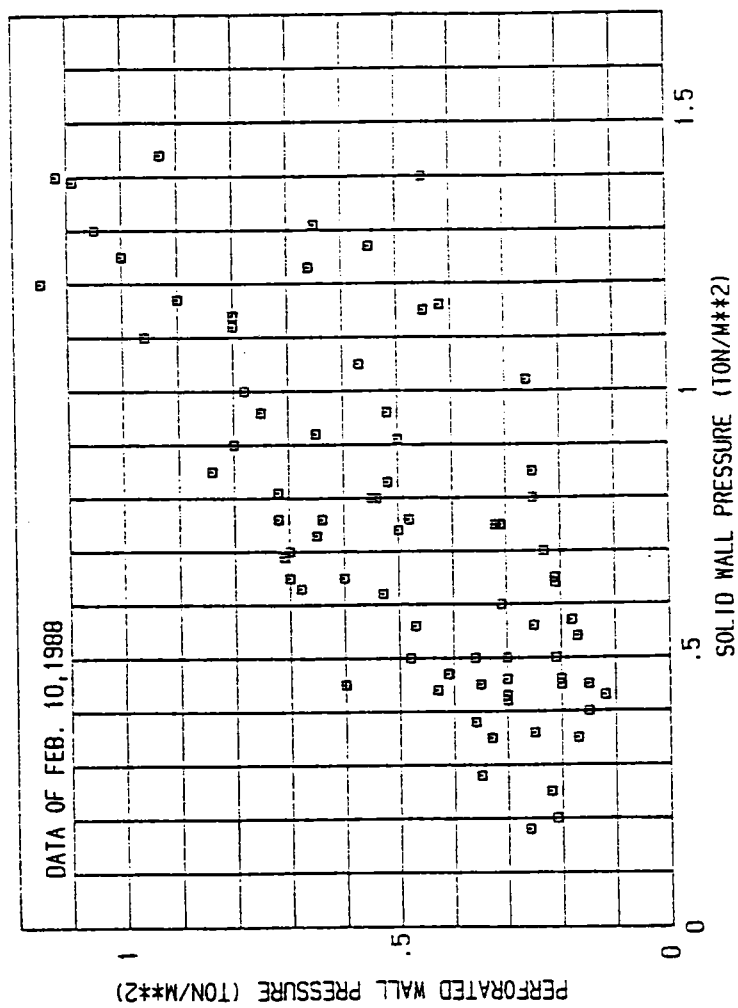


圖 4 - 3(c) 同波列作用下直立牆波壓與開孔胸牆波壓關係

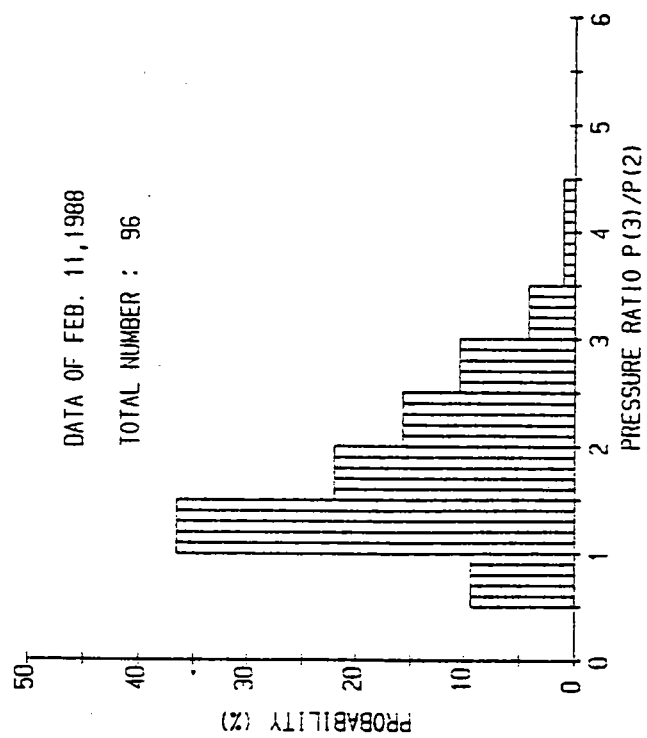
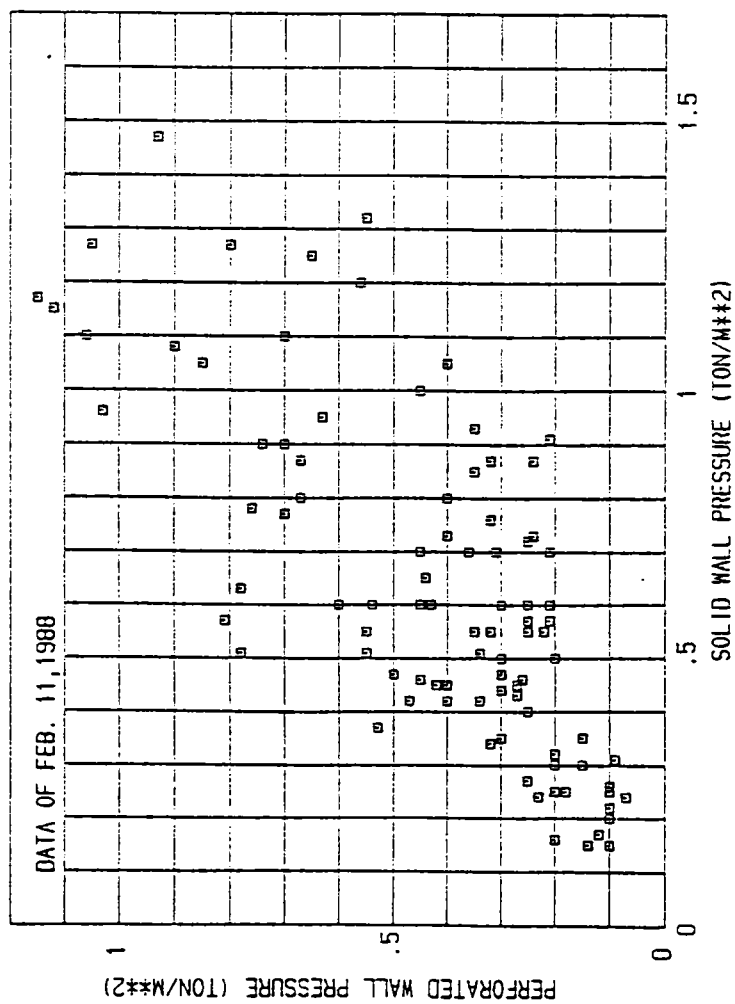


圖 4 - 3(d) 同波列作用下直立牆波壓與開孔胸牆波壓關係

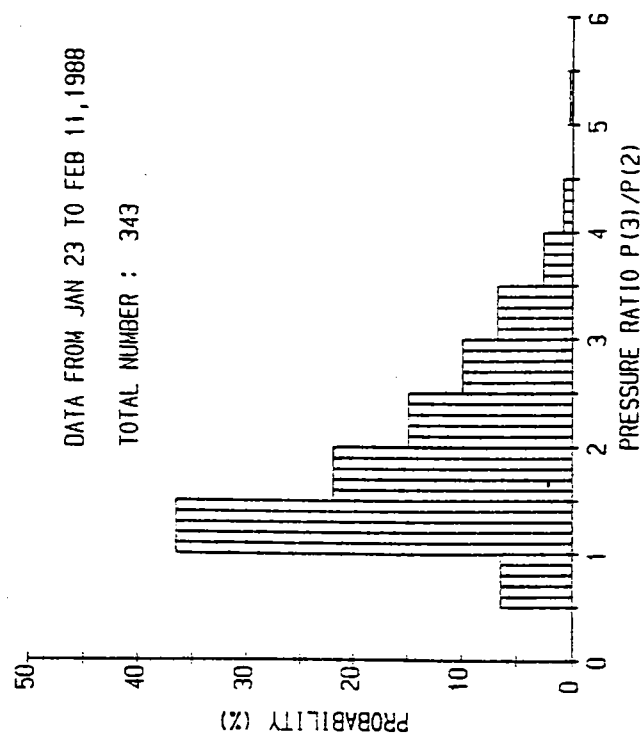
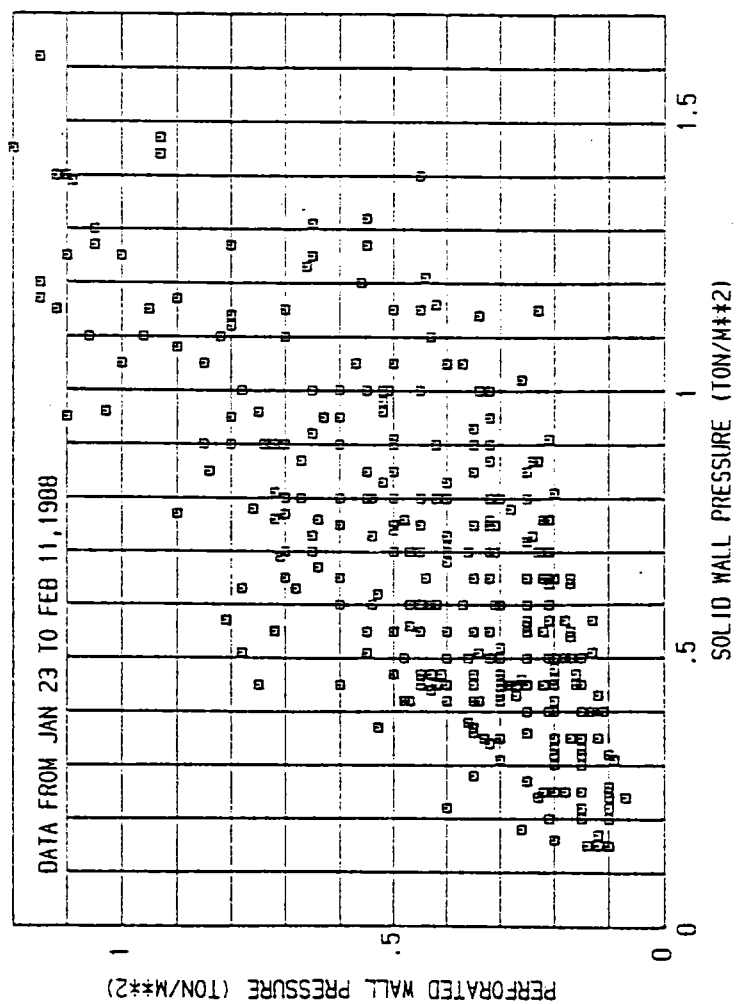


圖 4 - 4 觀測期間受同波列作用時直立牆波壓
與開孔胸牆波壓關係

以開孔胸牆底部直立式沉箱接近水面之波壓觀測點 CH1，所測得波壓 $P(1)$ 為基準， $P(2)/P(1)$ 與 $P(3)/P(1)$ 隨 $P(1)$ 變化情形分別繪如圖 4-5 及 4-6。圖 4-5 顯示， $P(2)/P(1)$ 隨 $P(1)$ 增大而增加，因兩個波壓計安裝於同一斷面上，資料分佈相當集中。二次迴歸曲線為

$$P(2)/P(1) = -0.0249 + 0.136P(1) + 0.0494P(1) \quad (4-2)$$

$P(2)/P(1)$ 之值隨 $P(1)$ 增加，但當 $P(1) > P(2)$ 時， $P(2)/P(1)$ 大都介於 0.5 與 0.6 之間，因較大波壓資料點太少，還需觀測更多的資料方能了解 $P(2)/P(1)$ 是否有維持定值之趨勢。

圖 4-6 顯示 CH1 與 CH3 不在同一斷面上，作用於兩點之時間、波浪相位、波形均不同，因此 $P(3)/P(1)$ 與 $P(1)$ 之資料點分佈極為散亂，但 $P(3)/P(1)$ 仍隨 $P(1)$ 增加而略為增大。二次迴歸曲線為

$$P(3)/P(1) = 0.303 + 0.0695P(1) + 0.0252P(1) \quad (4-3)$$

開孔胸牆波壓 $P(2)$ 與基準點波壓 $P(1)$ 之對應關係如圖 4-7，直立牆波壓 $P(3)$ 與 $P(1)$ 對應關係如圖 4-8。迴歸曲線分別為

$$P(2) = -0.313 + 0.254P(1) + 0.173P(1) \quad (4-4)$$

$$P(3) = -0.0107 + 0.255P(1) + 0.446P(1) \quad (4-5)$$

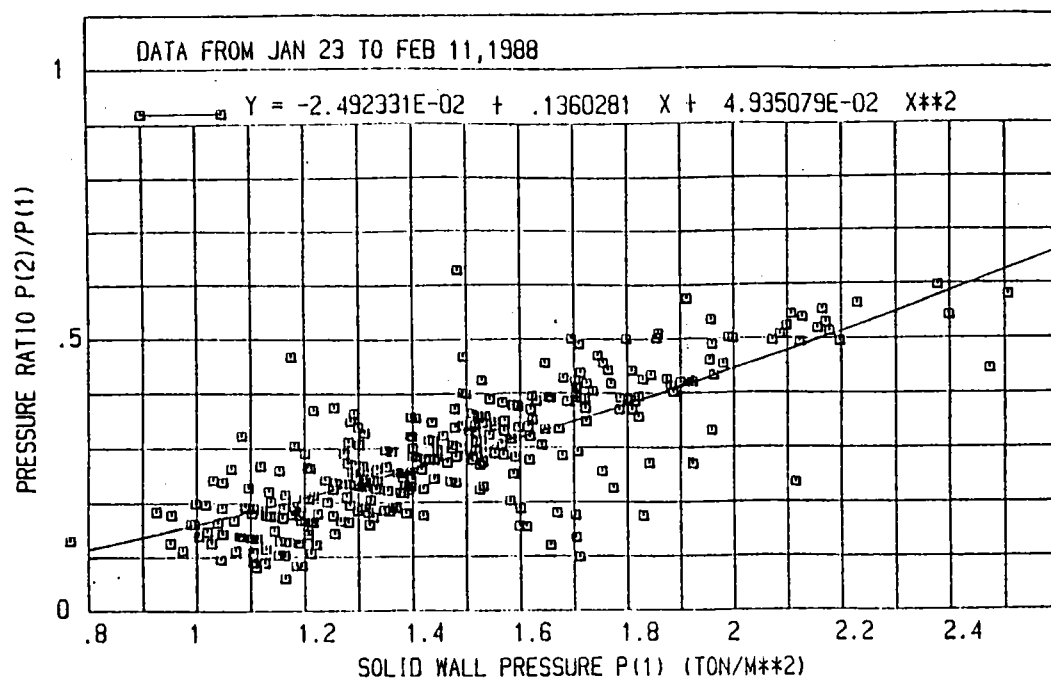


圖 4 - 5 $P(2) / P(1)$ 與 $P(1)$ 之相對應關係

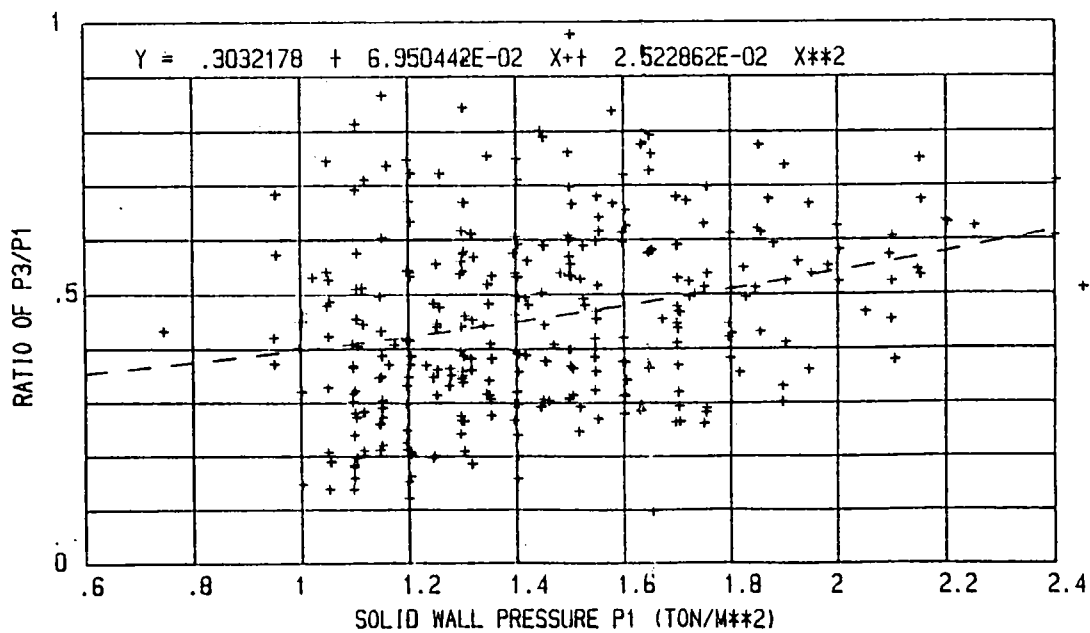


圖 4 - 6 $P(3) / P(1)$ 與 $P(1)$ 之相對應關係

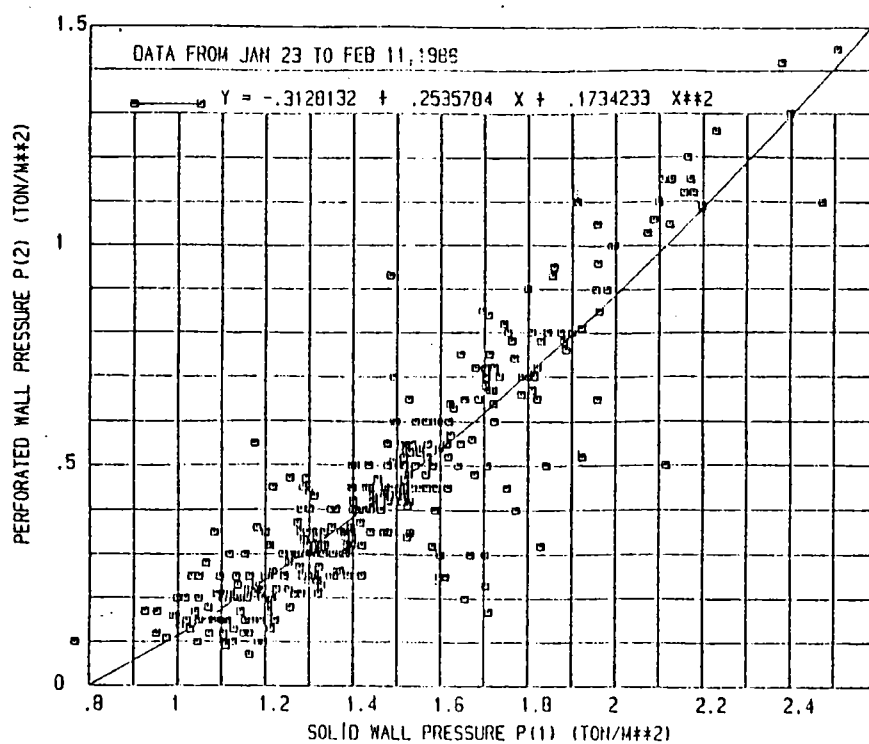


圖 4 - 7 開孔胸牆波壓 P(2) 與 P(1) 之相對應關係

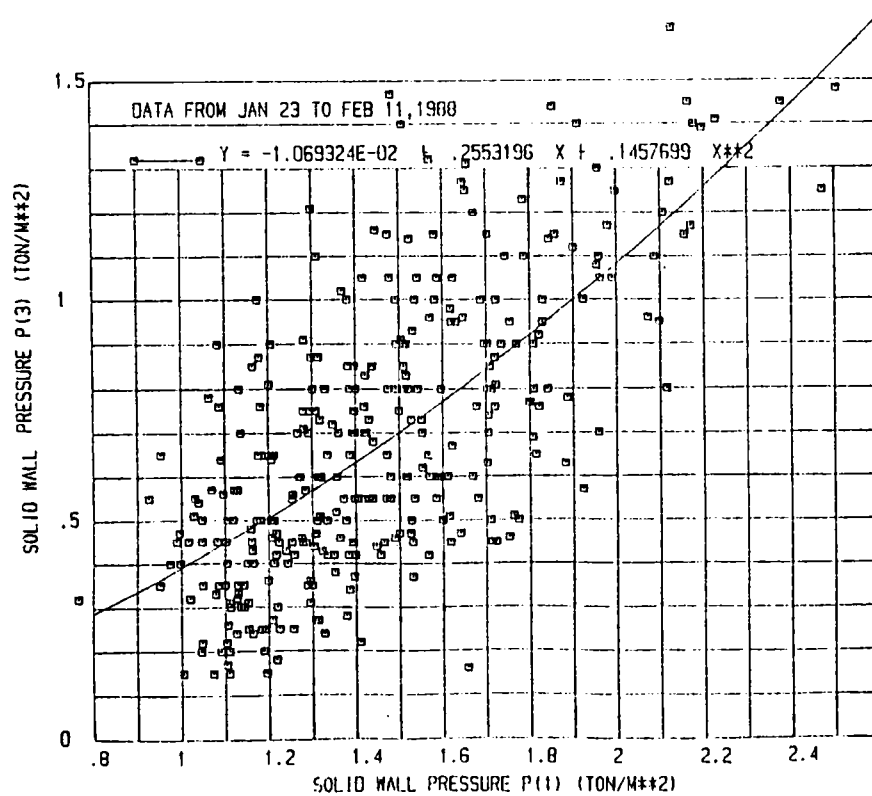


圖 4 - 8 直立牆波壓 P(3) 與 P(1) 之相對應關係

直立牆波壓 $P(3)$ 較開孔胸牆波壓 $P(2)$ 為大，兩者隨 $P(1)$ 增加率約略相同。直立牆波壓分佈範圍極大，除 CH3 與 CH1 不在同一斷面外，顯示直立壁波壓受入射波特性，如波浪尖度，波形及作用時相位等影響較開孔胸牆為大。

(三)相同時間波壓統計特性

二小時紀錄波壓 15 分鐘，三個觀測頻道所測得波壓採用波浪統計方法，分別選取最大波壓， P_{max} ，最大三分之一平均波壓 P_s （或 $P_{1/3}$ ）及平均波壓 P_{ave} 。圖 4-9 為相同時間，CH2，CH3與 CH1 所測得平均波壓對應關係；圖 4-10 則為三個頻道最大三分之一平均波壓對應關係。無論平均波壓或最大三分之一平均波壓，資料點分佈稍為相當散亂，但迴歸曲線卻有一致之趨勢，直立牆波壓較開孔胸牆波壓偏大。

波壓計如果安裝在平均水位附近，所測得波壓數應約略與同一時間所測得波數相同。本次波壓觀測波壓計分別安裝於高程 +1.6m 及 +3.1 m，因此各頻道受波浪作用感應波壓次數隨潮汐漲落而改變。如圖 4-2。設在高程 +3.1 m 之 CH2 及 CH3 只有在潮位較高在較大波浪波峰作用時，方能感應波壓。N1，N2 及 N3 分別為 15 分鐘內 CH1，CH2 及 CH3 三個頻道所測得之波壓

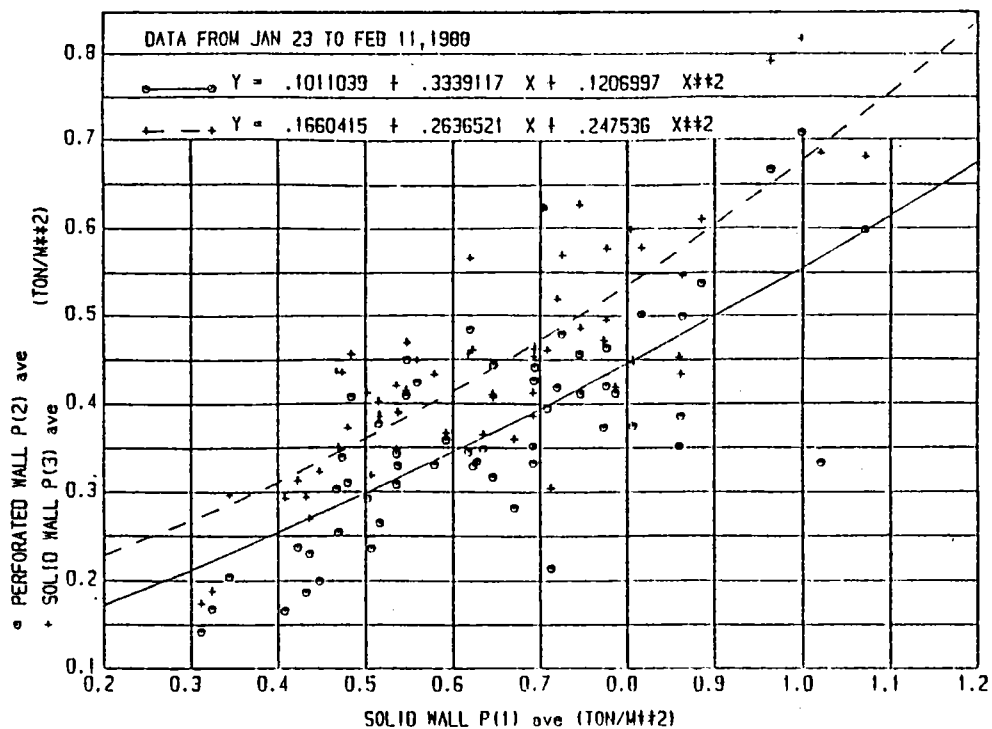


圖 4 - 9 平均波壓 P(2)ave, P(3)ave 與 P(1)ave 之關係

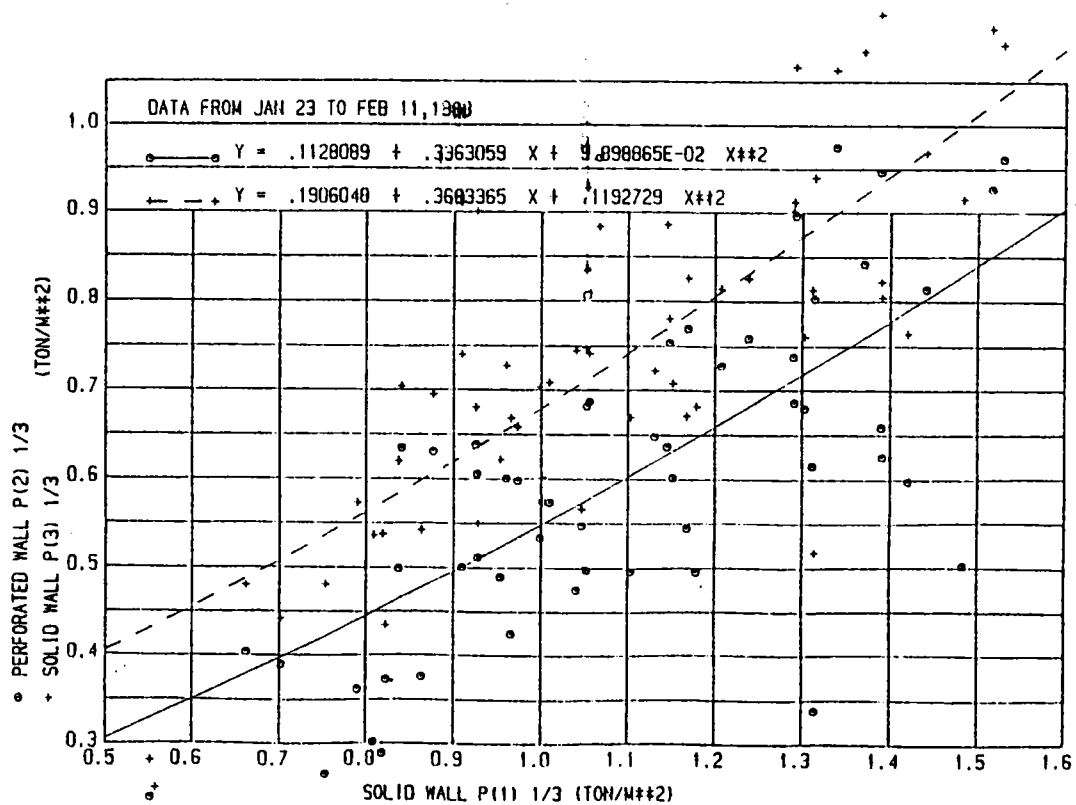


圖 4 - 10 最大三分之一平均波壓 P(2)_{1/3} ,
P(3)_{1/3} 與 P(1)_{1/3} 之關係

數。為了解三個頻道波壓計感應波壓概率與統計波壓關係，以 CH1 波壓計 15 分鐘所測得波壓數 N_1 為基準，CH1 波壓感應次數概率為 N_1/N_1 ，CH2 與 CH3 則分別為 N_2/N_1 及 N_3/N_1 。波壓感應次數概率乘以波壓統計值為相對波壓感應值。可視為測點在觀測時間所受波壓力之指標。圖 4-11 為開孔胸牆 CH2 與直立牆 CH3 對應基準點 CH1 最大三分之一平均波壓感應值關係，(即 $N_2/N_1 \times P(2)_s$ ， $N_3/N_1 \times P(3)_s$ 與 $N_1/N_1 \times P(1)_s$ 之關係)；圖 4-12 為 CH2，CH3 與 CH1 平均波壓感應值關係，(即 $N_2/N_1 \times P(2)_{ave}$ ， $N_3/N_1 \times P(3)_{ave}$ 與 $N_1/N_1 \times P(1)_{ave}$ 之關係)。由圖 4-11 及 4-12 顯示，在觀測資料範圍內，最大三分之一平均波壓與平均波壓關係曲線之趨勢極為一致，二次迴歸曲線方程式如圖上所示。CH2 與 CH3 波壓感應值均隨 CH1 波壓增加而加大，CH3 增加率較 CH2 大。當 $P(1) = 1 \text{ TON/M}$ 時，CH3 最大三分之一平均波壓與平均波壓感應值迴歸曲線斜率分別為 0.275 及 0.286；CH2 則分別為 0.138 及 0.145。CH3 增加率幾為 CH2 之兩倍。在觀測資料範圍內，CH3 波壓感應值均超過 CH2 之兩倍以上。

開孔胸牆與直立牆在相同紀錄時間平均波壓，最大三分之一平均波壓與最大波壓對應關係如圖 4-13。圖中顯示，平均波壓資料點分佈最集中，最大三分之一平

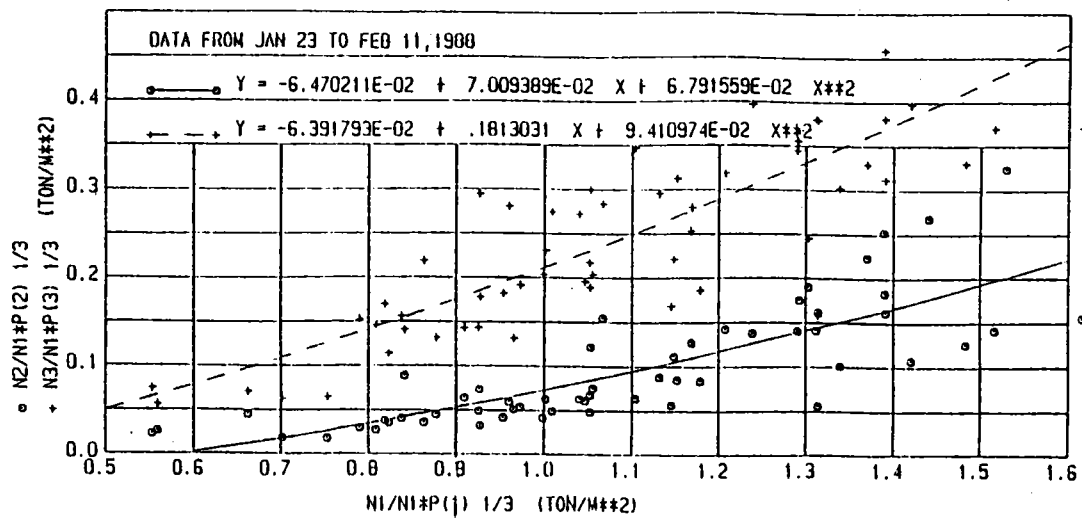


圖 4 - 11 最大三分之一平均波壓感應值關係

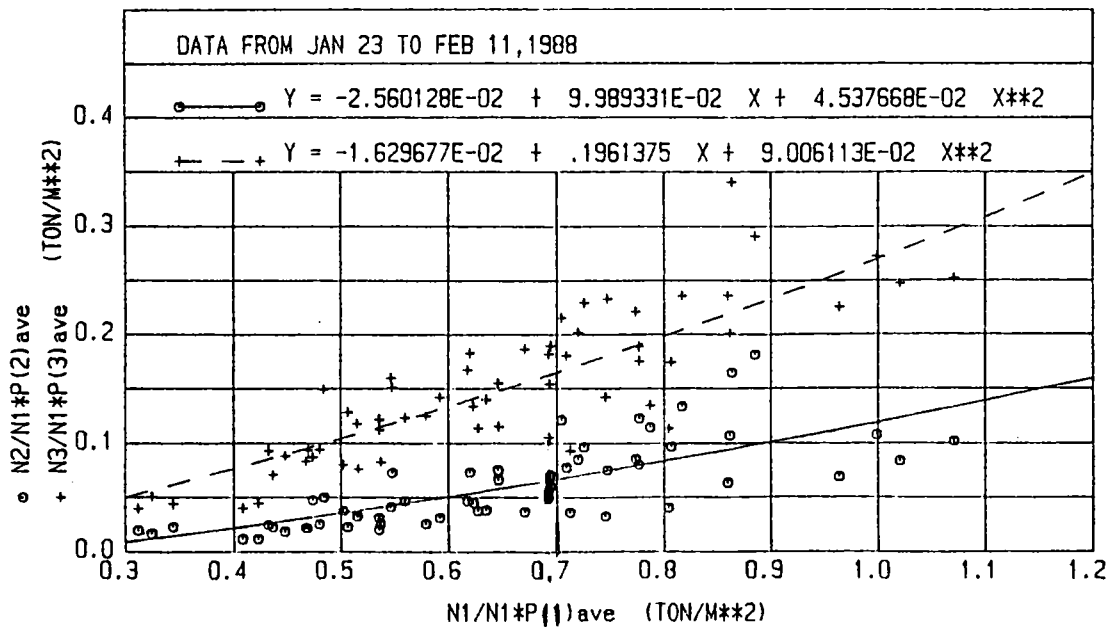


圖 4 - 12 平均波壓感應值關係

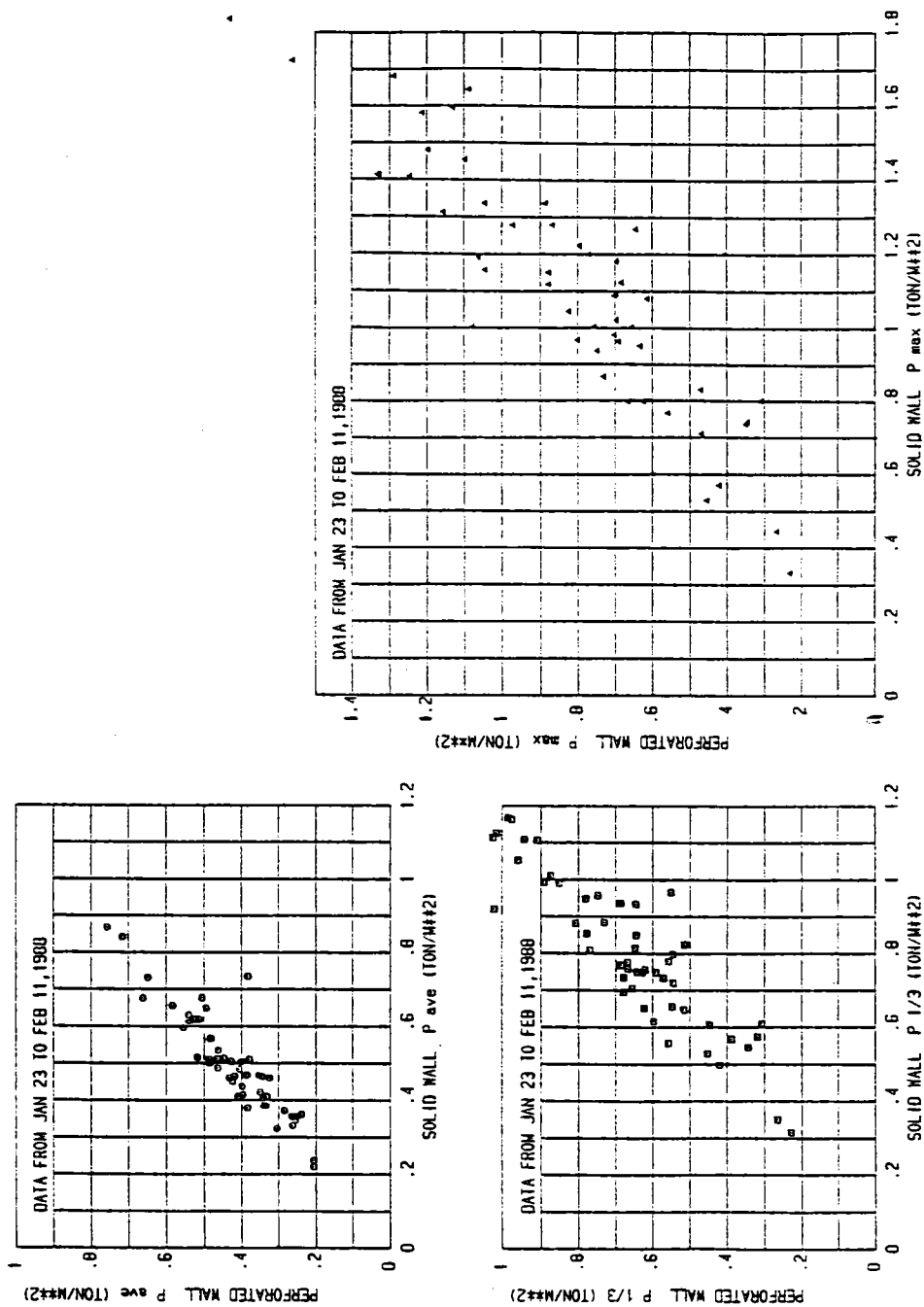


圖 4 - 13 直立牆與開孔胸牆統計波壓關係

均波壓次之，最大波壓則較為散亂。直立牆與開孔胸牆統計波壓比值與發生概率關係如圖 4-14 所示。平均波壓比值介於 1.0 與 1.5 之間發生概率高達 90%；最大三分之一平均波壓比值在 1.0 與 1.5 之間亦達 83%，最大波壓比值分佈較廣，最常發生之比值為 1.25 與 1.5 之間。因此，如果防波堤設計採用最大波壓，開孔胸牆最少可以減低 25% 之設計波壓。若再考慮開孔胸牆受力面積，則斷面總受力應可獲得更顯著的改善。至於消波槽後壁波壓力，因尖峰受力時間與開孔胸牆錯開，且與前壁相平衡，故不致產生太大之正向作用力。

四波高與波壓關係特性

現場波浪觀測自元月 22 日波高計安裝完成後開始，每隔二小時紀錄 10 分鐘，預定實施一個月，但波高計收回，進行資料處理分析時發現紀錄磁帶後段受潮，資料品質不佳，僅有元月 22 日至 29 日八天資料較為完整。波壓觀測自元月 20 日至 2 月 14 日止，但因大部份時間海上波浪不大或潮位太低，CH2 與 CH3 感應波壓數太少，觀測期間只有元月 22，23 日及 2 月 7 日至 11 日三個頻道波壓資料較為完整。因同時間測得較完整之波浪與波壓資料只有元月 22 及 23 兩天。在同一觀測時間內波高及三個頻道波壓超過概率平均值如圖 4-15。波高與波壓超過概率分佈趨勢極為一致。當

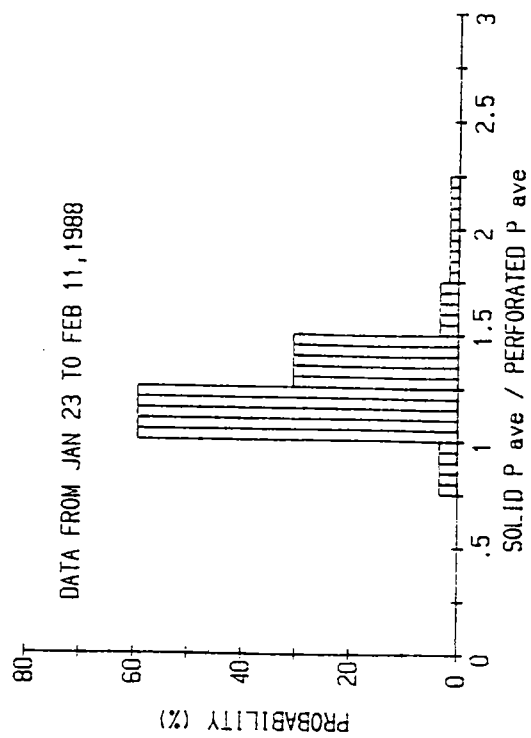
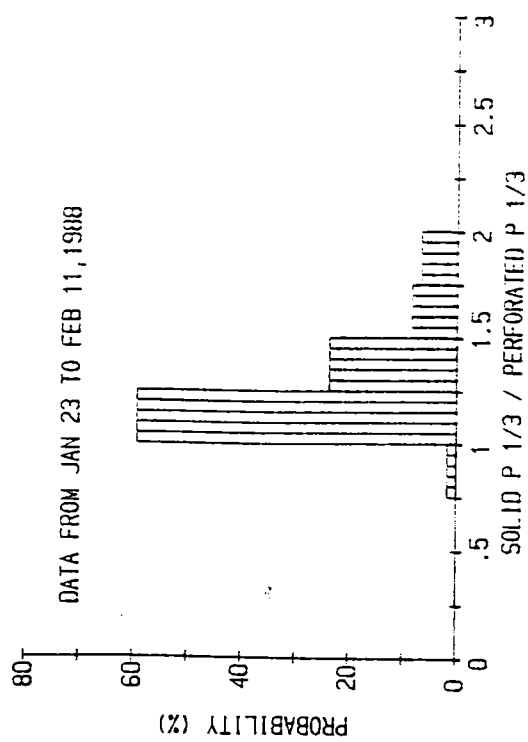
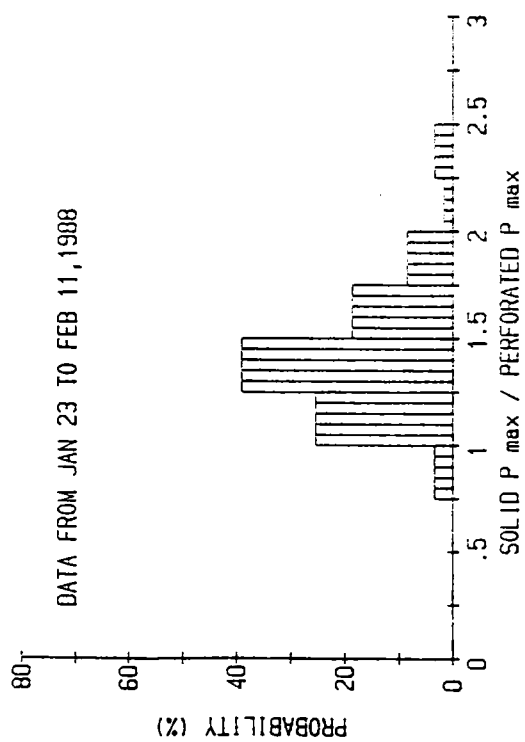


圖 4 - 14 直立牆與開孔胸牆統計波壓比值概率分佈

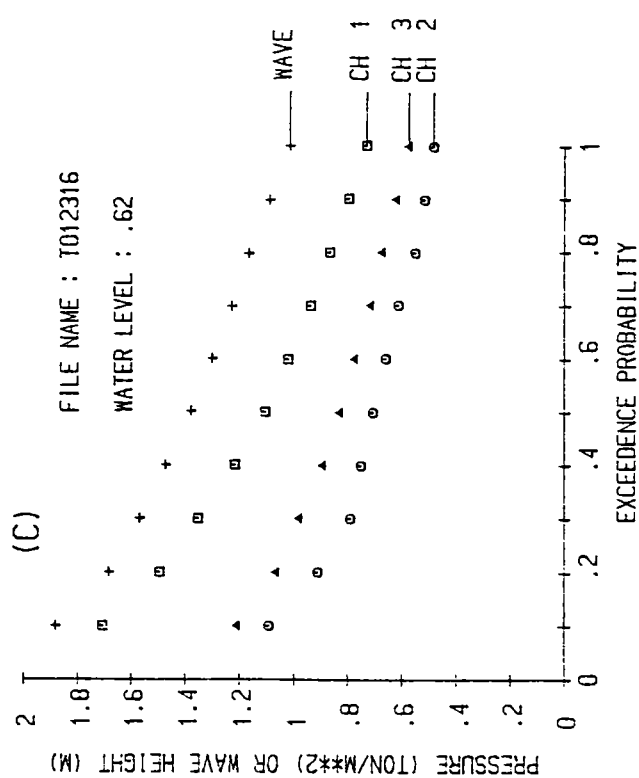
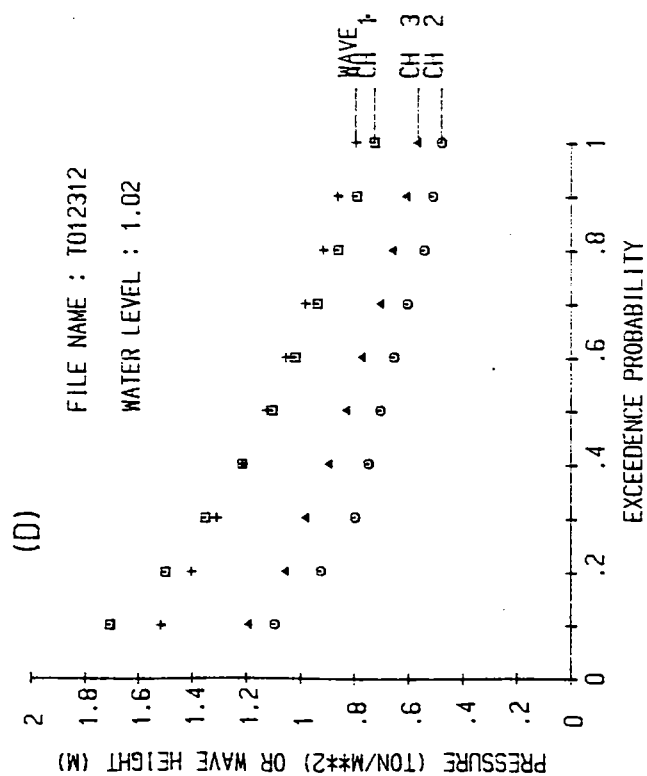
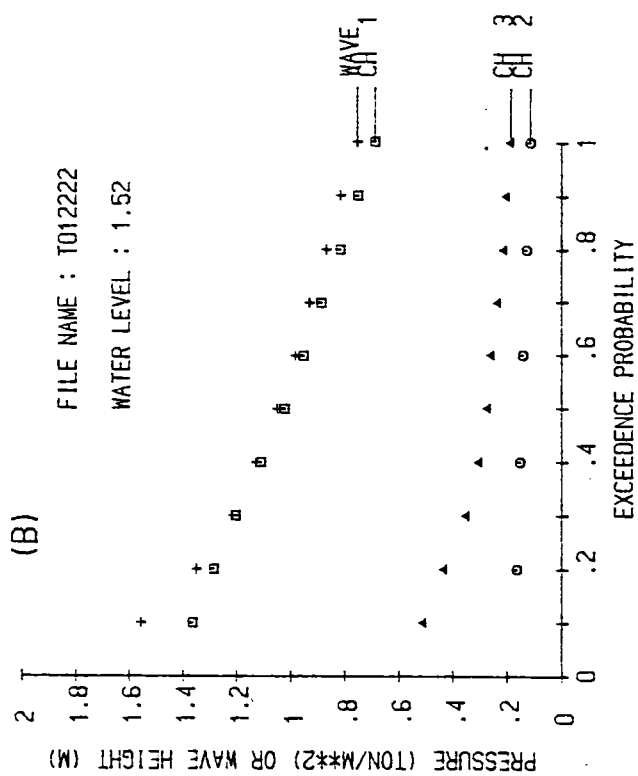
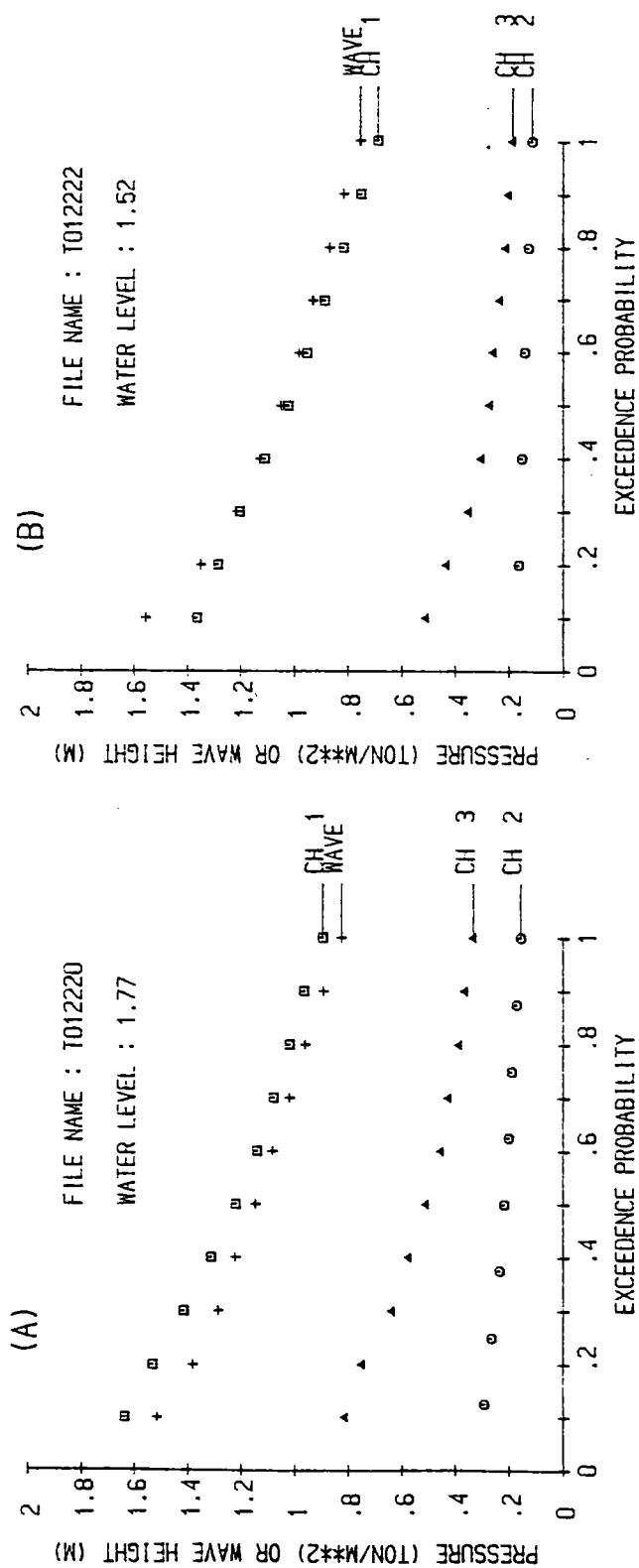


圖 4 - 15(a) 波高、波壓超過率平均值與超過概率關係

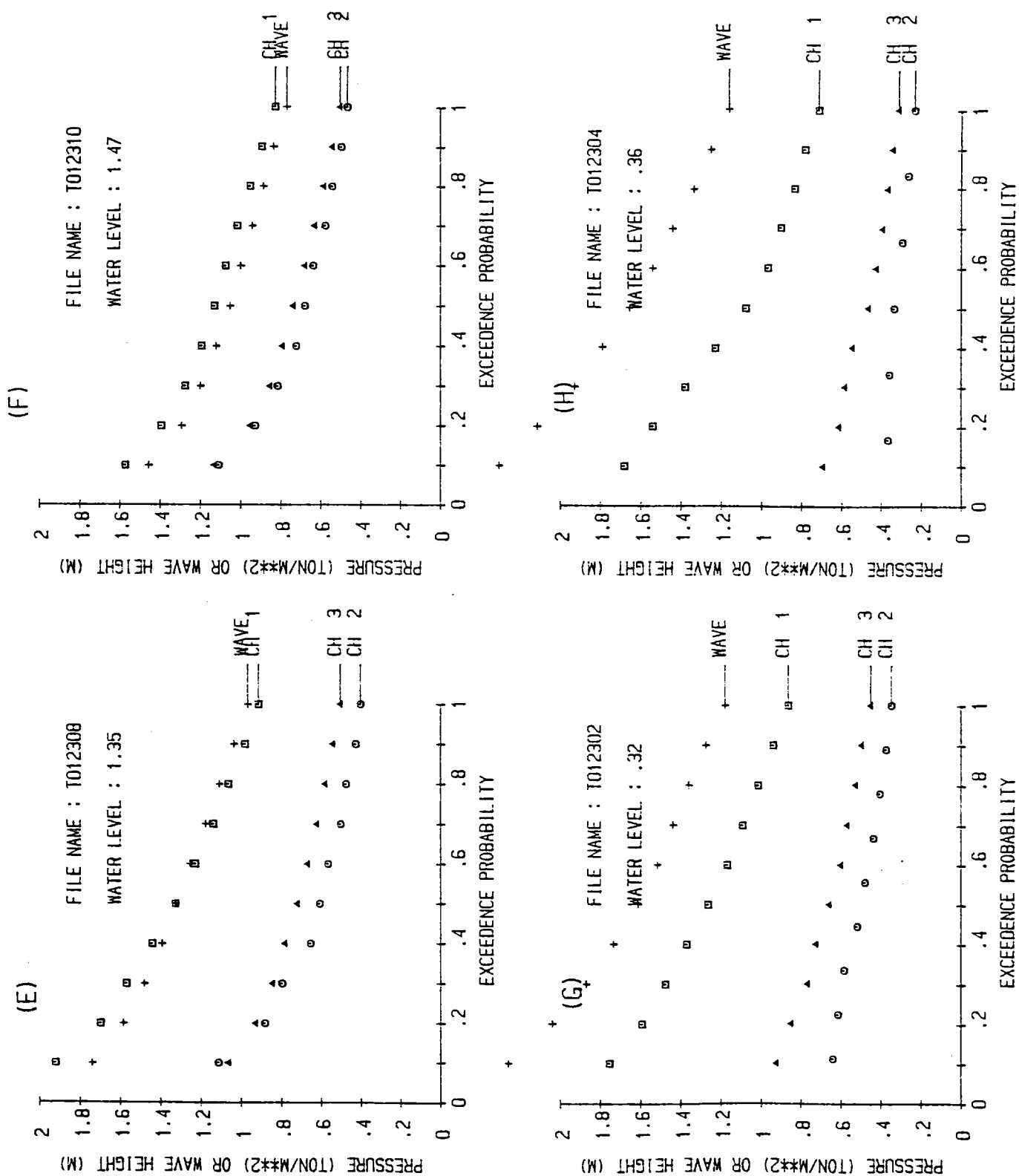


圖 4 - 15(b) 波高、波壓超過率平均值與超過概率關係

低潮位時，如圖 4-15 (C)，(G) 及 (H) 水位為 0.62，0.32 及 0.36 m，因水位遠低於 CH1 波壓計安裝高程 +1.6m，波高較 CH1 波壓大。在高水位時，如圖 4-15 (A) 水位 1.77m，已超過 CH1 波壓計安裝高程，CH1 波壓大於入射波高。圖 4-15 (B)，(D) 及 (E) 潮位分別為 1.52，1.02 及 1.35m，CH1 波壓與波高相當接近。

當潮位低於 1.6m 時，觀測波壓應小於波高，但圖 4-15 顯示，潮位 1.02，1.35 及 1.52m 波壓均與波高相近，此種現象顯然是較小波浪未能感應波壓，在 15 分鐘內波壓數偏低統計波壓偏大所造成誤差。本次波浪觀測採用 NBA 壓力式波高計，放置水深約為 20m 處，研判受水深減衰影響，觀測波高有偏小之趨勢。比較相同時間本所花蓮港波浪與新港氣象局波浪資料，發現花蓮港波高與新港波高之比值與發生概率如圖 4-16，花蓮港觀測波高與新港觀測波高之比大都介於 0.8 與 1.0 之間。

花蓮港波浪觀測資料不足，因此選擇氣象局台東新港波浪觀測站所測得波浪辦理波高與波壓統計特性分析。新港與花蓮相距不到 200 公里，同位於東部海岸，面對廣闊太平洋，因此研判兩地波浪特性應頗近似。

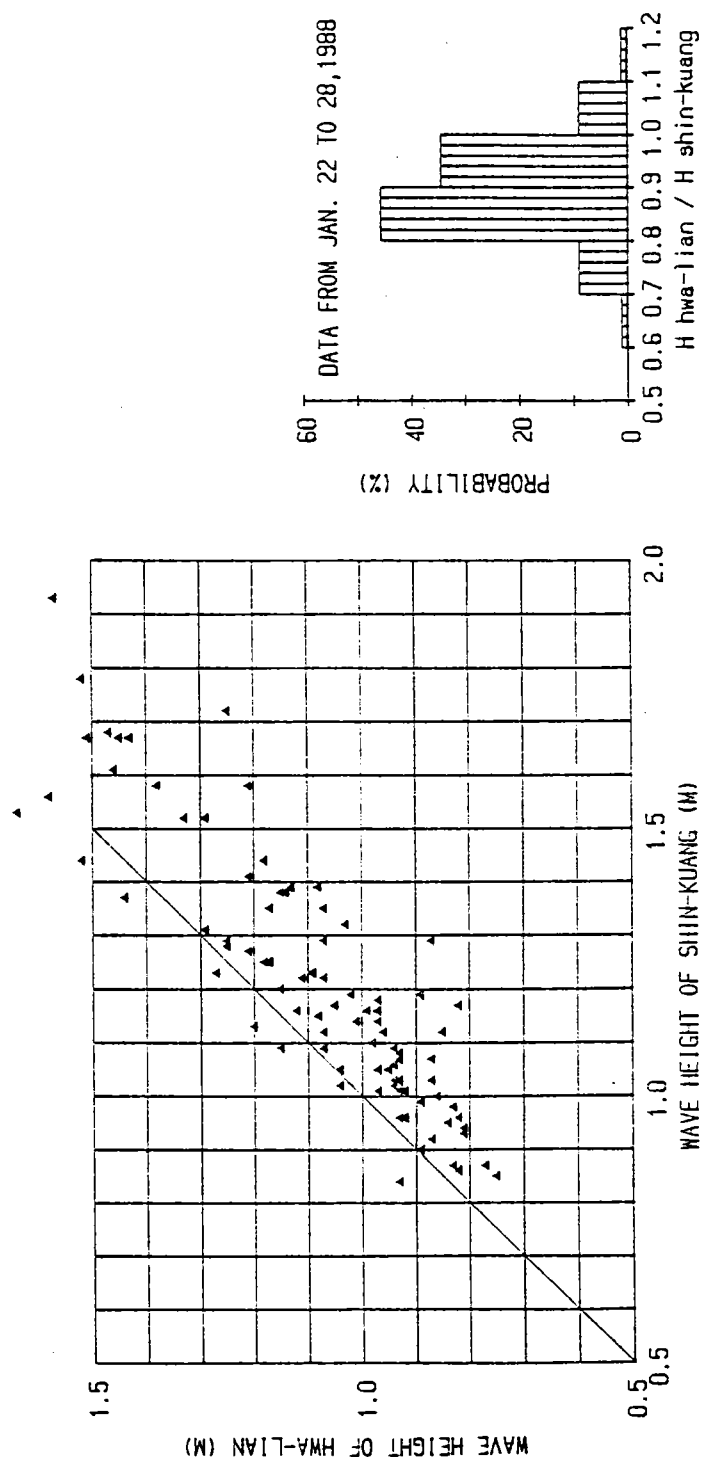


圖 4 - 16 花蓮港與新港波高關係

平均波高 H_{ave} 及三個頻道平均波壓 P_{ave} 超過率平均值與超過概率關係如圖 4-17，最大三分之一平均波高 H_s 及三頻道最大三分之一平均波壓 P_s 超過率平均值與超過概率關係如圖 4-18。最大波高 H_{max} 及最大波壓 P_{max} 超過率平均值與超過概率關係如圖 4-19。

圖 4-17 至 4-19 顯示，波高與三個頻道波壓迴歸曲線近乎平行，由此可知，就統計而言，觀測期間新港波高與花蓮港波壓超過率有極合理之關係存在。在觀測資料範圍內，直立牆平均波壓 $P(3)_{ave}$ 與開孔胸牆平均波壓 $P(2)_{ave}$ 之比值 $P(3)_{ave}/P(2)_{ave}$ 介於 1.18 與 1.20 間；直立牆 $P(3)_s$ 與開孔胸牆 $P(2)_s$ 之比值 $P(3)_s/P(2)_s$ 在 1.15 與 1.23 間；最大波壓比值 $P(3)_{max}/P(2)_{max}$ 則在 1.19 與 1.35 之間。由此可知不論何種超過概率，直立牆波壓均較開孔胸牆大約 20%。

2 月 7 日至 11 日台東新港實測示性波高大部份介於 1.8m 與 2.1m 之間。CH1 波壓無因次參數 $P_{ave}/w H_{ave}$ ， $P_s/w H_s$ ， $P_{max}/w H_{max}$ 與潮位關係如圖 4-20。線性迴歸線方程式分別為

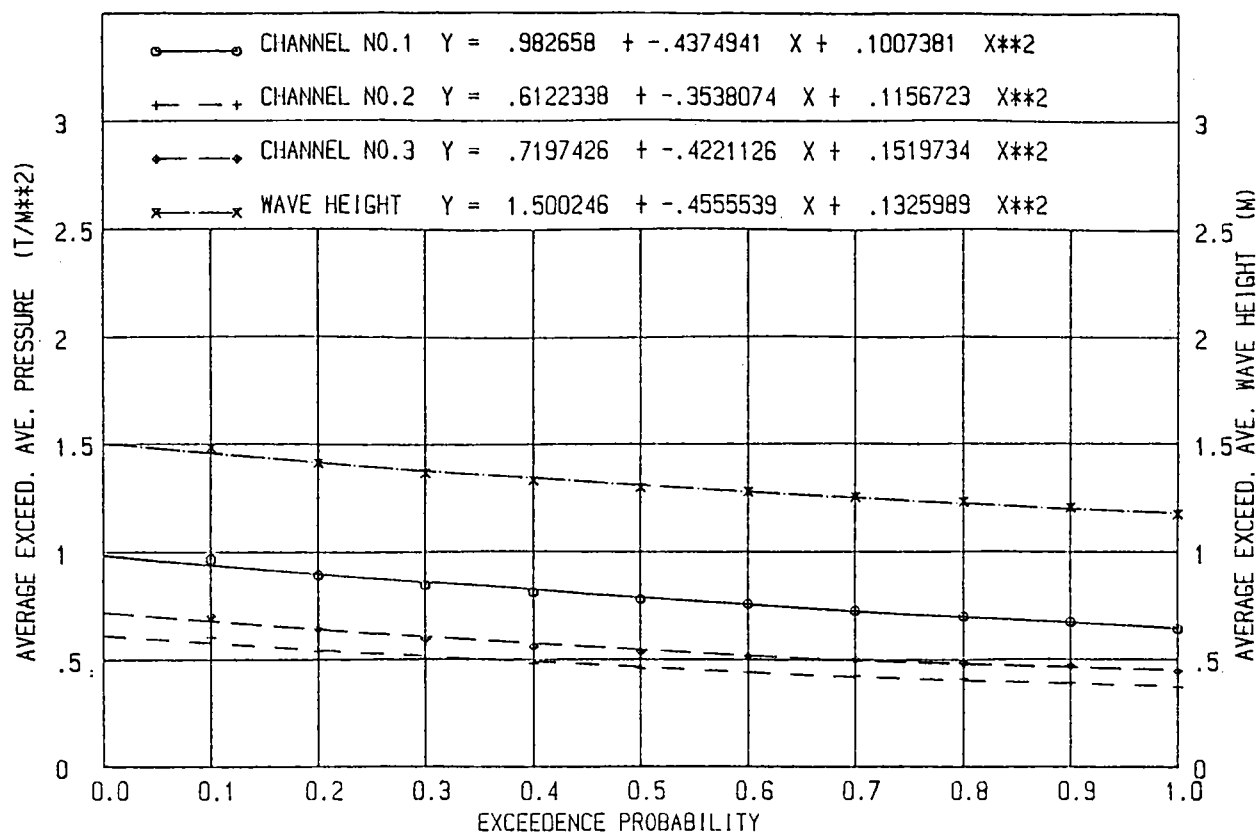


圖 4 - 17 平均波高及波壓與超過概率關係

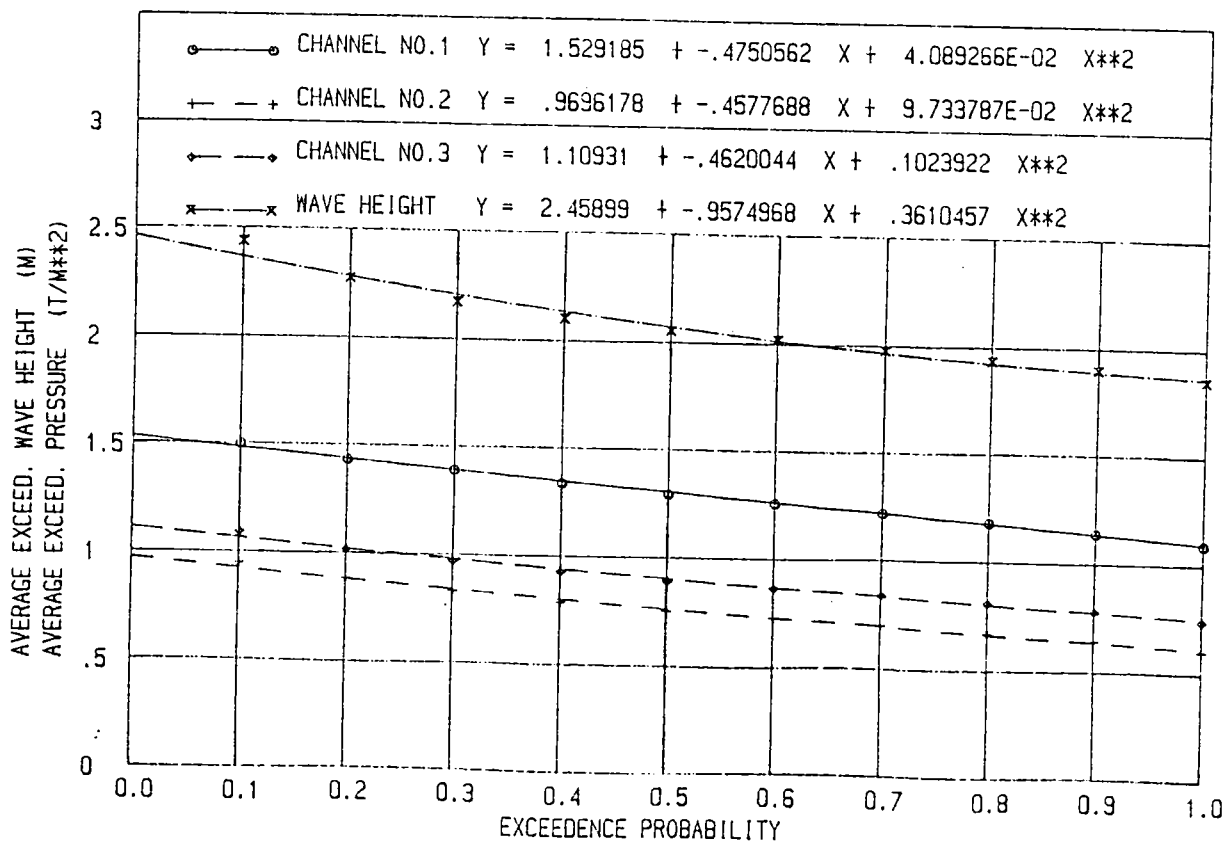


圖 4 - 18 最大三分之一平均波高及波壓與超過概率關係

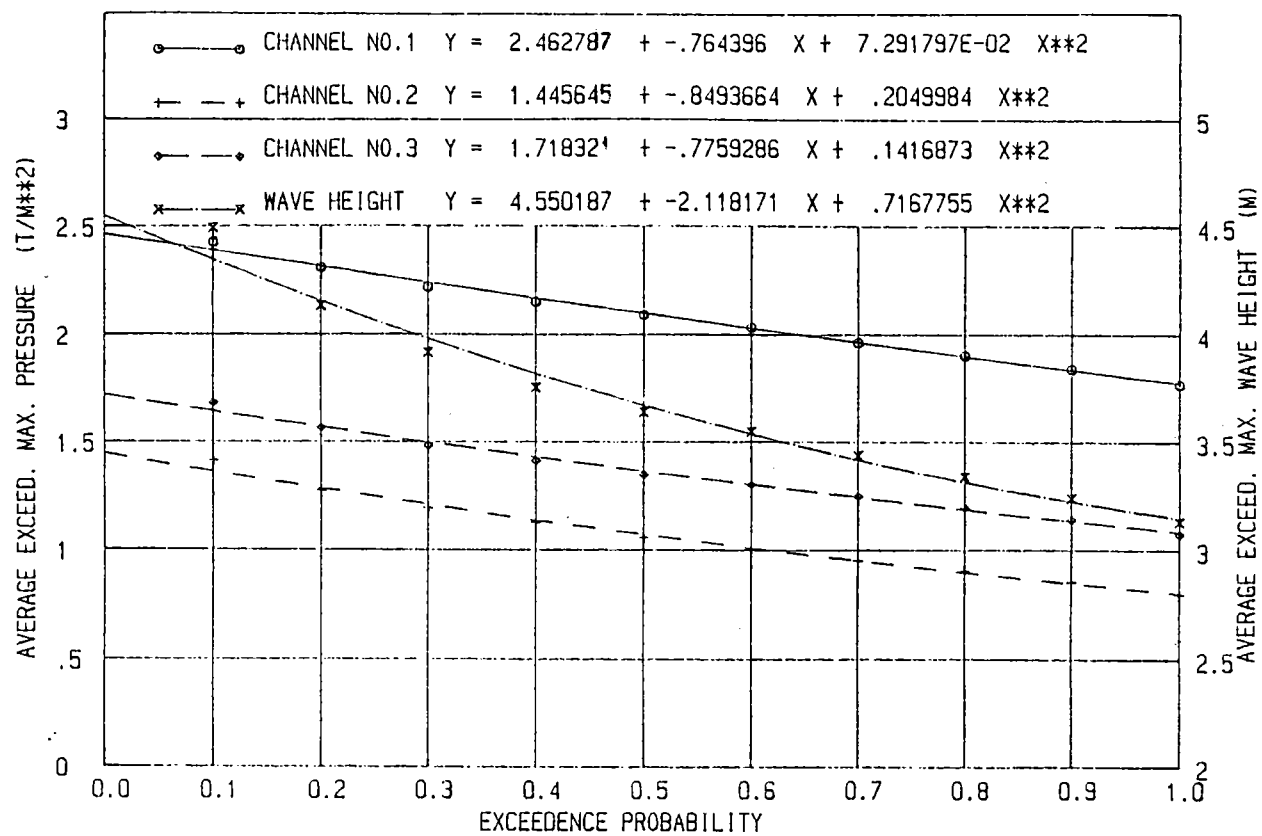
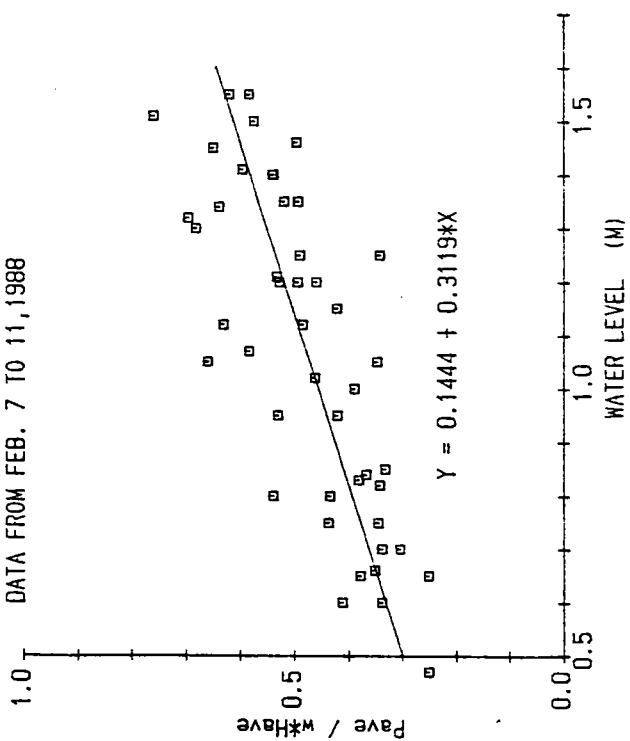
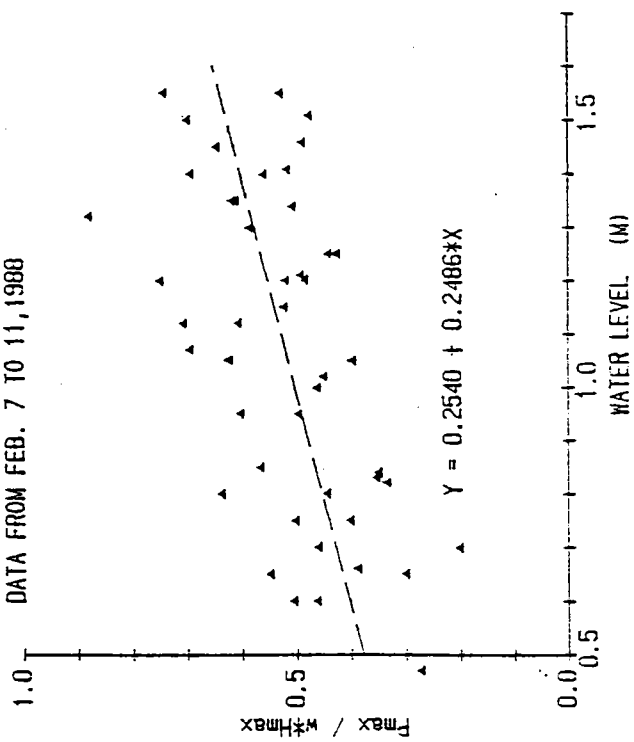


圖 4 - 19 最大波高及波壓與超過概率關係

DATA FROM FEB. 7 TO 11, 1988



DATA FROM FEB. 7 TO 11, 1988



DATA FROM FEB. 7 TO 11, 1988

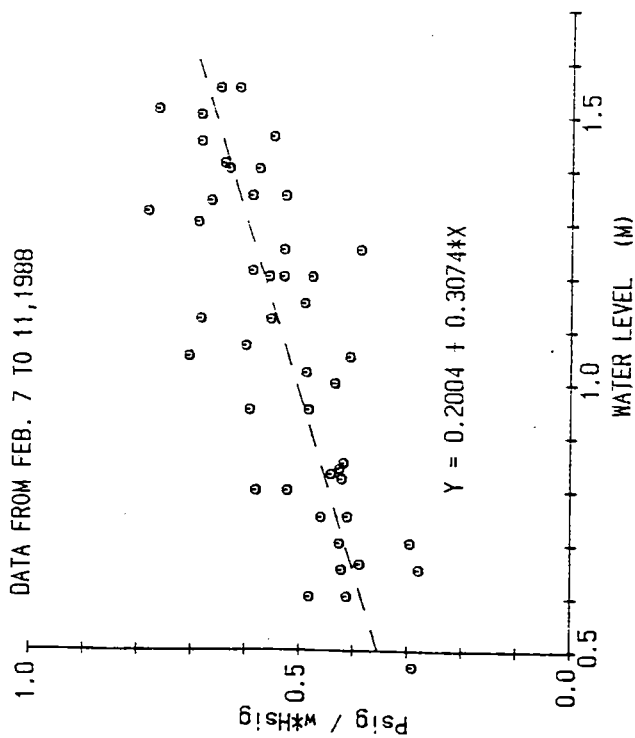


圖 4 - 20 P / w H 與潮位關係

$$\begin{aligned}
 P_{ave}/w H_{ave} &= 0.1444 + 0.3119 X \\
 P_s /w H_s &= 0.2004 + 0.3074 X \\
 P_{max}/w H_{max} &= 0.2540 + 0.2486 X
 \end{aligned}
 \tag{4-6}$$

上式中 w 為海水單位重量 = 1.03 ton/m³
 X 為潮位

CH1 波壓統計無因次參數顯示，最大波壓受潮位影響較小，最大三分之一平均波壓次之，平均波壓最小。當潮位為零水位時，CH1 波壓計在靜水位上 1.6 m， $P_{ave}/w H_{ave}$ ， $P_s/w H_s$ 及 $P_{max}/w H_{max}$ 之值分別為 0.144，0.200 及 0.254；而當潮位為 1.6 m 時，CH1 波壓計正好在靜水平上，則 $P_{ave}/w H_{ave}$ ， $P_s/w H_s$ 及 $P_{max}/w H_{max}$ 之值分別為 0.64，0.69 及 0.65。此與谷本（1980）在鹿島港所做調查結果幾乎一致。七十六年本所辦理直立堤波壓試驗研究，靜水面上波壓計所獲得波壓無因次參數與 H/h 及 h/L 之關係如圖 4-21 及 4-22。花蓮港防波堤水深約為 20m，觀測時示性波高約為 2m；因此， H/h 應介於 0.075 與 0.15 之間，由圖 4-21 得 P/wH 約在 0.8 與 0.92 之間。若波浪週期為 6sec 至 8sec，則 h/L 值約在 0.2 與 0.4 之間，由圖 4-22， P/wH 值介於 0.8 與 0.92 間。 P/wH 觀測值較試驗值偏低，主要原因 CH1 位在開孔胸牆下約 1m 處，波壓受開孔胸牆影響有減弱現象。

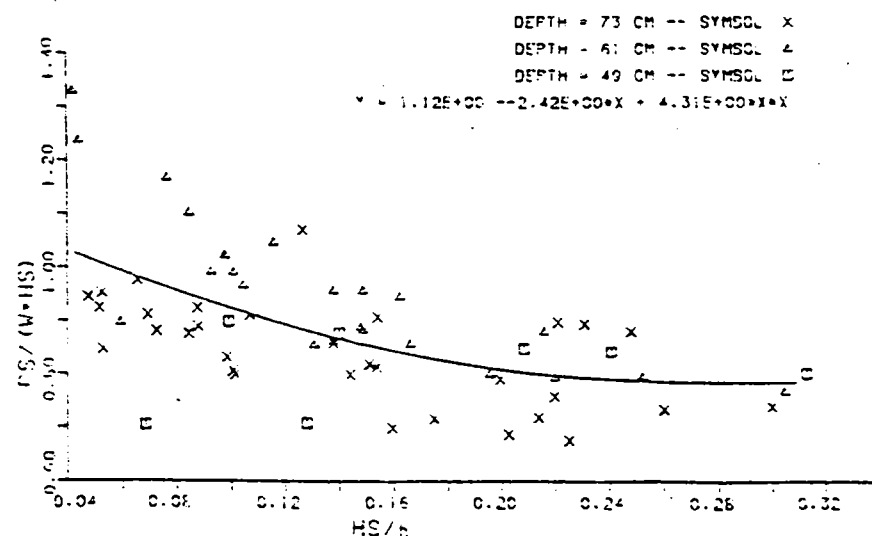
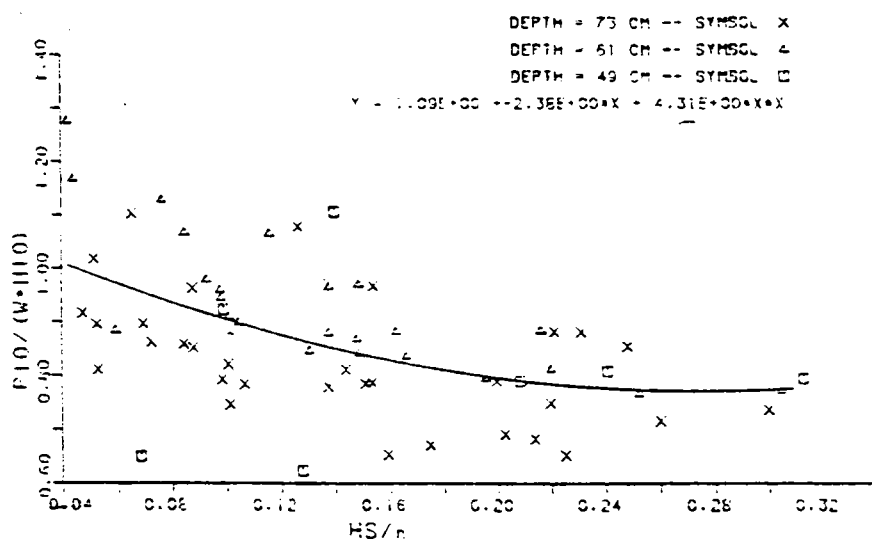
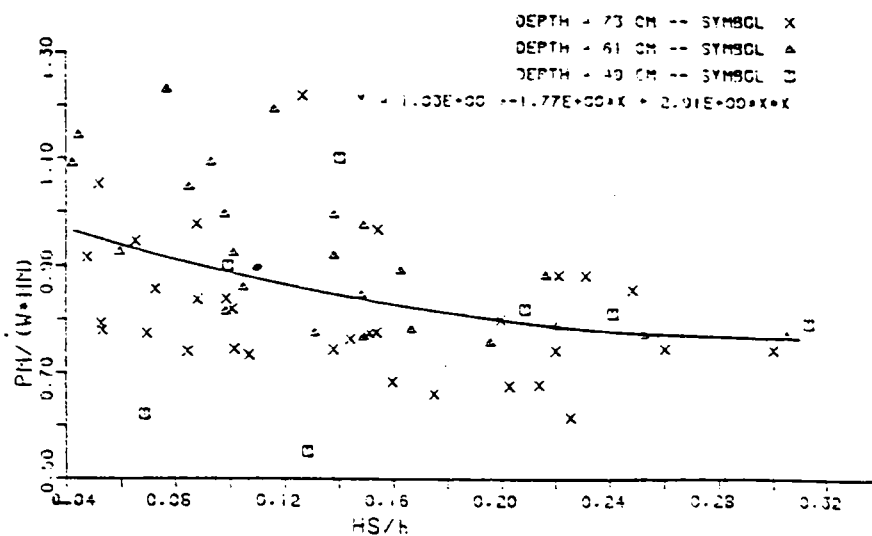


圖 4 - 21 直立堤試驗值 $P / w H$ 與 H / h 關係 (張 1987)

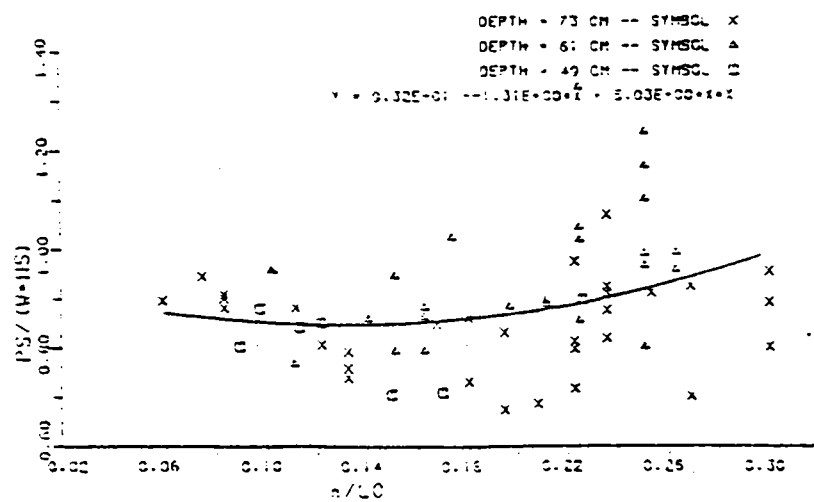
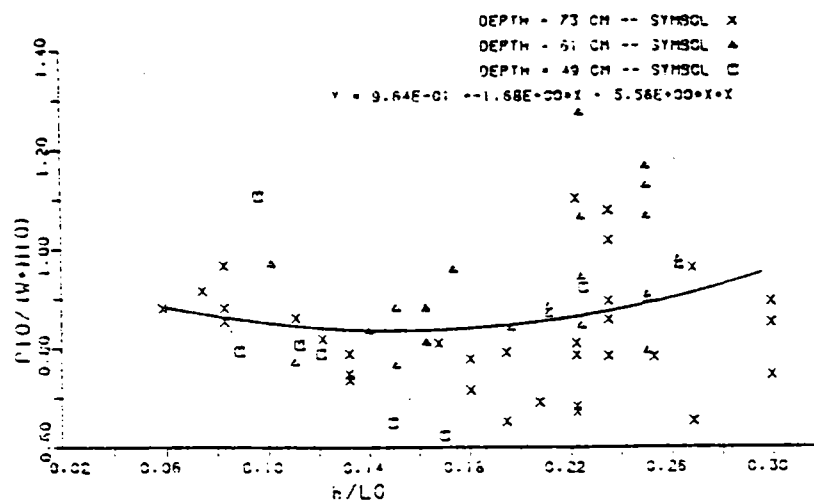
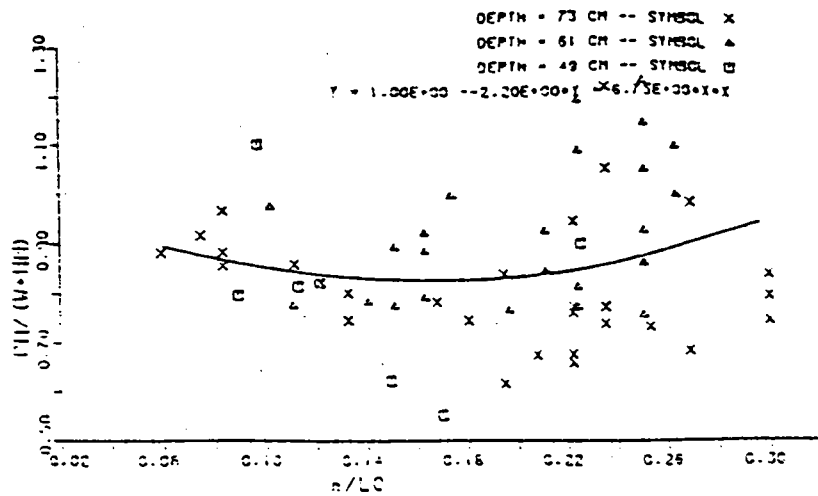


圖 4 - 22 直立堤試驗值 $P / w H$ 與 h / L 關係 (張 1987)

CH2 與 CH3 波壓作用數較少，並非每個入射波都有感應，平均波壓與最大三分之一平均波壓統計值有偏大之趨勢。因此只能利用三個頻道每隔二小時紀錄 15 分鐘所得最大波壓，分析最大波壓無因次參數 $P_{\max}/wH_{\max}$ 與潮位關係，如圖 4-23。線性迴歸方程式分別為

$$P(1)_{\max}/w H_{\max} = 0.2540 + 0.2486 X$$

$$P(2)_{\max}/w H_{\max} = 0.0107 + 0.2067 X \quad (4-7)$$

$$P(3)_{\max}/w H_{\max} = 0.0737 + 0.2257 X$$

上述中 X 為潮位。

三條迴歸線近乎平行，就統計而言，開孔胸牆波壓無因次參數與直立牆波壓無因次參數之差值相當固定。當潮汐為大潮高潮位 +1.6m 時，在高程 +3.1m 處，直立牆最大波壓約為開孔胸牆最大波壓之 1.274 倍。隨潮位增高比值略為減小。花蓮港防波堤設計潮位採用平均高潮位 (MHWL) +1.4m 加上 1m 之暴潮偏差為 2.4 m，如果潮位為 2.4m，直立牆最大波壓為開孔胸牆之 1.214 倍，因此可以研判開孔胸牆最少可以減小最大波壓 20%。

利用同時段新港最大波浪資料及花蓮潮位以 Sainflou 公式計算高程 +1.6 m (CH1 位置) 及 +3.1 m (CH2 及

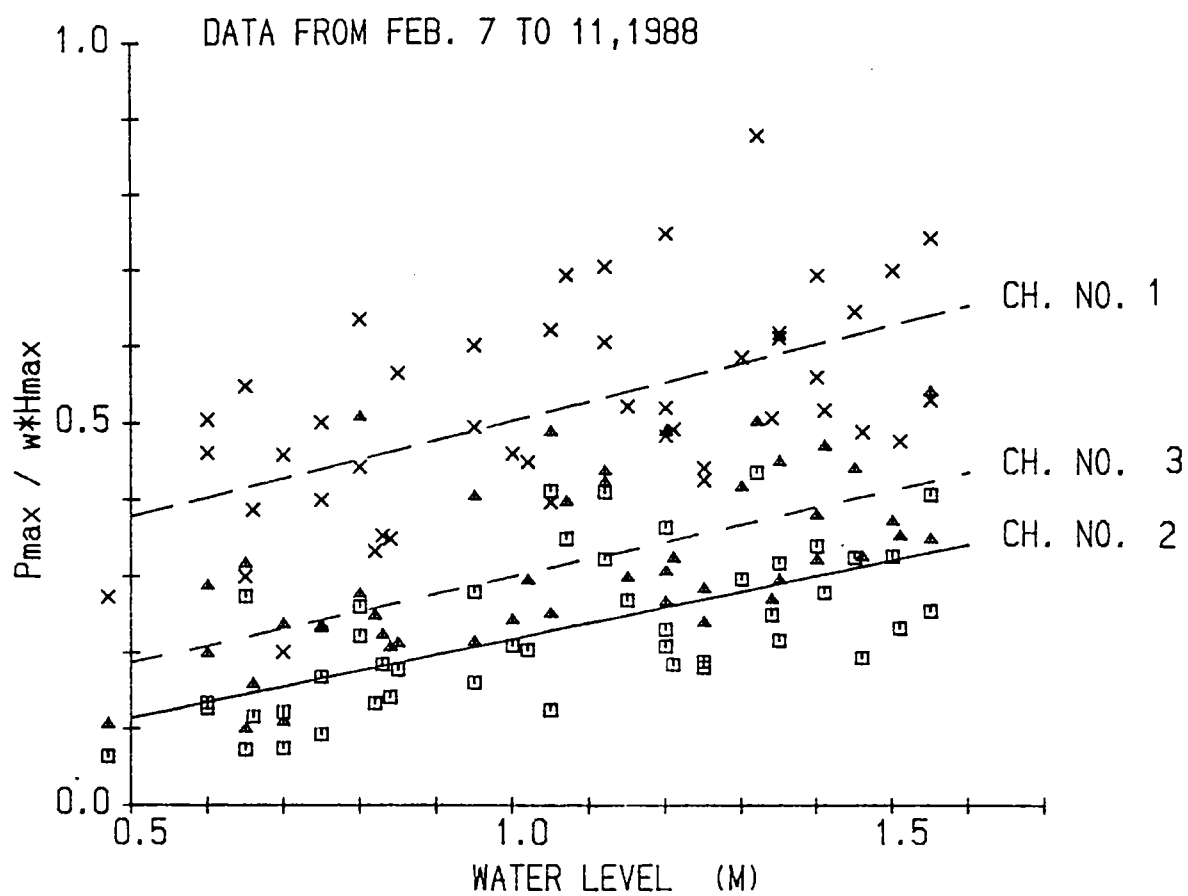


圖 4 - 23 最大波壓無因次參數 $P_{max} / w H_{max}$ 與潮位關係

CH3 位置) 處最大波壓無因次參數與潮位關係如圖4-24。
。線性迴歸方程式分別為

$$\begin{aligned} P_{\max}/w H_{\max} &= 0.5820 + 0.2775 X \\ P_{\max}/w H_{\max} &= 0.1935 + 0.2884 X \end{aligned} \quad (4-8)$$

Sainflou 公式計算波壓無因次參數值迴歸線與觀測值迴歸線近似平行，潮位大於 1m 以上時，+1.6m 處 $P_{\max}/w H_{\max}$ 值隨潮位增加，資料點非常一致。計算值均較觀測值大，潮位 +1.6 m 時，計算與觀測之 $P_{\max}/w H_{\max}$ 差值分別為 CH2 的 0.22 與 CH3 的 0.15。當潮位為 1.6m 時，CH1 位於靜水面上，計算所得 $P_{\max}/w H_{\max}$ 約為 1.0。觀測值為何偏低，主要原因可能是受上部開孔胸牆消波影響。

CH3 位置) 處最大波壓無因次參數與潮位關係如圖4-24。
。線性迴歸方程式分別為

$$\begin{aligned} P_{\max}/w H_{\max} &= 0.5820 + 0.2775 X \\ P_{\max}/w H_{\max} &= 0.1935 + 0.2884 X \end{aligned} \quad (4-8)$$

Sainflou 公式計算波壓無因次參數值迴歸線與觀測值迴歸線近似平行，潮位大於 1m 以上時，+1.6m 處 $P_{\max}/w H_{\max}$ 值隨潮位增加，資料點非常一致。計算值均較觀測值大，潮位 +1.6 m 時，計算與觀測之 $P_{\max}/w H_{\max}$ 差值分別為 CH2 的 0.22 與 CH3 的 0.15。當潮位為 1.6m 時，CH1 位於靜水面上，計算所得 $P_{\max}/w H_{\max}$ 約為 1.0。觀測值為何偏低，主要原因可能是受上部開孔胸牆消波影響。

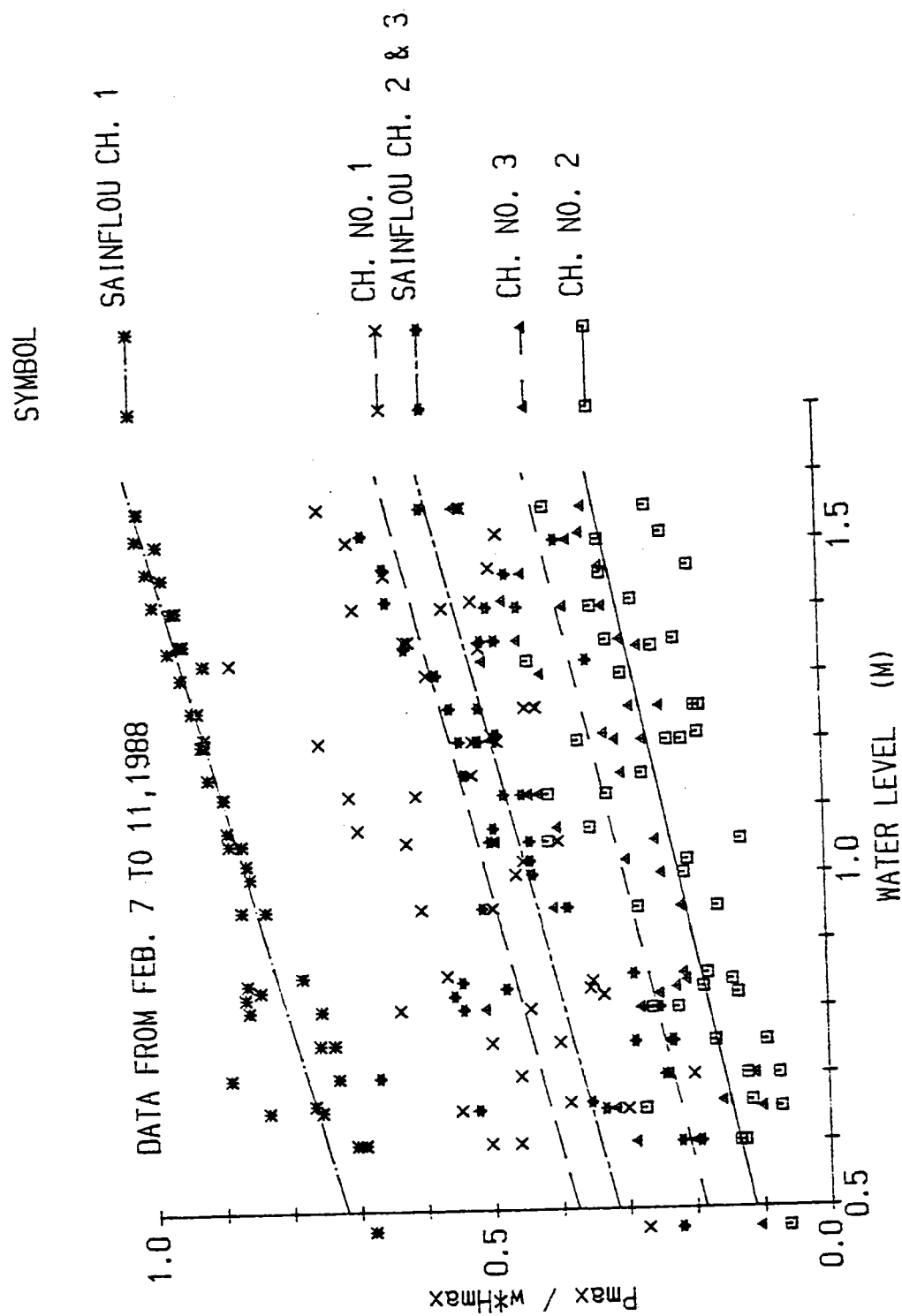


圖 4 - 24 計算值與觀測值 $P_{max} / w H_{max}$ 比較

五、 結論與建議

- (一) 現場觀測充份顯示開孔胸牆防波堤對消滅波浪溯上效果極佳。本調查研究雖未能獲得足夠之資料，尤其是大浪資料，但從有限之資料，經作多種相關性分析顯示，開孔胸牆對消滅波力有顯著之效果。
- (二) 三個頻道波壓計均安裝在平均潮位上，波浪作用於波壓計次數隨漲退潮而增減，設於 +3.1 m 處之波壓計感應波壓次數直立牆約為開孔胸牆的兩倍。
- (三) 受同一波浪作用所造成之相對應波壓資料所顯示，有 93 % 以上概率直立牆波壓較開孔胸牆波壓大，只有 6.5% 概率直立牆波壓較開孔胸牆小。直立牆波壓分佈較為散亂，亦即直立牆波壓受波浪相位波形影響較大。
- (四) CH2 與 CH3 安裝在 +3.1 m 高程，只有在高潮位較大波浪時方能感應波壓。波壓計感應波壓次數與波壓統計值乘積可視為觀測時間內波浪作用力之指標。觀測資料顯示直立牆波壓感應值為開孔胸牆的兩倍以上。
- (五) 每二小時紀錄波壓 15 分鐘所得平均波壓，最大三分之一平均波壓及最大波壓，直立牆與開孔胸牆之比大

都介於 1.0 與 1.5 之間，其中平均波壓比值在 1.0 與 1.5 之間者佔 90 %，最大三分之一平均波壓比值在 1.0 與 1.5 之間者亦達 83%。

(六)短期波浪觀測資料分析結果顯示，氣象局台東新港觀測波浪較本所花蓮港外海觀測波浪偏大，各種超過概率波高與波壓平均值與超過概率有良好之關係。不論採用何種超過概率，直立牆波壓約較開孔胸牆波壓大 20%。

(七)當水位為 +1.6 m 時，CH1 波壓計正位於靜水面上，波壓統計無因次參數 $P_{ave}/w H_{ave}$ ， $P_s/w H_s$ 及 $P_{max}/w H_{max}$ 分別為 0.64，0.69 及 0.65，與 1980 年谷本在鹿島港調查結果極為一致，但較直立堤試驗值 0.8 至 0.92 間偏低，主要原因為波壓計上方 1m 處為開孔胸牆，使 CH1 波壓獲得減低。

(八)花蓮港防波堤設計潮位為 +2.4 m 時，安裝於 +3.1m 處波壓計所測得最大波壓無因次參數迴歸方程式顯示，開孔胸牆較直立牆最少可以減小波壓 20%。

(九)最大波壓計算值無因次參數 $P_{max}/w H_{max}$ 較觀測值大，在潮位 +1.6m 處，相差 0.35，潮位 +3.1 m 處，直立牆相差為 0.15，開孔胸牆增為 0.22。

(十)本計畫執行時間僅為一年，因為經驗不足，當初研訂計畫時，認為一切工作均能順利如期完成。事實上差距很大。檢討原因，主要為本所距花蓮太遠，工作環境無法確實掌握，常常往返無功，浪費不少人力。港灣深水化的時代已經來臨，為消滅波能降低波壓，未來勢必大量採用開孔胸牆防波堤。因此建議利用現有設備及有經驗之人員作較長期之調查研究。

誌 謝

本研究計畫能夠順利完成，首先要對本所參與人員致最大謝意，由於他們不辭辛勞奔波於台中與花蓮間，經常冒著風浪攀登在防波堤上安裝測試儀器，出海工作，取得資料雖然有限，但卻是異常珍貴。此外要感謝花蓮港務局全力配合，擴建處卓鍵主任的熱心協助，使現場工作得以順利推展。本所秘書室張淑琴與陳毓清兩位小姐協助資料處理，打字、校對在此一併致謝。

六、參考文獻

1. Jarlan, G.E., "A Perforated Vertical Wall Breakwater", The Dock and Harbour Authority", Vol. 41 No. 488, 1961.
2. Terrett, F. L. et al, "Model Studies on a Perforated Breakwater", Proc. of 11th Conf. on Coastal Engineering, pp1104-1120, 1968.
3. Marks, W. and Jarlan, G.E., "Experimental Studies on a Fixed Perforated Breakwater", Proc. of 11th Conf. on Coastal Engineering, p1121-1140, 1968.
4. 台中港務局, "花蓮港第四期擴建防波堤斷面試驗報告", 1980。
5. 簡仲和等, "花蓮港消波胸牆防波堤波力模型試驗報告", 成功大學台南水工試驗所, 1981。
6. 簡仲和, "開孔胸牆防波堤之波力研究", 成功大學水利及海洋工程研究所, 1981。
7. 谷本勝利等, "鹿島港北海濱直立消波護岸の波壓 觀測データ 解析", 日本港灣技術研究所, 港灣技研資料 NO. 350, 1980。
8. 谷本勝利等, "混成防波堤のマウンド 形狀による衝擊碎波力の發生と對策について", 日本港灣技術研究報告第20卷第2號, 1981。

9. 谷本勝利等，"防波堤直立部に働く不規則波力に関する實驗的研究"，日本港灣技術研究所，港灣技術研究報告，第23卷，第3號，1984。
10. 高橋重雄等，"直立消波ケーソンの上床版に働く揚壓力（第2報）—現地觀測波壓データの解析"，日本港灣技術研究所，港灣技術研究報告，第23卷，第2號，1984。
11. 張金機等，"波壓試驗研究"，港灣技術研究所，76-研（四），1986。