

波壓調查研究(二)

主持人：張 金 機
參與人員：簡 仲 璟 陳 明 宗
 張 富 東 林 受 勳
 蔡 金 吉

期 末 報 告

台灣省交通處港灣技術研究所

中華民國 八十年六月三十日

波壓調查研究(二)

目 錄

摘要	II
一、前言	1
二、往昔之研究	2
三、現場調查	7
四、波壓資料處理分析	19
五、波浪與波壓相關特性	46
六、結論與建議	73
七、參考文獻	76

波壓調查研究(二)

摘 要

花蓮港每年夏季受巨大颱風威脅，四期擴建經過一系列模型試驗研究，採用開孔胸牆防波堤以降低越波量，減小波壓力。為了解開孔胸牆消滅波壓情形，本計畫針對開孔胸牆與直立牆辦理調查、分析研究。

調查結果顯示，波壓時序變化相當一致，且呈現明顯之群波波壓現象；開孔胸牆消滅波壓幅度與波壓計高度、波浪特性及潮位等有密切關係。直立式防波堤沉箱基座上，因其頂部為開孔胸牆亦具有消滅波壓功能。

比較 Sainflou 公式波壓計算值與波壓觀測值發現在較小波浪尖度時，計算值偏小；而在較大波浪尖度時，計算值偏大，且計算與觀測波壓無因次差值與波浪尖度成線性關係。波浪尖度0.025附近，Sainflou 公式波壓計算值波壓觀測值差異最小。

Field Investigation of Wave Pressure(II)

ABSTRACT

Hwa-Lian Harbor is threatened by huge typhoon waves during the summer season. After a series of model studies, perforated parapet breakwater was used to eliminate wave overtopping as well as to reduce wave forces. In this study, by investigation and analysis wave pressures on perforated and solid walls, it is hopefully to achieve some understanding on the efficiency of pressure elimination.

The results of investigation indicate time series pressure variation are quite consistency and group wave pressure phenomena are obvious. The degree of pressure elimination on perforated wall has close related to the elevation of pressure gauges, wave characteristics and tidal level etc; perforated parapet mount on caisson type solid wall, has capability to reduce pressure on the upper portion of caisson as well.

By comparing wave pressures calculated by Sainflou formula and measured in the field, it shows that for lower wave steepness, calculated values are smaller than measured values; on the contrary, for higher wave steepness, calculated values are larger than measured values. The dimensionless parameter of the difference between calculated and measured wave pressures has linear relationship with wave steepness. Wave pressures calculated by Sainflou formula has minimum discrepancy in comparison with observed data, for wave steepness about 0.025.

一、前 言

本所七十七年度曾針對花蓮港第四期擴建東堤開孔胸牆防波堤辦理波壓調查，取得極為珍貴之現場波壓資料，但調查過程中，設備曾因波壓太大而遭受損毀，致無法取得較大波浪作用時之波壓資料，及同步紀錄之波浪資料。

本研究計畫係延續以往調查經驗，希望取得更多資料，以辦理波浪與波壓特性相關性分析。但78年11月儀器安裝完成後，外海季節風浪轉弱，而波壓感應器長期曝露在海水中，因腐蝕而產生偏移現象，紀錄品質不理想。79年7月開始，檢討78年失敗的原因，重新安裝波壓計，並架設交流電路，採用PC電腦資料蒐集系統作定時紀錄。79年9月25日完成電纜架設及波壓計之安裝。10月5日海蒂颱風(Hattie)從台灣東岸掠過，在花蓮港造成巨大湧浪，測得極為珍貴之波壓資料，可惜10月5日下午花蓮港防波堤遭強浪破壞，電源中斷未能測得更多資料。經檢修後，自10月19日維持觀測至80年2月27日終止。謹將觀測所得資料處理、分析以及分析結果敘述如后。

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；波浪透過開孔牆時，消耗部份能量以減小越波、反射波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。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滅波力作用，而且短週期波比長期波更理想。

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越波，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。開孔胸牆對波浪溯上及波力消減效果均隨開孔率 v 增加，當 $v=42.2\%$ ，波力可消減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。

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，波壓資料分析結果顯示，在水面附近開孔胸牆前，波壓頻率分佈接近理萊分佈(Rayleigh Distribution)；波壓無因次參數 $P_s/w \cdot H_s$ 之平均值約為0.7。而 $P_{max}/w \cdot H_{max}$ 則顯得相當散亂。

1980年谷本勝利等辦理合成堤堤前拋石基礎拋放消波塊及開孔胸牆防波堤試驗。試驗所採用三種開孔胸牆型式，其開孔率分別為孔圓型為0.306，平型及駒型版條為0.25。試驗結果顯示，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 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，試驗值與計算值之比 (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，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。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}/wH_{max} , $P_{1/10}/wH_{1/10}$ 及 $P_s/w H_s$ 值在透水牆前約在 0.92 與 0.99 間。

奧園英明等 (1986) 辦理直立式開孔胸牆防波堤堤前水面變化受消波室影響研究。研究結果顯示，堤前節點位置受開孔率，相對消波長度 B/L (B 為消波室長度， L 為波長) 及消波牆厚度影響。反射率 K_r 及節點位置 X^*/L (X^* 為堤面至節點距離) 受開孔率及 B/L 影響。當開孔率 $\epsilon = 0.4$ ， $B/L = 0.15$ 時， X^*/L 為 0.75，反射係數 K_r 減至最小。

萩原運弘 (1986) 辦理斜向入射波對直立式消波堤消波特性影響理論研究，並配合工藤現場實測資料加以驗證，當波浪週期較短時 (6sec

)，反射係數實測值介於開孔與直立牆中間，隨入射角變化有一致之趨勢，波浪週期增加為9sec時，反射係數調查值與計算值相當吻合。反射係數受各種開孔率、相對消波室長度及消波室水深等參數影響。

萩原運弘(1986)辦理直立式開孔胸牆消波堤理論分析與試驗，結果顯示，開孔率相同，相對消波室長度較小時，水平波力與水位變化其相位關係良好，而當相對消波室長度增加時，最大水平波力與水位變化相位有延遲現象。開孔胸牆及消波室後壁波力係數計算與試驗結果有一致之趨勢。當開孔率較小時($\varepsilon=0.1$)，開孔胸牆波壓係數遠較後壁為大，開孔率漸增，係數漸趨一致，當 $\varepsilon=0.3$ 時，後壁係數已較開孔胸牆係數偏大。

谷本勝利，吉本靖俊及高橋重雄等(1985, 1985, 1985, 1987, 1988)在日本港灣技術研究所，針對大水深消波構造物防波堤之波浪反射、傳遞、波壓等水力特性辦理一系列之試驗研究，包括深水消波構造物防波堤水平薄板、沉箱基礎(潛堤)、水平薄板與沉箱基礎(潛堤)組合、水平板立體骨構組合、半圓上部平板組合、外牆開孔雙重圓筒組合等各種不同消波構造物。

張金機等(1988)辦理花蓮港東堤開孔胸牆現場波壓調查，根據所取得波壓資料分析結果顯示，在高程 +2.04 m處測點，受同一波列作用，有93%直立牆波壓大於開孔胸牆波壓。由十五分鐘波壓統計結果顯示，直立牆與開孔胸牆平均波壓比值介於1.0與1.5間佔90%以上。波壓累積超過率不論最大波壓，最大三分之一平均波壓與平均波壓直立壁均較開孔胸牆高出20%以上。波壓與根據潮位關係迴歸曲線計算

靜水位附近波壓無因次參數 P_s/wH_s 為 0.69, P_s 與 H_s 分別為最大三分之一平均波壓與波高, w 為海水之比重, 此結果與谷本(1980)在鹿島港調查 $P_s/wH_s=0.7$ 極為一致。

1989年, 章梓雄等辦理多孔岸壁波能消散之研究, 解析結果顯示多孔岸壁反射係數決定於孔隙影響參數, 而此參數為波速與岸壁材料特性(孔隙率、厚度等)成線性關係。當入射波相位速度與通過多孔岸壁特徵流速一致時, 多孔岸壁消殺全部波能, 此情況下無反射現象。反射係數及多孔岸壁波壓分佈與消波室長度並無直接關係。

1991蘇青和研究水位變化及斜向波浪對多孔消波室反射及透射特性之影響, 發現受斜向波浪作用, 牆前反射係數及消波室透射係數主要與入射波角度、波長、平均水位、消波室寬度、多孔牆厚度、孔隙率及摩擦係數等影響。牆前反射係數及消波室內透射係數與消波室寬度為週期變化關係。一般而言, 反射係數隨入射角之增大而減小, 隨波長增長而加大, 隨多孔牆厚度增大而減小, 透射係數也有相同之趨勢。

三、現場調查

(一) 概述

本研究乃延續七十七年度波壓調查研究(一)，執行七十九、八十年度為期兩年的波壓調查研究(二)，希望藉著現場更多的調查資料，來比較分析開孔胸牆消減波壓之效能。七十九年度計畫自78年7月開始執行，利用兩片12mm之平面大鐵板，完成新的封口工程，11月開始記錄。卻因外海季風轉弱，無法獲得較大波浪時之波壓資料；感應器因曝露在惡劣的海洋環境而發生浸蝕現象。兩、三個月後，波壓計感應器接續的發生漂移或故障現象，致使79年度所得到的資料品質皆不甚理想。

根據七十九年度記錄失敗的原因，整理分析了一些改進方案，於八十年度開始執行波壓調查研究(二)第二年計畫。首先購置了10kg PGM-10KE感應器16個，並進行率定工作；而開孔胸牆現場之封口工程由於受到幾次颱風過境的影響，造成封口鐵板變形，觀測小屋鐵門亦遭破壞，故再行發包整修。為充分掌握陸上控制機制、解決電源問題、突破困難，另行架設AC交流電線路，並採用PC電腦現場資料蒐集系統，作持續性定時的資料蒐集。

封口整修工程及交流電架設工程於79年9月26日完工，同時亦在現場安裝10支波壓感應器，觀測儀器於9月26日全部安裝完成，並從26日12時開始實際記錄波壓資料。10月5日海蒂(Hattie)颱風掠過台灣東部，破壞了花蓮港部份防波堤面，造成交流線路中斷；經檢修後，於10月19日繼續測量，至80年2月17日完成全部波壓測量工作。謹將調查經過敘述如后。

(二) 觀測儀器佈置

波壓計安裝於東部防波堤延長段轉折點前，如圖 3-1。開孔胸牆防波堤斷面如圖 3-2，波壓計10個，在封及開孔斷面分別安裝五個波壓計，如圖3-3。其高程為

波 壓 計 頻道 CH.	1,6	2,7	3,8	4,9	5,10
高程 (M) LLWL為準	1.5	2.6	3.4	4.5	5.6

波高計採用浮式波高計，安置於東堤外海約 1 公里處。所有波浪訊號均以無線電傳至港務局接收站，每隔 1 小時紀錄 20 分鐘。潮位計為氣象局所有，安裝在西防波堤附近。以平均水位為基準零水位，本報告為配合港灣設施，以平均水位下 1.06m 最低潮位為基準零水位。因此，所有潮位資料均應減去 1.06m。

(三) 波壓觀測過程

1. 79年度(78年 7月 - 79年 6月)

花蓮港開孔胸牆波壓調查研究(二)，本所辦理現場波壓觀測，可概分為三個步驟：

(1) 封口設計施工及感應器購置

a. 封口工程

原設計圓形鐵蓋封口工程，在完工後即因傑魯得颱風帶來強大水流，致沖失兩塊封口板，後再進行補強工作，然至78年

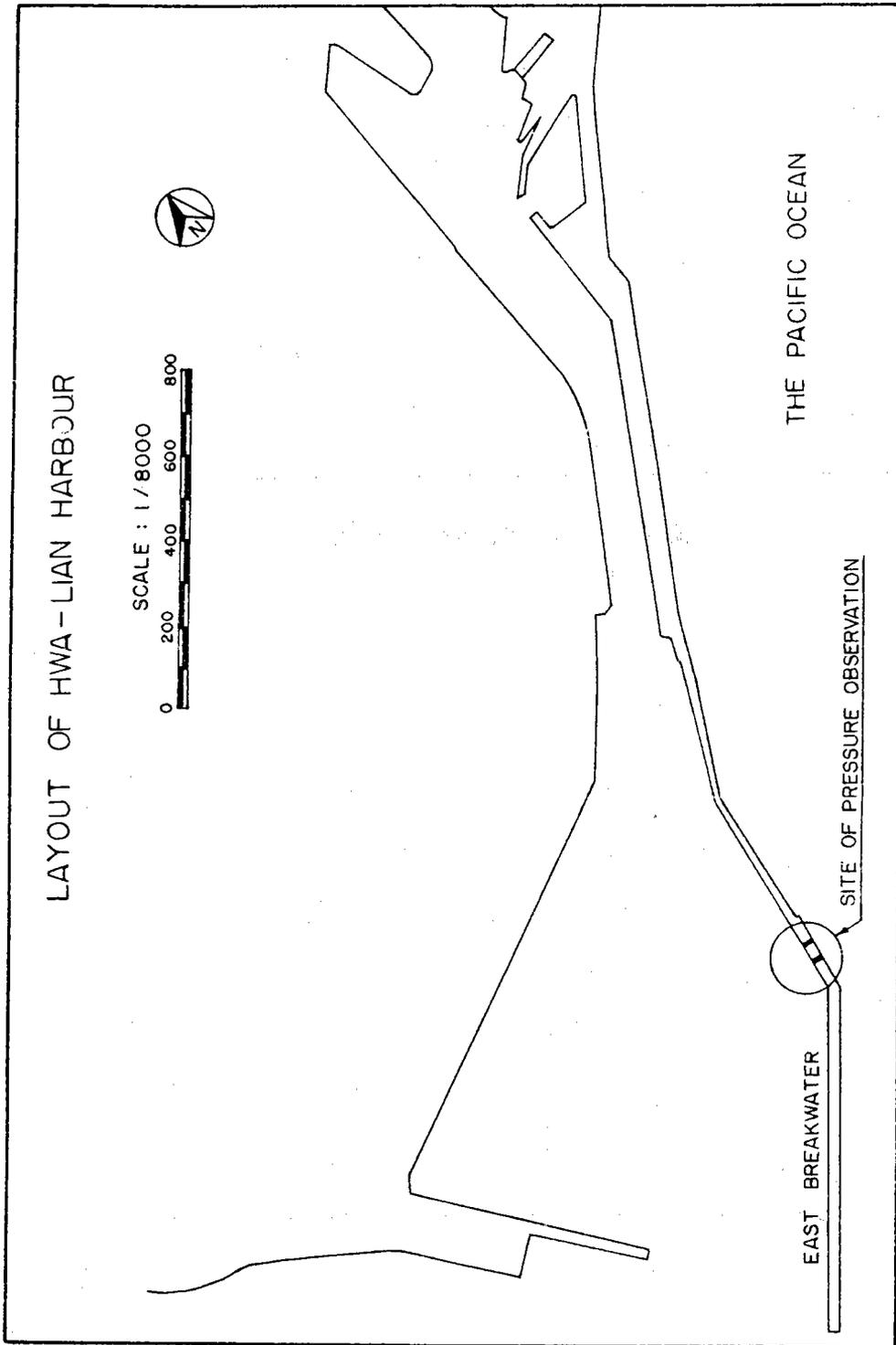


圖 3-1 波壓觀測位置

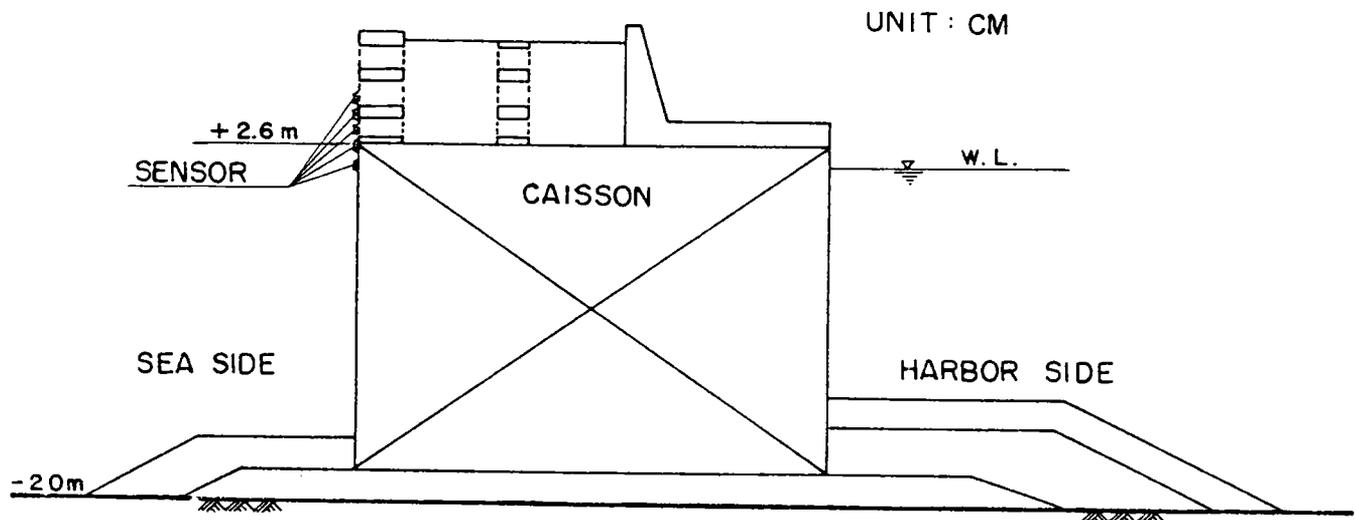


圖3-2 開孔胸牆防波堤斷面

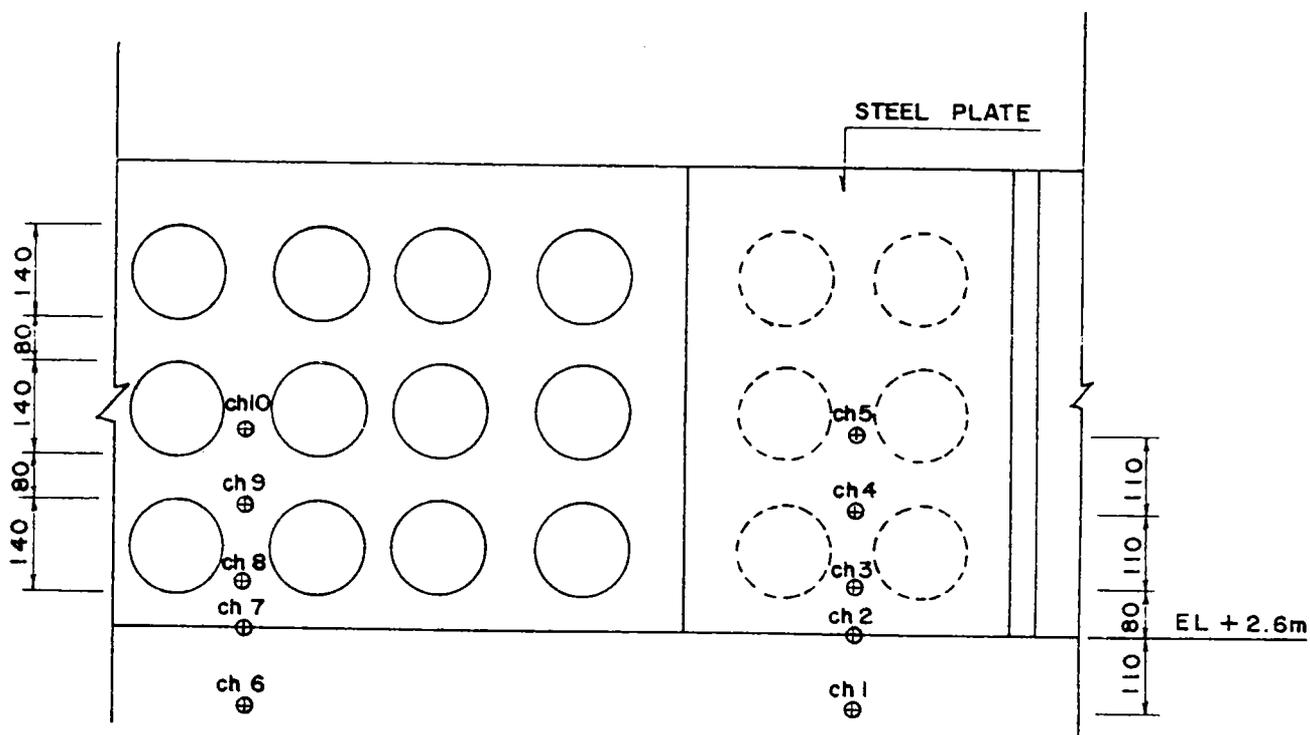


圖3-3 波壓計佈置

檢討，得出兩項缺失：a.圓形鐵蓋封口之製作及施工皆不容易。b.原先封口固定補強部份強度不足無法長久固定。

b.感應器購置

波壓調查研究(一)所使用之感應器已不堪使用，故本計畫另行購置 KYOWA 5kgf/cm² 6組及 2kgf/cm² 4組感應器以供使用。

(2)觀測儀器設備

除了(1)項新設計及新購置感應器外，尚有四項項主要設備：

a.訊號增幅器

所使用之增幅器為日本製 KYOWA 廠牌 DPM-6H型增幅器 2套，每套各有 6個頻道。可將感應器偵測到之壓力應變轉換成電壓，並予增幅放大，可使用直流電源，適合室外觀測。

b.訊號記錄器

採用原研究(一)所使用之14頻道日製 KYOWA 廠牌 RTP-650A型卡帶記錄器，利用其具自動開啓、關閉的功能，可符合長期自動觀測的需求。

c.觀測屋

原觀測小屋表面已銹蝕，再行除銹及塗漆。

d.電瓶

利用 YUASA牌12伏特電瓶 8個做為現場電源供應。

(3)現場佈置安裝

現場佈置安裝步驟如下：(a)封口工程(b)感應器之防水處理及率定(c)線路鋪設(d)測試。由於採平面鐵板一次封口，因此

施工上較為方便，在線路鋪設上是利用舊有塑膠管線來鋪設，免除了挖掘高強度混凝土的施工困難。唯一缺點就是既有管路已部份遭海水滲入，信號線若有破損時易遭浸損。在鋪設防坡堤面海外側感應器管線時，剛好碰到較強季風，由於施工上須使用電銲，故第一次僅安裝一支感應器架；另一支感應器架延到10月底才完成架設。安裝時未能一氣呵成，加上架設完成後，花蓮港季風時強時弱，使本所人員未能即時測得較佳資料，感應器也因長期曝曬致故障，此乃本次研究之憾事。謹將未能獲得資料之失敗原因整理分析如下，以供明年度研究之改進參考。

(4) 改進方案

a. 檢討本次失敗的原因，乃由於

- 感應器外表壓力面非常脆弱，並不適合長期曝曬及受海水浸泡，已外置四、五個月，故失效。
- 5kg及2kg型之感應器，其受力能力似乎較差，比較不適合本試驗。另外其設計型式上防水能力亦較差，由於感應器上之接觸面係由鐵圈和感應面組成，在接觸面上易留污物，造成感應不良。

b. 綜合分析後，提出下列幾點改進方案：

- 感應器：建議以後外海測壓時，仍以10kg PGM-10KE 之防水感應器較佳。
- 感應器上之覆蓋以不銹鋼製較佳，固定感應器之螺絲亦同。螺絲及覆蓋厚度應較感應器突出面小，較不易留污點。

- 裝置感應器之鋼管以不銹鋼較佳，並另置鋅片或其它金屬片，以防止海水生物著生。
- 感應器電纜施工時，感應頭應先行固定，並以SILICON防水處理。佈線時連接頭先剪掉，利用電纜束來拉管，才不易使感應頭或連接頭受傷且較易施工。
- 記錄用的錄影帶以新帶使用較佳，超過兩年以上品質較差。
- 量測時間以放置後一個月內測量完畢較好，或是在感應頭上加螺絲蓋，欲測量時僱人取蓋，測量完畢後清潔並加覆蓋。

2.80年度(79年 7月 - 80年 6月)

(1) 封口工程

七十九年度完工之平面鐵板封口工程，在79年初由於連續幾次颱風掠過台灣東部，造成鐵板變形。經研判發現係大波浪衝擊堤面時，越波打到開孔胸牆消波槽，強大的回流造成底部鐵板變形；因此，封口底部固定措施的再補強甚為重要。79年7月開始發包整修，將底部變形鐵板切割掉，另行銲接一片鐵板，其他變形偏離堤面部份板面，將其拉回固定。

(2) 感應器購置

79年度所使之感應器為 KYOWA 5kgf/cm² 及 2kgf/cm² 兩種，其受力能力似嫌不足。另外其設計型式上防水能力亦較差，由於感應器上之接觸面係由鐵圈和感應面組成，在接觸面上易留污物，造成感應不良。因此，本年度另行購置 KYOWA 10kgf/cm² 16個感應器以供使用。

(3) AC交流電線路架設

原先採用之信號記錄器為14頻道日製 KYOWA RTP-650A 型卡帶記錄器，然由於其係利用BETA錄影帶記錄，每次只能記錄一天資料，即須更換卡帶。又因現場沒有AC電源，只能利用蓄電池來供應電源，無法長期記錄，在時效性的要求上較差。經過詳細評估後，決定架設AC電源線路，並利用PC資料蒐集系統來蒐集資料。

由花蓮港土木課辦公室至觀測屋距離約1800公尺，觀測儀器消耗電流約需1安培，利用電壓概算公式，以2000公尺 $8\text{mm}^2 \times 2$ 太平洋電纜計算

$$\text{銅線壓降} = \frac{35.6 \text{ IL}}{1000 \text{ A}(\text{mm}^2)}$$

$$\text{壓降約} = (35.6 \times 1 \times 2000) / (1000 \times 8) = 8.9\text{V}$$

經花蓮港務局同意施工後，開始發包架設。架設完成後，經實際測量壓降約 9伏特，然因原始電壓達 117伏特，故銅損壓降後仍有 108伏特。觀測儀器依然能正確運轉，連原先考慮使用之昇壓器都不需要了。

(4) 觀測儀器設備

除了新購置感應器外，尚有五項主要設備：

a. 訊號增幅器

所使用之增幅器為日本製 KYOWA 廠牌 DPM-6H型增幅器 2套，每套各有 6個頻道。可將感應器偵測到之壓力應變轉換成電壓，並予增幅放大，可使用直流電源，適合室外觀測。

b. 觀測屋

原觀測小屋表面已銹蝕，再行除銹及塗漆；另鐵門遭颱風來襲時吹毀，再行製作一鐵門。

c. 微電腦資料蒐集系統

資料蒐集系統包括：

- 16位元神通個人微電腦
- 20 MEGA硬式磁碟機
- 16頻道14位元A/D介面卡
- 自製16頻道輸入轉接箱
- 自行開發之現場資料蒐集系統軟體

每隔兩小時定時抓取10頻道波壓，以每秒種每頻道抓取 5點資料之速度連續蒐集10分鐘。

d. 定時器

所使用之定時器為西德theben定時器。每隔 6小時關閉微電腦電源半小時，避免電腦連續熱機使用，發生當機事件。不過此種定時器若碰到AC電源斷電時，會停止轉動，造成以後關機時刻不準確之缺失。現在市面上已有一種數位式控制定時器，價格不到1000元，且不受停電影響，應該是一種相當適宜的選擇。

e. 散熱風扇

由於觀測小屋係一密閉型的鐵屋，散熱效果很差，加上微電腦本身的散熱情況亦不是很好，因此加裝一排風扇以加強微電腦的散熱效果。

(5) 現場佈置安裝

現場佈置安裝步驟如下： a.感應之防水處理 b.感應器鋼管

6月時，該圓形鐵蓋封口幾已被海浪沖毀。針對原封口設計架的安放 c.線路鋪設 d.資料蒐集系統測試 e.開始測量。79年9月24日本所人員抵達花蓮，25日開始現場佈置，首先完成10支感應器的防水處理，並在下午安裝完成第一支感應器鋼管架。9月26日上午繼續安放第二支感應器架，同時AC交流電亦配線完成，並開始通電。經電表測量原始電源電壓達117V左右，加上全部觀測儀器負載，壓降約9V，負載電壓仍達108V。故為免除再一次的電源轉換損失，不考慮使用昇壓器，直接利用AC電源負載。全部安裝完成後，開始測試資料蒐集系統軟體，首先以每秒抓取10點波壓資料速度測試10分鐘，再以每秒5點的資料抓取速度測試；結果皆相當令人滿意。最後考慮到硬式磁碟機的記憶容量問題，決定以每秒5點的資料抓取速度，連續蒐集10頻道波壓資料10分鐘，並每隔兩小時定時蒐集。一切無誤後，從79年9月26日12時開始記錄。

(6)資料蒐集結果

- a.79年9月26日12時－79年10月5日18時..(正常)
- b.79年10月5日20時－79年10月19日16時
(防波堤被破壞，AC斷電並整修)
- c.79年10月19日18時－79年11月29日0時
(11月中旬第四個感應器故障，餘正常)
- d.79年11月29日2時－80年1月9日22時
(第一、四個故障，其餘記錄僅供參考)
- e.80年1月11日12時－80年2月27日8時
(換裝6個感應器並記錄正常)

(7) 檢討建議

波壓現場調查，由於牽涉的因素相當多，諸如感測器的選擇、封口之設計、現場管線之架設、銲接等，在在須要周延的考慮，否則一旦線路固定，安裝完畢後才發現問題，那又得大費周章；不但浪費金錢，心血也常付之流水。謹將這幾次波壓現場調查的一些心得整理分析如下，以供後來從事波壓現場調查或類似調查研究參考之用。

a. 感應器

- 外海測壓之感應器，最重要的就是防水措施，感應器應為防水型，安裝時亦應加以防水處理。
- 花蓮港波壓調查所使用之 KYOWA 10kgf/cm² (PGM-10KE) 型經數次現場使用後，效果還算不錯，可供以後使用參考。
- 感應器上之覆蓋以不銹鋼製較佳，固定感應器之螺絲亦同。螺絲及覆蓋之厚度應較感應器突出面小較不易留污點。
- 由於外海環境惡劣，感應器在曝曬及海水浸蝕下，大概只能正常工作三個月左右；超過期限後，特性常會劣化或故障。故安裝完畢後應即刻開始測量較佳。

b. 訊號增幅器

- 本研究所用為 KYOWA 廠牌 DPM-6H 型增幅器，性能不錯，且未曾故障過。但因其輸出電壓範圍只有正負 2 伏特，略嫌不足，若能改用輸出電壓較高之型式使用，則信號解析度當能再提高。
- 增幅器若能交直流兩用最佳，可免除停電困擾及感應器停電後的再歸零動作。

c. 訊號記錄器

- 現場最好能備有交流電，利用 PC 做現場即時資料蒐集系統。

- 應備有 UPS不斷電設備，能提供 2日消耗電力更佳。
- 若現場能架設電話，可利用 moden來遙控定時資料蒐集或連續資料接收。
- 儲存用之硬式磁碟記憶容量在 40MEGA以上較佳

d. 裝置感應器之鋼管

- 以不鏽鋼較佳，並另加鋅片或其他靜電處理，以防止海水生物著生。
- 由於現場防波堤面尺寸與設計圖面可能有誤差，故設計鋼管尺寸及安排感應器位置時，最好先至現場測量，以實際尺寸做設計。
- 兩支感應器鋼架施放時，須考慮到水平線問題，鋼架共水平後，個別感應器也才會在同一線上。

e. 封口工程

- 利用平面鐵板一次封口，在施工上較為方便。
- 封口固定補強甚為重要，特別是底部承受力最強，在補強上須倍於上部補強措施。

f. 電纜線路施工

- 由於感應器信號電纜須長距離架設，且因感應器係利用橋式電阻原理製成；因此電纜應以較粗直徑之 4心隔離電纜製作，可免除阻抗匹配之問題。
- 信號電纜施工時，感應頭先行固定，並以 SILICON 防水處理。佈線時連接頭先剪掉，利用電纜束來拉管才不易使感應頭或連接頭受傷且較易施工。
- 電纜線路仍以利用塑膠管道鋪設較佳，可避免曝曬及海水浸蝕。

四、波壓資料處理分析

(一) 資料蒐集概述

波壓計受波浪作用時，感應波壓力，波壓訊號經由增幅器放大後與陸上控制站直接連線，利用PC資料蒐集系統，每隔兩小時連續紀錄波壓資料10分鐘，取樣速度為每頻道5點/秒。十個頻道波壓變化經掃描後，以數據資料儲存於磁碟上。共錄取全部波壓資料一百餘組，但大部份時段因波浪太小，高程3.4m以上未能感應波壓。本報告僅就高程3.4m感應波壓部份加以處理分析。

(二) 資料延時處理

受海洋惡劣環境影響及外界干擾，波壓紀錄資料經常發生漂移及高頻振動現象，如圖 4-1。經高頻過濾及移位後，以十月五日上午八時高程1.5m處直立牆與開孔胸牆波壓延時變化如圖 4-2。十分鐘波壓紀錄數據，利用程式分析處理求得波壓峰值時序數據值如表 4-1(a)，(b)。將此時序變化波壓峰值建檔作為分析波壓特性基本資料。

部份較大波浪作用期間，波壓時序紀錄如圖 4-3。CH1, 2, 3, 4 及 5 分別安裝於直立牆高程1.5m, 2.6m, 3.4m, 4.5m 及 5.6m處之波壓紀錄；CH6, 7, 8, 9 及 10為相對應高程開孔胸牆波壓紀錄。由電腦資料顯示，同一高程尖峰波壓發生時間差異極小，最大時差為 0.4秒，且波壓變化形狀亦極相似。高程 1.5m(CH1, 6)及 2.6m(CH2, 7)兩處波壓紀錄呈現明顯之群波波壓特性；受群波波腹較大波浪作用，高程 3.4m(CH3, 8)處波壓計感應波壓情形幾乎可判斷群波波腹點位置。

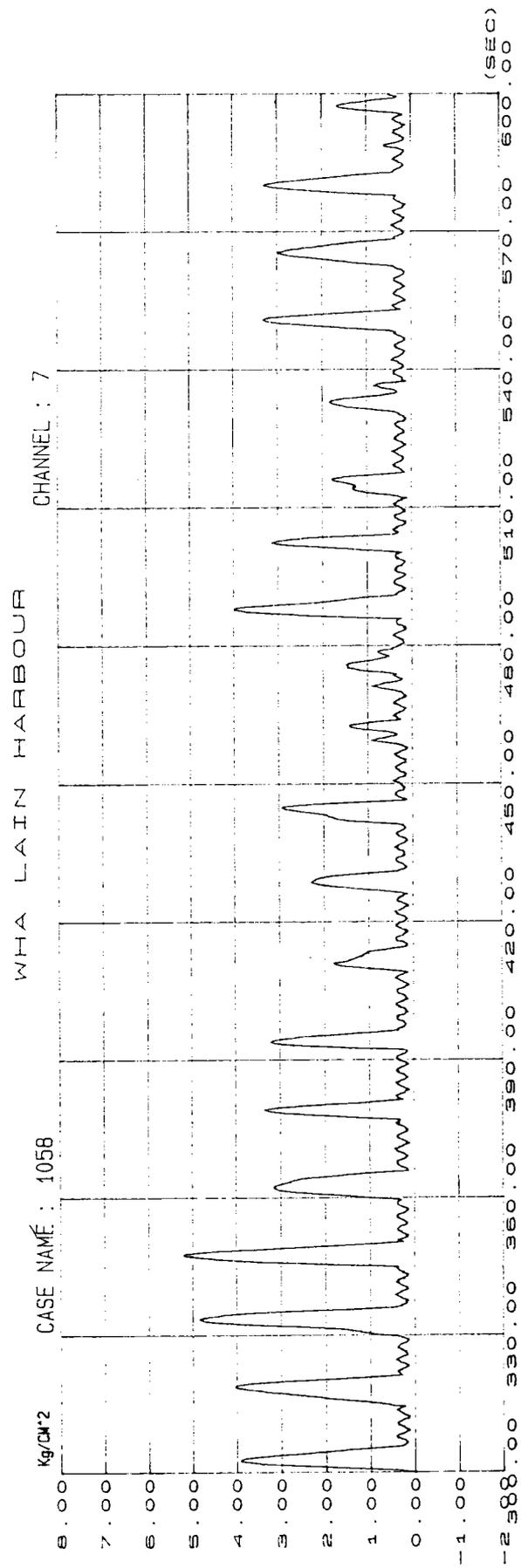
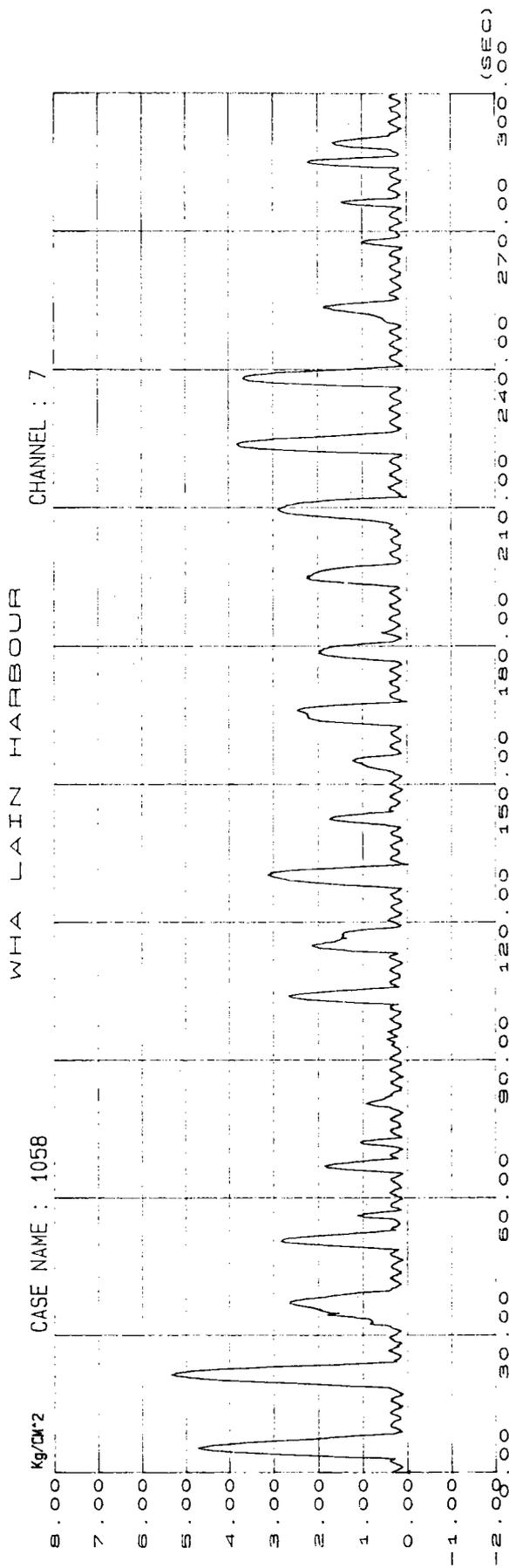


圖 4-1 波壓延時變化(原始資料)

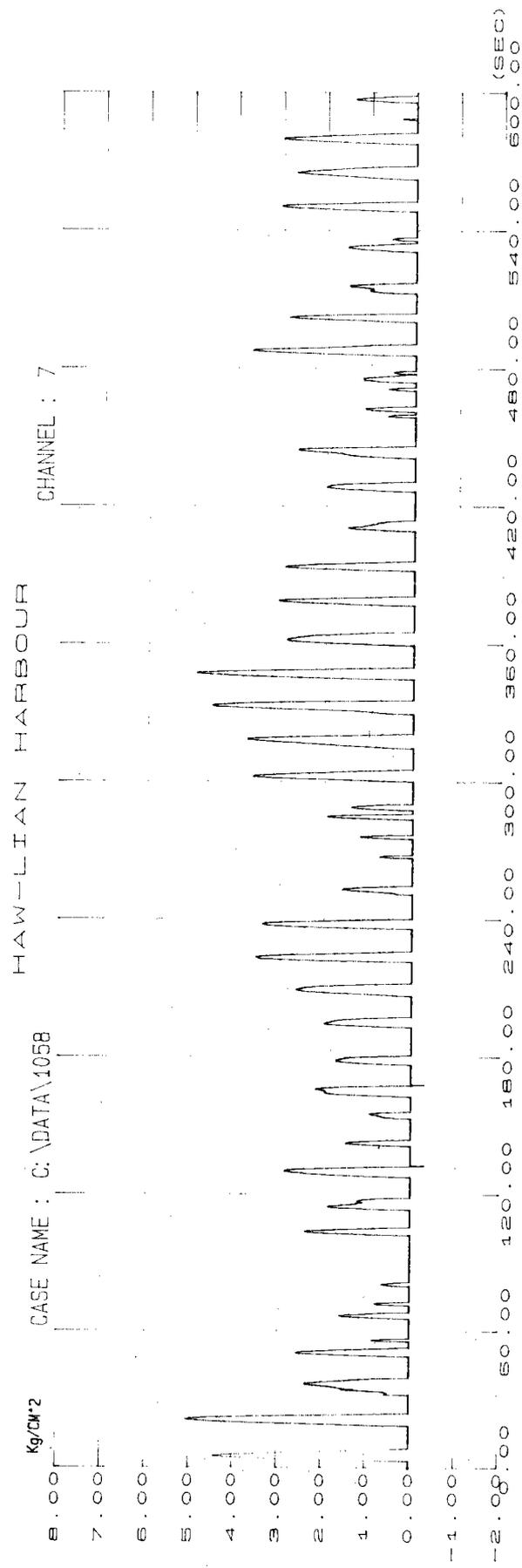


圖4-2 波壓延時變化(高頻濾掉歸零後)

 * A:1058.OUT *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
45											
1	5.40	5.71	4.35	3.90	2.60	1.63	4.95	4.40	3.13	2.47	1.57
2	21.40	7.03	5.63	5.30	3.99	2.81	5.70	5.05	3.73	3.13	2.13
3	36.80	4.70	3.50	2.80	1.51	0.00	3.30	2.34	1.35	0.45	0.00
4	50.80	3.71	2.45	1.93	0.81	0.00	3.12	2.54	1.47	0.86	0.00
5	55.30	2.02	0.89	0.00	0.00	0.00	1.32	0.84	0.00	0.00	0.00
6	66.60	2.32	1.23	0.58	0.00	0.00	2.15	1.57	0.62	0.00	0.00
7	72.20	1.77	0.54	0.00	0.00	0.00	1.30	0.77	0.00	0.00	0.00
8	81.40	1.68	0.65	0.00	0.00	0.00	1.64	0.64	0.00	0.00	0.00
9	85.60	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
10	97.00	1.37	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	103.60	3.41	2.36	1.63	0.00	0.00	3.19	2.37	1.33	0.05	0.00
12	116.80	3.10	1.99	0.00	0.00	0.00	3.00	1.85	0.00	0.00	0.00
13	130.20	4.54	3.44	2.76	1.78	0.00	3.95	2.83	1.89	0.81	0.00
14	142.40	2.46	1.19	0.60	0.00	0.00	2.14	1.46	0.58	0.00	0.00
15	154.00	2.16	1.01	0.00	0.00	0.00	2.05	0.93	0.00	0.00	0.00
16	165.60	3.98	2.82	2.03	0.00	0.00	3.27	2.15	1.09	0.00	0.00
17	178.40	3.24	1.98	1.33	0.00	0.00	2.78	1.69	0.88	0.00	0.00
18	195.20	3.29	1.91	1.21	0.00	0.00	2.92	1.96	0.93	0.00	0.00
19	209.80	4.90	3.61	3.10	2.06	0.00	3.68	2.60	1.52	0.43	0.00
20	224.00	4.88	3.51	2.83	1.73	0.30	4.42	3.52	2.54	1.89	0.94
21	238.40	4.67	3.41	2.38	1.79	0.43	4.36	3.37	2.52	1.84	0.91
22	253.40	2.92	1.81	0.93	0.00	0.00	2.46	1.57	0.63	0.00	0.00
23	267.20	1.64	0.57	0.00	0.00	0.00	1.43	0.74	0.00	0.00	0.00
24	275.80	1.82	0.81	0.00	0.00	0.00	1.87	1.17	0.00	0.00	0.00
25	284.60	2.63	1.64	0.96	0.00	0.00	2.56	1.92	1.06	0.00	0.00
26	289.00	2.92	1.71	1.05	0.00	0.00	2.36	1.38	0.82	0.00	0.00
27	302.60	5.03	3.68	3.26	2.03	0.80	4.21	3.62	2.55	1.91	1.11
28	318.60	5.65	4.39	3.71	2.50	1.40	4.74	3.75	2.43	1.29	0.56
29	333.40	6.80	5.41	5.17	3.89	2.00	5.21	4.55	3.27	2.66	1.46
30	347.40	6.56	5.32	4.91	3.67	2.65	5.66	4.90	3.59	2.65	1.67
31	362.80	4.76	3.44	2.63	1.51	0.00	3.36	2.86	1.82	0.96	0.00
32	379.00	4.42	3.25	2.53	1.36	0.60	3.67	3.06	1.95	0.98	0.54
33	394.01	4.50	3.30	2.92	1.93	0.62	3.56	2.91	1.90	1.05	0.47
34	413.81	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	0.00	0.00	0.00	0.00
35	429.01	3.62	2.41	1.49	0.00	0.00	3.04	1.99	1.02	0.00	0.00
36	444.41	4.37	3.22	2.45	1.34	0.00	3.50	2.63	1.53	0.66	0.00
37	461.81	2.95	1.77	0.00	0.00	0.00	1.63	1.12	0.00	0.00	0.00
38	475.21	2.13	1.03	0.00	0.00	0.00	2.34	1.18	0.00	0.00	0.00
39	488.21	4.82	3.40	2.80	1.53	0.00	4.35	3.68	2.52	1.51	0.00
40	502.01	4.56	3.31	2.87	1.69	0.60	3.38	2.85	1.76	1.06	0.44
41	515.41	3.01	1.89	1.00	0.00	0.00	2.56	1.49	0.52	0.00	0.00
42	551.02	4.24	2.83	2.16	0.99	0.00	3.34	3.04	1.98	0.89	0.00
43	565.62	4.29	2.97	2.40	1.28	0.00	3.53	2.70	1.43	0.55	0.00
44	580.22	4.44	3.06	2.55	1.46	0.00	3.70	3.00	1.83	0.76	0.00
45	597.62	1.90	0.66	0.00	0.00	0.00	2.12	1.37	0.00	0.00	0.00

表4-1(a) 波壓峰值時序數據資料(08/05/10)

 * A:10510.OUT *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
47											
1	14.60	2.87	1.58	0.67	0.00	0.00	2.56	1.58	0.65	0.00	0.00
2	27.60	2.45	1.29	0.00	0.00	0.00	2.59	1.51	0.00	0.00	0.00
3	40.40	1.97	0.79	0.00	0.00	0.00	1.67	0.44	0.00	0.00	0.00
4	49.60	2.72	1.49	0.55	0.00	0.00	2.74	1.91	0.93	0.00	0.00
5	60.20	3.43	2.27	1.30	0.00	0.00	3.19	2.18	1.10	0.00	0.00
6	75.00	4.43	3.06	2.28	1.41	0.51	3.92	3.06	1.94	0.80	0.34
7	90.40	3.97	2.70	1.94	0.00	0.00	3.19	2.03	0.89	0.00	0.00
8	103.60	3.47	2.32	1.42	0.61	0.00	3.46	2.61	1.54	0.49	0.00
9	119.20	3.40	2.18	1.31	0.00	0.00	2.66	1.48	0.58	0.00	0.00
10	133.20	2.17	1.03	0.00	0.00	0.00	1.73	0.83	0.00	0.00	0.00
11	150.60	4.47	3.14	2.30	1.27	0.00	3.96	2.73	1.57	0.63	0.00
12	165.80	4.92	3.70	2.90	2.07	0.30	3.98	2.83	1.53	0.55	0.00
13	179.60	4.76	3.61	3.00	2.24	0.96	4.28	3.21	2.27	1.40	0.56
14	195.60	5.34	4.11	3.57	2.51	1.51	4.10	3.10	2.23	1.36	0.79
15	207.60	2.22	0.96	0.00	0.00	0.00	2.42	1.23	0.00	0.00	0.00
16	221.60	3.95	2.91	2.07	1.46	0.00	3.38	2.38	1.51	0.76	0.00
17	232.00	1.86	0.72	0.00	0.00	0.00	2.14	1.22	0.00	0.00	0.00
18	251.20	2.44	1.27	0.46	0.00	0.00	2.13	1.25	0.36	0.00	0.00
19	264.80	3.32	2.18	0.00	0.00	0.00	2.66	1.44	0.00	0.00	0.00
20	276.80	2.75	1.57	0.81	0.00	0.00	2.73	1.70	0.81	0.00	0.00
21	289.20	2.08	1.02	0.00	0.00	0.00	2.58	1.64	0.00	0.00	0.00
22	300.40	4.71	3.58	2.97	2.21	1.24	4.29	3.50	2.47	1.52	1.01
23	313.00	5.19	4.04	3.37	2.63	1.59	4.40	3.42	2.25	1.38	0.50
24	326.20	3.67	2.51	1.71	0.00	0.00	3.29	2.15	0.99	0.00	0.00
25	338.60	2.17	1.06	0.00	0.00	0.00	2.49	1.53	0.00	0.00	0.00
26	354.00	2.08	0.93	0.00	0.00	0.00	2.00	0.98	0.00	0.00	0.00
27	364.20	2.07	0.94	0.00	0.00	0.00	2.58	1.70	0.00	0.00	0.00
28	390.01	2.86	1.79	1.00	0.00	0.00	2.99	2.11	1.18	0.00	0.00
29	400.61	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00
30	414.01	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00
31	425.21	1.52	0.52	0.00	0.00	0.00	1.29	0.40	0.00	0.00	0.00
32	430.81	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00
33	445.61	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00
34	455.01	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
35	460.61	1.33	0.37	0.00	0.00	0.00	1.39	0.45	0.00	0.00	0.00
36	473.01	3.25	2.07	1.37	0.00	0.00	2.56	1.44	0.40	0.00	0.00
37	484.61	2.44	1.32	0.63	0.00	0.00	2.82	1.69	0.77	0.00	0.00
38	497.21	1.66	0.66	0.00	0.00	0.00	1.97	0.92	0.00	0.00	0.00
39	501.81	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00
40	511.41	2.41	1.32	0.00	0.00	0.00	1.90	0.83	0.00	0.00	0.00
41	514.61	1.41	0.53	0.00	0.00	0.00	1.25	0.36	0.00	0.00	0.00
42	525.21	5.06	3.92	3.11	2.19	0.96	4.56	3.53	2.43	1.64	0.86
43	539.01	1.78	0.71	0.00	0.00	0.00	1.72	0.72	0.00	0.00	0.00
44	547.41	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00
45	558.42	4.73	3.55	2.69	1.95	0.76	4.39	3.31	2.27	1.50	0.68
46	573.92	4.30	3.02	2.10	0.00	0.00	3.77	2.67	1.45	0.00	0.00
47	587.22	3.88	2.71	1.89	0.00	0.00	3.39	2.22	1.05	0.00	0.00

表4-1(b) 波壓峰值時序數據資料(10/05/10)

WHA LAIN HARBOUR

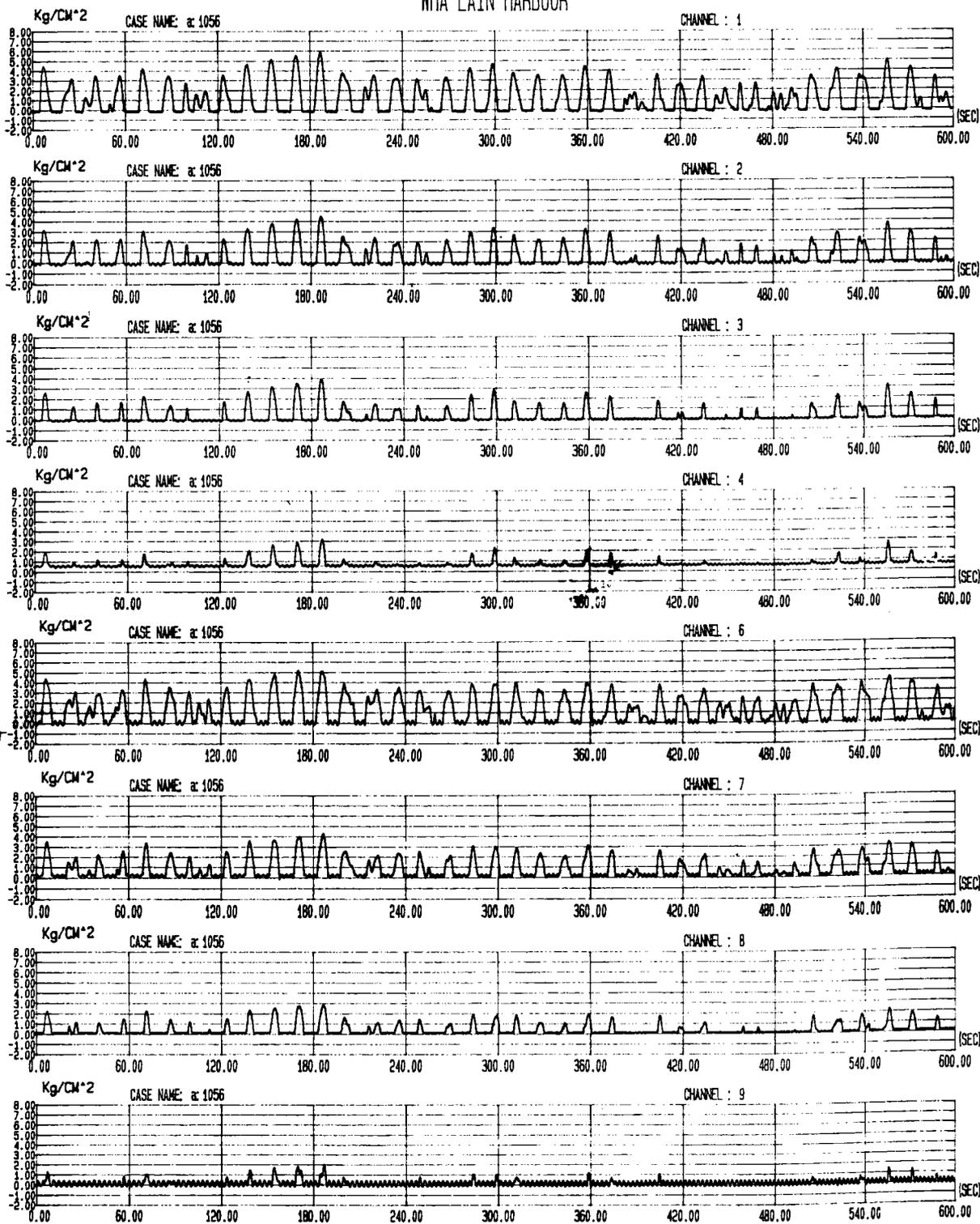


圖4-3(a) 波壓時序變化

WHA LAIN HARBOUR

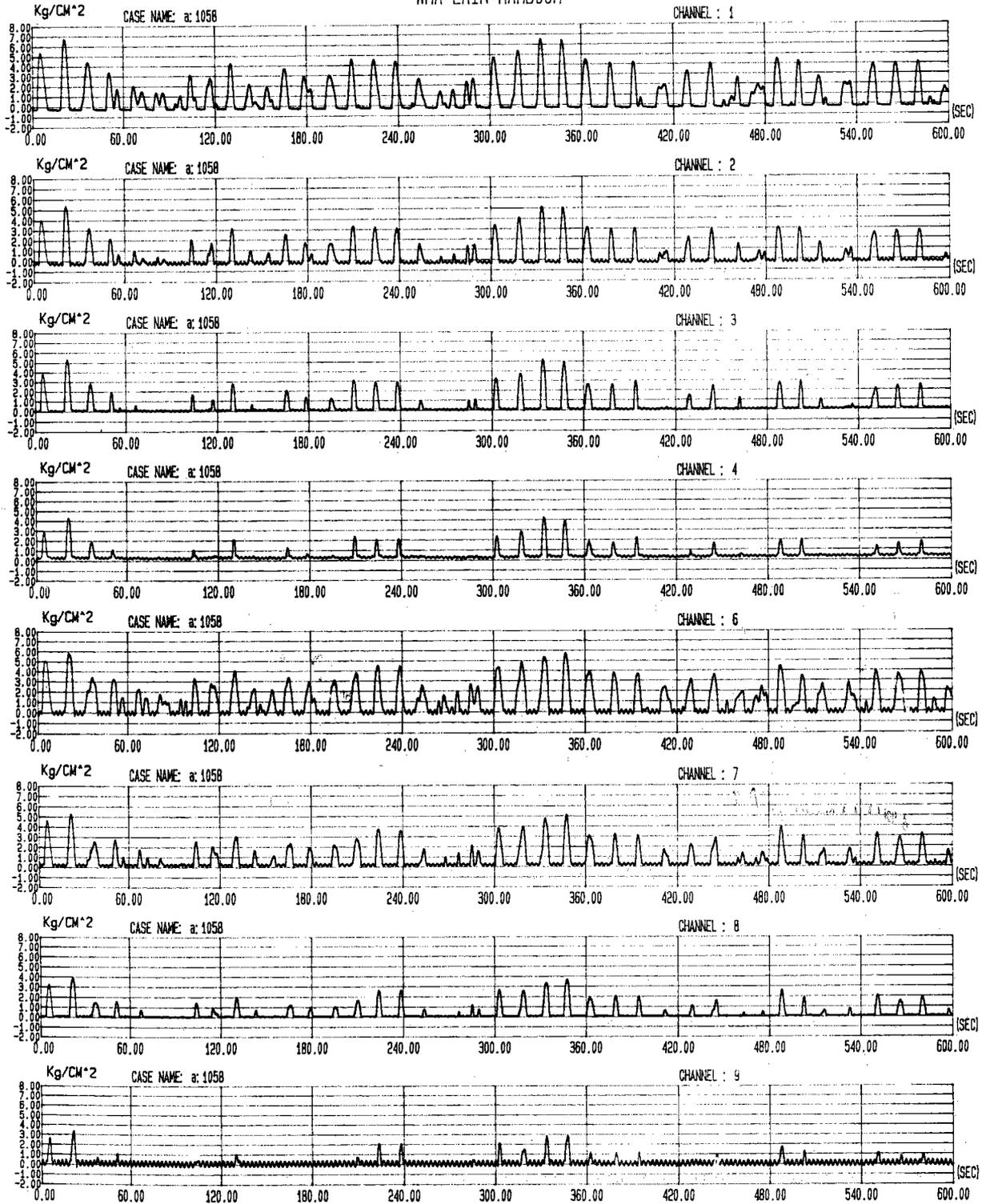


圖4-3(b) 波壓時序變化

WHA LAIN HARBOUR

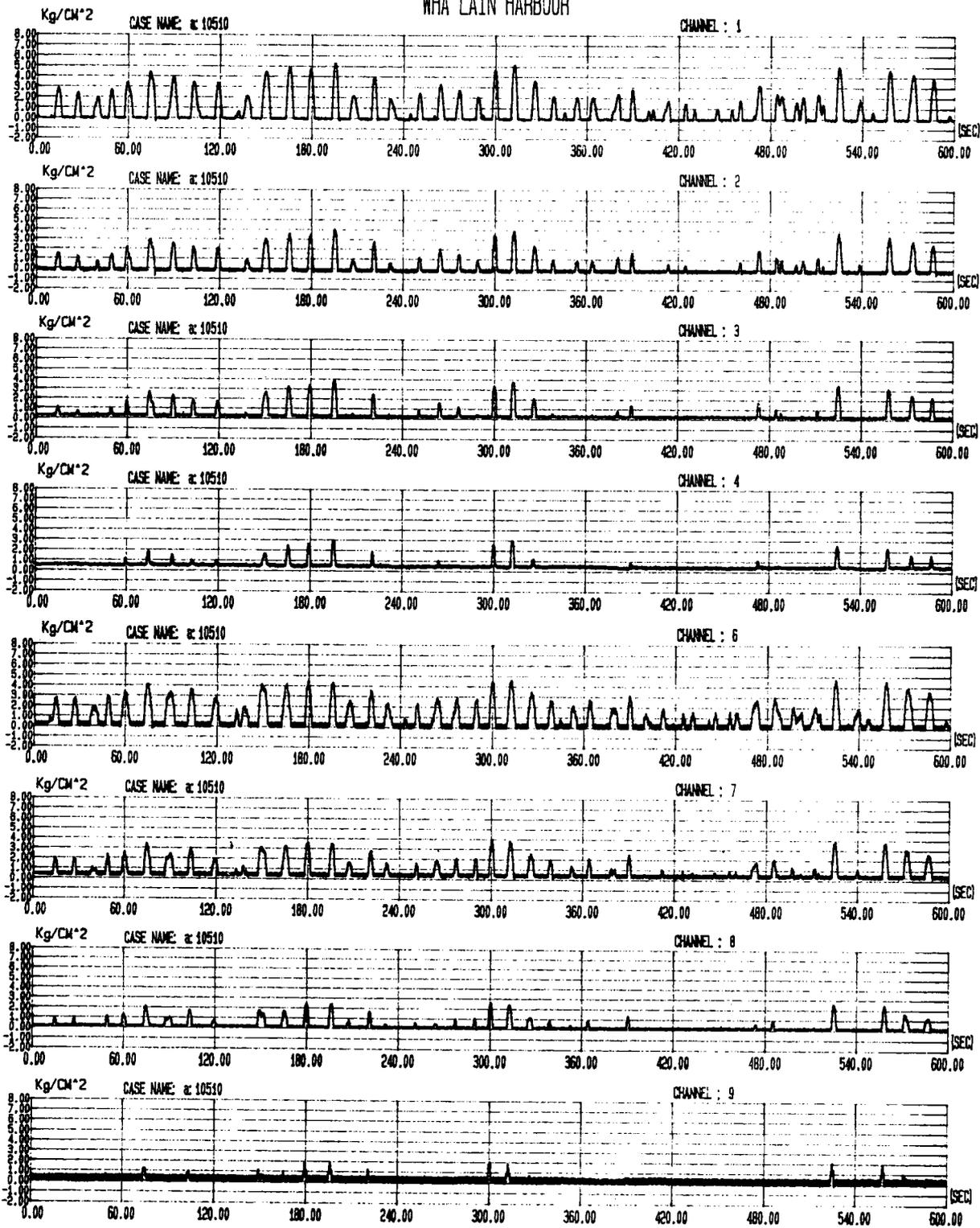


圖4-3(c) 波壓時序變化

WHA LAIN HARBOUR

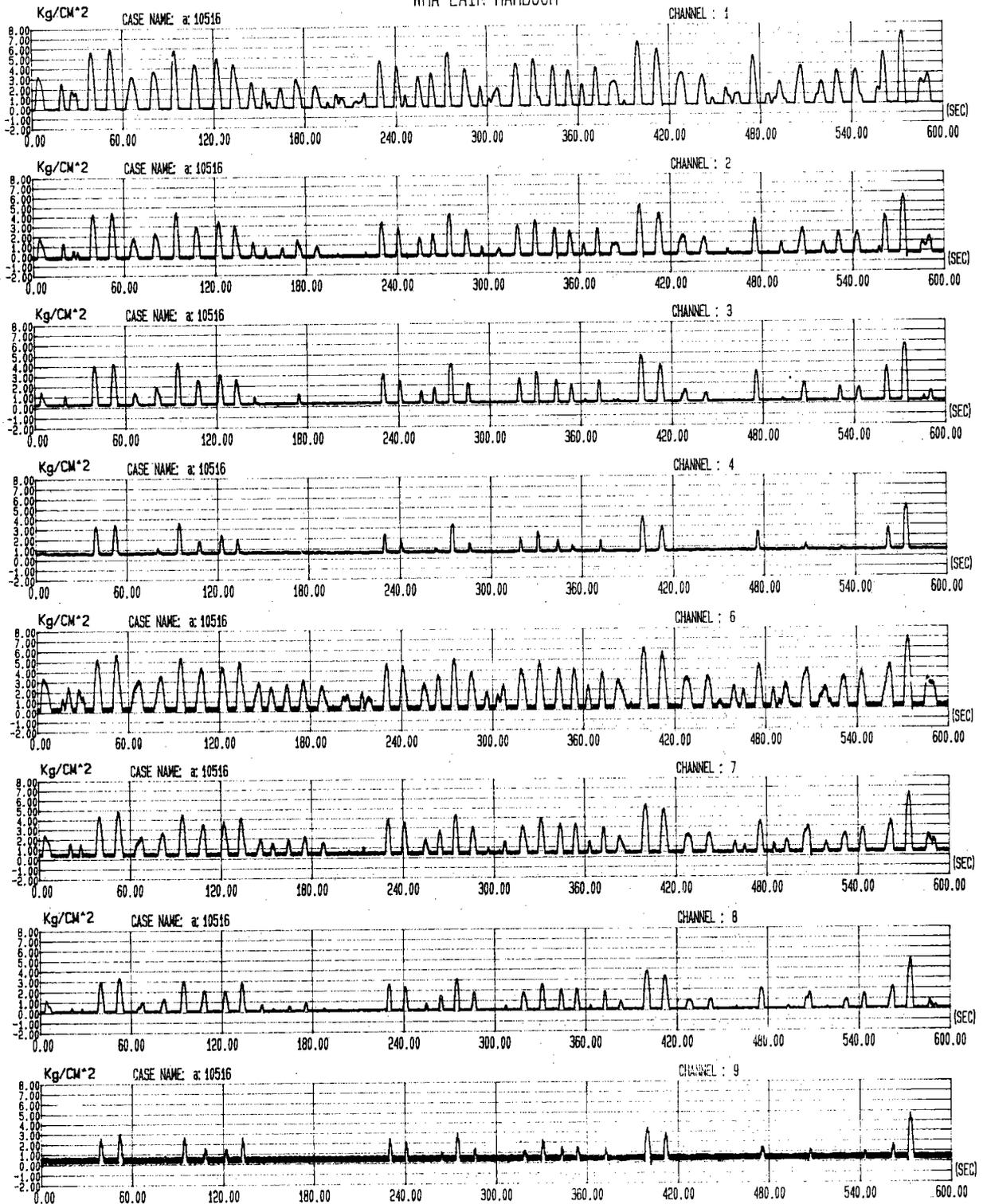


圖4-3(d) 波壓時序變化

WHA LAIN HARBOUR

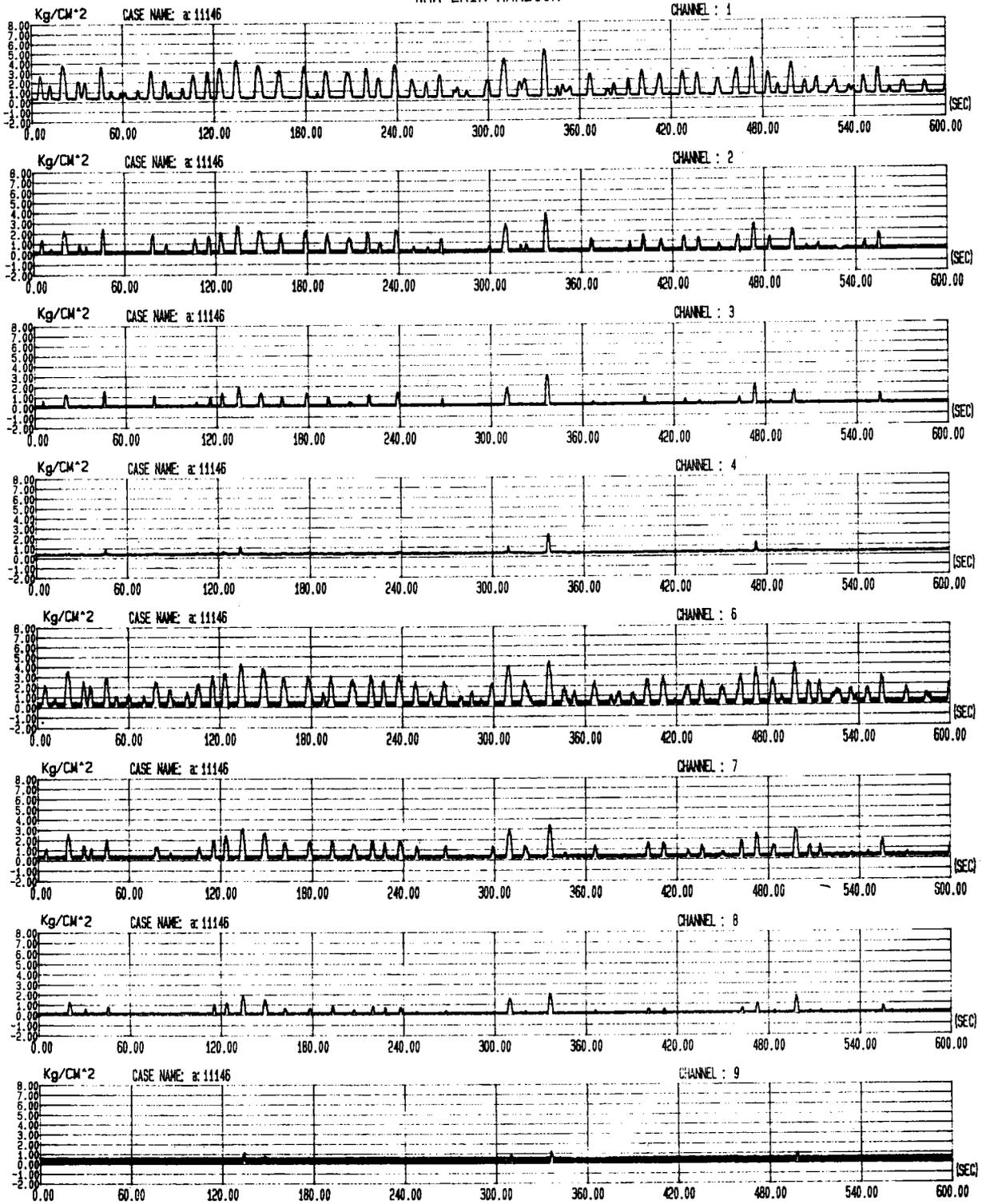


圖4-3(e) 波壓時序變化

WHA LAIN HARBOUR

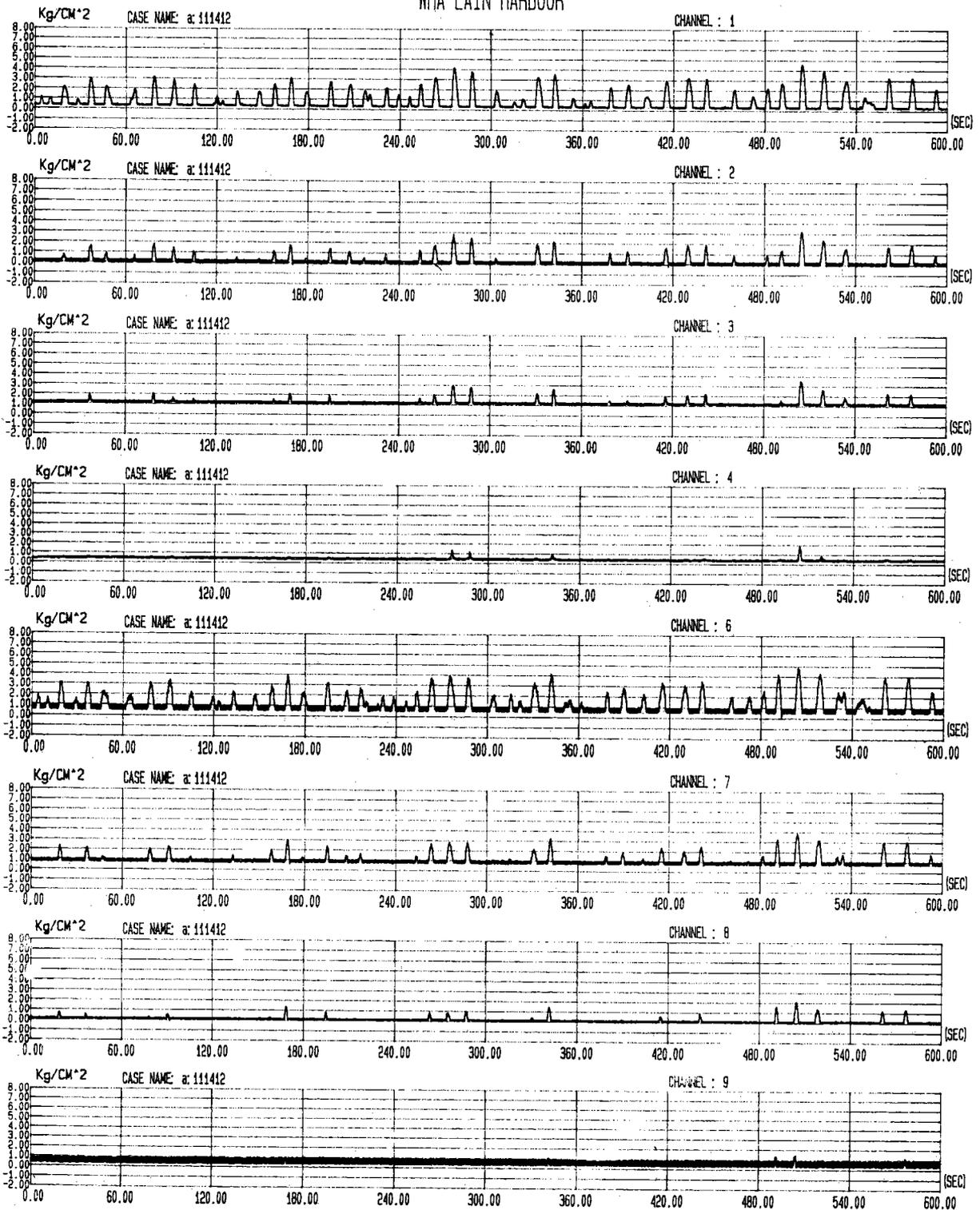


圖4-3(f) 波壓時序變化

WHA LAIN HARBOUR

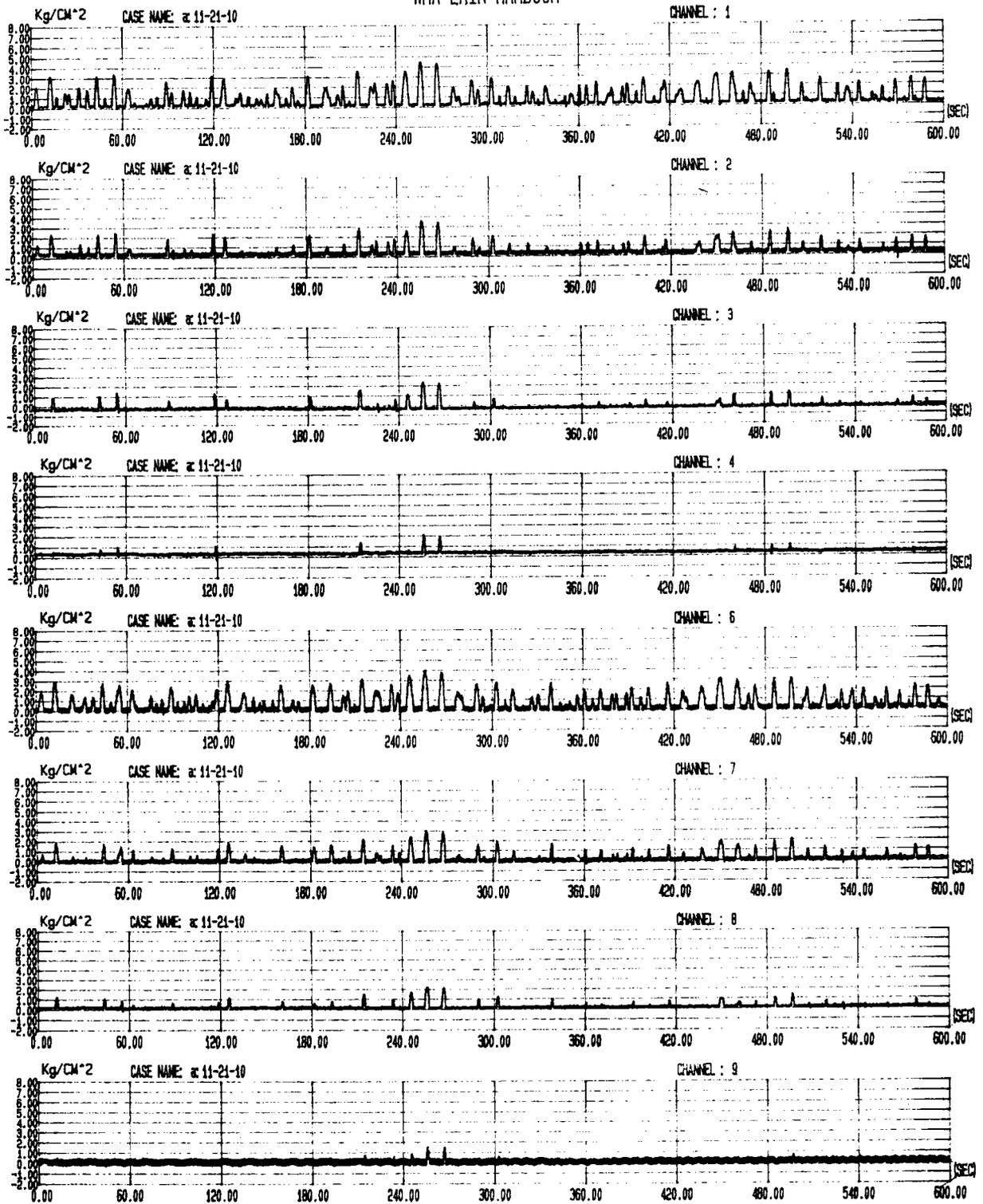


圖4-3(g) 波壓時序變化

(三)波壓分佈特性

十分鐘紀錄資料，波壓峰值分佈如圖 4-4 所示，當潮位較大時，安置於高程 1.5m 處實體牆之波壓計，(CH1,及CH6)位在平均水位以下波壓成近似常態分佈。開孔胸牆斷面小波壓所佔比例較直立牆斷面略高，主要受頂部開孔胸牆影響。隨高程增加，波壓計安裝在開孔胸牆所測得小波壓比例較直立牆增加，顯現出開孔胸牆消減波壓功能。低潮位時，除較大波浪外，因波浪作用未達開孔胸牆，消減波壓功能較高潮位時不顯著。

(四)相對應時序波壓特性

同一波列波浪作用於開孔胸牆與直立牆所造成尖峰波壓比值繪如圖 4-5。圖 4-5(a)根據迴歸線顯示，當 10 月 5 日海蒂颱風掠過台灣東方海上時，在花蓮造成巨大長週期湧浪，最低層之 CH6 與 CH1 相較，消壓功能不大。安裝於高程 2.6m 之 CH7 與同高程 CH2 相較約可消減 8% 波壓。高程增加至 3.4m，CH8 安裝在開孔胸牆最低處與安裝於直立牆上 CH3 相較波壓約減小 15%。隨高程增加消壓功能越顯著，高程 4.5m 時約可減小 22%。

在季節風較短週期波浪侵襲時，由圖 4-5(b)顯示，開孔胸牆消減波壓功能較在受長週期波浪作用下為佳。根據迴歸線顯示，安裝於沉箱頂部高程 2.6m 處，開孔胸牆斷面波壓 (CH7) 較直立牆斷面 (CH2) 消減波壓約 18%；隨高程增加消減波壓幅度增大。相對應時序開孔胸牆斷面與直立牆波壓峰值比，統計如圖 4-6。開孔胸牆與直立牆波壓峰值

FILE : A:100510.OUT

WL = 1.19 M

 SOLID WALL

 PERFORATED WALL

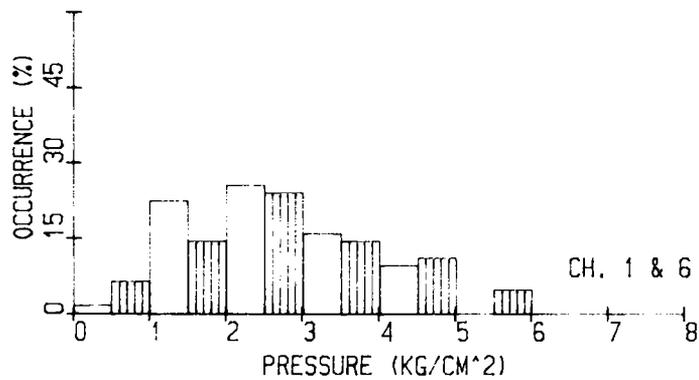
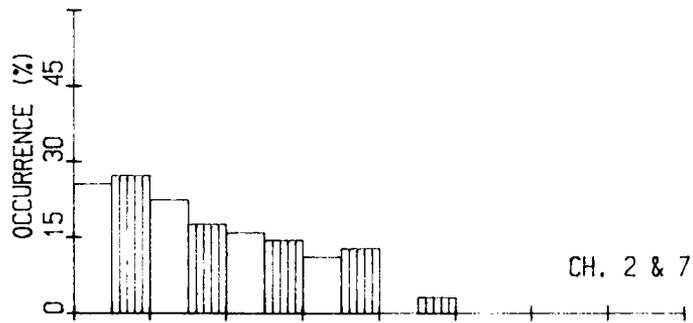
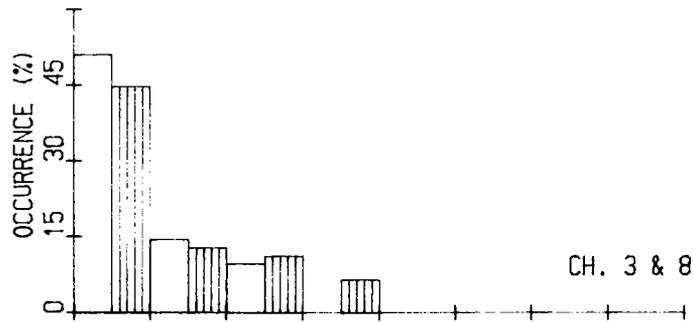
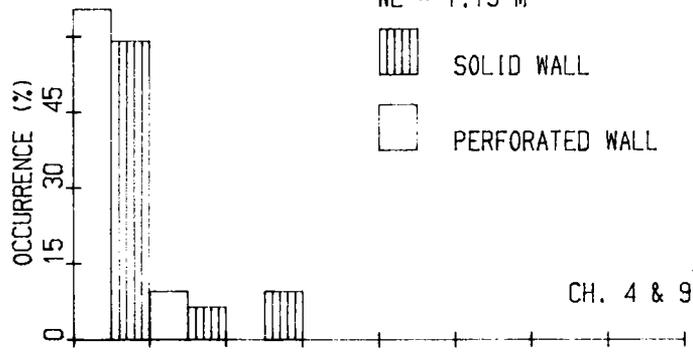


圖4-4(a) 波壓峰值分佈

FILE : A:100516.OUT

WL = 1.59 M

 SOLID WALL

 PERFORATED WALL

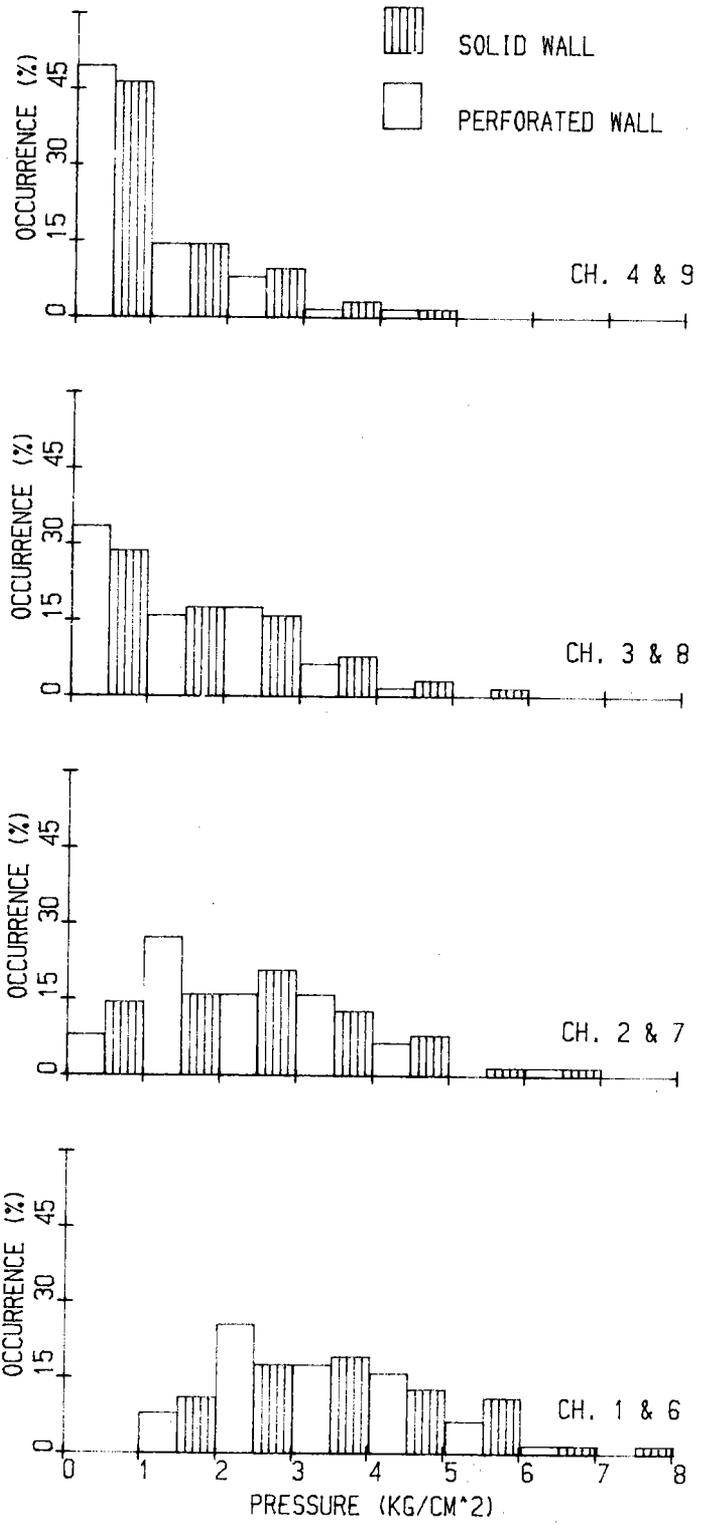


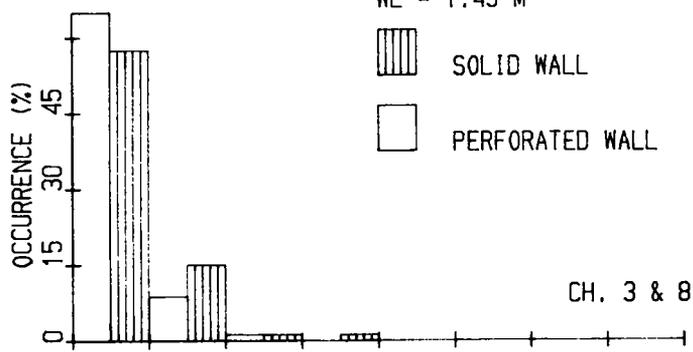
圖4-4(b) 波壓峰值分佈

FILE : A:111406.OUT

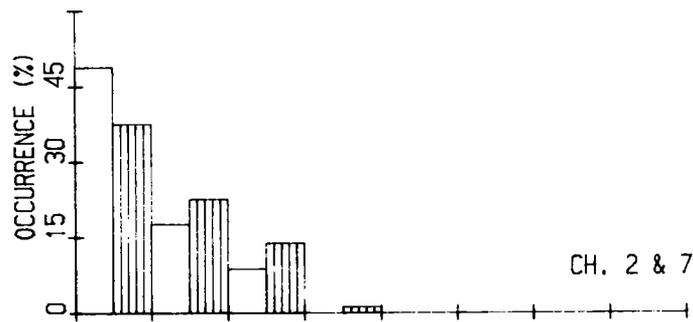
WL = 1.49 M

 SOLID WALL

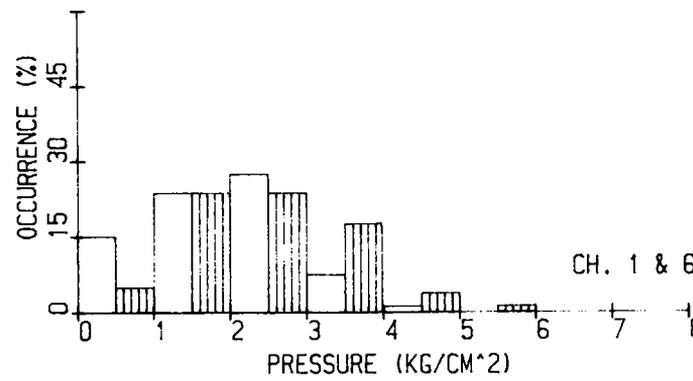
 PERFORATED WALL



CH. 3 & 8



CH. 2 & 7



CH. 1 & 6

圖4-4(c) 波壓峰值分佈

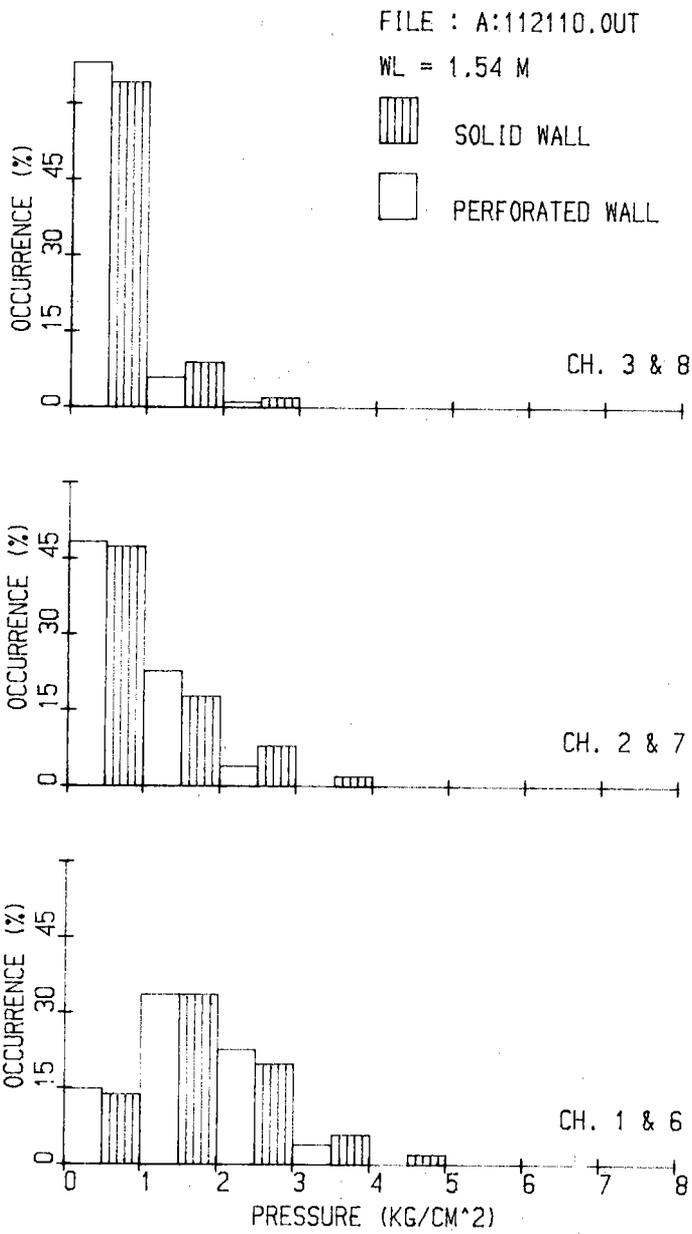


圖4-4(d) 波壓峰值分佈

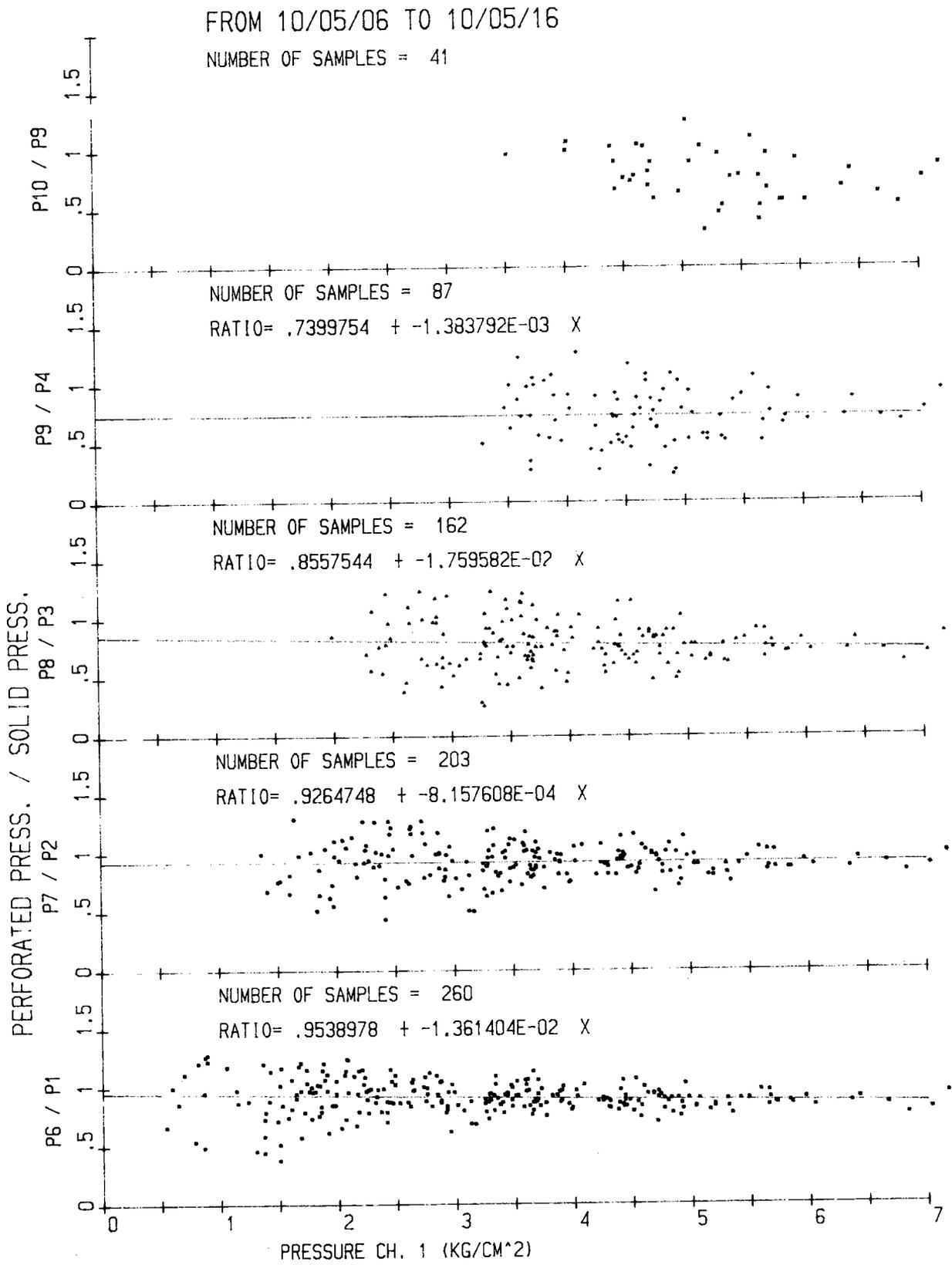


圖4-5(a) 相對應時序開孔胸牆與直立牆尖峰波壓比值(颱風湧浪)

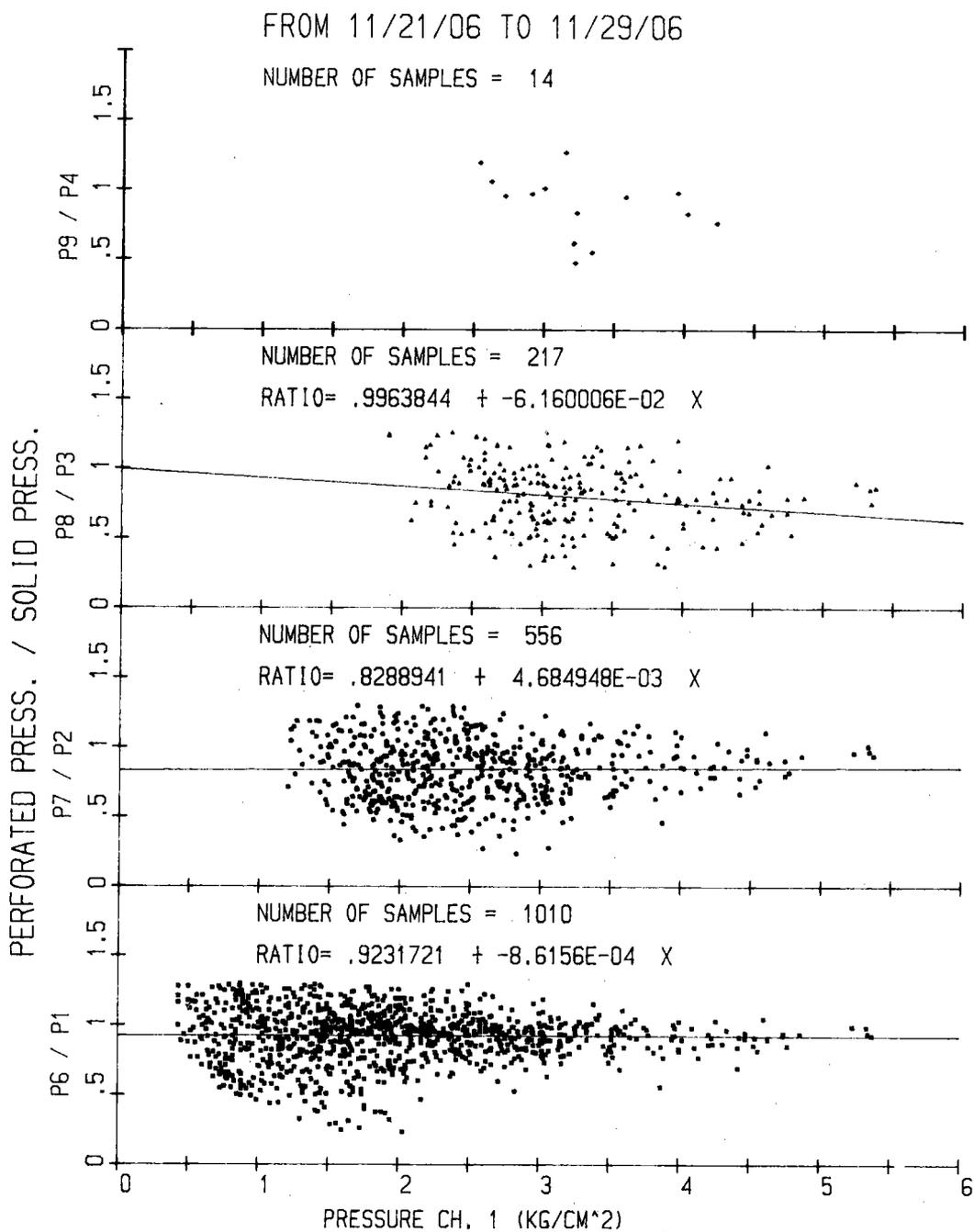


圖4-5(b) 相對應時序開孔胸牆與直立牆尖峰波壓比值(季節風浪)

RATIO CORRESP. PEAK PRESSURE

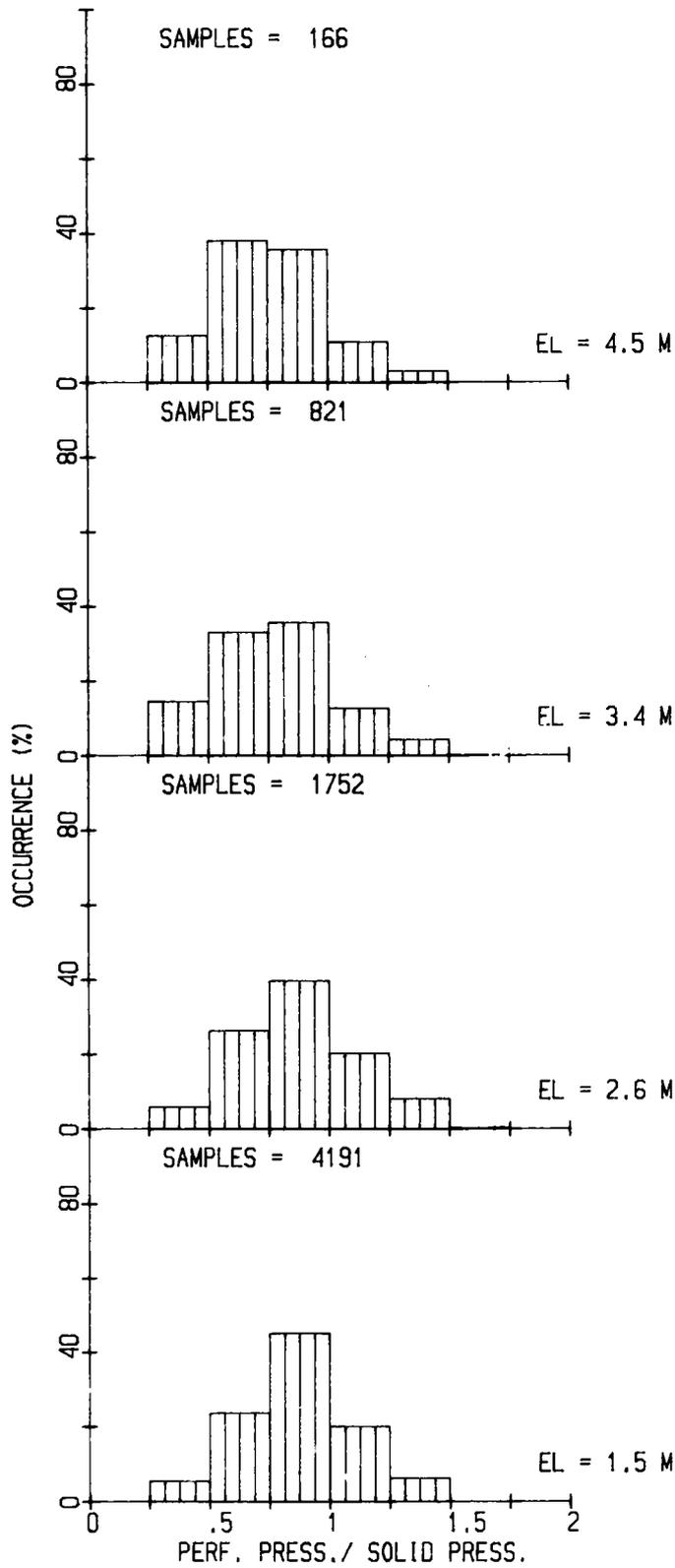


圖4-6 開孔胸牆與直立牆尖峰波壓比值統計

比小於 1.0 所佔百分比隨波壓計安裝高程增加而加大；由高程 1.5m 時約 74% 增加至高程 4.5m 時約 86%。

由上述結果顯示，開孔胸牆防波堤在越大波浪作用時，消滅波壓功能越顯著；對波浪週期而言，消滅波壓幅度短週期波浪較長週期波浪增加。高程 1.5m 及 2.6m 之 CH6 及 CH7 波壓計同樣安裝在沉箱基座上，但因其頂部為開孔胸牆，超過 75% 具有消波效能，且在越大波浪作用時消滅波壓效率越高。

(五) 波壓統計特性

利用波浪統計方法，將 10 分鐘波壓峰值資料加以統計，分別求出最大波壓 P_{max} ，最大 1/10 平均波壓 $P_{1/10}$ ，最大 1/3 平均波壓 $P_{1/3}$ (或 P_s) 及平均波壓 P_{ave} 。開孔胸牆與直立牆最大波壓，最大 1/3 平均波壓及平均波壓相對應關係分別繪如圖 4-7，圖 4-8 及圖 4-9。開孔胸牆與直立牆統計波壓比值繪如圖 1-10。開孔胸牆與直立牆統計波壓比值分別為 $(P_p/P_s)_{max}$ ， $(P_p/P_s)_{1/10}$ ， $(P_p/P_s)_{1/3}$ 及 $(P_p/P_s)_{ave}$ ，除極少紀錄時段外，波壓比值均小於 1.0。高程 2.6m 處 (CH2 及 CH7)，可能受消波水槽回流及波峰面沖擊影響，開孔胸牆與直立牆統計波壓比值 (P_p/P_s) 介於 1.0 與 1.25 間所佔百分比偏大，其中又以 $(P_p/P_s)_{1/3}$ 及 $(P_p/P_s)_{ave}$ 約佔 14% 最高。高程 3.4m 處 (CH3 及 CH8) 除最大及平均波壓比值 $(P_p/P_s)_{max}$ 與 $(P_p/P_s)_{ave}$ 約有 2% 大於 1.0 外，其餘開孔與直立牆統計波壓比值均小於 1.0，高程 4.5m 處 (P_p/P_s) 值均小於 1.0。隨高程增加，統計波壓比值 (P_p/P_s) 小於 0.75 以下所佔百分比逐漸提高；在高程大於 3.4m 處最大 1/3 平均波壓比 $(P_p/P_s)_{1/3}$ 及平均波壓比 $(P_p/P_s)_{ave}$ 小於 0.75 均超過 60%。

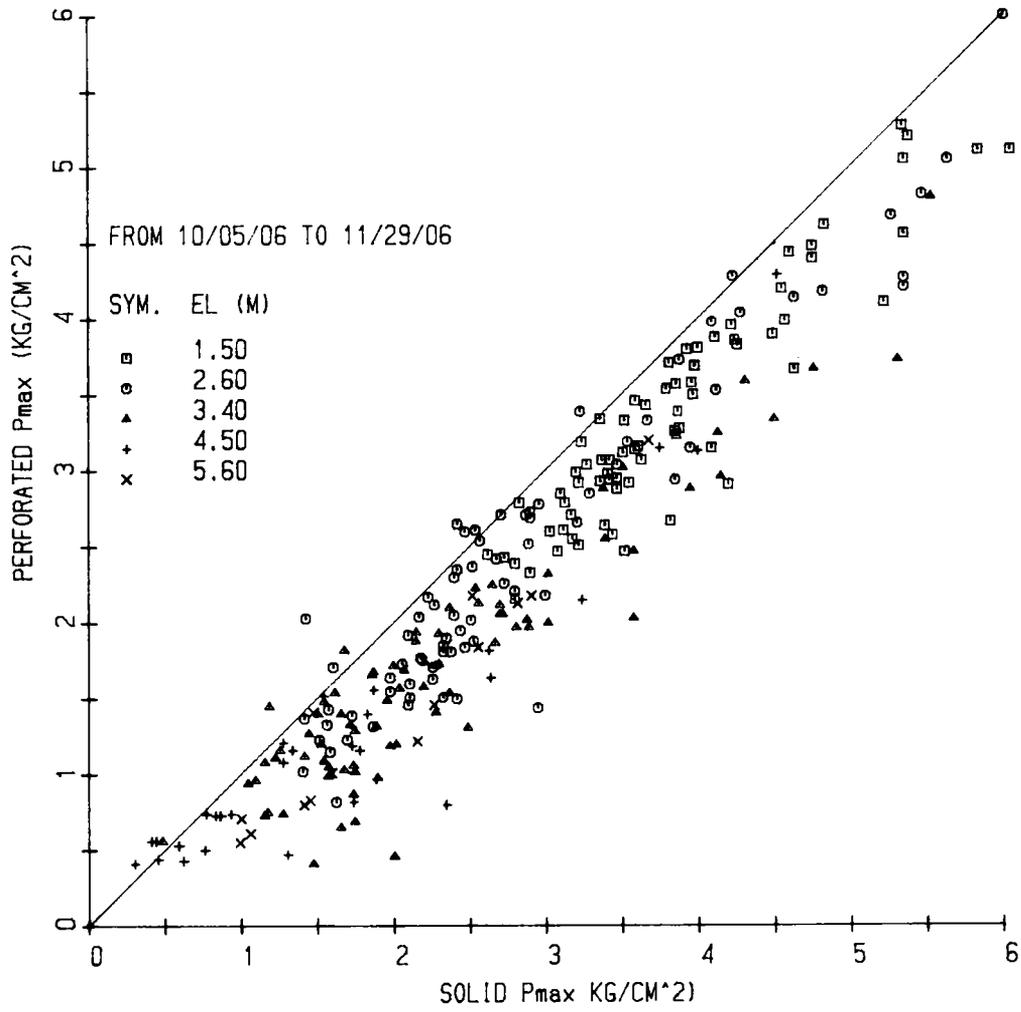


圖4-7 開孔胸牆與直立牆最大波壓關係

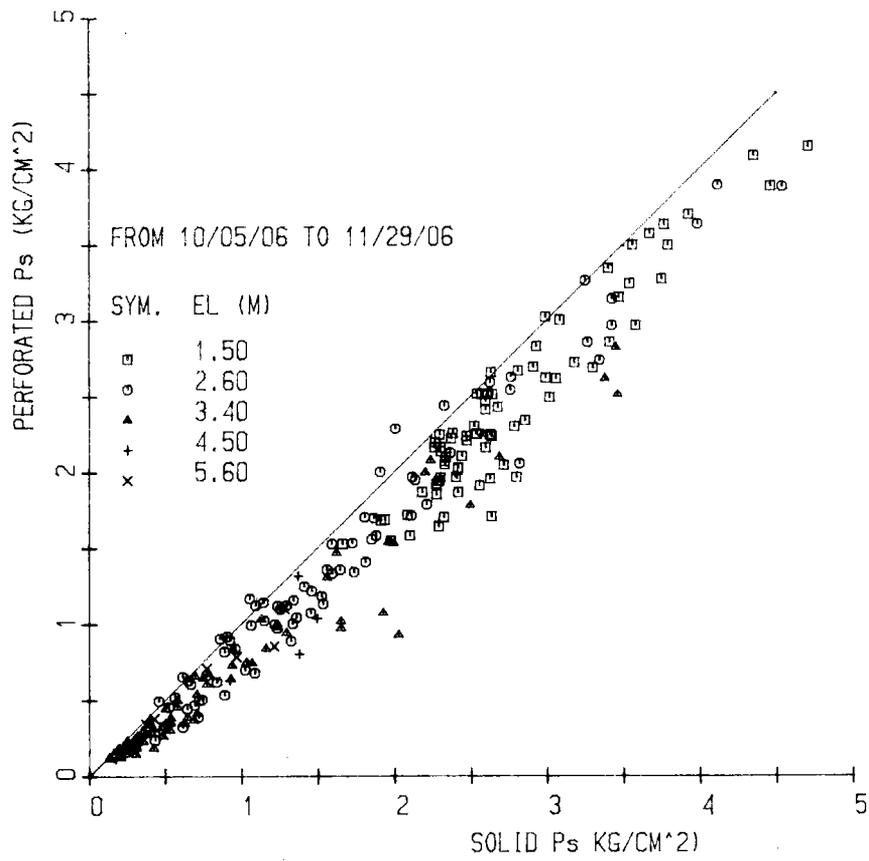


圖4-8 開孔胸牆與直立牆最大1/3平均波壓關係

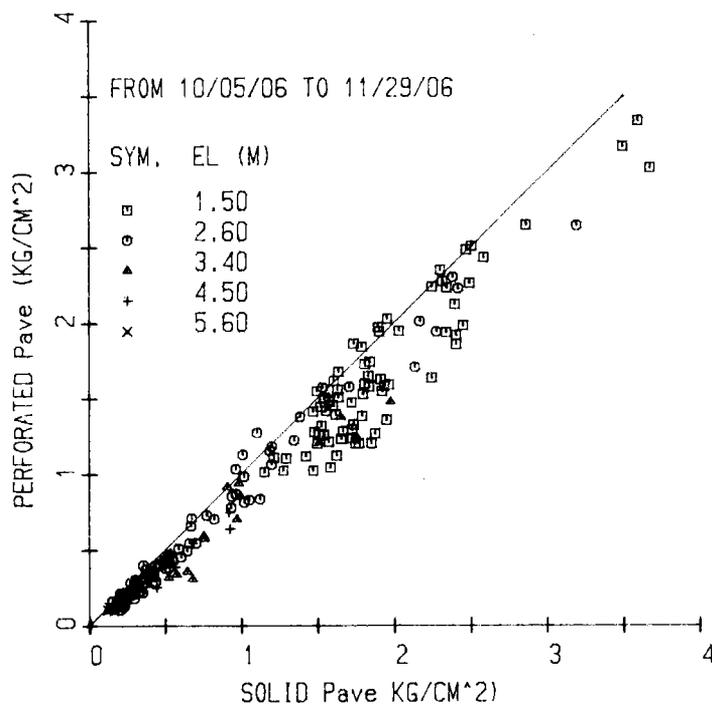


圖4-9 開孔胸牆與直立牆平均波壓關係

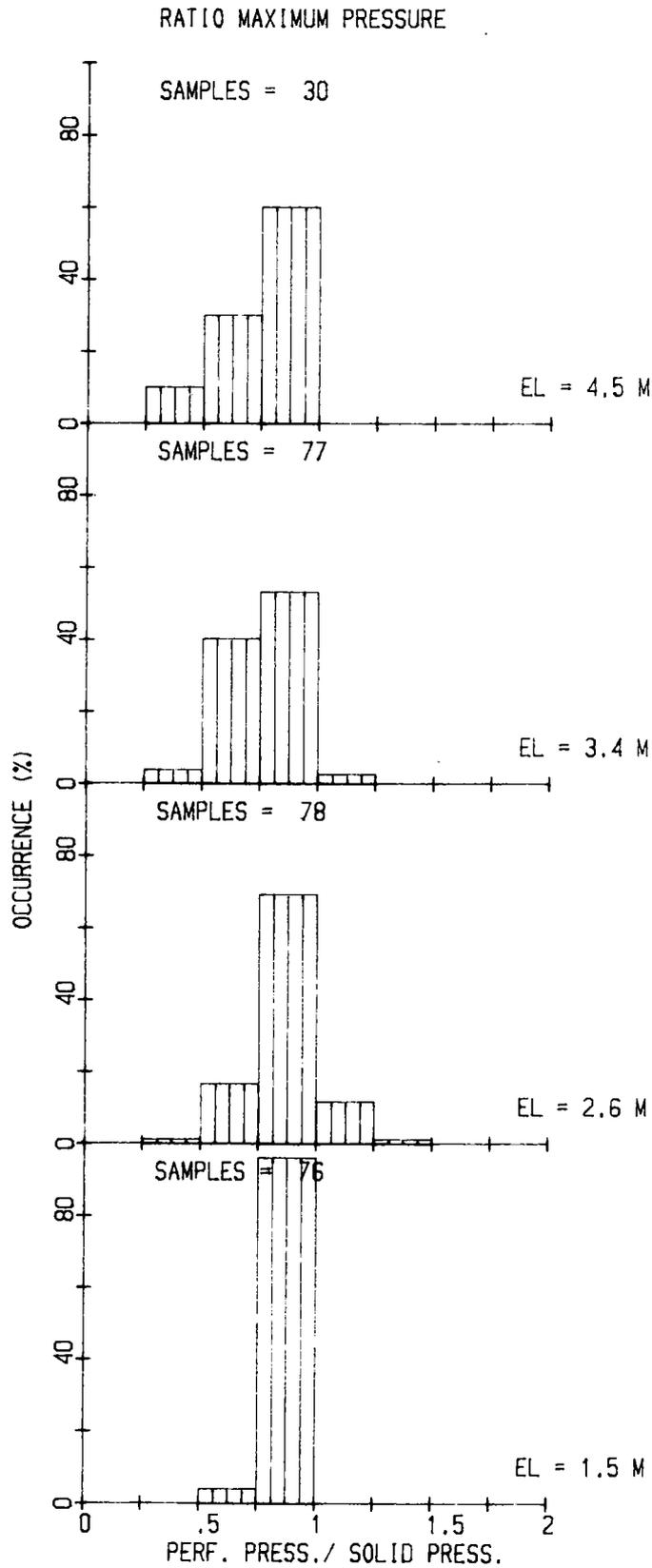


圖4-10(a) 開孔胸牆與直立牆統計波壓比值概率分佈(最大波壓)

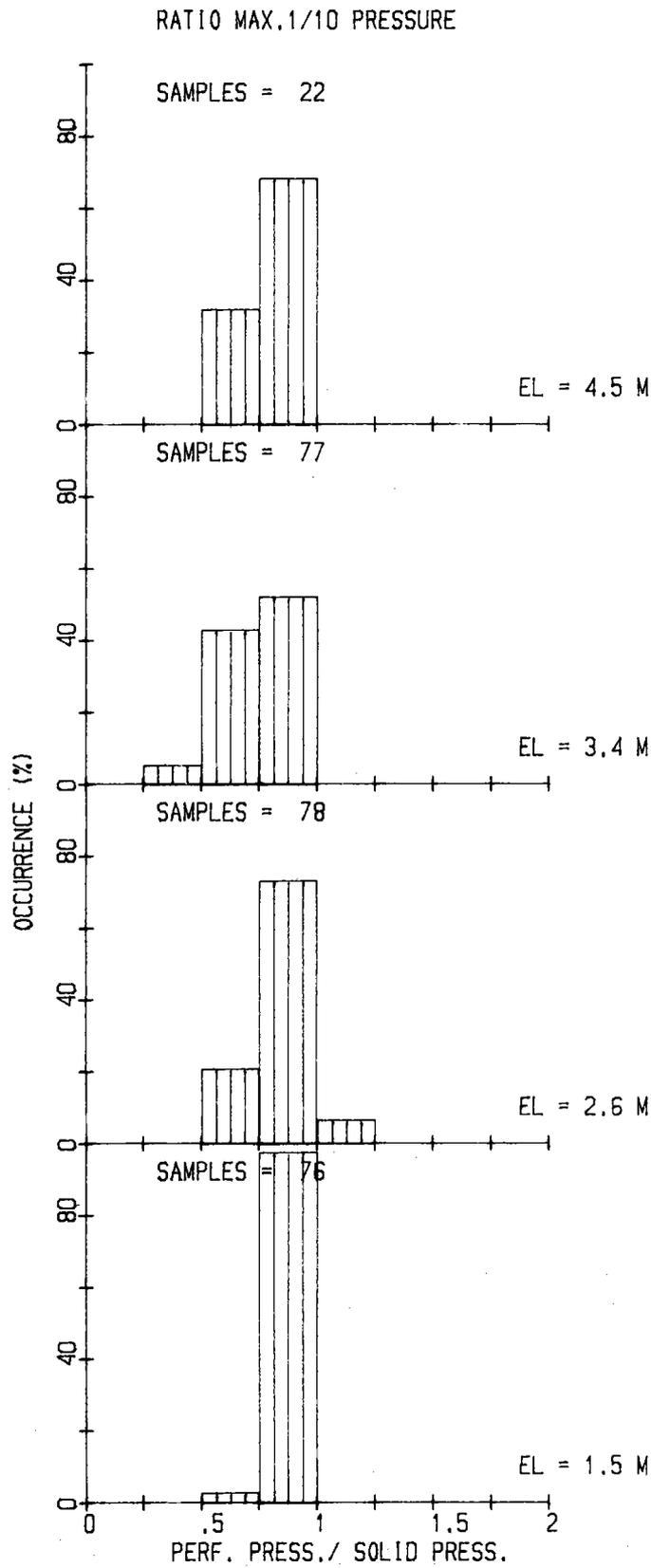


圖4-10(b) 開孔胸牆與直立牆統計波壓比值概率分佈(最大1/10平均波壓)

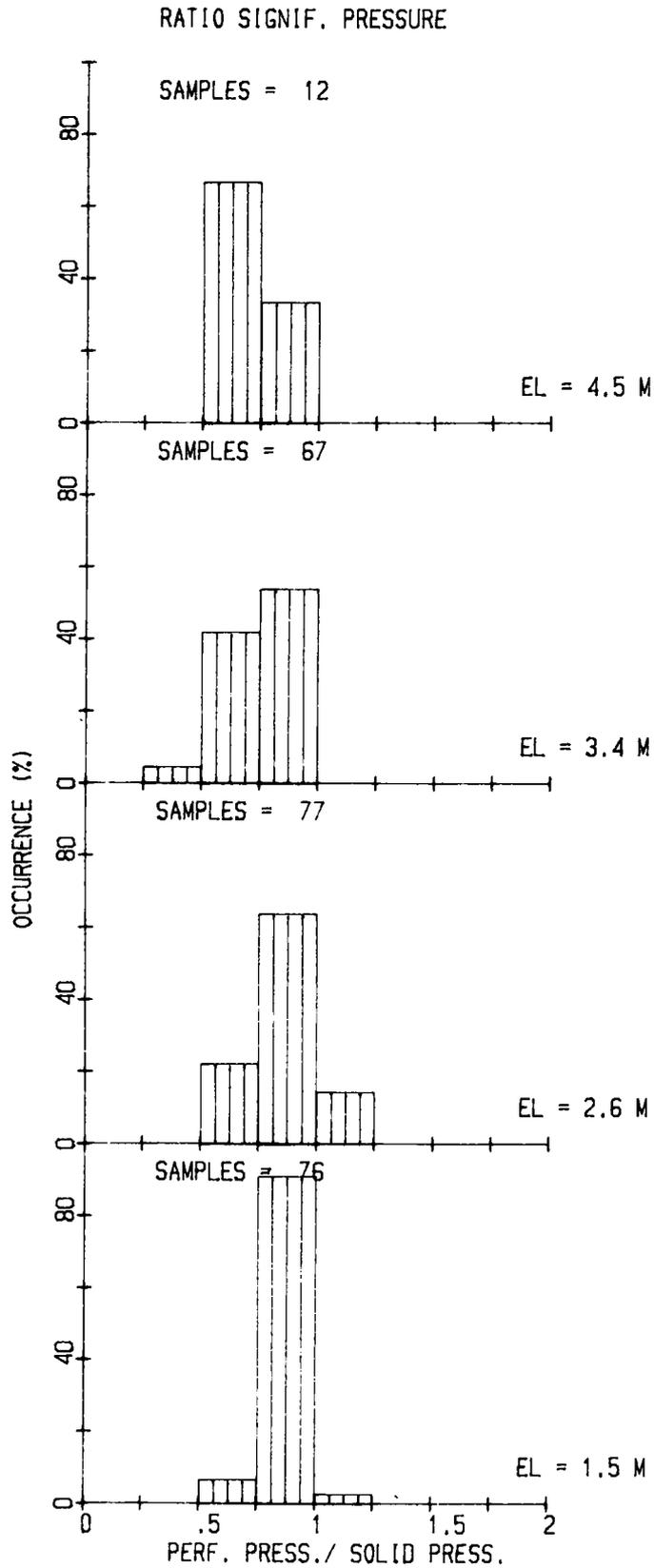


圖4-10(c) 開孔胸牆與直立牆統計波壓比值概率分佈(最大1/3平均波壓)

RATIO AVERAGE PRESSURE

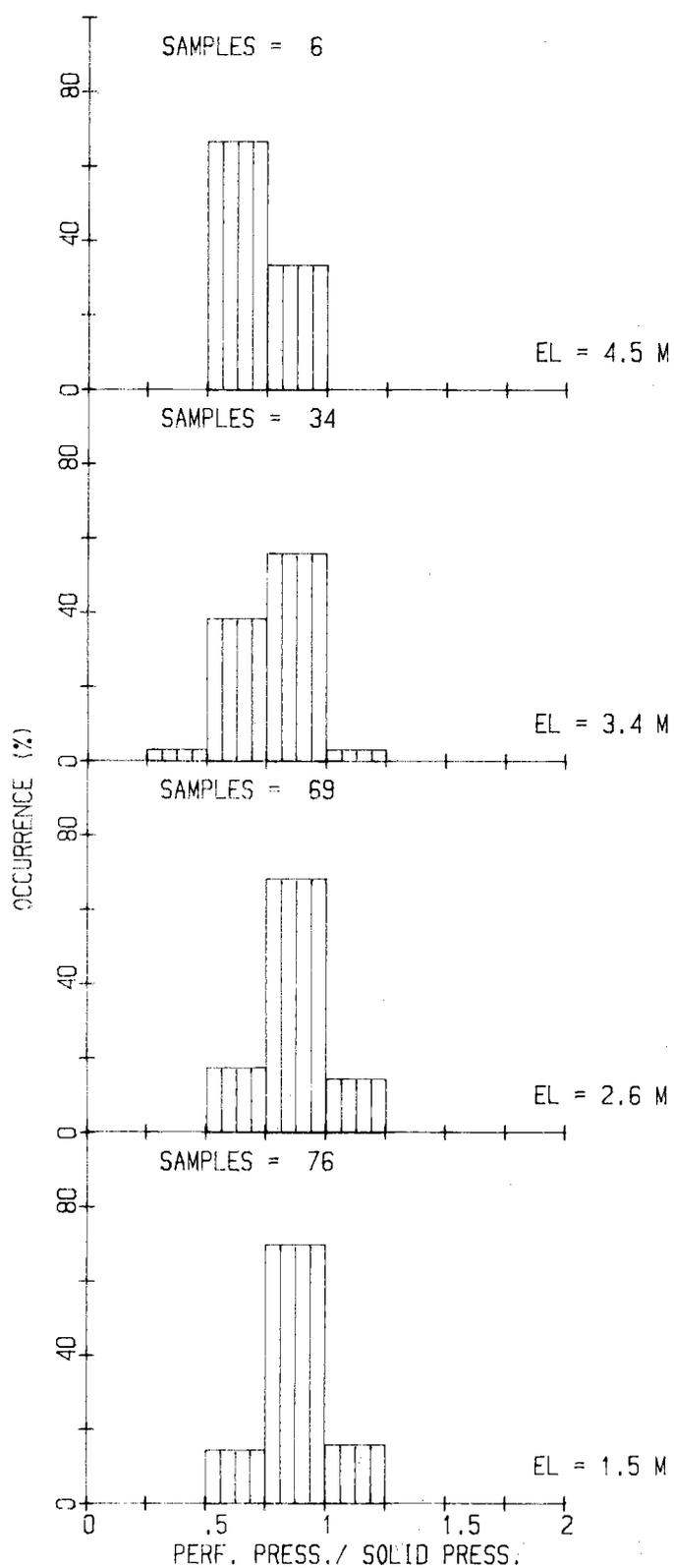


圖4-10(d) 開孔胸牆與直立牆統計波壓比值概率分佈(平均波壓)

五、波浪與波壓相關特性

(一) 概述

波浪觀測採用浮球式波高計(Wave Rider)，波高計安裝於波壓觀測位置約 1公里之外海。波浪訊號以無線電傳送至花蓮港務局接收站，每隔一小時紀錄20分鐘。配合波壓調查計畫，自79年 7月 1日起至80年 6月30日止，大部份時間紀錄均正常；但在79年11月26日至27日紀錄波壓較大時，波高計遭破壞，紀錄中斷。

波高計與波壓計安裝位置不同，無法直接尋求波高與波壓間相對應關係；本節僅就波壓較大時段波浪紀錄正常之波浪與波壓資料加以統計分析，試圖了解其相關特性。

(二) 波浪紀錄

波浪紀錄原始資料經過處理後，取得時序波高及週期，再經統計後求得各種統計波高、週期。79年10月與11月統計波高週期變化如圖 5-1。

(三) 波浪與波壓分佈關係

圖 5-2 為相對應紀錄時間 (波浪20分，波壓10分)，波高與波壓分佈概率。當潮位接近高程1.5m時CH1及CH6位於水面附近，波高與 CH1 直立牆波壓分佈概率極為一致，CH6 開孔胸牆發生小波壓概率則有明顯增加之趨勢，如圖 5-2(a) - (c)；當水位降低，在較小波浪作用時

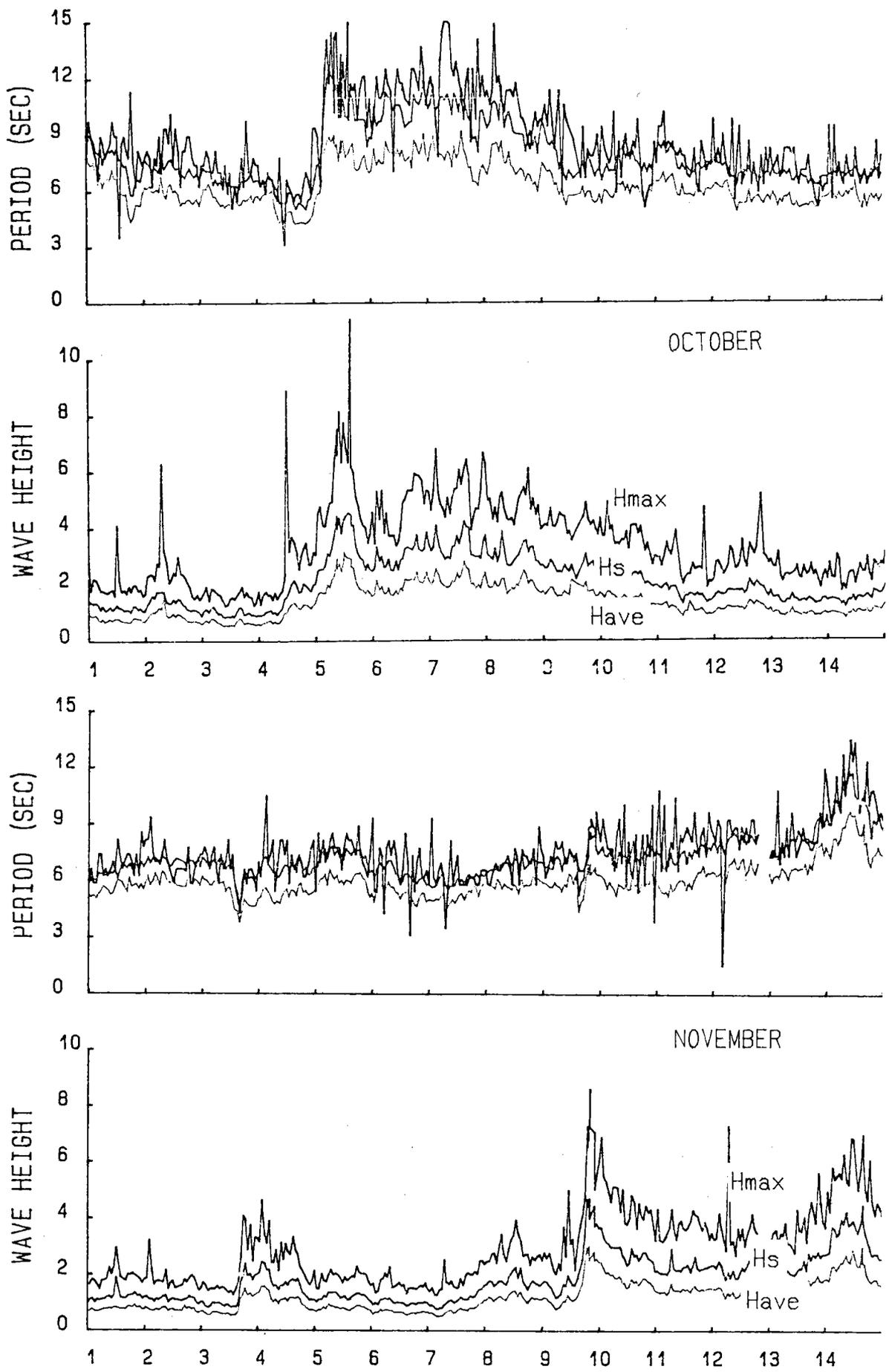


圖5-1 花蓮外海波浪延時變化

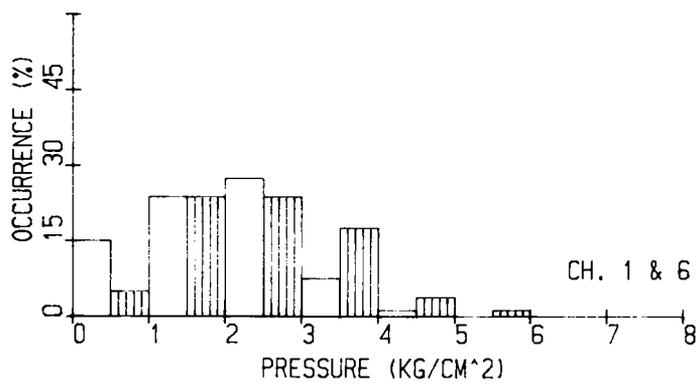
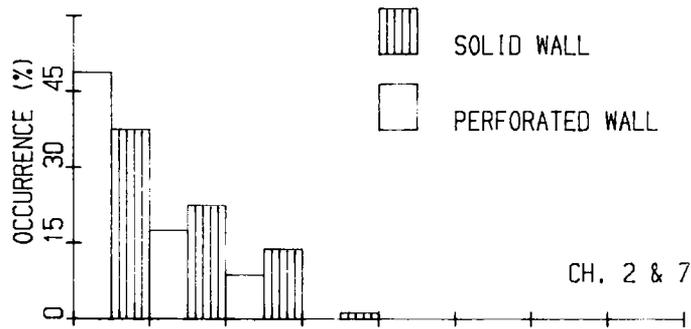
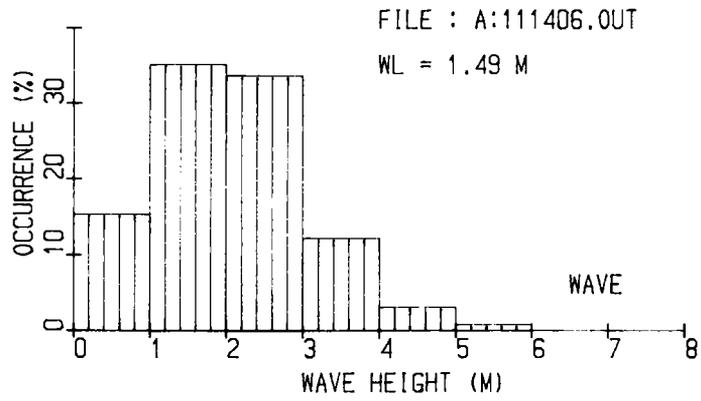


圖5-2(a) 相對應時間波高與波壓分佈概率

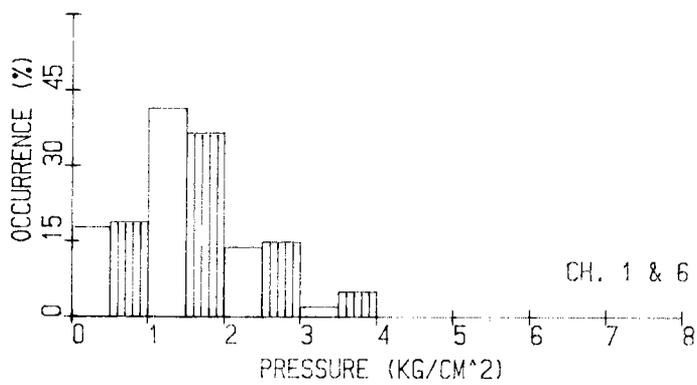
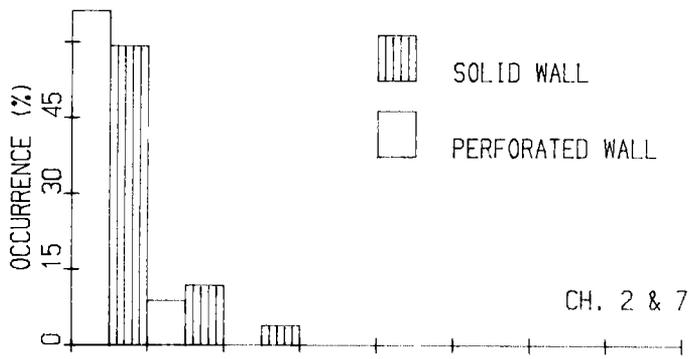
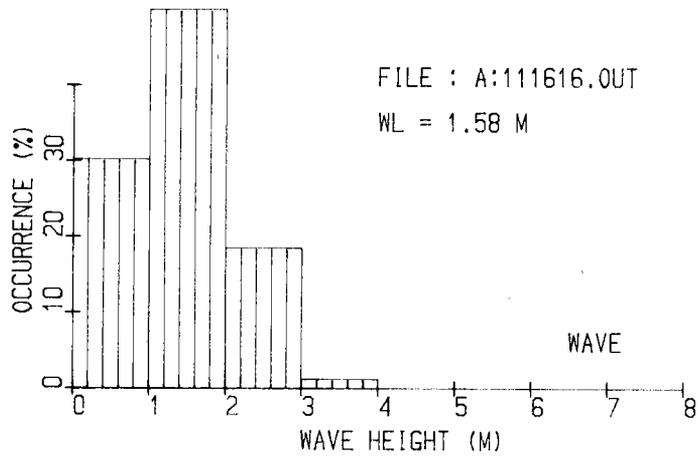


圖5-2(b) 相對應時間波高與波壓分佈概率

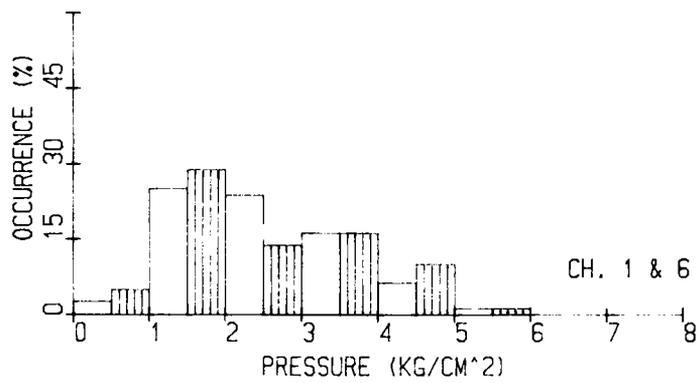
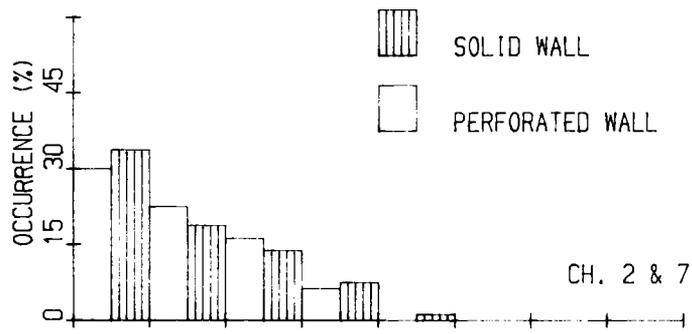
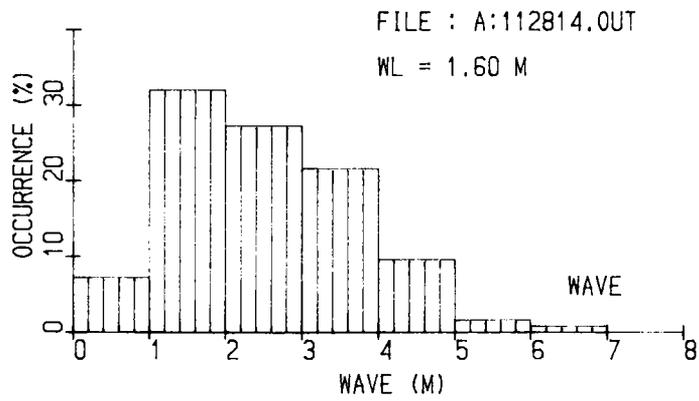


圖5-2(c) 相對應時間波高與波壓分佈概率

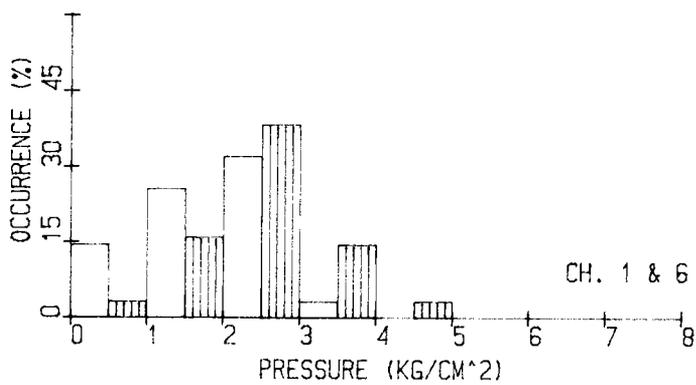
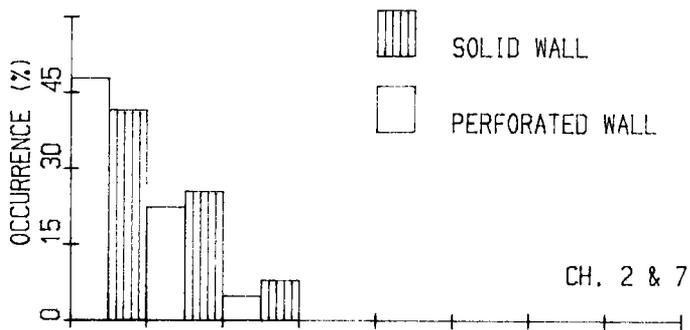
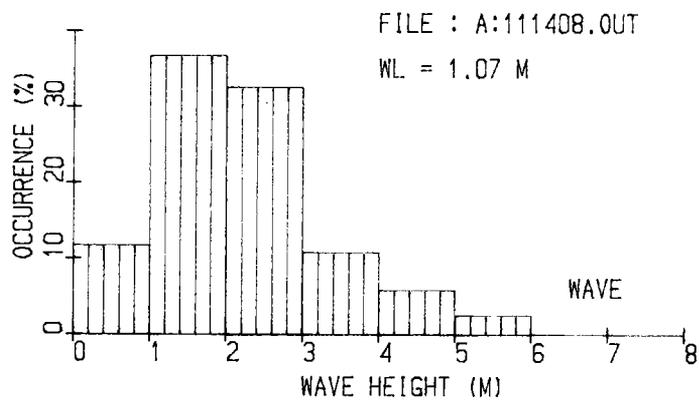


圖5-2(d) 相對應時間波高與波壓分佈概率

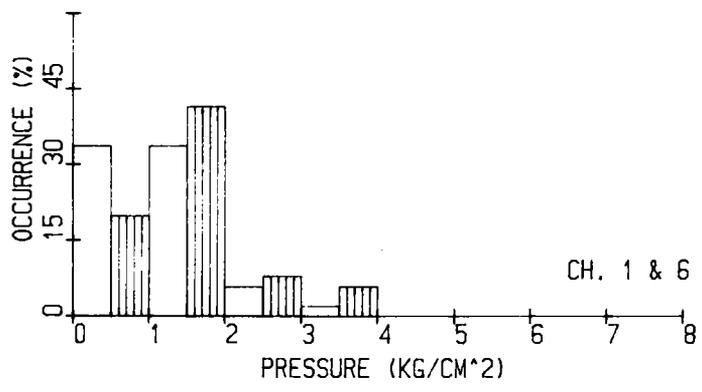
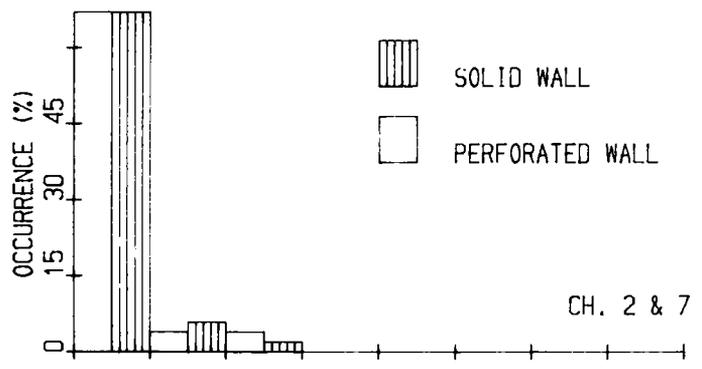
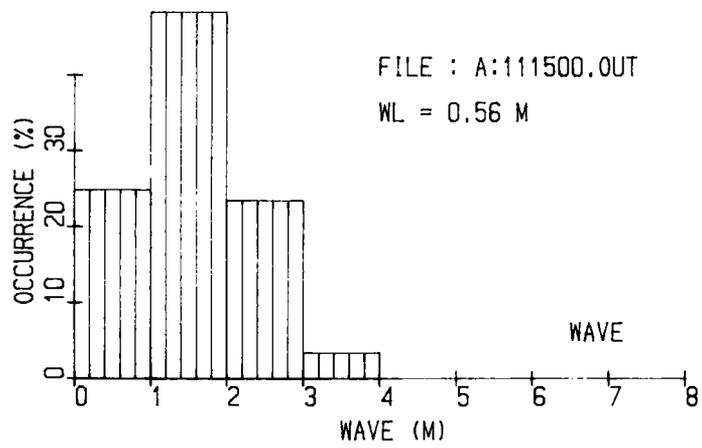


圖5-2(e) 相對應時間波高與波壓分佈概率

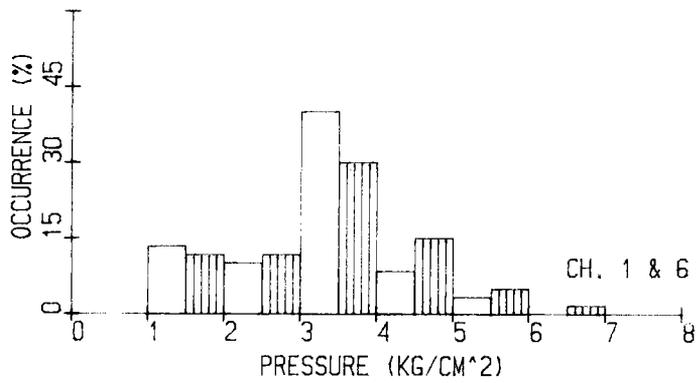
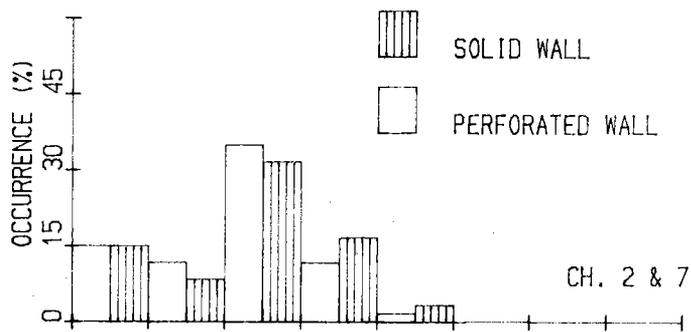
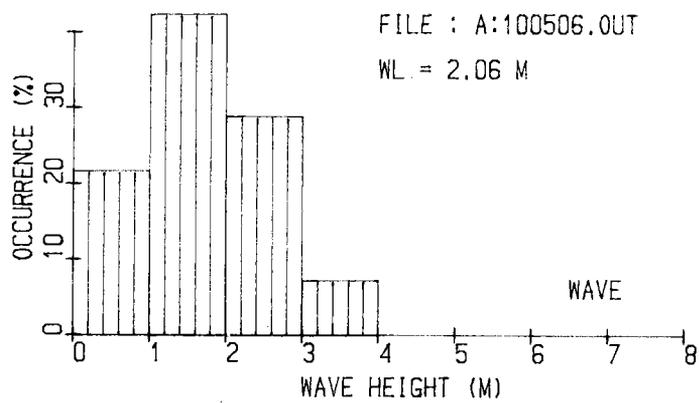


圖5-2(f) 相對應時間波高與波壓分佈概率

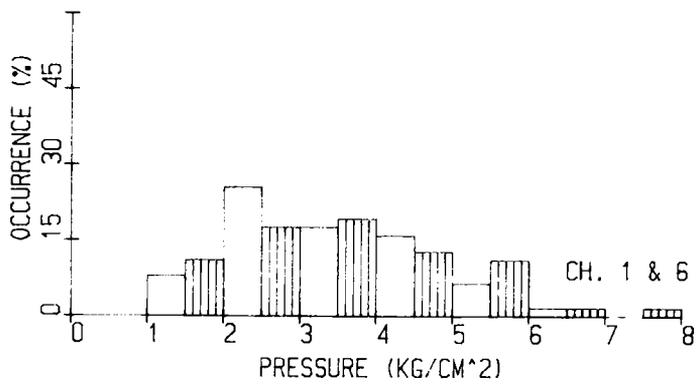
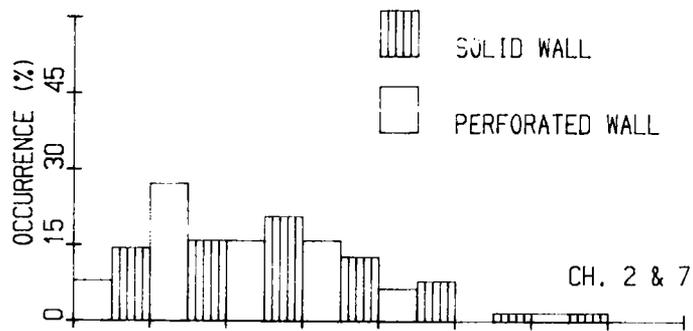
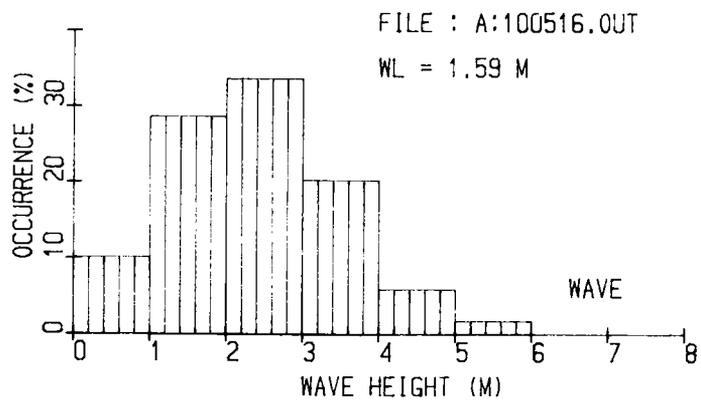


圖5-2(g) 相對應時間波高與波壓分佈概率

，安裝在1.5m處CH1及CH6波壓計未能感應波壓，因此波壓數較波高數減少，雖然波壓與波高分佈概率有些增減，相仍相近似（如圖5-2(d)及(e)），但無法直接分析其相關特性。10月5日海蒂颱風掠過受外海長週期湧浪作用，上午6時產生2.06m暴潮位，圖5-2(f)顯示有65%以上波高小於2m以下，但波壓在 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下只佔12%，10月5日下午16時，潮位1.59m，高出CH1及CH6僅9cm，波高在2m以下概率為40%，而波壓只佔1%，波高在3m以下約佔70%，波壓只為30%，如圖5-2(g)。由此顯示波壓大小除受水位增高影響外，長週期、低尖銳度波浪作用使水面附近波壓較大亦為重要因素。

(四)波高與波壓累積超過率關係

波高紀錄20分鐘與波壓紀錄10分鐘累積超過率繪如圖5-3。當潮位接近CH1及CH6高程1.5m時，圖5-3(a)－圖5-3(e)顯示，直立牆上CH1之波壓量測值略大於波高值，且波高與波壓累積超過率曲線相當一致，此項結果頗能符合理論值。當水位低於1.5m時，如圖5-3(f)及(g)，較小波浪未能對波壓計發生作用，波壓作用數較波浪數減少，雖然波壓與波高累積超過率趨勢相似，但除非再作進一步分析，否則無法就兩者統計超過率比較其相關特性。10月5日6時颱風掠過，受長週期湧浪作用，當時潮位為2.06m，雖然只高於高程1.5m之CH1及CH6波壓計0.56m，CH1及CH6所測得波壓值遠較波高值大，如圖5-3(h)，CH1波壓值幾乎為波高值之兩倍，而在此種情況下，開孔胸牆消滅波壓效能更為顯著。同樣情形亦發生在10月5日16時如圖5-3(i)，雖然當時潮位僅高出CH1波壓計9cm，但波壓值較波高值高出甚多。

FILE : A:111406.OUT
 WL = 1.49 M

CH.	WAVE	SYMBOL
1	1	x
2	2	□
3	3	○
4	4	△
6	6	◆
7	7	+
8	8	×
9	9	z

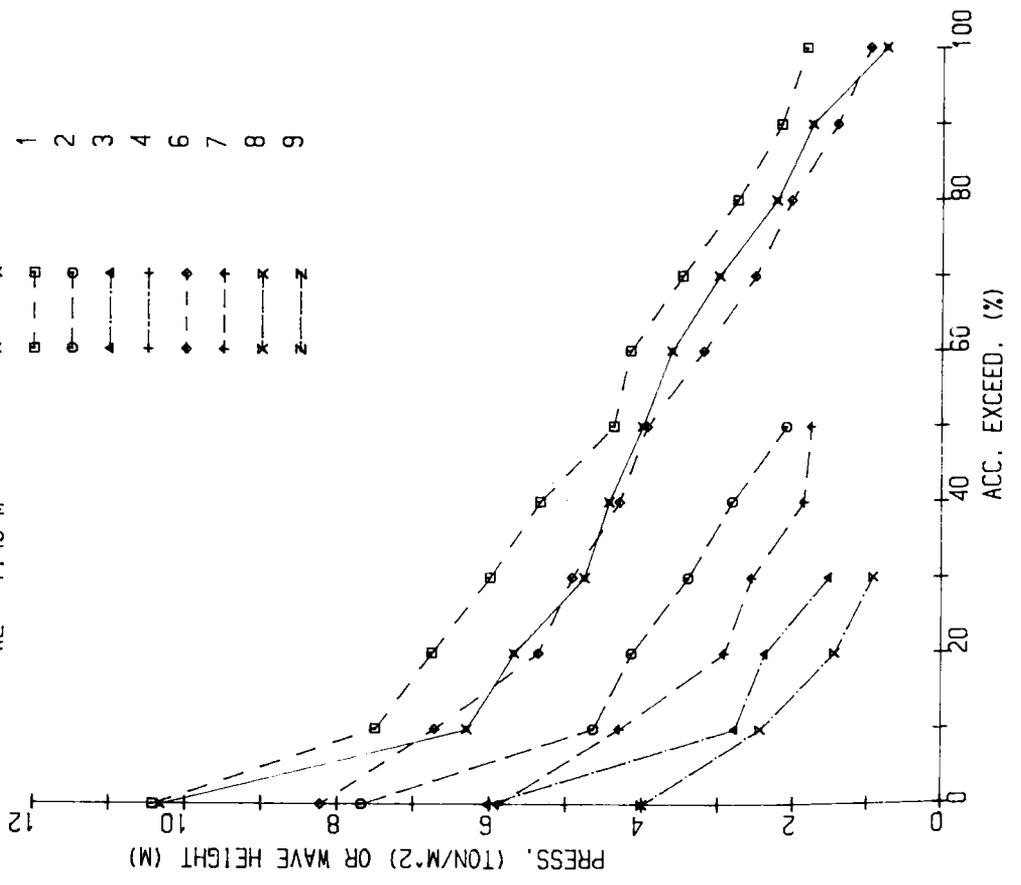


圖 5-3(b) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:111506.OUT
 WL = 1.61 M

CH.	WAVE	SYMBOL
1	1	x
2	2	□
3	3	○
4	4	△
6	6	◆
7	7	+
8	8	×
9	9	z

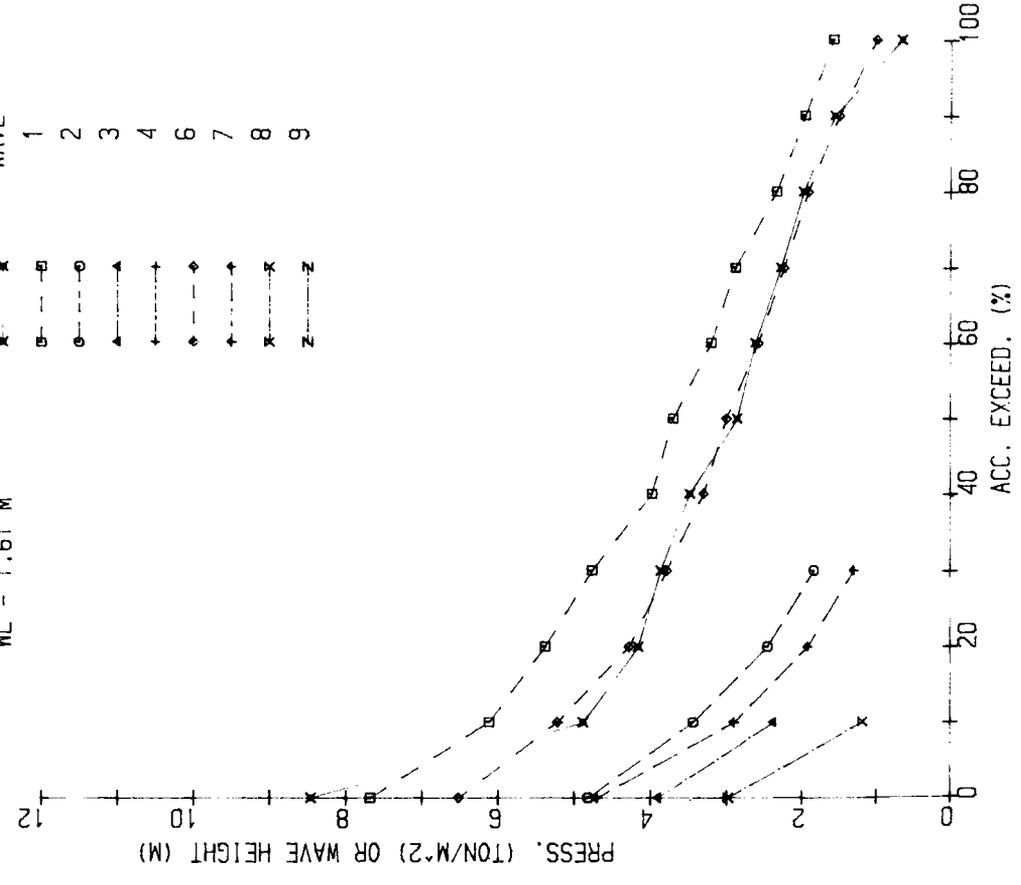


圖 5-3(a) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:111606.OUT
 WL = 1.59 M

CH.	SYMBOL
WAVE 1	x
2	□
3	○
4	△
6	+
7	◇
8	+
9	x
	z

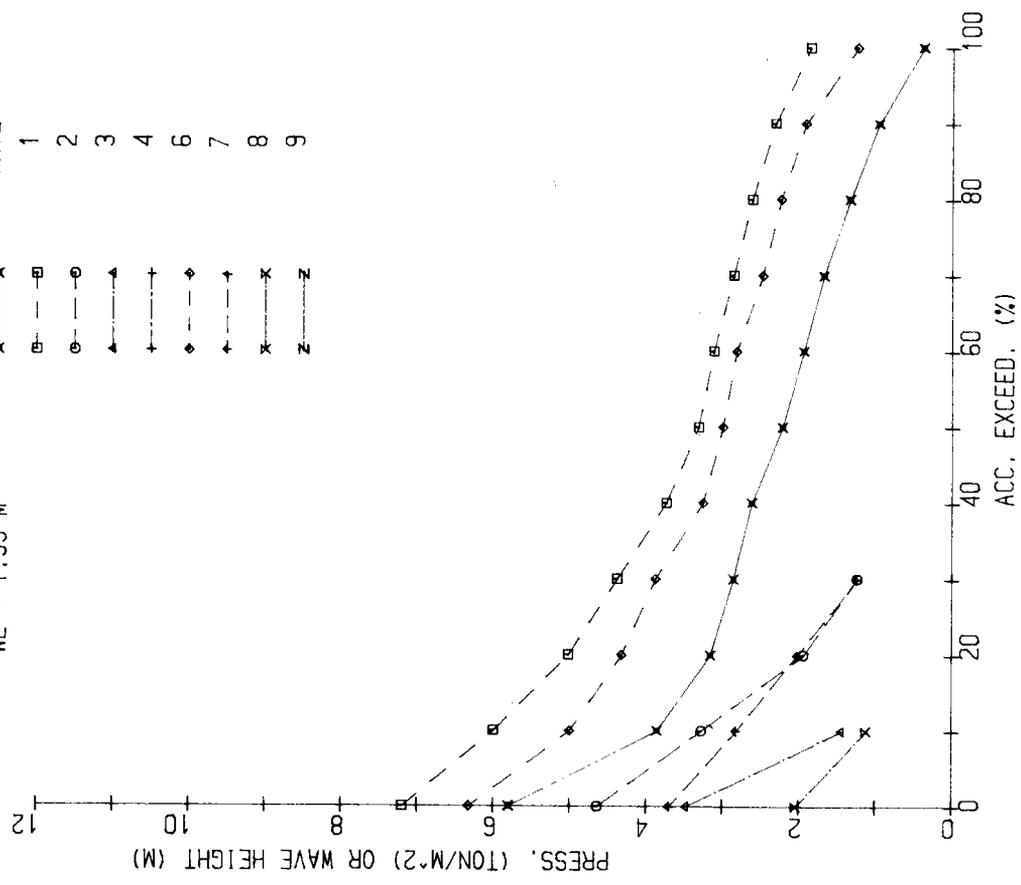


圖 5-3(c) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:111616.OUT
 WL = 1.58 M

CH.	SYMBOL
WAVE 1	x
2	□
3	○
4	△
6	+
7	◇
8	+
9	x
	z

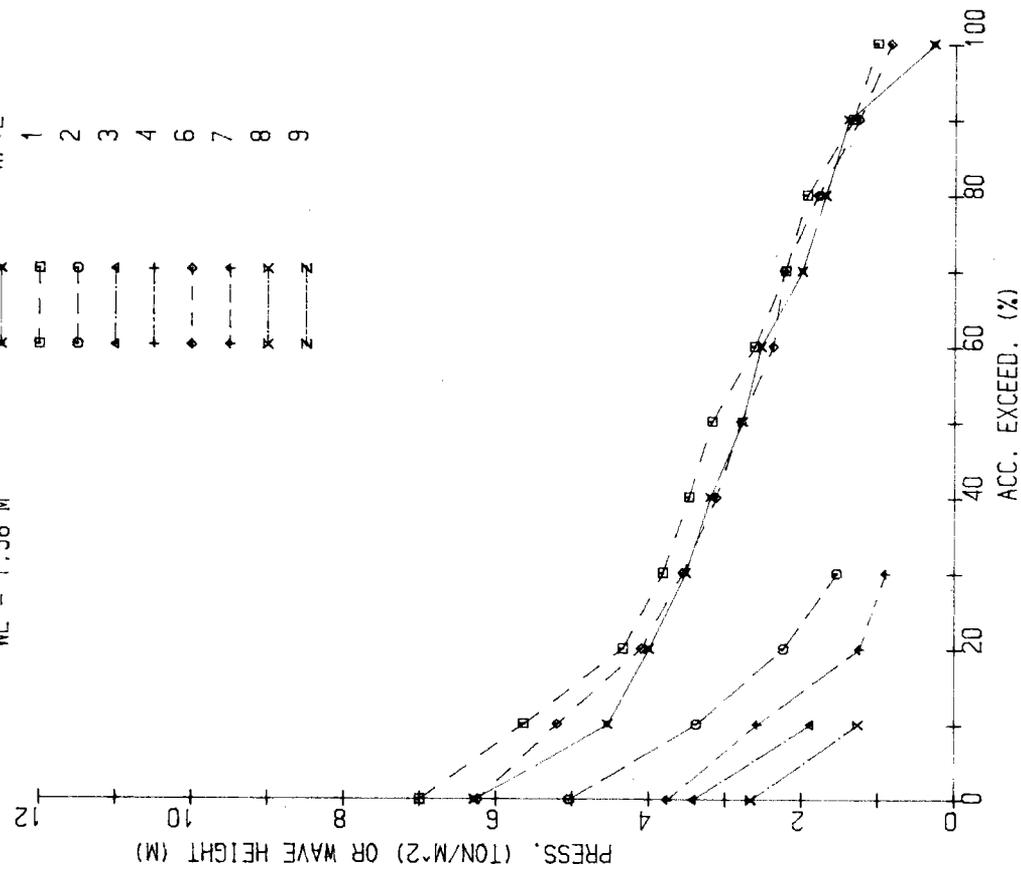


圖 5-3(d) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:1114D8.OUT
 WL = 1.07 M

CH.	WAVE	1	2	3	4	6	7	8	9
SYMBOL		x	-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x

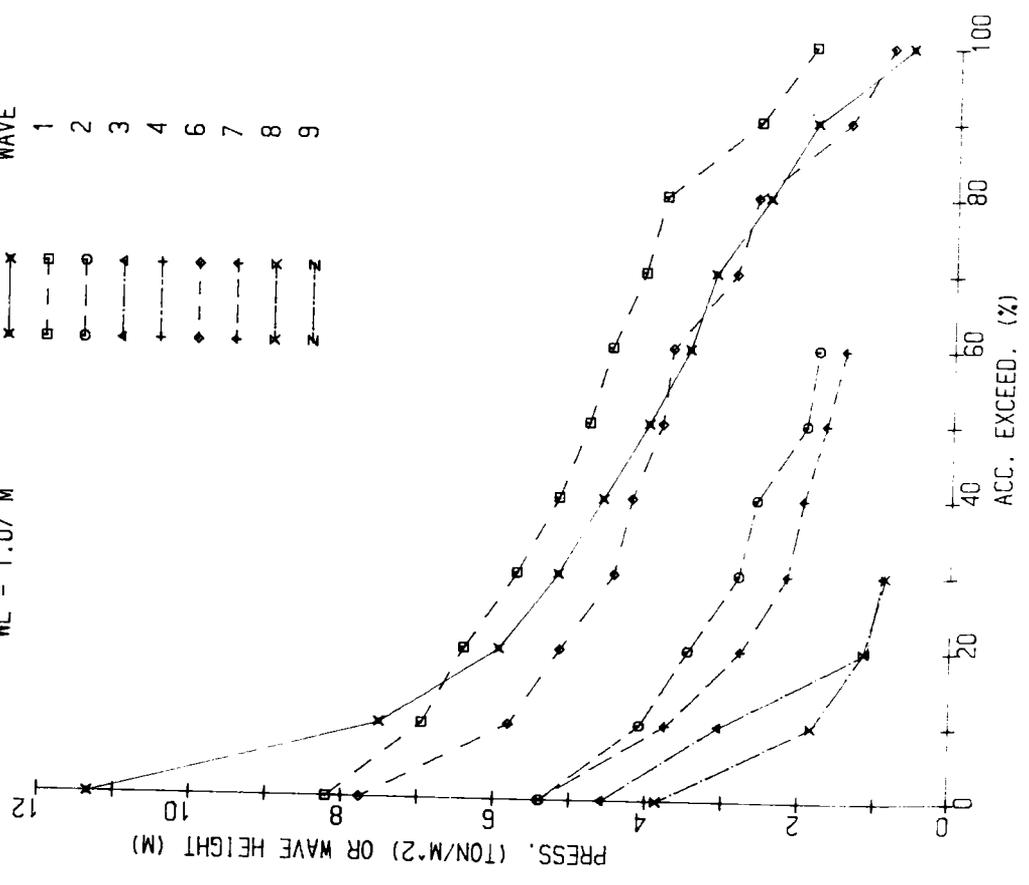


圖 5-3(f) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:112814.OUT
 WL = 1.60 M

CH.	WAVE	1	2	3	4	6	7	8	9
SYMBOL		x	-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x
			-□-	o	△	+	◇	+	x

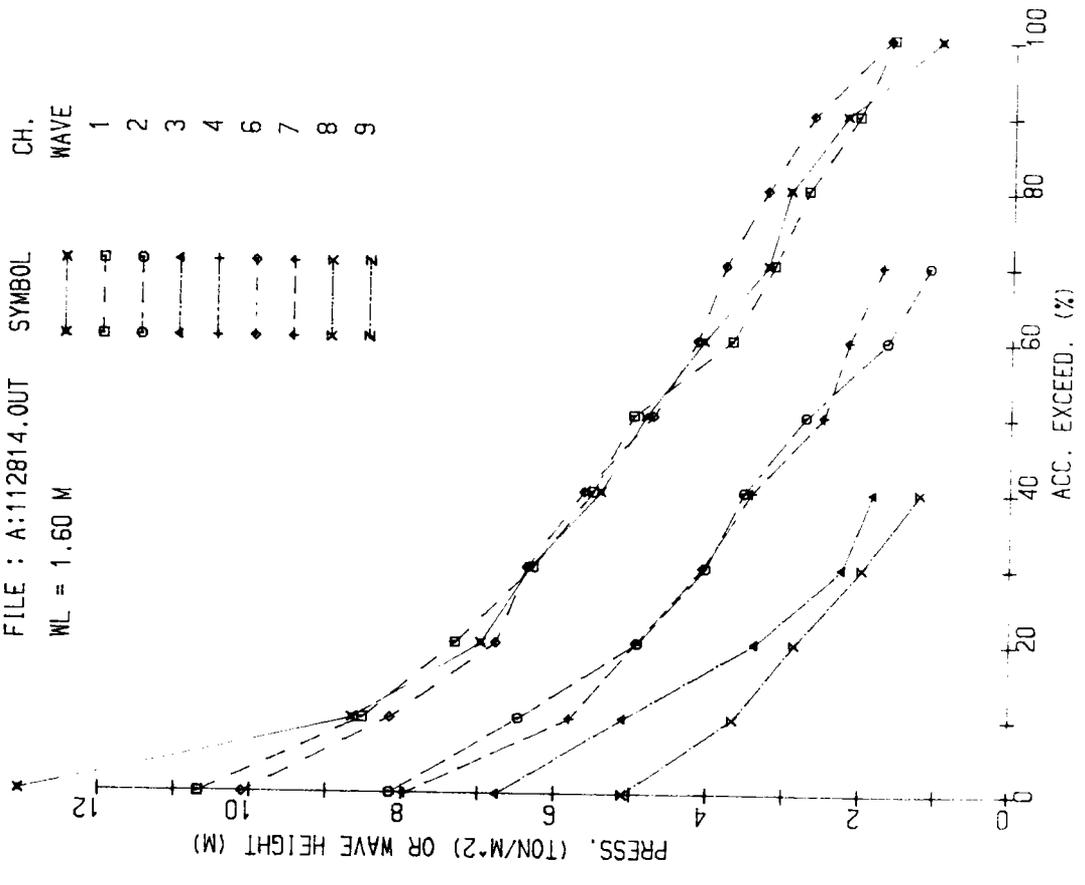


圖 5-3(e) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:111500.OUT
 WL = 0.56 M

CH. WAVE	SYMBOL
1	x
2	-□-
3	-○-
4	-△-
6	-+ -
7	-◇-
8	-+ -
9	-x -
	-z -

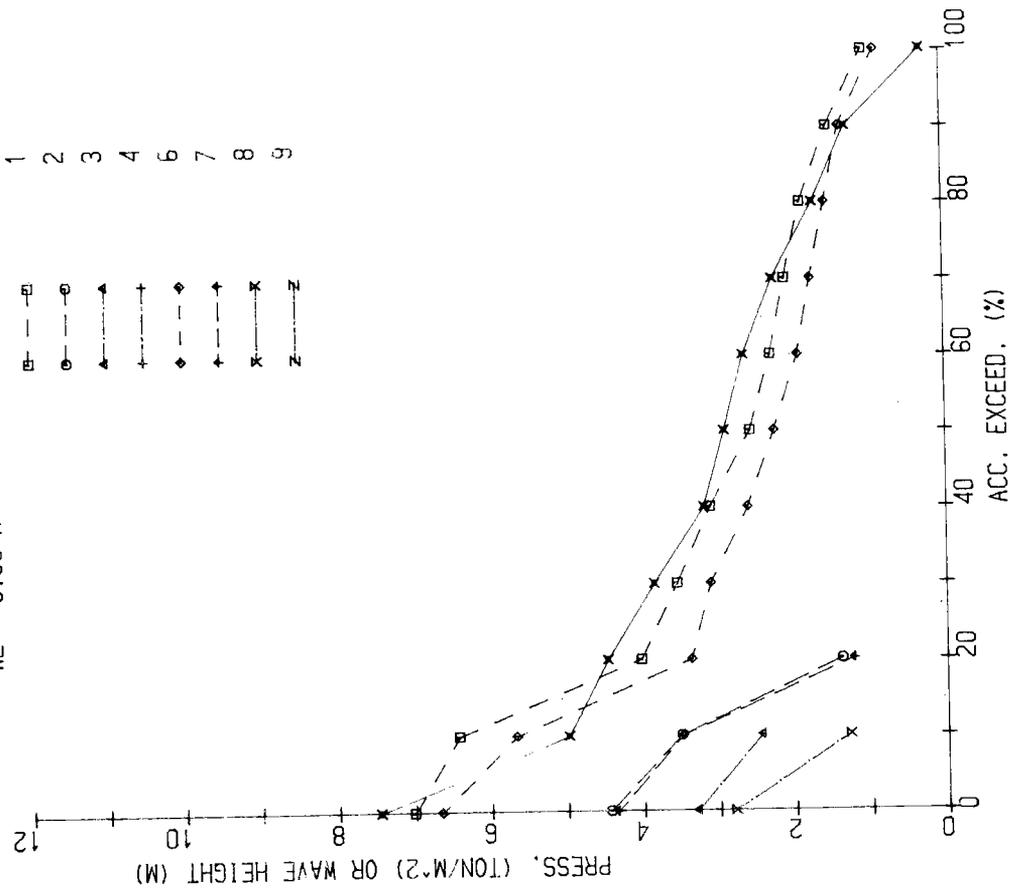


圖5-3(g) 波高與波壓累積超過率

FILE : A:100506.OUT
 WL = 2.06 M

CH. WAVE	SYMBOL
1	x
2	-□-
3	-○-
4	-△-
6	-+ -
7	-◇-
8	-+ -
9	-x -
	-z -

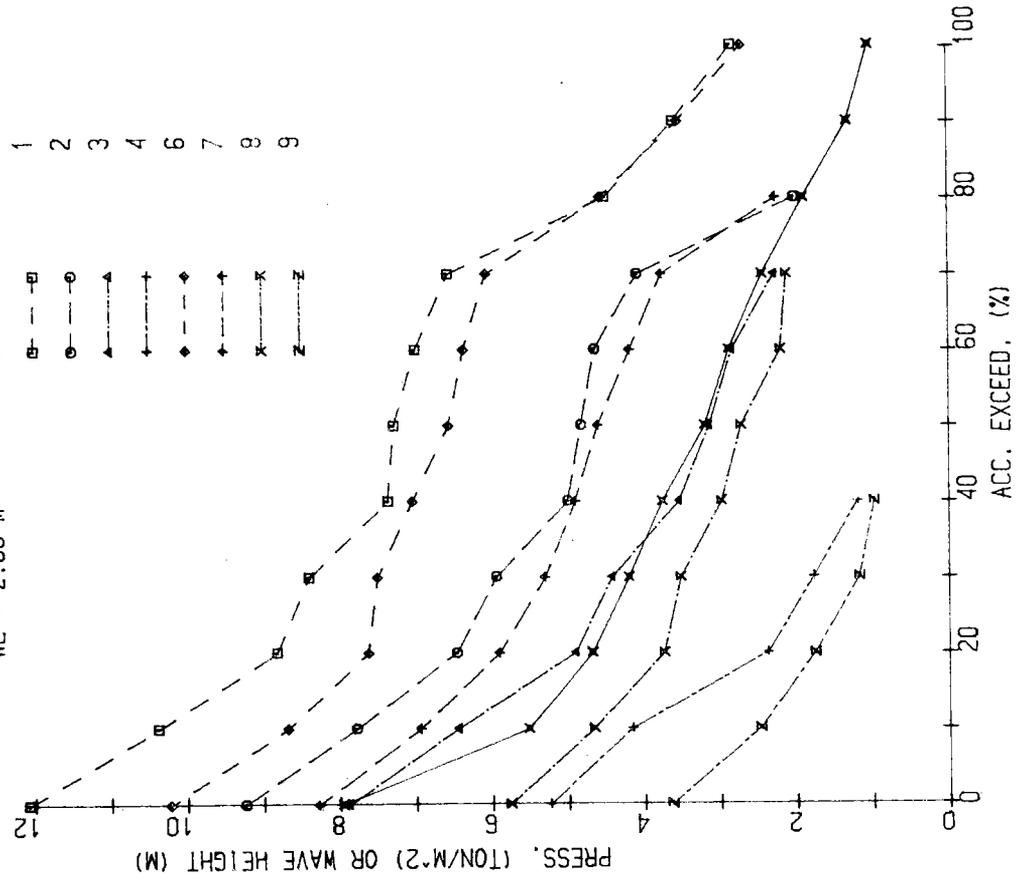


圖5-3(h) 波高與波壓累積超過率

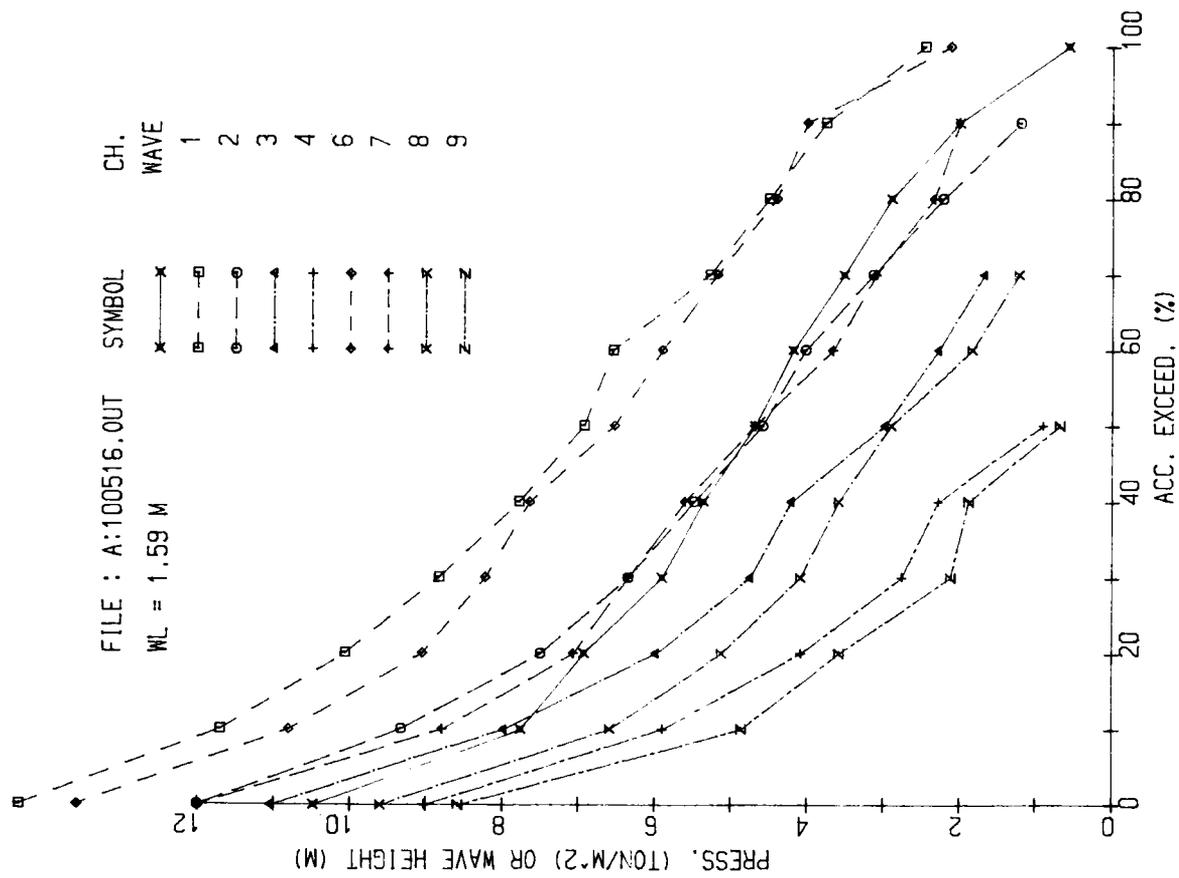


圖 5-3(i) 波高與波壓累積超過率

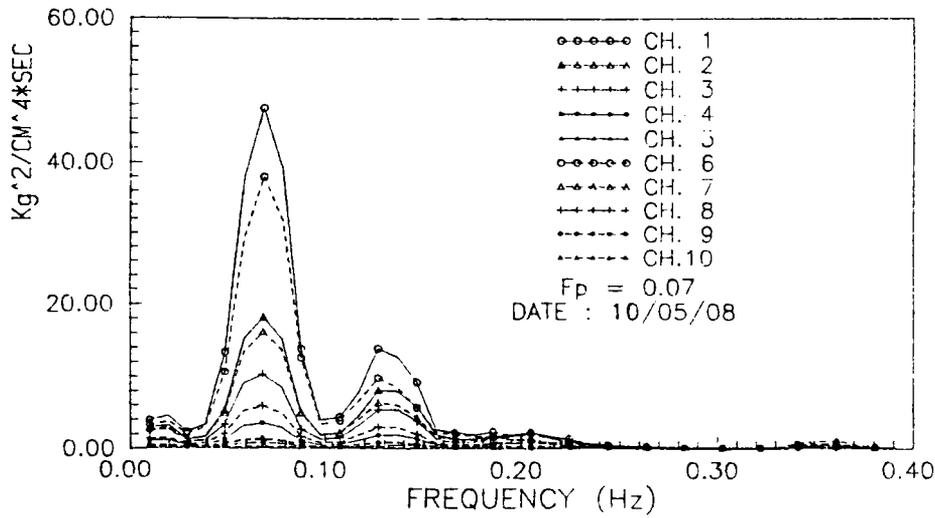
(五) 波浪與波壓能譜關係

相對應時間波浪與波壓能譜分析如圖 5-4。79年10月 5日 8時及 16時颱風湧浪波譜與相對應時間波壓能譜如圖 5-4(a)，波浪與波壓具有相同之尖峰頻率，分別為0.07 與 0.08。11月14日 6時及12時波浪與波壓能譜如圖5-4(b)，尖峰頻率約為0.08。由波壓能譜顯示，各種不同高程直立牆波壓能量密度均較開孔胸牆略大。10月 5日 8 時及 16時，10個波壓計所測得之五分鐘波壓能量密度分別列於圖5-4(a)右側。波壓紀錄為不連續訊號，能量分析結果呈現次峰現象。

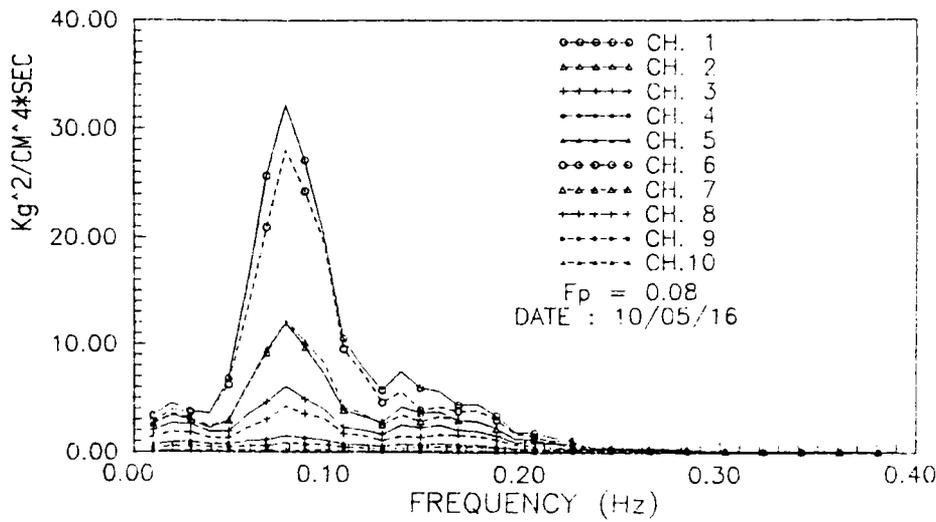
(六) 波浪尖度與波壓關係

波浪尖度為影響波壓力重要參數，為了解 Sainflou公式波壓計算值與現場波壓量測值受波浪尖度影響，及開孔胸牆消減波壓效能與波浪尖度關係；將波壓計算值 (P_{cal}) 與直立牆及開孔胸牆波壓量測值 (P_{mes}) 之差值無因次化 $(P_{cal}-P_{mes})/wH_s$ ， w 為海水比重， H_s 為示性波高，其與波浪尖度 (H/L) 之關係依波壓計高程繪如圖 5-5(a) — 圖 5-5(d)。

由直立牆波壓計算與量測無因次差值 $(P_{cal}-P_{mes})/wH_s$ 與波浪尖度關係顯示，在波浪尖度較小時 (約0.025以下)，Sainflou 公式波壓計算值小於現場波壓觀測值；當波浪尖度較大時 (約0.025以上)，則波壓計算值大於觀測值，且隨波浪尖度增大，兩者差異越大。開孔胸牆計算值與觀測值受波浪尖度影響亦與直立牆有相同之趨勢，但不論直立牆或開孔胸牆，資料點分佈相當散亂，顯然除波浪尖度外，尚



CH.	ENERGY
1	2.433
2	1.226
3	0.852
4	0.320
5	0.107
6	1.933
7	1.042
8	0.459
9	0.188
10	0.064



CH.	ENERGY
1	2.159
2	1.026
3	0.643
4	0.220
5	0.076
6	1.907
7	1.019
8	0.442
9	0.185
10	0.058

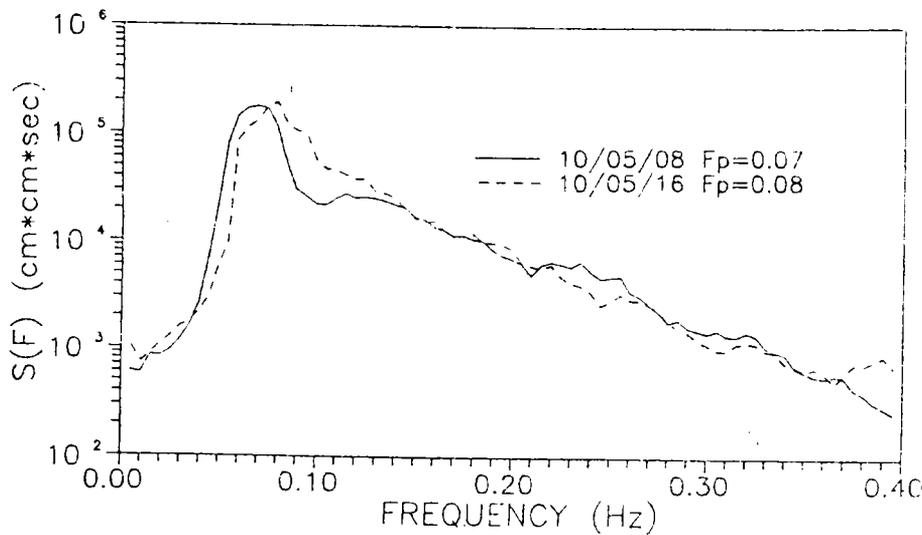


圖5-4(a) 波壓與波浪能譜分析(颱風湧浪)

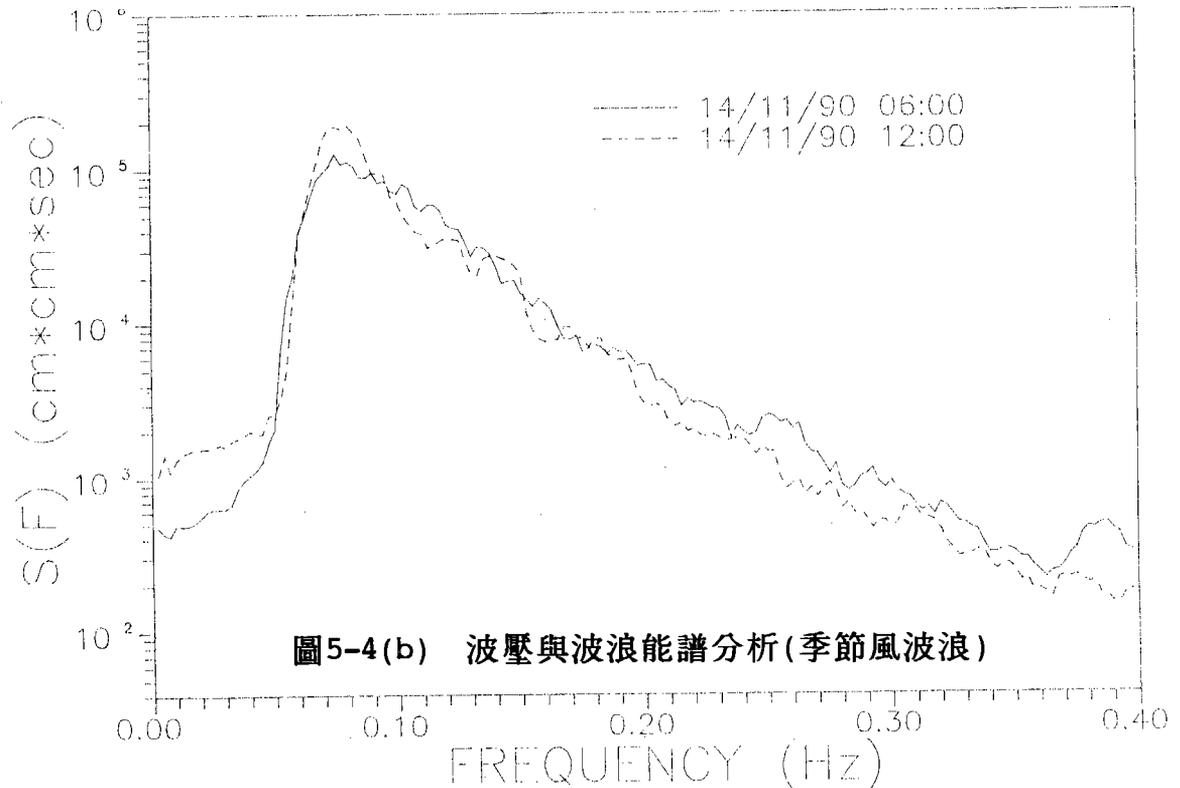
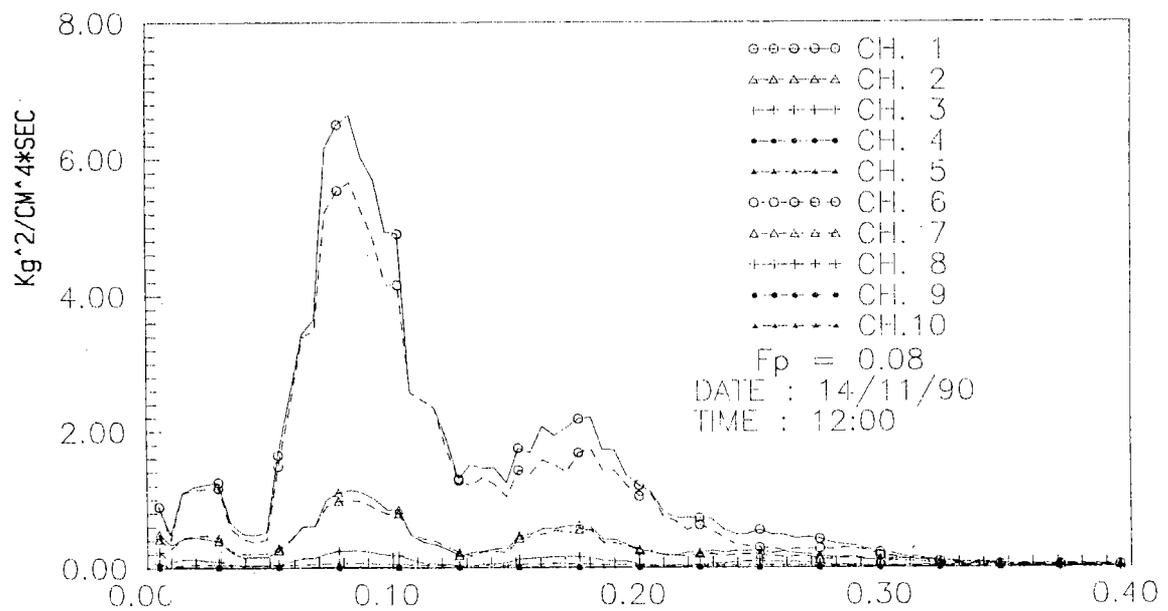
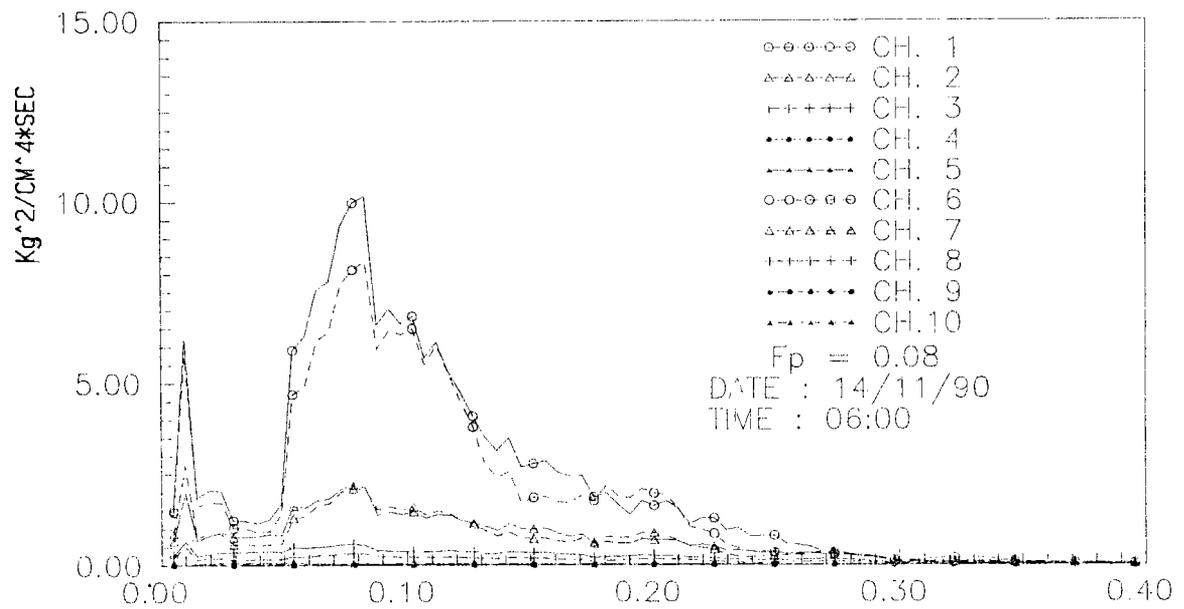


圖5-4(b) 波壓與波浪能譜分析(季節風波浪)

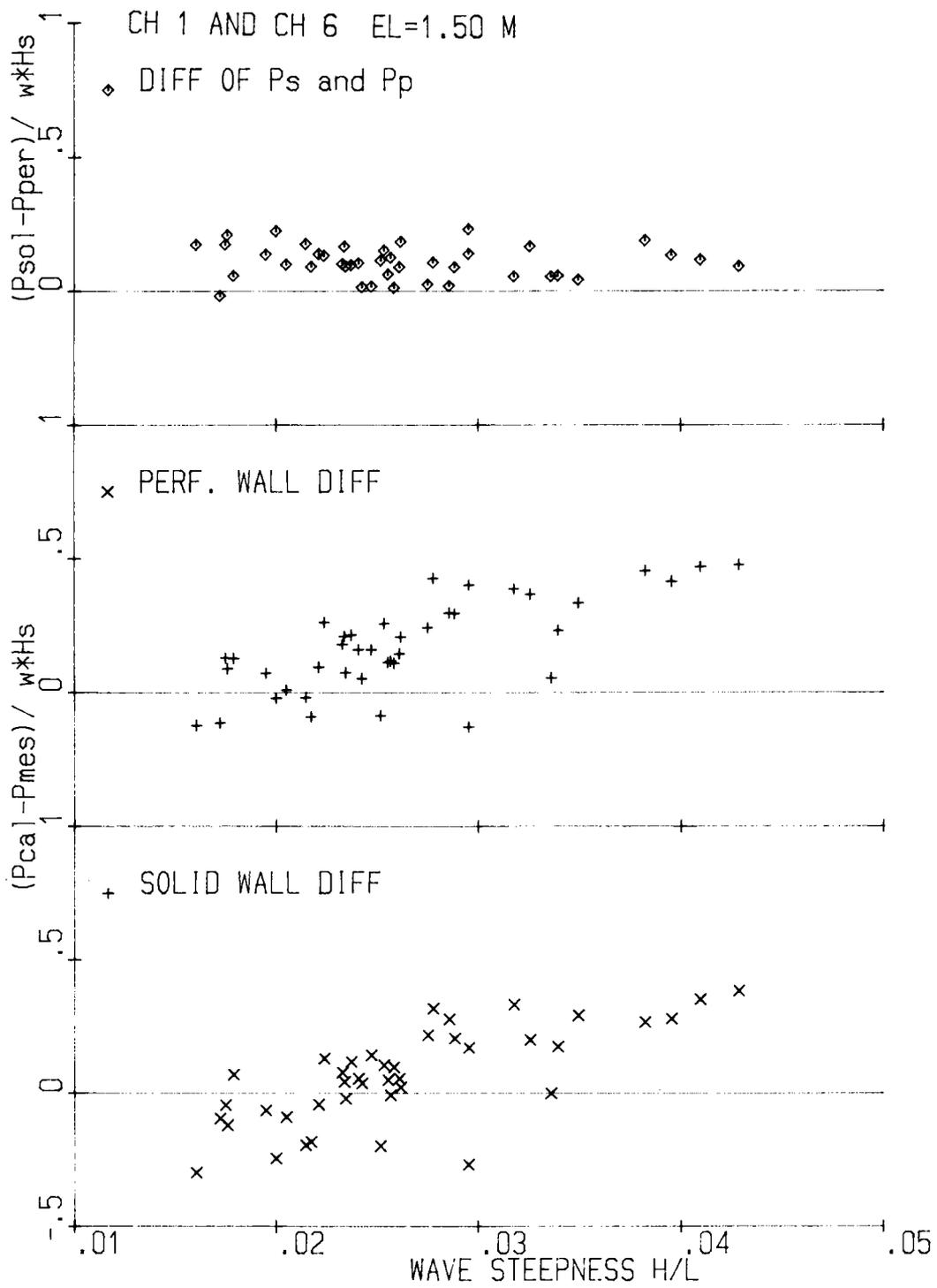


圖5-5(a) 計算與量測無因次波壓差值與波浪尖度關係 (EL = 1.5^m)

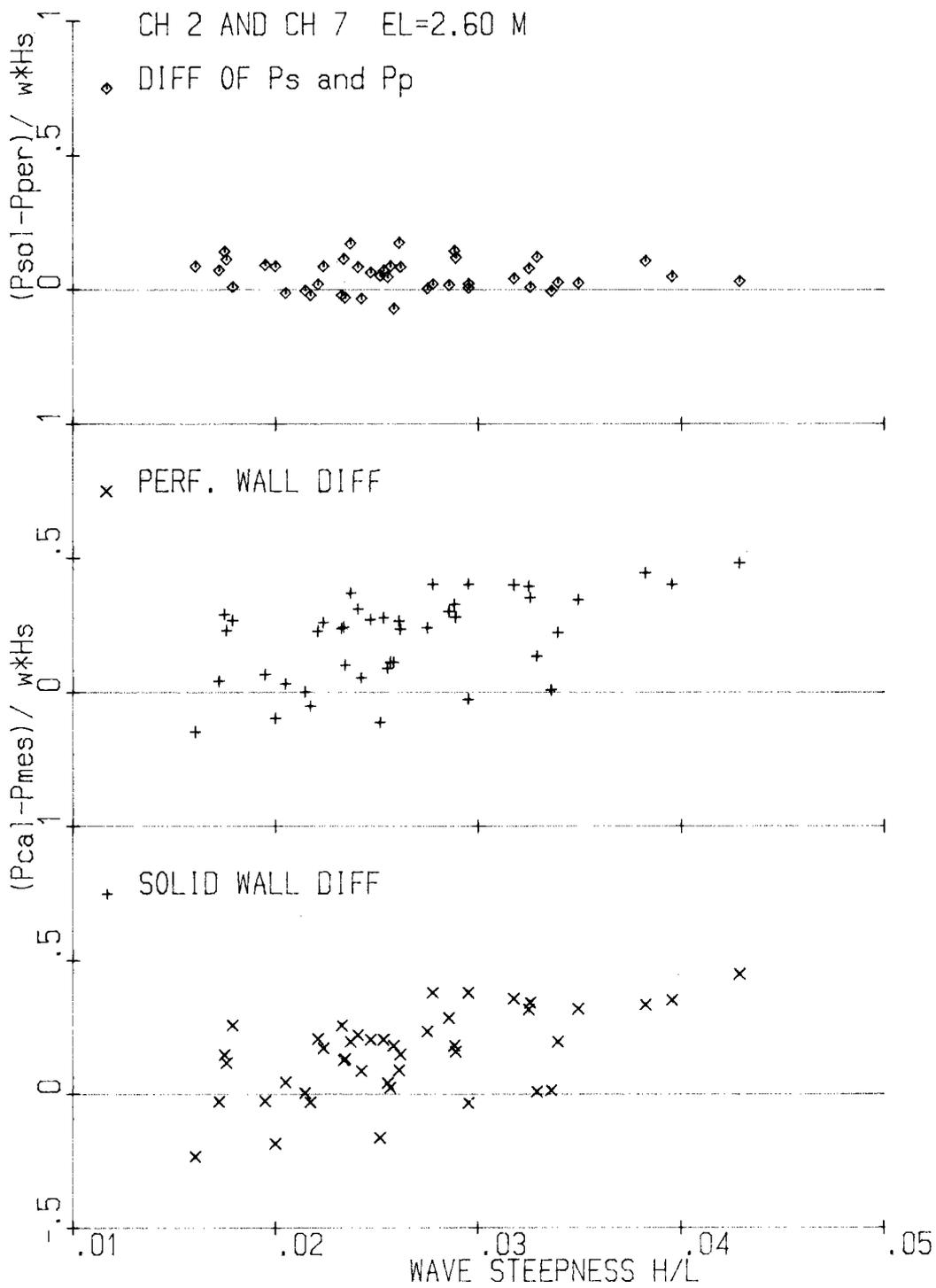


圖5-5(b) 計算與量測無因次波壓差值與波浪尖度關係 (EL = 2.6^m)

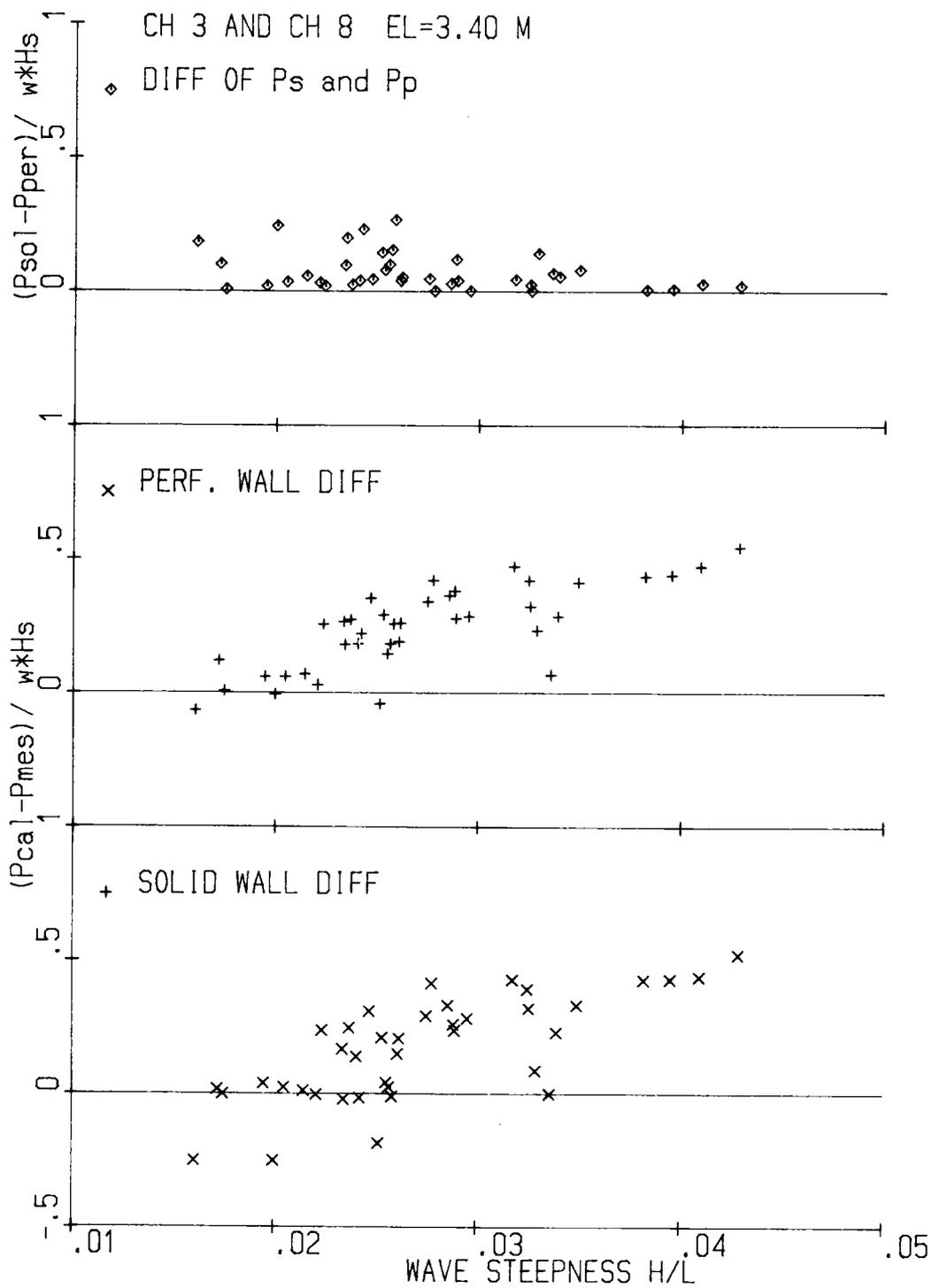


圖5-5(c) 計算與量測無因次波壓差值與波浪尖度關係 (EL = 3.4^m)

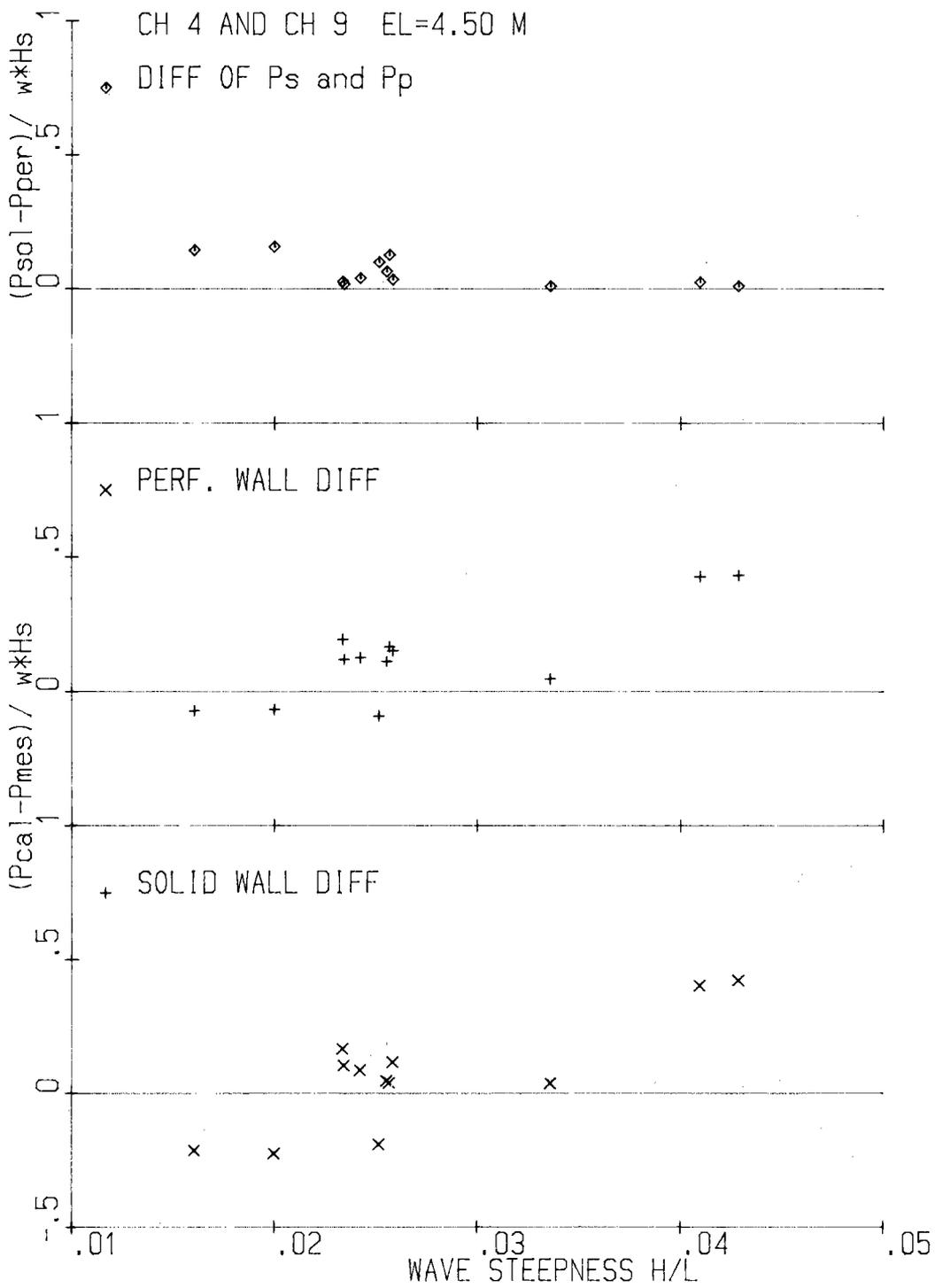


圖5-5(d) 計算與量測無因次波壓差值與波浪尖度關係 (EL = 4.5^m)

有影響波壓的重要因素，如潮位、波壓等。為了解觀測之直立牆波壓 (P_{sol}) 與開孔胸牆波壓 (P_{per}) 差異，將觀測波壓差異值無因次差值 ($(P_{sol}-P_{per})/wH_s$) 與波浪尖度繪於圖 5-5 上，除高程 2.6m 之 CH2 與 CH7 少數情況外，開孔胸牆波壓觀測值明顯的較直立牆波壓觀測值為低。

(七) 斷面波壓比較

圖 5-6 為直立牆與開孔胸牆斷面上不等高程觀測所得最大 1/3 平均波壓變化，為了解現場觀測值與計算值關係，利用 Sainflou 公式計算示性波浪在斷面上所造成波壓亦點繪於圖上。圖 5-6 顯示，不論直立牆或開孔胸牆觀測所得波壓均隨波壓計高程成良好之線性遞減變化，且開孔胸牆波壓分佈與直立牆相較，有顯著之消滅波壓效能。波浪尖度為影響波壓之重要參數，當波浪尖度較大時，Sain-flou 公式計算波壓較觀測值偏大；隨尖度減低，計算值逐漸接近觀測值，尖度小於 0.024 時，計算值小於觀測值。相等之波浪尖度受颱風湧浪侵襲時，觀測波壓有偏大之趨勢。

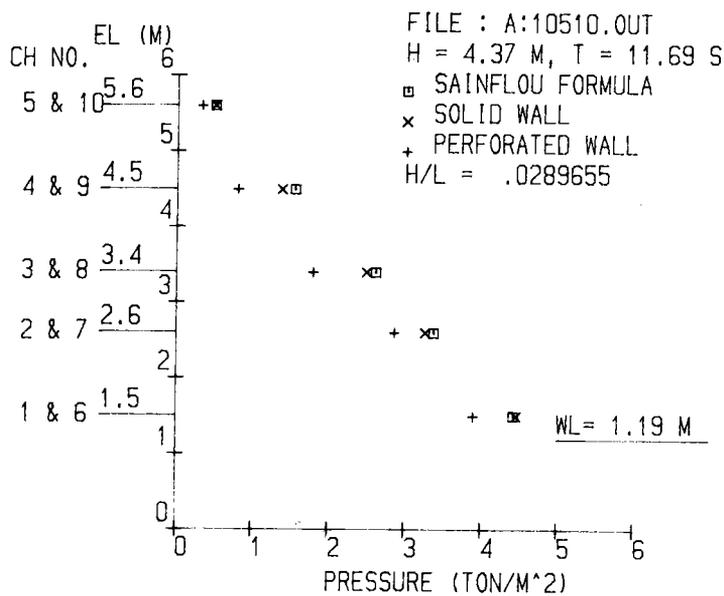
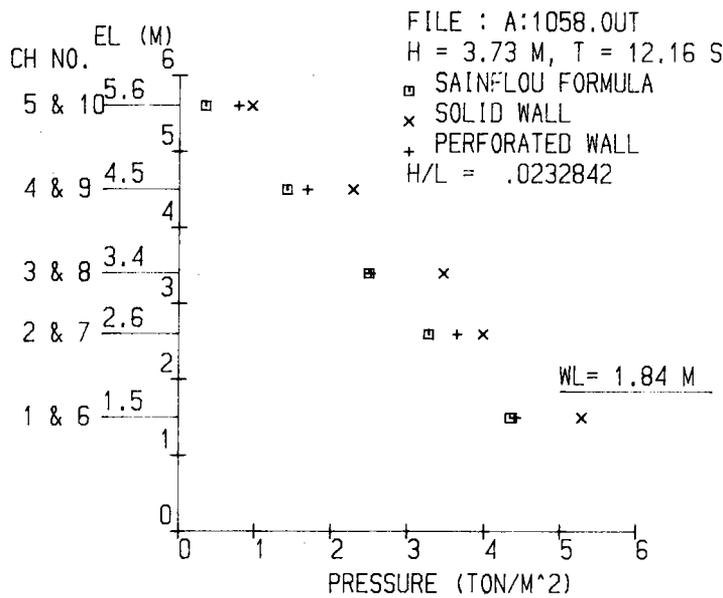
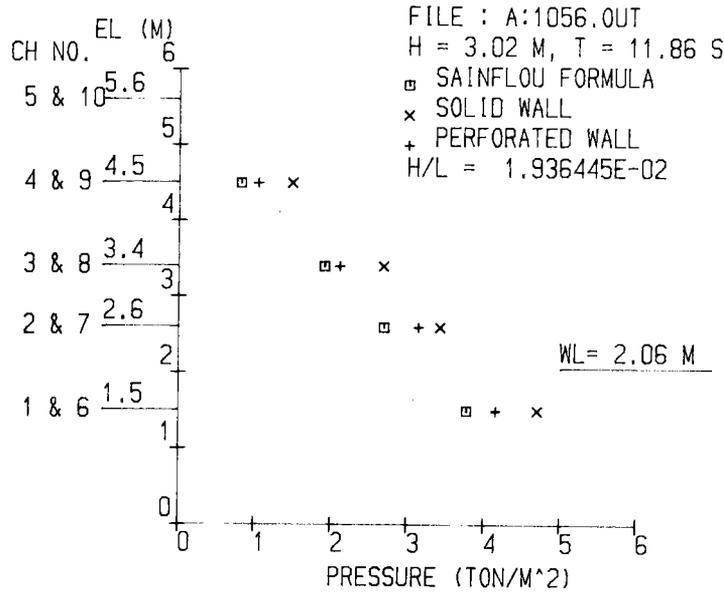


圖5-6(a) 防波堤斷面觀測與計算波壓變化

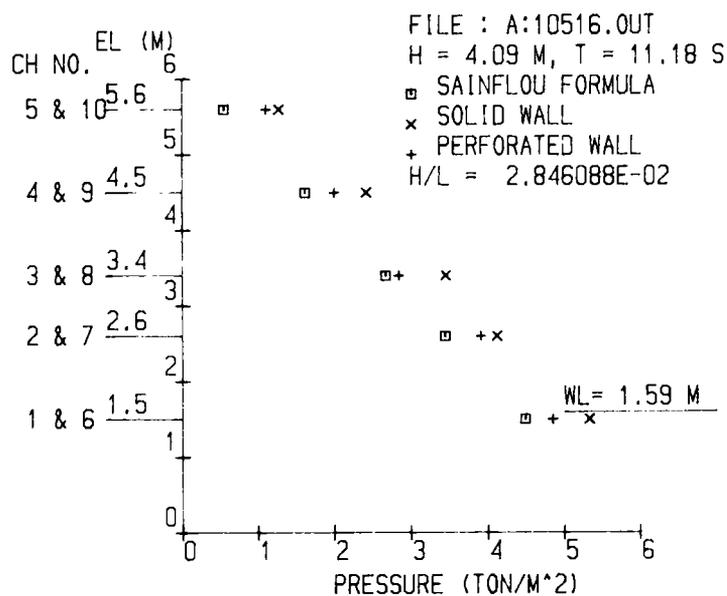
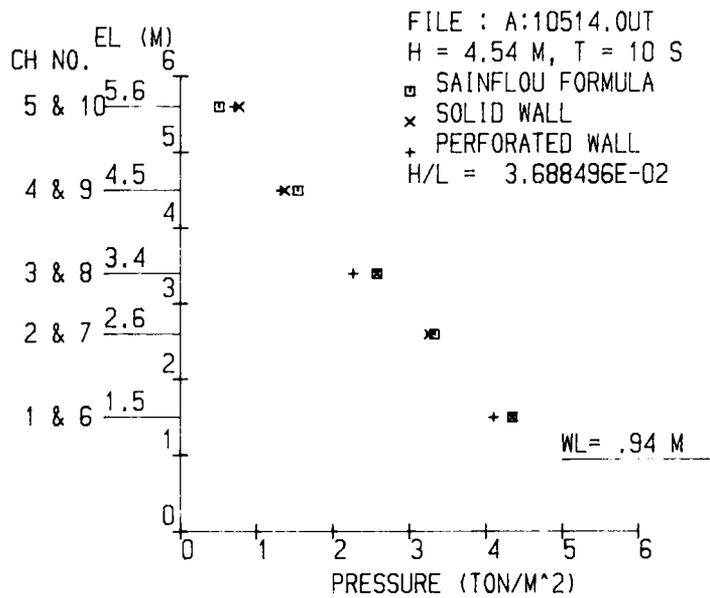
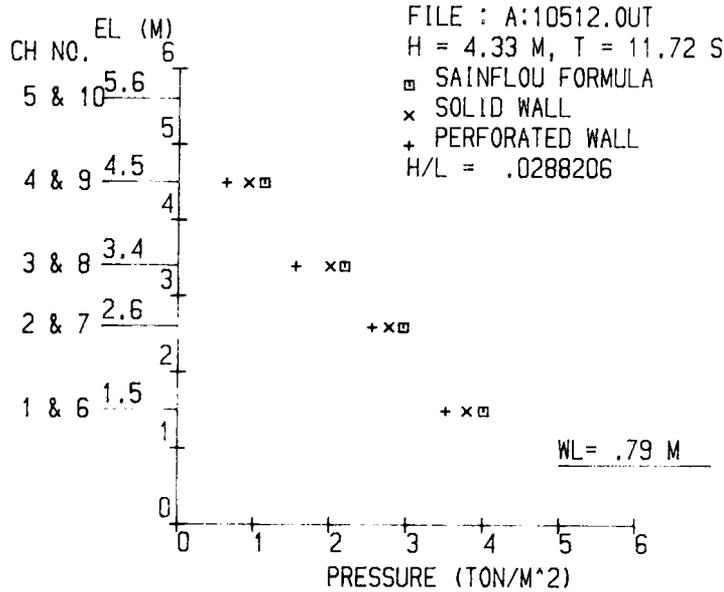


圖5-6(b) 防波堤断面觀測與計算波壓變化

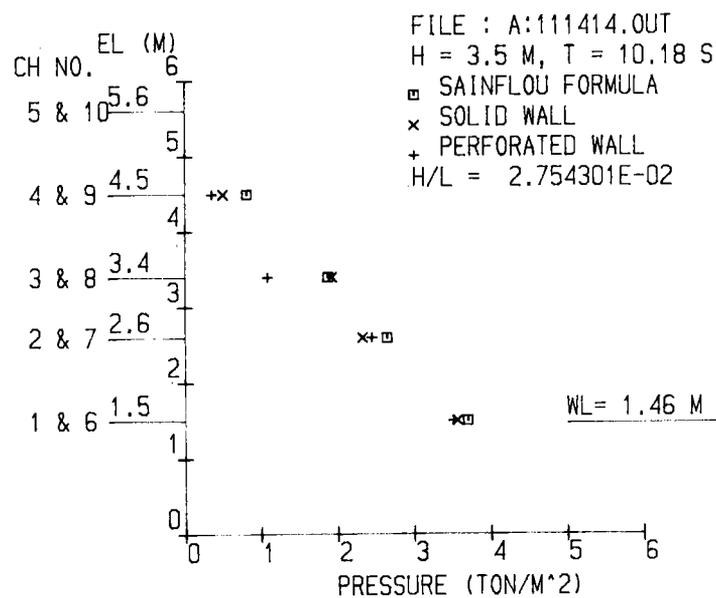
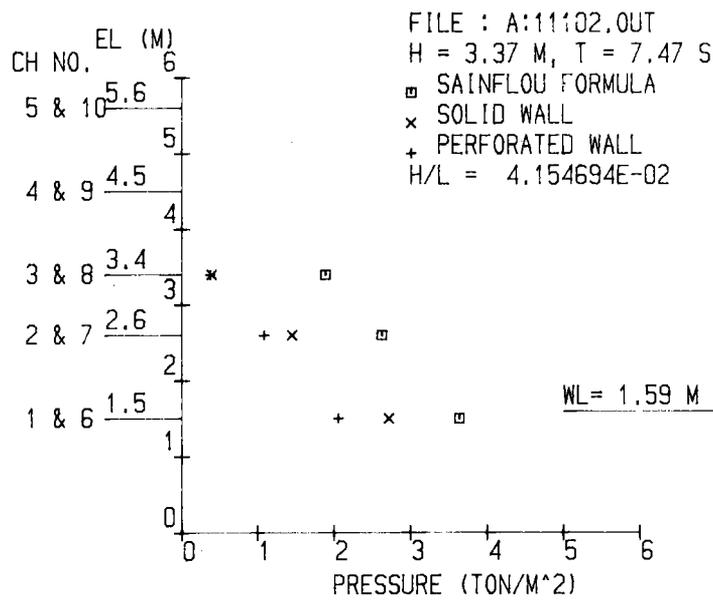
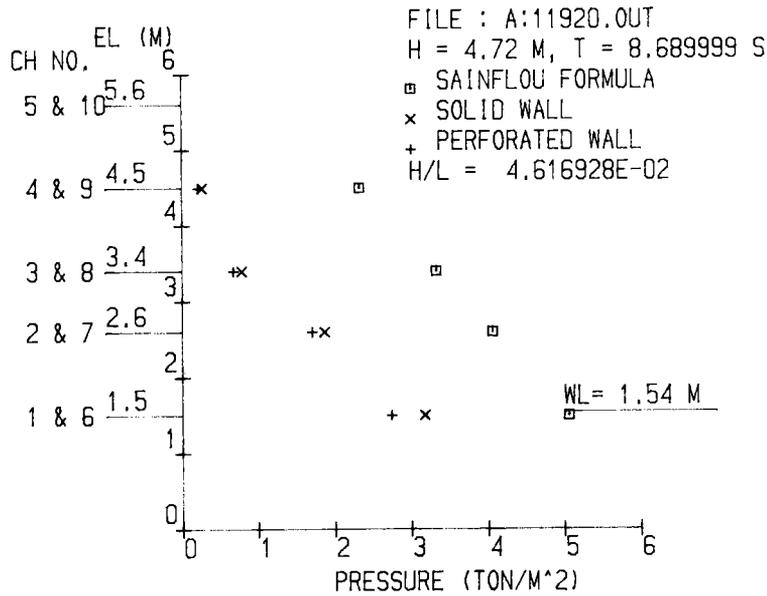


圖5-6(c) 防波堤断面觀測與計算波壓變化

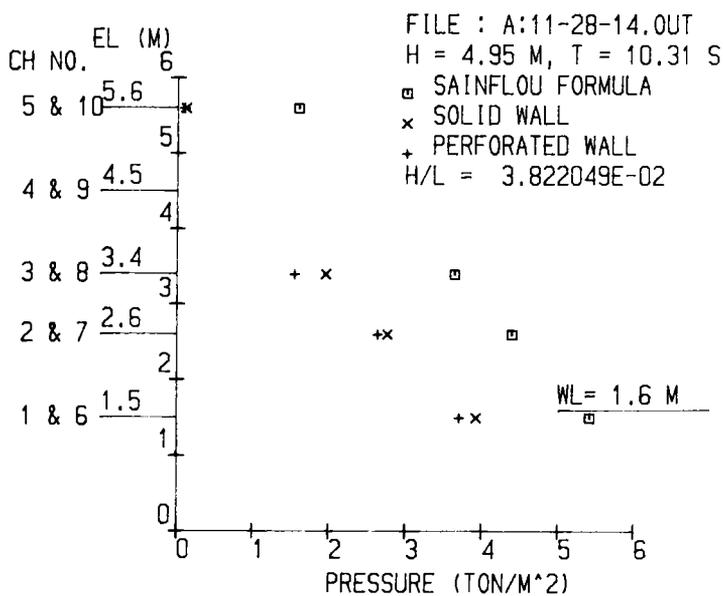
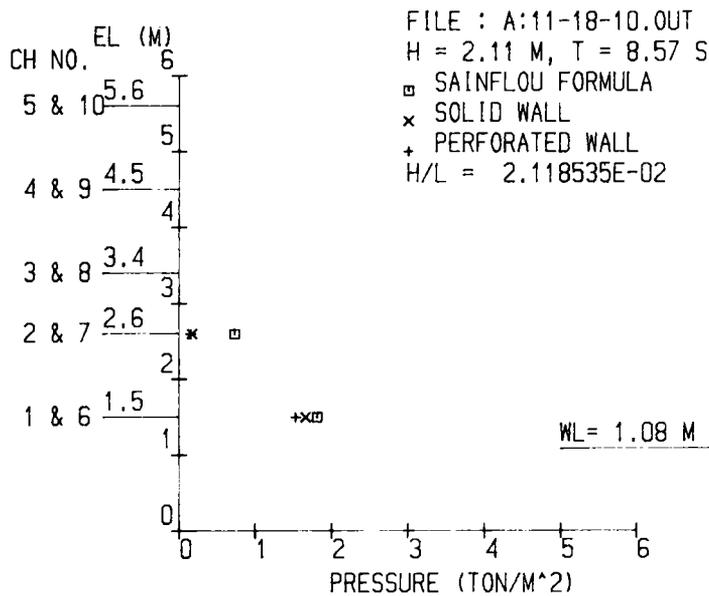
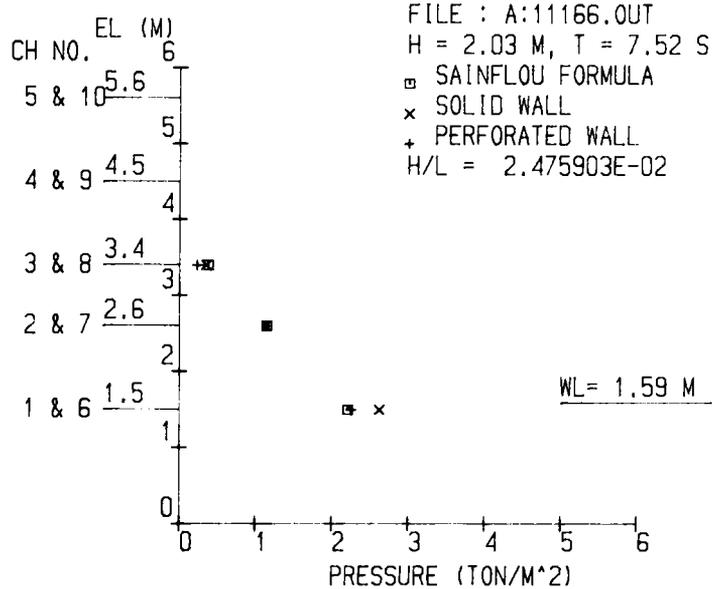


圖5-6(d) 防波堤斷面觀測與計算波壓變化

六、結論與建議

(一) 結論

本所第一次辦理花蓮港開孔胸牆防波堤波壓調查研究計畫，因只有一年，時間太匆促且經驗不足，只取得波浪較小時相當散亂的波壓資料，當時並未同時觀測波浪，因此未能對開孔胸牆與直立牆作深入探討。本研究根據第一次辦理調查經驗，加上現場工作同仁不辭辛勞、冒險工作，取得不少珍貴資料，但10月5日颱風掠過，湧浪侵襲花蓮港時，下午16時以後斷電，未能獲得更多大波浪時段資料，誠屬遺憾。波壓、波浪、潮汐等資料相當龐雜，短時間未能作太深入分析，謹就所得結果敘述如下。

1. 波壓時序變化呈現明顯之群波波壓特性，受群波波腹較大波浪作用，高程3.4m處波壓紀錄幾可判斷群波波腹點之位置。
2. 潮位較高時，安裝於直立牆高程1.5m之波壓紀錄資料呈近似常態分佈；低潮位受小波浪作用時，因未受開孔胸牆影響，未發揮消滅波壓效能，隨潮位增加或波高增大，消滅波壓效能愈形顯著。
3. 相對應時序波壓峰值比較，結果顯示，在短週期波浪作用時，開孔胸牆防波堤消波功能較在長週期波浪作用下為佳，且受越大波浪作用消壓效能越顯著。
4. 安裝在沉箱基座直立牆上，但若頂部為開孔胸牆時，同樣具有消滅波壓功能，且在波浪越大時消滅波壓效率越高。
5. 當潮位接近CH1 直立牆波壓計安裝高程時，在季節風波浪作用下，波浪與波壓分佈概率極為一致，但受長週期颱風湧浪作用時，大波

壓所佔百分比有增加的趨勢。

6. 波壓能譜分析顯示，各紀錄時間直立牆能量均較開孔胸牆略大，其尖峰能量頻率與波浪尖峰能量頻率一致。
7. 分析波壓與波浪尖度相關特性顯示，當波浪尖度較低時，波壓觀測值大於 Sainflou 公式計算波壓值；而當波浪尖度較高時，波壓觀測值反而小於波壓計算。不論直立牆或開孔胸牆之無因次波壓計算與觀測差值 $(P_{cal}-P_{mes})/wH_s$ 均與波浪尖度成線性變化。資料點分佈有些散亂，研判波壓除了受波浪尖度影響外，還受波向、潮位等因素影響。
8. 比較波壓計算值與觀測值顯示，利用 Sainflou 公式計算波壓在較高波浪尖度時有偏大，較低波浪尖度時有偏小之趨勢。波浪尖度在 0.025 附近，利用 Sainflou 公式計算波壓與最符合觀測值。

(二) 建議

1. 現場波壓調查是一項相當艱難的工作，尤其現場位於偏遠的花蓮港，途程往返費時，每每失去紀錄最佳時機。這次調查，排除萬難，取得相當珍貴波壓資料，本研究報告僅為紀錄中較大波壓部份分析結果，其餘資料將陸續再作分析研究。
2. 影響波壓參數甚多，且交互作用。本研究並未對各種參數逐一加以分析檢討，建議利用本次蒐集資料針對各種不同參數及其相互關係再作分析研究，以了解各參數對波壓之影響。
3. 波壓計算公式甚多，本研究只檢討最被廣泛認知的 Sainflou 公式，建議針對 Goda, Miche-Rundgren 等公式再作檢討，期能獲得深水未碎波各種波壓公式適用範圍。

4. 現場波壓調查主要目的在了解開孔胸牆消滅波壓程度，但由於外海波浪作用於消波胸牆時，水理變化極為複雜，且影響因素繁多，有些資料無法在現場取得。根據有限的調查資料很難對防波堤斷面受力情形加以探討，若能利用所測得現場波壓資料驗證模型試驗結果，使原型水理現象在模型上重現，則可以在模型上辦理各種試驗，研究開孔胸牆防波堤受外海波浪作用時，水理現象及消滅斷面總波力程度。

七、參考文獻

1. Jarlan, G.E., "A Perforated Vertical Wall Breakwater", The Dock and Harbor 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, pp1121-1140, 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. 簡仲和等, "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 関する不規則波力に關する實驗的研究", 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 関する揚壓力(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。
- 12.奧園英明等(1986), 遊水部をもつ直立消波構造物前面の水面變動特性について, 第33回海岸工學講演會論文集。
- 13.萩原運弘(1986), 直立消波ケーソンの波力機構と諸要因, 第33回海岸工學講演會論文集。
- 14.萩原運弘(1984), 直立消波ケーソンの消波特性に及ぼす斜め入射波の影響, 第31回海岸工學講演會論文集。
- 15.谷本勝利, 高橋重雄等(1985, 1985, 1985, 1987, 1988), 大水深波浪制御構造物に關する水工的研究(1-5)日本港灣技術研究。
- 16.張金機等(1988), 波壓調査研究報告, 港灣技術研究所。
- 17.章梓雄等(1989), "多孔岸壁波能消散之研究", 成功大學水利及海洋工程研究所。
- 18.蘇青和(1991), "水位變化及斜向波浪對多孔消波室反射及透特性之影響", 港灣技術研究所。