

短峰波波壓特性試驗研究(二)

----- 作用有限長防波堤直立壁

黃 清 和

輔助機構：行政院國家科學委員會

(計劃編號：NSC 76-0410-E124-02)

省政府交通處港灣技術研究所

規劃設計組研究員兼組長

中華民國七十九年三月

短峰波波壓特性試驗研究(二)

----- 作用有限長防波堤直立壁

計畫主持人：黃清和

助理研究員：陳明宗

助 理：江金德

技 工：楊怡芸

內 容

符號說明	(I)
圖表說明	(III)
中文摘要	(IV)
英文摘要	(X)
第一章 緒 論	1
第二章 理論分析	4
§ 2-1 作用於直立壁重複波波壓	4
§ 2-2 短峰波數值理論	9
第三章 模型試驗	13
§ 3-2 模型製作	15
§ 3-3 試驗步驟及試驗條件	17
§ 3-1 試驗設備	13
§ 3-4 試驗數據資料分析	17
第四章 試驗分析結果與討論	20
§ 4-1 有限長防波堤直立壁堤頭波壓力垂直分佈	20
§ 4-1-1 入射角度與堤頭垂直波壓力定性分析	20
§ 4-1-2 堤頭最大波壓與波浪入射角度關係	34
§ 4-1-3 堤頭短峰波波壓試驗值與 Sainflou 公式之定性比較 ..	35
§ 4-2 有限長防波堤水面處橫向垂直最大波壓分佈	69
第五章 結論及建議	77
參考資料	80

符 號 說 明

- P' : 修正後重複波、碎波或碎波後動壓力。
- P : 與堤線垂直方向入射時重複波、碎波或碎波後動壓力。
- θ : 波浪主方向與堤線垂直線之夾角。
- β : 波浪主方向與堤線垂直之夾角修正值。
- L : 水深 h 處之波長。
- C_s : 短峰波波速。
- X : 表座標軸。
- Z : 表座標軸。
- L_x : X 軸上之波長。
- L_z : Z 軸上之波長。
- h' : 拋石基礎方塊的頂端量起之水深。
- H : 壁體設置位置所發生進行波之波高。
- h : 壁體前面水深。
- P_1 : 壁面有波峰時在靜水面發生之波壓強度。
- P_2, P'_2 : 壁體下端發生之波壓強度。
- P_1' : 壁面有波谷時在靜水面下 $(H - \delta_0)$ 處發生之波壓強度。
- ω : 水單位體積重量。
- δ_0 : 在壁面波高中分面之靜水面上的高度。
- P : 全波壓力。
- M : 傾倒力矩。
- ϕ : 速能勢。
- u, v, w : 分別為 X, Y, Z 方向上之速度分量。
- c : Bernoulli 常數。
- g : 重力加速度。

k : 入射波之波數、修正常數。

η : 水位變化。

p, q : 無因次速度在 x 向與 y 向速度之比例。

K_x, K_z : 分別為 X, Z 方向上之波數。

$(P_{\max})'_{\text{斜}}$: 堤頭斜向入射波之最大波壓。

$(P_{\max})_{\text{正}}$: 堤頭垂直入射波之最大波壓。

$(P_{\max})_{\text{有}}$: 有限長堤頭處水面最大波壓。

$(P_{\max})_{\text{無}}$: 無限長堤頭處水面最大波壓。

圖表說明

- 圖 2-1 重複波之波壓
- 圖 2-2 Sainflou 波壓計算圖表 (a): $T \sim h \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 2-3 Sainflou 波壓計算圖表 (b): $\delta_0/H \sim H/h \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 2-4 Sainflou 波壓計算圖表 (c): $P_1/\omega H \sim H/h \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 2-5 Sainflou 波壓計算圖表 (d): $P_2/\omega H \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 2-6 短峰波座標示意圖
- 圖 3-1 試驗配置圖
- 圖 3-2 PC 實驗資料處理系統流程圖
- 圖 4-1 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.701$)
- 圖 4-2 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.452$)
- 圖 4-3 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.320$)
- 圖 4-4 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.250$)
- 圖 4-5 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.201$)
- 圖 4-6 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.173$)
- 圖 4-7 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.701$)
- 圖 4-8 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.452$)
- 圖 4-9 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.320$)
- 圖 4-10 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.250$)
- 圖 4-11 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.201$)
- 圖 4-12 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.170$)

圖 4-13(a) 堤頭處 $\frac{(P_{\max})_{\#}}{(P_{\max})_{\text{正}}}$ 與入射波浪尖銳度關係圖 (波峰)

圖 4-13(b) 堤頭處 $\frac{(P_{\max})_{\text{斜}}}{(P_{\max})_{\text{正}}}$ 與入射波浪尖銳度關係圖 (波谷)

圖 4-14 $\frac{(P_{\max})_{\text{斜}}}{(P_{\max})_{\text{正}}}$ 比值百分比之發生頻率組體圖

圖 4-15(a) $\frac{(P_{\max})_{\text{有}}}{(P_{\max})_{\text{無}}}$ 比值與入射波浪尖銳度關係圖 ($\theta = 0^\circ$)

圖 4-15(b) $\frac{(P_{\max})_{\text{有}}}{(P_{\max})_{\text{無}}}$ 比值與入射波浪尖銳度關係圖 ($\theta = 45^\circ$)

圖 4-16-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.701$)

圖 4-16-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.701$)

圖 4-16-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.701$)

圖 4-17-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

圖 4-17-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

圖 4-17-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

圖 4-17-4 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

圖 4-17-5 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

圖 4-18-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

圖 4-18-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

圖 4-18-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

圖 4-18-4 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

圖 4-18-5 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

圖 4-18-6 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

圖 4-19-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-19-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-19-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-19-4 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-19-5 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-19-6 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-20-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)

圖 4-20-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)

圖 4-20-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)

圖 4-20-4 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)

圖 4-21-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.174$)

圖 4-21-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.174$)

圖 4-21-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou
波壓公式比較圖 ($d/L=0.174$)

圖 4-22 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與
 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.701$)

圖 4-23 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與
 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.443$)

圖 4-24 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與
 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.320$)

圖 4-25 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與
 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.245$)

圖 4-26 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與
 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.204$)

圖 4-27 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與
 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.174$)

表 3-1 8253 I/O 位比對照表

表 4-1 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 0^\circ$)

表 4-1(續) 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 0^\circ$)

表 4-2 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 45^\circ$)

表 4-2(續) 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 45^\circ$)

照片 3-1 波壓計

照片 3-2 有限長防波堤模型

摘 要

短峰波波壓基本特性與駐波情況有顯著之不同，本文乃為進一步瞭解短峰波作用有限長防波堤直立壁波壓特性，利用物理模型試驗，探討三維短峰波波浪系統作用在有限長防波堤壁面(1)於堤頭波壓力垂直分佈特性以及(2)自堤頭沿防波堤在水面處之橫向波壓力分佈特性，試驗結果除與作者(1988)“短峰波波壓特性(一)....作用無限長防波堤直立壁”研究結果作一比較分析外，並與 Sainflou 波壓公式作一比較。

ABSTRACT

There it exists a distinction of basic wave pressure characteristics between the short-crested waves and standing waves. Author further intends to investigate the wave pressure distribution of a finitly long breakwater at its head and along the water surface of breakwater. Then, a physical experiment was being undertaken on the short-crested waves produced obliquely reflecting waves from a rigid vertical wall in this study. Qualitative comparisioms with the results investigated by author in 1988 for the infinitely long breakwater and Sainflou formulus are discussed also.

第一章 緒 論

為瞭解短峰波波壓基本特性，作者(1988)在國科會輔助計畫 NSC 76-0410-E124-01，曾探討“短峰波波壓特性試驗研究(一)----作用無限長防波堤直立壁”問題，獲致下列數點結論：

- (1)無限長防波堤直立壁在相同入射波浪條件作用下沿著堤面水平方向每個斷面處最大波壓力分佈均相同。
- (2)當入射角 θ 為 0° 即駐波情況，試驗結果顯示，較大相對水深比值 ($d/L=0.281$) 時，最大向岸垂直波壓力發生在水面附近，隨入射波浪尖銳度增加而變大，且當尖銳度達 0.0865 最大向岸波壓力則發生在水面下；而最大離岸波壓力一般均發生在水面下；同時相對水深，波浪尖銳度比值較大者，試驗結果顯示波谷時所產生離岸垂直波壓力甚致較波峰時所產生向岸垂直波壓力為大，而相對水深變淺最大向岸波壓力分佈則趨於複雜且產生二個 peak 現象；再者當入射波浪條件 H/d 為 0.308 時，除最大向岸波壓力均發生在水面下且當相對水深 d/L 值為 0.1950 時，試驗結果均顯示最大離岸波壓，甚至大於最大向岸波壓。
- (3)相同入射波浪條件，採斜向入射時，作用在堤面之向岸抑或離岸垂直波壓力分佈均較駐波時為大，且最大向岸垂直波壓力均發生在水面下，同時當 d/L 值為 0.195 時， H/L 大於 0.0534 上時亦產生二個 peak 現象，尤有甚者，在入射角度 θ 為 30° 時，最大波壓力均發生在波谷時，當入射波浪角度 θ 增加為 45° 時，試驗結果顯示，垂直波壓力較 θ 為 30° 時為小，且除相對水深比值小於 0.155， H/d 比值大於 0.344 者，其最大離岸波壓力大於向岸者外，其餘試驗情況均顯示最大垂直波壓力均發生在波峰時，當 θ 增加為 60° 時，除較大相對水深比值其垂直波壓力較 θ 為 45° 時大者外，當相對水深比值小於 0.195 時，則波壓力均隨入射角度增加而減小。

- (4)當入射角 θ 為 90° 即進行波試驗情況，試驗結果顯示，堤面所受垂直波壓力大為減小，最大向岸或離岸波壓力均發生在水面下，且以波峰情況為最大，同時在相同波高試驗條件，仍以在相對水深比值為 0.1950 時其垂直波壓力分佈為最大。
- (5)有關入射角度 θ 對堤面垂直波壓力分佈影響，試驗結果顯示，在不同尖銳度入射波浪作用時相對水深比值較大 ($d/L=0.281$)，波浪尖銳度小於 0.0747 者，垂直波壓力分佈大小分別依次為 60° 、 45° 、 0° 以及 90° 而遞減；惟當相對水深比值較小 ($d/L=0.100$)，不同尖銳度入射波浪作用，試驗結果顯示，波浪尖銳度小者，在波峰時，以 θ 為 45° 垂直波壓力值為最大，依次為 30° 、 60° 、 0° 及 90° 等，波浪尖銳度值較大達 0.0347 以上時，以 θ 為 30° 時為最大依次為 45° 及 60° ；當堤面為波谷時角度對垂直波壓力分佈影響與波浪為波峰時具相同趨勢。
- (6)本專題研究經採用林銘崇等計算短峰波波壓力相同數值解析法，探討短峰波壓特性，結果顯示，該數值解析法僅適用在相對水深值遠大於 0.5 者即所謂深水波者，而其定性地差異較顯著者如理論結果認為垂直波壓分佈隨相對水深之減小而增大且將在水面附件產生最大垂直波壓力，然試驗結果顯示，除駐波波壓分佈最大波壓發生在水面處外，當波浪斜向入射在堤前形成短峰波時，最大波壓力均發生在水面下且波高愈大，將產生二個 peak 現象；惟在駐波時，當 $H/d=0.308$ 時，最大波壓力仍發生在水面下；同時試驗結果顯示，最大波壓分佈並非如理論值隨入射角之減小而增大，而係受相對水深以及波浪尖銳度比值大小有所影響；惟在駐波時，當 $H/d=0.308$ 時，最大波壓力仍發生在水面下。
- (7)當波浪入射角 θ 為 0° 即駐波情況，在相對水深為 0.1003 及 0.1505 時，試驗所量測波壓分佈與經 Sainflou 波壓公式計算所得尚稱符合此點與往昔學者試驗結果尚稱一致，惟當相對水深比值為 0.195 與 0.281

時，過去學者認為 Sainflou 公式計算值偏大，本專題研究試驗結果在波浪尖銳度值大於 0.0600 時亦有此趨勢，惟當波浪尖銳度值小於該值時，仍有偏小趨勢。

由以上結論可知，短峰波波壓基本特性與駐波情況，有顯著之不同，作者為進一步瞭解短峰波作用有限長防波堤直立壁波壓特性乃在國科會補助計劃 NEC 76-0410-E124-02 進行該項試驗研究，利用物理模型試驗，探討三維短峰波波浪系統作用在有限長防波堤壁面 (1) 於堤頭波壓力垂直分佈特性以及 (2) 自堤頭沿防波堤在水面上之橫向波壓力分佈特性，試驗結果除與作者(1988) "短峰波波壓特性(一) ----作用無限長防波堤直立壁" 研究結果作一比較分析外，並與 Sainflou 波壓公式作一比較。

第二章 理論分析

本專題研究乃為瞭解波浪因斜向入射（當 $\theta = 45^\circ$ 時）所產生短峰波系統對有限長防波堤直立壁所產生波壓力與駐立波（當 $\theta = 0^\circ$ 時）所產生者差異，並比較短峰波系統對有限長防波堤直立壁堤頭處所產生波壓力理論值與試驗值適用性，茲分別摘錄敘述重複波 Sainflou 波壓公式以及短峰波數值理論分析如下：

§ 2-1 作用於直立壁重複波波壓

〈一〉 重複波波壓公式適用界限

重複波的波壓原則上能滿足下述條件才能適用

$$h' \geq 2H \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

式中 h' ：拋石基礎方塊的頂端量起的水深(m)

H ：在該處進行波的波高(m)

完全重複波的發生界限在水深較淺時 ($h/L < 0.1$ 左右) 則 $h/H = 1.5$ 附近尚不會碎波，但水深較深時 $H/L = 0.09 \sim 0.10$ 成為碎波界限而與前面水深無關，波高(H)應採用在尚未設置構造物以前來襲之波高為準。

水深 h' 由拋石基礎之頂端量起，如果沒有拋石基礎之頂端時，應採用直立壁前面之海底水深做為 h' 值。

<二> 重複波的波壓

重複波的波壓如圖 2-1 所示，成直線分佈，採用其最大值及最小值作為計算依據。

(1) 壁面發生波峰時

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= (p_2 + \omega_0 h) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right) \\ p_2 &= \frac{\omega_0 H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\delta_0 = \frac{\pi h^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L} \dots\dots\dots (2-3)$$

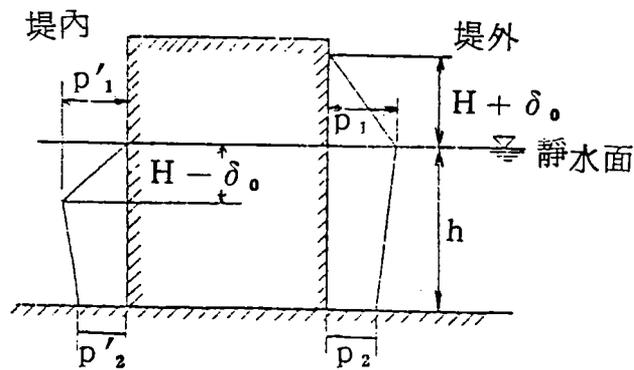


圖 2-1 重複波之波壓

(2) 壁面發生波谷時

$$\left. \begin{aligned} p_1' &= \omega_0(H - \delta_0) \\ p_2' &= \frac{\omega_0 H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-4)$$

式中 p_1 = 壁面為波峰時在靜水面發生之波壓強度 (t/m^2)

p_2, p_2' = 壁體下端發生之波壓強度 (t/m^2)

p_1' = 壁面為波谷時在靜水面下 ($H - \delta_0$) 處發生之波壓強度 (t/m^2)

ω_0 = 海水單位體積重量 (t/m^3) 為 $1.03 t/m^3$

δ_0 = 在壁面波高中分面之靜水面上之高度 (m)

h = 壁面前面水深 (m)

H = 壁體設置位置所發生進行波之波高 (m)

L = 水深 h 處波長 (m)

按 Sainflou 公式在上面所表示者為其簡略公式，于 1928 年發表的原來公式其波壓分佈不是直線狀而略帶凹形狀，為計算重複波公式中最簡單惟精度並非最佳者，依 W.E.S 或日本港灣研究所，土木研究所實驗結果顯示，在水深波長比 (h/L) 在 $0.1 \sim 0.15$ 附近計算值與實驗值相符，但比此為深的地方則 Sainflou 計算值比實驗值為大，相反地 $h/L < 0.1$ 時計算值過小，又波峰往往比 $H + \delta_0$ 為高，惟實際波壓計算可採圖解法如圖 2-2 ~ 2-5 所示，遠較式 (2-1) ~ 式 (2-4) 波壓計算公式為方便。當波峰作用於壁面時，其全波壓 P 與傾倒力矩 M 則由式 (2-5) 計算。

$$\left. \begin{aligned}
 P &= 0.5 [p_1 (H + \delta_0 + h) + p_2 h] \\
 M &= \frac{1}{2} p_1 h (H + \delta_0) + \frac{1}{6} (p_2 + 2p_1) h^2 + \frac{1}{6} p_1 (H + \delta_0)^2
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-5)$$

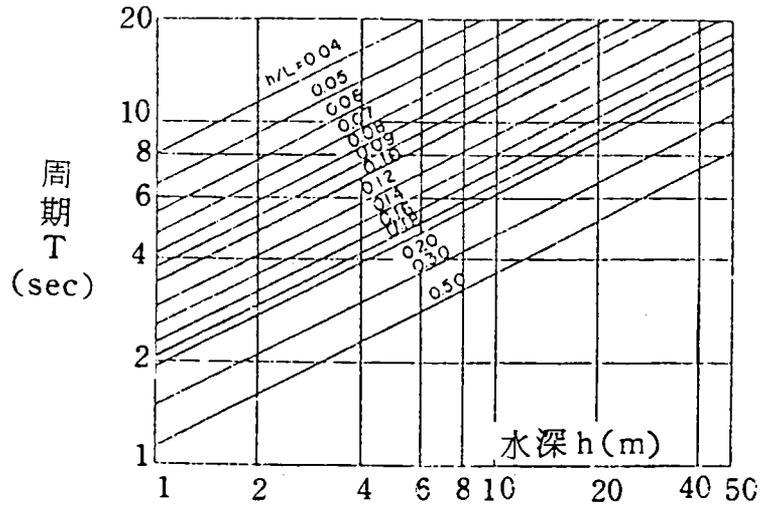


圖 2-2 Sainflou 波壓計算圖表 (a)

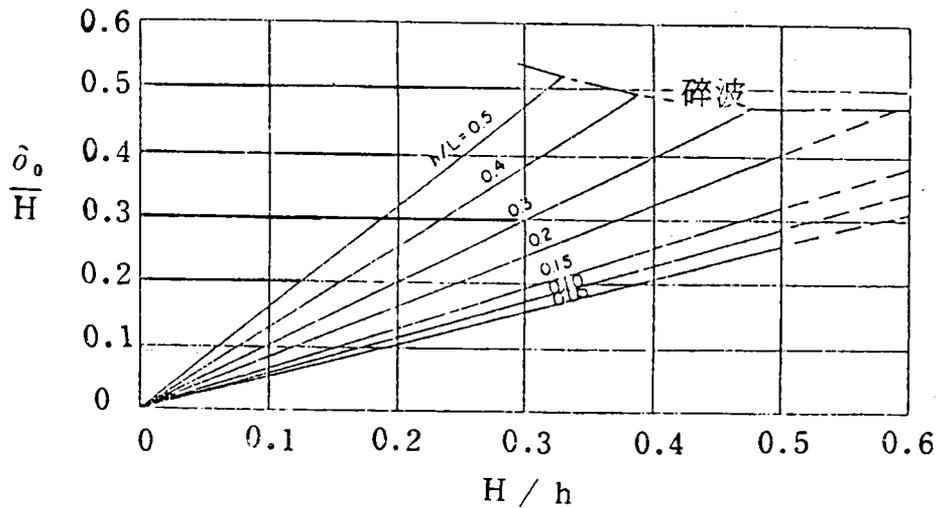


圖 2-3 Sainflou 波壓計算圖表 (b)

同時，重複波的波壓係由於水面後緩慢地昇高所產生之水壓，故雖然與壁體斜向入射，如水面的升降量不改變，可看做以直角方向入射於直立

壁所發生波壓相同，在微小振幅波時，波向的影響完全沒有，因此重複波
 波壓作用時，認為可以不考慮波向的影響。

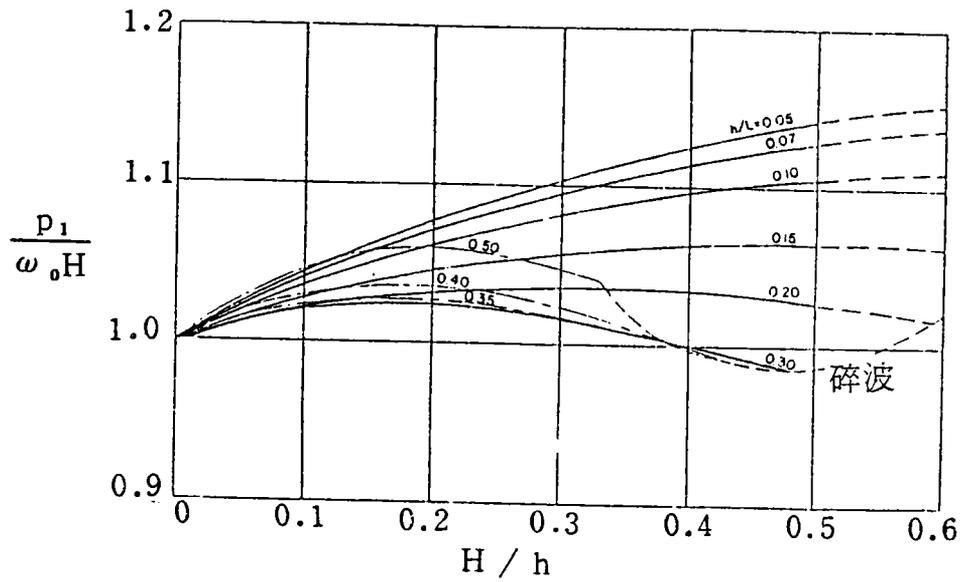


圖 2-4 Sainflou 波壓計算圖表(c)

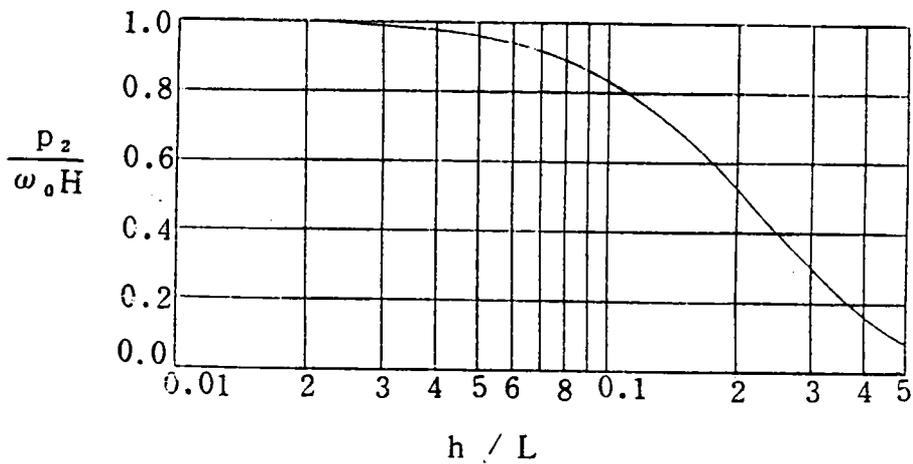


圖 2-5 Sainflou 波壓計算圖表(d)

§ 2-2 短峰波數值理論

為研究三維空間短峰波波浪特性，座標示意圖如圖 2-6 所示，X 軸為短峰波進行方向，Z 軸為在水平面上與 X 軸垂直著，X-Z 平面即為海平面，Y 軸向上為正。

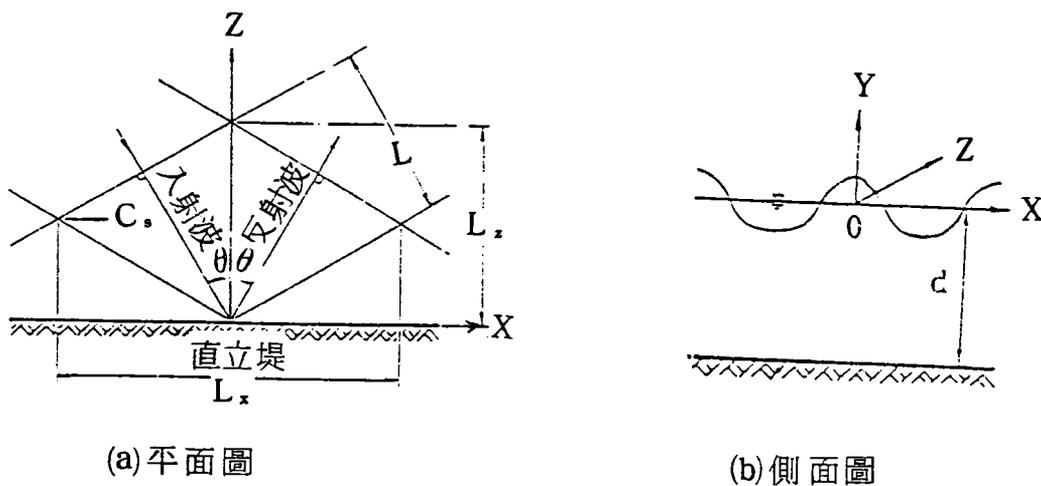


圖 2-6 短峰波座標示意圖

假設流體為不可壓縮 (incompressible)，不具粘滯性 (non-viscosity)，其運動具非旋性 (irrotational)，則存在一速能勢 (velocity potential) ϕ ，使得

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y}; \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z} \dots\dots\dots (2-6)$$

其中 u 、 v 、 w 分別為 X、Y、Z 方向上之速度份量，由於流體質量守衡之連續條件，在水域內流體必須滿足 Laplace 方程式，即

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots (2-7)$$

因自由表面須滿足流通量平衡及動力平衡關係，故自由表面運動邊界及動力邊界條件分別為

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \phi}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right] = C \dots\dots (2-9)$$

其中 g 為重力加速度， C 為 Bernoulli 常數。

假設底床為不透水邊界，則在底床法線方向無流體流通量，故底床邊界條件為

$$\text{無限水深時} \quad \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y \rightarrow -\infty} = 0 \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\text{有限水深時} \quad \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y \rightarrow -d} = 0 \dots\dots\dots (2-11)$$

若令 x 軸上波長為 L_x ，而波峰線沿著 Z 方向波峰間距為 L_z (參考圖2-6)，則

$$L_x = L/\sin\theta \dots\dots\dots (2-12)$$

$$L_z = L/\cos\theta \dots\dots\dots (2-13)$$

其中 L 為入射波長， θ 為入射波進行方向與防波堤法線方向所成夾角，若令 k_x ， k_z 分別為 X ， Z 方向上波數，則

$$k_x = \frac{2\pi}{L_x} = \frac{2\pi}{L/\sin\theta} = k \sin\theta \dots\dots\dots (2-14)$$

$$k_z = \frac{2\pi}{L_z} = \frac{2\pi}{L/\cos\theta} = k \cos\theta \dots\dots\dots (2-15)$$

此處 $k = \frac{2\pi}{L}$ 為入射波波數

為解析方便，林銘崇等在長度、時間方面分別以 k 及 $1/\sqrt{gk}$ ，作為無因次化參數且為便於對各種角度比較，假設波浪在進行時，波形保持一定，並作週期性運動，同時定義無因次速度與流體在自由表面上的速度份量成比例，即假設在 x 向的速度與 y 向速度比例分別為 p 與 q ，若 $g=1$ ，則控制方程式及邊界條件，轉換成無因次化三度空間穩定化座標系可得

(1)控制方程式

$$p^2 \phi_{xx} + \phi_{yy} + q^2 \phi_{zz} = 0 ; \forall Y < \eta(X, Z)$$

(2)自由表面運動條件

$$-\omega \eta_x - p^2 U \eta_x - V + q^2 W \eta_z = 0, \forall X, Z$$

(3)自由表面動力邊界條件

$$-\omega U + \eta + \frac{1}{2} (p^2 U^2 + V^2 + q^2 W^2) = C, \forall X, Z$$

(4)底床邊界條件

$$\textcircled{1} \text{無限水深時} \quad \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y \rightarrow -\infty} = 0$$

$$\textcircled{2} \text{有限水深時} \quad \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y \rightarrow -d} = 0$$

以上經過轉換之方程式，即為林等數值計算基本方程式；同時在計算過程中並定義半波振幅 H ，以限定振幅大小，即

$$H = \frac{\eta(0,0) - \eta(\pi,0)}{2}$$

其中 $\eta(0,0)$ 及 $\eta(\pi,0)$ 分別為短峰波在 $Z=0$ 斷面，波峰點與波谷點水位，則在未知數算出後，即可由 Bernoulli 方程式

$$p = C + \omega U - \eta - \frac{1}{2} (\rho^2 U^2 + V^2 + q^2 W^2)$$

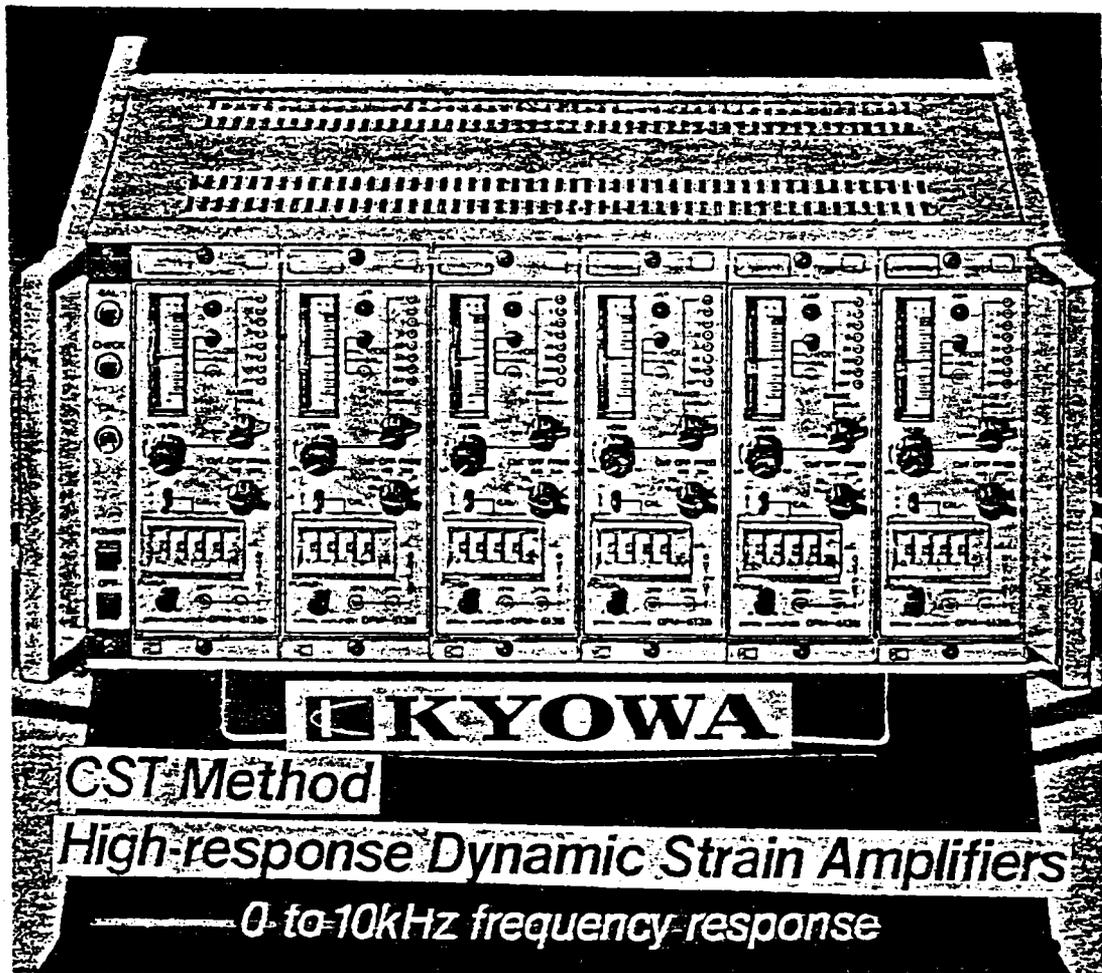
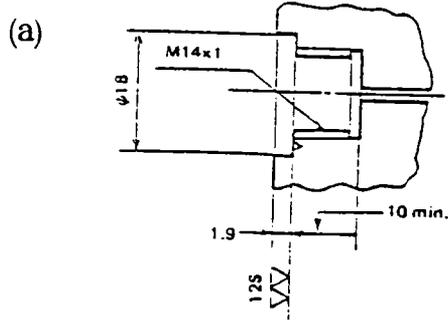
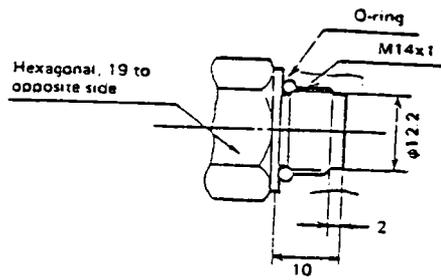
求得壓力分佈，若欲計算對堤壓力，將座標定在斷面 $Z=0$ 上，即可得到堤上每一位置波壓分佈。

第三章 模型試驗

為瞭解短峰波作用有限長防波堤直立壁波壓基本特性，本試驗在國科會輔助計劃 NSC 76-0410-E124-02，於港灣技術研究所進行模型試驗工作，茲將整個試驗工作略述如下：

§ 3-1 試驗設備

- (1) 試驗水池：長 62m，寬 57m，深 1m，附屬設備有蓄水池，恒壓水塔、環流設備、移動台車及吊車等。
- (2) 造波機：DHI 製造之油壓推移式造波機，主要動力為二部 20HP 馬達，使油壓維持在 140bar 壓力，利用讀紙帶機輸入波浪資料，經由信號產生器及伺服閥等控制造波機以製造試驗所需各種波浪。
- (3) 導波板：分別置於造波機兩側，沿波浪進行方向排置，俾引導波浪到一定方向，以避免能量擴散。
- (4) 容量型波高儀：包括感受器及增幅器，用以率定及記錄試驗波浪資料，係將水面起伏變化，先經一對白針線感受器轉變為電阻變化，藉惠氏登電橋改換成電流，復藉增幅器予以放大後，由電腦分析或記錄儀記錄電流變化。
- (5) 16 位元 PC 微電腦：執行 PC 資料，處理系統並包含一個快速、高精度 DI-AN A/D 卡以及一個能求得精確參考取樣頻率之功能實驗卡。
- (6) 波壓計以及 High-response 動力應變增幅器如照片 1。



(b)

照片 3-1 波壓計 (a)裝設配置圖 (b)增幅器

§ 3-2 模型製作

本專題試驗研究，為探討短峰波在有限長防波堤直立壁面，(1)於堤頭波壓力垂直分佈特性以及(2)自堤頭沿防波堤在水面上之橫向波壓力分佈特性，在 $62^m \times 57^m \times 1^m$ 大型平面水槽中，利用鐵板，建一長為 30^m ，高為 1^m 直立堤，試驗配置如圖 3-1 及照片 2 所示，於定水深 $d=70$ 公分，利用直立堤反射作用俾使反射波與入射波在堤前形成所謂短峰波系統，以探討不同波浪入射角 $\theta = 45^\circ$ ，入射波波高 H 及週期 T 於未碎波前，作用在堤頭垂直壁面上其垂直波壓力以及沿水面水平方向，波壓力分佈特性，本試驗分別設置 11 個波壓計其設置點如圖 3-1 所示，垂直波壓分佈有 6 個測點水平方向波壓力分佈測點自堤頭開始亦有 6 點，其間距分別為 64cm 。

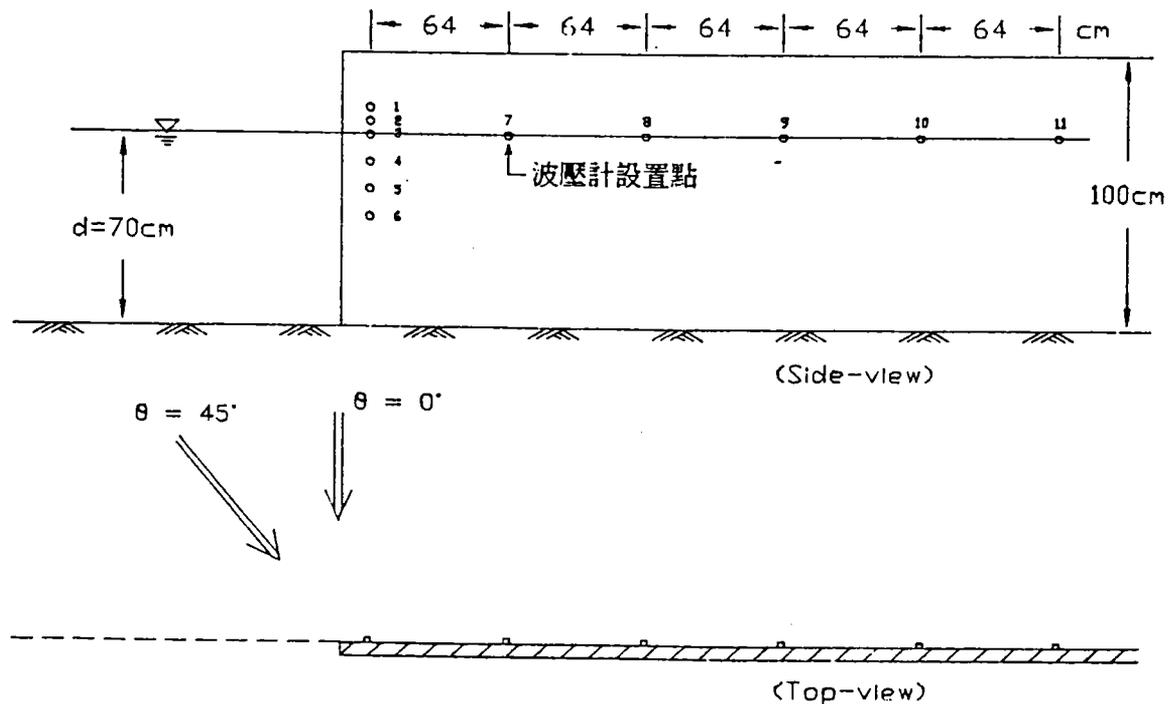
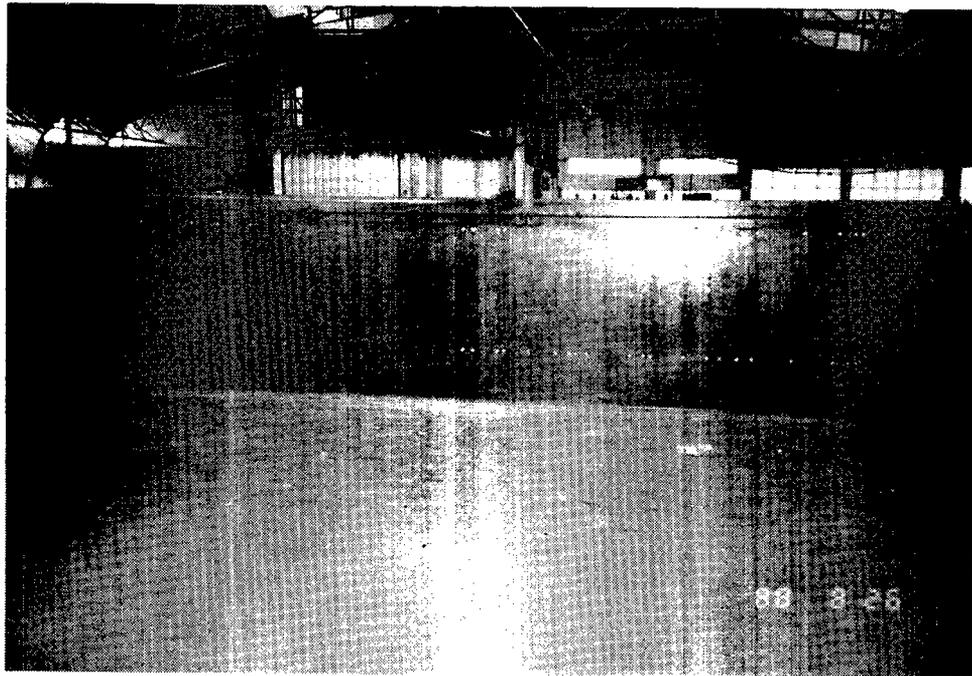
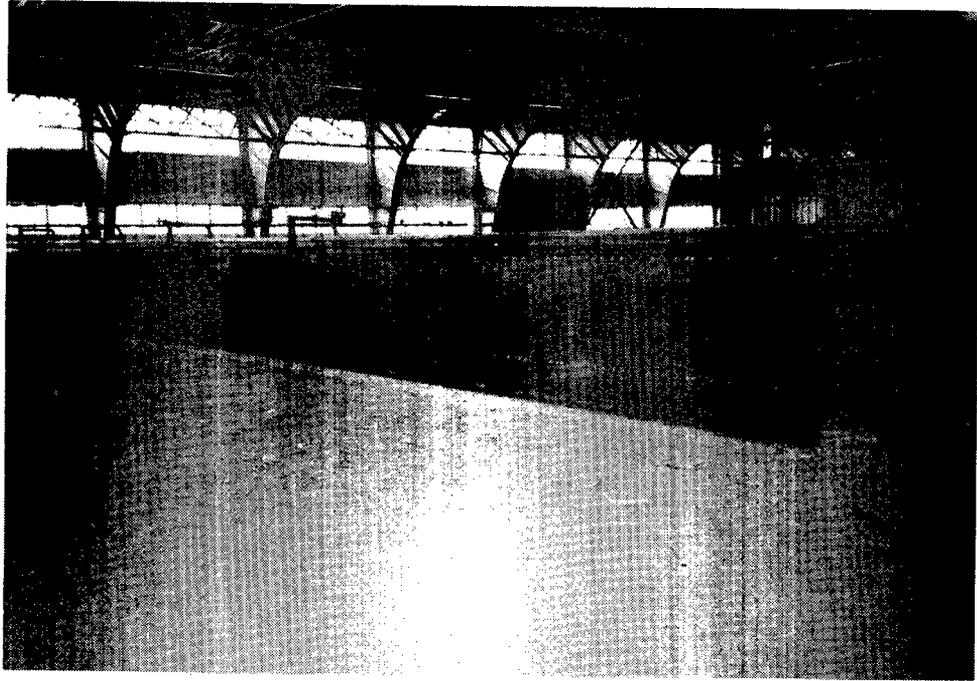


圖 3-1 試驗配置圖



照片 3-2 有限長防波堤模型

§ 3-3 試驗步驟及試驗條件

(一) 試驗步驟

- (1) 率定波浪斜向入射 $\theta = 45^\circ$ 時，試驗波浪條件即入射波高及週期。
- (2) 週期固定，變換入射波浪波高(H) 以量取 NO.1~NO.11 波壓力。
- (3) 變換入射波浪週期(T)，重複步驟(2)。
- (4) 變換入射角度即 $\theta = 0^\circ$, $\theta = 45^\circ$ 重複步驟(2)~(3)。

(二) 試驗條件

為瞭解短峰波波浪系統在波浪斜向入射 $\theta = 45^\circ$,不同入射波波高(H)以及週期(T)等波浪條件，於波浪未碎波前作用在有限長垂直壁面上，於堤頭垂直方向以及沿水面上水平方向波壓力分佈特性，本試驗研究共進行 54 個試驗情況，試驗條件分別如表 3-1 所示。

§ 3-4 試驗數據資料分析

本試驗資料處理系統，硬體方面包括 (1)16 位元 PC 微電腦(含 640K 記憶體和硬式磁碟 (2)一片 DI-AN A/D 卡和 (3) 一片多功能實驗卡；軟體方面則包含乙套 PC 資料處理系統程式，茲將本試驗資料分析方法略述如下：

- (1)16 位元 PC 電腦：執行 PC 資料處理系統，資料抓取過程中，將資料直接儲存於 640K 記憶體中，程式執行完畢後，將原始資料存於硬氏磁

碟中，以便傳輸分析。

(2)DI-AN A/D 卡：為一快速、精密度高 12 BIT A/D 卡，由於水工試驗上各機器之地線幾乎都在一起，因此一塊多工器即可掃描 16 個波道的單端(SINGLE-ENDED)輸入。其轉換時間約 20US,輸入電壓範圍由+10.2375 ~ -10.240V, 增益可以程式設定，由 1,2,4 至 8 等 4 段倍率，解析能力由 ±5mV 可提高至 ±0.625mV。

(3)多功能實驗卡：為求得精確參考取樣頻率，乃利用前述多功能實驗卡上 8253 IC 作為 CLOCK GENERATOR。

8253 I/O 位址如下表所示

表 3- 8253 I/O 位址對照表

PORT ADDRESS	REGISTER
3E8 H	CHENNEL 0
3E9 H	CHENNEL 1
3EA H	CHENNEL 2
3EB H	CONTROL REGISTER

本系統利用 CHENNEL 0 暫存器產生設定頻率之方波,CHENNEL 0 輸入參考觸發時鐘為 1.19 MHZ, 以計頻器測試約 11.93245HZ; 以(參考時鐘)/(預設定之頻率)=(輸入 3E8H 位址之除數值)。輸入控制暫存器 (3EB H) =H 36 值來啓動 8253 後，再將計算過後之除數以先低階後高階之順序輸入(3E8H)位址，即可於 OUT 0 接腳獲得預定之方波，輸出方波再由 8255 接腳輸入，讀取 8255 該輸入接腳之 "0", "1" 值即可獲 (F) 預定頻率之週期性 CLOCK。

(4) PC 資料處理系統方程式之流程如圖所示：

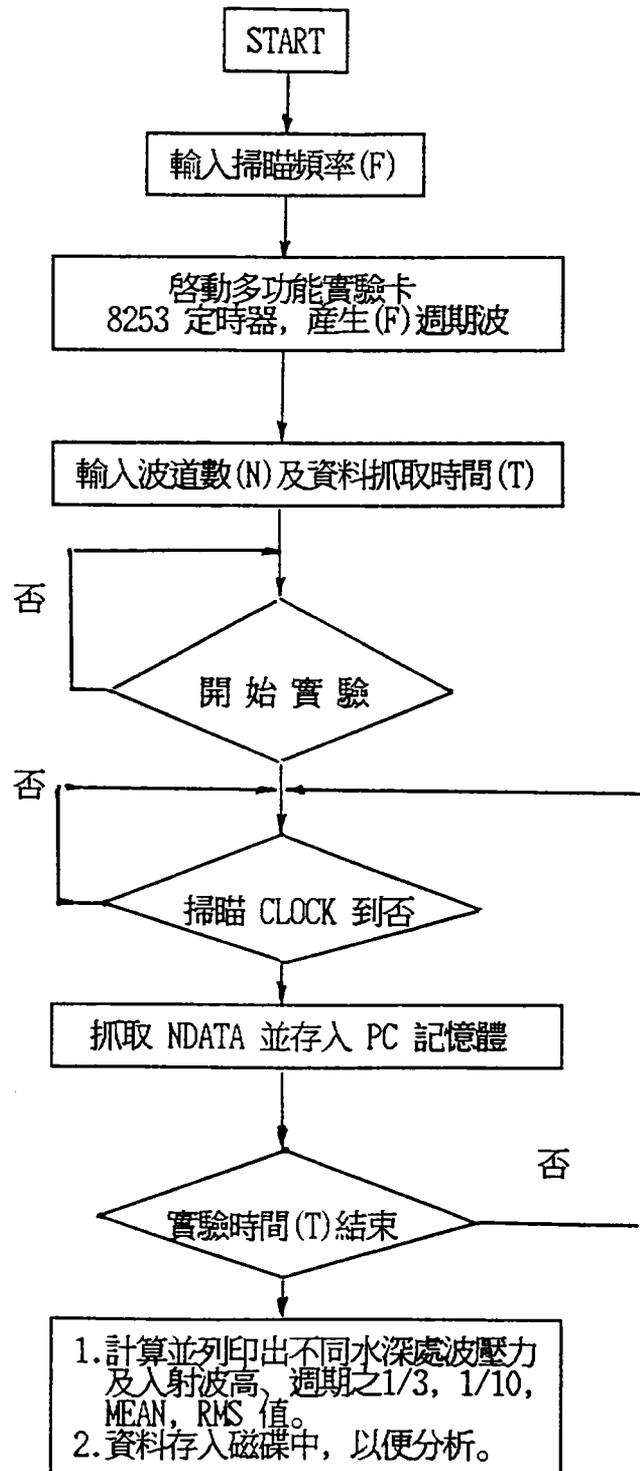


圖 3-2 PC 實驗室資料處理系統流程圖

第四章 試驗分析結果與討論

本專題試驗研究共計執行 54 個試驗情況，表 4-1 與表 4-2 分別為波浪入射角度 θ 為 0° 即正向入射以及 θ 為 45° 即斜向入射時之試驗結果。表格中(1)、(2)項為試驗時，波高計二支安置於造波板 2m 處所量得代表深海波之入射波浪條件；表格(3) 中 H 值為波高計安置於有限長防波堤頭處所量得堤頭水面處之波高值。其中二個數值分別代表因直立堤反射波作用，於堤頭前所量得最大波 H_{max} 及最小波 H_{min} 值；表格(3) 中 R 值，前面冠以 "+" 號者表入射波浪波峰與靜水面上之距離，前面冠以 "-" 號者表波谷時與靜水面之距離；表格(4)中之 H 及 R 值則為波高計安置於距有限長防波堤頭 2m 處所得之數值，用以檢定直立壁前之水位變化；表格(5)~(10)中之數值表波壓計安置於堤頭，不同水深處所量得之垂直波壓力值，正負符號分別為波峰與波谷時所量得之波壓值，其中表格(7)數值係波壓計安置於堤頭靜水面處所量得者；而表格 (11)~(15) 中數值則表自堤頭沿堤面橫向水面處，每間距 64cm 安置波壓計所量得波壓力數值，謹將分析結果敘述如下：

§ 4-1 有限長防波堤直立壁堤頭波壓力垂直分佈

§ 4-1-1 入射角度與堤頭垂直波壓力定性分析

<一> $\theta = 0^\circ$ 即波浪正向入射時

圖 4-1 ~ 圖 4-6 分別為波浪正向入射，在各種不同相對水深堤頭垂直波壓分佈圖，圖 4-1 為相對水深 $d/L=0.701$ 屬深水波，在各種不同波高作用下波壓之垂直分佈，右圖及左圖則分別為波峰

表 4-1 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 0^\circ$)

試驗編號	深海入射波浪條件				堤面波浪分佈				堤頭垂直方向壓力分佈										堤面橫向水面處波壓分佈				
	1		2		3		4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
	週期	波高	週期	波高	H	R	H	R	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H	R				
P0803	0.8	3	0.8	3.05	8.20 6.0	+4.28 -3.92	6.88 5.69	+3.42 -3.46	0	0	+4.05	+2.48 -3.63	+1.29 -2.24	+1.0 -0.73	+4.0	+4.02	+4.11	+3.48	+3.85				
P0805	0.8	5.5	0.8	5.2	15.27 7.55	+7.75 -7.52	13.52 6.47	+6.45 -7.27	0	+3.74	+5.37	+4.18 -5.83	+2.69 -5.75	+1.98 -2.10	+10.97	+8.7	+8.39	+9.92	+9.32				
P0807	0.8	7.4	0.8	7.0	15.25 9.90	+7.70 -7.54	11.77 9.14	+5.83 -5.94	0	+3.98	+6.18	+4.68 -5.44	+3.20 -4.26	+2.04 -1.63	+7.13	+7.10	+6.55	+6.92	+6.52				
P1003	1.0	3.0	1.0	3.0	8.16	+4.28 -3.88	6.16	+3.82 -2.34	0	+2.16	+4.28	+2.88 -4.46	+2.27 -2.78	+1.36 -2.26	+2.75	+3.67	+3.59	+4.01	+3.67				
P1005	1.0	5.0	1.0	5.1	13.22 10.78	+6.43 -6.79	10.2 8.2	+4.97 -5.23	0	+3.86	+5.04	+4.38 -5.58	+2.96 -4.70	+1.79 -2.47	+4.11	+5.63	+5.99	+5.85	+5.68				
P1007	1.0	7.5	1.0	7.5	19.20 12.77	+9.21 -9.98	15.79 11.91	+7.36 -8.43	0	+4.77	+7.18	+6.03 -5.70	+4.47 -7.93	+2.64 -4.46	+6.67	+6.95	+7.09	+7.11	+7.22				
P1009	1.0	9.4	1.0	9.0	21.88 13.99	+12.05 -9.58	21.71 15.62	+10.39 -11.31	+0.81	+8.58	+9.74	+8.20 -5.87	+5.94 -12.29	+3.63 -6.85	+9.10	+10.67	+9.98	+9.19	+9.14				
P1011	1.0	11.2	1.0	11.0	26.31 17.48	+12.06 -14.26	31.52 19.44	+14.86 -16.65	+3.86	+7.26	+10.03	+7.86 -6.25	+6.01 -9.62	+3.98 -6.03	+9.14	+10.43	+10.64	+10.19	+9.87				
P1203	1.19	3.0	1.19	2.8	7.42 6.22	+4.38 -3.04	8.32 7.51	+4.03 -4.29	0	+1.46	+4.06	+3.21 -3.70	+2.26 -2.70	+1.39 -1.95	+5.15	+4.90	+4.42	+4.61	+4.66				
P1205	1.2	5.5	1.2	5.1	12.65 9.94	+6.79 -5.86	13.42 11.63	+6.65 -6.67	0	+3.77	+6.21	+4.78 -5.43	+4.00 -4.57	+2.24 -2.94	+7.00	+6.94	+6.27	+6.57	+6.41				
P1207	1.20	7.6	1.2	7.3	17.27 11.73	+8.01 -9.27	16.57 13.91	+7.66 -8.91	+1.33	+4.95	+7.13	+5.88 -5.47	+4.87 -6.73	+2.70 -5.04	+9.22	+8.80	+7.33	+7.44	+7.39				
P1209	1.20	9.3	1.2	8.6	20.59 11.13	+9.32 -11.62	21.52 18.15	+9.34 -12.17	+2.16	+6.83	+8.84	+7.32 -5.84	+5.75 -8.44	+3.97 -5.83	+10.03	+9.16	+8.0	+8.7	+8.85				
P1211	1.20	11.9	1.20	11.3	25.14 17.01	+11.91 -13.23	27.68 22.06	+11.53 -16.42	+3.16	+8.34	+9.88	+7.72 -5.91	+6.17 -11.87	+4.51 -7.61	+11.94	+10.20	+9.36	+10.30	+11.42				

表 4-1 (續) 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 0^\circ$)

試驗 編號	深海入射波浪條件				堤面波浪分佈				堤頭垂直方向壓力分佈										堤面橫向水面處波壓分佈				
	1		2		3		4		H	R	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	週期	波高	週期	波高	H	R	H	R															
P1213	1.20	13.1	1.20	12.4	27.68 15.42	+13.70 -16.72	31.27 28.33	+13.50 -17.76	+4.88	+9.10	+10.83	+9.07 -5.83	+7.38 -15.16	+5.36 -9.11	+12.70	+11.33	+10.04	+11.01	+11.75				
P1405	1.39	5.0	1.4	4.8	10.52 9.32	+5.67 -4.84	10.56 9.29	+5.78 -4.77	0	+1.56	+5.60	+4.70 -1.60	+3.79 -4.18	+2.65 -2.99	+6.33	+5.59	+4.34	+4.81	+5.50				
P1407	1.39	6.2	1.39	5.9	14.41 13.05	+7.42 -6.98	13.18 12.19	+6.94 -6.24	0	+2.91	+7.03	+5.70 -2.00	+4.90 -5.70	+3.36 -4.03	+8.39	+7.31	+5.65	+5.40	+6.79				
P1409	1.39	8.4	1.40	7.9	17.96 16.23	+8.97 -9.00	17.04 16.22	+9.00 -8.04	0	+5.33	+8.46	+5.99 -4.67	+5.52 -7.66	+3.75 -5.52	+9.45	+8.73	+6.39	+6.94	+8.33				
P1411	1.39	10	1.39	9.6	21.86 17.33	+10.50 -11.36	21.75 20.71	+10.89 -10.86	+1.98	+6.67	+9.74	+7.32 -5.08	+6.54 -9.20	+4.46 -6.66	+10.87	+9.74	+8.15	+8.23	+9.72				
P1413	1.39	12.4	1.40	11.9	24.63 18.27	+11.61 -13.02	25.92 25.19	+12.36 -13.57	+3.26	+7.55	+10.20	+8.15 -5.42	+7.06 -10.65	+5.06 -7.68	+12.20	+11.34	+8.68	+9.34	+11.11				
P1415	1.40	13.9	1.40	13.7	28.40 18.14	+13.30 -15.10	29.91 28.95	+13.94 -15.97	+4.87	+8.75	+11.18	+8.83 -5.61	+7.74 -12.99	+5.34 -8.84	+13.40	+12.67	+9.26	+9.62	+11.99				
P1607	1.62	7.50	1.62	6.9	14.89 13.59	+7.77 -7.12	17.73 17.12	+9.29 -8.44	0	+4.83	+7.37	+5.84 -4.96	+5.61 -6.24	+4.11 -5.21	+8.10	+8.34	+7.21	+7.25	+8.68				
P1609	1.62	9.7	1.62	9.0	19.24 16.61	+9.66 -9.58	22.82 22.10	+10.41 -12.42	+1.54	+6.45	+8.58	+6.86 -5.55	+7.18 -8.08	+5.03 -6.71	+9.79	+10.06	+8.59	+8.42	+10.48				
P1611	1.62	11.9	1.62	11.2	22.80 19.43	+10.93 -11.88	27.38 27.11	+12.18 -15.20	+3.70	+7.81	+10.51	+8.05 -5.78	+7.78 -9.62	+5.65 -7.97	+11.70	+11.24	+10.57	+9.79	+12.0				
P1613	1.65	14.3	1.64	13.5	26.43 20.96	+12.47 -13.96	29.88 29.96	+14.01 -15.98	+4.74	+8.14	+11.22	+9.20 -5.80	+9.14 -11.39	+6.35 -9.01	+12.50	+12.52	+11.83	+11.47	+13.58				
P1809	1.79	8.5	1.80	8.5	15.01 13.81	+6.33 -8.68	18.22 17.02	+7.64 -10.58	+0.94	+5.85	+8.46	+6.27 -5.62	+5.82 -6.13	+4.78 -5.06	+9.65	+10.22	+9.52	+9.26	+9.33				
P1811	1.79	10.5	1.79	10.9	20.44 17.54	+9.42 -11.02	21.14 18.91	+9.86 -11.26	+3.39	+8.68	+10.29	+8.27 -5.71	+7.51 -8.95	+5.84 -6.93	+11.66	+12.06	+11.72	+11.32	+11.07				
P1813	1.79	12.0	1.79	13.3	23.48 19.36	+10.71 -12.77	22.20 20.05	+10.46 -11.74	+3.98	+9.85	+11.80	+9.98 -4.78	+9.45 -8.53	+7.62 -7.08	+12.57	+13.25	+12.81	+11.71	+11.21				

表 4-2 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 45^\circ$)

試驗編號	深海入射波浪條件				堤面波浪分佈				堤頭垂直方向壓力分佈										堤面橫向水面處波壓分佈				
	1		2		3		4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
	週期	波高	週期	波高	H	R	H	R	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H	R				
P0803A	0.8	3.10	0.80	3.35	6.85 5.02	+3.43 -3.42	11.86 8.57	+4.71 -7.15	0	0	+3.72	+2.28 -2.99	+1.29 -1.62	+0.41 -0.53	+4.13	+3.96	+3.50	+4.71	+5.48				
P0805A	0.8	5.47	0.80	5.21	10.23 4.62	+3.64 -6.60	12.92 6.58	+5.30 -7.22	0	+1.52	+4.58	+3.32 -4.86	+1.79 -2.37	+1.00 -0.79	+5.74	+5.49	+5.63	+6.10	+6.46				
P0807A	0.8	6.80	0.80	6.61	12.72 8.80	+6.69 -6.05	15.35 9.91	+6.65 -8.7	0	+3.79	+6.41	+3.98 -5.83	+2.62 -3.96	+0.83 -1.60	+6.87	+6.93	+6.43	+6.18	+6.52				
P1003A	1.0	2.97	1.0	2.96	4.22 3.35	+2.36 -1.86	9.01 7.60	+4.31 -4.7	0	0	+2.62	+1.84 -2.09	+1.35 -1.39	+0.81 -0.81	+3.11	+3.43	+3.60	+4.11	+4.03				
P1005A	1.02	5.40	1.01	4.75	10.51 8.62	+5.10 -5.41	11.88 9.74	+5.72 -6.16	0	0	+4.70	+3.58 -5.47	+2.74 -3.51	+1.49 -2.15	+6.17	+6.38	+7.16	+5.69	+5.70				
P1007A	1.01	7.22	1.01	6.92	14.20 11.32	+6.80 -7.41	16.69 12.49	+6.74 -9.96	0	+1.42	+6.05	+4.88 -5.28	+3.54 -4.56	+1.89 -2.52	+7.83	+8.22	+8.42	+7.98	+7.81				
P1009A	1.01	9.65	1.01	8.40	17.66 13.23	+7.83 -8.82	23.13 15.92	+9.29 -13.84	0	+2.15	+7.67	+5.93 -5.97	+4.46 -6.56	+2.19 -3.35	+8.52	+8.31	+8.97	+8.62	+8.85				
P1011A	1.01	10.90	1.01	10.94	21.02 14.91	+10.44 -8.93	25.75 17.28	+9.72 -16.02	+1.62	+4.49	+7.88	+6.63 -5.27	+5.17 -6.38	+2.99 -3.67	+9.66	+10.96	+11.31	+10.0	+10.03				
P1203A	1.2	3.35	1.20	3.23	5.08 4.47	+2.64 -2.43	7.65 7.03	+3.12 -4.53	0	0	+2.43	+2.29 -2.39	+1.80 -1.95	+1.04 -1.47	+4.07	+4.91	+4.41	+3.53	+4.20				
P1205A	1.21	5.12	1.21	4.88	7.67 6.36	+3.32 -4.35	11.61 10.08	+5.40 -6.10	0	+0.81	+3.59	+3.26 -4.13	+2.54 -2.99	+1.79 -2.10	+5.01	+5.83	+5.94	+5.94	+5.94				
P1207A	1.21	7.18	1.21	7.23	10.06 8.42	+4.85 -5.22	13.85 12.63	+6.06 -7.80	0	+1.28	+4.52	+3.98 -5.27	+3.06 -4.19	+2.14 -2.52	+5.64	+6.82	+6.27	+5.68	+6.61				
P1209A	1.21	8.74	1.21	8.61	15.14 11.74	+7.13 -8.00	22.54 19.52	+9.61 -12.93	0	+1.56	+6.28	+5.53 -5.13	+4.20 -5.39	+3.20 -3.57	+7.63	+8.81	+8.87	+8.64	+9.26				
P1211A	1.21	10.97	1.21	10.67	16.02 12.84	+7.68 -8.34	25.73 22.83	+11.05 -14.68	+0.98	+5.07	+6.55	+5.61 -5.13	+4.49 -5.89	+3.35 -3.78	+8.13	+9.27	+10.21	+9.50	+10.14				

表 4-2(續) 短峰波波壓試驗 -- 作用有限長防波堤記錄表 ($\theta = 45^\circ$)

試驗編號	深海入射波浪條件				堤面波浪分佈								堤頭垂直方向壓力分佈										堤面橫向水面處波壓分佈				
	1		2		3				4				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
	週期	波高	週期	波高	H	R	H	R	H	R	H	R	H	R													
P1213A	1.21	12.84	1.21	13.21	20.07 17.18	9.46 -10.82	27.82 24.00	12.04 -15.78					2.47	6.41	8.11	7.26 -5.60	5.75 -9.17	3.93 -5.59	9.65	11.13	11.47	10.	11.16				
P1405A	1.40	5.1	1.40	4.94	8.14 7.25	3.79 -4.36	13.52 11.60	6.74 -6.78				0	1.64	4.85	3.51 -3.97	3.05 -3.36	2.40 -2.73	5.91	7.14	7.39	6.19	7.93					
P1407A	1.40	6.89	1.40	7.16	11.33 10.72	5.33 -6.00	15.18 11.74	8.56 -6.62				0	3.78	6.09	4.75 -5.38	3.81 -4.56	3.13 -3.78	7.11	8.29	9.07	8.42	7.58					
P1409A	1.40	9.02	1.42	9.23	13.28 12.57	6.12 -7.16	18.84 17.68	8.40 -10.44				0	4.29	7.35	5.55 -5.65	4.75 -5.42	3.72 -4.35	8.28	8.87	9.98	10.74	9.88					
P1411A	1.40	11.52	1.40	11.4	17.57 16.50	7.90 -9.67	23.68 20.03	10.55 -13.13				0.97	6.05	9.45	6.56 -5.58	5.66 -7.01	4.62 -5.55	9.54	11.37	12.09	12.50	11.60					
P1413A	1.41	13.27	1.41	13.40	21.82 20.46	9.67 -12.08	28.44 24.84	12.44 -16.00				2.84	7.56	10.41	7.97 -5.43	6.89 -9.17	5.45 -7.34	10.94	13.46	13.25	13.57	13.52					
P1415A	1.42	15.03	1.41	15.37	25.75 23.57	11.24 -14.51	29.10 26.12	13.10 -16.00				5.36	8.97	11.16	8.95 -5.98	7.81 -10.78	6.28 -8.38	13.70	14.61	14.86	15.06	15.29					
P1607A	1.61	6.88	1.60	6.81	9.33 8.64	4.81 -4.52	14.33 12.43	6.29 -8.04				0	1.56	4.35	4.28 -5.05	3.68 -4.14	3.05 -3.60	5.59	6.02	6.80	7.15	6.75					
P1609A	1.60	9.28	1.60	8.71	12.92 11.31	6.03 -6.90	18.46 16.21	8.25 -10.22				0	3.90	6.22	5.77 -5.08	4.85 -5.37	4.19 -4.82	7.63	8.57	8.86	8.62	8.93					
P1611A	1.60	11.40	1.61	10.99	13.14 12.48	6.21 -6.94	22.94 21.14	10.04 -12.89				0	3.76	6.30	5.77 -5.04	5.05 -5.62	4.20 -5.18	7.87	9.16	9.83	9.35	9.96					
P1613A	1.60	12.99	1.60	12.66	18.68 16.95	8.49 -10.20	24.04 22.05	10.40 -13.64				0.93	5.86	8.35	7.76 -5.13	6.65 -8.12	5.74 -6.98	9.98	11.59	12.58	12.36	10.90					
P1809A	1.80	9.01	1.80	8.86	12.49 11.55	5.46 -7.03	19.02 18.81	8.96 -11.11				0	2.48	5.74	5.68 -5.20	4.83 -5.22	4.27 -4.83	7.10	7.99	9.06	9.42	8.97					
P1811A	1.85	10.63	1.85	10.58	13.50 12.67	6.14 -7.36	20.71 19.92	9.60 -11.11				0	3.38	6.74	6.24 -5.25	5.39 -5.75	4.87 -5.40	7.87	8.43	9.64	10.08	9.56					
P1813A	1.80	13.13	1.80	13.00	17.47 12.99	8.07 -9.00	26.91 25.82	11.67 -15.24				1.01	4.01	7.65	7.21 -5.22	6.47 -7.41	5.74 -6.71	9.79	10.58	11.31	11.39	11.18					

與波谷時之波壓力分佈，試驗結果顯示，波峰時波壓力垂直分佈隨波高之增加而遞增，以水面處波壓力值為最大；波谷時則波浪尖銳度 $H/L=0.054$ 時，波壓力分佈反較 $H/L=0.072$ 值時為大，且波谷時斷面最大垂直波壓力亦較波峰時為大增加 7%，圖 4-2 為相對水深 $d/L=0.452$ 屬中間性水深，在各種不同波高作用下，垂直波壓分佈圖，試驗結果顯示，在波峰波谷時垂直波壓力分佈隨波高之增加而增加，以 $H/L=0.0594$ 時，其值為最大，尤有甚者在此波浪尖銳度時，波谷最大波壓力較波峰時為大。圖 4-3 為相對水深 $d/L = 0.320$ 屬中間性水深，在各種不同波高作用下垂直波壓分佈圖，試驗結果，波峰、波谷時，波壓分佈均隨波高之增加而加大，惟 H/L 值為 0.053 與 0.0583 時，波谷時之斷面最大波壓力較波峰時之斷面最大波壓力值為大，圖 4-4 為 $d/L=0.250$ 屬中間性水深，試驗結果其波峰、波谷垂直波壓分佈與 $d/L=0.320$ 時結果相似，當 $H/L=0.0434$ 與 0.0493 ，波谷時斷面最大波壓力值較波峰者為大，圖 4-5 為 $d/L=0.201$ 屬中間性水深，試驗結果，與 $d/L=0.320$ ， $d/L=0.250$ 者相似，且波高較大者亦有在波谷時所產生之最大垂直波壓力大於波峰者現象，圖4-6 為 $d/L=0.173$ 屬中間性水深，試驗結果顯示，當波浪在波峰情況時，斷面垂直波壓力分佈隨波高之加大而增大，惟當波浪為波谷時，尖銳度 $H/L=0.0313$ 者反較 $H/L=0.0264$ 者為小，同時試驗結果顯示，當週期增長、相對水深 d/L 增加為 0.173 時，波浪在波谷時，其波壓分佈之最大值均較波峰時為小。

故大致而言當波浪正向入射 $\theta = 0^\circ$ 時，有限長防波堤直立壁堤頭波壓力垂直分佈，試驗結果顯示，對各種不同相對水深而言波浪在波峰時，其波壓力分佈均隨波高之增加而加大，以水面處之波壓力值為最大，波浪在波谷時，其波壓力分佈大致而言亦隨波高加大而增加，惟在相對水深 d/L 值為 0.450 、 0.701 較近於深水波時，

以波浪尖銳度 H/L 值接近 $0.05 \sim 0.06$ 時，將產生最大垂直波壓力，尤有甚者各種不同相對水深 d/L 值當波浪尖銳度 H/L 值介於 $0.04 \sim 0.06$ 波谷時之最大垂直波壓力有較波峰者為大之趨勢。

<二> $\theta = 45^\circ$ 即波浪斜向入射時

圖 4-7 ~ 圖 4-12 分別為波浪斜向入射，在各種不同相對水深堤頭垂直波壓力分佈圖。圖 4-7 為相對水深 $d/L=0.071$ 屬深水波試驗結果，圖形顯示斷面垂直波壓力分佈隨波高之增加而加大，若與圖 4-1 當波浪正向入射試驗結果比較，斜向波浪入射在堤頭所產生垂直波壓力分佈均較正向波浪時為小，在波峰時平均減小 6%，波谷時，平均減小 9%，試驗結果顯示，當波浪斜向入射時，波峰所產生斷面最大垂直波壓力均較波谷者為大，圖 4-8 為相對水深 $d/L = 0.452$ 試驗結果，圖形顯示，波壓力垂直分佈與相對水深 d/L 為 0.071 時趨勢相同，波壓分佈隨波高之增加而加大，且斜向波浪入射在堤頭所產生最大垂直波壓力值均較波浪正向入射時為小，當波峰情況時均約減小 20.7%，當波谷情況時，約減小 27.8%，且大致而言同一波浪狀況波谷所產生之最大垂直波壓力值均較波峰時為小，此現象與波浪正向入射結果恰相反，具有顯著之差異。圖 4-9 為相對水深 $d/L=0.320$ 試驗結果，圖形顯示，垂直波壓分佈亦隨波高之增加而加大，且波浪尖銳度 H/L 值在 0.03 以下以及 0.0592 時，在波谷所產生之最大垂直波壓力有大於在波峰時所產生者，同時試驗結果顯示，在堤頭位置當波浪採斜向入射時其波壓分佈平均較波浪正向入射時不管是在波峰或波谷情況，約減小 34%，圖 4-10 為相對水深 $d/L=0.250$ 時波壓力分佈狀況，試驗結果顯示，波壓力分佈趨勢與相對水深 $d/L=0.320$ 情況相同，惟波谷時所產生之最大波壓力值均較波峰者為小，與正向入射

波浪試驗結果比較，波峰試驗結果平均減小 7%，波谷則減小 15%，圖 4-11 為相對水深 $d/L=0.201$ 試驗結果，當波向斜向入射時，最大垂直波壓值較正向波浪試驗結果約減少 30% 左右，而於尖銳度較大情況時，波谷所產生波壓力有大於波峰時之最大值，圖 4-12 為相對水深 $d/L=0.173$ 時試驗結果，與正向入射波浪試驗結果比較，當波浪為波峰情況時，最大波壓值減少 34%，波谷時減少 21.2%。

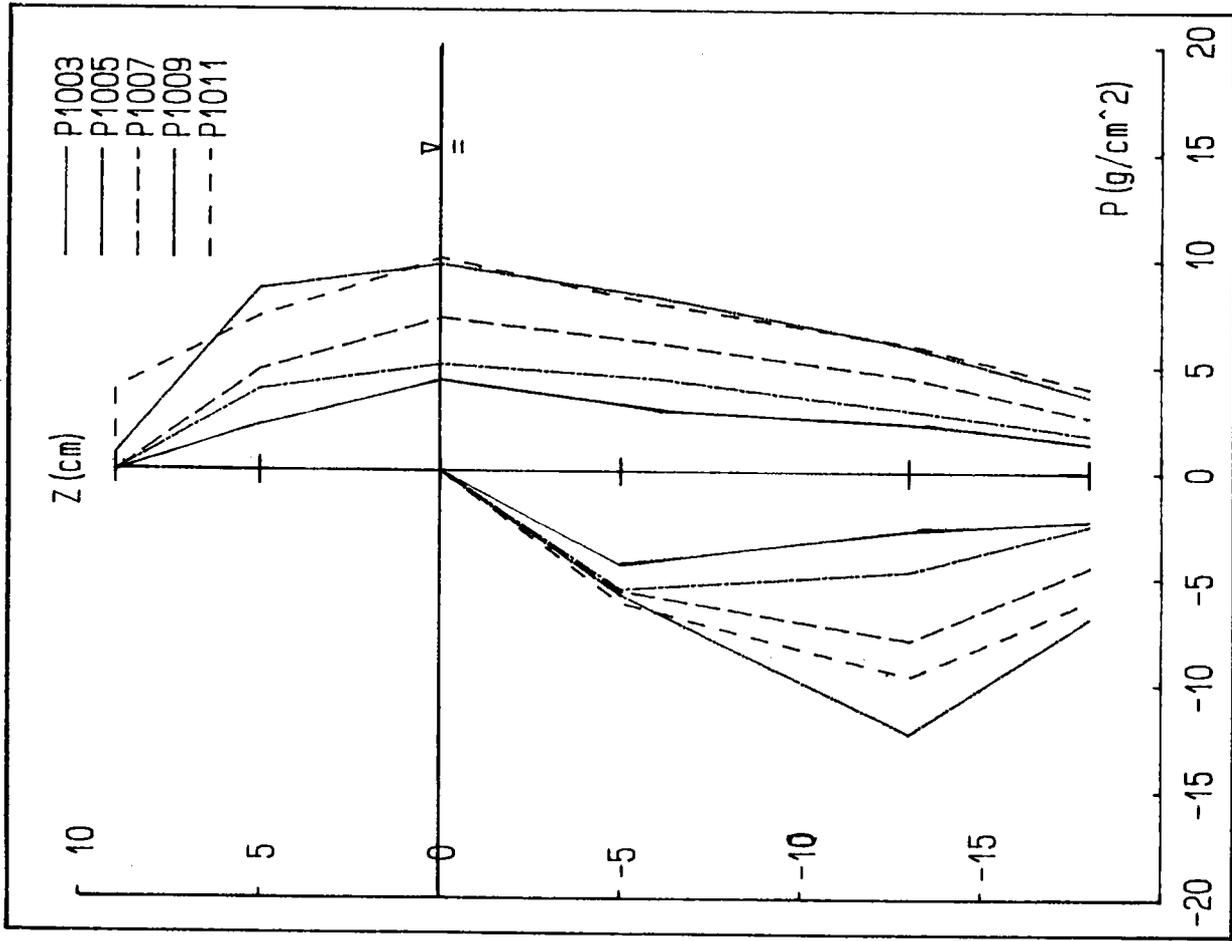


圖 4-2 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.452$)

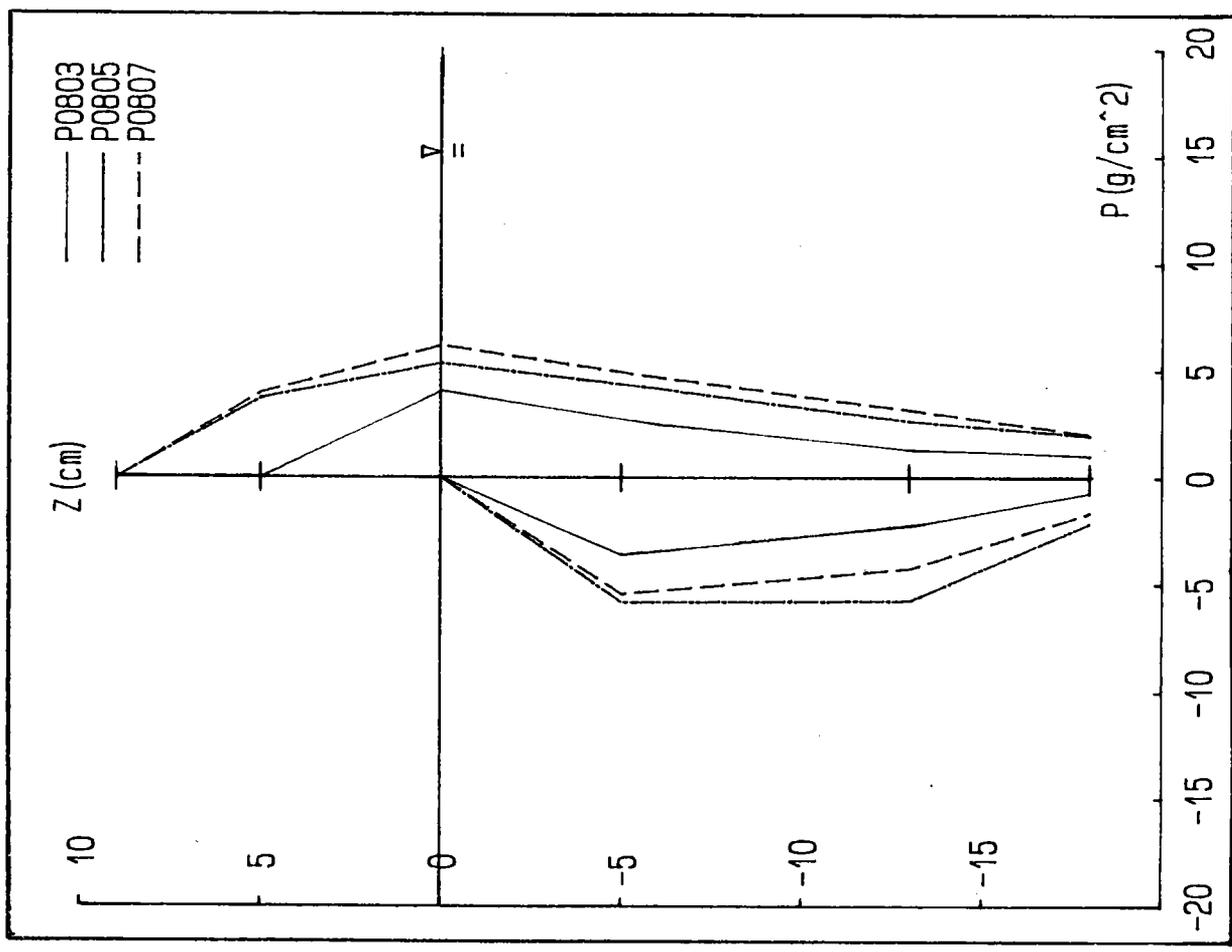


圖 4-1 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.701$)

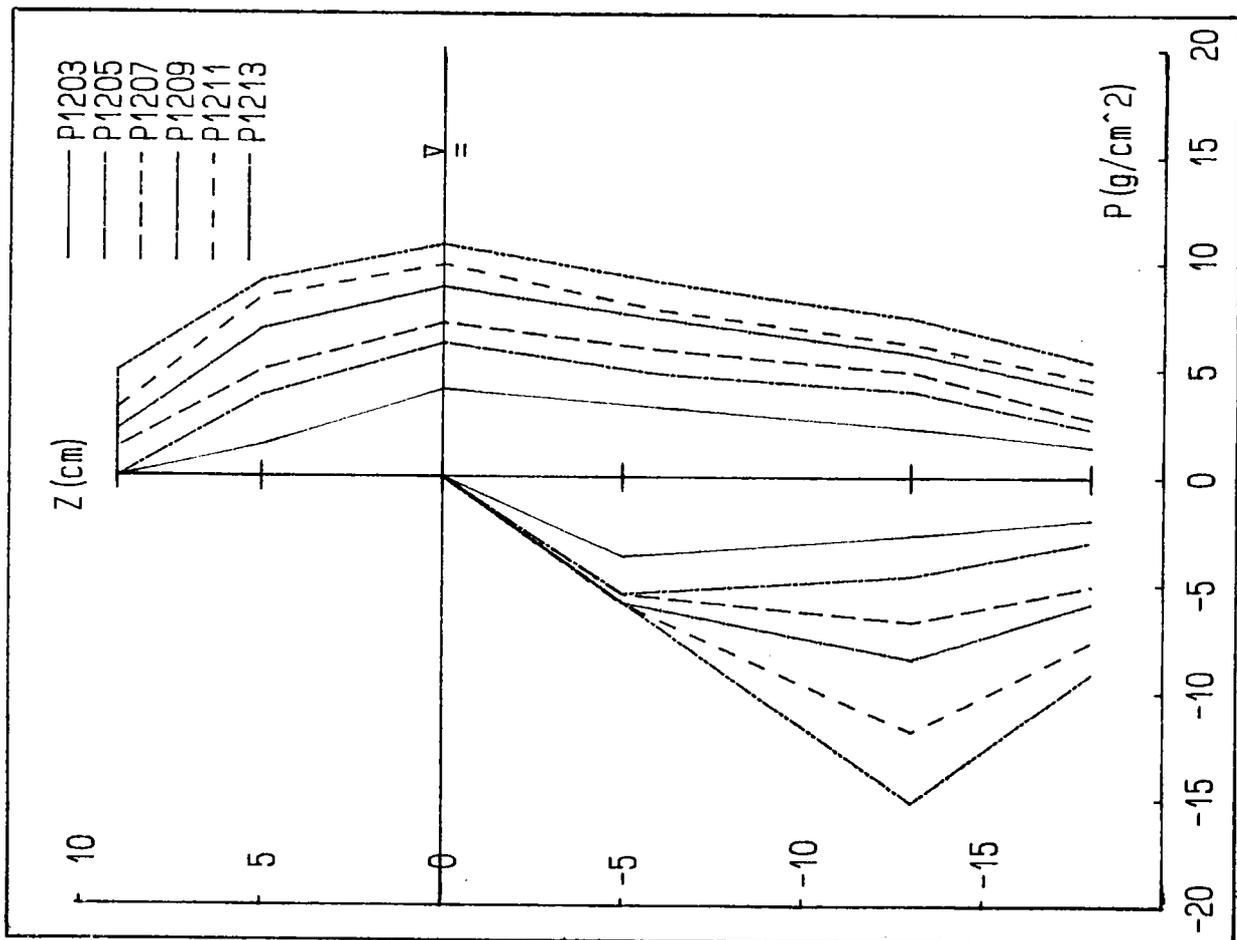
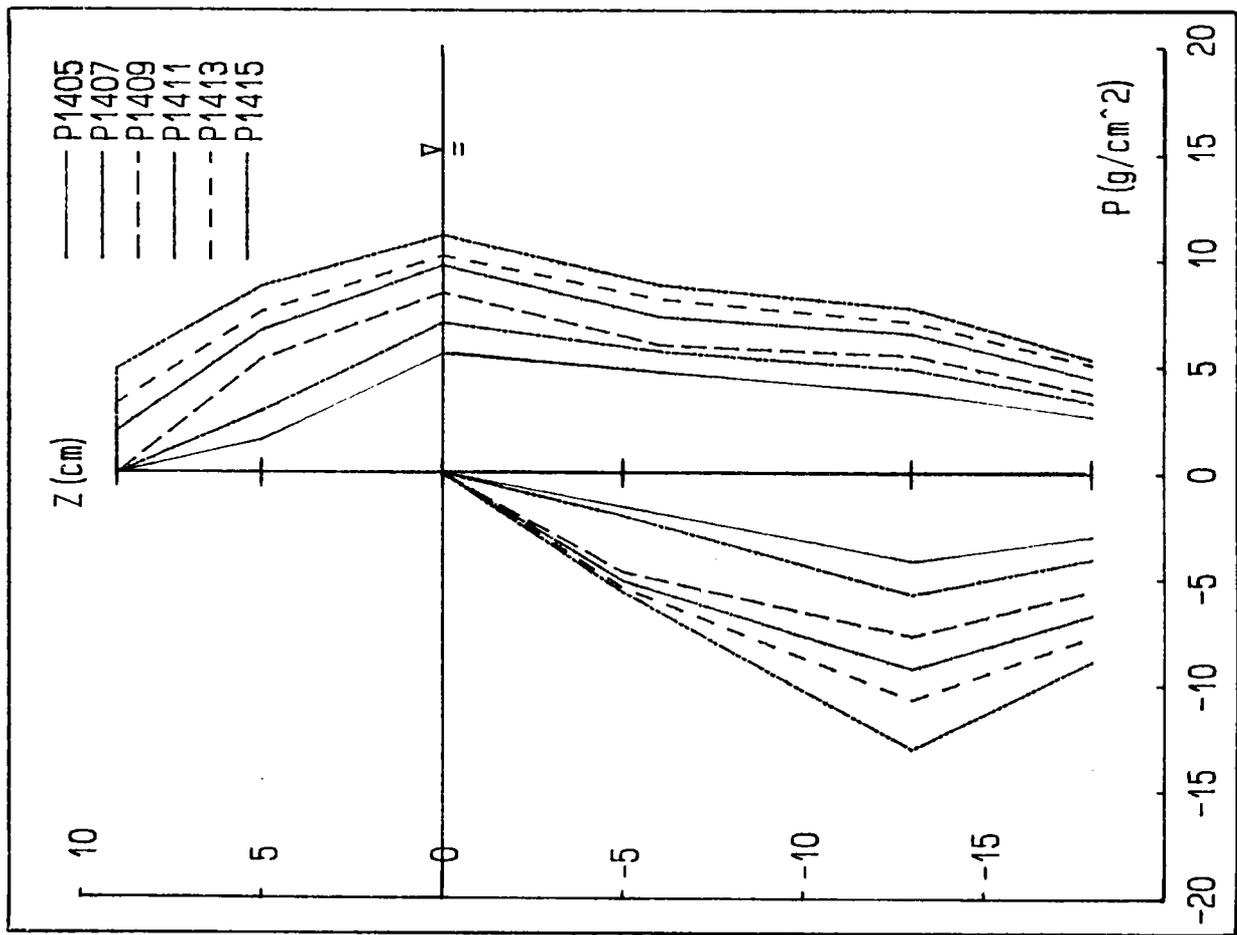


圖 4-4 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.250$)

圖 4-3 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.320$)

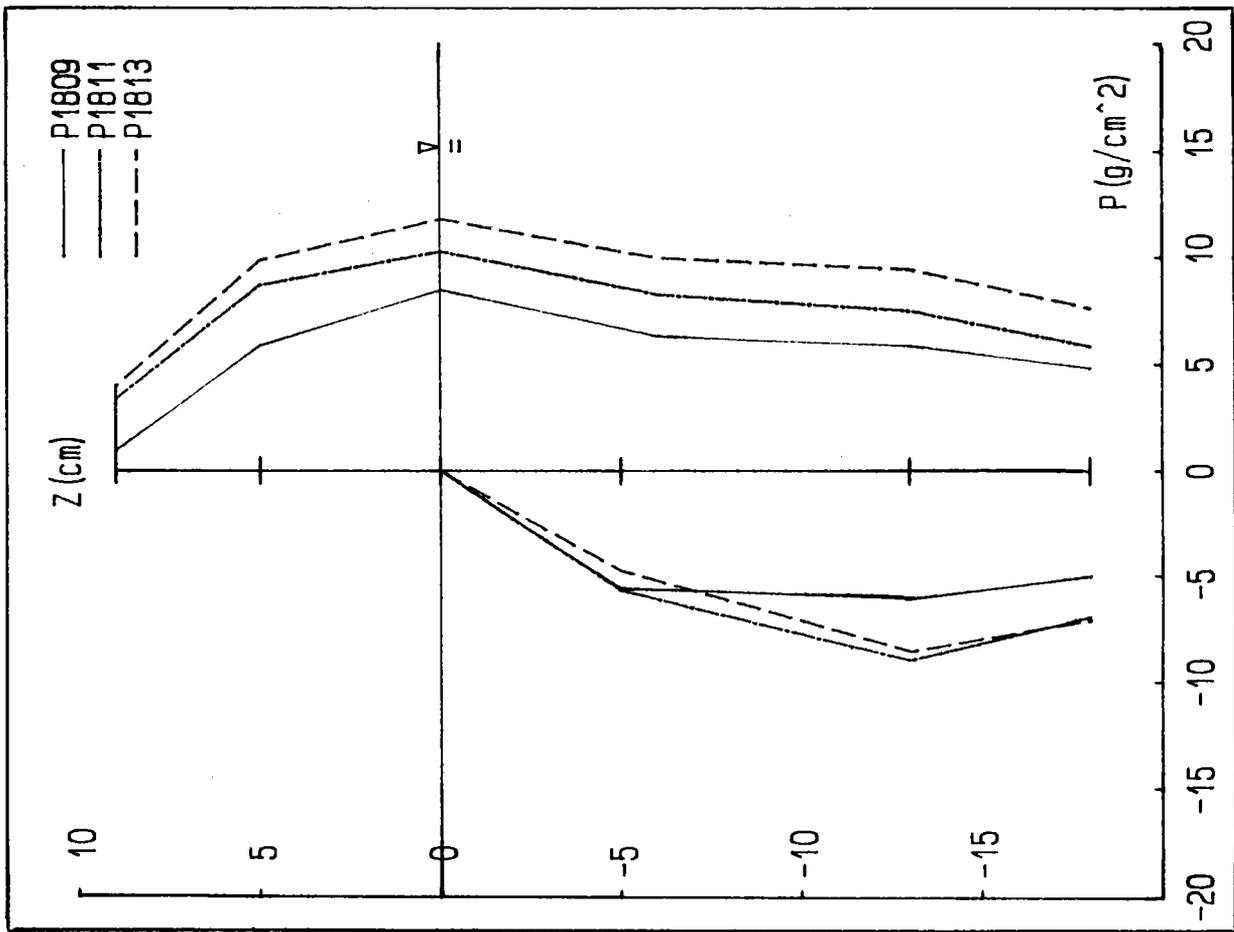


圖 4-6 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.173$)

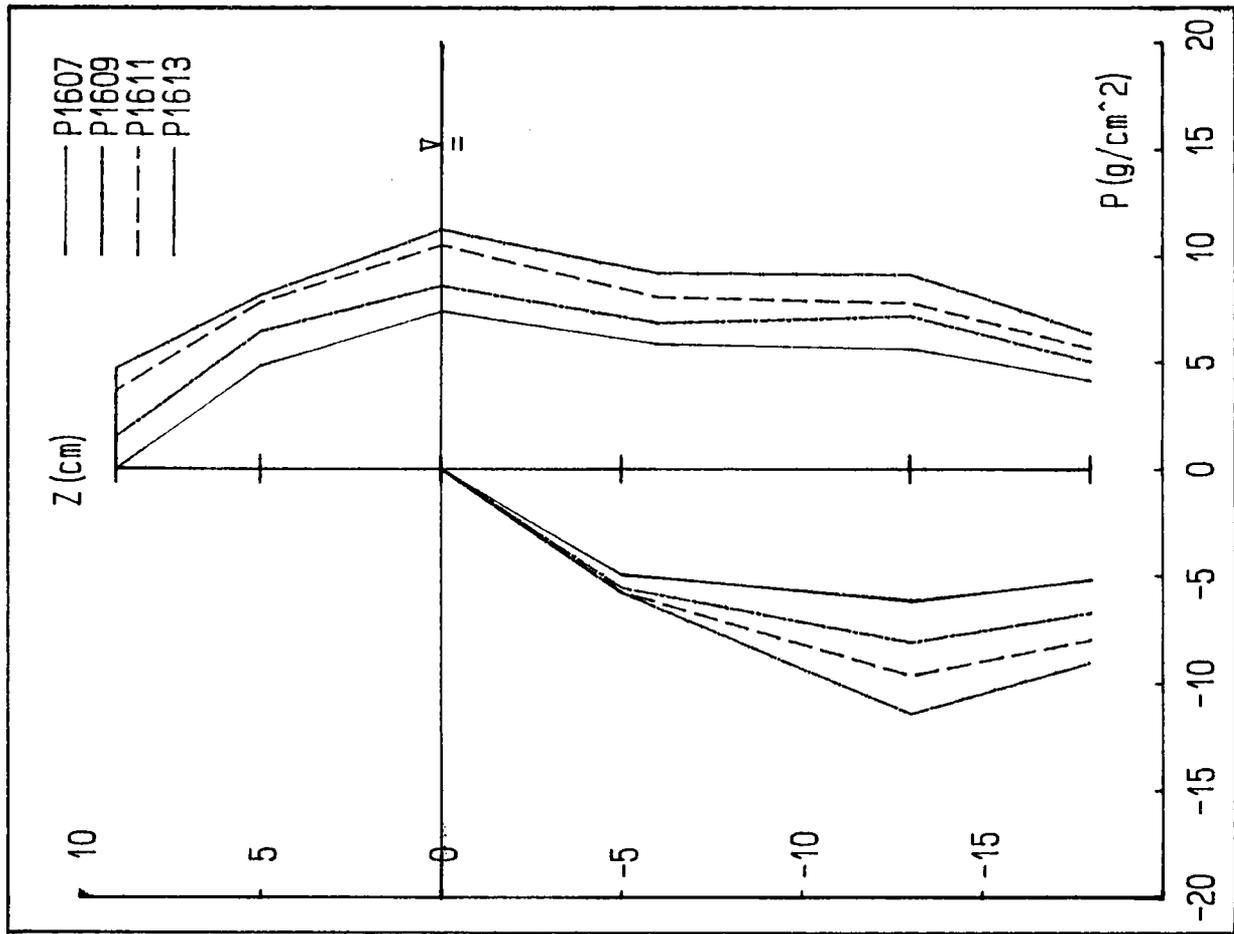


圖 4-5 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 0^\circ$, $d/L=0.201$)

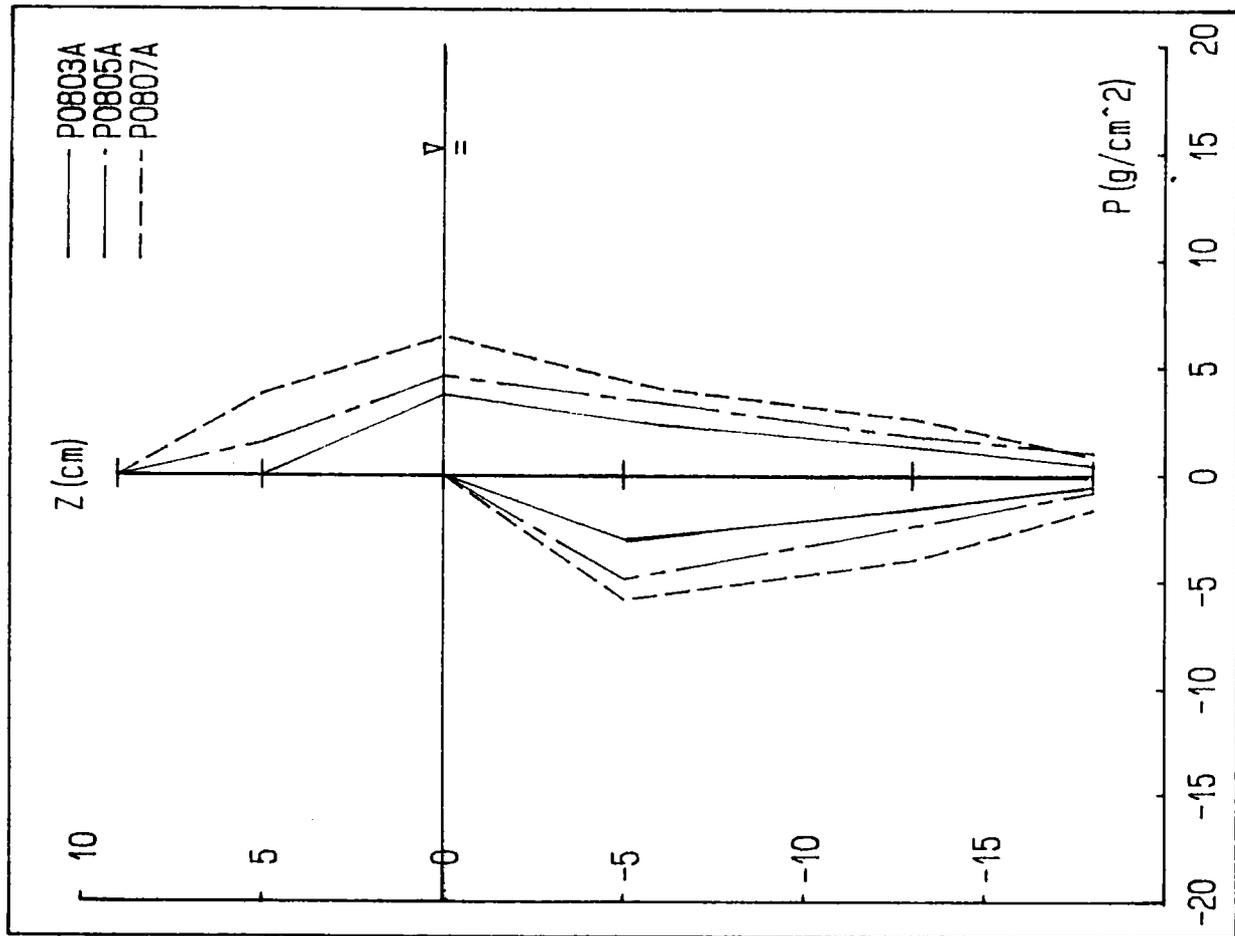
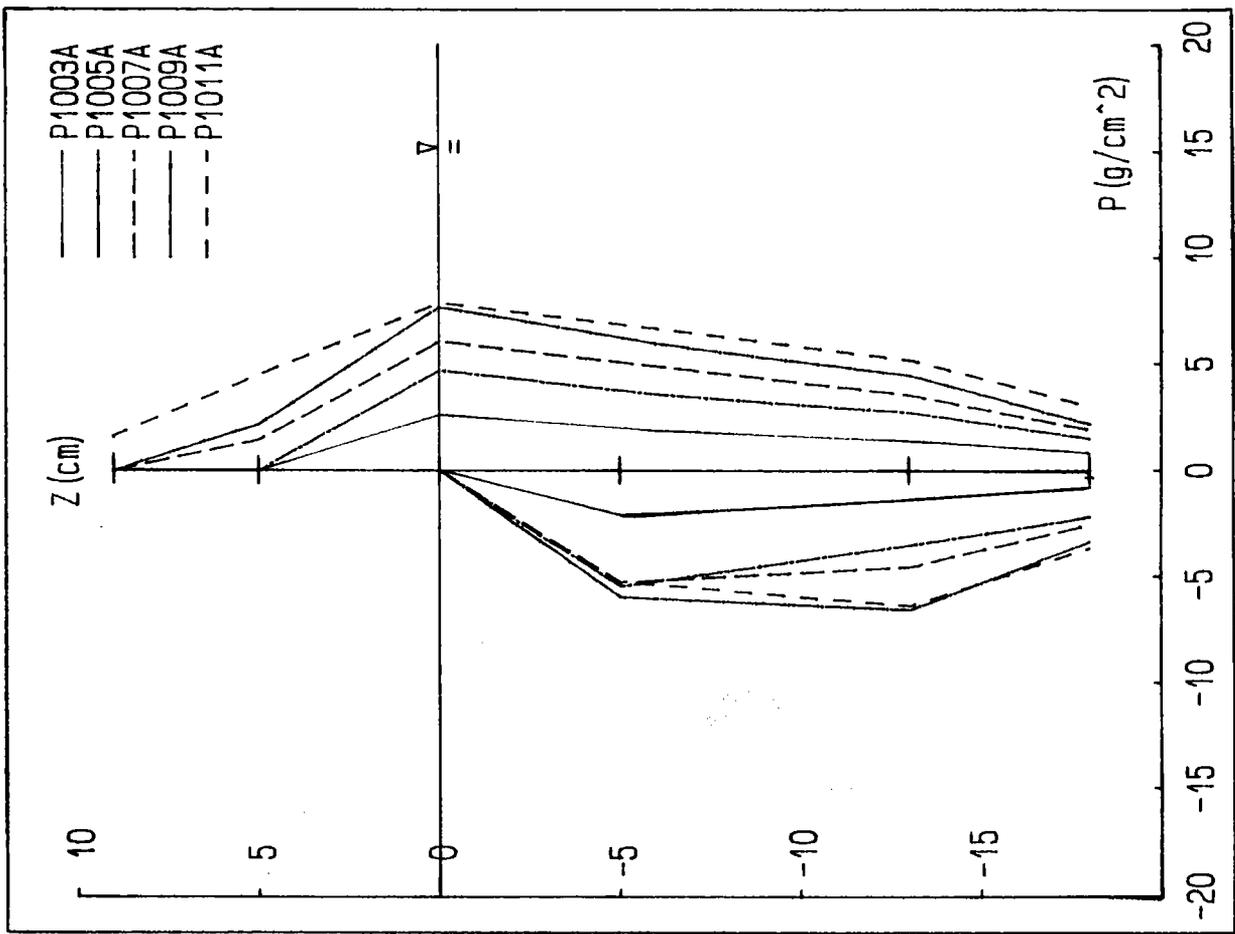


圖 4-8 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.452$) 圖 4-7 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.701$)

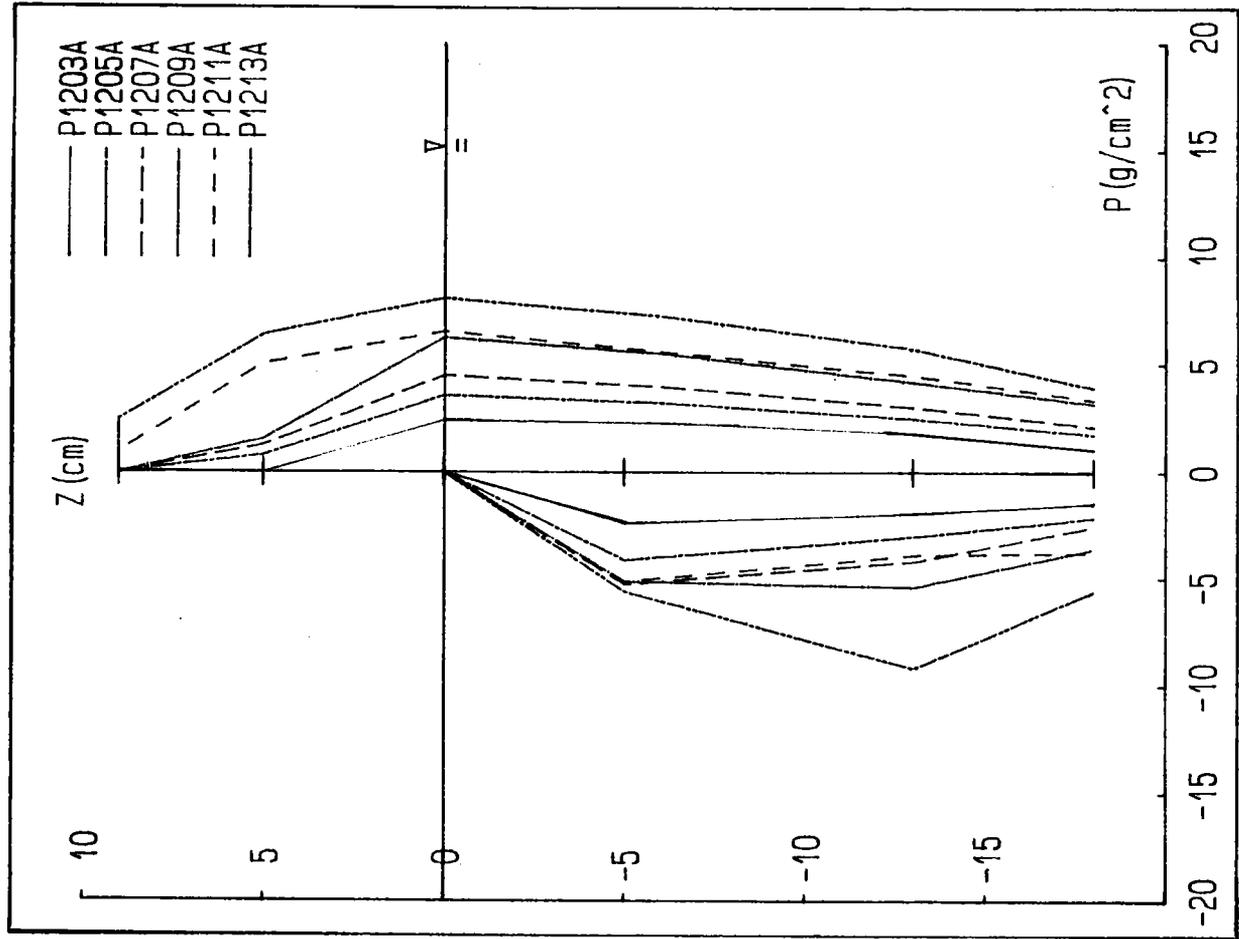
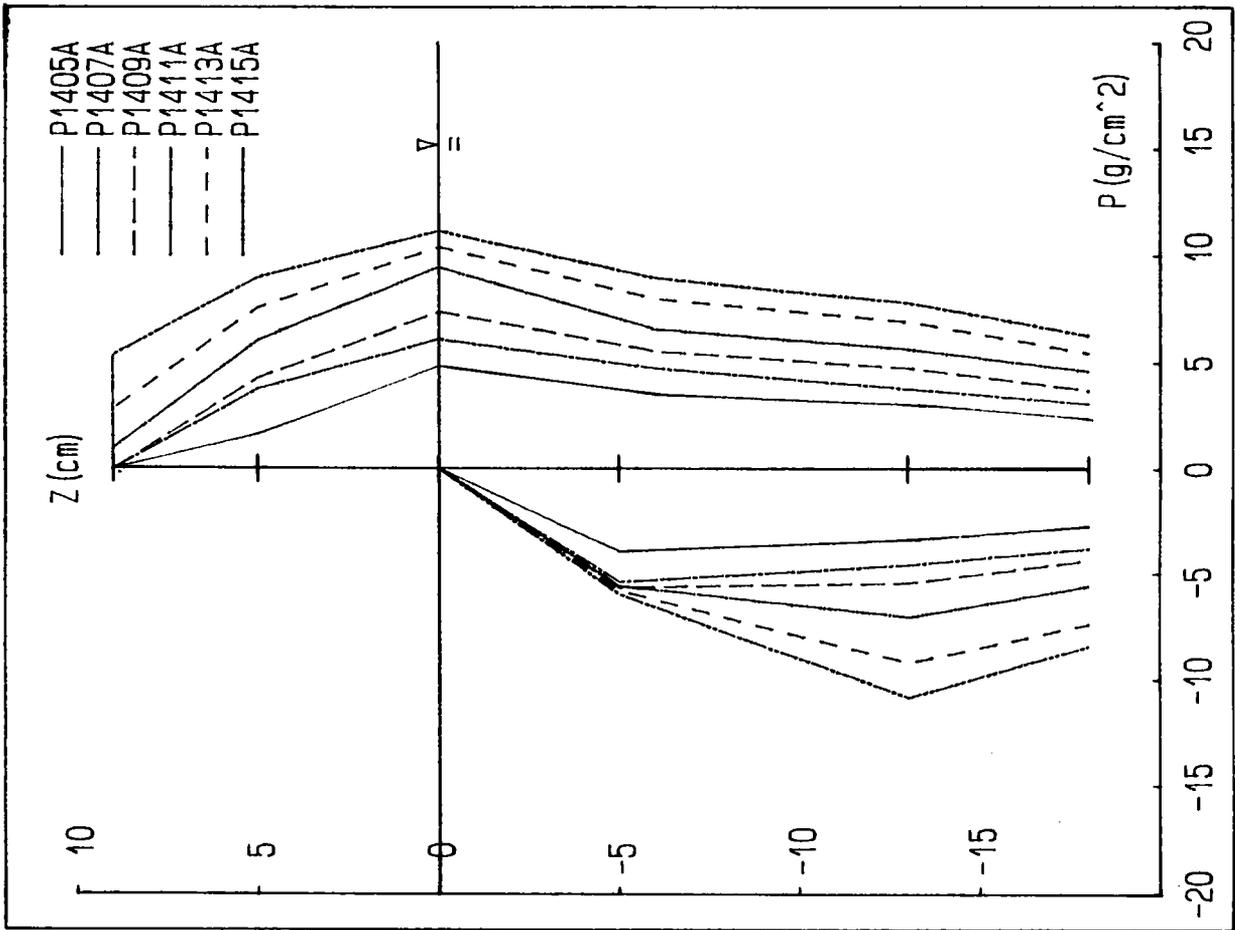


圖 4-10 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.250$) 圖 4-9 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.320$)

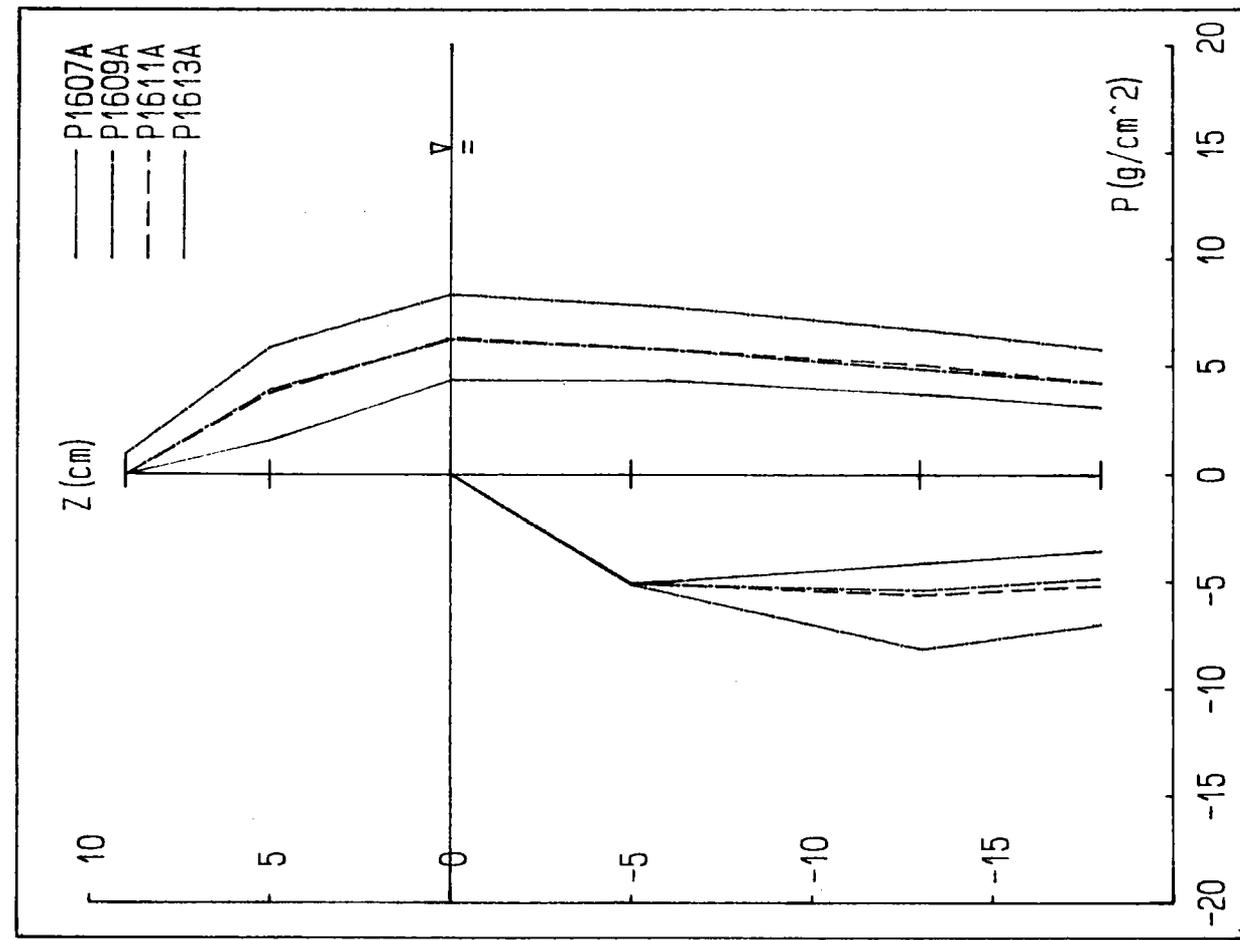
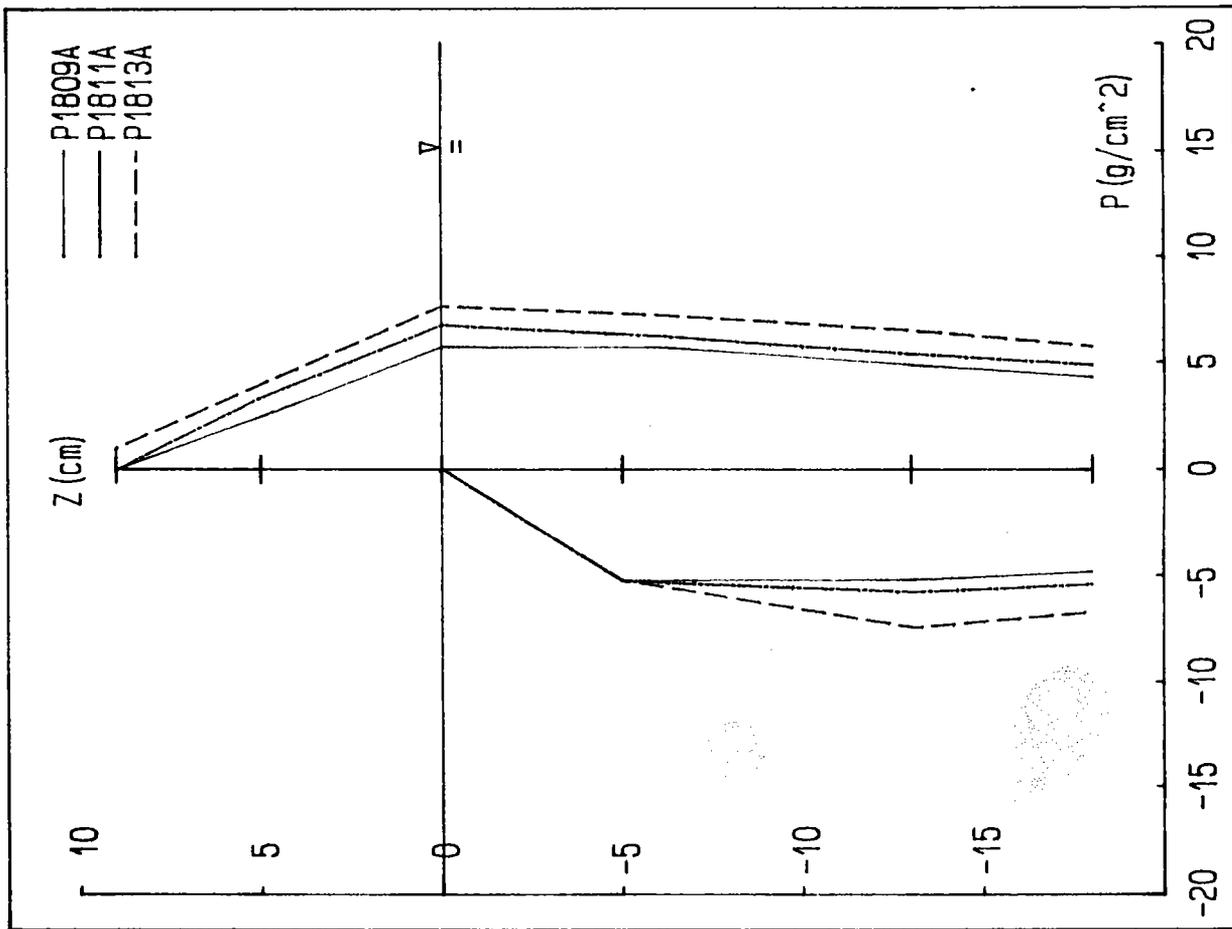


圖 4-12 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.170$) 圖 4-11 不同相對水深堤頭垂直波壓分佈 ($\theta = 45^\circ$, $d/L=0.201$)

§ 4-1-2 堤頭最大波壓與波浪入射角度關係

有限長防波堤堤頭處，垂直斷面最大波壓與波浪入射角度關係，試驗結果如圖 4-13，圖(a)為波浪在波峰情況時，於相同波浪條件斜向入射波浪 ($\theta = 45^\circ$) 在堤頭垂直斷面處所產生之最大波壓與正向入射波浪 ($\theta = 0^\circ$) 所產生最大波壓比值和入射波浪尖銳度關係，試驗結果顯示其比值與波浪尖銳度並無顯著相關性。比值介於 0.6~1.0 間，平均值為 0.756，即 $(P'_{\max})_c = 0.756(P_{\max})_c$ ，此處 $(P'_{\max})_c$ 為斜向入射波， $\theta = 45^\circ$ ，在波峰時之最大波壓， $(P_{\max})_c$ 為垂直入射波， $\theta = 0^\circ$ ，在波峰時之最大波壓，圖中虛線為理論值 $\cos 45^\circ = 0.707$ 。圖(b)為波浪在波谷情況時，試驗結果顯示比值分佈較為散亂比值介於 0.5 ~ 1.0 間，平均值為 0.736，即 $(P'_{\max})_t = 0.736(P_{\max})_t$ 此處 $(P'_{\max})_t$ 為正向入射波， $\theta = 45^\circ$ ，在波谷時之最大波壓， $(P_{\max})_t$ 為正向入射波， $\theta = 0^\circ$ ，在波谷時之最大波壓，圖中虛線為理論值 $\cos 45^\circ = 0.707$ 。為進一步瞭解，吾人將上述結果利用組體圖加以詳細分析，分析結果如圖 4-14 所示，橫座標值為相同波浪條件，斜向入射波浪在堤頭垂直斷面處所產生之最大波壓與正向入射波浪所產生最大波壓比值百分比，縱座標為某比值範圍內發生頻率百分比，(a)圖與(b)圖分別為波浪情況在波峰與波谷時結果，點線部份表數平均值，虛線部份表理論值，無論波浪情況為波峰或波谷，兩者關係均可用下式表之

$$P_{\max}' = P_{\max} \cos \beta$$

式中 P_{\max}' = 斜向入射波之最大波壓

P_{\max} = 垂直入射波之最大波壓

β = 構造物垂線與波向線間修正後之角度

此處 $\beta = \theta - 5^\circ$ ， θ 為波浪入射角度

§ 4-1-3 有限長防波堤堤頭處最大波壓與無限長防波堤最大波壓之比較

此處所指無限長防波堤最大波壓係指當波浪入射方向與波浪條件與作用有限長防波堤均相同時，作用無限長防波堤任一斷面處最大垂直波壓值。

〈一〉 $\theta = 0^\circ$ 即波浪正向入射時

$(P_{\max})_{\text{有}} / (P_{\max})_{\text{無}}$ 與 H/L 關係如圖 4-15-a 所示，圖形顯示兩者比值與入射波浪尖銳度無關，可用下關係式表之

$$(P_{\max})_{\text{有}} = k \cdot (P_{\max})_{\text{無}}$$

此處 k 為修正常數，當波浪正向入射時 $k=0.862$ 。

〈二〉 $\theta = 45^\circ$ 即波浪斜向入射時

$(P_{\max})_{\text{有}} / (P_{\max})_{\text{無}}$ 與 H/L 關係如圖 4-15-b 所示，圖形顯示兩者比值隨入射波浪尖銳度值之增加而加大，可用下關係式表之

$$(P_{\max})_{\text{有}} = [0.54 + 3.58(H/L)](P_{\max})_{\text{無}}$$

而其最大包絡線 (envelope) 可表示為

$$(P_{\max})_{\text{有}} = [0.64 + 3.58(H/L)](P_{\max})_{\text{無}}$$

§ 4-1-4 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式之定性比較

圖 4-16 ~ 圖 4-21 分別為有限長防波堤波浪在不同相對水深，當不同波浪條件作用下，於堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 垂直波壓公式比較圖，圖 4-16 為相對水深 $d/L=0.701$ 屬深水波時試驗結果，圖 (a) 為試驗波浪垂直入射時， $\theta = 0^\circ$ ，圖 (b) 為波浪採斜向入射時， $\theta = 45^\circ$ 之試驗結果，圖形顯示，當波浪垂直入射時，無論在波峰或波谷情況，最大波壓試驗值與 Sainflou 公式尚稱符合，惟隨著入射波高之加大，垂直波壓力分佈與理論值之差異則明顯變大，尤有甚者當波浪尖銳度 $H/L = 0.05$ ，波谷在水面下之垂直波壓反較 Sainflou 公式為大，如圖 4-16-2(a)；而當入射波浪採斜向入射， $\theta = 45^\circ$ ，在有限長防波堤堤頭處形成短峰波系統時，在波浪處波峰情況時，隨入射波高之增加，試驗值則有較理論值偏小趨勢。惟波浪在波谷情況時，其垂直最大波壓值與試驗值一致，大體而言有限長防波堤堤頭處垂直波壓力分佈顯較理論值為小，且其差距隨波高之增大而加大；圖 4-17 為相對水深 $d/L=0.452$ 屬中間性水深，圖 (a) 為波浪垂直入射， $\theta = 0^\circ$ ，試驗結果顯示，當波浪為波峰情況時，水面上之波壓分佈，試驗值較理論值為大，而水面下垂直波壓分佈則顯較理論值為小且隨波高之加大，差距益形顯著；惟當波浪為波谷情況，垂直斷面最大波壓顯較理論值為大，尤其當 H/L 為 0.06 時，如圖 4-17-4(a) 所示；在此種相對水深，當入射波浪採斜向入射即 $\theta = 45^\circ$ 時，無論波浪係在波峰或波谷情況，試驗值均較理論值為小，如圖中 (b) 部份所示。

圖 4-18、圖 4-19、圖 4-20、與圖 4-21 分別為相對水深 d/L 值為 0.32、0.25、0.20 與 0.17 屬中間性水深，其試驗結果變化趨勢與相對水深 $d/L=0.425$ 時，試驗結果相似，尤有甚者在這種屬中間性相對水深，當波浪正向入射且尖銳度在 0.05 ~ 0.06 間，波浪為波谷情況時，試驗值均遠較理論值為大如圖 4-18-6 中 (a) 圖所示。

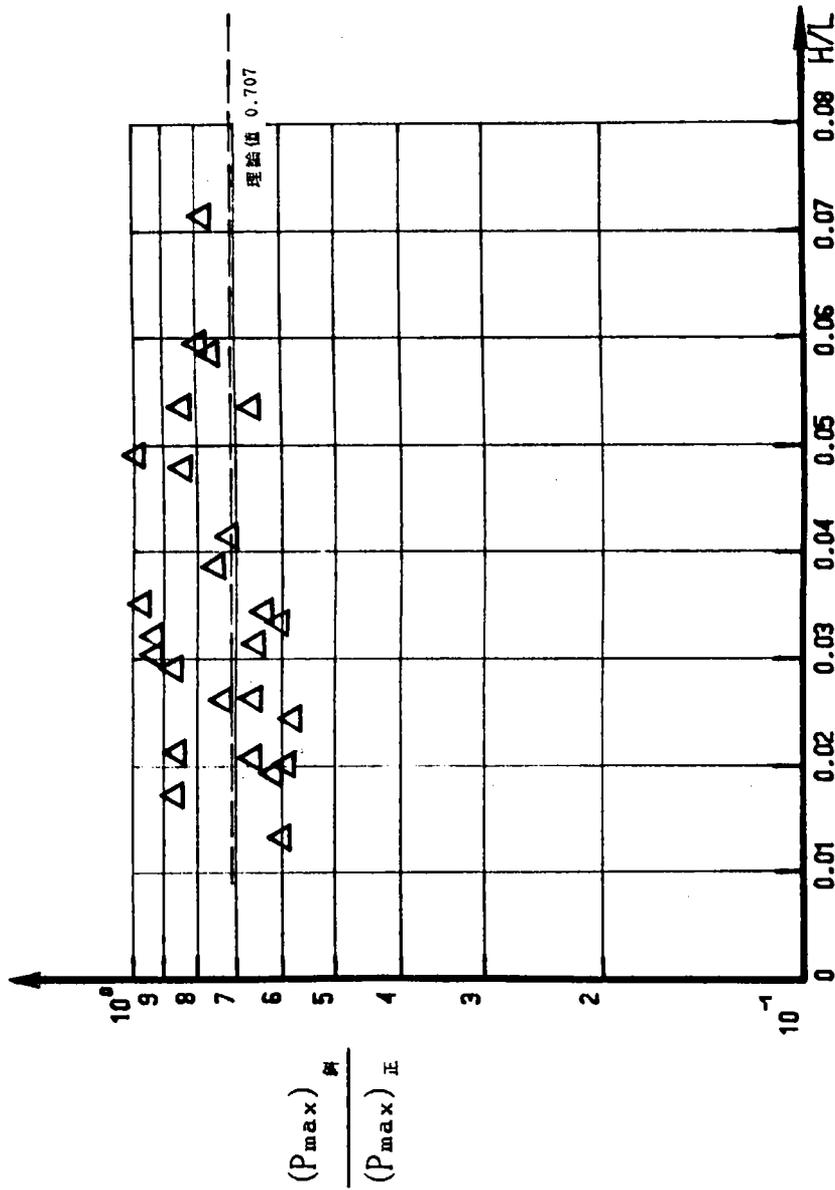


圖 4-13(a) 堤頭處 $\frac{(P_{max})_{斜}}{(P_{max})_{正}}$ 與入射波浪尖銳度關係圖 (波峰)

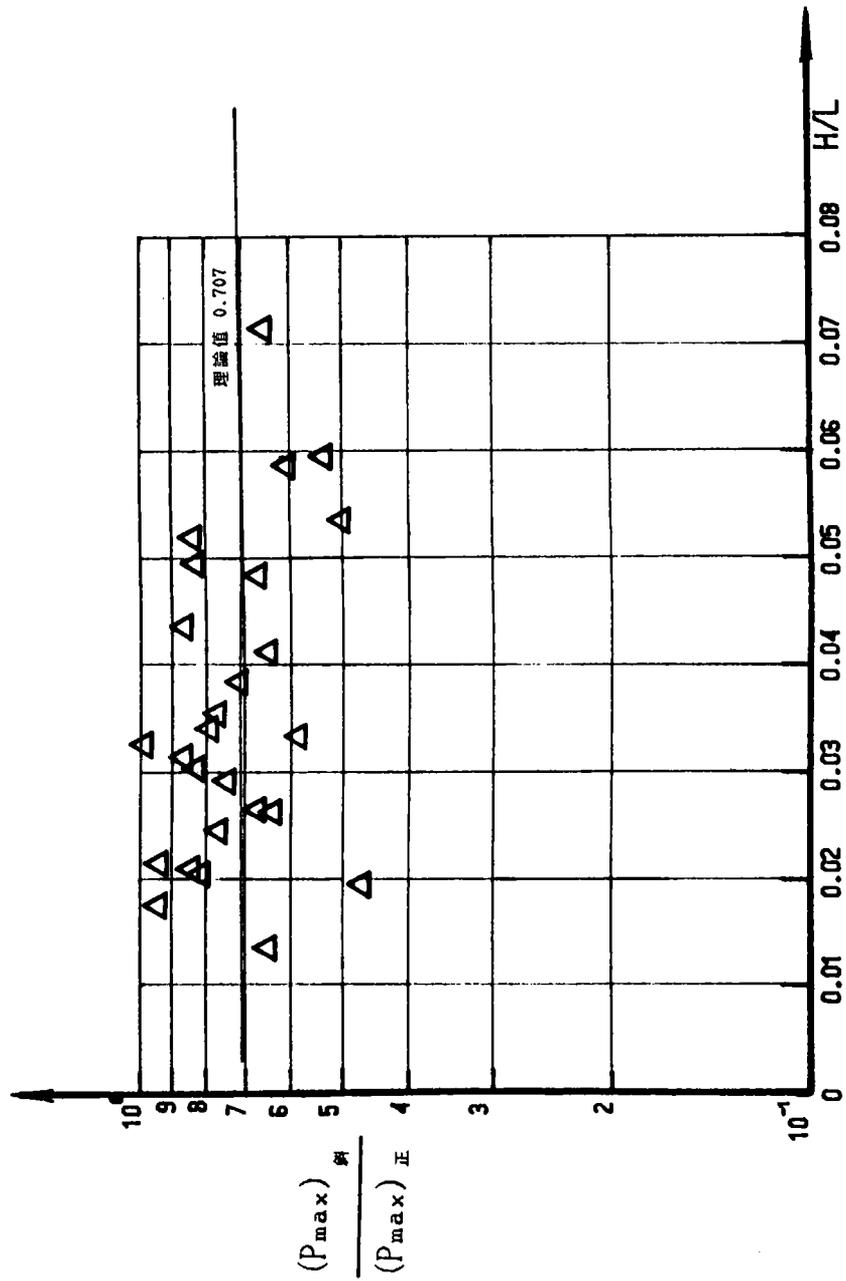
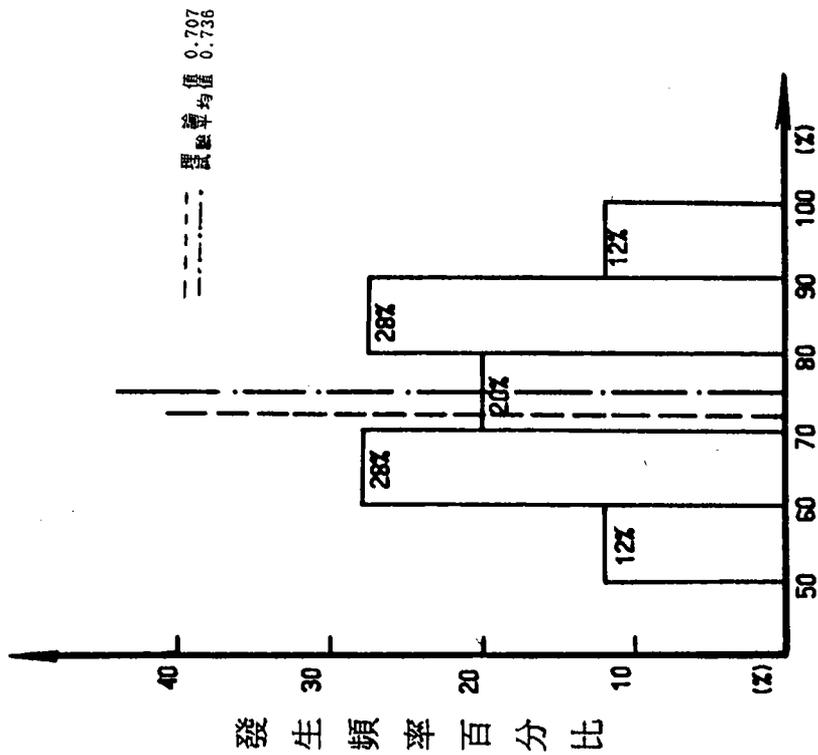
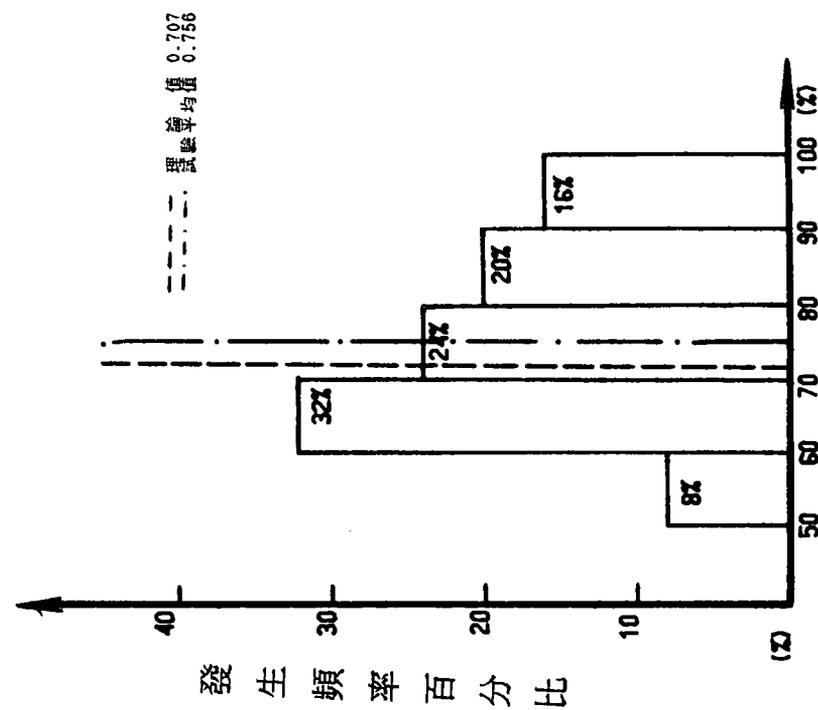


圖 4-13(b) 堤頭處 $\frac{(P_{max})_{斜}}{(P_{max})_{正}}$ 與入射波浪尖銳度關係圖 (波谷)



(a) 波峰



(b) 波谷

圖 4-14 比值百分比之發生頻率組體圖

$$\frac{(P_{max})_{測}}{(P_{max})_{理}}$$

圖 4-14

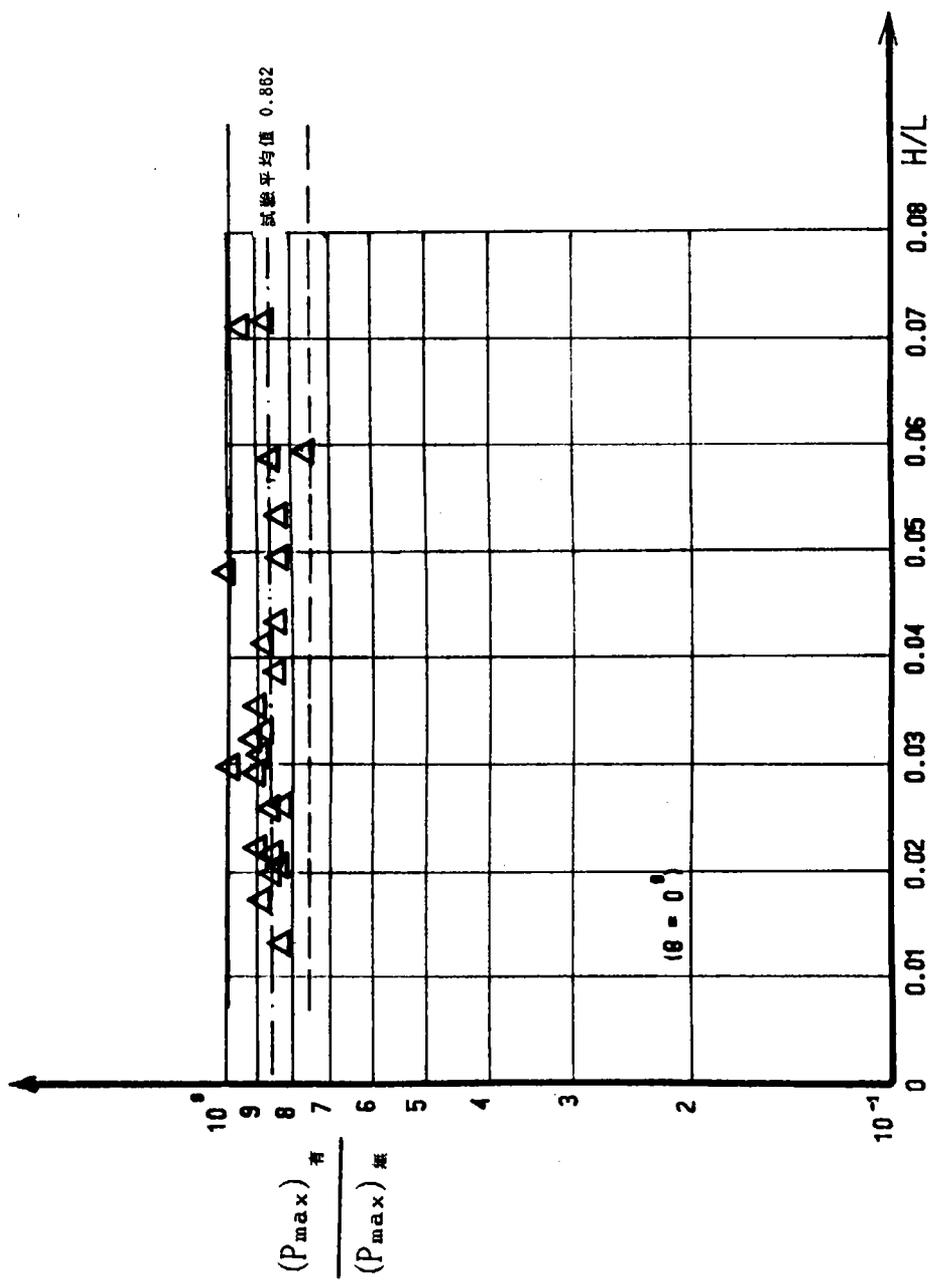


圖 4-15(a) $\frac{(P_{max})_{有}}{(P_{max})_{無}}$ 比值與入射波浪尖銳度關係圖 ($\theta = 0^\circ$)

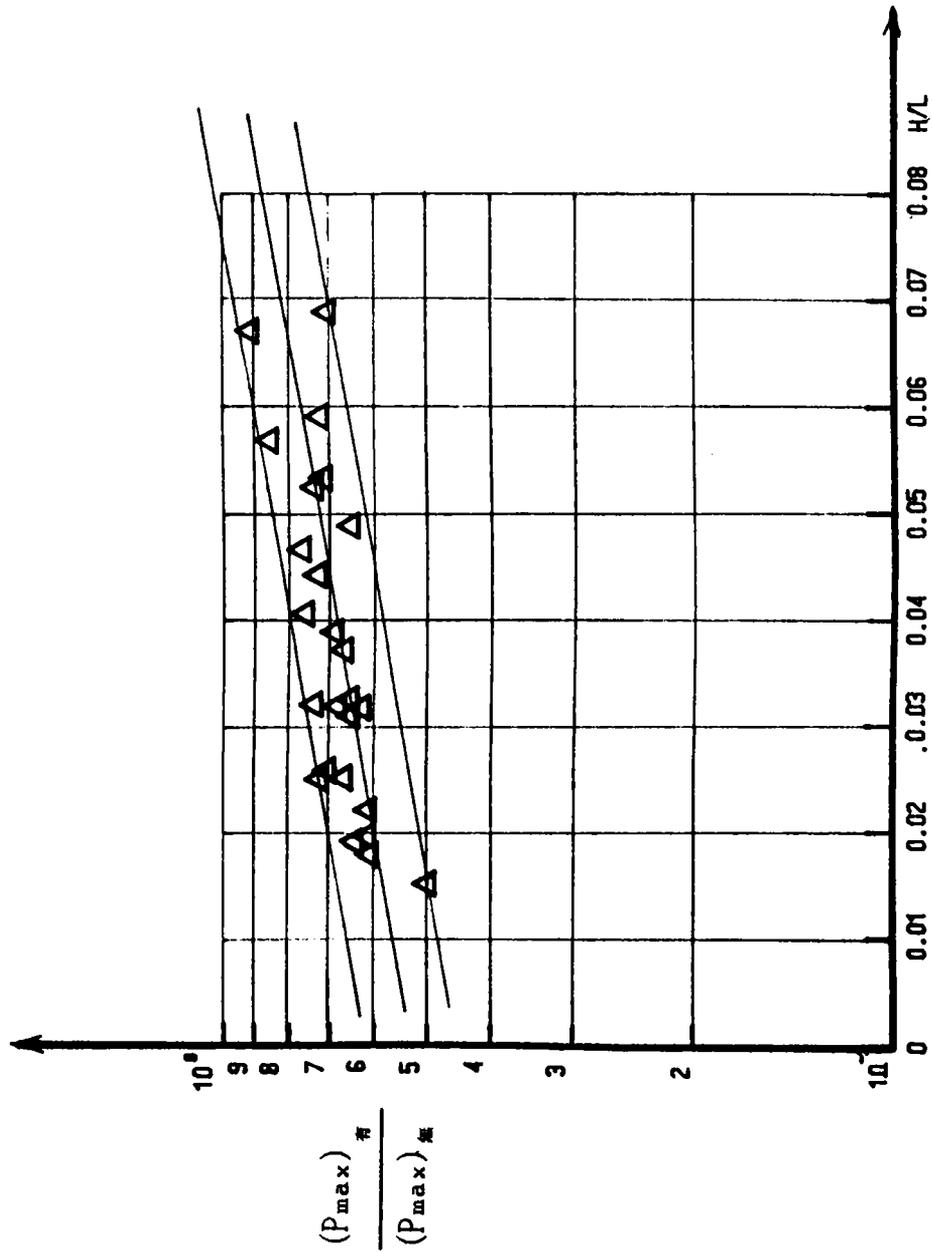
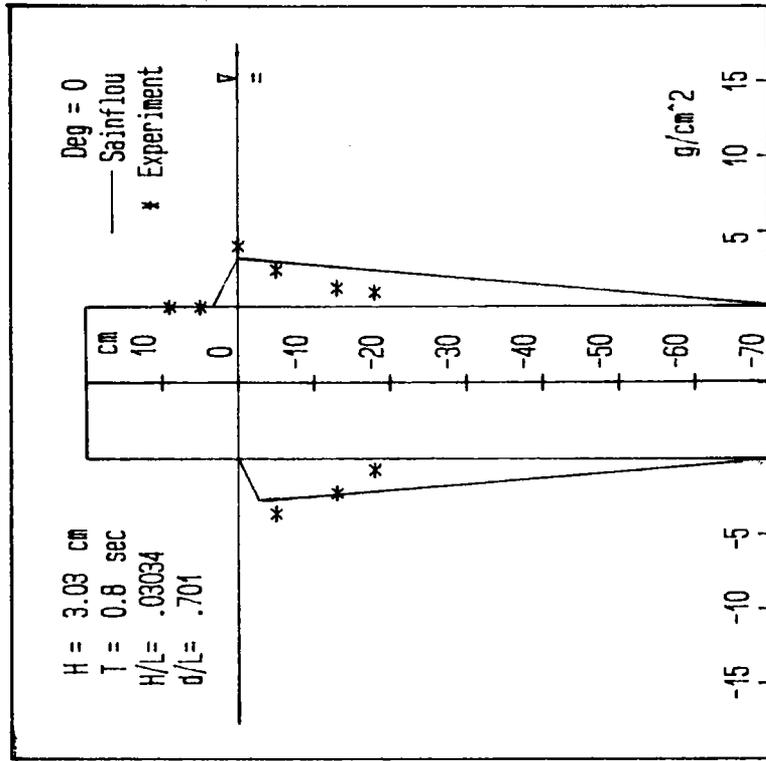
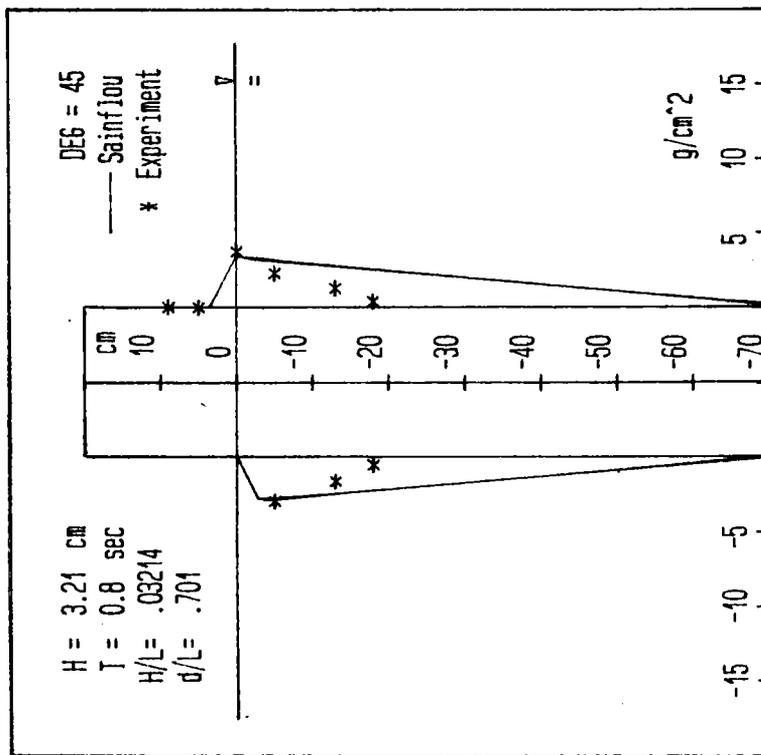


圖 4-15(b) $\frac{(P_{\max})_{\text{有}}}{(P_{\max})_{\text{無}}}$ 比值與入射波浪尖銳度關係圖 ($\theta = 45^\circ$)

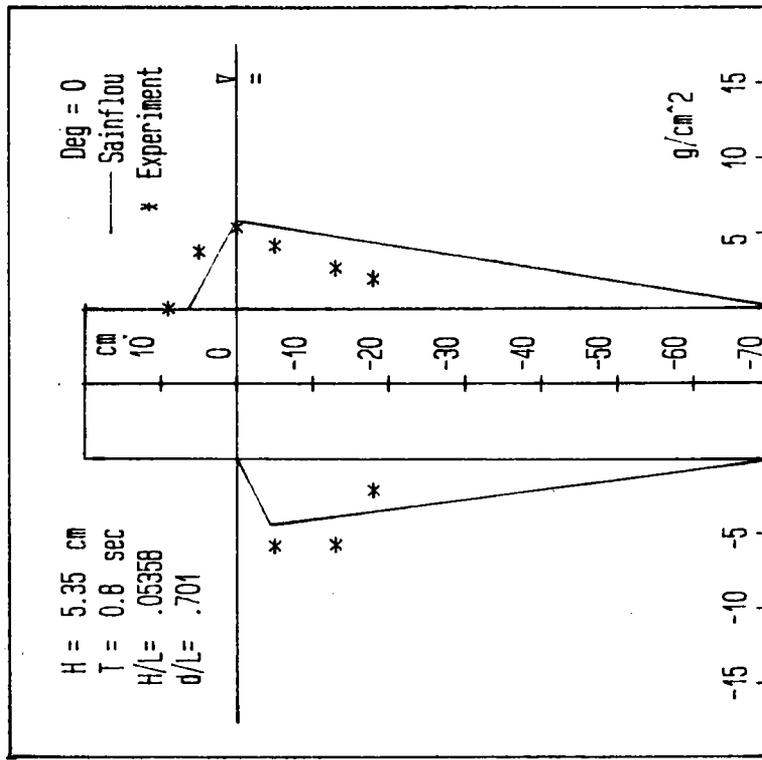


(a)

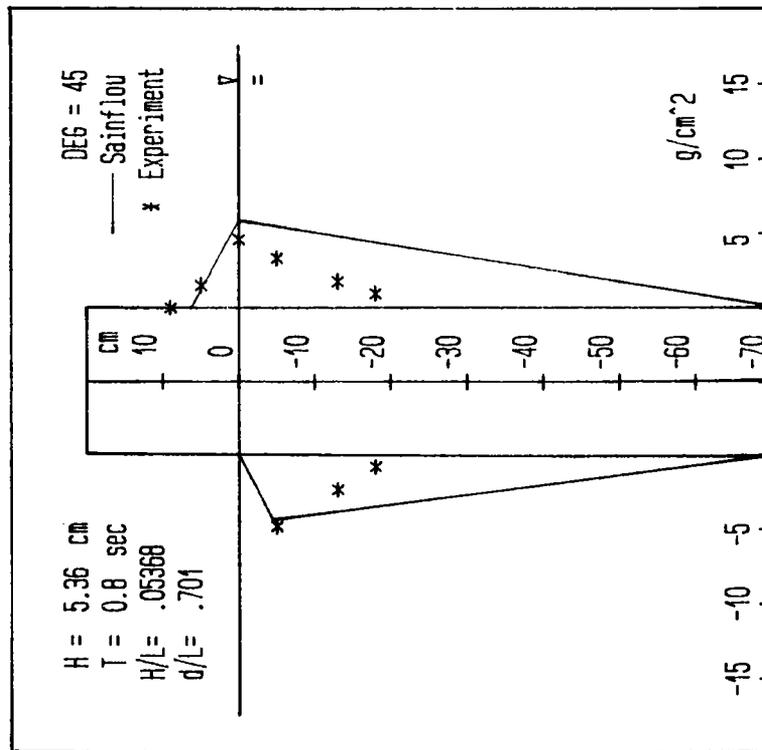


(b)

圖 4-16-1 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.701$)



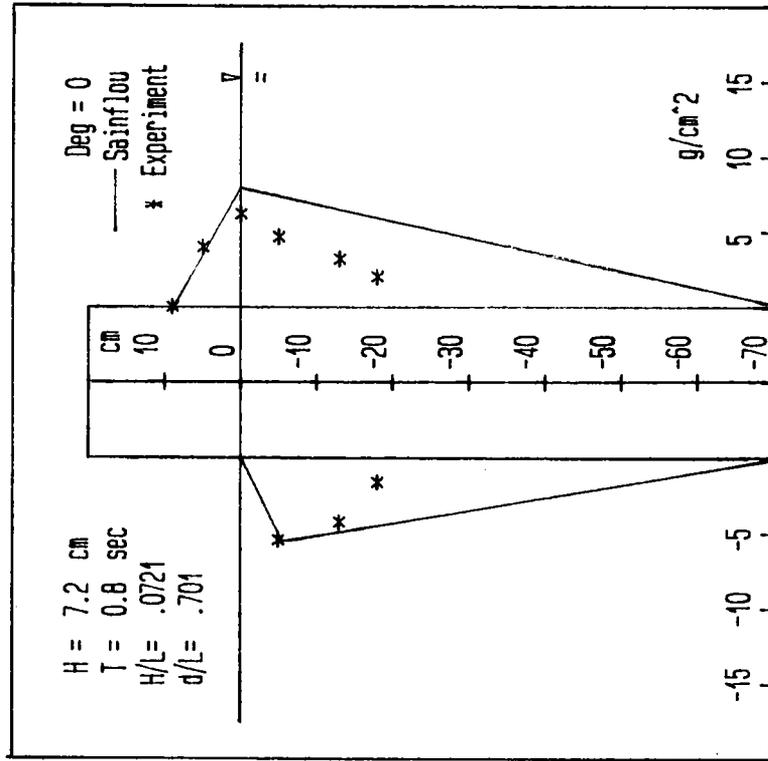
(a)



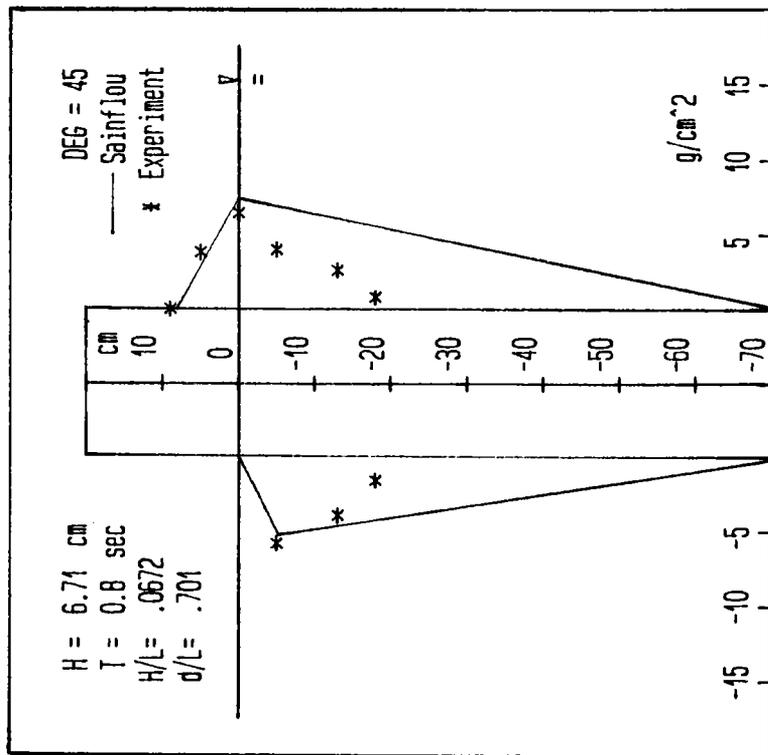
(b)

圖 4-16-2 堤頭處短波峰波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.701$)

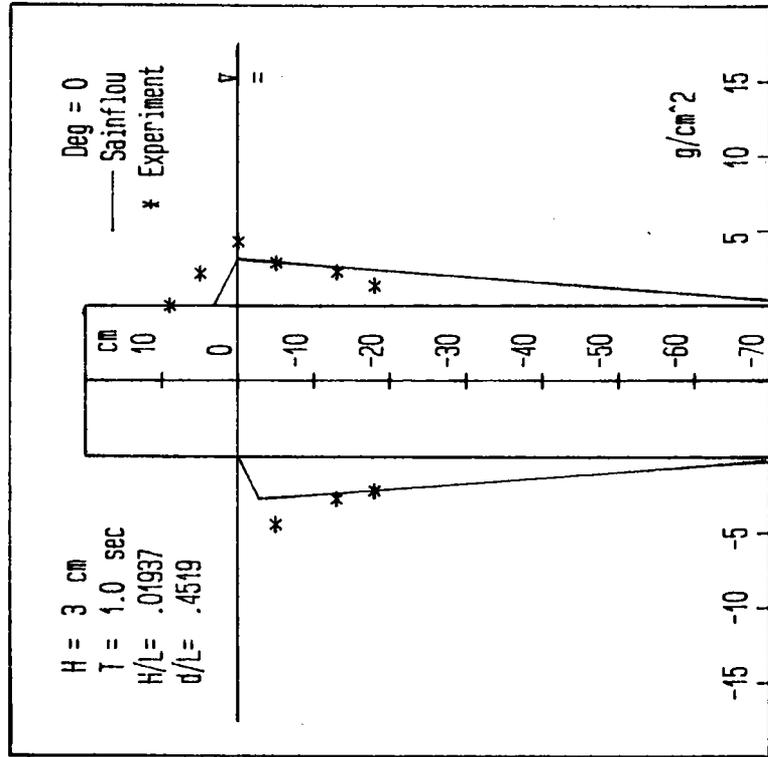


(a)

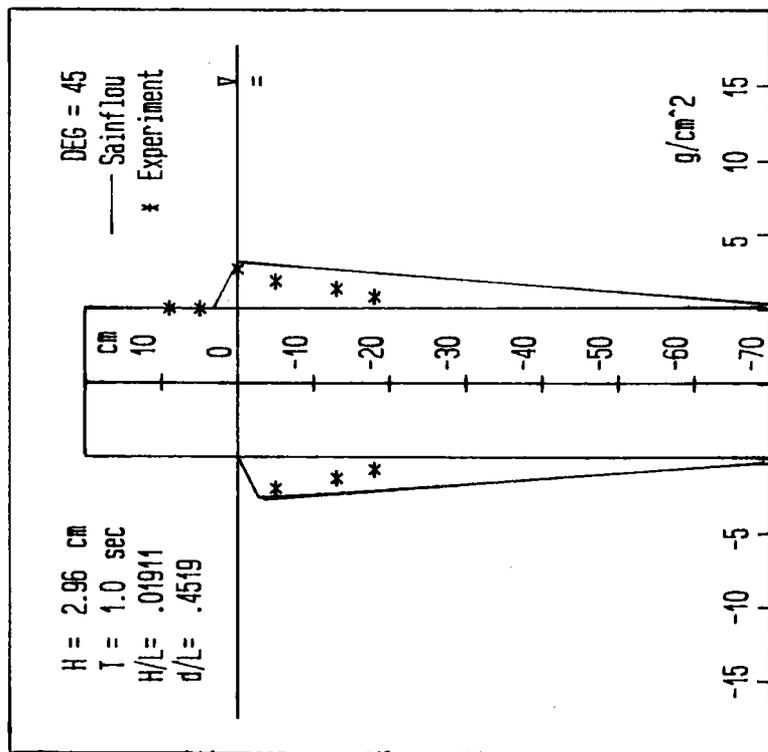


(b)

圖 4-16-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.701$)

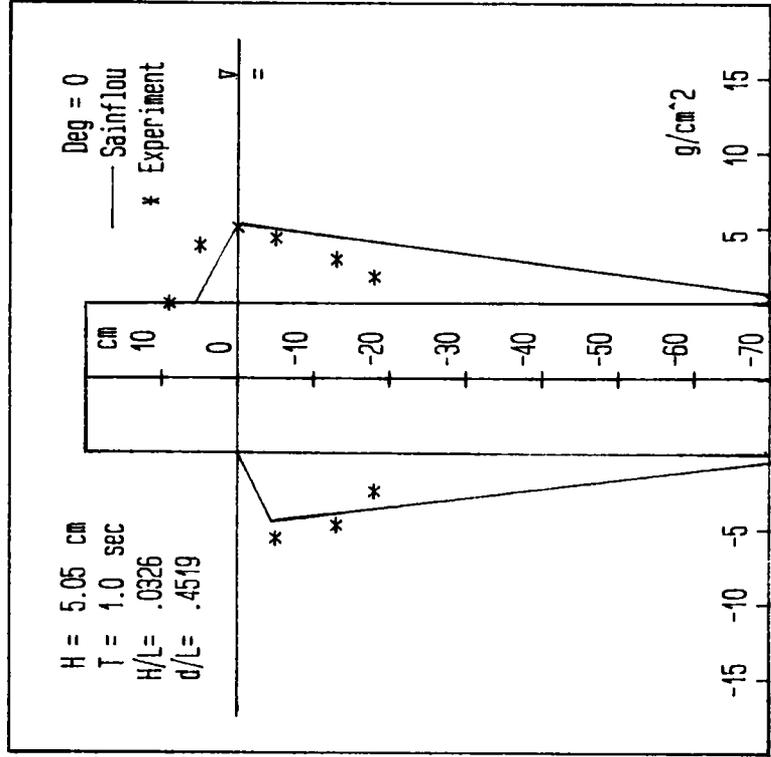


(a)

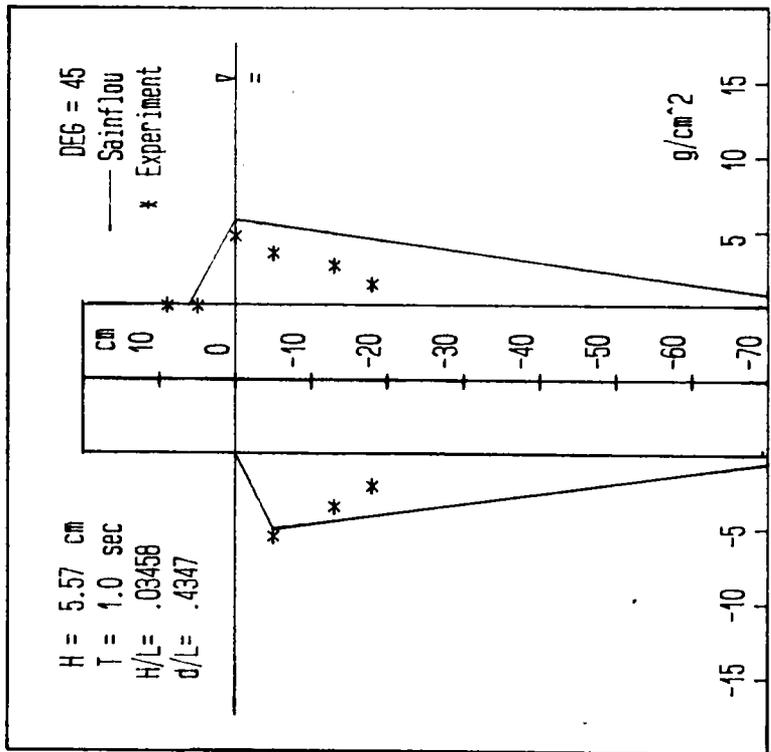


(b)

圖 4-17-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)



(a)



(b)

圖 4-17-2 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

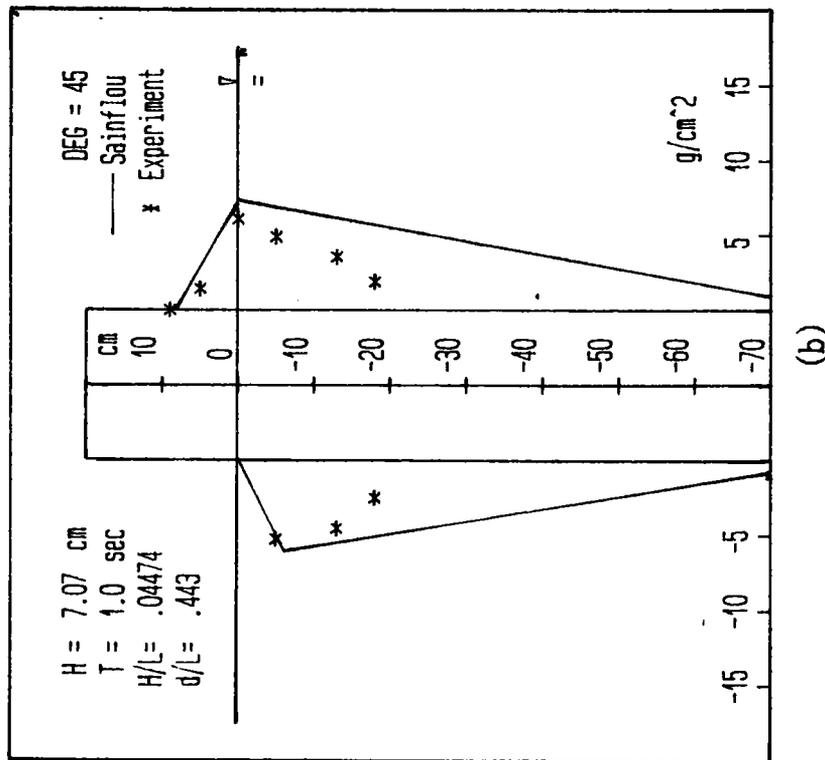
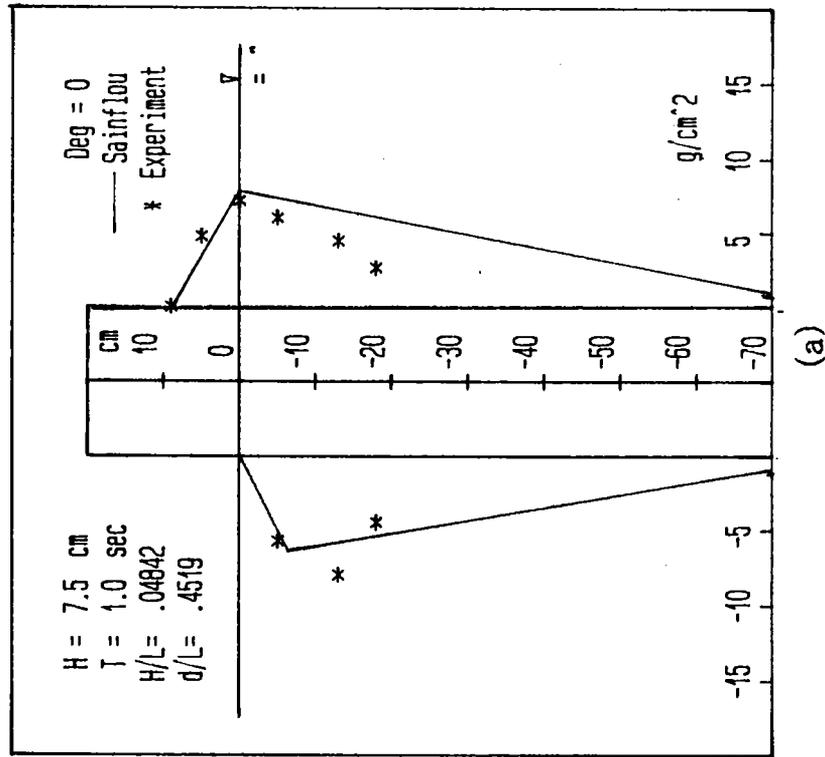
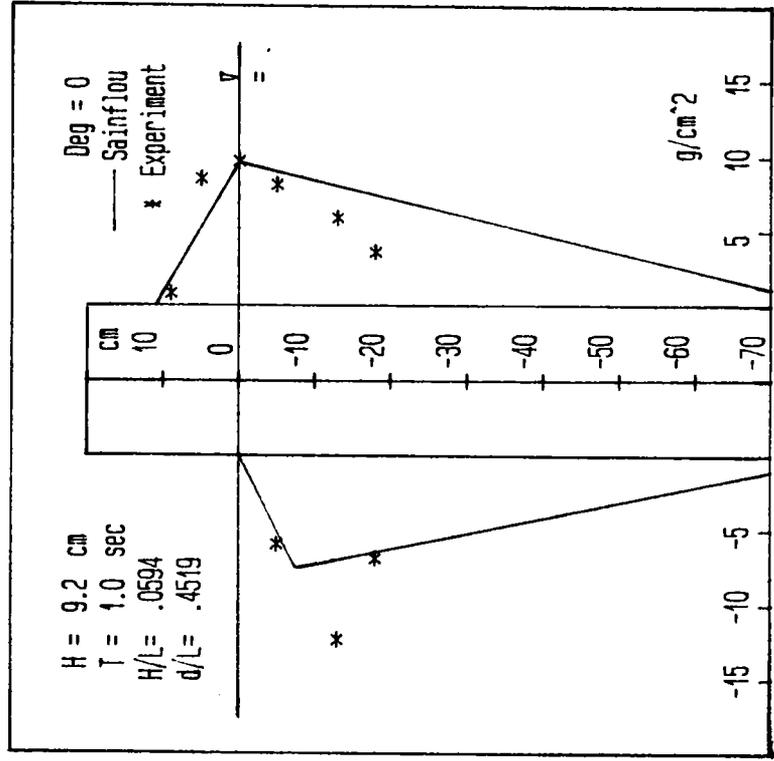
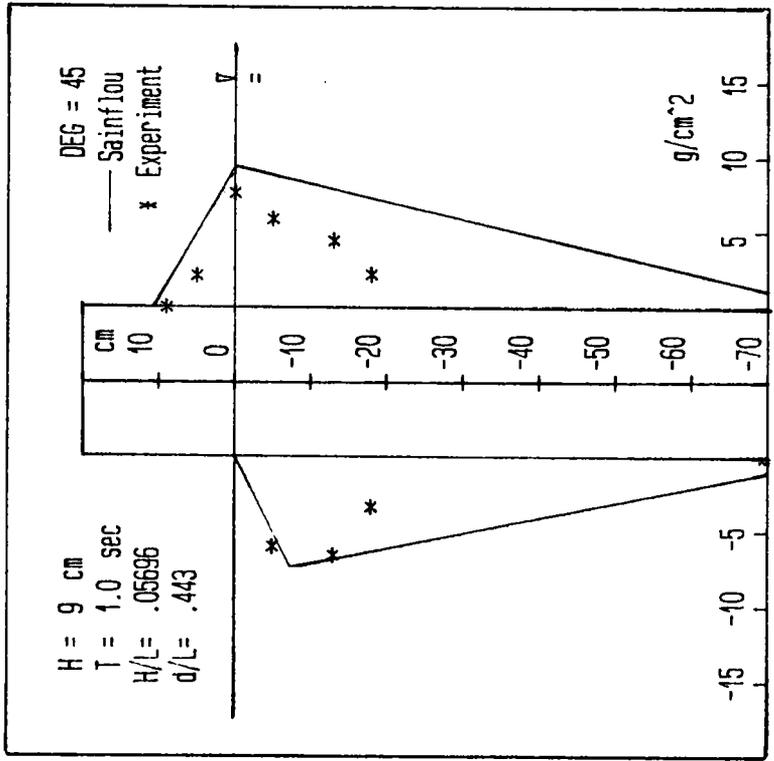


圖 4-17-3 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

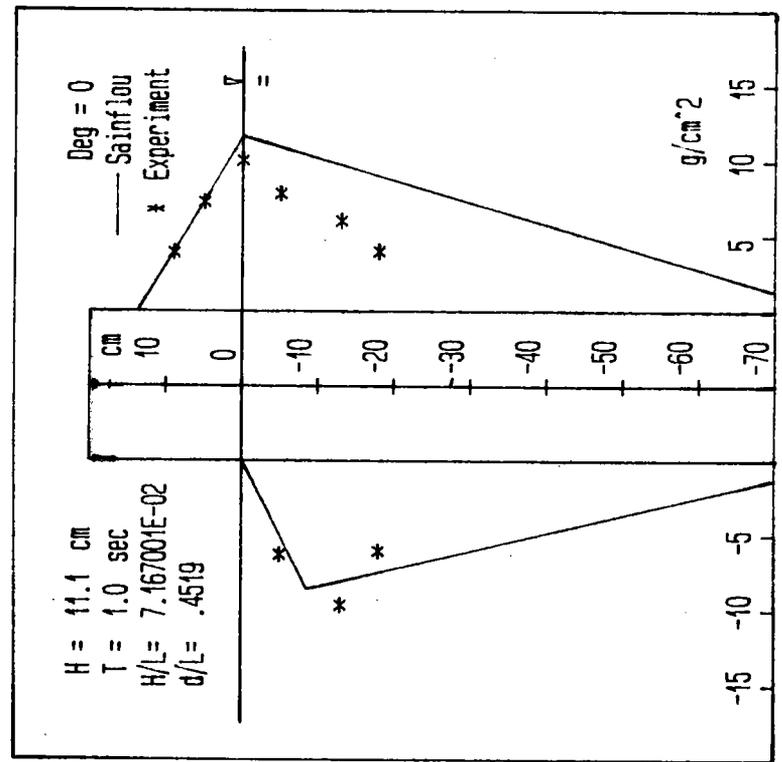


(a)

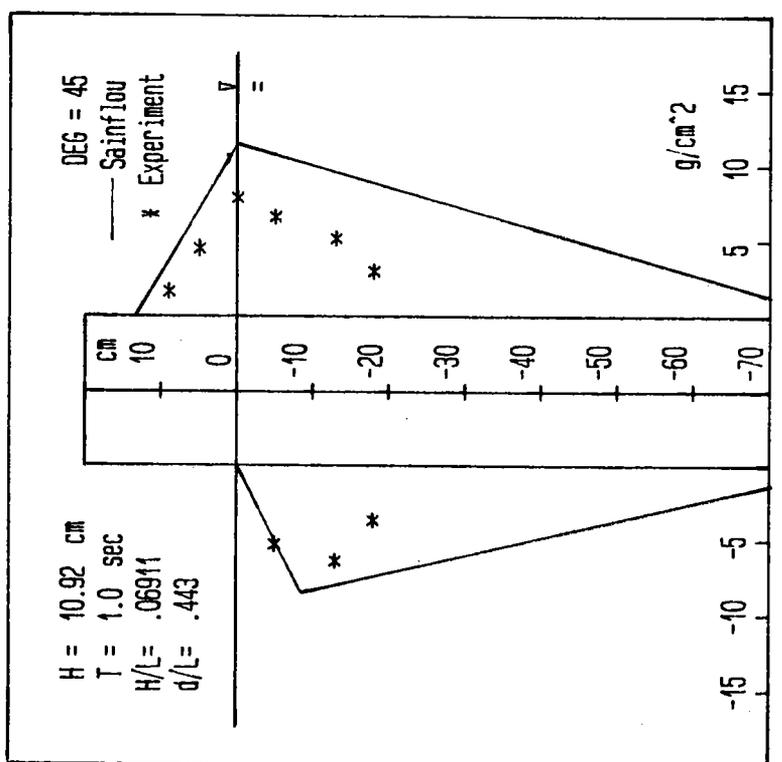


(b)

圖 4-17-4 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

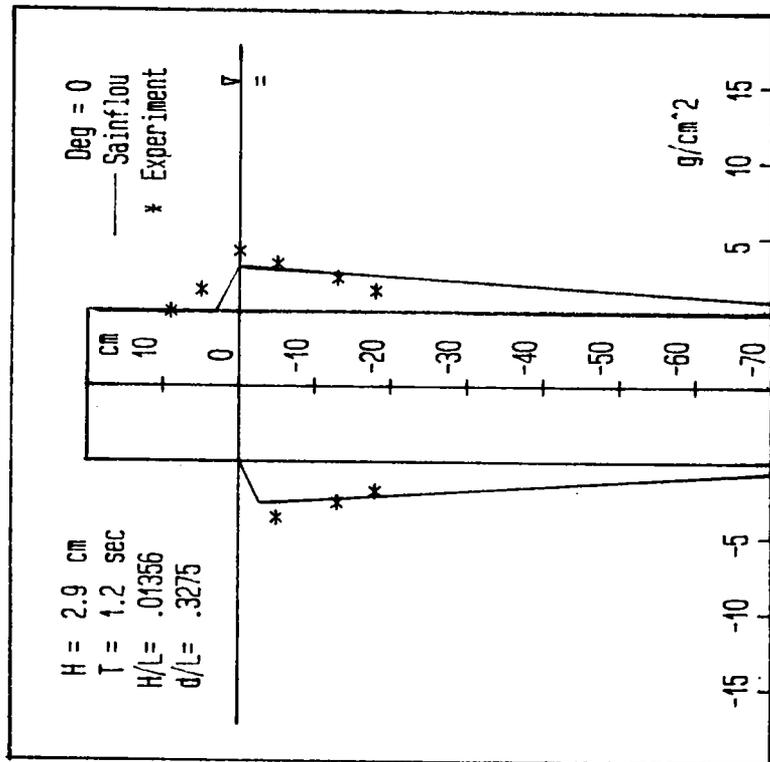


(a)

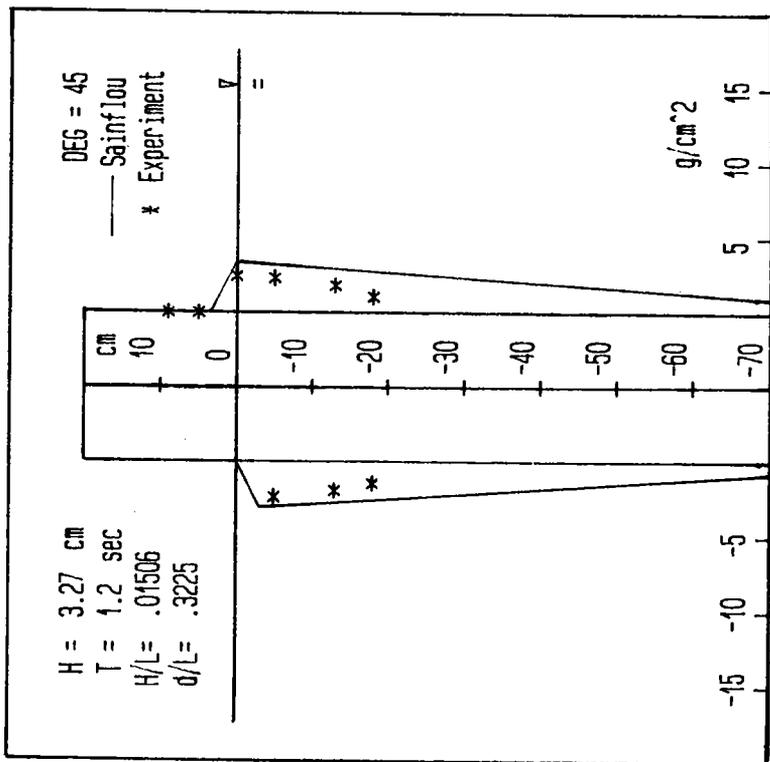


(b)

圖 4-17-5 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.443$)

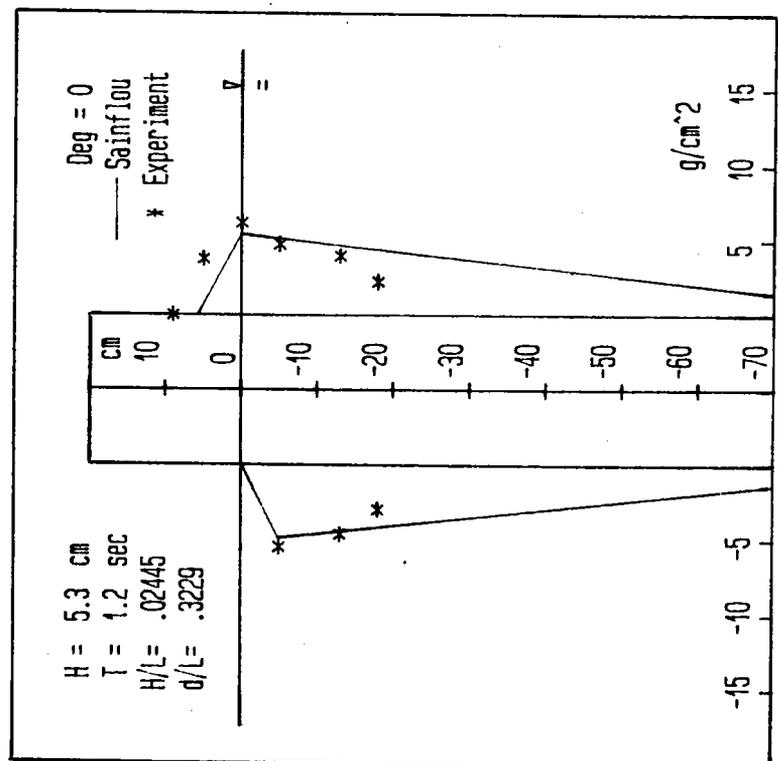


(a)

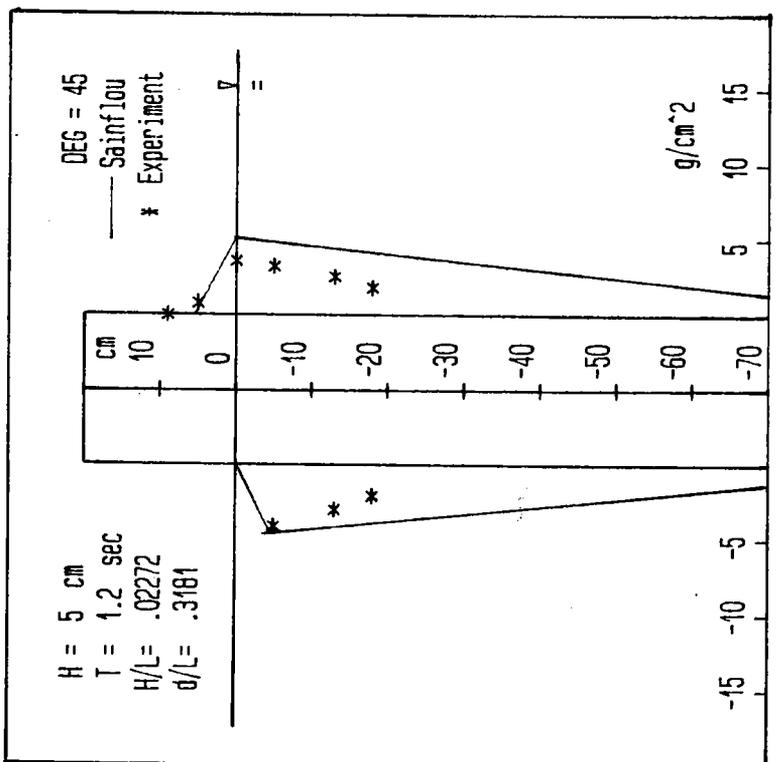


(b)

圖 4-18-1 堤頭處短波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 (d/L=0.32)

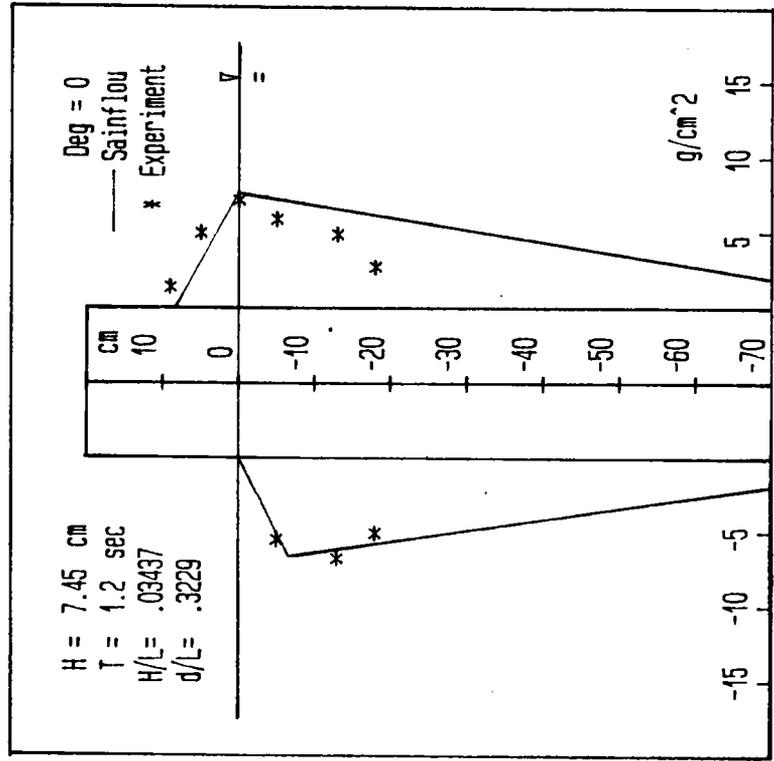


(a)

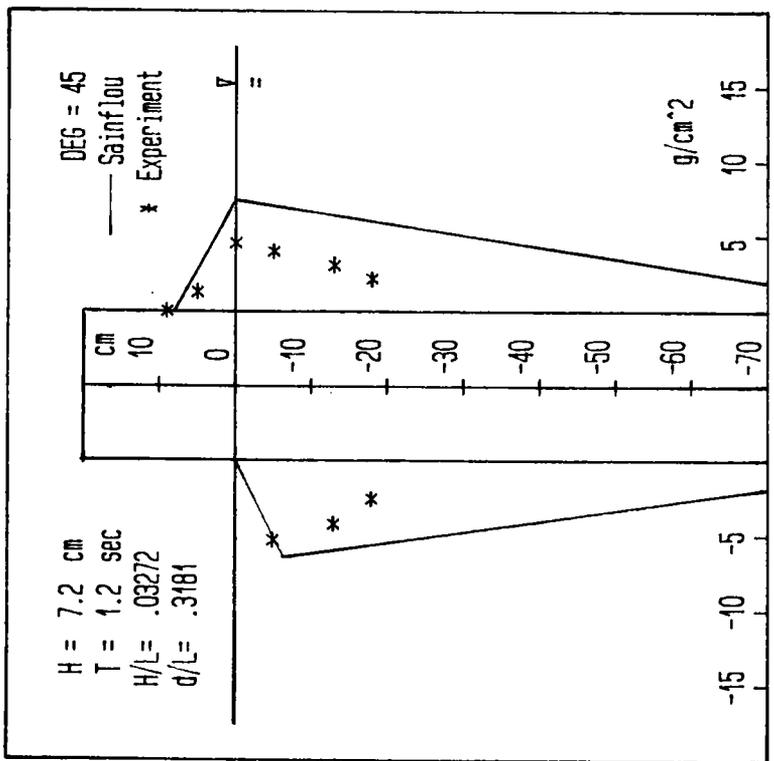


(b)

圖 4-18-2 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 (d/L=0.32)



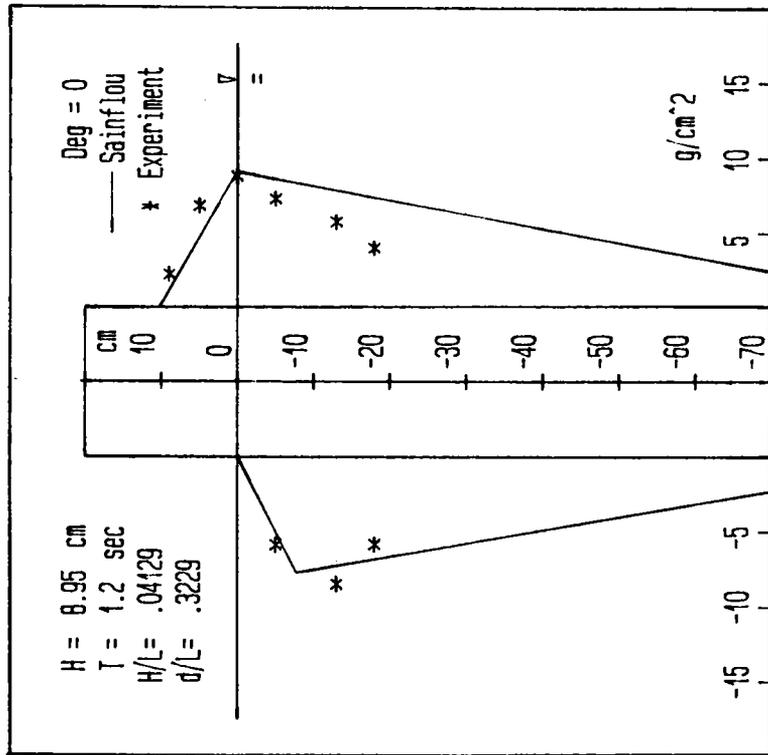
(a)



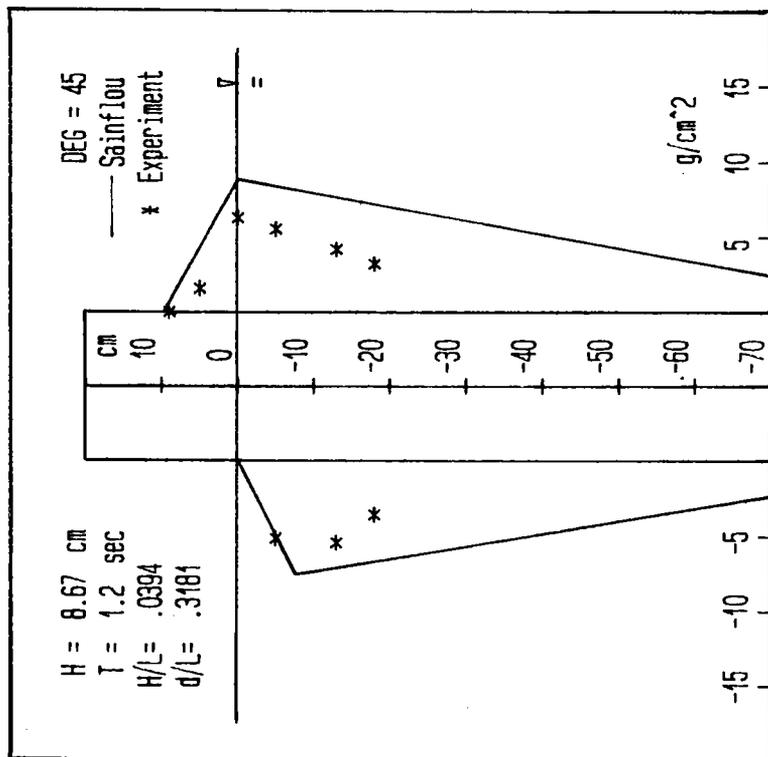
(b)

圖 4-18-3 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)



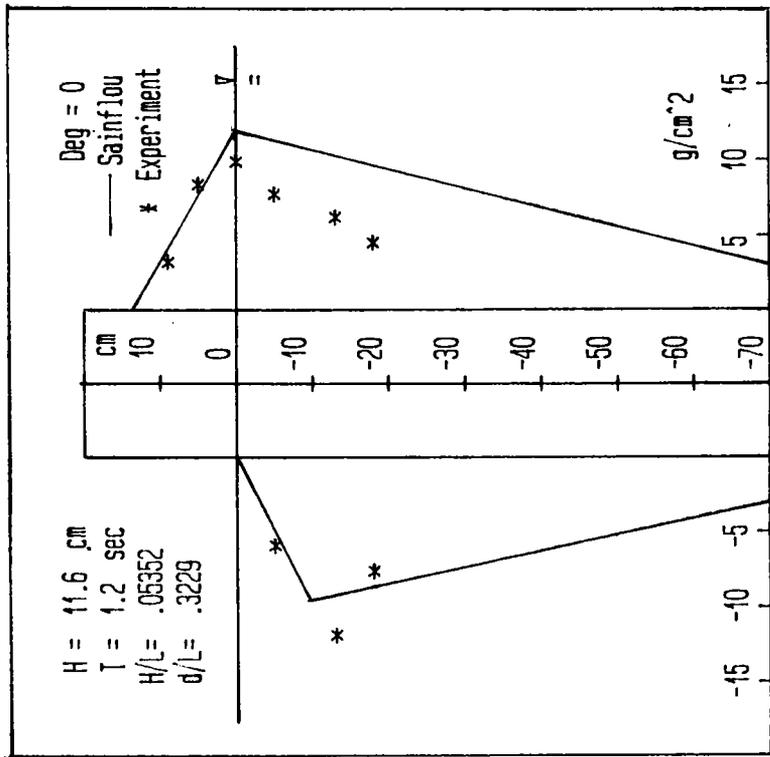
(a)



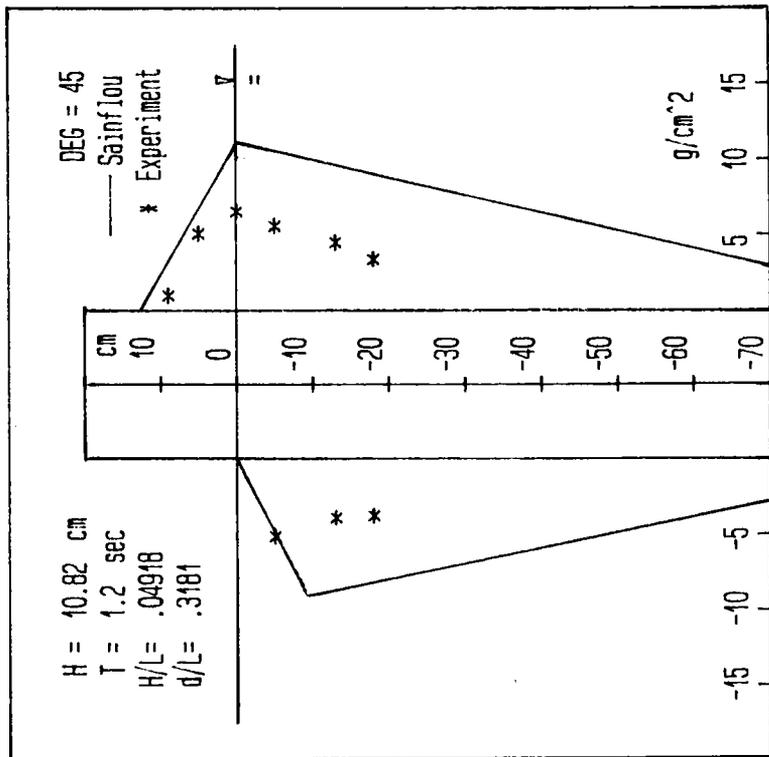
(b)

圖 4-18-4 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

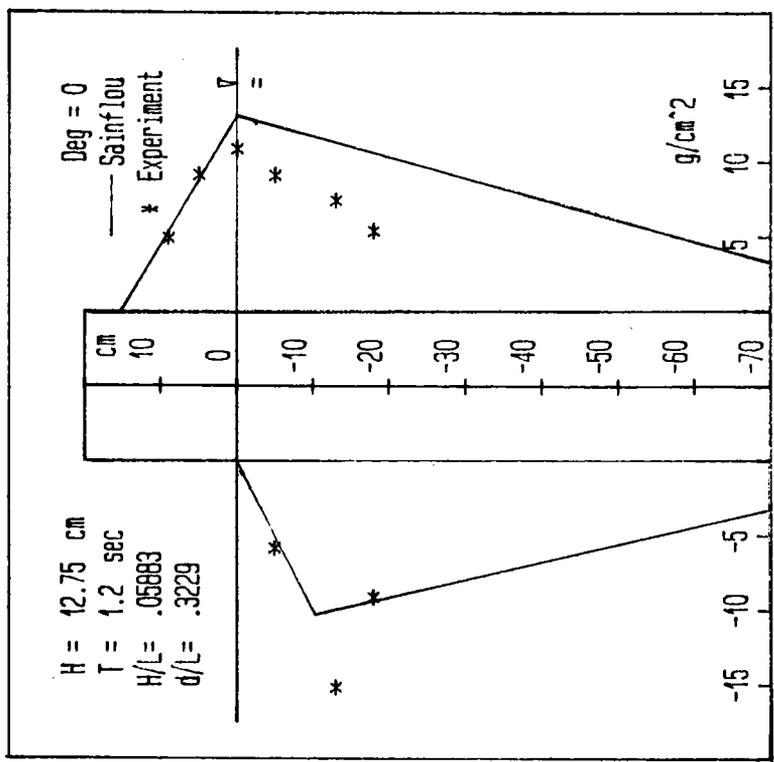


(a)

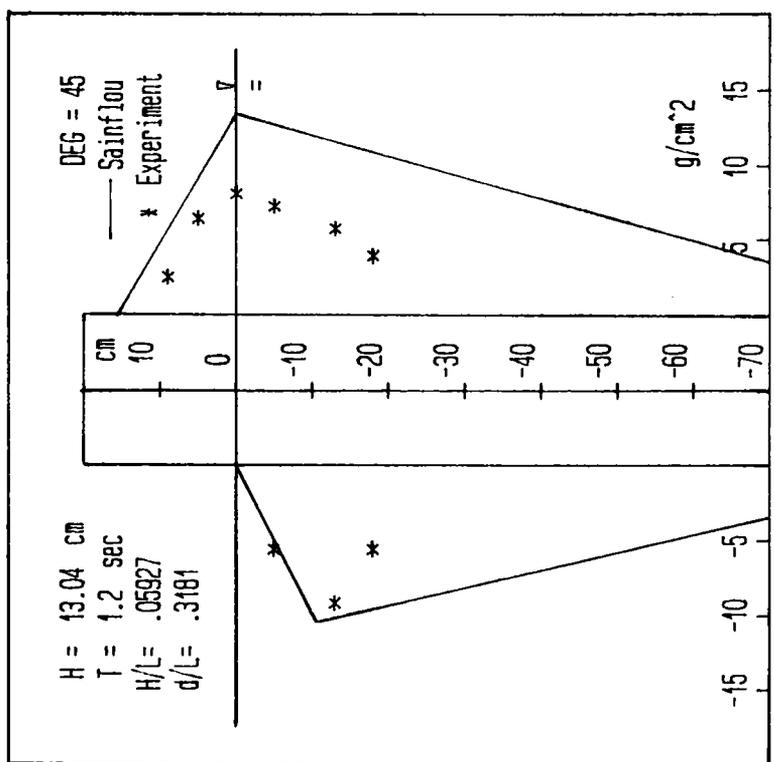


(b)

圖 4-18-5 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)

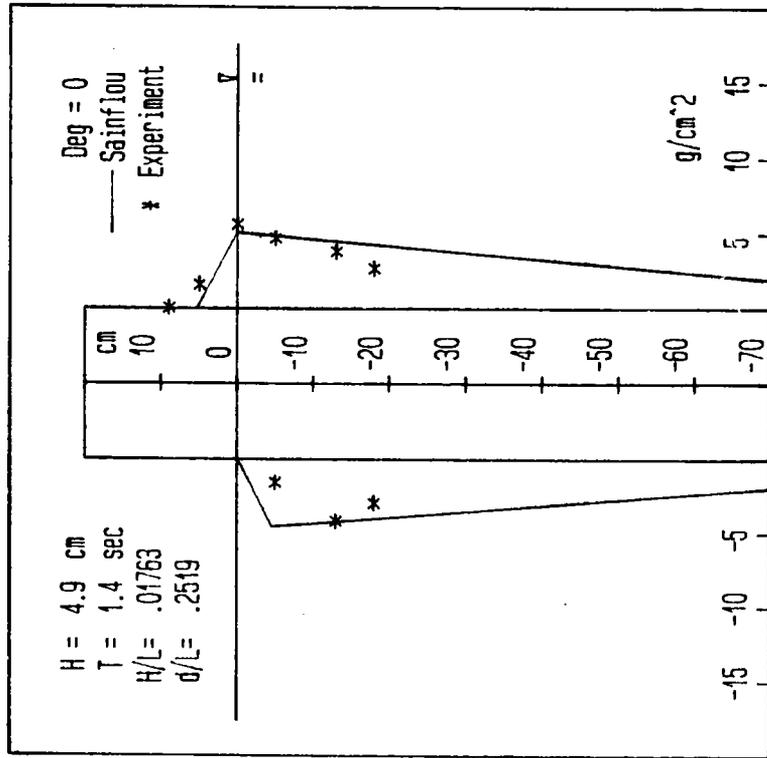


(a)

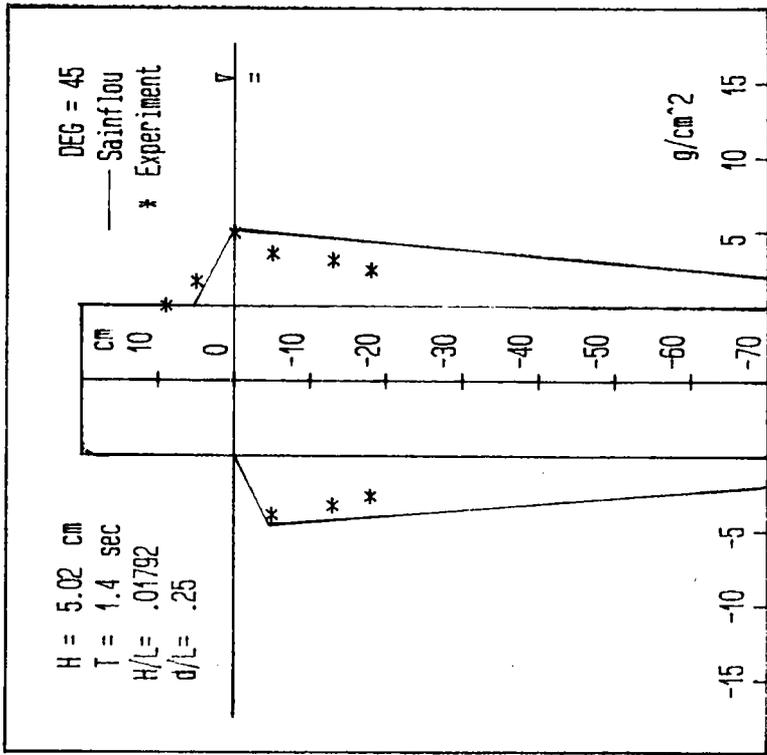


(b)

圖 4-18-6 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.32$)



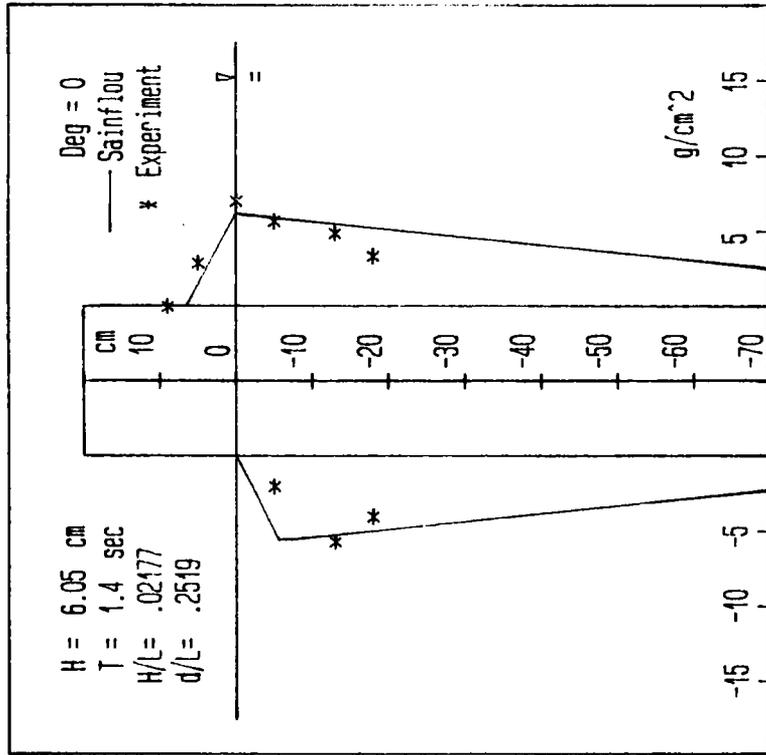
(a)



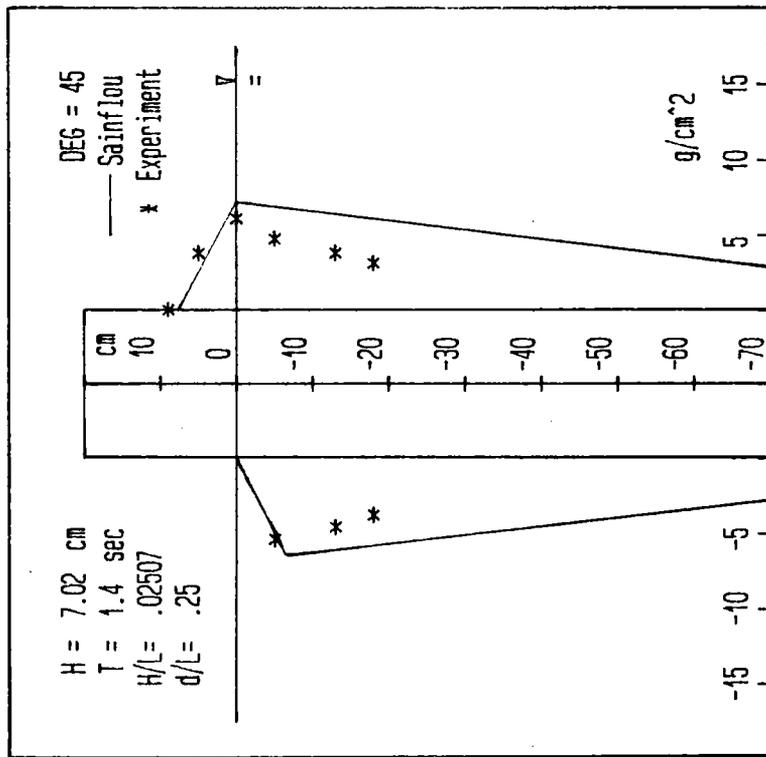
(b)

圖 4-19-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

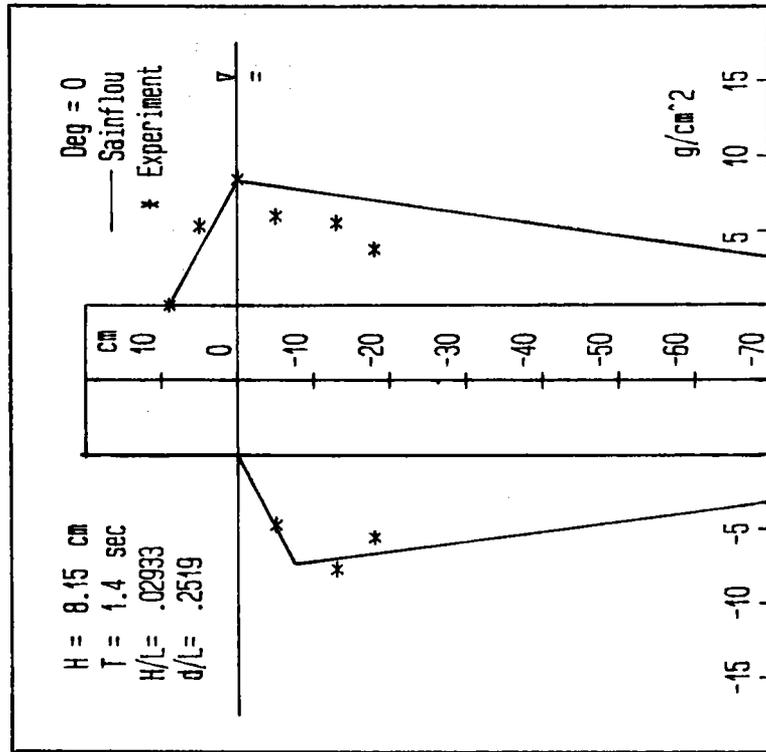


(a)

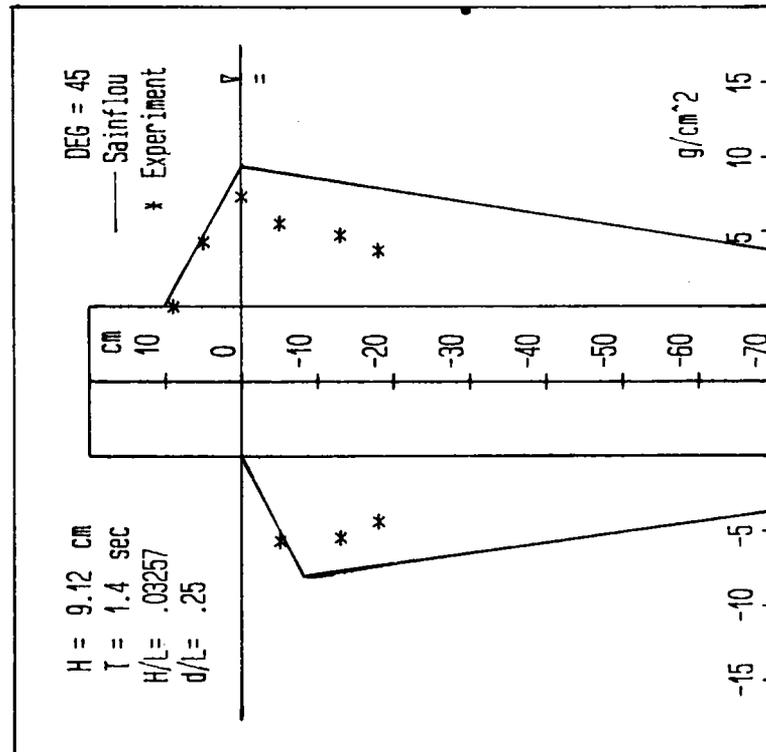


(b)

圖 4-19-2 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

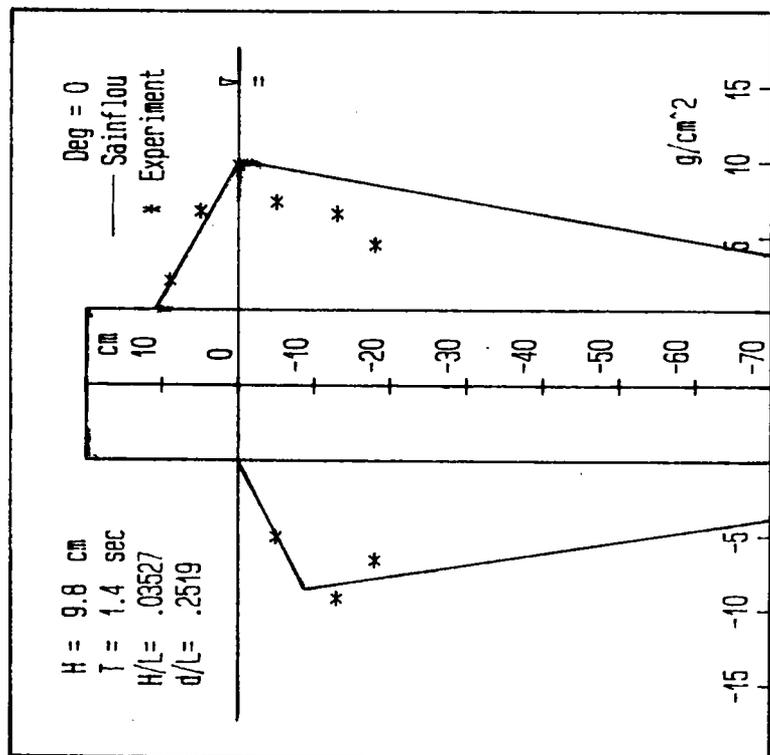


(a)

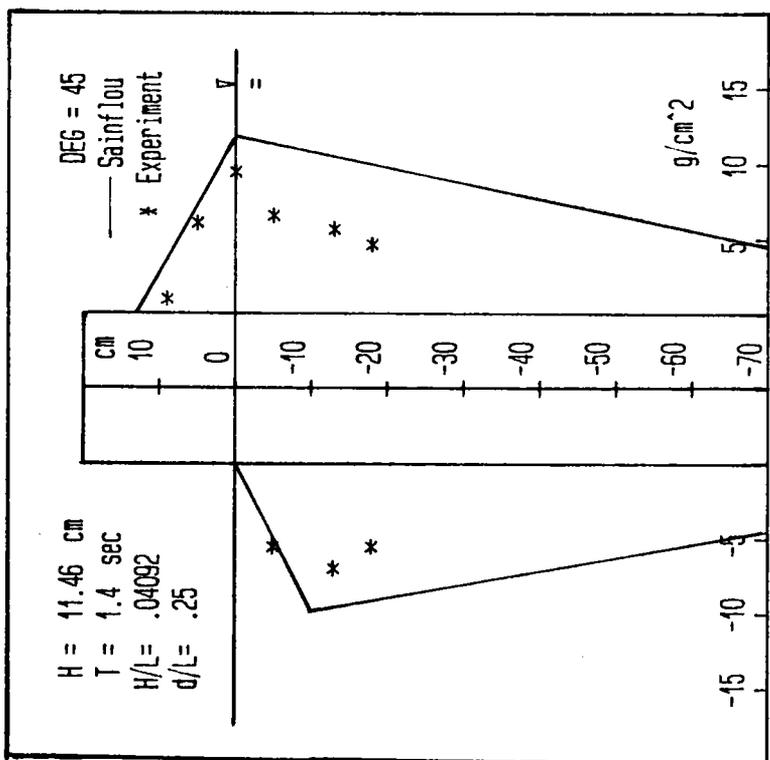


(b)

圖 4-19-3 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

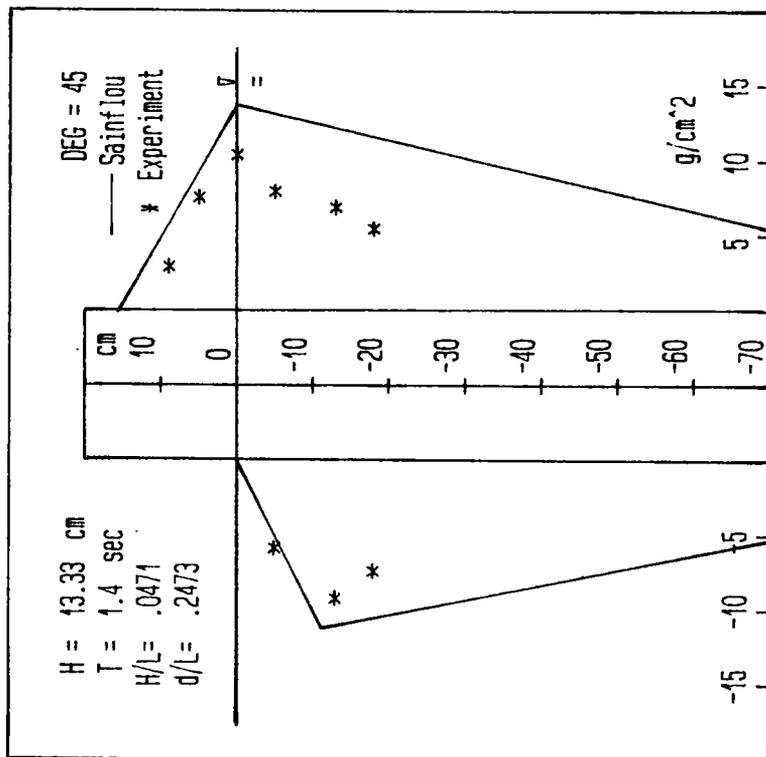


(a)

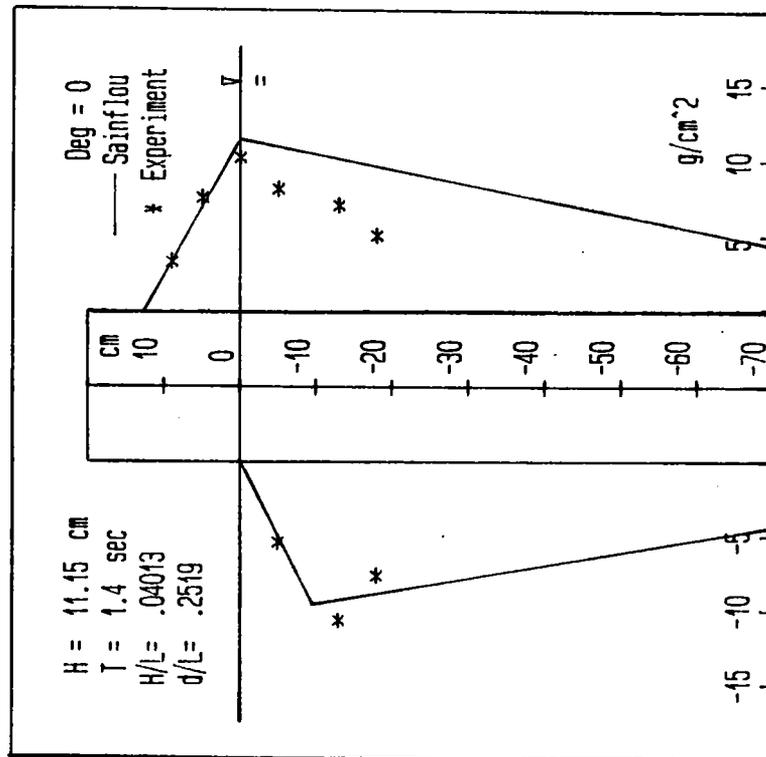


(b)

圖 4-19-4 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)



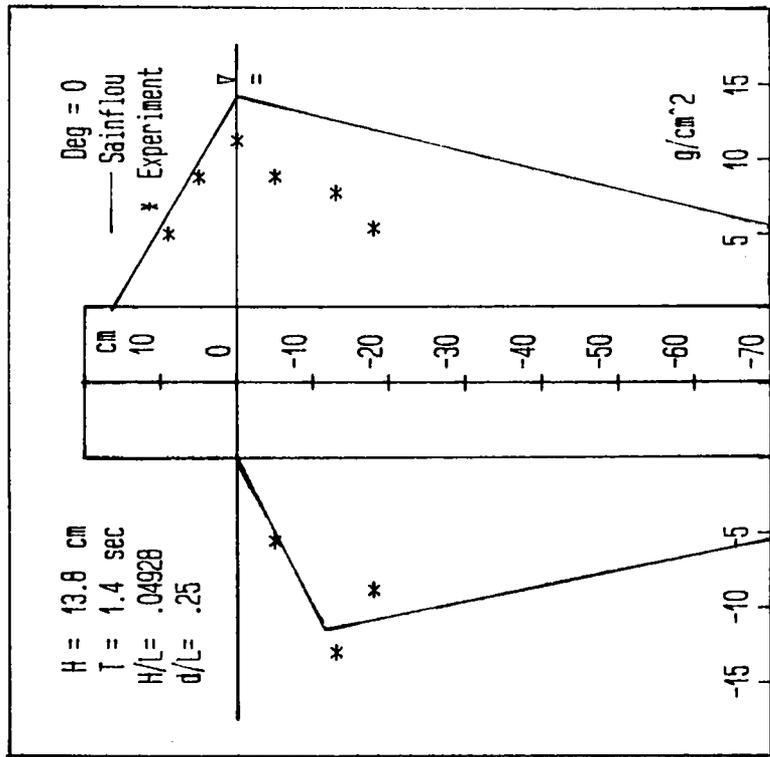
(a)



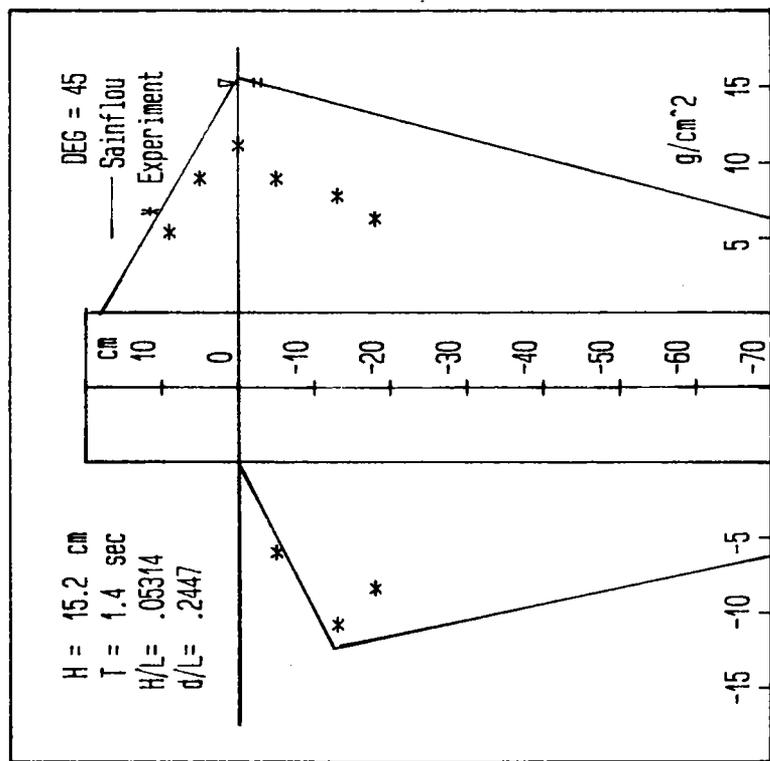
(b)

圖 4-19-5 堤頭處短波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 (d/L=0.245)

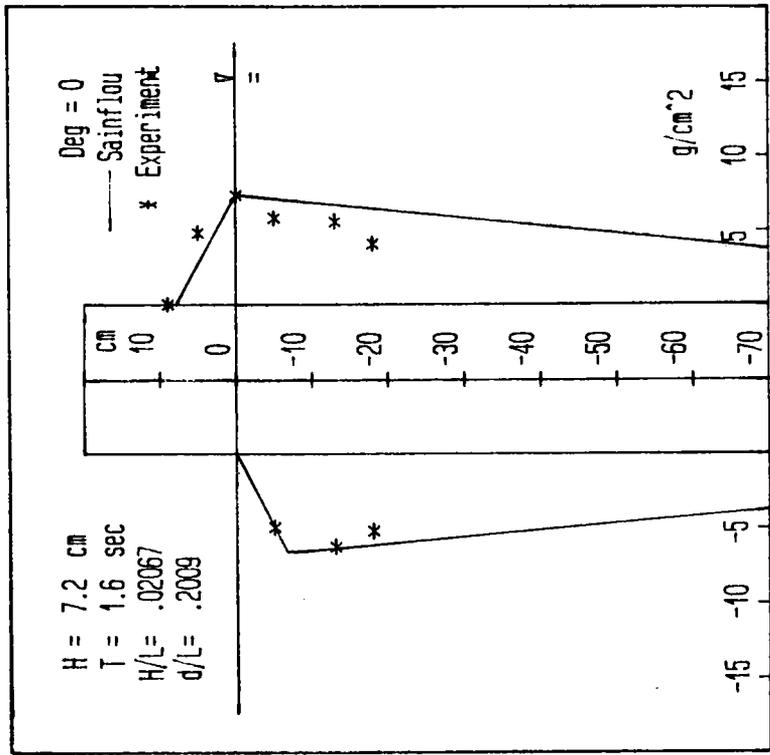


(a)

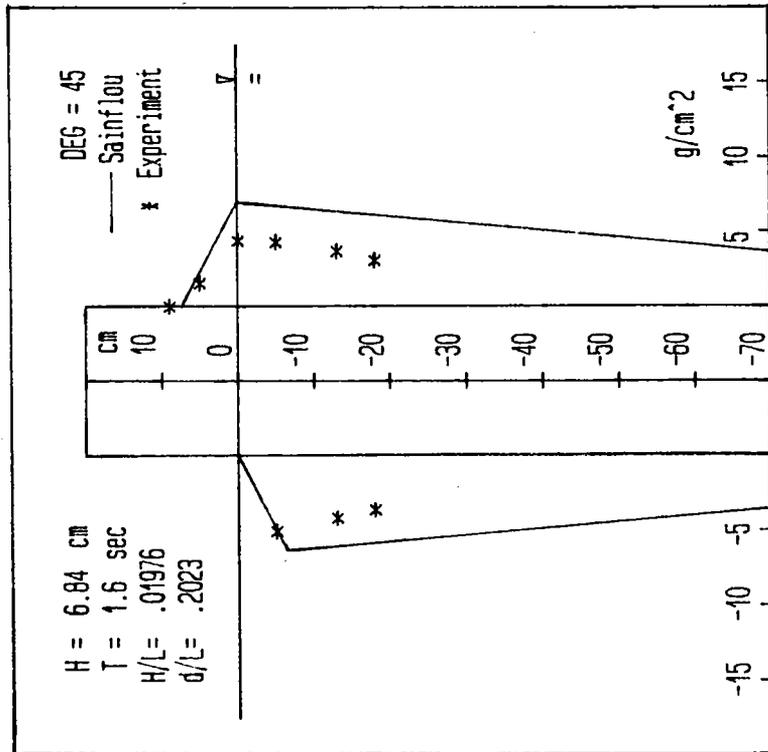


(b)

圖 4-19-6 堤頭處短波峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.245$)

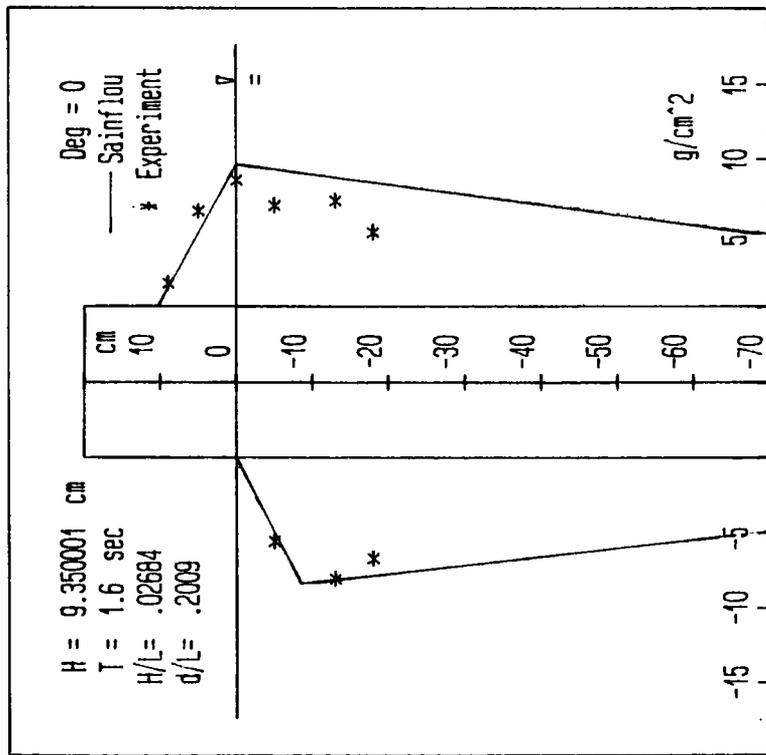


(a)

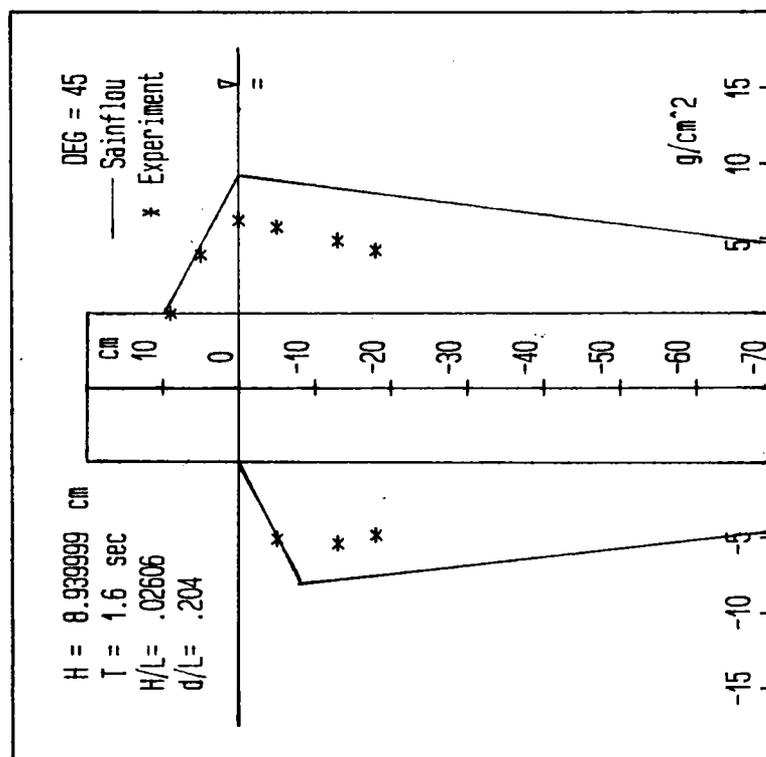


(b)

圖 4-20-1 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)



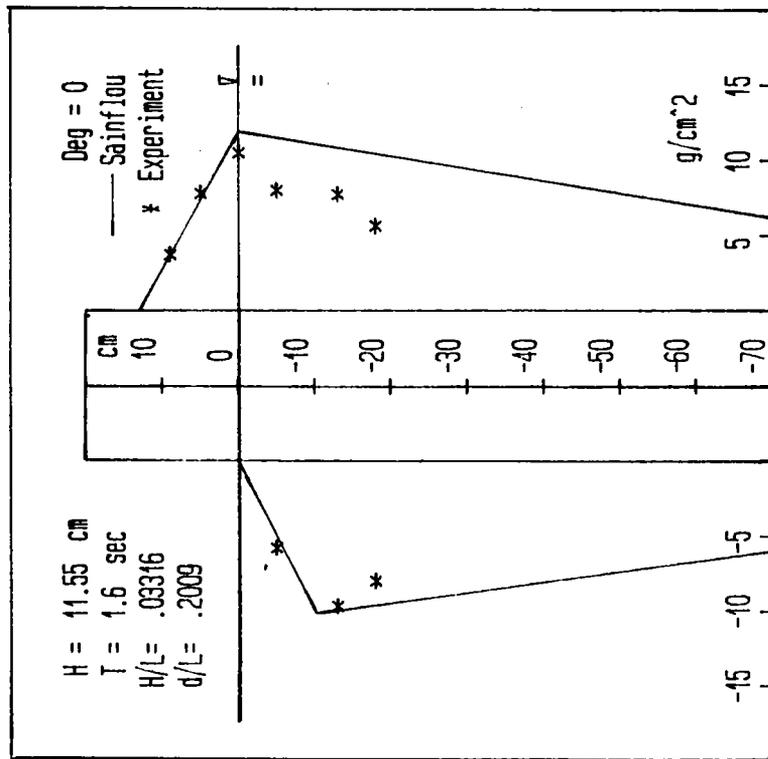
(a)



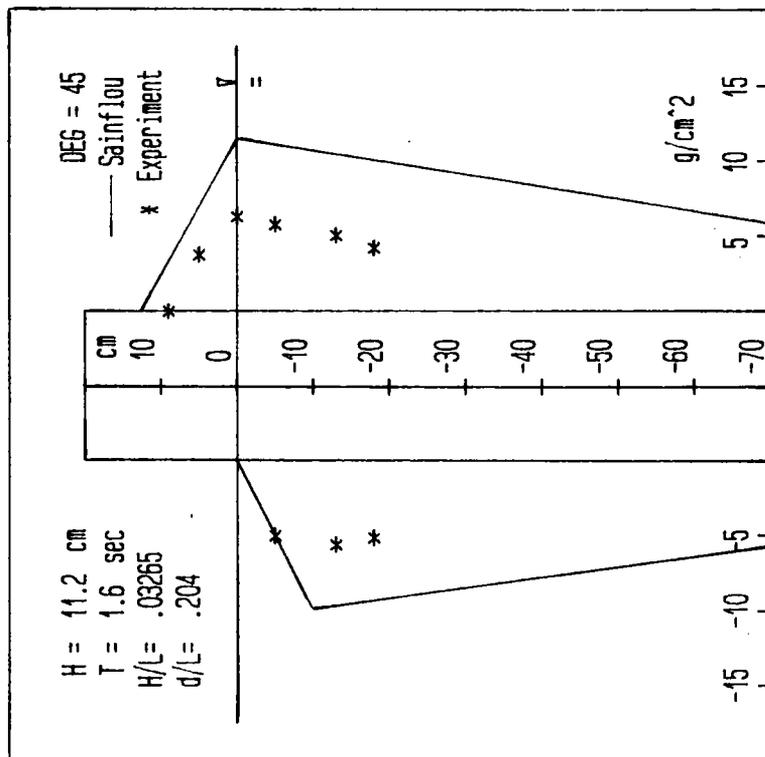
(b)

圖 4-20-2 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 (d/L=0.204)



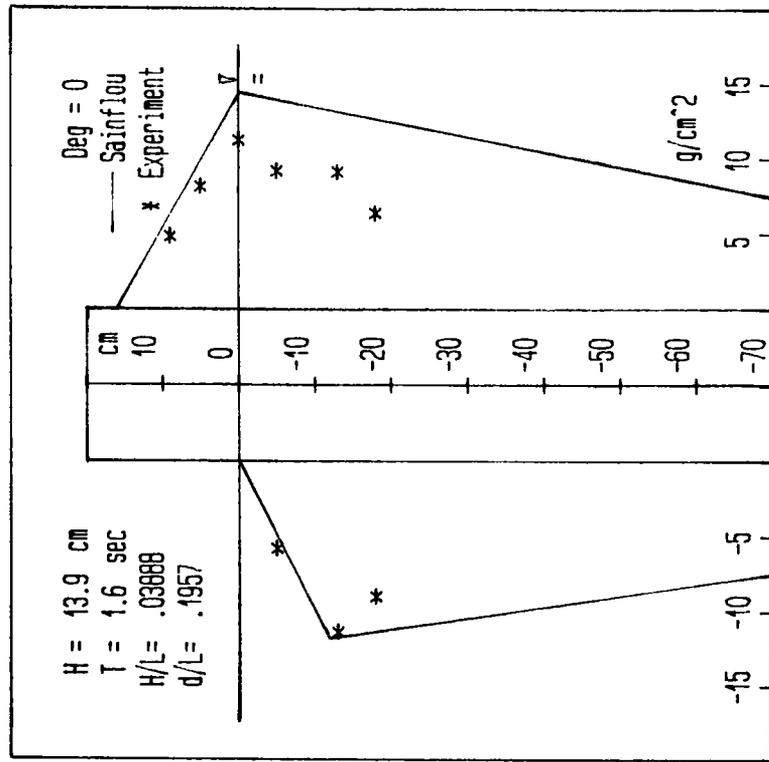
(a)



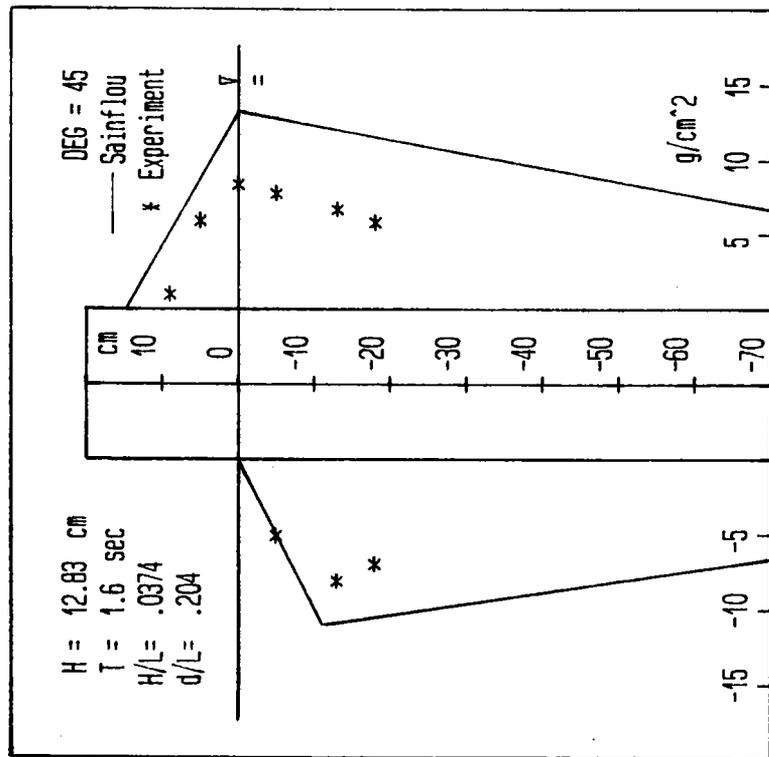
(b)

圖 4-20-3 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou

波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)

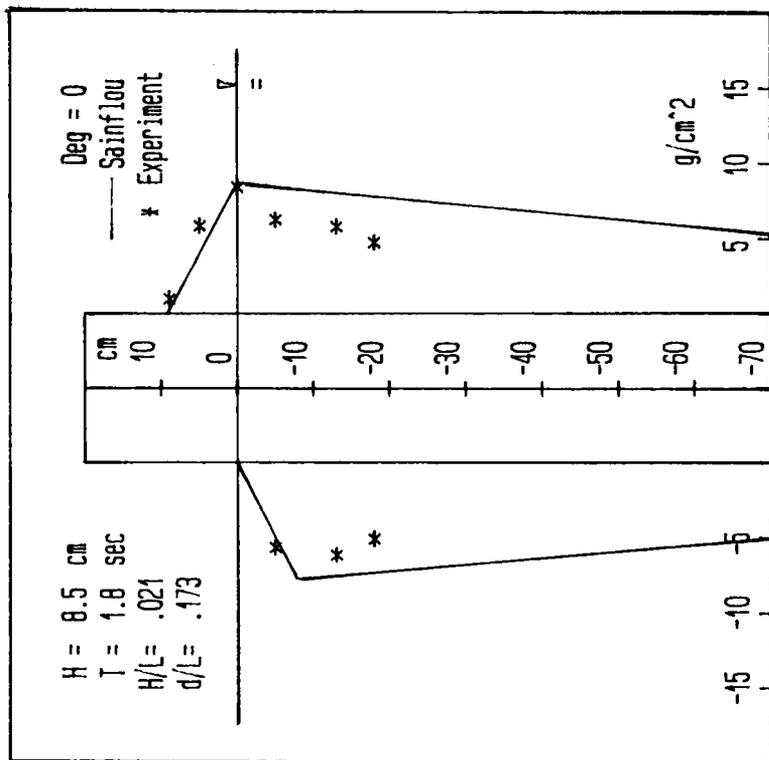


(a)

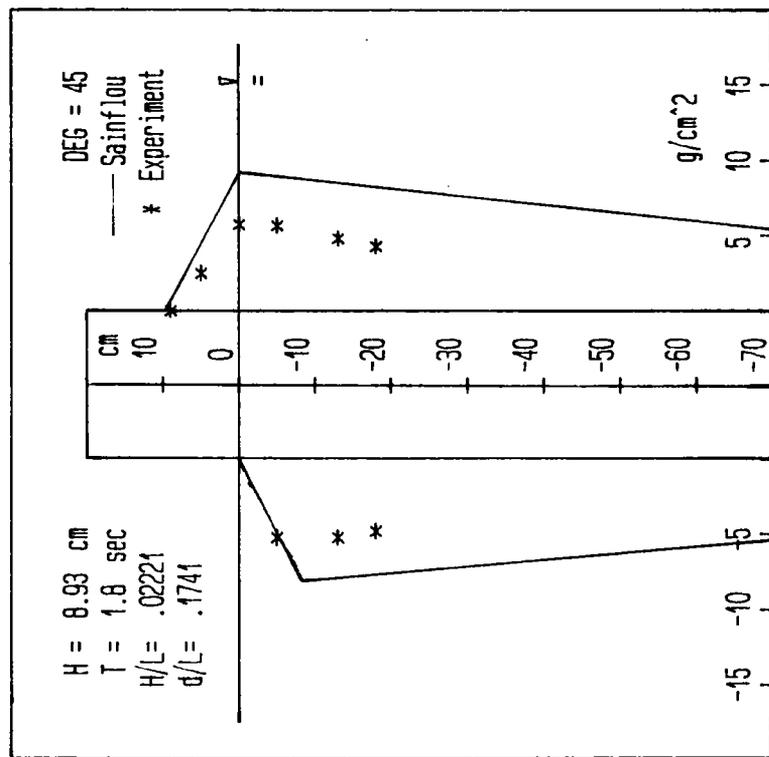


(b)

圖 4-20-4 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.204$)

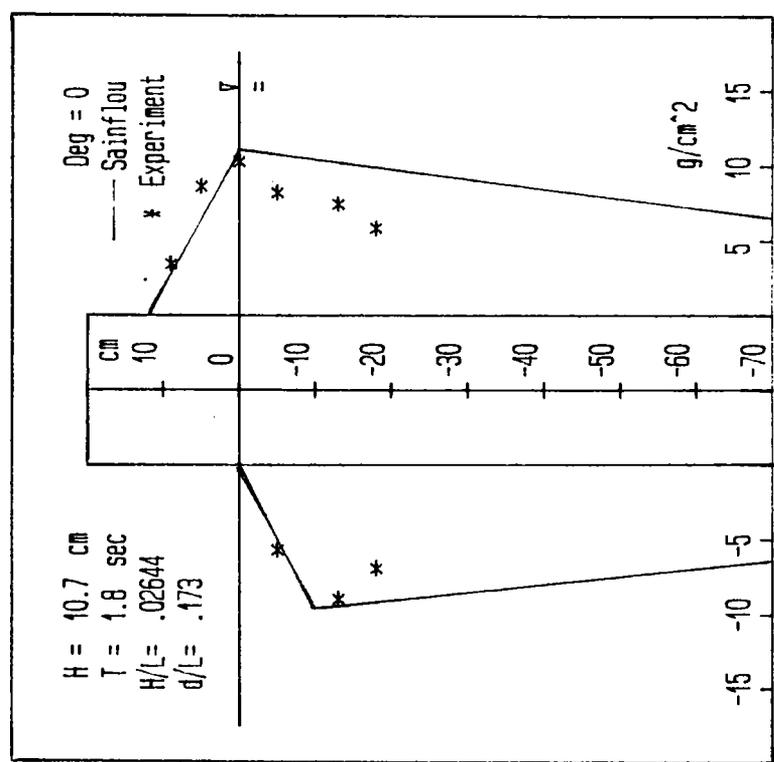


(a)

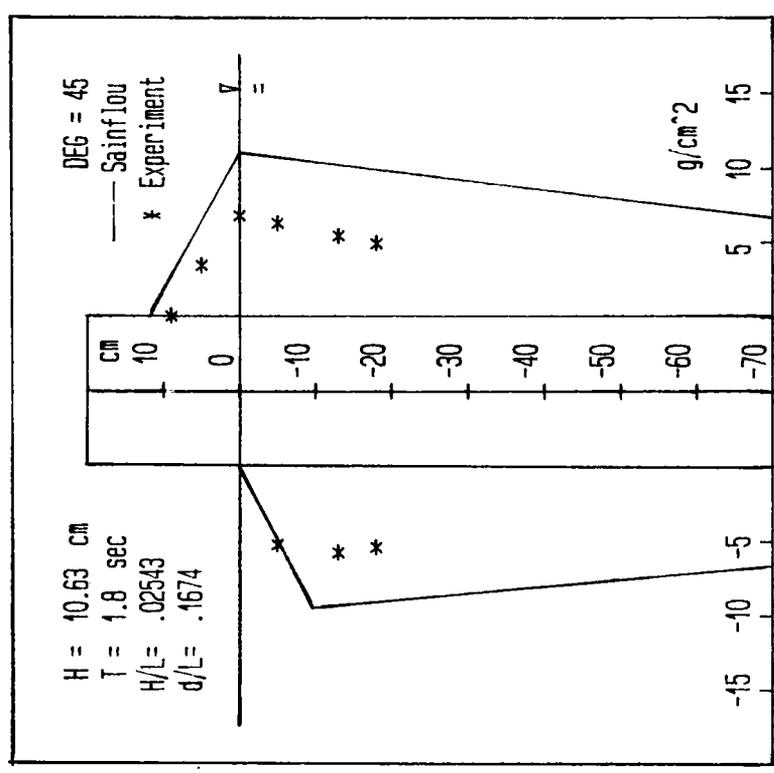


(b)

圖 4-21-1 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 (d/L=0.174)

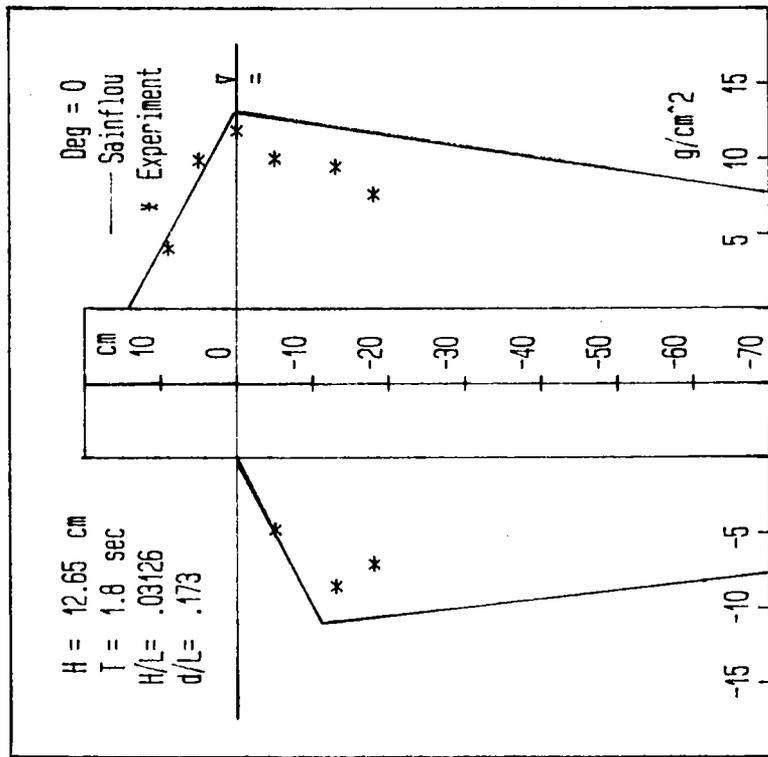


(a)

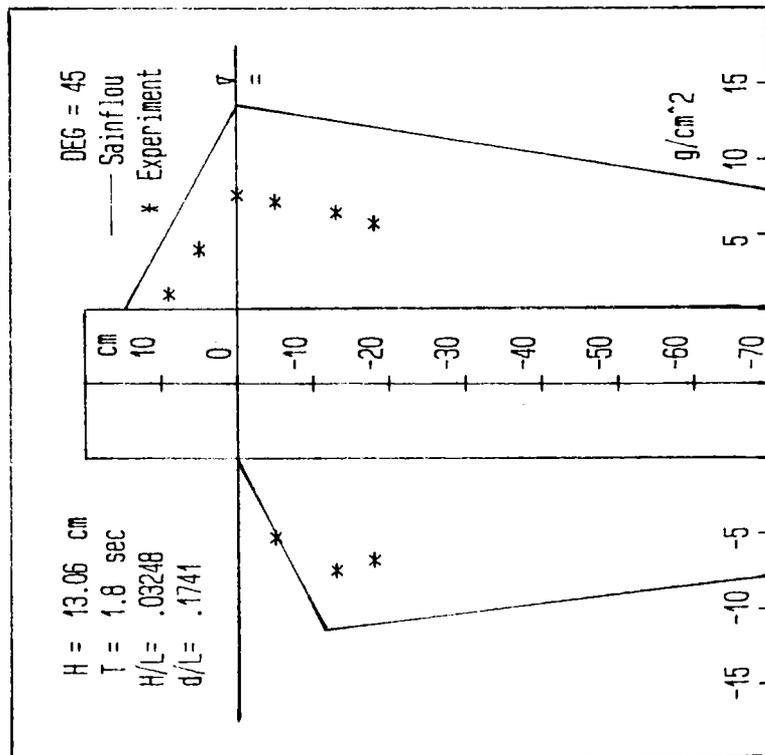


(b)

圖 4-21-2 堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 (d/L=0.174)



(a)



(b)

圖 4-21-3 堤頭處短峰波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式比較圖 ($d/L=0.174$)

§ 4-2 有限長防波堤水面橫向垂直最大波壓力分佈

圖 4-22 ~ 圖 4-27 分別為有限長防波堤在不同相對水深,受各種不同波浪條件作用在水面處自堤頭沿防波堤橫向之最大波壓分佈,橫座標為 $S=X/L\cos\theta$, X 為距堤頭水面橫向之距離, L 為入射波浪之波長, θ 為波浪入射角度,縱座標為 $P_{\max}/\omega H$,此處 P_{\max} 為在沿有限長防波堤水面處所量得之最大垂直波壓, ω 為水之單位重, H 為入射波高,圖(a)中部份為波浪正向入射,即 $\theta = 0^\circ$ 時之試驗結果,圖(b)中部份則為波浪斜向入射,即 $\theta = 45^\circ$ 之結果。

圖 4-22 為相對水深 $d/L=0.7$ 屬深水波浪試驗結果,圖形顯示,當波浪正向入射時,無因次 $P_{\max}/\omega H$ 比值除波浪尖銳度 $H/L=0.05$ 在自堤頭開始一半波長處,產生高達比值為 2 外,試驗結果顯示水面處最大垂直波壓自堤頭處橫向分佈並無顯著差異。尤其當深水區波浪採斜向入射 $\theta = 45^\circ$ 時,試驗結果顯示,沿著有限長防波堤在水面處所產生之最大垂直波壓並無明顯變化。

圖 4-23 為相對水深 $d/L=0.45$ 屬中間性水深,圖(a)中為波浪入射角度 $\theta = 0^\circ$ 試驗結果,圖形顯示在距堤頭 $S=0.45 L$ 處水面無因次垂直波壓值最小,然後隨著距堤頭位置而加大至 $S=0.84 L$ 而趨於穩定,(b)圖則為入射角度 $\theta = 45^\circ$ 試驗結果,圖形顯示水面處垂直最大波壓力以堤頭處為最小,當距堤頭約 $S=0.5 L/\cos\theta$ 處,則趨於穩定。

圖 4-24 為相對水深 $d/L=0.32$ 屬中間性水深,試驗結果顯示當波浪正向入射時,水面處無因次 $P_{\max}/\omega H$ 垂直最大波壓以 $S=0$ 即堤頭處以及 $S=0.9 L/\cos\theta$ 處值為最小,而在 $S=0.3 L/\cos\theta$ 處其無因次比值為最大且隨著入射波浪尖銳度比值之增加而減小,如圖(a)中所示,而約在 $S=1.0 L/\cos\theta$ 則趨於穩定,然當波浪斜向入射即 $\theta = 45^\circ$ 時,仍以堤頭處水面垂直最大波壓無因次比值為最小且試驗結果顯示在堤頭處其比值與入射波浪

尖銳度並無顯著差異,在 $S=0.8 L/\cos\theta$ 處值達最大,而波浪尖銳度比值愈小,其無因次 $P_{\max}/\omega H$ 值愈大,且在此處除當 H/L 為 0.015,該比值隨著距堤頭位置增加而減小外,試驗結果顯示其水面處無因次最大波壓比值已趨於穩定如圖(b)所示。

圖 4-25 為相對水深 $d/L=0.25$ 屬中間性水深試驗結果,圖形顯示,當波浪正向入射時,無因次 $P_{\max}/\omega H$ 比值與距堤頭位置 S 之關係成正弦曲線變化,以 $S=0.25 L/\cos\theta$ 處比值最大以 $S=0.75 L/\cos\theta$ 比值最小,波浪尖銳度比值較大者,其水面處最大垂直波壓比值較小,如圖(a)所示。

而當波浪斜向入射時,其兩者間變化曲線趨勢與相對水深比值 d/L 為 0.32 時結果相同惟最大值發生在 $S=1.0 L/\cos\theta$ 處。

圖 4-26、圖 4-27 為相對水深 d/L 為 0.2 與 0.17屬中間性水深時試驗結果,圖形顯示,無因次最大垂直波壓力比值與距堤頭位置 S 之變化關係與相對水深 d/L 為 0.25 時相似,惟隨試驗波長之增加其變化趨於平緩,當波浪正向入射時,最大值與最小值分別發生於 $S=0.375 L/\cos\theta$ 與 $0.75 L/\cos\theta$,當波浪斜向入射時,在 $S=0.8 L/\cos\theta$ 以後則趨於穩定,而要在堤頭處水面最大波壓無因次比值為最小。

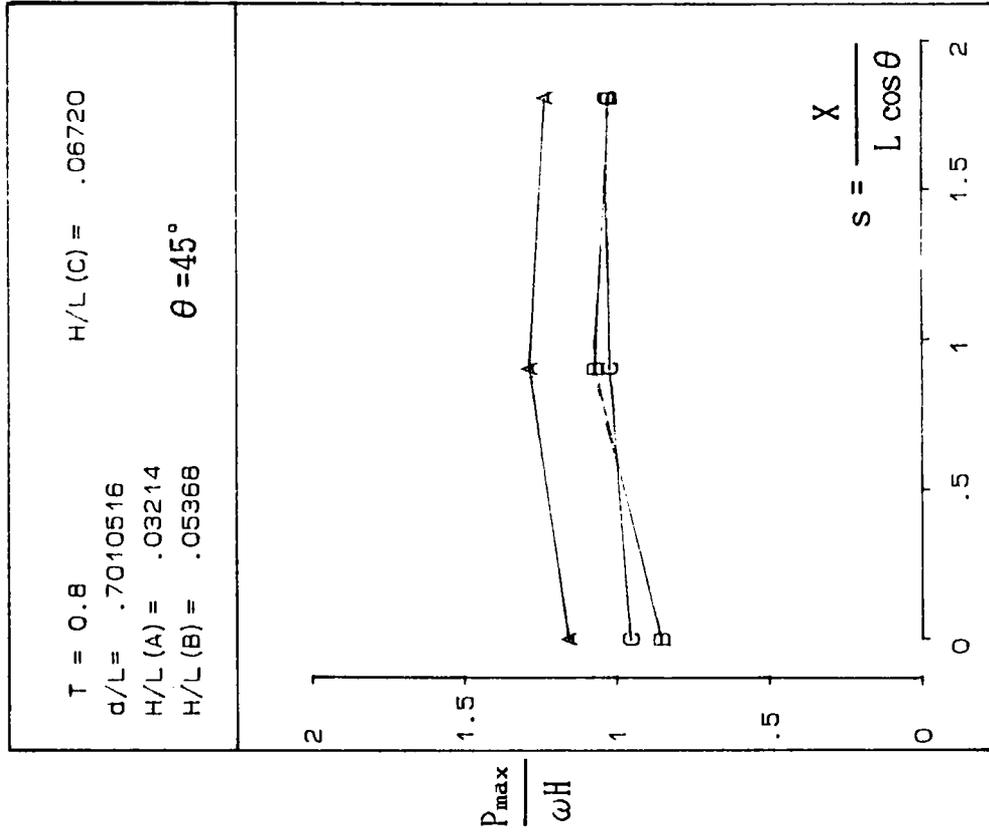
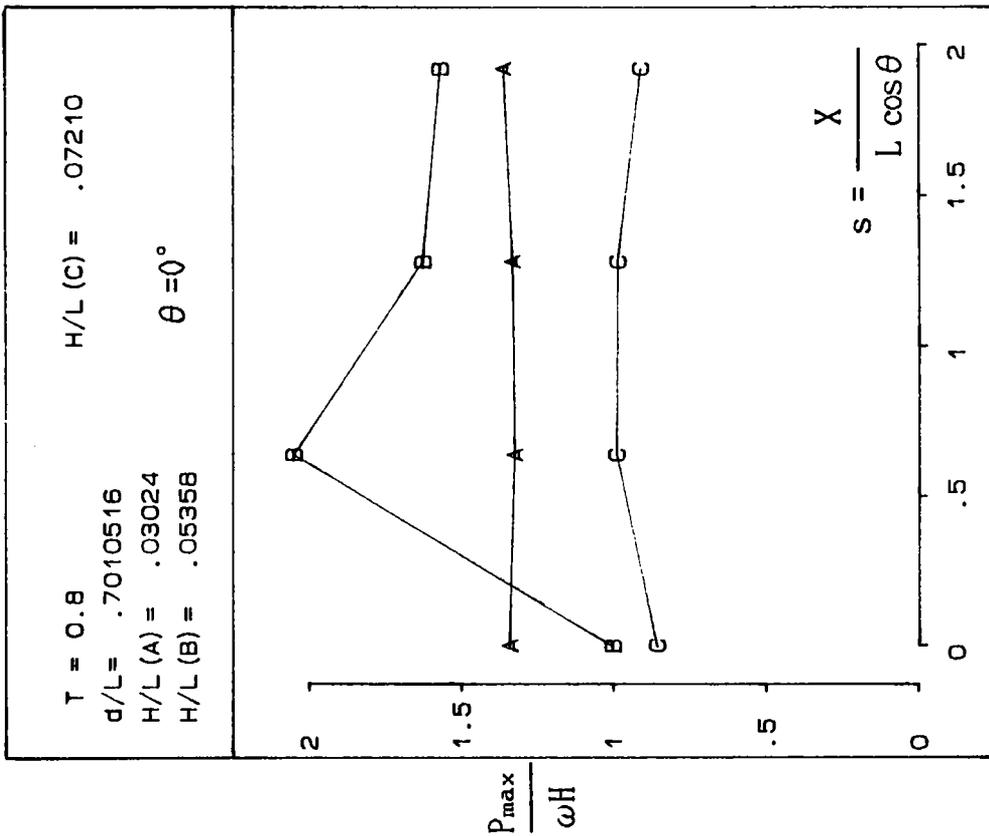


圖 4-22 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{max}/\omega H$ 與 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.701$)

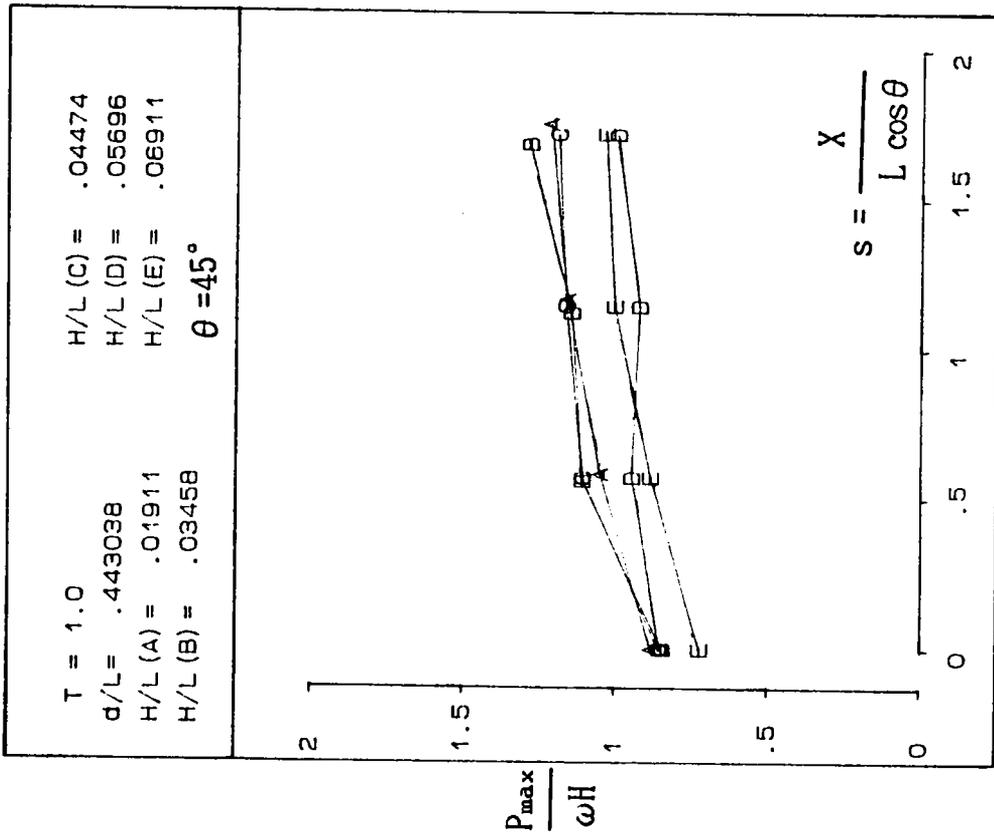
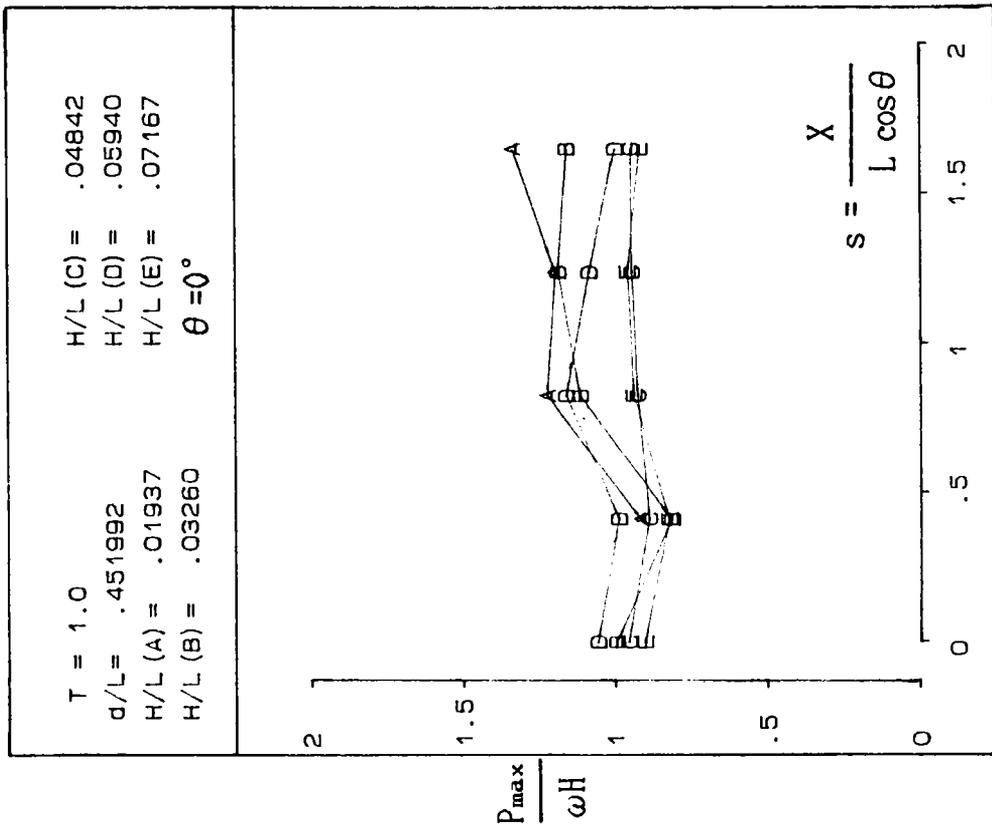


圖 4-23 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{max}/\omega H$ 與 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.443$)

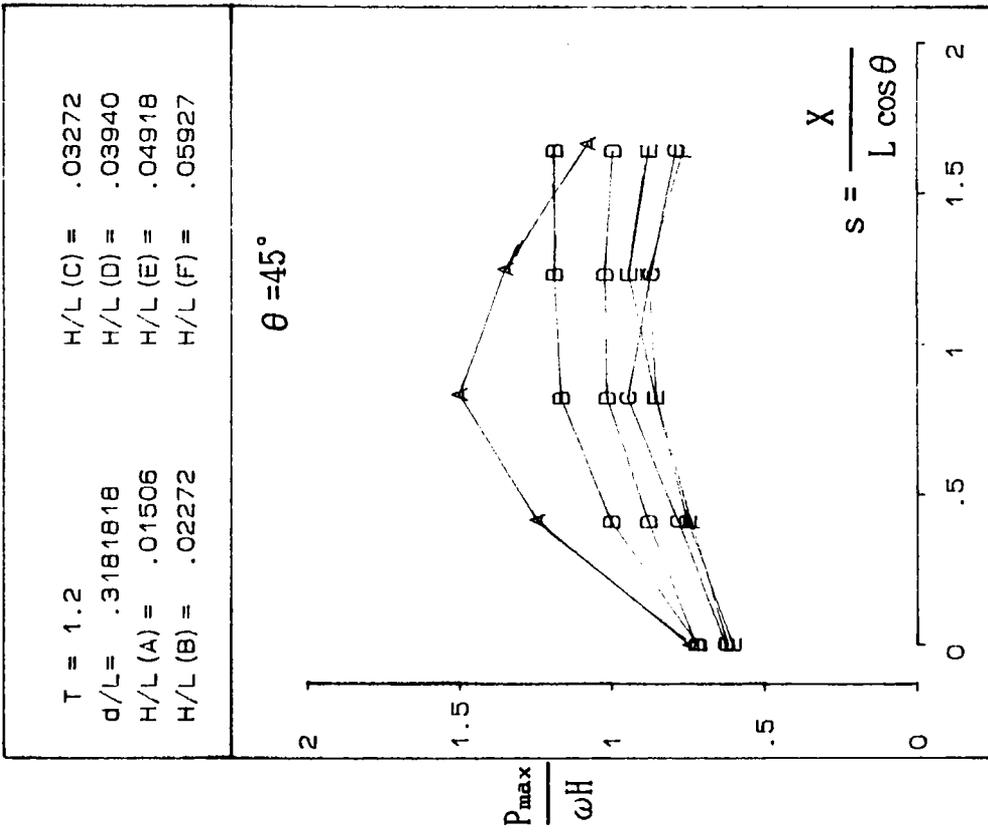
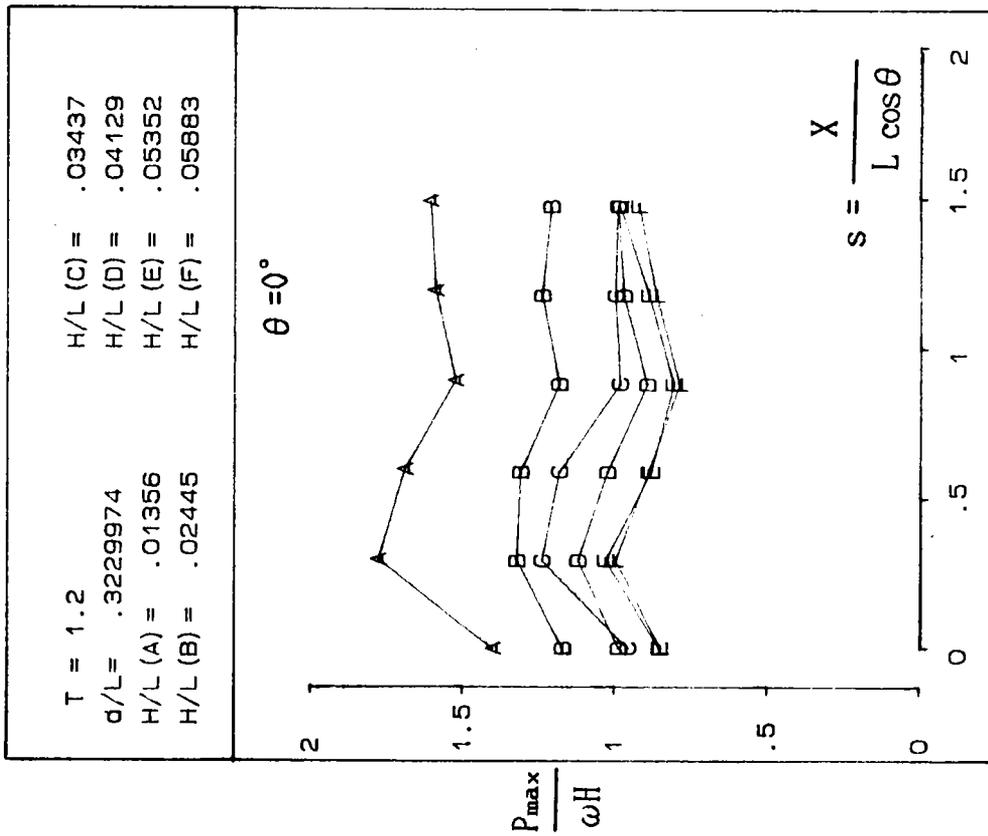


圖 4-24 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{max} / \omega H$ 與

$X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.320$)

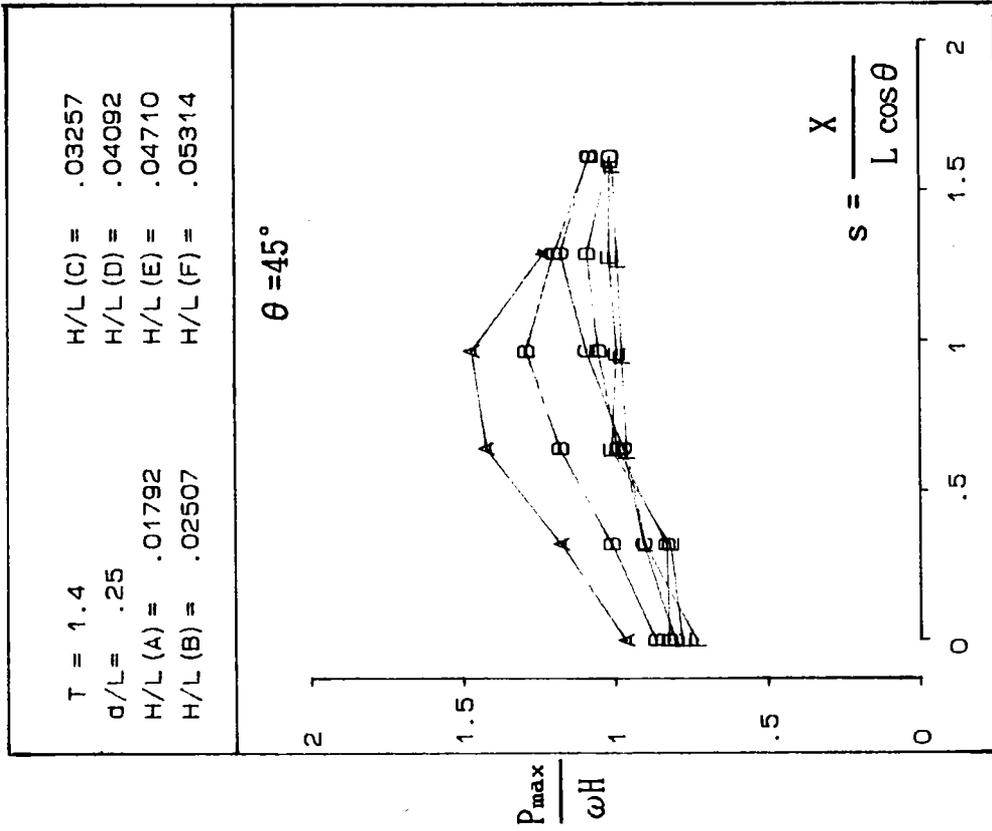
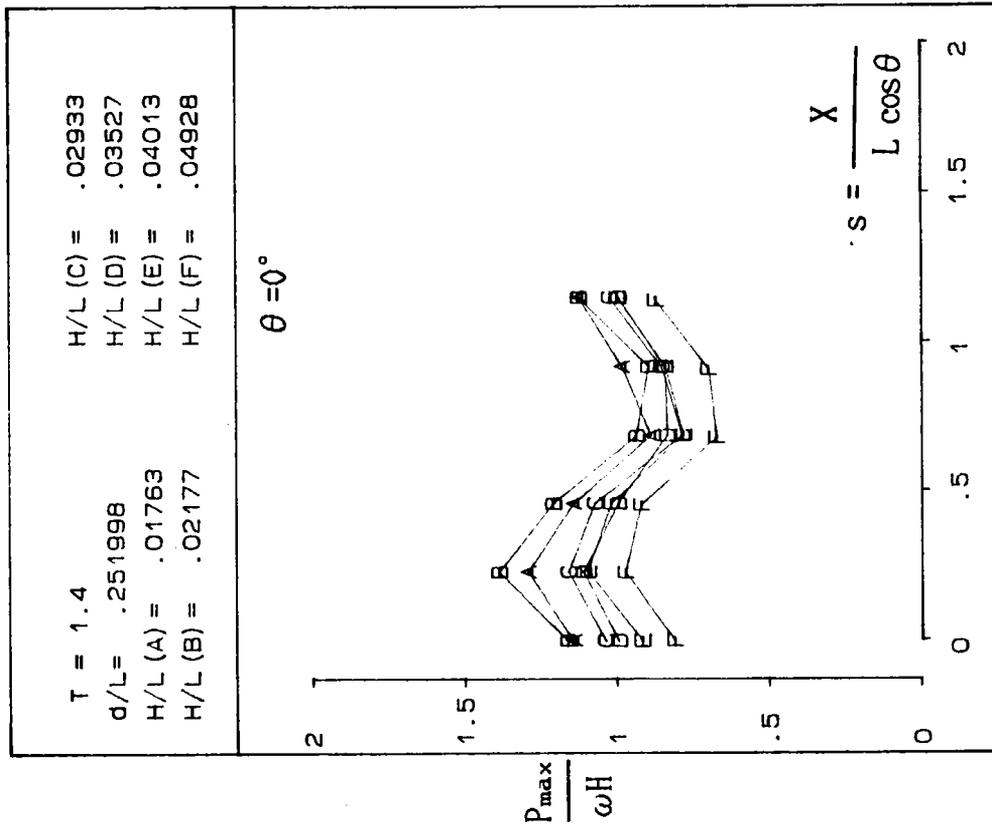


圖 4-25 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{max}/\omega H$ 與

$X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.245$)

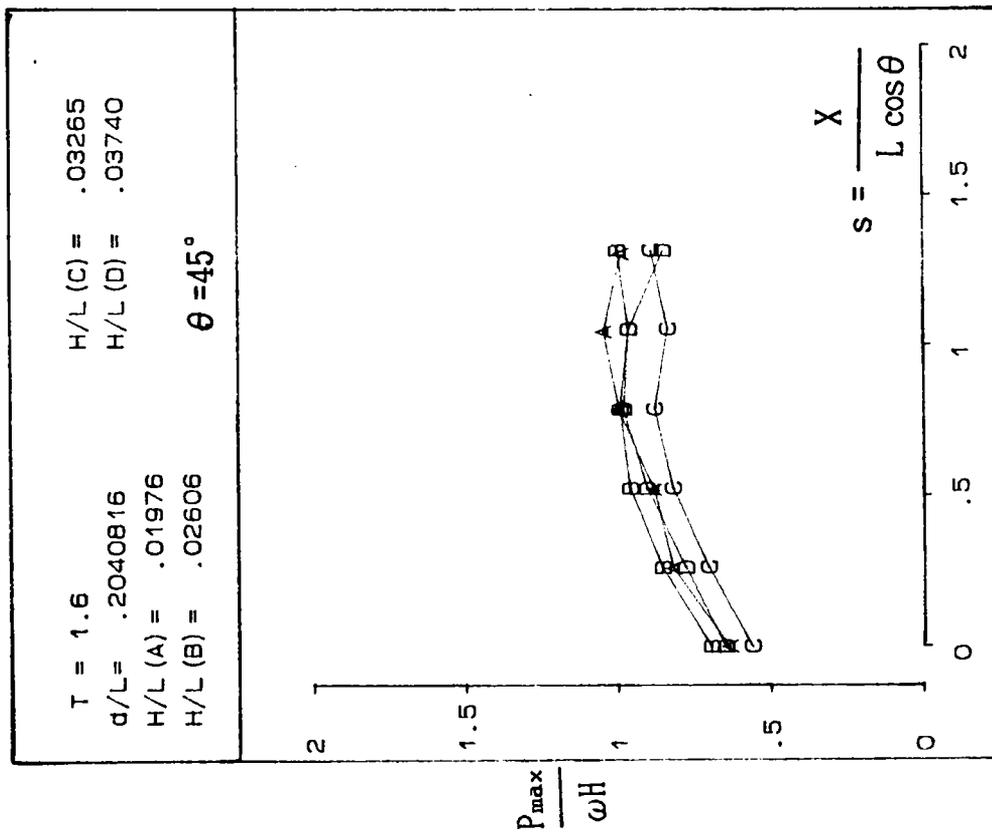
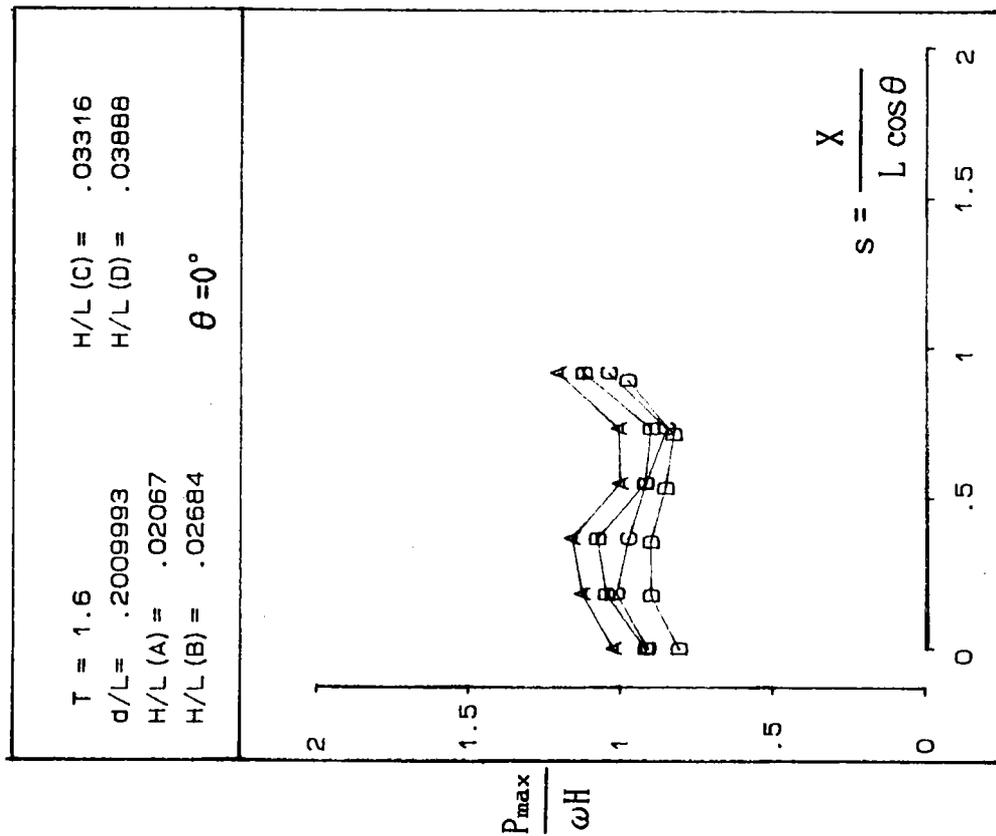


圖 4-26 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{max}/\omega H$ 與 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.204$)

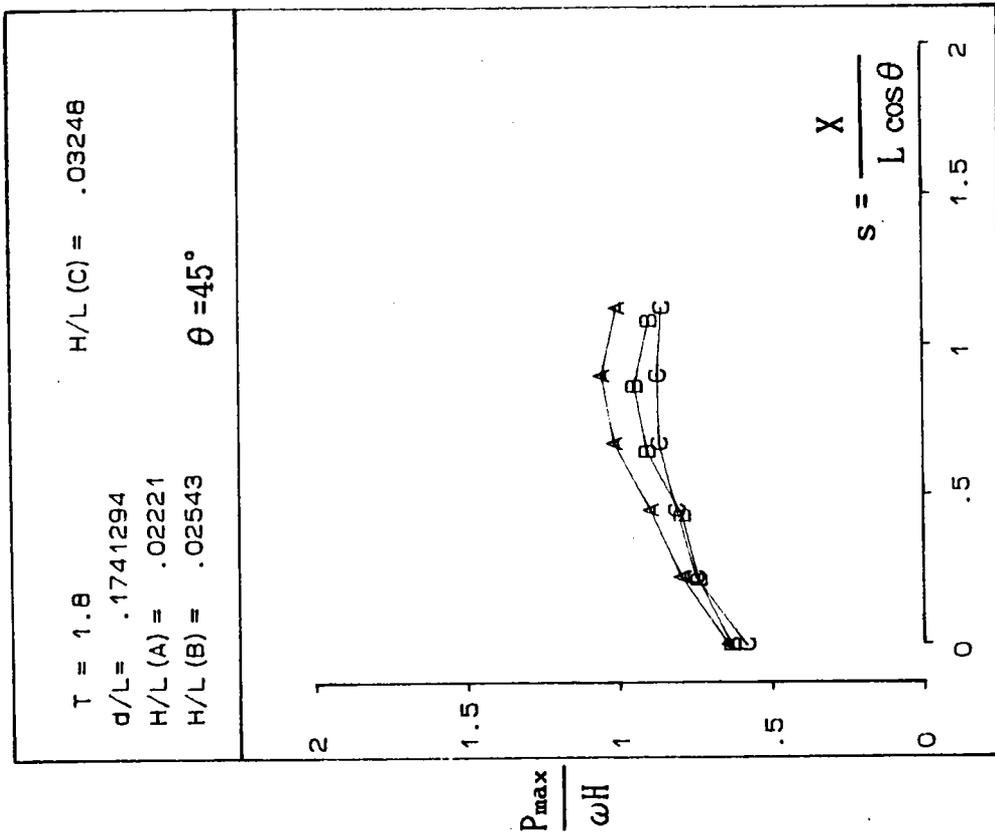
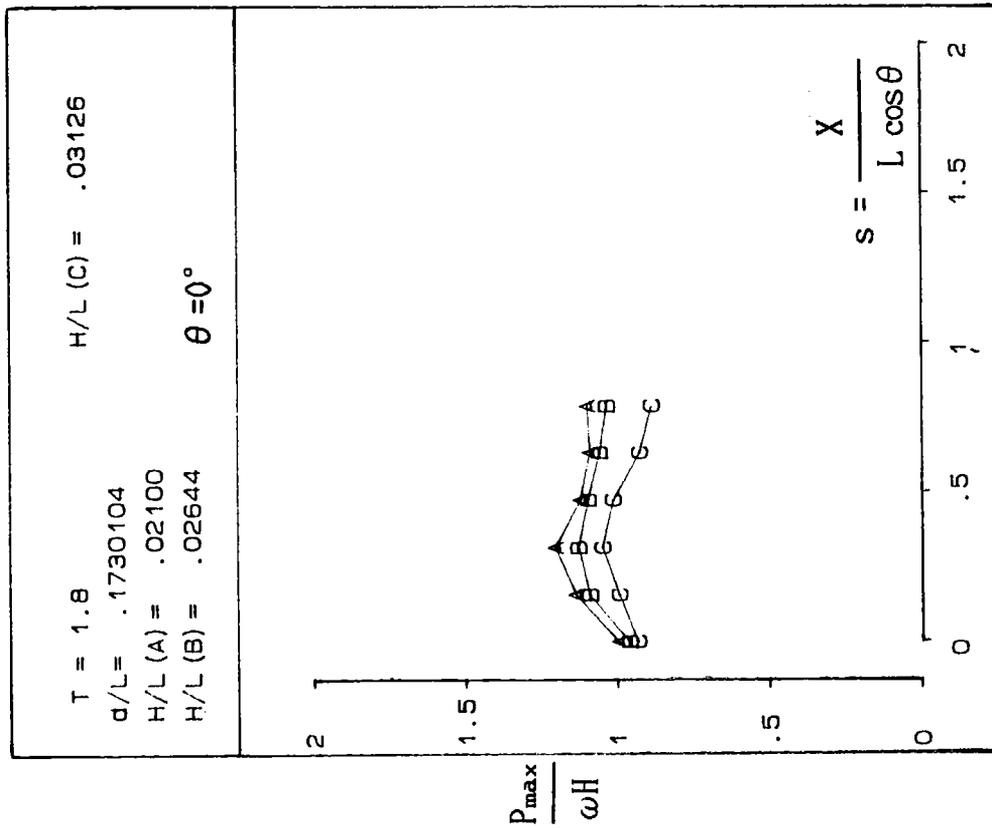


圖 4-27 有限長防波堤橫向波壓力 $P_{\max}/\omega H$ 與 $X/L \cos \theta$ 關係圖 ($d/L=0.174$)

第五章 結論及建議

綜合本次試驗結果，可獲致以下數點結論與建議

一. 結 論

- <一>有限長防波堤直立壁堤頭波壓力垂直分佈，當波浪正向入射即 $\theta = 0^\circ$ 時，試驗結果顯示，對各種不同相對水深而言波浪在波峰時，其波壓力分佈均隨波高之增加而加大，以水面處之波壓力值為最大；波浪在波谷時，其波壓力分佈大致而言亦隨波高加大而增加，惟對相對水深值為 0.450、0.701 較近於深水波時，以波浪尖銳度 H/L 值接近 0.05 ~ 0.06 時，將產大最大垂直波壓力，尤有甚者各種不同相對水深 d/L 值當波浪尖銳度 H/L 值介於 0.04 ~ 0.06，波谷時最大垂直波壓力有較波峰者為大之趨勢。
- <二>有限長防波堤直立壁堤頭波壓力垂直分佈，當波浪斜向入射即 $\theta = 45^\circ$ 時，試驗結果顯示，斷面垂直波壓力分佈亦隨波高之增加而加大，且斜向波浪入射在堤頭所產生垂直波壓力分佈均較波浪正向入射時為小，惟相同波浪狀況波谷所產生之最大垂直波壓力值均較波峰時為小，大致而言，當波浪斜向入射即 $\theta = 45^\circ$ 時，其所產生之最大垂直波壓力平均較波浪正向入射時所產生者平均減少 22%。
- <三>有限長防波堤堤頭最大波壓與波浪入射角度關係，試驗結果顯示，於相同波浪條件，斜向入射波浪 ($\theta = 45^\circ$) 在堤頭垂直斷面處所產生之最大波壓與正向入射波浪 ($\theta = 0^\circ$) 所產生最大波壓比值和入射波浪尖銳度並無顯著相關性，兩者間關係可用下式表之

$$P'_{\max} = P_{\max} \cdot \cos \beta$$

式中 P'_{\max} , P_{\max} 分別為波浪斜向入射與正向入射時在堤頭處所產生

之最大波壓， β 為構造物垂線與波向線間修正後之角度，此處 $\beta = \theta - 5^\circ$ ， θ 為波浪入射角度。

<四>當波浪入射方向與波浪條件均相同，作用有限長防波堤堤頭處所產生之最大垂直波壓與作用在無限長防波堤所產生者間關係，試驗結果顯示

(1) 當 $\theta = 0^\circ$ 時，兩者比值與入射波浪尖銳度無關，可表示為

$$(P_{\max})_{\text{有}} = k \cdot (P_{\max})_{\text{無}}$$

此處 k 為修正係數，當波浪正向入射時， $k=0.862$

(2) 當 $\theta = 45^\circ$ ，兩者比值隨入射波浪尖銳度值增加而加大，可表示為

$$(P_{\max})_{\text{有}} = [0.54 + 3.58(H/L)](P_{\max})_{\text{無}}$$

而其最大包絡線(envelope)可表示為

$$(P_{\max})_{\text{有}} = [0.64 + 3.58(H/L)](P_{\max})_{\text{無}}$$

<五>有限長防波堤堤頭處短峰波波壓試驗值與 Sainflou 波壓公式之比較，試驗結果，當波浪屬深水區情況， $\theta = 0^\circ$ 即正向入射時，垂直斷面試驗最大波壓值與 Sainflou 公式最大波壓值尚稱吻合，惟隨入射波高之加大，整個垂直斷面波壓力分佈與理論值之差異則明顯變化，尤有甚者，當波浪尖銳度 H/L 值為 0.05，波谷時所產生之最大波壓反較 Sainflou 公式值為大，而當波浪斜向入射，即 $\theta = 45^\circ$ 時，大體而言，在堤頭處垂直波壓力分佈顯較理論值為小，惟其差距則隨波高之增大而加大；而入射波浪條件屬中間性水深，試驗結果顯示，當波浪正向入射，為波峰情況時，水面上之波壓分佈，試驗值較理論值為大，而水面下垂直波壓分佈則顯較理論值為小，且隨波高之加大差距

變大，當波浪為波谷情況，垂直斷面最大波壓顯較理論值為大，尤其在 H/L 為 0.06 時，惟當波浪斜向入射即 $\theta = 45^\circ$ 時，試驗值均較理論值為小。

<六>有限長防波堤水面處橫向垂直最大波壓力分佈，試驗結果顯示，當波浪屬深水區情況時，無論波浪係正向或斜向入射，在沿有限長防波堤水面處所得最大垂直波壓無因次比值 $P_{\max}/\omega H$ ，自堤頭處橫向分佈並無顯著差異，惟當波浪屬中間性水深情況時，試驗結果顯示，當波浪為正向入射時，兩者間關係呈類似正弦曲線變化，且波浪週期愈長，即相對水深值愈小時，愈趨明顯，大致而言，在距堤頭 $S=0.3\sim 0.4 L$ 處以及 $S=0.7\sim 0.8 L$ 處產生最大與最小無因次比值 $P_{\max}/\omega H$ ；而當波浪斜向入射即 $\theta = 45^\circ$ 時，試驗結果顯示，水面處垂直最大波壓力無因次比值以堤頭處為最小，且其比值與入射波浪尖銳度並無明顯差異，爾後在 $S=0.8\sim 1.0 L/\cos\theta$ 處後即趨於穩定。

二.建議

<一>本研究僅探討入射角度 θ 為 45° 時之短峰波系統作用在有限長防波堤岸壁所產生之波壓力分佈，建議應繼續探討其他入射角度所形成之短峰波系統。

<二>本試驗係採用規則波進行，建議進一步採用紛紜波以進行研究，俾比較其間差異性。

參 考 資 料

1. 林銘崇、莊明輝(1986) "短峰波基本特性及其波壓數值解析", 台大造船所 NO.239。
2. 黃清和(1988) "短峰波波壓特性試驗研究(一) --- 作用無限長防波堤直立壁", 國科會專題研究報告 (NSC 76-0410-E124-01)