

高雄港大林商港區及其外側海域開發計畫規劃
——海堤斷面穩定水工模型試驗

邱永芳 廖慶堂 何良勝

委託單位：中華顧問工程司

執行單位：港灣技術研究所

中華民國八十八年六月

高雄港大林商港區及其外側海域開發計畫規劃

— 海堤斷面穩定水工模型試驗

計畫主持人 邱永芳 組長

共同主持人 廖慶堂 助理研究員

何良勝 研究員

協同主持人 徐如娟 助理

參與人員 楊怡芸

李江澤

何炳紹

陳進冰

蔡瑞成

目 錄

圖目錄	I
壹、 前言	1
貳、 實驗過程	2
2-1 實驗設備	2
2-2 實驗佈置	3
2-3 試驗條件	9
2-4 資料擷取與處理	9
參、 試驗結果與分析	17
3-1 堤前地形沖淤和堤腳穩定	17
3-2 堤面波壓力	25
3-3 上揚力	39
3-4 反射率	40
3-5 沉箱振動與位移	42
3-6 堤前波速	45
3-7 越波量	53
肆、 結論	64

圖 目 錄

- 圖 1 佈置 A 波壓力及上揚力佈置示意圖
- 圖 2 佈置 B 波壓力及上揚力佈置示意圖
- 圖 3 佈置 C 波壓力及上揚力佈置示意圖
- 圖 4 試驗佈置示意圖
- 圖 5 反射率量測示意圖
- 圖 6 佈置 A 堤前地形沖淤變化比較圖
- 圖 7 佈置 A 堤前地形沖淤變化比較圖(續)
- 圖 8 佈置 B 堤前地形沖淤變化比較圖
- 圖 9 佈置 B 堤前地形沖淤變化比較圖(續)
- 圖 10 佈置 C 堤前地形沖淤變化比較圖
- 圖 11 佈置 C 堤前地形沖淤變化比較圖(續)
- 圖 12 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 13 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 14 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 15 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 16 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 17 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 18 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 19 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 20 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

- 圖 21 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 22 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 23 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖
- 圖 24(a) 颱風條件下各佈置反射率比較圖
- 圖 24(b) 季節風條件下各佈置反射率比較圖
- 圖 25 傳統胸牆沉箱位移頻譜圖(颱風條件)
- 圖 26 反置胸牆沉箱位移頻譜圖(颱風條件)
- 圖 27 反置胸牆沉箱加速度頻譜圖(颱風條件)
- 圖 28 速度頻譜圖
- 圖 29 速度頻譜圖
- 圖 30 速度頻譜圖
- 圖 31 速度頻譜圖
- 圖 32 速度頻譜圖
- 圖 33(a) 颱風條件各種佈置頻譜能量比較圖
- 圖 33(b) 颱風條件各種佈置主頻能量比較圖
- 圖 34 颱風條件各佈置最大及最小波速比較圖
- 圖 35(a) 季節風條件下各種佈置頻譜能量比較圖
- 圖 35(b) 季節風條件下各種佈置主頻能量比較圖
- 圖 36 季節風條件各佈置最大及最小波速比較圖
- 圖 37 越波量累積歷程圖
- 圖 38 越波量累積歷程圖
- 圖 39 越波量累積歷程圖

- 圖 40 各佈置每單位寬度平均越波量比較圖
- 圖 41 越波量累積歷程圖
- 圖 42 越波量累積歷程圖
- 圖 43 越波量累積歷程圖
- 圖 44 越波量累積歷程圖
- 圖 45 越波量累積歷程圖
- 圖 46 越波量累積歷程圖
- 圖 47 越波量累積歷程圖
- 圖 48 越波量累積歷程圖
- 圖 49 越波量累積歷程圖
- 圖 50 越波量累積歷程圖
- 圖 51 越波量累積歷程圖
- 圖 52 越波量累積歷程圖
- 圖 53 越波量累積歷程圖
- 圖 54 越波量累積歷程圖
- 圖 55 胸牆高度與越波量關係圖

壹、前言

大林商港區開發主要在高雄港第二港口南側圍堤造陸，提供高雄港外港區的工業用地，而其規模除須滿足舊有港區石化業遷移之基本需求外，尚須考量廠商擴廠及引進產業之需，及預留未來開發之空間。因此大規模的較深區域的圍堤即為本計畫之主要工作項目，故構築時需有一段較長的工期，同時開發須以圍堤為先而後再造陸。

基於此，中華顧問工程司為確保整個開發過程中結構物之安全與效用，乃委託本所以水工模型試驗方式來探討結構物由防波堤至海堤演變過程的安全性，故本試驗主要試驗項目包括沉箱堤的波壓力、上揚力、沉箱振動與位移、堤腳穩定性、堤前地形變化、越波量、結構物的消能效果即反射率等。同時中華顧問工程司亦考慮沉箱堤的景觀與利用問題而提出階梯狀消波胸牆型式的反置胸牆來增加其親水性。本研究針對試驗項目與目的分別對試驗過程與試驗結果詳述如后。

貳、實驗過程

本試驗於港灣技術研究所風洞水槽執行，實驗設備、條件與過程詳述如下各節。

2-1 實驗設備

1. 試驗水槽

本試驗水槽為斷面二維造波水槽，水槽長 100 公尺，寬 1.5 公尺，深 2 公尺，本水槽共有二處玻璃觀測段，本試驗於第二玻璃觀測段從事試驗。

2. 造波機

造波機為丹麥水力中心(DHI) 製造的規則波與不規則波造波機，本造波機具有造波板吸收反射波之功能，同時，在不規則造波時可依標準波譜型態(如 JONSWAP 波譜，Breschneider 波譜)或自製波譜造波。

3. 容量式波高計

量取波動之水位變化係以電容變化並經放大器將測取之電壓訊號放大同時輸入個人電腦儲存記錄。

4. 流速計

流速計為三軸向杜普勒超音波流速計，其解析度可達 0.1mm/sec。

5. 微振動儀

微振動儀為日本東京測振製造，其量測範圍 10 gal 至 1000 gal，本儀器共可同時量測 8 個頻道，亦即同時擷取 8 個測點的物理量，量測物理量包括位移、速度和加速度。

6. 越波量測儀

越波量測設備主要由量筒和荷重計組成，在整個量測過程可隨時間做全程量測的記錄，量測記錄直接輸入電腦儲存。

7. 高精度水準儀

水準儀用來量底床變動，水準儀具有高亮度與穩定性。

8. 波壓計

波壓計為高反應之應力應變式量測儀，其最大量測壓力為 $100\text{g}/\text{cm}^2$ ，此波壓計為日本 SSK 公司製造。

2-2 實驗佈置

探討結構物前地形變化為本試驗之主要目的之一，因此本試驗採用半動床試驗，即在結構物前採 15 公尺長之動床其餘採定床。由動床部份探討沉箱前受波浪作用後底床受沖淤狀態，而定床部份主要以控制入射波浪不受地形變化形成入射波浪變形之影響。

為量取沉箱結構物所受波浪作用力在海側共裝設 9 個波壓計，在沉箱水面上每公尺裝一個波壓計至 +7m 位置水下每三公尺裝設一個波壓計，如圖一示。而在反置胸牆部份，每一階上皆裝設一波壓計。至於量測上揚力部份在沉箱底下設計一抽取式的壓力條軌，以等距方式裝設三個波壓力，壓力承受面向下量取作用在沉箱基座上

的向上力，各個佈置如圖二至圖三。

堤趾沖刷與堤腳破壞亦為結構物安全重要的一環，本試驗依堤腳消波方塊的設計來佈置，堤腳係以協克塊一層整拋方式排列，整區消波塊排列後，以顏色來區分其拋置位置，本試驗將整個堤腳消波塊分成三個顏色來區分，同時為了解波浪入射及受沉箱反射後之波浪在交會處之流速場，因此在沉箱前 1.2 公尺處設置一台三軸向的超音波流速計量測底床上 5 公分處之流速，經由流速的量測來判斷各種不同結構物前的流速特性。針對結構物整體對波浪的消能特性及反射特性，故在沉箱前 2.1 公尺處以不等距的方式按排 4 支容量式波高計量取同一時段的水位變化訊號，借由 4 支不同間距之波高訊號選用其中三個波高計訊號來計算反射率。

為了解沉箱設計的安全性，對於受波浪作用而引起的振動和變位即相當重要，為此在沉箱上方設置三方向量測微小振動之加速度和變位的微振動儀，同時在沉箱海側壁上亦按裝波高計 1 支量測堤前水位。而在沉箱岸側設置一個承水器並聯接荷重計量測經由沉箱頂部接水器而流至承水器之越波量。承水器為怕受水槽內水位之浮力影響，而造成的量測越波水量的誤差，故需再設置一個隔離水井，使承水器不會受水浮力之影響。

經由以上說明可獲知，本試驗在整個佈置上除沉箱型式不同外，同時量測許多物理量及必需觀測突然的結構物變位(堤腳消波塊體的變位)，故在整個試驗過程亦借助錄影設備做監視，整個佈置示意圖如圖四所示。

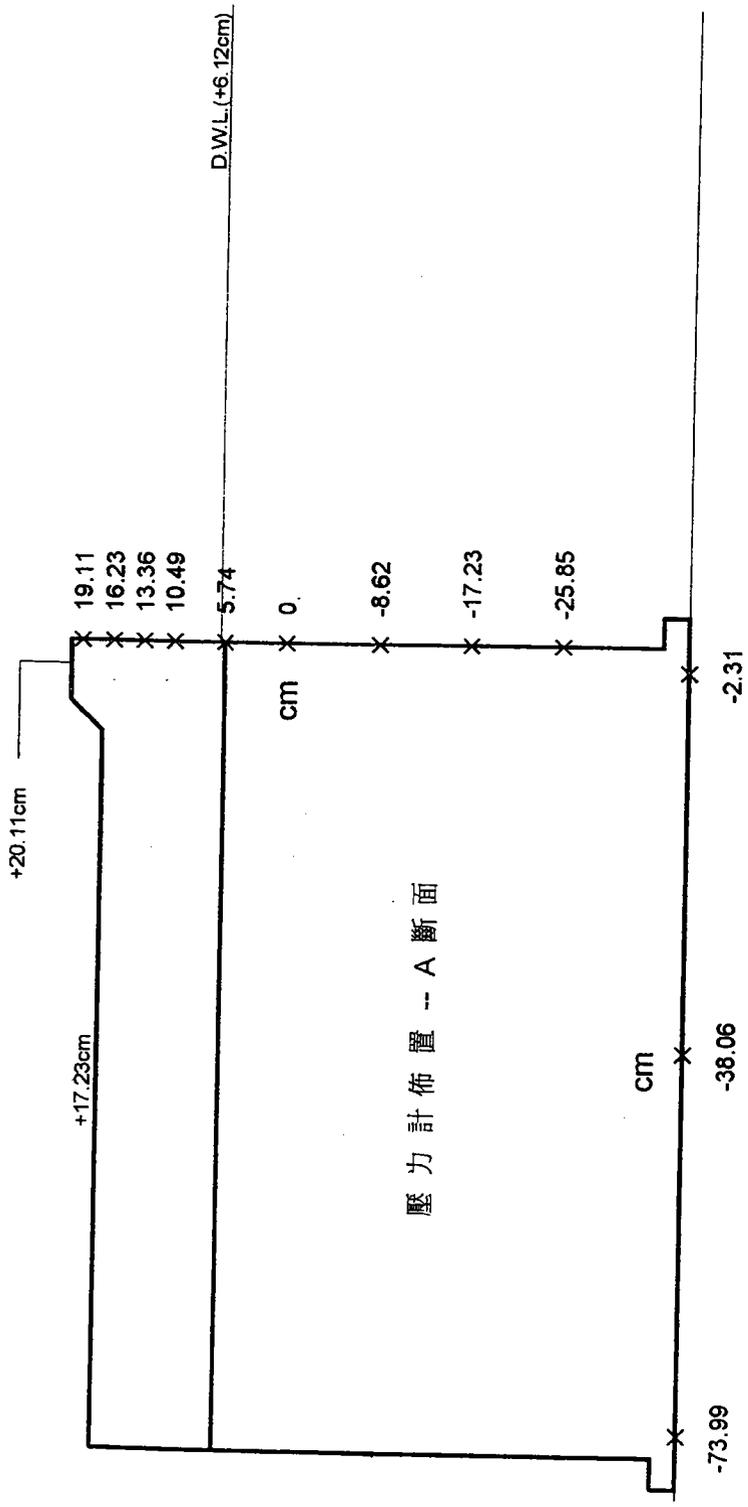


圖 1 佈置 A 波壓力及上揚力佈置示意圖

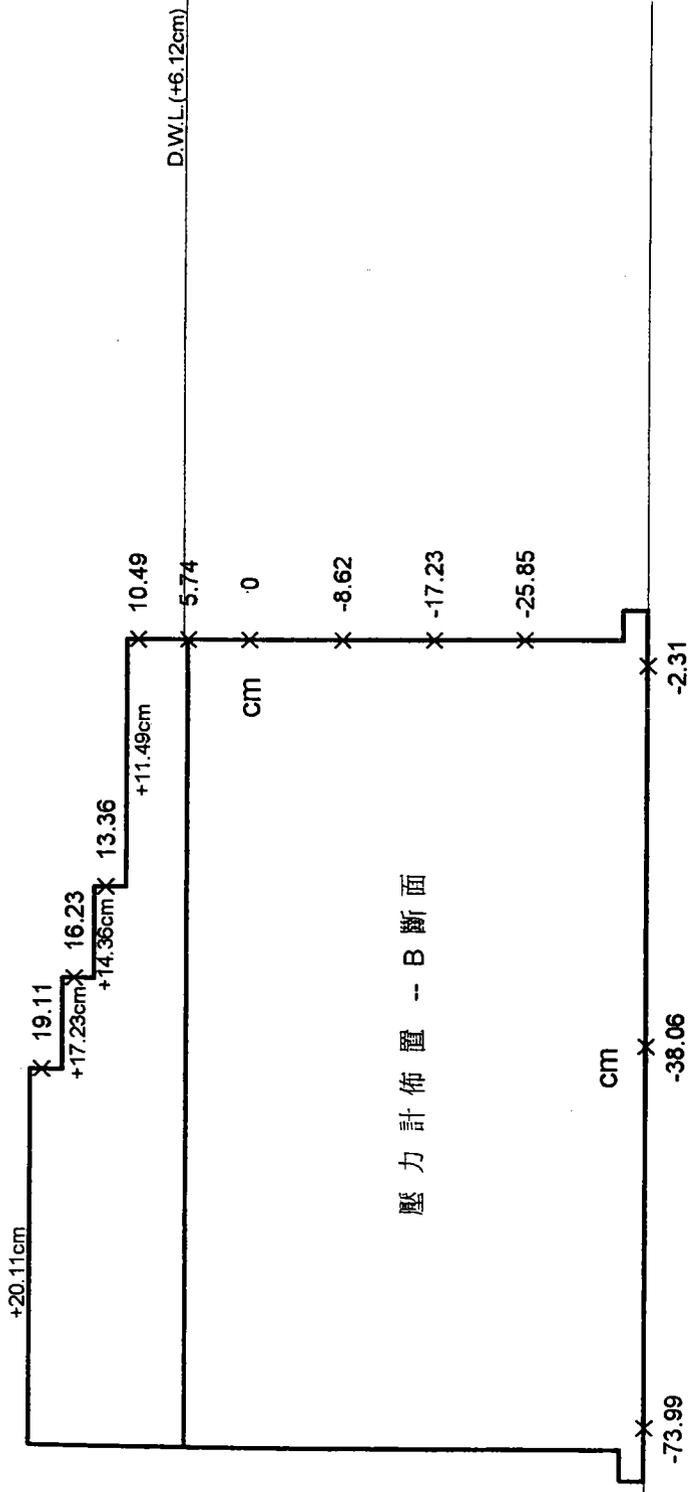


圖 2 佈置 B 波壓力及上揚力佈置示意圖

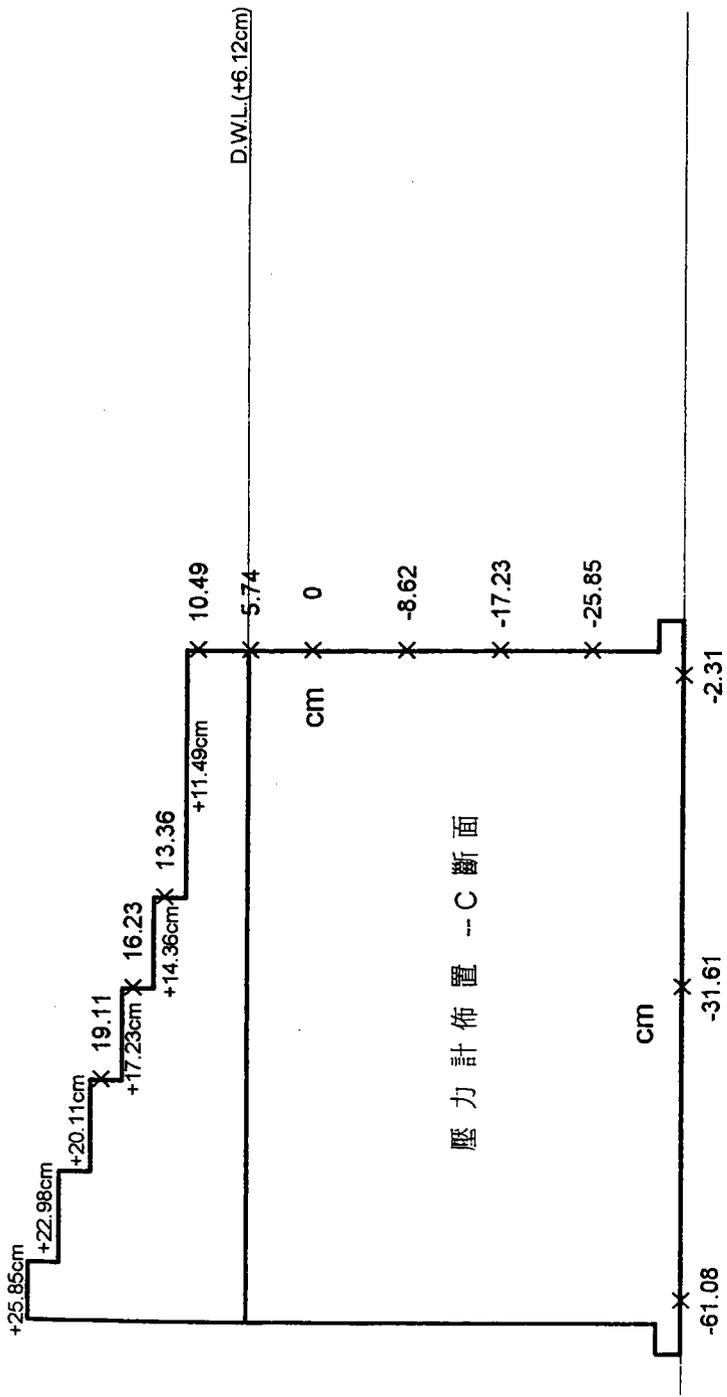


圖 3 佈置 C 波壓力及上揚力佈置示意圖

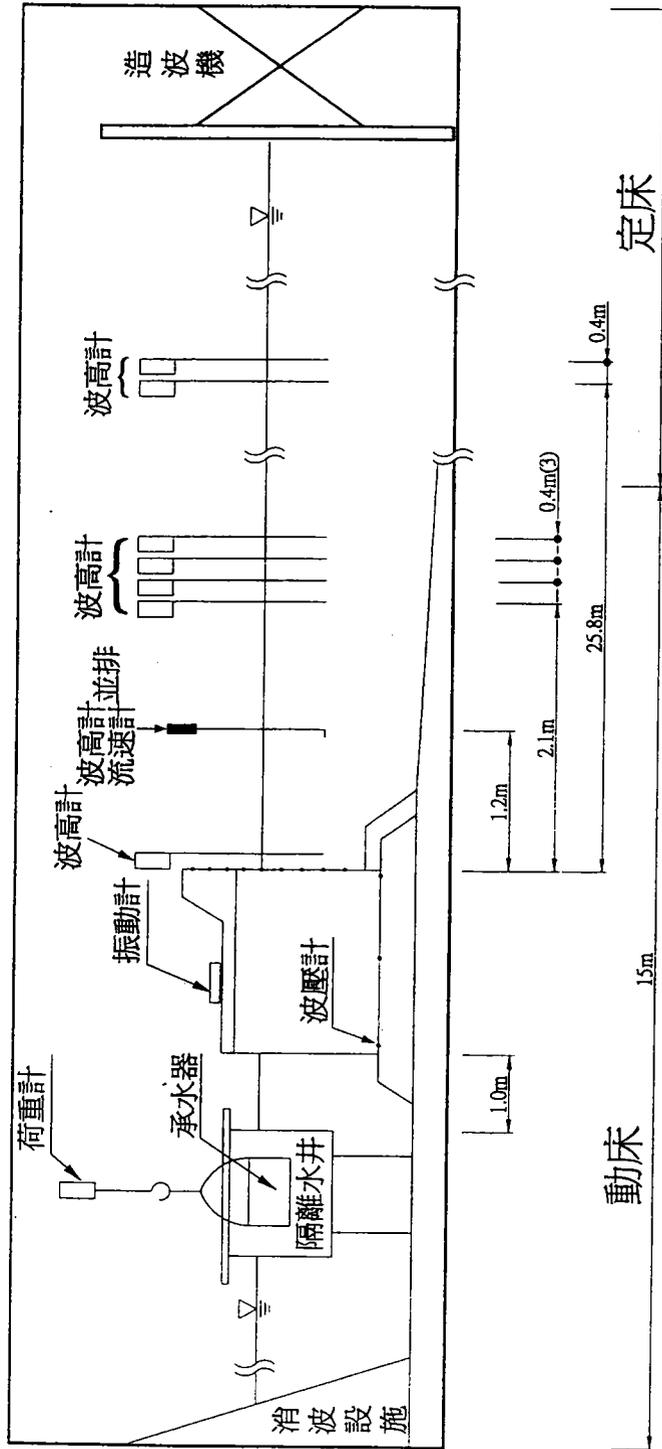


圖 4 試驗佈置示意圖

2-3 試驗條件

本試驗影響各參數之模型效應以重力因素為控制實驗最重要的參數，因此依福祿數來考量模型與實體間之物理量的轉換。為求得模型更趨於實體，又使得造波機與實驗設備做精確的模擬，而取得最佳的模型縮尺，本實驗之模型縮尺用等縮尺其水平與垂直之縮尺皆為 34.8 比 1。

本試驗條件取颱風條件和季節風條件，颱風條件取為波高 8.3 公尺，週期為 14.5 秒，水位採+2.13 公尺，季節風為波高 1.03 公尺，週期為 6.75 秒，水位採+0.28 公尺，經由模型縮尺 1：34.8 換算成試驗條件為颱風條件為波高 23.48 公分，週期為 2.46 秒，水位採+6.12 公分，季節風條件為波高 2.96 公分，週期為 1.14 秒，水位採+0.8 公分。

表一 試驗條件

實 體				模 型		
	波高 (公尺)	週期 (秒)	水位 (公尺)	波高 (公分)	週期 (秒)	水位 (公分)
颱 風 條 件	8.3	14.5	+2.13	23.48	2.46	+6.12
季 節 風 條 件	1.03	6.75	+0.28	2.96	1.14	+0.8

2-4 資料擷取與處理

由於本試驗所量測的各物理量其特性不同，以下依各項量測詳細說明。

(1) 堤前地形沖淤量測

為求得沉箱前地形變化特性且避免試驗結果受試驗水槽兩側玻璃面之邊界影響，故在斷面水槽內取三條測線，分別為距邊界 40 公分、75 公分與 110 公分，每一斷面高程取此三點之平均為其高程，各底床高程之測量由沉箱堤面向海側每 5 公分量一斷面，至距堤面 560 公分為止即量測 112 個斷面，超過 560 公分以外即改為 10 公分量測一斷面，共量測 150 公分即 15 個斷面，總計由沉箱堤面向海側量測 710 公分共 127 個斷面，此長度含蓋最長造波週期 1.5 個波長以上，短週期波為 4 個波長以上，已足夠表現其沖淤之影響程度。地形沖淤量測考慮颱風條件和季節風條件，每次以颱風條件造波時，造波 5 分鐘即停止造波量測地形變化，如此方能避免長週期波在水槽內形成振盪現象影響實驗準確性，為配合平面試驗的時間縮尺關係，本試驗每一佈置颱風條件共做 9 次實驗，季節風每次造波亦做 5 種，但 30 分鐘測一次，共造波三小時。

(2) 堤腳消波塊體之穩定

堤腳消波塊依照設計以協克塊一層整拋方式排列，為便於判別消波塊是否有發生移動變位，乃以紅、藍、綠等三顏色來區分堤腳區域之消波塊。整個試驗過程再以 V8 錄影機做試驗全程監測，試驗結束時退水後再觀測有否移位，至於消波塊之沉陷問題，由每次試驗之斷面量測即有記錄。

(3) 上揚力和波壓力

由 SSK 波壓計量測波壓變化後，經由放大器將放大訊號輸

入個人電腦儲存。本試驗在壓力量測時取樣頻率為 40Hz，共連續量測 3 分鐘記錄。為求記錄精確反應波壓特性，分析時記錄前 20 秒記錄不用，而後取 4096 點資料。頻率分析時每樣本採 1024 點，4 個樣本平均並取 7 條移動平均。示性波壓取相同之壓力記錄，採用零上切法(zero-up-cross method)，每一波如在 3 個記錄點以下即視為假性波而忽略。每一試驗條件皆從事 12 次試驗，再由 12 次試驗取各測點之平均值來表示其波壓值，同時每一測點之示性統計結果與頻譜能量間之關係亦為量測資料評選的主要依據。

(4) 沉箱振動量測

沉箱振動特性之量測以微振動儀同時量測三軸向之加速度速度和位移。其量測頻率為 100Hz，量測時間為 60 秒，頻譜分析時以 1024 個資料點為一樣本，取 5 個樣本平均，而後取 7 個條線做移動平均。

(5) 流速量測

流速量測係與波浪水位量測系統雖不同取樣設備，但同時掃描輸入電腦儲存。波浪作用至沉箱後與入射波在堤前交會時所發生之三軸向速度變化之量測以 40Hz 之取樣速率共取三分鐘之波高與流速相對應之記錄，以 1024 點資料為一樣本共取 4 個樣本平均，同時以 7 條線做移動平均。

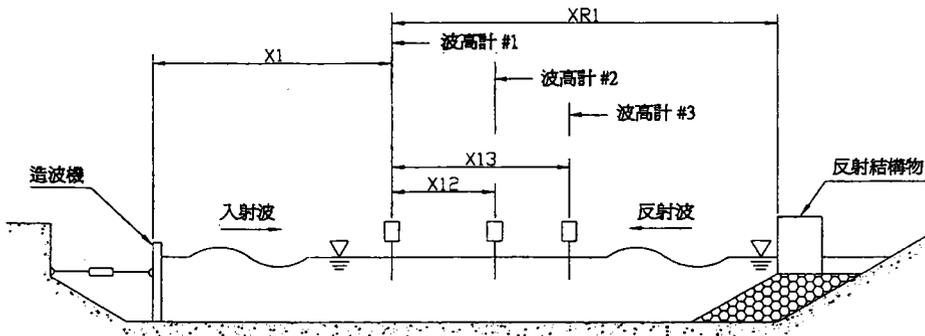
(6) 越波量量測

越波量係由沉箱上之接水器直接引入灌入沉箱後，隔離水井內之承水器，由承水器上連接之荷重計並接量取其累積水重

量，以 40Hz 取樣頻率輸入電腦儲存。由於荷重計之反應靈敏，故先以 5 個資料點做一平均，八分之一秒一平均值，再以連續五個平均值做移動平均。整個試驗過程以 3200 點即 80 秒實驗資料來計算其平均越波量。本試驗之每一試驗條件皆從事 12 次試驗，由 12 次試驗迴歸為一平均代表性之越波量延時累積曲線，再由延時累積曲線求出其每單位長度之平均越波量。

(7) 反射率之計算

本試驗之反射率計算採用 Mansard & Funk(1980)之三支波高計法，詳述如下：



圖五 反射率量測示意圖

任一波高計之水位觀測值以分割方式來表示時可以級數表示式如下：

$$\eta_p(t) = \sum_{k=1}^N A_{p,k} \cdot \sin \left[\frac{2\pi k \cdot t}{T} + \alpha_{p,k} \right] \quad (1)$$

其中： $A_{p,k}$ ：傅利葉係數

T ：波浪水位長度

$\alpha_{p,k}$ ：相對於原始時間之相位

N ：累積上限，最大示性頻率成份

組合成各隻波高計時，其觀測訊號可表示成：

$$\begin{aligned}
 F[\eta_p(t)] = \beta_{p,k} = & C_{I,k} \exp\left[i \cdot \frac{2\pi \cdot (x_1 + x_1 p)}{L_k} + i \cdot \theta_k\right] \\
 & + C_{R,k} \cdot \exp\left[i \frac{2\pi \cdot (x_1 + 2 \cdot xR_1 - x_1 p)}{L_k} + i(\theta_k + \phi_k)\right] \\
 & + Y_{p,k} \cdot \exp i(\rho_{p,k})
 \end{aligned} \tag{2}$$

令

$$\begin{aligned}
 Z_{I,k} &= C_{I,k} \cdot \exp\left(i \cdot \frac{2\pi \cdot x_1}{L_k} + i \cdot \theta_k\right) \\
 Z_{R,k} &= C_{R,k} \cdot \exp\left(i \cdot \frac{2\pi \cdot (x_1 + 2 \cdot xR_1)}{L_k} + i(\theta_i + \phi_k)\right) \\
 Z_{N.P,k} &= Y_{p,k} \cdot \exp i(\rho_{p,k})
 \end{aligned} \tag{3}$$

以滿足線性疊加及分散關係式二個基本條件，並以最小二乘方來取入反射波之分離，其結果如下：

$$\begin{aligned}
 Z_{I,k} = \frac{1}{D_k} \cdot \{ & B_{1,k} \cdot (R_1 + iQ_1) + B_{2,k} (R_2 + iQ_2) \\
 & + B_{3,k} \cdot (R_3 + i \cdot Q_3)
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{R,k} = \frac{1}{D_k} \cdot \{ & B_{1,k} \cdot (R_1 - iQ_1) + B_{2,k} (R_2 - iQ_2) \\
 & + B_{3,k} \cdot (R_3 - i \cdot Q_3) \}
 \end{aligned} \tag{5}$$

此處

$$D_k = 2 \cdot (\sin^2 \beta_k + \sin^2 \gamma_k + \sin^2(\gamma_k - \beta_k))$$

$$R1_k = \sin^2 \beta_k + \sin^2 \gamma_k$$

$$Q1_k = \sin \beta_k \cdot \cos \beta_k + \sin \gamma_k \cdot \cos \gamma_k$$

$$R2_k = \sin \gamma_k \cdot \sin(\gamma_k - \beta_k)$$

$$Q2_k = \sin \gamma_k \cdot \cos(\gamma_k - \beta_k) - 2 \cdot \sin \beta_k$$

$$R3_k = -\sin \beta_k \cdot \sin(\gamma_k - \beta_k)$$

$$Q3_k = \sin \beta_k \cdot \cos(\gamma_k - \beta_k) - 2 \cdot \sin \gamma_k$$

解方程式(4)和方程式(5)可依下列步驟

(一)以三支波高計之訊號 $\eta_1(t)$, $\eta_2(t)$, $\eta_3(t)$ 計算

$$S1(k, \Delta f), S2(k, \Delta f), S3(k, \Delta f) [\text{auto-spectral density analysis}]$$

(二)振幅頻譜

$$A1(k, \Delta f) = \sqrt{2 \cdot S1(k, \Delta f) \cdot \Delta f}$$

$$A2(k, \Delta f) = \sqrt{2 \cdot S2 \cdot \Delta f}$$

$$A3(k, \Delta f) = \sqrt{2 \cdot S3 \cdot \Delta f}$$

(三)利用 $\eta_1(t)$ 和 $\eta_2(t)$

$$\eta_1(t) \text{ 和 } \eta_3(t)$$

計算 cross-spectral density

(四) 計算相位

$$PH_{12}(k, \Delta f)$$

$$PH_{13}(k, \Delta f) \quad \text{for all } k.$$

$$PH_{11}(k, \Delta f)$$

(五) 振幅和相位配對

$$A_1(k, \Delta f) \quad \text{和} \quad PH_{11}(k, \Delta f)$$

$$A_2(k, \Delta f) \quad \text{和} \quad PH_{12}(k, \Delta f)$$

$$A_3(k, \Delta f) \quad \text{和} \quad PH_{13}(k, \Delta f)$$

(六) 座標轉換

$$\beta_1(k, \Delta f) = \text{Re } c \{A_1(k, \Delta f) \cdot \exp(PH_{11}(k, \Delta f))\}$$

$$\beta_2(k, \Delta f) = \text{Re } c \{A_2(k, \Delta f) \cdot \exp(PH_{12}(k, \Delta f))\}$$

$$\beta_3(k, \Delta f) = \text{Re } c \{A_3(k, \Delta f) \cdot \exp(PH_{13}(k, \Delta f))\}$$

(七) 求

$$\beta(k, \Delta f) = \frac{2\pi X_{12}}{L_k}$$

$$\gamma(k, \Delta f) = \frac{2\pi X_{13}}{L_k}$$

(八)計算方程式(6)

(九)計算方程式(4)、(5)

(十)計算 S_I 和 S_R (頻譜密度)

$$S_I(k, \Delta f) = |Z_I(k, \Delta f)|^2 / 2\Delta f$$

$$S_R(k, \Delta f) = |Z_R(k, \Delta f)|^2 / 2\Delta f$$

(十一)計算反射係數

$$R(k \Delta f) = |Z_R(k \Delta f)| / |Z_I(k \Delta f)|$$

(十二)計算相關係數

$$CF_{12}(k \Delta f) = |S_{12}(k \Delta f)| / (S_1(k \Delta f) S_2(k \Delta f))^{1/2}$$

$$CF_{13}(k \Delta f) = |S_{13}(k \Delta f)| / (S_1(k \Delta f) S_3(k \Delta f))^{1/2}$$

本試驗利用 4 支波高計同時量測沉箱前同一時間不同位置之水位變化訊號，再由 4 支波高計中任選三支波高計之訊號利用 Mansard & Funk 之理論計算其反射率與相關係數，再由相關係數來判斷反射率之選取。水位訊號取穩定段 2048 點資料，以 1024 點為一樣本來計算。

參、試驗結果與分析

3-1 堤前地形沖淤和堤腳穩定

圖 6 至圖 11 分別表示在三種不同型態沉箱，在颱風條件和季節風條件下，由沉箱至沉箱前 750 公分區間內，不同時段的地形變化比較圖，每一時段之地形變化係取該時段地形與原佈置地形間之差值來表示，而其值列在縱座標，橫座標表示距離。

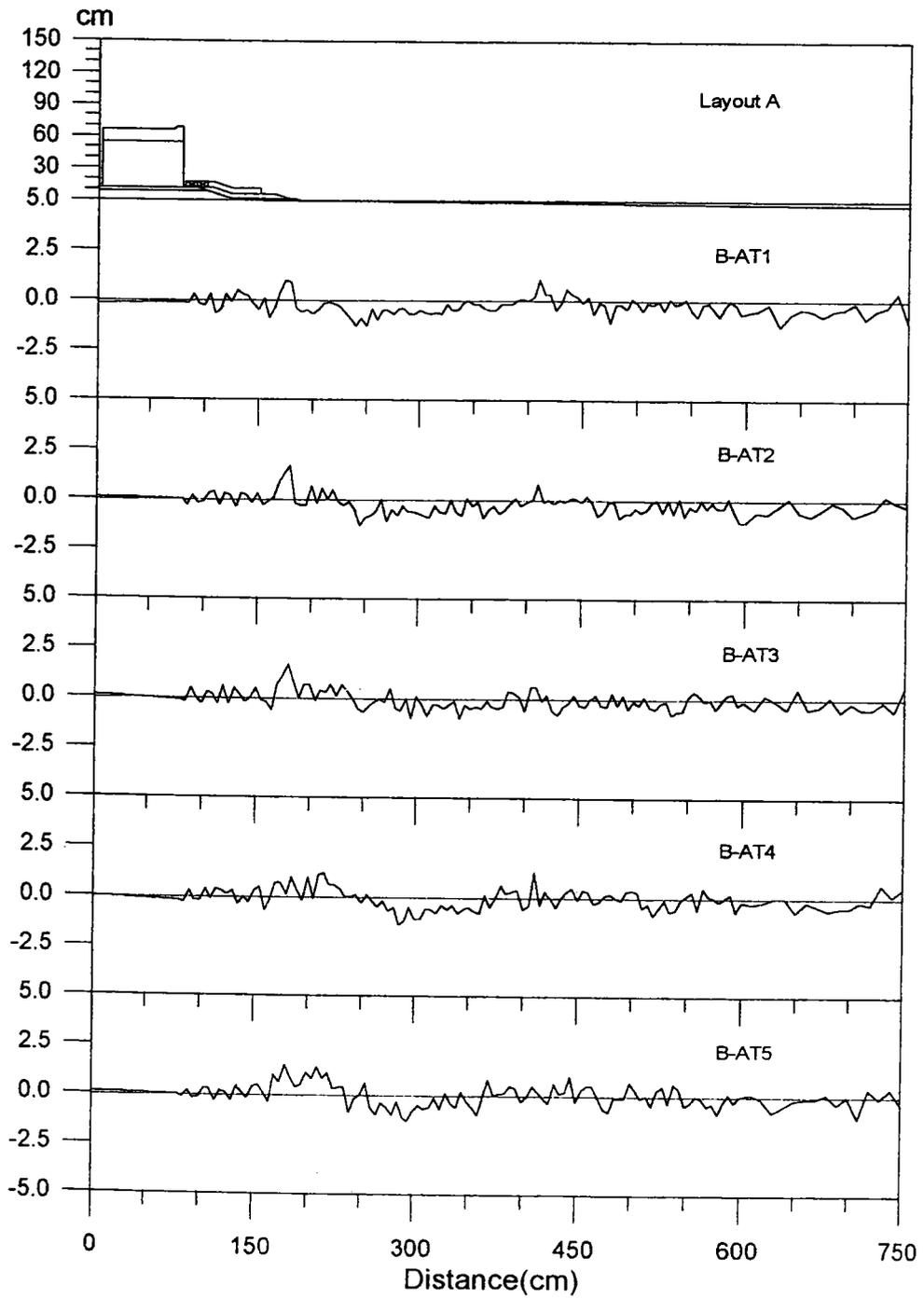
圖 6 與圖 7 為佈置 A 之底床變化比較圖，由圖中各小圖從沉箱至 150 公分處，即堤腳域可發現在各時段之波浪作用下皆沒有發生較大變化出現，此即顯示佈置 A，在各種波浪件用下堤腳皆不受影響，對沉箱安全之維護有其功效。再由圖 6 和圖 7 各時段之地形比較圖亦可獲知距沉箱前 150 公分起，其地形隨波浪作用時間之增加在颱風條件作用時便逐漸使得堤腳前沿形成堆積而在距沉箱 300 公分附近便形成侵蝕狀態，作用時間其現象愈明顯，而在季節風較長時間作用下，更使得地形變化明顯而穩定，同時距沉箱 350 公分以外之地形變化就明顯穩定變化不大。

圖 8 至圖 9 為沉箱型態 B，即消波胸牆採階梯狀之反置牆型態，由圖 8 至圖 9 各時段之地形比較圖中可明顯發現，在堤腳區域內在颱風條件和季節風條件之波浪作用下，其佈置沒有受到波浪作用而移動，堤腳佈置可達係保沉箱的目的。在距沉箱 150 公分附近亦產生堆積現象，但較佈置 A 有明顯縮小，而在距沉箱 300 公分附近侵蝕量亦變的很小，整個斷面變化量亦顯得不大即地形變化穩定。

圖 10 至圖 11 為沉箱型態 C，此沉箱結構之階梯式胸牆較型態 B 有較多之階梯，由圖 10 至圖 11 之地形變化比較圖，發現其地形

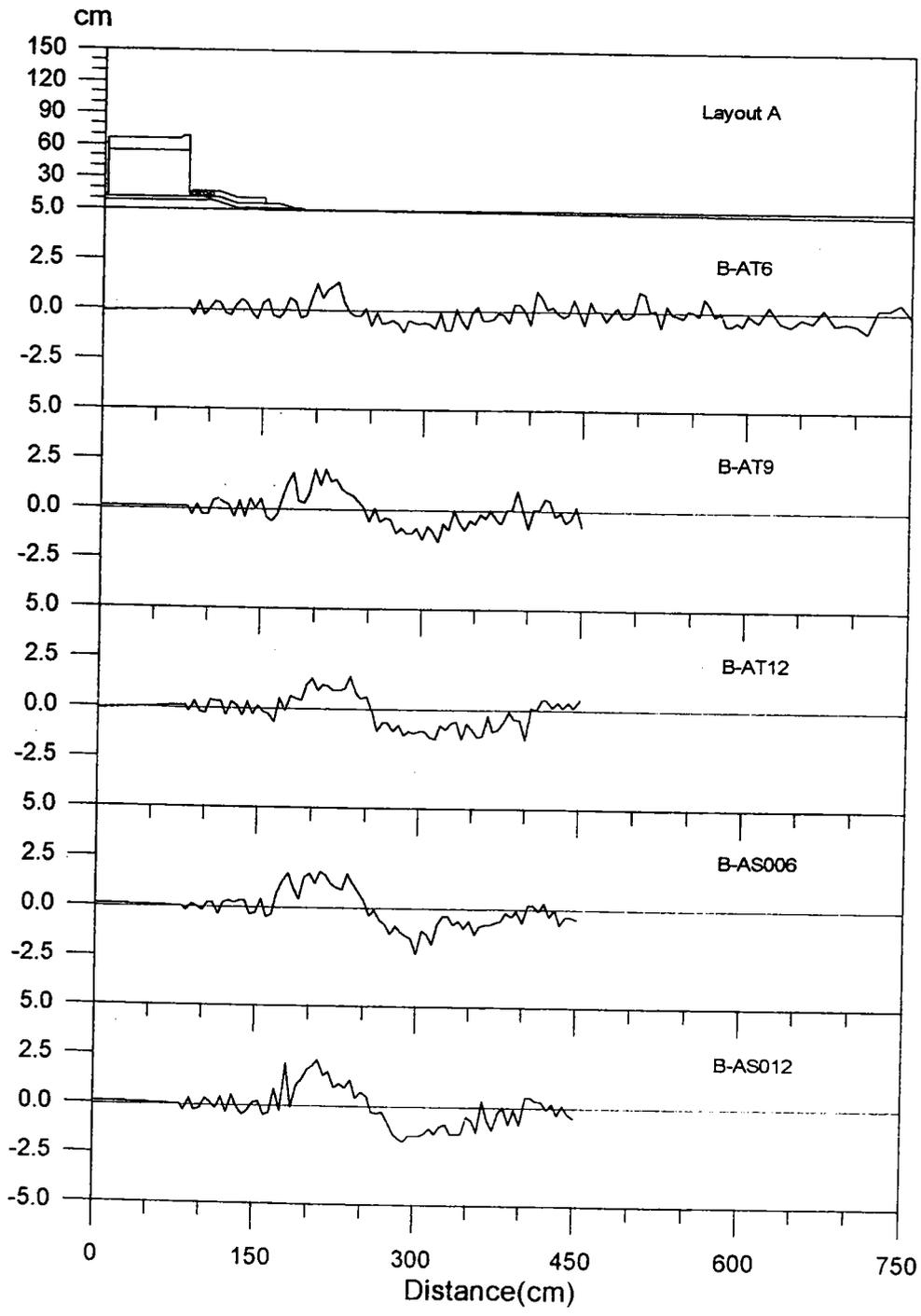
變化現象與佈置 B 相似，但其全區域之變化皆較佈置 B 為小，即佈置 C 地形最為穩定。

由以上討論可獲知，三種不同型態的沉箱佈置斷面皆採低基混成型式，因此堤址水深較深，波浪作用沉箱反射後，對底床之影響較弱，僅有微小變化，對堤址沖刷皆不嚴重，而其中階梯狀的反置胸牆佈置皆較傳統式的沉箱佈置對堤腳地形較能維持地形的穩定性。同時此三種佈置皆能達到堤腳穩定性。



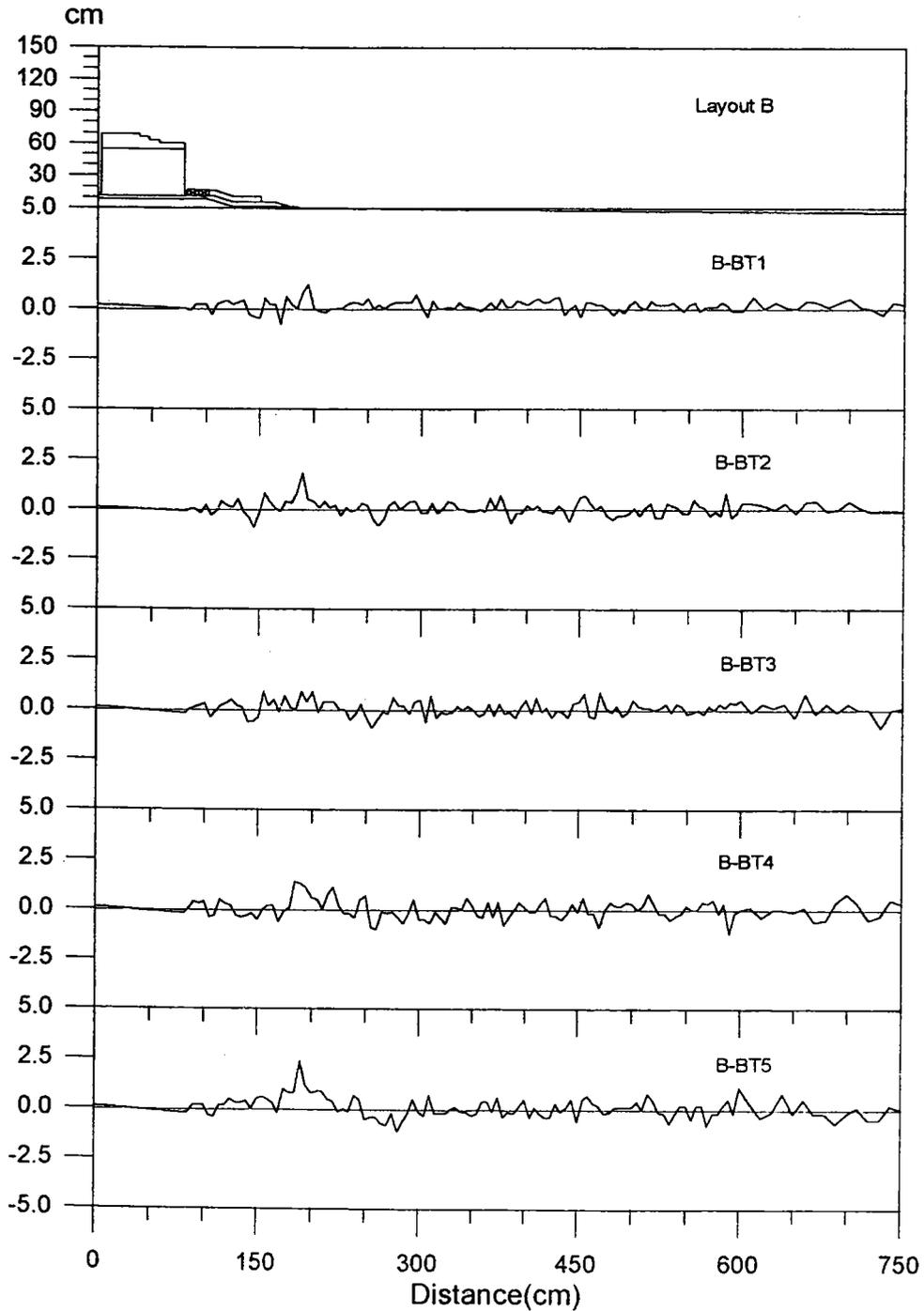
b-at-1

圖 6 佈置 A 堤前地形沖淤變化比較圖



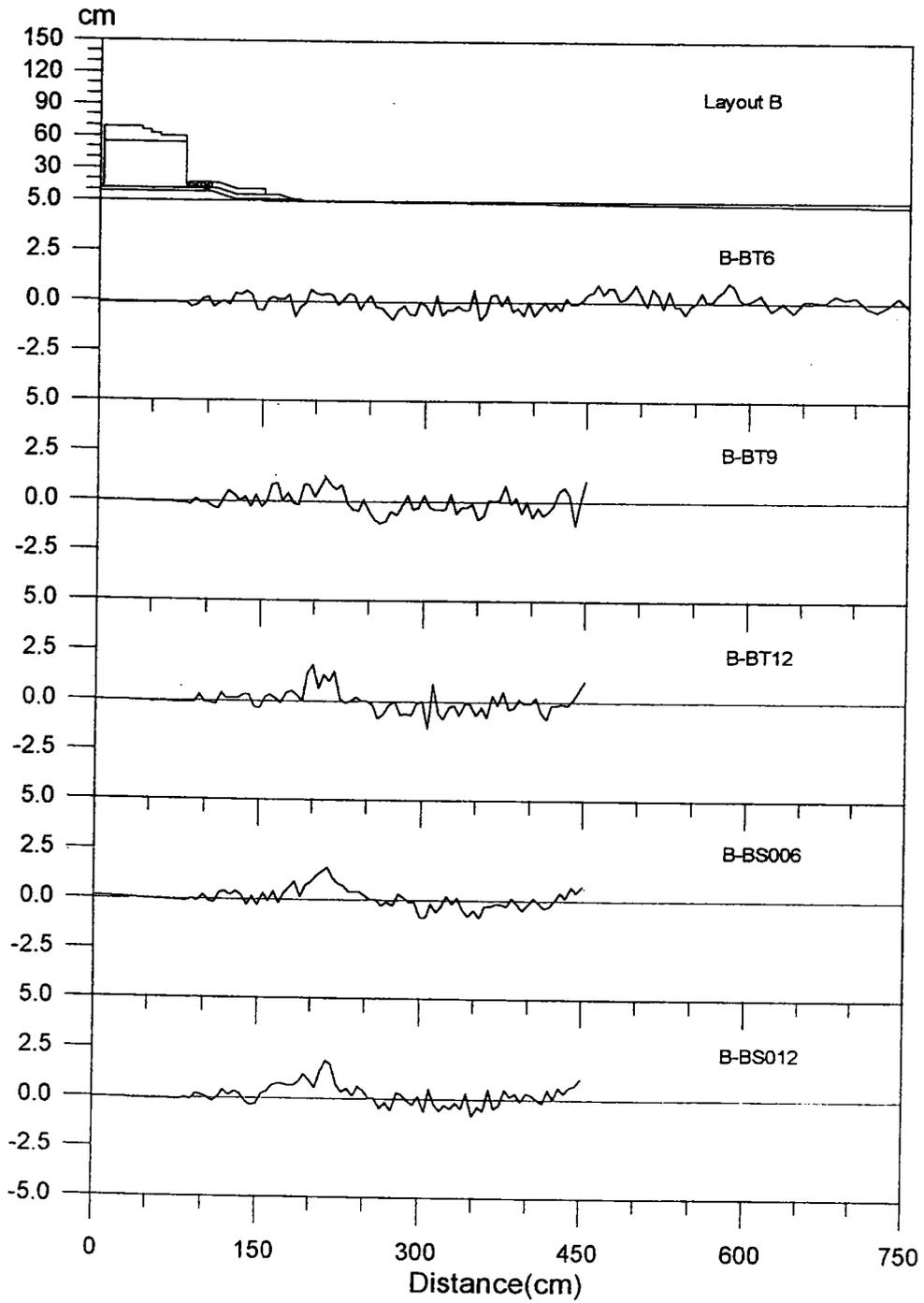
b-at-2.grf

圖 7 佈置 A 堤前地形沖淤變化比較圖(續)



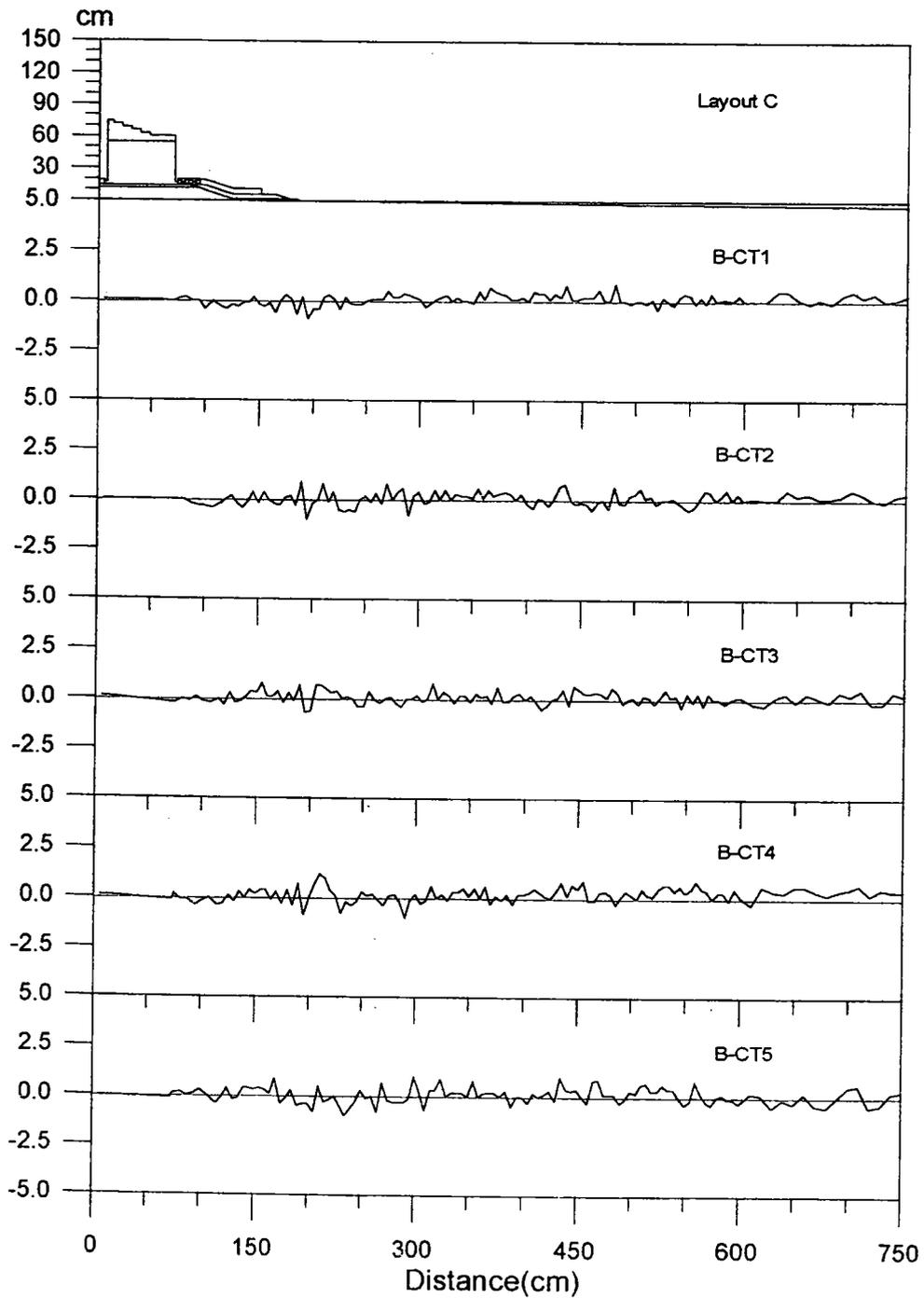
b-bt-1.grf

圖 8 佈置 B 堤前地形沖淤變化比較圖



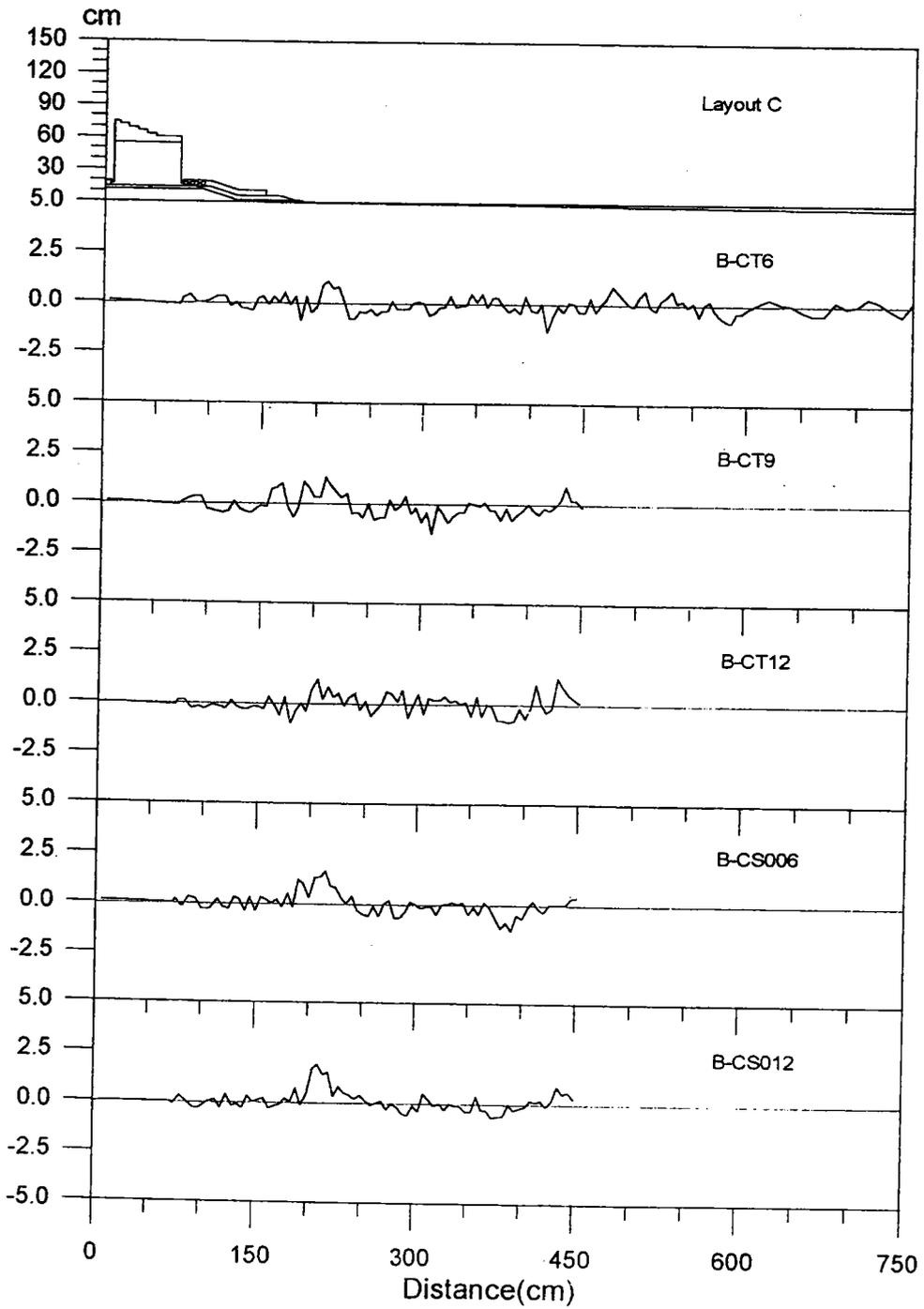
b-bt-2.grf

圖 9 佈置 B 堤前地形沖淤變化比較圖(續)



b-ct-1.grf

圖 10 佈置 C 堤前地形沖淤變化比較圖



b-ct-2.grf

圖 11 佈置 C 堤前地形沖淤變化比較圖(續)

3-2 堤面波壓力

圖 12 至圖 23 分別表示在不同波浪條件下，堤面波壓力分佈圖，圖中細實線係以實驗條件利用 Goda 公式(本設計所使用的公式)計算的理論值。圖中之各項符號表示各次實驗結果之實驗值，各位置之波壓實驗值的平均值之連線為粗黑線所示。

圖 12 表示颱風條件時，佈置 A 沉箱堤面上波壓最大值之分佈圖，由圖中可明顯發現在設計水位上波壓實驗值分布較亂而設計水位下波壓實驗值即非常穩定集中。同時實驗值皆小於理論值，由其總作用力實驗結果約為 Goda 計算結果的 74%左右。同等作用力之作用點往底床移，此即顯示結構物之抗傾覆力增加。圖 13 表示颱風條件時佈置 A 沉箱堤面上示性波壓力分佈圖，由圖 9 可發現在全受力斷面之波壓各次實驗值皆相當一致，而且其波壓力約為 Goda 理論值之 60%左右，亦有總作用力之作用點往底床側移之現象，由圖 12 和圖 13 比較可獲知最大波壓力和示性波壓力皆比原先設計值小，顯示設計應屬於安全，Goda 理論值有稍偏大之情況。圖 16 和圖 17 為佈置 B 颱風條件下，最大波壓力和示性波壓力分佈圖，圖 20 和圖 21 為佈置 C 颱風條件下最大波壓力和示性波壓力分佈圖，由以上四圖可得與圖 12 和圖 13 相似之結果。

在本試驗各佈置，主要差在於胸牆部份，佈置 A 為傳統的胸牆型式，佈置 B 與佈置 C 皆為親水設計式的反置胸牆型態。由本試驗可發現在颱風條下堤面上的波壓力無論最大波壓力或示性波壓力之分佈雖大小稍有不同但型態非常相似。由圖 12、圖 16、圖 20 三圖中可得知不同佈置的最大波壓力來計算其堤面上的單位長度總受力以佈置 A 最大，佈置 B 次之，佈置 C 為最小。再由圖 13、圖 17、

圖 21 三圖中亦得不同佈置的示性波壓力計算所得的堤面上的單位長度總受力亦為佈置 A 最大，佈置 B 次之，佈置 C 最小。而最大波壓力約佔 Goda 理論值之 70%左右，示性波壓力約佔 57%左右。

圖 14、圖 15、圖 18、圖 19、圖 22、圖 23 等 6 圖分別為不同佈置在季節風條件作用下最大波壓力和示性波壓力的分佈圖。當然在颱風條件下其實驗結果皆比 Goda 理論值小，故季節風條件下亦屬安全。由各圖中在低水位上之波壓力皆近於零，而在低水位下各種佈置皆不受胸牆之影響，因此各佈置堤面所受之波壓力之實驗結果皆相似，以上六圖皆有此結果。由以上討論可獲知無論在颱風條件或季節風條件作用下，各佈置之堤面上所受之波壓力實驗值皆小於 Goda 之理論值。

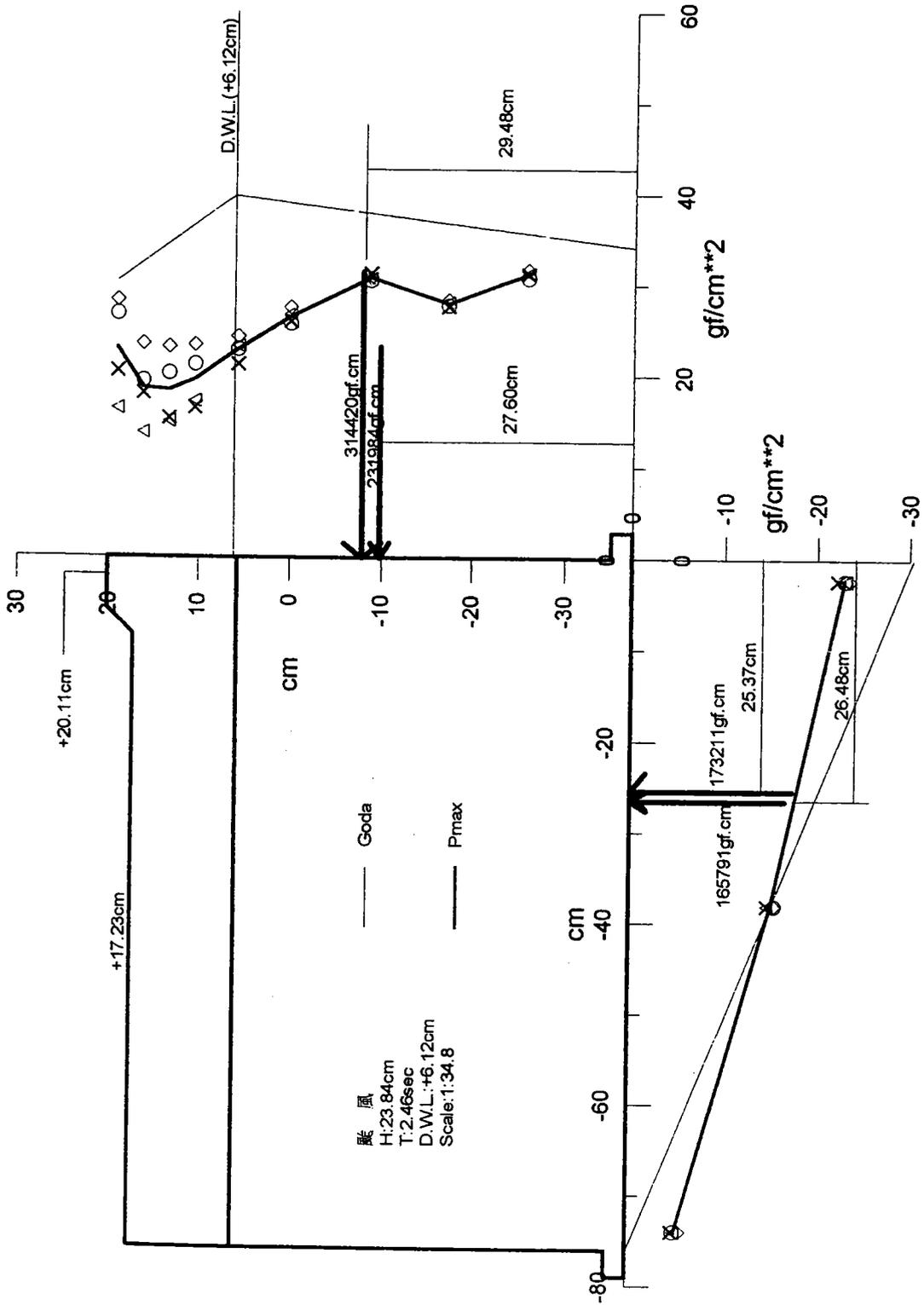


圖 12 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

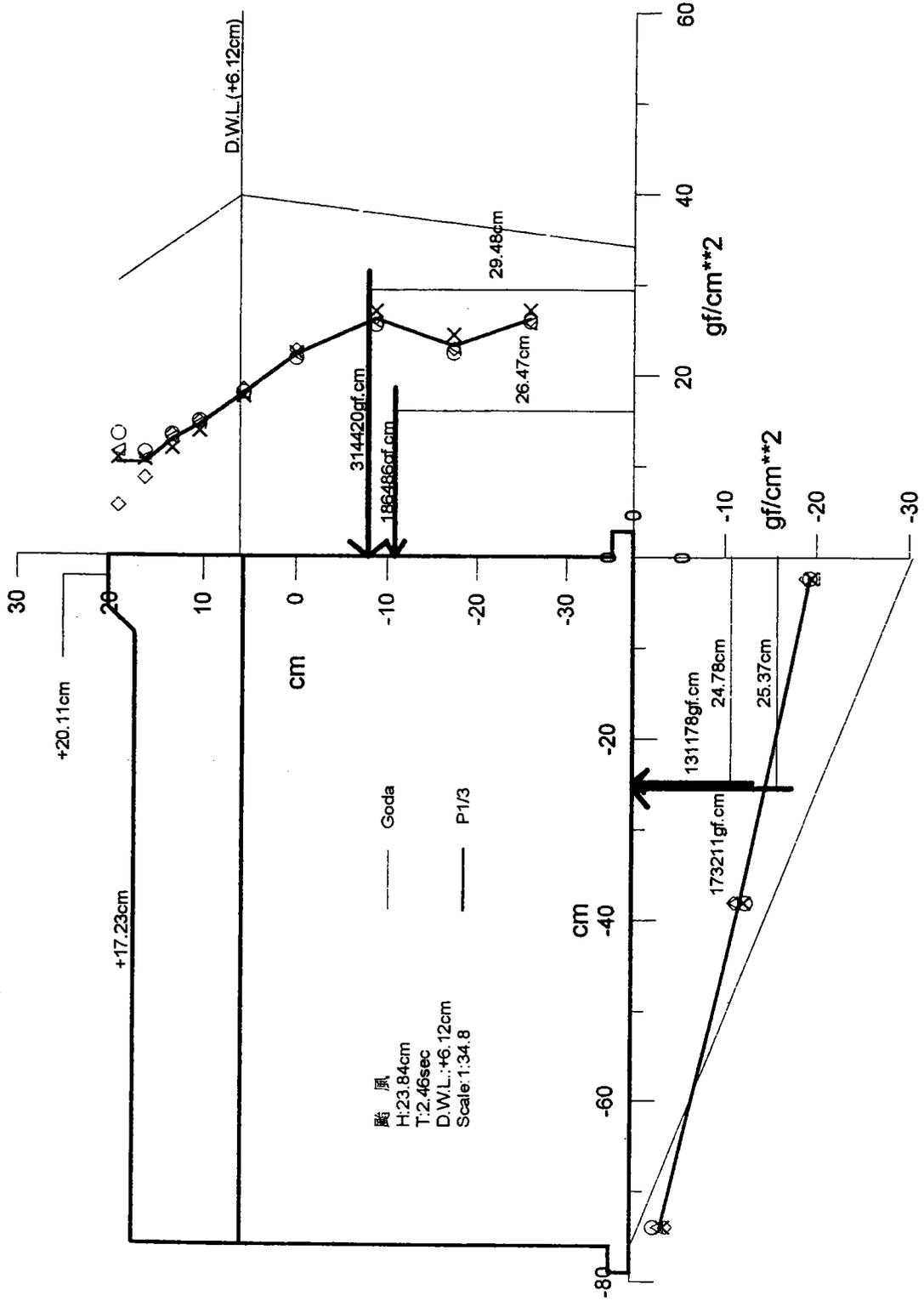


圖 13 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

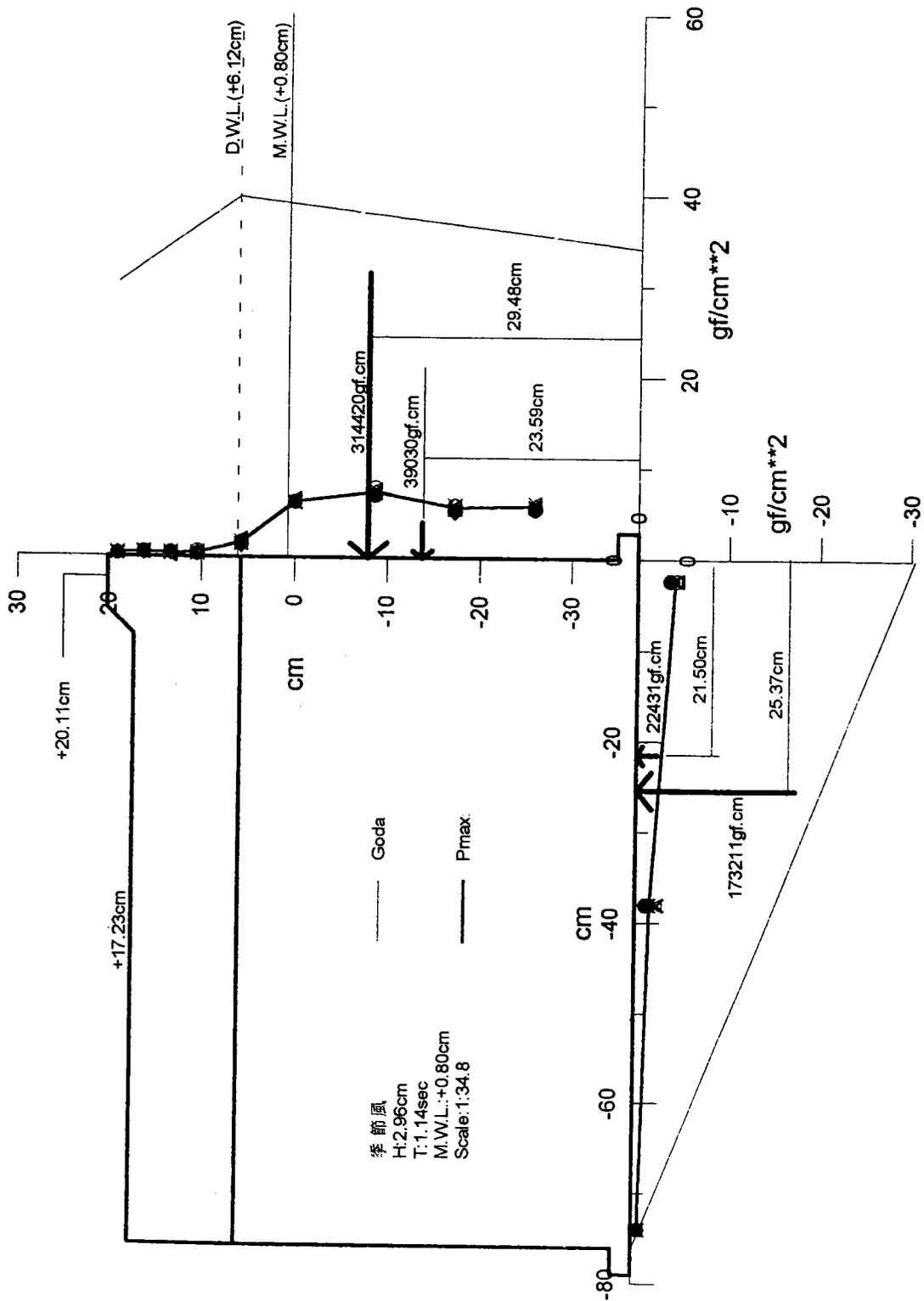


圖 14 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

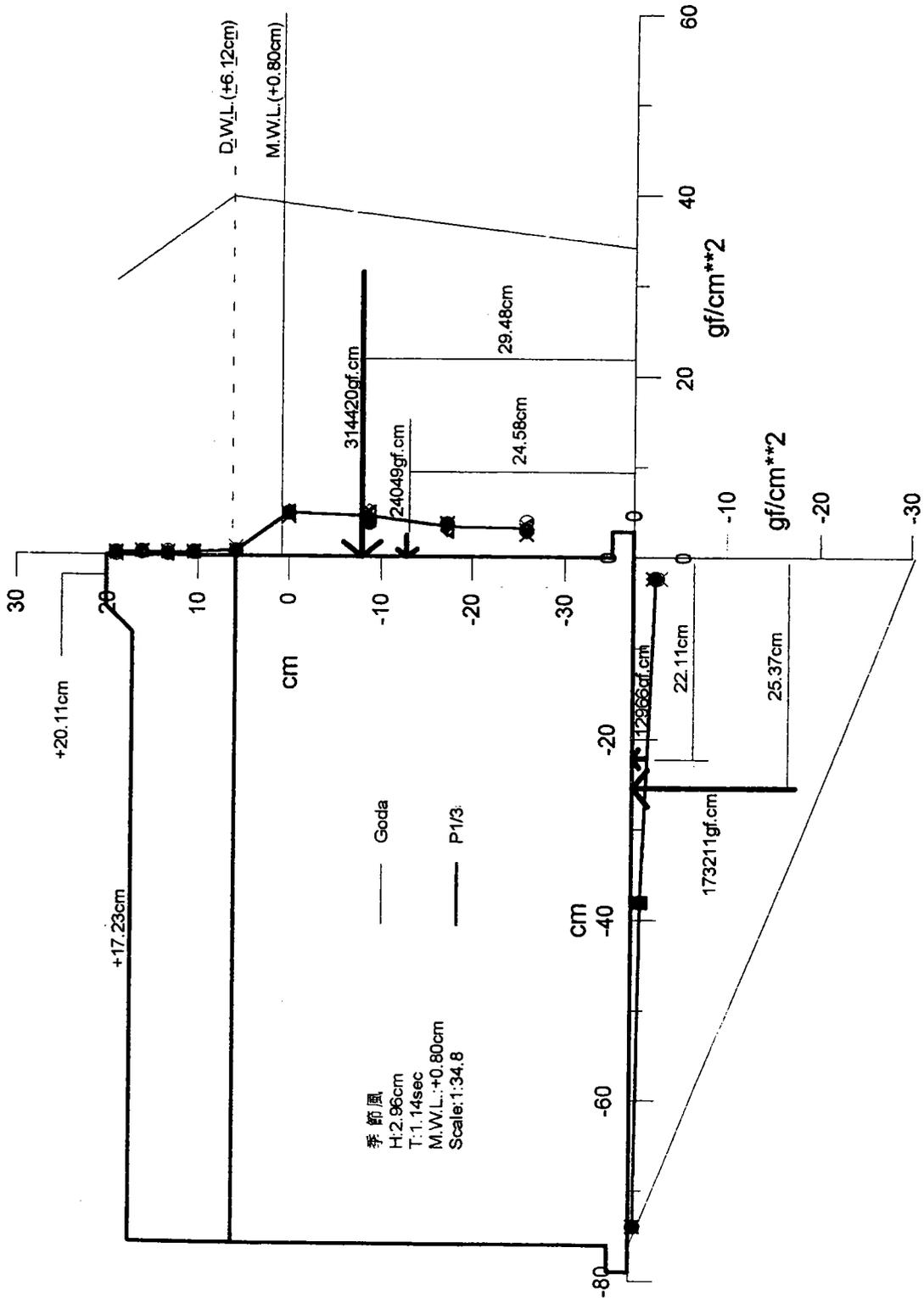


圖 15 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

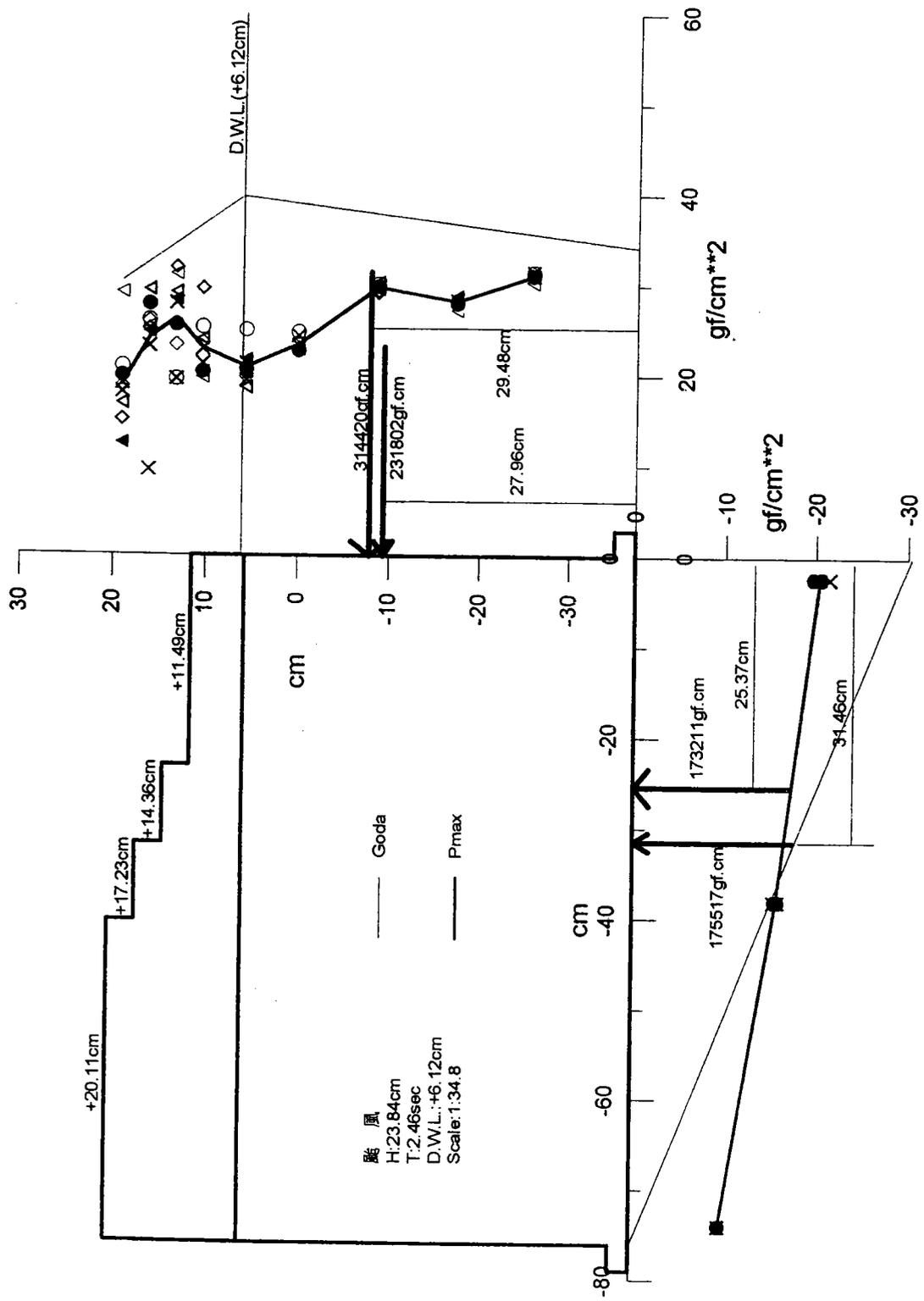


圖 16 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

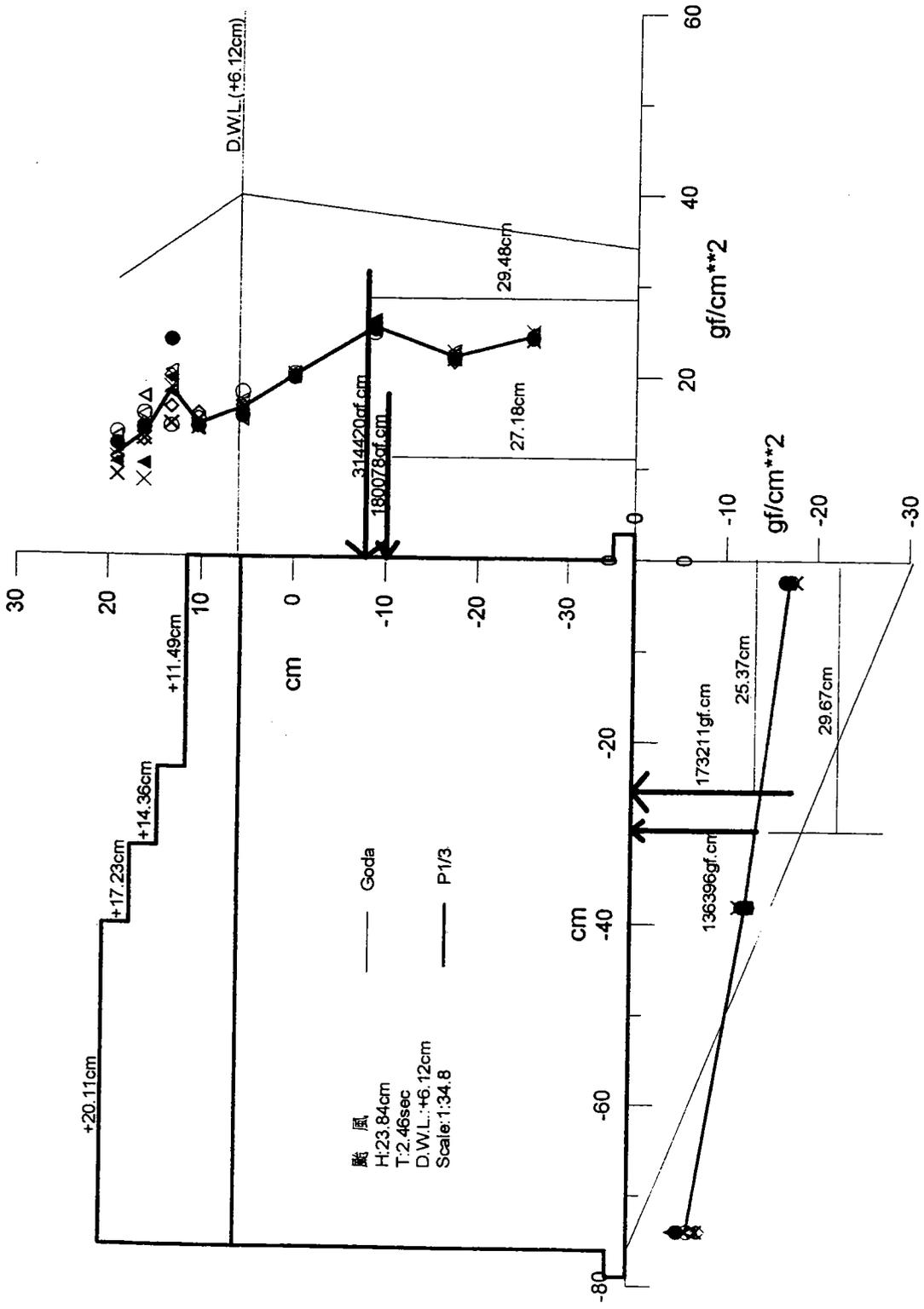


圖 17 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

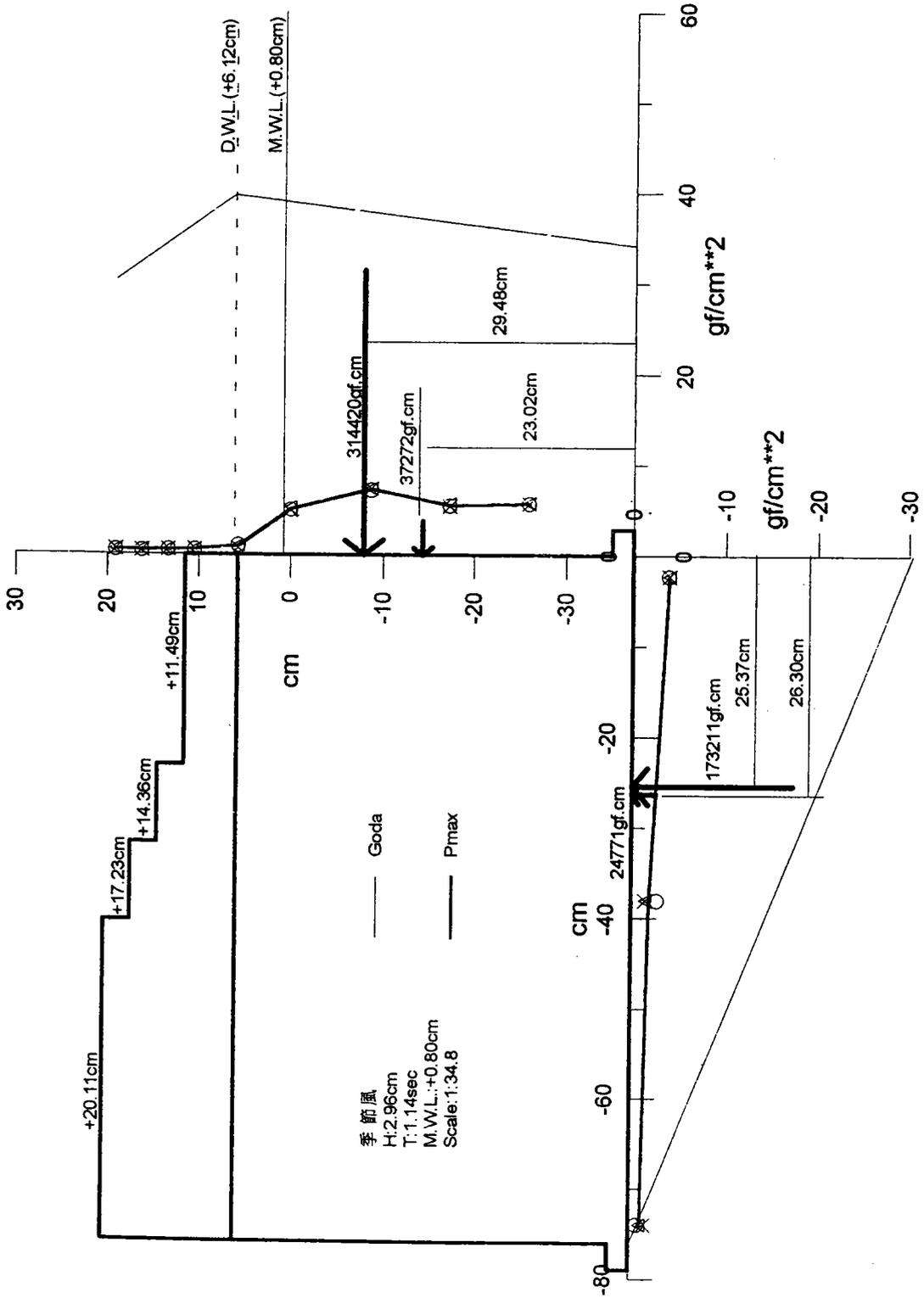


圖 18 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

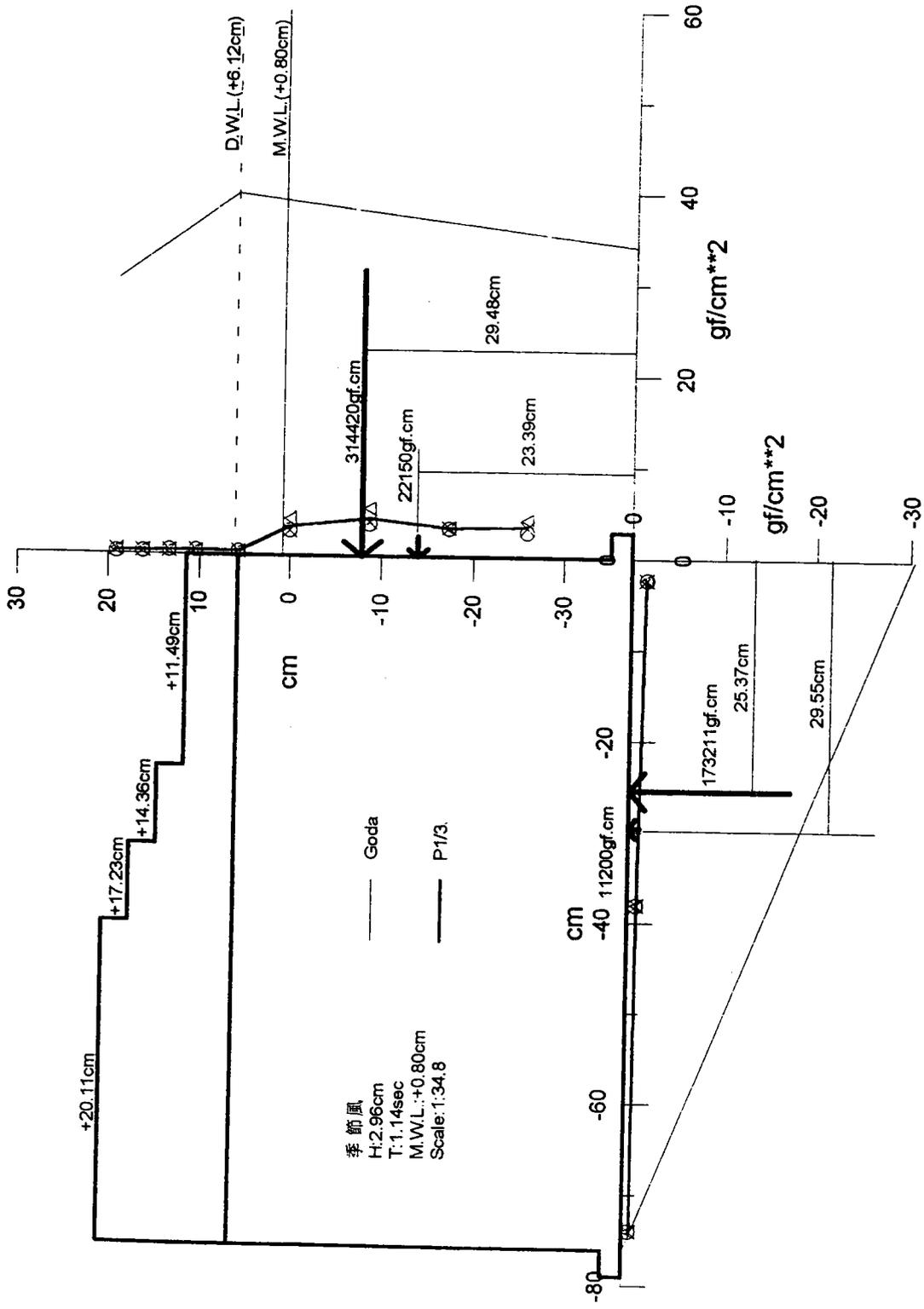


圖 19 波壓力及上揚力 Godá 理論值與實驗值比較圖

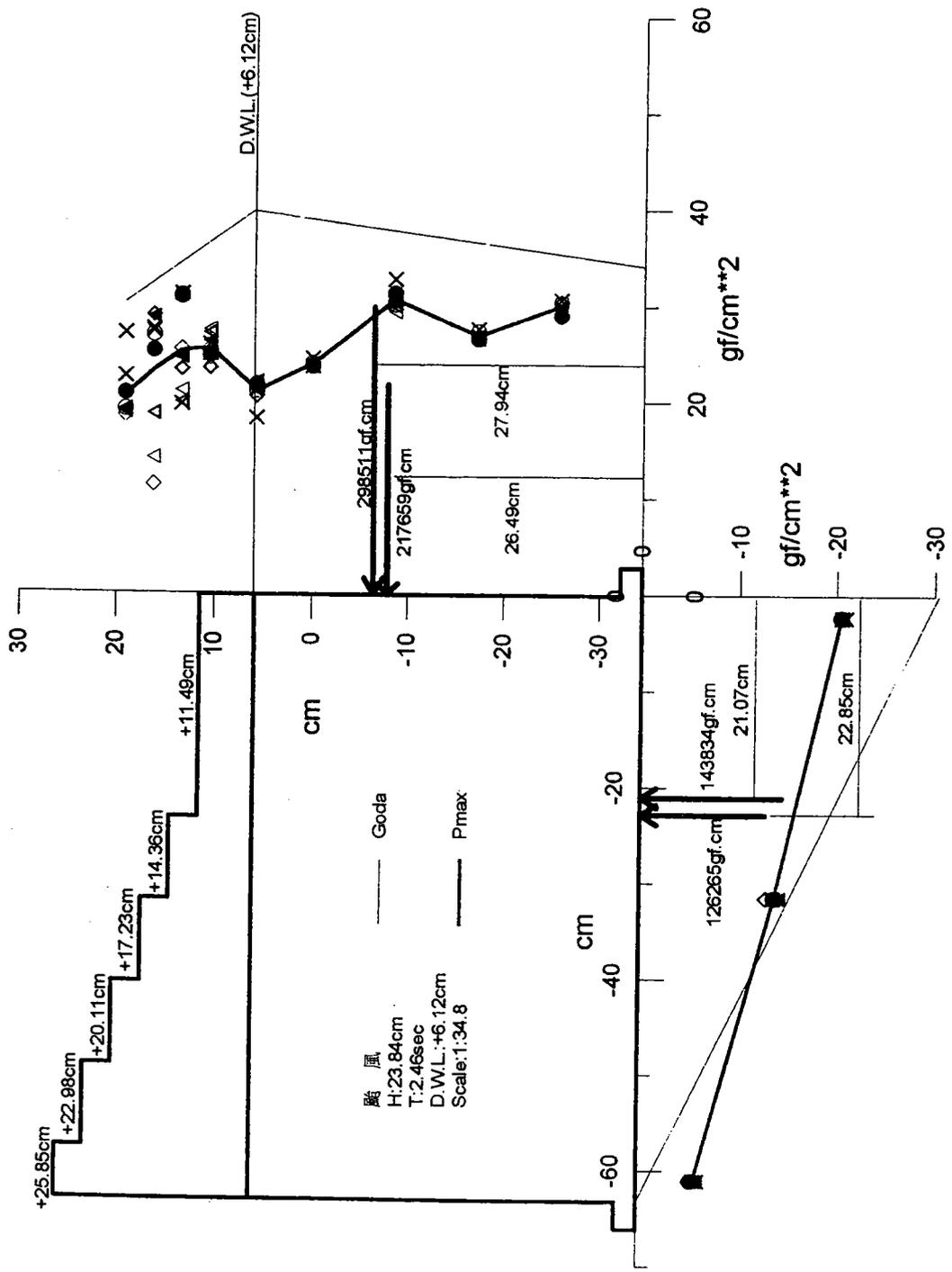


圖 20 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

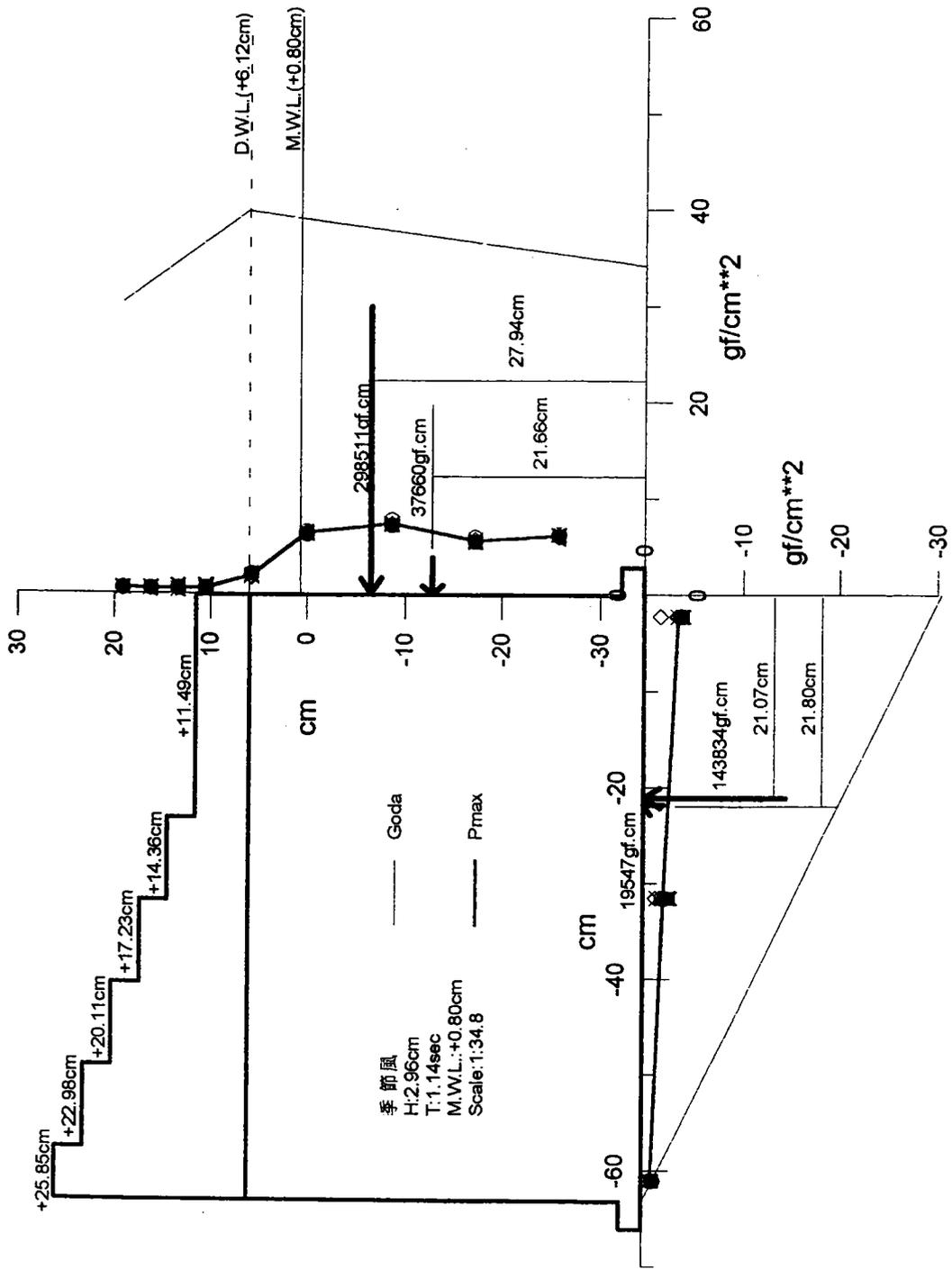


圖 22 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

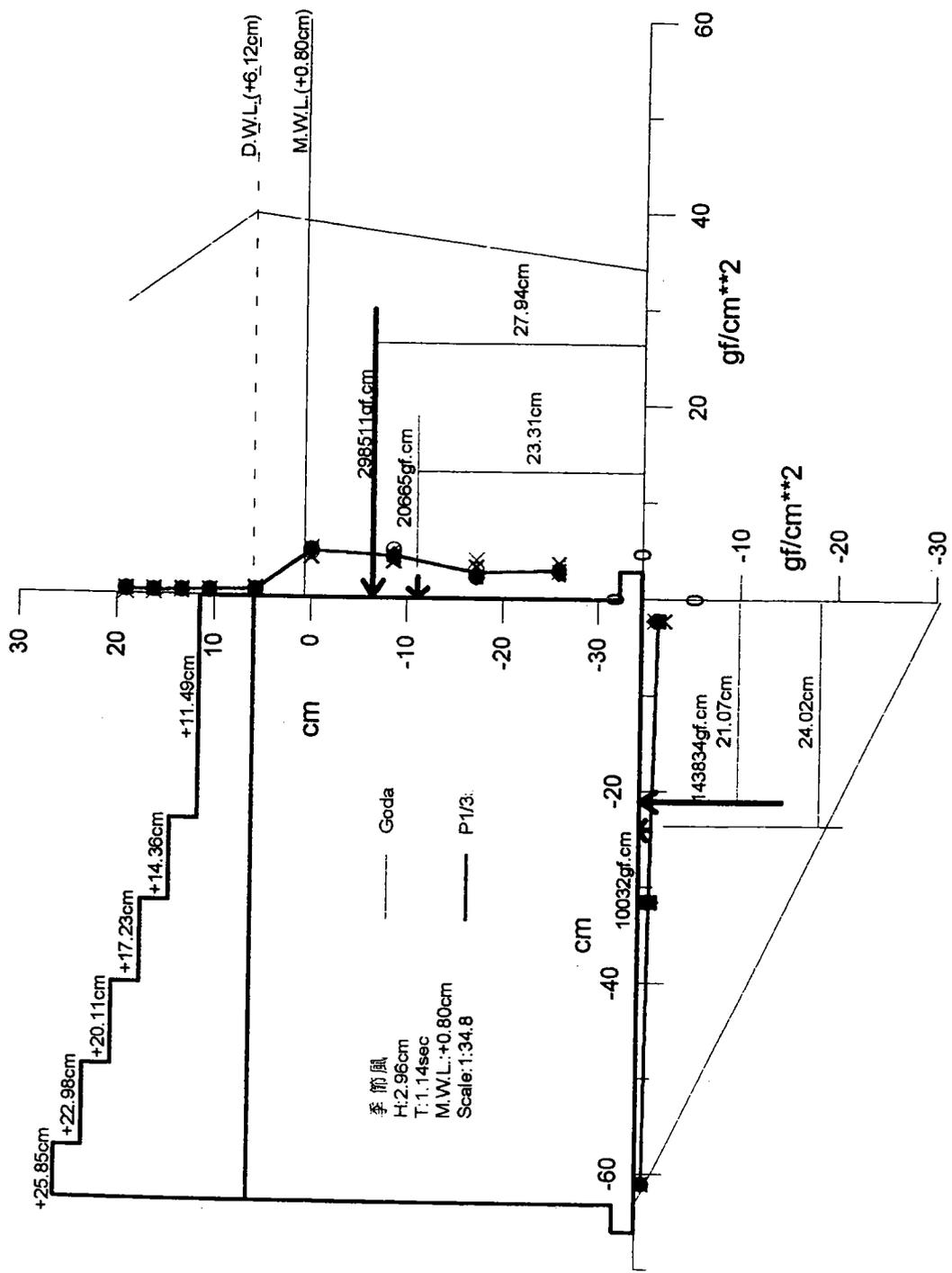


圖 23 波壓力及上揚力 Goda 理論值與實驗值比較圖

3-3 上揚力

圖 12、圖 13、圖 16、圖 17、圖 20、圖 21 等六圖，圖中在沉箱底下向上之作用力為上揚力，以上六圖為不同佈置颱風條件下最大波壓力和示性波壓力下之上揚力分佈圖。由各圖中之細線為利用 Goda 公式所計算的上揚力理論值，理論值的分佈為三角形分佈，實驗結果發現上揚力的分佈呈現階梯形型態。由各圖亦發現在海側測到的上揚力皆較理論值小，但靠港側理論值為零，實驗值皆不為零。再經由各佈置的實驗值計算所得的總作用力皆相近而作用力的作用點亦相近。由此結果可獲知上揚力較不受胸牆型態而改變。圖 14、圖 15、圖 18、圖 19、圖 22、圖 23 六圖，分別表示不同佈置，在季節風條件下最大波壓力和示性波壓力下之上揚力分佈圖，各圖分佈型態與颱風條件下相似，各佈置亦有相同結果。

經由以上討論可獲知，由實驗結果發現論值的上揚力的三角型分佈和實驗結果的梯形分佈稍有不同，但不同佈置不同實驗條件下，各實驗結果皆相近，此即顯示上揚力不因結構上型態的不同而有不同。各不同佈置沉箱之實驗結果的總作用力皆較理論值為小。

3-4 反射率

本研究利用三支波高計法計算其反射率。圖 24(a)和圖 24(b)為不同波浪條件下各佈置之反射率比較圖。由圖 24(a)中得知反射率在颱風條件即長週期波時不同佈置之反射率分布在 0.87 到 0.92 之間，其中以傳統胸牆之 0.919 最高，反置胸牆之佈置 C 為最低 0.872，佈置 B 為 0.91。此可由 3-1 節的地形沖淤變化中相對應的佈置 C 地形變化較緩於結果。圖 24(b)為季節風條件即短週期時，其反射率分佈在 0.644 到 0.717 之間，其中反以傳統胸牆之 0.644 為最小，而以反置胸牆的佈置 C 0.717 為最高，佈置 B 為 0.678，三種佈置反射率平均值雖有差異但相當接近。經由以上討論可得知在長週期時結構物吸能之能力較差，短週期時消能效果較好。

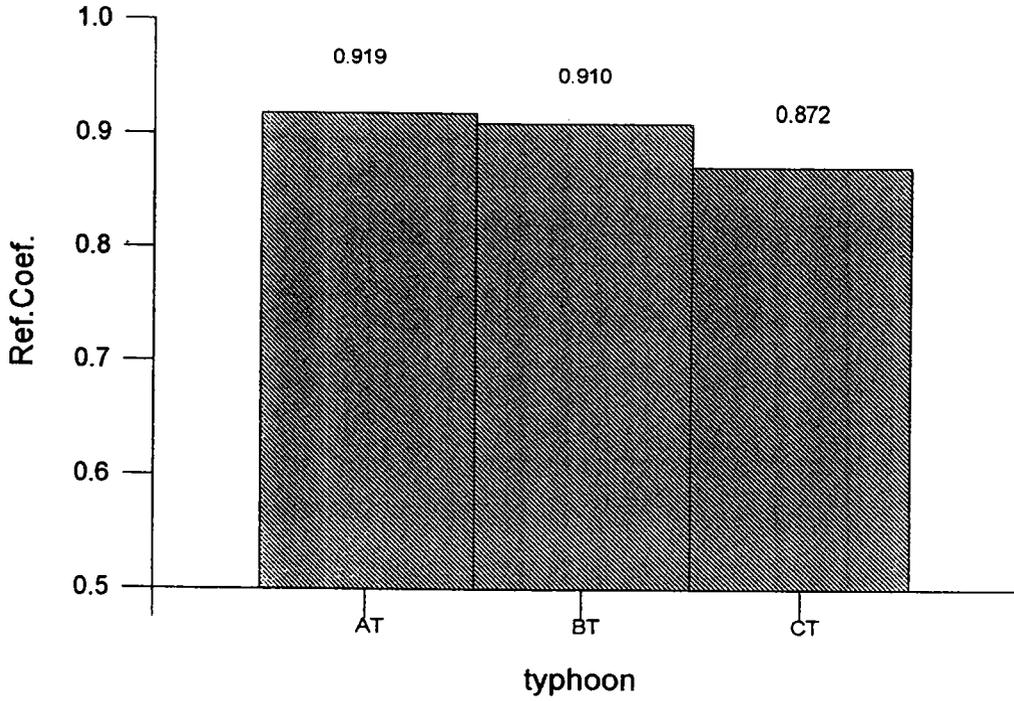


圖 24(a) 颱風條件下各佈置反射率比較圖

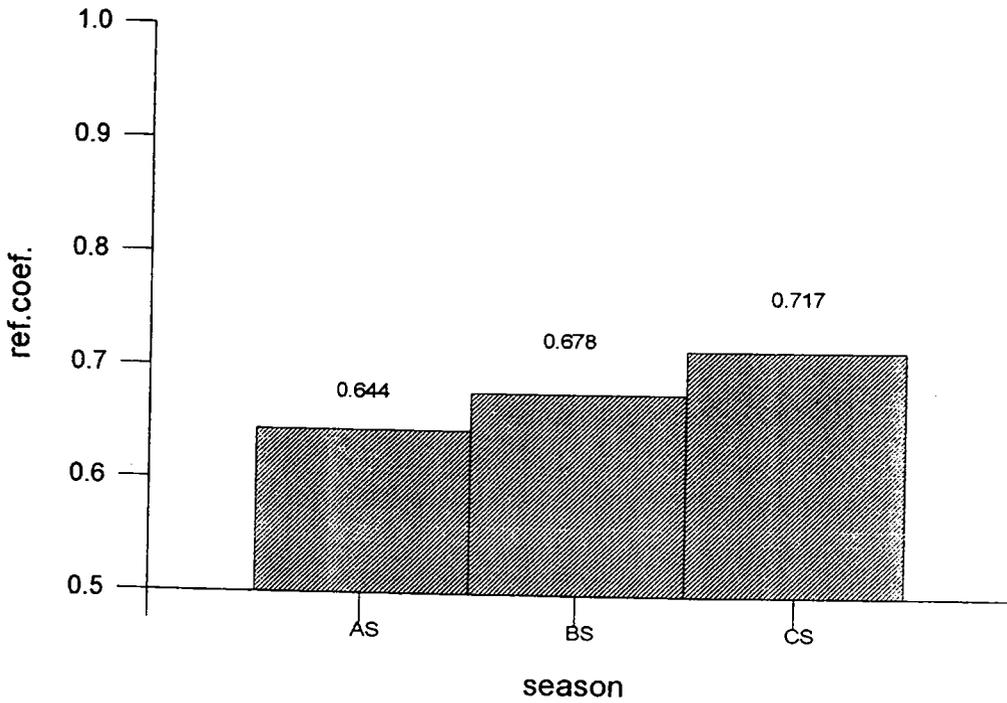


圖 24(b) 季節風條件下各佈置反射率比較圖

tcof1.grf

3-5 沉箱振動與位移

圖 25 為傳統胸牆的沉箱在颱風條件作用下，沉箱在沿波浪作用方向上之位移頻譜，由頻譜形狀上可得知頻譜為雙峰型頻譜，而其第一主頻在 0.4Hz 附近，第二主頻在 0.8Hz，第三主頻在 1.2Hz。此顯示各主頻有倍數關係存在，同時其第一主頻與波浪主頻相同，此即位移特性由波浪激發而沒有非線性的第二模態和第三模態出現。圖 26 為反置胸牆的沉箱之位移頻譜圖，由圖中亦有三個主頻出現，其分佈形狀和傳統胸牆相似，此即說明在堤面受力差異不是很大的情況下，其沉箱受波力作用而產生的傾覆變位亦相似，其位移值很小不致造成沉箱的傾覆（轉動）變位，圖 27 為沉箱振動的加速度頻譜，由此頻譜之主要能量集中在 25Hz 到 30Hz 之間，由於模型製作完全依實體製作，此振動頻率高於波浪頻率甚多，此即由波浪作用所激發的結構振動頻率。

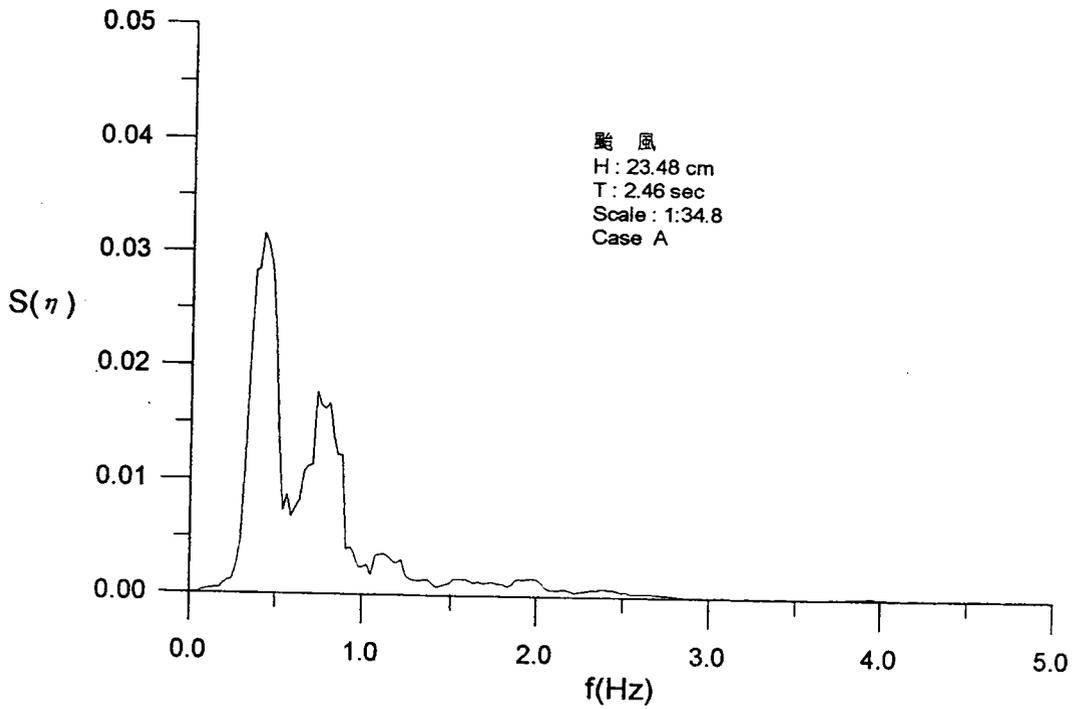


圖 25 傳統胸牆沉箱位移頻譜圖(颱風條件)

at002.grf-vib

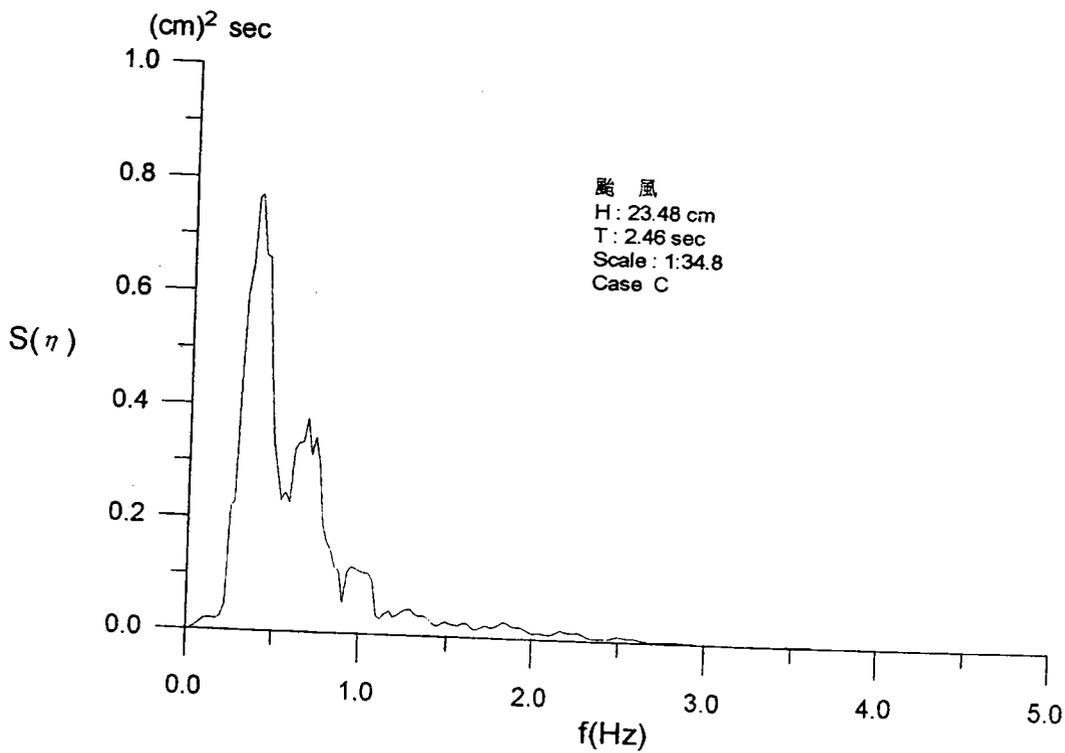


圖 26 反置胸牆沉箱位移頻譜圖(颱風條件)

ct001.grf-vib

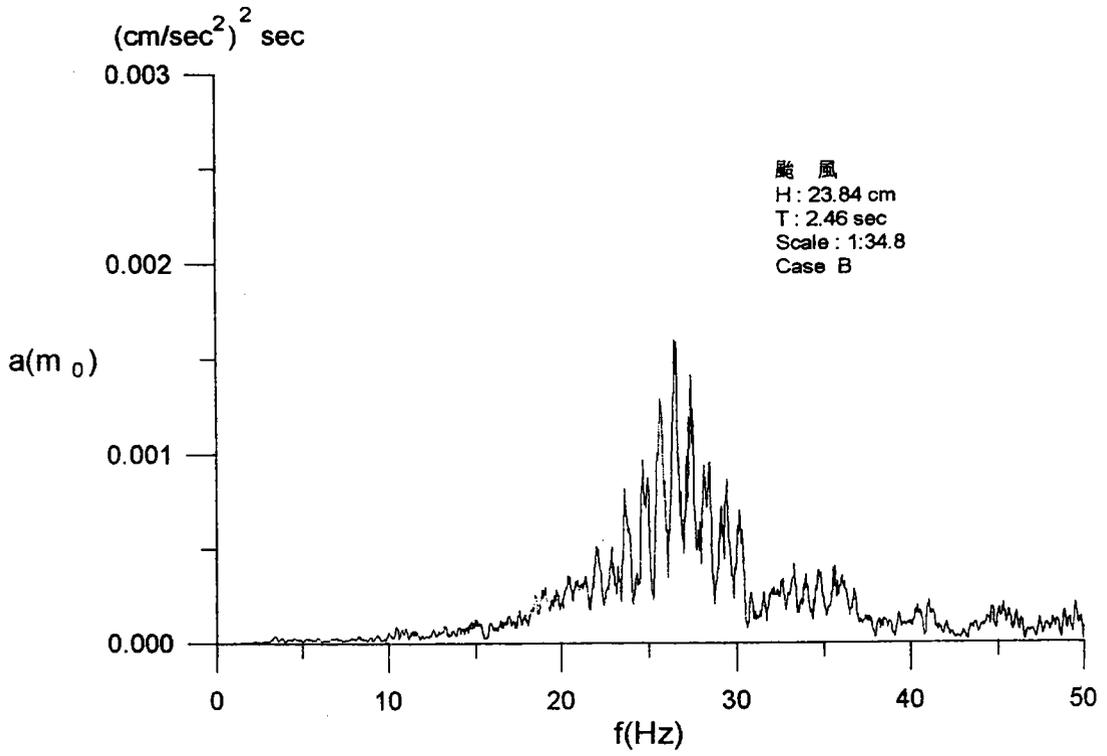


圖 27 反置胸牆沉箱加速度頻譜圖(颱風條件)

bt001.grf-vib

3-6 堤前波速

圖 28 至圖 30 為不同佈置颱風條件下堤腳前底床上 5 公分處之速度頻譜，由三個頻譜中可明顯發現僅有 X 方向有速度值而在 Y、Z 方向幾乎沒有流速出現，X 方向即為波浪前進方向，而此三頻譜之主頻僅有一個皆在 0.4Hz 左右與波浪頻率相同，此即波浪受底床影響很小。圖 33(a)為波速頻譜之能量在颱風條件下不同佈置之比較圖，圖 33(b)為在主頻下之能量比較圖，由此二圖可發現佈置 C 的反置胸牆流速之堤腳前流速最小，傳統胸牆之佈置 A 為最大，由地形變化的比較說明中亦顯示在傳統胸牆沉箱前地形變化較反置胸牆沉箱的佈置 C 的地形變化量為大。圖 31 和圖 32 為季節風條件時反置胸牆沉箱之速度頻譜，此二圖即出現了 Y 方向之流速，即上下運動速度，此即說明在低水位時波浪受堤腳附近之影響消能較大，水位較低而出現底床對流速些微之影響，但其主頻有偏向低頻之現象此或許為調整地形之能量。

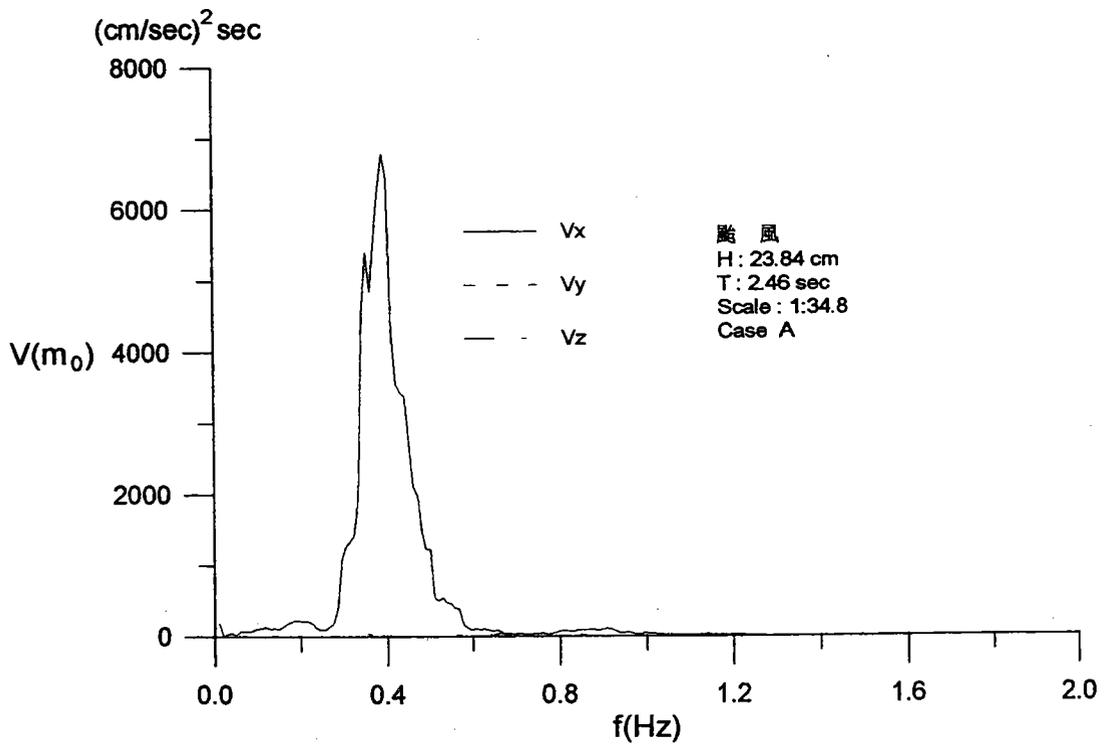


圖 28 速度頻譜圖

AT-7.grf

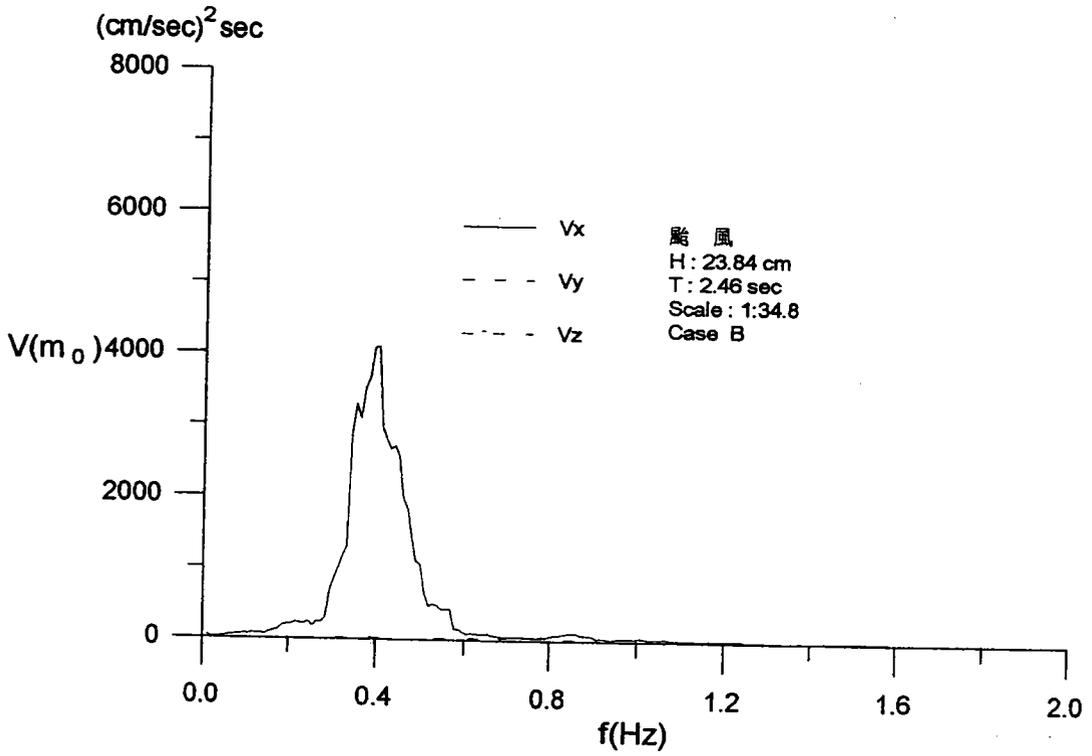


圖 29 速度頻譜圖

Bt001.grf

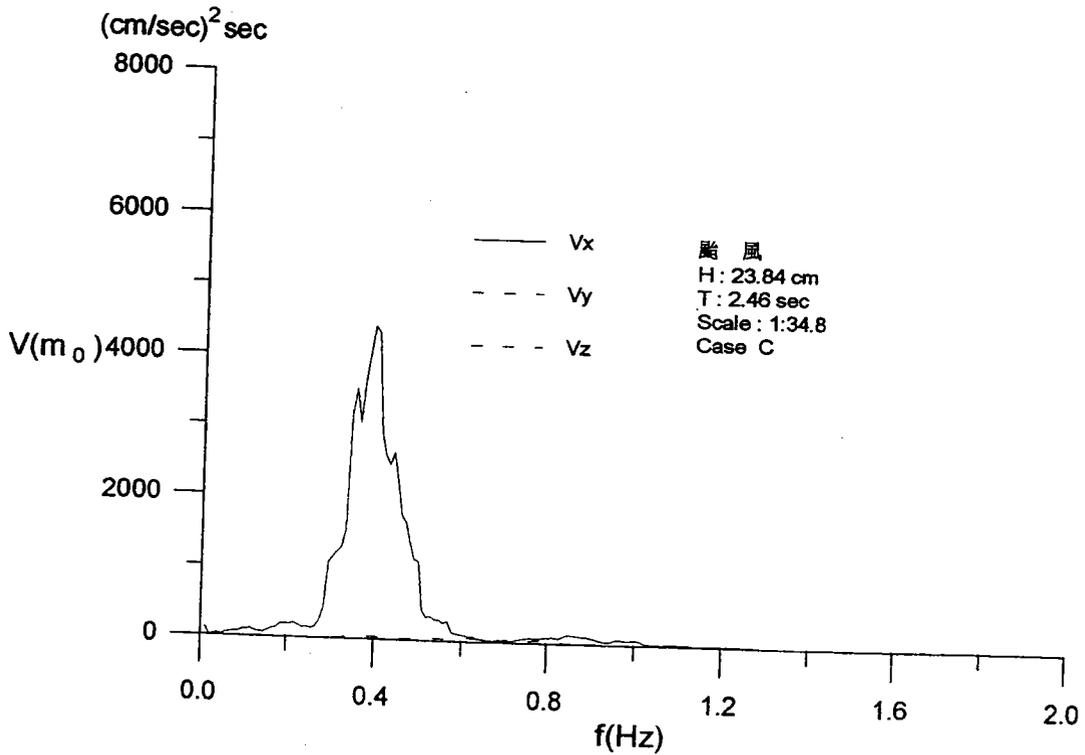


圖 30 速度頻譜圖

Ct001.grf

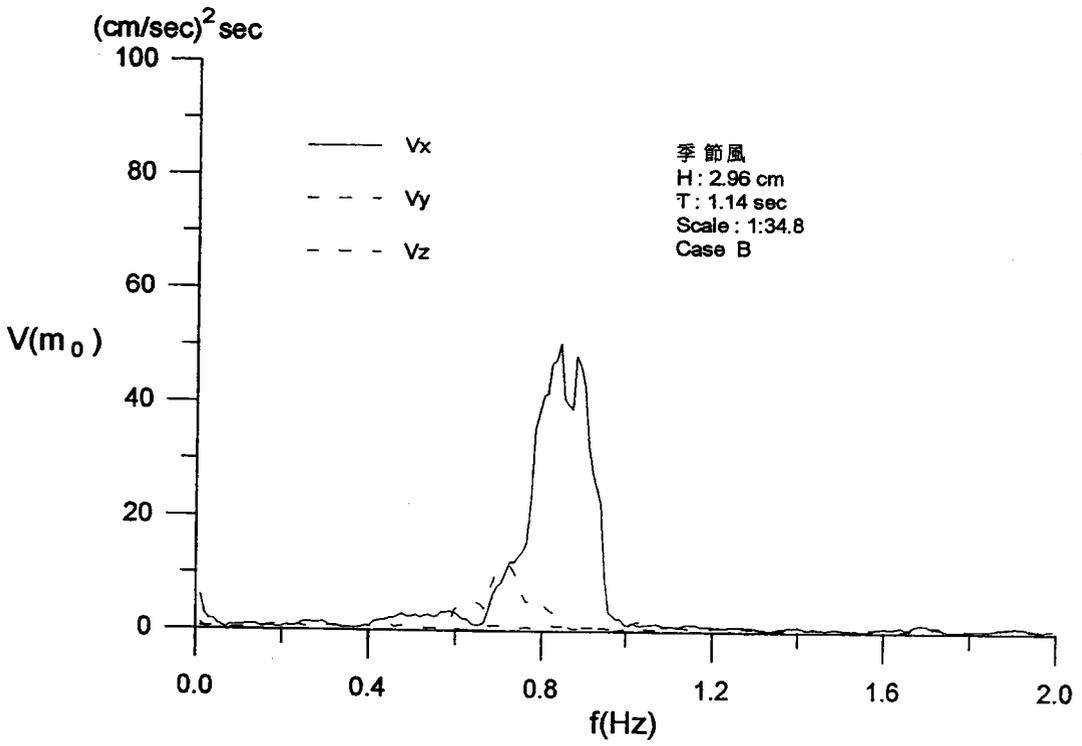


圖 31 速度頻譜圖

bs01.grf

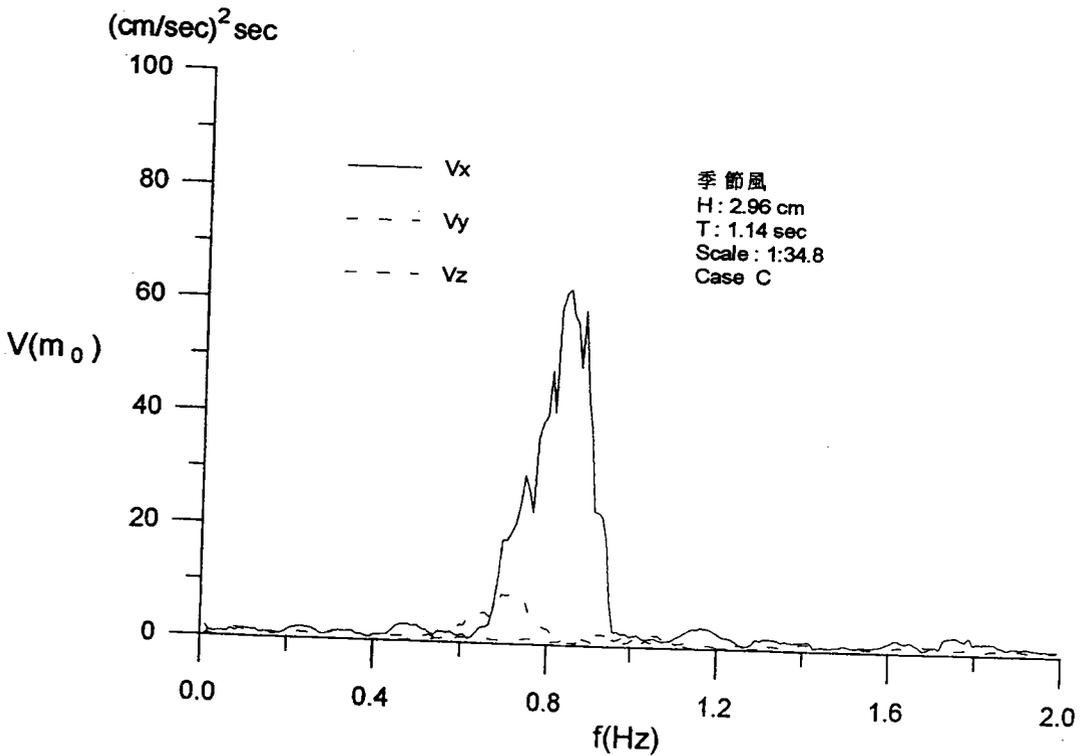


圖 32 速度頻譜圖

CS004.grf

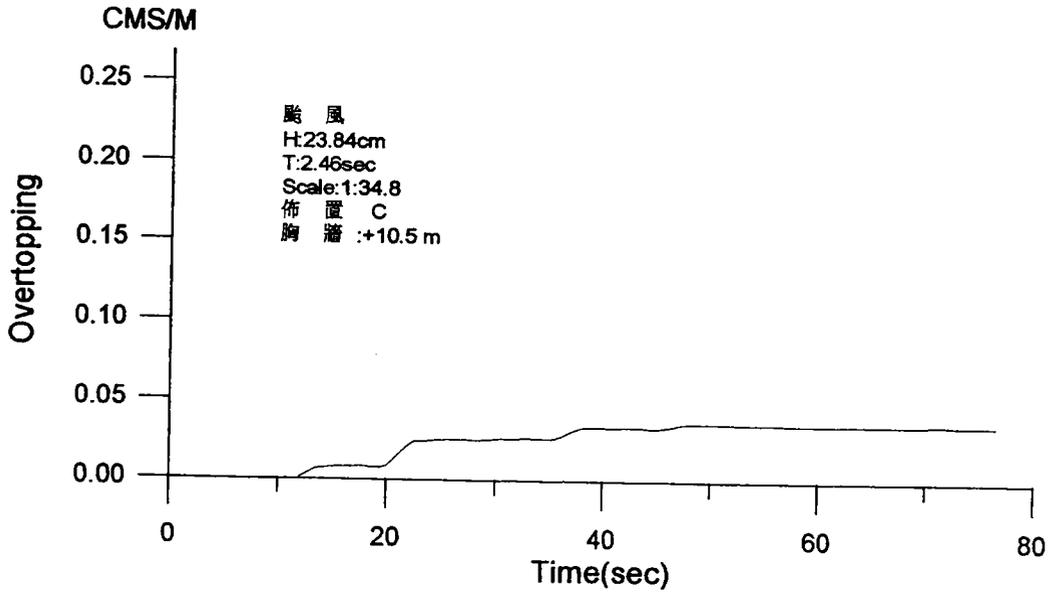


圖 43 越波量累積歷程圖

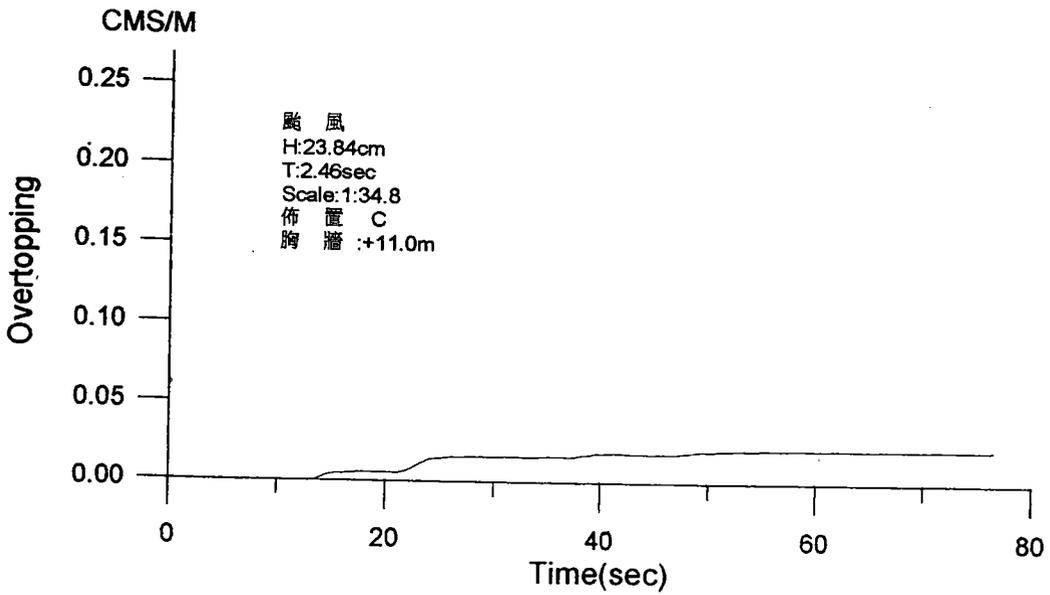


圖 44 越波量累積歷程圖

ct105110.grf

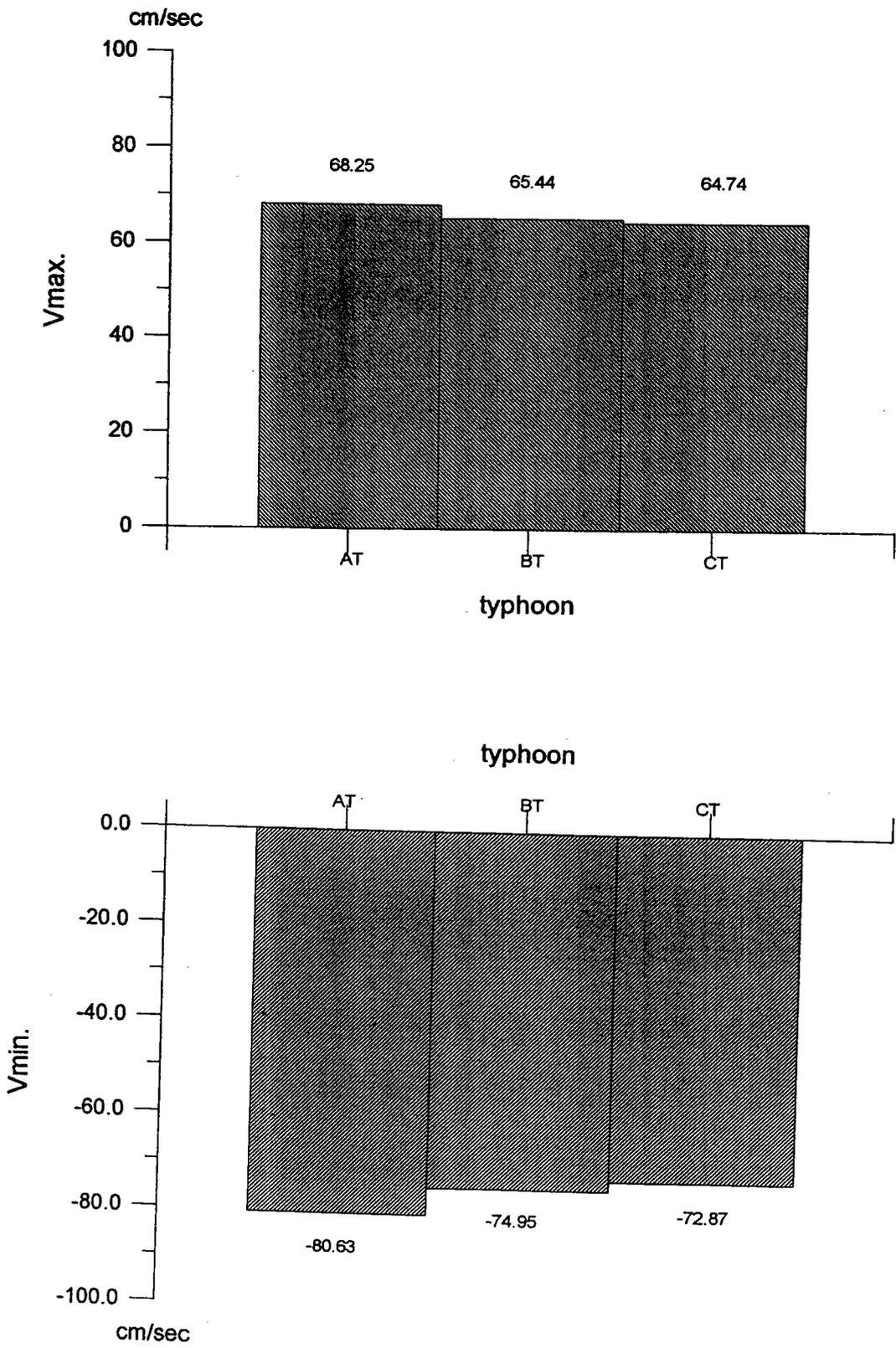


圖 34 颱風條件各佈置最大及最小波速比較圖

tvel.grf

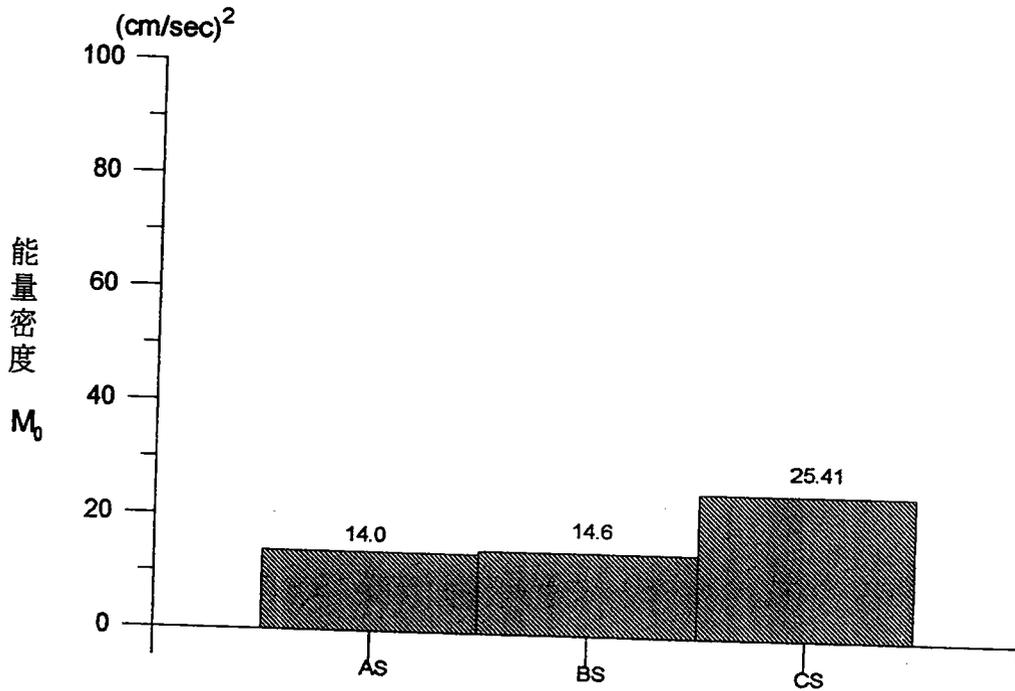


圖 35(a) 季節風條件下各種佈置頻譜能量比較圖

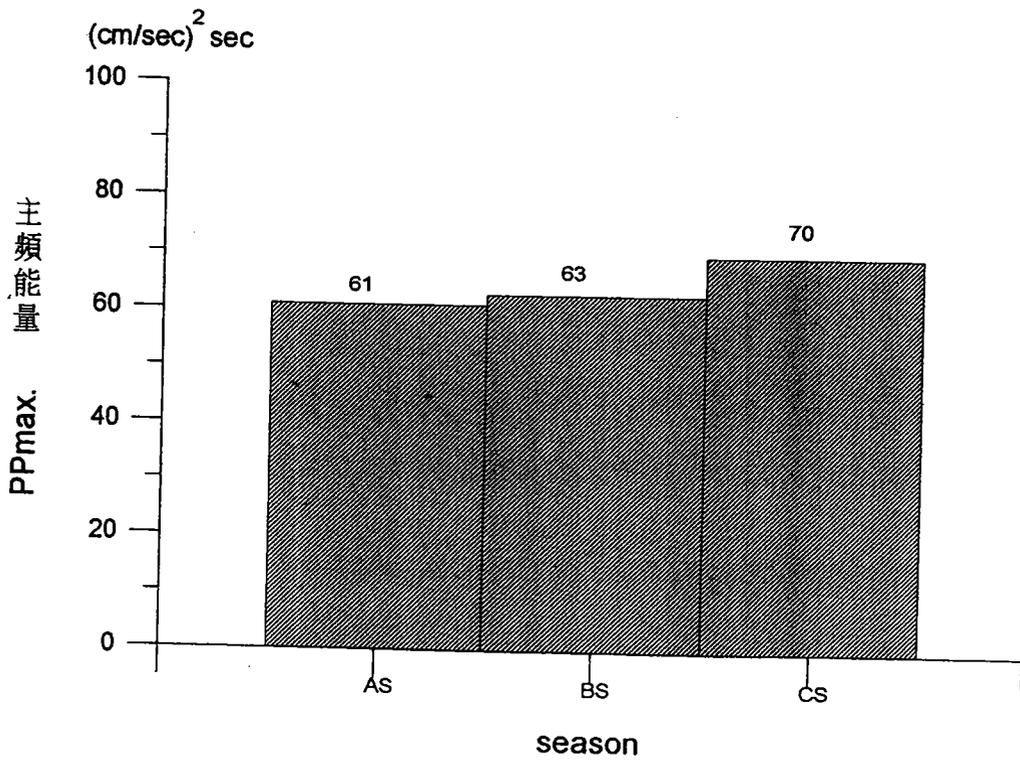


圖 35(b) 季節風條件下各種佈置主頻能量比較圖

smp.grf

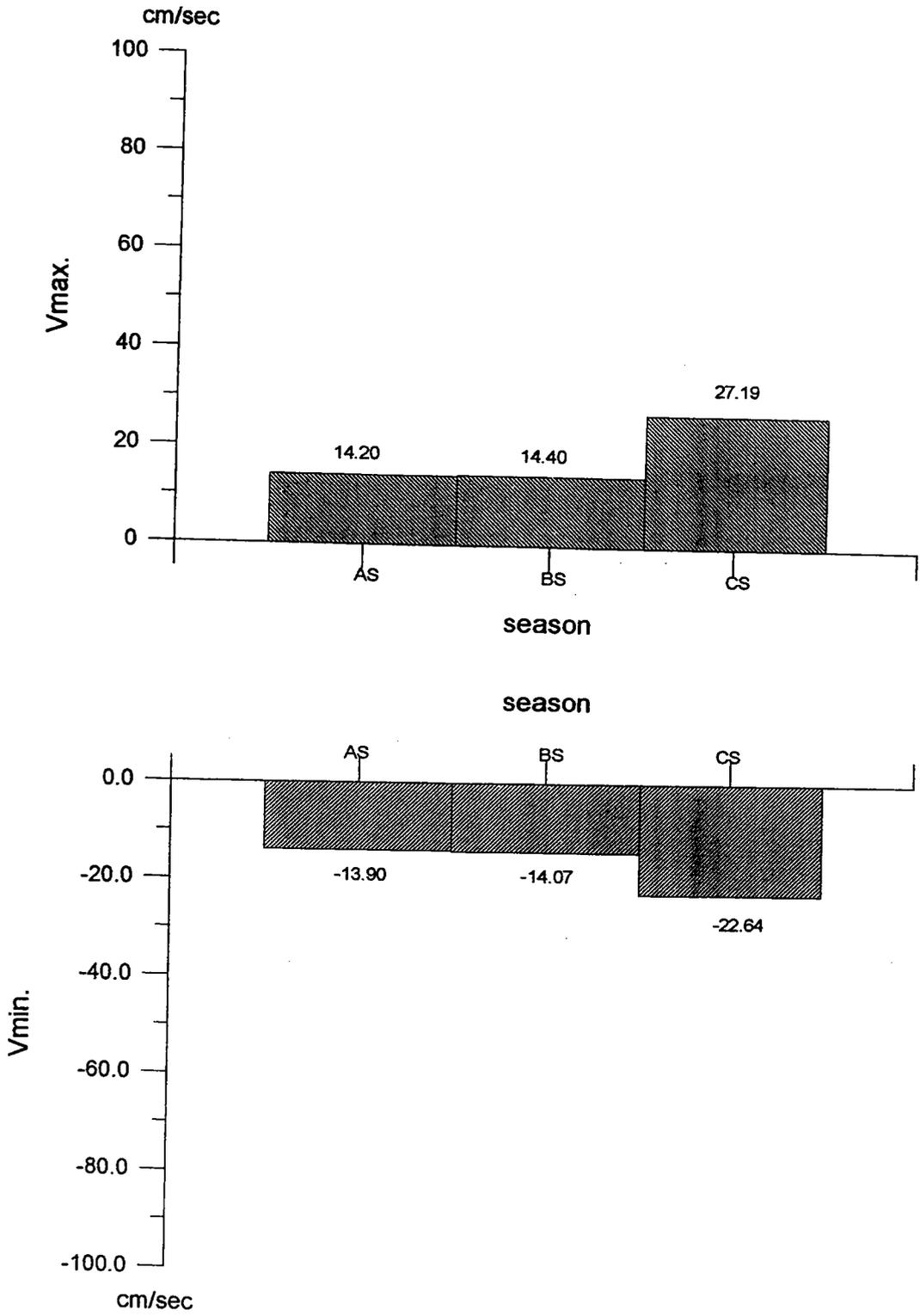


圖 36 季節風條件各佈置最大及最小波速比較圖

svel.grf

3-7 越波量

圖 37 至圖 39 為不同佈置之主越波量累積歷程圖，由於本試驗在每一佈置試驗時皆採各次試驗表示為圖中之細線，而其粗實線為各次實驗之平均結果。由其平面分佈再求出其每單位長度之平均越波流量。圖 40 為三種不同佈置在颱風條件下之單位長度平均越波流量之比較圖，由圖中可明顯得知實驗結果三種不同佈置皆會在颱風條件下發生越波，其越波量以傳統胸牆沉箱佈置 A 為最大，每單位寬度約有 0.229CMS，反置胸牆沉箱之佈置 B 為次之，其每單位寬度之越波流量為 0.149CMS，而以反置胸牆沉箱佈置 C 之單位寬度之 0.093CMS 為最小，由此顯示反置胸牆的作用有減低越波量之效果。

為瞭解在颱風條件下胸牆之高度與越波量之關係為何，本試驗再以逐漸加高胸牆的方式來取得其間之關係，圖 41 至圖 54 胸牆每增高 0.5 公尺做一次實驗，其越波量累積歷程圖即如圖 41 至圖 54 所示。圖 55 表示胸牆高度與單位寬度越波流量之關係圖，圖中之交叉號表實驗值，而粗實線為實驗迴歸曲線，其曲線之迴歸式表示如下：

$$\log(y) = B \cdot X + A$$

$$A = 10.8606$$

$$B = -0.892824$$

$$R \cdot \text{squared} = 0.992998$$

由以上迴歸曲線可取得胸牆之最適設計高度。

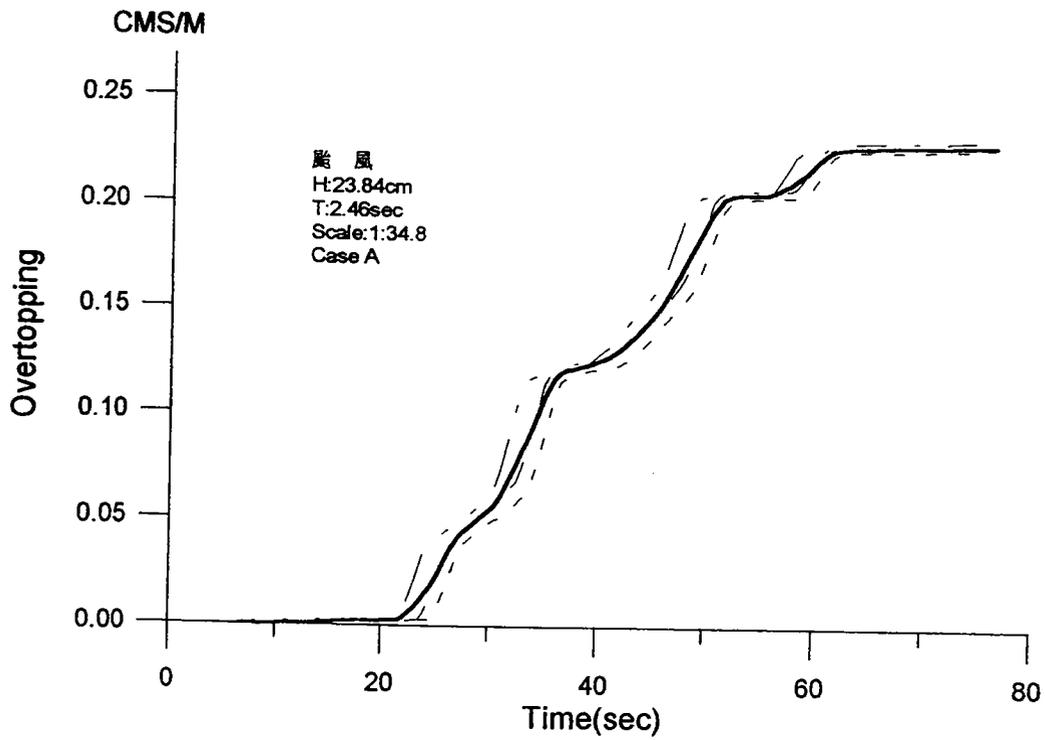


圖 37 越波量累積歷程圖

at000.grf

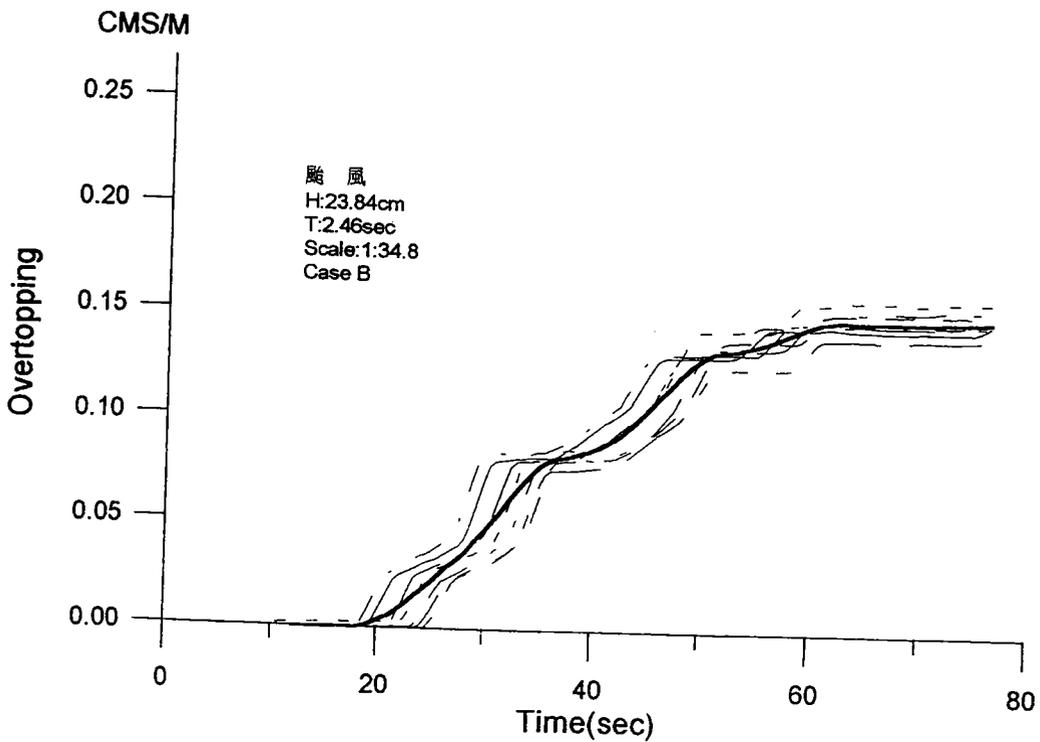


圖 38 越波量累積歷程圖

bt000.grf

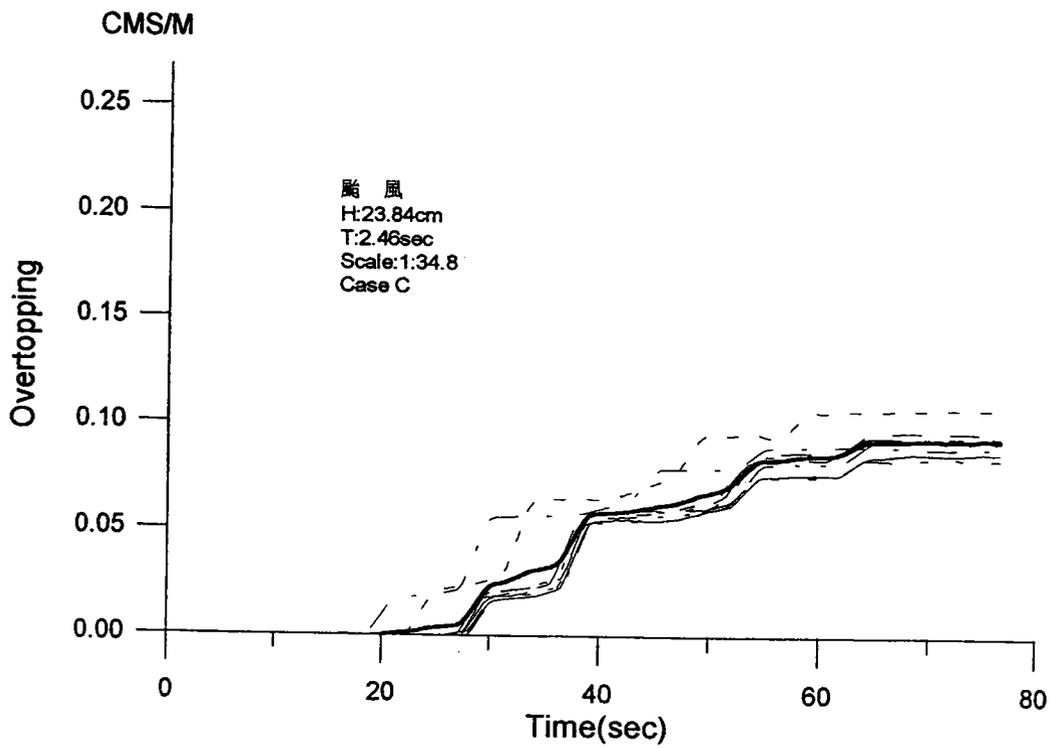


圖 39 越波量累積歷程圖

ct000.grf

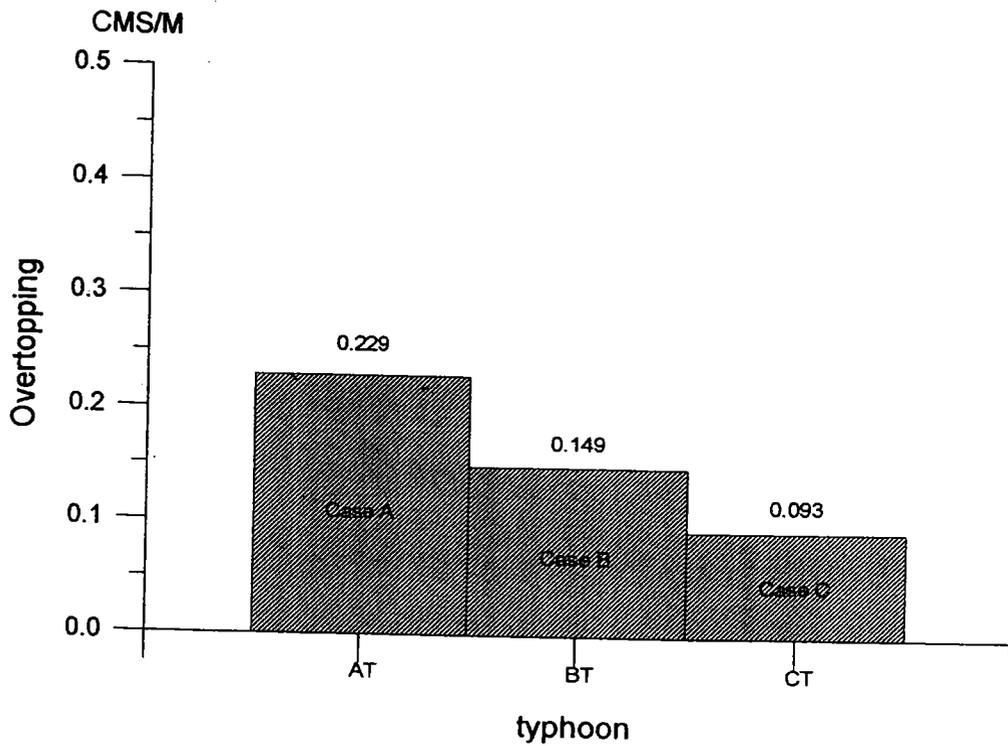


圖 40 各佈置每單位寬度平均越波量比較圖

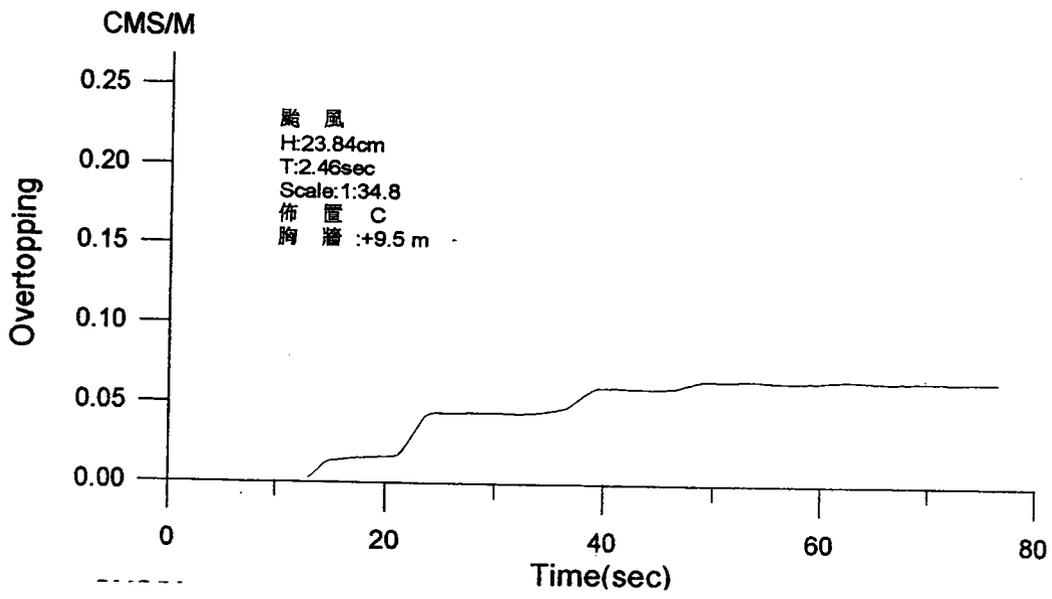


圖 41 越波量累積歷程圖

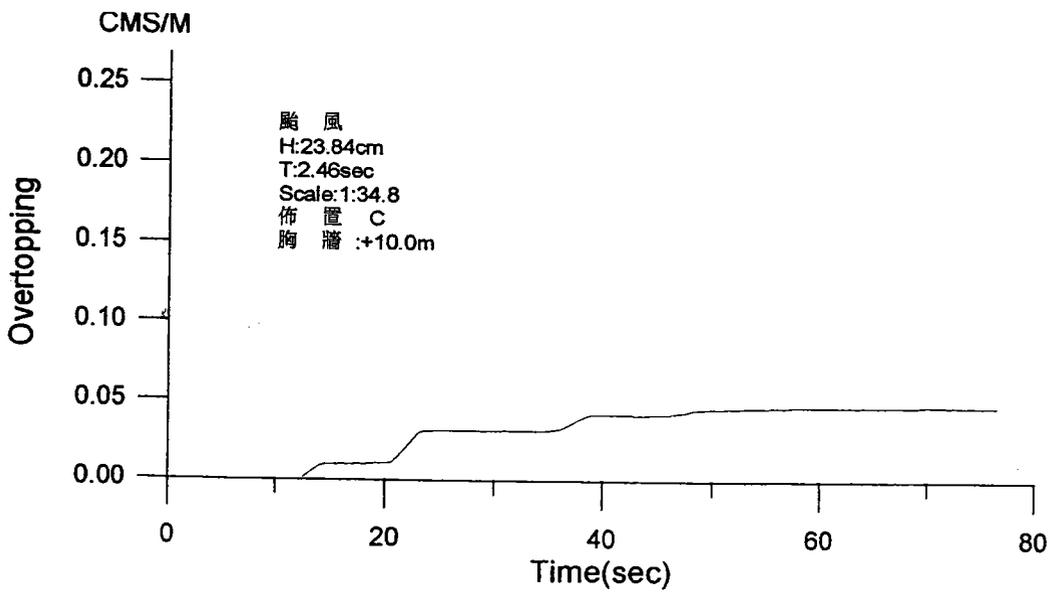


圖 42 越波量累積歷程圖

α095100.

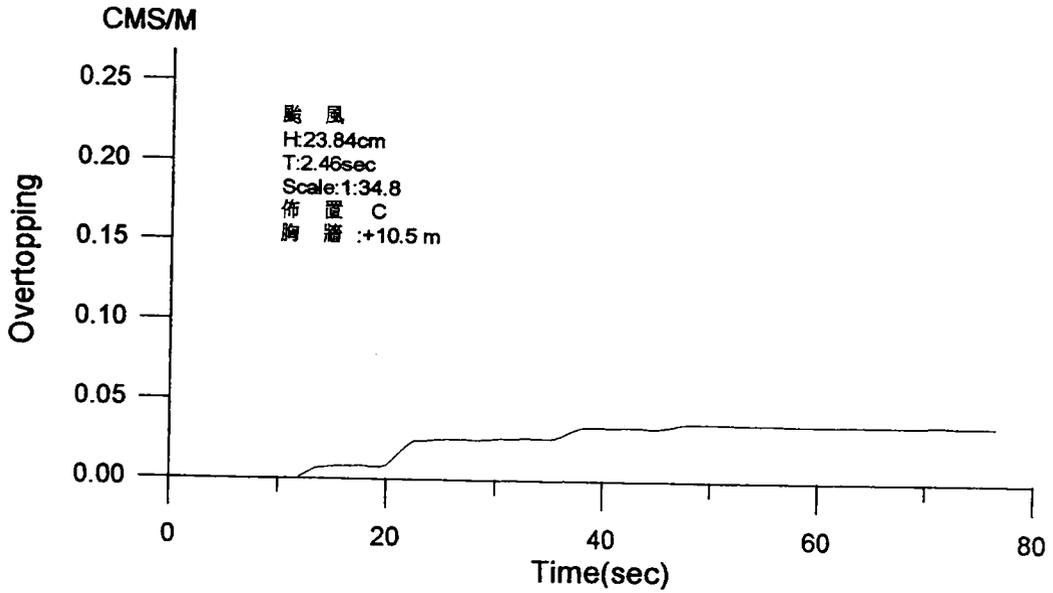


圖 43 越波量累積歷程圖

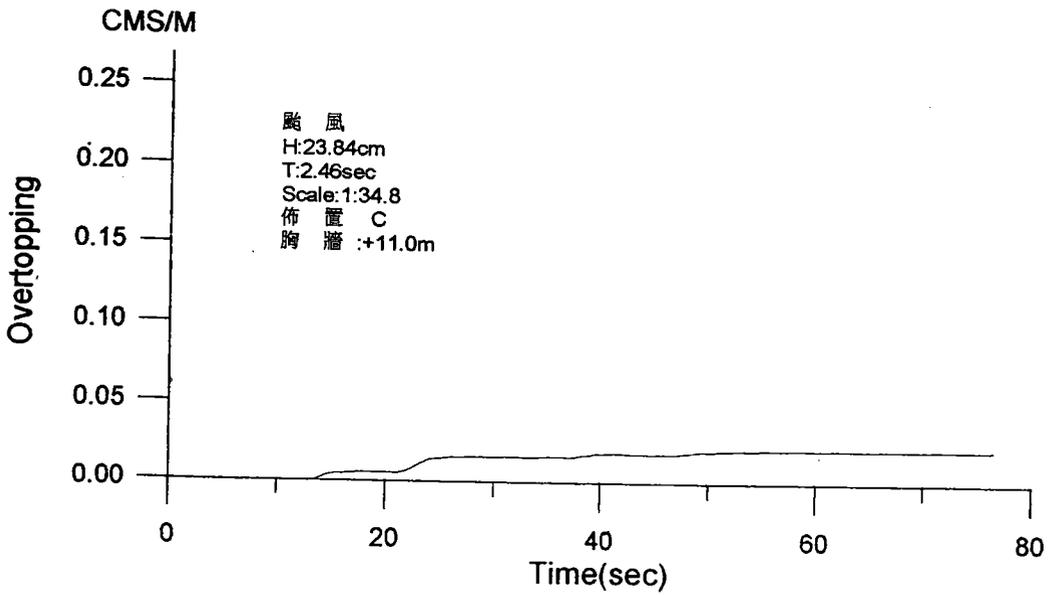


圖 44 越波量累積歷程圖

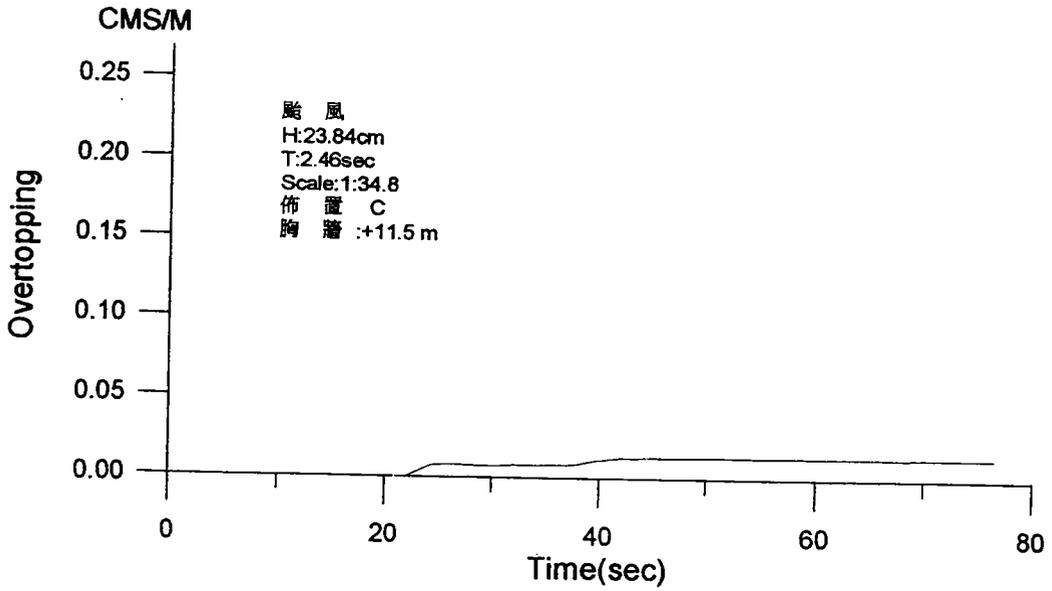


圖 45 越波量累積歷程圖

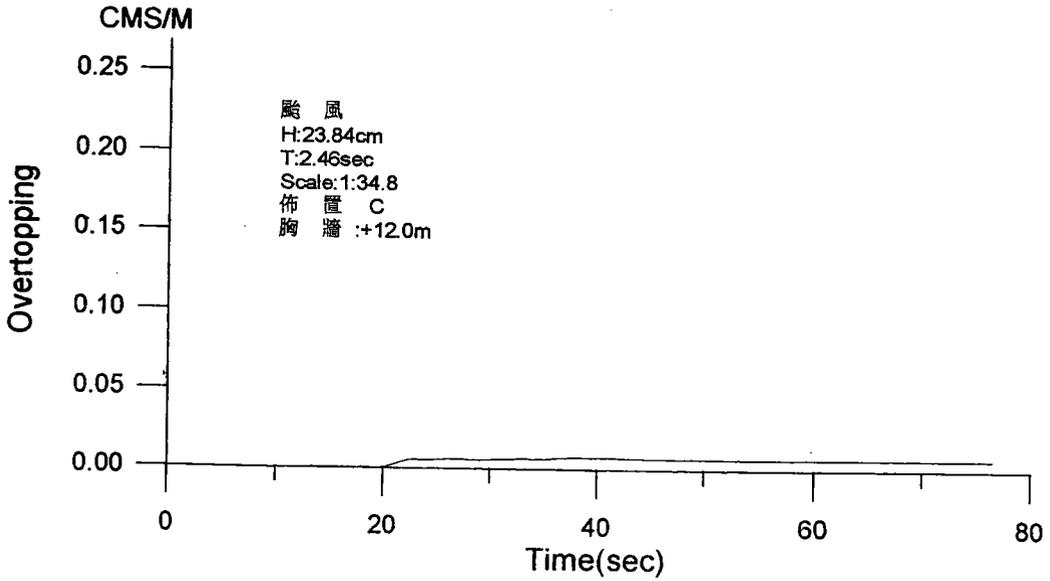


圖 46 越波量累積歷程圖

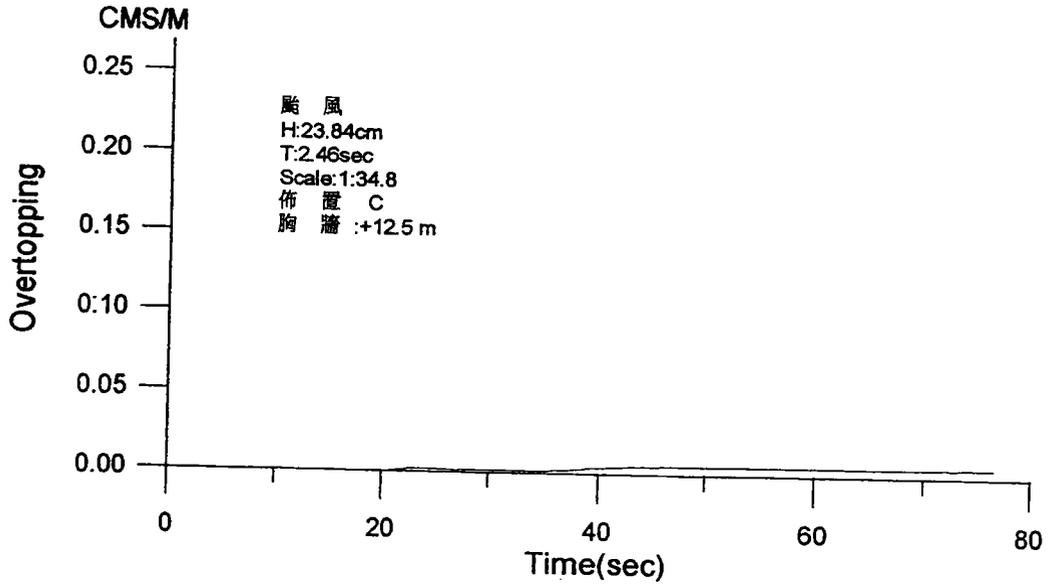


圖 47 越波量累積歷程圖

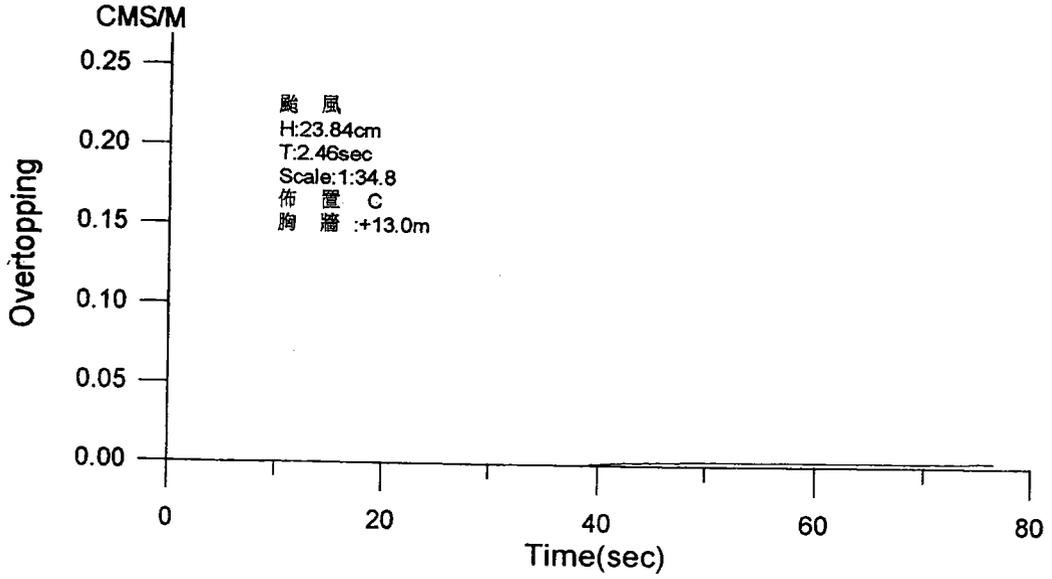


圖 48 越波量累積歷程圖

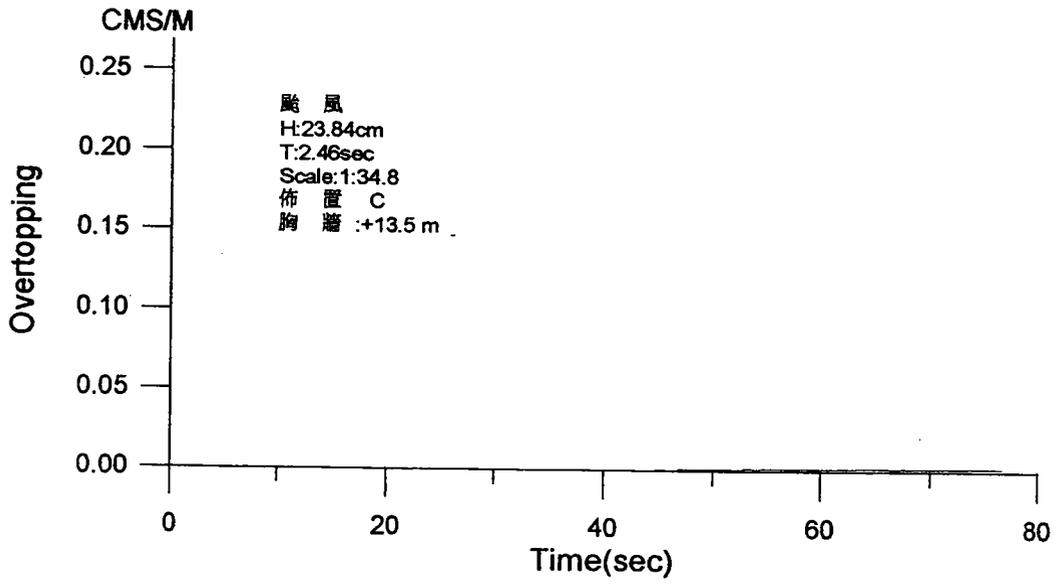


圖 49 越波量累積歷程圖

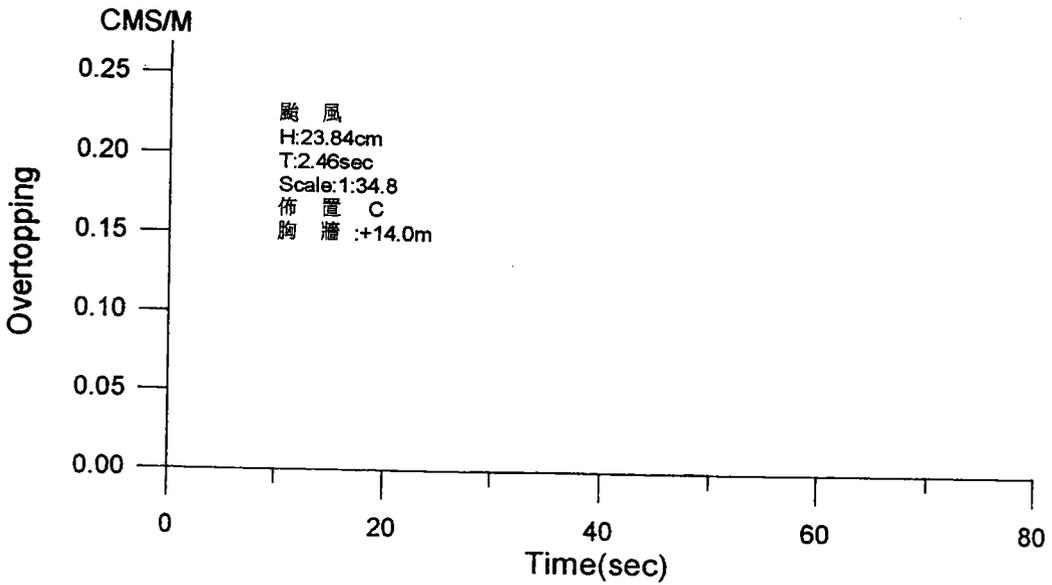


圖 50 越波量累積歷程圖

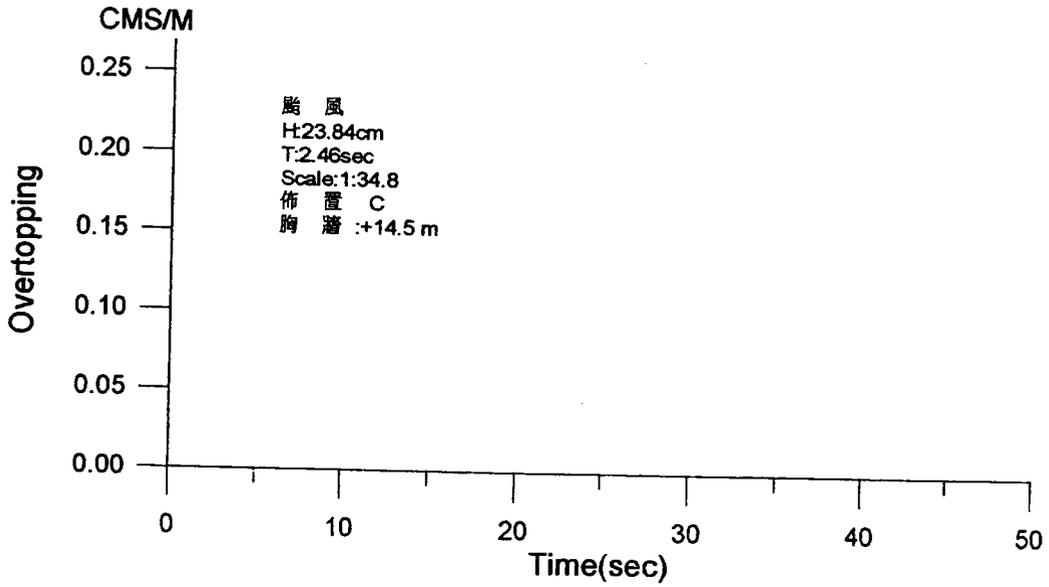


圖 51 越波量累積歷程圖

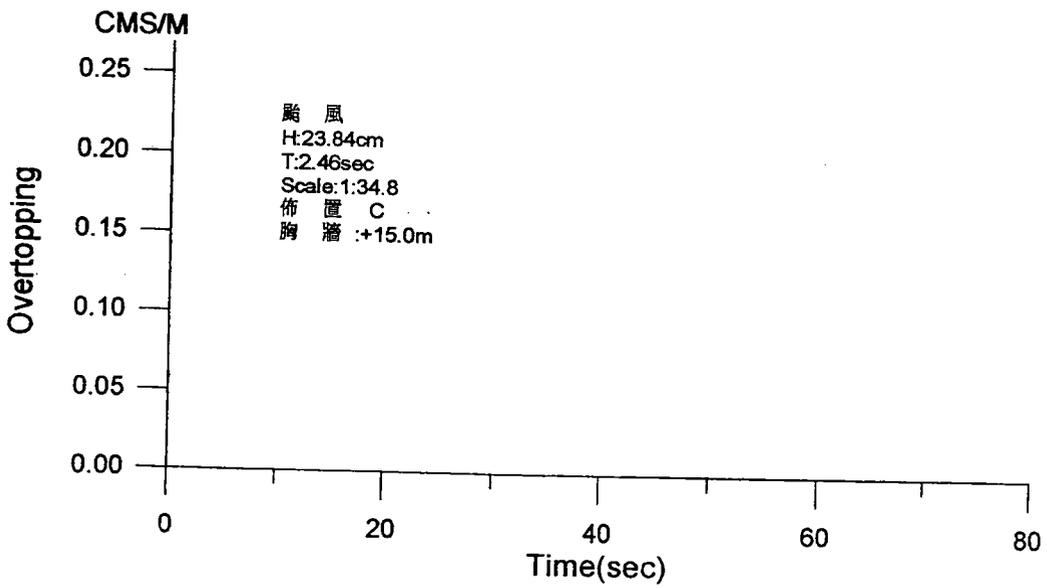


圖 52 越波量累積歷程圖

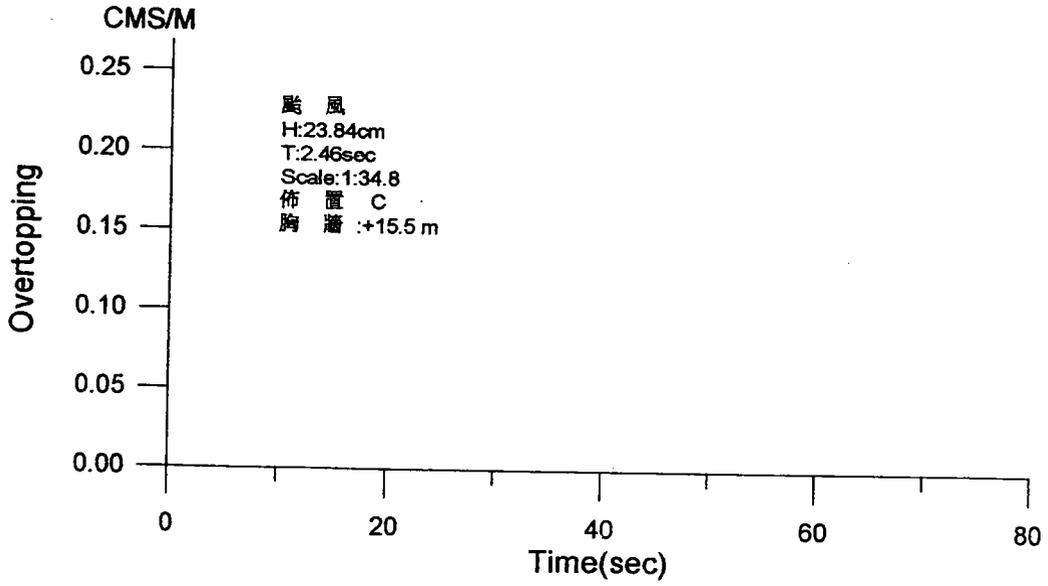


圖 53 越波量累積歷程圖

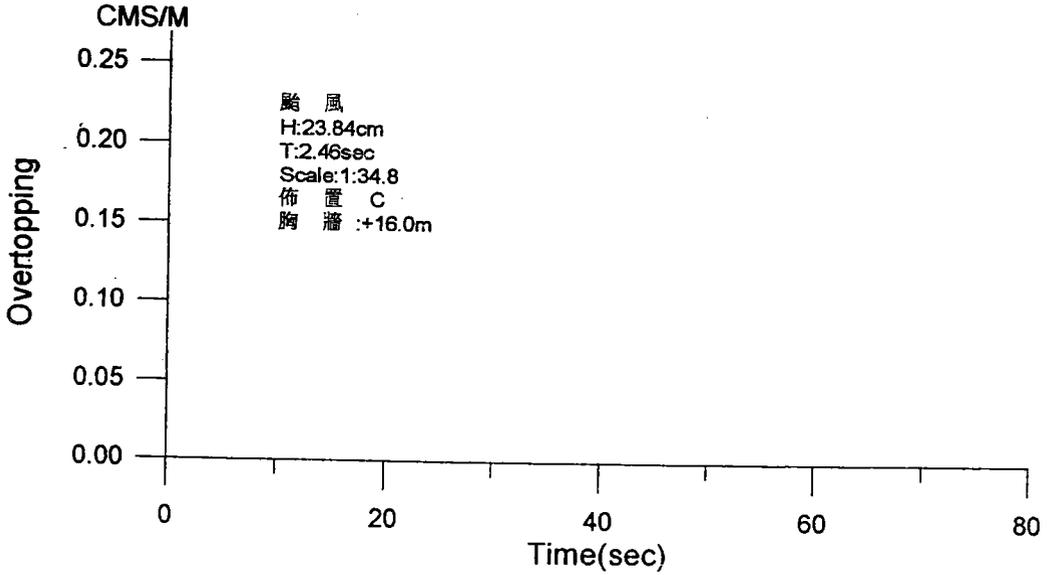


圖 54 越波量累積歷程圖

ct155160.grf

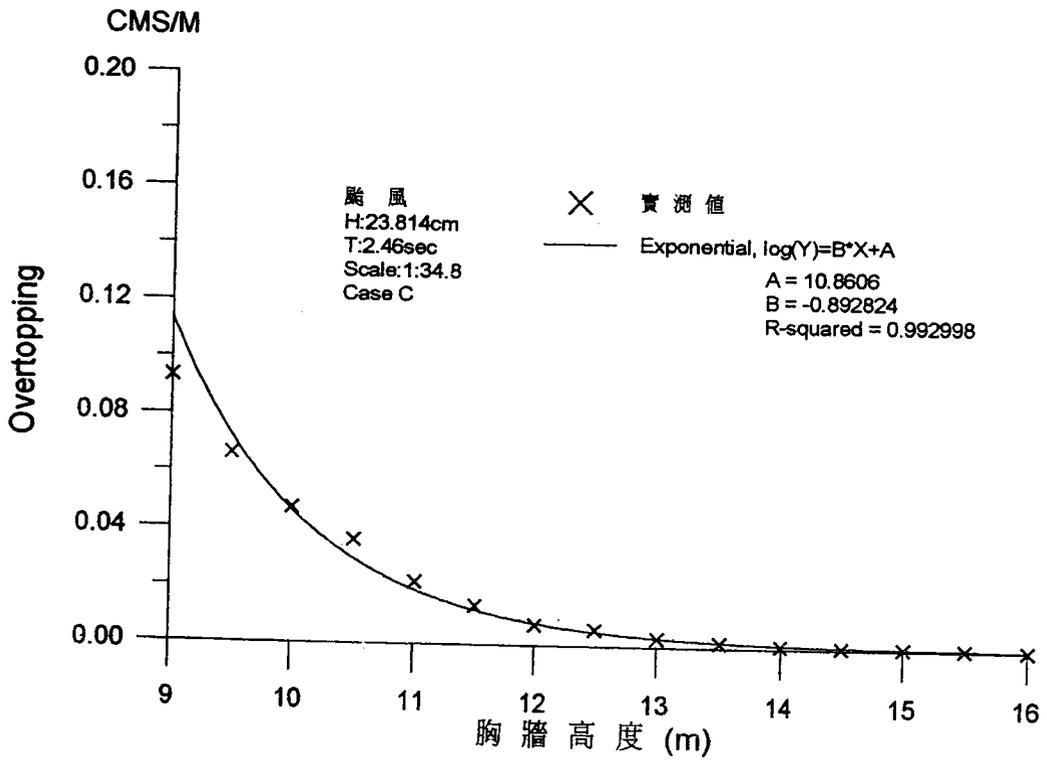


圖 55 胸牆高度與越波量關係圖

ct00.grf

肆、結論

經由實驗結果討論分析，得到以下結論。

- (一)壁面受力由颱風條件的實驗結果發現 Goda 公式計算結果皆大於實驗結果，其總受力實驗結果約為 Goda 計算結果的 70%左右，同等作用力之作用點皆往底床移，此即顯示結構物之抗傾覆力增加。
- (二)上揚力計算與實驗結果比較亦顯示計算值大於實驗值，但兩者較接近，同時其力之作用點亦相近。
- (三)越波量經實驗結果發現三種不同佈置皆會在颱風條件下發生越波，其越波量以傳統胸牆之越波量最大。每單位寬度約有 0.229cms 而以高程為+9m 之越波量 0.093cms/m 最小，此顯示反置胸牆的作用有減低越波量之效果。
- (四)反射率在長週期(颱風條件)時約在 0.87 至 0.92 之間，亦以傳統胸牆之 0.919 最高，反置胸牆之結果較低約在 0.87。在季節風之條件下其反射率約在 0.64 至 0.72 之間，以反置胸牆較高，此即說明在長週期時結構物吸能之能力較差，短週期時消能效果較好。
- (五)由於本沉箱斷面係採低基混成型式，因此堤趾水深較深，波浪作用沉箱反射後，對底床之影響較弱，僅有微小變動，對堤趾沖刷較不嚴重。
- (六)沉箱體在颱風或季節風條件下，皆沒有造成沉箱較大之振動或位移，此結構應屬安定。