

短峯波波壓特性試驗研究 (一) —作用無限長防波堤直立壁

黃 清 和

輔助機構：行政院國家科學委員會
(計畫編號：NSC76-0410-E124-01)

省政府交通處港灣技術研究所
海岸工程組 研究員

中華民國七十七年二月

短峯波波壓特性試驗研究(一)

計畫主持人：	黃	清	和	
助理研究人員：	曾	哲	茂	
	邱	永	芳	
助	理：	陳	明	宗
技	工：	蔡	金	吉
		陳	正	義
		蓋	美	嫻
		楊	怡	芸

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
符號說明	III
圖號說明	V
第一章 緒論	1
第二章 往昔學者之研究	4
第三章 理論分析	7
§ 3 - 1 作用於直立壁重複波之波壓	7
§ 3 - 2 短峯波數值理論	10
第四章 模型試驗	14
§ 4 - 1 試驗設備	14
§ 4 - 2 模型製作	14
§ 4 - 3 試驗步驟及試驗條件	17
§ 4 - 4 試驗數據資料分析	17
第五章 試驗分析結果及討論	25
§ 5 - 1 無限長直立堤沿堤面不同水深垂直波壓力分佈	25
§ 5 - 2 入射角 θ 對堤面垂直波壓力分佈影響	28
§ 5 - 3 短峯波波壓試驗值與理論值定性比較	30
§ 5 - 4 短峯波波壓試驗值與 Sainflou 公式計算值比較 ...	32
第六章 結論及建議	55
參考文獻	58

中文摘要

本文利用物理模型試驗，探討三維短峯波波浪系統作用在無限長防波堤壁面上，其垂直波壓力分佈特性，試驗結果除與其他學者理論數值解以及 Sainflou 波壓公式作一定性比較外，作者發現(1)相同入射波浪條件，沿堤面水平方向每個斷面處最大垂直波壓力分佈均相同，(2)相同波浪條件，當波浪採斜向入射時，垂直波壓力分佈均較駐波為大，最大波壓力均發生在水面下且相對水深較深時，波浪尖銳度大於 0.05 時，其分佈將產生二個 peak 現象。(3)相對水深比值小於 0.155， H/d 比值大於 0.344 者，最大離岸波壓力（波谷時）將大於向岸波壓力（波峯時）。(4)相同波浪條件，相對水深較深（ $d/L = 0.281$ ）波浪尖銳度小於 0.0747 者，垂直波壓力分佈大小依次為 60° ， 45° ， 0° 及 90° ；惟相對水深較淺（ $d/L = 0.100$ ），波浪尖銳度小於 0.0747 者以 $\theta = 45^\circ$ 時為最大，依次為 30° ， 60° ， 0° 及 90° 等，而波浪尖銳度大於 0.0747 者，以 $\theta = 30^\circ$ 時為最大，依次為 45° ， 60° ， 0° 及 90° 等。

關鍵詞：短峯波、相對水深、波浪尖銳度

ABSTRACT

Experimental wave pressure characteristics of an infinitely long breakwater is being undertaken on the short-crested waves produced by obliquely reflecting waves from a rigid vertical wall in this study. Qualitative comparisons with theoretical solutions and Saint Venant's formulae are discussed also. Results indicate (1) the distribution of the vertical wave pressure is all the same at any sections along the horizontal breakwater (2) the wave pressure of the breakwater under short-crested wave system is greater than the one due to standing wave if the incident wave conditions are the same (3) the greatest offshore wave pressure effecting on the breakwater will be greater than the onshore one when the relative depth is less than 0.155 and the ratio of H/d is greater than 0.344 and (4) the relationships between incident angles and the relative depth, wave steepness for the distribution of vertical wave pressure.

Key words: Short-crested wave; relative depth; wave steepness.

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線之夾角修正值。
- L : 水深 h 處之波長。
- C_s : 短峯波波速。
- 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 : 壁面有波峯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_0 : 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 方向上之速度份量。
- c : Bernoulli 常數。
- g : 重力加速度。
- k : 入射波之波數。

k_x, k_z : 分別爲 X, Z 方向上之波數。

η : 水位變化。

p, q : 無因次速度在 x 向與 y 向速度之比例。

圖號說明

- 圖 1 - 1 波壓力方向修正說明圖
- 圖 1 - 2 短峯波立體圖及平面座標示意圖
- 圖 3 - 1 重複波之波壓
- 圖 3 - 2 Sainflou 波壓計算圖表(a) : $T \sim h \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 3 - 3 Sainflou 波壓計算圖表(b) : $S_0/H \sim H/h \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 3 - 4 Sainflou 波壓計算圖表(c) : $\frac{P_1}{\omega_0 H} \sim H/h \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 3 - 5 Sainflou 波壓計算圖表(d) : $p_2/\omega_0 H \sim h/L$ 關係曲線
- 圖 3 - 6 短峯波座標示意圖
- 圖 4 - 1 短峯波試驗佈置配置圖
- 圖 4 - 2 PC 實驗室資料處理系統流程圖
- 圖 5 - 1 (a)~(c)不同位置水深波壓、波形實測記錄圖
- 圖 5 - 2 $X = 0, \frac{1}{8}L_x, \frac{2}{8}L_x, \frac{3}{8}L_x, \frac{4}{8}L_x$ 波壓選取定義圖
- 圖 5 - 3 入射角 $\theta = 0^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖
- 圖 5 - 4 入射角 $\theta = 30^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖
- 圖 5 - 5 入射角 $\theta = 45^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖
- 圖 5 - 6 入射角 $\theta = 60^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖
- 圖 5 - 7 入射角 $\theta = 90^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖
- 圖 5 - 8 入射角度 θ 與堤面垂直波壓力分佈關係圖 ($d/L = 0.281$)
- 圖 5 - 9 入射角度 θ 與堤面垂直波壓力分佈關係圖 ($d/L = 0.195$)
- 圖 5 - 10 入射角度 θ 與堤面垂直波壓力分佈關係圖 ($d/L = 0.1505$)
- 圖 5 - 11 入射角度 θ 與堤面垂直波壓力分佈關係圖 ($d/L = 0.1001$)
- 圖 5 - 12 不同位置標準化後無因次波壓力垂直分佈理論值
- 圖 5 - 13 波壓試驗值 ($\theta = 0^\circ$) 與 Sainflou 波壓公式計算值比較圖
- 照片 4 - 1 波壓計裝置盒

照片 4 - 2 波壓計

表 4 - 1 試驗波浪條件

第一章 緒 論

波力 (wave force) 係海岸結構物所受主要外力之一，舉凡各種構造物在設計時，均需計算波力，俾使結構物重量足以克服波力而免遭破壞；波力依作用方向與構造物關係可區分為(1)作用實體表面法線方向之波壓力 (wave pressure) 以及(2)作用結構物底面垂直方向上之揚壓力 (uplift wave pressure) 等，而結構物重量設計則必需能完全承受波壓力作用方能保持安定。目前結構物因設置水深不同，波浪在到達堤前可能係重複波 (standing wave)、碎波 (breaking wave) 或已碎波，故依其性質，波壓力亦分為重複波壓力、碎波波壓力及碎波後波壓力等三種，設計時有關該三種波壓力計算式均假設波浪與防波堤方向垂直計算，而當波向與結構物堤線垂直方向不一致而成 θ 方向之偏角入射時，如圖 1 - 1 所示，則動壓部份係以下式修正，靜壓部份之波壓則不修正。

$$p' = \frac{p \cos \beta}{\left(\frac{1}{\cos \beta} \right)} = p \cdot \cos^2 \beta \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

$$\beta = \theta - 15^\circ$$

其中 p' = 修正後之重複波、碎波或碎波後波壓力

p = 與堤線垂直方向入射時之重複波、碎波或碎波後動壓力

θ = 波浪主方向與堤線垂直線之夾角

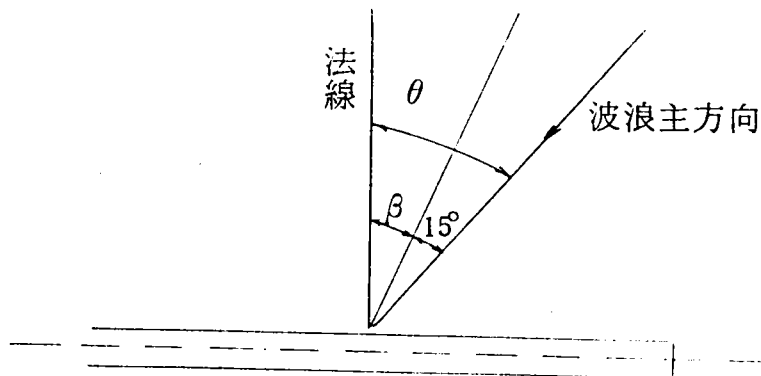


圖 1 - 1 波壓力方向修正說明圖

由於波浪方向可能在主波向平均 15° 範圍內變動，故取較危險之情況以 $(\theta - 15^\circ)$ 計算，顯然動壓修正後較垂直入射時為小；惟事實上，外海湧浪遭遇直立式防波堤或導流堤的反射後，於堤前將形成所謂短峯波 (short-crested wave) 波浪系統，並沿著堤向前傳遞，該種三維空間波浪系統不僅較傳統二維前進波 (progressive wave) 具有更複雜之自由表面形狀，即短峯波不僅是種前進波，其波形除在波浪前進方向具有週期性變化外，尚且在水面上垂直波動前進方向亦有週期性的變化如圖 1 - 2

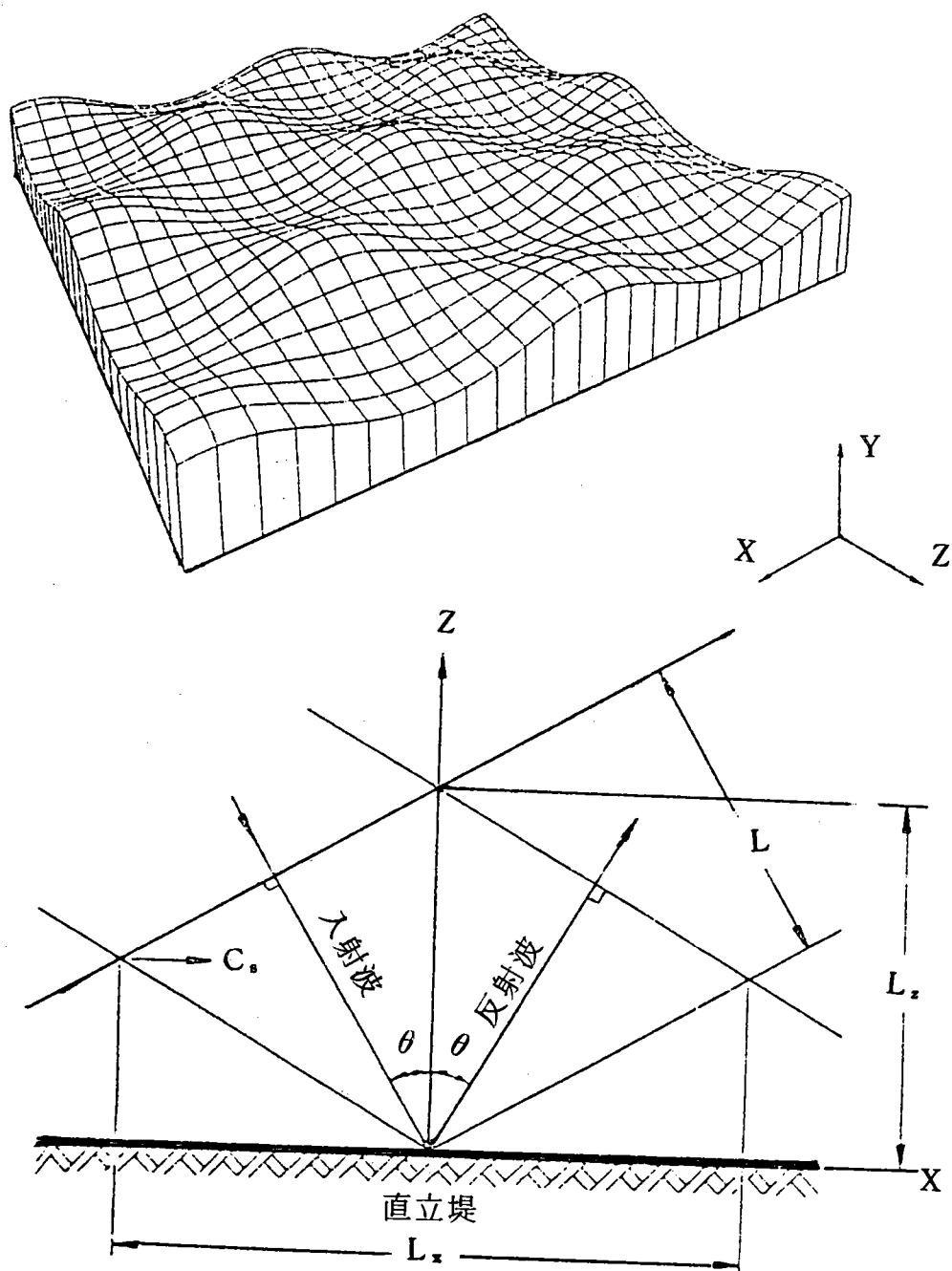


圖 1 - 2 短峯波立體圖及平面座標示意圖

短峯波立體及平面座標示意圖所示；而且根據Fuchs⁽¹⁾(1952)，Chaplear⁽²⁾(1961)，Tanaka⁽³⁾(1972)，Silvester⁽⁴⁾(1972)，許榮中⁽⁵⁾(1980)，Bryant⁽⁶⁾(1982)，Battjes⁽⁷⁾(1972)，Halliwell⁽⁸⁾(1982)，Roberts⁽⁹⁾A.J.(1983)，吳啓東⁽¹⁰⁾(1983)，林銘崇教授等⁽¹¹⁾⁽¹²⁾(1985,1986)等，對有關短峯波一連串試驗及高階解研究結果，發現該種波浪系統所形成峯窄谷寬之非線性現象，其高階水拉子運動及波壓等基本特性顯然異於行進波，較顯著者，如Battjes⁽⁷⁾和Silvester⁽⁴⁾等之報告中均曾指出斜向入射波浪比正射入射波浪對結構物產生較大作用力且最大向岸作用力(onshore force)並非經常發生在波峯時，尤有甚者，在波谷時亦有可能產生比向岸作用力為大之離岸力(offshore force)，同時最大波(highest wave)並不意謂即產生最大之波力；而波壓方面，林銘崇教授所獲致結論認為在某種水深以上時，當波浪入射角為 15° 時之短峯波波壓略大於駐立波波壓等，然該些結論皆僅限於理論解，並無試驗數據之證明，故本專題研究乃在國科會研究專題補助(NSC 76-0410-E124-01)下，藉水工模型試驗，在本所 $60\text{m} \times 45\text{m} \times 1\text{m}$ 之大型平面水槽中建一長為 20m 高為 1m 之直立堤，於定水深 $d = 50$ 公分條件下，利用直立堤的反射作用，使反射波與入射波在堤前交會形成所謂短峯波系統，俾研究不同波浪入射角 θ ，入射波波高 H 及週期 T 於未碎波前作用在垂直壁面上其垂直及水平方向波壓力分佈特性，作為爾後防波堤規劃設計之參考。

第二章 往昔學者之研究

水面上兩個相同週期、相同波高、不同波向之單向二維進行波互相交會形成三維之波浪系統，此波浪系統在波峯線上有高低起伏之週期性並且形成峯窄谷寬的現象，稱之爲短峯波。此種波浪系統在海面上最爲常見，如外海湧浪遭遇直立式防波堤之反射則於堤前形成短峯波並沿著堤向前傳遞或單向進行波遭遇結構物產生繞射波，繞射波與進行波交會形成短峯波或不同方向之湧浪交會後所形成。該種波浪系統其波形不但在波浪前進方向具有週期性變化且在水面上垂直波動前進之方向亦有週期性的變化。此外，其在水表面上所呈現之波形，具有較陡之波峯及較平緩之波谷而成菱形對稱之水面波動現象。

有關這方面之研究，首推 Jeffreys⁽¹³⁾(1924)在研究海面風浪時，發現在強風吹襲下，海面形成了橫向有限長之三維波形，隨著 Ralls⁽¹⁴⁾等(1956)在水工試驗水槽內觀測到短峯波現象，對短峯波有系統之研究就此展開。有關理論解研究方面，Fuchs⁽¹⁾(1952)運用線性理論，仿 Stokes⁽¹⁵⁾(1847)利用冪級數展開法，求得短峯波二階近似解，並應用長峯波在單位水表面積中能量守衡之觀念及方法，計算短峯波之折射現象，Fuchs 認爲兩個長峯波列以不同方向進行，斜向交會後形成短峯波系統，而後又各自分開形成長峯波列；Chappelear⁽²⁾(1961)用擾動法進一步求得短峯波三階因次式近似解分別以有限水深及無限水深進行運算及討論，惟其無法表示出二長峯波平行向或異向交會形成單一進行波或駐立波之極限情況，且在二長峯波波長相差太大時，未能獲致合理的結果；Dean⁽¹⁶⁾(1970)將複雜之短峯波波動現象以傅立葉級數展開，配合相位參數轉換而在適當之邊界條件下求得數值近似解；Battjes⁽⁷⁾(1972)以水位之能量波譜計算出短峯波之幅射應力；Tanaka⁽³⁾(1972)研究短峯波作用下質量輸送之速度分佈；Silvester⁽⁴⁾(1975)提出在強勁季節風浪作用的海岸地區建造防波堤，除考慮遮蔽效應外，可利用防波堤前形成之短峯波將沈滓帶離港口而兼

具防沙效果；許榮中⁽⁵⁾等(1979) 假設大角度入射波時忽略在波峯面與壁面間所發生之Mach-stem effect，設定微擾參數 $\epsilon = ka$ ，並以無因次參數，利用擾動法展開逐次求解，求得第三階短峯波波形及其運動特性以及第二階底床邊界質量輸送速度分佈，且其結果在極限入射角時，可與駐立波或Stokes波一致；Byrant⁽⁶⁾(1982) 假設持續波形係由各成份波線性重疊且波形對稱，應用數值計算描述出淺水情況之波浪交會情形；此外，Halliwell⁽⁸⁾等(1982) 曾研究有限水深下短峯波之碎波情形；Roberts⁽⁹⁾(1983) 以傅立葉級數(Fourier Series)描述速度勢 ϕ 及波形為其各成份波之線性組合；利用修正牛頓一拉福生疊代法(Modified Newton-Raphson method)，就有限項傅立葉級數對非線性方程式求近似解求得有限項傅立葉係數 a_{mn} 及 b_{mn} 之值，而得到速能勢及波形解；惟僅限於無限水深下之情況；有關短峯波波壓特性則以Fenton⁽¹⁷⁾(1985) 首先提出不同波浪入射角度所形成短峯波系統作用在垂直壁面上其作用力及力矩之公式，其中波高係以三階解表示，該式明顯具有與駐立波許多不同之基本特性這些特性包括(1)每單位長度之最大波力，斜向入射波浪較駐立波產生者為大。(2)當波谷時，最大淨波力其方向係離岸者。(3)最大向岸波力並不經常發生在波峯時等等；而國內則以林銘崇、劉沈榮⁽¹¹⁾(1985)以及林銘崇、莊明輝⁽¹²⁾(1986)等首先探討有關短峯波基本特性及其波壓之數值解析、劉沈榮係根據Roberts⁽⁹⁾(1983)所提之傅立葉級數展開解析短峯波特性和之理論，應用不同之數值方法解析無限水深及有限水深，入射角 θ 為 $20^\circ \sim 70^\circ$ 間之短峯波特性和，而莊明輝則利用劉沈榮所建立之程式，稍加修正，進一步探討短峯波更廣泛的特性和且對短峯波波壓作更詳細的探討，發現波壓方面在某種水深以上時，入射角為 15° 之短峯波波壓，略大於駐立波之波壓。

在試驗研究發展方面，Rall⁽¹⁴⁾等(1955)雖係首次在試驗水槽內測到短峯波，惟其造波原因係由風吹產生，未能保持連續造波之穩定性以利觀測；許榮中⁽⁵⁾(1980)則利用水工實驗，量測短峯波波高並攝影觀測塑膠粒之移動以描繪短峯波系統下之水粒子運動軌跡並以實驗驗證短峯波作用

下層流邊界層內水粒子運動之二階解及其質量輸送之一階解，得到尚稱滿意的結果；黃煌輝、洪秋煌⁽¹⁸⁾(1980)蔡清標⁽¹⁹⁾(1981)亦曾分別探討淺海中波浪交會後性質變化，並以實驗證之，吳啓東(1983)以實驗研究短峯波對防波堤基礎之冲刷情形；林銘崇、詹錢登⁽²⁰⁾(1984)則研究短峯波作用下底床地形變化的特性，發現沙床地形在垂直堤方向對應於短峯波一個週期內($Z/L_s = 0 \sim 1$)形成三種不同型態之變化；林銘崇、施力士⁽²¹⁾(1986)等則進一步研究短峯波與底床之互制作用，在不同之波浪條件下形成各種短峯波完整之波形記錄，而且得到短峯波作用下沙床變遷之各種形態。

現場方面之研究，類似之短峯波系統則有許榮中(1979)觀測自然海面風浪稱之為短峯海面(Short-crested sea)；而以理論解析此種短峯波系統者大致有Longuet-Higgins⁽²²⁾等(1960)，Unna⁽²³⁾(1947)以及Meiron⁽²⁴⁾等(1982)等文獻。

故有關這方面之研究，不管是理論方面或試驗方面或者現場方面之研究，到目前為止，雖然亦有近64年之歷史，然對短峯波作用在防波堤其波壓之分佈特性，前人則甚少研究，故本研究即藉水工模型試驗，於本所 $60\text{ m} \times 45\text{ m} \times 1\text{ m}$ 波浪水槽，構築一20 m長，1 m高之垂直堤，藉直立堤之反射作用於堤前形成短峯波系統以探討短峯波作用在直立壁面上其垂直及水平方向之波壓力分佈特性，俾供爾後理論者發展理論時參考。

第三章 理論分析

本專題研究為瞭解波浪因入射角度變化所產生短峯波系統對直立壁所產生波壓力與駐立波所產生者差異，以及比較短峯波系統對直立壁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被 Sainflou 波壓公式以及短峯波數值理論分析如下：

§ 3 - 1 作用於直立壁重複波波壓

3 - 1 - 1 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

$$h' \geq 2H \dots\dots\dots (3-1)$$

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。

3 - 1 - 2 重複波的波壓

重複波的波壓如圖 3 - 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) 壁面發生波峯時

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= (p_2 + \omega_0 h) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right) \\ p_2 &= \frac{\omega_0 H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-2)$$

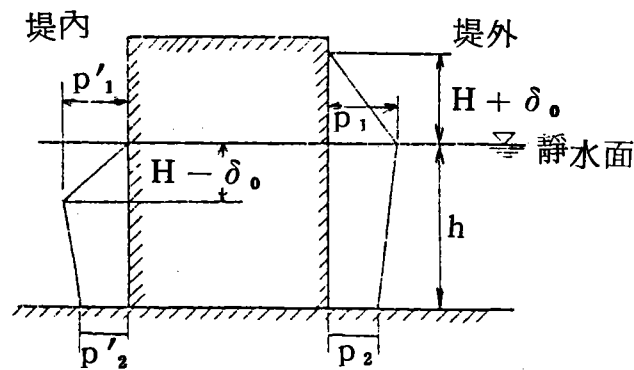


圖 3 - 1 重複波之波壓

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

(2) 壁面發生波谷時

$$\begin{aligned} p_1' &= \omega_0 (H - \delta_0) \\ p_2' &= p_2 = \frac{\omega_0 H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \dots\dots\dots (3-4) \end{aligned}$$

- 式中 p_1 = 壁面有波峯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' = 壁面有波谷時在靜水面下 ($H - \delta_0$) 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 0.1~0.15 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，又波峯往往比 $H + \delta_0$ 為高，惟實際波壓計算可採圖解法如圖 3-2~3-5 所示，遠較式 (3-1) ~ 式 (3-4) 波壓計算公式為方便。當波峯作用於壁面時，其全波壓 P 與傾倒力矩 M 則由式 (3-5) 計算

$$\left. \begin{aligned} P &= 0.5 [p_1 (H + \delta_0 + h) + p_2 h] \\ M &= \frac{1}{2} p_1 h (H + \delta_0) + \frac{1}{6} (p_2 + 2p_1) h^2 + \frac{1}{6} p_1 (H + \delta_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3-5)$$

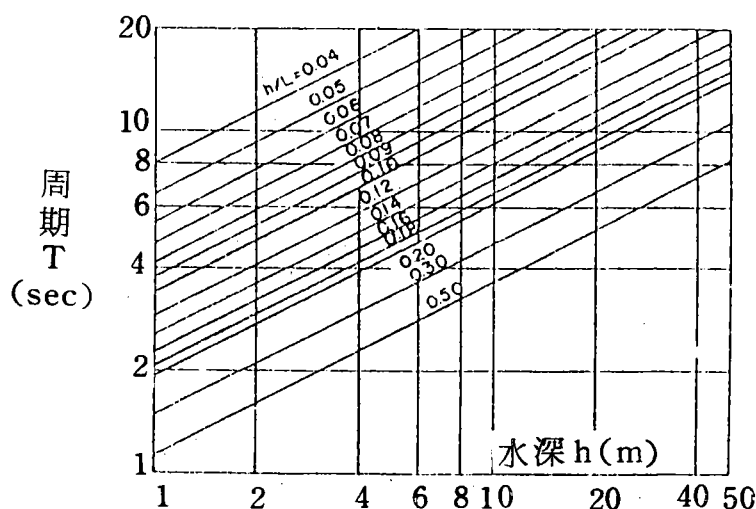


圖 3 - 2 Sainflou 波壓計算圖表(a)

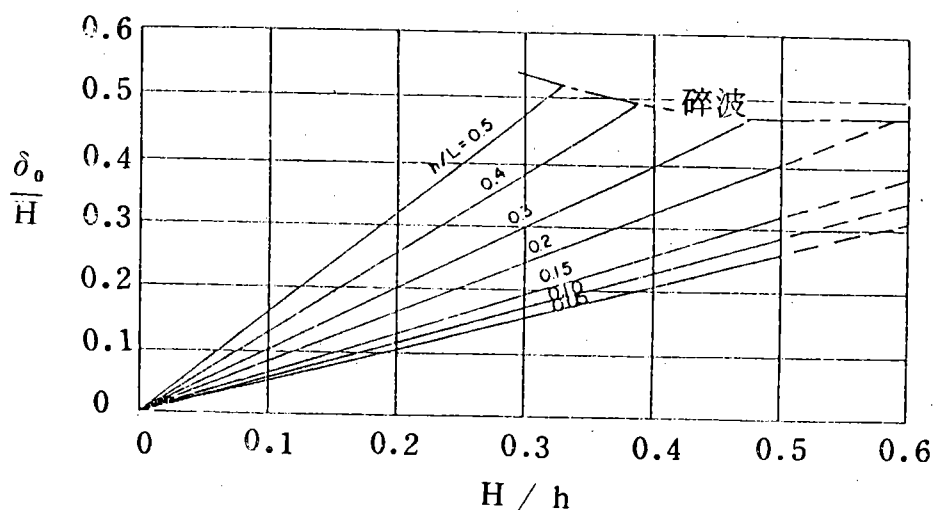


圖 3 - 3 Sainflou 波壓計算圖表(b)

同時，重複波的波壓係由於水面後緩地升高所產生之水壓，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。

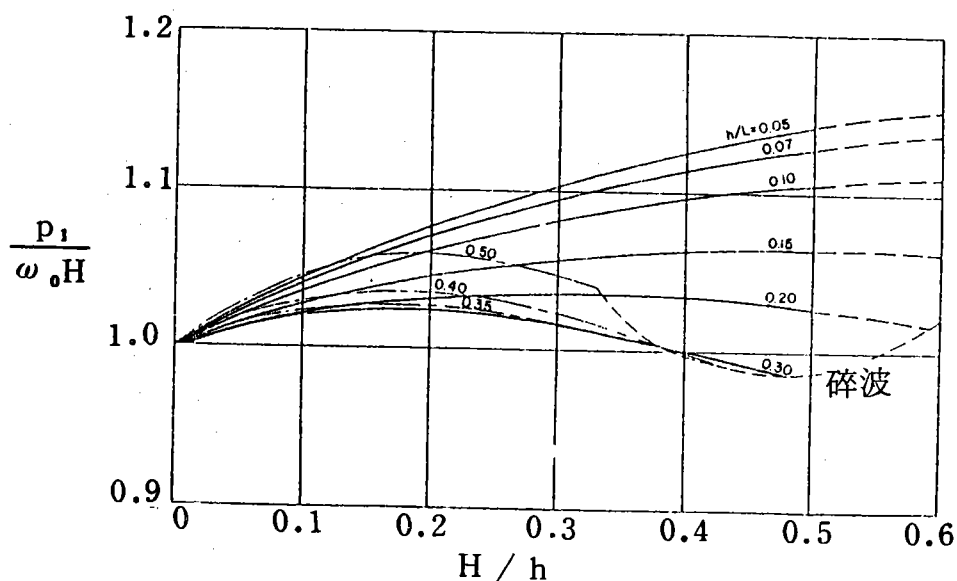


圖 3 - 4 Sainflou 波壓計算圖表(c)

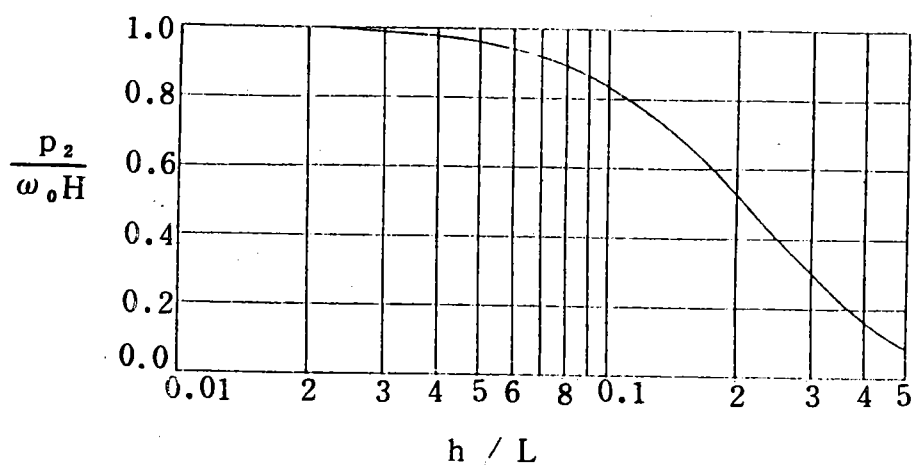
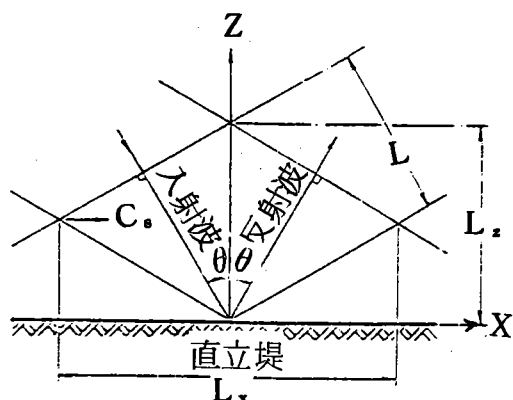


圖 3 - 5 Sainflou 波壓計算圖表(d)

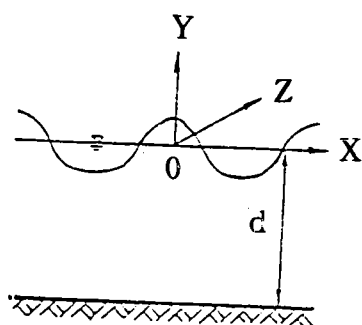
§ 3 - 2 短峯波數值理論

為研究三維空間短峯波波浪特性，座標示意圖如圖 3 - 6 所示，X 軸為短峯波進行方向，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。



(a) 平面圖



(b) 側面圖

圖 3 - 6 短峯波座標示意圖

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

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad ; \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad ; \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

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

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

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

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \phi}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right] = C \dots\dots (3-9)$$

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

界條件爲

$$\text{無限水深時 } \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y \rightarrow \infty} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

$$\text{有限水深時 } \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y \rightarrow -d} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

若令 X 軸上波長爲 L_x ，而波峯線沿著 Z 方向波峯間距爲 L_z （參考圖 3-6），則

$$L_x = L / \sin \theta \quad \dots\dots\dots (3-12)$$

$$L_z = L / \cos \theta \quad \dots\dots\dots (3-13)$$

其中 L 爲入射波長， θ 爲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 分別爲 X，Z 方向上波數，則

$$k_x = \frac{2\pi}{L_x} = \frac{2\pi}{L / \sin \theta} = k \sin \theta \quad \dots\dots\dots (3-14)$$

$$k_z = \frac{2\pi}{L_z} = \frac{2\pi}{L / \cos \theta} = k \cos \theta \quad \dots\dots\dots (3-15)$$

此處 $k = \frac{2\pi}{L}$ 爲入射波波數

爲解析方便，林銘崇等在長度、時間方面分別以 k 及 $1/\sqrt{gk}$ ，作爲無因次化參考參數且爲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 向速度比例分別爲 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

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

(2) 自由表面運動條件

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

(3)自由表面動力邊界條件

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

(4)底床邊界條件

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

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

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 $\eta(\pi, 0)$ 分別為短峯波在 $Z = 0$ 斷面，波峯點與波谷點水位，則在未知數算出後，即可由 Bernoulli 方程式

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

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。

第四章 模型試驗

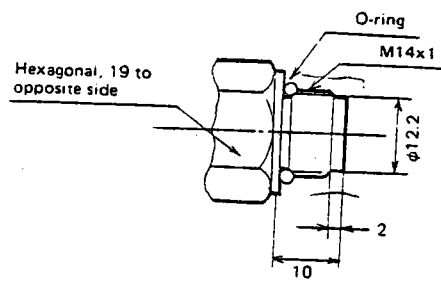
爲瞭解短峯波波壓基本特性，本試驗研究在國科會補助計畫 NSC 76-0410-E124-01，在港灣技術研究所實驗室進行模型試驗工作，茲將整個試驗工作略述如下：

§ 4 - 1 試驗設備

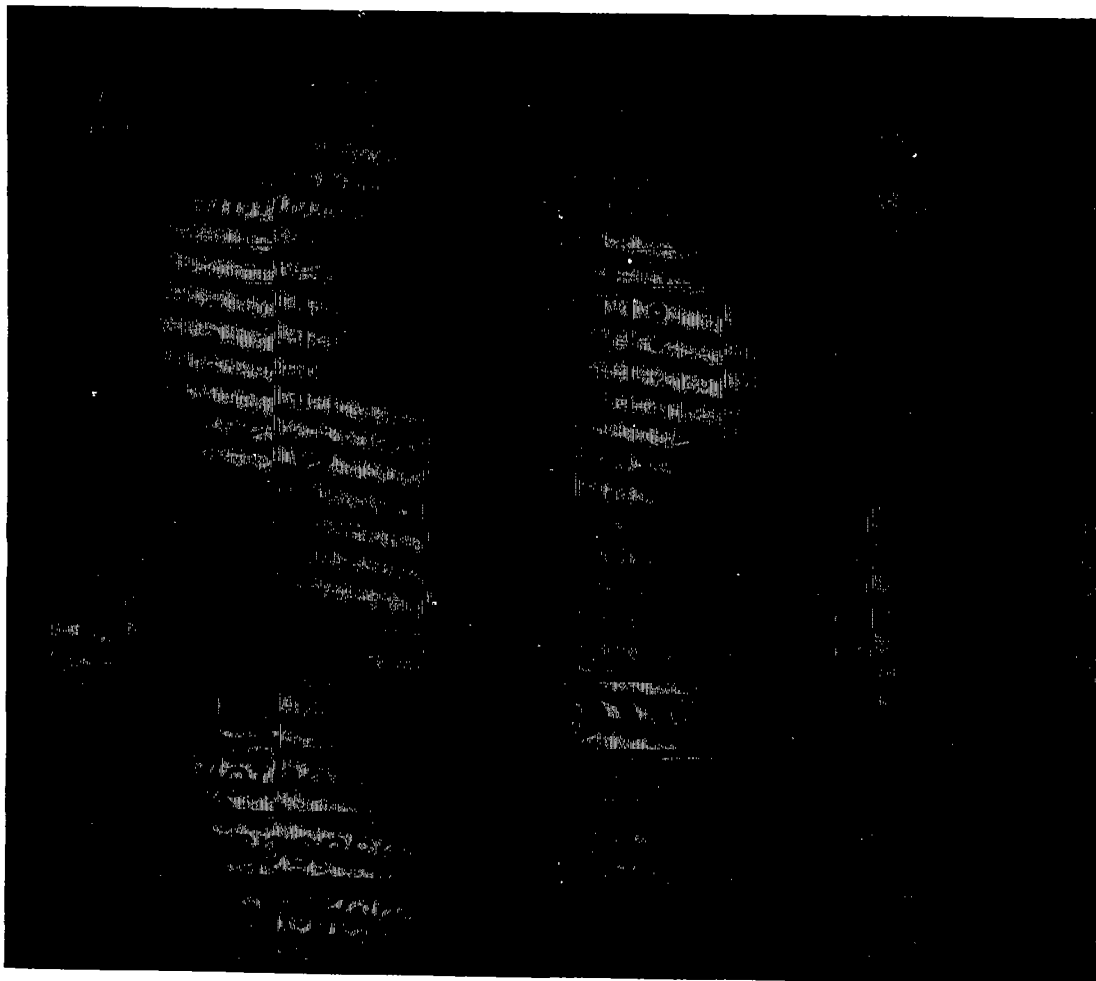
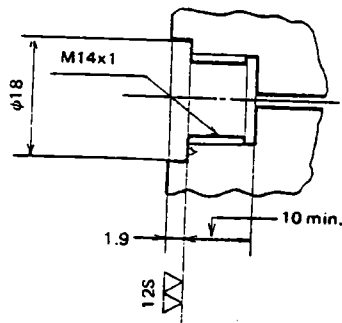
- (1)試驗水池：長 60 公尺、寬 43 公尺、深 1 公尺。
- (2)錘繫式造波機：本試驗採用震生機械公司所製造規則造波機，每一個 Unit 長 10 公尺，用連桿相接，俾同步造波經由數字顯示控制箱可分別調整波高及週期。
- (3)導波板：分別置於造波機兩側，沿波浪進行方向排置，俾引導波浪到一定方向，以避免能量擴散。
- (4)容量型波高儀：包括感受器及增幅器，用以率定及記錄試驗波浪資料，係將水面起伏變化，先經一對白金線感受器轉變爲電阻變化，藉惠氏登電橋改換成電流，復藉增幅器予以放大後由電腦分析或記錄儀記錄電流變化。
- (5) 16 位元 PC 微電腦：執行 PC 資料，處理系統並包含一個快速、高精密度 DI-AN A/D 卡以及一個能求得精確參考取樣頻率之多功能實驗卡。
- (6)波壓計以及 High-response 動力應變增幅器如照片 1

§ 4 - 2 模型製作

本專題試驗研究，爲探討短峯波在無限長防波堤直立壁面波壓分佈基本特性，在 $60\text{ m} \times 45\text{ m} \times 1\text{ m}$ 大型平面水槽中，建一長爲 20 m，高爲 1 m 直立堤，試驗配置如圖 4 - 1 所示，於定水深 $d = 50$ 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峯波系統，以探討不同波浪入射角 θ ，入射波波高 H 及週期 T 於未碎波前，作用在垂直壁面上其垂直



(a)



(b)

照片4 - 1 波壓計(a)裝設配置圖 (b)增幅器

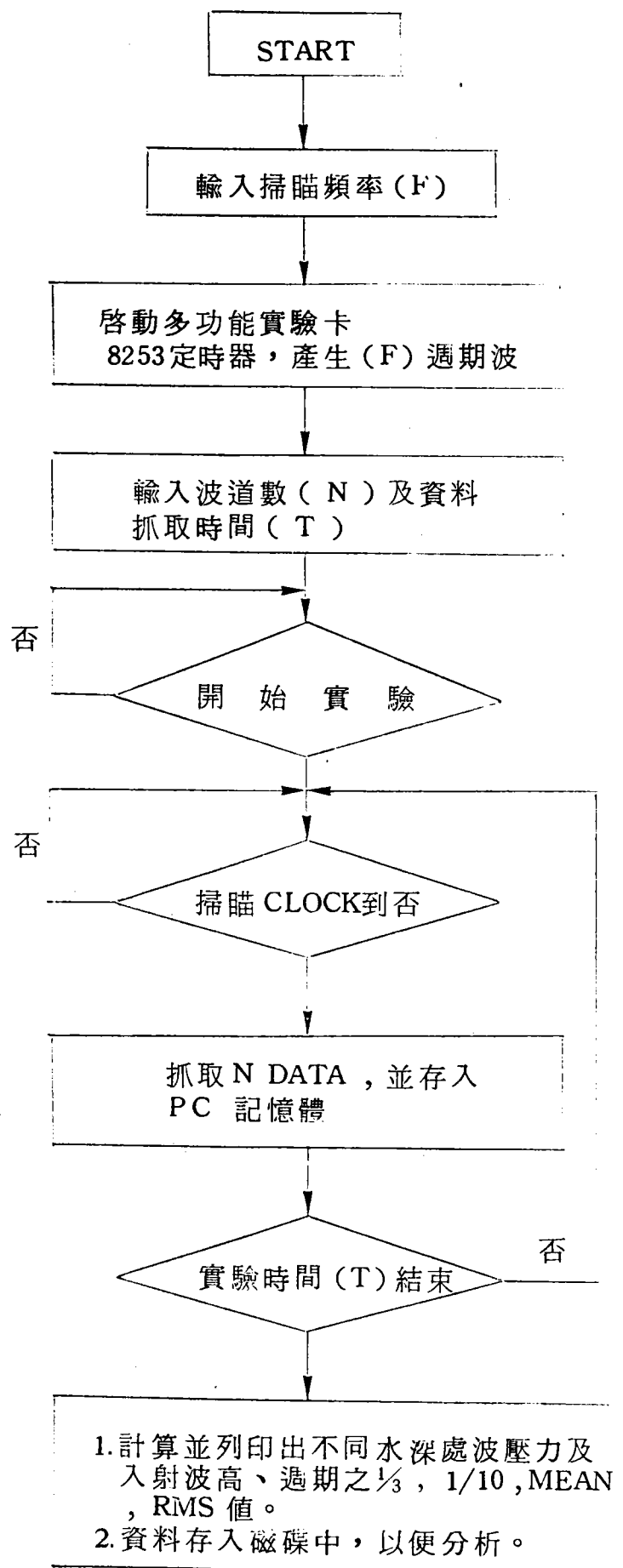


圖 4 - 2 PC 實驗室資料處理系統流程圖

及水平方向波壓力分佈特性：由於波壓計係非絕緣者，故另外設計一小型箱盒以裝置波壓計，如照片 4 - 1 所示，然後根據入射波浪條件移動該箱盒分別在 $\frac{X}{L_x} = 0, \frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{3}{8}, \frac{4}{8}$ 等 5 個斷面分別量測其波壓。

§ 4 - 3 試驗步驟及試驗條件

(一) 試驗步驟

- (1) 率定某入射角度 (θ) 時，試驗波浪條件即入射波高及週期。
- (2) 根據入射波浪週期所求得波長 L ，以相同波浪條件，分別量取 $x = 0, \frac{L_x}{8}, \frac{2}{8}L_x, \frac{3}{8}L_x$ 以及 $\frac{4}{8}L_x$ 處波壓垂直分佈。
- (3) 變換入射波浪波高 (H) 重複步驟(2)。
- (4) 變換入射波浪週期 (T)，重複步驟(2)~(3)。
- (5) 變換入射波浪角度，重複步驟(1)~(4)。

(二) 試驗條件

為瞭解短峯波波浪系統在不同波浪入射角度(θ)，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垂直壁面上其垂直及水平方向波壓力分佈特性，本試驗研究共進行 80 個 CASE，其中有 7 個試驗情況因資料儲存發生錯誤而無試驗結果，試驗條件分別如表 4 - 1 所示。

§ 4 - 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 640 K 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 微電腦：執行 PC 資料處理系統，資料抓取過程中，將資料直接儲存於 640 K 記憶體中，程式執行完畢後，將原始資料存於硬式磁碟中，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

表 4 - 1 試驗波浪條件

項 編 目 號	入 射 角	水 深 d	週 期 T	入 射 波 高 H	入 射 波 長 L ₀	相 對 深 d/L ₀	H / d	d / L	H _i / L
N0511	0°	50	1.1	4	188.8	0.2648	0.08	0.281	0.0225
N0111	0°	50	1.1	8.7	"	"	0.174	"	0.0489
N0411	0°	50	1.1	13.3	"	"	0.266	"	0.0747
N0011	0°	50	1.1	15.4	"	"	0.308	"	0.0865
		50	1.1	17.2	"	"		"	
		50	1.1	21.3	"	"		"	
		50	1.4	4	305.8	0.1635		0.195	
N0114	0°	50	1.4	8.7	"		0.174	"	0.0340
		50	1.4	13.3	"			"	
N0014	0°	50	1.4	15.4	"		0.308	"	0.0602
N0314	0°	50	1.4	17.2	"		0.344	"	0.0672
N0214	0°	50	1.4	21.3	"		0.426	"	0.0832
		50	1.7	4	450.8	0.1109		0.1505	
N0117	0°	50	1.7	8.7	"		0.174	"	0.0270
		50	1.7	13.3	"			"	
N0017	0°	50	1.7	15.4	"		0.308	"	0.0478
N0317	0°	50	1.7	17.2	"		0.344	"	0.0534
N0217	0°	50	1.7	21.3	"		0.426	"	0.0661
		50	2.4	4	898.6	0.0556		0.1003	
N0124	0°	50	2.4	8.7	"		0.174	"	0.0174
		50	2.4	13.3	"			"	
N0024	0°	50	2.4	15.4	"		0.308	"	0.0309
N0324	0°	50	2.4	17.2	"		0.344	"	0.0347
N0224	0°	50	2.4	21.3	"		0.426	"	0.0427

續表 4 - 1 試驗波浪條件

項目 編號	入射角	水深 d	週期 T	入射波高 H	入射波長 L ₀	相對水深 d/L ₀	H / d	d / L	H _i / L
		50	1.1	4	188.8	0.2648		0.281	0.0225
		50	1.1	8.7	"	"		"	0.0489
		50	1.1	13.3	"	"		"	0.0747
N30111	30°	50	1.1	15.4	"	"		"	0.0865
		50	1.1	17.2	"	"		"	
		50	1.1	21.3	"	"		"	
		50	1.4	4	305.8	0.1635		0.195	
N31141	30°	50	1.4	8.7	"			"	0.0340
		50	1.4	13.3	"			"	
N30141	30°	50	1.4	15.4	"			"	0.0602
		50	1.4	17.2	"			"	0.0672
		50	1.4	21.3	"			"	0.0832
		50	1.7	4	450.8	0.1109		0.1505	
N31171	30°	50	1.7	8.7	"			"	0.0270
		50	1.7	13.3	"			"	
N30171	30°	50	1.7	15.4	"			"	0.0478
N33171	30°	50	1.7	17.2	"			"	0.0534
N32171	30°	50	1.7	21.3	"			"	0.0661
		50	2.4	4	898.6	0.0556		0.1003	
N31241	30°	50	2.4	8.7	"			"	0.0174
		50	2.4	13.3	"			"	
N30241	30°	50	2.4	15.4	"			"	0.0309
N33241	30°	50	2.4	17.2	"			"	0.0347
N32241	30°	50	2.4	21.3	"			"	0.0427

續表 4 - 1 試驗波浪條件

項 編 號	入 射 角	水 深 d	週 期 T	入 射 波 高 H	入 射 波 長 L ₀	相 對 深 d/L ₀	H / d	d / L	H _i / L
N45111	45°	50	1.1	4	188.8	0.2648		0.281	0.0225
N41111	45°	50	1.1	8.7	"	"		"	0.0489
N44111	45°	50	1.1	13.3	"	"		"	0.0747
		50	1.1	15.4	"	"		"	0.0865
		50	1.1	17.2	"	"		"	
		50	1.1	21.3	"	"		"	
		50	1.4	4	305.8	0.1635		0.195	
N41141	45°	50	1.4	8.7	"			"	0.0340
		50	1.4	13.3	"			"	
		50	1.4	15.4	"			"	0.0602
N43141	45°	50	1.4	17.2	"			"	0.0672
N42141	45°	50	1.4	21.3	"			"	0.0832
		50	1.7	4	450.8	0.1109		0.1505	
N41171	45°	50	1.7	8.7	"			"	0.0270
		50	1.7	13.3	"			"	
N40171	45°	50	1.7	15.4	"			"	0.0478
N43171	45°	50	1.7	17.2	"			"	0.0534
N42171	45°	50	1.7	21.3	"			"	0.0661
		50	2.4	4	898.6	0.0556		0.1003	
N41241	45°	50	2.4	8.7	"			"	0.0174
		50	2.4	13.3	"			"	
N40241	45°	50	2.4	15.4	"			"	0.0309
N43241	45°	50	2.4	17.2	"			"	0.0347
N42241	45°	50	2.4	21.3	"			"	0.0427

續表 4 - 1 試驗波浪條件

項 編 目 號	入 射 角	水 深 d	週 期 T	入 射 波 高 H	入 射 波 長 L ₀	相 對 深 d/L ₀	H / d	d / L	H _i / L
N65111	60°	50	1.1	4	188.8	0.2648		0.281	0.0225
N61111	60°	50	1.1	8.7	"	"		"	0.0489
N64111	60°	50	1.1	13.3	"	"		"	0.0747
N60111	60°	50	1.1	15.4	"	"		"	0.0865
		50	1.1	17.2	"	"		"	
		50	1.1	21.3	"	"		"	
		50	1.4	4	305.8	0.1635		0.195	
N61141	60°	50	1.4	8.7	"			"	0.0340
		50	1.4	13.3	"			"	
N60141	60°	50	1.4	15.4	"			"	0.0602
N63141	60°	50	1.4	17.2	"			"	0.0672
N62141	60°	50	1.4	21.3	"			"	0.0832
		50	1.7	4	450.8	0.1109		0.1505	
N61171	60°	50	1.7	8.7	"			"	0.0270
		50	1.7	13.3	"			"	
N60171	60°	50	1.7	15.4	"			"	0.0478
N63171	60°	50	1.7	17.2	"			"	0.0534
N62171	60°	50	1.7	21.3	"			"	0.0661
		50	2.4	4	898.6	0.0556		0.1003	
N61241	60°	50	2.4	8.7	"			"	0.0174
		50	2.4	13.3	"			"	
N60241	60°	50	2.4	15.4	"			"	0.0309
N63241	60°	50	2.4	17.2	"			"	0.0347
N62241	60°	50	2.4	21.3	"			"	0.0427

續表 4 - 1 試驗波浪條件

項 編 目 號	入 射 角	水 深 d	週 期 T	入 射 波 高 H	入 射 波 長 L ₀	相 對 深 d/L ₀	H / d	d / L	H _i / L
N9511	90°	50	1.1	4	188.8	0.2648		0.281	0.0225
N9111	90°	50	1.1	8.7	"	"		"	0.0489
N9411	90°	50	1.1	13.3	"	"		"	0.0747
N9011	90°	50	1.1	15.4	"	"		"	0.0865
		50	1.1	17.2	"	"		"	
		50	1.1	21.3	"	"		"	
		50	1.4	4	305.8	0.1635		0.195	
N9114	90°	50	1.4	8.7	"			"	0.0340
		50	1.4	13.3	"			"	
N9014	90°	50	1.4	15.4	"			"	0.0602
N9314	90°	50	1.4	17.2	"			"	0.0672
N9214	90°	50	1.4	21.3	"			"	0.0832
		50	1.7	4	450.8	0.1109		0.1505	
N9117	90°	50	1.7	8.7	"			"	0.0270
		50	1.7	13.3	"			"	
N9017	90°	50	1.7	15.4	"			"	0.0478
N9317	90°	50	1.7	17.2	"			"	0.0534
N9217	90°	50	1.7	21.3	"			"	0.0661
		50	2.4	4	898.6	0.0556		0.1003	
N9124	90°	50	2.4	8.7	"			"	0.0174
		50	2.4	13.3	"			"	
N9024	90°	50	2.4	15.4	"			"	0.0309
N9324	90°	50	2.4	17.2	"			"	0.0347
N9224	90°	50	2.4	21.3	"			"	0.0427

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 20 μ S，輸入電壓範圍由 + 10.2375 ~ -10.240 V，增益可以程式設定，由 1，2，4 至 8 等 4 段倍率，解析能力由 ± 5 mV 可提高至 ± 0.625 mV。

(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 4 - 2 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 1193245 HZ；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 值來啟動 8253 後，再將計算過後之除數以先低階後高階之順序較入（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) P C 資料處理系統方程式之流程如圖所示：

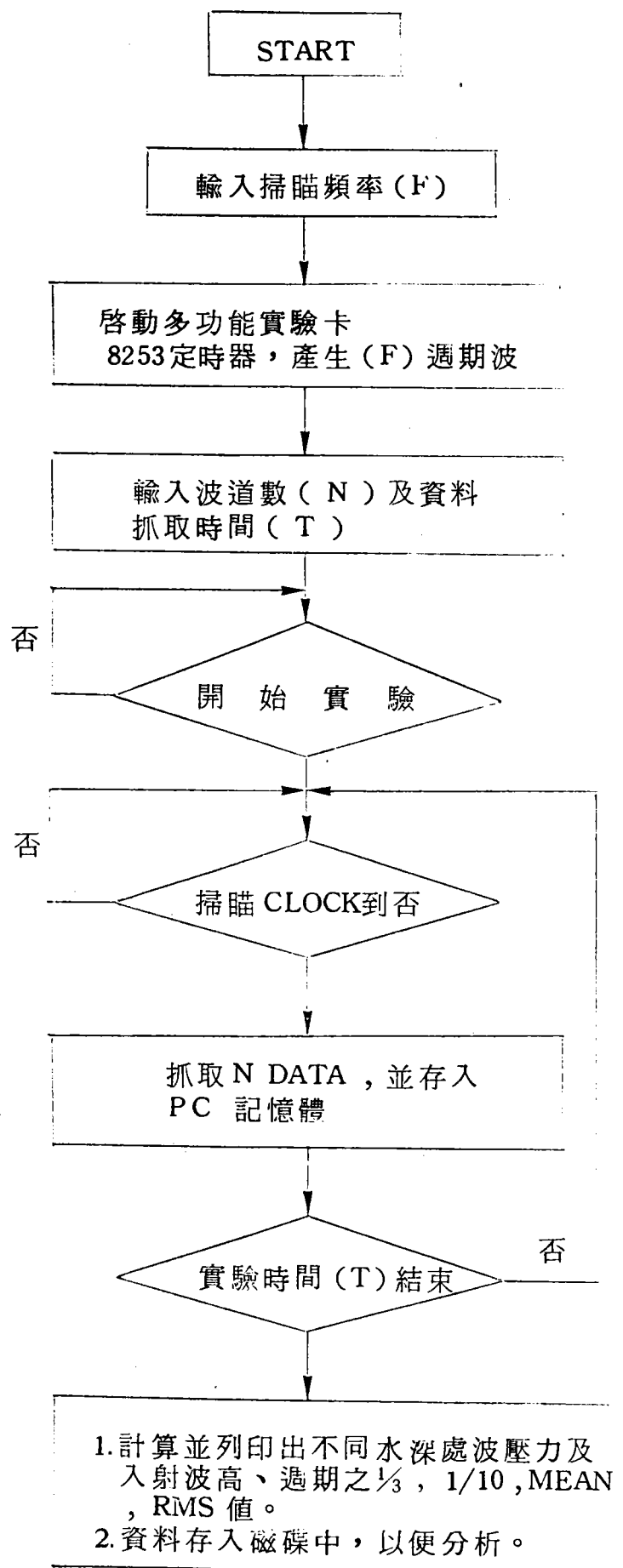


圖 4 - 2 PC 實驗室資料處理系統流程圖

第五章 試驗分析結果及討論

本專題試驗研究共執行 80 個試驗情況，分別如表 4 - 1 試驗條件所示，為證明短峯波三維波浪系統在波浪前進方向係屬進行波 (Progressive wave) 週期變化，本試驗研究分別在不同波浪入射角度及試驗波浪條件沿著堤面波浪行進方向於 $X = 0$, $\frac{1}{8}L_x$, $\frac{2}{8}L_x$, $\frac{3}{8}L_x$ 以及 $\frac{4}{8}L_x$ 等五個斷面處量取其垂直波壓力分佈，不同位置水深波壓波形實測記錄如圖 5 - 1 (a)~(c) 所示。圖形顯示沿著堤面波浪前進方向五個不同斷面所量測波形均相同，證明在無限長方防波堤堤面水平方向垂直波壓力分佈在相同入射角度、週期波浪條件下係隨波高增加而加大。故資料分析時，吾人選取如圖 5 - 2 所示波壓值，代表不同波浪入射條件時沿著堤面分別在 $X = 0$, $\frac{1}{8}L_x$, $\frac{2}{8}L_x$, $\frac{3}{8}L_x$ 以及 $\frac{4}{8}L_x$ 處不同水深垂直波壓力分佈。

§ 5 - 1 無限長直立堤沿堤面不同水深垂直波壓力分佈

圖 5 - 3 ~ 圖 5 - 7 係根據圖 5 - 2 定義，在各種不同入射波浪角度，相對水深以及波浪尖銳度等試驗波浪條件所求於某特定位相，沿堤水平方向半個波長不同距離，在不同水深垂直波壓力分佈，圖中黑色、綠色、紅色、藍色以及粉紅色等曲線分別表在 $X = 0$, $\frac{1}{8}L_x$, $\frac{2}{8}L_x$, $\frac{3}{8}L_x$ 以及 $\frac{4}{8}L_x$ 處垂直波壓力分佈，惟圖 5 - 3，當 $\theta = 0^\circ$ 時，係表駐波 (Standing wave) 試驗情況，事實上當駐波時，沿堤面每個斷面垂直波壓力分佈均應相等，故此處圖形所表示者乃波浪在一個週期相當於 $X = 0$, $\frac{1}{8}L_x$, $\frac{2}{8}L_x$, $\frac{3}{8}L_x$ 以及 $\frac{4}{8}L_x$ 處時垂直堤每個斷面垂直波壓力分佈

(1) 當 $\theta = 0^\circ$ 即駐波試驗情況

試驗結果圖 5 - 3 中 (a)~(d) 顯示相對水深值 d / L 較大為 0.281，入

射波浪尖銳度 H / L 為 0.0747 以下，波峯 (Wave crest) 時，最大向岸 (on-shore) 垂直波壓力發生在水面附近且隨著入射波浪尖銳度加大而增大；惟當波浪尖銳度在 H / L 值達 0.0865 時，最大向岸波壓力則發生在水面下，如(d)圖所示；而當波浪為波谷 (Wave trough) 時離岸 (off-shore) 波壓力一般均發生在水面下，且試驗結果顯示最大離岸波壓力有大於向岸波壓力趨勢如(c)圖所示；當入射波浪週期增加即相對水深 d / L 值變小為 0.1950 時，如圖(e)~(h)試驗結果顯示， H / L 為 0.0340 時最大向岸波壓發生在靜水面附近，然當波浪尖銳度增加為 0.0602 時，最大向岸波壓力則發生在水面下，惟此趨勢當 H / L 達 0.0672 以上，最大向岸波壓力垂直分佈，變得不規則有產生二個 peak 現象如圖(h)所示，且當入射波浪尖銳度 H / L 大於 0.0672 時，最大離岸波壓力甚致大於最大向岸波壓力，如圖(g)與(h)所示。

當相對水深變淺即 d / L 值小於 0.1950 時，波壓垂直分佈變化趨勢均甚類似，即最大向岸波壓垂直分佈均有二個 peak 產生現象；惟此時，對各種入射波浪尖銳度而言，最大向岸波壓力均大於最大離岸波壓力，因此吾人可獲致一結論，即當駐波時，最大向岸波壓力垂直分佈將隨著相對水深之變淺而趨於複雜產生二個 peak 現象，再者試驗結果顯示當入射波浪 H/d 為 0.308 時如圖(d), (f), (j) 及 (h) 最大向岸壓力均發生在水面下，當相對水深 d / L 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，此現象當從事防波堤細部設計時應注意，另外試驗結果顯示，在一個週期內，波浪作用在垂直堤其向岸抑或離岸波壓力時間在各種不同波浪入射條件及相對水深時並不相同，當相對水深較淺 (如 d / L 大於 0.1003) 波浪尖銳度值較小 (如 H / L 小於 0.0309) 時，垂直堤在一個週期內遭受離岸波壓力作用時間大於向岸波壓力作用時間如圖(m)及(n)所示。

(2) 入射角 $\theta = 30^\circ$ 試驗情況

當入射角 θ 為 30° 時，因波浪受直立堤反射作用在堤前形成三維短峯波系統，沿堤水平方向半個波長不同處垂直波壓力分佈如圖 5 - 4 (a)~(p)

，試驗結果顯示，相同波浪入射條件在相對水深 d/L 為 0.281，波浪尖銳度 H/L 為 0.0865 時，無論向岸抑或離岸垂直波壓力均因波浪之斜向入射而增加，且最大向岸或離岸波壓力均發生在水面下且離岸波壓力大於向岸波壓力亦即當入射波浪在波谷 (Wave trough) 時其波壓力大於波浪在波峯時 (Wave crest) 時之波壓力如圖 5 - 3 (c) 與圖 5 - 4 (d) 所示。

當相對水深 d/L 變淺，試驗結果亦顯示相同垂直波壓分佈趨勢且波浪尖銳度愈大，最大向岸波壓垂直分佈亦產生二個 peak 現象如圖 (l) 所示，此現象當相對水深 d/L 值為 0.150 時才消失。故當波浪入射角度採斜向入射時，吾人可獲致如下結論：即相同波浪條件，波浪因斜向入射，在堤前形成短峯波系統使得作用在堤前向岸抑或離岸垂直波壓力分佈均較駐波 (Standing wave) 為大，最大向岸垂直波壓力均發生在水面下且當 d/L 值為 0.195，波浪尖銳度 H/L 大於 0.0534 以上時有產生二個 peak 現象，尤有甚者，在入射角度 θ 為 30° 時，所形成短峯波波浪系統作用下最大波壓力均發生在波谷 (Wave trough) 時。

(3) 入射角 $\theta = 45^\circ$ 試驗情況

當波浪入射角增加為 45° 時，直立堤因波浪反射作用所形成短峯波波浪系統沿堤水平方向半個波長不同處垂直波壓分佈如圖 5 - 5 (a) ~ (p) 所示，試驗結果顯示不管是波峯抑或波谷時，作用在堤面垂直波壓力均較入射角度 $\theta = 30^\circ$ 時為小，試驗結果同時顯示，在短峯波系統作用下最大向岸 (onshore) 垂直波壓力均發生在水面下且當相對水深 d/L 為 0.195，波浪尖銳度 H/L 大於 0.0672 時，最大向岸垂直波壓力分佈均產生二個 peak 現象如圖 (g)、(h)；惟相對水深 d/L 值小於或大於 0.195 時均無此現象，同時當波浪入射角度增加為 45° 時，除相對水深 d/L 值小於 0.155， H/d 值大於 0.344 者，其波谷所產生最大離岸垂直波壓力大於波峯所產生最大向岸垂直波壓力外，如圖 (g)、(h)、(k) 及 (l) 所示，其餘試驗情況均顯示最大垂直波壓力均發生在波峯時。

(4) 入射角 $\theta = 60^\circ$ 試驗情況

圖 5 ~ 6 (a) ~ (p) 係當波浪入射角度增加為 60° 時，短峯波系統作用在

堤面垂直波壓力分佈圖，試驗結果顯示當入射角度 θ 增加時，除較大相對水深 d/L 值最大向岸以及離岸垂直波壓力值較 $\theta = 45^\circ$ 時為大者外，當相對水深值小於 0.195 時，作用在堤前向岸以及離岸垂直波壓力，均隨著入射角度增加而減小，試驗結果亦同樣顯示除相對水深 d/L 值為 0.195 波浪尖銳度 H/L 為 0.0832，當波峯來臨時所產生之向岸垂直波壓力具有二個 peak 值外，其餘無論向岸或離岸其最大垂直波壓力均發生在水面下；同時在該入射角度，於相同波浪試驗條件波浪作用下以相對水深 $d/L = 0.190$ 時，垂直堤堤面所受其波壓力為最大。

(5) 入射角 $\theta = 90^\circ$ (即進行波) 試驗情況

當考慮另一極端情況即波浪入射角 90° 時，各種不同波浪條件試驗結果如圖 5-7 所示。試驗結果顯示，堤面所受垂直波壓大為減小，最大向岸或離岸波壓力均發生在水面下，垂直波壓力分佈，試驗結果顯示以波峯來臨時為最大；且在相同波高試驗條件，其垂直波壓力分佈以相對水深 $d/L = 0.195$ 時為最大，如圖(e)~(h)。

§ 5-2 入射角度 θ 對堤面垂直波壓力分佈影響

有關入射波浪角度 θ 在各種不同試驗條件波浪作用下，當垂直堤面分別在波峯及波谷時垂直波壓力分佈試驗結果分別如圖 5-8 ~ 5-11 所示。

圖 5-8 為相對水深 d/L 值 0.281 在不同尖銳度入射波浪作用時，堤面垂直波壓力分佈與入射角度關係試驗結果，圖左表波谷時垂直波壓分佈，圖右表波峯時垂直波壓分佈，此處係採平均波壓加以比較，統計結果顯示，波浪尖銳度小於 0.0747 者，不管向岸或離岸垂直波壓力分佈，其大小分別依 $\theta = 60^\circ$ ， 45° ， 0° ，以及 90° 而遞減（按 $\theta = 30^\circ$ 之資料因數據 P C 檔錯誤以致無資料）惟當波浪尖銳度 H/L 值達 0.0865 上時，則駐波 $\theta = 0^\circ$ 時，堤面垂直波壓力分佈大小反較行進波（ $\theta = 90^\circ$ ）時為小如圖(d)所示。故試驗結果顯示，相同入射波浪條件，當堤前形成短峯波波系統將對垂直堤堤面產生較大之波壓力；即在相對水深 d/L 值

0.281時，在五種角度試驗情況以 $\theta = 60^\circ$ 為最大；另一特性則為當入射波浪為駐波（ $\theta = 0^\circ$ ）時，最大垂直波壓力發生在水面附近，惟當入射波浪角度增加時，最大垂直波壓力則發生在水面下，波高愈大，發生在愈深處；同時當波浪為波谷時，入射波浪角度 θ 對堤面所產生之離岸垂直波壓力影響亦有如波峯時垂直波壓力分佈型態。

圖 5-9 為相對水深 $d/L = 0.190$ 不同尖銳度入射波浪作用，堤面垂直波壓力分佈與入射角度 θ 關係，試驗結果圖形顯示，波浪斜向入射形成短峯波系統時，在波峯時當波浪尖銳度小者，以入射角度 $\theta = 30^\circ$ 時垂直波壓力分佈屬最大依次為 $\theta = 60^\circ$ ， 0° ， 45° 以及 90° 等；惟隨著入射波浪尖銳度加大，角度 θ 對垂直波壓力分佈影響趨於複雜，試驗結果顯示以斜向入射波浪角度 $\theta = 45^\circ$ 垂直波壓力分佈較大， $\theta = 60^\circ$ 次之，（缺 $\theta = 30^\circ$ 資料）；另一特性為短峯波系統作用下當入射波浪尖銳度增加時，垂直波壓力產生二個 peak 現象，且最大值發生在水面下；試驗結果同時顯示當波浪系統為波谷時亦有相同分佈特性。

圖 5-10 為相對水深 d/L 值 0.150，不同尖銳度入射波浪作用，堤面垂直波壓力分佈與入射角度 θ 關係，試驗結果顯示，當波浪尖銳度較小在波峯時（如圖右所示），以入射角度 $\theta = 45^\circ$ 垂直波壓力值為最大， $\theta = 30^\circ$ 與 60° 除了在水面處 $\theta = 30^\circ$ 時大於 $\theta = 60^\circ$ 時外，在水面之垂直波壓力分佈大致接近，然後依次為 $\theta = 0^\circ$ （駐波）以及 $\theta = 90^\circ$ （進行波）；惟當波浪尖銳度增加到 0.05 以上時，以入射角度 $\theta = 30^\circ$ 時其值為最大， $\theta = 45^\circ$ 以及 60° 時在水面下波壓力分佈時，其分佈極為相近，如圖 (c) 所示，然後依次為 $\theta = 0^\circ$ 以及 $\theta = 90^\circ$ 時，顯然地，對相同入射波浪條件試驗結果顯示以斜向入射所產生垂直波壓力值為大，波浪尖銳度值較小時以 $\theta = 45^\circ$ 為最大，波浪尖銳度值較大時，以 $\theta = 30^\circ$ 時為最大；當波谷時，堤面所受離岸垂直波壓力，試驗結果顯示，在各種波浪尖銳度作用下均較當波浪為波峯時為小，且波浪尖銳度值較小時，入射角度 θ 為 30° ，與 60° 時，離岸垂直波壓力差異較不顯著，當然尖銳度 H/L 達 0.0661 時，則以 $\theta = 30^\circ$ 時堤面所受垂直波壓力分佈值為最大，依次為 45° ， 60°

以及 0° 與 90° ，惟試驗結果有一顯著特徵即當波浪斜向入射在堤前形成三維短峯波系統時，在相同入射波浪條件作用下均較駐波時波壓分佈值為大如(d)右圖所示。

圖 5-11 為相對水深 $d/L = 0.1003$ 時，不同尖銳度入射波浪作用，堤面垂直波壓力分佈與入射角度 θ 關係，試驗結果顯示，較小波浪尖銳度 H/L 值時，以斜向入射角度 θ 為 45° 時堤面向岸垂直波壓力（波峯時）值最大，依次 $\theta = 60^\circ$ 以及 30° ， 0° ， 90° 等；惟當波浪尖銳度 H/L 值達 0.0347 以上時，堤面垂直波壓力分佈值以 $\theta = 30^\circ$ 最大，依次 $\theta = 45^\circ$ 以及 60° ；當堤面波谷時，試驗結果顯示波浪斜向入射角度對垂直波壓力分佈與當波峯時具有相同趨勢；且當相對水深 d/L 值較小時，波浪波峯時對堤面所產生垂直波壓力分佈較波浪波谷時為大。

§ 5-3 短峯波波壓試驗值與理論值定性比較

本文經採用林銘崇、劉沈榮(1985)，林銘崇、莊明暉(1986)等計算短峯波波壓力相同數值解析法，探討短峯波波壓特性，結果顯示該數值解析法僅適用在相對水深 d/L 值遠大於 0.5 即所謂深水波者，當該數值解以表 4-1 試驗波浪條件代入時，除少數個週期較短，波高振幅小者，計算結果尚能局部收斂外，當相對水深值變淺，該數值解在疊代過程中，即因累積誤差值過大而無法收斂，且能收斂者亦僅限於水面 $0.1 \sim 0.25$ 倍水深處，再深者其波壓力分佈均相同，同一位相半個波長不同位置處標準化後無因次波壓力垂直分佈如圖 5-12，圖形顯示波壓垂直分佈隨入射角度 θ 值之減小而增大，故本文僅就林銘崇、莊明暉等有關深水波短峯波波壓特性，用來和此次試驗結果做一定性地比較。

根據林銘崇等之計算結果，可以歸納成下列特性：

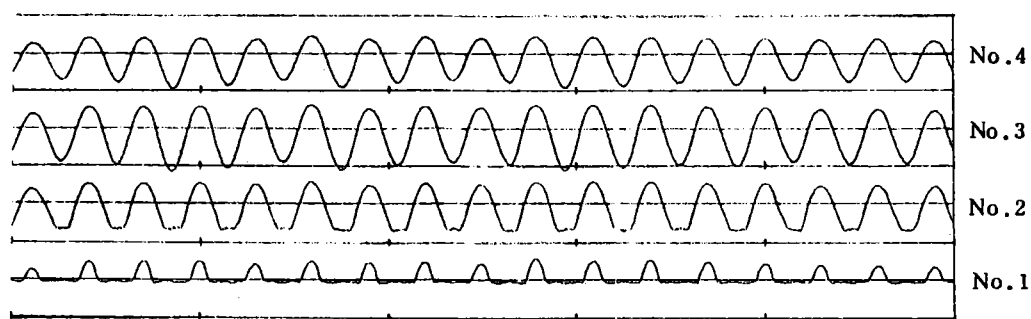
- (1) 關於各種相對水深條件，波壓分佈之關係，在 $X = 0$ 以及 $X = \frac{1}{8} L_x$ 處，波壓分佈隨相對水深之減小而增大，而其他在 $X = \frac{2}{8} L_x$ ， $\frac{3}{8} L_x$ 與 $\frac{4}{8} L_x$ 處等三斷面，最大波壓亦隨水深之減小而增大，且均在水面處產生

最大垂直波壓力，惟試驗結果顯示，除駐波（ $\theta = 0^\circ$ ）波壓分佈其最大波壓發生在水面處外，當波浪斜向入射在堤面形成短峯波時，最大波壓大部均發生在水面下且波高愈大將產生二個 peak 現象，惟有點應注意者，在駐波情況當 $H / d = 0.308$ 時，最大波壓力亦發生在水面下如圖 5 - 3 (d)、(g)、(j)與(n)所示。

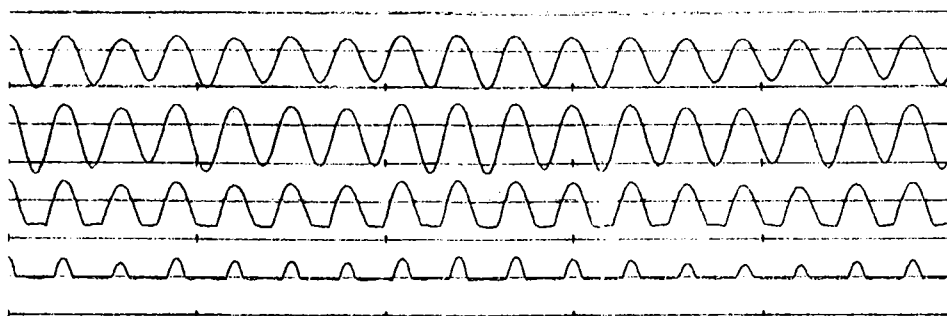
- (2)波高對波壓關係為波壓分佈隨波高之增大而增大，且波高愈大，相對水深愈小對各種入射角之波壓分佈影響愈大；試驗結果顯示，波高對波壓關係亦得相同結果，惟考慮波高，相對水深及入射角對波壓分佈關係時，試驗結果顯示相對水深為 0.1505 時入射角度 θ 對水面下波壓分佈有時幾乎沒有影響如圖 5 - 10 (b)、(c)中所示，為 $\theta = 45^\circ$ 與 60° 時，二者幾乎相等。
- (3)根據林銘崇教授之理論解結果， $X = 0, \frac{1}{2}L_x$ 處波壓剖面分佈，在相對水深小於 1.0 之情況，一般最大波壓隨入射角之減小而增大，而 $X = \frac{2}{8}L_x, \frac{3}{8}L_x$ 二斷面處之最大波壓隨入射角度之減小而減小；而試驗結果顯示，最大波壓分佈並非隨入射角之減小而增大，且和相對水深以及波高關係密切，當相對水深值較大時，最大波壓以 $\theta = 30^\circ$ 時為最，惟自相對水深減小至 0.1505 時，當波高振幅較小時以 $\theta = 45^\circ$ 之波壓為最，當然 H / d 大於 0.344 時則以 $\theta = 30^\circ$ 之波壓分佈為最，如圖 5 - 10 (c)、(d)與圖 5 - 11 (c)、(d)所示。
- (4)理論解顯示在相對水深 d / L 值為 2.0 及 4.0 時在 $X = 0$ 斷面之波壓在水平面之最大波壓力。 $\theta = 15^\circ$ 時之短峯波波壓會略大於駐波波壓，在水面下之相對水深波壓分佈，則隨入射角之減小而減小，水面上則相反；然試驗結果均顯示，除較大相對水深（如 $d / L = 0.281$ ），波浪尖銳度 H / L 較小（如 $H / L = 0.0225$ ），水平面上之最大波壓力為最大（如圖 5 - 3 (a)）外，大部份均較堤前形成短峯時之最大波壓力為小，而隨著波浪波高之增大，差距愈明顯。

§ 5 - 4 短峯波波壓試驗值與 Sainflou 公式計算值比較

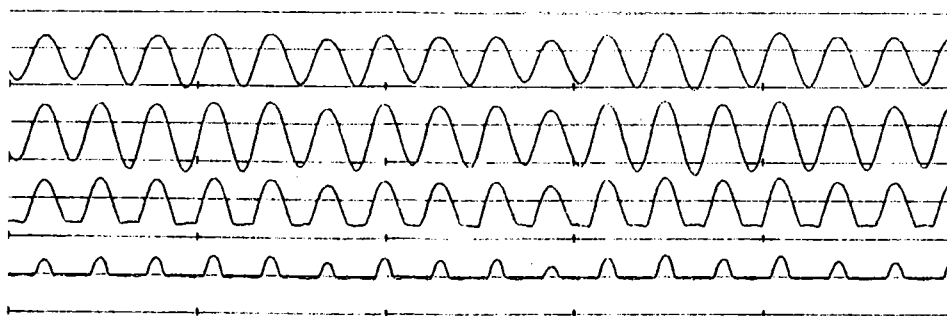
本試驗當波浪入射角 θ 爲 0° ，即駐波情況時，其波壓試驗值經與 Sainflou 波壓公式計算結果比較，分別如圖 5-13 (a)~(p) 中所示，當相對水深值分別爲 0.1003 以及 0.1505 時，試驗結果顯示，實驗值和 Sainflou 波壓公式計算值尚稱符合，如圖中(i)~(p)所示，此點與往昔學者試驗結果尚稱一致；惟當相對水深較深達 0.195 與 0.281 時，過去學者認爲 Sainflou 波壓公式計算值較實驗值爲大，然本次試驗結果顯示，兩者差異除相對水深因素影響外，入射波浪尖銳度亦爲原因之一，在相同水深值爲 0.195 時，當波浪尖銳度小於 0.0748 時，則 Sainflou 公式計算值有偏小趨勢如圖(a)、(b)所示，在相對水深值爲 0.281 時，當波浪尖銳度值大於 0.0600 時，則 Sainflou 公式亦有偏小趨勢，如圖(g)、(h)所示。



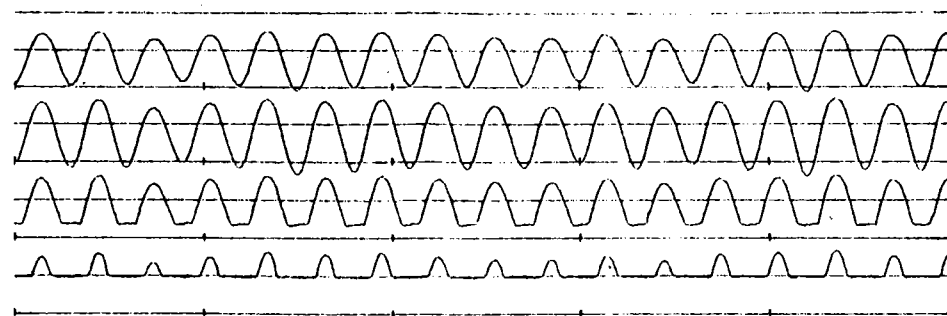
(a) $x = 0$



(b) $x = \frac{1}{8} Lx$



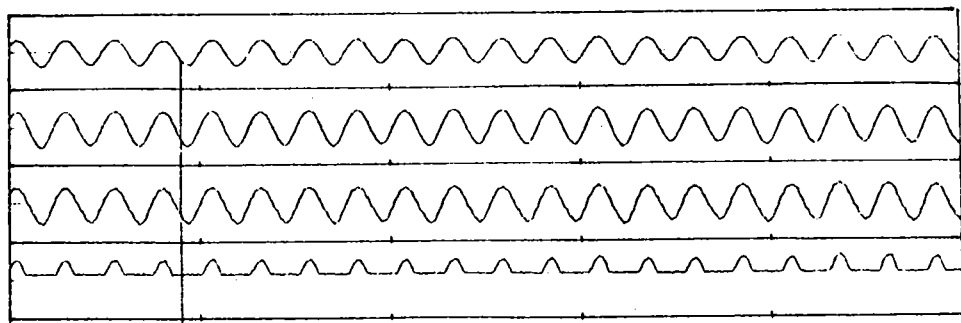
(c) $x = \frac{2}{8} Lx$



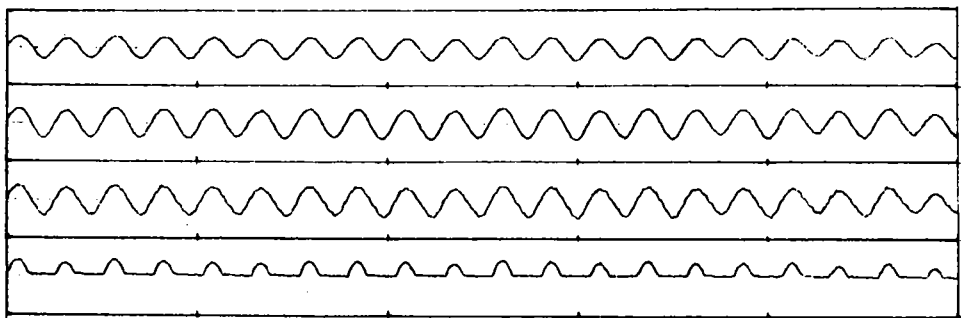
(d) $x = \frac{3}{8} Lx$

圖 5 - 1 不同位置水深處波壓波形實測記錄圖

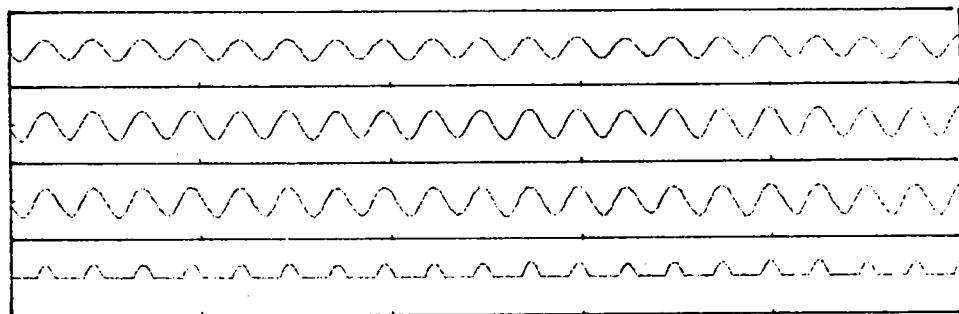
(a) $\theta = 30^\circ$, $H_i = 15.4 \text{ cm}$, $T = 1.7 \text{ sec}$



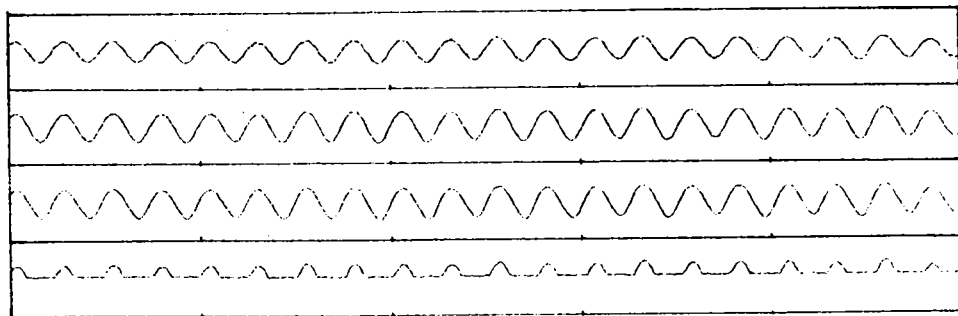
(a) $x = 0$



(b) $x = \frac{1}{8} Lx$



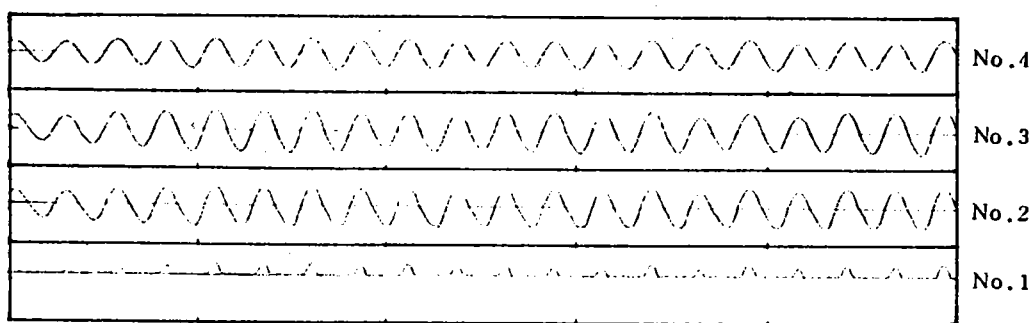
(c) $x = \frac{2}{8} Lx$



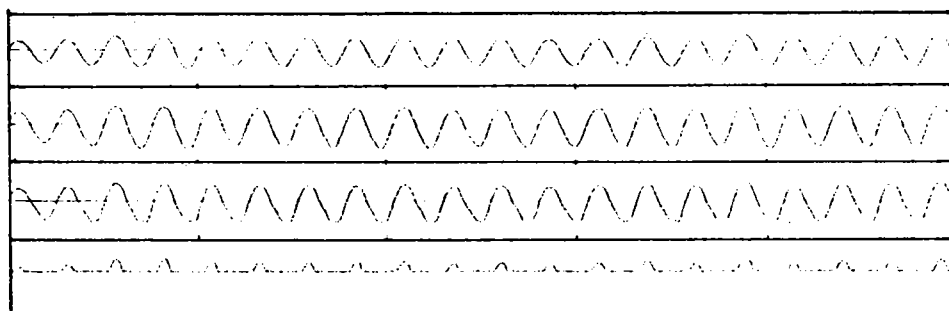
(d) $x = \frac{3}{8} Lx$

圖 5-1 (續) 不同位置水深處波壓波形垂直分佈實測記錄圖

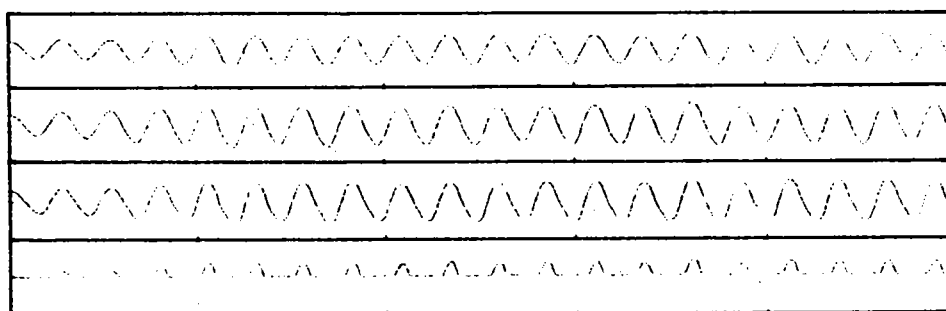
(b) $\theta = 45^\circ$, $H_i = 8.7 \text{ cm}$, $T = 1.4 \text{ sec}$



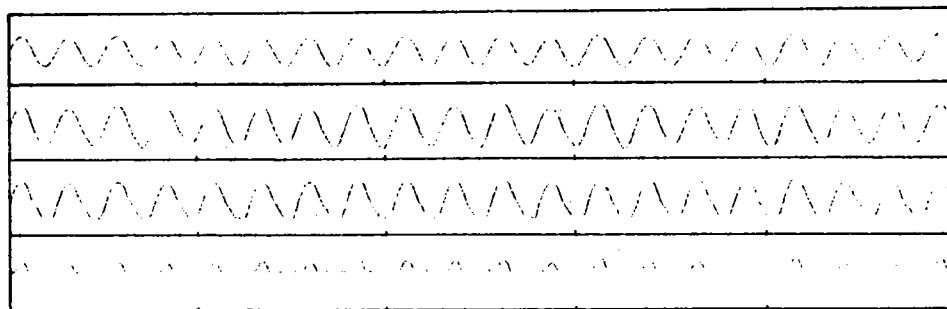
(a) $x = 0$



(b) $x = \frac{1}{8} Lx$



(c) $x = \frac{2}{8} Lx$



(d) $x = \frac{3}{8} Lx$

圖 5-1 (續) 不同位置水深處波壓波形垂直分佈實測記錄圖

(c) $\theta = 60^\circ$, $H_i = 8.7 \text{ cm}$, $T = 1.4 \text{ sec}$

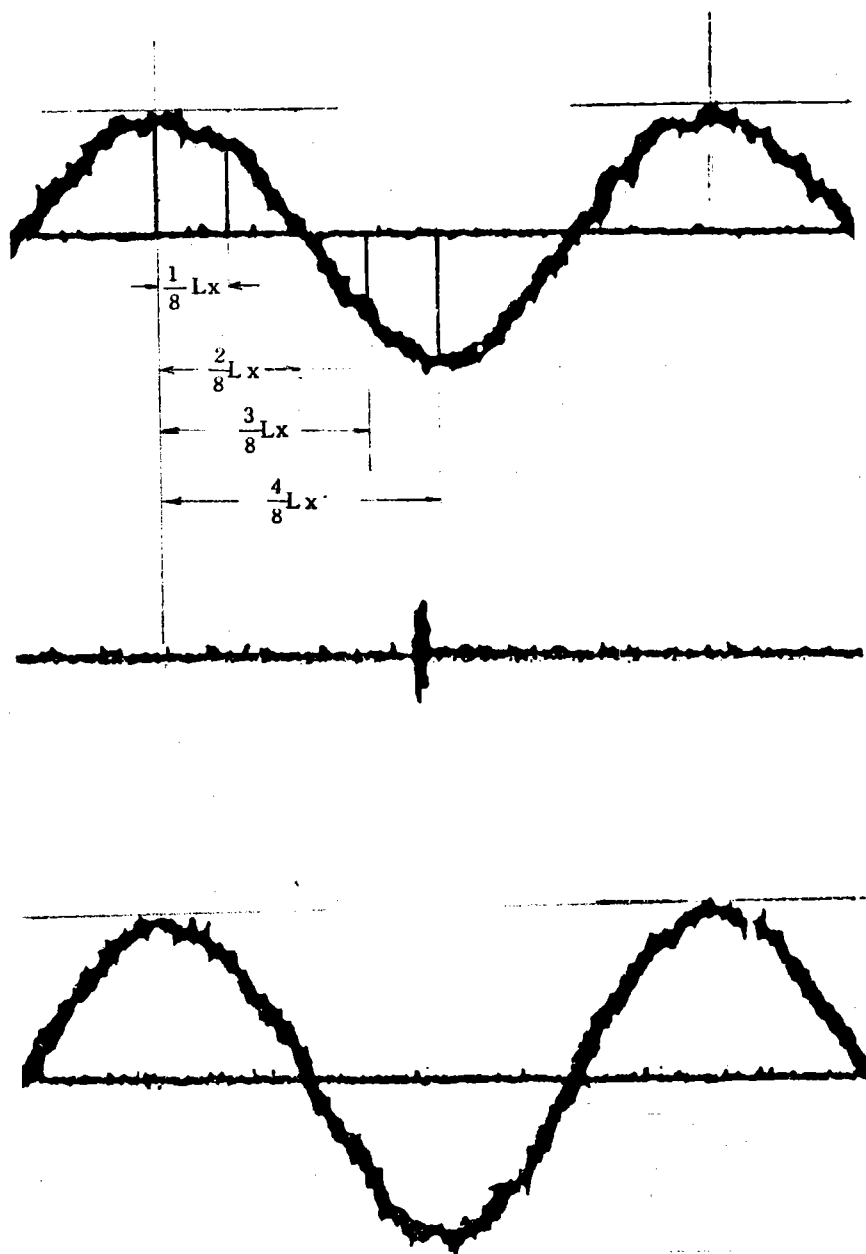
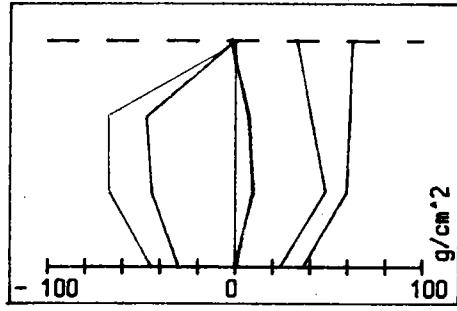
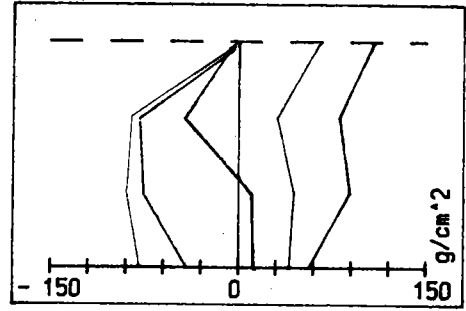


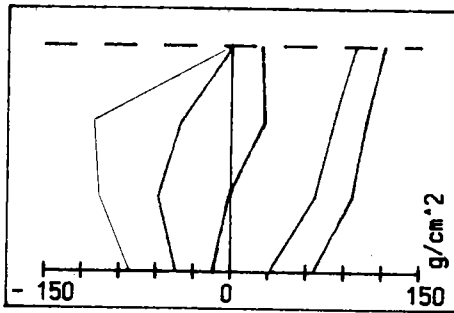
圖 5 - 2 $x = 0, \frac{1}{8}Lx, \frac{2}{8}Lx, \frac{3}{8}Lx, \frac{4}{8}Lx$ 波壓造取定義圖



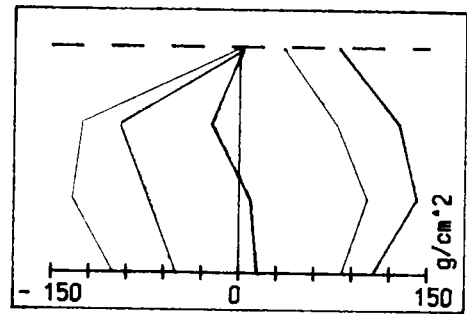
(a) $d/L=0.281$; $H/L=0.225$



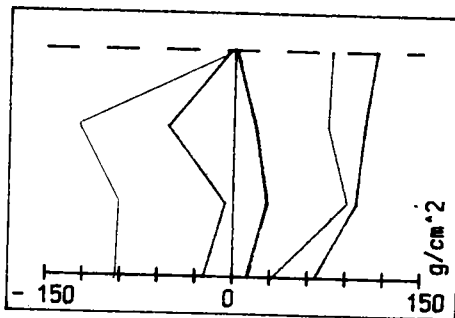
(e) $d/L=0.195$; $H/L=0.0340$



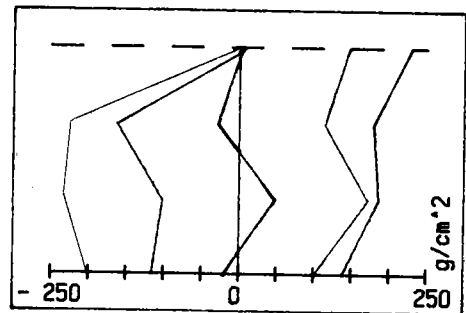
(b) $d/L=0.281$; $H/L=0.0489$



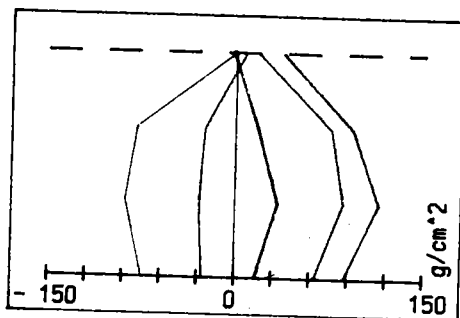
(f) $d/L=0.195$; $H/L=0.0602$



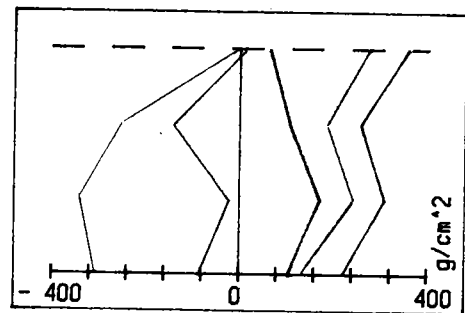
(c) $d/L=0.281$; $H/L=0.0747$



(g) $d/L=0.195$; $H/L=0.0672$

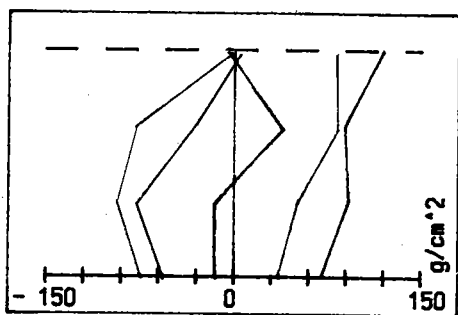


(d) $d/L=0.281$; $H/L=0.865$

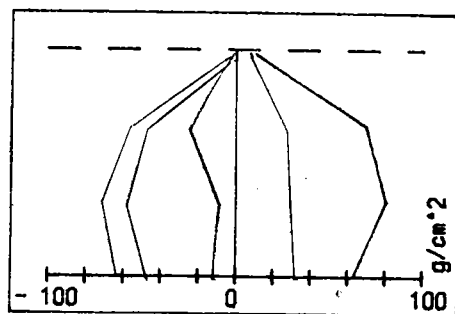


(h) $d/L=0.195$; $H/L=0.0832$

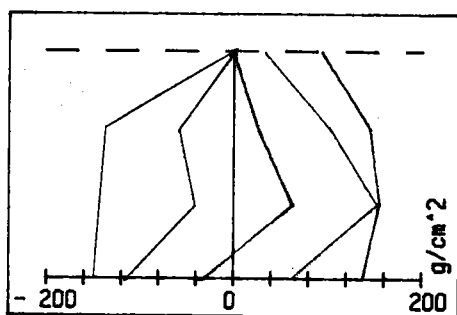
圖 5-3 入射角 $\theta = 0^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖



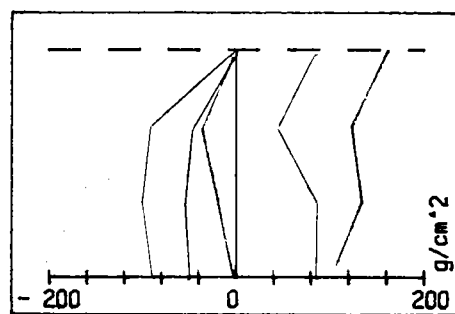
(i) $d/L=0.1505$; $H/L=0.027$



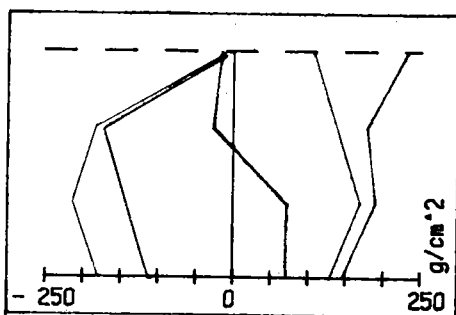
(m) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0174$



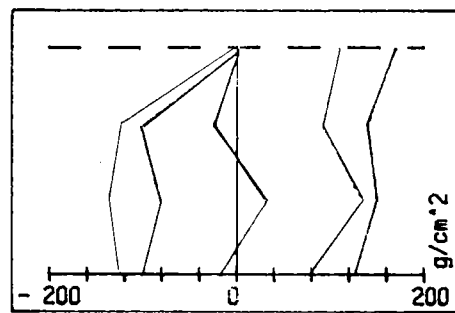
(j) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0478$



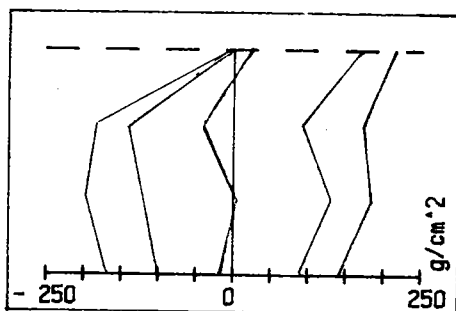
(n) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0309$



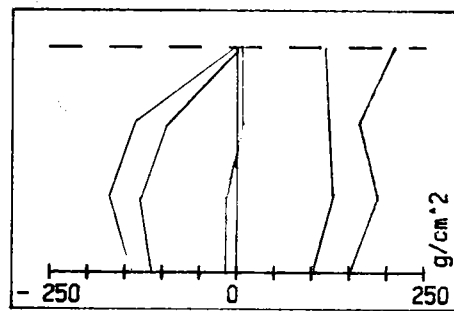
(k) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0534$



(o) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0347$

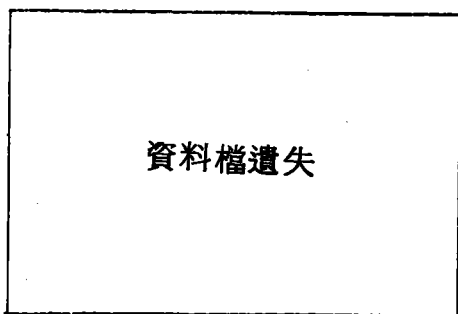


(l) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0661$

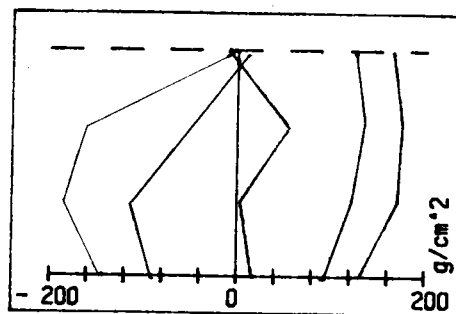


(p) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0427$

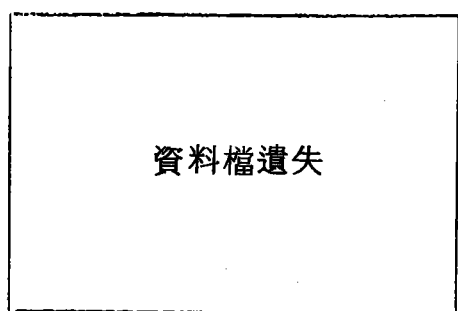
圖 5-3 (續) 入射角 $\theta = 0^\circ$ 時, 沿堤面垂直波壓力分佈圖



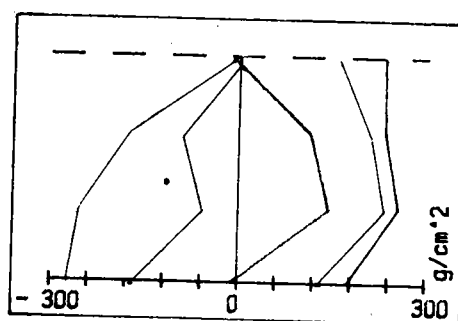
(a) $d/L=0.281$; $H/L=0.0225$



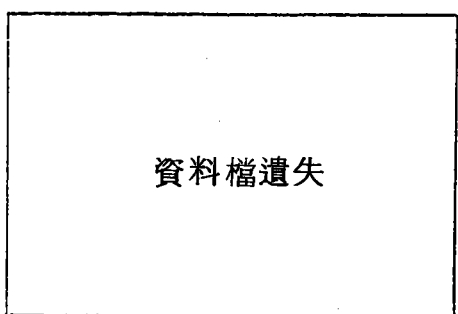
(e) $d/L=0.195$; $H/L=0.0340$



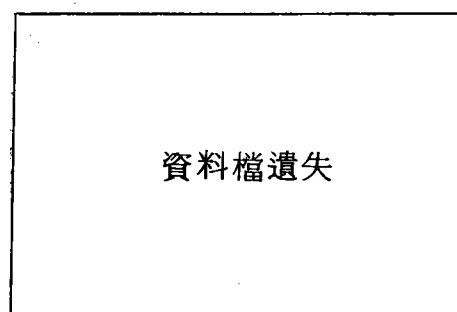
(b) $d/L=0.281$; $H/L=0.0489$



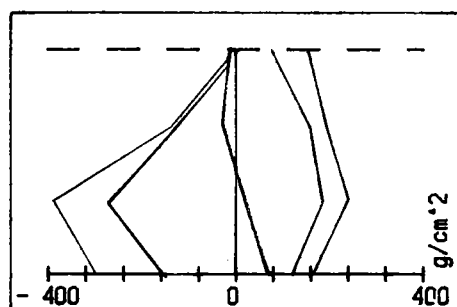
(f) $d/L=0.195$; $H/L=0.0602$



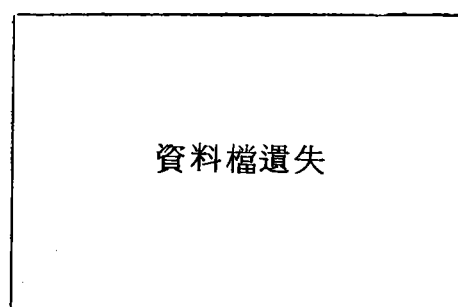
(c) $d/L=0.281$; $H/L=0.0747$



(g) $d/L=0.195$; $H/L=0.0672$

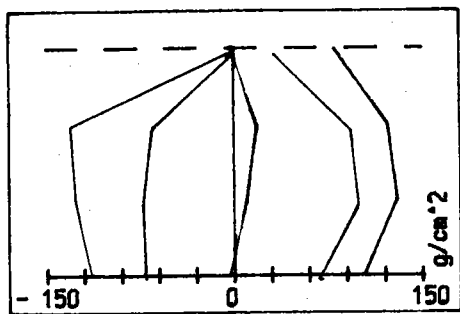


(d) $d/L=0.281$; $H/L=0.0865$

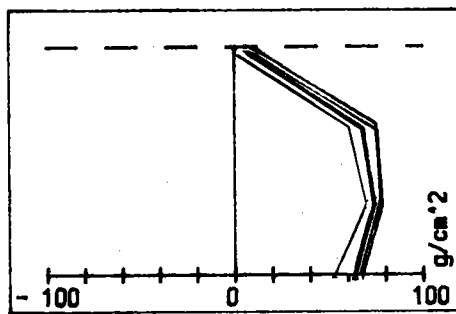


(h) $d/L=0.195$; $H/L=0.832$

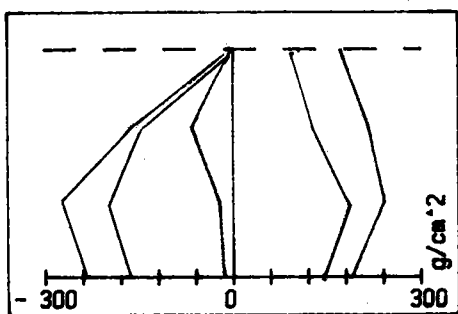
圖 5-4 入射角 $\theta = 30^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖



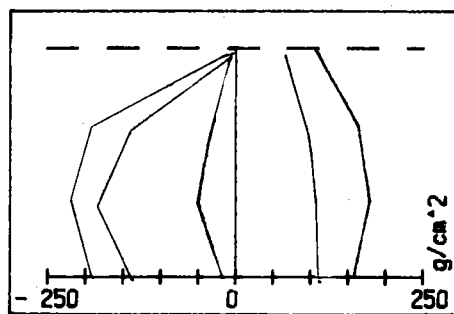
(i) $d/L=0.1505$; $H/L=0.027$



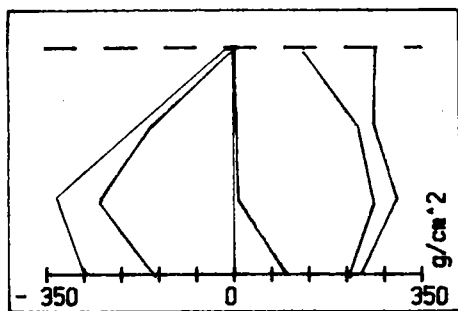
(m) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0174$



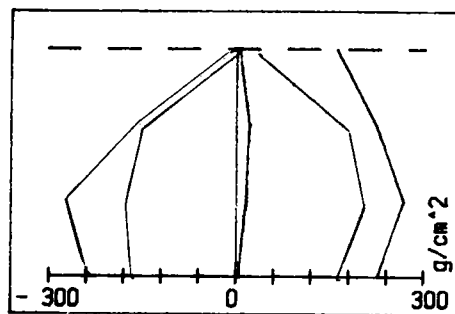
(j) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0478$



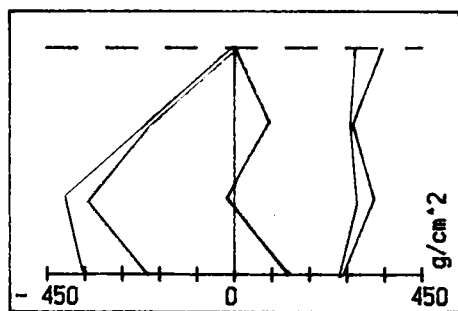
(n) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0309$



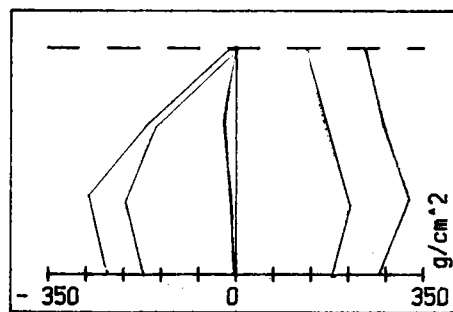
(k) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0534$



(o) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0347$

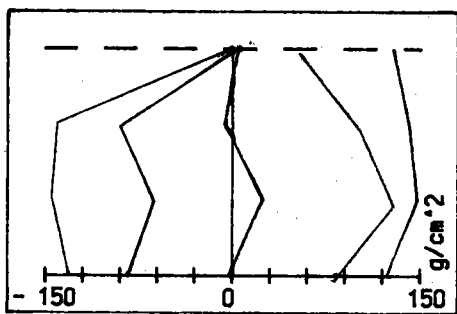


(l) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0661$

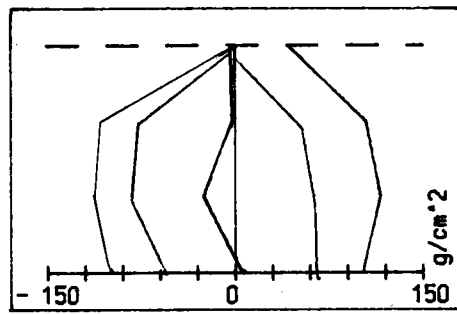


(p) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0427$

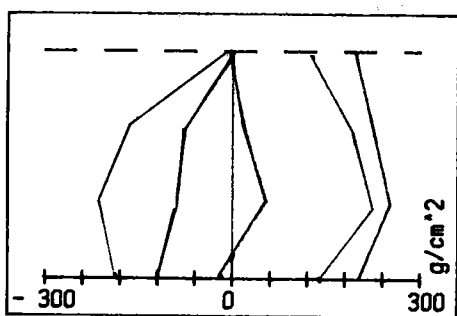
圖 5-4 (續) 入射角 $\theta = 30^\circ$ 時, 沿堤面垂直波壓力分佈圖



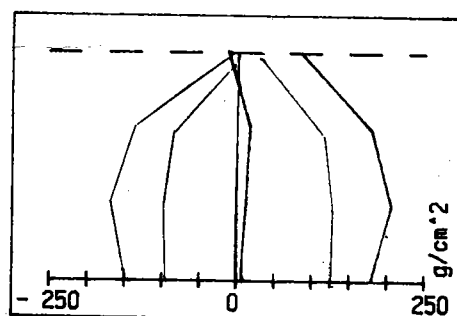
(i) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0270$



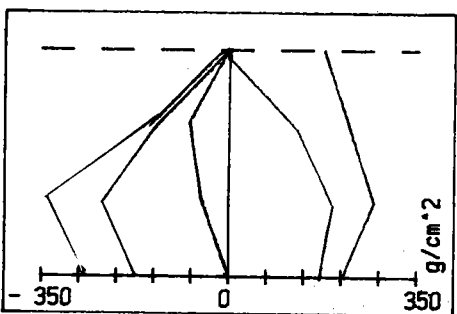
(m) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0174$



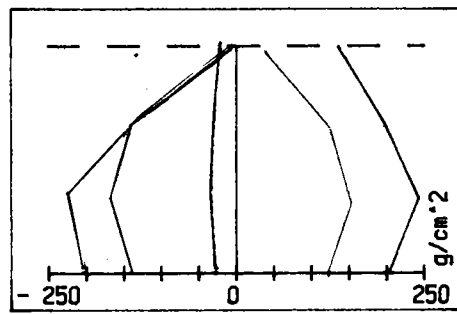
(j) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0478$



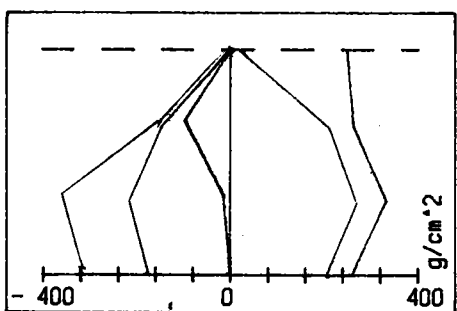
(n) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0309$



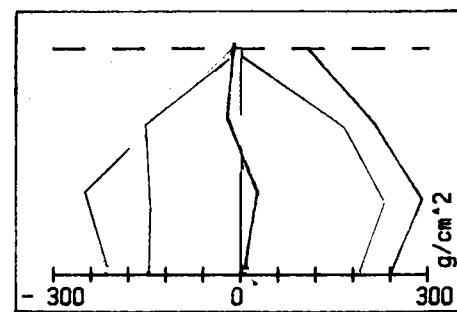
(k) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0534$



(o) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0349$

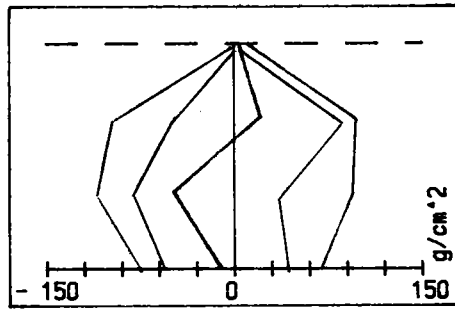


(l) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0661$

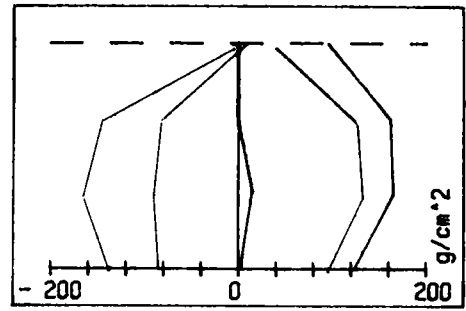


(p) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0437$

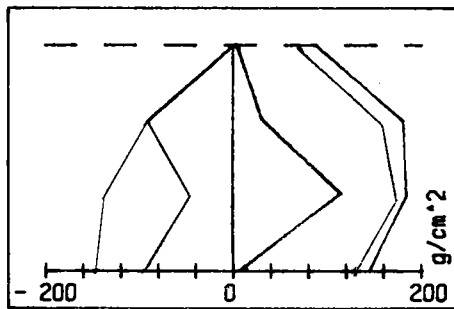
圖 5-5 (續) 入射角 $\theta = 45^\circ$ 時, 沿堤面垂直波壓力分佈圖



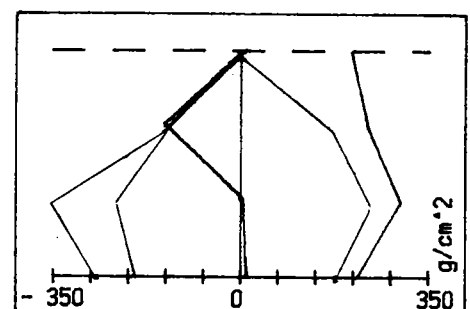
(a) $d/L=0.281$; $H/L=0.0225$



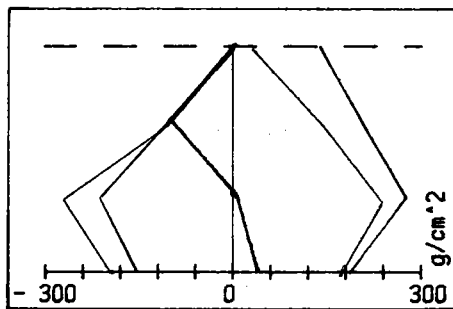
(e) $d/L=0.195$; $H/L=0.0340$



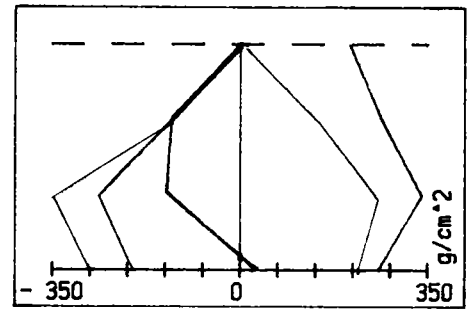
(b) $d/L=0.281$; $H/L=0.0489$



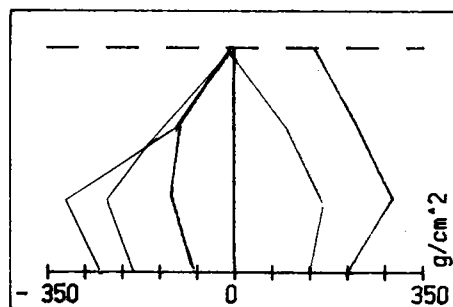
(f) $d/L=0.195$; $H/L=0.0602$



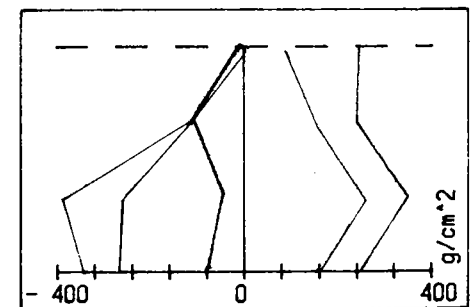
(c) $d/L=0.281$; $H/L=0.0747$



(g) $d/L=0.195$; $H/L=0.0672$



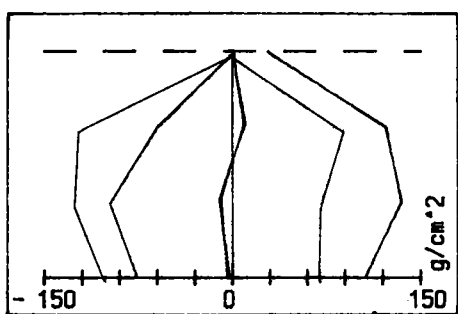
(d) $d/L=0.281$; $H/L=0.0865$



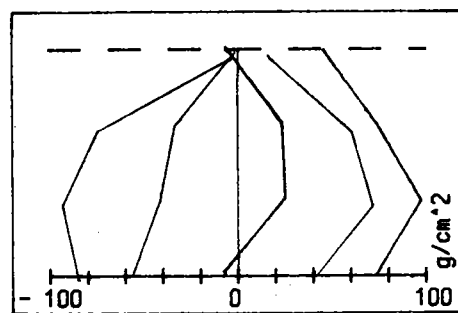
(h) $d/L=0.195$; $H/L=0.0832$

圖 5-6

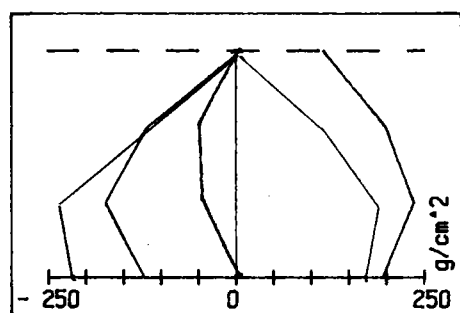
入射角 $\theta = 60^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖



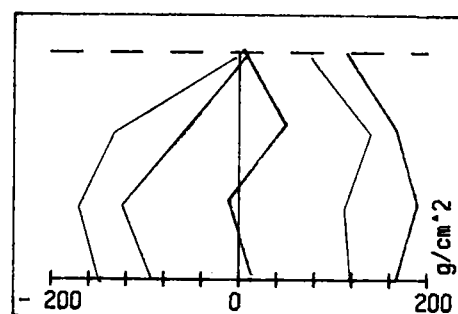
(i)



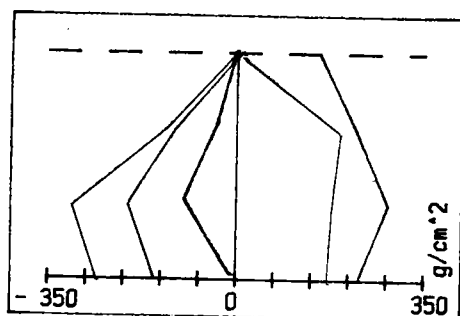
(m)



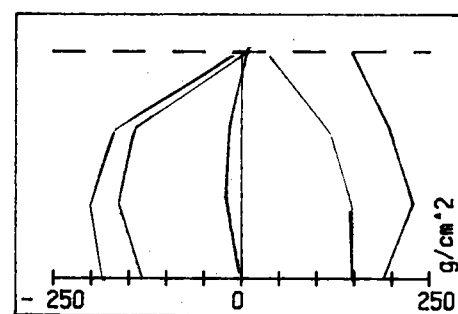
(j)



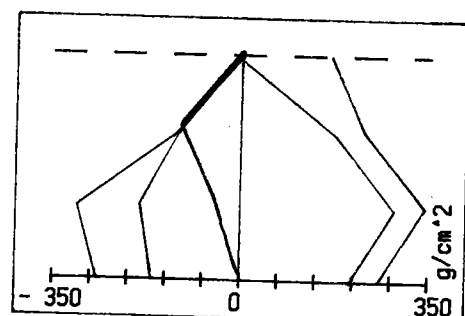
(n)



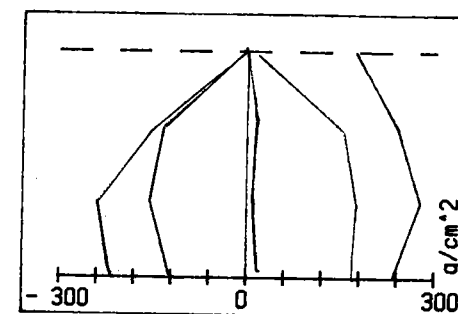
(k)



(o)

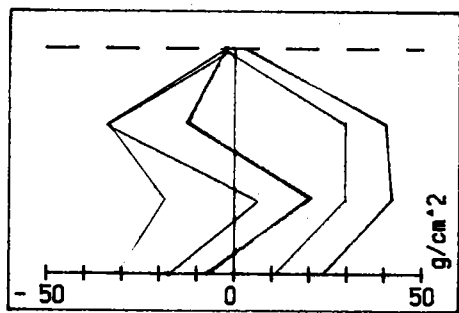


(l)

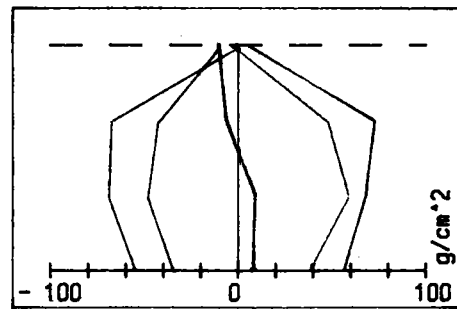


(p)

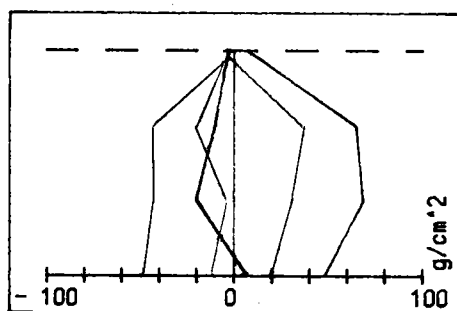
圖 5-6 (續) 入射角 $\theta = 60^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖



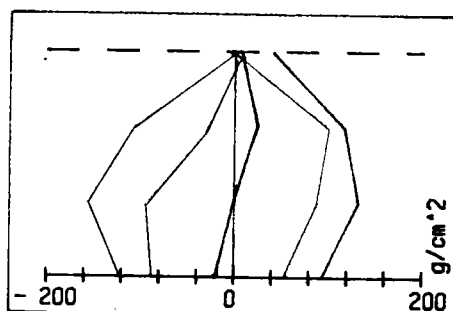
(a) $d/L=0.281$; $H/L=0.0225$



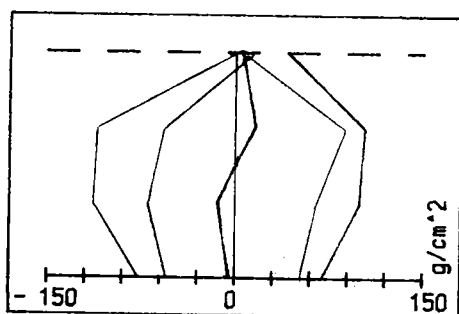
(e) $d/L=0.195$; $H/L=0.0340$



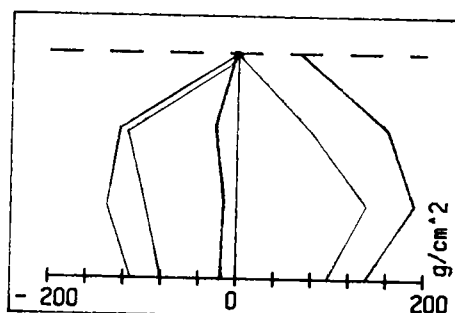
(b) $d/L=0.281$; $H/L=0.0489$



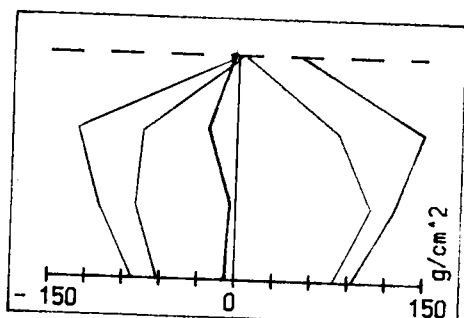
(f) $d/L=0.195$; $H/L=0.0602$



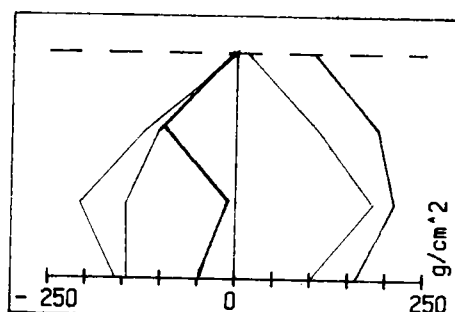
(c) $d/L=0.281$; $H/L=0.0747$



(g) $d/L=0.195$; $H/L=0.0672$

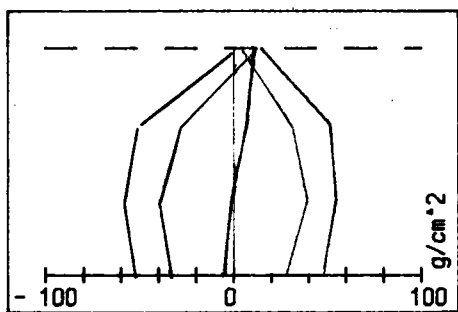


(d) $d/L=0.281$; $H/L=0.0865$

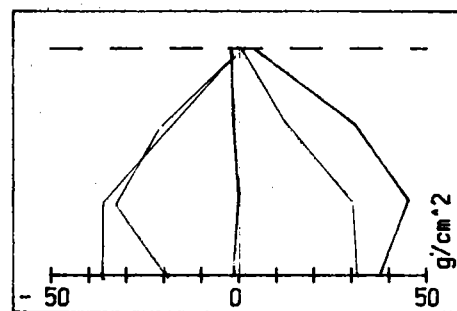


(h) $d/L=0.195$; $H/L=0.0832$

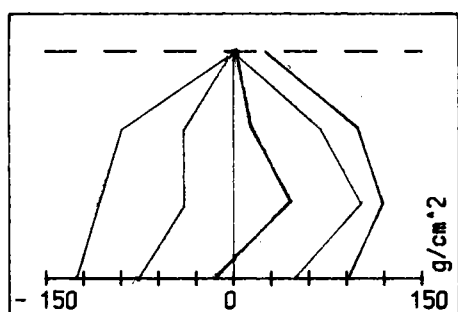
圖 5-7 入射角 $\theta = 90^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖



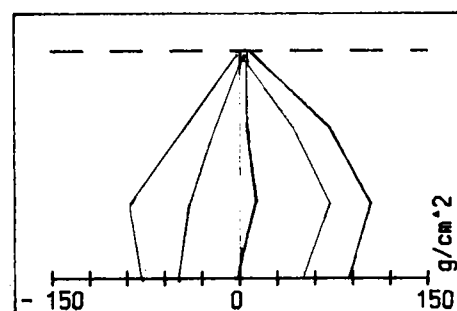
(i)



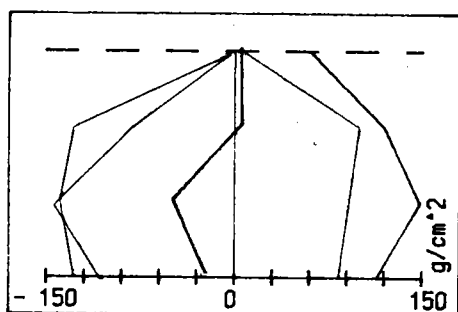
(m)



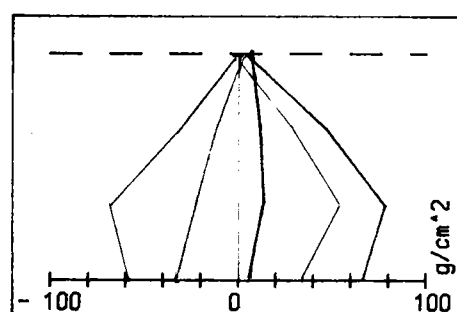
(j)



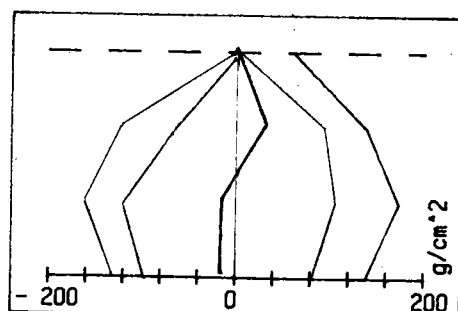
(n)



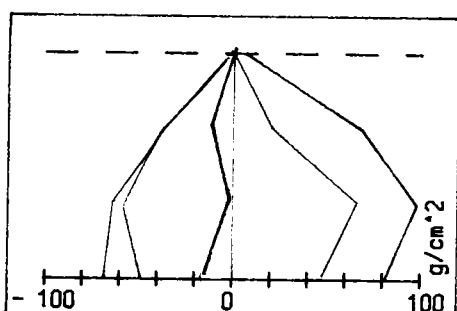
(k)



(o)

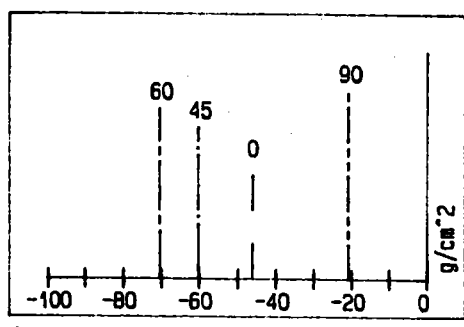


(l)

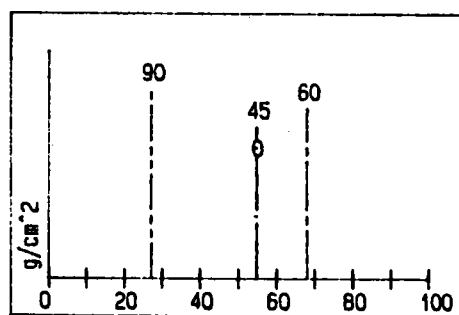


(p)

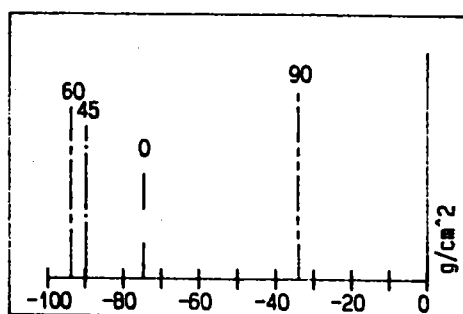
圖 5-7 入射角 $\theta = 90^\circ$ 時，沿堤面垂直波壓力分佈圖



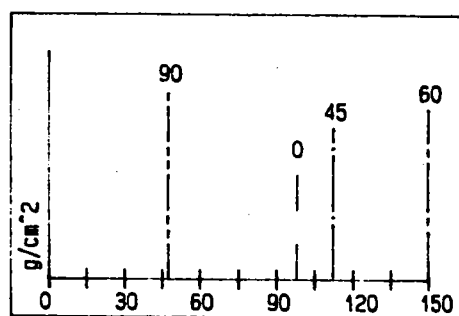
(a) $H/L=0.0225$; 波峰時



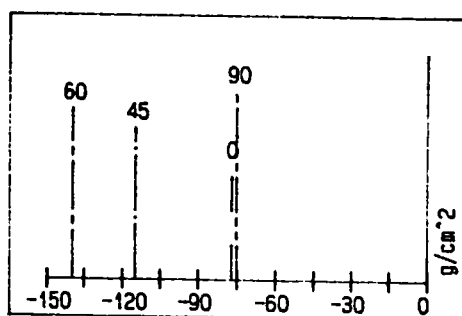
$H/L=0.0225$; 波谷時



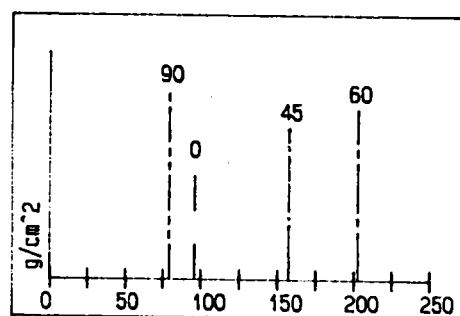
(b) $H/L=0.0489$; 波峰時



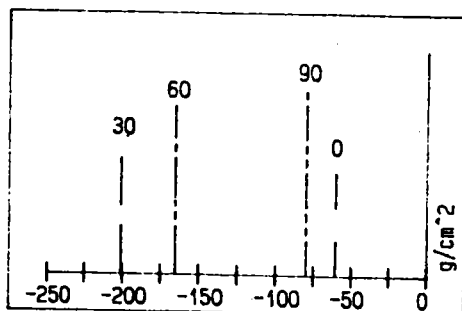
$H/L=0.0489$; 波谷時



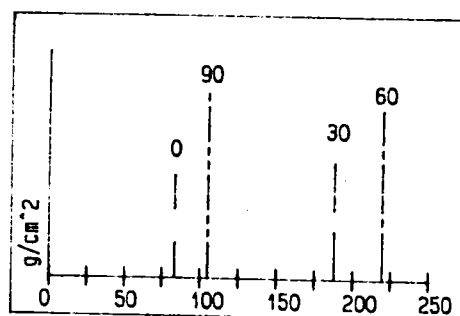
(c) $H/L=0.0747$; 波峰時



$H/L=0.0747$ 波谷時

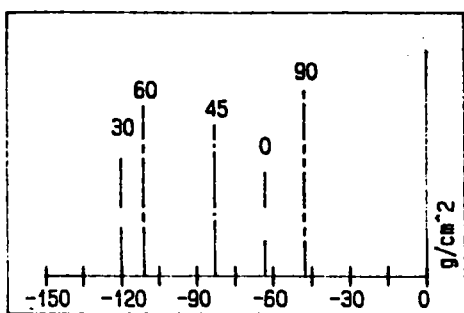


(d) $H/L=0.0865$; 波峰時

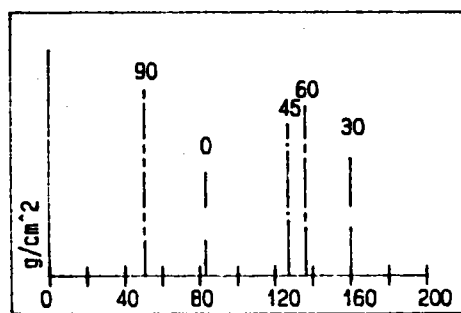


$H/L=0.0865$; 波谷時

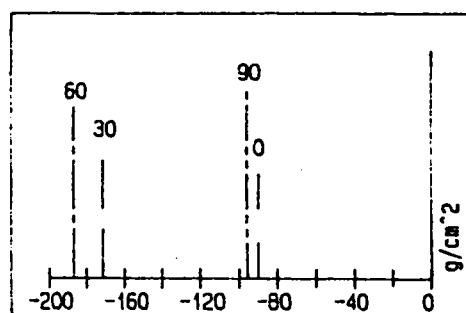
圖 5-8 垂直堤面最大波壓力與波浪入射角 θ 關係 ($d/L=0.281$)



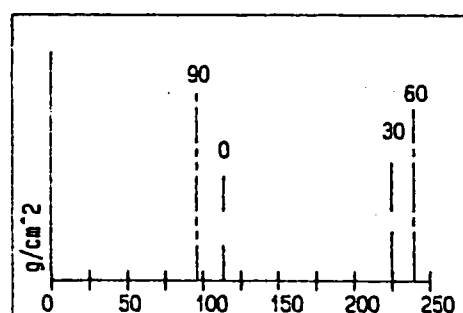
(a) $H/L=0.0174$; 波峰時



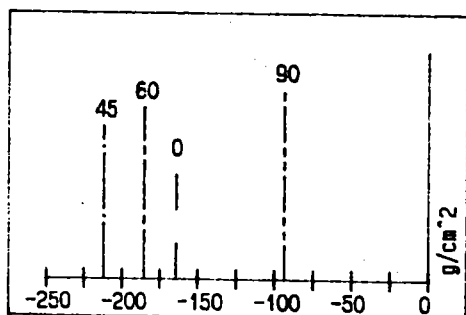
$H/L=0.0174$; 波谷時



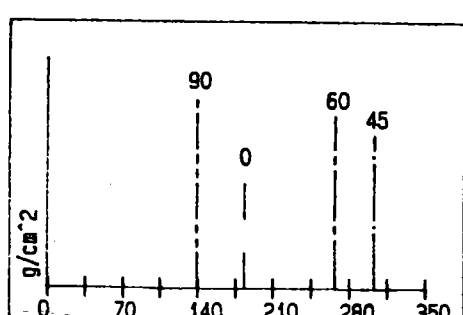
(b) $H/L=0.0309$; 波峰時



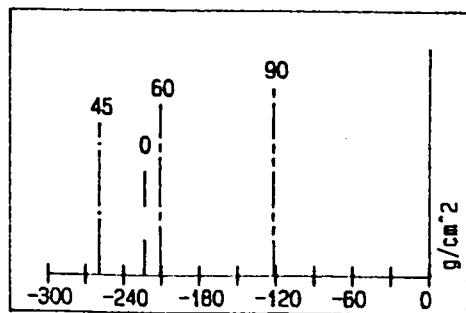
$H/L=0.0309$; 波谷時



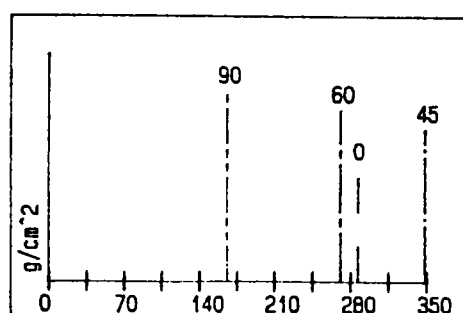
(c) $H/L=0.0347$; 波峰時



$H/L=0.0347$; 波谷時

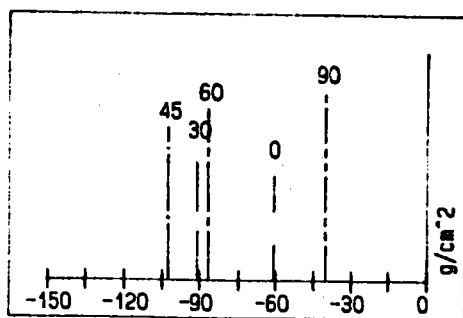


(d) $H/L=0.0427$; 波峰時

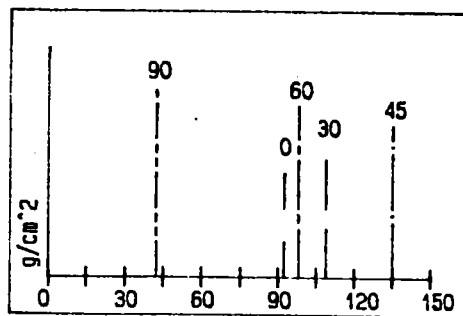


$H/L=0.0427$; 波谷時

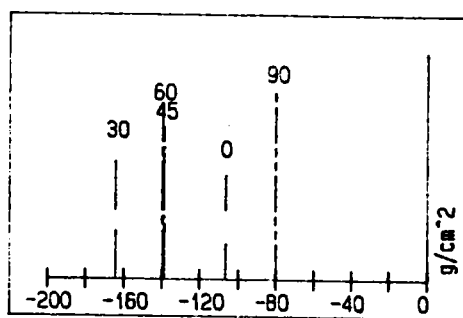
圖 5-9 垂直堤面最大波壓力與波浪入射角 θ 關係 ($d/L=0.195$)



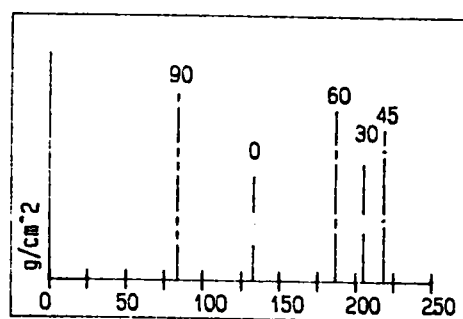
(a) $H/L=0.0270$; 波峰時



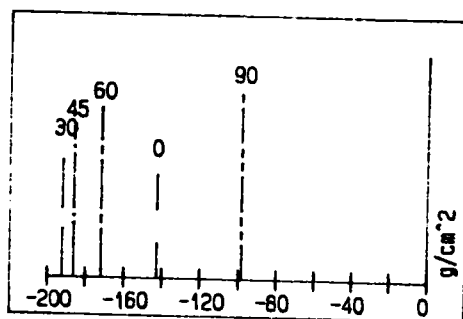
$H/L=0.0270$; 波谷時



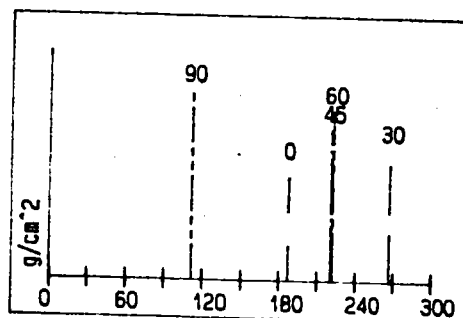
(b) $H/L=0.0478$; 波峰時



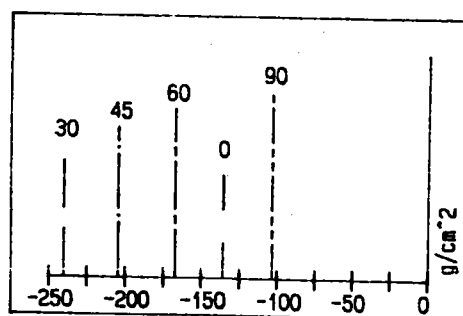
$H/L=0.0478$; 波谷時



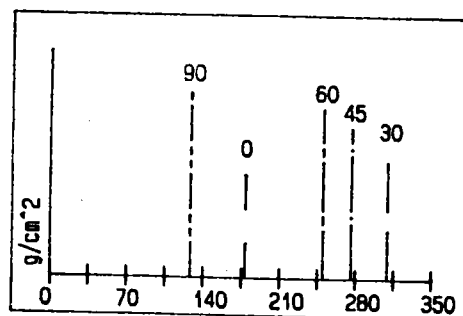
(c) $H/L=0.0534$; 波峰時



$H/L=0.0534$; 波谷時

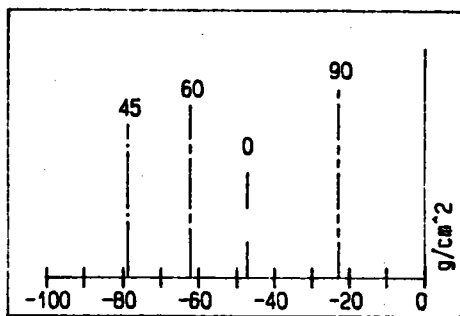


(d) $H/L=0.0661$; 波峰時

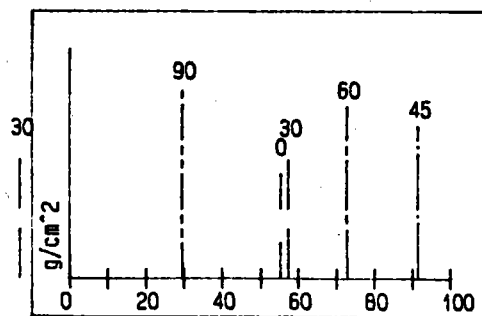


$H/L=0.0661$; 波谷時

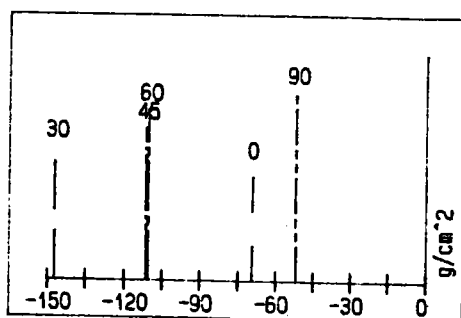
圖 5-10 垂直堤面最大波壓力與波浪入射角 θ 關係 ($d/L=0.1505$)



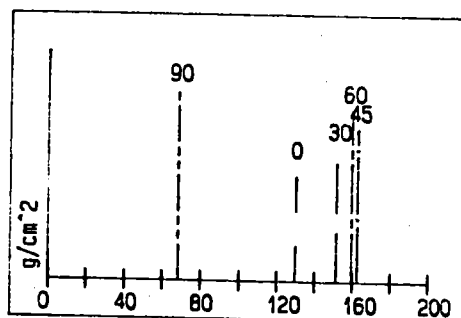
(a) $H/L=0.0174$; 波峰時



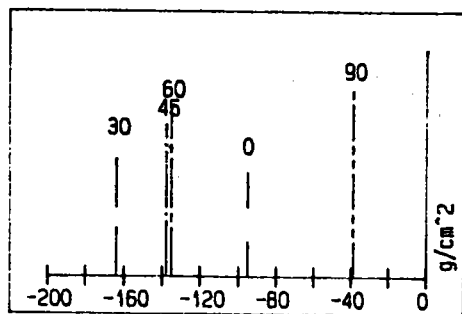
$H/L=0.0174$; 波谷時



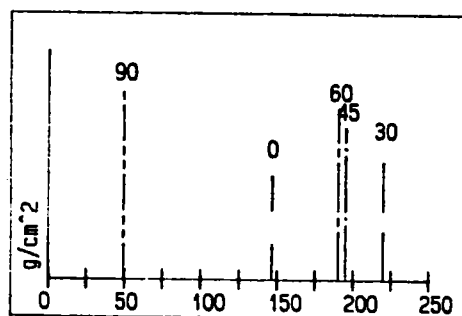
(b) $H/L=0.0309$; 波峰時



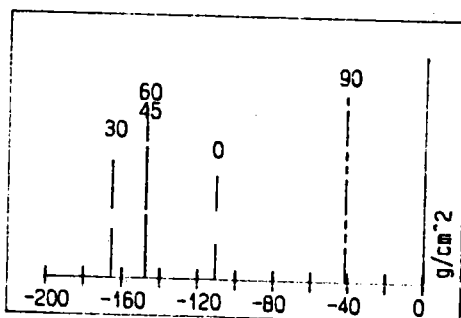
$H/L=0.0309$; 波谷時



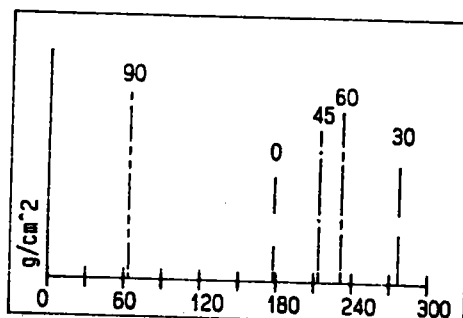
(c) $H/L=0.0347$; 波峰時



$H/L=0.0347$; 波谷時



(d) $H/L=0.0427$; 波峰時



$H/L=0.0427$; 波谷時

圖 5-11 垂直堤面最大波壓力與波浪入射角 θ 關係 ($d/L=0.1003$)

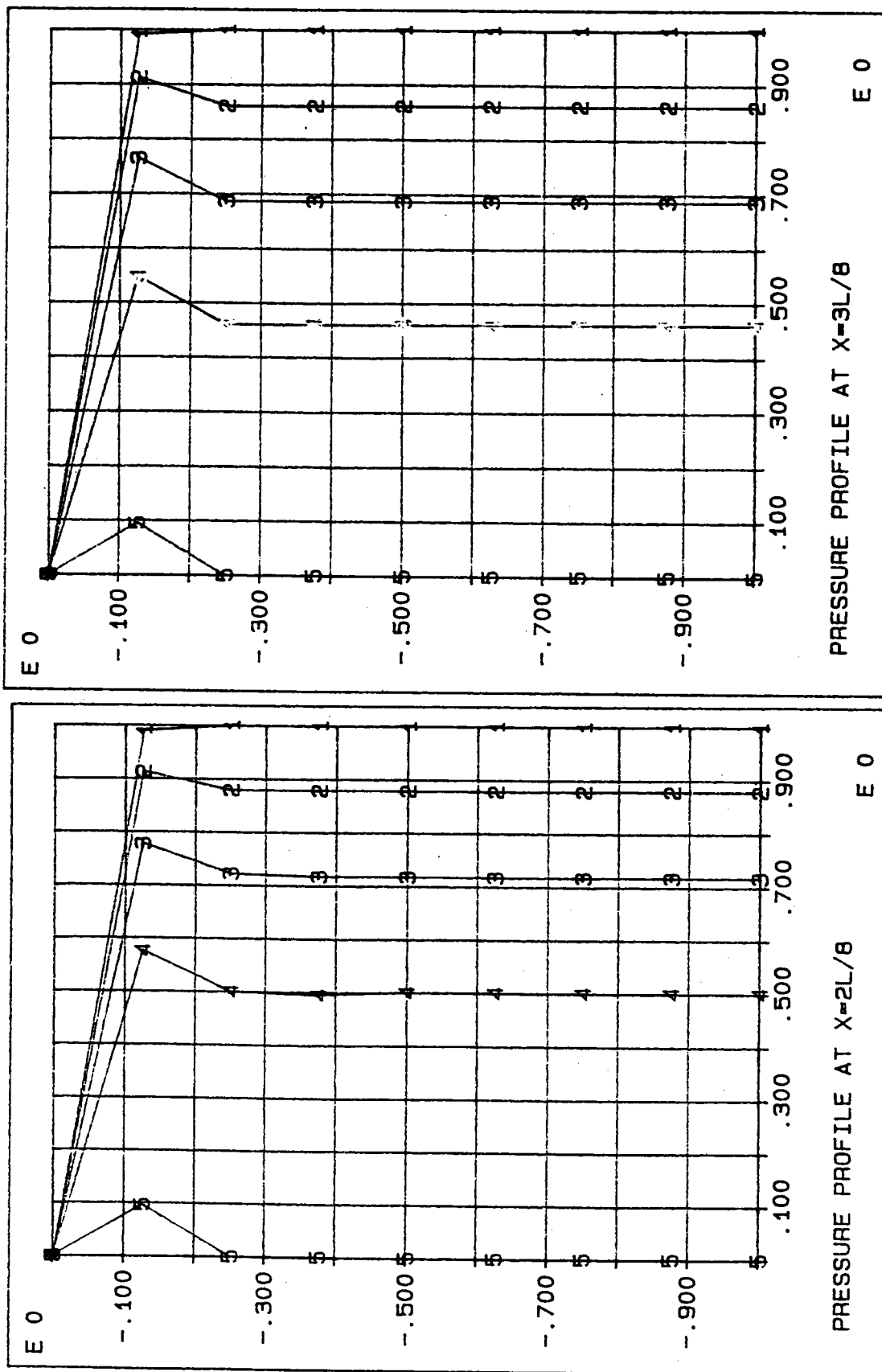
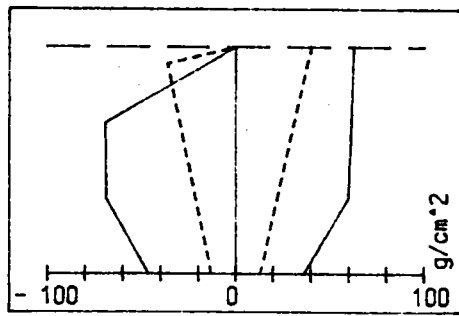
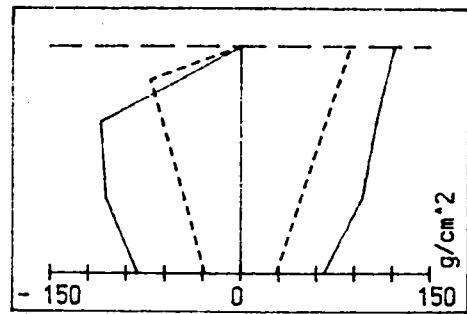


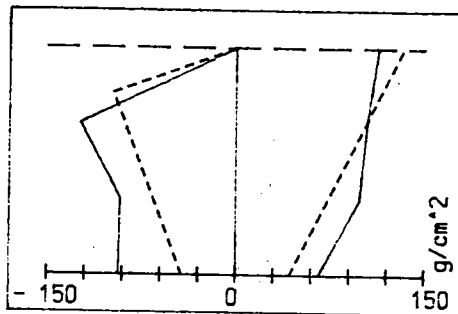
圖 8 - 12 (續) 不同位置標準化後無因次波壓力垂直分佈理論值



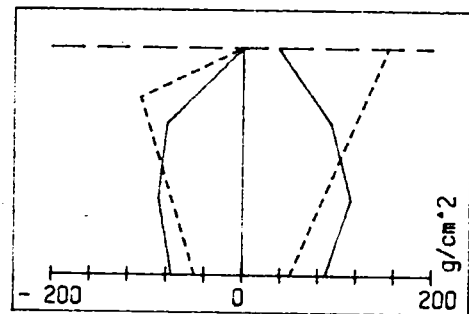
(a) $d/L=0.281$; $H/L=0.0225$



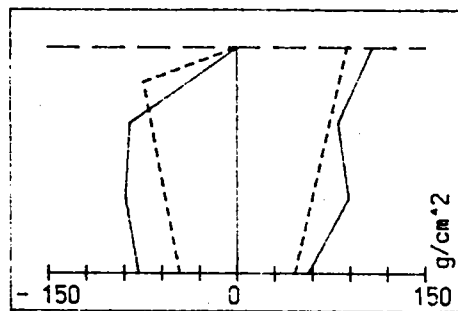
(b) $d/L=0.281$; $H/L=0.0489$



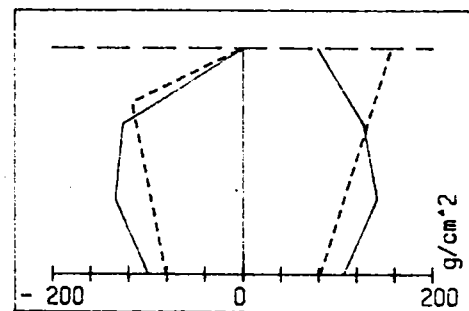
(c) $d/L=0.281$; $H/L=0.0748$



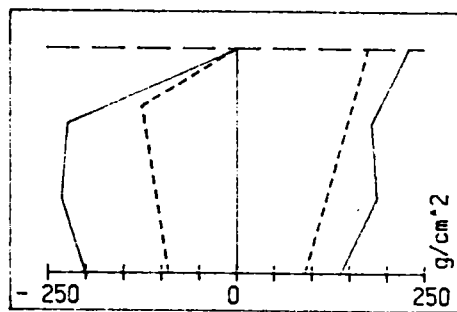
(d) $d/L=0.281$; $H/L=0.0855$



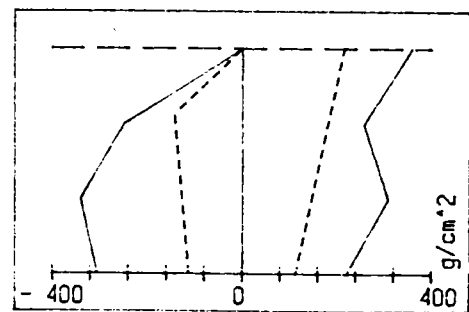
(e) $d/L=0.195$; $H/L=0.0340$



(f) $d/L=0.195$; $H/L=0.0500$

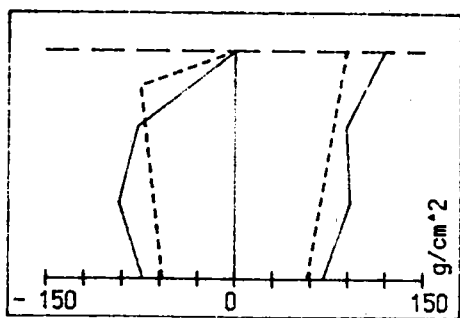


(g) $d/L=0.195$; $H/L=0.670$

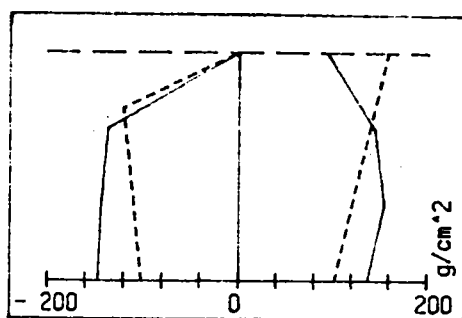


(h) $d/L=0.195$; $H/L=0.0831$

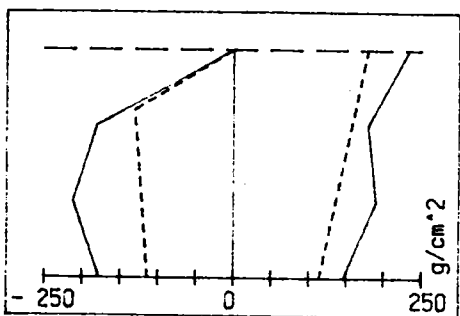
圖 5 - 13 波壓試驗值 ($\theta = 0$) 與 Sainflou 波壓公式計算值比較圖



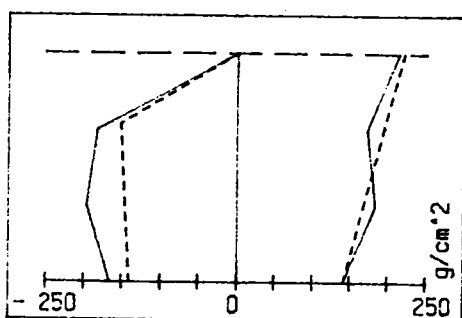
(i) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0262$



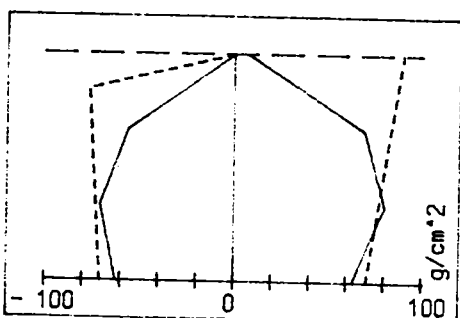
(j) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0464$



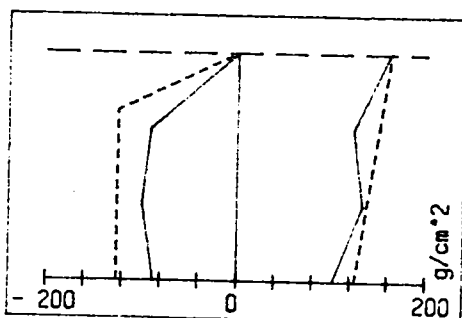
(k) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0518$



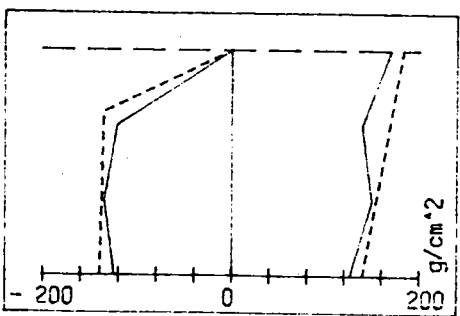
(l) $d/L=0.1505$; $H/L=0.0641$



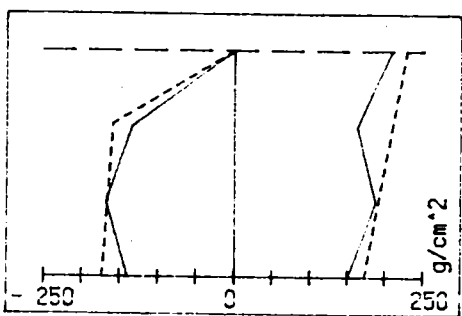
(m) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0174$



(n) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0309$



(o) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0345$



(p) $d/L=0.1003$; $H/L=0.0427$

圖 5-13 (續) 波壓試驗值 ($\theta=0$) 與 Sainflou 波壓公式計算值比較圖

第六章 結論及建議

(一) 結論

綜合本次試驗結果，吾人可獲致下列數點結論：

- (1) 試驗結果顯示，短峯波沿著堤面波浪前進方向在不同斷面所量測之波壓波形均相同，證明在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；而離岸波壓力一般均發生在水面下；惟相對水深，波浪尖銳度比值較大，試驗結果顯示當波浪在波谷時所產生離岸垂直波壓力甚致較波峯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勢於複雜且產生二個 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，當波浪入射角度採斜向入射時，因在堤前形成短峯波系統使得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，垂直波壓力均較 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峯時當 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 爲 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爲減小，最大向岸或離岸波壓力均發生在水面下，且以波峯情況爲最大，同時在相同波高試驗條件，仍以在相對水深比值爲 0.1950 時其垂直波壓力分佈爲最大。
- (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爲 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，在波峯時，以 θ 爲 45° 垂直波壓力值爲最大，依次爲 30° ， 60° ， 0° 及 90° 等，波浪尖銳度值較大達 0.0347 以上時，以 θ 爲 30° 時爲最大依次爲 45° 及 60° ；當堤面爲波谷時角度對垂直波壓力分佈影響與波浪爲波峯時具相同趨勢。
- (6)本專題研究經採用林銘崇等計算短峯波波壓力相同數值解析法，探討短峯波壓特性，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爲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，然驗結果顯示，除駐波波壓分佈其最大波壓發生在水面處外，當波浪斜向入射在堤前形成短峯波時，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 爲 0° 即駐波情況，在相對水深爲 0.1003 及 0.1505 時，試驗所量測波壓分佈與經 Sainflou 波壓公式計算所得尙稱符合此點與往昔學者試驗結果尙稱一致，惟當相對水深較深達 0.195 與 0.281 時，過去學者認爲 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。

(二)建議事項：

以上所述仍係針對作用無限長防波堤，短峯波波壓特性試驗結果，惟對有限長防波堤即波浪自堤頭斜向入射時，其波壓力在垂直（ Z 軸）及水平方向（ X 軸）之波壓力分佈是否仍相同應作進一步之研究，並檢討其差異性。

參考資料

1. Fuchs, R.A. (1952): "On the theory of short-crested oscillatory waves. Gravity waves," U.S. Nat. Bur. Stand., Circular 521, 187-200.
2. Chappellear, J.E. (1961): "On the description of short-crested waves." Beach Erosion Board, U.S. Army Corps Engrs., Tech. Memo. No.125.
3. Tanaka, N. et.(1972): "A study on the velocity distribution of mass transport caused by diagonal partial standing waves." Port and Harbor Res. Inst. Rep., Vol.II, No.3, 112-137.
4. Silvester, R. (1972): "Wave reflection at seawalls and breakwaters," Proc. Inst. Civ. Engrs. 51,123-131.
5. 許榮中 (1980): "Boundary-layer velocities and mass transport in short-crested waves", J. Fluid Mech. 99, 321-342.
6. Bryant, P.J.(1982): "Two-dimensional periodic permanent waves in shallow water",J. Fluid Mech. 115,525-532.
7. Battjes, J.A.(1972): "Radiation stresses in short-crested waves", J. of Marine Research, Vol.30, I. pp.56-64.
8. Halliwell, A. R. (1982): "Short-crested breaking waves in water of limited depth", Discussion, Proc. Instn. Civil Engrs. Part 2, Vol.73, pp.489-491.
9. Roberts, A.J. (1983): "Highly non-linear short-crested water waves". J. Fluid Mech. 135, 301-321.
10. 吳啓東 (1983): "短峰波對防波堤冲刷影響之研究", 碩士論文, 台大土研所。

11. 林銘崇、劉沈榮(1985): "短峰波之數值計算", 碩士論文, 海洋學院河工所。
12. 林銘崇、莊明輝(1986): "短峰波基本特性及其波壓之數值解析", 台大造船所, No.239。
13. Jeffreys, H. (1924): "On water waves near the shore," phil. Mag. Ser. 6, 48 pp.44-48.
14. Ralls et.(1956): "A laboratory study of short-crested wind waves." U.S. Army Corps. of Engrs., Beach Erosion Bureau. Tech., Memo. No.81.
15. Stokes, G.G. (1847): "On the theory of oscillatory waves", Trans. Cambridge Phil. Soc., Vol.8, pp.441-455.
16. Dean, R.G. (1970): "Relative validities of water wave theories." J. waterway & Harbors Div., A.S.C.E., vol.96, pp.105-119.
17. Fenton (1985): "Wave forces on vertical Walls", J. waterway & Port, Coastal & Ocean Eng., A.S.C.E., Vol.111, No.4.
18. 黃煌輝、洪秋煌(1980): 中度水深波浪交會後波形變化研究。
19. 蔡清標(1981): 淺海中波浪交會後性質變化之研究, 碩士論文, 台大海洋所。
20. 林銘崇、詹登(1984): 短峰波與海底底床互制作用之研究, 河海研究, No.25, 海洋學院。
21. 林銘崇、施力士(1986): 短峰波與海底底床互制作用之研究(二), 台大, No.218, 台大造船所。
22. Longuet-Higgins (1960): "Changes on the form of short gravity waves on long waves and tidal currents", J. Fluid Mech., Vol.8, pp.565-583.
23. Unna, P.J. (1947): "Sea waves", Nature (London), Vol.159, pp.239-242.