

規則波與不規則波在模型試驗上差異研究

計畫主持人：	張	金	機	
協同主持人：	黃	清	和	
研究人員：	何	良	勝	
	李	勇	榮	
	簡	仲	璟	
助	理：	廖	慶	堂
		王	克	尹
		陳	明	宗
技	工：	張	富	東
		何	炳	紹
		蔡	金	吉
		蔡	瑞	成
		李	永	勝
		楊	怡	芸

規則波與不規則波在模型試驗上差異研究

目 錄

摘要	1
第一章 前言	2
第二章 規則波與不規則波波浪能量分佈	3
第三章 港池波浪分佈及船體動力	6
一、概述	6
二、群波引起長浪理論	6
三、試驗設備	10
四、試驗模型	10
五、試驗條件	18
六、試驗量測與結果	19
七、討論	44
八、結論	45
第四章 波浪溯上與傳遞波	46
一、概述	46
二、往昔研究	46
三、試驗設備	52
四、試驗條件	52
五、試驗量測與試驗結果	52
六、結論	72
第五章 鋼性浮式防波堤傳遞波	73
一、概述	73
二、往昔之研究	73
三、理論分析	73
四、試驗條件	75

五、試驗量測與結果	76
六、結論與討論	111
第六章 綜合結論與建議	112
一、結論	112
二、建議	113
參考書籍	114

規則波與不規則波在模型試驗上差異研究

摘 要

本研究分別採用規則波與不規則波針對港池波浪分佈，船體動力波浪及溯上與傳遞波等進行試驗，試驗結果顯示：規則波辦理港池波浪分佈其結果較為散亂，而其平均值尚可供參考。而辦理波浪溯上與傳遞波試驗造成之誤差則在 10 % 上下；但若以規則波辦理船體運動、纜繩拉力及護舷壓力等試驗，則其結果完全不可信。規則波與不規則波試驗結果相較，誤差可能高達數倍。

根據本研究結果，建議爾後辦理模型試驗應儘量採用不規則波，如果因限於設備而採用規則波試驗則需作必要之修正。

第一章 前言

海岸工程水工模型試驗，已往均採用規則波，製造代表性波浪加以試驗。隨著自動控制工程進步，在試驗室內已經可以根據現場波浪觀測紀錄輸入電腦加以模擬，在模型試驗水池上重現原型波浪。而使模型上試驗條件更能符合現場資料。

利用示性波浪 (Significant waves) 試驗，其平均能量乃為不規則波的兩倍，以此作為試驗條件辦理港池波浪分佈，船模動力，纜繩受力，波浪溯上，傳遞波等試驗，是否恰當。試驗結果會不會因所採用入射波能量為實際不規則波的兩倍，而偏於過份保守？

採用規則波辦理試驗，雖無法使原型條件在模型上重現；但因設備費較低廉，規則波資料處理，分析單純，故仍有其存在價值。如能了解規則波與不規則波辦理各種試驗所造成之差異，進而研擬採用規則波辦理試驗之修正係數，則規則波試驗不失為一種省錢、省力且有效之方法。

本研究針對港池波浪分佈，船模動力，纜繩拉力，波浪溯上與傳遞等海岸工程問題，分別以規則波與不規則波作有系統之試驗，以求得其差異，作為改善模型試驗技術之依據。

第二章 規則波與不規則波浪能量分析

(Wave Energy due to Regular and Irregular Waves)

海洋上風浪 (Wind waves) 極不規則，無法以單一規則波來代表，而必需應用統計方法加以解釋。Longuet-Higgins (1952) 及 Putz (1954) 根據實測波浪紀錄研究結果，認為一定地點，任意時間，水位變化以靜水位 $\eta = 0$ 為平均值，其標準偏差 (Standard deviation) 為 $\sqrt{E' / 2}$ 。

$$E' = \lim_{T_* \rightarrow \infty} \frac{2}{T_*} \int_{t=0}^{t=T_*} \eta^2 dt \quad (2-1)$$

上式中 T_* 之極限雖為無限大，但海面上水位變動主要受氣團影響。在 20 min 以內可代表海面上一段時間之定常現象。

(2-1) 式中 E' 與波浪位能成正比，測點單位面積之位能 E_p ：

$$\begin{aligned} E_p &= \lim_{T_* \rightarrow \infty} \frac{1}{T_*} \int_{t=0}^{t=T_*} \int_0^\eta \rho g \eta dz dt \\ &= \lim_{T_* \rightarrow \infty} \frac{\rho g}{2T_*} \int_0^{T_*} \eta^2 dt \\ &= \frac{\rho g}{4} E' \end{aligned} \quad (2-2)$$

Longuet-Higgins 及 Watters (1953) 根據波浪紀錄研究結果求得波峯波谷之包絡線 (Envelope) 成理萊分佈 (Rayleigh distribution) 其機率為：

$$p(H) = \frac{\omega}{2E'} \exp\left(-\frac{\omega^2}{4E'}\right)$$

波高在某一數值 $p(K)$ 以下之機率為：

$$p(0 < H < K) = \int_0^K \frac{\omega}{2E'} \exp\left(-\frac{\omega^2}{4E'}\right) d\omega$$

$$= 1 - \exp\left(-\frac{K^2}{4E'}\right) \quad (2-3)$$

海面上平均波高 \bar{H} 爲：

$$\begin{aligned} \bar{H} &= \frac{\int_0^\infty \frac{\omega^2}{2E'} \exp\left(-\frac{\omega^2}{4E'}\right) d\omega}{\int_0^\infty \frac{\omega}{2E'} \exp\left(-\frac{\omega}{4E'}\right) d\omega} \\ &= \sqrt{\pi E'} \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$E' = \frac{\bar{H}^2}{\pi} \quad (2-5)$$

代入 (2-3) 式得：

$$p(O < H < K) = \int_{\omega=0}^{\omega=K} \frac{\pi \omega}{2\bar{H}} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)^2\right] d\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)$$

波高大於 H_a 發生之機率爲：

$$\begin{aligned} p_a(H_a < H < \infty) &= \int_{\omega=H_a}^{\infty} \frac{\pi \omega}{2\bar{H}} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)^2\right] d\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right) \\ &= \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H_a}{\bar{H}}\right)^2\right] \end{aligned} \quad (2-6)$$

波浪紀錄中，大於 H_a 之波高平均值 \bar{H}_a 爲：

$$\begin{aligned} \bar{H}_a &= \frac{\int_{H_a}^{\infty} \frac{\pi}{2} \left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)^2 \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)^2\right] d\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)}{\int_{H_a}^{\infty} \frac{\pi}{2} \left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right) \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)^2\right] d\left(\frac{\omega}{\bar{H}}\right)} \\ \frac{\bar{H}_a}{\bar{H}} &= \frac{H_a}{\bar{H}} + \exp\left[\frac{\pi}{4}\left(\frac{H_a}{\bar{H}}\right)^2\right] \left[1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{H_a}{\bar{H}}} \exp\left(-\frac{\omega}{2}\right) d\omega\right] \end{aligned} \quad (2-7)$$

(2-7) 式中 $\int \exp\left(-\frac{\omega}{2}\right) d\omega$ 爲機率積分，可由統計表查出。波浪紀錄中最大三分之一波平均值 $H_{\frac{1}{3}}$ ，即示性波高 H_s ，可由 (2-6) 式

，令 $p_a = \frac{1}{3}$ 求出 $\frac{H_a}{H}$ ，再代入 (2 - 7) 式求得 $\frac{H_s}{H} = 1.598$ 。所以

$$H_s = 2.83 \sqrt{E'} \doteq \sqrt{8E'}$$

以 H_s 為正弦規則波波高，其總能量 $(E_T)_s$ 為：

$$\begin{aligned} (E_T)_s &= \frac{1}{8} \rho g H_s^2 = \frac{1}{8} \rho g (\sqrt{8E'})^2 \\ &= \rho g E' \end{aligned} \quad (2-8)$$

不規則波之波浪能量：

$$(E_T)_{IR} = 2 (E_p)_{IR} = \frac{\rho g}{2} E'$$

由上述分析可知模型試驗，如果採用 H_s 作為試驗波浪條件，則其能量相當於其所代表之不規則波波群能量的兩倍。雖然規則波能量為不規則波之兩倍，其應用於防波堤斷面溯上，傳遞波，港池波浪遮蔽及船體動力等模型試驗上，是否成比例關係？抑或產生相反結果呢？辦理此項基本研究以了解相互間之關係。

第三章 港池波浪分佈及船體動力

(Wave Distribution and Ship Motion in Harbor Basin)

一、概述

港灣規劃設計以往均利用規則波辦理遮蔽試驗，以了解各種外廓堤防與碼頭佈置方案能否有效遮蔽入射波浪，獲得穩靜水域便利船隻碇靠裝卸。但因碇靠船隻運動 (Ship movement)，纜繩拉力 (Mooring line forces) 及護舷壓力 (Fender forces) 等，不能決定於港池波高，而必須同時考慮船隻大小，錨繫佈置及入射波浪特性等。更重要的是船體在規則波作用下，所產生之動力遠較不規則波為小，且感應波高與週期變化極為遲緩。若以此試驗結果作為規劃設計之依據，則可能導致極可怕之災難。

為了解港池波浪分佈及船體動力受規則波與不規則波作用影響，本研究分別採用不同週期、波高加以試驗。

二、群波引起長浪理論 (Theory of group-wave induced long waves)

風浪通常以 5 至 10 個波成群傳播，如圖 2 - 2 - 1。每一個波通過海面時，均對其施加壓力、施力大小與波高平方成正比。因之波高較大處，水面呈下降 (Set down) 現象；相反的，波高較小處，水面上升 (Set up) 以平衡作用力。Longuet-Higgins & Stewart (1964) 發現群波使水面下降 ξ 為：

$$\xi = \frac{3ga^2}{2\omega^2d} \quad (1)$$

上式中， g 為重力加速度， a 為波浪振幅， d 為水深， ω 為波浪角頻率。

N - E Ottensen Hansen (1978) 假設短週期波可用 Stokes

一階理論代表；長週期波爲二階現象。忽略底床摩擦，推導水平底床一維之兩個任意前進短波 η_n 及 η_m 所引起之長波水位變化 ξ 。

$$\begin{aligned}\eta_n &= A_n \cos(\omega_n t - k_n x) + B_n \sin(\omega_n t - k_n x) \\ \eta_m &= A_m \cos(\omega_m t - k_m x) + B_m \sin(\omega_m t - k_m x) \\ \frac{\xi}{A} &= G_1 d \left[\frac{A_n A_m + B_n B_m}{d^2} \cos(\Delta \omega_{nm} t - \Delta k_{nm} x) \right. \\ &\quad \left. + \frac{(-A_n B_m + B_n A_m)}{d^2} \sin(\Delta \omega_{nm} t - \Delta k_{nm} x) \right] \quad (2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_1 &= \left[\frac{g}{2} \Delta \omega_{nm} \Delta k_{nm} \left(\frac{1}{C_n} + \frac{1}{C_m} \right) (1 + P) - \frac{1}{2} \Delta k_{nm}^2 \Delta \omega_{nm} \cdot d \right. \\ &\quad \left. + \frac{\omega_n \omega_m \Delta k_{nm}^2 d \cosh(\Delta k_{nm} d)}{\cosh(\sigma k_{nm} d) - \cosh(\Delta k_{nm} d)} \right] / \\ &\quad [(1 + P) \Delta \omega_{nm}^2 - g d \Delta k_{nm}^2] \quad (3)\end{aligned}$$

$$1 + P = \Delta k_{nm} d \cosh(\Delta k_{nm} d)$$

$$\sigma k_{nm} = k_n + k_m$$

$$\Delta k_{nm} = k_n - k_m$$

$$\Delta \omega_{nm} = \omega_n - \omega_m$$

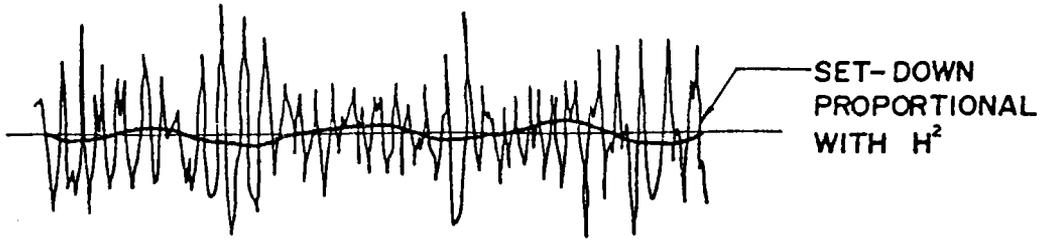
(2)式顯示短波群所造成之長浪伴隨群波速度傳播，長浪波谷發生於波高較大處，相反的波峯出現在波浪振幅較小處。利用長波與短波特性將(3)式繪製如圖 2 - 2 - 2。將 Δk_{nm} 及 $\sigma k_{nm} d$ 等不實用參數重新計算以

$\sqrt{\frac{d}{g}} f$ 及 $\frac{\Delta f}{f}$ 兩參數表示，其結果如圖 2 - 2 - 3。

Stig E Sand (1982) 建議兩短波所造成長浪振幅可以下式估算之。

$$\xi_a = \frac{G_{nm} d A_n A_m}{d} \quad (4)$$

上式中， A_n 及 A_m 分別爲兩短波之振幅，如用 $A_n = A_m = \frac{H_s}{4}$ 代入，可以很簡單的計算長浪振幅近似值。



LONG PERIOD OSCILLATION GENERATED BY WAVE GROUPS
NOTE THE SET-DOWN UNDERNEATH THE LARGE WAVES

圖 3 - 2 - 1 群波與長浪關係圖

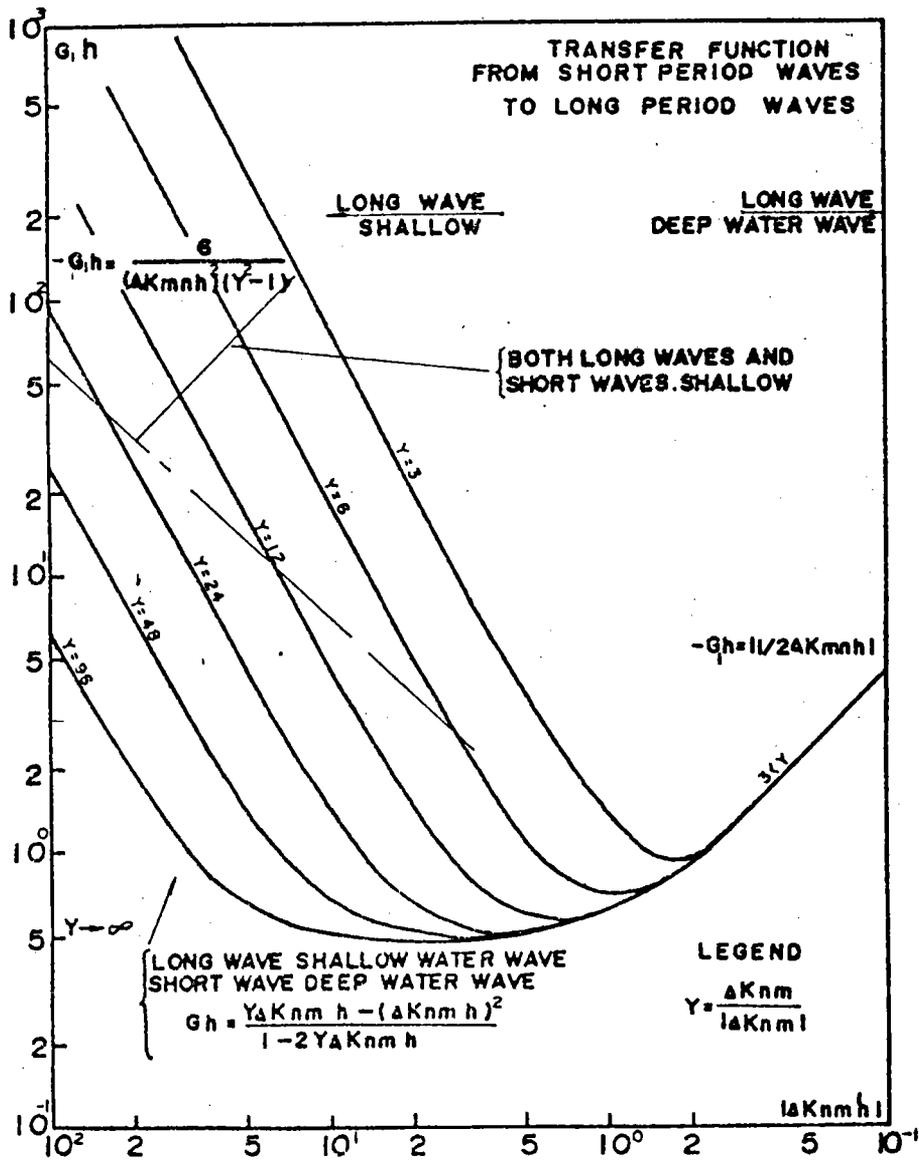


圖 3 - 2 - 2 長浪與群波轉換函數

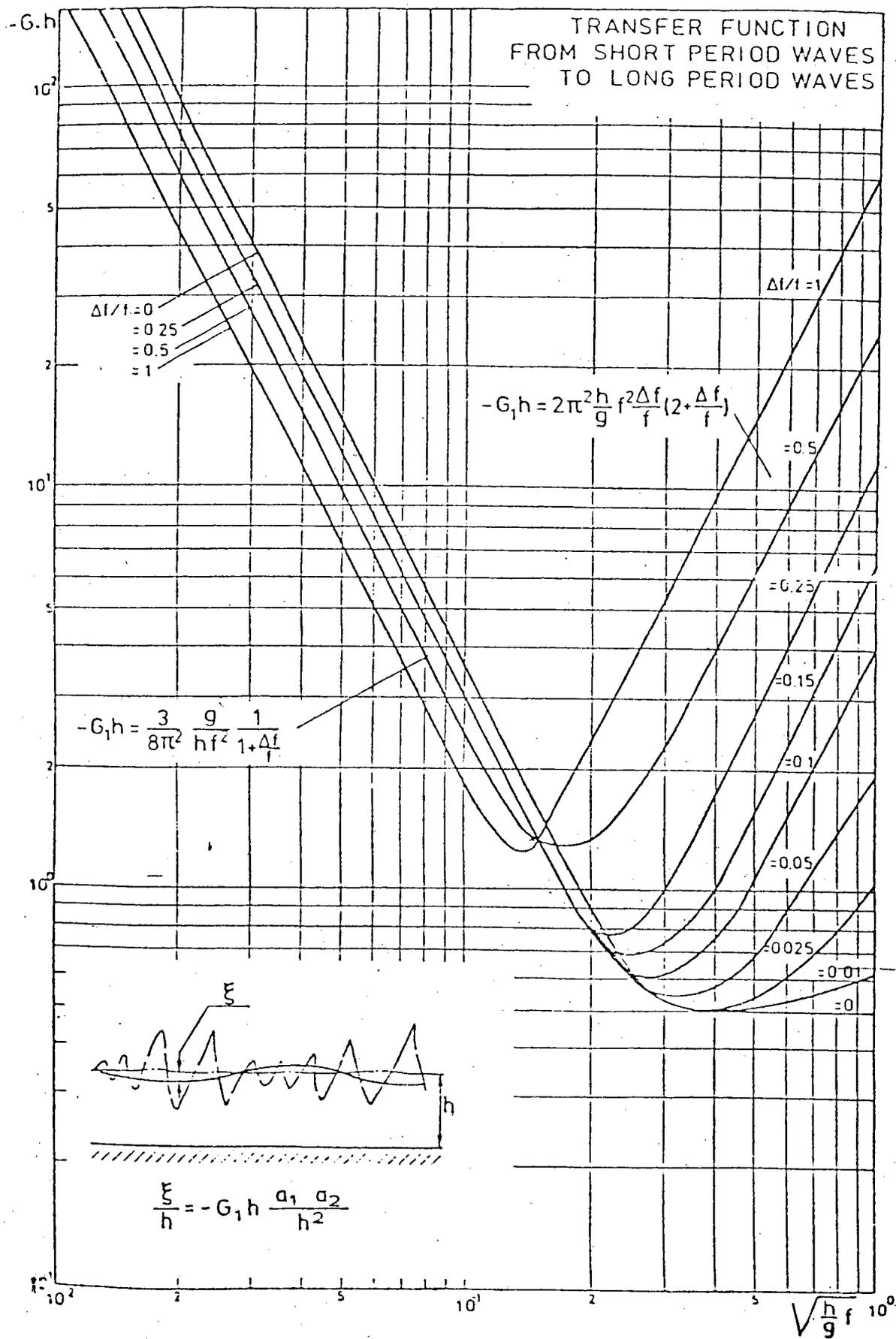


圖 3 - 2 - 3 長波振幅計算圖表

三、試驗設備

本試驗在長 40 公尺，寬 30 公尺，深 1 公尺之室內試驗水池辦理。
內部主要設備為：

(一)不規則波造波機，由 4 台 5.5 公尺長油壓式造波機組成，可將現場實測波浪紀錄按延時序列經由讀紙帶機 (Paper tape reader) 輸入水位變化。利用貝瑟轉換方程式 (Bessel transfer function) 將上下水位變化轉換為造波機水平軸運動，製造與現場相似之試驗波浪，造波機系統如圖 3 - 3 - 1。

(二)多頻道資料處理系統 (Multi-channel data acquisition system) 主要是由一部微電腦、列表機及類比 / 數據轉換器 (Analog / Digital convertor) 組成。可同時接收處理 32 頻道試驗資料。取樣速度為 3000 sampling / sec。

(三)其他試驗儀器如波高計、纜繩拉力應變計、護舷壓力應變計、船體運動計等紀錄器等。

四、試驗模型

(一)港池模型：模型縮尺依福祿德模型律 (Froude model law) 製作 1 : 50 之等縮尺模型。外廓堤防採用拋石堤，如圖 3 - 4 - 1。

(二)船體模型：本試驗所採用之船隻原型為 12,500 tons 散裝船，其原型與模型資料如表 3 - 4 - 1。

表 3 - 4 - 1

	DWT	船長 L_{pp}	船寬 W	船深 D	吃水深 d	浮心高	Rolling period
原型	12,500 ^T	118 ^m	19.4 ^m	10.5 ^m	6.8 ^m		
模型	100Kg	236cm	38cm	21cm	13.5cm	2.16cm	1.9sec

船模製作除考慮幾何相似外，其他如裝載重量分佈，吃水深 (Draught)，浮力中心，重心等均應依據原型船隻裝載條件調整，以達成靜力與

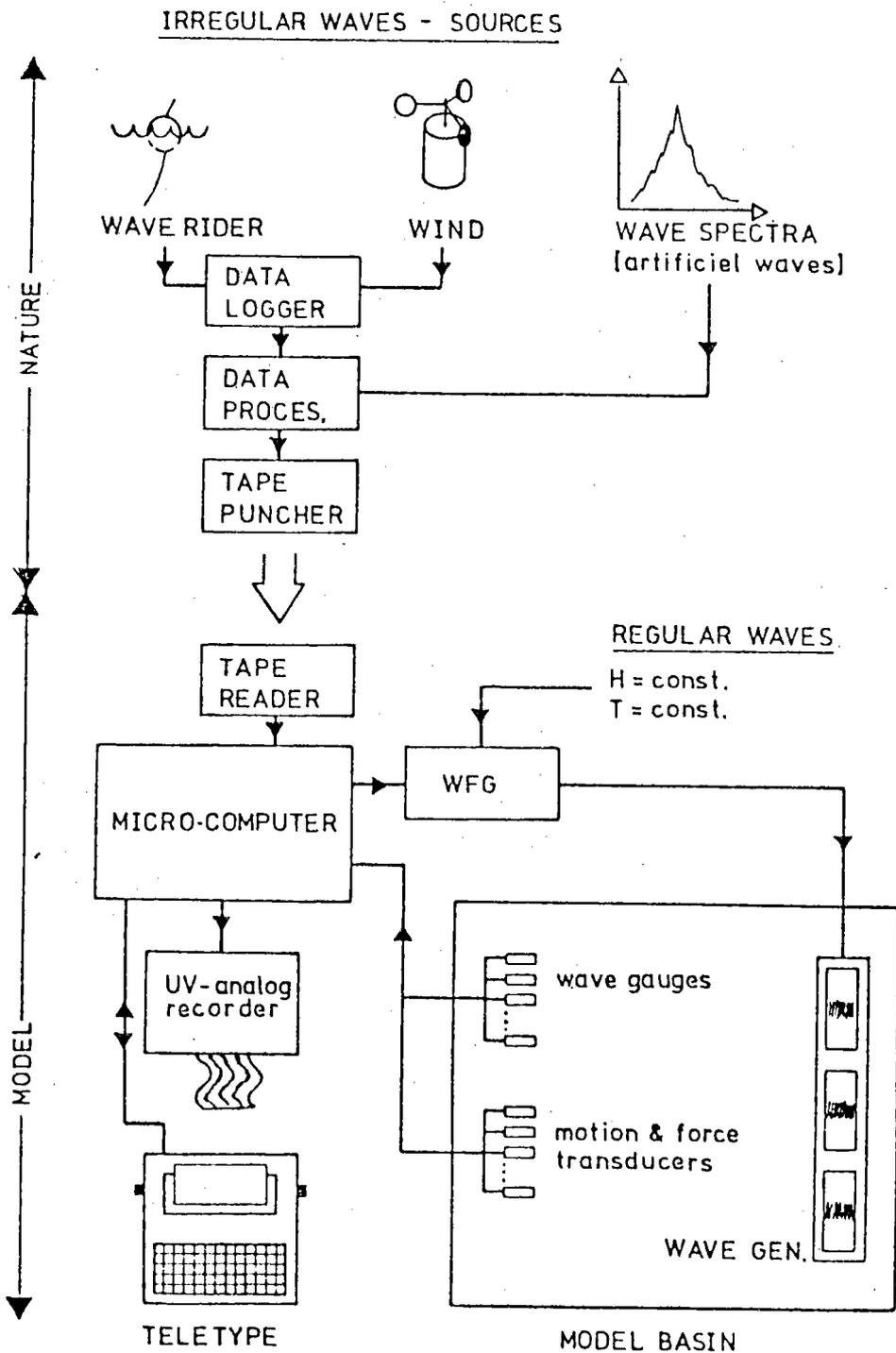


圖 3 - 3 - 1 造波機系統圖

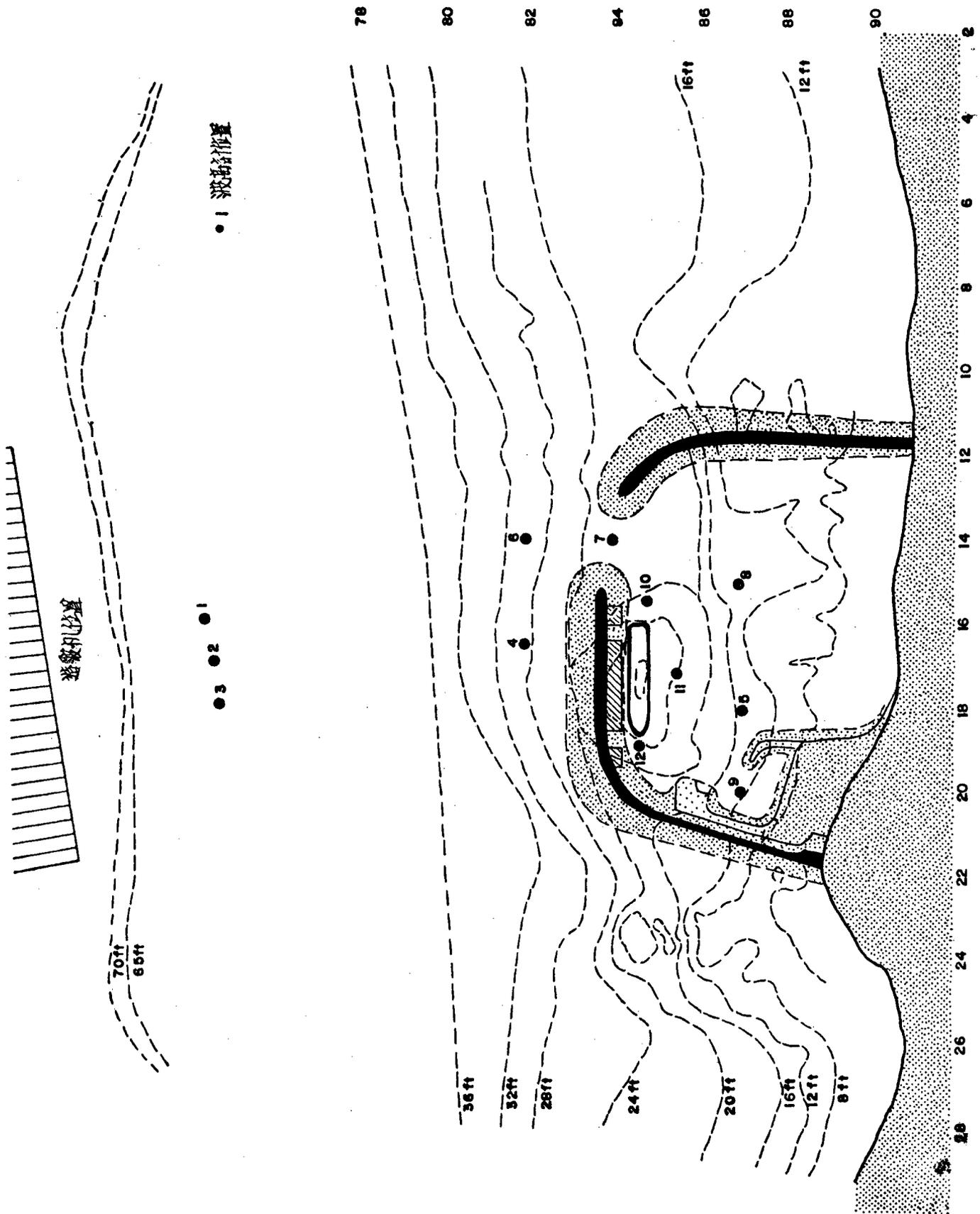


圖 3 - 4 - 1 試驗港池模型佈置圖

動力相似。船體運動計佈置如圖 3 - 4 - 2。

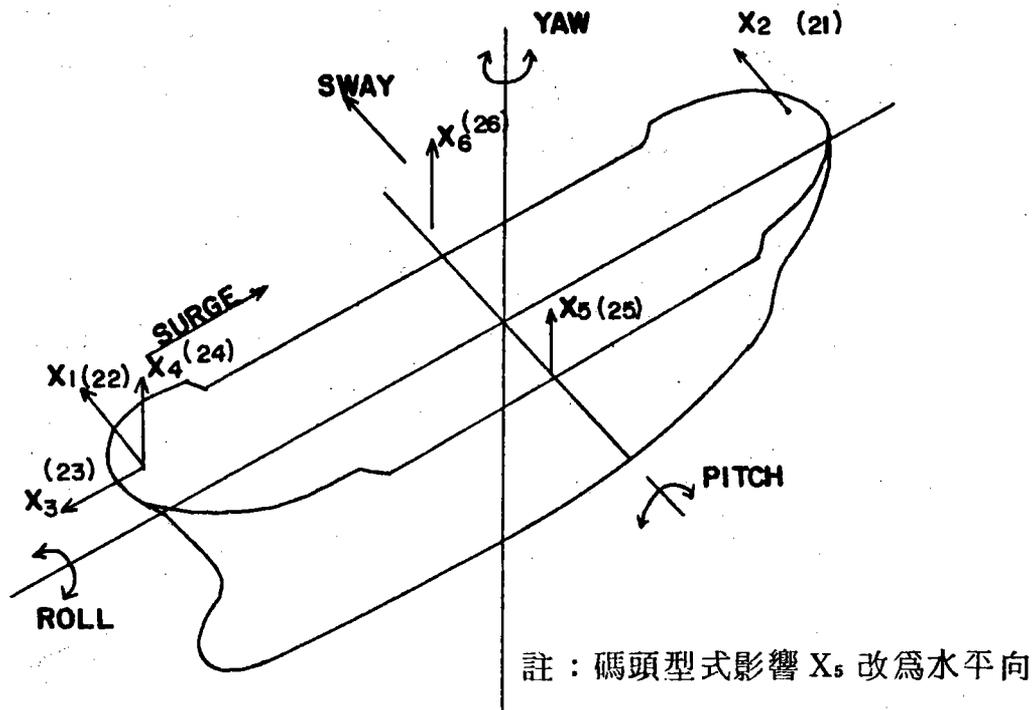
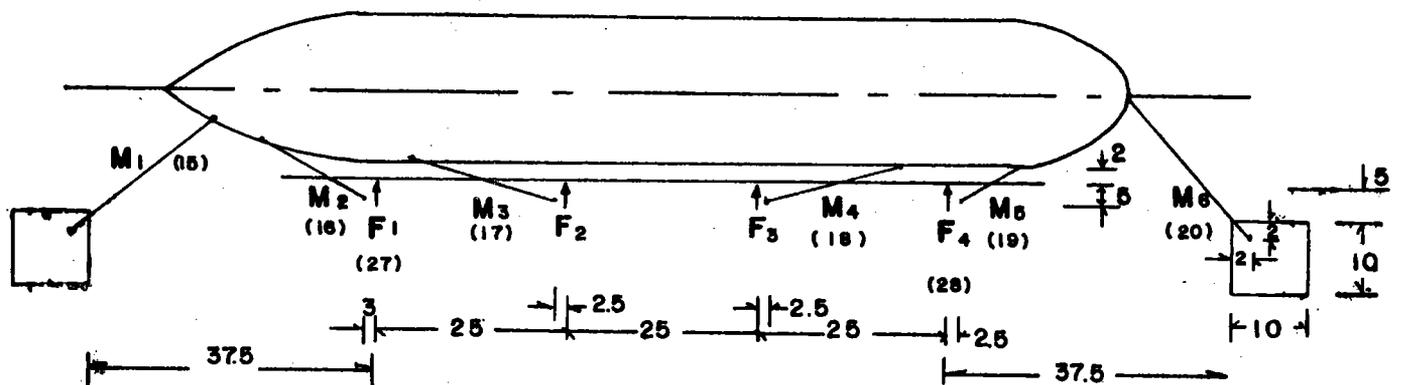


圖 3 - 4 - 2 運動計佈置圖

(三)纜繩模型：一般而言，纜繩採用極限拉力 (Ultimate breaking strength) 之 60% 至 80% 作為設計容許拉力 (Allowable design strength)。在某種拉力作用下，纜繩產生一定之變形 (Deflection)。纜繩強韌度 (Mooring line stiffness) 為其受力與變形 (拉長) 之比，本研究纜繩錨繫系統如圖 3 - 4 - 3。除 M_3 及 M_5 外，假設纜繩係由兩條直徑 3 cm 之鋼索組成。為增加彈性，於末端搭接長 10 m 直徑 5 cm 之尼龍繩作為尾繩 (Tails)。

纜繩之強韌度直接影響船隻運動及纜繩受力。利用強韌性較大之纜繩 (如鋼索) 錨繫船隻，雖可約束船隻減小運動，但纜繩所受拉力因此急劇增加，而容易導致斷纜現象。相反的，強韌度較小的纜繩可減小斷纜現象，而使船體運動幅度增加。因此尋求適當之纜繩強韌度，可增加碇靠船隻容許裝卸作業波高。

纜繩之應力與應變關係決定於其材料與尺寸。本試驗纜繩採用直徑



$M_1 = 24.1^m$	STIFFNESS 25 t/m
$M_2 = 16.4^m$	"
$M_3 = 21.1^m$	"
$M_4 = 20.2^m$	"
$M_5 = 15.2^m$	"
$M_6 = 25.0^m$	"

圖 3 - 4 - 3 纜繩錨繫系統

3 cm鋼索兩條，極限拉力為 72 tons，尾繩採用兩條直徑 5 cm 尼龍繩，極限拉力為 96 tons。斷纜拉力決定於鋼索。設計拉力採用極限拉力之 70%。由應力應變關係求得拉長比 (Elongation ratio) 為 20%。10m 尼龍繩拉長 2 m (鋼索拉長量極大，不予考慮)。因此纜繩之強韌度為 $50 \text{ T} / 2 \text{ m} = 25 \text{ T} / \text{m}$ 。

尼龍繩之應力應變關係成曲線變化；模型上採用具有線性應力應變關係之小彈簧圈，利用設計拉力加以模擬。此種簡化結果，在設計容許拉力以下，模型試驗結果較原型略為保守，如圖 3 - 4 - 4。試驗時將纜繩一端接於應變計上，纜繩受力可由應變計之應力應變關係求得。

(四)護舷模型：小船渠以舊輪胎作護舷，無固定之應力應變關係，其模型均

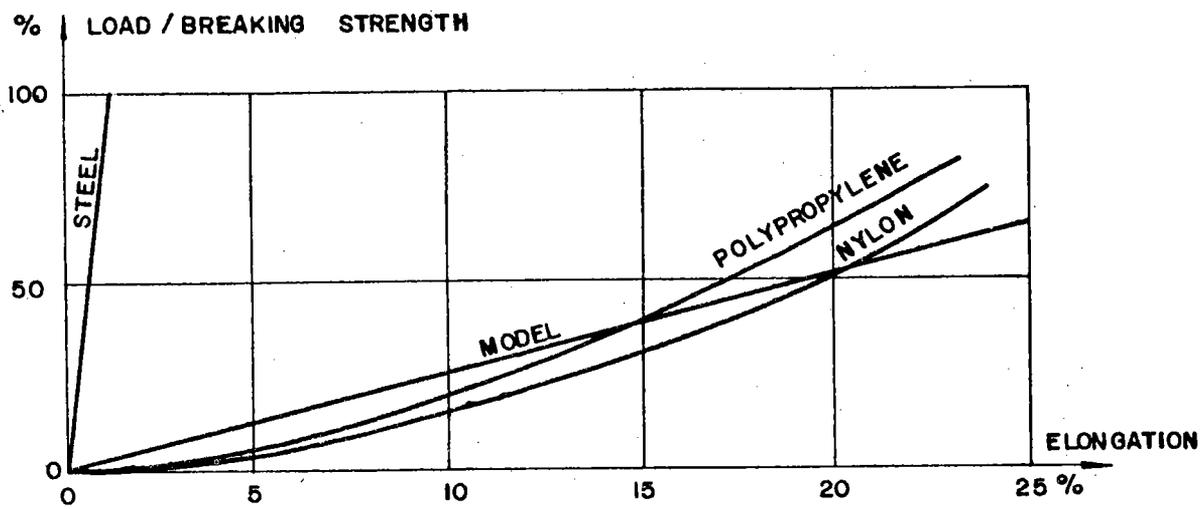
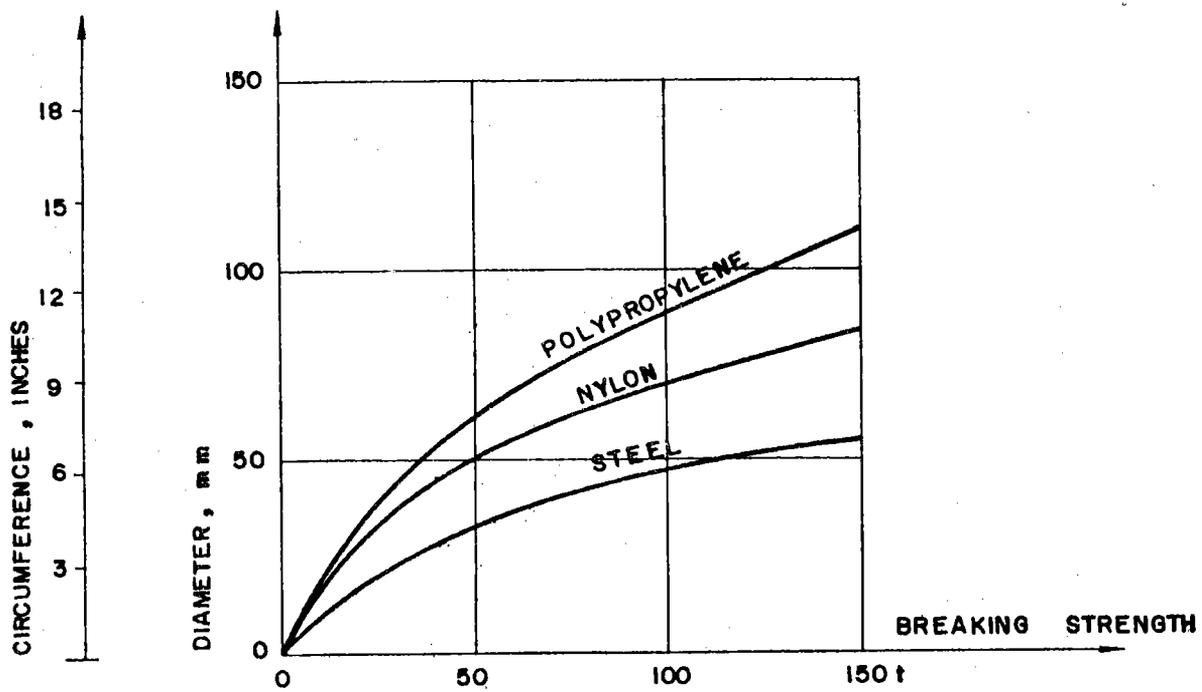


圖 3 - 4 - 4 纜繩應力應變曲線

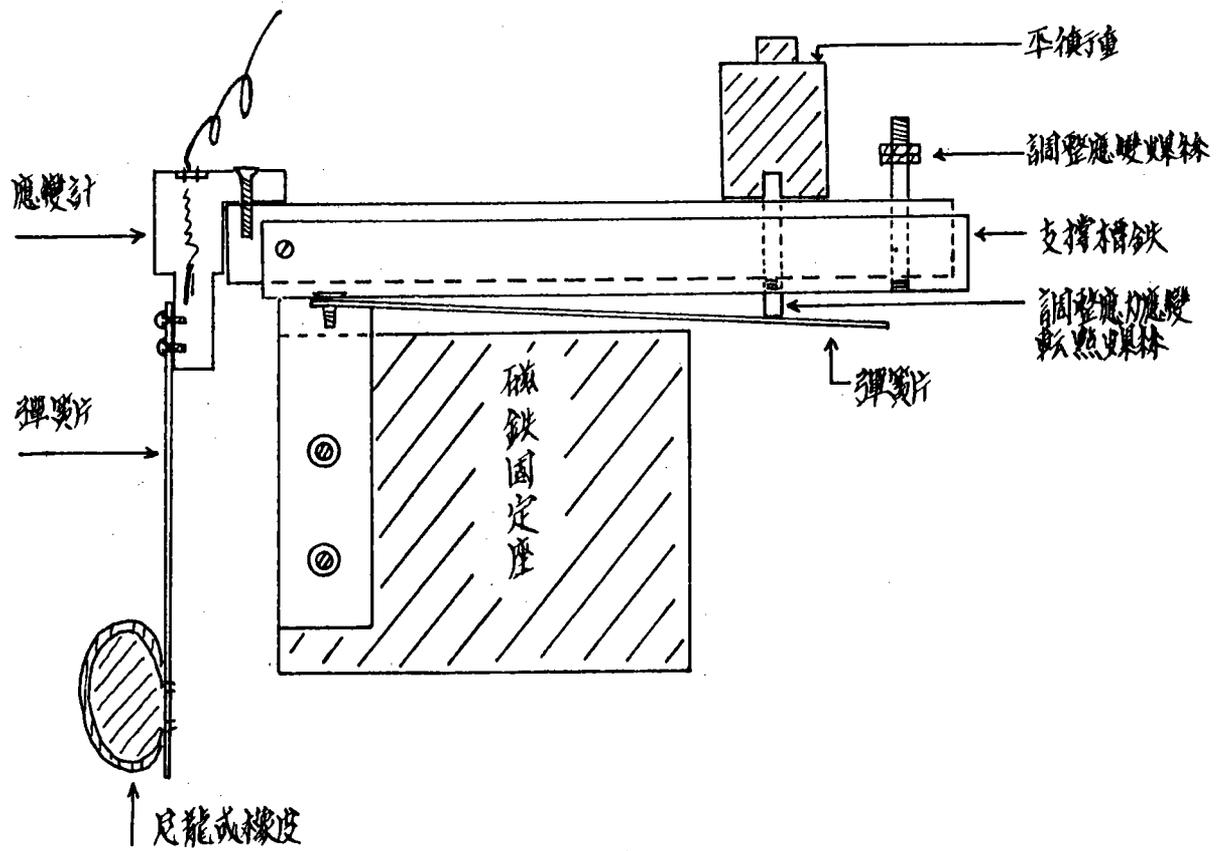


圖 3 - 4 - 5 護舨模型

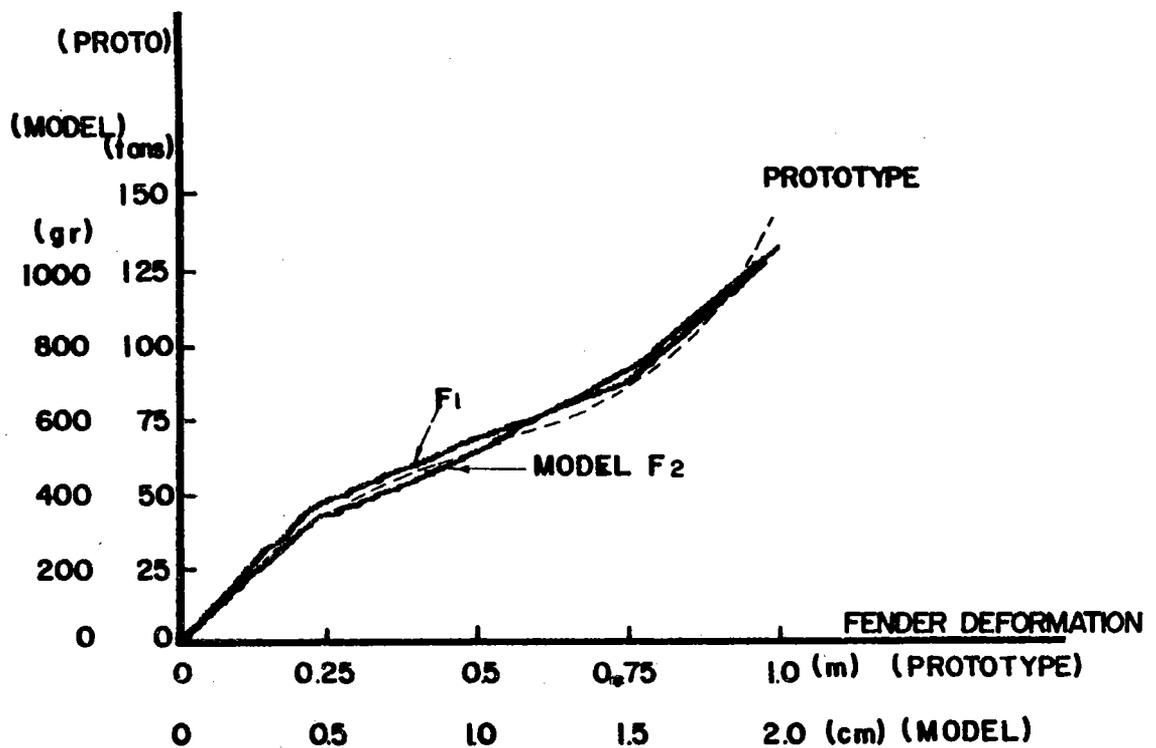


圖 3 - 4 - 6 護舨率定曲線

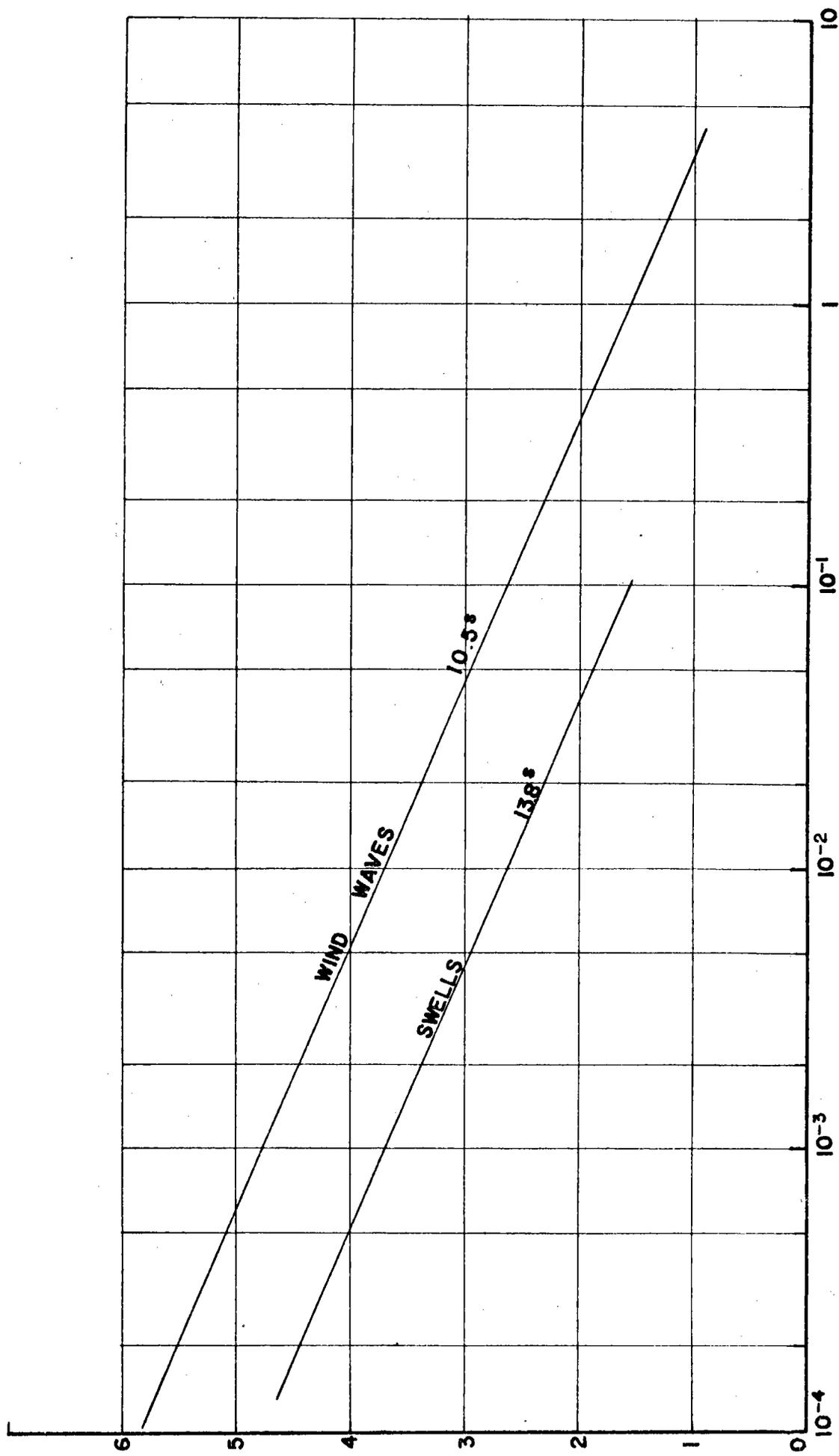


圖 3 - 5 - 1 本試驗波浪條件

以橡皮管作近似模擬，不能測量護舷壓力。深水船席有一定之應力應變關係，此種關係可用彈簧片、平衡重等組成之護舷模型，如圖 3 - 4 - 5，加以模擬。借調整彈簧片強度、長度及平衡重等可以獲得與原型應力應變相似之護舷模型，其率定結果如圖 3 - 4 - 6。

五、試驗條件

波浪侵襲港口三個代表方向分別為 199° ， 236° 及 271° ，港口雖直接接受 271° 方向波浪侵襲，但此方向波高甚小；而以 236° 方向波浪對船隻裝卸碇靠影響最大。試驗所採用之原型風浪及湧浪波高超過率如圖 3-5-1。本研究利用規則波與不規則波進行試驗，試驗波浪條件歸納如附錄 I。

試驗水位採用大潮平均高潮位 (HHWL) + 1.52 m；碼頭高度為 + 3.4 m；碼頭前水深為 - 6.1 m。碼頭採用棧橋式，其佈置如圖 3 - 5 - 2。

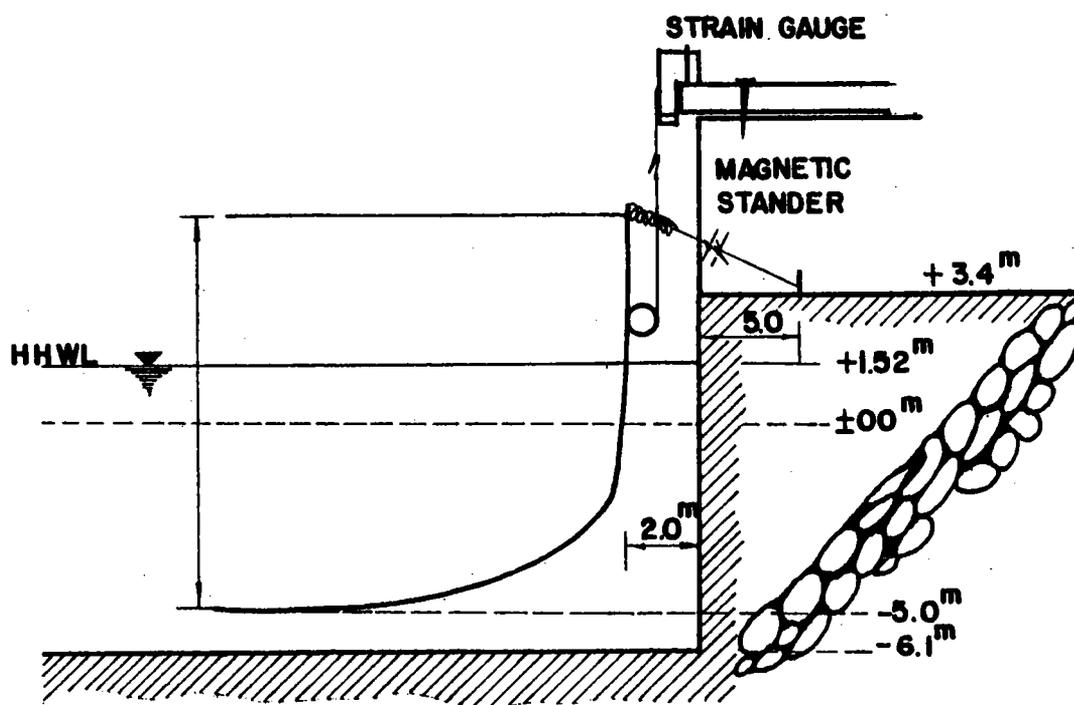


圖 3 - 5 - 2 碼頭構造斷面

六、試驗量測與結果

造波機起動後約 30 秒開始測量。每一試驗情況測量時間為 8'30"，相當於原型一小時延時。測量項目包括波浪、船體運動、纜繩拉力與護舷壓力等。不規則波試驗，在改變紙帶讀速時，辦理波譜分析，以決定試驗波浪尖峯週期 (Peak period)。試驗時深海與碼頭前波浪、船體運動、纜繩拉力及護舷壓力等延時變化，如圖 3 - 6 - 1。茲將各項試驗測量及結果分別敘述如后。

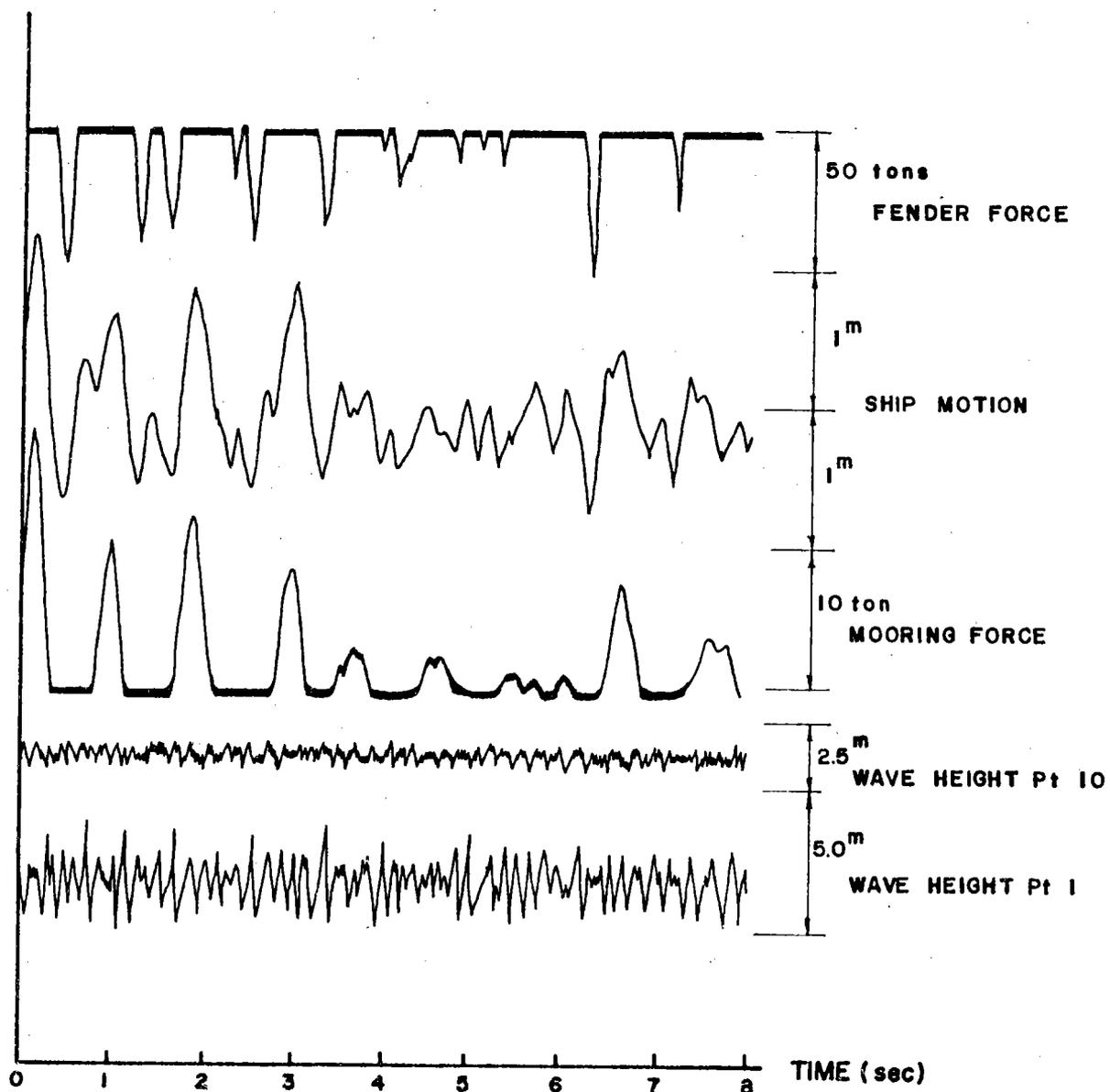


圖 3 - 6 - 1 船體動力與波浪紀錄

(一)波高分佈：

波高計分佈如圖 3 - 4 - 1。以 1, 2 及 3 三個測點所測得波高平均值代表深海入射波高。不規則波深海波高分佈如圖 3 - 6 - 2, 相當符合理萊分佈 (Rayleigh Distribution)。示性波高 (H_s) 採用 13.6% 超過率與 4 hrms 計算結果非常一致。規則波與不規則波試驗結果波高係數 (Wave height coefficients), $K_i = H_{si}/H_{so}$, 分佈如圖 3 - 6 - 3。 H_{si} 及 H_{so} 分別為測點及深海示性波高。港內除第 8 測點直接受入射波影響, 波高較大外, 其餘各測點波高均不大。在 6 m 以下入射波作用下, 船渠附近波高均未超過 1 m。波高係數隨入射波高增大而有減小之趨勢。

採用規則波試驗時, 各測點波高係數甚為散亂; 而利用不規則波試驗時, 測點波高係數相當一致。大體而言, 可以不規則波所獲得結果代表規則波散亂係數之平均值。

規則波與不規則波試驗深海入射波 (WG1) 及碼頭前 (WG10 及 WG12) 波浪能譜如圖 3 - 6 - 4。規則波試驗, 港池泊渠附近波譜與深海入射波能譜無甚差異; 而採用不規則波試驗時, 碼頭前波浪能譜有顯著集中現象。研判此即造成碇靠船隻動力增大之主要因素。

(二)船體運動：

船體運動試驗結果如圖 3 - 6 - 5。雖然利用規則波在港內所造成之波浪並不小於不規則波作用下港內波浪; 但其使碇靠船體產生之運動則遠較不規則波為小。在規則波作用下, 船體運動隨波浪週期增長而加大, 受波高增加影響並不顯著。不規則波試驗時, 船體運動量隨週期與波高成正比增大, 縱向運動 (Surge) 及船首橫向運動 (Trans bow) 受入射波影響甚大; 船首垂向運動 (Vertical bow) 則受碼頭前波高直接影響。

(三)纜繩拉力：

錨繫船隻纜繩拉力試驗結果如圖 3 - 6 - 6。規則波作用下, 船隻纜繩所受拉力極小, 且受波高與週期變化影響並不顯著。深海入射波高增至 7 m 時, 各種纜繩拉力仍維持在 15 tons 以下。在不規則波作用下, 纜繩受力隨入射波高與週期增大而顯著增加; 週期 10 sec, 波高

H_s
 TEST NO, 4-RMS 13.6%
 • 253 1.37 1.48
 x 255 2.34 2.41
 o 257 3.57 3.51
 Δ 259 4.49 4.56
 □ 261 5.46 5.45

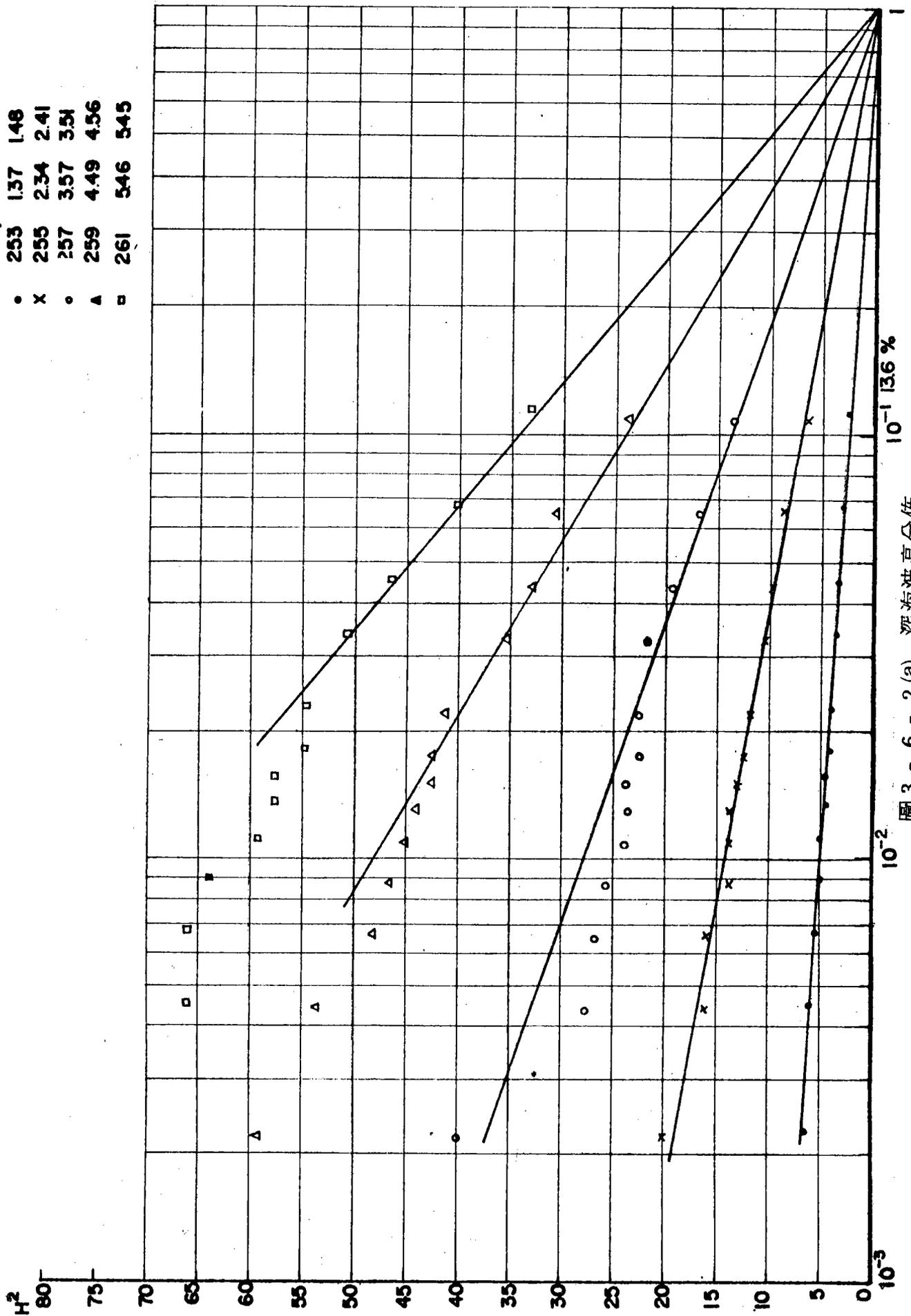


圖 3 - 6 - 2 (a) 深海波高分布

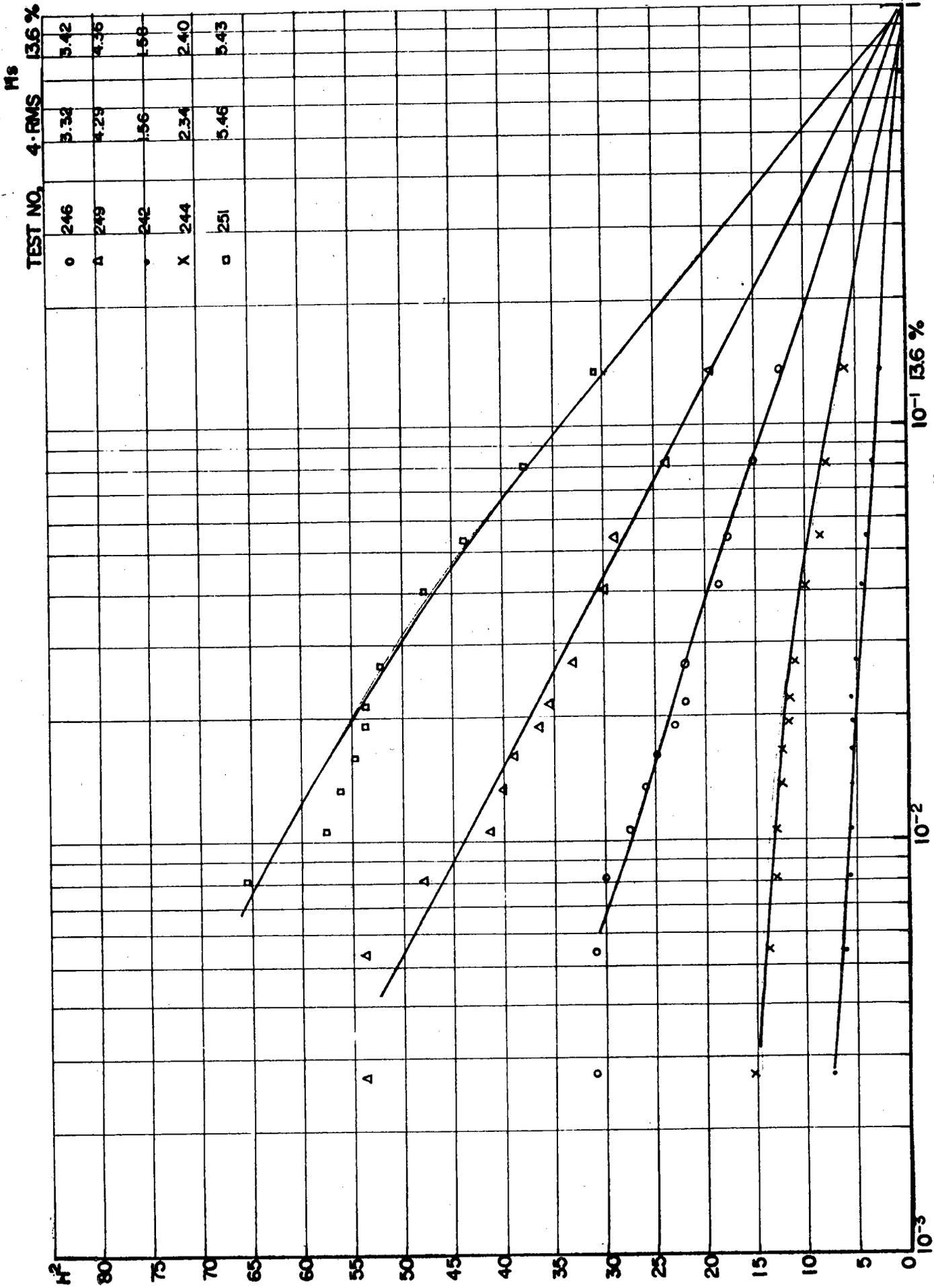


圖 3 - 6 - 2 (b) 深海波高分佈

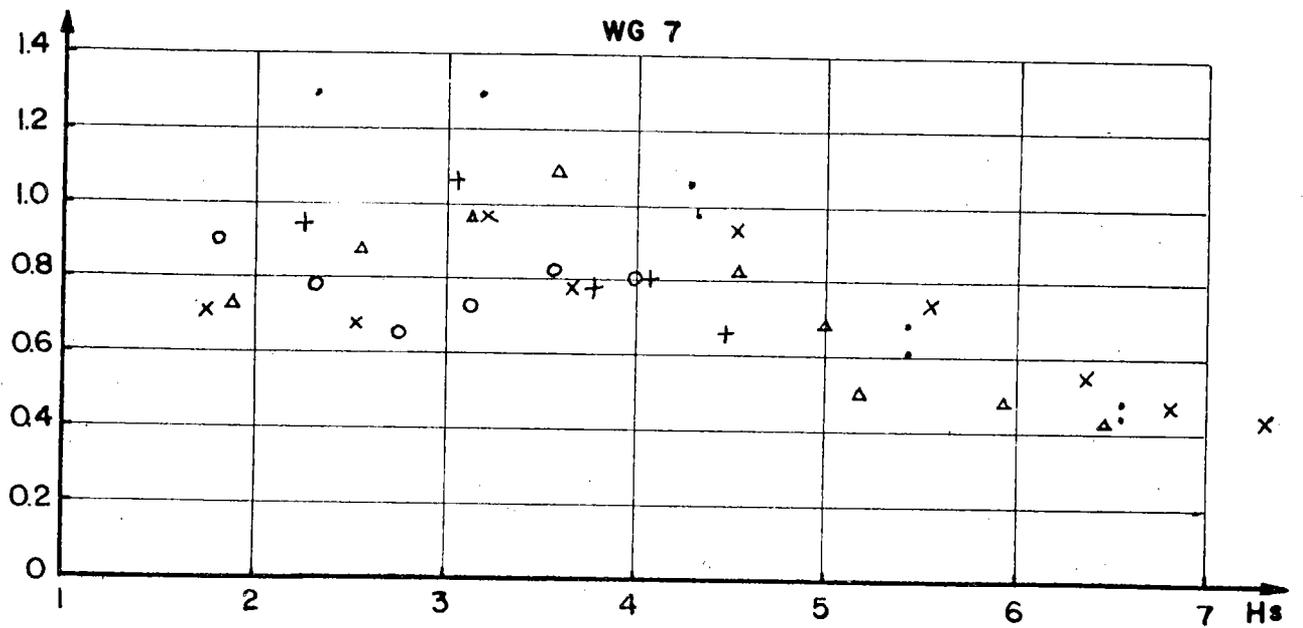
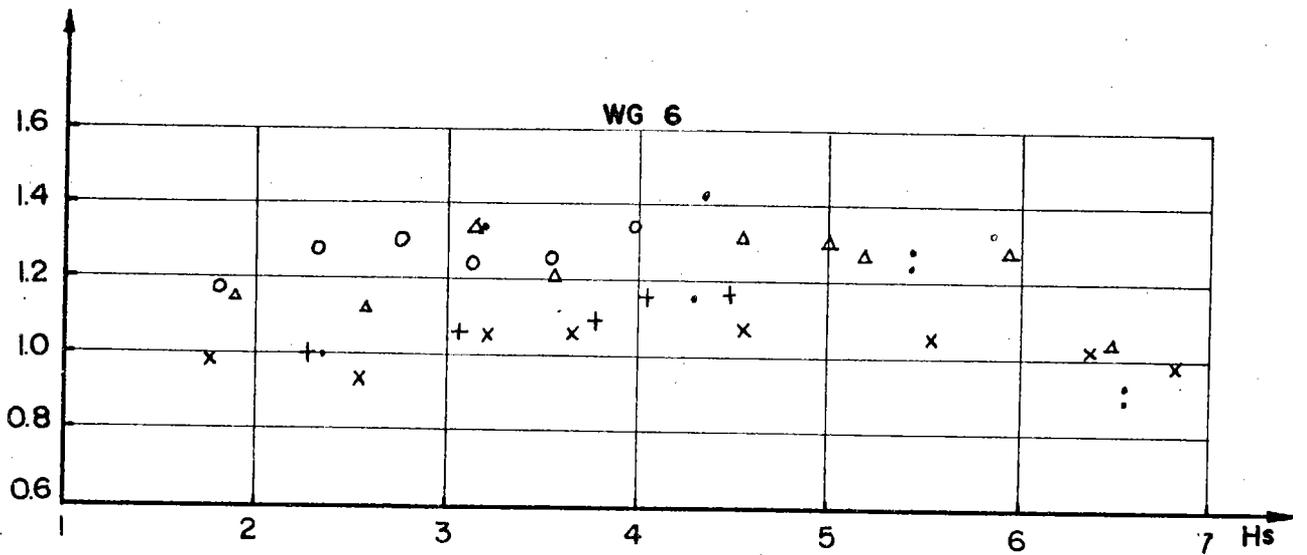
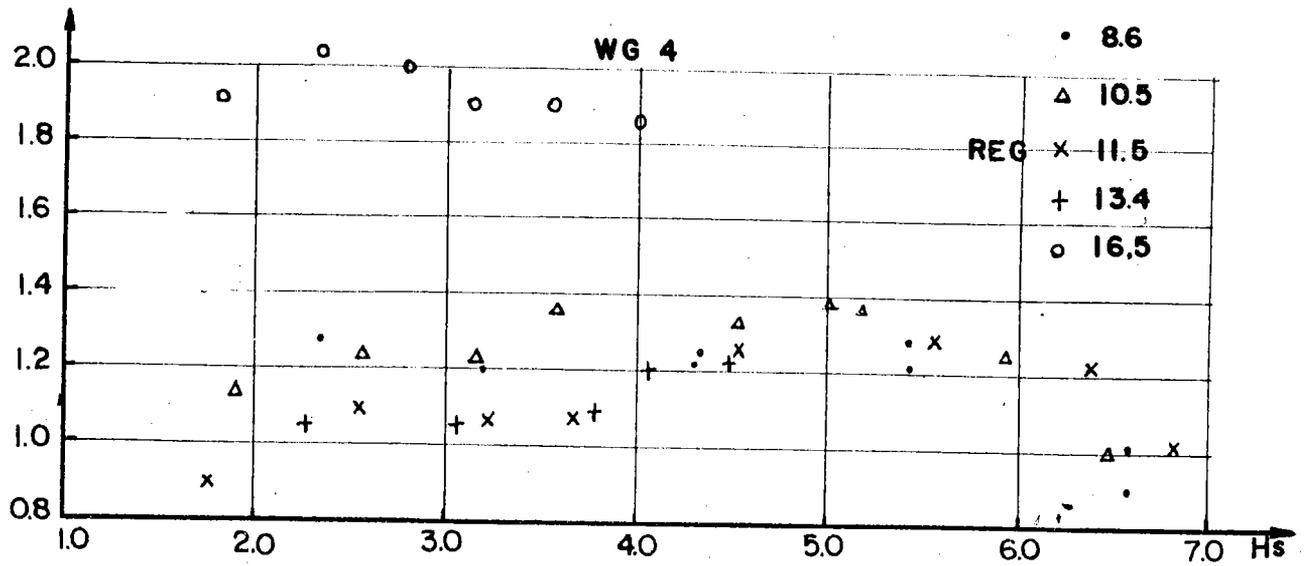


圖 3 - 6 - 3 (a) 測點波高係數 (Regular waves)

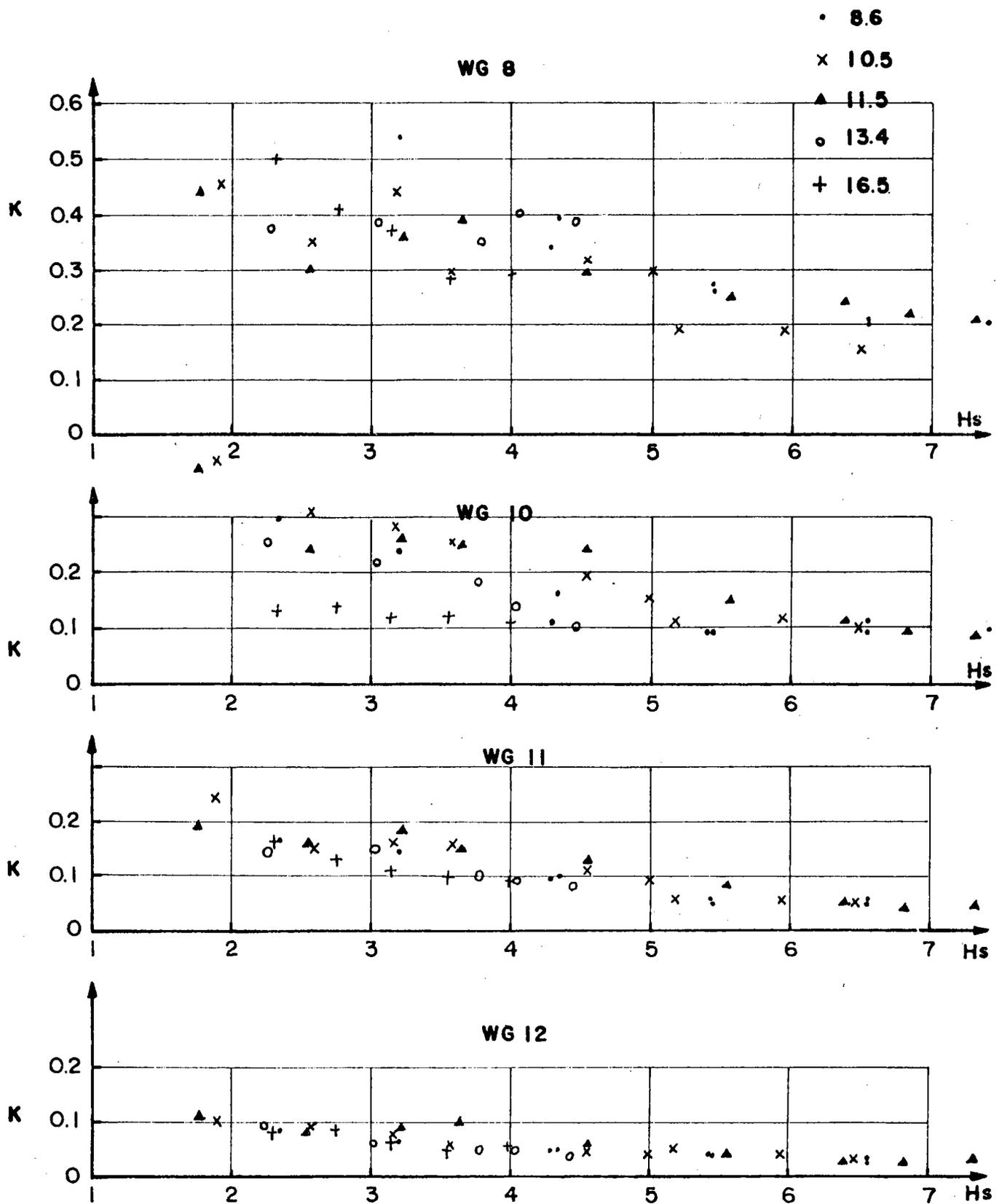


圖 3 - 6 - 3 (b) 測點波高係數 (Regular waves)

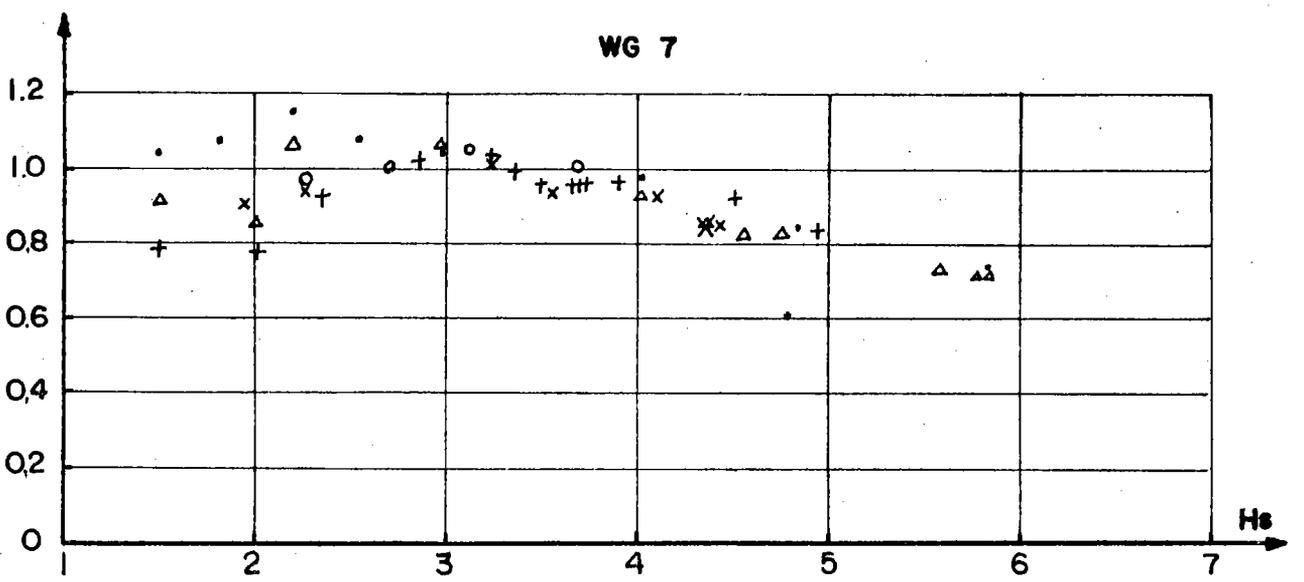
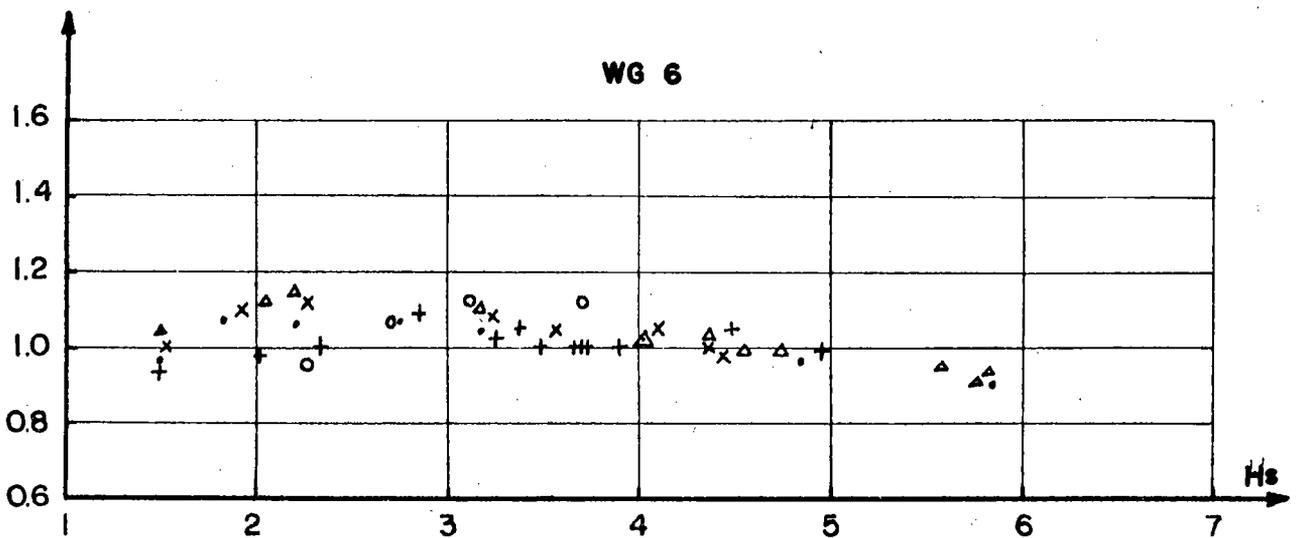
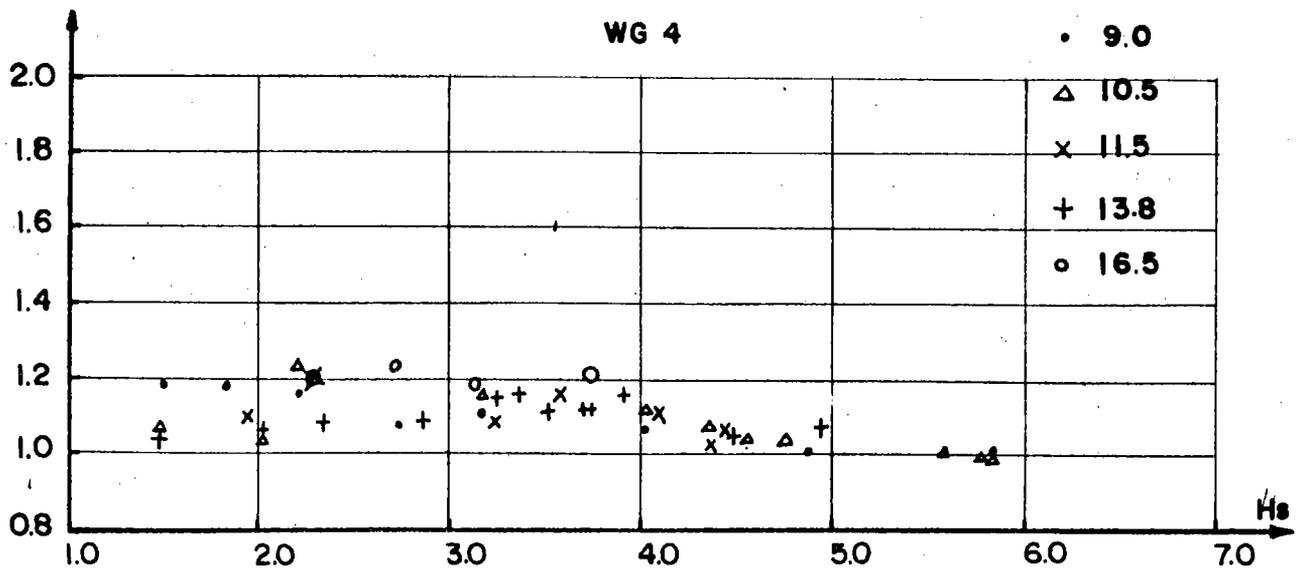


圖 3 - 6 - 3 (c) 測點波高係數 (Irregular waves)

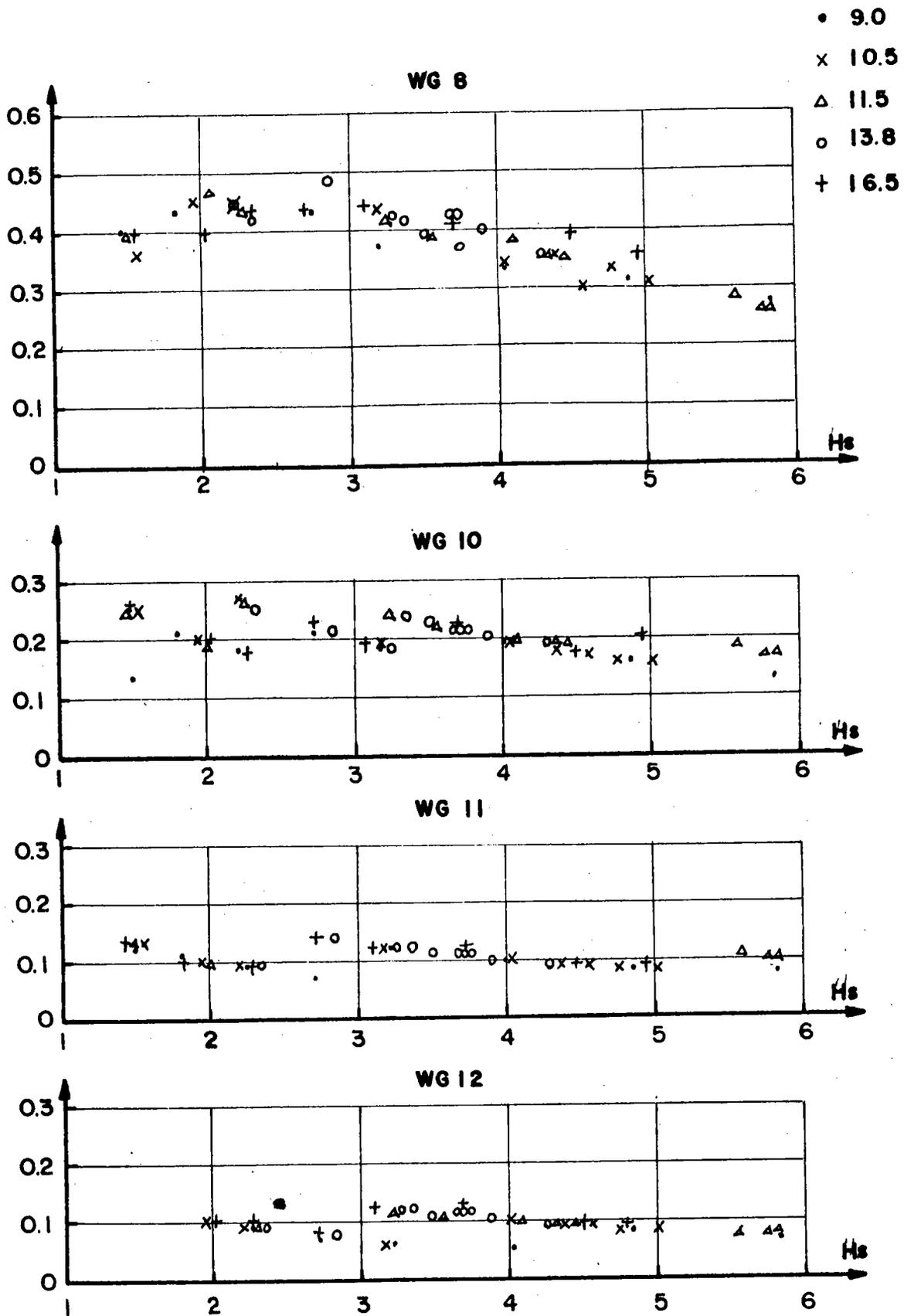


圖3 - 6 - 3(d) 測點波高係數 (Irregular waves)

CASE: 00001
 DATE: 19830903
 NAME: ST. GEORGE OF C. E. CHAPEL

CH 142 RMS T(SEC) 12.500 (F) F DESCRIPTION

01 100 0546 001.834 001.811 032 6

FRQ	T0(SEC)	SPEC	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
000	.....	0.000	*										
002	016.384	0.000	*										
004	008.192	0.000	*										
006	005.461	0.000	*										
008	004.096	0.000	*										
010	003.277	0.000	*										
012	002.731	0.005	*										
014	002.341	0.059	****										
016	002.048	0.741	*****										
018	001.820	0.930	***										
020	001.638	0.987	*										
022	001.499	0.987	*										
024	001.385	0.987	*										
026	001.280	0.987	*										
028	001.170	0.987	*										
030	001.092	0.907	*										
032	001.024	0.995	*										
034	000.964	0.995	*										
036	000.910	0.995	*										
038	000.862	0.995	*										
040	000.819	0.995	*										
042	000.780	0.995	*										
044	000.745	0.995	*										
046	000.712	0.995	*										
048	000.683	0.995	*										
050	000.655	1.000	*										

圖 3 - 6 - 4 (a) 規則波深海波浪能譜 WG1 T = 13.6 sec

IR 195001 SPEC 1 5 19 15 29 25 35 40 45 59

```
000 ..... 0.000 *
002 016.384 0.000 *
004 008.192 0.000 *
006 005.461 0.000 *
008 004.076 0.000 *
010 003.277 0.000 *
012 002.731 0.000 *
014 002.341 0.000 *
016 002.048 0.556 *****
018 001.820 0.668 *
020 001.658 0.668 *
022 001.489 0.668 *
024 001.365 0.668 *
026 001.260 0.668 *
028 001.170 0.553 *
030 001.092 0.668 *
032 001.024 0.829 *****
034 000.964 0.829 *
036 000.910 0.829 *
038 000.862 0.829 *
040 000.819 0.829 *
042 000.780 0.829 *
044 000.745 0.829 *
046 000.712 0.829 *
048 000.683 0.829 *
050 000.655 0.910 *****
052 000.630 0.910 *
054 000.607 0.910 *
056 000.585 0.910 *
058 000.565 0.910 *
060 000.546 0.910 *
062 000.529 0.910 *
064 000.512 0.910 *
066 000.496 0.935 ***
068 000.482 0.935 *
070 000.468 0.935 *
072 000.455 0.935 *
074 000.443 0.935 *
076 000.431 0.935 *
078 000.420 0.935 *
080 000.410 0.935 *
082 000.400 1.000 *****
```

圖 3 - 6 - 4 (b) 規則波碼頭前波浪能譜 WG 10 T = 13.5 sec

TEST: 00028
 DATE: 19830801
 NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

CH IRX RHS T1(SEC) T2(SEC) [F] F DESCRIPTION

01 100 0371 001.075 001.049 032 6

FRQ	T0(SEC)	SPEC	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
000	.....	0.000	*										
002	016.384	0.000	*										
004	008.192	0.001	*										
006	005.461	0.001	*										
008	004.096	0.001	*										
010	003.277	0.001	*										
012	002.731	0.001	*										
014	002.341	0.001	*										
016	002.048	0.004	**										
018	001.820	0.016	***										
020	001.638	0.048	****										
022	001.489	0.116	*****										
024	001.365	0.292	*****										
026	001.260	0.479	*****										
028	001.170	0.629	*****										
030	001.092	0.735	*****										
032	001.024	0.808	*****										
034	000.964	0.860	*****										
036	000.910	0.891	*****										
038	000.862	0.919	*****										
040	000.819	0.940	*****										
042	000.780	0.951	*****										
044	000.745	0.962	*****										
046	000.712	0.967	**										
048	000.683	0.975	***										
050	000.655	0.981	***										
052	000.630	0.989	***										
054	000.607	0.992	**										
056	000.585	0.994	**										
058	000.565	0.997	**										
060	000.546	0.998	*										
062	000.529	0.998	*										

圖 3 - 6 - 4 (c) 不規則波深海波浪能譜 WG 1 Tp = 9 sec

CH 10% P05 11.5(SEC) P2.5(SEC) (FJ F RESUR(F)TION

19 100 0449 001.514 001.296 0.52 6

FRQ (1/SEC)	SPEC 1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
000	.....	0.002	*								
002	013.653	0.002	*								
004	006.827	0.003	*								
006	004.551	0.004	*								
008	003.413	0.007	*								
010	002.731	0.012	**								
012	002.276	0.033	***								
014	001.950	0.056	*****								
016	001.707	0.239	*****								
018	001.517	0.569	*****								
020	001.365	0.761	*****								
022	001.241	0.863	*****								
024	001.138	0.908	*****								
026	001.050	0.944	*****								
028	000.975	0.965	*****								
030	000.910	0.975	**								
032	000.853	0.986	***								
034	000.803	0.990	**								
036	000.759	0.993	*								
038	000.719	0.996	#								
040	000.685	0.998	#								
042	000.650	0.999	#								
044	000.621	1.000	*								

圖3 - 6 - 4 (d) 不規則波深海波能譜WG1 $T_p = 10.5$ sec

FRQ T0(SEC) SPEC 1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

```

000 ..... 0.000 *
002 016.384 0.000 *
004 008.192 0.000 *
006 005.461 0.000 *
008 004.096 0.002 *
010 003.277 0.003 *
012 002.731 0.006 **
014 002.541 0.018 ***
016 002.048 0.066 ****
018 001.820 0.195 *****
020 001.638 0.423 ****
022 001.489 0.591 ****
024 001.365 0.695 ****
026 001.260 0.754 ****
028 001.170 0.810 ****
030 001.092 0.863 ****
032 001.024 0.891 ****
034 000.964 0.911 ****
036 000.910 0.929 ****
038 000.862 0.944 ****
040 000.819 0.958 ****
042 000.780 0.970 ****
044 000.745 0.982 ****
046 000.712 0.989 ****
048 000.683 0.992 **
050 000.655 0.993 *
052 000.630 0.996 **
054 000.607 0.998 **
056 000.585 0.999 *
058 000.565 0.999 *
060 000.546 0.999 *
062 000.529 1.000 *

```

圖 3 - 6 - 4 (e) 不規則波深海波能譜 WG1 $T_p = 11.5$ sec

CH INZ RMS T1(SEC) T2(SEC) [F] F DESCRIPTION

01 100 0234 001.462 001.403 032 6

FRQ	T0(SEC)	SPEC	I	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
000	.....	0.000	#										
002	013.553	0.000	#										
004	008.827	0.000	#										
006	004.551	0.001	#										
008	003.413	0.005	##										
010	002.731	0.039	#####										
012	002.276	0.140	#####										
014	001.950	0.460	#####										
016	001.707	0.650	#####										
018	001.517	0.745	#####										
020	001.365	0.810	#####										
022	001.241	0.863	#####										
024	001.138	0.899	#####										
026	001.050	0.922	#####										
028	000.975	0.943	#####										
030	000.910	0.971	#####										
032	000.853	0.983	###										
034	000.803	0.988	##										
036	000.759	0.992	##										
038	000.719	0.996	##										
040	000.683	0.998	#										
042	000.650	0.999	#										
044	000.621	1.000	#										

圖 3 - 6 - 4 (f) 不規則波深海波能譜WG1 Tp = 13.8 sec

TEST: 00094
 DATE: 19830805
 NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

CH INZ RMS T1(SEC) T2(SEC) [F] F DESCRIPTION

01 100 0234 001.728 001.653 032 6

FRQ	T0(SEC)	SPEC	I	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
000	.....	0.000	#										
002	016.384	0.000	#										
004	008.192	0.000	#										
006	005.461	0.000	#										
008	004.096	0.003	#										
010	003.277	0.024	#####										
012	002.731	0.129	#####										
014	002.341	0.431	#####										
016	002.048	0.625	#####										
018	001.820	0.757	#####										
020	001.638	0.823	#####										
022	001.489	0.855	#####										
024	001.365	0.883	#####										
026	001.260	0.905	#####										
028	001.170	0.935	#####										
030	001.092	0.954	#####										
032	001.024	0.966	###										
034	000.964	0.983	#####										
036	000.910	0.991	##										
038	000.862	0.994	#										
040	000.819	0.997	#										
042	000.780	0.999	#										
044	000.745	1.000	#										

圖 3 - 6 - 4 (g) 不規則波深海波浪能譜WG1 $T_p = 16.5$ sec

FRQ T0(SEC) SPEC 1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

```

000 ..... 0.018 ***
002 016.384 0.105 *****
004 008.192 0.263 *****
006 005.461 0.263 *
008 004.096 0.263 *
010 003.277 0.263 #
012 002.731 0.263 #
014 002.541 0.263 *
016 002.048 0.263 #
018 001.820 0.298 *****
020 001.638 0.544 *****
022 001.489 0.842 *****
024 001.365 0.982 *****
026 001.260 1.000 *****

```

圖 3 - 6 - 4 (h) 碼頭前波浪能譜WG 10 $T_p = 10.5$ sec

TEST: 00089
DATE: 19830804
NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

CH ID% RMS T1(SEC) T2(SEC) (F) F DESCRIPTION

12 100 0020 007.864 007.410 032 G

FRQ T0(SEC) SPEC 1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

```

000 ..... 0.222 *****
002 016.384 0.556 *****
004 008.192 1.000 *****

```

圖 3 - 6 - 4 (i) 碼頭前波浪能譜WG 12 $T_p = 10.5$ sec

CH INZ RMS T1(SEC) T2(SEC) [F] F DESCRIPTION

10 100 0039 002.101 001.864 032 6

FRQ T0(SEC) SPEC 1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

```

000 ..... 0.000 #
002 016.384 0.081 *****
004 008.192 0.355 *****
006 005.461 0.355 *
008 004.096 0.387 *****
010 003.277 0.387 #
012 002.731 0.387 #
014 002.341 0.387 #
016 002.048 0.387 #
018 001.820 0.548 *****
020 001.638 0.774 *****
022 001.489 0.952 *****
024 001.365 1.000 *****
    
```

圖 3 - 6 - 4 (j) 碼頭前波浪能譜WG10 Tp = 11.5 sec

TEST: 00046
 DATE: 19830803
 NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

CH INX RMS T1(SEC) T2(SEC) [F] F DESCRIPTION

10 100 0020 001.991 001.832 032 6

FRQ T0(SEC) SPEC 1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

```

000 ..... 0.000 *
002 013.583 0.036 *****
004 006.827 0.250 *****
006 004.551 0.250 *
008 003.413 0.250 *
010 002.731 0.250 *
012 002.276 0.286 *****
014 001.950 0.679 *****
016 001.707 0.857 *****
018 001.517 0.964 *****
020 001.365 0.964 *
022 001.241 0.964 *
024 001.138 0.964 *
026 001.050 0.964 *
028 000.975 1.000 *****
  
```

圖 3 - 6 - 4 (2) 碼頭前波浪能譜 WG10 $T_p = 13.8$ sec

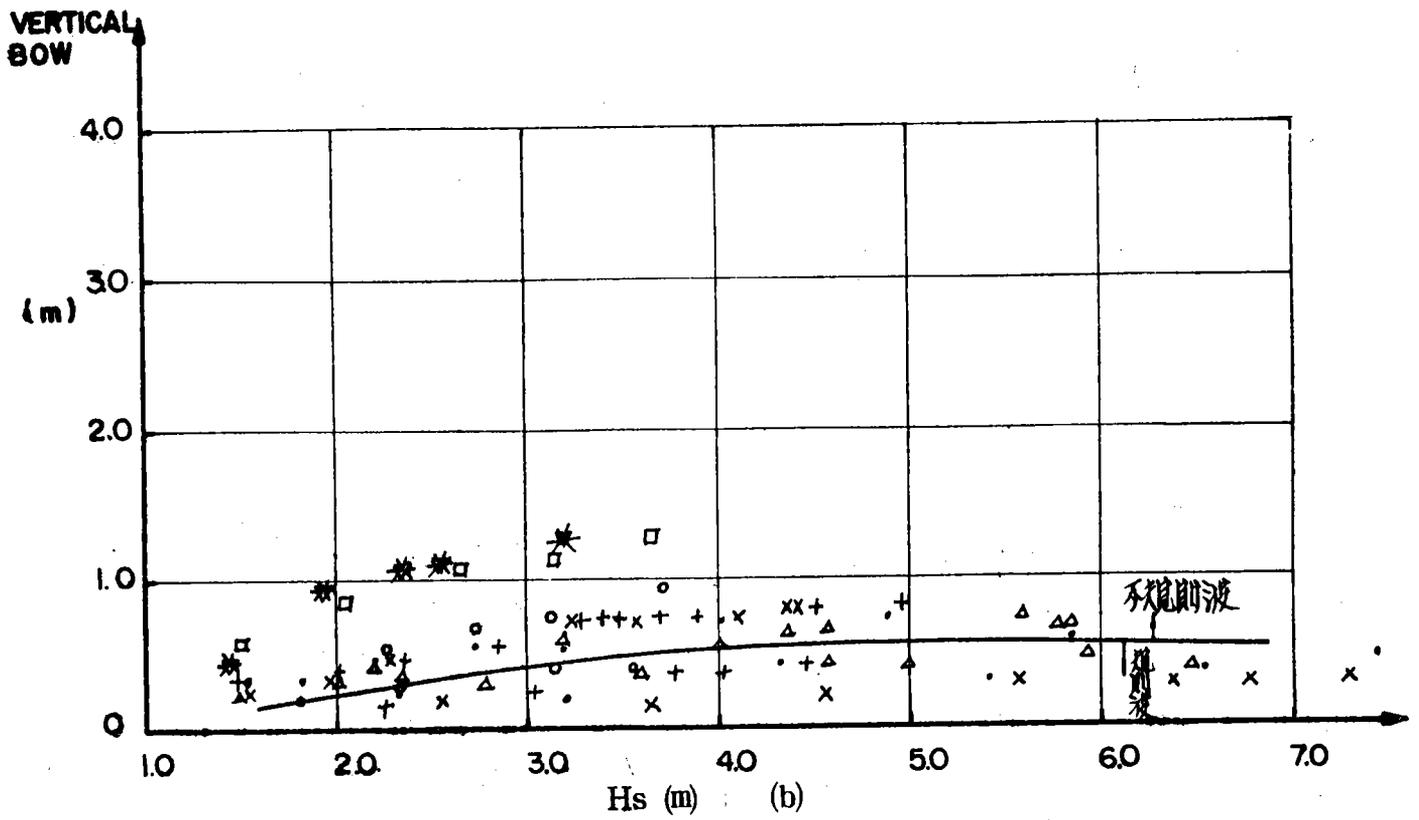
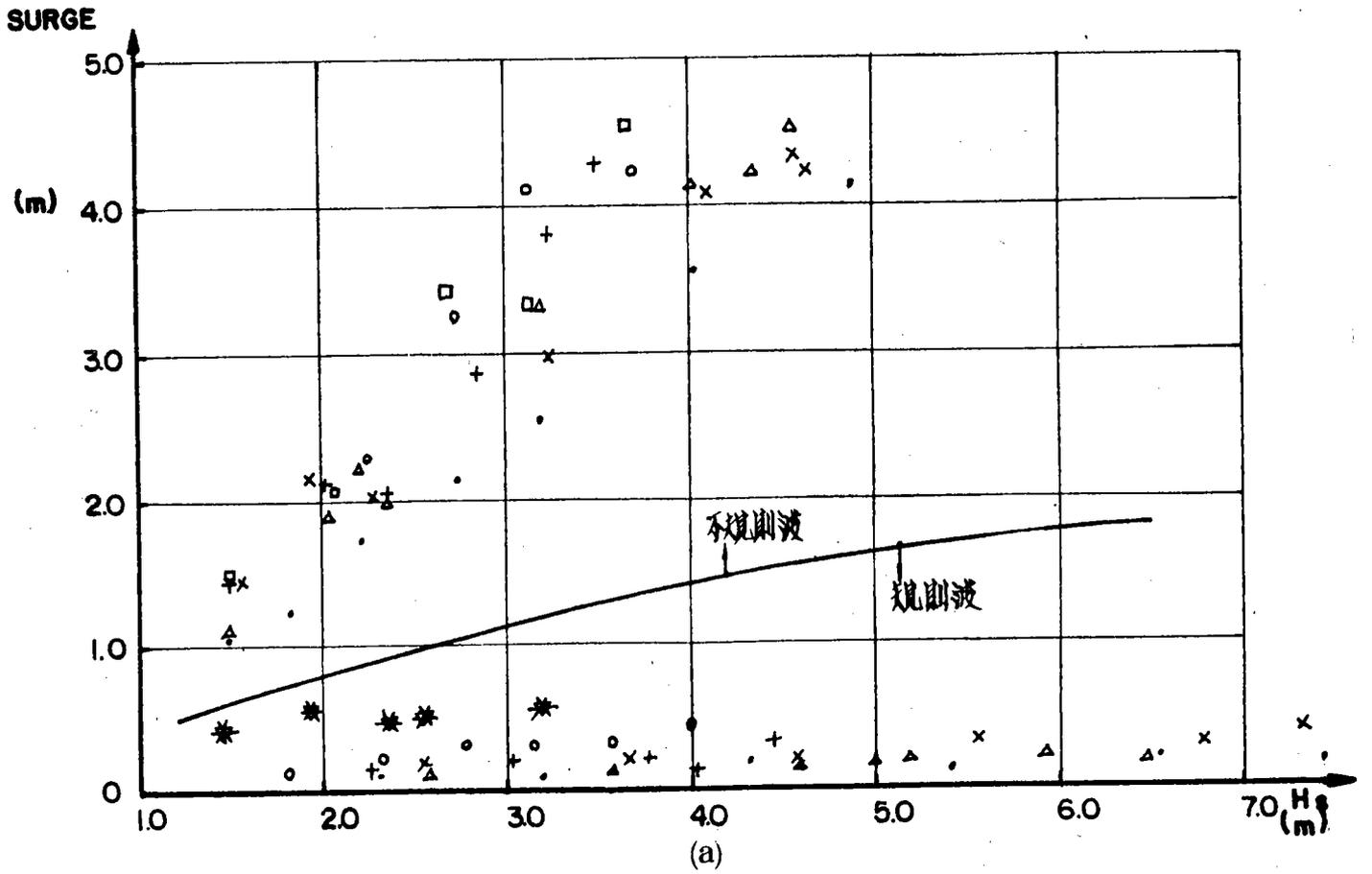


圖 3 - 6 - 5 船體運動

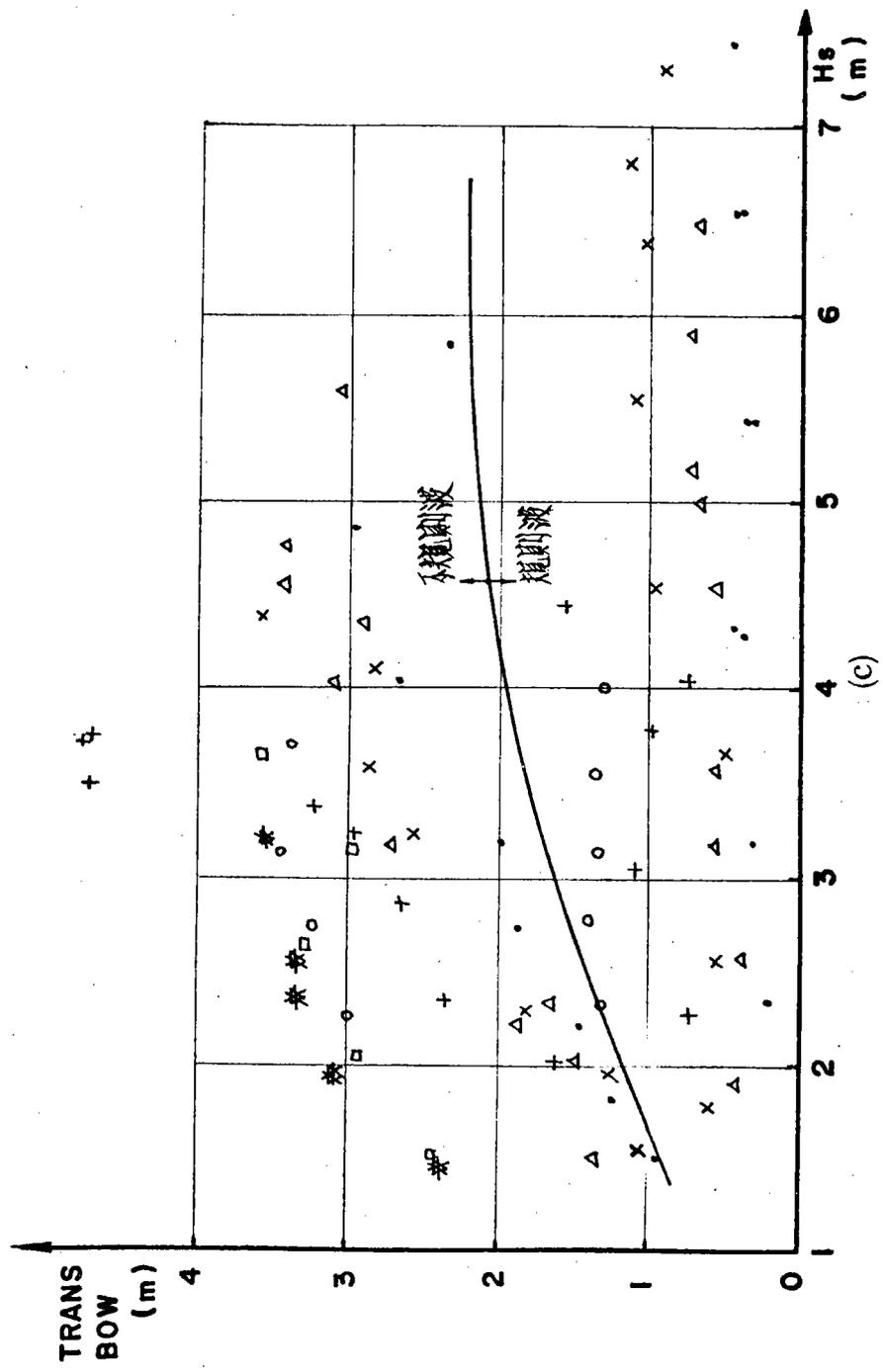
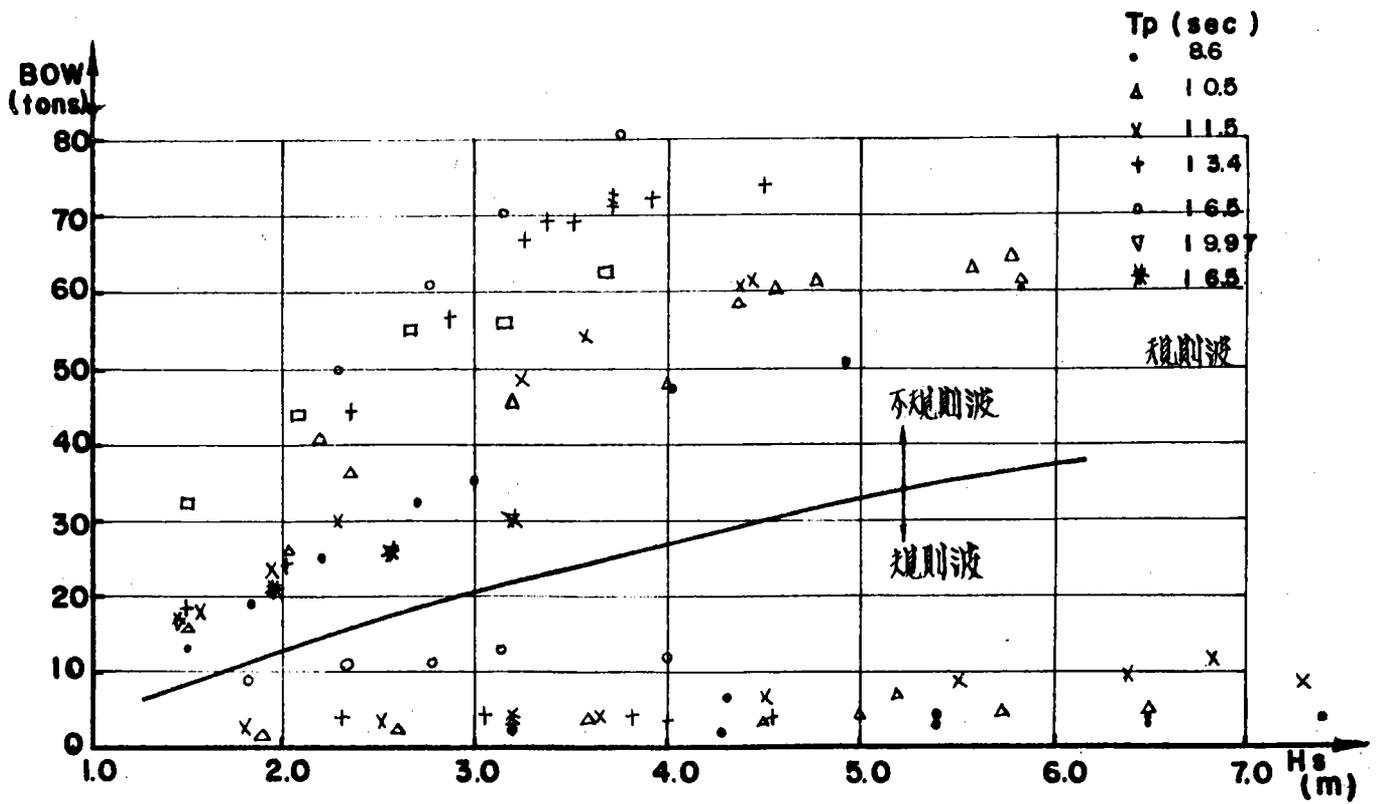
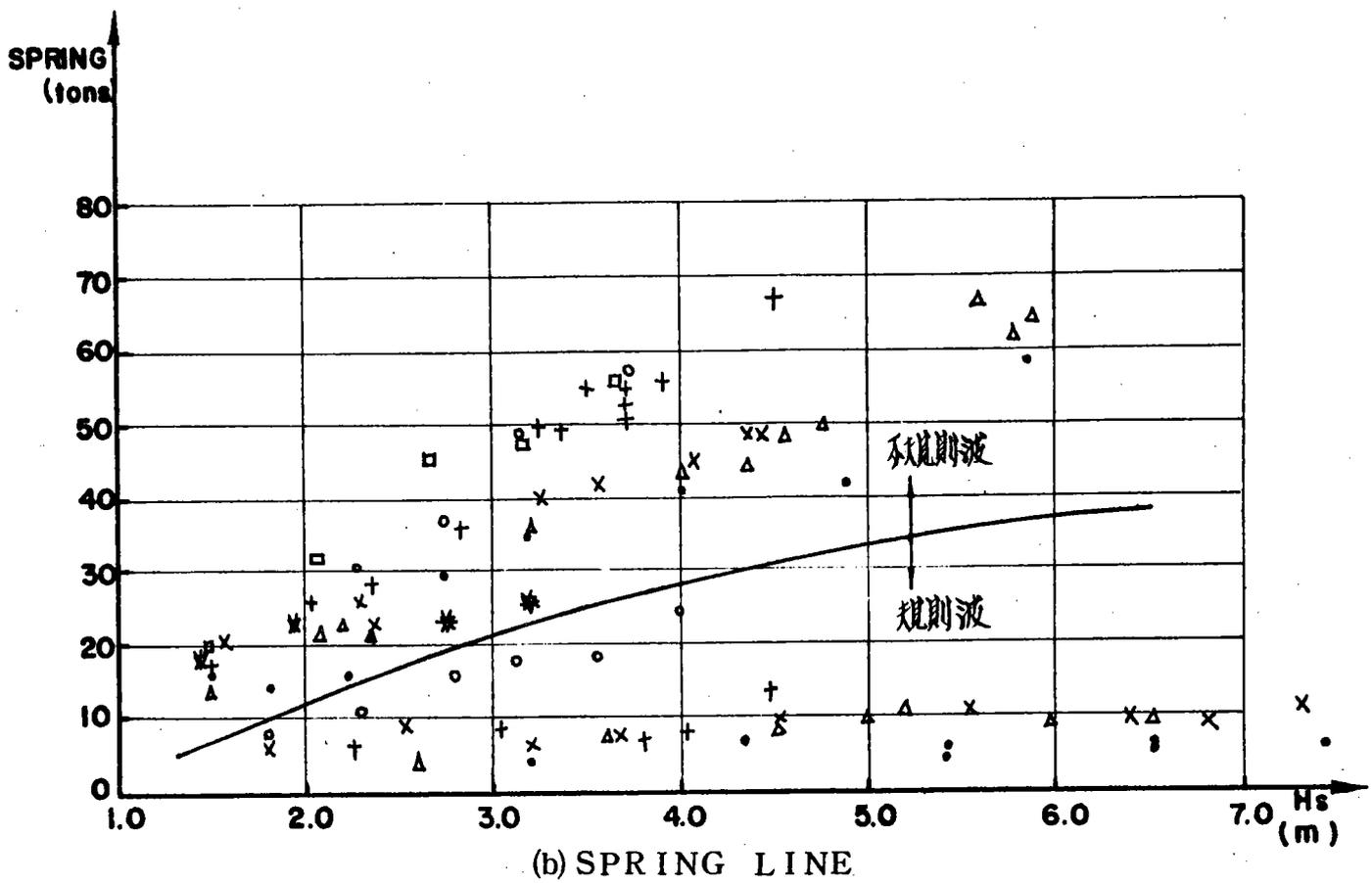


圖 3 - 6 - 5 船體運動 (c)

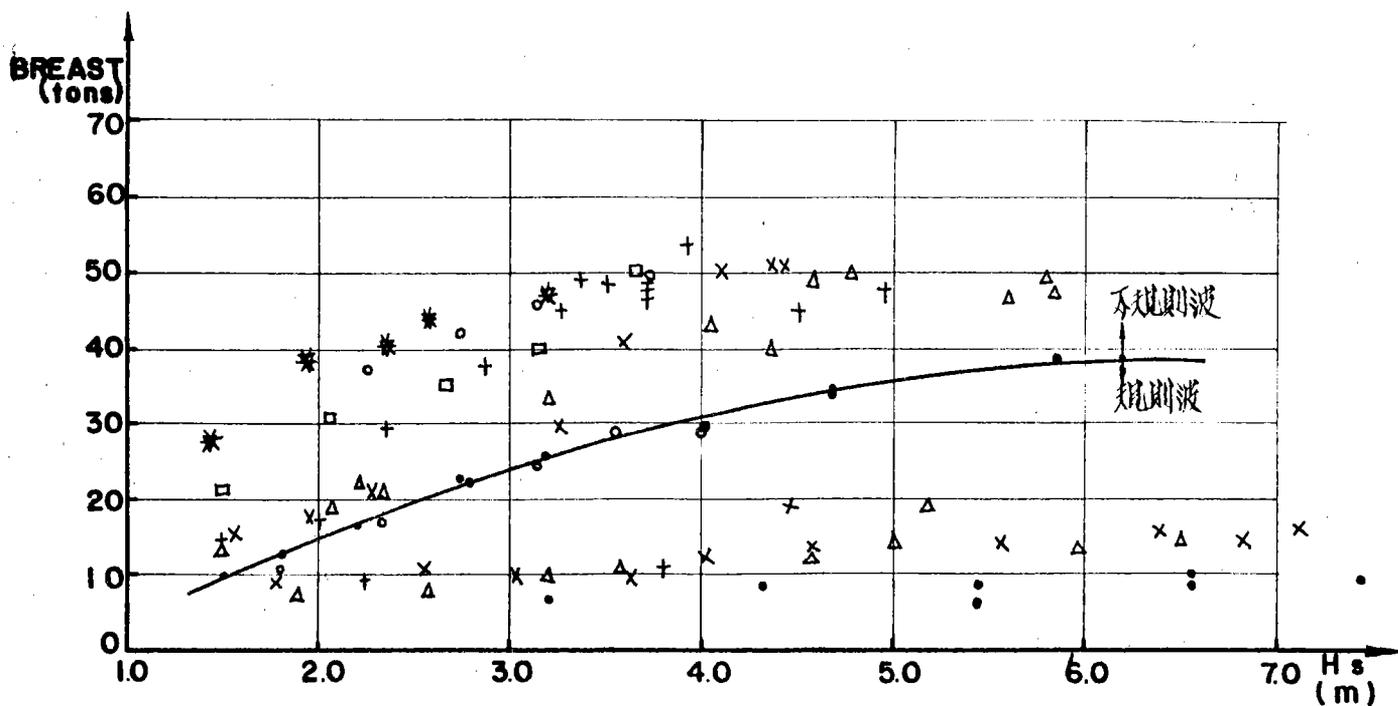


(a) BOW LINE

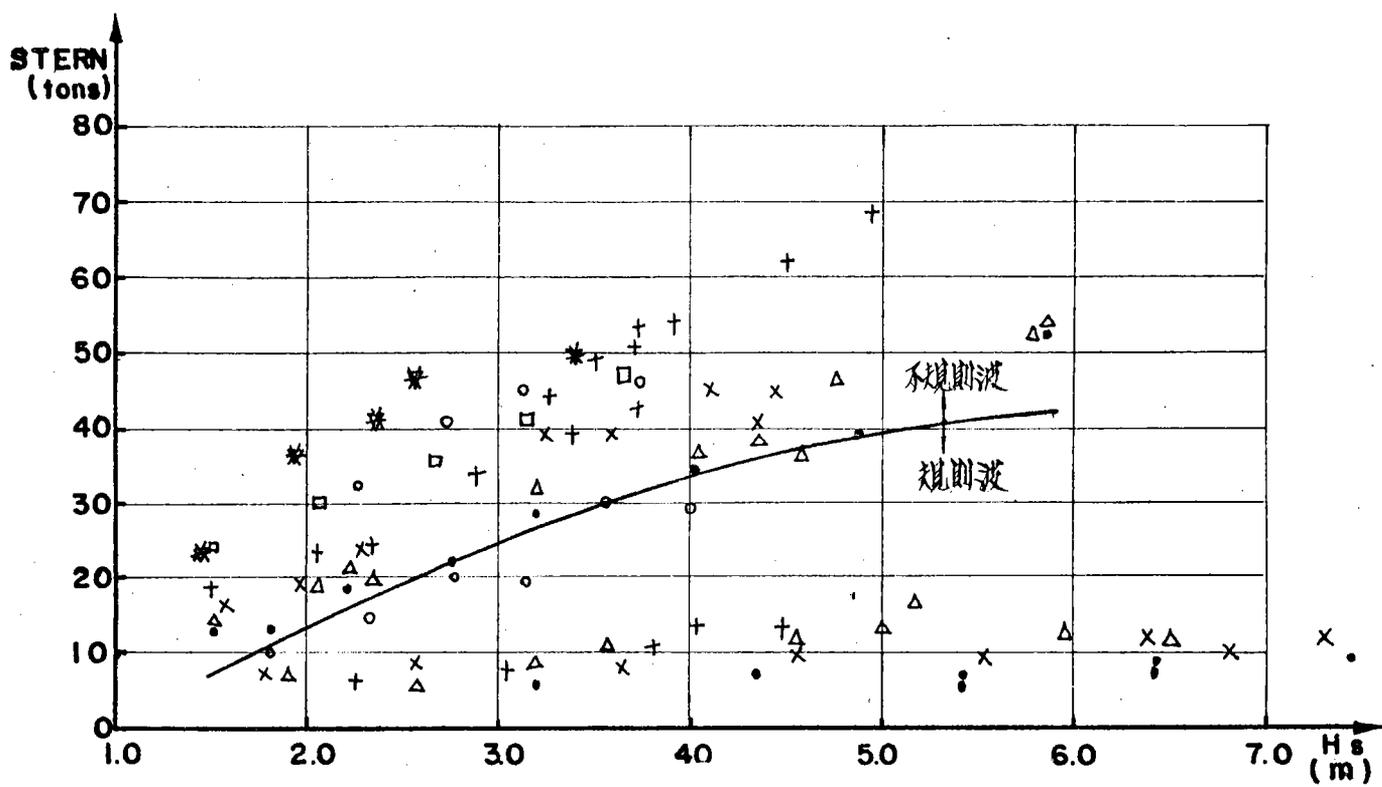


(b) SPRING LINE

圖 3 - 6 - 6 纜繩拉力試驗結果

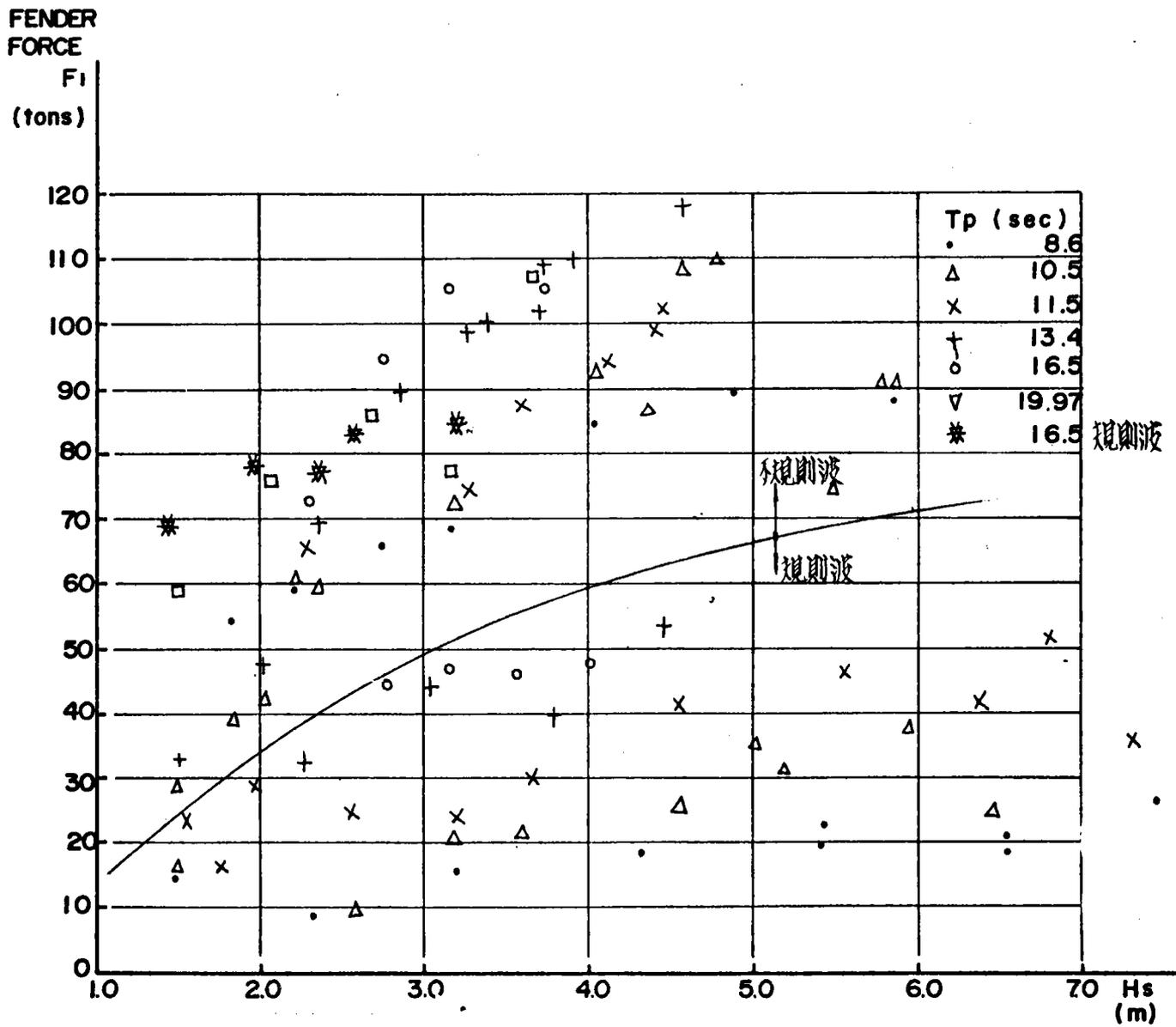


(c) BREAST LINE



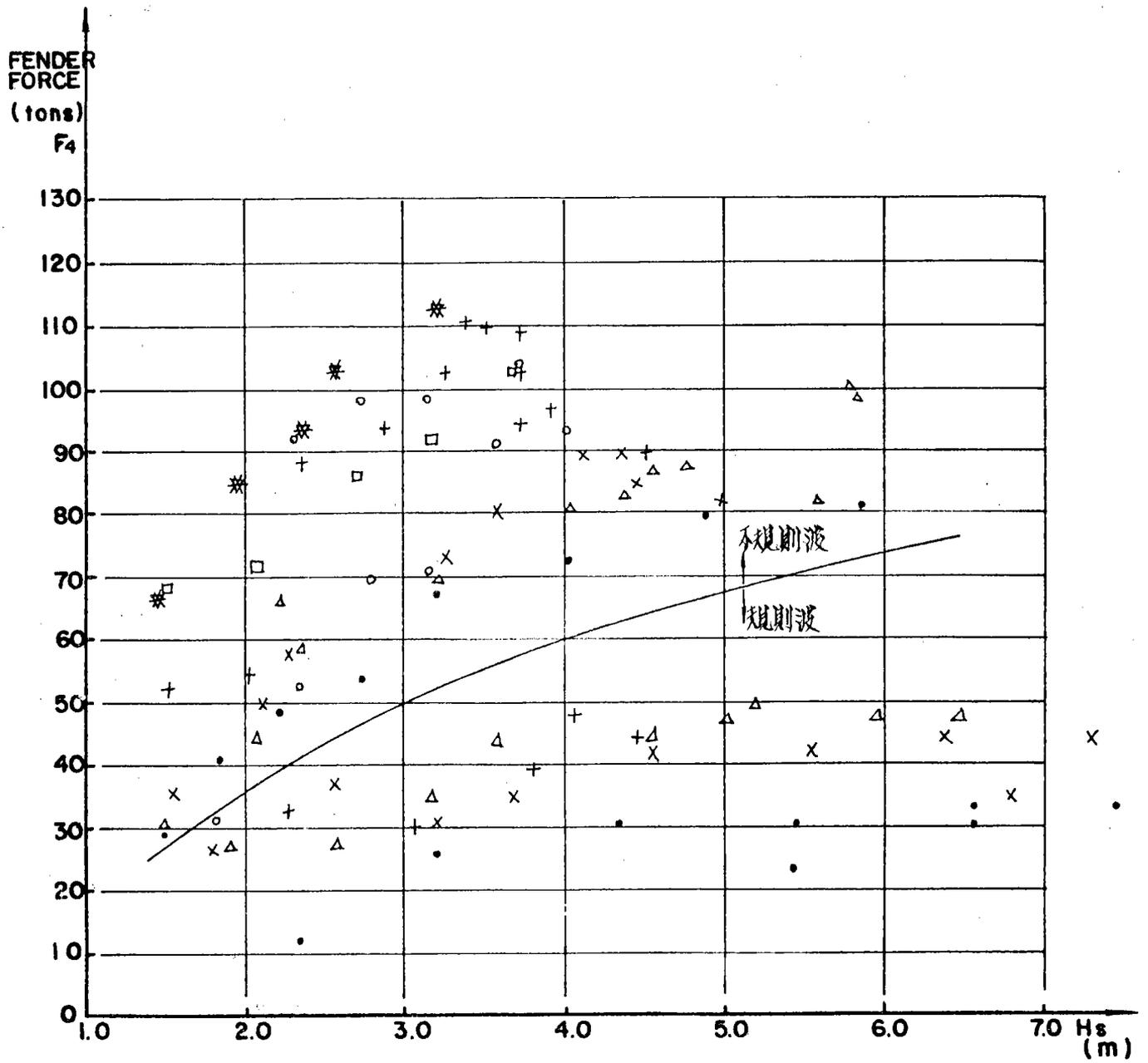
(d) STERN LINE

圖 3 - 6 - 6 纜繩拉力試驗結果



(a) FENDER FORCE F_1

圖 3 - 6 - 7 護舷壓力



(b) FENDER FORCE F_4

圖 3 - 6 - 7 護敏壓力試驗結果

4 m時，船首纜繩拉力已超過 50 tons，其餘各纜繩拉力亦均大於 40 tons。

(四)護舷壓力：

錨靠船隻首、尾兩座護舷壓力試驗結果如圖 3 - 6 - 7。規則波與不規則波作用下，護舷壓力均隨波高與週期增加而加大；但不規則波試驗時，護舷所受壓力約為規則波試驗時之兩倍。

七、討論

船體受不規則波作用時，雖港池波浪相當穩靜，但船體動力為何較規則波試驗情況下大增？根據試驗所作波譜分析顯示，港池在不規則波作用下，碼頭前水域（WG 10 及 WG 12）產生極大比例之長週期波浪能量；相反的規則波試驗時並無此種現象，如圖 1 - 6 - 4。研判此乃造成船體動力大增之主要原因。

根據第二節群波引起長浪理論，就本試驗研究所採用之波浪條件分別以四個波及十個波計算其產生之長浪特性。

(一)長浪波長：

試驗所採用不規則波尖峯週期自 9.0 sec 至 20 sec 群波引起長浪可能產生之波長如下表：

不規則波 尖峯週期 (sec)	深海波長 (m)	8 m 水深波長 (m)	長浪波長 (m)	
			四個波波長	十個波波長
9.0	126	75	300	750
10.5	172	88	354	880
11.5	206	98	390	980
13.8	297	119	475	1190
16.5	425	143	571	1430
20.0	624	174	696	1740

(二)長浪振幅：

假設泊渠附近水深 8 m 處之示性波高自 0.5 m 至 1.0 m，則 $A_m = A_n = 0.125$ m 及 0.25 m。△f / f = 0.1 及 0.25 計算所得長浪振幅如下表：

不規則波 尖峯頻率 f_p	$\sqrt{\frac{d}{g}}$ f	$H_s = 0.5$ m				$H_s = 1.0$ m			
		△f / f = 0.1		△f / f = 0.25		△f / f = 0.1		△f / f = 0.25	
		$G_{mn} h$	ξ (cm)	$G_{mn} h$	$\xi$ (cm)	$G_{mn} h$	$\xi$ (cm)	$G_{mn} h$	$\xi$ (cm)
1 / 9.0	0.100	3.43	0.67	3.02	0.59	3.43	2.68	3.02	2.36
1 / 10.5	0.086	4.67	0.91	4.11	0.80	4.67	3.64	4.11	3.21
1 / 11.5	0.079	5.60	1.09	4.92	0.96	5.60	4.37	4.92	3.84
1 / 13.8	0.065	8.06	1.57	7.09	1.38	8.06	6.30	7.09	5.54
1 / 16.5	0.055	11.52	2.25	10.14	1.98	11.52	9.00	10.14	7.92
1 / 20.0	0.045	16.93	3.31	14.89	2.91	16.93	13.22	14.89	11.63

計算結果顯示長浪振幅隨不規則波週期增長而加大；隨群波組合個數增加而增大。

八、結論

- (一) 規則波試驗結果顯示各測點波高係數成散亂分佈，不規則波試驗所得係數則較為一致。大體而言，各測點係數可以不規則波試驗結果代表規則波試驗結果之平均值。
- (二) 規則波作用下，護舷壓力、纜繩拉力與船體運動均隨週期增長，波高增大而略為增加。除長週期外，受波高變化影響不顯著。護舷壓力、纜繩拉力及船體運動量均甚小。當週期增至 20 sec 時，碼頭附近波長約為船長之兩倍，使船首、尾分別位於波峯及波谷，造成船首運動幅度大增。
- (三) 不規則波試驗時，受群波引起長浪影響，護舷壓力、纜繩拉力及船體運動等均較規則波試驗時增加數倍，且應受波高與週期變化亦更為顯著。

第四章 波浪溯上與傳遞波

(Wave Run-up and Transmitted Waves)

一、概述

港灣工程興建外廓防波堤主要之目的，在於有效遮蔽入侵波浪，獲得穩靜水域，供船隻碇靠，以利裝卸作業。防波堤佈置除應考慮港口方向，便利船隻進出，及減小入侵波浪經港口繞射影響港池穩靜外；對波浪越過防波堤產生傳遞波亦應審慎加以考慮。堤頂高度過高雖可減小傳遞波，確保港池穩靜，但堤防工程費往往隨堤高成平方比增加。故需尋求一適當合理之堤防高度作為規劃設計之依據。

以往辦理堤防溯上及傳遞波研究，限於造波機功能，一般均採用規則波試驗。隨自動控制的發展與應用港灣試驗已能正確模擬海上實測波浪。為了解試驗室內使用規則波與不規則波所造成之試驗差異，作為爾後辦理試驗與規劃設計之依據從事本試驗研究。

二、往昔研究

(一) 溯上：

未碎規則波在斜面上發生溯上，Keller (1961) 應用線性長波理論研究斜坡與較太水深連接波浪運動導出相對溯上關係為：

$$\frac{R}{H} = \frac{1}{K_s} \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} \quad (4-2-1)$$

上式中 K_s 為淺化係數 (Shoaling coefficients)， α 為斜坡角，如採用深水波高，則 (4 - 2 - 1) 式可改寫為：

$$\frac{R}{H_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} \quad (4-2-2)$$

Keller 及 Keller (1965) 考慮水平前灘與平面斜坡連接，應用線性長波理論求得相對溯上為：

$$\frac{R}{H} = \left[J_0^2 \left(\frac{4\pi}{\alpha T} \sqrt{\frac{d}{g}} \right) + J_1^2 \left(\frac{4\pi}{\alpha T} \sqrt{\frac{d}{g}} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4-2-3)$$

上式中 J_0 及 J_1 分別爲貝瑟函數 (Bessel function) 第零及一階。

Le Méhaute et al. (1968) 建議考慮波峯非線性作用造成之水位抬高，相對溯上爲：

$$\frac{R}{H_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} + \Delta \quad (4-2-4)$$

上式中 Δ 爲非線性作用造成相對水位抬高，根據 Miche (1944) 展開至二階爲：

$$\Delta = \frac{1}{2} kH \left(1 + \frac{3}{4} \sinh^{-2} kd - \frac{1}{4} \cosh^{-2} kd \right) \cot hkd \quad (4-2-5)$$

上式中 d 爲水深， $k = \frac{2\pi}{L}$ ， L 爲波長。

美國陸軍工程團海岸工程研究中心 (C.E.R.C.) 根據 Saville (1956) 辦理之許多規則波溯上試驗資料，分析結果顯示，相對溯上受波浪尖度及斷面坡度 $\cot \alpha$ 影響。

Hunt (1959) 考慮碎波情況，利用 C.E.R.C. 試驗資料，發現 $\frac{R}{H}$ 與 $\tan \alpha$ ， $\left(\frac{H}{L} \right)^{-\frac{1}{2}}$ 及 $\left(\tanh \frac{2\pi d}{L} \right)^{-\frac{1}{2}}$ 成正比。

$$\frac{R}{H} = C \tan \alpha \left(\frac{H}{L} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\tanh \frac{2\pi d}{L} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4-2-6)$$

Hunt 利用試驗決定常數 $C = 1$ ，其最後公式並非等因次。

$$\frac{R}{H} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \quad (4-2-7)$$

(4 - 2 - 7) 式中 $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} = \xi$ ，一般稱之爲碎波參數 (Surf

parameter)。

Per Bruun 及 Ali Riza Günbak (1977) , 研究各種不同碎波型式 (Breaker type) 對相對溯上之影響, 認為相對溯上在臨界碎波參數 $\xi_c \doteq 2.3$ 時應為最大; 但在拋石堤上試驗結果並不能印證此一假設, 而在平滑面上試驗結果則顯示, 當 ξ 介於 2.0 與 3.0 之間時, 發生捲入型碎波 (Plunging type breaker) $R/H = \xi$ 。

粗糙堤面與光滑堤面溯上比值 $r = R(\text{rough})/R(\text{smooth})$ 。

Battjes (1974) 整理 C.E.R.C. , H.L.Delft , H.R.S.Wallingford , Shankin 等試驗結果, 採用河床滾石或開採塊石之拋石堤溯上與光滑堤面溯上比約為 0.5 至 0.6。

不規則波所造成之溯上至今仍缺乏理論研究。Saville (1962) 假設波高與週期分佈, 分別計算個別波浪所造成之溯上。Van Oorschot 及 d'Angremond (1968) 根據上述假設, 利用 Hunt 規則波公式求得超過率大於 $n\%$ 之溯上 $R_{(n)}$ 為:

$$R_{(n)} = f_1(n) \sqrt{H_k L_{0,k}} \tan \alpha \quad (4 - 2 - 8)$$

上式中 H_k , $L_{0,k}$ 分別為超過率為 $K\%$ 之波高與深海波長; α 為斜坡角。 $f_1(n)$ 為溯上機率分佈係數, 除所選用之試驗波浪特徵參數外, 為波譜之函數。

因 $L_{0,k} = \frac{g T_k^2}{2\pi}$, (4 - 2 - 8) 式可改寫為:

$$R_{(n)} = f_2(n) T_k \sqrt{H_k L_{0,k}} \tan \alpha \quad (4 - 2 - 9)$$

上式中 T_k 為超過率 $K\%$ 之波浪週期; $f_2(n)$ 為溯上機率分佈係數。

選用示性波高 H_s 、特徵週期 \hat{T} 及能譜參數 ϵ 則:

$$R_{(n)} = C_{(n)}(\epsilon) \hat{T} \sqrt{g H_s} \tan \alpha \quad (4 - 2 - 10)$$

上式中 $C_{(n)}$ 為 ϵ 之函數, 介於 0.55 至 0.73 間。溯上機率分佈範圍隨能譜加寬而增大。最寬廣之分佈近似於理萊分佈 (Rayleigh distribution)。任意超過率 $n\%$ 之溯上可依下式求得:

$$\frac{R_{(n)}}{R_{(2)}} = 0.77 \sqrt{2 - \log n} \quad (4 - 2 - 11)$$

根據北海實測資料，海浪能譜為 Neumann 能譜。則：

$$Z(z) \doteq 0.7 \hat{T} \sqrt{gH_s} \tan \alpha \quad (4-2-12)$$

上式中 $\frac{\hat{T}}{T}$ 約為 1.05。

Ahrens (1977) 歸納 Saville (1962), Saville, McClendon, Cochran (1962) 及 Oorschot, d'Angremond (1968) 等假設溯上與海上波高一樣符合理萊分佈，則：

$$\frac{R_p}{R_s} = \left[\frac{\ln\left(\frac{1}{p}\right)}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4-2-13)$$

式中 R_s 為規則波溯上； R_p 為機率超過 $p\%$ 之溯上。

(二) 傳遞波：

傳遞波研究大部份着重於波浪穿過透水性防波堤 (Permeable breakwaters) 造成堤後水域波浪。Sollitte 及 Cross (1972) 針對直立堤及梯形拋石堤從事理論推導與試驗研究，獲得相當理想結果。Madsen 及 White (1976) 從事梯形拋石堤試驗，發現透水性拋石堤傳遞係數受波浪尖度影響，其大小介於 0.1 與 0.3 之間。

Jeffreys (1944) 利用線性微小振幅波理論推導波浪越過寬頂潛堤所造成之能量傳遞，獲得波高傳遞係數為：

$$\frac{H_t}{H_i} = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[\left(\frac{0.25}{d_s - h} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{0.25d_s - 0.25h}{d_s} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2 \sin^2 \left\{ \frac{2\pi b}{\sqrt{gT}} \left(\frac{1}{d_s - h} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (4-2-14)$$

$d_s > h$

上式中 d_s 為堤趾水深， h 為堤頂高度， b 為堤頂寬度。

Fuchs (1951) 根據線性波浪理論，考慮能量傳遞推導越過鋼性薄直立堤所產生之波浪傳遞。但此公式不適用於越波所造成之波浪傳遞。

$$\frac{H_t}{H_i} = \left\{ 1 - \frac{\left(\frac{4\pi h}{L} \right) + \sinh \left(\frac{4\pi h}{L} \right)}{\sinh \left(\frac{4\pi d_s}{L} \right) + \left(\frac{4\pi d_s}{L} \right)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4-2-15)$$

Seelig (1976) 分析 Goda , Takeda 及 Mriya (1967) 與 Goda (1969) 辦理不透水直立堤，各種情況下傳遞波試驗結果，獲得一般性公式為：

$$\frac{H_t}{H_i} = 0.5 \left\{ 1 - \sin \left[\frac{\pi}{2\alpha} \left(\frac{h - d_s}{H_i} + \beta \right) \right] \right\} \quad (4 - 2 - 16)$$

上式中 α , β 為試驗係數，決定於結構物之特性。 $h - d_s$ 為靜水面上堤頂高度。

Sollitte 及 Cross (1971) 假設溯上水面曲線為拋物線，以波谷為其頂點。

$$Y = MX^n - A \quad (4 - 2 - 17)$$

上式中， Y 為靜水位上橫軸 X 之水位高， A 為波谷振幅， M 及 n 為常數。

假設最大溯上發生在部份駐波剖面之極值。利用線性波浪理論描述海側第一波谷之運動。考慮質量守恒，分析一個週期入射波、反射波、越波能量與斜坡上能量損耗；計算越波量及越波波能。假設防波堤前後水深相等，波浪傳遞係數為：

$$K_t^2 = 2 C_0 \frac{C}{C_g} \frac{L_R}{L} (1 + K_r)^2 (1 - K_i) \quad (4 - 2 - 18)$$

上式中 C 及 C_g 分別為相位速度及群波速度； L 及 L_R 分別為波長及溯上為 R 時之橫坐標； K_i 為波浪能量損耗係數； K_r 為結構物在越波情況下波浪反射係數。可由 Miche 無越波結構物反射係數 K_m 以線性中插法求得：

$$K_r = K_m \frac{(h + h_c)}{(h + r)} \quad (4 - 2 - 19)$$

$$e_0 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(r+1)^2}{2n+1} \left[1 - \left(\frac{hc+1}{r+1} \right)^{2+\frac{1}{n}} \right] - \frac{2(r+1)}{n+1} \left[1 - \left(\frac{hc+1}{r+1} \right)^{1+\frac{1}{n}} \right] + (1-h_c^2) \left[1 - \left(\frac{hc+1}{r+1} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - \frac{S}{3} (r - h_c)^2 (r + 2h_c) \right\} \quad (4 - 2 - 20)$$

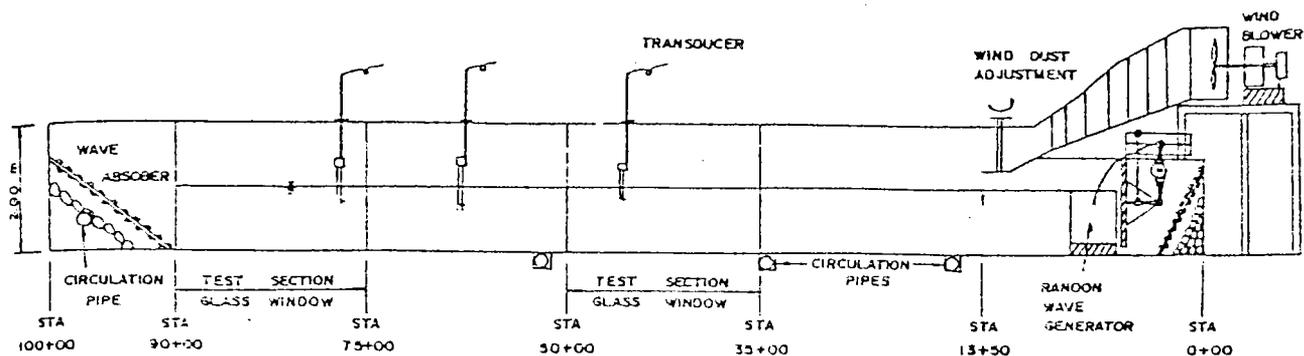


圖 4 - 3 - 1 風洞水槽佈置

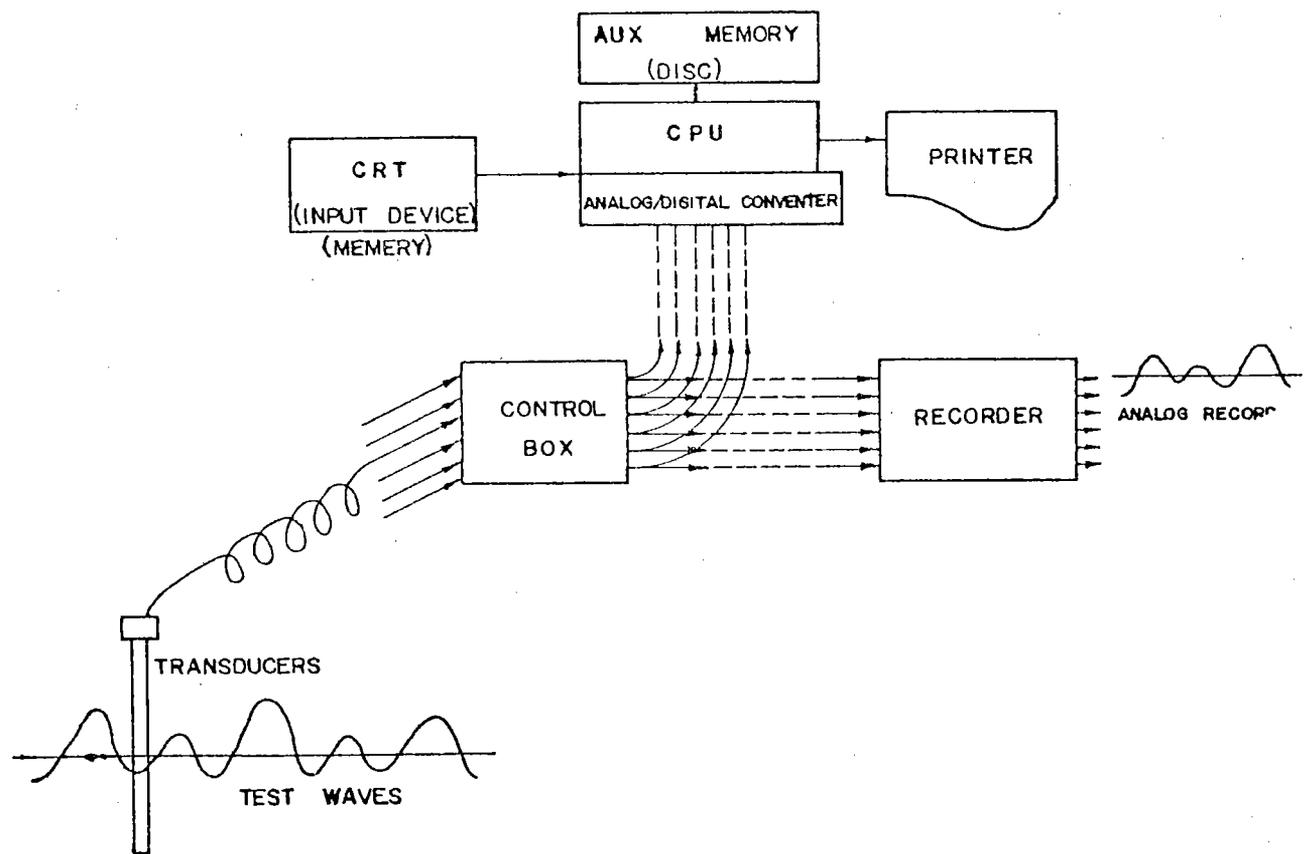


圖 4 - 3 - 2 資料處理系統

上式中 $r = R / A$, $h_c = H_c / A$, $h = H / A$, $S = AS / L_R$ 。 S 爲斜面坡度， H_c 爲靜水位上堤頂高。

Sollitte及Cross 利用試驗資料求得波浪傳遞係數之包絡線爲：

$$K_t = 0.65 \left(1.10 - \frac{H_c}{R} \right) , \quad \frac{H_c}{R} < 1.0 \quad (4 - 2 - 21)$$

Hamer (198) 利用不透水光滑防波堤斷面試驗獲得：

$$K_t = 0.69 \left(0.84 - \frac{H_c}{R} \right) \quad (4 - 2 - 22)$$

三、試驗設備

本試驗在 100 公尺長，1.5 公尺寬，2.0 公尺高之風洞水槽，如圖 4 - 3 - 1，辦理。主要設備有英國 Armfield 公司出品之油壓式造波機、鼓風機、環流系統、量測儀器及資料處理系統，如圖 4 - 3 - 2。

四、試驗條件

(一)試驗模型：

模型縮尺按福祿得模型律 (Froude model law) 製作 1 : 25 光滑不透水防波堤斷面模型。堤面坡度爲 1 : 1.5。堤頂寬度爲 10 公分。

(二)試驗波浪：

試驗所採用之不規則波係根據 Moskowitz 波譜，利用電腦程式求得造波機控制參數，輸入造波機，製造試驗所需不規則波浪如表 4-4-1。規則波試驗條件則依據不規則波率定所測得之示性波浪加以調整，以取得與不規則波近似之波高與週期，便利試驗結果比較。規則波試驗條件如表 4 - 4 - 2。

(三)試驗水深：

試驗水深分別採用 65，70 及 75 公分。

五、試驗量測與試驗結果

(一)試驗量測：

表 4 - 4 - 1 不規則波試驗條件

試驗 條件 編號	入射波浪		傳遞波				溯上	胸牆	無因次比值				
	波高 $H_{\frac{1}{2}}$ (cm)	週期 $T_{\frac{1}{2}}$ (sec)	$(H_t)_{max}$ (cm)	$(H_t)_{\frac{1}{10}}$ (cm)	$(H_t)_{\frac{1}{2}}$ (cm)	$(H_t)_{ave}$ (cm)	R (cm)	H_c (cm)	$\frac{(H_t)_{max}}{H_i}$	$\frac{(H_t)_{\frac{1}{10}}}{H_i}$	$\frac{(H_t)_{\frac{1}{2}}}{H_i}$	$\frac{(H_t)_{ave}}{H_i}$	$\frac{H_c}{R}$
IRB-1	8.76	1.23	4.22	3.01	2.07	1.16	8.37	5	0.482	0.344	0.243	0.133	0.597
IRB-2	10.61	1.29	6.54	4.56	3.14	1.67	11.52	5	0.616	0.430	0.296	0.157	0.515
IRB-3	12.45	1.33	7.37	5.41	3.95	2.24	10.46	5	0.592	0.434	0.317	0.180	0.478
IRB-4	13.52	1.39	7.76	5.89	4.28	2.40	10.37	5	0.574	0.436	0.316	0.177	0.482
IRB-5	14.47	1.41	9.16	6.57	4.56	2.53	10.90	5	0.633	0.454	0.328	0.175	0.459
IRB-6	9.01	1.63	5.51	3.47	2.36	1.28	9.42	5	0.611	0.385	0.262	0.142	0.531
IRB-7	10.26	1.60	5.99	3.90	3.44	2.02	10.41	5	0.584	0.380	0.336	0.197	0.480
IRB-8	11.95	1.60	8.78	5.86	4.45	2.70	12.41	5	0.734	0.490	0.373	0.226	0.403
IRB-9	13.80	1.71	10.58	7.16	5.25	3.14	13.10	5	0.767	0.519	0.381	0.228	0.382
IRB-10	15.71	1.72	12.24	9.68	7.20	4.24	14.95	5	0.779	0.616	0.459	0.269	0.334
IRB-11	9.42	2.10	5.03	3.33	2.55	1.51	9.20	5	0.534	0.354	0.271	0.160	0.543
IRB-12	10.67	2.29	6.52	4.60	3.19	1.88	10.11	5	0.612	0.431	0.299	0.176	0.494
IRB-13	11.82	2.35	5.72	4.36	3.30	2.04	10.69	5	0.484	0.368	0.279	0.172	0.468
IRC-1	18.27	1.21	2.29	1.88	1.32	0.74	14.01	10	0.260	0.214	0.150	0.084	0.778
IRC-2	10.54	1.27	3.62	2.91	2.10	1.21	13.54	10	0.344	0.276	0.199	0.115	0.738
IRC-3	11.99	1.30	5.27	3.69	2.85	1.64	13.88	10	0.439	0.308	0.237	0.137	0.720
IRC-4	12.68	1.35	10.52	6.31	3.91	2.22	19.82	10	0.830	0.498	0.308	0.226	0.504
IRC-5	13.97	1.44	6.02	4.68	3.56	2.13	14.67	10	0.431	0.335	0.255	0.152	0.682
IRC-6	9.30	1.65	4.28	3.39	2.20	1.13	13.52	10	0.461	0.364	0.236	0.122	0.740
IRC-7	11.46	1.65	4.16	3.53	2.80	1.64	16.08	10	0.363	0.308	0.244	0.143	0.622
IRC-8	12.12	1.78	7.46	4.60	3.30	1.92	15.29	10	0.616	0.378	0.272	0.158	0.654
IRC-9	13.58	1.68	7.64	5.23	3.74	2.23	15.68	10	0.562	0.385	0.275	0.164	0.637
IRC-10	15.21	1.78	9.96	6.52	4.68	2.27	16.61	10	0.655	0.429	0.308	0.182	0.602
IRD-1	9.25	1.22	1.52	1.16	0.97	0.48	17.37	15	0.164	0.126	0.105	0.052	0.878
IRD-2	11.99	1.34	3.96	3.12	2.36	1.35	19.89	15	0.330	0.260	0.197	0.112	0.647
IRD-3	13.75	1.40	4.60	3.40	2.58	1.51	18.99	15	0.335	0.248	0.187	0.110	0.790
IRD-4	14.53	1.46	5.78	4.09	3.04	1.80	22.74	15	0.398	0.281	0.209	0.124	0.723
IRD-5	9.58	2.26	7.29	4.44	2.44	1.31	20.45	15	0.761	0.463	0.255	0.137	0.733

表 4 - 4 - 2 規則波試驗條件

試驗 編號	入 射 波		傳 遞 波	溯 上	胸 牆	無 因 次 比 值	
	週 期 T (sec)	波 高 H _i (cm)	波 高 H _i (cm)	R (cm)	H _c (cm)	$K_t = \frac{H_t}{H_i}$	$\frac{H_c}{R}$
RB-1	1.23	8.62	1.903	9.0	5	0.221	0.556
RB-2	1.27	10.52	3.282	10.54	5	0.312	0.474
RB-3	1.30	12.62	4.580	11.53	5	0.363	0.434
RB-4	1.36	13.22	4.498	12.304	5	0.340	0.406
RB-5	1.39	14.59	5.73	12.70	5	0.393	0.394
RB-6	1.60	8.86	2.13	9.088	5	0.240	0.550
RB-7	1.60	10.40	3.29	10.30	5	0.316	0.485
RB-8	1.66	11.57	3.98	11.768	5	0.344	0.425
RB-9	1.67	13.72	5.58	12.808	5	0.407	0.390
RB-10	1.73	15.79	5.895	13.69	5	0.373	0.365
RB-11	2.10	9.57	1.603	10.174	5	0.168	0.491
RB-12	2.26	10.46	2.69	10.934	5	0.257	0.457
RB-13	2.33	11.94	3.515	11.807	5	0.294	0.423
RC-1	1.22	8.76	0.27	11.70	10	0.031	0.855
RC-2	1.27	10.26	1.10	13.05	10	0.142	0.766
RC-3	1.31	11.85	2.30	13.96	10	0.194	0.716
RC-4	1.39	12.60	3.0	14.91	10	0.238	0.617
RC-5	1.47	14.05	3.97	14.67	10	0.283	0.682
RC-6	1.63	9.54	0.93	12.33	10	0.097	0.811
RC-7	1.66	11.43	2.57	13.85	10	0.225	0.722
RC-8	1.78	12.11	2.51	14.50	10	0.207	0.690
RC-9	1.68	13.56	3.96	15.33	10	0.292	0.652
RC-10	1.79	14.89	4.34	16.80	10	0.291	0.595
RD-1	1.22	9.16	0.2	15.59	15	0.022	0.962
RD-2	1.23	10.62	0.22	16.08	15	0.021	0.933
RD-3	1.34	11.11	0.88	18.44	15	0.079	0.813
RD-4	1.41	13.40	2.00	19.13	15	0.149	0.784
RD-5	1.46	15.07	2.60	18.53	15	0.173	0.809
RD-6	1.57	8.95	0.2	16.05	15	0.022	0.935

1. 將防波堤斷面佈置於風洞水槽末端觀測段，在各種不同試驗水深情況下，依表 4 - 4 - 1 及 4 - 4 - 2，分別製造試驗所需入射波浪。
2. 在防波堤斷面前及斷面後一個及二個波長處佈置波高計，以測量入射及傳遞波浪。
3. 在防波堤堤頂處置波高計乙支，測量潮上高度 R' ；並定義波浪潮上為 $R = H_c + R'$ ， H_c 為靜水位上之堤頂高度。

(二) 試驗結果：

1. 傳遞波：

規則波試驗入射波雖然採用週期相等，但試驗結果顯示，波浪越過防波堤後產生傳遞波，呈現不規則現象，如圖 4 - 5 - 1。故有時

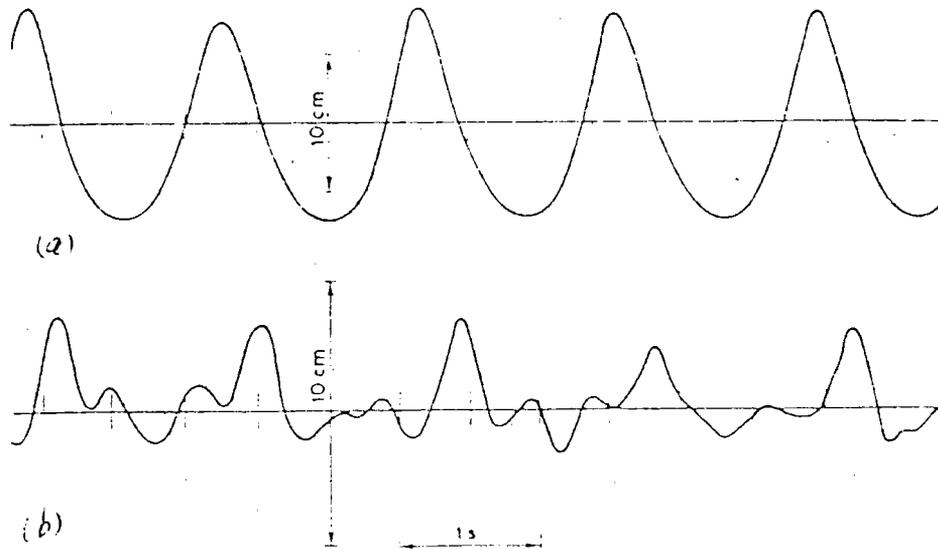


圖 4 - 5 - 1 規則波產生之不規則傳遞波

稱波浪越過防波堤，在堤後所產生之波浪為再生波。每一試驗情況，取 20 個傳遞波浪，利用組體圖觀念分析傳遞波高。當越波較小時，組體圖僅有一個尖峯；而在越波顯著時，呈現兩個尖峯，求取權重之平均值作為傳遞波高 H_t 。定義傳遞係數 $K_t = H_t / H_i$ 。傳遞係數與相對堤頂高度 H_c / R 之關係，如圖 4 - 5 - 2。圖中顯示本試驗所得結果與

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES
 X AXIS IS
 Y AXIS IS

Dana Point
 Model Data
 □ 1:50 Model
 △ 1:5 Model
 + 本研究
 / Theory

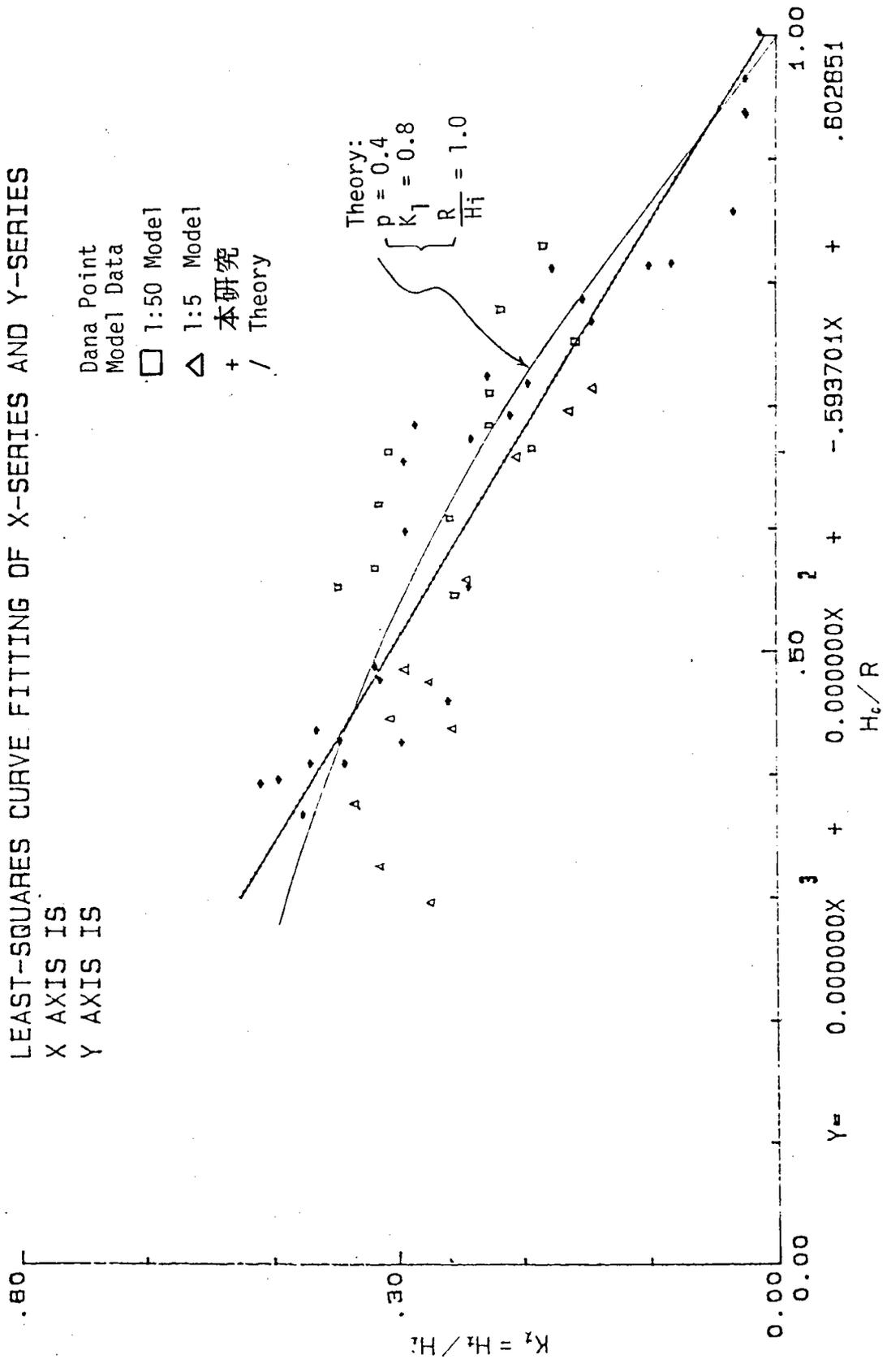


圖 4 - 5 - 2 規則波試驗資料及其一次最佳符合線

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS
Y AXIS IS

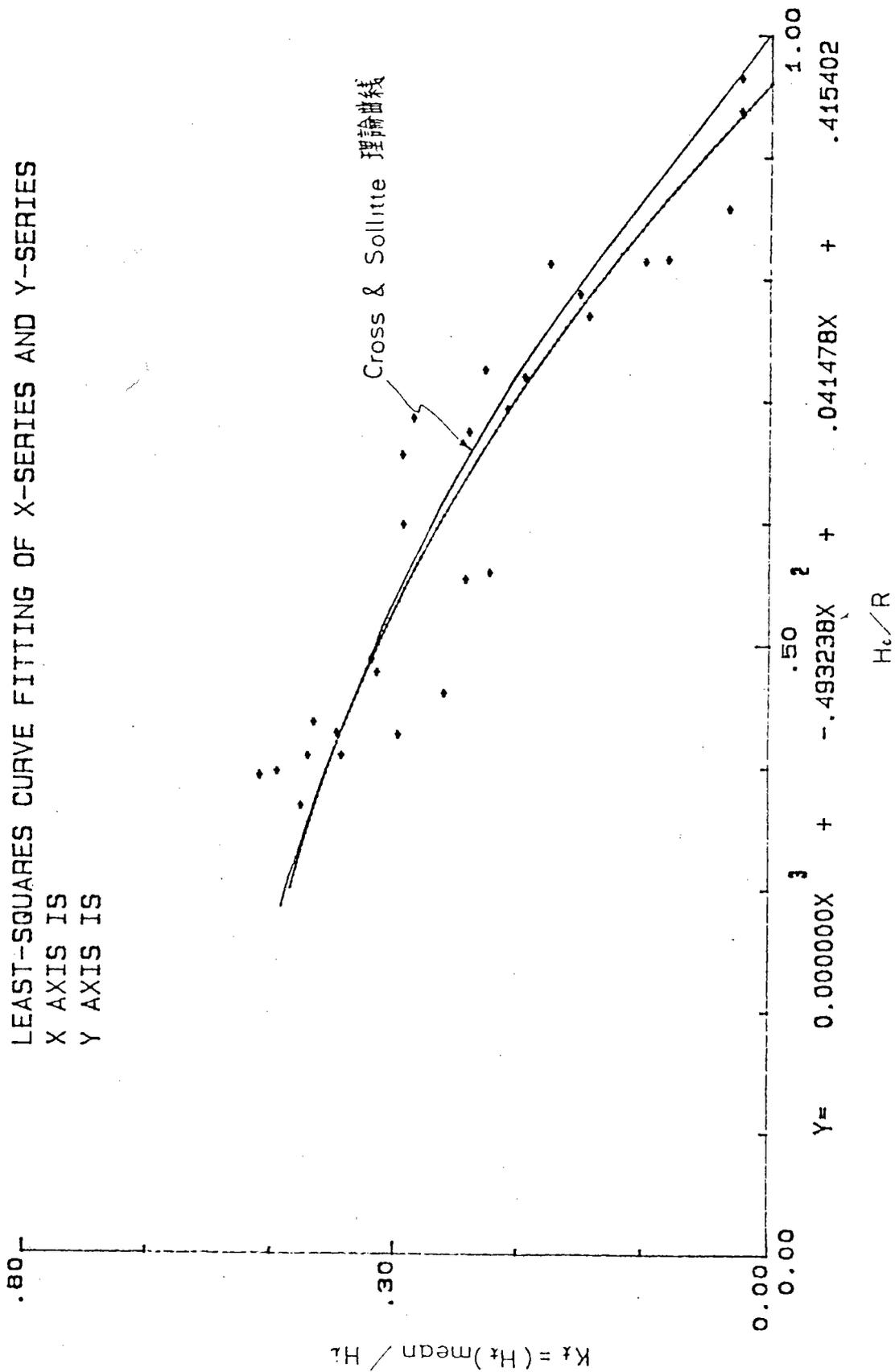


圖 4 - 5 - 3 規則波試驗數據二次最佳符合曲線與 Cross & Sollitte 理論曲線比較圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES
 X AXIS IS
 Y AXIS IS

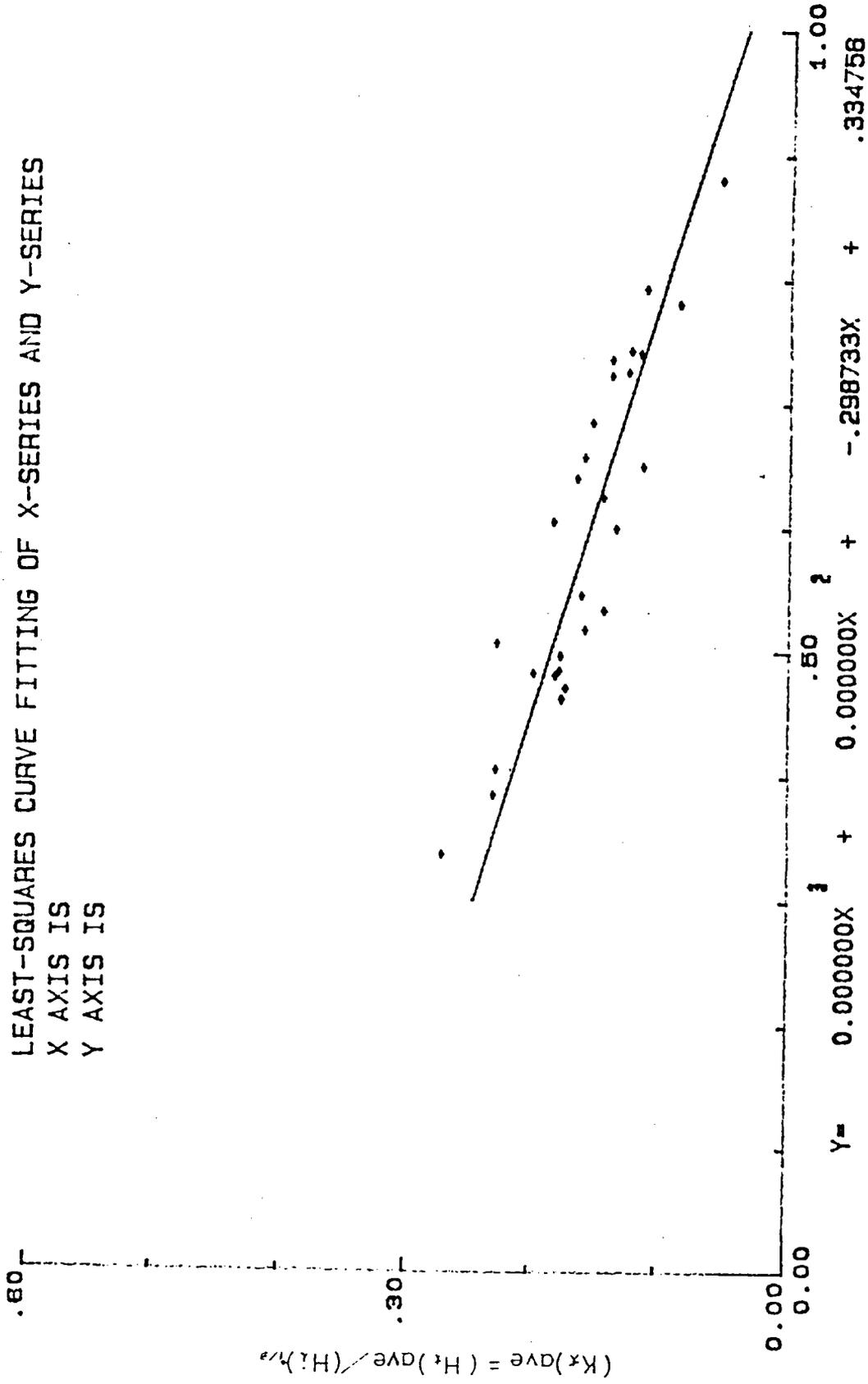


圖 4 - 5 - 4 (a) 不規則波 (K_t)_{ave} ~ $\frac{H_c}{R}$ 線性關係圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS
Y AXIS IS

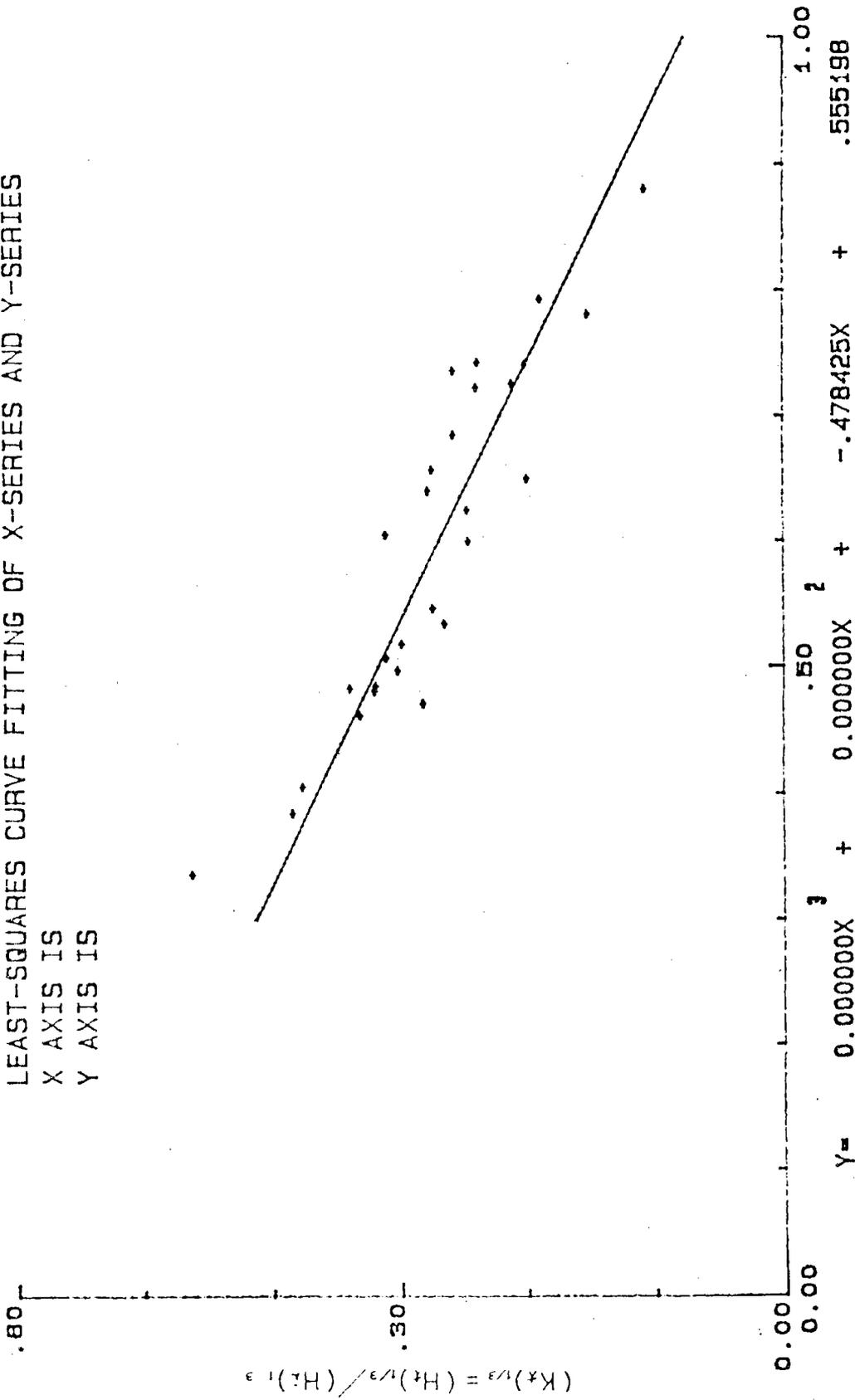


圖 4 - 5 - 4 (b) 不規則波 (K t)^{1/3} ~ $\frac{H_c}{R}$ 線性關係圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS
Y AXIS IS

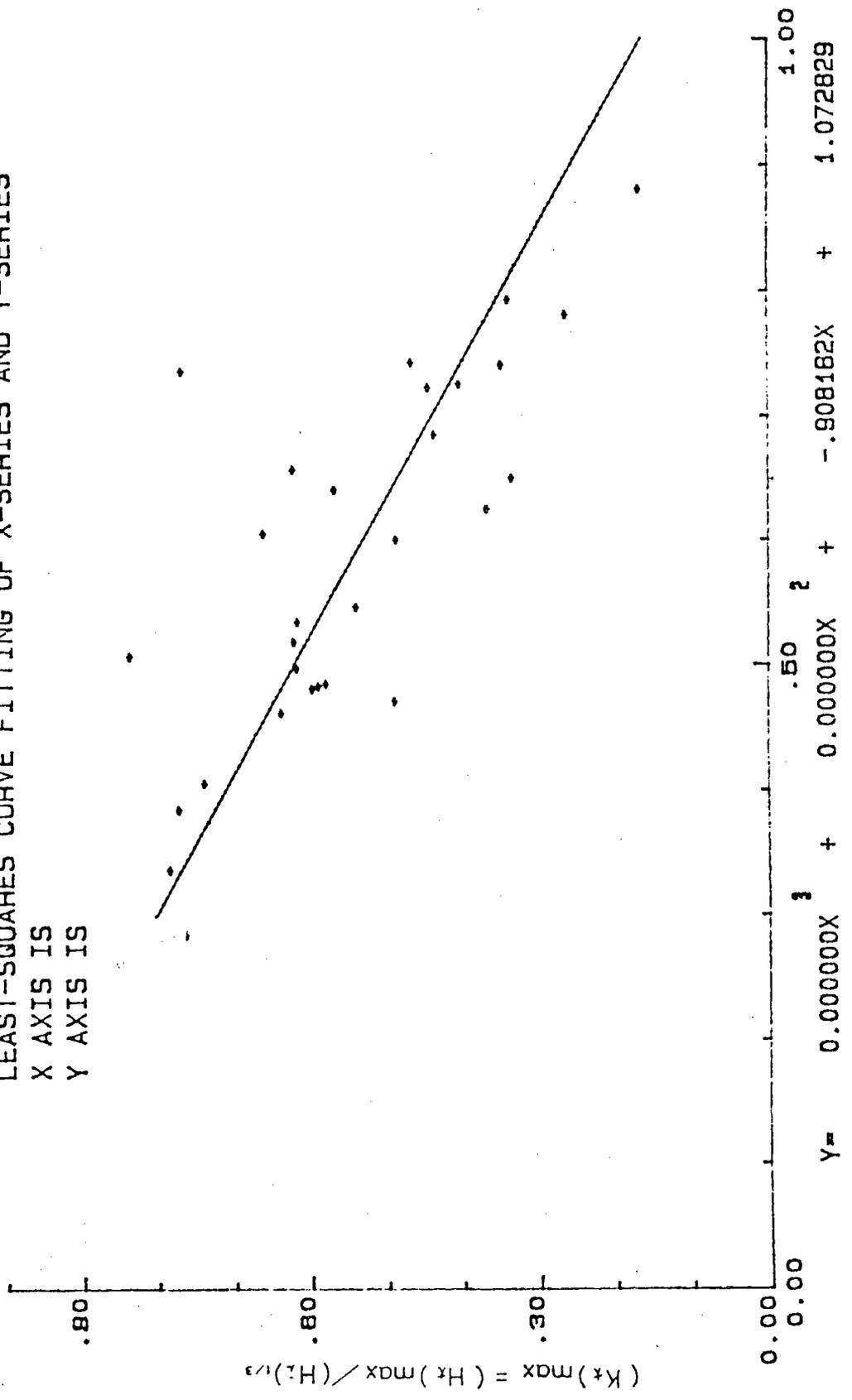


圖 4 - 5 - 4 (d) 不規則波 (K_t)_{max} ~ $\frac{H_c}{R}$ 線性關係圖

Dana point 試驗資料甚為一致。K_t與H_c/R關係之一次及二次最佳符合曲線(The best fitting curves)為：

$$K_t = 0.594 \left(1.02 - \frac{H_c}{R} \right) \quad (4-5-1)$$

$$K_t = 0.415 + 0.0415 \frac{H_c}{R} - 0.493 \left(\frac{H_c}{R} \right)^2 \quad (4-5-2)$$

二次最佳符合曲線與Cross及Solliette(1970)理論曲線非常吻合，如圖4-5-3。

不規則波試驗結果，經分析整理後如表4-5-3。入射波採用Moskowitz波譜。R'定義為實測不規則波堤頂越波最大三分之一個波高平均值。傳遞係數依各種統計波高定義為(K_t)_{max} = (H_t)_{max} / (H_i)₀ ; (K_t)_{1/10} = (H_t)_{1/10} / (H_i)₀ ; (K_t)_{1/3} = (H_t)_{1/3} / (H_i)₀ 及 (K_t)_{ave} = (H_t)_{ave} / (H_i)₀。各種統計波高傳遞係數與相對堤頂高度H_c/R之關係分別如圖4-5-4。

(K_t)_{max}及(K_t)_{1/10}與H_c/R之關係較為散亂；而(K_t)_{1/3}及(K_t)_{ave}與H_c/R成良好之線性關係。利用一次及二次方程式求得最佳符合曲線分別為：

一次線性關係式：

$$\left. \begin{aligned} (K_t)_{ave} &= 0.299 \left(1.12 - \frac{H_c}{R} \right) \\ (K_t)_{1/3} &= 0.478 \left(1.16 - \frac{H_c}{R} \right) \\ (K_t)_{1/10} &= 0.619 \left(1.20 - \frac{H_c}{R} \right) \\ (K_t)_{max} &= 0.908 \left(1.18 - \frac{H_c}{R} \right) \end{aligned} \right\} (4-5-3)$$

二次曲線關係式：

$$(K_t)_{ave} = 0.308 - 0.192 \frac{H_c}{R} - 0.0996 \left(\frac{H_c}{R} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
 (K_t)_{\frac{1}{3}} &= 0.497 - 0.248 \frac{H_c}{R} - 0.215 \left(\frac{H_c}{R} \right)^2 \\
 (K_t)_{\frac{1}{10}} &= 0.595 - 0.709 \frac{H_c}{R} - 0.484 \left(\frac{H_c}{R} \right)^2 \\
 (K_t)_{\max} &= 0.864 - 0.174 \frac{H_c}{R} - 0.613 \left(\frac{H_c}{R} \right)^2
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} (K_t)_{\frac{1}{3}} \\ (K_t)_{\frac{1}{10}} \\ (K_t)_{\max} \end{aligned}} \right\} (4 - 5 - 4)$$

爲便於作規則波與不規則波比較，分別將 K_t 與 H_c/R 一次與二次最佳符合曲線集中繪製如圖4 - 5 - 5及圖4 - 5 - 6，圖中顯示規則波試驗結果與不規則波試驗所得示性波浪較爲一致。但當 H_c/R 大於0.5時，規則波傳遞係數偏小。此乃因堤頂高度 H_c ，接近潮上時($H_c/R \rightarrow 1.0$)，規則波已無越波現象，但不規則波大於最大三分之一潮上部份仍有越波現象。

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES
 X AXIS IS
 Y AXIS IS

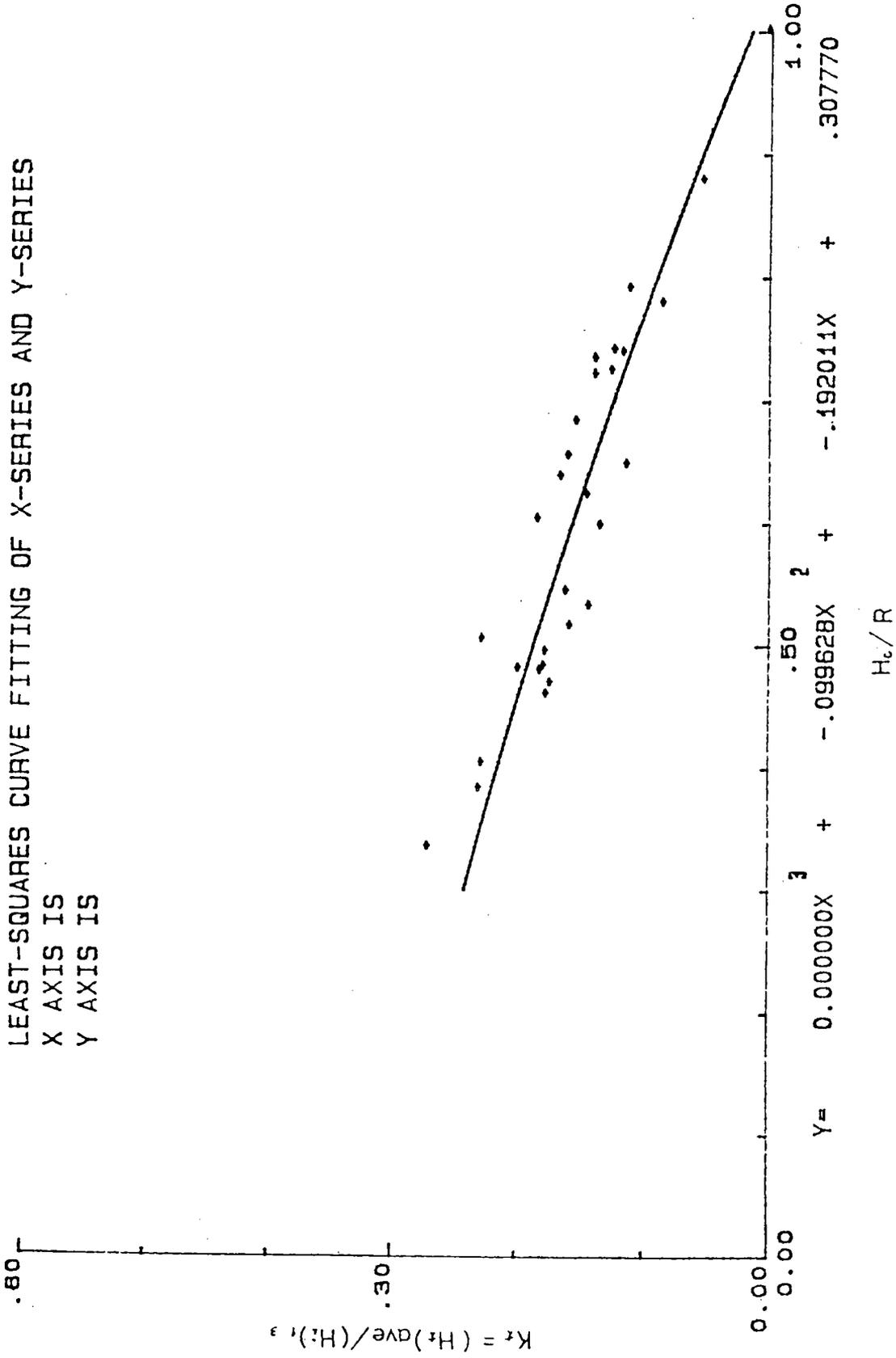


圖 4 - 5 - 5 (a) 不規則波 (K t) _{ave} ~ $\frac{H_c}{R}$ 二次曲線關係圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS
Y AXIS IS

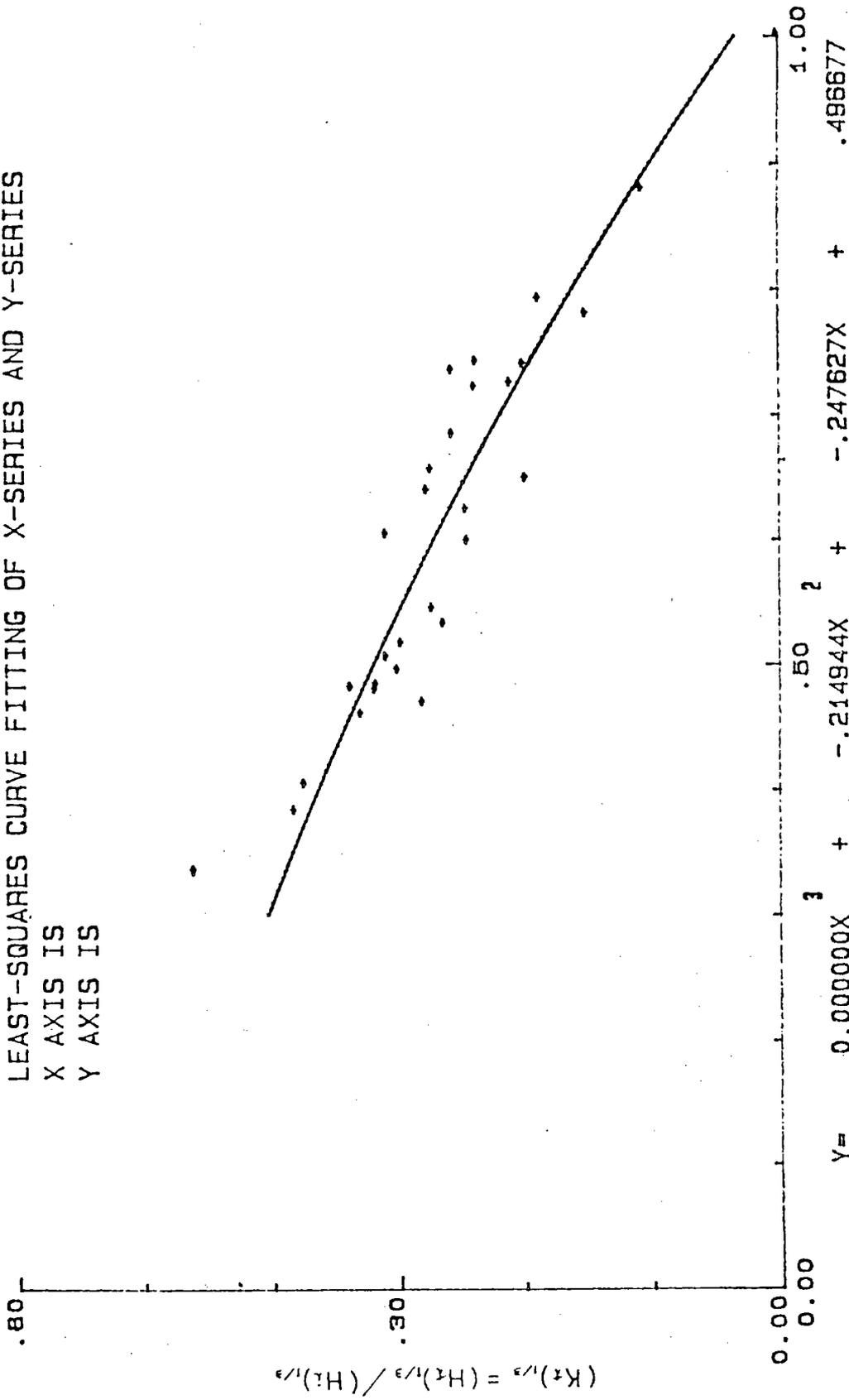


圖 4 - 5 - 5 (b) 不規則波 (K t) ₁³ ~ $\frac{H_c}{R}$ 二次曲線關係圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES
 X AXIS IS
 Y AXIS IS

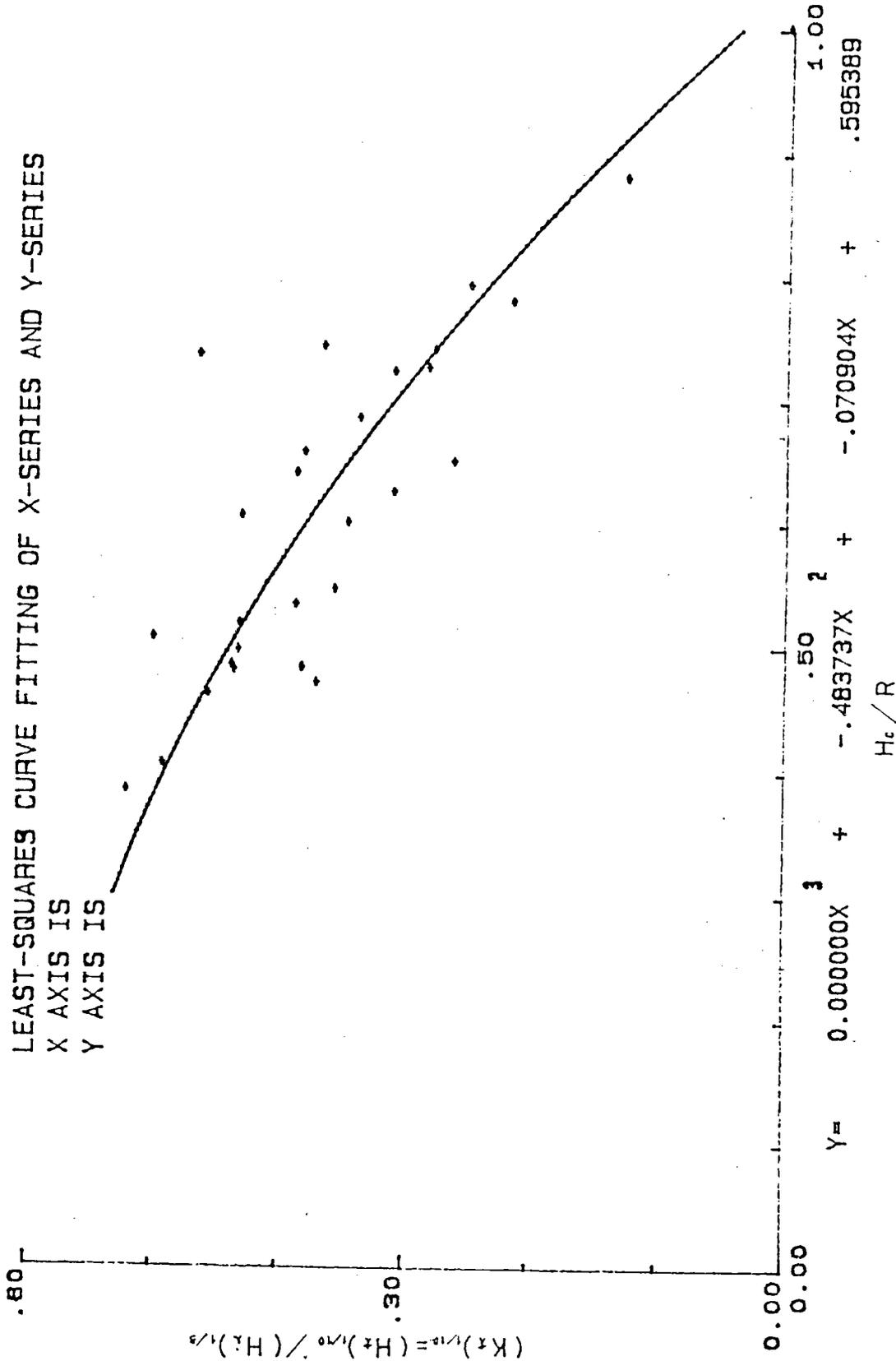


圖 4 - 5 - 5 (c) 不規則波 (K t)^{1/10} ~ $\frac{H_c}{R}$ 二次曲線關係圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS
Y AXIS IS

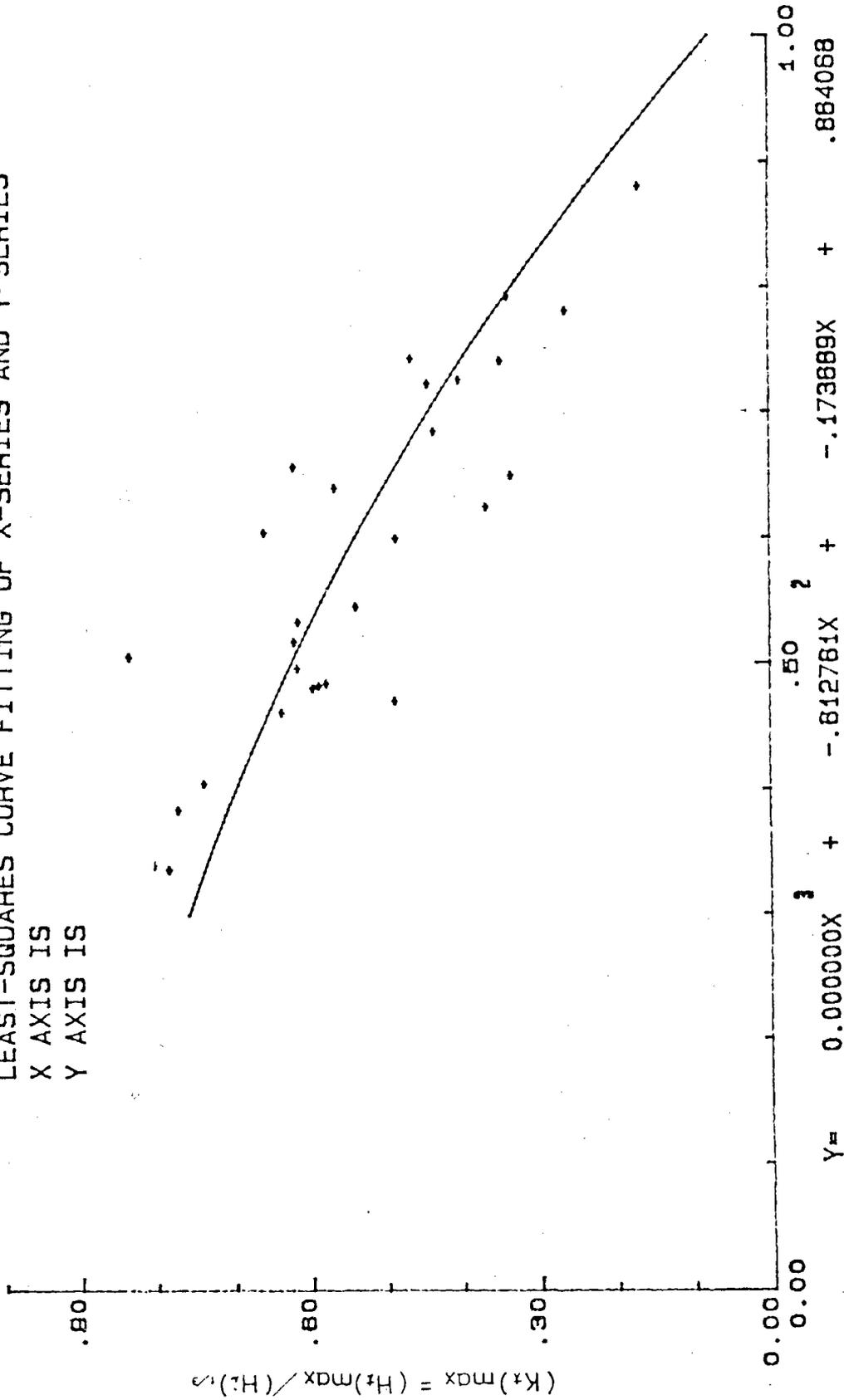


圖 4 - 5 - 5 (d) 不規則波 (K t)_{max} ~ $\frac{H_c}{R}$ 二次曲線關係圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS
Y AXIS IS

- (K_t)max ~ H_c/R
- (K_t)_{1/10} ~ H_c/R
- (K_t)_{1/3} ~ H_c/R
- (K_t)ave ~ H_c/R

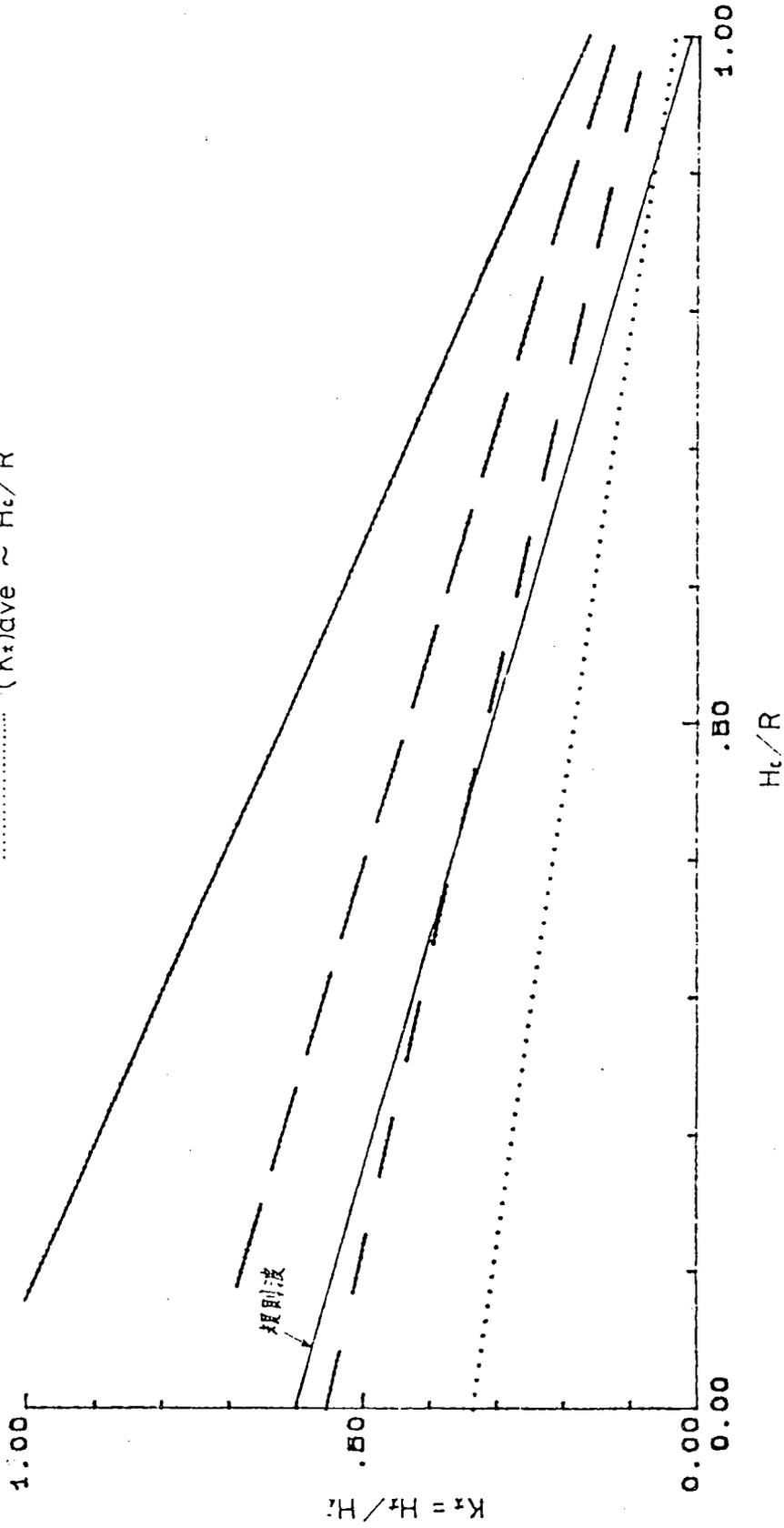


圖 4 - 5 - 6 規則波與不規則波 $K_t \sim \frac{H_c}{R}$ 線性關係比較圖

LEAST-SQUARES CURVE FITTING OF X-SERIES AND Y-SERIES

X AXIS IS :

Y AXIS IS :

- (K_t)_{max} ~ H_c/R
- (K_t)_{1/10} ~ H_c/R
- (K_t)_{1/2} ~ H_c/R
- (K_t)_{ave} ~ H_c/R

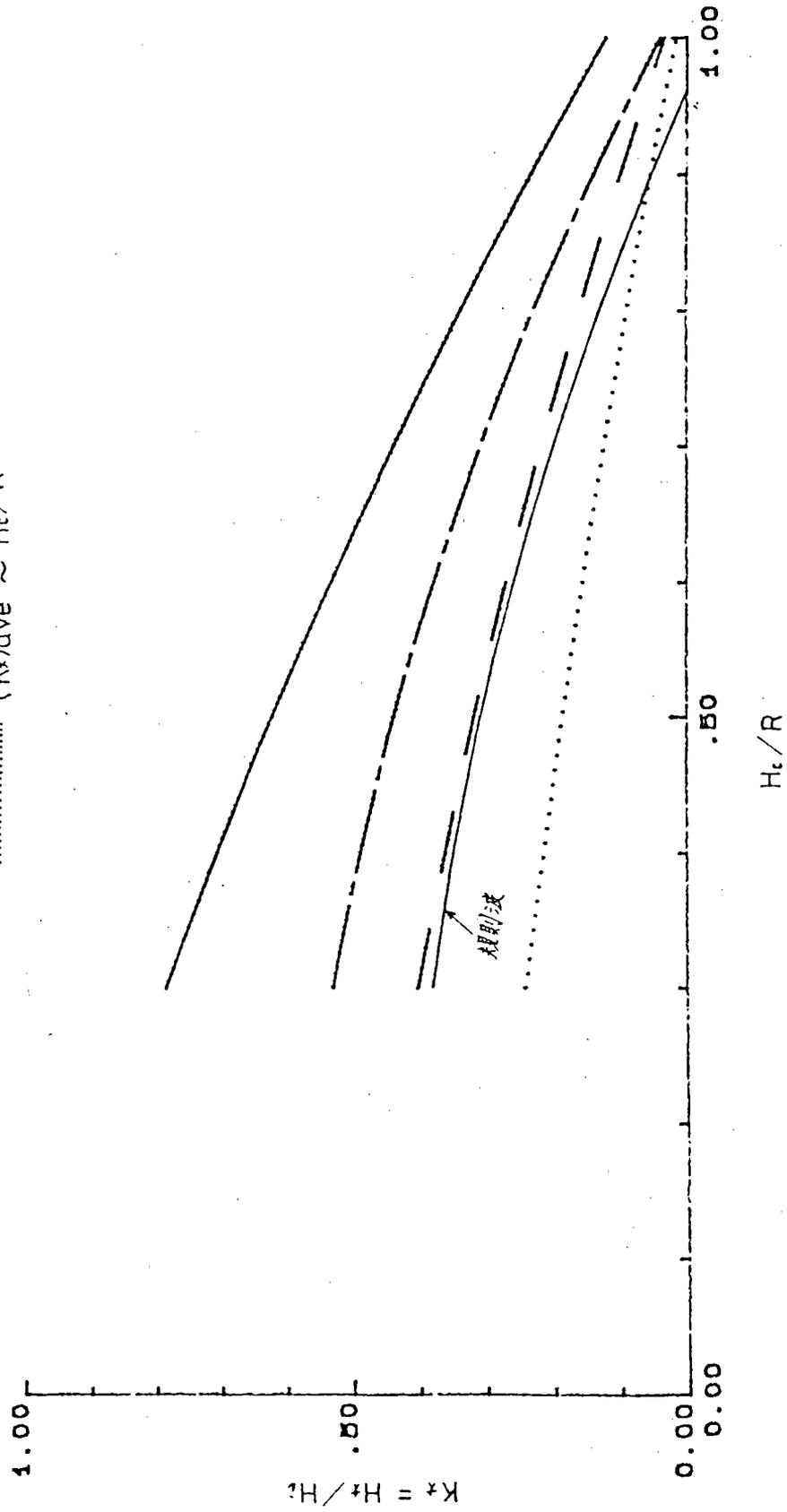


圖 4 - 5 - 7 規則波與不規則波 $K_t \sim \frac{H_c}{R}$ 二次曲線關係比較圖

2. 波浪溯上 (Wave run-up)

試驗所採用之入射波與前述傳遞波相同，先率定不規則波入射波條件；分析率定入射波，求得示性波高與週期。規則波則係根據不規則波示性波浪調整週期與振幅，以便於比較。

圖 4 - 5 - 8 顯示，當防波堤胸牆較低時，($H_c < H_i$) 規則波所造成之相對溯上 (Relative run-up) R/H ，較不規則波偏高約 5%，但相對溯上隨波浪尖度增加而減小之趨勢極為一致。當防波堤胸牆增高至與入射波高相近時 ($H_c \doteq H_i$) 則不規則波所造成之相對溯上而反較規則波大約 10%。 R/H 與 H/L 之關係仍甚一致，如圖 4 - 5 - 9。防波堤胸牆高度大於入射波高時，不規則波所造成之溯上，更顯著的超過規則波。相對溯上隨 H/L 增加而減小幅度更大，如圖 4 - 5 - 10。三種胸牆高度 R/H 與 H/L 關係比較如圖 4 - 5 - 11。

比較圖 4 - 5 - 6 與圖 4 - 5 - 11，顯示相對溯上與波浪傳遞有極密切不可分之關係。當胸牆較低時，規則波相對溯上較不規則波大，因之傳遞係數亦較高。而隨著胸牆增高，規則波溯上較不規則波小時，在此情況下，規則波傳遞係數亦較不規則波偏低。

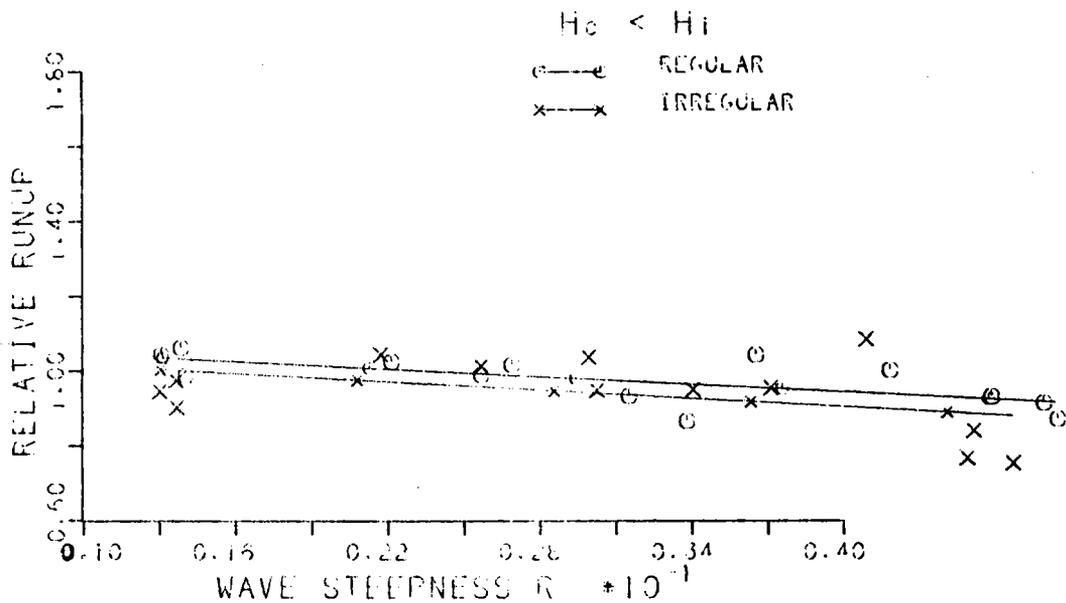


圖 4 - 5 - 8(a) R/H 與 H/L 關係 ($H_c < H_i$)

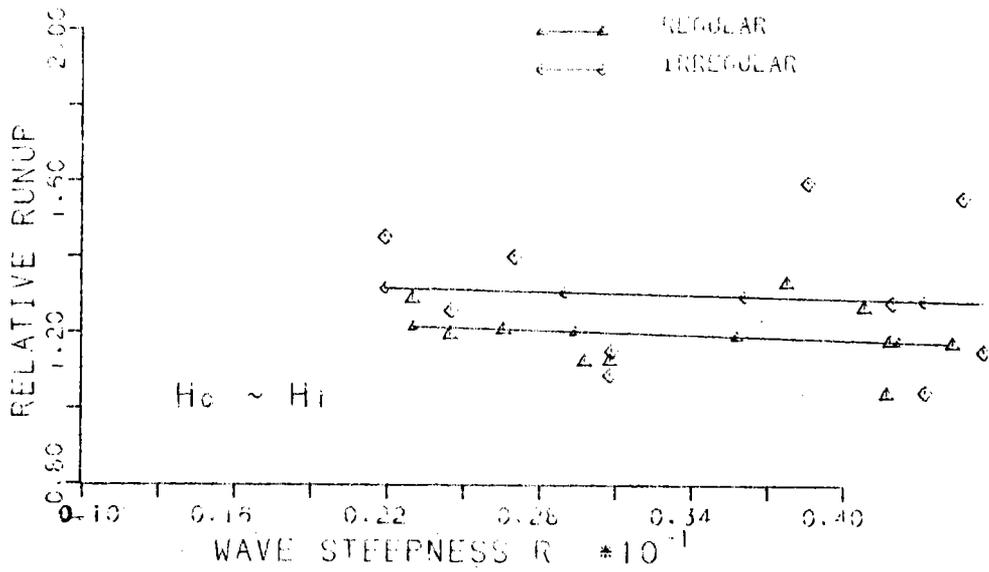


圖 4 - 5 - 8 (b) R/H 與 H/L 關係 ($H_c \approx H_i$)

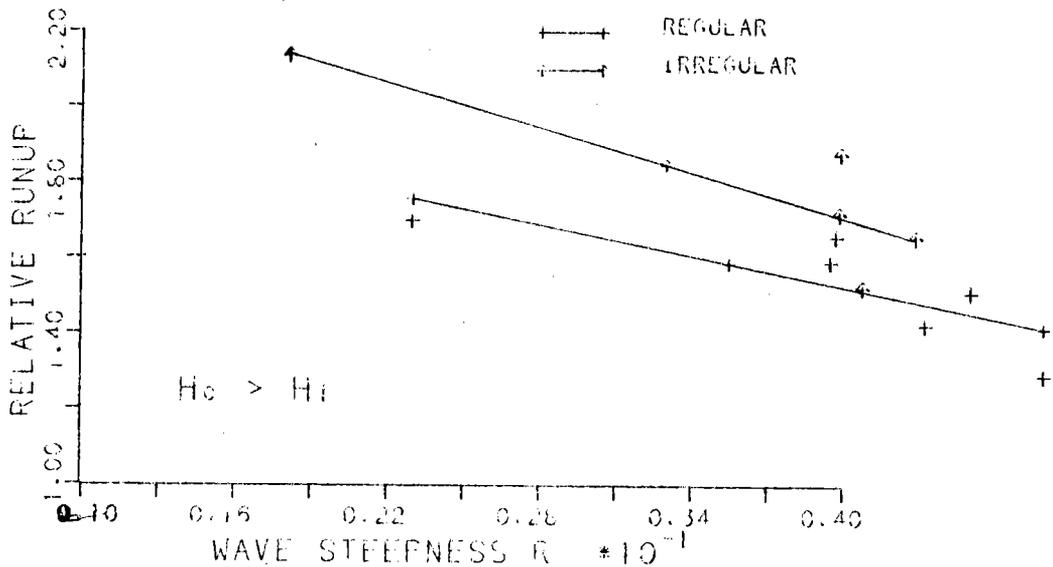


圖 4 - 5 - 8 (c) R/H 與 H/L 關係 ($H_c < H_i$)

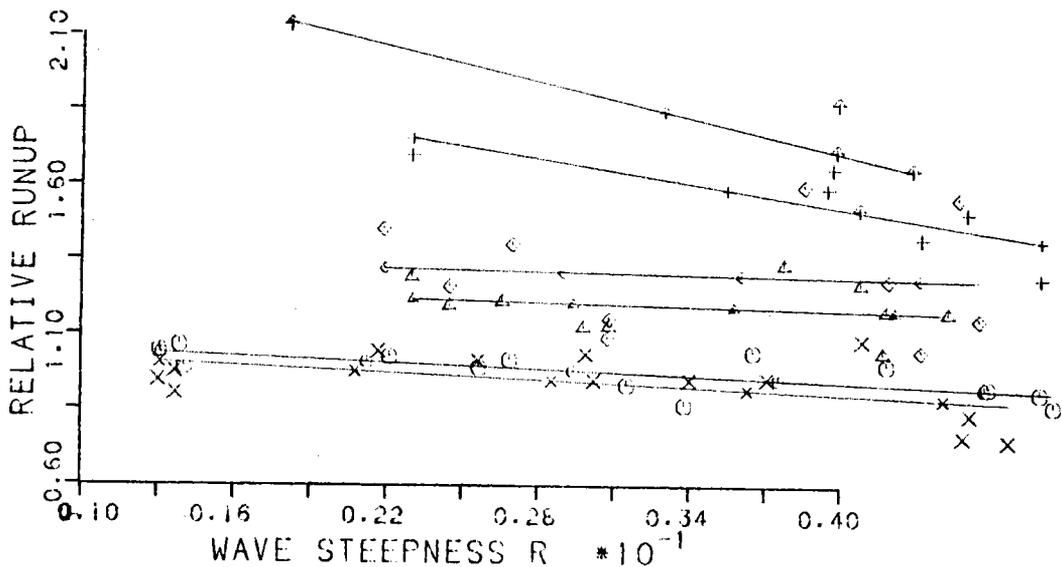


圖 4 - 5 - 9 R/H 與 H/L 關係比較

六、結 論

(一)規則波試驗結果 K_t 與 H_c/R 一次與二次最佳符合方程式分別爲：

$$K_t = 0.594 (1.02 - H_c/R)$$

$$K_t = 0.415 + 0.0415 H_c/R - 0.493 (H_c/R)^2$$

二次曲線與Cross & Sollitt 理論值非常吻合。

(二)不規則波 $(K_t)_{1/3}$ 及 $(K_t)_{av}$ 與 H_c/R 成較理想之線性與二次曲線關係。 $(K_t)_{1/3}$ 與 H_c/R 一次與二次關係方程式分別爲：

$$(K_t)_{1/3} = 0.478 (1.16 - H_c/R)$$

$$(K_t)_{1/3} = 0.497 - 0.248 H_c/R - 0.215 (H_c/R)^2$$

(三)試驗資料顯示採用規則波 K_t 與 H_c/R 之關係跟不規則波 $(K_t)_{1/3}$ 與 H_c/R 關係較爲接近。換言之，規則波試驗結果大致能代表不規則波示性波浪。但由線性關係可清楚顯示，較低之胸牆 $(H_c/R$ 較小)規則波試驗 K_t 值大於不規則波試驗 $(K_t)_{1/3}$ 。而當胸牆增高至 H_c/R 大於0.5時，規則波傳遞係數 K_t 值反而偏小。此乃因胸牆接近溯上時 $(H_c/R \rightarrow 1.0)$ 規則波已無越波現象，而不規則波中大於示性波高部份，仍有越波情形。

(四)胸牆較低時規則波相對溯上，較不規則波示性波浪大，相反的胸牆較高時，不規則示性波浪所造成之相對溯上較規則波高。防波堤相對溯上現象與傳遞波關係極爲密切。胸牆較低，規則波相對溯上較不規則波示性波浪高時，其傳遞係數亦偏高，而當胸牆增高，規則波相對溯上較不規則波爲低，此時，傳遞係數亦隨之減小。

第五章 鋼性浮式防波堤傳遞波

一、概述

傳統式防波堤，都依賴堤身自重以阻擋外來波力，並使入射波反射或碎波以達成消殺波能之功效，而達成港池內隱靜之目的。此種防波堤雖可獲得良好之遮蔽效果，但隨港灣規模的擴大，深水港興建勢在必行，傳統性防波堤斷面因水深而倍比增加，防波堤工程費也成比例增加。

就波浪動力而言，波浪能量集中於靜水位附近，較大之相對水深更是如此。故就防波堤遮蔽而言，如能消滅水面附近大部份能量，則可以有效達成港池遮蔽效果，將是最具經濟效益之防波堤型式。本研究旨在就理論與試驗兩方面探討鋼性浮式防波堤之遮蔽效果。

二、往昔之研究

Dean (1945) 曾作底床附近薄板阻礙物對傳遞波研究。Ursell (1947) 曾以推導浮式防波堤理論。Takano (1960) 曾就寬薄板作近似解。Wiegel (1960) 曾以能量傳遞法解析浮式防波堤，並作試驗比較。郭等 (1973) 假定勢能函數 (Potential function)，求滿足能量及流速連續條件之近似解，進而導出入射波，反射波及傳遞波之關係，並利用試驗印證其信賴性。Ijima, Chou 及 Yoshida (1976)，Finigan 及 Yamamoto (1979) 曾分別利用 Green 函數邊界值求得此問題之理論解。

三、理論分析

設能量傳遞坐標系統如圖 5 - 3 - 1，平均水位為 X 軸，垂直水面為 Z 軸，向上為正。根據能量守恒原理，正弦波入射波高 H_i 到達 I 區浮式防波堤時，部份能量反射，其餘則穿透防波堤遞傳至堤後方。反射能量為水面至浮體浸水深 qd 。忽略波浪作用於堤面時能量損失。則流場中水面

η_s 。至水深 z 之週期平均波能 $P_{\eta_s, z}$ 為

$$P_{\eta_s, z} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_z^{\eta_s} p u dz dt \quad (5-3-1)$$

上式中 p 為流場中壓力， u 為流體水粒子平均流速。當 $z = -qd$ 時反射波能為 $P_{\eta_s, -qd}$ ， $z = -d$ 時，反射波能為 $P_{\eta_s, -d}$ ，故 $P_{-qd, -d} = P_{\eta_s, -d} - P_{\eta_s, -qd}$ 為自防波堤下方透過堤後（II 區）之能量。 q 為浮式防波堤身吃水深度 Y 與水深 d 之比， $q = Y/d$ 。

設入射波為微小振幅波，則其流速勢能函數（Velocity potential function） ϕ ，水粒子水平速度 u 及流場中壓力 p 分別為

$$\phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \sin(kx + \omega t) \quad (5-3-2)$$

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{agk}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos(kx + \omega t) \quad (5-3-3)$$

$$p = \rho g z + \rho g a \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos(kx + \omega t) \quad (5-3-4)$$

上式中 a 為波浪振幅， $k = \frac{2\pi}{L}$ ， $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ， g 為重力加速度， T 為週期， L 為波長。

將上三式代入（5-3-1）式得

$$P_{\eta_s, z} = \frac{\rho g^2 a k}{T \omega \cosh^2 kd} \left\{ \int_0^T \int_z^{\eta_s} \cosh^2 [k(z+d)] \cos^2 (kx + \omega t) dz dt - \frac{\cosh kd}{a} \int_0^T \int_z^{\eta_s} z \cosh [k(z+d)] \cos (kx + \omega t) dz dt \right\} \quad (5-3-5)$$

積分得

$$P_{\eta_s, z} = \frac{1}{2} \rho g a^2 c \cdot \frac{1}{2} \left\{ -\frac{2kz}{\sinh 2kd} - \frac{\sinh 2k(z+d)}{\sinh 2kd} + 1 \right\} \quad (5-3-6)$$

當 $z = -qd$ 時

$$P_{\eta_s, -qd} = \frac{1}{2} \rho g a^2 c \cdot \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{\frac{4\pi qd}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} - \frac{\sin\left\{\frac{4\pi(d-qd)}{L}\right\}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right\} \quad (5-3-7)$$

當 $z = -d$ 時

$$P_{\eta_s, -d} = \frac{1}{2} \rho g a^2 c \cdot \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right\} \quad (5-3-8)$$

波浪由 I 區入射經過浮式防波堤下方空間進入第 II 區之能量 P_{II} 為

$$\begin{aligned} P_{II} &= P_{\eta_s, -d} - P_{\eta_s, -qd} \\ &= \frac{1}{2} \rho g a^2 c \cdot \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi(d-qd)/L}{\sinh(4\pi d/L)} + \frac{\sinh\{4\pi(d-qd)/L\}}{\sinh(4\pi d/L)} \right\} \end{aligned} \quad (5-3-9)$$

入射及傳遞波浪能量比為

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{P_{II}}{P_I} \\ &= \frac{\frac{4\pi(d-qd)/L}{\sinh(4\pi d/L)} + \frac{\sinh\{4\pi(d-qd)/L\}}{\sinh(4\pi d/L)}}{1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)}} \end{aligned} \quad (5-3-10)$$

波浪傳遞係數 k_t 為

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \left(\frac{P_{II}}{P_I} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-3-11)$$

四、試驗條件

本試驗在本所風洞水槽辦理，試驗設備與第四章波浪湖上與傳遞波相同。謹將試驗條件敘述如下。

(一) 試驗波浪

試驗波浪採用規則與不規則波。先利用 Jonswap 波譜作為輸入條件

，計算不規則波造波機控制器輸入參數，率定各種不同之相對水深 d/L ，入射波浪條件。為便於比較規則波與不規則波所造成之差異，規則波試驗條件則根據不規則波率定所得示性波浪加以調整製造。近似之波高與週期。試驗波浪條件如表 5 - 4 - 1。

表 5 - 4 - 1 試驗波浪條件

RUN	規 則 波			不 規 則 波		
	週 期	波 高	波浪成熟時間	週期 $\frac{1}{3}$	波高 $\frac{1}{3}$	波浪成熟時間
R 1	0.87	6.00	85"	0.89	5.50	112"
R 2	1.03	6.24	80"	1.02	5.58	105"
R 3	1.02	12.40	80"	1.06	9.12	100"
R 4	1.24	6.19	63"	1.23	6.09	80"
R 5	1.24	12.36	62"	1.23	12.29	75"
R 6	1.47	6.38	60"	1.48	6.26	90"
R 7	1.48	12.81	60"	1.44	12.84	70"
R 8	1.93	6.63	45"	1.85	5.95	90"
R 9	1.93	11.75	47"	1.97	11.68	90"

(二)試驗水深

試驗所採用之相對水深 d/L ，分別採用 0.2，0.3，0.4，0.6 及 0.8 五種。

(三)試驗鋼性浮式防波堤寬度

浮式防波堤相對寬度 B/L ，分別為極薄，0.4，0.8 及 1.2 四種。

(四)鋼性浮式防波堤，吃水深度比 $q = y/d$ ，採用 0.1，0.3，0.5 及 0.7 四種。

五、試驗量測與結果

防波堤未佈置前，先率定試驗波浪，測量波浪到達堤前成熟時間，再將防波堤佈置於距造波機約 50 m 處。堤後一個及二個波長處各置波高計

乙支，試驗時同時量取入射波與堤後兩測點之傳遞波。

改變浮式防波堤浸水深度 q ，相對水深 d/L ，相對寬度 B/L 等，重複上述試驗步驟。規則波與不規則波試驗結果，經分析整理後如表 5 - 5 - 1 及 5 - 5 - 2。

(一) 試驗結果與理論值比較

理論公式 (5 - 3 - 11) 係假設入射波浪為規則波，鋼性浮式防波堤之相對寬度 $B/L \approx 0$ ，忽略波浪作用於堤身所造成之能量損耗，利用能量守恒原則加以推導波浪傳遞係數 $K_t = H_t/H_i$ ，為相對水深 d/L 及浮堤吃水深度比 q 之函數。理論值與試驗結果比較如圖 5 - 5 - 1。圖中顯示理論值較試驗結果偏大，但趨勢一致，造成此種差異主要是因為理論推導時忽略入射波通過浮式堤防能量損耗。試驗證明，入射波浪在浮堤底部產生渦流，相對水深越大，浮堤吃水深度比越小時，此種現象越顯著。因渦流消滅部份入射波能，使試驗所得 K_t 值較理論計算結果偏低。

(二) 規則波與不規則波比較

五種不等之相對水深 d/L ，四種不同的浮堤吃水深度比 q ，規則波與不規則波試驗結果比較如圖 5 - 5 - 2。不規則波試驗結果，傳遞波係數較規則波所得結果偏大。尤其是當相對水深較小時更形顯著，但受 d/L ， q 及 B/L 等參數影響其趨勢甚為一致。

浮堤相對寬度 B/L 由極薄增為 $B/L=0.4$ 時，浮堤對入射波浪產生很大之阻擋作用，波浪傳遞係數顯著降低。 B/L 再增加對減低傳遞係數效果趨於平緩。尤其是 d/L 較大時，波浪運動能量集中於水面，此時，浮堤效果越佳。而當 d/L 減至 0.2 時，因水底部份水分子活動已極活躍，改變浮堤相對寬度，增加吃水深度比等對入射波阻尼效果並不顯著。

規則波與不規則波通過浮式防波堤傳遞係數受不同之浮堤吃水深度比 q 之影響如圖 5 - 5 - 3。圖中顯示規則波與不規則波作用於浮式防波堤後，波浪傳遞係數有相同之趨勢。不規則波試驗時 K_t 值較規則波偏大，在較小之相對水深時此種差異更為顯著。

波浪傳遞係數 K_t ，隨 d/L ， B/L 及 q 增加而減小。 d/L 大於 0.4 時 ($d/L=0.8, 0.6$ 及 0.4)，除 $B/L \approx 0$ 外，浮堤吃水深度比甚小 ($q=0.1$ 時)，即能有效抑制入射波能。當 $B/L \geq 0.4$ ，

$q \geq 0.3$ ， $d/L \geq 0.3$ 時，不論採用規則波或不規則波試驗，波浪傳遞係數均在 0.3 以下。

(三)不規則波波譜分析

試驗結果顯示，入射波能量作用於浮堤後，所產生之傳遞波能量隨浮堤吃水深度比增加而減小。鋼性薄型 ($B/L \approx 0$) 浮式防波堤建築於深水區時，亦即相對水深 d/L 較大時 ($d/L = 0.8, 0.6$ 及 0.4)，因深水波能量集中於水面附近，當浮堤吃水深度比 q 值增為 0.3 時，入射波能量受浮堤干擾後，堤後波能急劇降低，波浪尖峯週期亦有減小之趨勢，如圖 5-5-4 ~ 5-5-6。當 q 值繼續增加，抑制波浪能量之功效漸趨緩和。由此可知深水浮式防波性最佳吃水深度比為 0.3 左右。浮式防波堤設於較小之相對水深時 ($d/L \leq 0.3$) 各種不同的浮堤吃水深度比 q 值，入射波能與堤後傳遞波能譜如圖 5-5-7 及 5-5-8。堤後能量仍隨 q 值增大而減小。相對水深 d/L 減小時， q 值增加對堤後波浪能量抑制現象較不顯著。此處試驗結果顯示浮式防波堤對較大之波浪尖度具有較理想之阻尼作用。

傳遞波能譜受鋼性浮式防波堤相對寬度 B/L 之影響如圖 5-5-9 至 5-5-28。當浮堤吃水深度比 $q = 0.1$ 時，如圖 5-5-9 至圖 5-5-13，當 $B/L = 0.4$ ，對於較大之相對水深 ($d/L \geq 0.3$)，對入射波能有顯著之抑制作用。而 B/L 大於 0.4，雖堤後波浪能譜，仍隨 B/L 增加而減小，但變化已趨緩和。相對水深 d/L 減至 0.2 時， B/L 增加對減低尖峯波能效果不理想。

浮堤吃水深度比 $q = 0.3$ 時，在相對水深較大情況 ($d/L = 0.8, 0.6$ 及 0.4)，如圖 5-5-14 至圖 5-5-16，則浮堤寬度甚薄 ($B/L \approx 0$) 亦能有效發揮阻波作用。當 d/L 減為 0.3 時，則 B/L 需增為 0.4 方能有阻波效能，如圖 5-5-17。當 d/L 再減為 0.2 時， B/L 增減對堤後波能已不再發揮減低功用，如圖 5-5-18。浮式堤吃水深度超過水深一半以上時，($q \geq 0.5$) 則入射波浪經過浮堤阻尼作用後，不論 B/L 及 d/L 的大小均能有效減小傳遞波能。其減低波能程度隨 d/L 及 B/L 增加而比例增加，如圖 5-5-19 至圖 5-5-28。

表 5 - 5 - 1 規則波試驗結果

CASE		B/L=Thin	B/L=0.4	B/L=0.8	B/L=1.2	q = Y/D 值
RUN 1 d/L=0.8	No. 1	0.484	0.105	0.031	0.017	0.1
	2	0.034	0.011	0.009	0.008	0.3
	3	0.019	0.0095	0.006	0.005	0.5
	4	0.018	0.0061	0.004	0.004	0.7
RUN 2 d/L=0.6	No. 1	0.537	0.187	0.081	0.050	0.1
	2	0.126	0.032	0.00979	0.0087	0.3
	3	0.025	0.011	0.0071	0.006	0.5
	4	0.019	0.0044	0.0054	0.0047	0.7
RUN 3 d/L=0.6	No. 1	0.533	0.146	0.080	0.06	0.1
	2	0.113	0.027	0.010	0.011	0.3
	3	0.028	0.0124	0.0081	0.0057	0.5
	4	0.020	0.0084	0.0058	0.0046	0.7
RUN 4 d/L=0.4	No. 1	0.670	0.230	0.217	0.182	0.1
	2	0.353	0.080	0.065	0.059	0.3
	3	0.102	0.0200	0.023	0.010	0.5
	4	0.017	0.0066	0.0061	0.0054	0.7
RUN 5 d/L=0.4	No. 1	0.663	0.225	0.205	0.167	0.1
	2	0.348	0.078	0.065	0.070	0.3
	3	0.102	0.022	0.021	0.015	0.5
	4	0.017	0.0097	0.0064	0.0058	0.7
RUN 6 d/L=0.3	No. 1	0.790	0.373	0.293	0.196	0.1
	2	0.556	0.235	0.175	0.135	0.3
	3	0.268	0.076	0.040	0.020	0.5
	4	0.077	0.0414	0.013	0.013	0.7
RUN 7 d/L=0.3	No. 1	0.750	0.410	0.344	0.227	0.1
	2	0.522	0.257	0.217	0.162	0.3
	3	0.265	0.082	0.048	0.024	0.5
	4	0.111	0.0318	0.015	0.010	0.7
RUN 8 d/L=0.2	No. 1	0.842	0.509	0.477	0.438	0.1
	2	0.669	0.377	0.257	0.184	0.3
	3	0.399	0.201	0.149	0.127	0.5
	4	0.283	0.123	0.051	0.030	0.7
RUN 9 d/L=0.2	No. 1	0.859	0.518	0.492	0.370	0.1
	2	0.679	0.394	0.240	0.209	0.3
	3	0.411	0.221	0.160	0.143	0.5
	4	0.288	0.127	0.076	0.030	0.7

表 5 - 5 - 2 不規則波試驗結果

		B/L=Thin	B/L=0.8	B/L=0.8	B/L=1.2	q = Y/D 值
RUN 1 d/L=0.8	No. 1	0.638	0.176	0.113	0.097	0.1
	2	0.142	0.095	0.051	0.043	0.3
	3	0.078	0.043	0.037	0.027	0.5
	4	0.042	0.035	0.030	0.027	0.7
RUN 2 d/L=0.6	No. 1	0.676	0.215	0.154	0.104	0.1
	2	0.196	0.110	0.061	0.056	0.3
	3	0.089	0.045	0.038	0.035	0.5
	4	0.049	0.036	0.031	0.030	0.7
RUN 3 d/L=0.6	No. 1	0.670	0.248	0.161	0.123	0.1
	2	0.199	0.106	0.082	0.057	0.3
	3	0.089	0.044	0.039	0.032	0.5
	4	0.042	0.037	0.031	0.032	0.7
RUN 4 d/L=0.4	No. 1	0.761	0.257	0.231	0.207	0.1
	2	0.466	0.180	0.100	0.094	0.3
	3	0.110	0.046	0.042	0.039	0.5
	4	0.054	0.040	0.036	0.034	0.7
RUN 5 d/L=0.4	No. 1	0.769	0.277	0.262	0.225	0.1
	2	0.482	0.205	0.126	0.096	0.3
	3	0.113	0.063	0.046	0.040	0.5
	4	0.051	0.045	0.034	0.032	0.7
RUN 6 d/L=0.3	No. 1	0.887	0.435	0.386	0.275	0.1
	2	0.642	0.278	0.230	0.181	0.3
	3	0.333	0.167	0.117	0.079	0.5
	4	0.186	0.102	0.09	0.04	0.7
RUN 7 d/L=0.3	No. 1	0.869	0.447	0.419	0.333	0.1
	2	0.649	0.287	0.249	0.190	0.3
	3	0.335	0.170	0.136	0.089	0.5
	4	0.187	0.140	0.102	0.05	0.7
RUN 8 d/L=0.2	No. 1	0.922	0.673	0.633	0.539	0.1
	2	0.850	0.526	0.491	0.420	0.3
	3	0.689	0.363	0.360	0.289	0.5
	4	0.430	0.349	0.306	0.282	0.7
RUN 9 d/L=0.2	No. 1	0.911	0.686	0.622	0.549	0.1
	2	0.834	0.528	0.488	0.446	0.3
	3	0.672	0.417	0.360	0.322	0.5
	4	0.420	0.382	0.347	0.275	0.7

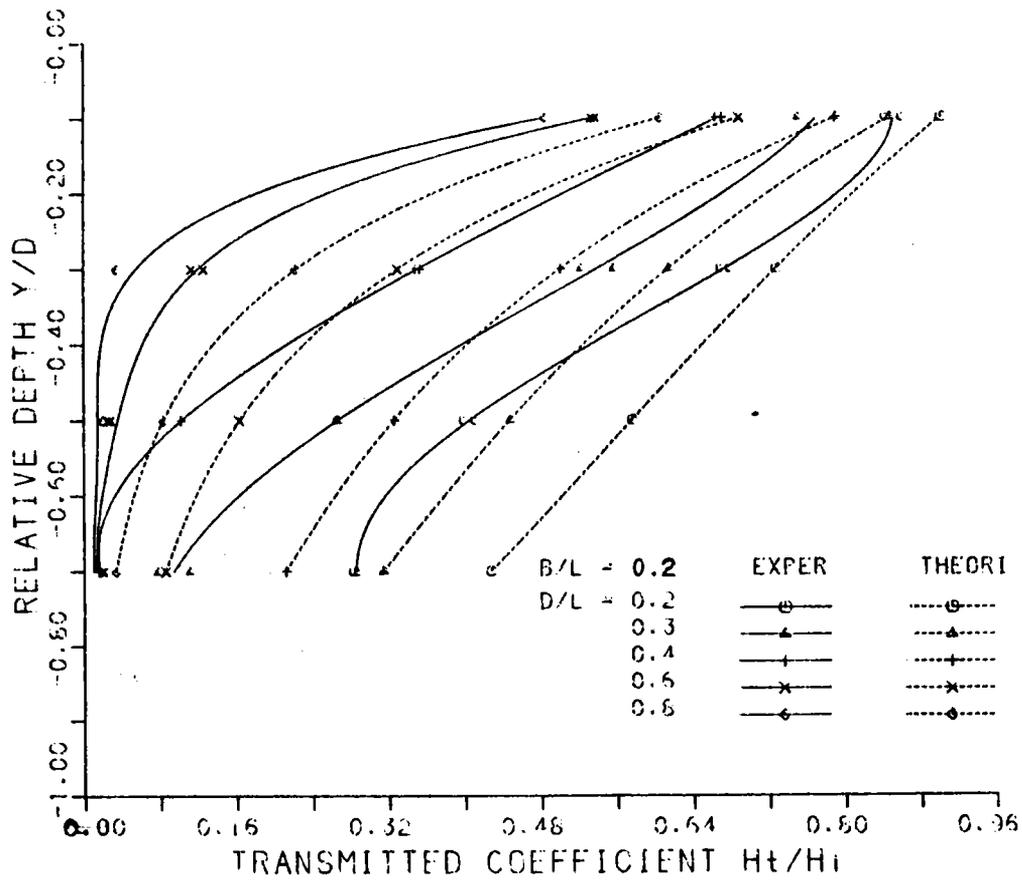


圖 5 - 5 - 1 試驗結果與理論值比較

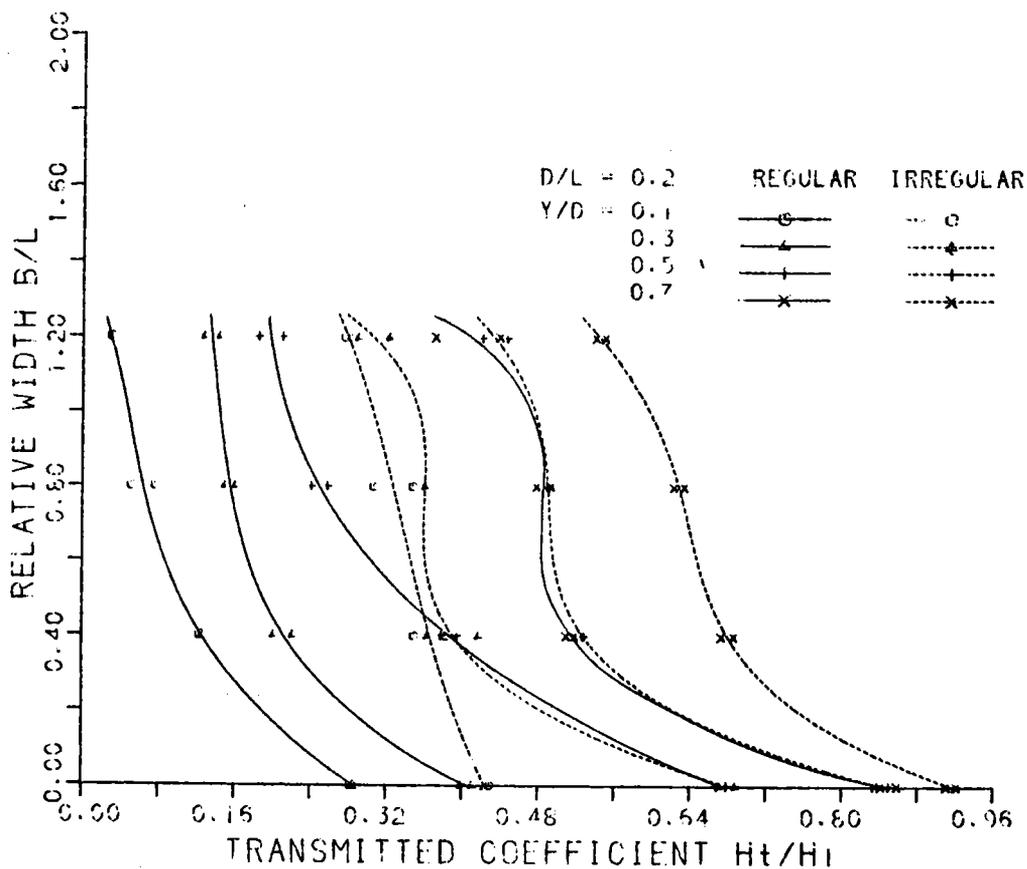


圖 5 - 5 - 2 (a) H_t/H_i 與 B/L 關係受 y/d 影響 ($d/L=0.2$)

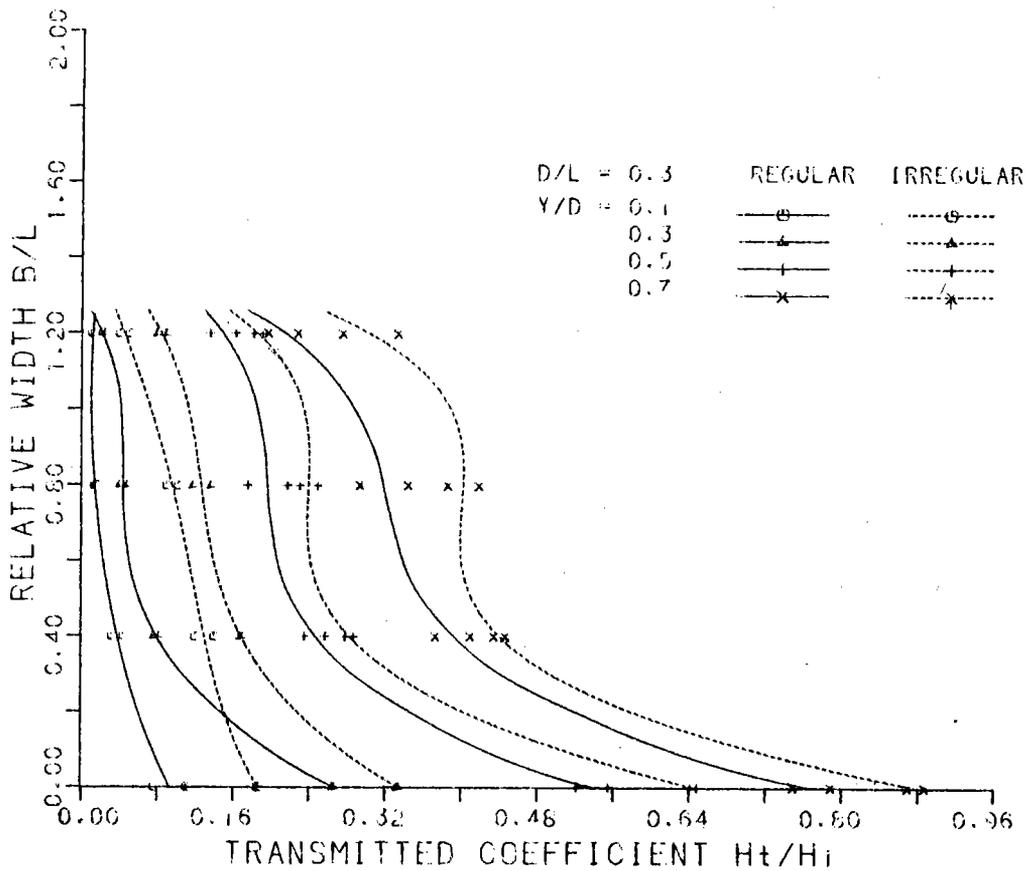


圖 5 - 5 - 2 (b) H_t/H_i 與 B/L 關係受 y/d 影響 ($d/L=0.3$)

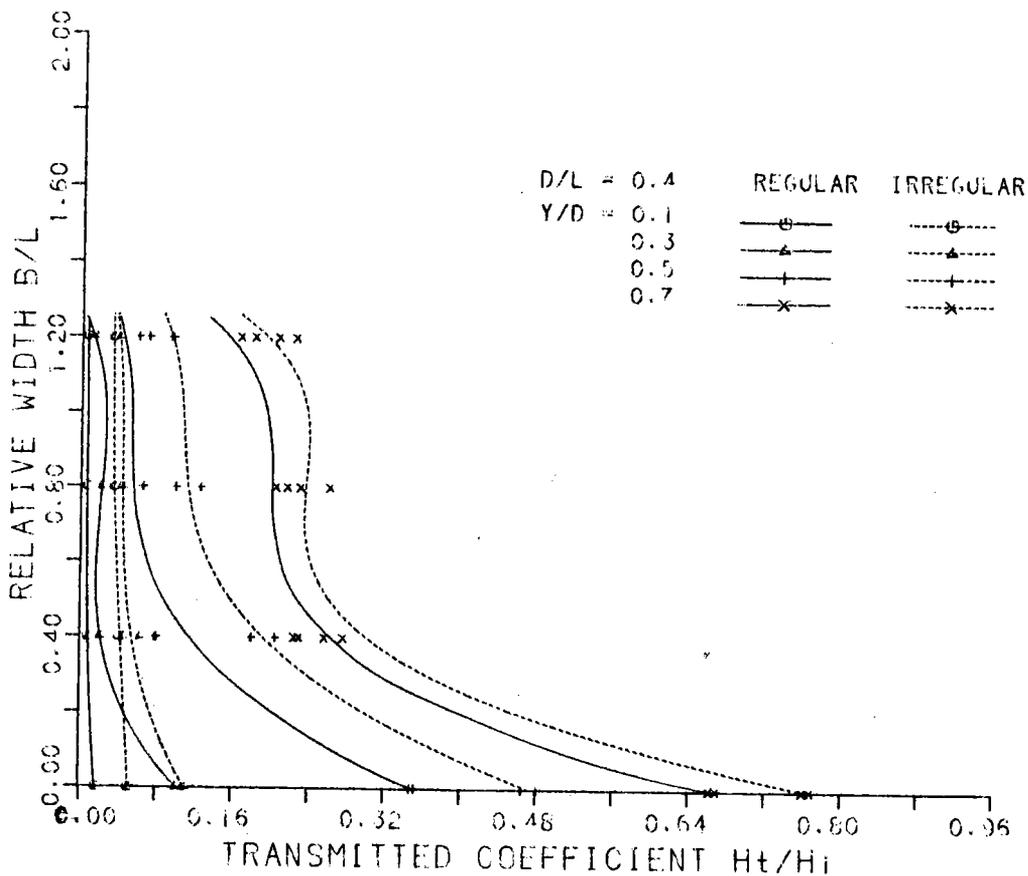


圖 5 - 5 - 3 (c) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{B}{L}$ 關係受 $\frac{y}{d}$ 影響 ($\frac{d}{L} = 0.4$)

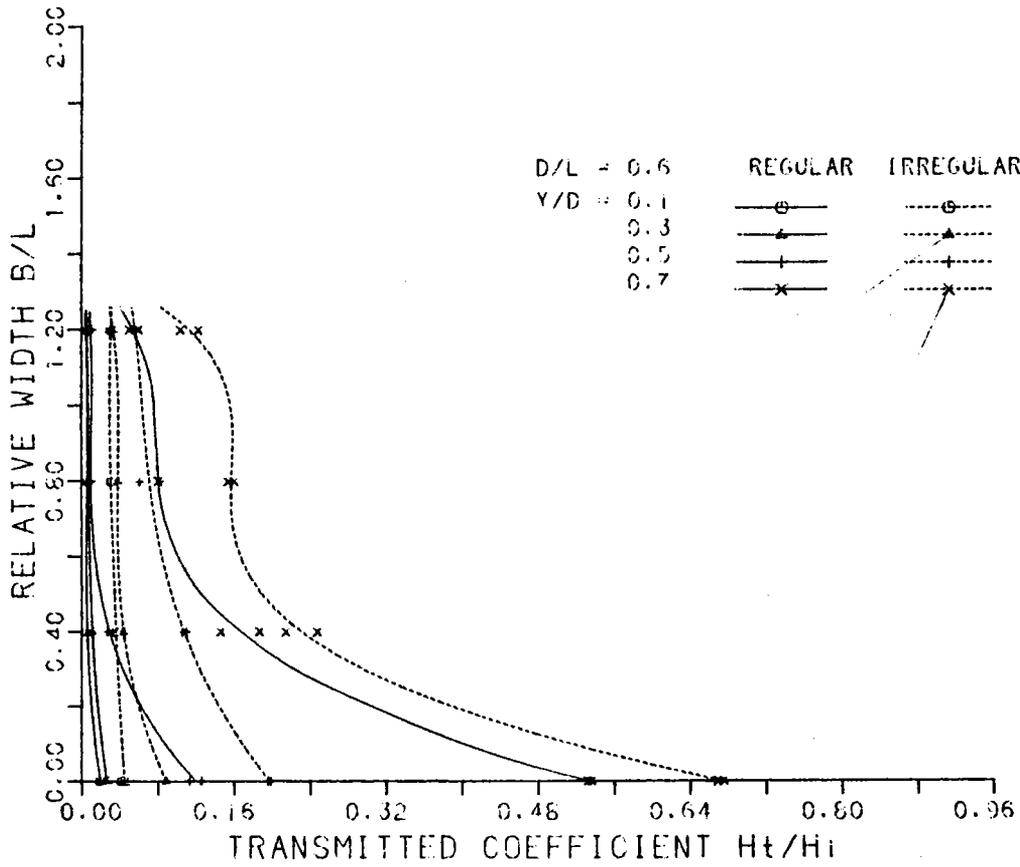


圖 5 - 5 - 2 (d) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{B}{L}$ 關係受 $\frac{y}{d}$ 影響 ($\frac{d}{L} = 0.6$)

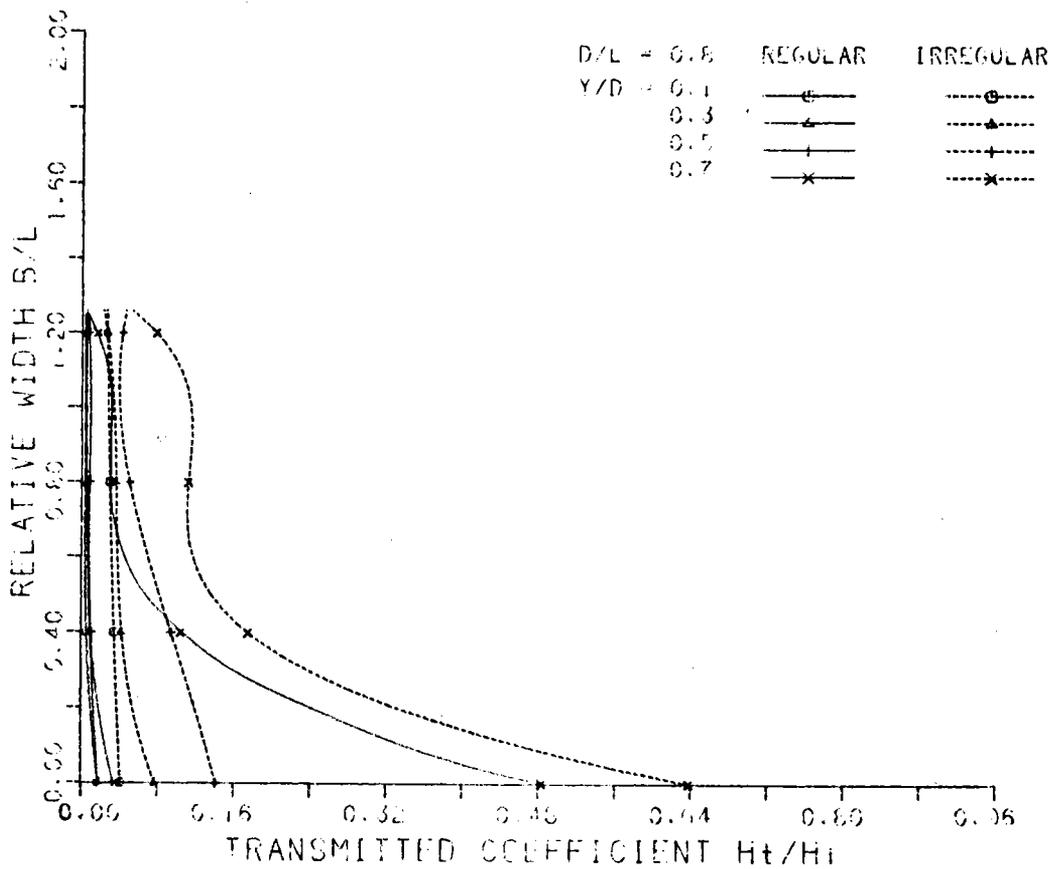


圖 5 - 5 - 2 (e) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{B}{L}$ 關係受 $\frac{y}{d}$ 影響 ($\frac{d}{L} = 0.8$)

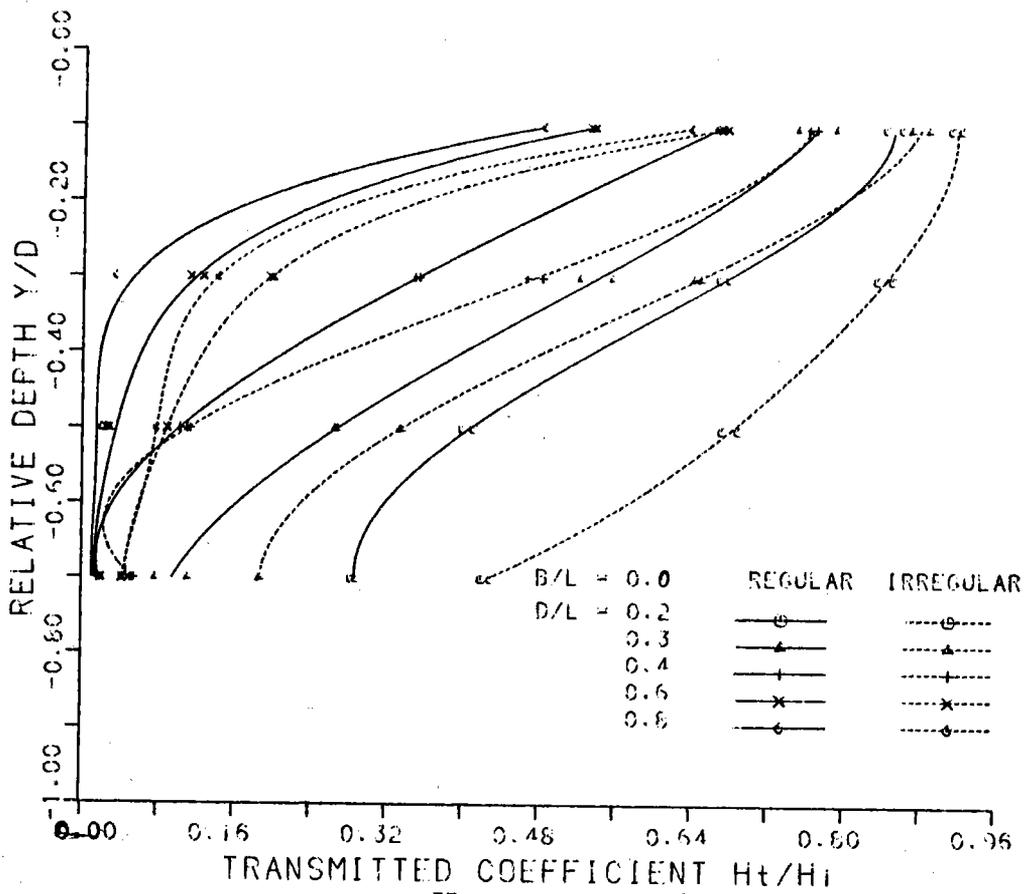


圖 5 - 5 - 3(a) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{y}{d}$ 關係受 $\frac{d}{L}$ 影響 ($\frac{B}{L} = 0.0$)

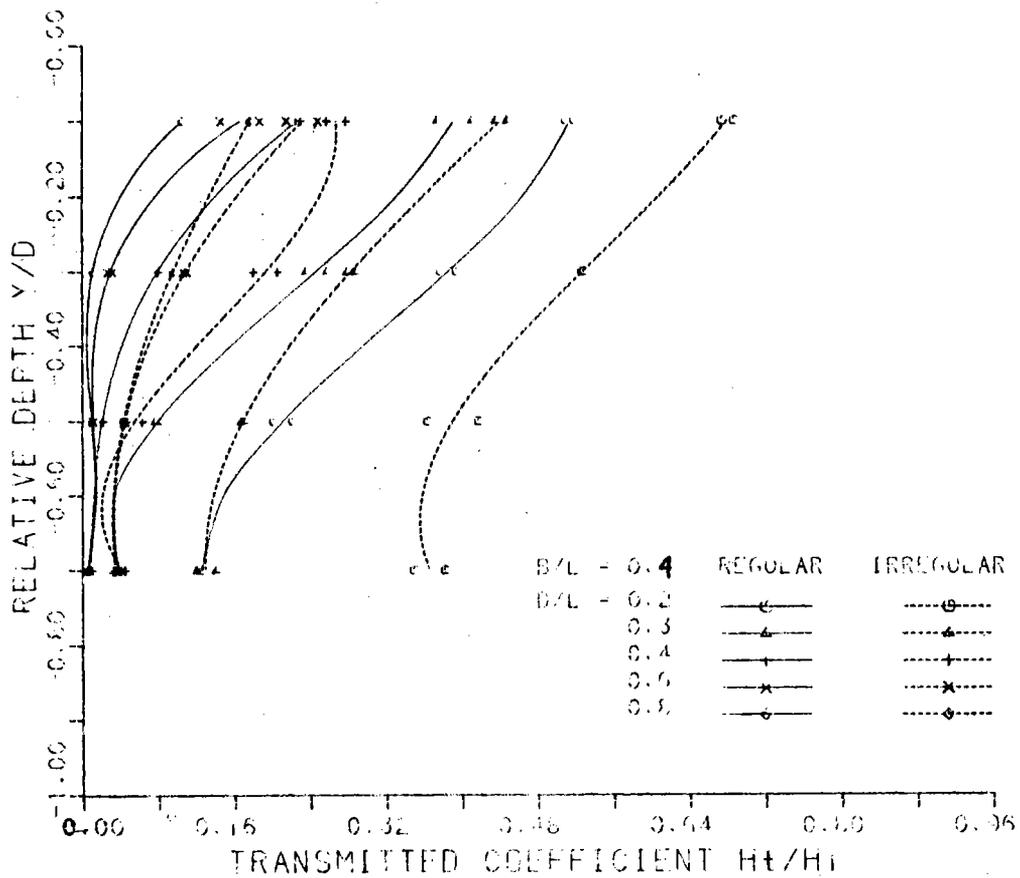


圖 5 - 5 - 3(b) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{y}{d}$ 關係受 $\frac{d}{L}$ 影響 ($\frac{B}{L} = 0.4$)

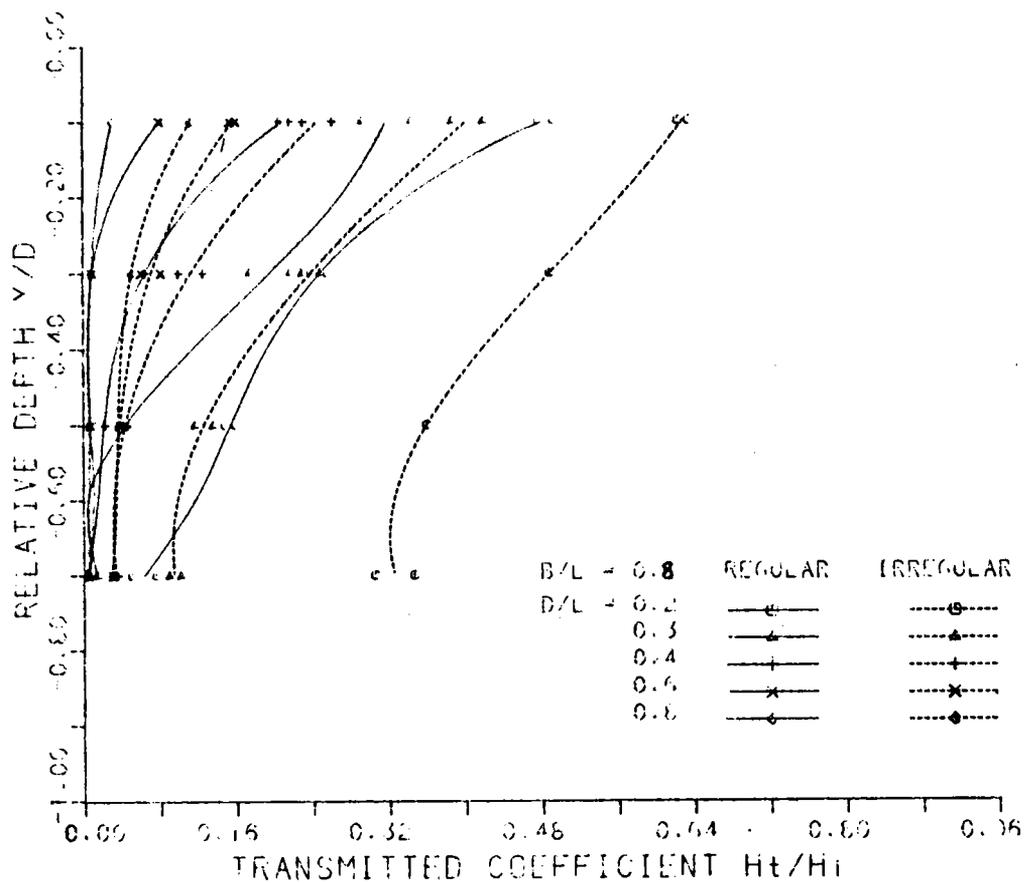


圖 5 - 5 - 3(c) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{y}{d}$ 關係受 $\frac{d}{L}$ 影響 ($\frac{B}{L} = 0.8$)

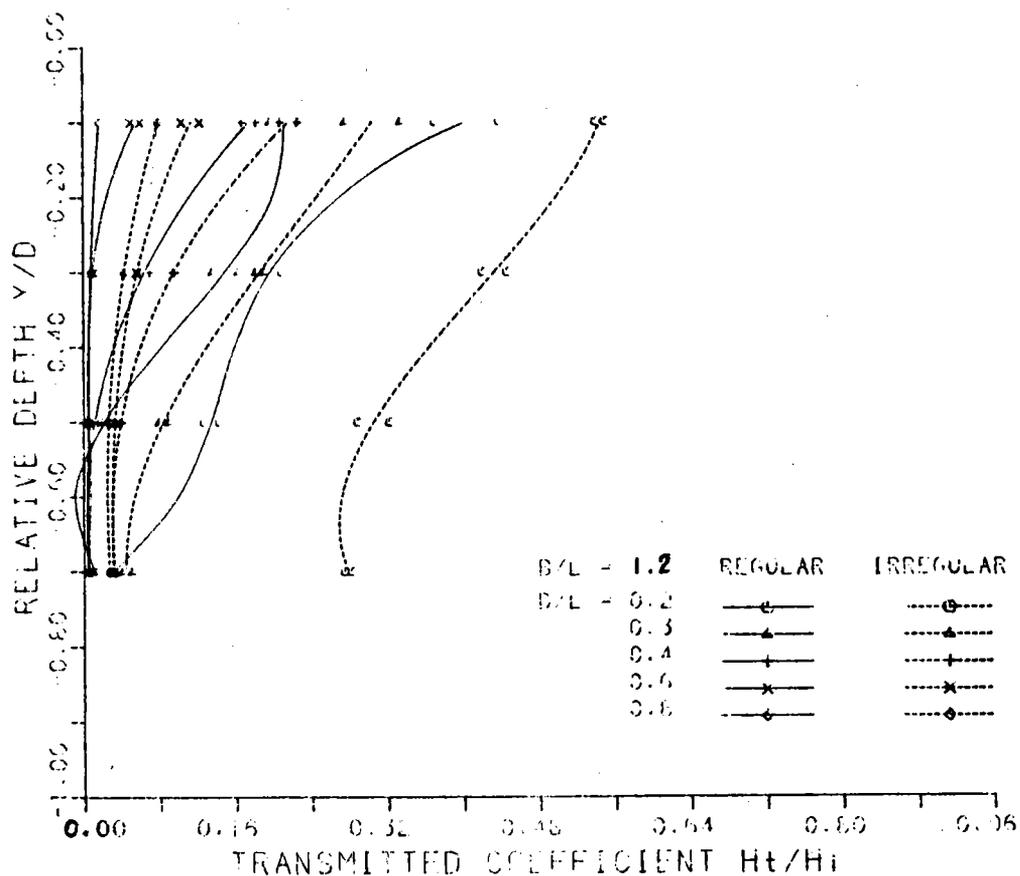


圖 5 - 5 - 3(d) $\frac{H_t}{H_i}$ 與 $\frac{y}{d}$ 關係受 $\frac{d}{L}$ 影響 ($\frac{B}{L} = 1.2$)

WAVE SPECTRUM

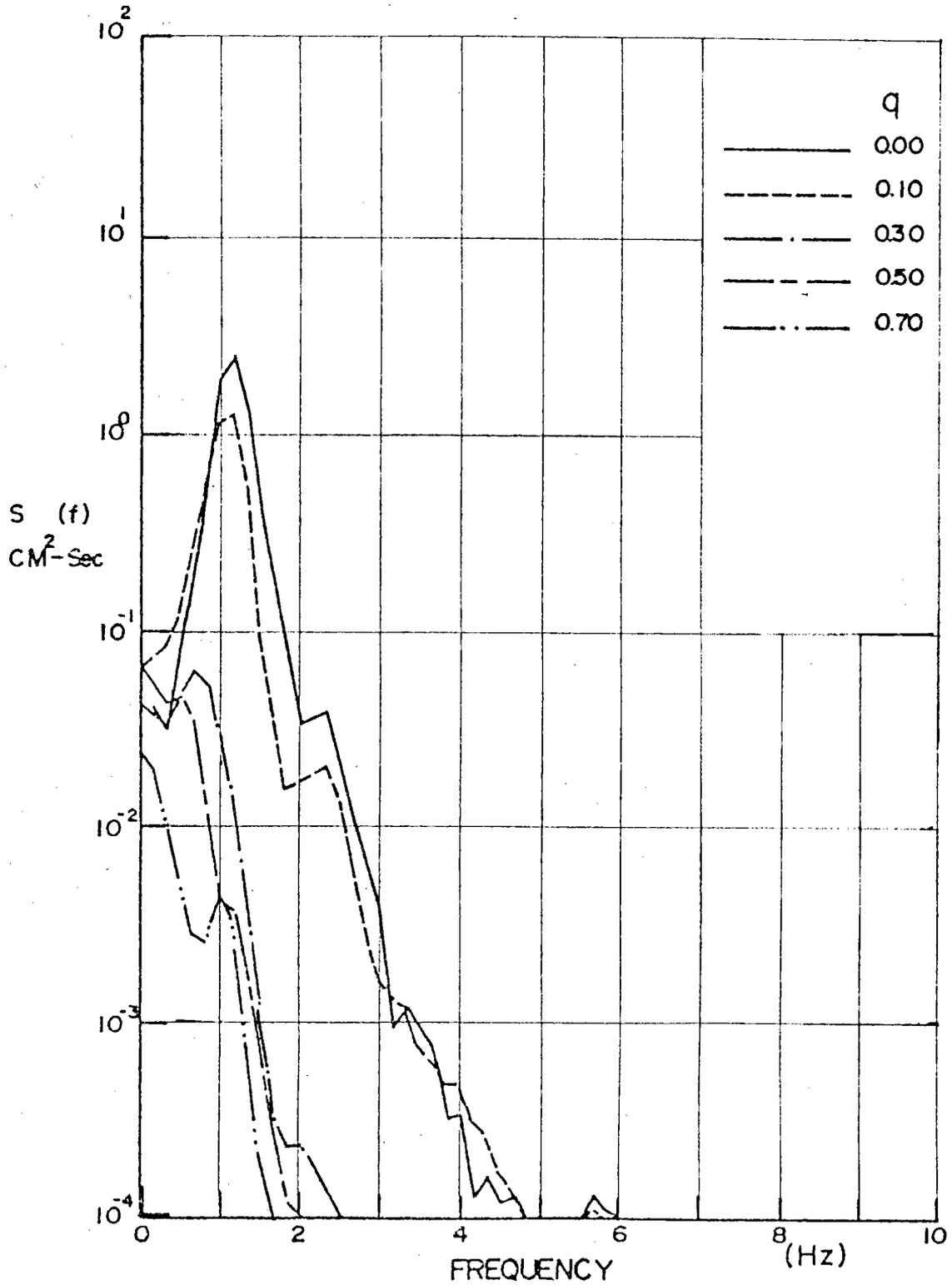


圖 5 - 5 - 4 鋼性浮式防波堤 q 值與傳遞波譜關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.8, \frac{H_0}{L_0} = 0.0445 \right)$$

WAVE SPECTRUM

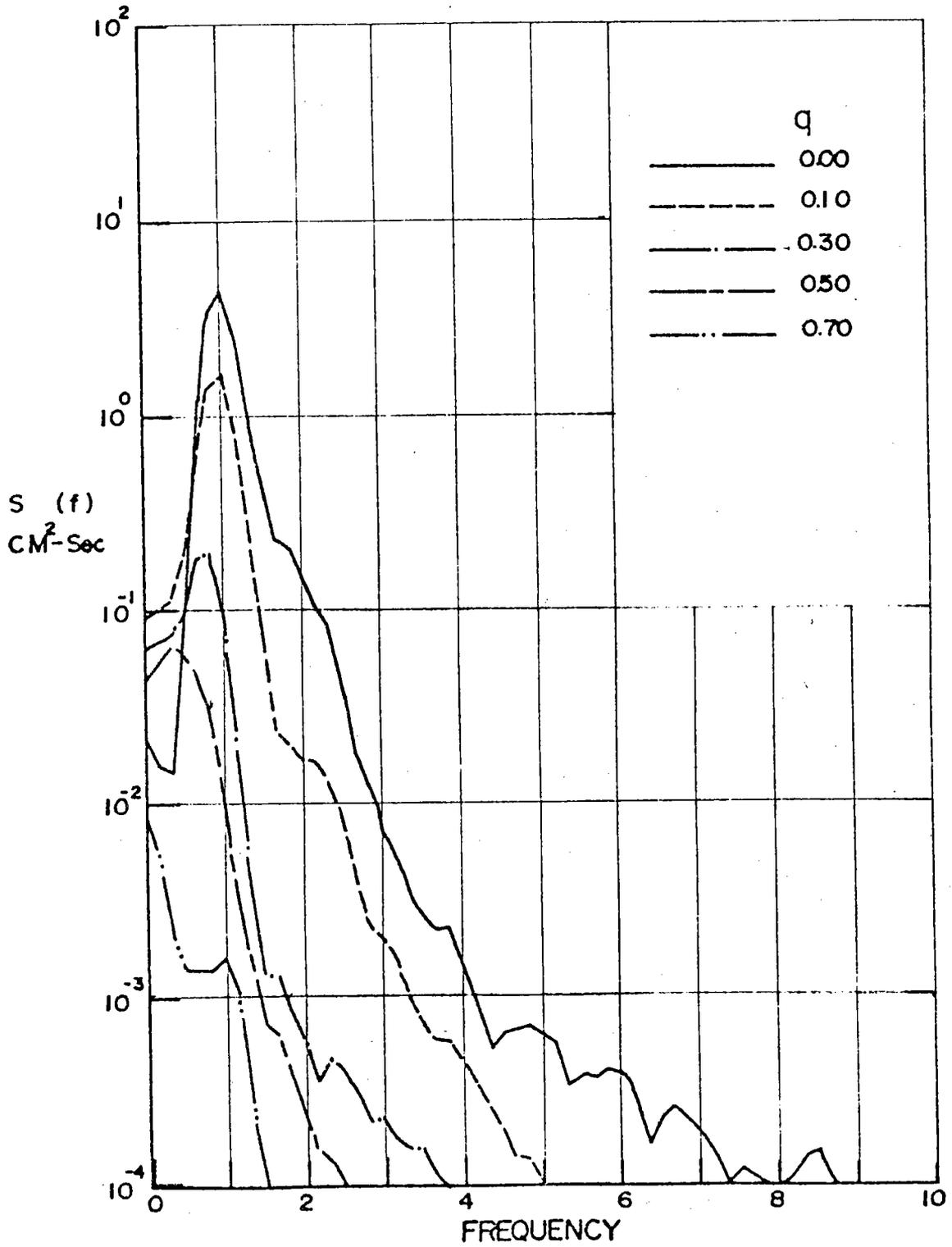


圖 5 - 5 - 5 鋼性浮式防波堤 q 值與傳遞波譜關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.6, \frac{H_0}{L_0} = 0.0345 \right)$$

WAVE SPECTRUM

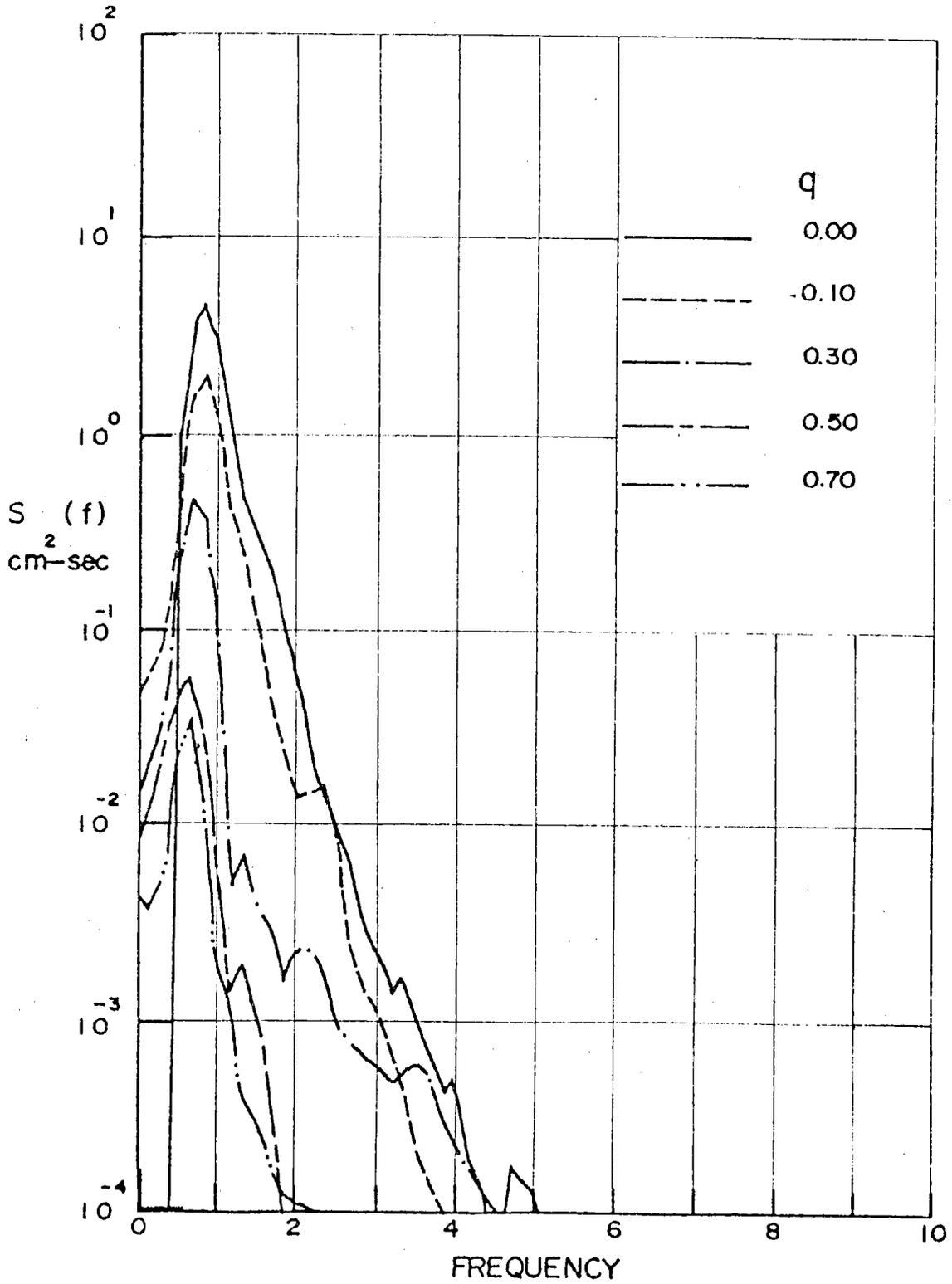


圖 5 - 5 - 6 鋼性浮式防波堤 q 值與傳遞波譜關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.4, \frac{H_0}{L_0} = 0.0263 \right)$$

WAVE SPECTRUM

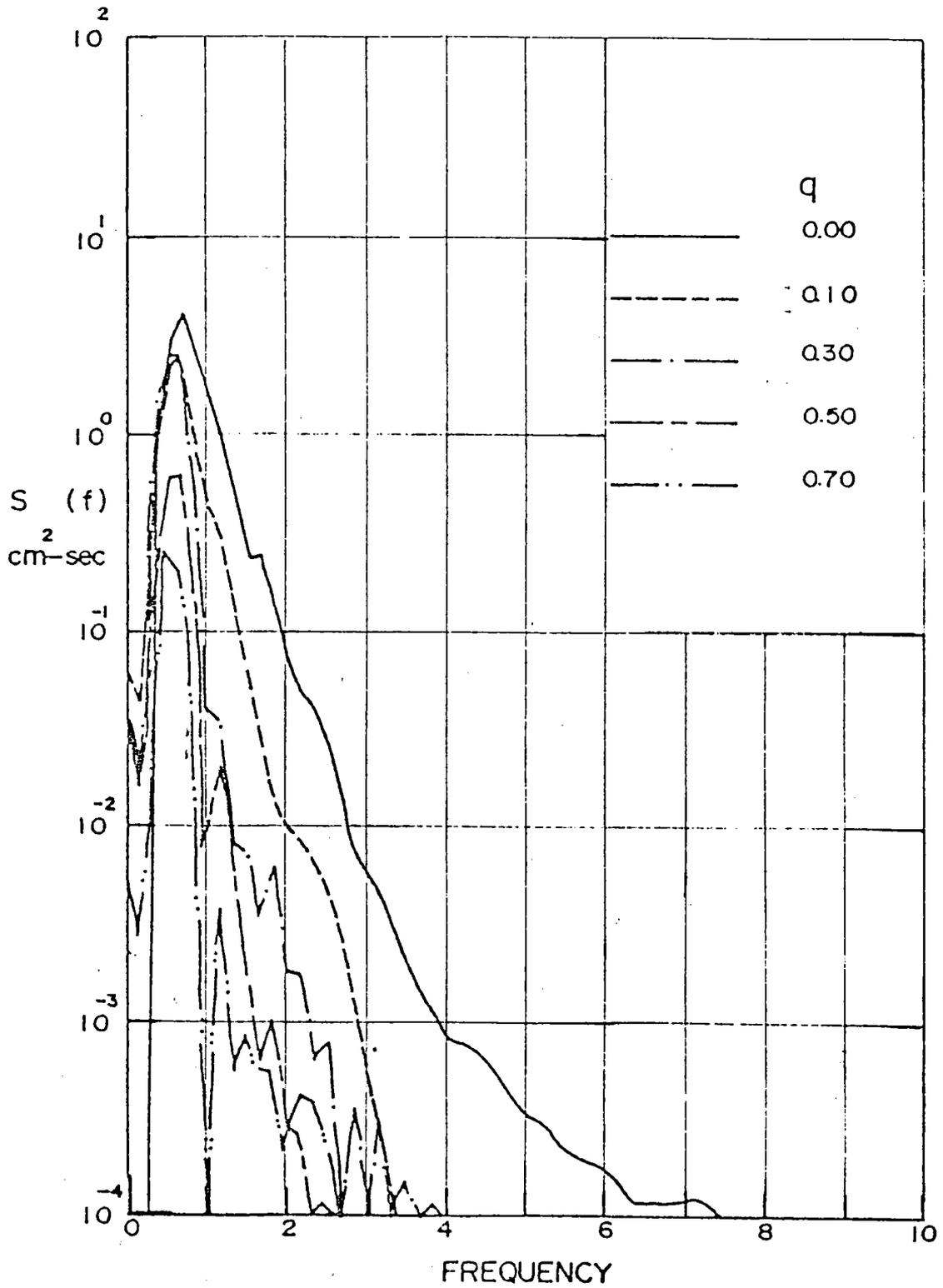


圖 5 - 5 - 7 鋼性浮式防波堤 q 值與傳遞波譜關係
 ($\frac{d}{L} = 0.3$, $\frac{H_0}{L_0} = 0.0194$)

WAVE SPECTRUM

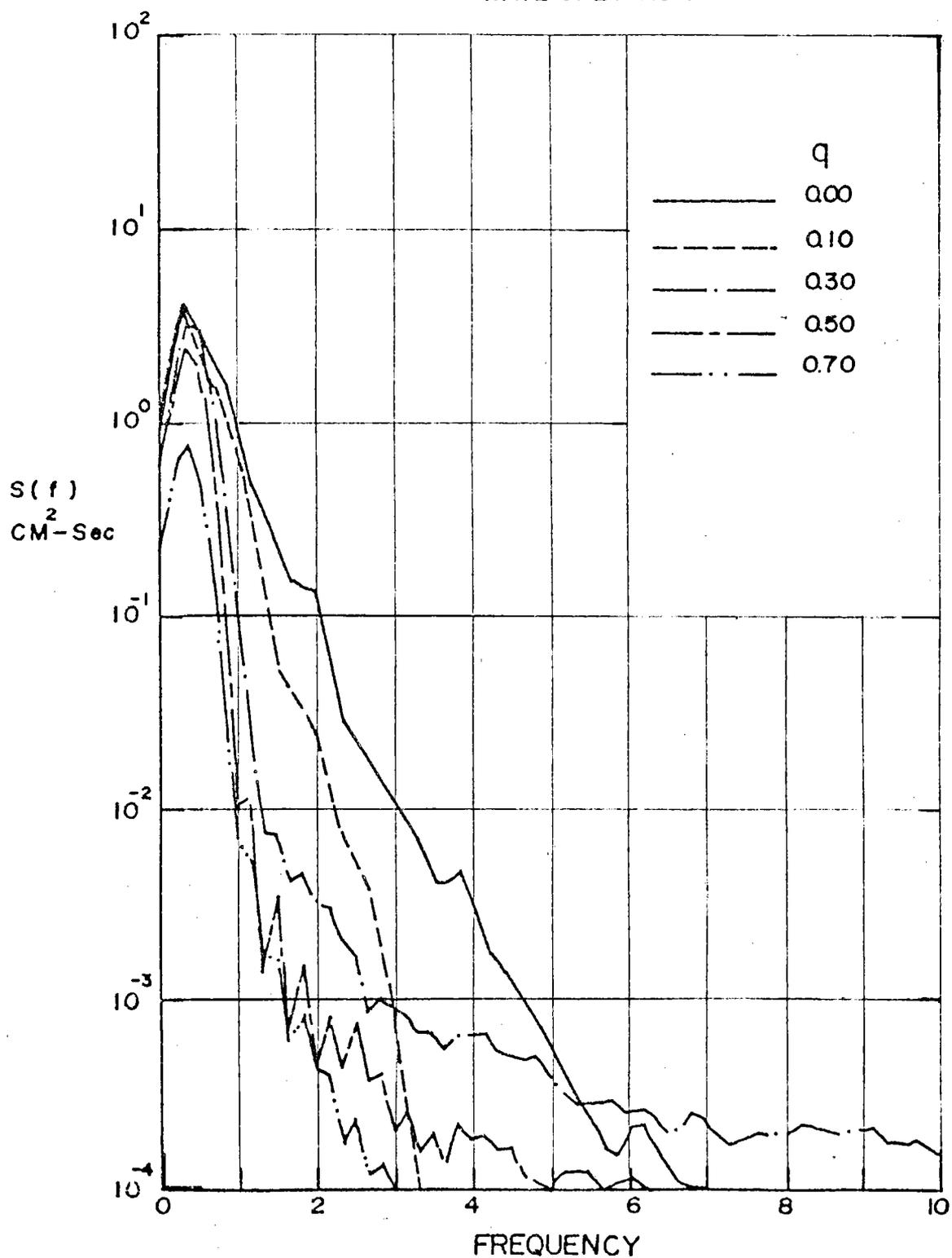


圖 5 - 5 - 8 鋼性浮式防波堤 q 值與傳遞波譜關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.2, \frac{H_0}{L_0} = 0.0122 \right)$$

WAVE SPECTRUM

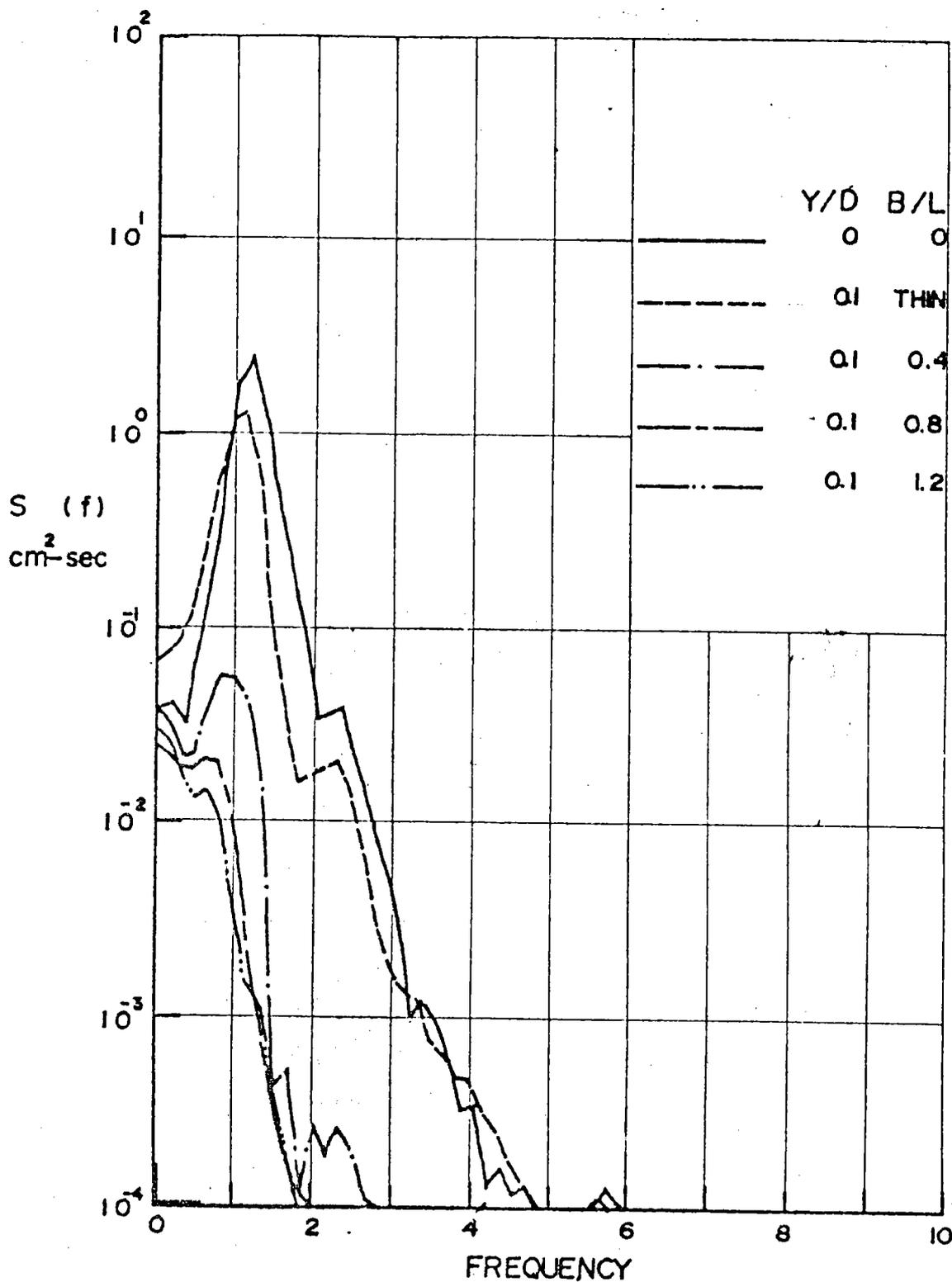


圖 5 - 5 - 9 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.8, \frac{H_0}{L_0} = 0.0445 \right)$$

WAVE SPECTRUM

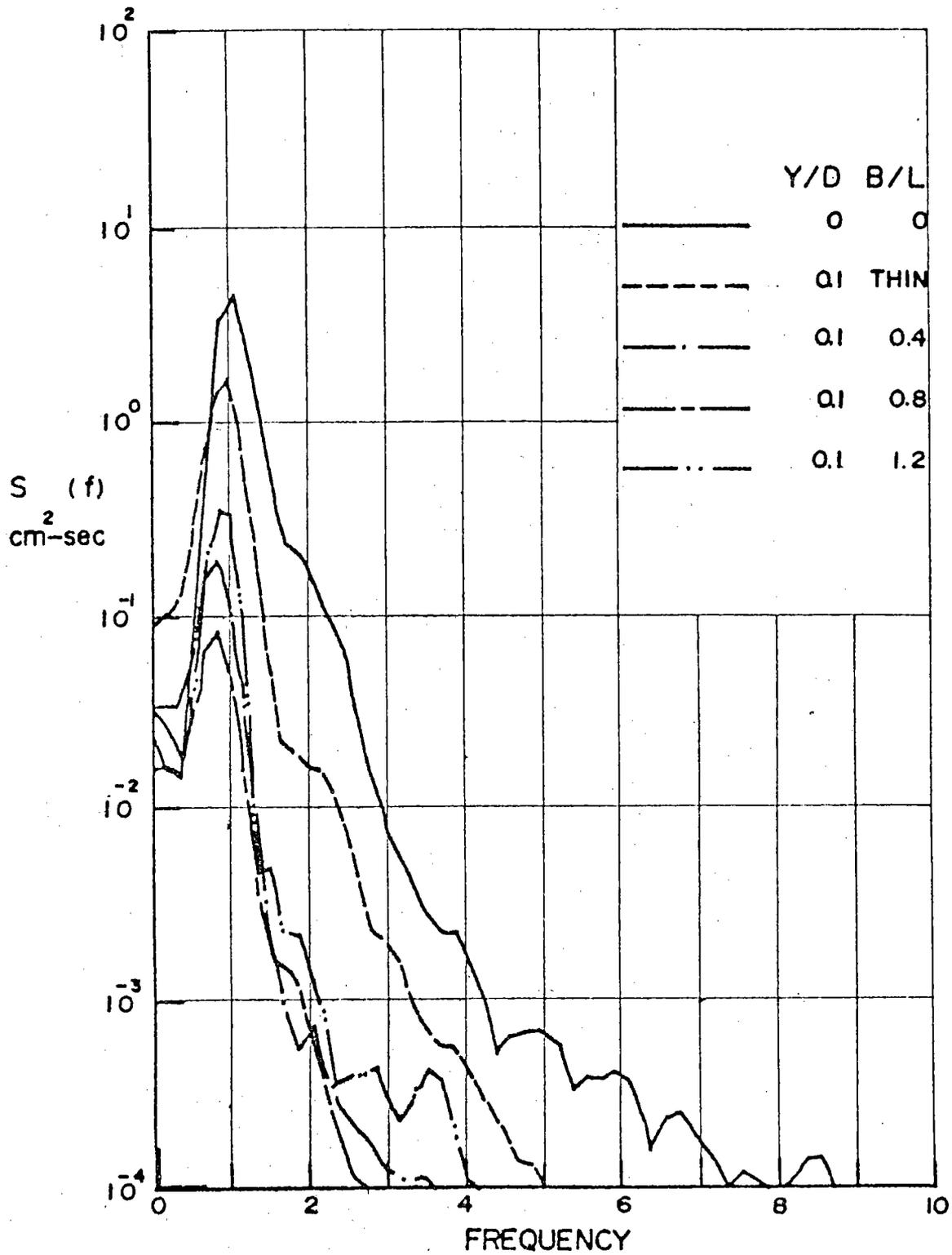


圖 5 - 5 - 10 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.6, \frac{H_0}{L_0} = 0.0345 \right)$$

WAVE SPECTRUM

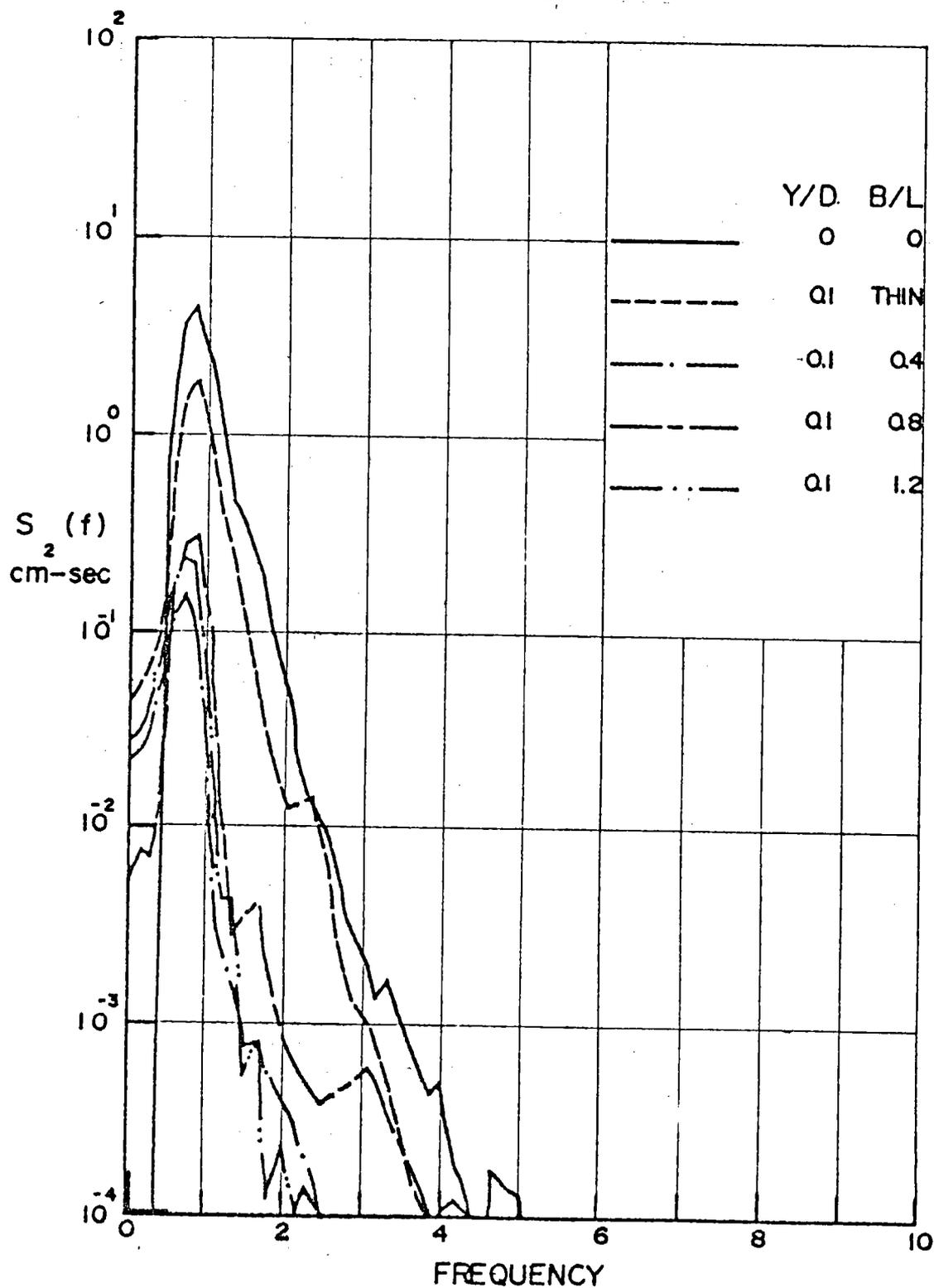


圖 5 - 5 - 11 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.4, \frac{H_0}{L_0} = 0.0263 \right)$$

WAVE SPECTRUM

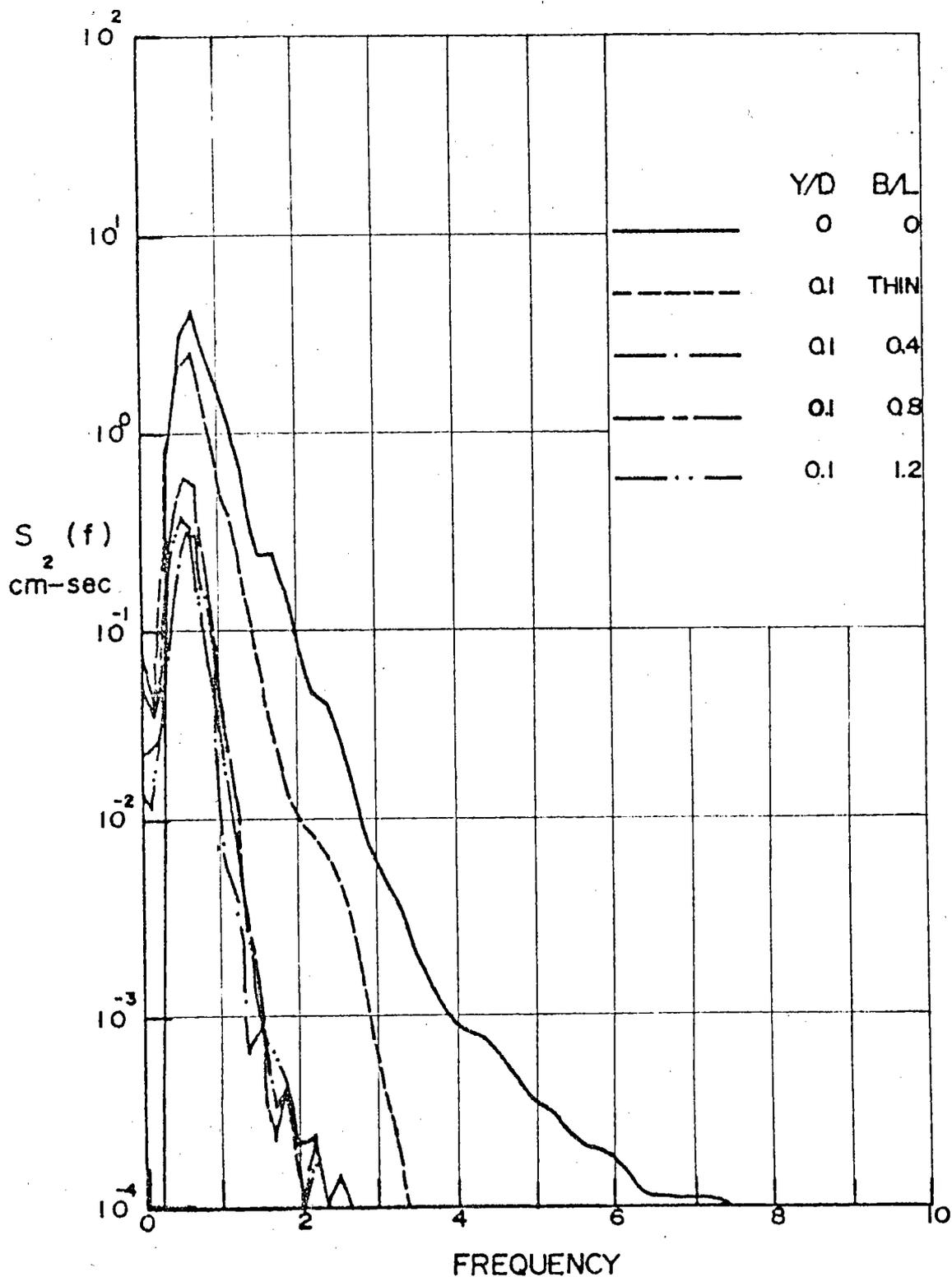


圖 5 - 5 - 12 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.3, \frac{H_0}{L_0} = 0.0194 \right)$$

WAVE SPECTRUM

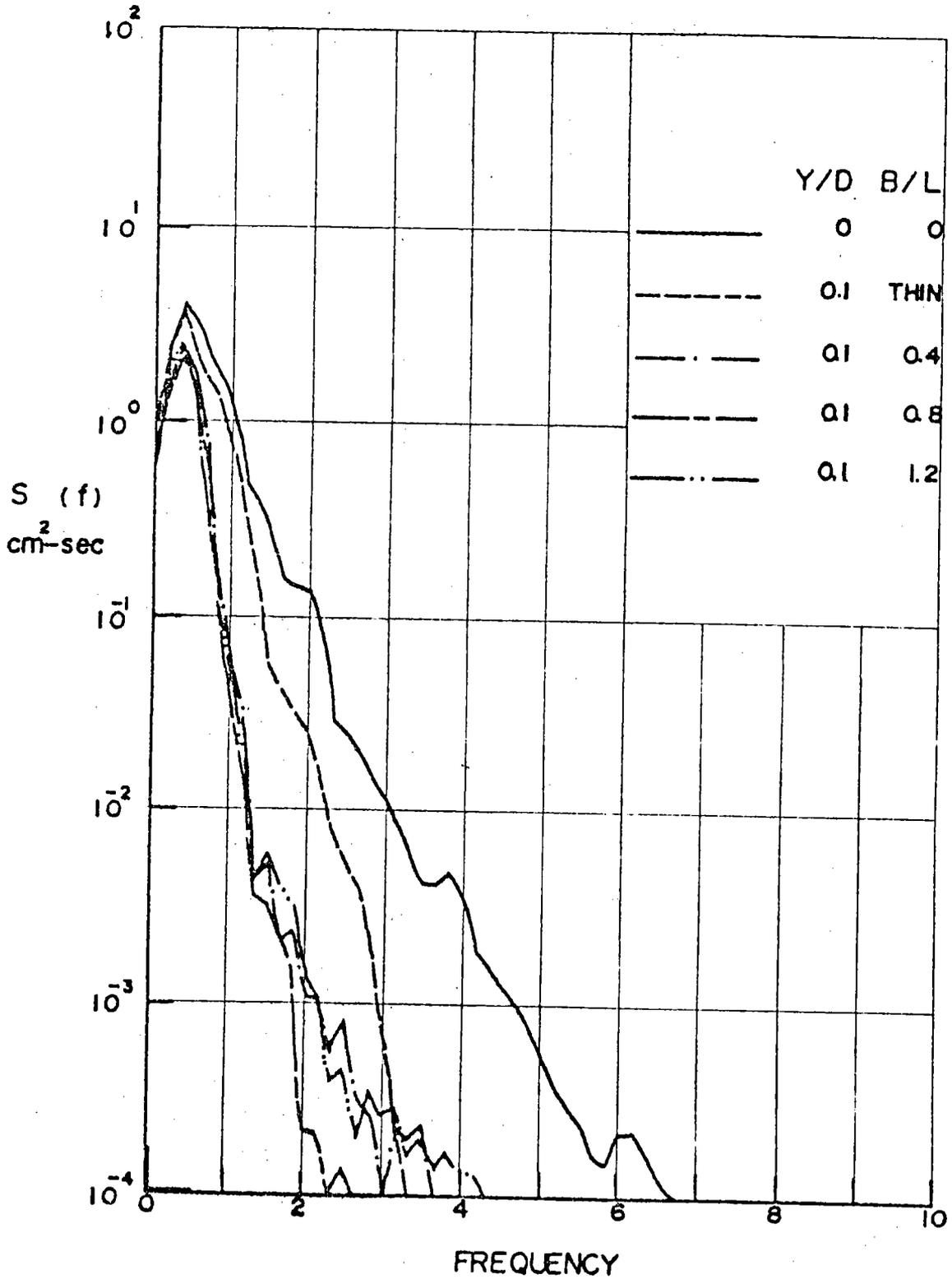


圖 5 - 5 - 13 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.2, \frac{H_0}{L_0} = 0.0122 \right)$$

WAVE SPECTRUM

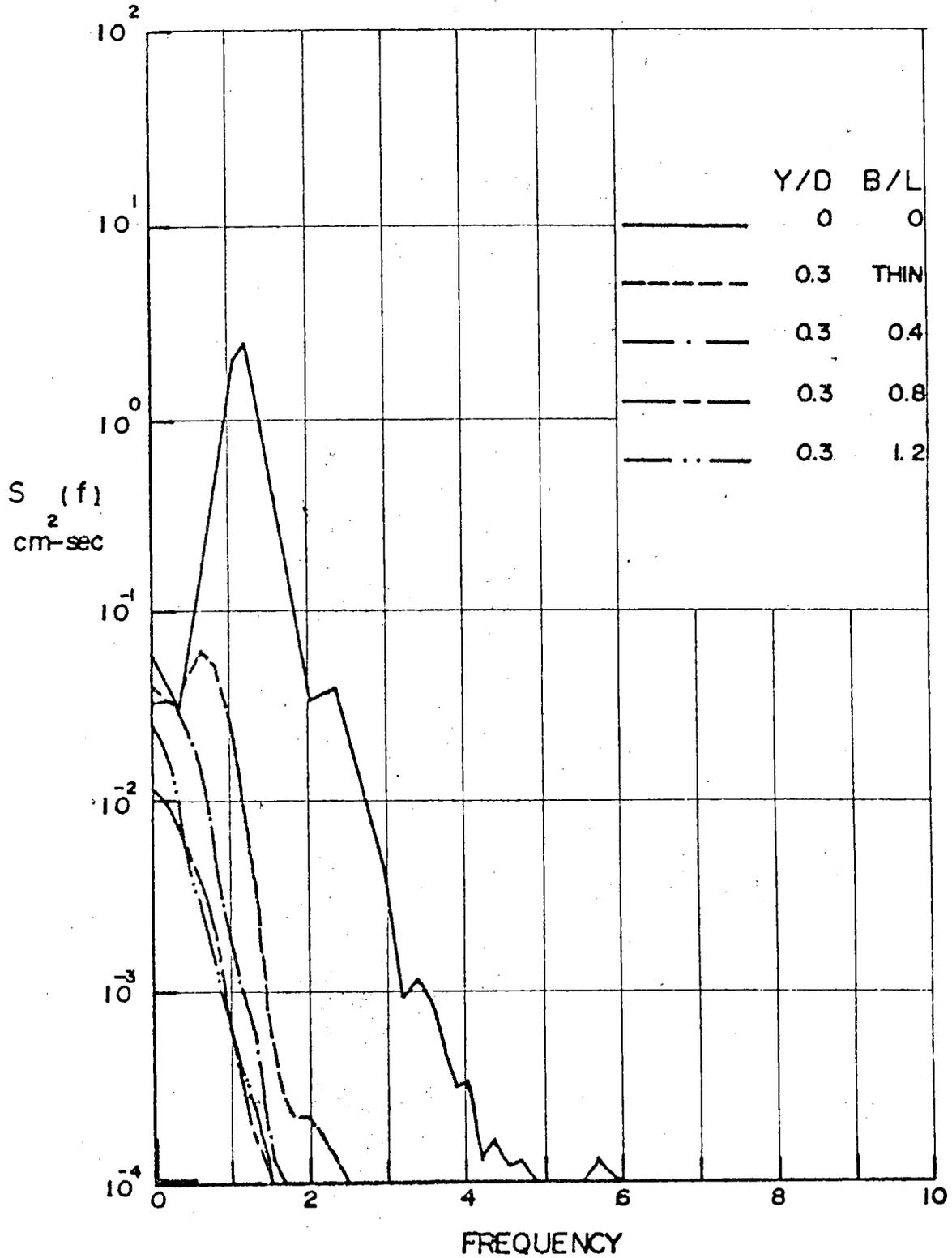


圖 5 - 5 - 14 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.8, \frac{H_0}{L_0} = 0.0445 \right)$$

WAVE SPECTRUM

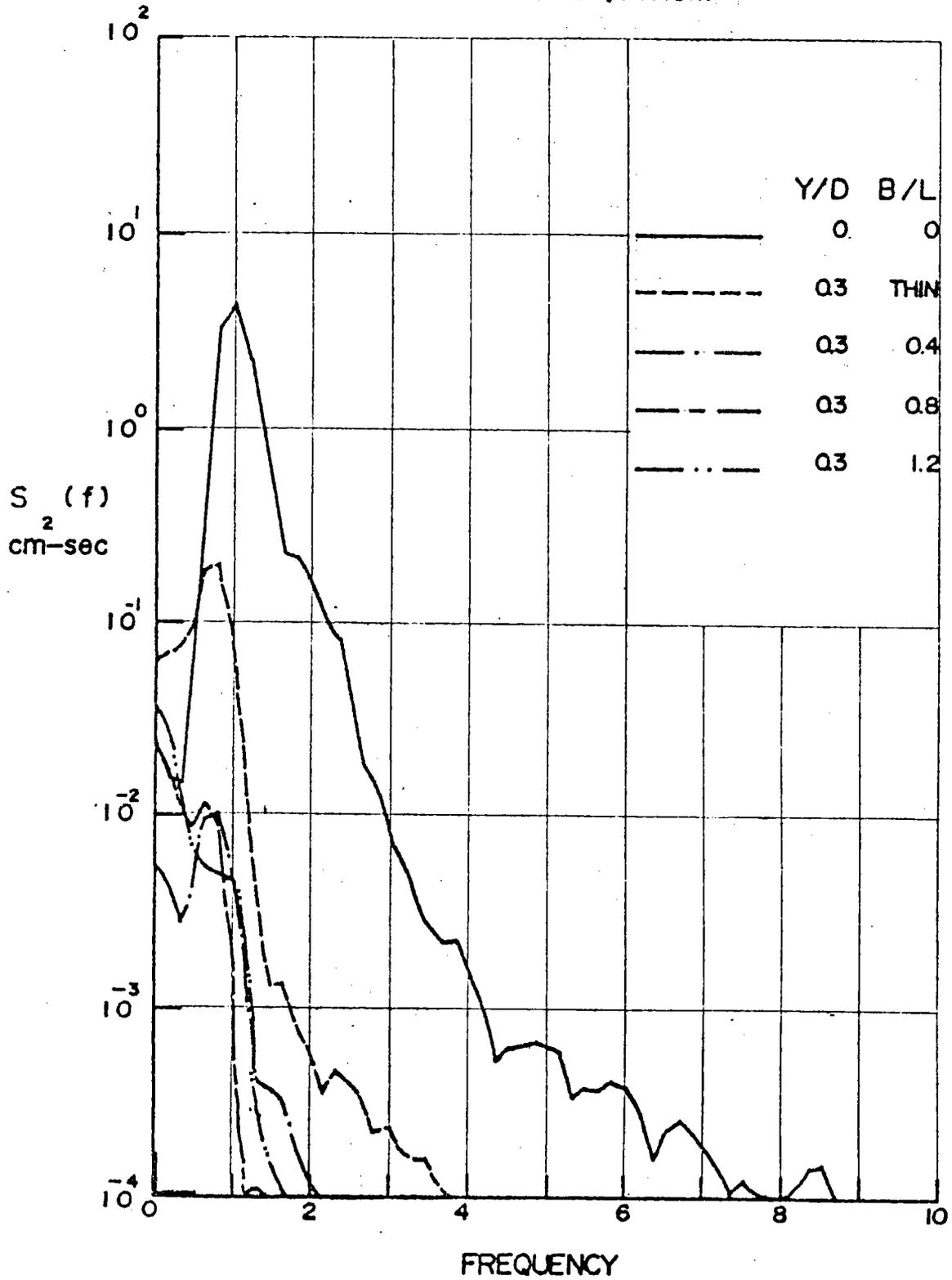


圖 5 - 5 - 15 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.6, \frac{H_0}{L_0} = 0.0345 \right)$$

WAVE SPECTRUM

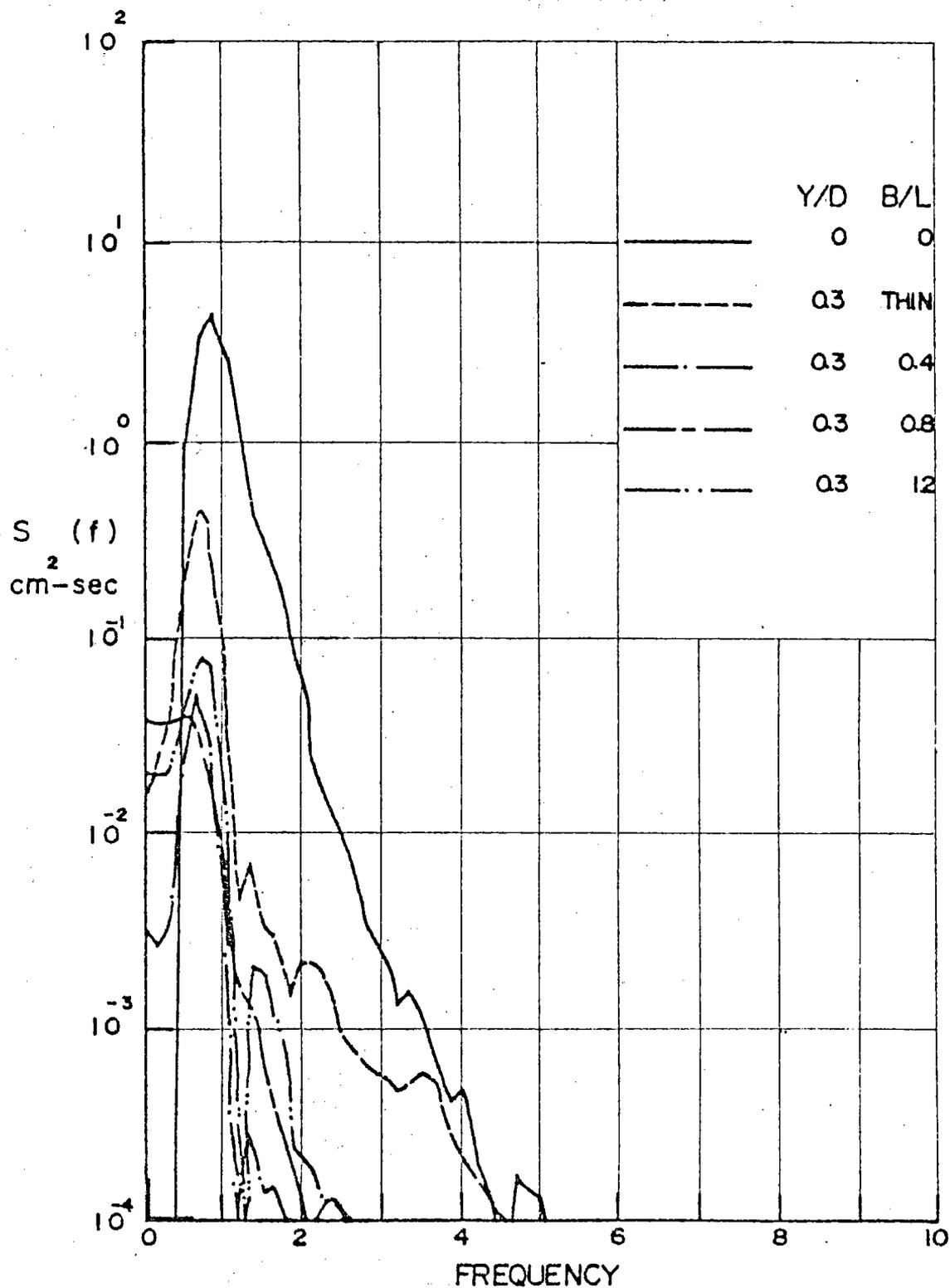


圖 5 - 5 - 16 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.4, \frac{H_0}{L_0} = 0.0263 \right)$$

WAVE SPECTRUM

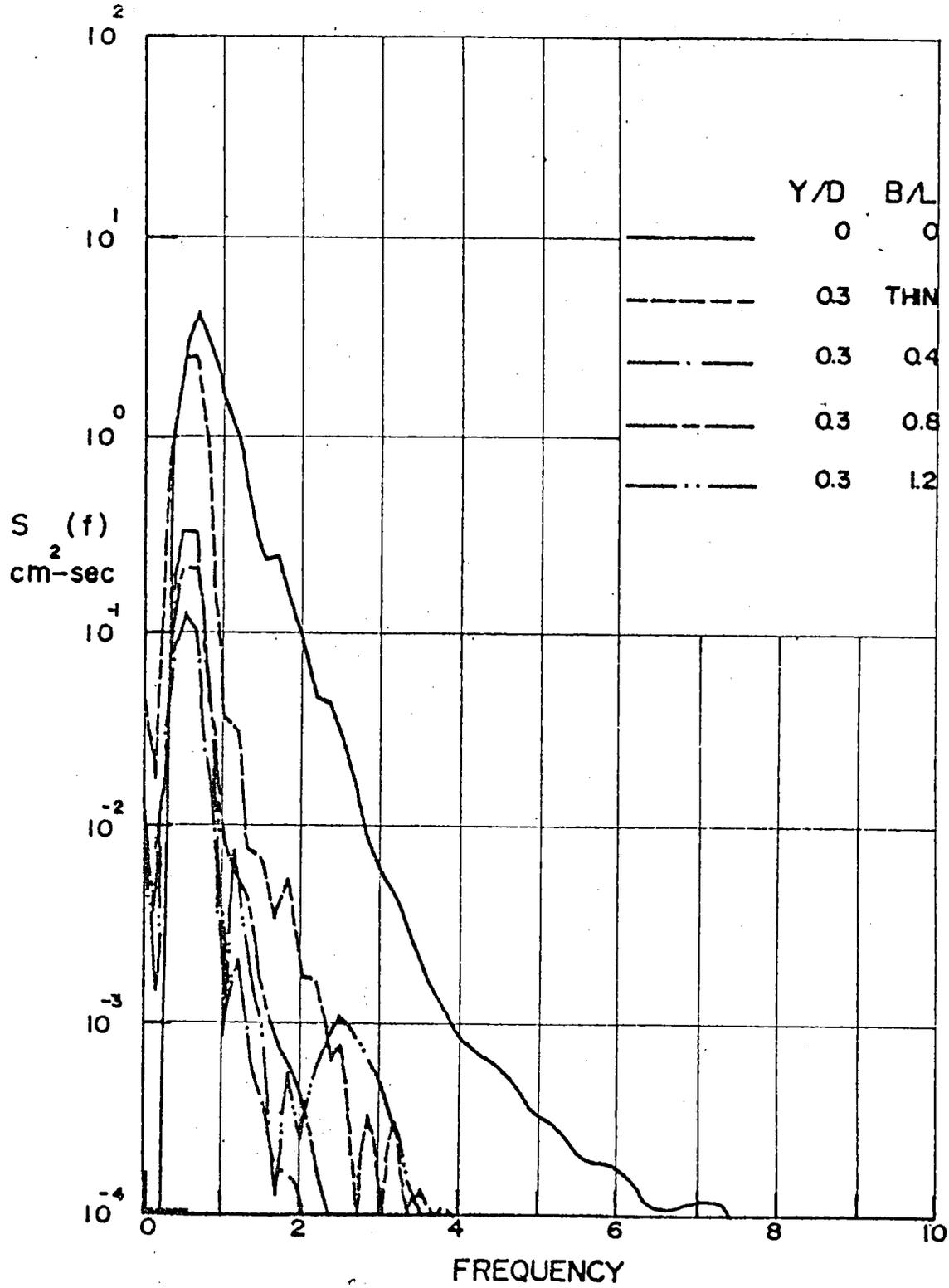


圖 5 - 5 - 17 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.3, \frac{H_0}{L_0} = 0.0194 \right)$$

WAVE SPECTRUM

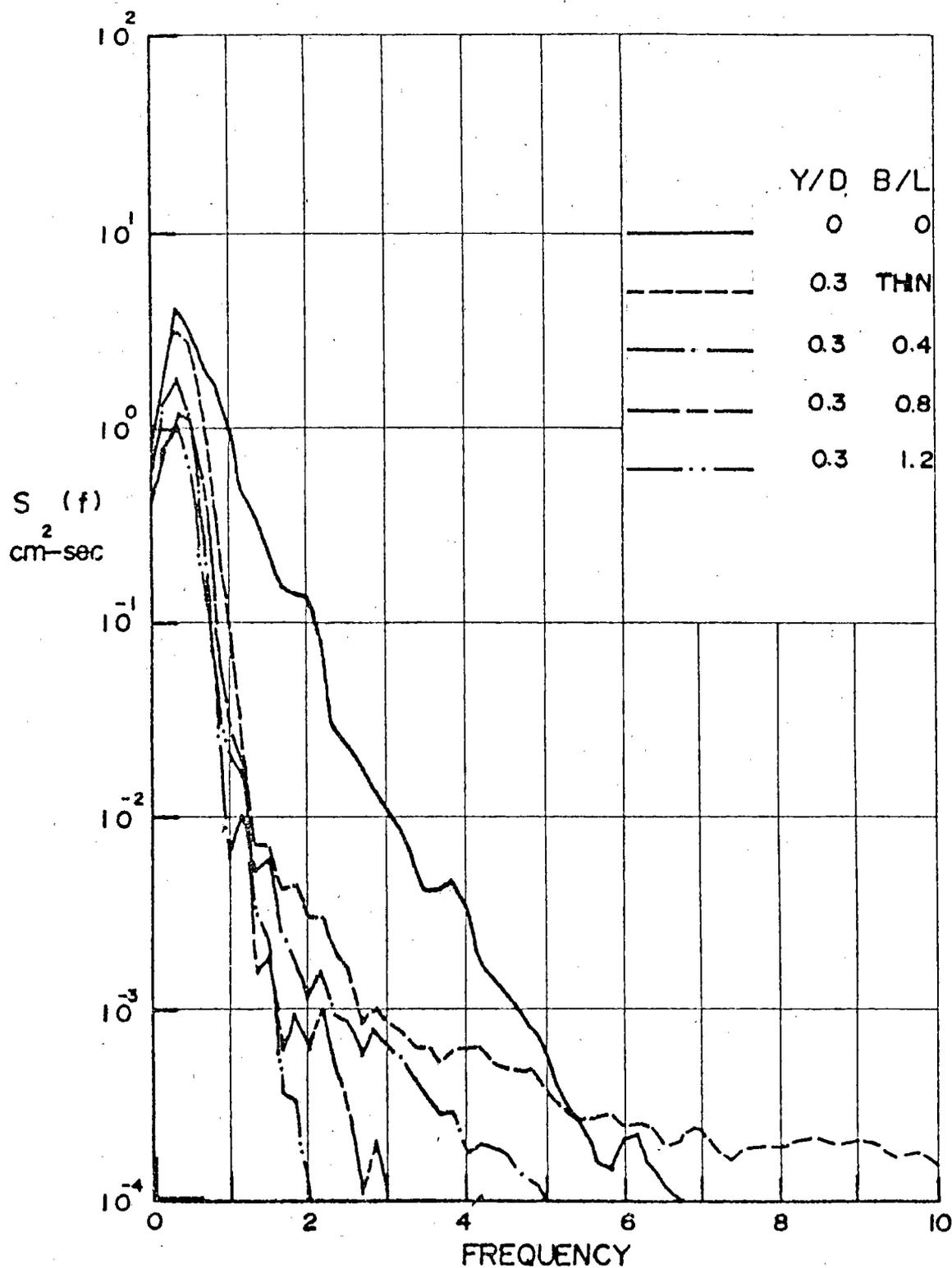


圖 5 - 5 - 18 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.2, \frac{H_0}{L_0} = 0.0122 \right)$$

WAVE SPECTRUM

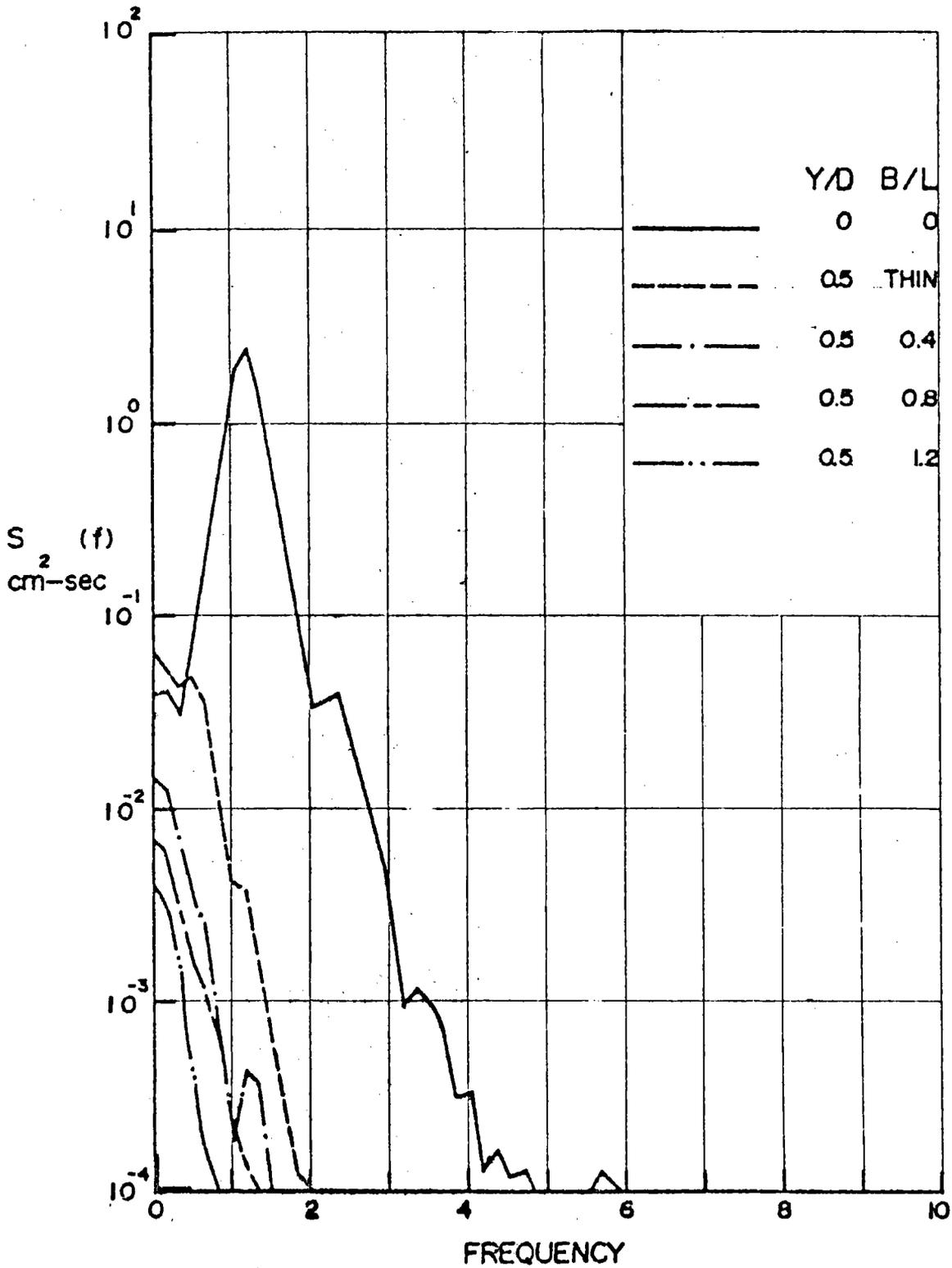


圖 5 - 5 - 19 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.8, \frac{H_0}{L_0} = 0.0445 \right)$$

WAVE SPECTRUM

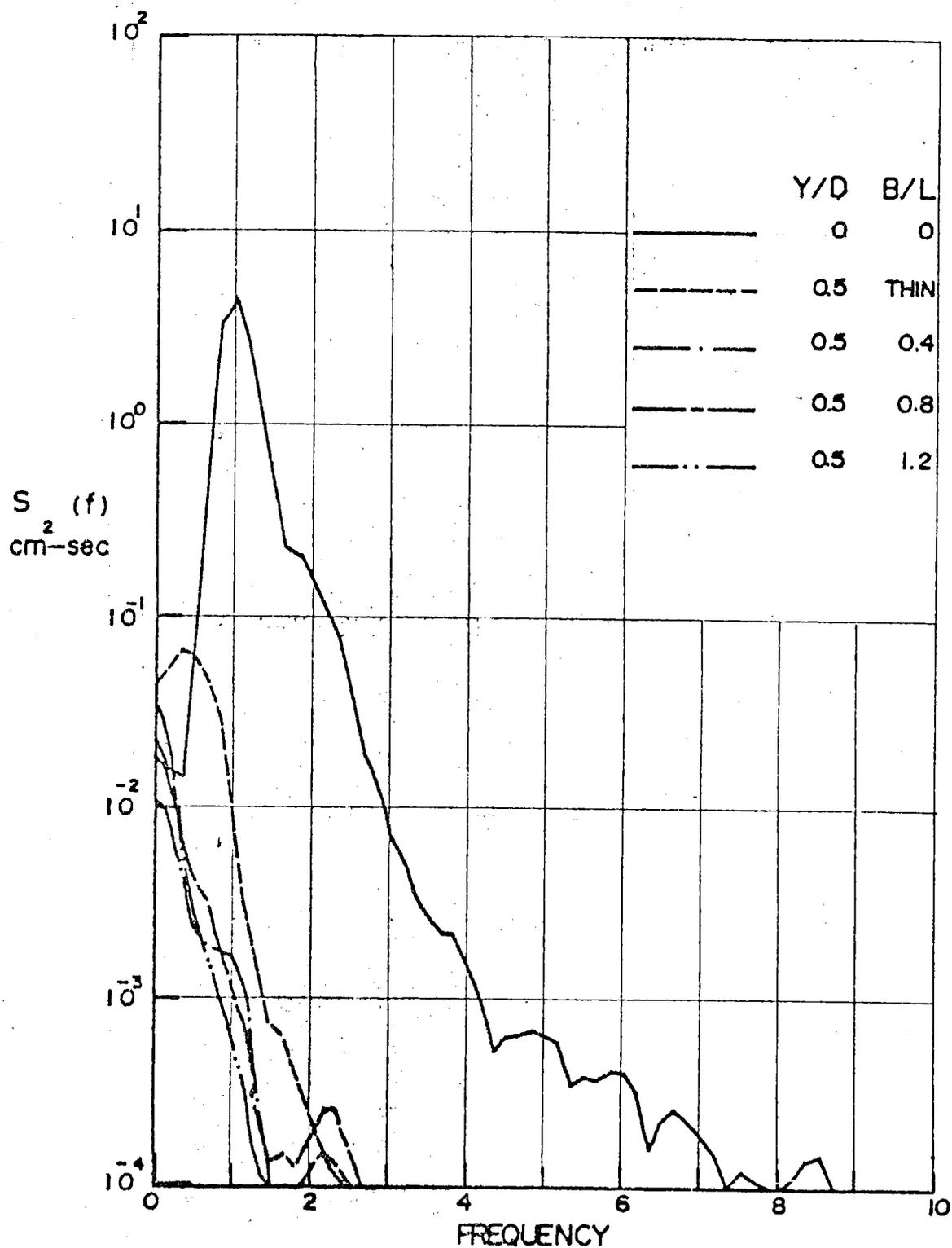


圖 5 - 5 - 20 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.6, \frac{H_0}{L_0} = 0.0345 \right)$$

WAVE SPECTRUM

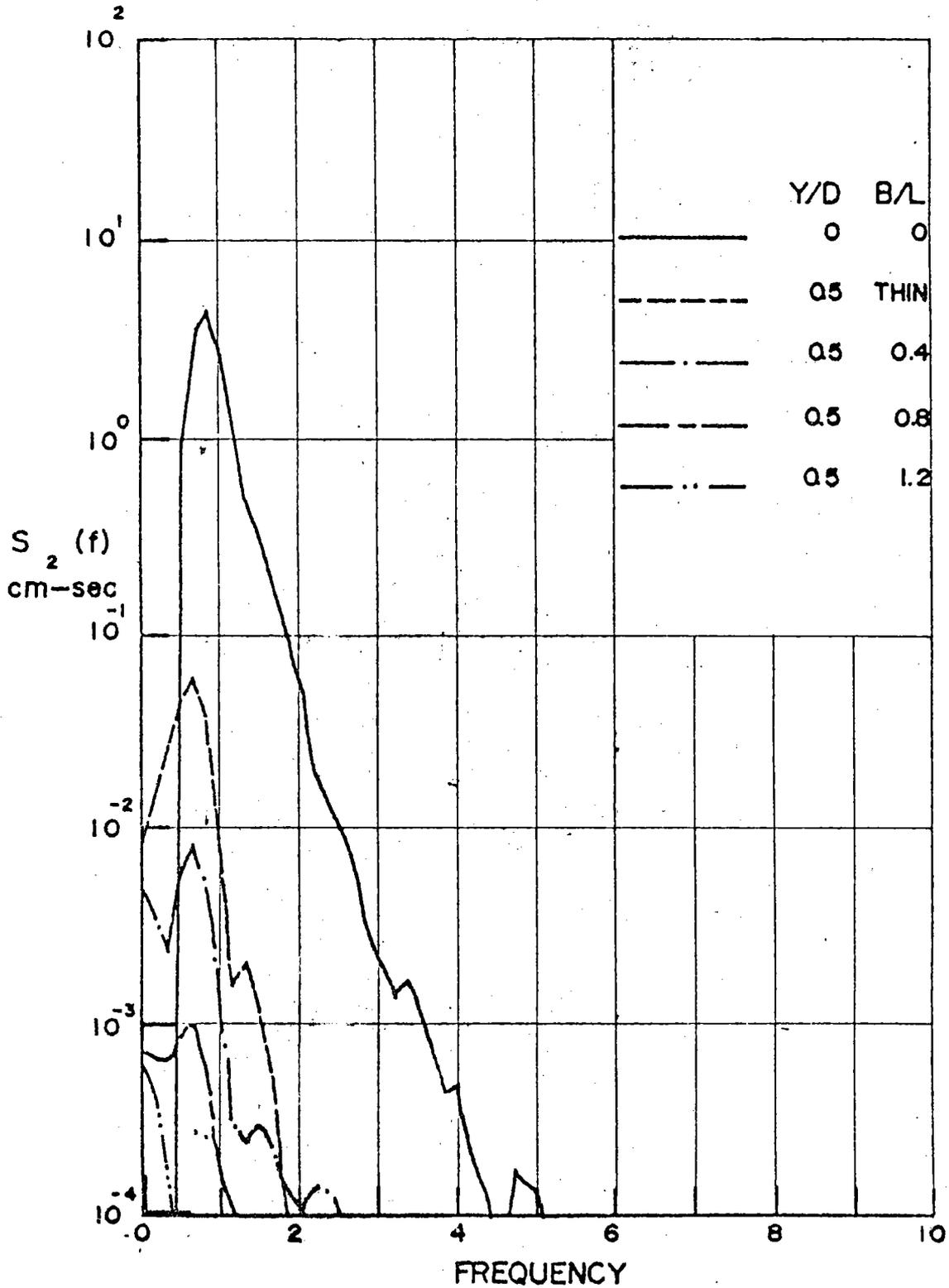


圖 5 - 5 - 21 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.4, \frac{H_0}{L_0} = 0.0263 \right)$$

WAVE SPECTRUM

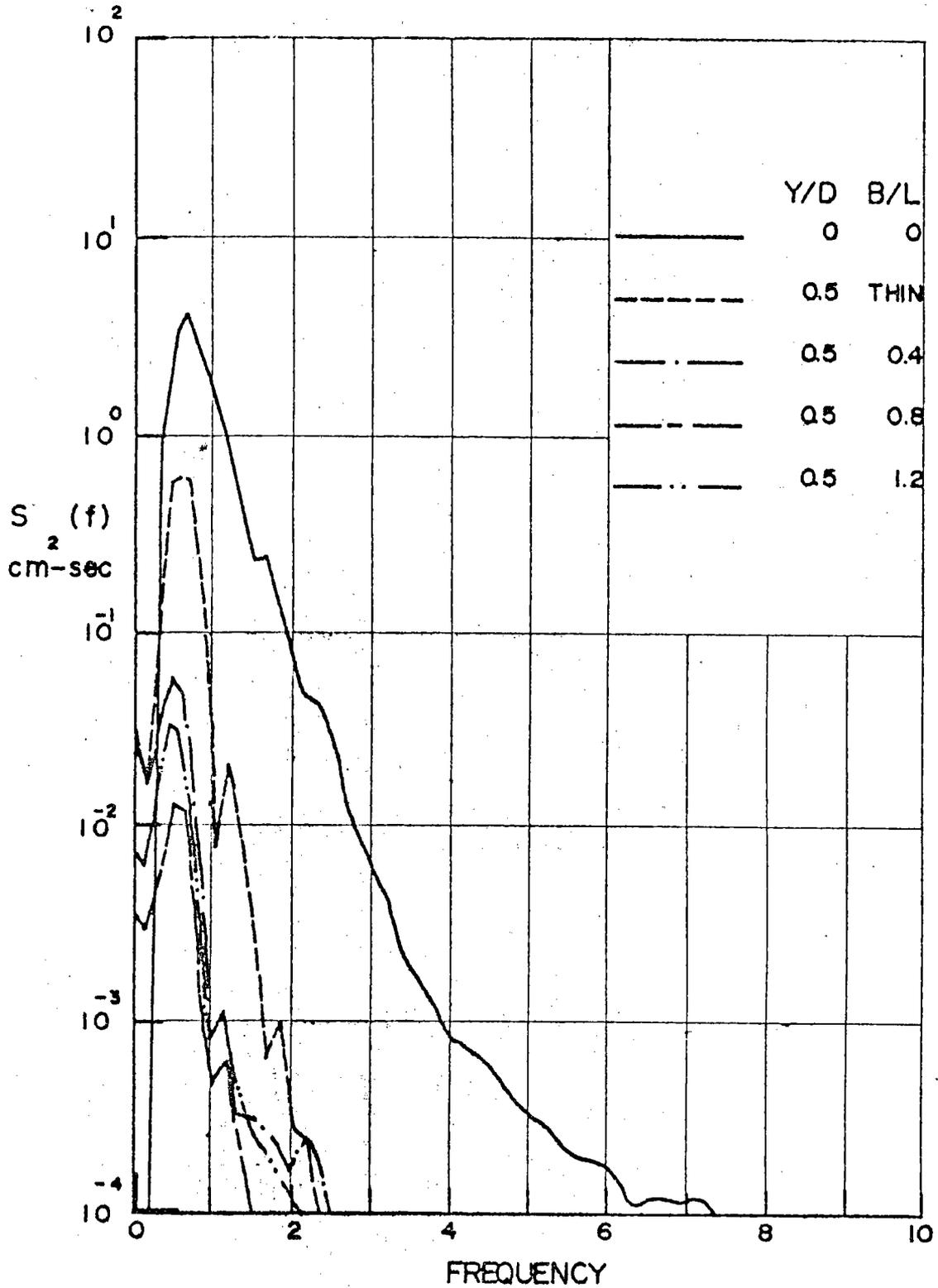


圖 5 - 5 - 22 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.3, \frac{H_0}{L_0} = 0.0194 \right)$$

WAVE SPECTRUM

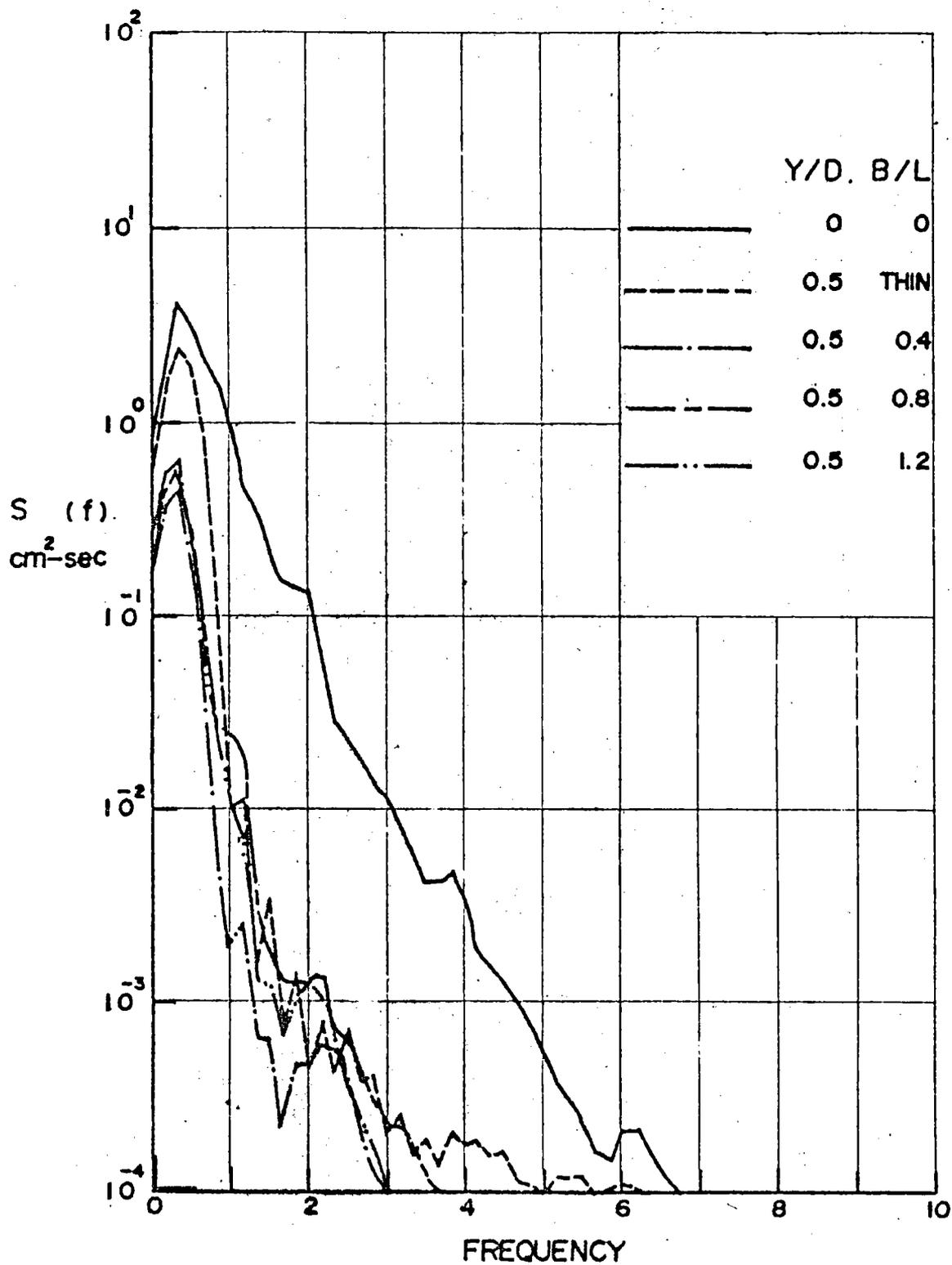


圖 5 - 5 - 23 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.2, \frac{H_0}{L_0} = 0.0122 \right)$$

WAVE SPECTRUM

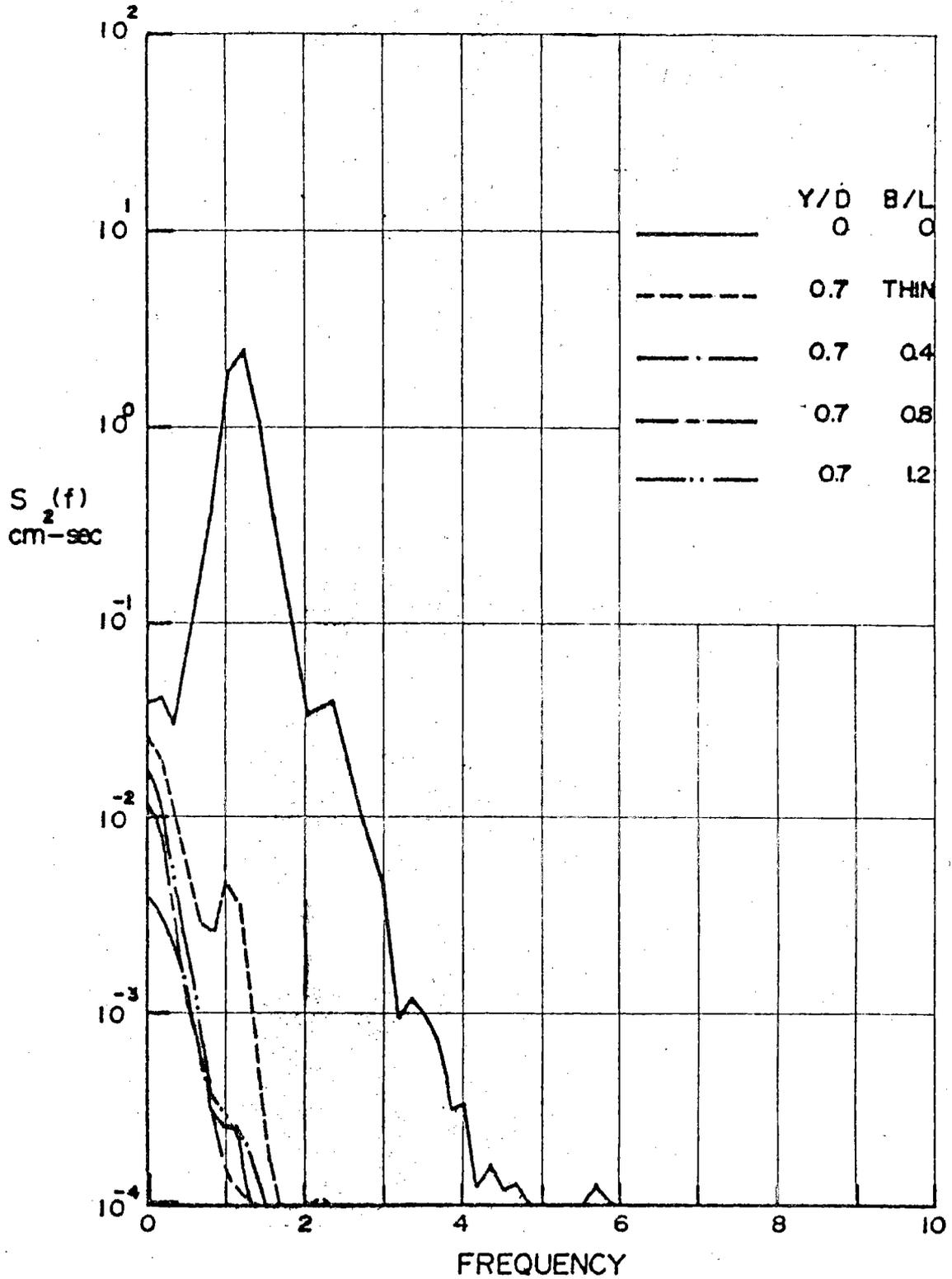


圖 5 - 5 - 24 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.8, \frac{H_0}{L_0} = 0.0445 \right)$$

WAVE SPECTRUM

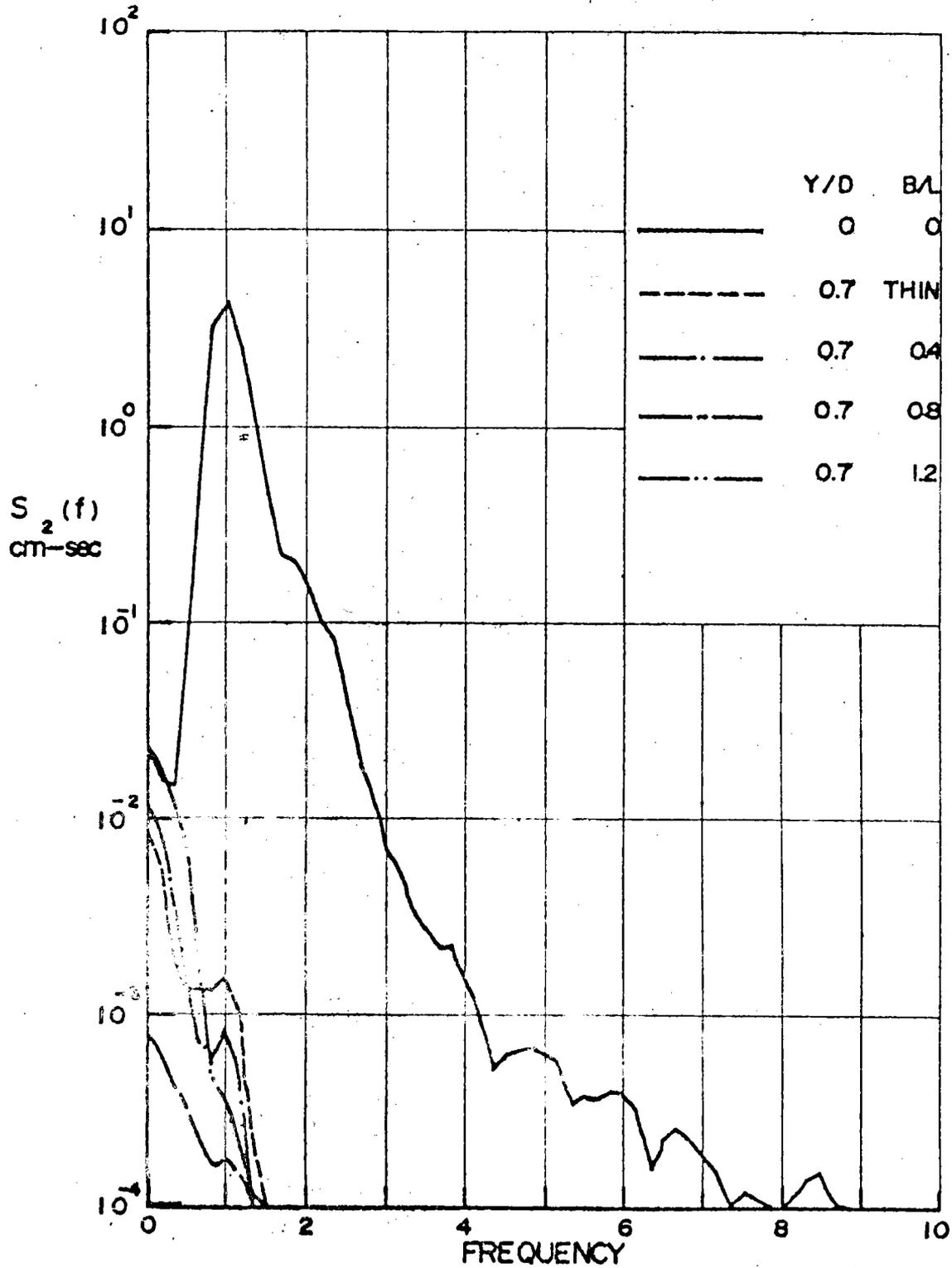


圖 5 - 5 - 25 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.6, \frac{H_0}{L_0} = 0.0345 \right)$$

WAVE SPECTRUM

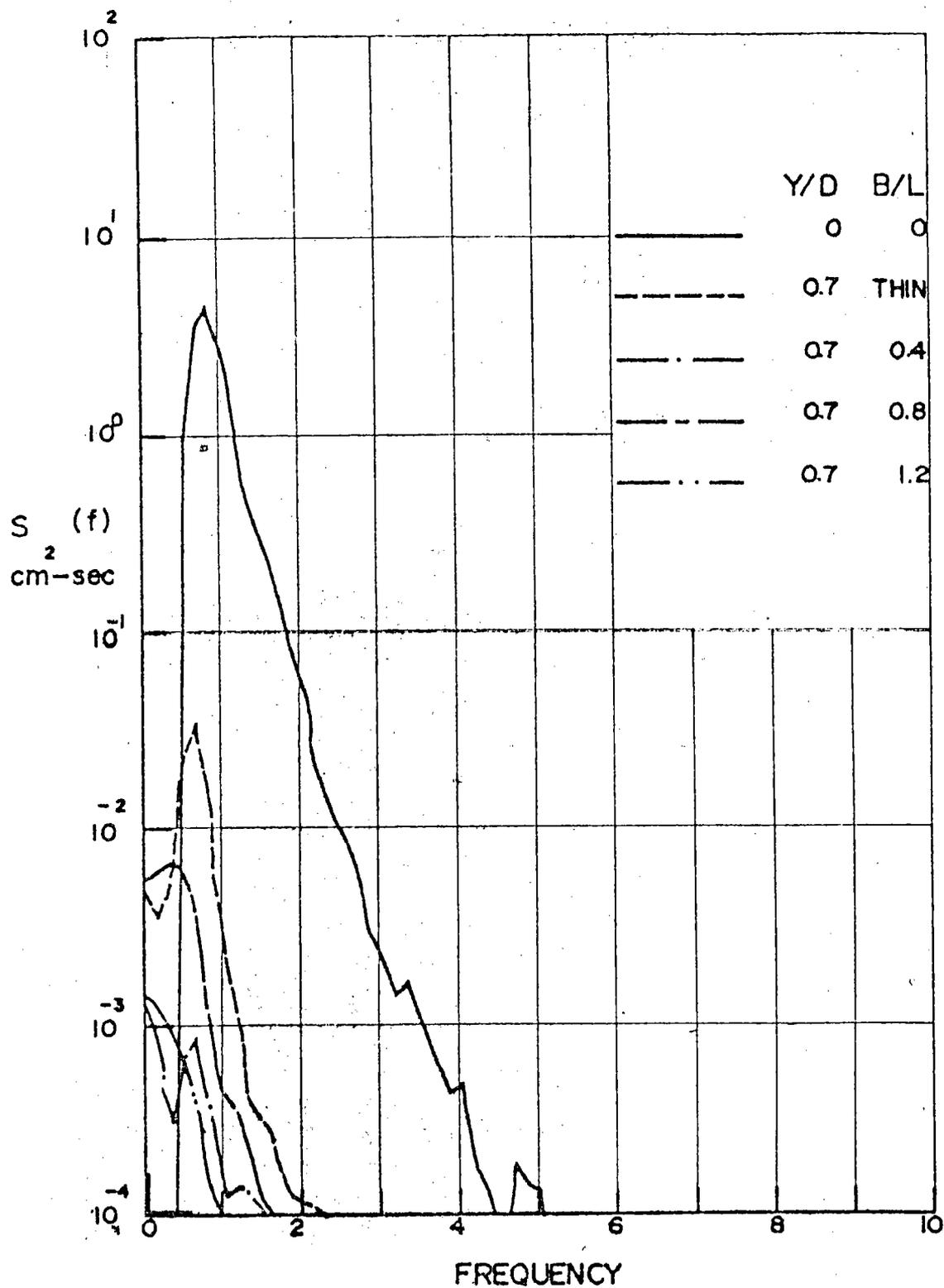


圖 5 - 5 - 26 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.4, \frac{H_0}{L_0} = 0.0263 \right)$$

WAVE SPECTRUM

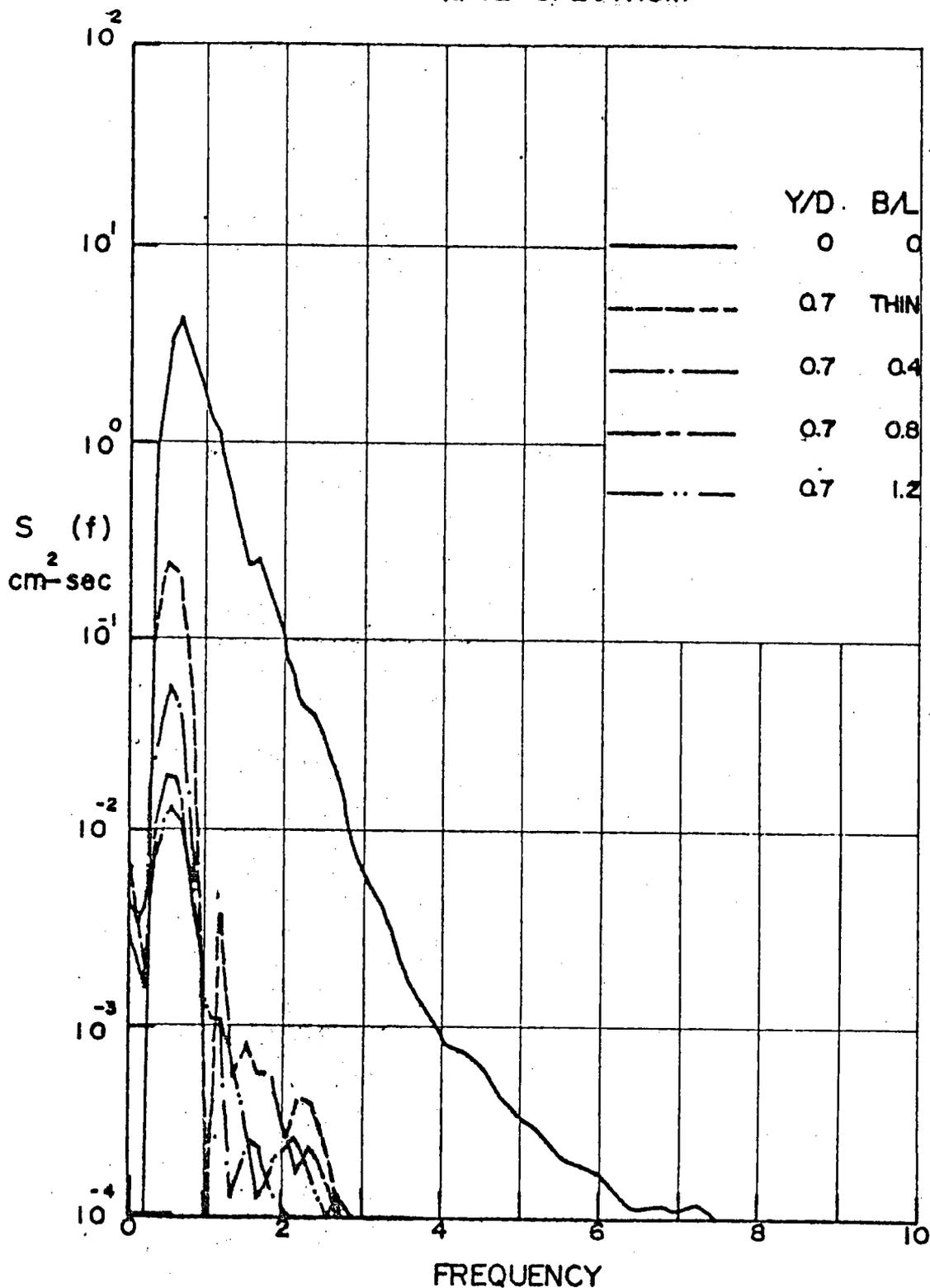


圖 5 - 5 - 27 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.3, \frac{H_0}{L_0} = 0.0194 \right)$$

WAVE SPECTRUM

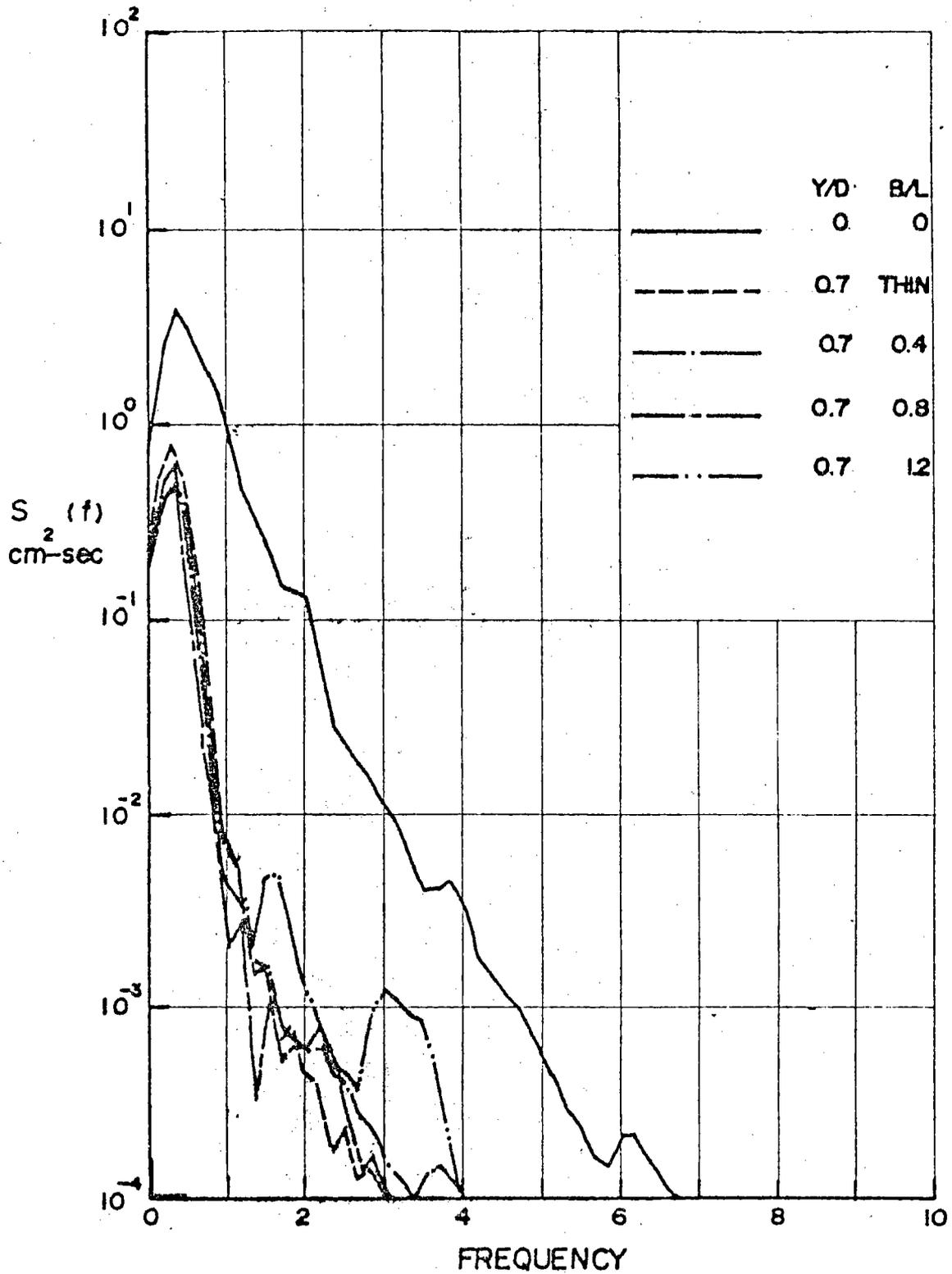


圖 5 - 5 - 28 鋼性浮式防波堤 q 值一定傳遞波譜與 $\frac{B}{L}$ 之關係

$$\left(\frac{d}{L} = 0.2, \frac{H_0}{L_0} = 0.0122 \right)$$

六、結論與討論

- (一)波浪作用於鋼性浮式防波堤後，傳遞波係數，因理論公式忽略浮堤底部渦流所造成之能量損耗，因此計算值較試驗值偏大，但受 B/L ， d/L 及 y/d 之影響有相同之趨勢。
- (二)規則波與不規則波試驗結果，傳遞係數 K_t ，無論改變任何參數，採用不規則波試驗所得傳遞係數均較規則波試驗結果大。
- (三)鋼性浮式防波堤對入射波阻尼作用，隨相對水深 d/L ，相對寬度 B/L 及浮堤吃水深度比 y/d 等增加而增加。
- (四)本試驗研究顯示，鋼性浮式防波堤較適合建築於較大水深 ($d/L \geq 0.3$) 處。此仍因為深水波能量集中於水面附近；而淺水波浪水底部份水分子極為活躍之緣故。根據試驗資料研判浮堤吃水深度比 q 以 0.3 為最理想；浮堤相對寬度則不以超過 0.4 為最經濟斷面。

第六章 綜合結論與建議

一、結 論

(一)港池波浪與船體動力

1 港池測點波高分佈

港池測點波高係數分佈，規則波較散亂，而不規則波則較一致。大體而言，不規則波試驗結果，可以代表規則波試驗之平均值。

2 船體運動、護舷壓力及纜繩拉力情形

規則波與不規則波試驗結果，船體運動、護舷壓力與纜繩拉力均隨波高與週期增加而加大，但不規則波群波引起之長浪影響，船體運動、護舷壓力與纜繩拉力均較規則波增大數倍，且感應波高與週期變化較為顯著。

(二)波浪溯上與傳遞波

1 波浪傳遞係數 K_t 與相對胸牆高度 H_c/R 之關係

規則波 K_t 與 H_c/R 關係，線性與二次方程式分別為

$$K_t = 0.594 (1.02 - H_c/R)$$

$$K_t = 0.415 + 0.415 H_c/R - 0.493 (H_c/R)^2$$

不規則波示性波傳遞係數 $(K_t)_{1/3}$ 與 H_c/R 關係，線性及二次方程式分別為

$$(K_t)_{1/3} = 0.478 (1.16 - H_c/R)$$

$$(K_t)_{1/3} = 0.497 - 0.248 H_c/R - 0.215 (H_c/R)^2$$

2 胸牆高度 H_c 與波浪傳遞係數 K_t 、相對溯上 R/H 之關係

當胸牆較低時，規則波傳遞係數大於不規則波，而胸牆增高至 $H_c/R = 0.5$ 時，不規則波傳遞係數反而大於規則波。規則波與不規則波對波浪溯上影響亦有相同之趨勢。當胸牆較低時規則波溯上大於不規

則波；而胸牆高度增高約等於入射波高時，不規則波相對溯上較規則波約大 10%。

(三) 鋼性浮式防波堤傳遞波

1. 波浪作用於鋼性浮式防波堤後，傳遞波係數隨相對堤寬 B/L ，相對水深 d/L 及浮堤吃水深比 y/d 三種無因次參數增大而減小。理論公式因忽略能量損耗，計算值較試驗值偏大。
2. 因深水波能量集中於水面附近，而淺水波水底部份水分子仍極活躍，故鋼性浮式防波堤較適合建築於較大水深處 ($d/L \geq 0.3$)。根據試驗資料研判，浮堤吃水深比 q 以 0.3 最理想，浮堤相對寬度 B/L 以不超過 0.4 為最經濟斷面。
3. 採用不規則波試驗浮式防波堤傳遞波係數，較規則波試驗為大。

二、建 議

- (一) 綜合以上模型試驗結論，海面上不規則波作用於防波堤後港池波浪分佈，船體所受動力；波浪遇結構物後造成溯上及傳遞波等，均不可能以單一規則波代表。利用單一規則波試驗所造成之誤差，小者在 10% 左右，如溯上傳遞波等；大者高達數倍，如船體運動、纜繩拉力等。因此建議爾後辦理模型試驗應儘量避免採用規則波，尤其是船模動力方面。如果因設備限制，則必需視試驗性質作必要之修正。
- (二) 鋼性浮式防波堤建築於較大水深處，消波效果相當理想；但其受力與穩定性，施工技術等可行性均有待進一步研究。
- (三) 辦理港池遮蔽試驗主要目的在了解防波堤各種佈置防浪效果，採用規則波試驗大致可獲得港口受外海波浪侵襲時，港內波浪分佈，但對辦理船體動力試驗則毫無可信度。興建港灣主要用途則在提供船隻碇泊、裝卸處所。港池內波高大小並不是船體運動唯一指標。因此建議，辦理遮蔽試驗時，應選擇若干船席辦理船模動力試驗。

參考書籍

1. U. S. Army, CERC, Shore Protection Manual, 1977.
2. U. S. Army, CERC, Coastal Hydraulic Models May, 1979.
3. Per Brum and Ali Riza Günbak, Risk Criteria in Design Stability of Sloping Structure in Relation to $\xi = -\tan\alpha/\sqrt{H/L}$ Symposium on Design of Rubble Mound Breakwaters, 1977.
4. Jhon Ahrens, Prediction of Irregular Wave Runup, CERC, July, 1977.
5. Philip N. Stoa, Wave Runup on Rough Slopes, CERC, July, 1979.
6. Philip N. Stoa, Revised Wave Runup Curves for Smooth Slopes, CERC, July, 1978.
7. Technical Advisory Committee on Protection against Inundation, Wave Runup and Overtopping, Jan., 1972.
8. J. W. Kamphuis and N. Mohamed, Runup of Irregular Waves on Plane Smooth Slope, ASCE, Vol. 104, No. WWZ May, 1978.
9. DHI, Puerto de Carboneras, Wave Disturbance Model Test, Nov., 1982.
10. Aage, Christian, Loading of Ship Models, DHI, 1982.
11. N-E Ottesen Hansen et al, Correct Reproduction of Long Waves in Physical Models, 17th Conference on Coastal Engineering 1980.
12. Stig E. Sand, Long Wave Problem in Laboratory Models, Journal of Waterway Hydraulics.
13. Ursell F., "The effect of a vertical barrier on surface waves in deep water," Proc. Camb. Phil. Soc., Vol. 43, 1947.
14. DEAN, W. R., "On the reflection of surface waves by a submerged plane barrier", Proc. Camb. Phil. Soc., Vol. 41, 1945.

15. TAKANO, K., "Effects d'un obstacle parallélepipedique sur la propagation de la houle", La Houille Blanche, No. 3, 1960.
16. WIGED, R. L., "Transmission of wave past a rigid vertical thin barrier", J. Waterway and Harbour Division, Proc. of ASOE, 86, WW, 1960.
17. 郭金棟、林西川, "淺水中阻礙物對波浪之影響", 國科會刊物, No. 6, PP. 415-430, 1973.
18. IJIMA, T., CHOU C. R. and YOSHIDA A., "Methods of Analysis two-dimensional water wave problems", Coastal Engineering, 156, ASCE, 1976.
19. FINNIGAN T. D. and YAMANO T., "Analysis of semi-submerged prismatic breakwater", Civil Eng. in the ocean, PP. 380-397, 1979.