

壹、前言

港灣規劃、防波堤佈置，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侵波浪，獲得穩靜水域，便利船隻碇泊裝卸。但此種方法已逐漸被新觀念所淘汰。蓋因碇泊船隻運動（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，而必需同時考慮入侵波浪特性，船隻大小，碼頭型式及錨繫佈置（mooring system）等因素。更重要的是除長週期波外，船體受規則波作用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。

為了解護舷壓力，纜繩拉力與船體運動受波浪特性（規則與不規則），纜繩預拉力（Constant pretension）及碼頭型式（垂直式與棧橋式）之影響；本研究分別採用不同週期、波高加以試驗。並假設容許碇泊及作業條件，根據波浪資料分析全年無法碇泊與不能作業所佔時間。

由於試驗人力與時間有限，未能對改變纜繩強韌度（Stiffness of mooring lines）等錨繫系統作進一步研究，謹將試驗模型、設備、經過與結果敘述如后。

貳、試驗條件

一、試驗佈置

聖喬治港 (St. George harbor) 完全係一人工港，海岸線接近南北走向。外廓堤防佈置係於北側垂直海岸線建一長 350^m 拋石堤一道，堤端約 140^m 處向南折 45°。北堤南側 500^m 建拋石堤垂直等深線至 6^m (18^{ft}) 等深線後，沿等深線向北延伸。港口有效寬度 30^m。港內於南防波堤堤根處建小型船渠及棧橋式碼頭，供停泊漁船拖船及渡船。為獲得泊渠穩靜於距南堤堤頭 25^m 處建突堤長 50^m。港池佈置如圖 2-1。

本試驗研究，係利用此模型略加修改佈置。拆除棧橋式碼頭及突堤。沿南堤建碼頭長 100^m，碼頭兩端各設置沉箱一座，供船隻繫纜，如圖 2-2。

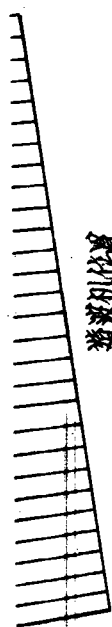
二、試驗波浪

試驗所採用原型波高超過率如圖 2-3。港口直三個波浪代表方向分別為第Ⅰ方向 199°，第Ⅱ方向 236°及第Ⅲ方向 271°，港口直接暴露於第Ⅲ方向波浪侵擊，但此方向波高甚小，不具威脅性。而以第Ⅱ方向波浪對船隻裝卸，碇泊影響最大，本試驗即以此方向進行試驗分析，以瞭解碇靠船隻在各種不同波浪作用下，其動力變化情形。

試驗波浪分為規則波與不規則波兩種，波浪週期範圍由 8.5 秒至 20 秒；波高則由 1.5^m 左右逐步增大至船體移動超出測量極限或港口外發生顯示碎波為止。本研究試驗波浪條件歸納如附錄表 1。

三、試驗水位

試驗水位採用大潮平均高潮位 (HHWL) + 1.52^m (5 ft)，碼頭高度為 3.4^m (6 ft)，碼頭前水深為 - 6.1^m (20 ft)。碼頭係採用棧橋式，其佈置如圖 2-4。



港池和池底

70ft
65ft

● 3 ● 2 ● 1
● 1 波高佈置

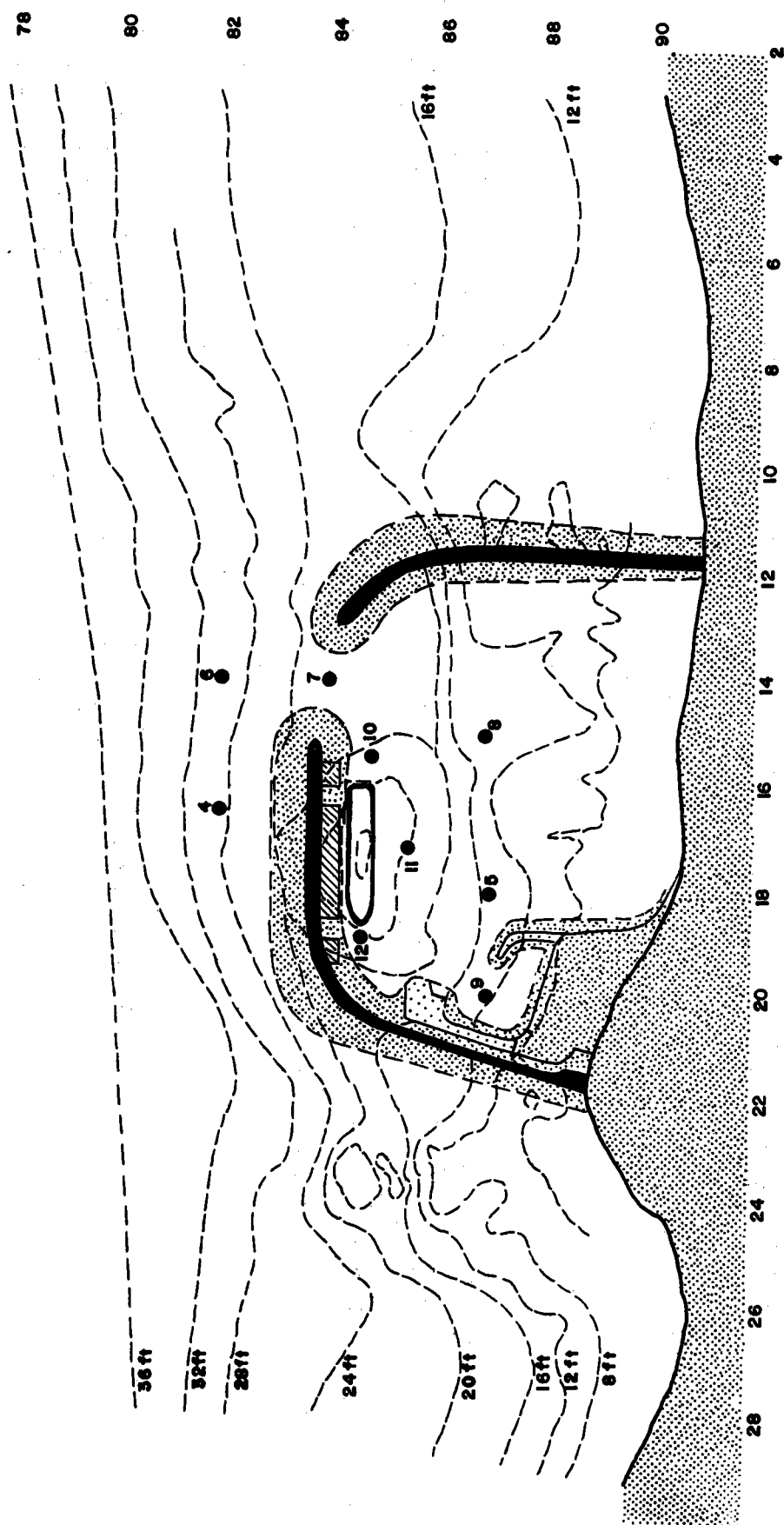


圖 2-2 本研究港池佈置

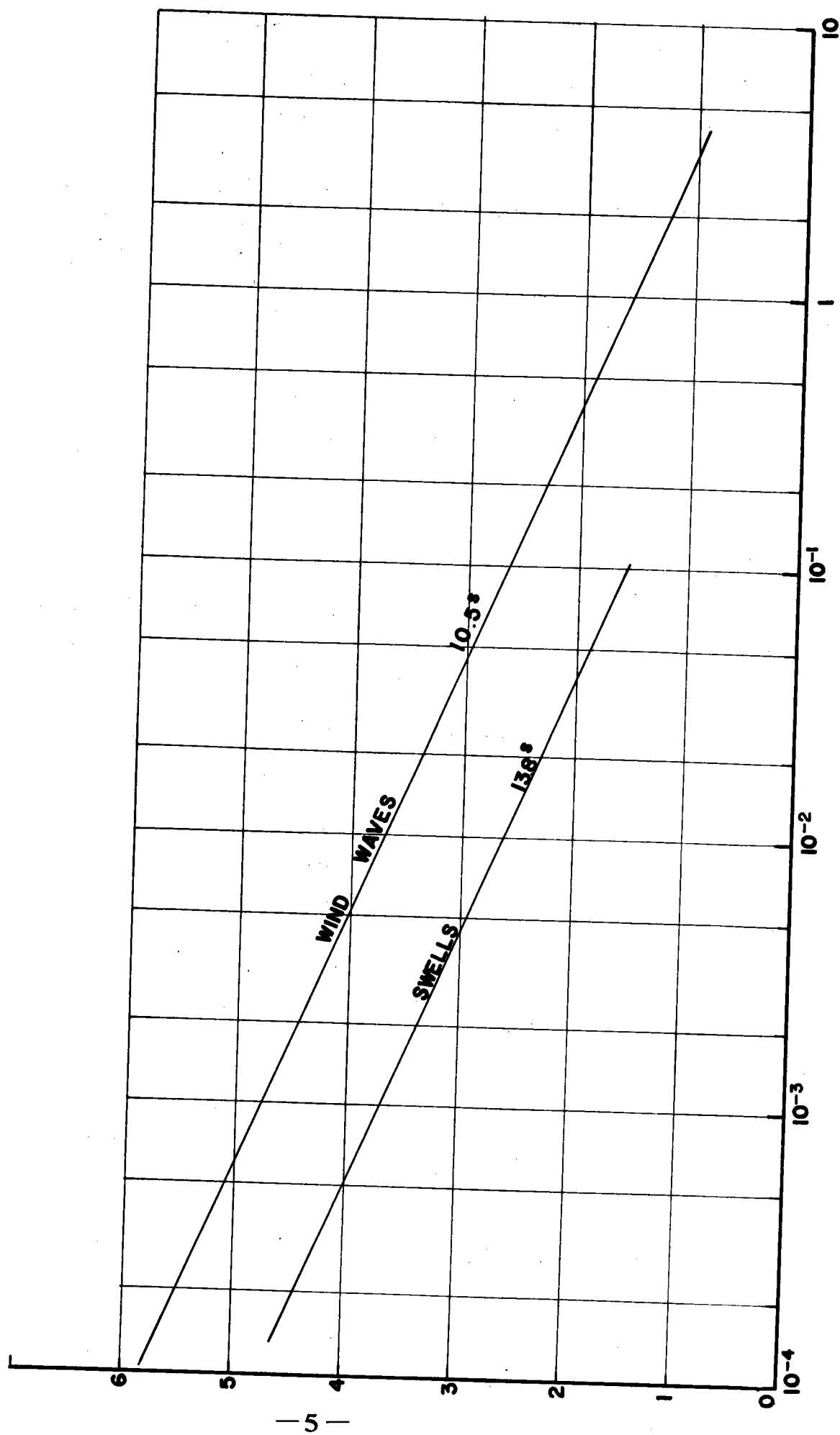


圖 2-3 本試驗波浪條件

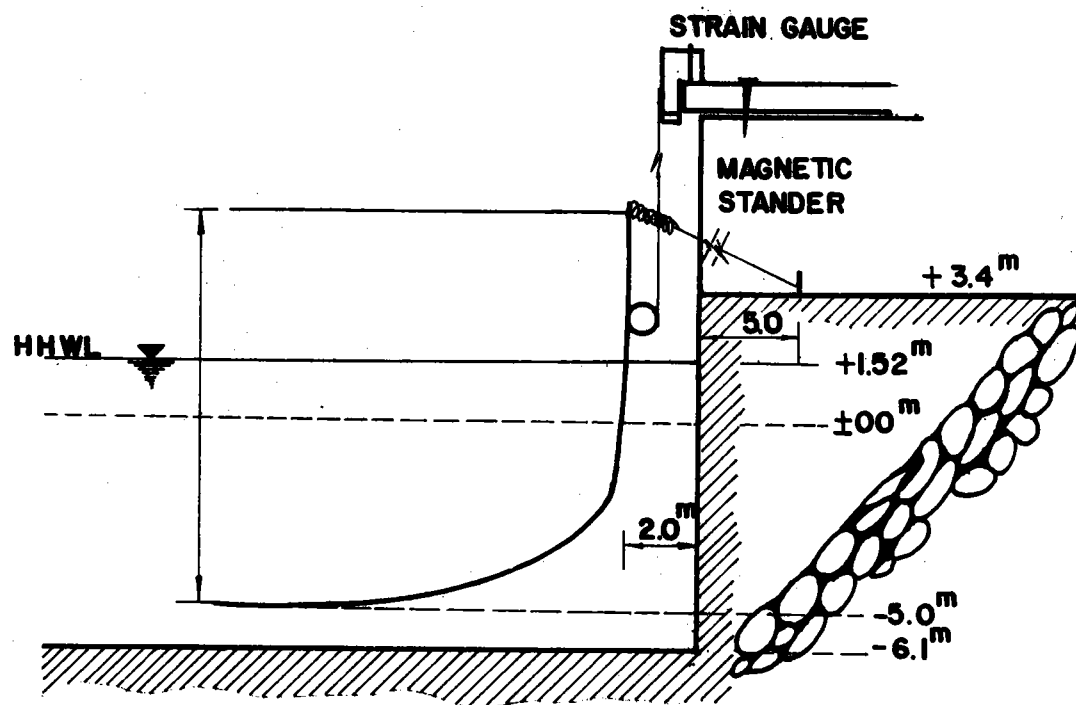


圖 2-4 碼頭構造斷面

叁、試驗設備

本試驗係在丹麥水工研究所辦理，其主要設備為：

一、不規則波造波機

現場波浪紀錄經電算機處理後，選擇波浪較大，且具代表性之一段波群按時間系列打製成紙帶。此種紙帶經由讀紙帶機輸入波浪信號製造機 (Wave signal generator) 利用貝瑟較換方程式 (Biesel transfer function) 以待服 (servo) 傳動軸控制造波板移動位置。其主要動力為兩部 20HP 馬達，使油壓保持在定值 110 巴。

藉改變控制信號，紙帶讀取速度或放大因子可以製造試驗所需尖峯週期 (Peak period) 與示性波高，而維持原型波譜形狀。

造波機亦可製造 0.2 至 22 秒正弦波。其系統如圖 3-1 。

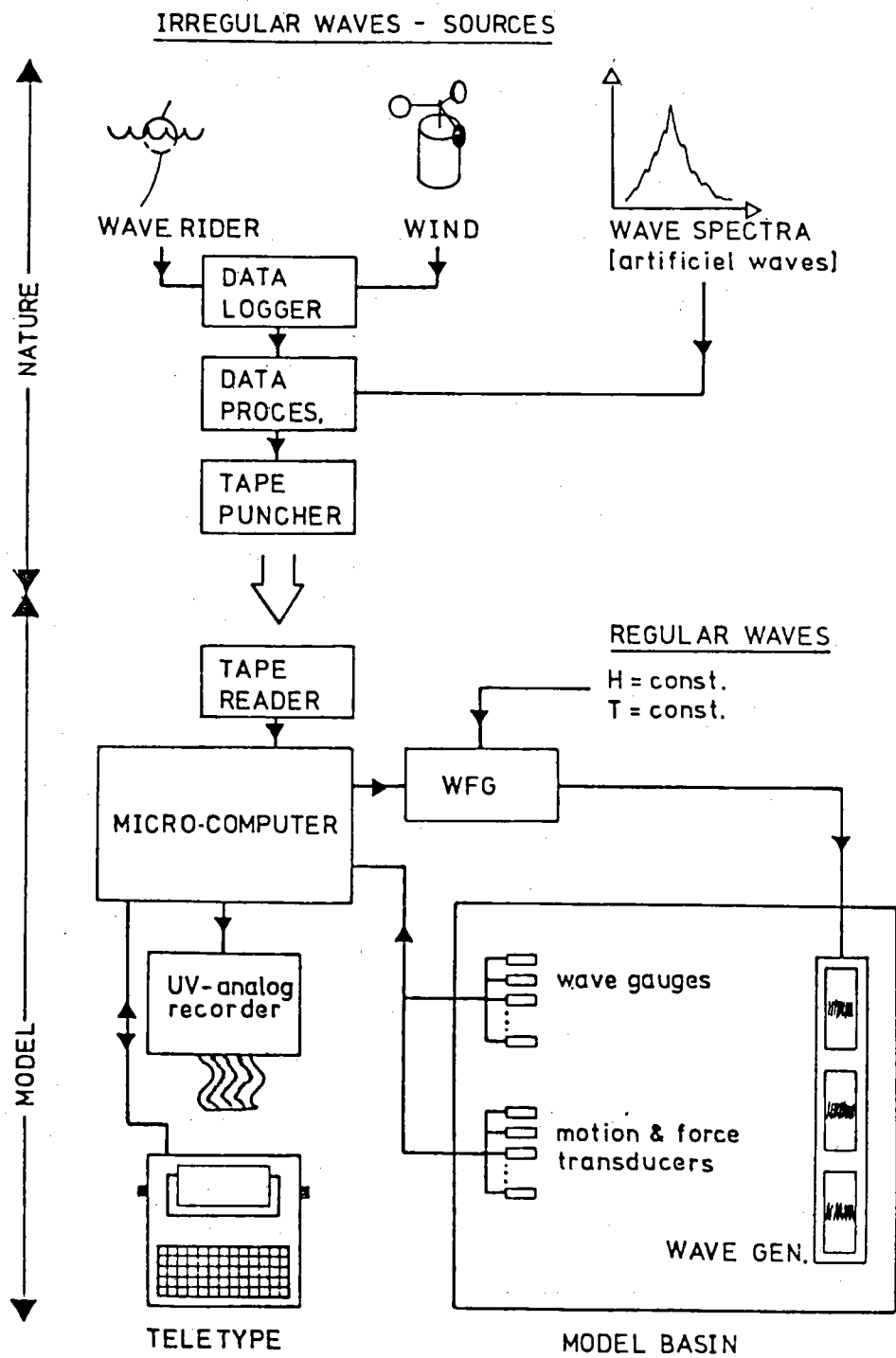


圖 3-1 DHI 造波機及資料處理系統

二、多頻道波浪分析器 (Multi-Channel Wave Analyser)

多頻道波浪分析器，簡稱為MWAⅢ，主要為一部微電腦（常用 Micro computer 代表此系統），32 頻道輸入箱，輸入鍵盤與列表機。

各種輸入類比信號（電壓值）均由 MWA 內部類比／數值轉換器（A/D Convertor）作快速掃描，並根據零線向上（Zero-up crossing）原則分析兩相鄰波峯波谷之值。每次試驗完成時，輸出五十個最大值，全部平均值，及乘方均值平方根（Root mean square）等（如附錄）。必需時可辦理波譜分析掃描速度高達 3 KHZ，取樣速度決定於試驗輸入頻道多寡，例如使用一頻道，取樣速度為 3000 samplings/sec/Ch，如 32 頻道同時使用，則為 93 samplings/sec/Ch。

輸入電壓範圍限制於 ± 5 v，掃描值最小單位為 39 mv。

三、其他試驗儀器

其他試驗儀器包括波高計 12 組，纜繩拉力用應變計六組，護舷用應變計二組，船體運動計六組，UV 紀錄器及電壓計各一台。

肆、試驗模型

一、模型律與縮尺

本研究主要外力為慣力、壓力與重力，採用福祿德模型律應用於下列動力因素：

$$\text{長度} \quad 1 : S = 1 : 50$$

$$\text{時間} \quad 1 : \sqrt{S} = 1 : 7.071$$

$$\text{速度} \quad 1 : \sqrt{S} = 1 : 7.071$$

$$\text{力} \quad 1 : S^3 = 1 : 125,000$$

試驗模型採用線性縮尺 1 : 50 根據水深測量圖建造於 30^m×33^m 試驗水池上。拋石堤、碼頭及海岸均按比例製作，以使原型條件能在模型上重現。

二、船模

船模製作除應考慮幾何相似外，其裝載重量分佈，吃水深（Draft），浮力中心、重心等均應依據原型船隻裝載條件調整，以達成靜力與慣力相似。調整步驟可依 DHI 所訂手冊逐步完成。

本試驗研究船模原型為 125,000tons 散裝船，其原型與模型資料如下表：

	DWT	船 長 L _{PP}	船 寬 W	船 深 D	吃水深 d	排水噸 DT	浮心高 GM	Rolling period Tr	備 註
原型	12,500 ^T	118 ^m	19.4 ^m	10.5 ^m	6.8 ^m	125,000			
模型	100 ^{kg}	236 ^{cm}	38 ^{cm}	21 ^{cm}	13.5 ^{cm}	100 ^{kg}	2.16 ^{cm}	1.9 ^{sec}	

為合理解釋試驗結果，先對錨繫船隻辦理基本試驗以了解其運動自然週期及阻尼(Damping) 特性。船體自由運動阻尼基本特性如圖 4-1

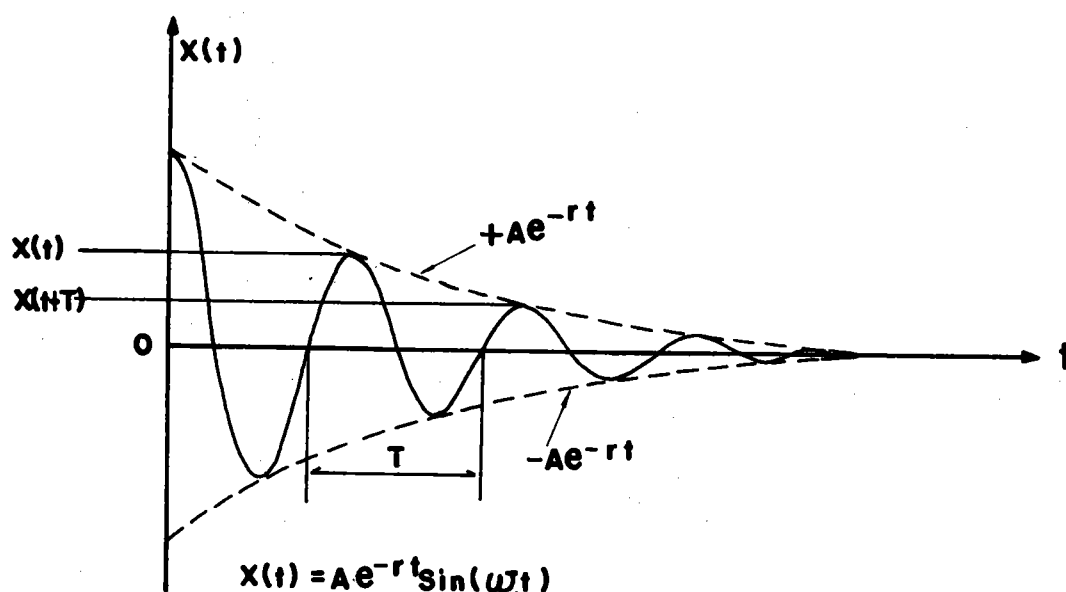


圖 4-1 船體自由運動阻尼特性

振幅阻尼係數 δ

$$\delta = \ln \frac{X(t)}{X(t+T)} = \gamma T$$

T 為其振週期，t 為時間， γ 為常數。

本試驗錨繫船隻特性如下表：

	Surge	Roll	Yaw	Sway
自然週期	42 ^{sec}	13.8	41.6	43.0
振幅阻尼係數	1.30	0.46	0.70	1.37

船體模型滾動 (Rolling) 阻尼曲線如圖 4-2 。

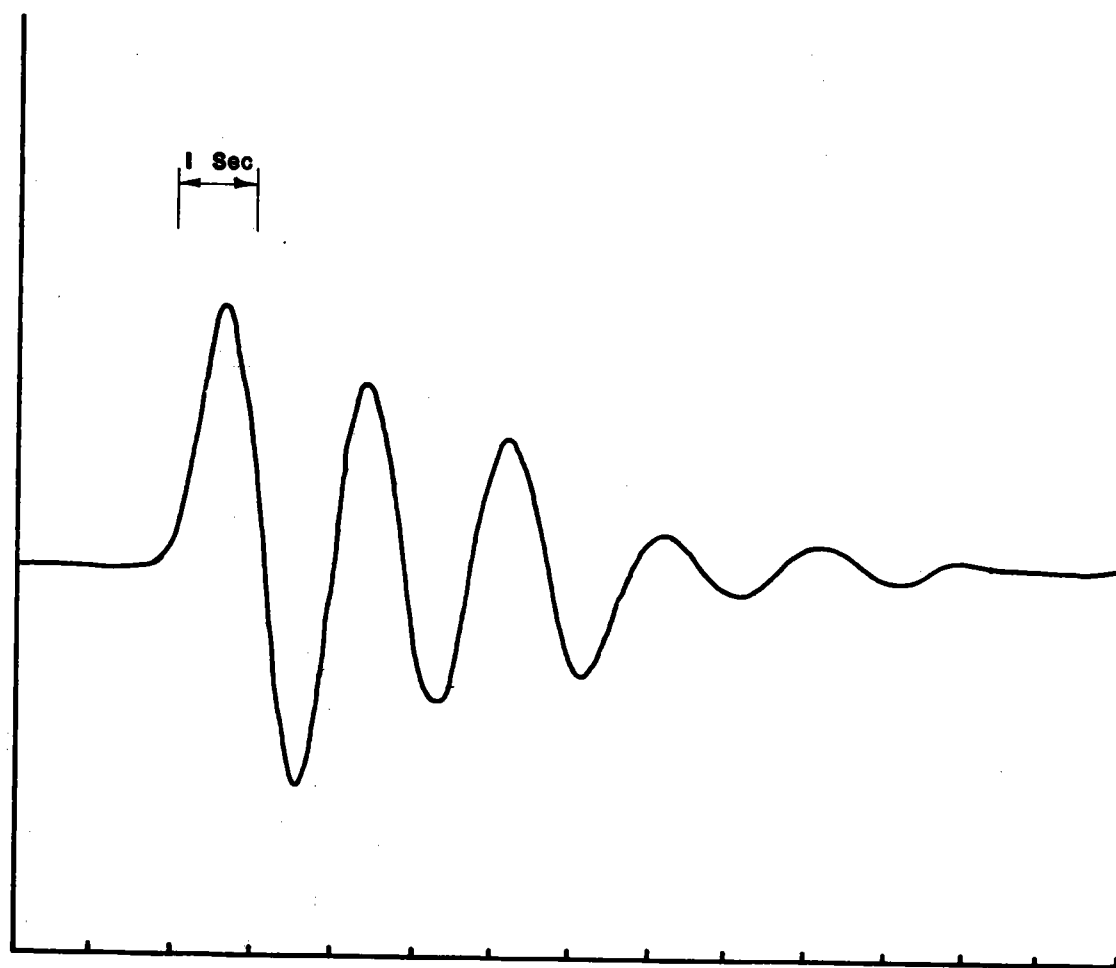


圖 4 - 2 (Damping Curve of Rolling)

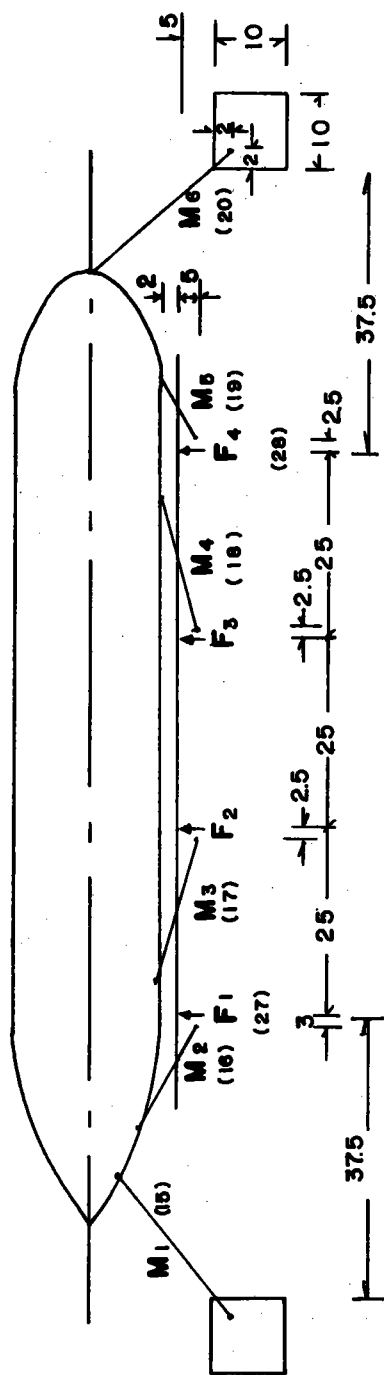
三、纜繩 (Mooring lines)

一般而言，採用纜繩極限拉力 (Breaking strength) 之 60% 至 80%，作為設計容許拉力 (Design strength)。在某種拉力作用下，纜繩產生一定比率之變形 (Deflection)。纜繩力強韌度 (Mooring line stiffness) 為其受力與變形 (拉長) 之比。本研究纜繩錨繫系統 (Mooring system)，如圖 4-3。假設纜繩 (M_4 及 M_5 外) 係由兩條直徑 3^{cm} 鋼索組成，為增加彈性，於末端搭接長 10^m，直徑 5^{cm} 尼龍繩作為尾繩 (Tails)。

纜繩之強韌度直接影響船體運動與纜繩本身受力。利用強韌度較大之纜繩 (如鋼索) 錨繫船隻，雖可約束船隻減少運動，但纜繩拉力因此急劇增加，而容易導致斷纜現象。相反的強韌度較小之錨繫系統可減少纜繩受力，而加大運動幅度。因此尋求適當之纜繩強韌度，可增加碇泊船隻容許裝卸作業波高。

纜繩之受力及彈性決定於其材料與尺寸 如圖 4-2。鋼索與尼龍繩之應力與應變關係曲線如圖 4-4。本試驗纜繩採用每條直徑 3^{cm} 鋼索極限強度為 36 tons，兩條共計 72 tons。直徑 5^{cm} 尼龍繩極限強度為 48 tons，兩條計 96 tons，因此斷纜強度決定於鋼索之拉力強度。設計強度採用極限強度之 70%，故設計強度為 $72 \times 0.7 \approx 50$ tons。尼龍繩設計強度拉力與極限強度比為 52%，由圖 4-4，尼龍繩應力應變關係求得拉長比為 20%。10^m 尼龍繩與拉長 2^m，(鋼索拉長量極小，不予考慮)。因此纜繩之強度為 $50 \text{ tons} / 2 \text{ m} = 25 \text{ tons} / \text{m}$ 。

尼龍繩與玻璃纖維繩之應力應變曲線均微成曲線。而模型上纜繩之彈性特性，係採用具有線性應力應變關係之鋼索彈簧圈，選擇預期之最大受力加以模擬製作，如圖 4-2，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。



$M_1 = 24.1^m$ 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 4-3 試驗船模錨繫系統

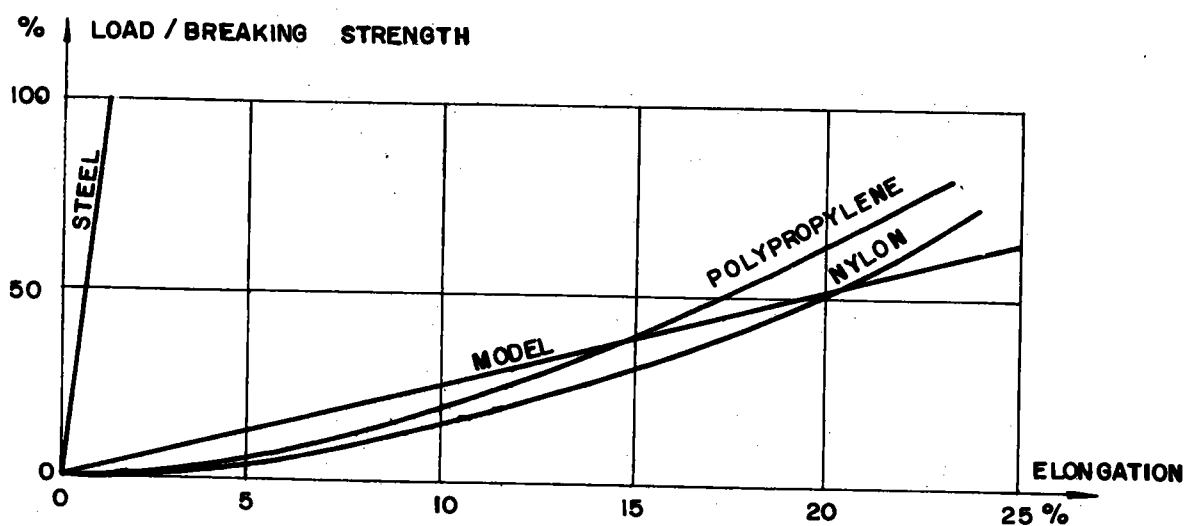
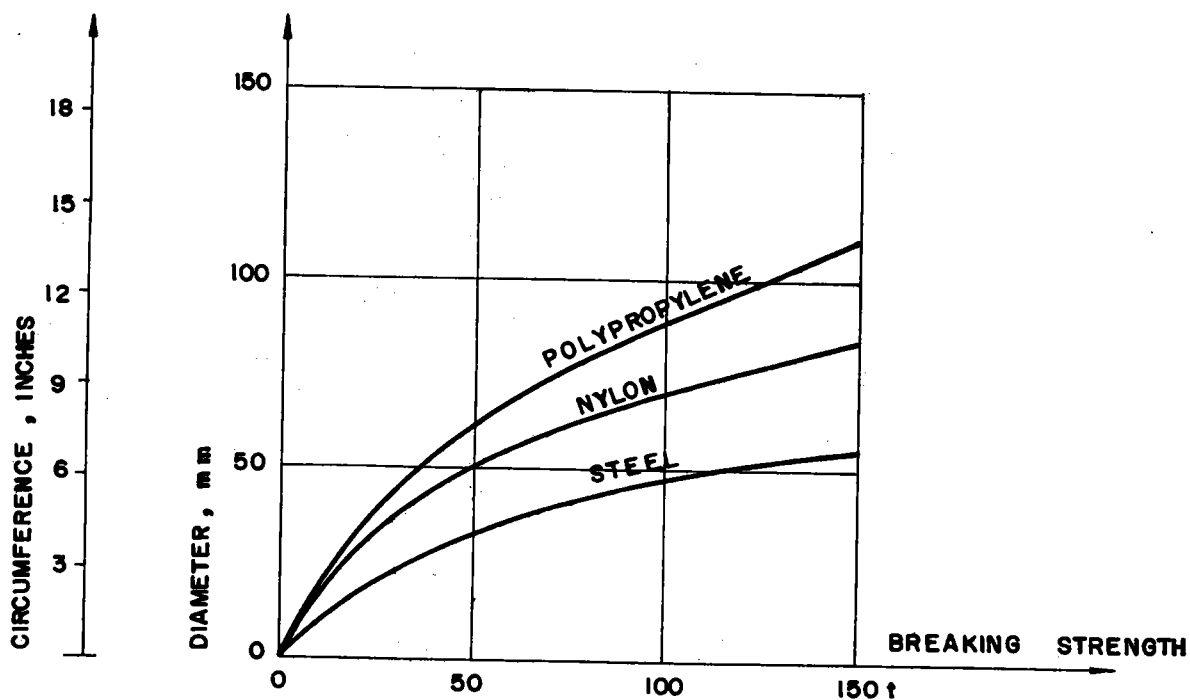


圖 4-4 纜繩極限應力與應力／應變關係圖

試驗時將纜繩一端接於應變計上，則纜繩受力直接作用於應變計，再由其應力應變關係可獲得纜繩所受拉力。

四、護舷

小型船隻以舊輪胎等作為護舷，無固定應力應變關係，其模型可用橡皮管作近似模擬，不能測量護舷壓力。深水船席護舷應力應變關係，主要可分為VREDESTEIN 及 BRIDGESTONE兩大類（如圖4-5）。在模型上，此種應力應變關係可利用彈簧片平衡重組成如圖4-6。將量測護舷模型之應變與運動計分別接於X-Y繪圖儀之兩軸上。逐漸加壓於護舷，則其應力應變曲線應沿原型曲線前進，否則可藉調整彈簧長度，平衡重量與頂距等使重現原型特性。

本試驗採用之護舷模型應力應變關係如圖4-7。

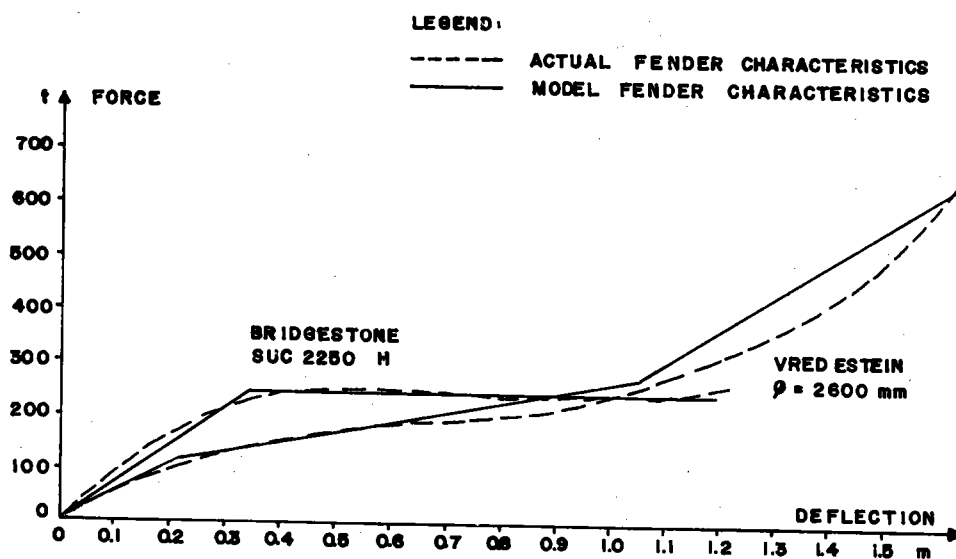


圖4-5 護舷應力應變關係

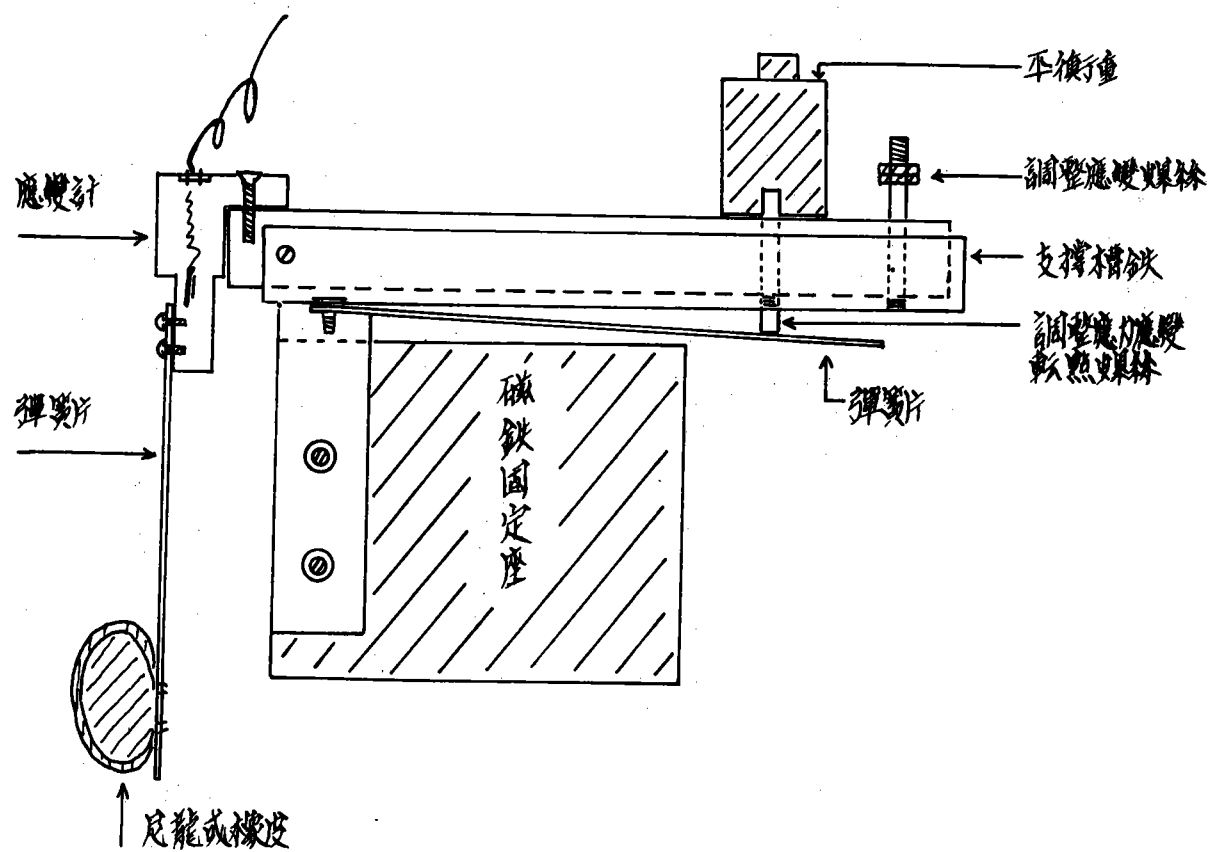


圖 4-6 護舷模型

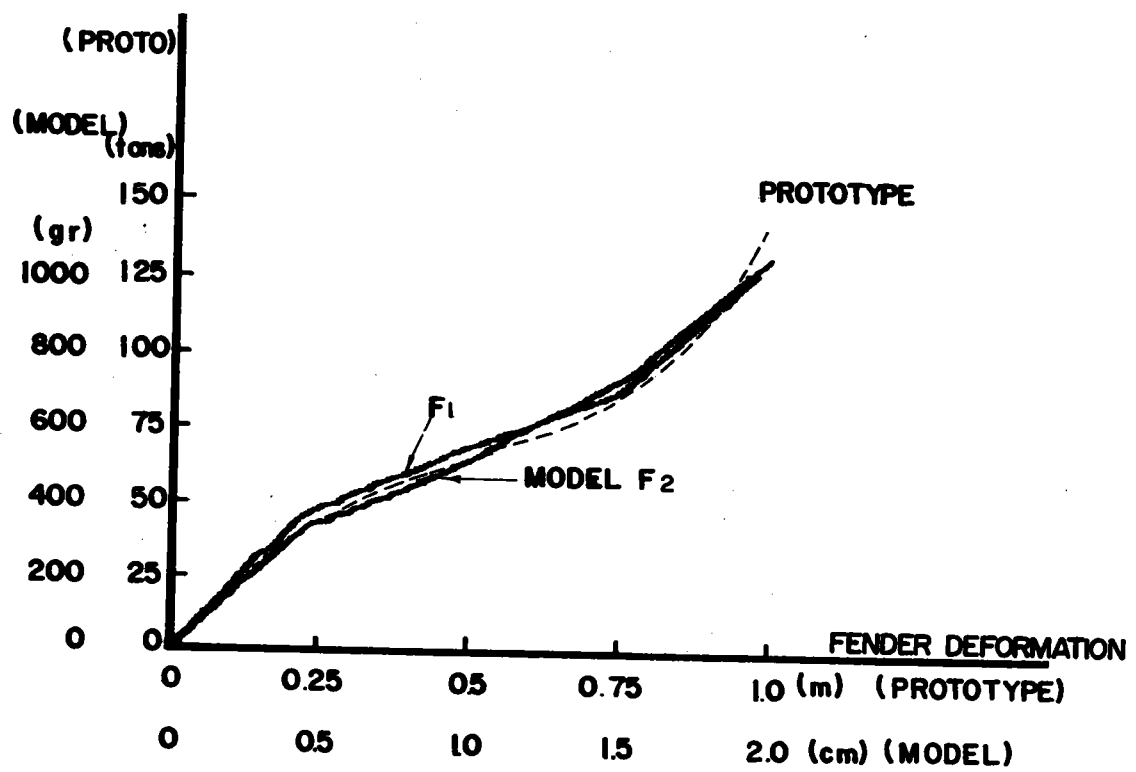


圖 4 - 7 護舷模型與原型應力應變關係

五、模型測量

造波機起動後約 30 秒鐘開始測計，每一試驗測量時間為 8' 30"，（部份規則波為 4' 0"）相當於原型一小時。測量因素包括波高、船體運動、纜繩拉力及護舷壓力等。不規則波試驗紙帶讀速改變時，辦理波譜分析，決定尖峰週期（peak period），茲將各種測量方法分別概述如下：

1. 波高

波高計分佈如圖 2-2，經由 12 個波高感受器感應水位變化信號，直接與 MWA 連線。計算每一測點波高分佈，乘方均值平方根（RMS）平均值等，波高計 1，2 及 3 所測得波浪平均值代表深海波高。原型資料顯示波浪按理萊分佈（Releigh distribution）；即示性波高 $H_s = H_{13.6\%}$ 。為方便計算示性波高 $H_s = 4 \text{ RMS}$ 。波浪分佈係數 $K = H_{s,i} / H_{s,0}$ ， $H_{s,i}$ 表示第 i 點示波性高， $H_{s,0}$ 為深海示性波高。

試驗過程中，可選擇任意點，利用 UV 紀錄器，作類比紀錄以便了解延時變化情形。

2. 船體運動

自由浮動船體可發生仰俯（Heave）滾動（Roll）及顛簸（pitch）三種自然週期運動。錨繫船體則另外增加縱向動向（Surge），橫向擺動（Sway）及水平轉動（Yaw）。船體之各種運動均可以利用運動計（Movement meter）測量，本試驗運動計佈置如圖 4-8。

每一試驗，船體運動經 A/D 掃瞄，取得電壓數值，由微電腦分析計算，求得兩相鄰尖峰最大值，平均值及 RMS 等。

船體擺動因素計算公式為：

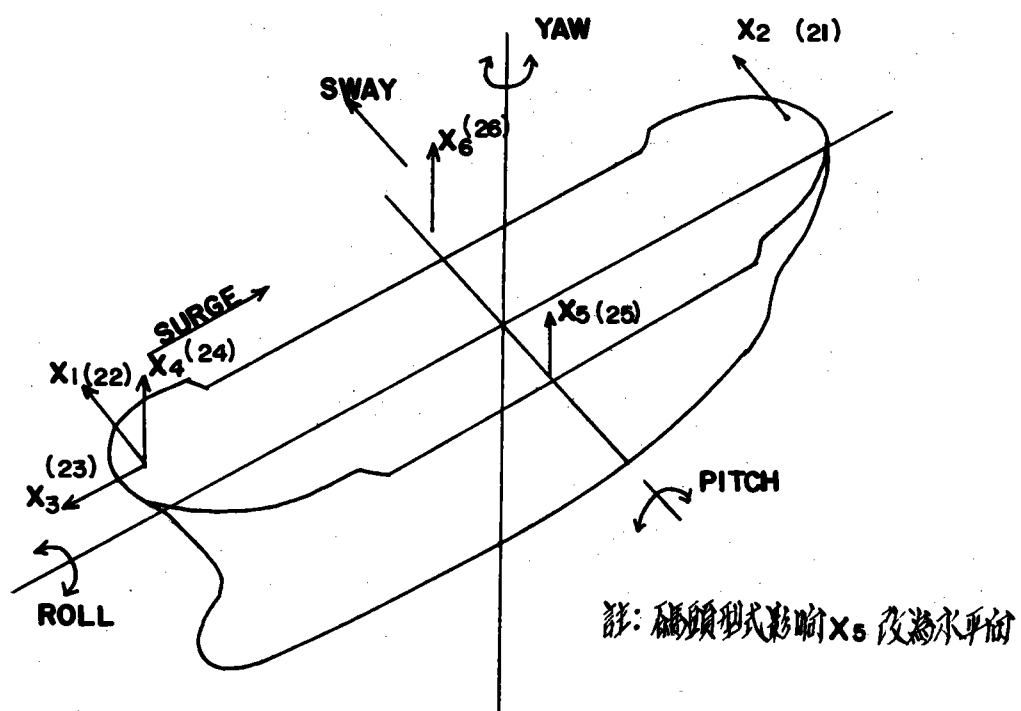


圖 4-8 運動計佈置圖

$$\text{Roll} = \frac{X_6 - X_5}{b} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\text{Surge} = X_3$$

$$\text{Transverse Bow} = X_1$$

$$\text{Vertical} = X_4$$

$$\text{Heave} = \frac{X_5 + X_6}{2}$$

$$\text{Sway} = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

$$\text{Yaw} = \frac{X_1 - X_2}{\ell} \cdot \frac{180}{\pi}$$

除縱向、橫向及垂直向運動外，均需同時考慮時序 (Time Series) 或直接利用 SUM-DIFF Amplifier 加以分析。本試驗碼頭型式影響，將 X_5 改為水平運動直接測取橫向擺動。各種轉動均未予分析。

3. 纜繩拉力

纜繩受力時，使應變器感應，經增幅器轉變為電壓，與 MWA 連，分析統計每小時最大受力等。

4. 護舷受力

分別於船首、尾兩護舷裝應變計與 MWA 連線，測量護舷每小時最大受力等。

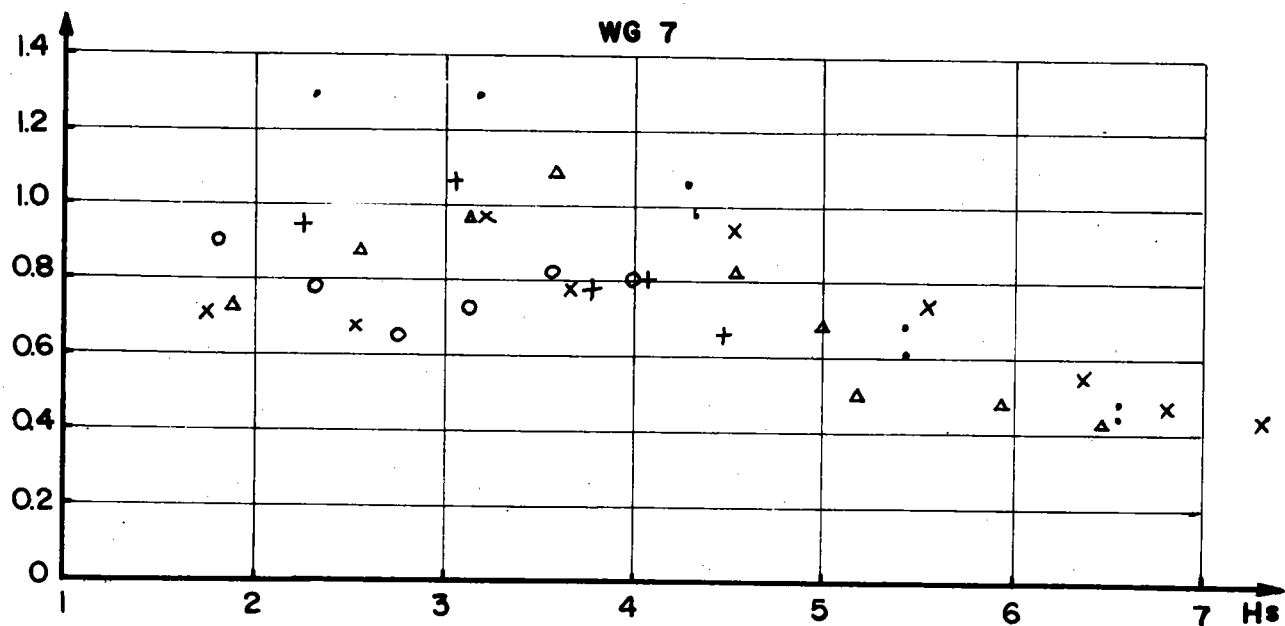
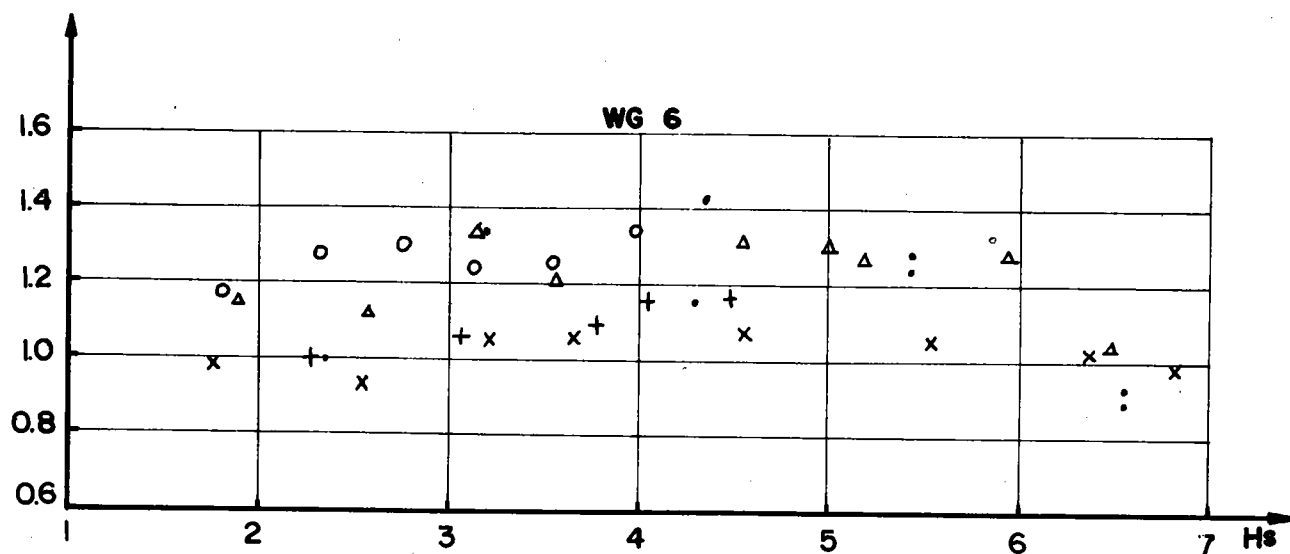
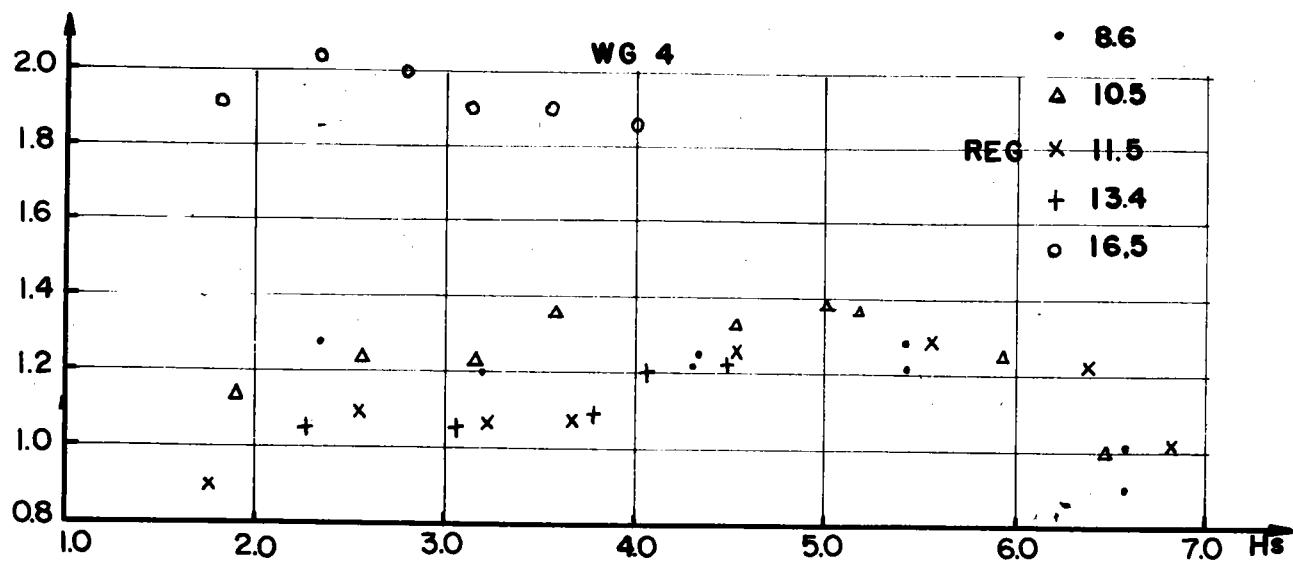


圖 5-1(a) 測點波高係數 (Regular waves)

伍、試驗結果

一、波高分佈

波高計佈置如圖 2-2，規則波試驗，以全部波高平均值代表原型波浪示性波高，不規則波試驗則以 $4 \cdot \text{RMS}$ 作為示性波高，週期以尖峯週期 (Peak period) 表示。

試驗室不規則造波機所製造深海波高分佈如圖 5-2，相當符合理策分佈 (Raleigh distribution)，其示性波高 $H_s = 13.6\%$ ，與利用 $H_s = 4 \times \text{hrms}$ 計算所得結果非常一致。

規則波與不規則波試驗結果波高係數 (Wave height Coefficients)， $K = H_{s1} / H_{s0}$ ，如圖 5-1。第 4 點 (WG 4) 置於防波堤外側約 90 m 處直接受堤防反射及地形淺化影響，波度係數較設於港口外 90 m 處之第 6 點 (WG 6) 略大約 0.05。港內各點波高係數除第 8 點 (WG 8) 正對港口，受入射波直接影響係數較大外，其餘各點係數均不大，在受 6 m 以下入侵波浪作用下，碼頭前船模首、尾及側面 (WG 12、WG 10 及 WG 11)，波高均未超過一公尺，波浪係數隨入射波高增加而略為減小。

採用不規則波試驗時，各測點波高係數相當一致；而規則波係數則甚散亂。一般而言，可以不規則波試驗所得波高係數代表規則波散亂係數之平均值。

不規則波各種週期深海 (WG 1) 及碼頭前水域 (WG 10 及 12) 波浪能譜如圖 5-3。除較長週期 (16.5°) 外，碼頭前長波能量顯著增加。尤其在防波堤折角處船首位置 (WG 12) 幾乎全部能量均集中於 8° 以上波浪。此種長波係造成船體運動最大外力。規則波波譜如圖 5-4 所示。港池泊渠附近 (WG 10) 與深海波能分佈無甚差異，港池未產生長波現象，故船體運動量極小。

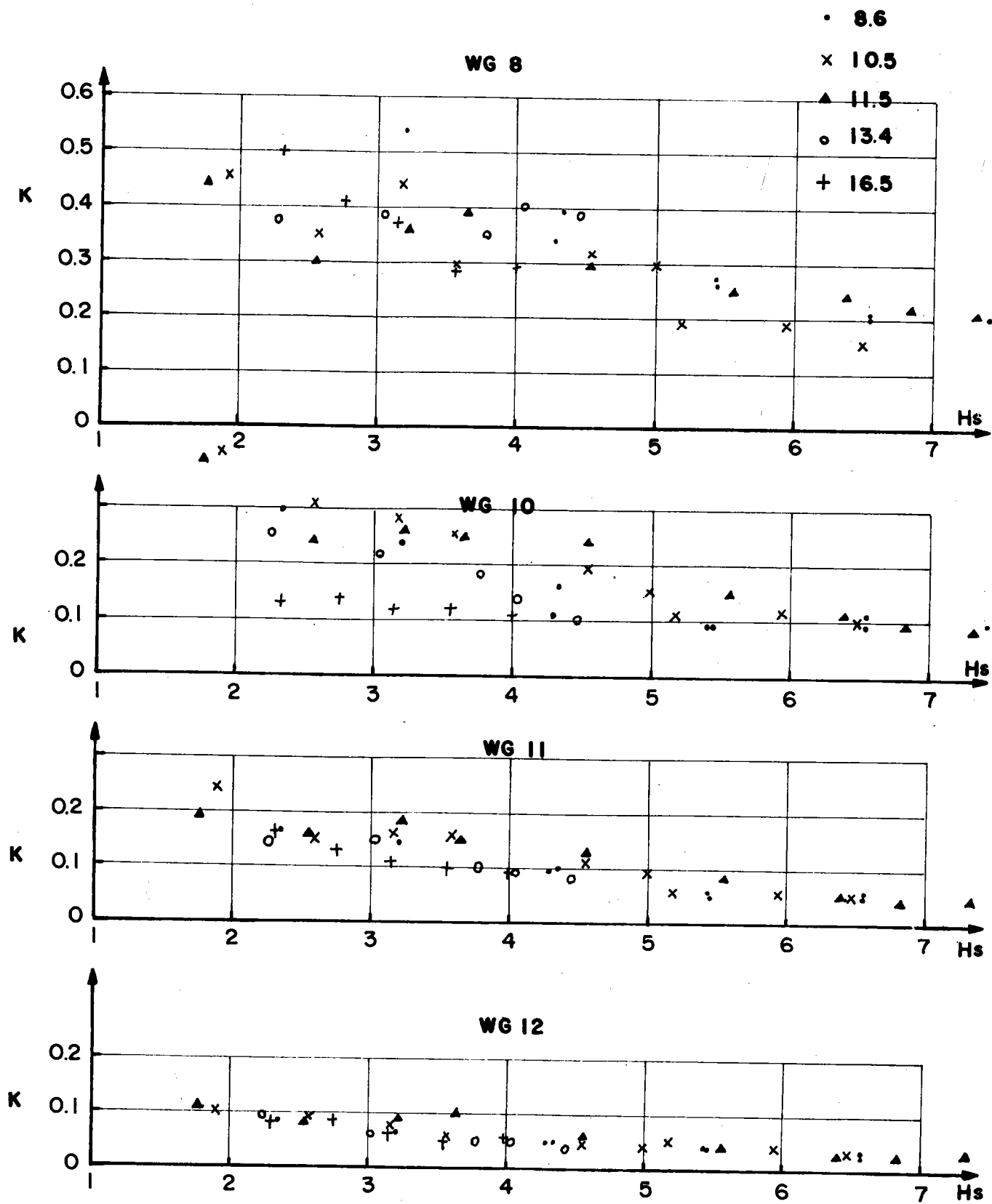


圖 5-1(b) 測點波高係數 (Regular waves)

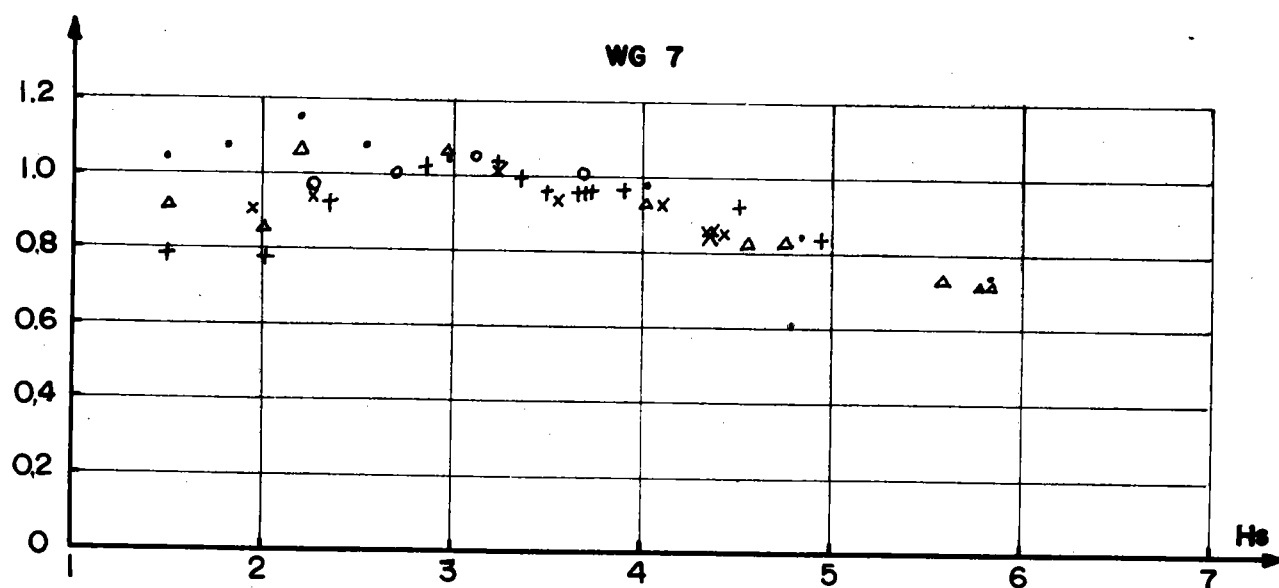
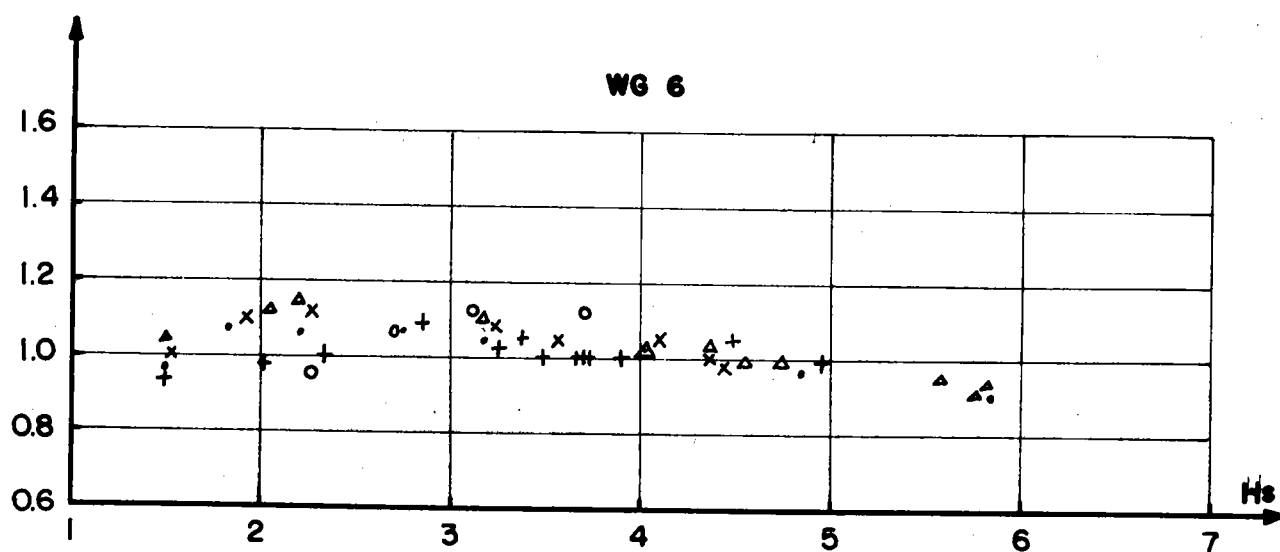
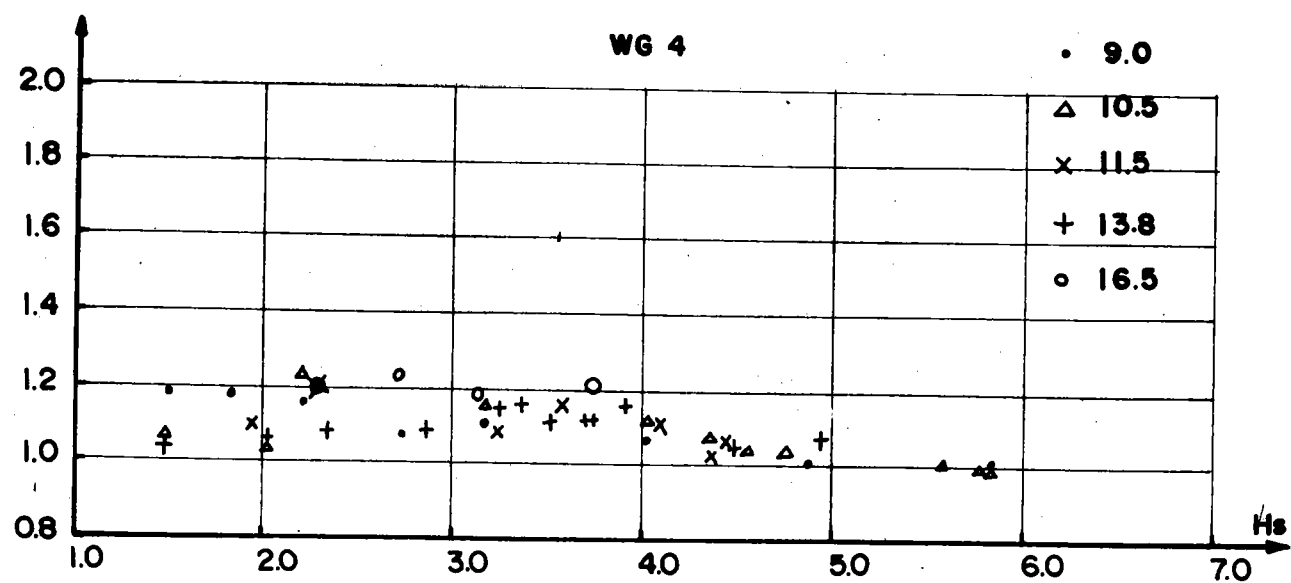


圖 5-1(c) 測點波高係數 (Irregular waves)

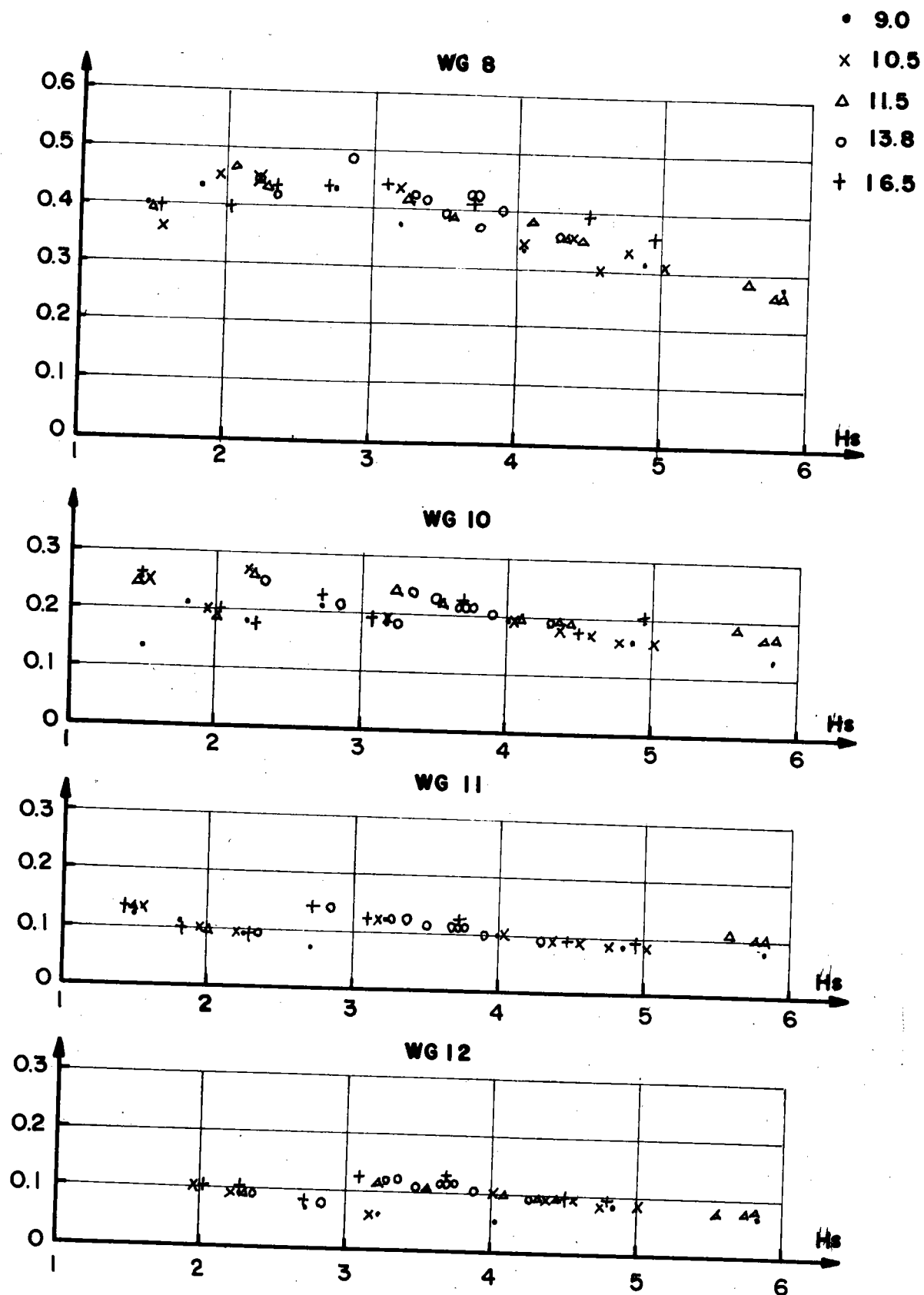


圖 5-1(d) 測點波高係數 (Irregular waves)

Hs

TEST NO, 4-RMS 13.6%

•	253	1.37	1.46
x	255	2.34	2.41
•	257	3.57	3.51
Δ	259	4.49	4.56
□	261	5.46	5.45

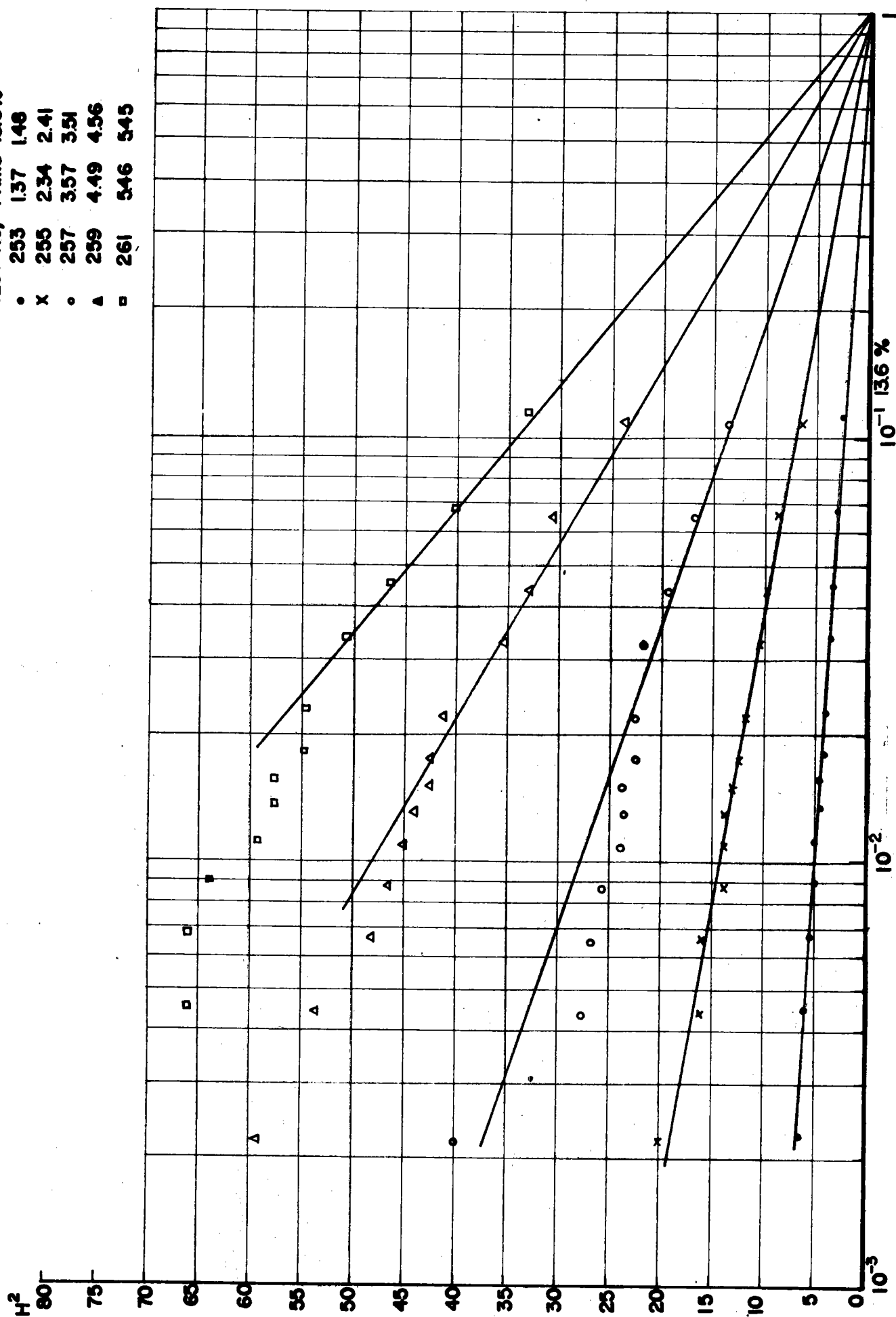


圖 5-2(a) 路 薄波高分布

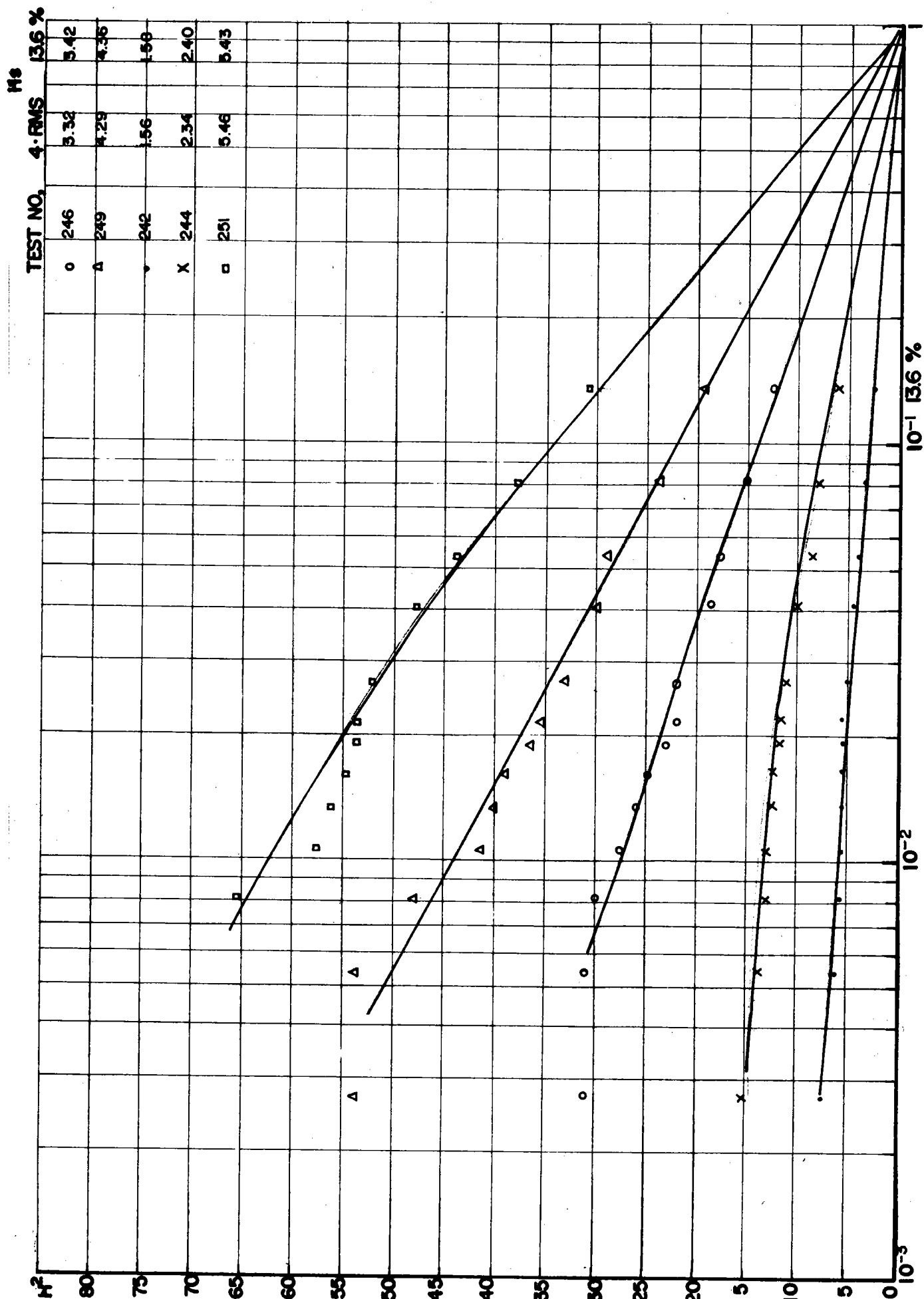


圖 5-2 (b) 深海波高分布

TEST: 00028

DATE: 19830801

NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

CH IN% RMS 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 5-3(a) 深海波浪能譜WG1 T_P = 9^{sec}

```

CH 10% Pn5 11(SEC) 12(SEC) (F) F DESCRIPTION
19 100 0449 001.514 001.256 0.52 s

FRQ 10(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 0.086 *****
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 *
040 000.683 0.999 *
042 000.650 0.999 *
044 000.621 1.000 *

```

圖 5-3 (b) 深海波浪能譜 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	002.341	0.013	***										
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 5-3(c) 深海波浪能譜 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	006.827	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	0.660	#####										
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 5-3(d) 深海波浪能譜 WG1 $T_P = 13.8 \text{ sec}$

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	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	0.003	*										
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 5-3(e) 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 *
014 002.341 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 5-3(f) 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# R05 T1(SEC) T2(SEC) [F] F DESCRIPTION

12 100 0020 007.864 007.410 032.6

```

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 5-3(g) 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 *****
004 003.192 0.355 *****
006 005.461 0.355 *
008 004.096 0.397 *****
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 5-3(h) 碼頭前波浪能譜 WG 10 $T_p = 11.5^{sec}$

TEST: 00046

DATE: 19830803

NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

CH IN% 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

```
009 ..... 0.000 *
002 013.653 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 0.203 *****
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 5-3 (i) 碼頭前波浪能譜 WG 10 $T_p = 13.8^{sec}$

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

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

10 100 0020 002.139 002.114 032 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 0.053 *****
 006 005.461 0.053 *
 008 004.096 0.053 *
 010 003.277 0.053 *
 012 002.731 0.105 *****
 014 002.341 0.737 *****
 016 002.048 1.000 *****

圖 5-3(j) 碼頭前波浪能譜 WG 10 $T_P = 16.5$ sec

NAME: 000001
 DATE: 19830303
 NAME: ST. GEORGE OF C. F. CHADY

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

01 100 0546 001.834 001.811 032.6

FREQ	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	0.986	####										
020	001.638	0.987	*										
022	001.489	0.987	*										
024	001.365	0.987	*										
026	001.260	0.987	*										
028	001.170	0.987	*										
030	001.092	0.987	*										
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 5-4 (a) 規則波深海波能譜 WG1 T=13.6 sec

```

IRG 1000000 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 0.000 *
014 002.341 0.000 *
016 002.048 0.568 *****
018 001.820 0.568 *
020 001.638 0.568 *
022 001.489 0.668 *
024 001.365 0.668 *
026 001.260 0.668 *
028 001.170 0.668 *
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 5-4 (b) 規則波碼頭前波浪能譜 WG 10 T=13.5 sec

二、船體運動

船體運動試驗結果如圖 5-5 所示。雖然規則波在港內所造成波高並不小於不規則波，但除 20 秒長週期波外，其使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，運動量均隨波高與週期成正比增大。尤其船體縱向及船首橫向運動受入射波浪影響甚大。縱向運動量與入射波高幾成 1 : 1 直線增加。船首垂直向運動則受碼頭前波高直接影響。

長週期（20 秒）規則波，因其在船席附近波長約為船長之兩倍，致使船首、尾同時受波峯、谷作用，產生極大之橫向及垂直向運動。但僅增加少量之縱向運動。

不規則波船體縱向及船首橫向運動能量超過率（Rate of exceedance）成半對數直線分佈（Raleiph distribution）如圖 5-6，運動量與波高成比例增加。

船體運動，護舷壓力、纜繩受力與深海、碼頭前波高紀錄，如圖 5-7 所示。

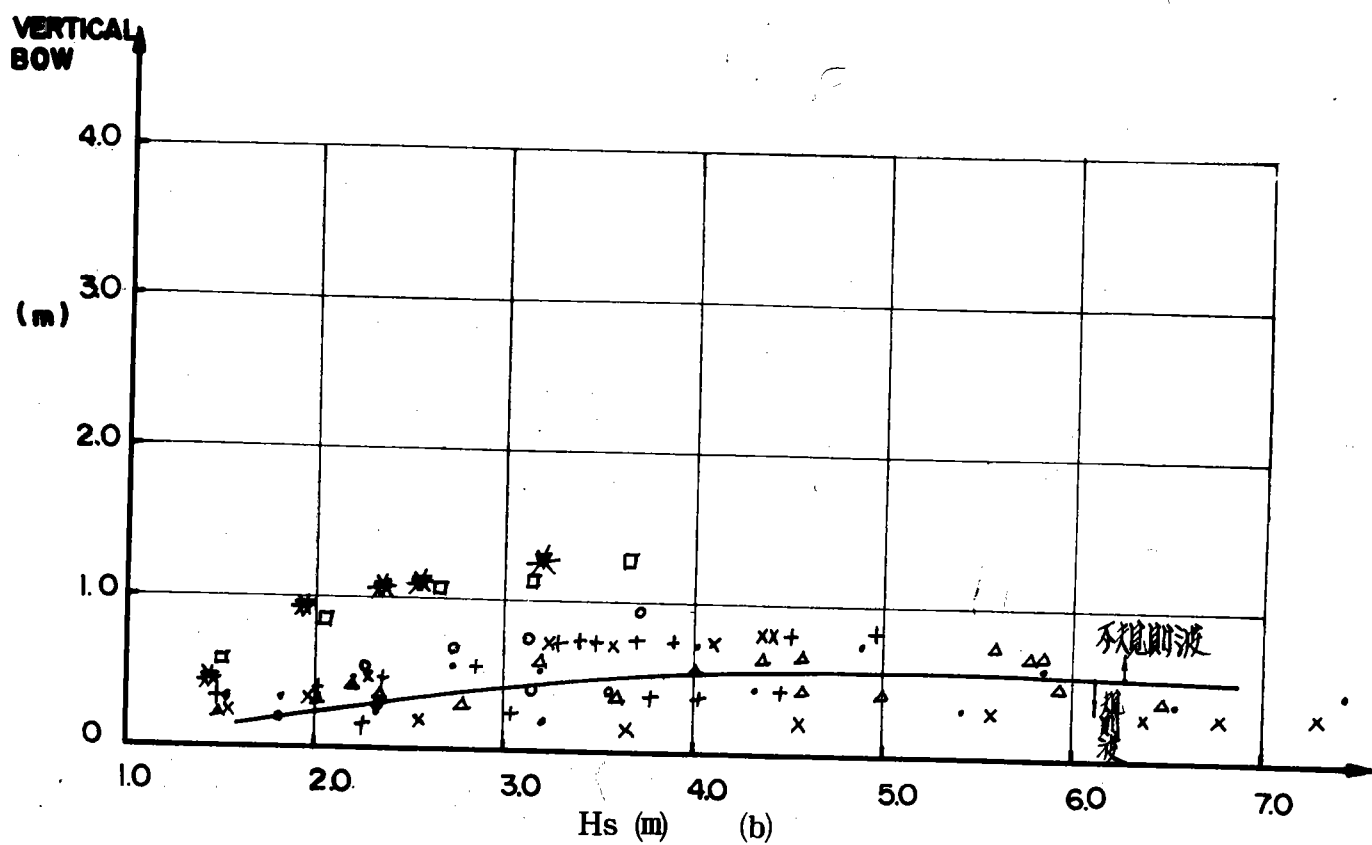
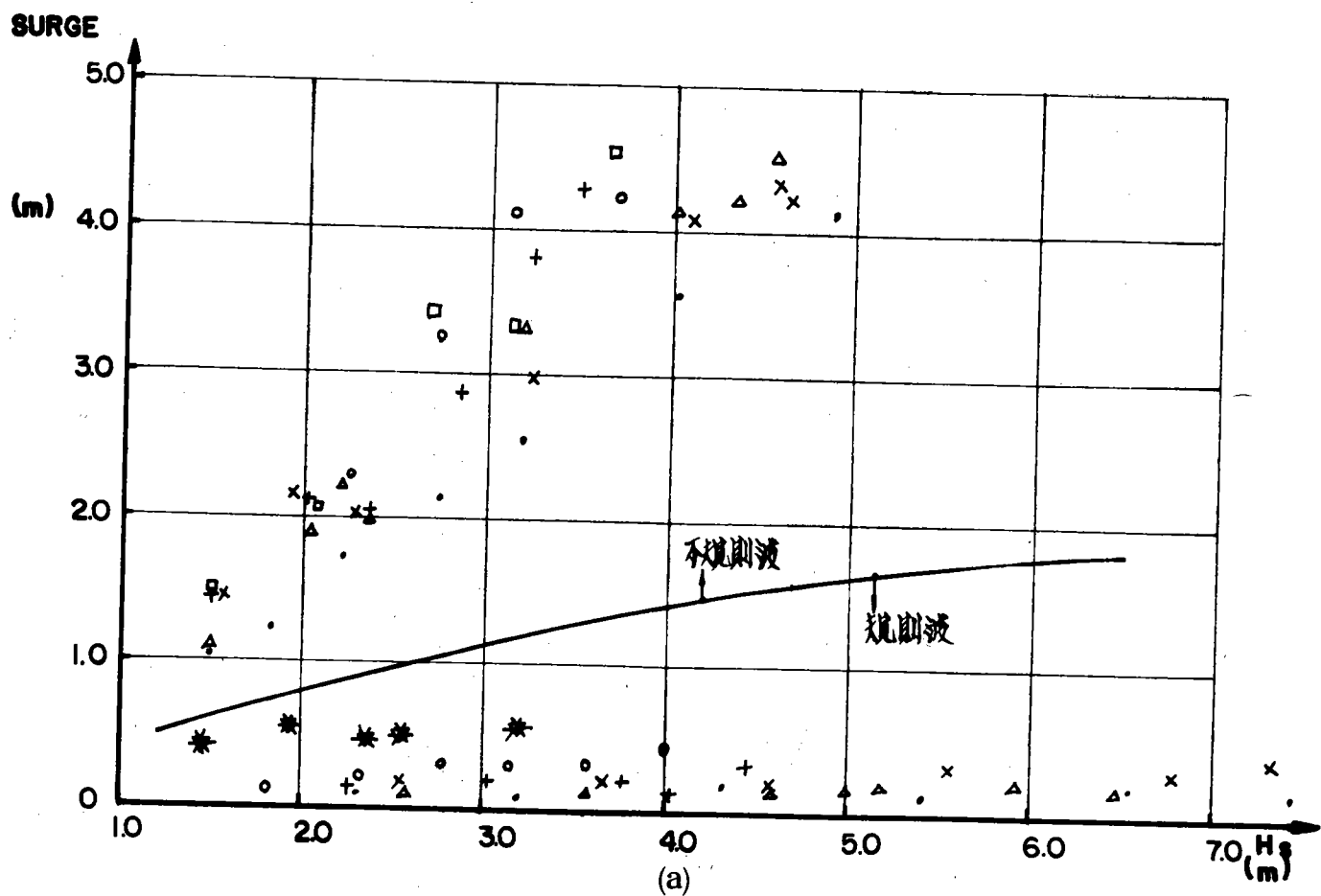


圖 5-5 船體運動

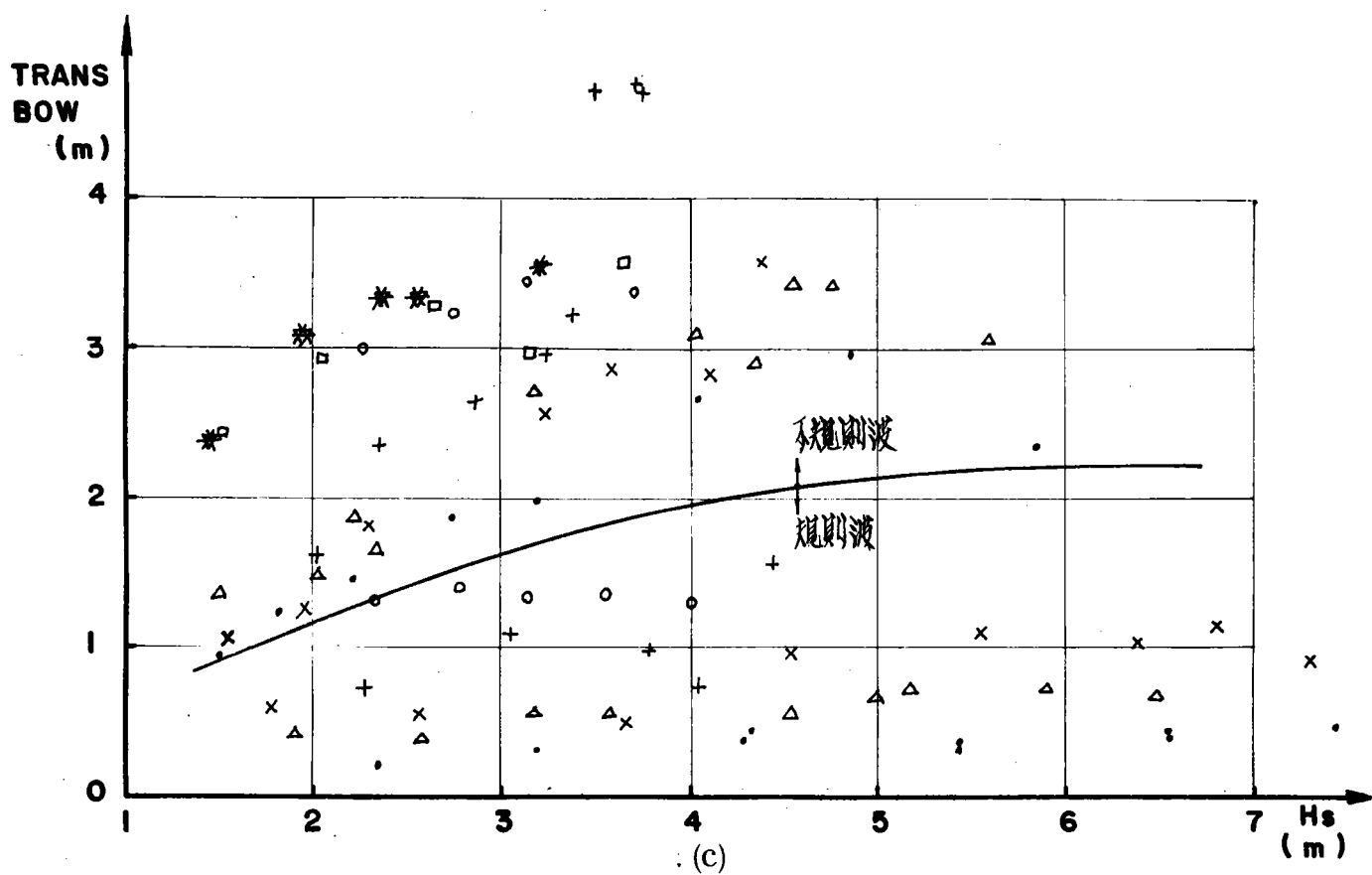


圖 5 - 5 船體運動

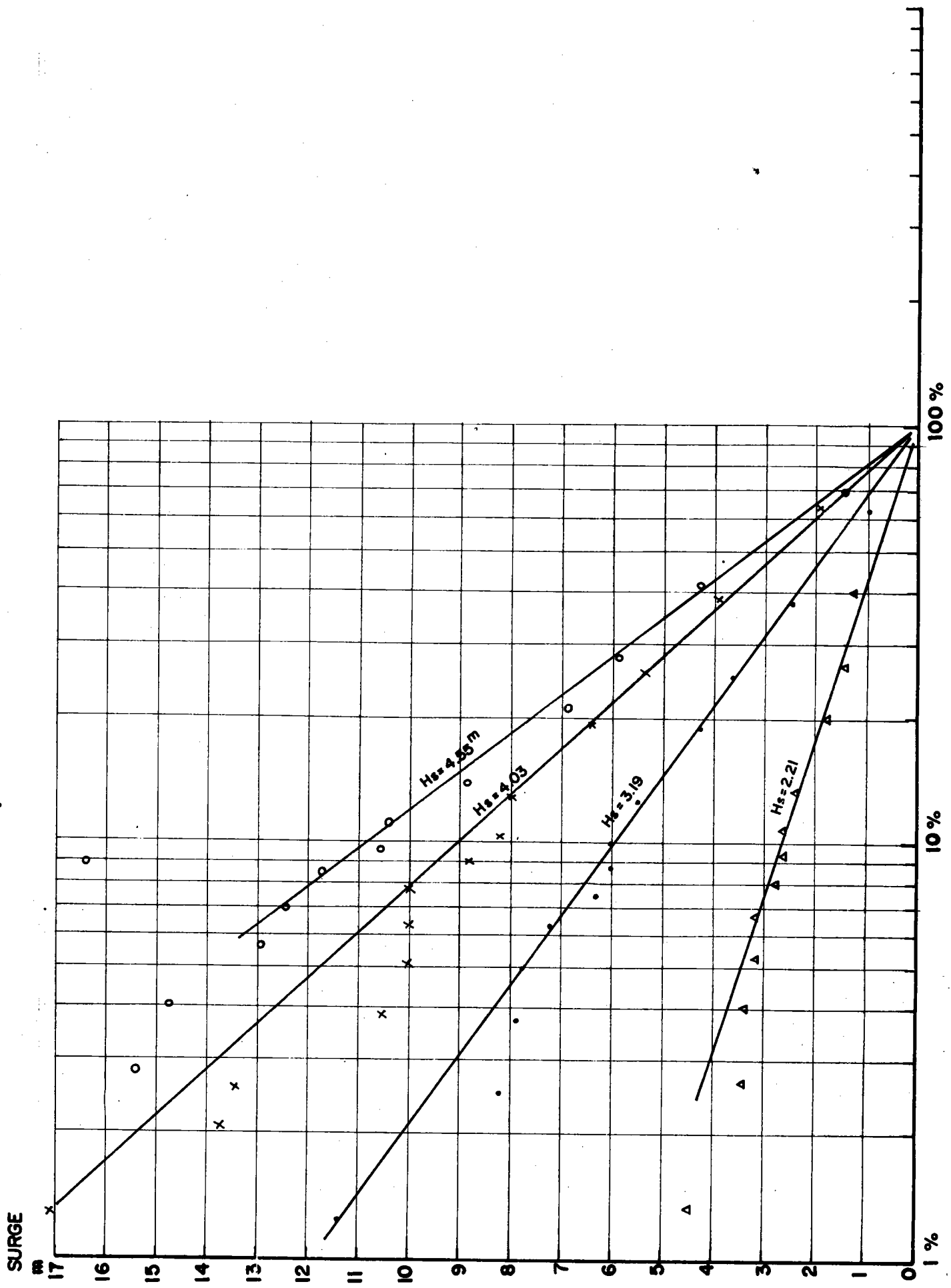


圖 5-6(a) Surge Mating Distribution , $T_p = 10.5^{\text{sec}}$

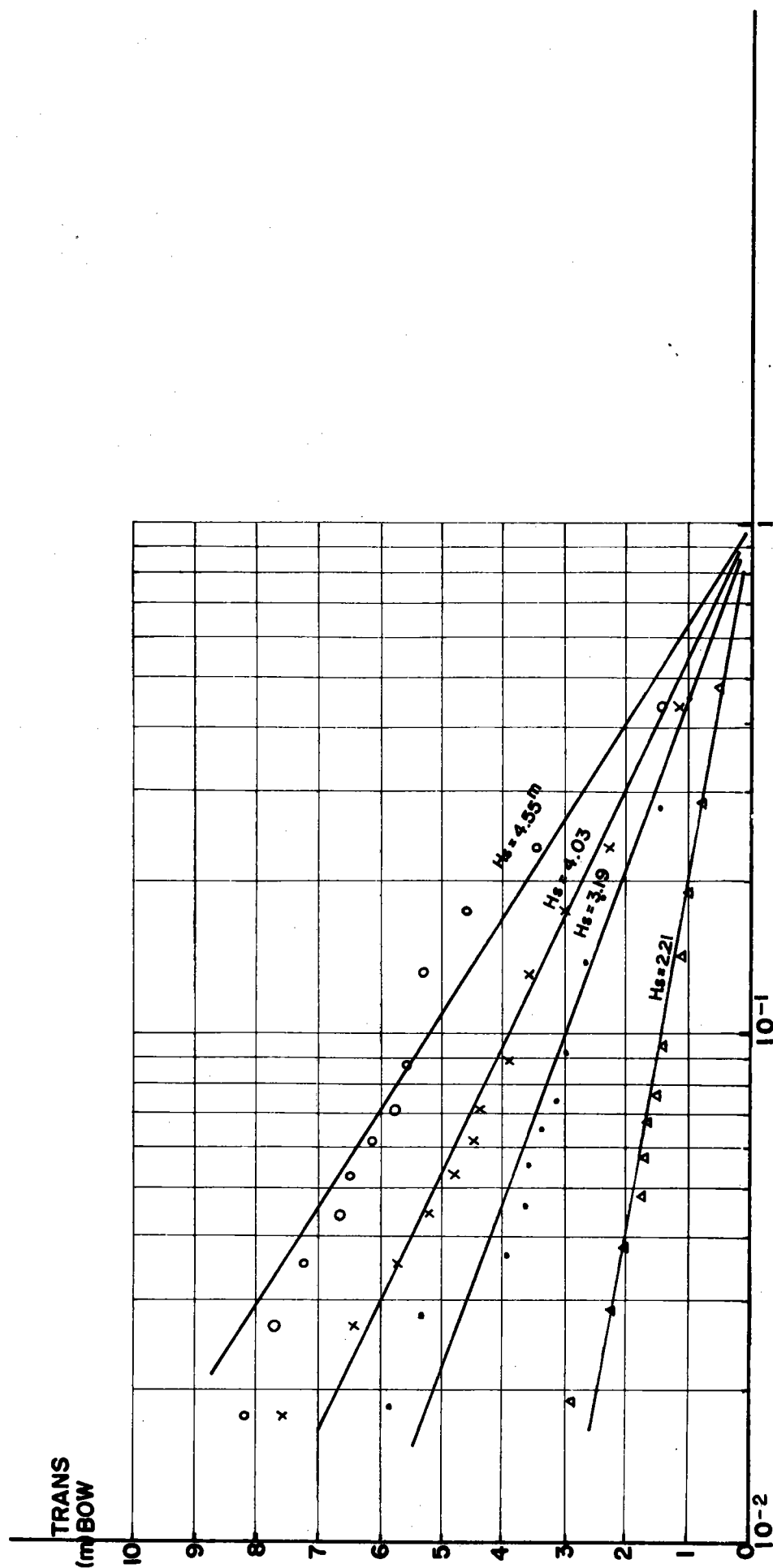


圖 5-6 (b) Transverse Bow Distribution , $T_P = 10.5 \text{ sec}$

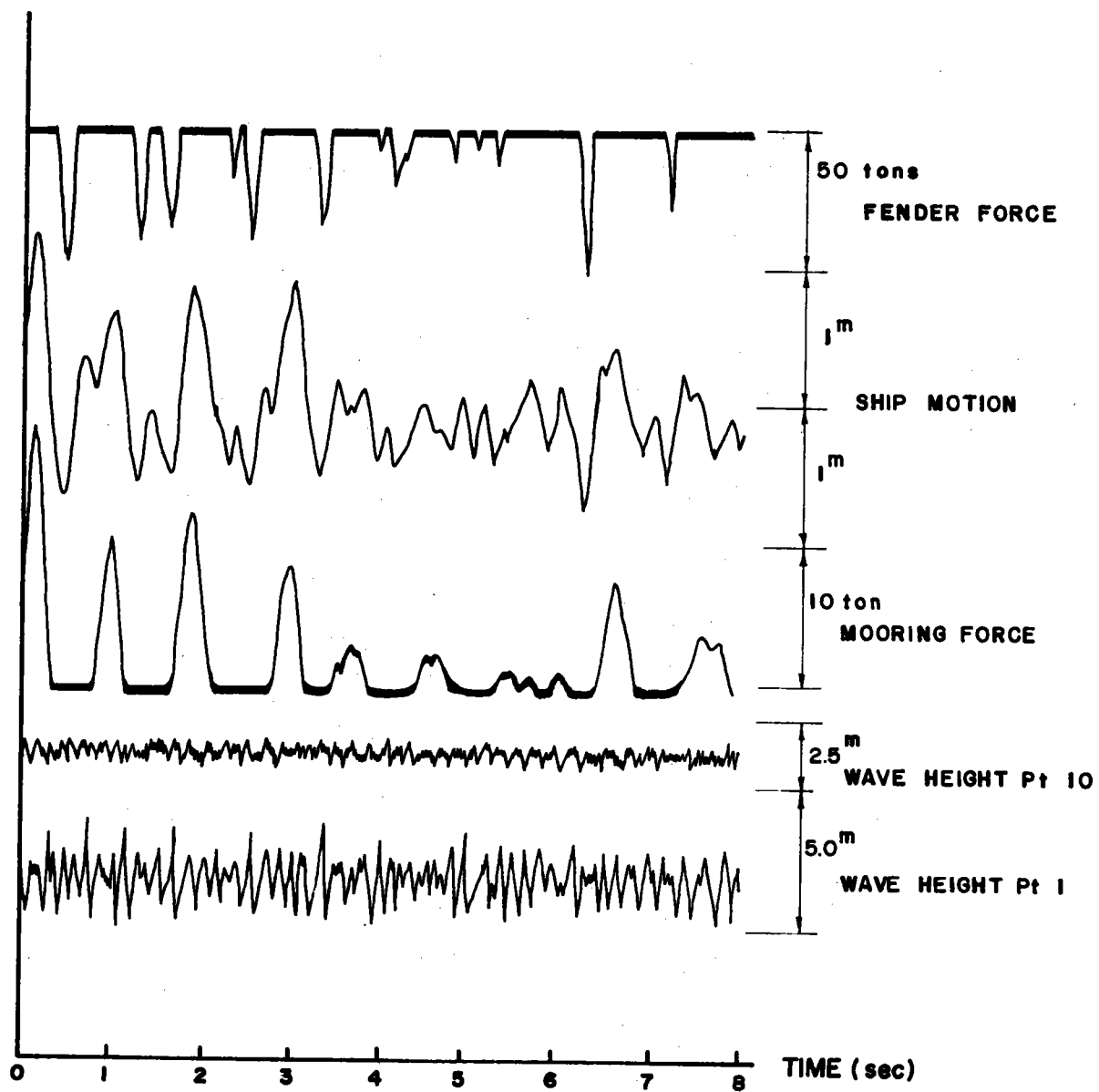


圖 5 - 7 船體動力與波浪紀錄

三、纜繩拉力

錨繫船隻纜繩拉力試驗結果如圖 5-8，入侵之規則波，除在長週期（20 秒）外，所造成船隻纜繩拉力均極小，且受波高與週期影響並不顯著，試驗波高增至 7 m，各種纜繩拉力仍在 15 tons 以下。在不規則波作用下，纜繩受力則隨入射波高與週期增大而顯著增加。週期大於 10 秒，波高 4 m 以上，船首纜繩拉力已超過 50 tons。其餘各繩拉力亦均大於 40 tons。

長週期規則波（20 秒）使船首尾產生極大之橫向運動，而導致胸繩（Breast lines）及船尾繩（Stern line）極大拉力。但因未造成較大之縱向運動，船首繩拉力未顯著增加。

四、護舷壓力

錨靠船隻首尾護舷壓力試驗結果，如圖 5-9，護舷壓力在規則波與不規則波作用下，均隨波高與週期增加而加大。但不規則波作用下護舷所受壓力高達規則波之兩倍。長週期規則波亦造成護舷極大之壓力。

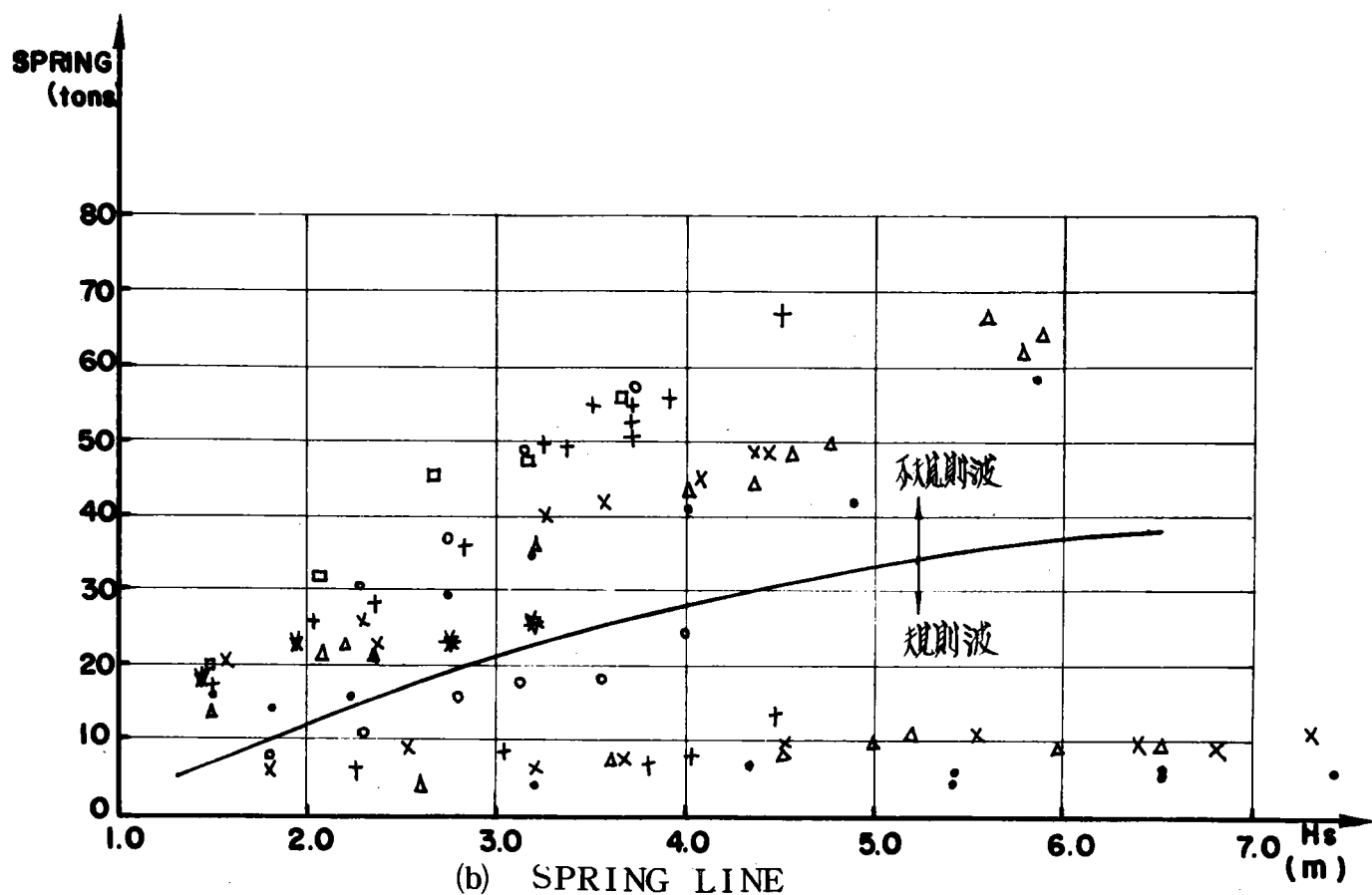
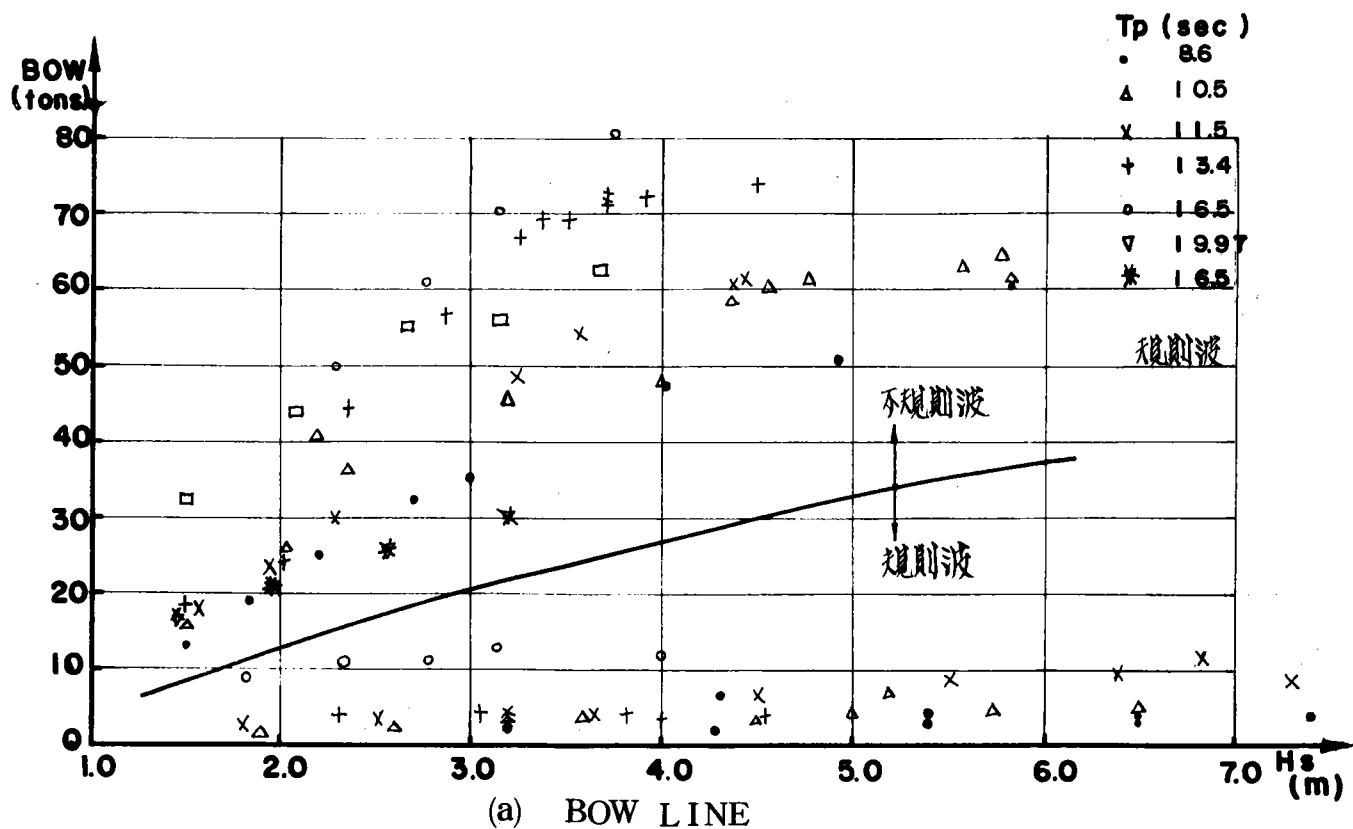


圖 5-8 纜繩拉力試驗結果

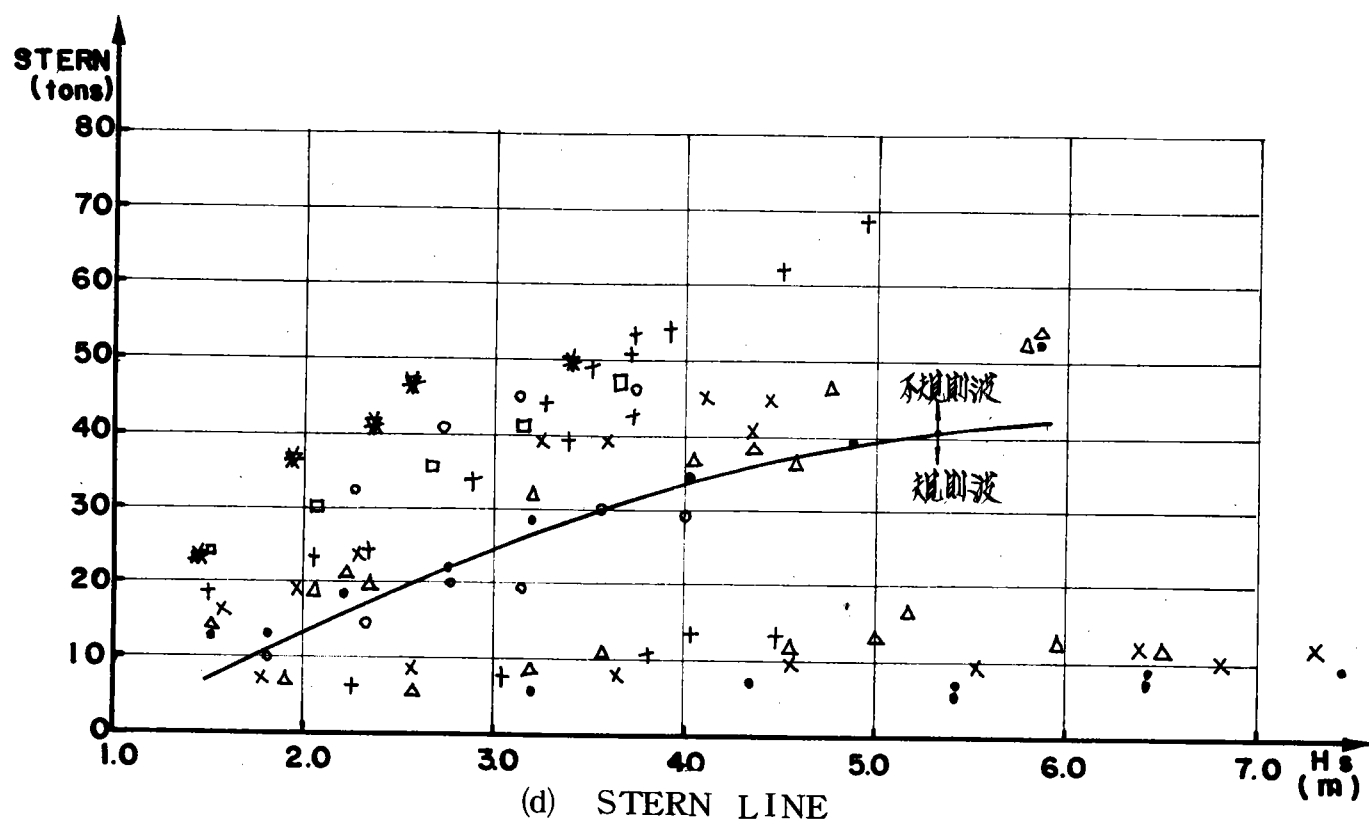
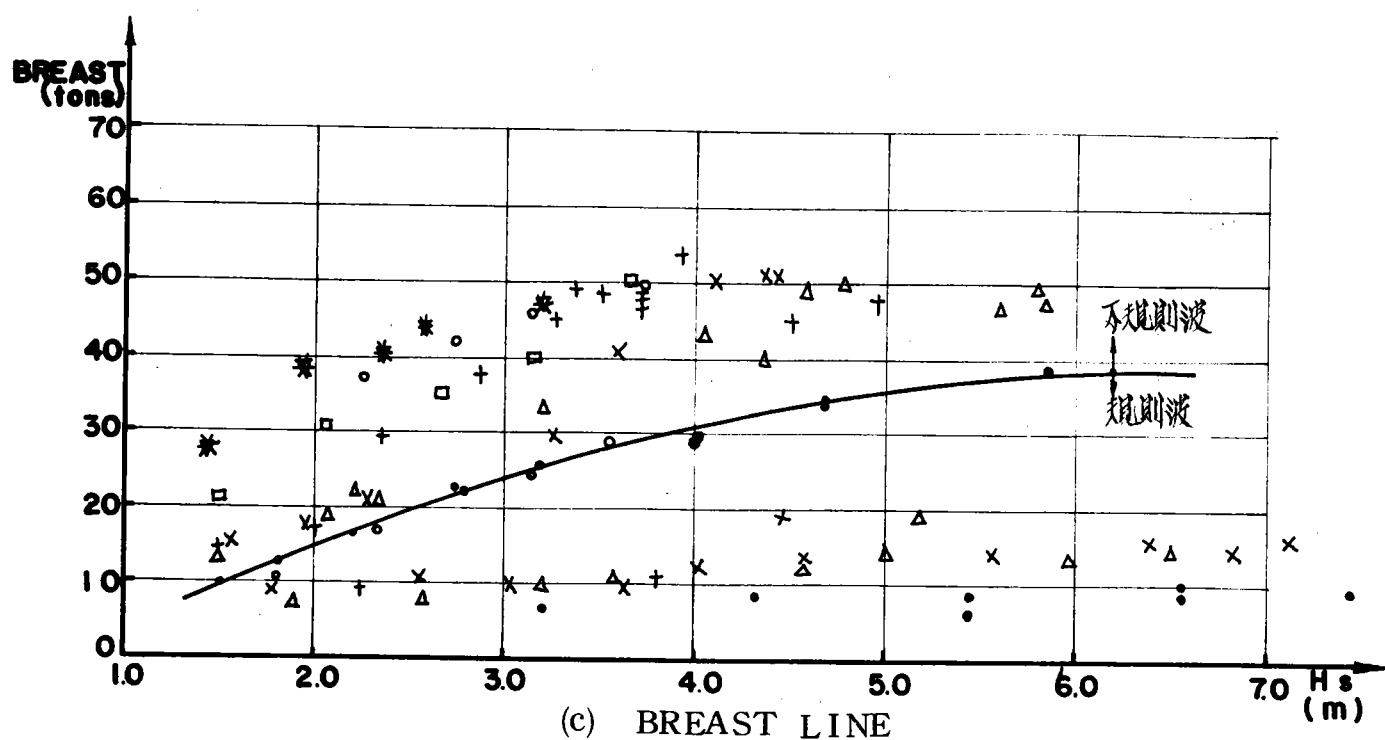


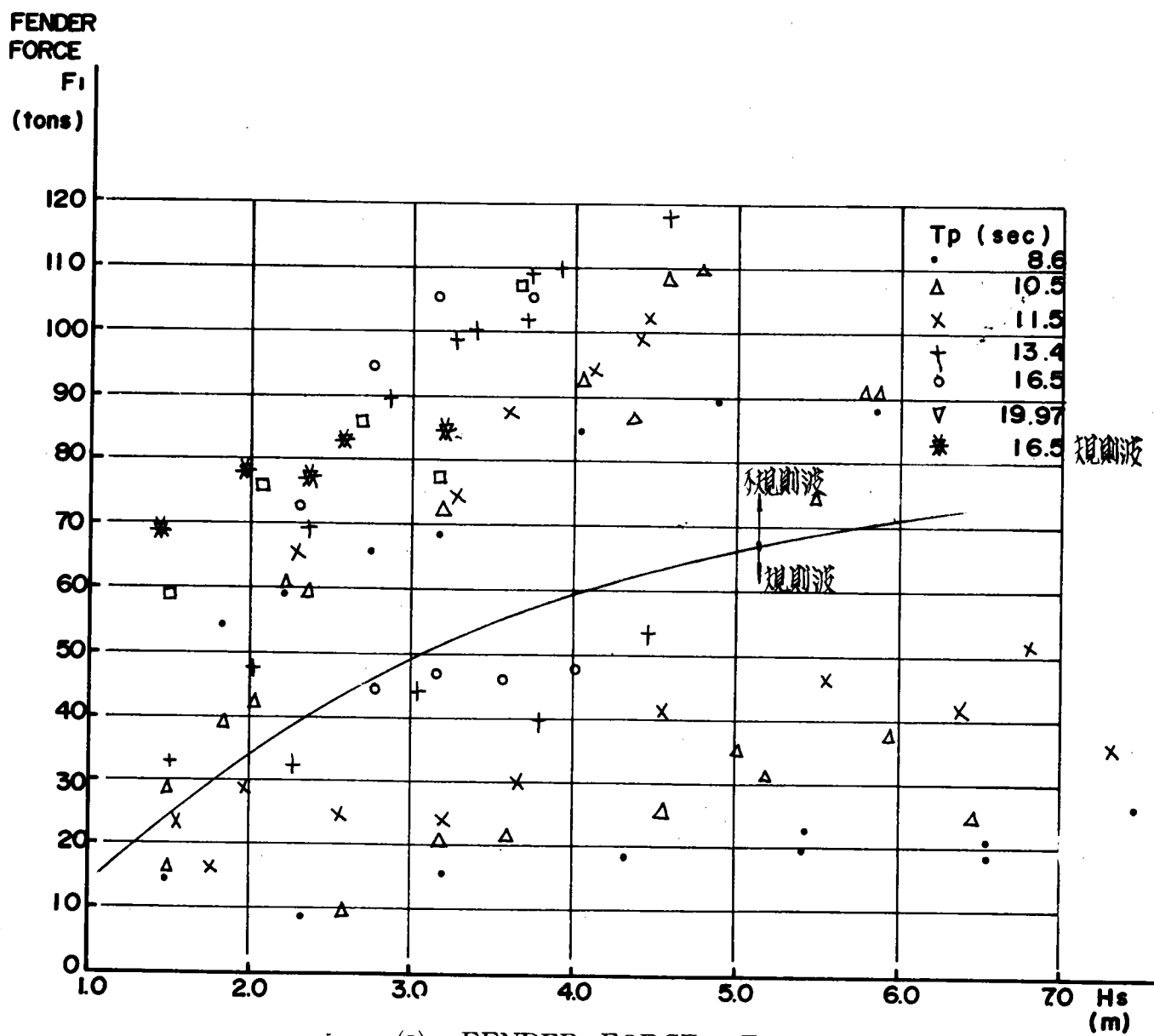
圖 5 - 8 纜繩拉力試驗結果

五、纜繩預拉力影響

船隻錨繫系統包括纜繩佈置、強韌度、預拉力等對船體運動、纜繩拉力、與護舷壓力均具影響。為了解預拉力影響，本研究將纜繩拉力分別增加為 6 tons 及 10 tons，就不規則波週期 10.5 sec 及 13.8 sec 加以試驗。

預拉力不同，船體運動、護舷壓力及纜繩拉力試驗結果如圖 5-10，($T_P = 10.5S$) 及 5-11 ($T_P = 13.8S$) 船體運動因纜繩預拉力增加而大為減小。預拉力 10 tons 時，船體縱向運動及船首橫向運動仍為預拉力 1.5 tons 時之 50%，船首乘向運動則因與纜繩垂直受預拉力影響較小。

一般而言，纜繩拉力與護舷壓力隨預拉力增加而略為增大，但本試驗結果顯示，除波高較小時符合上述原則外，波高超過 2 m 時，纜繩預拉力增加反而使護舷壓力及纜繩受力減小，究其原因，主要係纜繩強韌度太小。當預拉力較小時，纜繩完全無法約束船體受較大波浪激盪而產生大幅擺動。船體擺動纜繩拉力因而增加，護舷亦因受碰撞增大受力。週期 13.8 sec 時護舷壓力與胸繩拉力受預拉力影響甚小。



(a) FENDER FORCE F_1

圖 5-9 護舷壓力

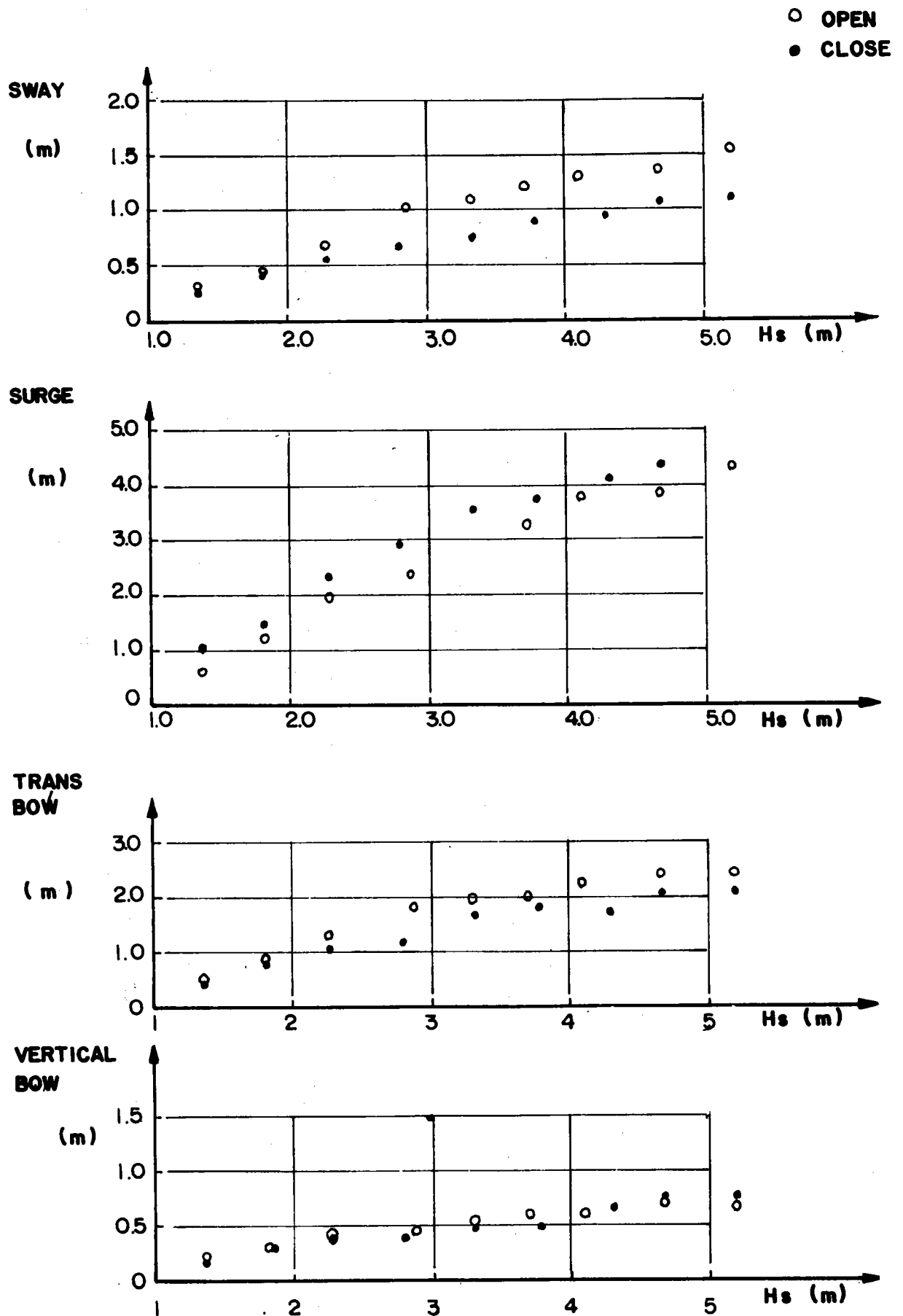


圖 5 - 12(a) 船體運動受碼頭型式影響 ($T_p = 10.5^\circ$)

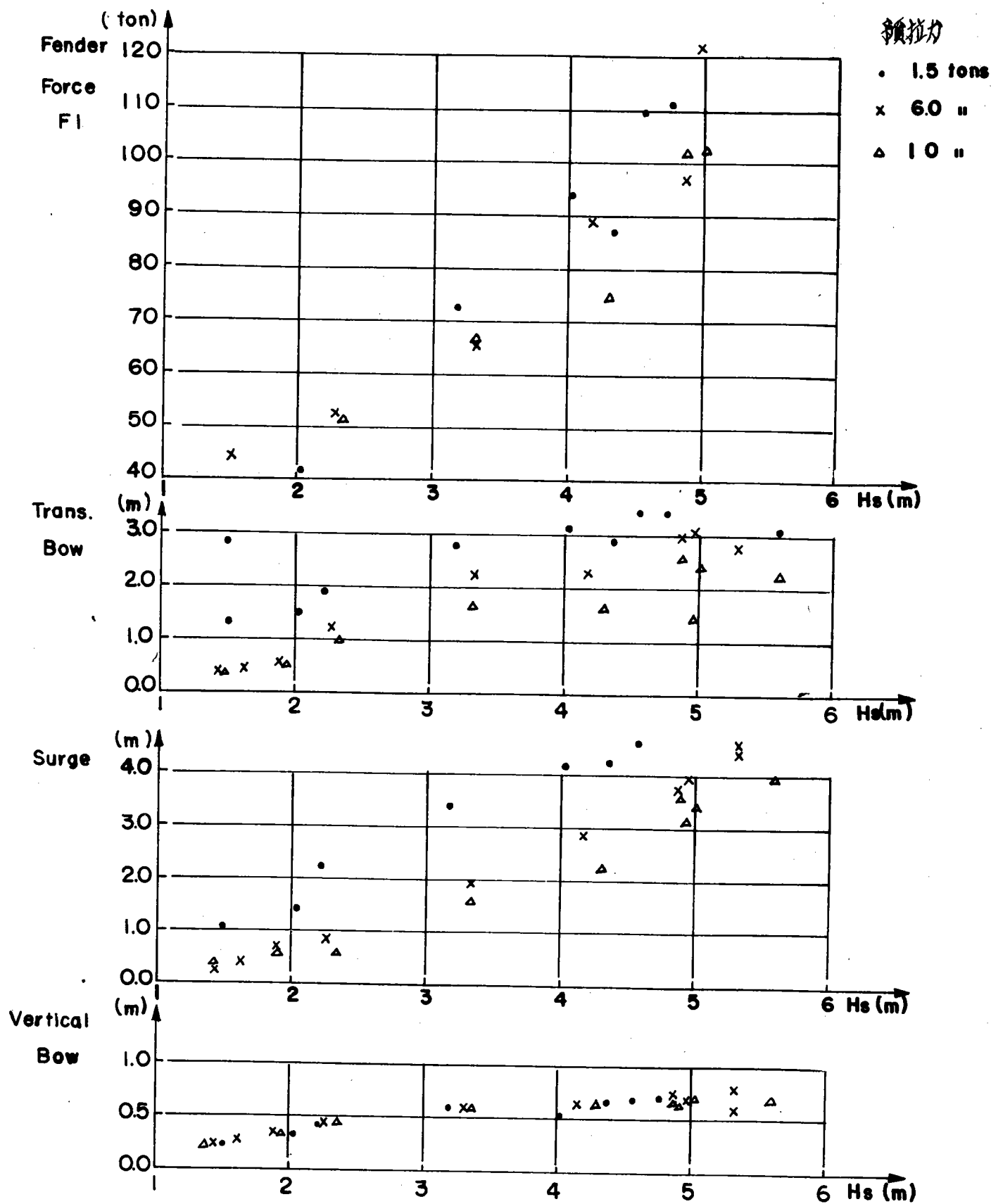


圖 5 - 10 (a) 護舷壓力與船體運動受預拉力影響 ($T_F = 10.5^\circ$)

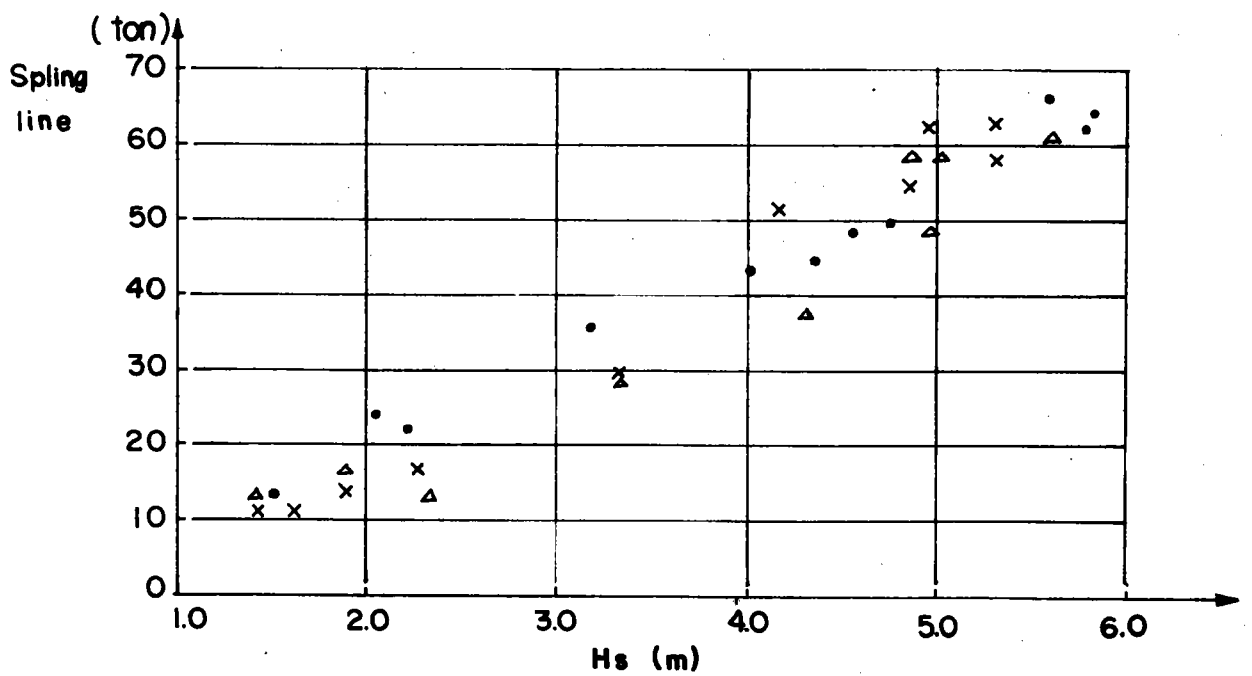
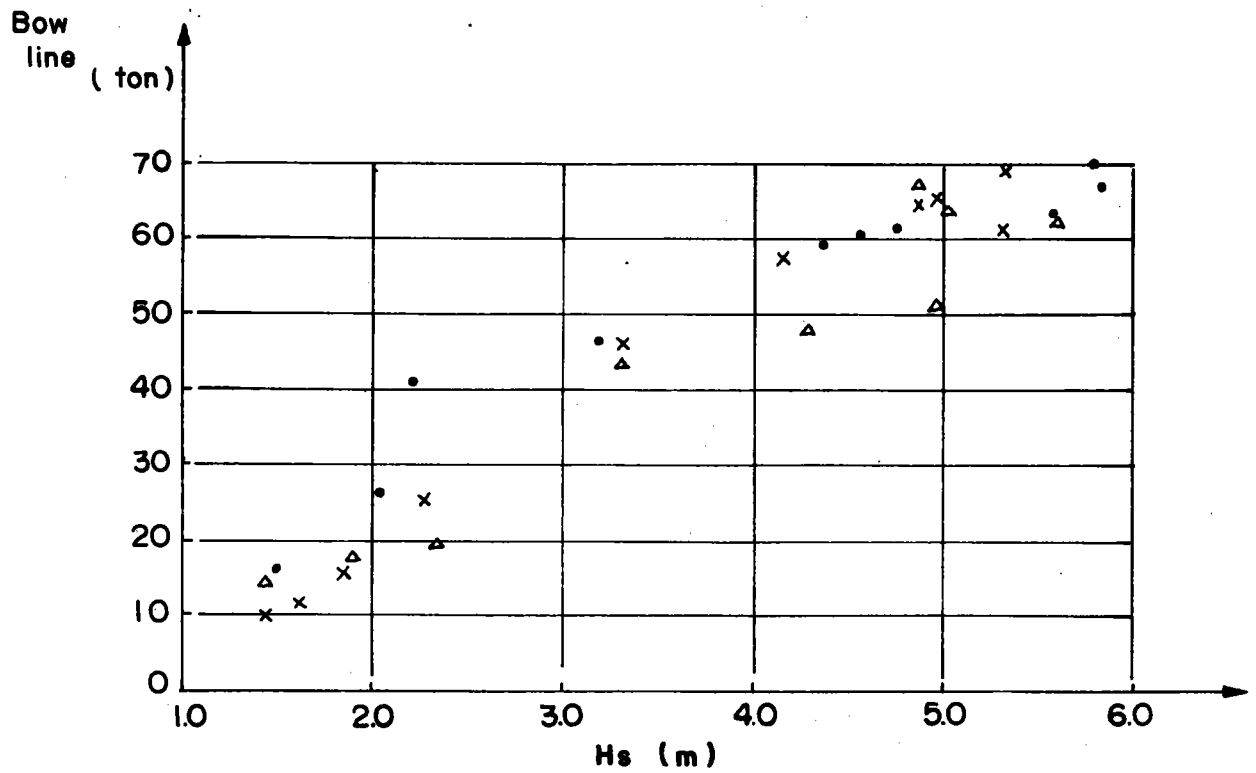
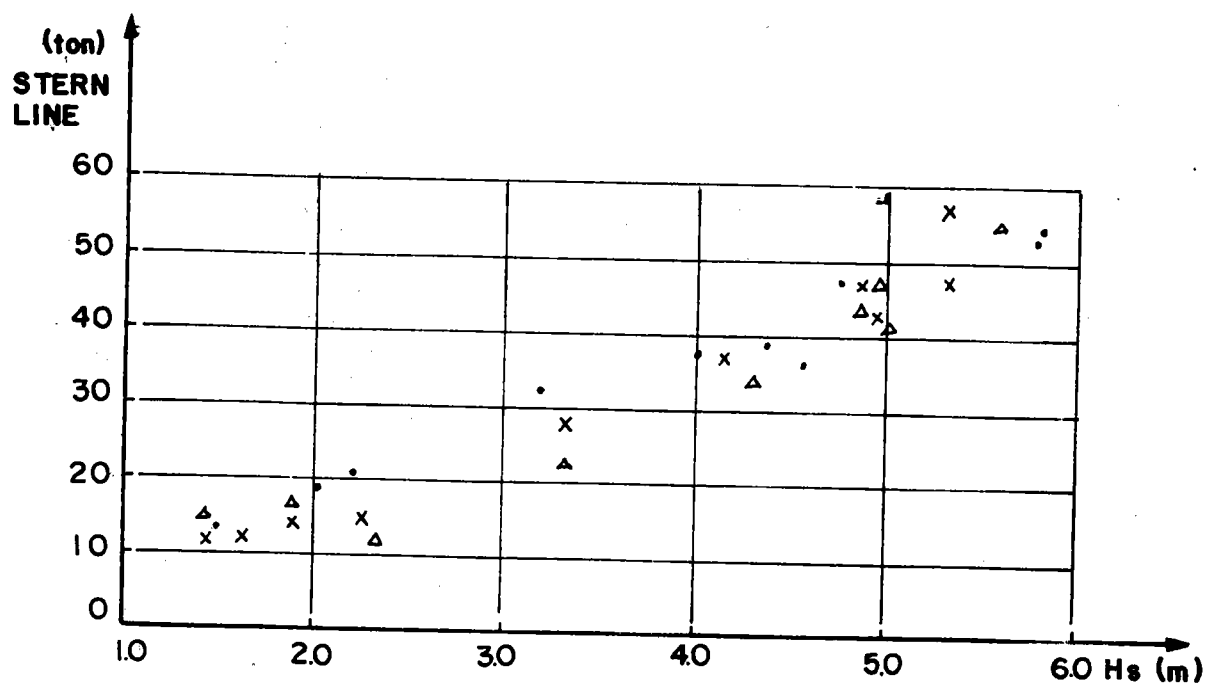
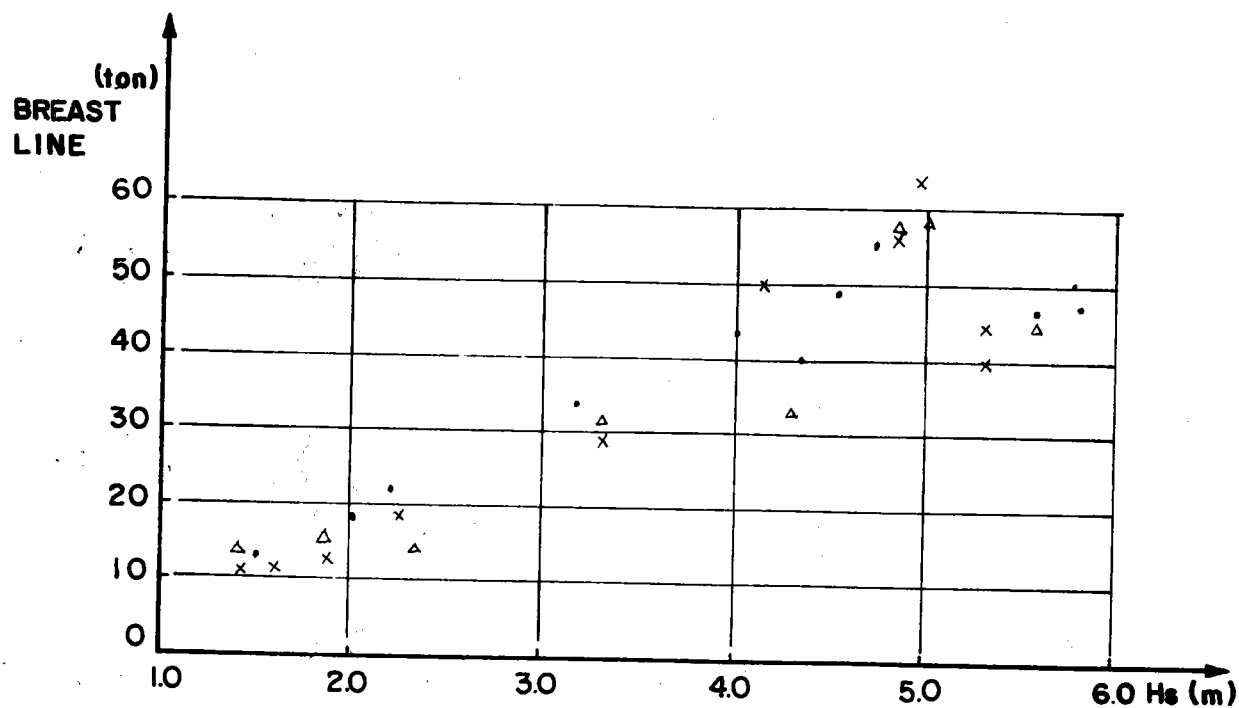


圖 5 - 10 (b) 纜繩拉力受預拉力影響 ($T_P = 13.8^\circ$)



(c) 纜繩拉力受預拉力影響 ($T_p = 10.5^\circ$)

圖 5-10 船體動力與護舷壓力受預拉力影響 ($T_p = 10.5^\circ$)

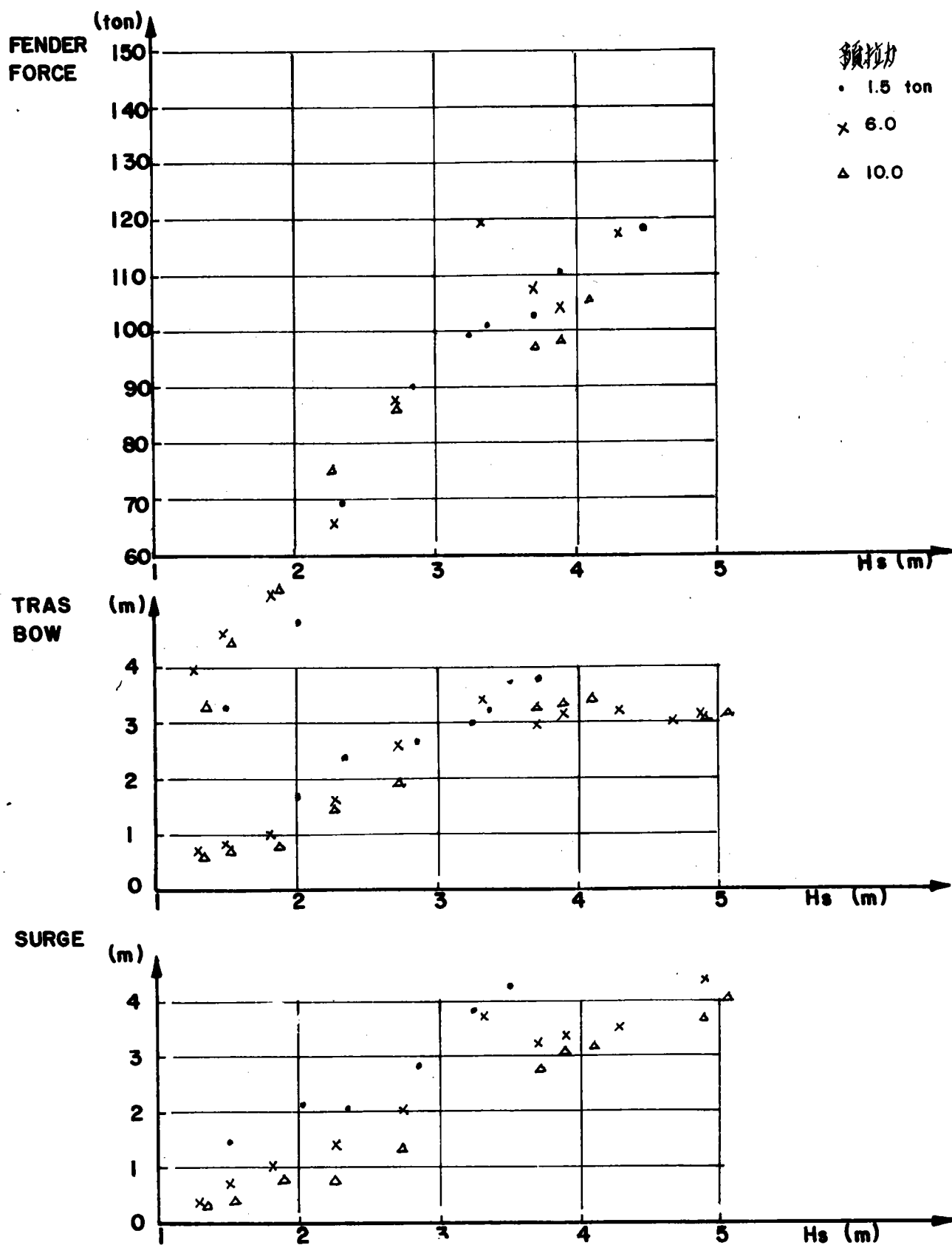


圖 5 - 11 (a) 護舷壓力及船體運動受纜繩預拉力影響 ($T_P = 13.8^\circ$)

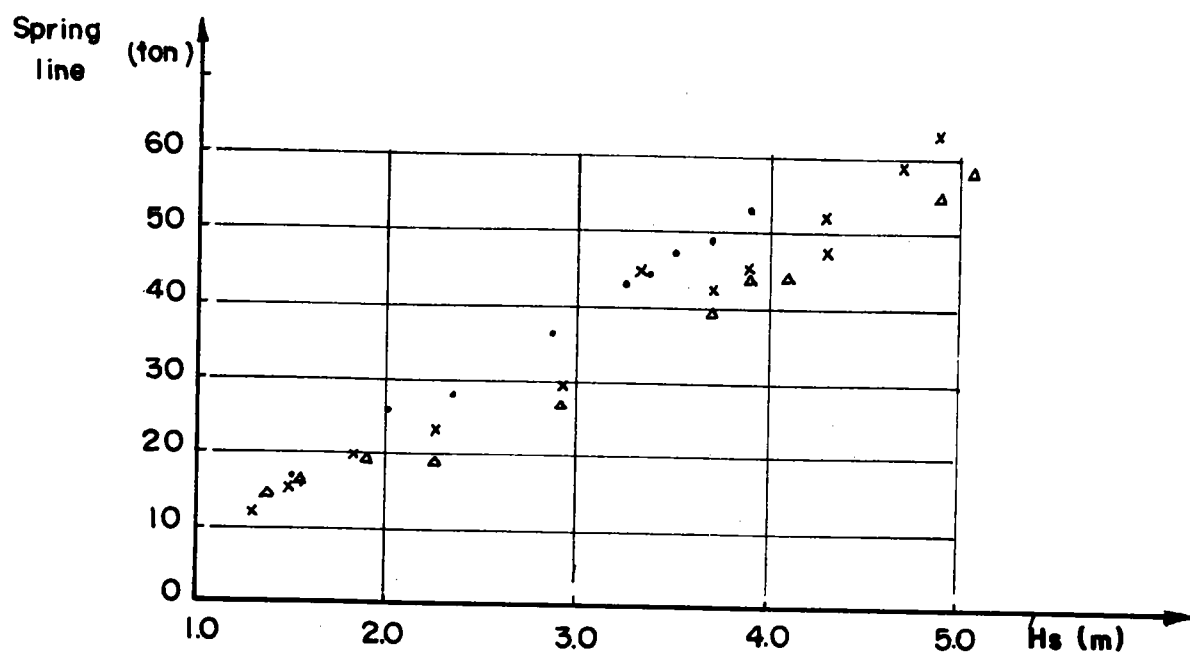
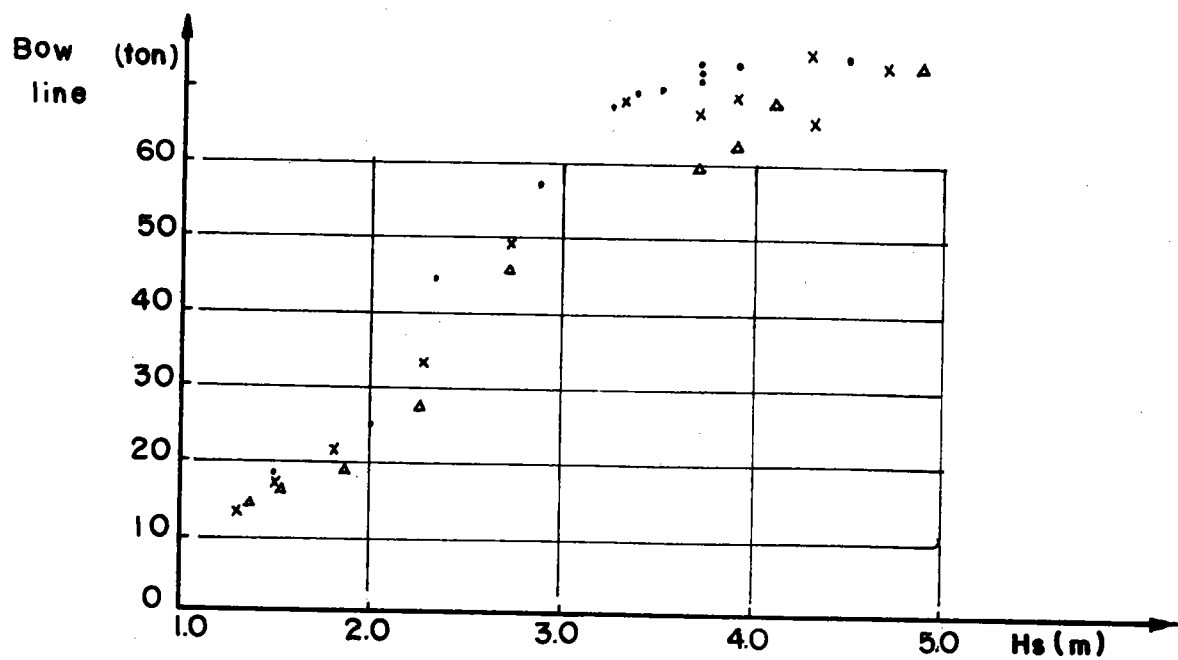
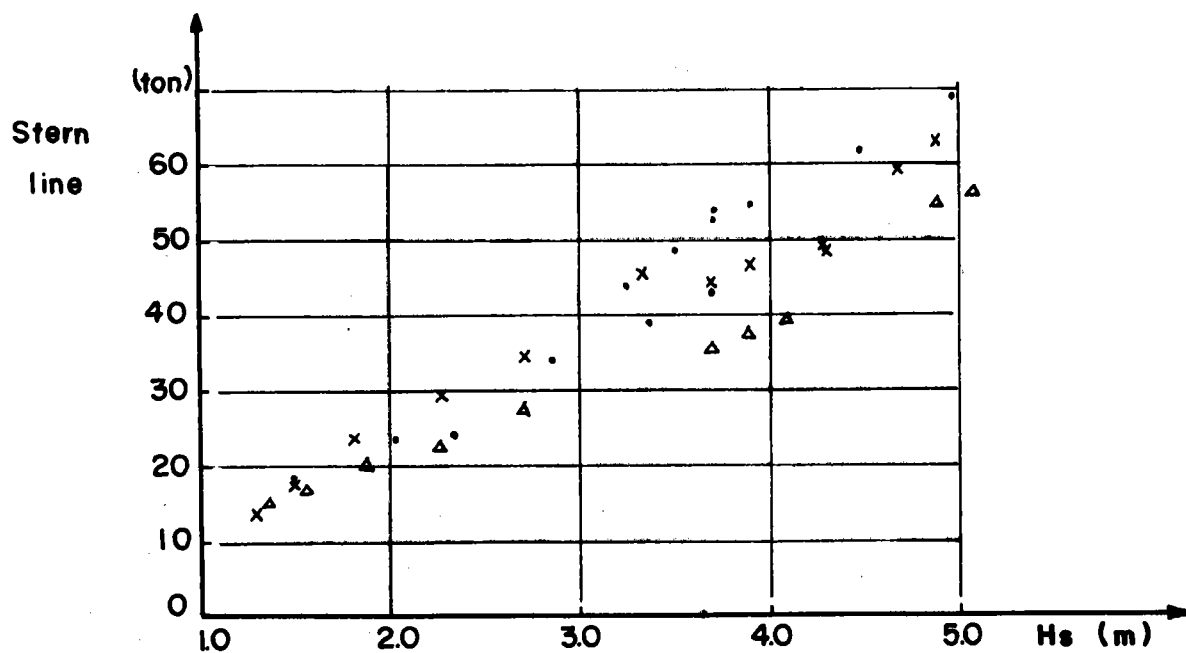
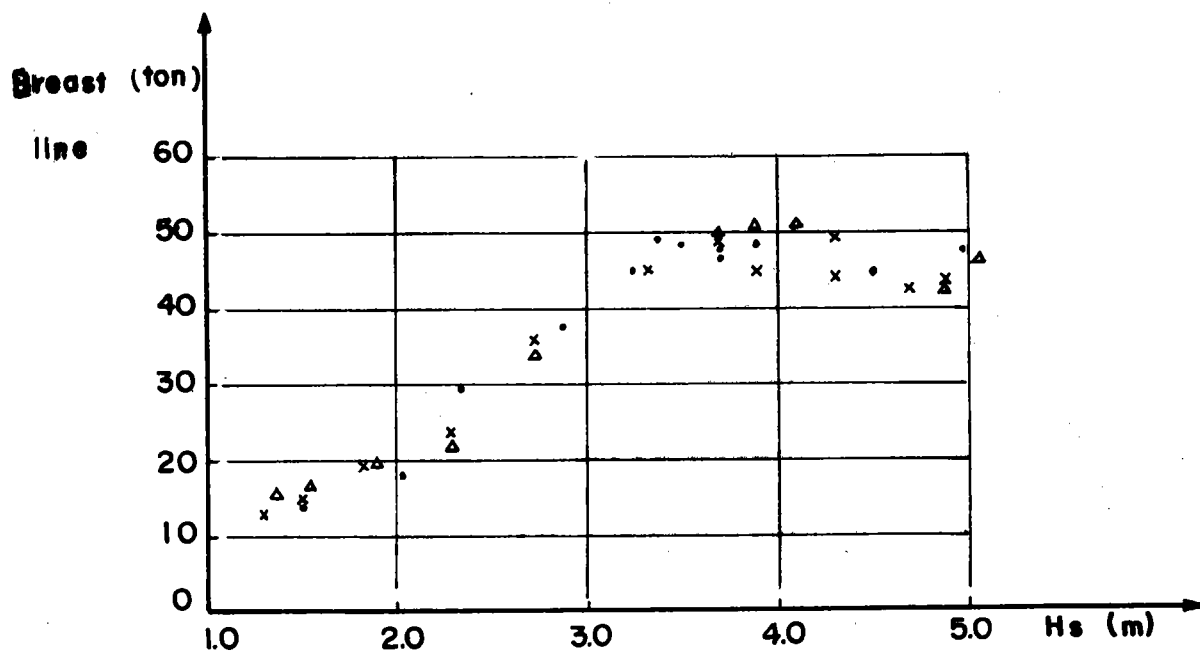


圖 5 - 11 (b) 纜繩拉力受預拉力影響 ($T_P = 10.5^{sec}$)



(c) 纜繩拉力受預拉力影響 ($T_P = 13.8^\circ$)

圖 5-11 船體動力與護舷壓力受預拉力影響 ($T_P = 13.8^\circ$)

六、碼頭型式影響

以往辦理港灣規劃、設計，常利用棧橋式 (Open type) 碼頭岸壁後側斜坡拋放塊石，以吸收部分入射波浪能量。此種方法在缺乏消波岸壁之規則港池，可以減小反射、消殺部份波能，獲得較穩靜之港池。然而岸壁後側水之容積增大，入射波浪引起水流，通過錨靠船體之流速，因獲較大自由表面而增加。使船體橫向運動 (Sway) 顯著加大。同時消波岸壁亦因船隻錨靠而增加反射，減小消能功用。

為了解棧橋式與垂直式兩種主要碼頭型式對碇靠船隻動力影響，本試驗分別以週期 10.5° 及 13.8° 波浪加以試驗。其結果顯示，在相同之錨繫佈置情況下，棧橋式碼頭，使碇靠船隻船首橫向擺動 (Transverse bow) 及船體橫向運動 (Sway) 增大，如圖 5-12。尤其波高較大時，船體橫向運動約增加 50%。船首垂直向運動 (Vertical bow) 主要受泊渠附近波高影響，因此相差極小。縱向運動 (Surge) 則因垂直式碼頭岸壁與船體間容積較小，受限水流 (Confined flow) 略大，故產生稍大之縱向運動，但因波高與週期增大而趨於一致。

纜繩拉力與護舷壓力試驗結果如圖 5-7 所示。

長週期波浪纜繩拉力及護舷壓力受碼頭型式改變，影響較為顯著，波浪週期 13.8° 試驗結果顯示，除彈性繩 (Spring lines) 受力無明顯差異外，錨繫於棧橋式碼頭船隻所受纜繩拉力與護舷壓力均較碇靠於垂直式碼頭為大。而週期 10.5° 時垂直式碼頭亦可使碇靠船隻胸繩 (Breast lines) 及護舷受力減小。

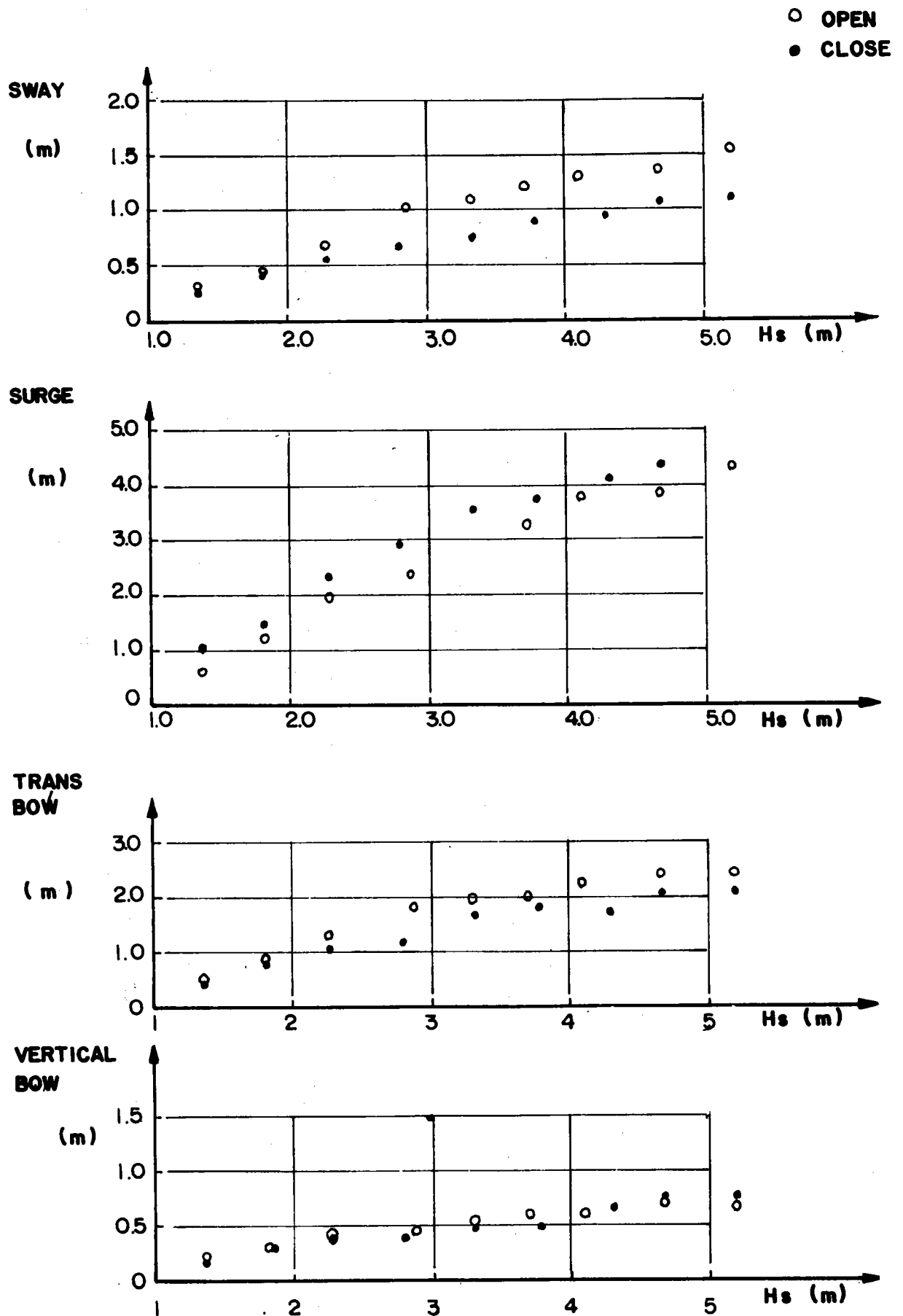


圖 5 - 12(a) 船體運動受碼頭型式影響 ($T_p = 10.5^{\circ}$)

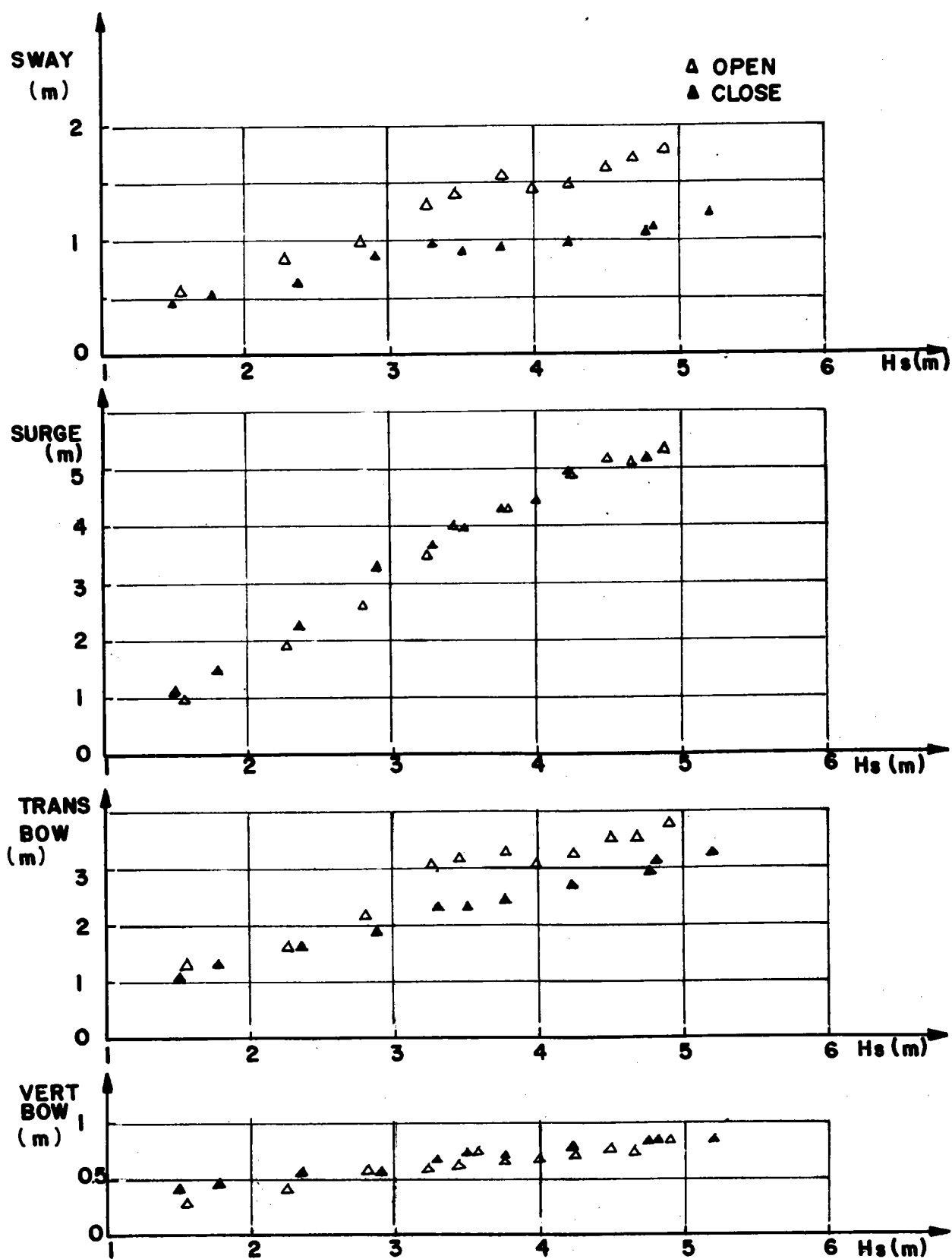


圖 5 - 12 (b) 船體運動受碼頭型式影響 ($T_p = 13.8^\circ$)

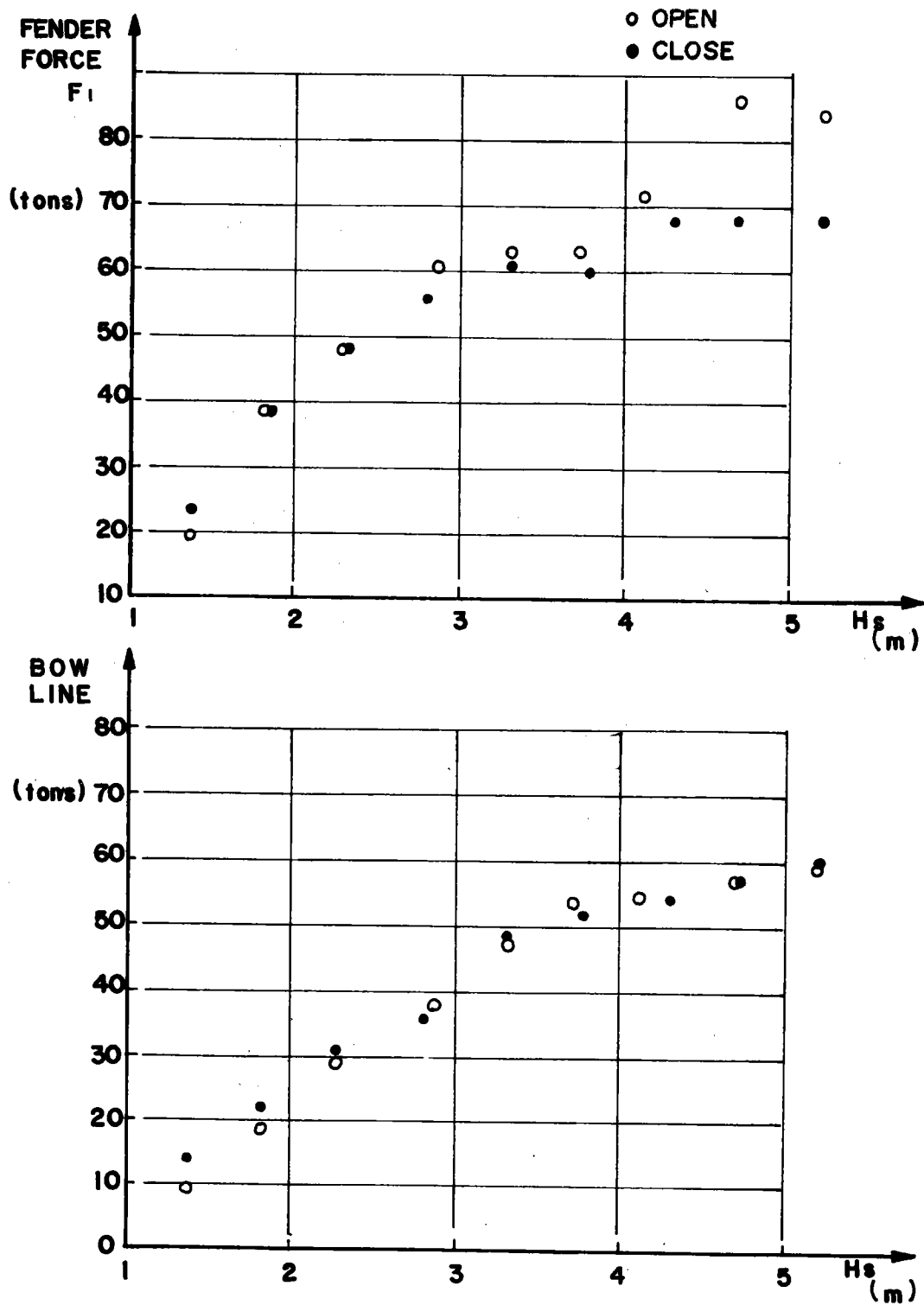


圖 5 - 13(a) 護舷壓力及纜繩拉力受碼頭型式影響 ($T_D = 10.5^\circ$)

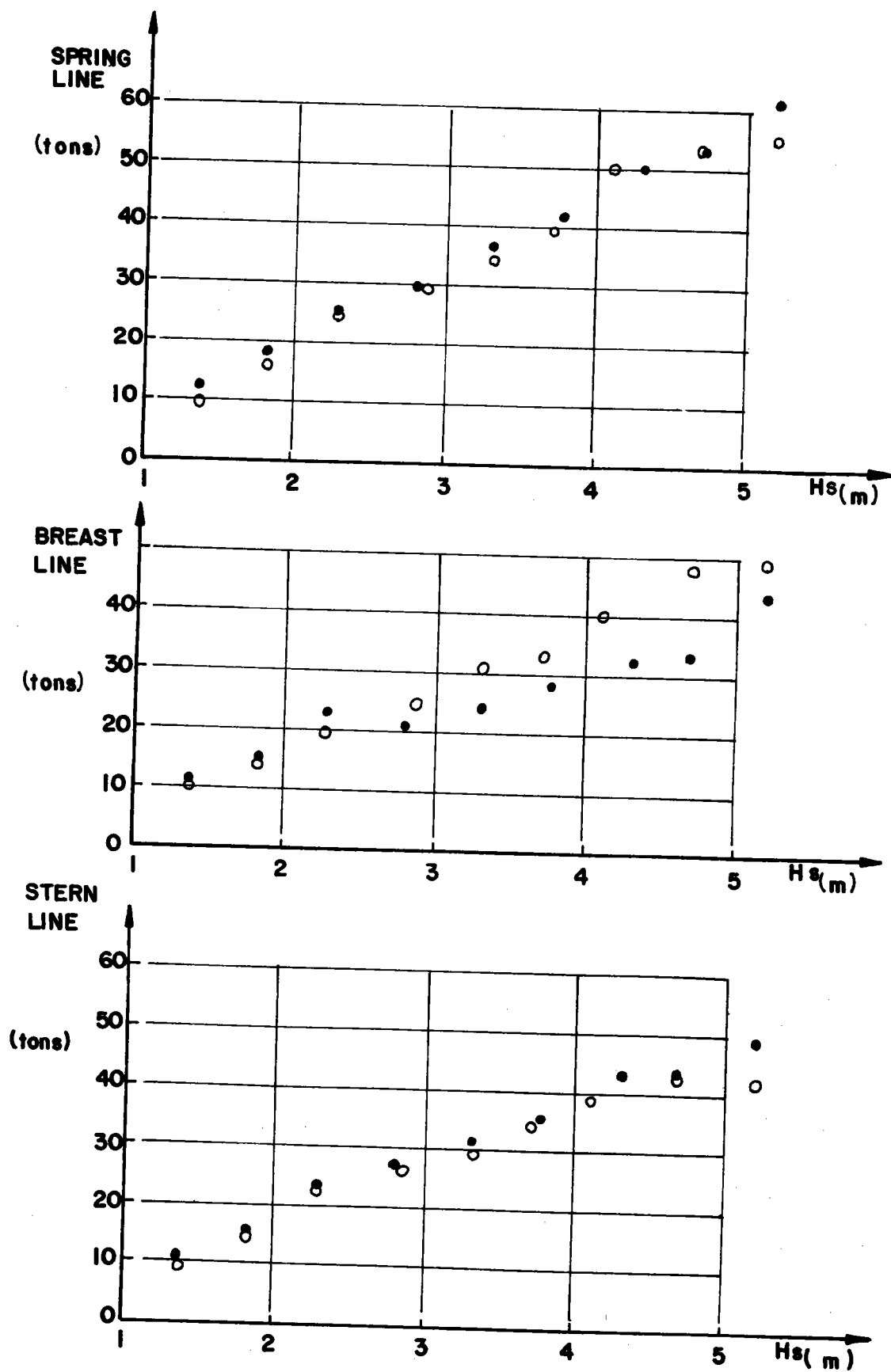


圖 5 - 13 (b) 護舷壓力及纜繩拉力受碼頭型式影響 ($T_p = 10.5^\circ$)

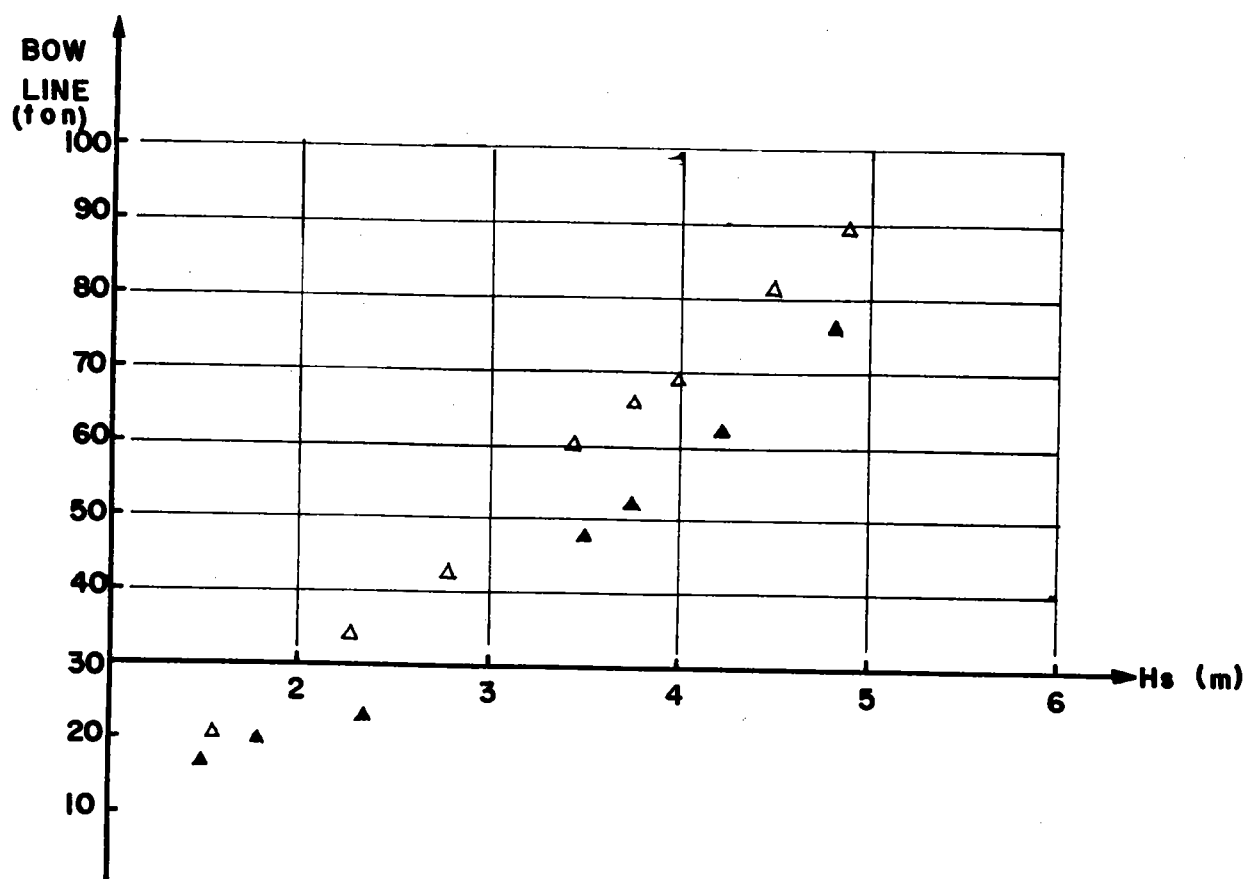
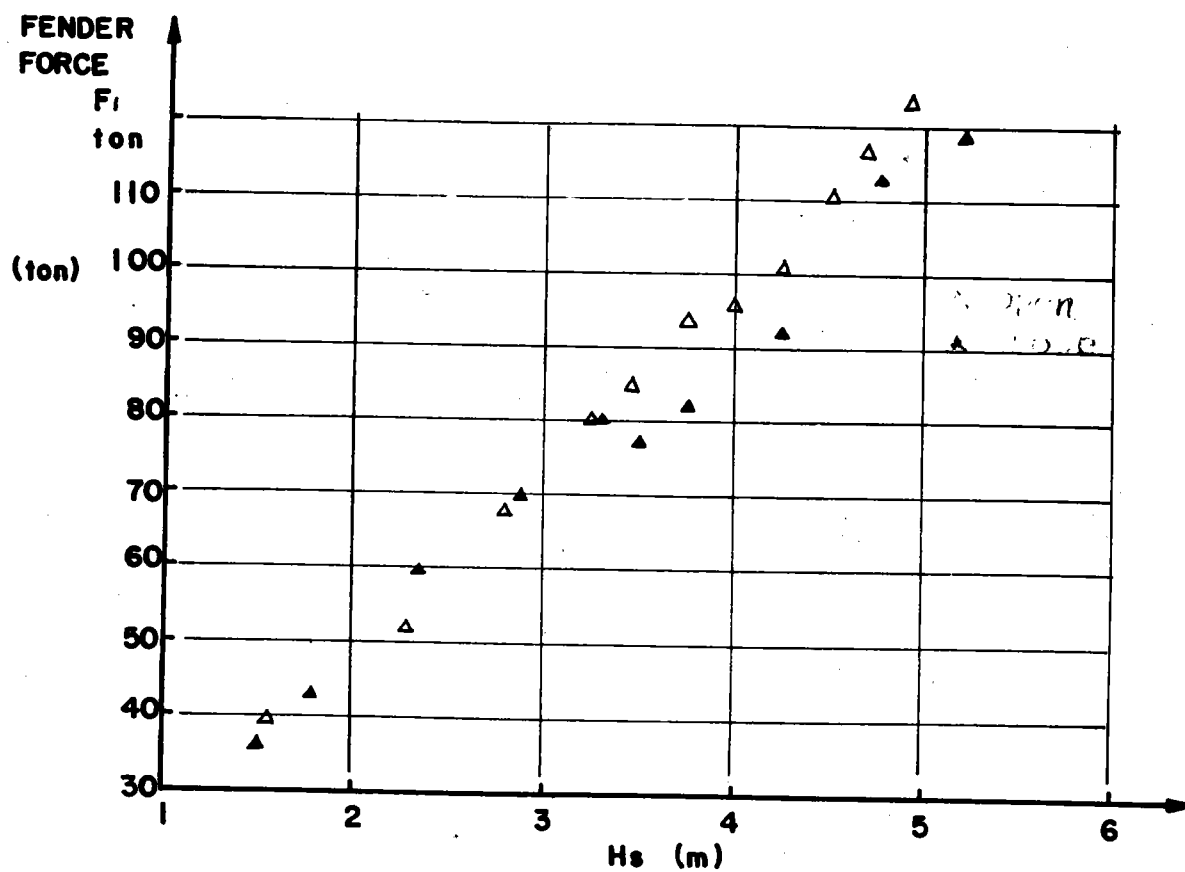


圖 5 - 13 (c) 護舷壓力及纜繩拉力受碼頭型式影響 ($T_p = 13.8^\circ$)

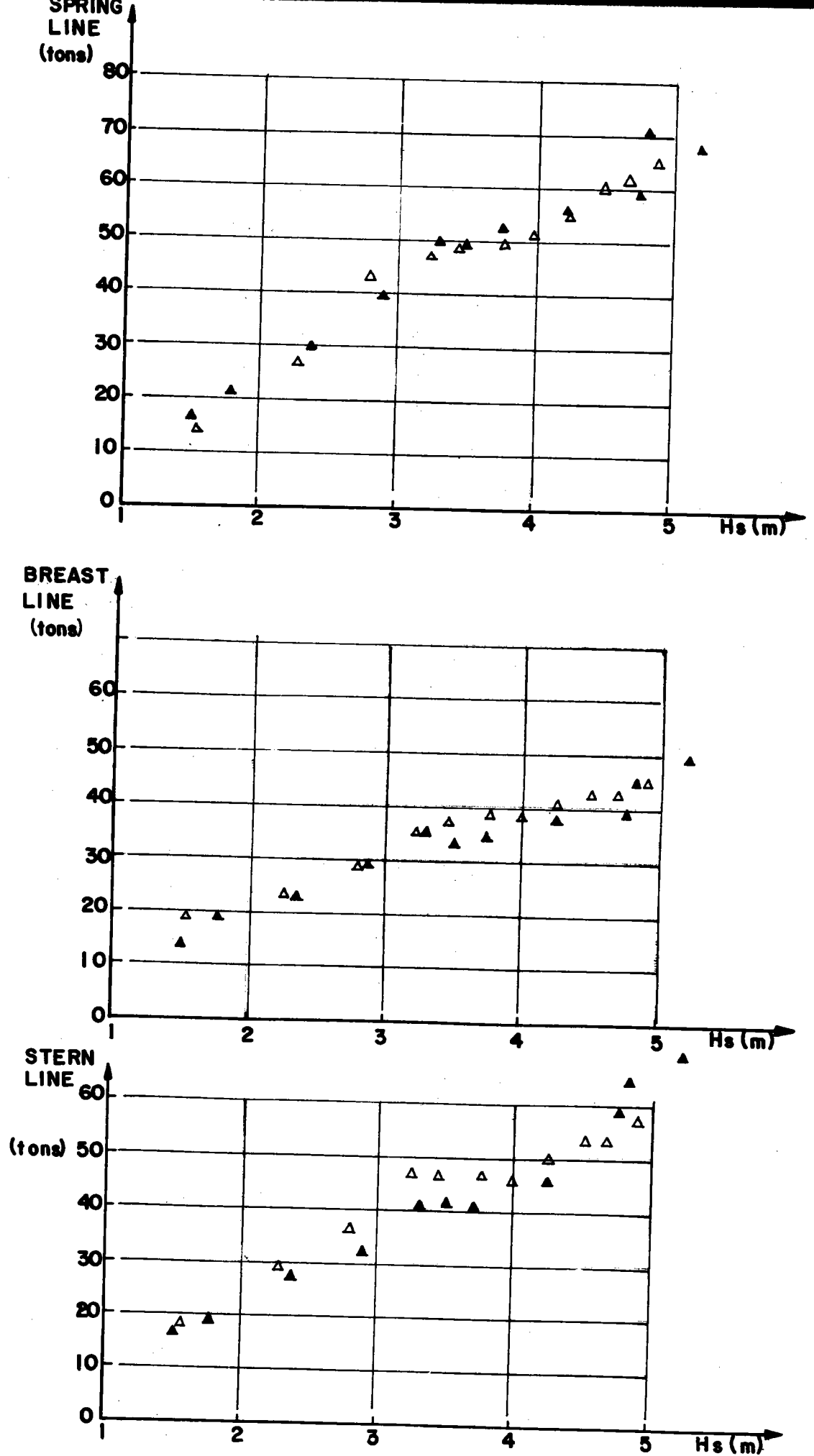


圖 5 - 13 (d) 護舷壓力及纜繩拉力受碼頭型式影響 ($T_p = 13.8^\circ$)

壹、船隻無法裝卸作業與碇靠時間估計

一、容許裝卸作業條件

碇靠船隻最大運動距離上限究竟多少，而不防碍正常裝卸作業，時至今日仍無具體結論。蓋因碇靠船隻容許裝卸作業條件除運動距離大小外，尚需對船隻運動加速度、裝卸機具及風速等加以考慮。本文船隻無法裝卸作業時間 (Downtime period for loading and unloading of mooring vessel)，係依據下列容許作業條件加以討論。

最大船體縱向運動 (max. Surge)	1.5 ^m
最大船首橫向運動 (max. transverse bow)	1.5 ^m
最大船首垂向運動 (max. vertical bow)	0.5 ^m
最大示性波高 (max. significant waveheight)	0.8 ^m

二、容許碇靠條件

船體運動超過容許裝卸作業條件，但纜繩拉力與護舷壓力尚未到達設計容許應力時，船隻仍可碇靠於碼頭而不必疏往他處避難。纜繩設計容許拉力採用極限應力之 70 %，每組纜繩設計應力為 50^{tons}，在惡劣波浪侵襲時護舷容許部份損壞，事後修補，故護舷設計壓力採用極限應力為 120^{tons}。

但值得注意的是，有時纜繩拉力雖未超過設計容許應力，但船體運動幅度過大，船長或港務局應視情況許可將船隻開往他處避難。

三、估計無法裝卸作業時間

侵襲港口之深海風浪 ($T_p = 10.5^{\text{sec}}$) 及湧浪 ($T_p = 13.8^{\text{sec}}$) 試驗結果船體運動超過率如圖 6-1。纜繩預拉力增加船體運動顯著減小。根據上述容許作業條件，估計風浪及湧浪作用下無法作業時間如表 6-1。對風浪而言，纜繩預拉力由 1.5^{tons} 增為 10^{tons} 可使無

法裝卸作業時間由 63hrs / year 大幅減為 4 hrs / year，作業容許深海波高則由 1.73^m 增加為 3.0^m，同樣情況在湧浪作用時，無法作業時間由 8.8hrs / year 減為 1.5hrs / year，深海波高分別為 1.57^m 及 2.38^m。因此纜繩預拉力如採用 10^{ton}，同時考慮風浪與湧浪之發生率，估計每年約有 5.5 小時無法作業。此種情況亦可解釋為在二至三年內可能發生一次延時十餘小時之暴風浪，使碼頭無法裝卸作業。

船體運動為決定不能作業時間主要因素。在現有外廊防波堤佈置下，如為降低不能作業時間，或減小裝卸作業容許運動條件除增加纜繩預拉力外，改變碼頭型式及錨繫配置，提高纜繩強韌度 (Stiffness) 與護舷摩擦係數等，均可減小船體運動而達到安全作業條件。

港池碼頭前水域 (WG 10, 11 & 12) 最大波浪均未超過容許裝卸作業波高 0.8^m。

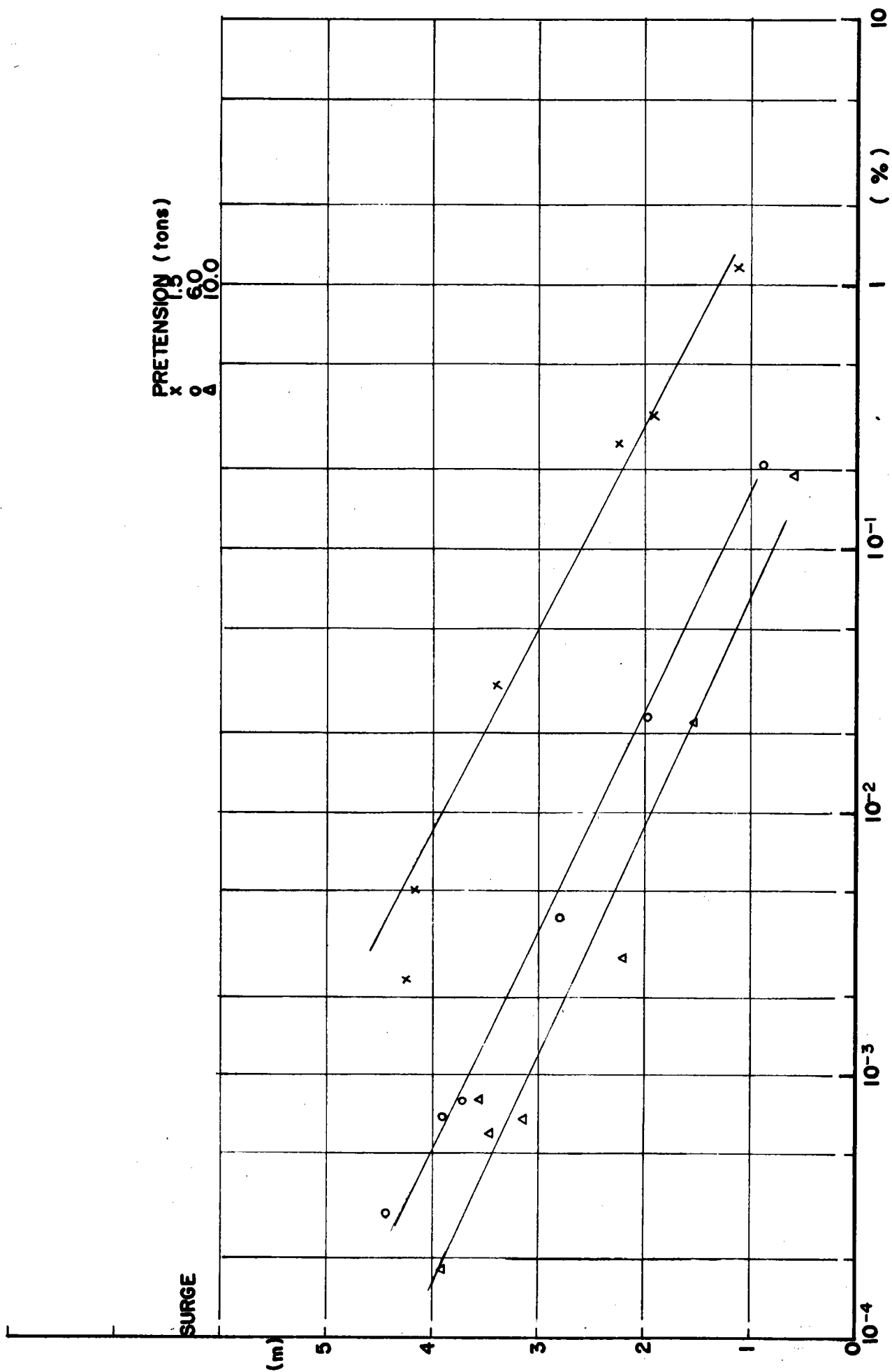


圖 6 - 1(a) 船體運動超過率 - SURGE (WIND WAVES)

PRETENSION (ton)

x 1.5
o 6.0
Δ 10.0

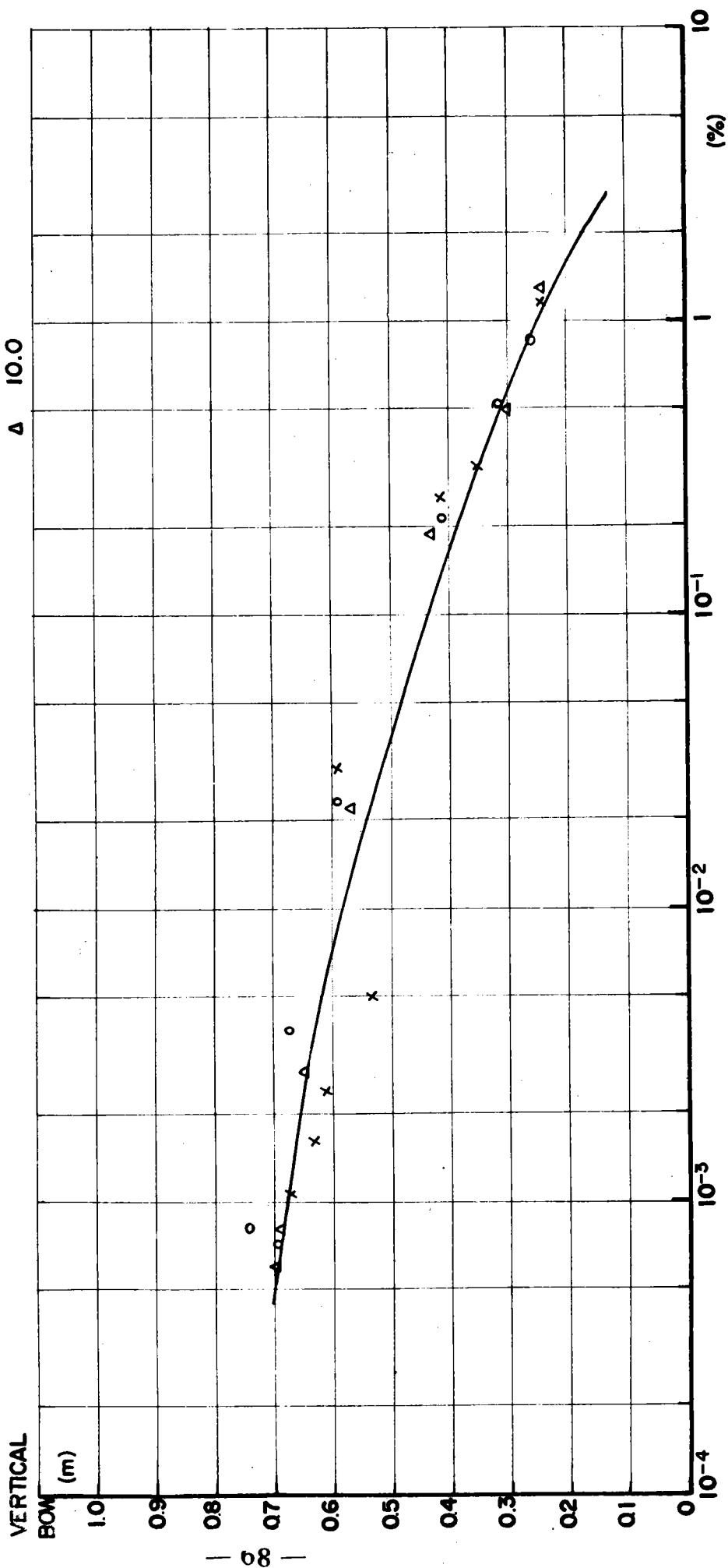


圖 6 - 1 (b) 船體運動超過率 - VERTICAL BOW (WIND WAVES)

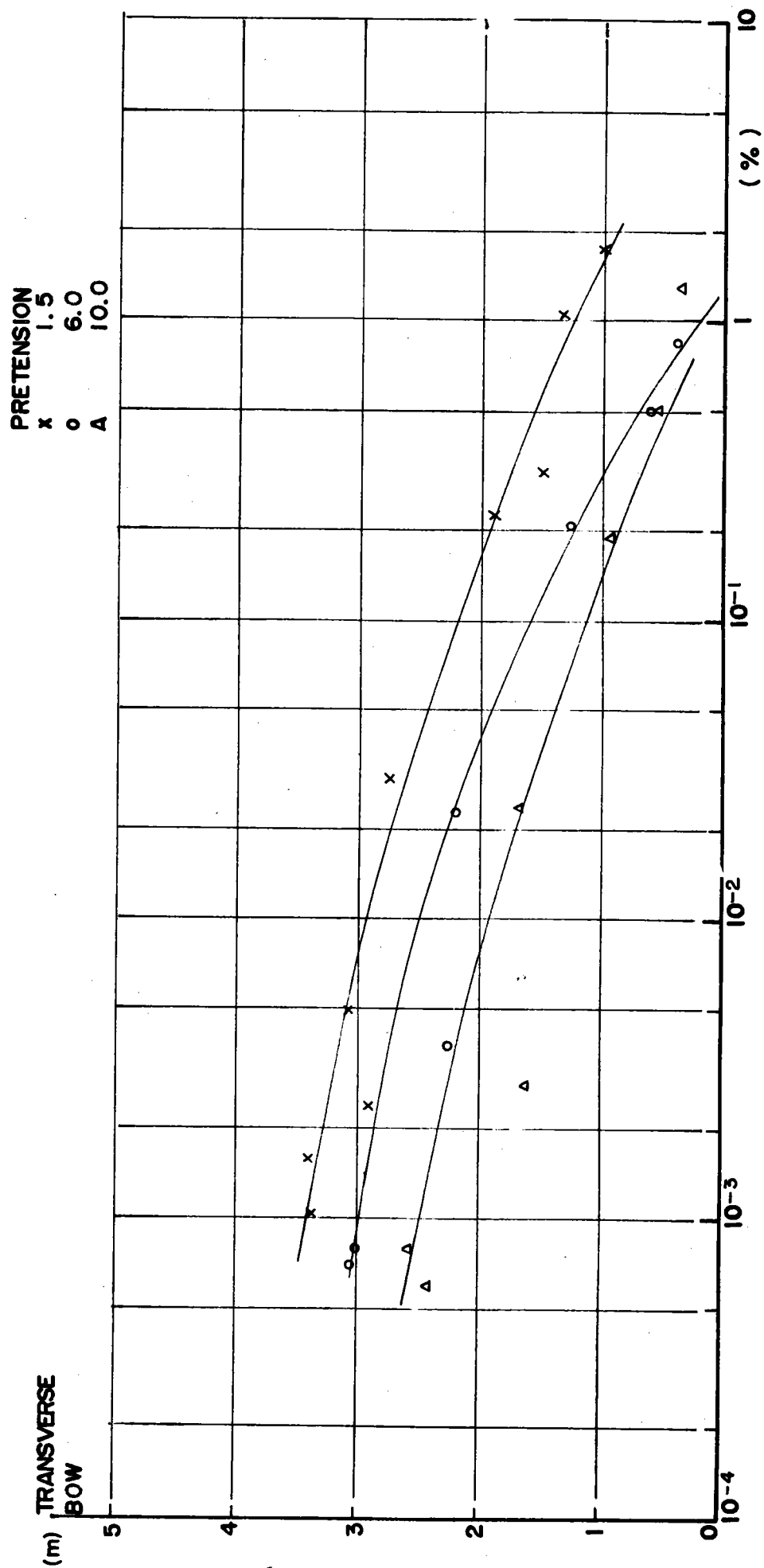


圖 6 - 1(c) 船體運動超過率 - TRANSVERSE BOW (WIND WAVES)

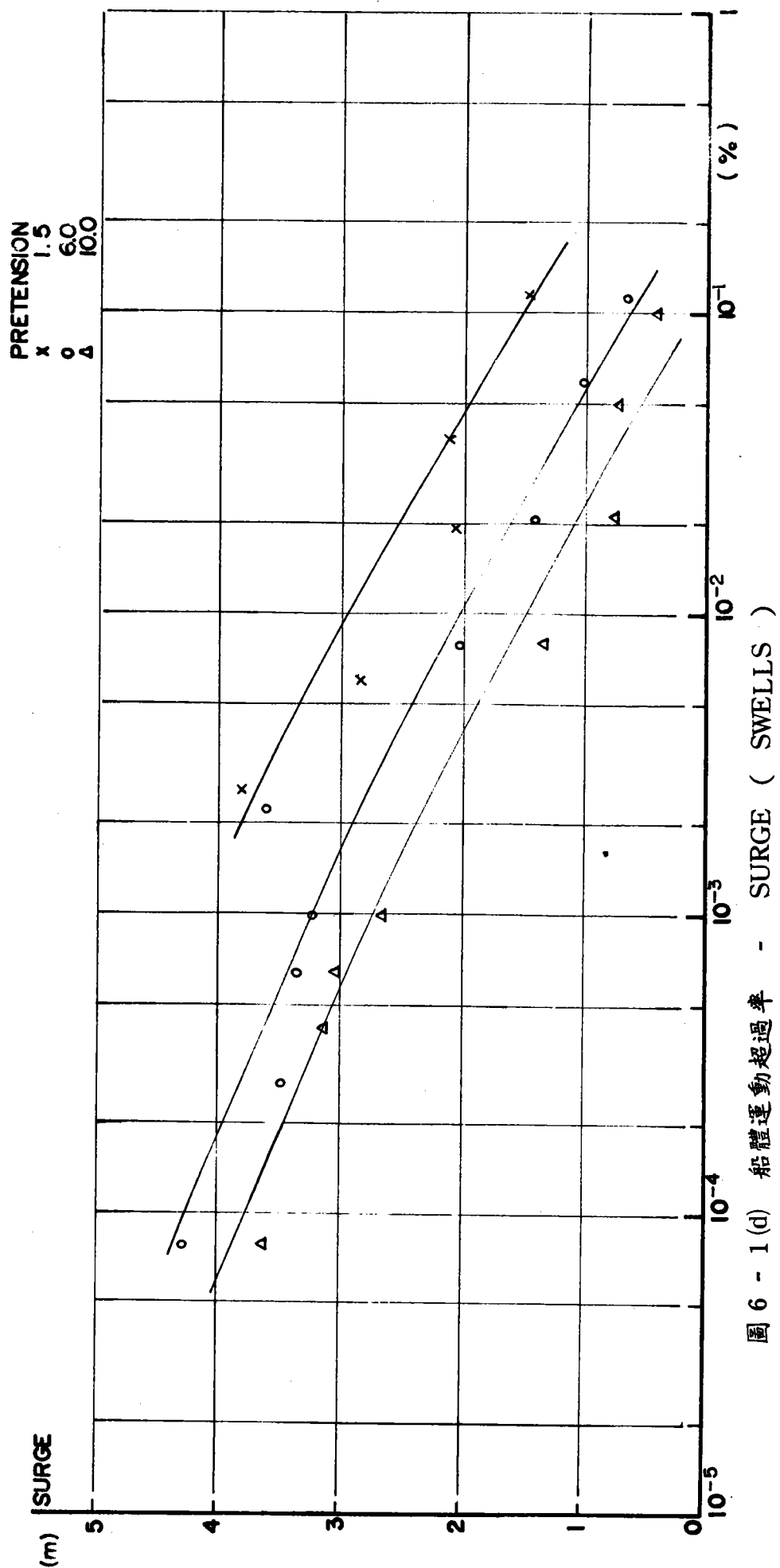


圖 6 - 1 (d) 船體運動超過率 - SURGE (SWELLS)

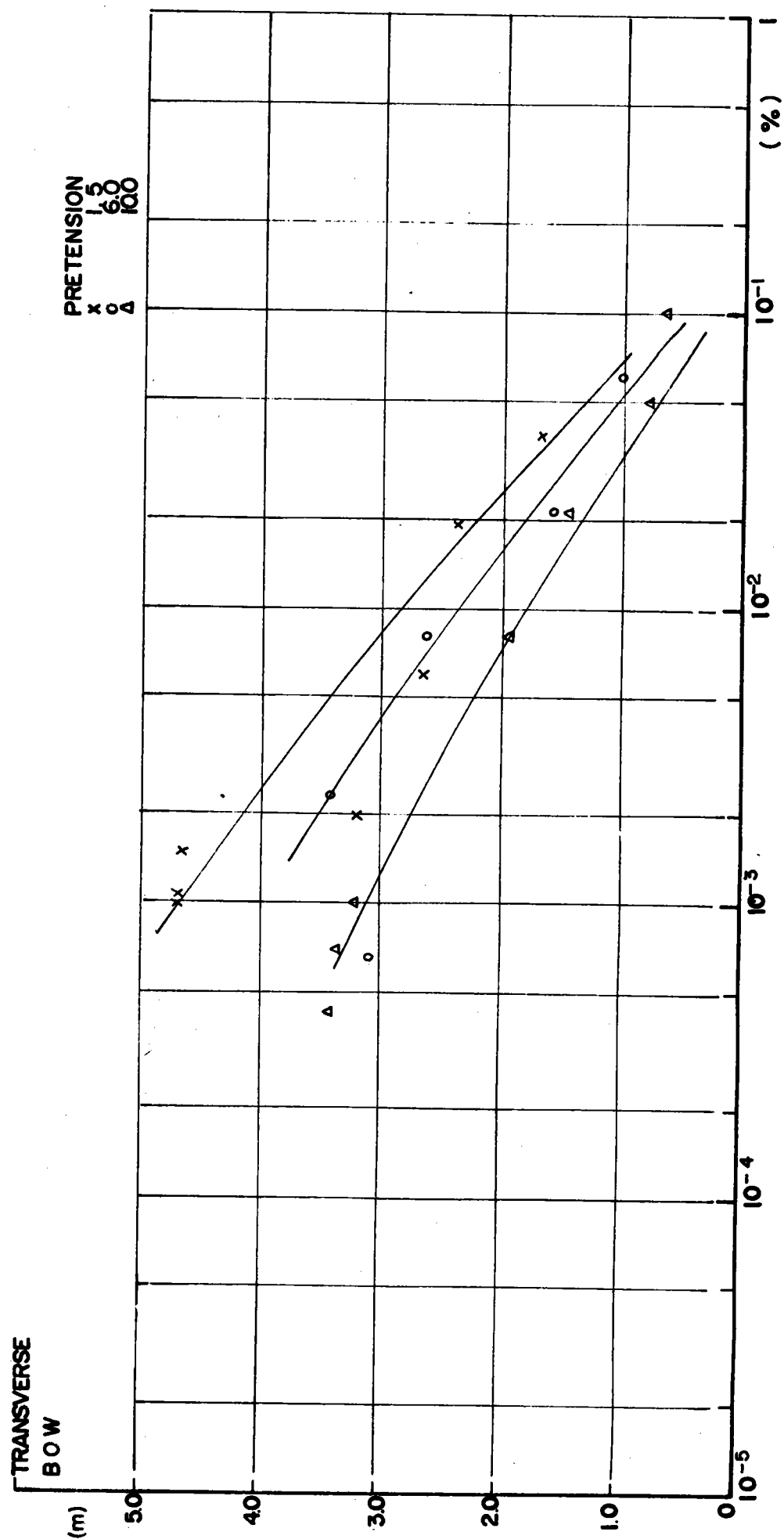


圖 6 - 1(e) 船體運動超過率 - TRANSVERSE BOW (SWELLS)

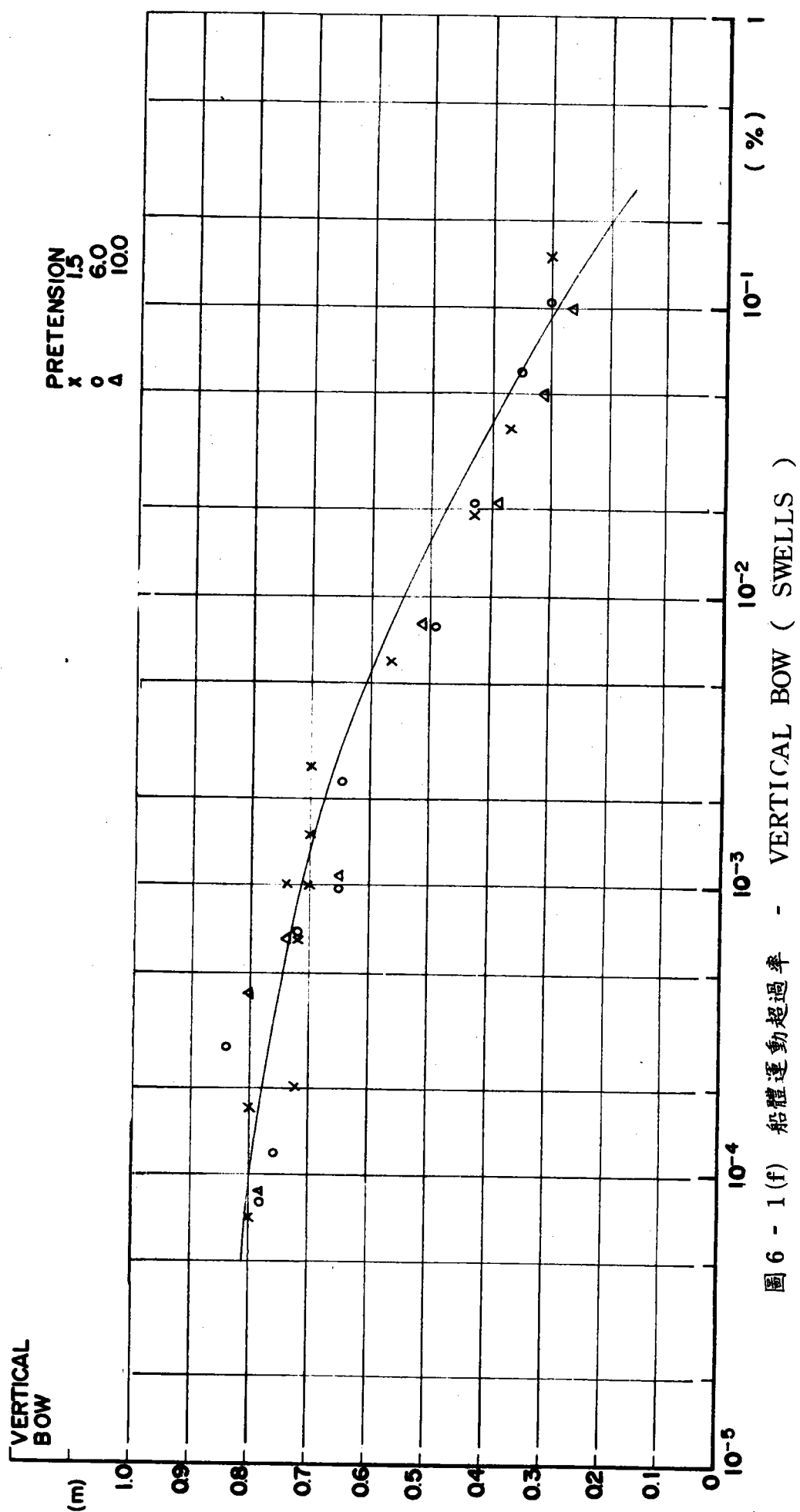


圖 6 - 1 (f) 船體運動超過率 - VERTICAL BOW (SWELLS)

表 6 - 1 容許裝卸作業深海最大示性波高及無法作業時間

波浪型態	vessel motion pretension	Surge	Transverse bow	Vertical bow	臨界條件
風	1.5 tons	1.73 *	1.77	3.0	1.73
		63.0	57.0	4.0	63.0
	6.0 tons	2.83	2.55 *	3.0	2.55
		5.7	10.5	4.0	10.5
	浪 10.0 tons	3.3	3.05	3.0 *	3.0
		2.1	3.5	4.0	4.0
湧	1.5 tons	1.57 *	1.97	2.5	1.57
		8.8	3.7	1.2	8.8
	6.0 tons	2.23	2.10 *	2.5	2.10
		1.5	2.8	1.2	2.8
	浪 10.0 tons	2.63	2.38 *	2.5	2.38
		0.9	1.5	1.2	1.5

1. $\times . \times \times (m) / \times \times . \times (hours / year)$ 容許作業深海波高 / 無法作業時間。

2. * 無法作業臨界條件。

四、估計無法碇靠時間

碼頭容許碇靠條件決定於纜繩拉力與護舷壓力。錨繫纜繩採用雙繩平行，每條極限拉力為 36 tons ，每纜為 72 tons 。設計容許拉力為 $50 \text{ tons} / \text{mooring}$ 。試驗結果受力與超過率如圖 6 - 2，容許碇靠最大深海示性波高與每年無法碇靠時間如表 6 - 2。纜繩預拉力為 1.5 tons 時，風浪及湧浪侵襲下，造成碼頭無法碇靠時間分別為 $1.3 \text{ hrs} / \text{year}$ 及 $1.0 \text{ hrs} / \text{year}$ ，此情況下，深海示性波高為 3.5 m 及 2.6 m 。纜繩預拉力拉高為 10 tons ，碼頭無法碇靠時間約減為 1.5 tons 時之一半；風浪及湧浪作用下分別為 0.6 hrs 及 0.4 hrs 。波高亦增為 3.85 m 及 3.0 m 。估計每年約有一小時超過容許碇靠條件。換言之，此可解釋為五至十年一次延時，數小時之巨浪所造成。值得注意的是波浪越大，延時越短，因之在此情況下無法碇靠之再現年數保守估計應為五年。

錨繫佈置若能加以研究，使每條纜繩拉力趨於平均分佈或改變碼頭型式，增加護舷摩擦力等，均可減少碼頭無法碇靠時間。

護舷壓力超過率如圖 6 - 3，當預拉力增加為 10 tons 時護舷壓力超過 120 tons 風浪時為 $3.2 \times 10^{-4} \%$ ，湧浪時為 $8.0 \times 10^{-5} \%$ ，無法碇靠波高超過 5.0 m ，每年發生時間均小於 0.1 小時，如表 6 - 2。

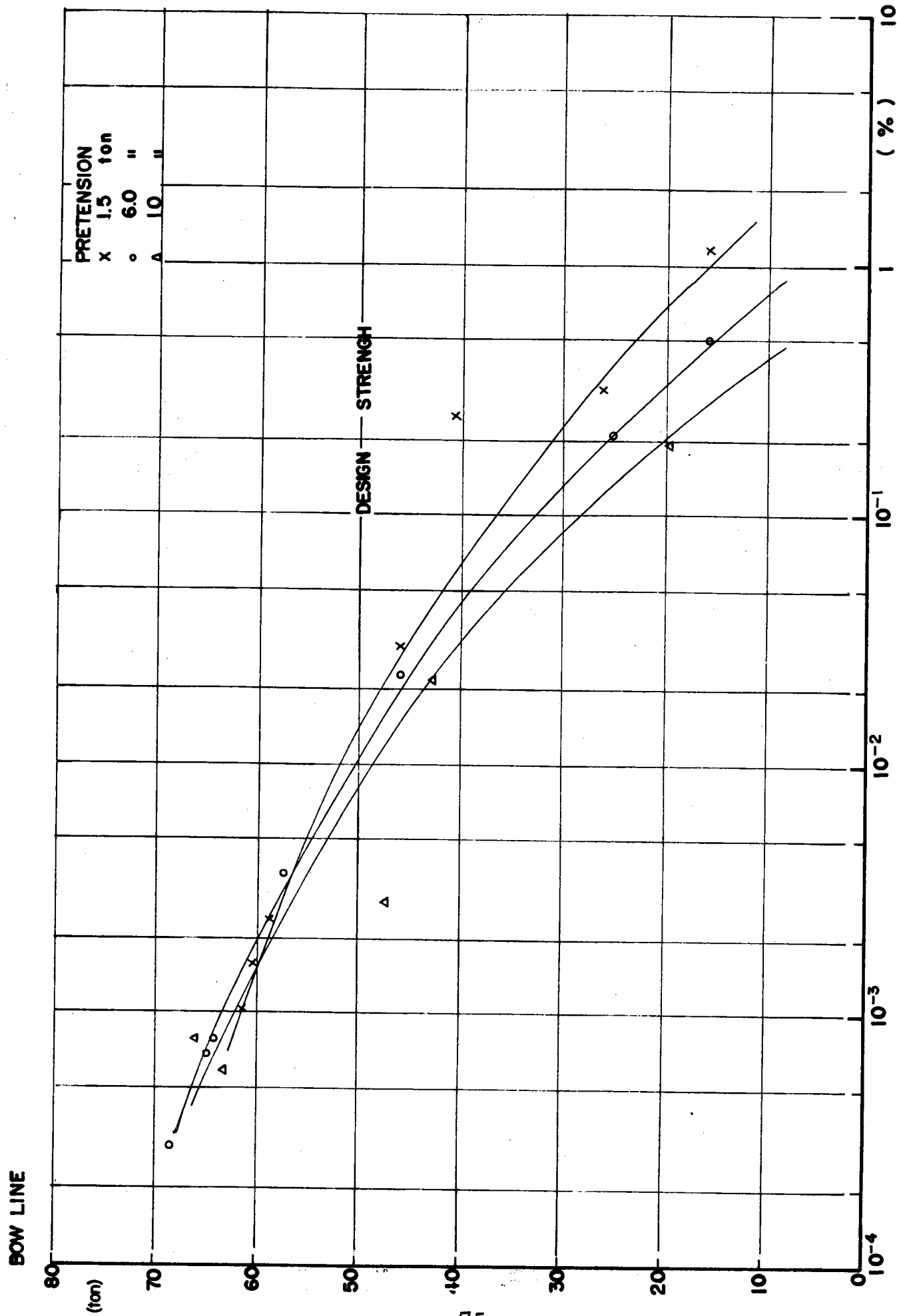


圖 6 - 2 (a) 纜繩受力超過率 - BOW LINE ($T_p = 10.5^s$)

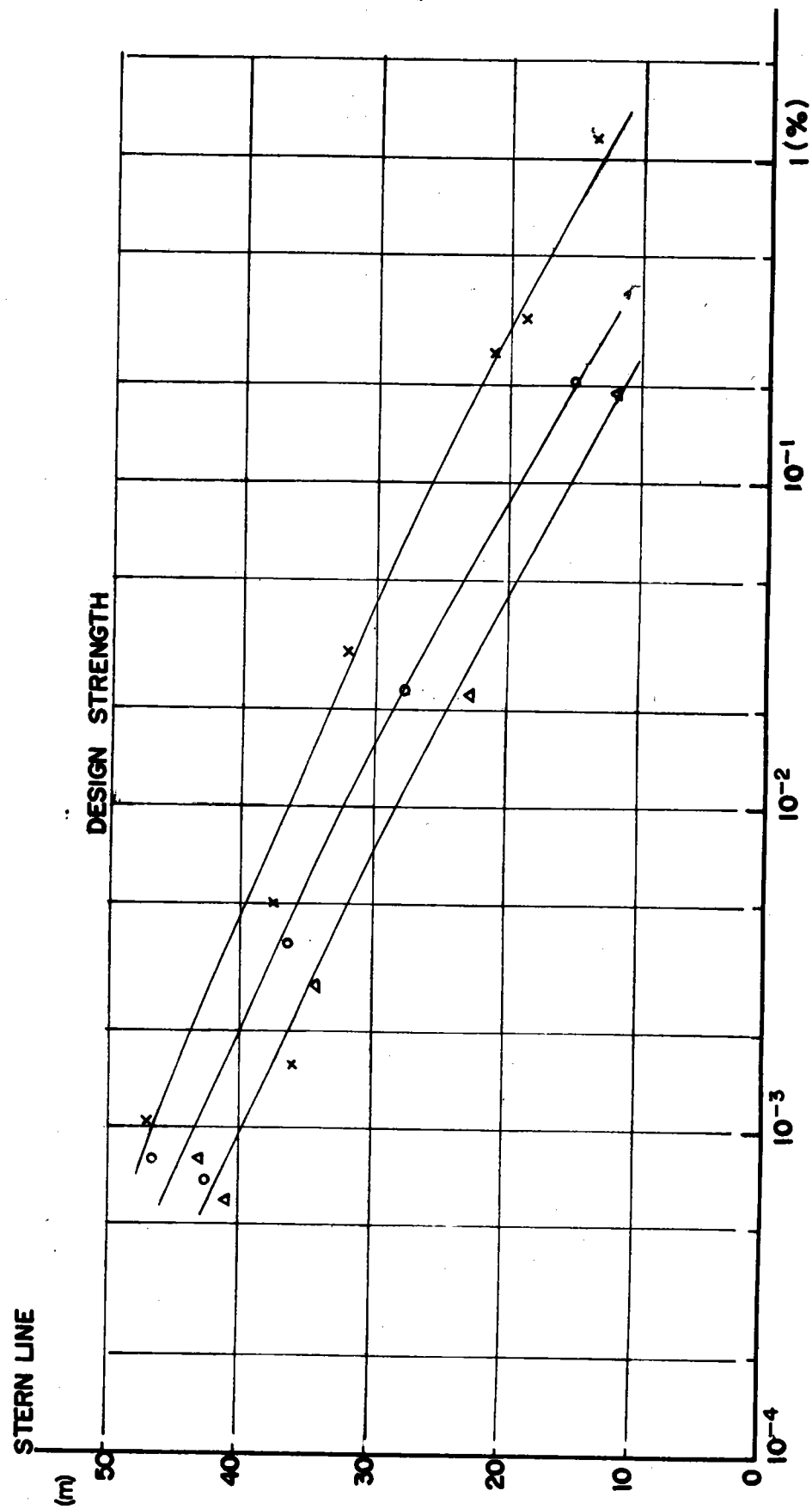


圖 6 - 2 (b) 纜繩受力超過率 - STERN LINE ($T_p = 10.5^\circ$)

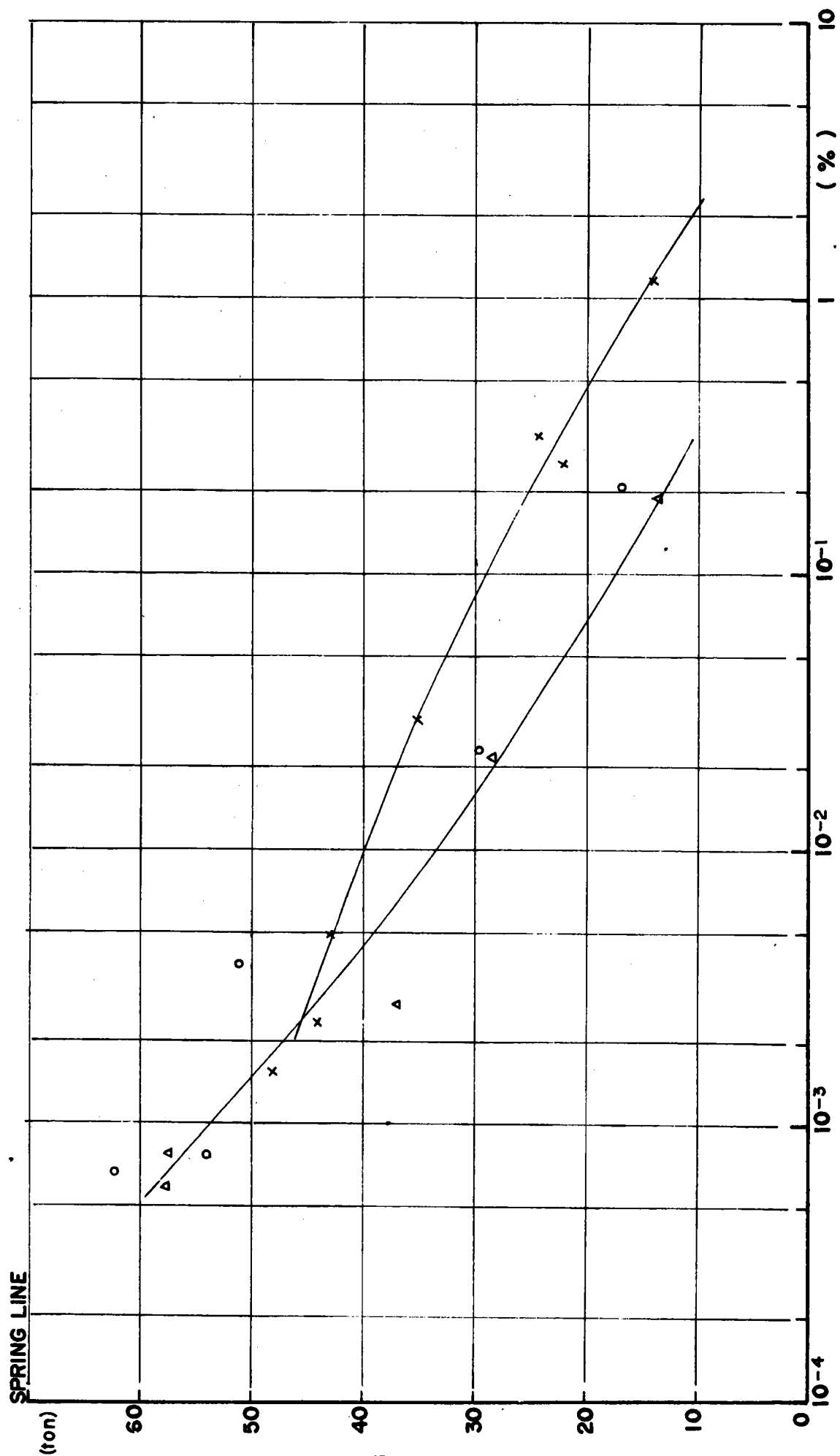


圖 6 - 2 (c) 纜繩受力超過率 STERN LINE ($T_p = 10.5^\circ$)

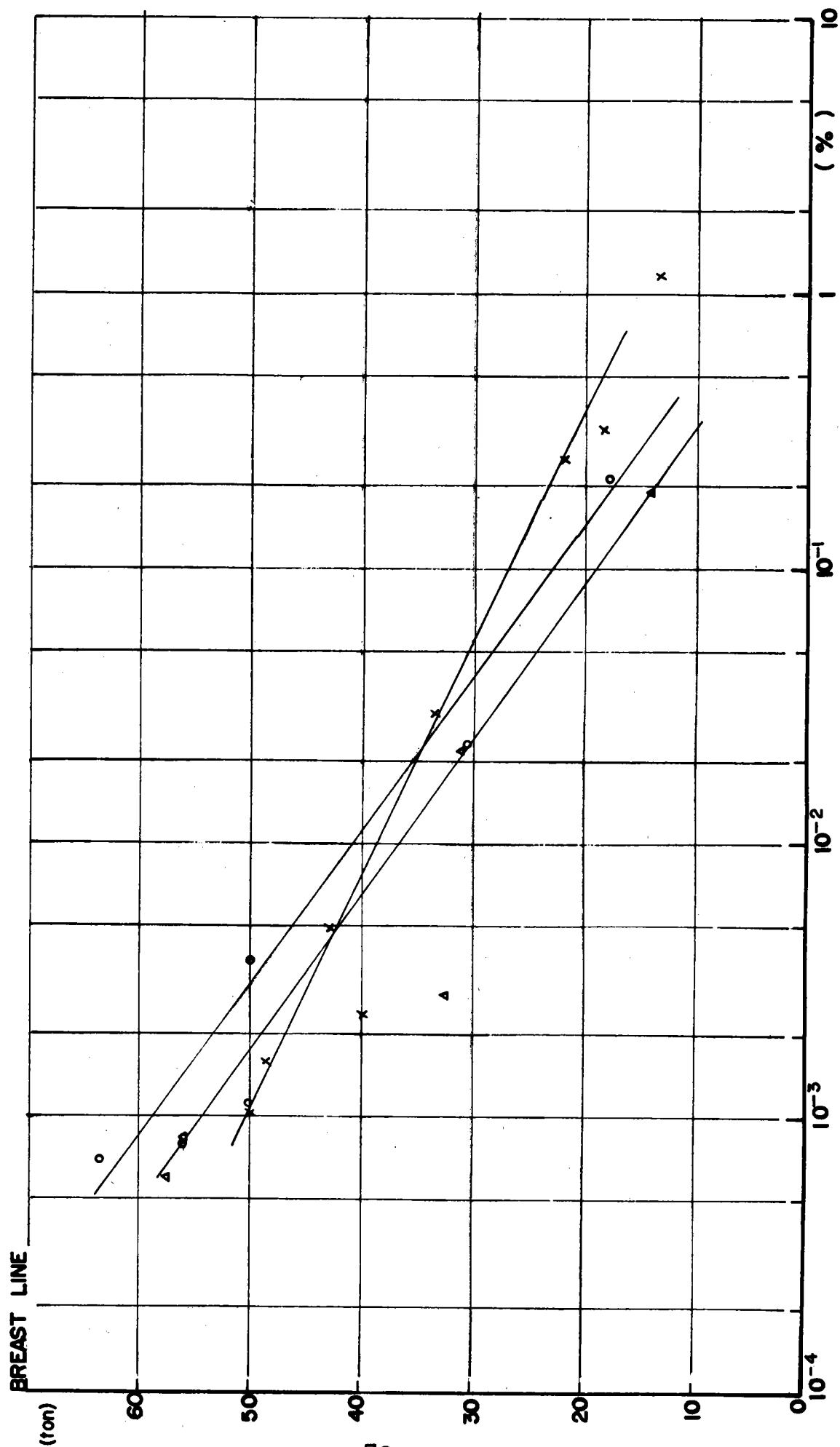


圖 6 - 2 (d) 纜繩受力超過率 - BREAST LINE ($T_p = 10.5^\circ$)

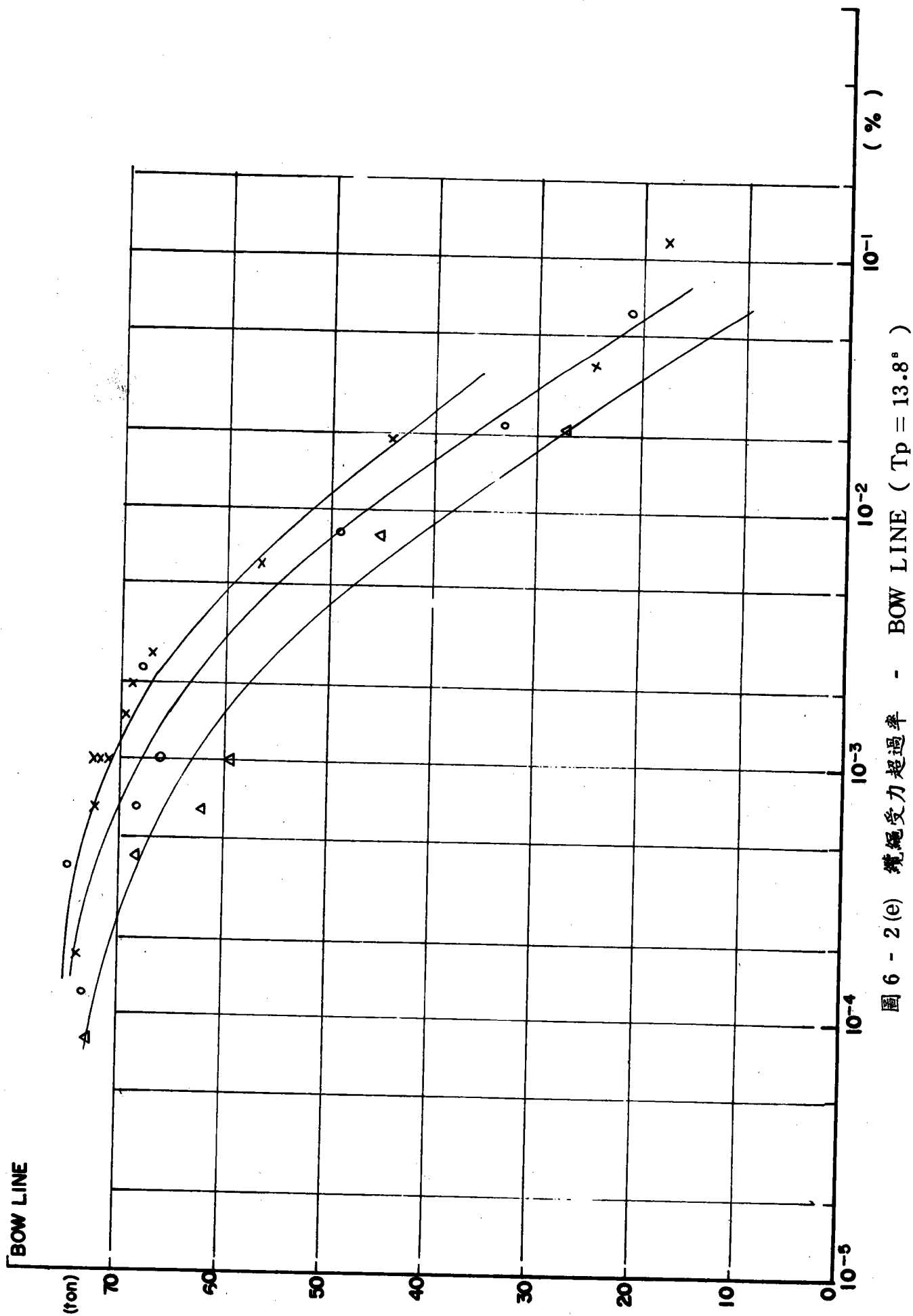


圖 6 - 2 (e) 纜繩受力超過率 - BOW LINE ($T_p = 13.8^s$)

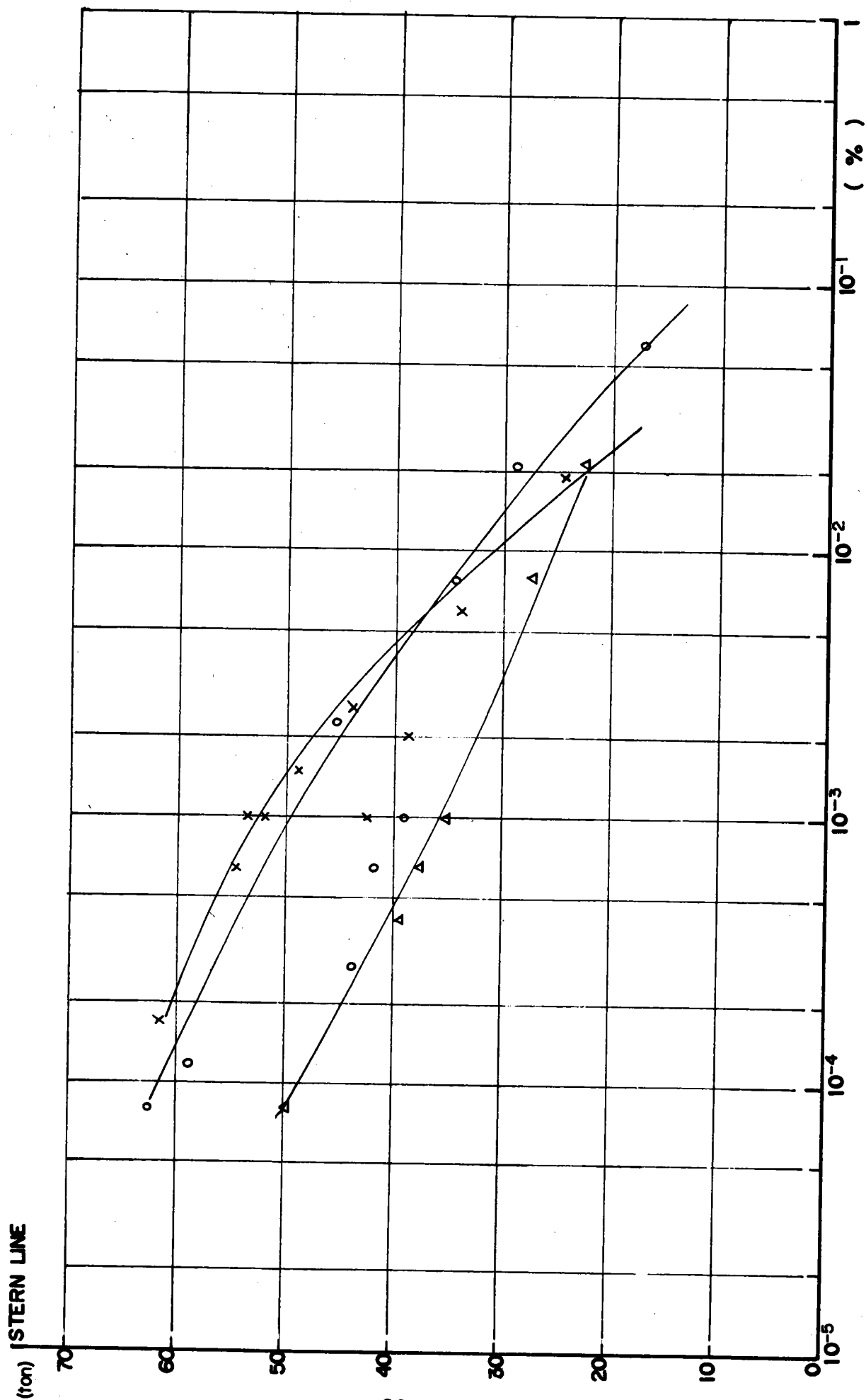


圖 6 - 2 (f) 纜繩受力超過率 - STERN LINE ($T_p = 13.8^\circ$)

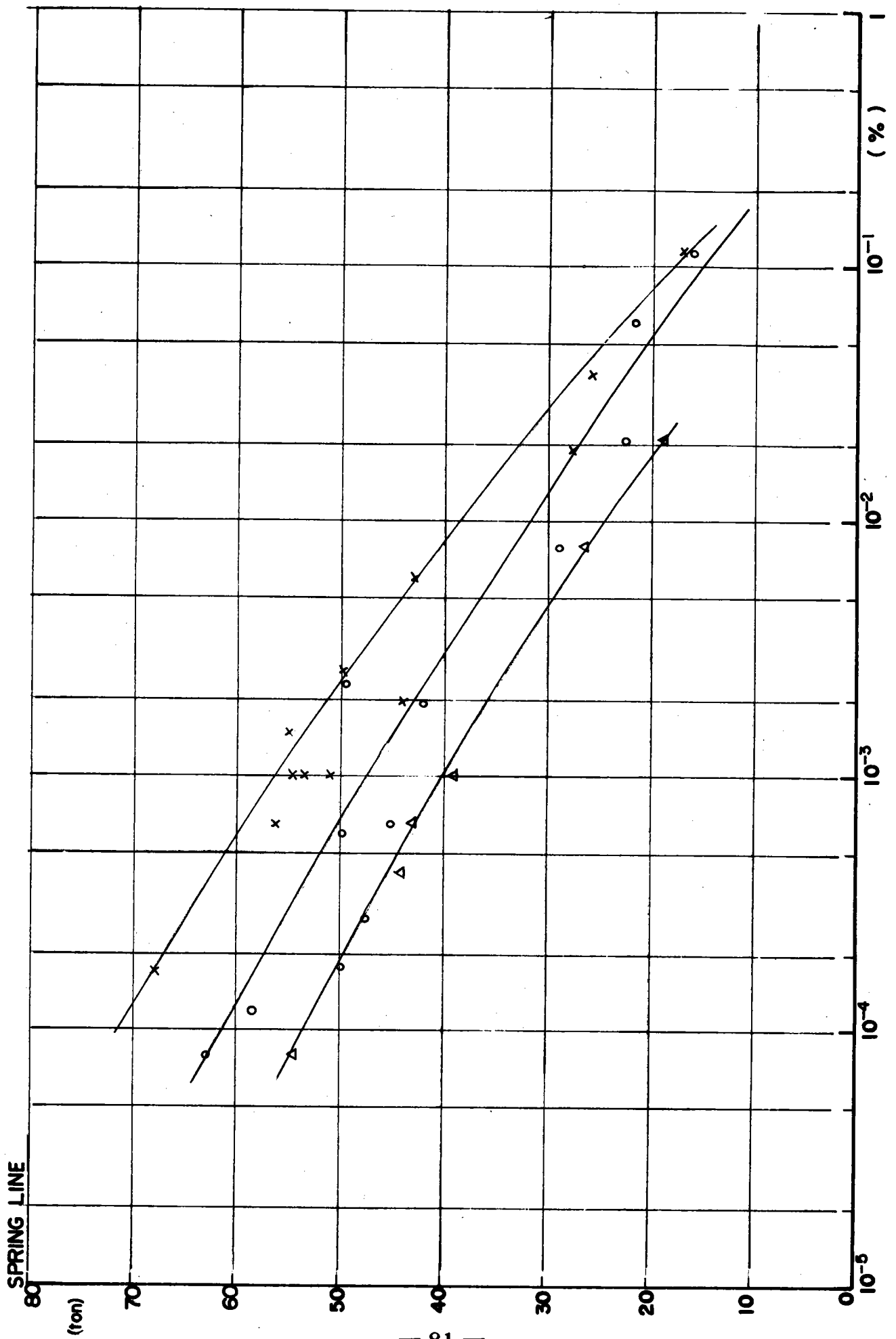


圖 6 - 2(g) 纜繩受力超過率 - SPRING LINE ($T_p = 13.8^\circ$)

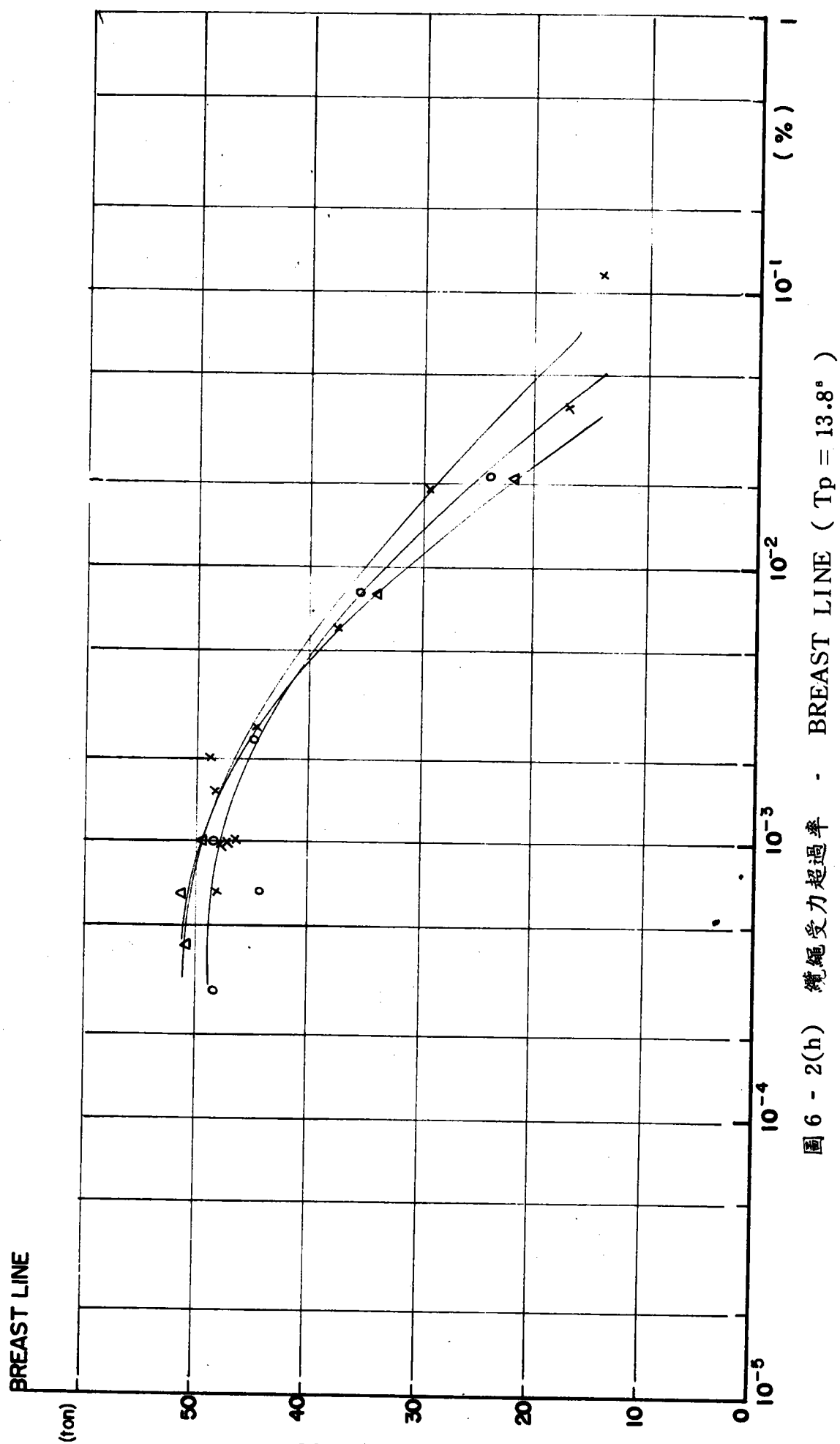


表 6 - 2 容許碇靠深海最大示性波高及無法碇靠時間

波浪型態	mooring line or fender Pretension	Bow line	Spring line	Breast line	Stern line	Fender F1	臨界 條件
風	1.5 tons	$\frac{3.5^*}{1.3}$	$\frac{4.77}{<0.1}$	$\frac{4.73}{<0.1}$	$\frac{5.0<\textcircled{O}}{<0.1}$	$\frac{5.0<}{<0.1}$	$\frac{3.5}{1.3}$
	6.0 tons	$\frac{3.6^*}{1.1}$	$\frac{4.4}{0.2}$	$\frac{4.23}{0.3}$	$\frac{5.0<}{<0.1}$	$\frac{5.0<}{<0.1}$	$\frac{3.6}{1.1}$
	10.0 tons	$\frac{3.85^*}{0.6}$	$\frac{4.51}{0.1}$	$\frac{4.53}{0.1}$	$\frac{5.0<}{<0.1}$	$\frac{5.0<}{<0.1}$	$\frac{3.85}{0.6}$
湧 浪	1.5 tons	$\frac{2.6^*}{1.0}$	$\frac{3.3}{0.21}$	$\frac{3.7<}{<0.1}$	$\frac{3.5}{0.1}$	$\frac{4.25<}{<0.1}$	$\frac{2.6}{1.0}$
	6.0 tons	$\frac{2.8^*}{0.6}$	$\frac{3.95}{<0.1}$	$\frac{3.7<}{<0.1}$	$\frac{3.75}{<0.1}$	$\frac{4.25<}{<0.1}$	$\frac{2.8}{0.6}$
	10.0 tons	$\frac{3.0^*}{0.4}$	$\frac{4.5}{<0.1}$	$\frac{3.7<}{<0.1}$	$\frac{4.7<}{<0.1}$	$\frac{4.25<}{<0.1}$	$\frac{3.0}{0.4}$
1. $\times.\times\times$ (m) / $\times\times.\times$ (hour/year) 容許碇靠深海最大示性波高 / 無法碇靠時間。 2. * 無去碇靠臨界條件。 3. $\textcircled{O}$ 容許碇靠最大示性波高 $> 5.0^m$, 無法碇靠時間 < 0.1 hour/yr。							

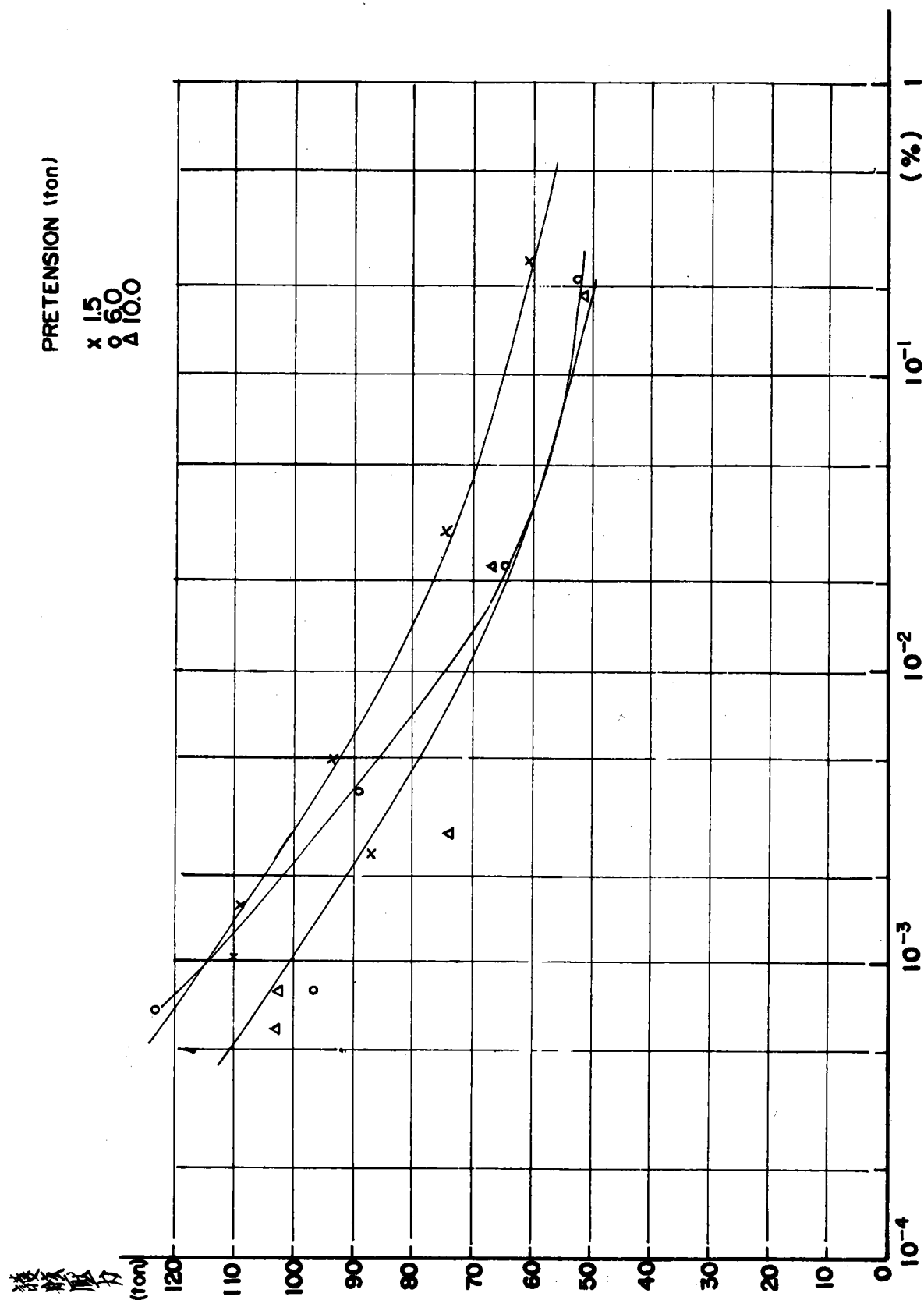


圖 6 - 3(a) 護舷壓力超過率 - 船首 F₁ (TP = 10.5°)

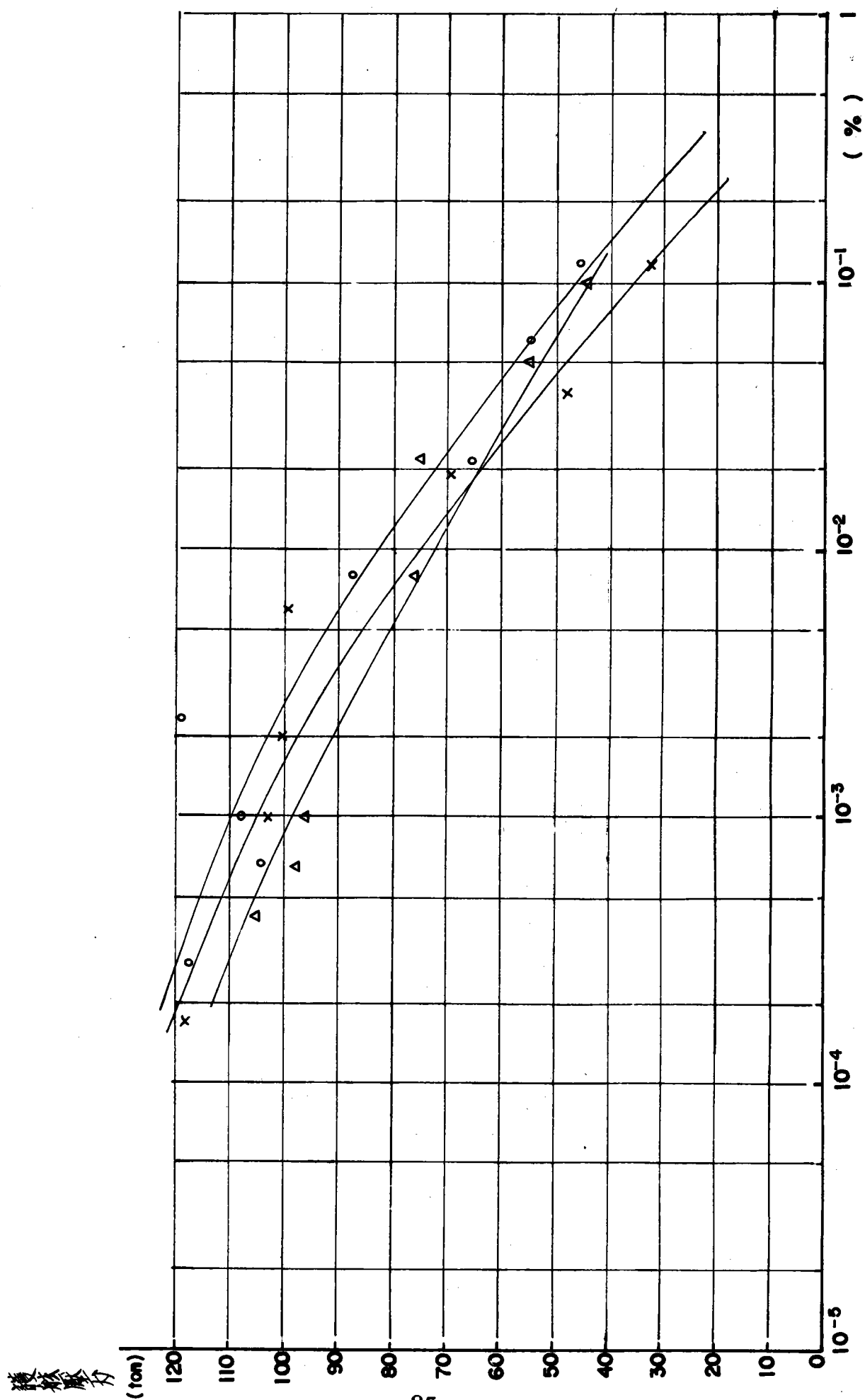


圖 6-3(b) 護舷壓力超過率 - 船首 F_1 ($T_p = 13.8^\circ$)

柒、討 論

船體受不規則波作用時，其動力為何較規則波情況下大增？根據試驗波譜分析顯示，港池在不規則波作用下，碼頭前泊地附近產生極大比例之長週期波浪能量。但利用規則波試驗時，並無此種現象發生。研判此乃係造成船體動力大增之主要原因。茲將群波引起長浪理論與計算結果概述如后：

一、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 7 - 1。每一個波通過海面時，均對其施力。施力大小與波高平方成正比。因之在波高較大處，水面呈下降 (Set down) 現象，相反的在波高較小處，使水面上升 (Set up) 以平衡作用力。Longnett -Higgins and Stewart (1964) 發現群波使水面下降 ξ 為

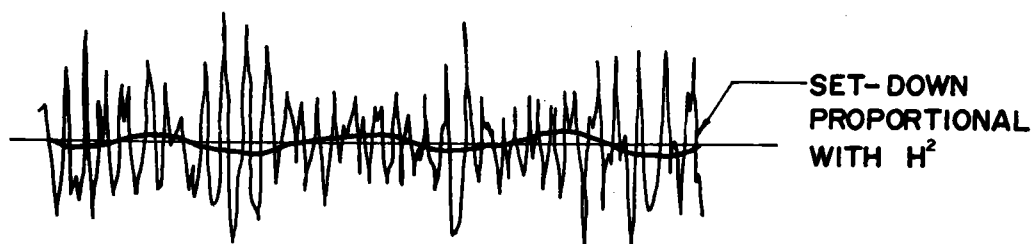
$$\xi = 3 g a^2 / 2 \omega^2 h \quad (1)$$

式中 g 為重力加速度； a 為波浪振幅； h 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；長波為二階 $O \left(\frac{H}{h} \right)^2$ 現象，忽略底床摩擦，推導平底床，一維前進任意兩個短波 η_n 及 η_m 所引起之長波水位變化 ξ 。

$$\begin{aligned} \eta_n &= A_n \cos(\omega_n t - k_n x_1) + B_n \sin(\omega_n t - k_n x_1) \\ \eta_m &= A_m \cos(\omega_m t - k_m x_1) + B_m \sin(\omega_m t - k_m x_1) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\xi}{h} &= G_1 h \left[\frac{A_n A_m + B_n B_m}{h^2} \cos(\Delta \omega_{nm} t - \Delta k_{nm} x_1) \right. \\ &\quad \left. + \frac{(-A_n B_m + B_n A_m)}{h^2} \sin(\Delta \omega_{nm} t - \Delta k_{nm} x_1) \right] \quad (3) \end{aligned}$$



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

圖 7 - 1 群波與長波關係

$$G_1 = \left[\frac{g}{2} \Delta \omega_{nm} \Delta k_{nm} \left(\frac{1}{C_n} + \frac{1}{C_m} \right) (1 + P) - \frac{1}{2} \Delta k_{nm}^2 \right. \\ \left. \Delta \omega_{nm}^2 h + \frac{\omega_n \omega_m \Delta k_{nm}^2 h \cosh(\Delta k_{nm} h)}{\cosh(\sigma k_{nm} h) - \cosh(\Delta k_{nm} h)} \right] / \left[(1 + P) \Delta \omega_{nm}^2 - gh \Delta k_{nm}^2 \right] \quad (4)$$

$$1 + P = \Delta k_{nm} h \cosh(\Delta k_{nm} h) \quad (5)$$

上式中 G 為短波與長波之轉換方程式

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

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

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

(3) 式顯示短波群所造成之長浪伴隨群波速度傳播，其波谷發生於波高較大處，相反的波峯出現在小波高處，利用長波與短波特性和 (4) 式轉換方程式繪製如圖 7 - 2，但 (4) 式中含有 $\Delta k_{nm} h$ 及 $\sigma k_{nm} h$ 並不實用，經重新計算後以 $\sqrt{\frac{h}{g}} f$ 及 $\frac{\Delta f}{f}$ 兩參數表示，其結果如圖 7 - 3。

Stig E Sand (1982) 建議兩短波所造成長浪高度可以下式概估近似值

$$\xi_a = G_{nm} h A_n A_m / h \quad (6)$$

上式中 A_n 及 A_m 分別為兩短波之振幅，如用 $A_n = A_m = H_s / 4$ 代入 (6) 式，可得長波振幅近似值。

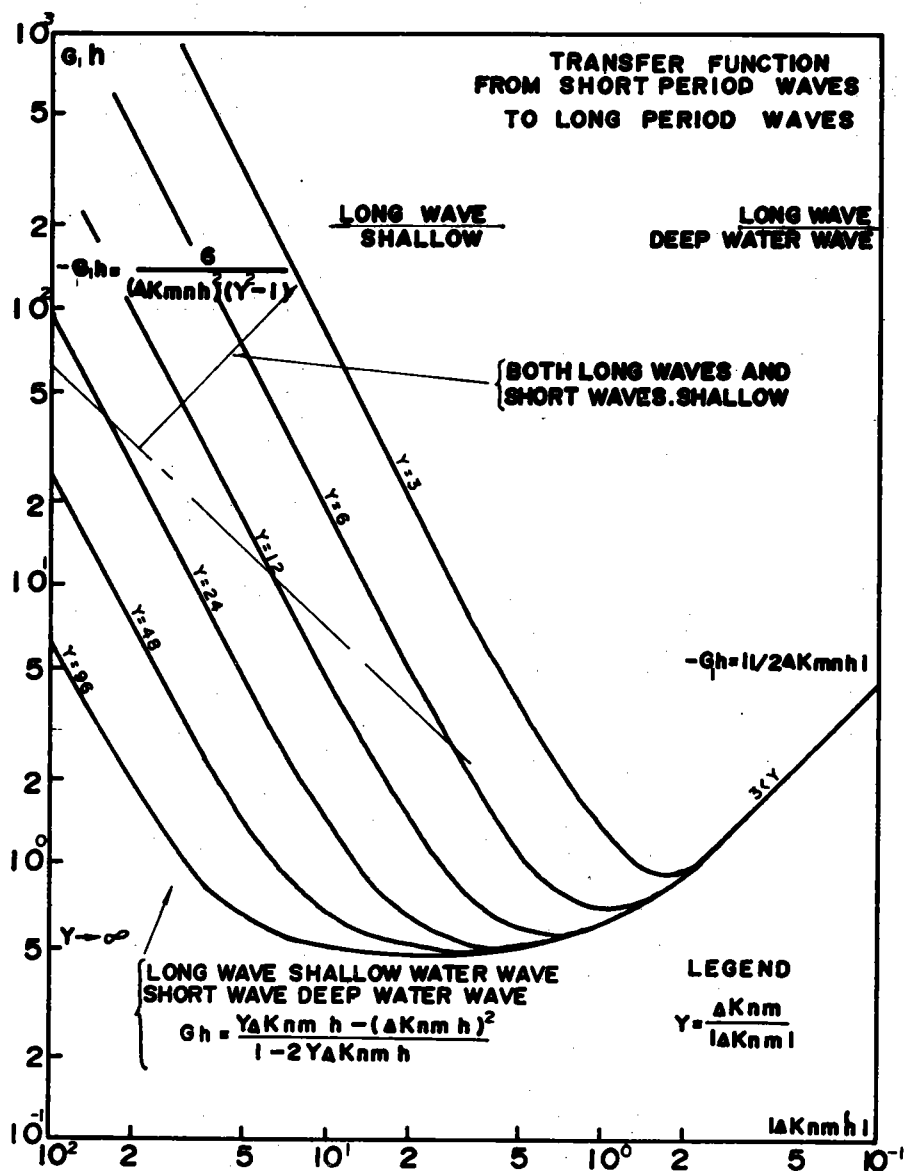


圖 7 - 2 長浪與短浪轉換函數圖

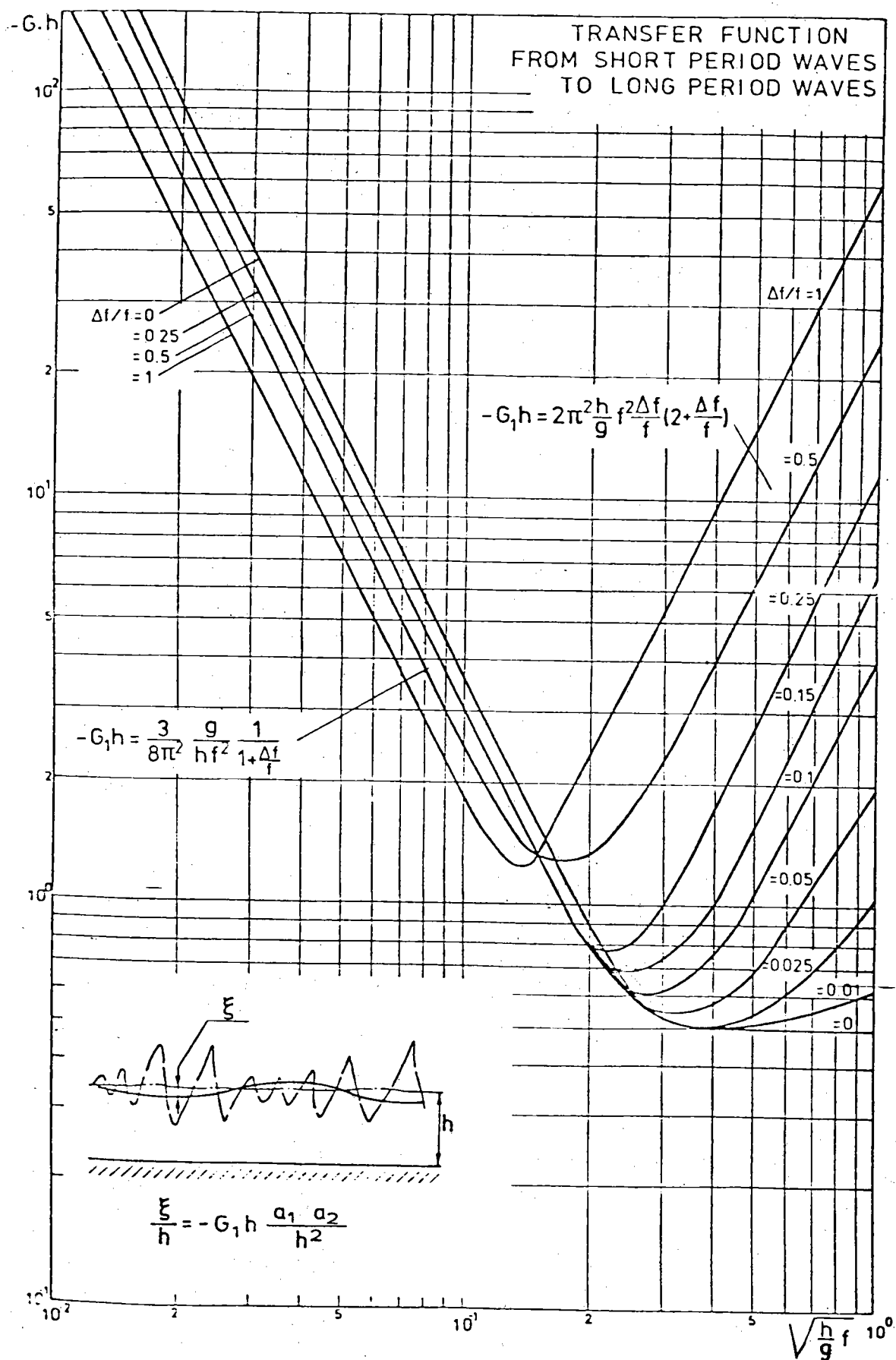


圖 7 - 3 長波振幅計算圖

二、計算結果

根據上述群波引起長浪理論，就本試驗研究所採用波浪條件分別以四個波及十個波組長群波，計算可能產生之長浪特性。

1. 長浪波長

不規則波 尖峯週期 (sec)	深海波長 (m)	8 ^m 水深波長 (m)	群 波 組 成 個 數	
			4 個波波長 (m)	10 個波波長 (m)
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

2. 長浪振幅

假設試驗不規則波示性波高分別為 2^m 及 3^m，則 $A_n = A_m = 0.5^m$ 及 0.75^m 。利用圖 7 - 3 計算水深 22^m 處長波振幅如下表

不規則波 尖峯頻率 f_p	$\sqrt{\frac{h}{g}}$ — f g	$H_s = 2^m$				$H_s = 3^m$			
		$\Delta f/f=0.1$		$\Delta f/f=0.25$		$\Delta f/f=0.1$		$\Delta f/f=0.25$	
		$G_{mn}h$	$\xi_{(cm)}$	$G_{mn}h$	$\xi_{(cm)}$	$G_{mn}h$	$\xi_{(cm)}$	$G_{mn}h$	$\xi_{(cm)}$
1 / 9.0	0.166	1.25	1.4	1.1	1.3	1.25	3.2	1.1	2.8
1 / 10.5	0.143	1.70	1.9	1.49	1.7	1.70	4.3	1.49	3.8
1 / 11.5	0.130	2.04	2.3	1.79	2.0	2.04	5.2	1.79	4.6
1 / 13.8	0.109	2.93	3.3	2.58	2.9	2.93	7.5	2.58	6.6
1 / 16.5	0.091	4.19	4.8	3.69	4.2	4.19	10.7	3.69	9.4
1 / 20.0	0.075	6.16	7.0	5.42	6.2	6.16	15.8	5.42	13.9

計算結果顯示長浪振幅隨不規則波週期增加而增大；而隨群波組成個數增加而減小。故船體動力隨試驗波浪週期增長而加大。

捌、結論與建議

一、結論

- 1.規則波試驗結果顯示各測點波浪係數成散亂分佈；而同樣情況下，不規則波所得係數較為一致。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。
- 2.規則波作用下，護舷壓力、纜繩拉力與船體運動均隨波高增大週期加長而增加。但除長週期外，受波高增大影響較不顯著。且護舷壓力、纜繩拉力與船體運動均甚小。
- 3.規則波週期 20° 時，碼頭附近波長係為船長之二倍，使船首產生極大之橫向及垂向運動；而船體縱向運動量增加極為有限。除船首纜繩拉力增加幅度較小外，其他纜繩及護舷受力均大幅增加。
- 4.不規則波試驗時，受群波所引致長波（Grouped induce long waves）作用。護舷壓力、纜繩拉力及船體運動等均增加為規則波作用情況下之數倍，且受波高與週期變化影響更為顯著，但週期由 16° 增加至 20° 時，並未比例增加。
- 5.纜繩預拉力增加，船體除垂直向運動外，均顯著減小。波高超過 2^m 時，護舷壓力、纜繩拉力均隨預拉力增加而減小。
- 6.碼頭形式由橫橋式改為直立式時，船體橫向運動顯著減小，縱向運動則略稍增加。綜合船隻動力條件，及護舷受力顯示垂直式碼頭較棧橋式碼頭理想。
- 7.影響船體動力主要因素有波浪特性，港池佈置碼頭型式，錨繫佈置與護舷、船體特性等。本試驗僅為一種個案研究，其結果可提供今後港灣規劃試驗應走的方向，而不足以作為規劃設計之依據。

二、建議

1. 隨着科技進步，試驗室已能利用自動控制系統，使海面不規則波浪在試驗水池重現。傳統性規則波造波機已逐漸被淘汰。由本研究結果顯示，利用規則波辦理試驗雖大致可了解港口受外海風浪侵襲時，港池穩靜狀況。但辦理碇泊船隻動力試驗，其結果則毫無可信度。因此建議爾後辦理海岸構造物水工模型試驗，儘量採用不規則波代替規則波。對現有港池，重新檢討碇泊條件，必要時，利用不規則波辦理檢核試驗，以尋求最佳錨靠佈置。
2. 除波浪，水位等海象因素外，船隻錨靠系統（纜繩強韌度、預拉力與配置），護舷特性（應力應變關係摩擦係數）碼頭構造（直立式或棧橋式）等，對船體運動、纜繩拉力及護舷壓力等均產生直接影響，因之興建碼頭時，建議辦理不規則波船隻動力試驗。
3. 試驗研究成果決定於試驗設備之良窳，國內電子及自動控制工業雖甚發達，但因市場限制，未能投入適當人力、物力研究製造精密儀器與設備，大部份研究機具、儀器均仰賴國外進口，不但浪費公帑，且採購費時，緩不濟急，一朝故障更是任由國外製造商（或國內代理商）予取予求，建議國科會調查國內研究儀器需求，並推動儀器自製。
4. 人才培育為發展科技最重要一環，國內教育較偏重於有形學校教育；而忽視在職進修。因之，即使擁有優異畢業生，進入社會工作後，却缺乏指導人員與研究環境而未能發揮其潛能。建議政府除繼續辦理在職進修外，研究機構應寬列經費聘請專業人員指導並帶動研究計畫。
5. 國內高級研究人員往往身負行政工作，而不能專心從事研究，為減輕高級研究人員行政工作負擔，建議建立秘書（或行政助理）制度。

玖、參考書籍

1. Puerto de Carboneras, "Wave Disturbance Model Test" Danish Hydraulic Institute, Nov. 1982.
2. Aage, Christian. "Loading of Ship Models". Internal DHI Paper, 1982.
3. Wave Signal Generator, Technical Manual, DHI, 1982.
4. N.-E. Ottesen Hansen & Others "Correct Reproduction of Long Waves in Physical Models 17th International Conference on Coastal Engg., 1980.
5. Stig E. Sand, "Long Wave Problems in Laboratory Models", journal of water ways Hydraulic.
6. "Manual DE FUNCIONAMENTO DO GERADOR DE ONDAS IR REGULARES", RIO DE JANEIRO, JUNHO, 1980.

附錄 I 儀器率定值及試驗情況

File:

Setup no.

Date: 2/1/74

μ -bomp no	UV no	Description	Kal	Note
1		Wave Height meter	(1V $\rightarrow$ 5cm) 1V $\rightarrow$ 2.5m	
2		"	"	
3		"	"	
4		"	"	
5		"	"	
6		"	"	
7		"	"	
8		"	"	
9		"	"	
10		"	"	
11		"	"	
12		"	"	
13		Monitor		
14		Blank		
15		Mooring line strain gauge	(100g $\rightarrow$ 1.25V) 1V $\rightarrow$ 10 tons	
16		"	"	
17		"	"	
18		"	"	
19		"	"	
20		"	"	
21		Movement meter	(2cm $\rightarrow$ 2V) 1V $\rightarrow$ 0.5m	
22		"	"	
23		"	"	
24		"	"	
25		"	"	
26		"	"	
27		Fender strain gauge	(100g $\rightarrow$ 5V) 1V $\rightarrow$ 25 tons	
28		"	"	
29				
30				
31				
32				

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.K. Chang

Date

July 27, 28, '83

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H ₅₀ (m)	Wave period T _p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
1	Reg.	4.3	8.6	6.30		2.0	1st generation
2	"	3.2	"	"		1.5	
3	"	5.4	"	"		2.5	
4	"	6.6	"	"		3.0	
5	"	2.6	10.7	7.83		1.5	
6	"	3.6	"	"		2.0	
7	"	5.5	"	"		3.0	
8	"	5.42	8.5	6.21		2.25	
9	"	6.55	"	6.25		2.75	
10	"	7.44	"	"		3.25	
11	"	4.53	10.5	7.77		2.5	
12	"	5.00	"	"		2.75	
13	"	5.93	"	"		3.25	
14	"	6.47	"	"		3.50	
15	"	2.55	11.5	8.5		1.5	
16	"	3.66	"	"		2.0	
17	"	4.53	"	"		2.5	
18	"	5.54	"	"		3.0	
19	"	6.39	"	"		3.5	
20	"	7.30	"	"		4.0	
21	"	6.81	"	"		3.7	

Subject

Subject *Case Study of St. George*

Prepared by

Prepared by C.K. Chang Date _____

Date

August 1, '83

Test Program

[illegible]

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.K. Chang

Date

August 2, 83

Test Program

11,58

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H _{so} (m)	Wave period T _p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
36	Irregular			3.32	16.81	3.5	FFT Signal Generator
37	"	2.34	9.5	3.90	19.9	2.5	
38	"	2.21	10.3	3.70	18.7	2.5	1.5 ton
39	"	3.19	"	"	"	3.5	
40	"	4.03	"	"	"	4.5	
41	"	4.36	"	"	"	4.75	
42	"	4.55	"	"	"	5.25	
43	"	4.75	"	"	"	5.40	
44	"		"	"	"	4.5	FFT Channel 10 and signal
45	"		10.3	2.94	14.9	3.0	FFT input signal Cha 1 & 6
46	"		13.8	2.80	14.2	3.0	FFT
47	"	2.34	"	"	"	2.5	1.5 ton
48	"	2.86	"	"	"	3.0	
49	"	3.25	"	"	"	3.5	
50	"	3.71	"	"	"	4.0	
51	"	3.90	"	"	"	4.25	
52	"	3.38	"	"	"	3.75	
53	"	3.91	"	"	"	4.0	
54	"	3.71	"	"	"	4.0	
55	"	3.51	"	"	"		

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.K. Chang

Date

August 3, '83

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H ₅₀ (m)	Wave period T _p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
56	Regular			9.90	1.9.1	1.5	1.5 ton pretension
57	"			"		2.0	"
58	"			"		2.5	"
59	"			"		3.0	"
60	"			"		2.75	"
61	"			"		2.75	FFT
62	"	2.33	8.6 ⁺	6.25		1.0	"
63	"	4.28	"	"		1.75	"
64	"	1.90	10.6	7.77		1.0	"
65	"	3.18	"	"		1.75	"
66	"	1.78	11.5 ⁺	8.5		1.0	"
67	"	3.21	11.5 ⁺	"		1.75	"
68	"	1.45	19.97	1.41 ^{1/2}		1.5	"
69	"	1.93	"	"		2.0	"
70	"	2.35	"	"		2.5	"
71	"	2.54	"	"		2.75	"
72	"	3.20	"	"		3.50	"

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.K. Chang

Date

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H_{50} (m)	Wave period T_p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
73	Irreg	2.28	13.8	2.8	14.2	2.5	6 ⁺ pretension
74	"	2.73	"	"	"	3.0	"
75	"	3.32	"	"	"	3.5	"
76	"	3.71	"	"	"	4.0	"
77	"	3.90	"	"	"	4.27	"
78	"	4.29	"	"	"	4.5	"
79	"	2.28	10.5	3.68	18.69	2.5	"
80	"	3.32	"	"	"	3.5	"
81	"	4.16	"	"	"	4.5	"
82	"	4.88	"	"	"	5.25	"
83	"	4.94	"	"	"	5.40	"
84	"	2.34	"	"	"	2.5	10 ton pretension
85	"	3.32	"	"	"	3.5	"
86	"	4.29	"	"	"	4.5	"
87	"	4.88	"	"	"	5.25	"
88	"	5.01	"	"	"	5.40	"
89	"	2.28	13.8	2.8	14.2	2.5	"
90	"	2.73	"	"	"	3.5	"
91	"	3.71	"	"	"	4.0	"
92	"	3.90	"	"	"	4.25	"
93	"	4.16	"	"	"	"	"

[illegible]

Subject *Case Study of St. George* Prepared by *C.H. Chang* Date *Sept. 8, '83*

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H _{so} (m)	Wave period T _p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
201	Irreg.		10.5	3.7	18.7	1.5	1.5 ton
202	"		"	"	"	2.0	
203	"		10.0	"	"	5.8	
204	"		"	"	"	6.0	
205	"		13.8	2.80	14.2	1.5	
206	"		"	"	"	2.0	
207	"		"	"	"	4.5	
208	"		"	"	"	5.0	
209	"		11.5	3.32	16.81	1.5	
210	"		"			2.0	
211			9.0	4.16	20.80	1.5	
212			9.0	"	"	6.0	
213			10.5	3.7	18.7	5.6	
214			20.0	1.98	10.0	2.0	FFT
215			"	"	"	1.5	
216			"	"	"	2.0	
217			"	"	"	2.5	
218			"	"	"	3.0	Gauge 23 1.5 cm → 1.2V
219						3.5	Gauge 1
220						3.5	Volt/1.3

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.K. Chang

Date

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H ₅₀ (m)	Wave period T _p (sec)	Index of period	Reading speed (cm./sec)	Index of amplitude	Remarks
221			10.5	3.7	18.7	5.5	
222			"	"	"	1.5	6 ton per
223			10.5			1.7	
224			11.1			2.0	
225			13.8	2.8	14.2	1.5	
226			"			1.7	
227			"			2.0	
228			"			4.5	
229			"			5.0	
230			10.5	3.7	18.7	5.6	
231			"			5.8	
232			13.8	2.8	14.2	5.2	
233			"	"	"	1.5	10 ton per
234			"			1.7	
235			"			2.0	
236			10.5	3.7	18.7	1.5	
237			"	"	"	2.0	
238						5.5	
239						5.8	
240			13.8	2.8	14.2	5.3	
241			"	"	"	5.1	

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.K. Chang

Date

Sept, 16.

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H ₅₀ (m)	Wave period T _p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
242	Irreg.		13.8	2.8	14.2	1.7	Close type
243	"		"	"	"	2.0	
244	"		"	"	"	2.5	
245	"		"	"	"	3.0	
246	"		"	"	"	3.5	
247	"		"	"	"	3.7	Gauge 1 Volt/1.30
248	"		"	"	"	4.0	
249	"		"	"	"	4.5	
250			"	"	"	5.0	
251			"	"	"	5.5	
252			"	"	"	5.2	
253			10.5	3.7	18.7	1.5	
254			"	"	"	2.0	
255			"	"	"	2.5	
256			"	"	"	3.0	
257			"	"	"	3.5	
258			"	"	"	4.0	
259			"	"	"	4.5	
260			"	"	"	5.0	
261			"	"	"	5.5	

Subject

Case Study of St. George

Prepared by

C.H. Chang

Date

Test Program

Test Number	Regular or Irregular	Wave height H_{50} (m)	Wave period T_p (sec)	Index of period	Reading speed (ch./sec)	Index of amplitude	Remarks
262	Irreg		10.5	3.7	18.71	1.5	Open type
263			"	"	"	2.0	Record
264			"	"	"	2.5	
265			"			3.0	
266			"			3.5	
267			"			4.0	
268			"			4.5	
269			"			5.0	
270			"			5.5	
271			13.8	2.8	14.20	1.7	
272						2.5	
273						3.5	
274						4.0	
275						5.0	
276						4.5	
277						4.2	
278						4.8	
279						5.1	
280						3.0	
281						3.7	

附錄Ⅱ 電腦資料掃描及分析

TEST: 00037

DATE: 19830802

NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

NUMBER OF CH. MAX 32 : 12 28

MAX NUMBER FFT : 00

SAMPLES/SEC/CH : 0107

TIME (HOURS"MIN"SEC): 00"08"30

THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

PRIN : F U

LINE = 99"08"30

CH	WAVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00469	148	148	144	144	140	140	140	121	117	117	105	101	090	0575	0215
02	00484	164	156	156	152	148	148	140	133	129	125	113	109	098	0605	0234
03	00473	187	172	172	160	152	148	148	140	137	133	125	117	105	0663	0254
04	00473	218	176	164	164	160	160	156	156	148	144	137	129	117	0722	0273
05	00436	023	023	023	023	023	020	020	020	020	020	020	020	016	0117	0039
06	00474	187	168	164	160	160	156	156	152	148	140	137	121	109	0683	0254
07	00469	164	152	152	148	148	148	140	140	137	133	125	121	113	0722	0254
08	00450	070	066	062	059	059	059	059	059	055	055	055	051	047	0302	0098
09	00186	020	020	016	016	016	016	016	016	016	012	012	012	012	0088	0020
10	00455	035	031	031	031	031	031	031	027	027	027	027	023	023	0166	0039
11	00330	020	020	020	020	016	016	016	016	016	016	016	016	012	0107	0020
12	00076	016	012	012	012	012	012	012	012	012	012	012	008	008	0038	0020
13	00427	183	176	160	156	156	148	144	144	140	129	125	117	101	0653	0254
14	00484	090	086	086	082	082	082	082	082	074	074	070	066	059	0380	0137
15	00082	359	343	293	293	254	250	246	242	211	179	160	140	094	1238	0624
16	00097	183	172	164	148	144	140	137	133	129	121	113	101	078	0790	0390
17	00083	203	199	187	164	160	156	152	140	133	121	113	098	070	0829	0429
18	00077	215	199	199	187	172	168	156	152	144	129	117	109	066	0917	0429
19	00116	211	164	164	152	148	144	140	140	137	125	117	105	090	0770	0351
20	00096	199	199	191	183	179	176	160	160	160	137	129	109	082	0897	0410
21	00195	226	191	172	168	168	164	164	160	152	137	121	113	094	0702	0312
22	00095	332	328	312	312	300	296	281	281	250	226	207	187	144	1550	0683
23	00079	394	386	367	335	324	324	308	296	293	261	246	207	144	1775	0741
24	00187	070	070	066	062	062	062	059	059	055	055	051	047	039	0312	0117
25	00167	086	074	070	066	066	062	062	059	055	047	047	039	035	0293	0117
26	00133	086	070	070	070	066	062	062	059	055	055	051	043	035	0322	0137
27	00100	234	230	211	211	195	191	191	191	183	160	148	133	113	1043	0371
28	00219	234	199	195	176	176	172	164	164	156	148	144	125	101	0790	0332

DATE: 19830802

NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

NUMBER OF CH. MAX 32 : 28

MAX NUMBER FFT : 00

SAMPLES/SEC/CH : 0107

TIME (HOURS"MIN"SEC): 00"08"30

THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

*RUN ? U

TIME = 00"08"30

CH	WAVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00456	164	140	140	137	133	133	129	129	117	109	105	098	090	0556	0215
02	00470	160	140	140	137	137	133	133	129	125	117	109	101	094	0585	0215
03	00449	183	164	156	148	144	144	144	140	137	129	121	113	105	0653	0234
04	00461	191	191	187	168	164	156	156	148	148	140	137	133	117	0722	0273
05	00398	023	023	023	023	020	020	020	020	020	020	020	020	016	0127	0039
06	00457	176	172	168	148	144	140	137	137	133	125	125	117	109	0673	0254
07	00490	160	148	144	140	140	137	137	137	133	129	125	113	101	0653	0234
08	00430	059	059	059	059	055	055	055	055	055	051	051	047	047	0293	0098
09	00192	016	016	016	016	016	016	016	016	012	012	012	012	008	0088	0020
10	00437	031	031	031	031	031	027	027	027	027	027	027	023	023	0166	0059
11	00327	016	016	016	016	016	016	016	016	016	016	016	012	012	0098	0020
12	00079	016	012	012	012	012	012	012	012	012	012	012	008	008	0088	0020
13	00408	195	187	164	156	152	152	148	148	144	133	129	121	105	0673	0254
14	00484	094	094	090	090	086	082	078	078	078	074	070	066	059	0371	0137
15	00077	406	300	261	242	242	238	234	218	203	176	168	125	082	1209	0585
16	00098	160	152	148	148	144	140	137	137	133	129	113	098	082	0790	0390
17	00093	199	191	179	176	176	164	164	160	156	133	125	098	074	0809	0449
18	00075	222	215	187	176	156	152	148	148	144	133	117	090	066	0868	0410
19	00113	218	199	172	168	140	140	137	133	133	125	117	101	082	0780	0351
20	00111	211	191	172	164	164	164	160	156	156	137	125	109	086	0839	0410
21	00205	226	187	183	183	168	156	152	148	144	137	129	117	094	0702	0312
22	00105	374	339	300	285	265	261	257	246	238	211	199	176	144	1394	0644
23	00075	425	367	367	355	355	332	324	324	312	265	238	222	125	1862	0741
24	00204	082	078	078	074	066	066	066	062	055	051	047	043	039	0302	0117
25	00176	094	086	066	066	062	062	059	055	055	051	051	043	035	0312	0137
26	00138	094	074	070	066	066	066	062	059	055	051	043	035	0322	0137	
27	00110	242	238	226	222	215	199	195	179	176	156	144	125	101	0985	0371
28	00228	265	250	238	218	211	199	195	183	168	144	137	121	109	0819	0351

*END ? U

TEST: 00039
 DATE: 19830802
 NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG
 NUMBER OF CH. MAX 32 : 28
 MAX NUMBER FFT : 00
 SAMPLES/SEC/CH : 0107
 TIME (HOURS"MIN"SEC): 00"08"30
 THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

*RUN ? W

TIME = 00"08"30

CH	WAVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00449	234	195	195	191	183	183	179	176	172	164	156	137	125	0790	0293
02	00468	222	195	191	191	183	183	179	179	176	168	156	144	133	0819	0312
03	00458	269	215	215	211	203	203	199	199	191	183	176	168	144	0917	0351
04	00452	261	238	234	234	215	211	211	211	207	187	187	172	156	0995	0371
05	00451	031	031	027	027	027	027	027	027	027	027	027	023	023	0156	0039
06	00456	242	226	226	218	215	211	211	207	199	191	183	176	156	0946	0351
07	00474	199	195	179	179	179	179	176	176	176	164	164	156	144	0926	0332
08	00434	074	070	070	070	070	070	070	070	066	066	062	059	055	0380	0137
09	00200	031	023	020	020	020	020	020	020	016	016	016	012	012	0107	0039
10	00479	043	043	039	035	035	035	035	035	035	035	031	031	027	0205	0059
11	00342	023	020	020	020	020	020	020	020	020	016	016	016	016	0117	0039
12	00094	020	020	020	020	020	016	016	016	016	016	012	012	008	0107	0020
13	00409	273	261	226	218	215	211	207	207	199	187	179	164	144	0936	0371
14	00512	113	113	101	101	101	098	098	098	094	090	090	082	082	0488	0176
15	00082	460	445	437	421	417	410	390	386	335	281	242	211	133	1823	0956
16	00090	257	257	246	238	230	230	218	218	203	191	183	160	117	1277	0663
17	00084	320	312	312	296	285	277	254	254	246	218	199	164	109	1375	0741
18	00079	351	335	328	289	269	265	250	246	242	215	183	148	101	1375	0722
19	00103	332	281	261	257	242	230	226	218	199	179	172	152	117	1209	0585
20	00104	320	273	273	254	238	238	234	230	226	218	195	156	117	1258	0644
21	00189	351	312	304	296	269	269	250	242	215	199	176	156	125	1034	0468
22	00108	546	484	460	398	382	378	367	355	347	328	308	242	199	1960	0917
23	00080	675	573	562	558	538	503	491	491	468	413	382	312	195	2691	1131
24	00180	117	113	109	101	094	094	090	090	086	074	066	059	051	0400	0176
25	00154	121	117	101	101	101	094	094	090	082	074	070	062	051	0449	0195
26	00120	144	129	129	109	101	101	098	098	082	078	074	062	051	0488	0195
27	00116	289	285	250	242	238	234	230	226	226	211	207	191	144	1297	0546
28	00204	277	277	273	265	261	261	254	242	230	215	207	172	137	1082	0468

NUMBER OF CH-MAX 32 : 28
 MAX NUMBER FFT : 00
 SAMPLES/SEC/CH : 0107
 TIME (HOURS*MIN*SEC): 00*08'30
 THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

*RUN : U

CH TIME ERROR
 15 00*02'00 V
 TIME = 00*08'30

CH	WAVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	NEAN	RMS
01	00461	320	242	242	230	230	226	226	222	218	211	195	179	164	1014	0390
02	00460	269	254	238	234	222	222	222	222	218	207	195	176	164	1024	0390
03	00463	332	269	269	261	257	246	246	242	234	226	222	211	179	1121	0429
04	00439	277	273	269	250	250	246	246	246	230	222	215	207	183	1229	0449
05	00512	035	035	035	035	031	031	031	031	031	031	027	027	023	0176	0059
06	00441	261	261	246	242	238	234	234	230	230	218	211	199	187	1141	0410
07	00463	207	199	199	199	195	191	191	191	187	179	172	164	156	1063	0371
08	00440	082	082	082	082	082	082	078	078	074	070	066	062	059	0410	0137
09	00179	027	027	023	023	023	023	023	023	020	020	016	016	012	0117	0039
10	00497	051	047	043	043	039	039	039	039	039	035	035	035	031	0215	0078
11	00334	031	023	023	023	023	023	023	023	020	020	020	020	016	0137	0039
12	00100	023	020	020	020	020	020	016	016	016	016	016	012	012	0117	0039
13	00408	347	335	293	277	269	269	257	257	246	242	230	207	183	1180	0468
14	00497	113	109	109	105	105	101	101	101	101	098	094	090	086	0546	0195
15	00017	472	386	320	308	277	277	257	250	230	191	000	000	000	2516	1170
16	00090	367	347	335	308	304	296	289	285	281	254	226	199	152	1619	0878
17	00081	410	406	406	367	359	355	343	343	335	265	242	211	164	1892	0956
18	00081	429	429	413	335	328	316	296	289	277	234	222	199	144	1736	0917
19	00105	429	363	320	293	273	269	265	265	261	218	207	183	156	1472	0761
20	00095	374	335	328	320	320	300	296	277	273	261	246	218	156	1687	0839
21	00176	421	402	363	304	296	289	285	273	254	238	215	195	164	1307	0566
22	00113	616	550	507	476	456	437	425	421	398	378	347	304	218	2213	1053
23	00078	827	733	647	636	632	632	593	573	566	507	464	398	273	3530	1404
24	00164	105	101	101	101	098	098	098	098	090	086	078	070	059	0468	0215
25	00139	152	129	129	121	105	105	105	101	098	090	082	074	062	0566	0234
26	00130	203	121	117	113	105	101	101	098	094	090	086	078	066	0575	0254
27	00112	374	320	312	289	285	285	281	277	273	242	226	203	172	1599	0624
28	00183	324	312	296	289	285	281	277	273	265	238	230	211	164	1316	0566

TEST: 00041

DATE: 19830802

NAME: ST. GEORGE BY C. K. CHANG

NUMBER OF CH. MAX 32 : 28

MAX NUMBER FFT : 00

SAMPLES/SEC/CH : 0107

TIME (HOURS"MIN"SEC): 00"08"30

THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

*RUN ? M

LINE = 00"08"30

CH	URVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00448	320	257	254	254	254	254	246	246	242	226	218	199	187	1141	0429
02	00454	277	265	254	250	242	242	238	238	234	222	207	195	176	1112	0410
03	00448	335	289	281	277	273	269	269	265	261	250	238	230	207	1238	0468
04	00428	285	281	269	261	246	242	238	234	234	230	226	215	199	1307	0468
05	00487	039	039	035	035	031	031	031	031	031	031	027	027	027	0176	0059
06	00441	281	254	254	250	246	246	246	246	242	234	226	215	195	1229	0449
07	00454	207	207	199	195	191	191	191	191	191	187	179	172	164	1112	0371
08	00436	094	082	082	082	082	078	078	078	078	070	070	066	062	0429	0156
09	00193	027	027	023	023	023	023	023	020	020	020	020	016	016	0127	0039
10	00484	043	043	043	039	039	039	039	039	039	039	035	035	031	0224	0078
11	00344	027	027	027	027	023	023	023	023	023	023	020	020	020	0137	0039
12	00110	027	023	023	023	020	020	020	020	020	016	016	016	012	0117	0039
13	00412	367	359	320	304	293	289	285	281	277	254	246	234	199	1277	0507
14	00496	117	113	113	113	109	109	105	105	098	098	098	094	090	0566	0195
15	00051	589	573	484	464	452	417	410	410	406	339	296	238	160	2847	1287
16	00104	398	367	355	332	332	328	316	316	300	277	250	215	156	1648	0761
17	00069	429	413	413	398	386	382	378	359	343	300	281	211	156	2184	0936
18	00060	441	433	413	339	328	312	304	300	277	250	234	195	140	2057	0917
19	00085	394	371	343	308	293	285	265	257	250	230	222	191	160	1765	0878
20	00105	378	367	359	343	339	324	324	320	304	289	269	226	144	1667	0780
21	00177	421	406	390	312	312	312	308	308	293	250	226	199	172	1394	0624
22	00108	577	566	491	476	472	464	456	449	445	398	386	332	211	2350	1073
23	00080	846	780	698	679	659	620	605	605	581	523	452	394	254	3344	1385
24	00162	121	105	105	105	101	101	098	098	094	082	082	074	062	0507	0234
25	00150	156	137	129	125	125	113	109	109	101	098	086	074	062	0556	0254
26	00128	211	129	129	117	113	109	109	105	105	094	090	082	070	0605	0254
27	00124	347	320	312	300	300	293	293	293	273	250	234	203	164	1472	0624
28	00128	338	312	300	300	300	293	293	273	269	250	238	211	179	1385	0605

*RUN ? U

CH TIME ERROR
23 00"07'03 V
TIME = 00"08'30

CH	WAVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00446	367	300	293	289	281	277	277	269	269	261	246	222	203	1268	0468
02	00456	335	293	289	269	269	261	261	257	254	234	226	215	195	1199	0449
03	00450	406	335	320	316	312	289	289	285	281	273	257	242	218	1346	0507
04	00429	281	277	277	277	261	257	254	254	254	246	242	234	215	1394	0488
05	00480	035	035	035	035	035	035	031	031	031	031	031	031	027	0185	0059
06	00430	289	277	273	261	261	254	254	254	250	246	238	222	203	1336	0468
07	00447	234	230	226	215	211	211	211	207	199	191	187	179	168	1151	0390
08	00446	086	082	082	078	078	078	078	078	078	074	070	070	062	0439	0156
09	00188	031	027	027	027	023	023	023	023	020	020	020	016	016	0127	0039
10	00472	047	047	043	043	043	043	043	043	039	039	035	035	035	0234	0078
11	00327	031	031	031	031	027	027	023	023	023	023	023	020	020	0146	0039
12	00107	023	023	023	023	023	023	020	020	020	020	016	016	012	0127	0039
13	00409	417	402	347	335	332	324	324	320	312	289	281	254	222	1433	0566
14	00479	117	113	113	109	109	105	105	105	101	101	098	094	090	0585	0195
15	00045	612	597	542	515	511	503	495	488	452	371	347	293	000	3461	1677
16	00106	491	468	394	371	367	355	343	343	328	289	281	246	187	1892	0858
17	00078	484	460	449	437	421	413	394	394	371	328	304	250	176	2282	0995
18	00067	495	484	449	398	367	363	359	359	347	304	277	246	148	2262	0995
19	00083	499	406	402	386	347	332	320	320	300	281	254	215	179	2038	0936
20	00110	468	406	382	371	367	367	355	351	347	320	296	250	187	1862	0878
21	00173	519	417	398	371	363	347	328	320	304	285	250	230	203	1619	0702
22	00113	675	573	554	538	515	511	495	480	472	460	429	374	242	2574	1190
23	00065	870	772	768	757	753	706	698	694	597	569	495	390	226	3890	1560
24	00155	133	133	125	113	105	105	105	101	101	094	090	078	066	0546	0254
25	00140	164	140	137	129	125	121	121	117	113	105	094	082	070	0614	0273
26	00126	250	156	156	140	140	137	133	121	113	113	101	094	078	0692	0293
27	00126	441	359	355	312	312	308	304	296	293	269	254	230	183	1638	0702
28	00179	351	335	320	312	304	300	300	296	296	261	257	226	203	1511	0663

*END ? U

MAX NUMBER FFT : 00
 SAMPLES/SEC/CH : 0107
 TIME (HOURS"MIN"SEC): 00"08"30
 THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

*RUN ? U

CH TIME ERROR

23 00"07'36 V

TIME = 00"08'07 *END ? L

TIME = 00"08'10

CH	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00434	285	281	277	277	273	257	257	254	246	226	215	191	1199	0449
02	00440	289	273	257	257	250	246	242	238	226	218	207	183	1141	0429
03	00435	324	312	289	289	289	285	281	269	257	246	234	211	1268	0488
04	00411	293	285	273	273	269	265	265	257	238	234	226	203	1346	0468
05	00490	039	035	035	035	035	035	031	031	031	031	027	027	0185	0059
06	00415	277	273	265	265	254	250	248	242	234	222	211	195	1268	0449
07	00427	238	207	203	199	199	199	191	191	187	183	172	160	1131	0371
08	00424	090	082	078	078	078	078	078	074	070	070	066	062	0429	0137
09	00182	031	023	023	023	023	020	020	020	020	020	016	016	0127	0039
10	00464	047	043	039	039	039	039	039	039	035	035	035	031	0224	0078
11	00326	027	027	027	027	023	023	023	023	020	020	020	020	0137	0039
12	00114	023	023	023	023	020	020	020	020	016	016	016	012	0117	0039
13	00392	402	339	324	316	316	304	304	285	285	281	265	234	215	1346
14	00465	125	117	113	109	109	105	105	101	101	098	098	094	090	0575
15	00043	601	589	519	507	491	484	480	460	421	343	312	269	000	3305
16	00109	460	378	363	359	343	343	324	308	281	269	222	164	1687	0800
17	00075	456	429	425	417	410	406	390	390	335	320	261	230	156	2174
18	00061	480	476	468	359	355	347	347	347	320	277	257	218	137	2252
19	00086	484	406	394	335	324	316	316	312	277	250	234	199	164	1804
20	00104	359	359	355	355	351	351	347	328	324	308	273	230	179	1814
21	00162	480	413	390	363	359	351	316	312	308	285	261	222	191	1619
22	00114	683	542	523	499	491	484	480	468	429	410	343	222	2399	1131
23	00071	909	784	761	718	706	683	651	644	597	523	484	413	242	3783
24	00158	125	117	113	113	105	101	098	098	098	090	086	078	059	0497
25	00142	164	140	137	117	113	113	109	109	105	094	086	078	062	0556
26	00129	238	152	148	140	133	129	121	113	101	098	086	070	0624	0273
27	00117	437	347	332	300	300	300	296	289	269	254	222	164	1638	0683
28	00176	347	328	320	308	304	300	300	296	269	246	242	222	195	1492

TIME (HOURS"MIN"SEC): 00"08"30
THRESHOLD LEVEL (MV): 0000

*RUN ? F U

LINE = 00"08"30

CH	HAVES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	50	MEAN	RMS
01	00469	148	148	144	144	140	140	140	140	121	117	117	105	101	090	0575 0215
02	00484	164	156	156	152	148	148	140	133	129	125	113	109	098	0605 0234	
03	00473	187	172	172	160	152	148	148	140	137	133	125	117	105	0663 0254	
04	00473	218	176	164	164	160	160	156	156	148	144	137	129	117	0722 0273	
05	00436	023	023	023	023	020	020	020	020	020	020	020	020	016	0117 0039	
06	00474	187	168	164	160	160	156	156	152	148	140	137	121	109	0683 0254	
07	00469	164	152	152	148	148	148	140	140	137	133	125	121	113	0722 0254	
08	00450	070	066	062	059	059	059	059	059	055	055	055	051	047	0302 0098	
09	00186	020	020	016	016	016	016	016	016	012	012	012	012	012	0088 0020	
10	00455	035	031	031	031	031	031	031	027	027	027	027	023	023	0166 0039	
11	00330	020	020	020	020	016	016	016	016	016	016	016	016	012	0107 0020	
12	00076	016	012	012	012	012	012	012	012	012	012	012	008	008	0098 0020	
13	00427	183	176	160	156	156	148	144	144	140	129	125	117	101	0653 0254	
14	00484	090	086	086	082	082	082	082	082	074	074	070	066	059	0380 0137	
15	00082	359	343	293	293	254	250	246	242	211	179	160	140	094	1238 0624	
16	00097	183	172	164	148	144	140	137	133	129	121	113	101	078	0790 0390	
17	00083	203	199	187	164	160	156	152	140	133	121	113	098	070	0829 0429	
18	00077	215	199	199	187	172	168	156	152	144	129	117	109	066	0917 0429	
19	00116	211	164	164	152	148	144	140	140	137	125	117	105	090	0770 0351	
20	00096	199	199	191	183	179	176	160	160	160	137	129	109	082	0897 0410	
21	00195	226	191	172	168	168	164	164	160	152	137	121	113	094	0702 0312	
22	00095	332	328	312	312	300	296	281	281	250	226	207	187	144	1550 0683	
23	00079	394	386	367	335	324	324	308	296	293	261	246	207	144	1775 0741	
24	00187	070	070	066	062	062	062	059	059	055	055	051	047	039	0312 0117	
25	00167	086	074	070	066	066	062	062	059	055	047	047	039	035	0293 0117	
26	00133	086	070	070	070	066	062	062	059	055	055	051	043	035	0322 0137	
27	00100	234	230	211	211	195	191	191	191	183	160	148	133	113	1043 0371	
28	00219	234	199	195	176	176	172	164	164	156	148	144	125	101	0790 0332	

*END ? U

Subject CASE STUDY OF ST. GEORGE Prepared by C.K. Chang Date July 29, '83

Wave type : Regular / Irregular

Test number	15	16	17	18	19	20	21	66	67
Deep water wave height, H_{s0} (m)	2.55	3.66	4.53	5.54	6.39	7.30	6.81	1.78	3.21
Wave period, T_p (s)	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺	11.5 ⁺
Wave disturbance coefficient Relative to H_{s0}	Wave gauge 6	0.94	1.05	1.07	1.05	1.02	0.89	0.98	0.97
	Wave gauge 7	0.67	0.77	0.93	0.73	0.55	0.44	0.47	0.70
	Wave gauge 8	0.30	0.39	0.29	0.25	0.24	0.21	0.22	0.44
	Wave gauge 9	0.10	0.08	0.07	0.04 ⁺	0.03 ⁺	0.03	0.03	0.11
	Wave gauge 10	0.24	0.25	0.24	0.15	0.11 ⁺	0.08	0.09	0.38
	Wave gauge 11	0.16	0.15	0.12	0.08	0.05	0.04	0.04	0.19
Mooring forces (tons)	Wave gauge 12	0.08	0.10	0.06	0.04 ⁺	0.03 ⁺	0.03	0.03	0.11
	Bow M_1	3.5	3.9	6.2	8.4	8.6	7.8	11.3	2.3
	Breast (FOR) M_2	7.8	7.0	13.3	14.4	15.2	13.7	14.4	5.9
	Spring (FOR) M_3	4.7	4.7	8.2	8.2	9.0	7.4	8.2	3.5
	Spring (AFT) M_4	8.2	7.4	9.8	10.5	9.8	10.9	9.0	6.2
	Breast (AFT) M_5	10.5	9.4	12.5	13.7	13.7	15.2	12.1	8.2
Maximum motion (tons)	Stern M_6	8.6	7.4	9.4	9.8	11.7	11.7	9.8	6.2
	Gauge 22 X_1	0.51	0.49	0.94	1.08	1.02	0.88	1.15	0.57
	Gauge 21 X_2	0.65	0.59	0.80	0.76	0.90	0.88	0.69	0.41
	Gauge 23 X_3	0.18	0.20	0.20	0.31		0.37	0.28	0.22
	Gauge 24 X_4	0.18	0.14	0.22	0.30	0.28	0.28	0.28	0.10
	Gauge 25 X_5	0.33	0.33	0.41	0.41	0.47	0.37	0.39	0.24
Fender force (tons)	Gauge 26 X_6	0.20	0.20	0.30	0.33	0.31	0.39	0.33	0.08
	Gauge 27 F_1	24.5	30.3	41.0	46.8	42.0	36.0	51.8	16.5
	Gauge 28 F_4	37.0	35.0	42.0	42.0	44.8	44.0	35.0	26.3
	Gauge 4	1.09	1.07	1.26	1.28	1.22	0.81	1.02	0.88

1.06

Subject CASE STUDY OF ST. GEORGE Prepared by C.K. Chang Date August 1, '83
Wave type: ~~Regular~~ / Irregular

Test number	22	23	24	25	26	27			
Deep water wave height, H_{s0} (m)	1.82	2.21	2.73	3.19	4.03	4.88			
Wave period, T_p (s)	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0			
Wave disturbance coefficient Relative to H_{s0}	Wave gauge 6	1.07	1.06	1.07	1.04	1.02	0.96		
	Wave gauge 7	1.07	1.15	1.07	1.04	0.97	0.84		
	Wave gauge 8	0.43	0.44	0.43	0.37	0.34	0.32		
	Wave gauge 9	0.11	0.09	0.07	0.06	0.10	0.08		
	Wave gauge 10	0.21	0.18	0.21	0.19	0.19	0.16		
	Wave gauge 11	0.11	0.09	0.07	0.12	0.10	0.08		
	Wave gauge 12	-	0.09	0.07	0.06	0.05	0.08		
Mooring forces (ton)	Bow M_1	19.1	25.0	32.8	35.1	47.2	50.3		
	Breast (FOR) M_2	11.7	15.6	19.1	21.1	28.1	29.6		
	Spring (FOR) M_3	14.4	20.7	25.0	26.9	39.8	42.5		
	Spring (AFT) M_4	14.0	21.1	29.6	34.7	41.0	42.1		
	Breast (AFT) M_5	12.1	15.2	20.7	25.4	29.6	34.7		
	Stern M_6	13.7	17.9	22.2	28.1	34.3	44.1		
Maximum motion (ton)	Gauge 22 X_1	1.23	1.39	1.84	1.91	2.89	2.91		
	Gauge 21 X_2	0.70	0.94	1.13	1.35	1.60	1.70		
	Gauge 23 X_3	1.23	1.74	2.13	2.52	3.63	4.12		
	Gauge 24 X_4	0.30	0.45	0.55	0.53	0.70	0.72		
	Gauge 25 X_5	0.30	0.37	0.41	0.55	0.63	0.67		
	Gauge 26 X_6	0.30	0.38	0.45	0.53	0.72	0.90		
Fender force (tons)	Gauge 27 F_1	53.8	59.5	65.3	68.3	84.8	89.8		
	Gauge 28 F_4	41.0	47.8	53.8	67.3	72.3	79.0		
	Gauge 4	1.18	1.15	1.07	1.10	1.06	1.00		

Subject CASE STUDY OF ST. GEORGE Prepared by C.K. Chang Date August 1, 1983
Wave type : Regular / Irregular

Test number	29	30	31	32	33	34				
Deep water wave height, H_{s0} (m)	2.28	3.25	4.10	3.58	4.36	4.42				
Wave period, T_p (s)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5				
Wave disturbance coefficient Relative to H_{s0}	Wave gauge 6	1.11 ⁺	1.08	1.05	1.04	0.99	0.97			
	Wave gauge 7	0.94	1.02	0.91	0.93	0.85	0.84			
	Wave gauge 8	0.43	0.42	0.38	0.38 ⁺	0.36	0.35			
	Wave gauge 9	0.09	0.12	0.10	0.11	0.09	0.09			
	Wave gauge 10	0.26	0.24	0.19	0.22	0.18	0.18			
	Wave gauge 11	0.09	0.12	0.10	0.11	0.09	0.09			
	Wave gauge 12	0.09	0.06	0.10	0.11	0.09	0.09			
Mooring forces (ton)	Bow M_1	30.0	48.4	over ⁺	54.2	61.2	62.4			
	Breast (FOR) M_2	21.1	28.5	49.5	41.3	51.1	51.1			
	Spring (FOR) M_3	24.2	39.8	44.9	39.0	48.0	47.6			
	Spring (AFT) M_4	25.4	35.5	44.9	42.1	43.7	43.7			
	Breast (AFT) M_5	19.1	28.9	37.8	33.5	42.9	42.1			
	Stern M_6	23.0	39.4	45.2	39.0	41.0	44.9			
Maximum motion (ton)	Gauge 22 X_1	1.78	2.58	2.81	2.87	3.61	3.04 ⁺			
	Gauge 21 X_2	1.23	1.58	1.66	1.82	*	2.54			
	Gauge 23 X_3	2.01	2.95	4.08	2.83	4.33 ⁺	4.20			
	Gauge 24 X_4	0.45	0.69	0.72	0.67	0.76	0.76			
	Gauge 25 X_5	0.49	0.76	0.82	0.82	0.80	0.86			
	Gauge 26 X_6	0.49	0.78	1.02	0.94	1.15	1.14			
Fender force (tons)	Gauge 27 F_1	65.3	74.0	94.5	87.8	99.5	102.5			
	Gauge 28 F_4	57.5	73.3	88.8	80.0	88.8	84.8			
	Gauge 4	1.20	1.08	1.10	1.15	1.03	1.06			

Subject CASE STUDY OF ST. GEORGE Prepared by C.K. Chang Date August 2, 1983
Wave type: ~~Regular~~ / Irregular

Test number	37	38	39	40	41	42	43		
Deep water wave height, H_{50} (m)	2.34	2.21	3.19	4.03	4.36	4.55 ⁺	4.75		
Wave period, T_p (s)	9.5 ⁺	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5		
Wave disturbance coefficient Relative to H_{50}	Wave gauge 6	1.08	1.15	1.10	1.02	1.03	0.99	0.99	
	Wave gauge 7	1.08	1.06	1.04	0.92	0.85	0.81 ⁺	0.82	
	Wave gauge 8	0.42	0.44	0.43	0.34	0.36	0.30	0.33	
	Wave gauge 9	0.09	0.09	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	
	Wave gauge 10	0.17	0.27	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	
	Wave gauge 11	0.09	0.09	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	
	Wave gauge 12	0.09	0.09	0.06	0.10	0.09	0.09	0.08	
Mooring forces (tons)	Bow M_1	35.9	40.6	46.0	47.2 ⁺	58.9	60.1	61.2	
	Breast (FOR) M_2	18.3	16.0	25.7	36.7	39.8	46.0	49.1	
	Spring (FOR) M_3	20.3	19.9	32.0	41.0	42.9	45.6	48.4	
	Spring (AFT) M_4	21.5	22.2	35.1	42.9	44.1	48.0	49.5	
	Breast (AFT) M_5	21.1	21.8	33.2	42.9	39.4	48.4	49.9	
	Stern M_6	19.9	21.1	32.0	37.4	37.8	35.9	46.8	
Maximum motion (m)	Gauge 22 X_1	1.66	1.87	2.73	3.08	2.89	3.42	3.38	
	Gauge 21 X_2	1.13	1.13	1.76	2.11	2.11	2.40	2.60	
	Gauge 23 X_3	1.97	2.23	3.38	4.14	4.23	4.55 ⁺	4.35 ⁺	
	Gauge 24 X_4	0.35	0.41	0.59	0.53	0.61	0.63	0.67	
	Gauge 25 X_5	0.43	0.97	0.65	0.76	0.78	0.82	0.82	
	Gauge 26 X_6	0.43	0.97	0.72	1.02	1.06	1.19	1.25	
Fender loads (tons)	Gauge 27 F_1	58.5	60.5	72.3	93.5	86.8	109.3	110.3	
	Gauge 28 F_4	58.5	66.3	69.3	81.0	83.0	86.8	87.8	
	gauge 4	1.17	1.23	1.16	1.11 ⁺	1.07	1.03	1.03	

Subject CASE STUDY OF ST. GEORGE Prepared by C.K. Chang Date August 3, '83

Wave type: Regular / Irregular

Test number	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Deep water wave height, H_{50} (m)	2.34	2.86	3.25	3.71	3.90	3.38	3.71	3.71	3.51
Wave period, T_p (s)	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
Wave disturbance coefficient relative to H_{50}	Wave gauge 6	1.00	1.09	1.02	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00
	Wave gauge 7	0.92	1.02	1.02	0.95	0.95	0.98	0.95	0.95
	Wave gauge 8	0.42	0.48	0.42	0.42	0.40	0.41	0.42	0.39
	Wave gauge 9	0.09	0.07	0.12	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11
	Wave gauge 10	0.25	0.21	0.18	0.21	0.20	0.23	0.21	0.22
	Wave gauge 11	0.09	0.14	0.12	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11
	Wave gauge 12	0.09	0.07	0.12	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11
Mooring forces (ton)	Bow M_1	44.1	56.6	67.1	71.8	72.2	69.0	72.5	69.4
	Breast (FOR) M_2	25.4	33.5	44.9	46.4	48.0	48.8	47.2	48.4
	Spring (FOR) M_3	25.4	42.9	49.9	53.4	56.2	41.3	51.1	54.6
	Spring (AFT) M_4	27.7	35.9	42.9	48.8	53.0	44.1	48.8	47.2
	Breast (AFT) M_5	29.3	37.4	35.1	39.0	41.7	40.2	39.8	41.0
	Stern M_6	24.2	33.9	44.1	51.9	54.6	39.0	53.4	42.5
Maximum motion (m)	Gauge 20 X_1	2.38	2.65	2.95*	3.36*	-	3.20	4.74	4.74
	Gauge 21 X_2	1.56	2.58	2.4	2.89	2.81	2.95	2.95	2.69
	Gauge 23 X_3	2.05	2.83	3.82	3.77*	37.1*	3.67*	3.77*	3.86*
	Gauge 24 X_4	0.43	0.57	0.70	0.74	0.72	0.72	0.70	0.74
	Gauge 25 X_5	0.55	0.67	0.70	0.78	0.80	0.78	0.78	0.90
	Gauge 26 X_6	0.65	0.74	0.78	0.94	1.02	0.84	0.80	0.65
Fender force (tons)	Gauge 27 F_1	69.3	89.8	98.5*	104.3*	110.3*	100.5	102.5	(156)
	Gauge 28 F_4	87.8	93.5	102.5	102.5	96.5	110.3	108.3	94.5
	Gauge 4	1.08	1.09	1.14	1.11	1.15	1.15	1.11	1.11