

委託機關：台灣省交通處高雄港務局

計劃名稱：屏東大鵬灣外廓堤防遮蔽檢核試驗

金 額：新台幣叁拾玖萬肆仟叁佰肆拾玖元整

時 間：自中華民國 71 年 5 月 1 日起

至中華民國 71 年 8 月 31 日止

計劃主持人：研究員兼組長 張金機

協同主持人：副研究員 黃清和

助理研究員：蘇青和 簡仲璟

助 理：廖慶堂 陳錫奎

技 工：梅海潮 蔡金吉 徐如娟

繪 圖：蔡金吉

臨 工：林朝圳 楊水龍 鄭錦章

內 容 摘 要

一、前 言

二、波浪及潮汐資料

三、模型縮尺範圍及製作

四、試驗設備及試驗方法

五、港內容許波高限度

六、時間縮尺理論分析

七、規劃佈置擬定經過及試驗內容

八、試驗結果

九、結論與建議

壹、前 言

屏東大鵬灣位於本省南部東港溪與林邊溪之間，地處北緯 22 度 27 分，東經 120 度 26.7 分，距高雄港 29 公里。港內現有水域長約三千五百公尺，寬約一千八百公尺，面積約五百餘公頃，連同四周魚塭水面共約一千二百公頃，沿海岸有狹長砂洲為天然屏障，因其具有良好之地形與地域關係，加以南部重化工業發展上之需要，有關當局仍擬予以闢為高雄港輔助港。為進行建港計劃，除必須先著手辦理現場各項自然現象之調查、觀測，並進行外廓堤防佈置模型試驗，以提供各種港灣結構物佈置規劃設計之參考。

民國六十七年，高雄港務局委託台中港務局辦理有關屏東大鵬灣建港模型試驗，內容包括：(一)外廓防波堤佈置遮蔽試驗(二)防波堤構造斷面試驗(三)防波堤佈置漂沙試驗(四)遮蔽檢核試驗。四項工作試驗期限為三年，爾後台中港務局因配合其他港務局業務需要，僅於民國六十八年八月完成第一項外廓防波堤佈置遮蔽試驗，嗣因民國七十年二月，台中港務局港灣試驗室組織編制撤銷，此項試驗工作，高雄港務局仍委託本所繼續辦理，高雄港務局為考慮未來能源發展，根據台中港務局完成之大鵬灣規劃遮蔽模型試驗，提出外廓堤防定案佈置，於七十一年四月底完成漂沙試驗，本所根據漂沙試驗結果，研提一外廓堤防修訂計劃佈置。為期獲得一防沙防浪俱佳之外廓堤防佈置，仍進行本次外廓堤防遮蔽檢核試驗，本次試驗模型設計於民國七十一年五月開始著手進行，隨即發包製作模型，進行試驗，試驗資料搜集、分析、整理、繪圖，均經由電腦資料處理系統，全部試驗歷時三個半月完成，謹將試驗經過及結果陳述如后。

貳、波浪與潮汐資料

本試驗採用之大鵬灣外海颱風波浪，湧浪及潮汐等資料，係由中華顧問工程司依據高雄港務局所作自然調查資料推算結果（詳載『屏東大鵬灣建港觀測資料研判模型評估工作第一次中期報告』）加以修正後所提供者，影響大鵬灣港址之各方向深水波浪及試驗用大潮平均高潮位如下：

一、颱風波浪：各方向深水颱風波浪如表 2-1。

表 2-1 大鵬灣外海深水颱風波浪

波 向	波 高 (m)	週 期 (Sec)
WSW	6.0	11.5
SW	6.0	11.5
SSW	6.0	11.5
S	6.5	11.8
SSE	8.0	12.2

二、湧浪：各方向經常性發生之湧浪如表 2-2。

表 2-2 大鵬灣外海深水湧浪

波 向	波 高 (m)	週 期 (sec)
SW	3.0	14.0
WSW	3.0	14.0

三、潮位：中華顧問工程司依據高雄港務局實測自然資料推算潮位如下：

暴 潮 位	+ 2.5 m
天文潮最高高潮位 (H.H.W.L)	+ 2.13 m
大潮平均高潮位 (M.H.W.L)	+ 1.5 m
平均水面 (M.H.L)	+ 1.0 m
大潮平均低潮位 (M.L.W.L)	+ 0.5 m
天文潮最低低潮位 (L.L.W.L)	+ 0.04 m

由於高潮位時港內水深較大，穩靜度受波浪影響亦大，故本檢核試驗水位採用大潮平均高潮位 + 1.5 m。

叁、模型範圍縮尺及製作

模型製作採用高雄港務局於民國六十七年四月所測大鵬灣附近水深圖為依據。

一、模型範圍

根據高雄港務局所提供之外廓堤防佈置及港內碼頭配置並考慮港內測定範圍及港外WSW, SW, SSW, S, SSE五個試驗方向入侵波浪所須含蓋之各區，再配合本所平面水槽大小決定模型範圍，俾製作試驗模型。

二、模型縮尺

為改進台中港務局民國六十八年八月所辦理“屏東大鵬灣規劃遮蔽模型試驗”中，因採用等比縮尺(undistorted scale)亦即水平和垂直縮尺均採用 $\frac{1}{200}$ ，致試驗水深過淺，試驗結果受模型底床及水之滯性影響太顯著，致港內波浪狀況不合理的穩靜。本次試驗採用不等比縮尺(Distorted scale)，亦即水平縮尺為 $\frac{1}{200}$ ，垂直縮尺為 $\frac{1}{100}$ ，依此種比例縮尺製作後，各個方向造波位置均在水深—50 m以外，其至港口距離以WSW向最短，亦達7個波長以上，滿足辦理固定床試驗造波板位置應與港口距離至少維持6~9個波長之要求。

三、模型製作

模型係採固定床，用水泥沙漿製作，按高雄港務局所提供之屏東大鵬灣水深測量圖，先於試驗池中訂座標，然後根據水深圖標訂每一座標點之高程，用砂填築至預定高程後，於上層抹二公分厚水泥沙漿，俟凝固後再依據測量圖於模型上繪製等深淺，然後進水校核模型之等深綫，並修改不精確部份，使其誤差在0.3 cm以內。各碼頭型式，拋石範圍等，則按高雄港務局提供之規劃資料製作。

肆、試驗設備及試驗方法

一、試驗設備

大型試驗水槽長六十公尺，寬四十三公尺，深一公尺，其內部主要設備為：

(一) 錘擊式造波機

變速機、偏心輪及槽斗式造波板，依序裝置在造波機架上，由 30HP 馬達帶動變速機及偏心輪使造波板上下錘擊水面以製造波浪，波浪之週期長短可調整變速機之速度比，波高之大小則可變動偏心輪之偏心距。造波機安裝在弧形鐵軌上，藉齒輪以變換位置，製造各種方向之波浪。

(二) 導波板

在造波機兩側沿波浪進行方向排置導波板，引導波浪至一定方向避免波浪能量擴散。

(三) 容量型波高儀 (Capacitance Type Wave Meter)

為試驗用波高測定儀器，除將水面起伏變化，先經一對白金綫感受器轉變為電阻變化，藉惠氏登電橋轉換成電流，復經增幅器予以放大後變成電壓，由記錄儀記錄波浪變化或經電腦類比數據轉換器獲得水池各點波浪資料。

四、資料處理系統

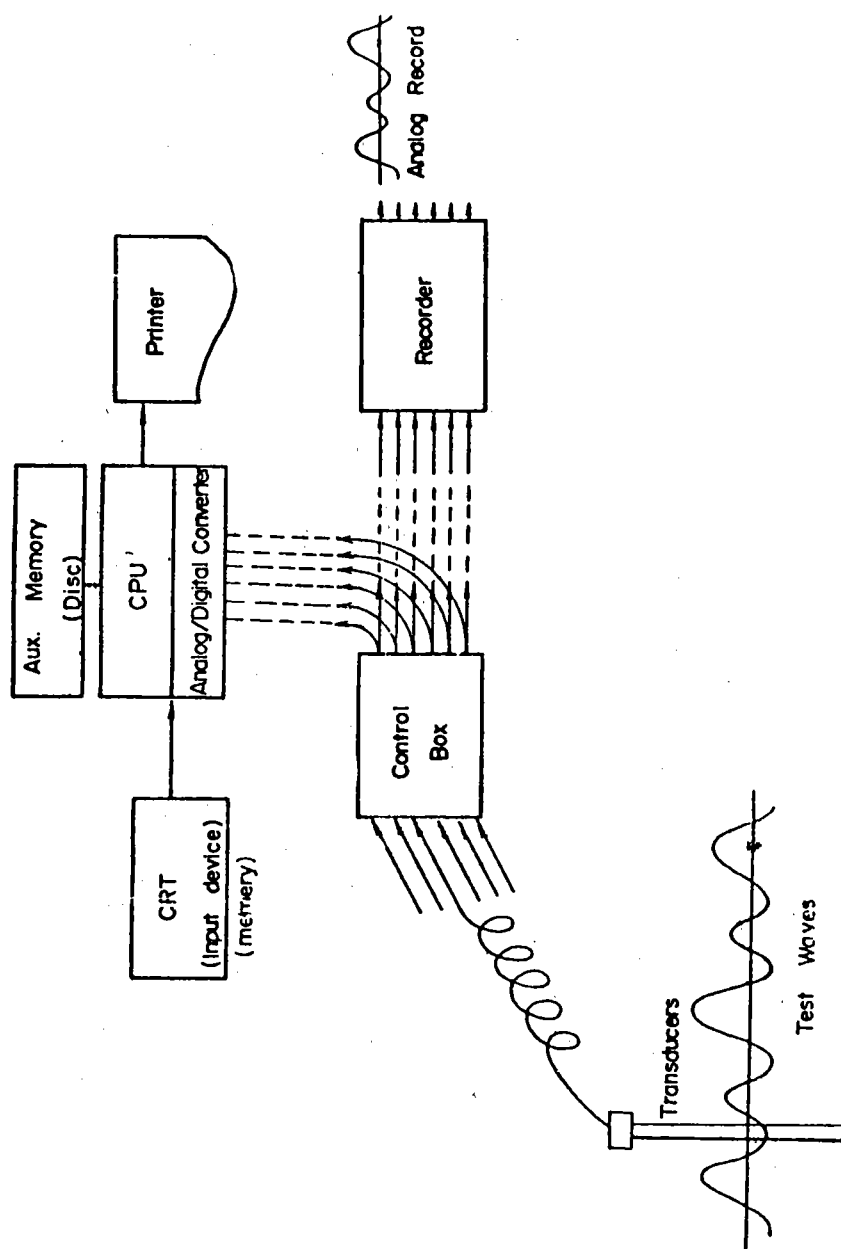
利用 HP 1000 型迷你電腦中，HP 91000 A 類比數值轉換器 (A / D convertor) 高速掃描波高計電壓變化，並將類比資料 (Analog data) 轉換成數值資料 (Digital data)，存於記憶體中，再利用程式分析處理波浪資料，最後利用繪圖儀，將港池波浪分佈繪成圖

表。

二、試驗方法

本所為增進試驗記錄之精度，利用電腦資料處理系統和繪圖機（Plotter）全部試驗波浪資料改以電腦記錄，分析計算並經由繪圖機繪製試驗結果。

電腦處理系統，除將波高儀控制箱輸出之電壓，改接於類比／數據轉變器（Analog-Digital Converter）；利用類比／數據轉變器量取電壓數據值，儲存於電腦記憶體內，試驗完畢後，以電腦分析計算試驗資料，最後經由列表機（Line printer），繪圖機（plotter）輸出計算結果，此系統塊狀圖如圖 1 所示，又列表機所印出之邊界條件（Boundary Condition）如圖 2 所示，試驗之波高和繞射係數分佈則如圖 3 及圖 4 所示港池波浪情況，再利用繪圖機繪製如圖 5 試驗時，將造波機固定於試驗方向，調整偏心距與變速比，以製造試驗波浪。波高計則經由資料處理系統事先率定，決定水位變化與電壓間比值，試驗時電壓變化乘以率定比值則可獲得模型上波浪變化情形



圖一：電腦資料處理系統塊狀圖

TEST DATE : 1410/ 24/ 8/1982 TEST NO. : TA-L01
TEST CONDITIONS : DIRECTION - WSW WAVE HEIGHT = 6.00 M WAVE PERIOD = 11.5 SEC

TEST DATE : 1410/ 24/ 8/1982 TEST NO. : TA-L01
TEST CONDITIONS : DIRECTION - WSW WAVE HEIGHT = 6.00 M

THE BOUNDARY CONDITIONS OF TESTING BASIN

[illegible]

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

TEST DATE : 1410/ 24/ 8/1982 TEST NO. : TA-L01
 TEST CONDITIONS : DIRECTION - WSW WAVE HEIGHT = 6.00 M WAVE PERIOD = 11.5 SEC
 DISTRIBUTION OF WAVE HEIGHT IN FIELD (M)

THE SCALE IN MODEL = 100

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
35	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
34	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
33	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
32	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
31	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
30	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
29	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
28	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
27	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
26	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
25	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
24	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
23	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
22	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
21	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
19	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
18	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
17	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
16	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
15	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
14	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
13	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
12	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
11	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
8	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
7	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
6	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
5	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
4	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
2	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

圖二 大鵬灣遮蔽檢核試驗電腦記錄及分布試驗結果

TEST DATE : 1410/ 24/ 8/1982 TEST NO. TA-L01
TEST CONDITIONS : DIRECTION - WSW WAVE HEIGHT = 6.00 M
DISTRIBUTION OF WAVE HEIGHT IN FIELD (N) WAVE PERIOD = 11.5 SEC

[illegible]

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

TEST DATE : 1410/ 24/ 8/1982				TEST NO. : TR-L01															
TEST CONDITIONS : DIRECTION - WSW				WAVE HEIGHT = 6.00 M															
DISTRIBUTION OF K VALUES IN FIELD				WAVE PERIOD = 11.5 SEC															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
35	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
34	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
33	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
32	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
31	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
30	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
29	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
28	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
27	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
26	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
25	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
24	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
23	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
22	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
21	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
19	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
18	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
17	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
16	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
15	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
14	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
13	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
12	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
11	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
8	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
7	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
6	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
5	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
4	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
2	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

TEST DATE : 1410/ 24/ 8/1982
TEST CONDITIONS : DIRECTION - WSW
DISTRIBUTION OF K VALUES IN FIELD
TEST NO. : TA-L01
WAVE HEIGHT = 6.00 M
WAVE PERIOD = 11.5 SEC

[illegible]

伍、港內容許波高限度

模型試驗最終之目的在尋求防浪、防沙俱佳之防波堤佈置，除防止漂沙入侵港內阻塞航道外，並應能達到港內穩靜要求，使裝卸日數增加，營運效率提高，但在颱風侵襲期間，港埠裝卸作業自須停止，故本試驗在颱風侵襲期間係以適於船隻碇靠碼頭，容許波高為準則，惟在冬季季風期間應以碼頭裝卸作業之容許波高限度，作為遮蔽效果良窳之依據，此兩種容許波高限度，目前國內各港尚無記錄，故採用日本各港調查研究結果如圖 6 所示，颱風侵襲期間船隻港內碇泊碇靠碼頭之容許波高以及冬季季風期間船隻碼頭裝卸作業之容許波高分別如表 5-1、表 5-2 及表 5-3 所示。

表 5-1 碇靠碼頭容許波高限度

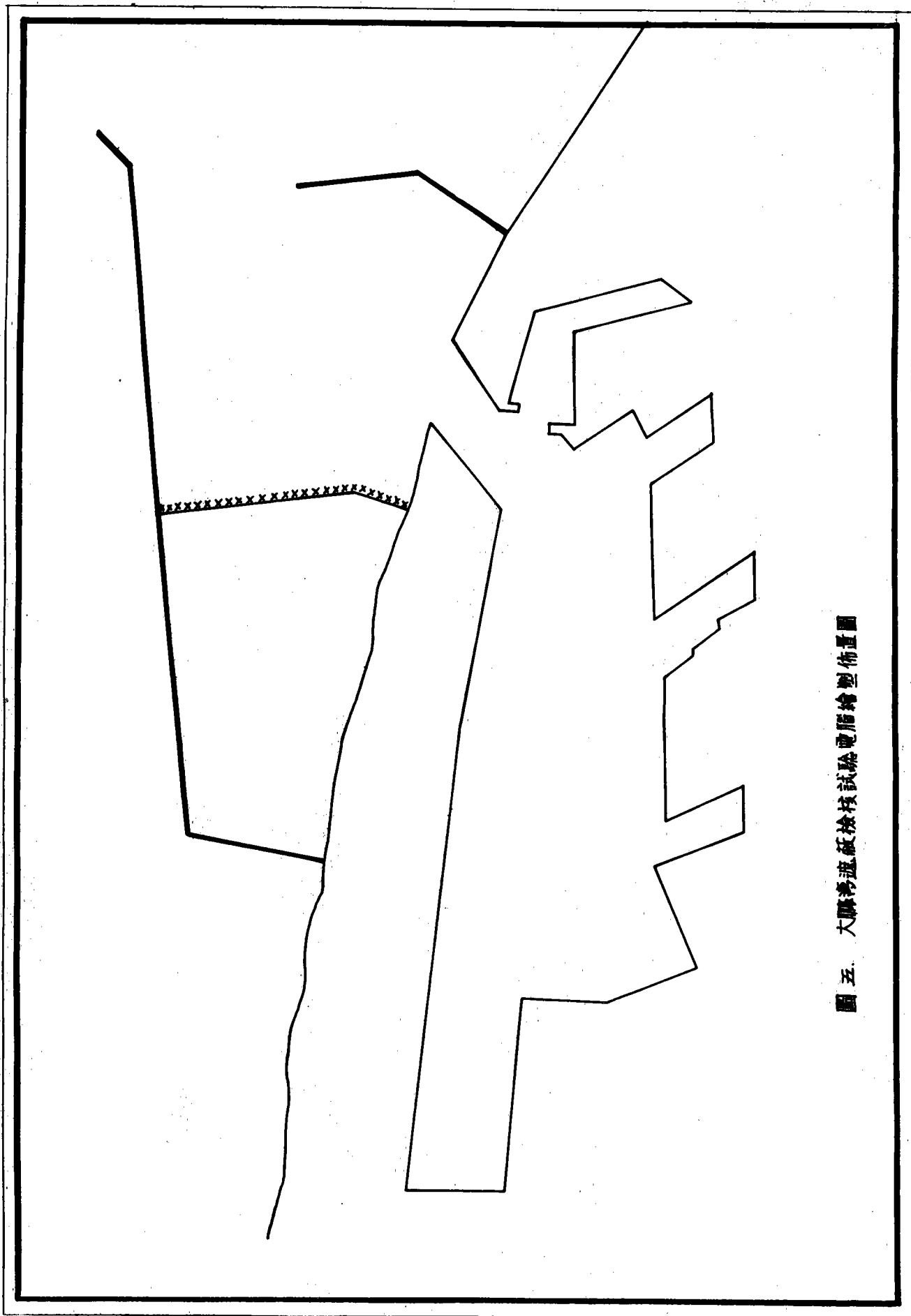
容許波高 泊靠方法 噸位 (T) (m)	3,000	5,000	10,000	20,000
縱 靠 (與碼頭平行)	0.82	1.00	1.15	1.40
橫 靠 (與碼頭垂直)	0.94	1.14	1.40	1.54

表 5-2 港內碇泊容許波高限度

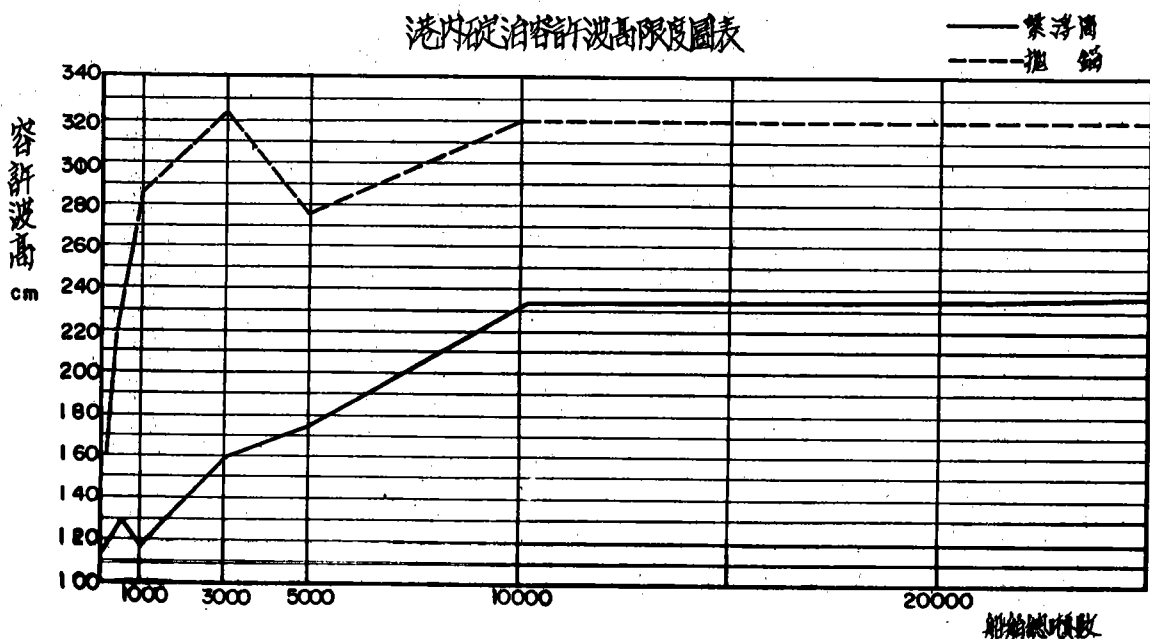
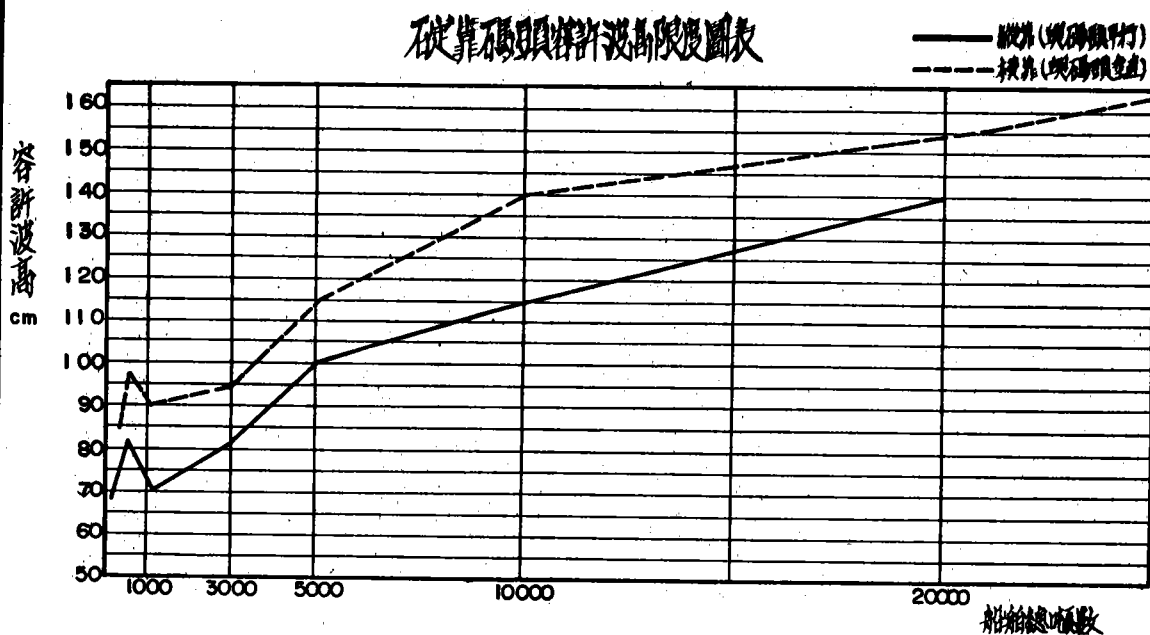
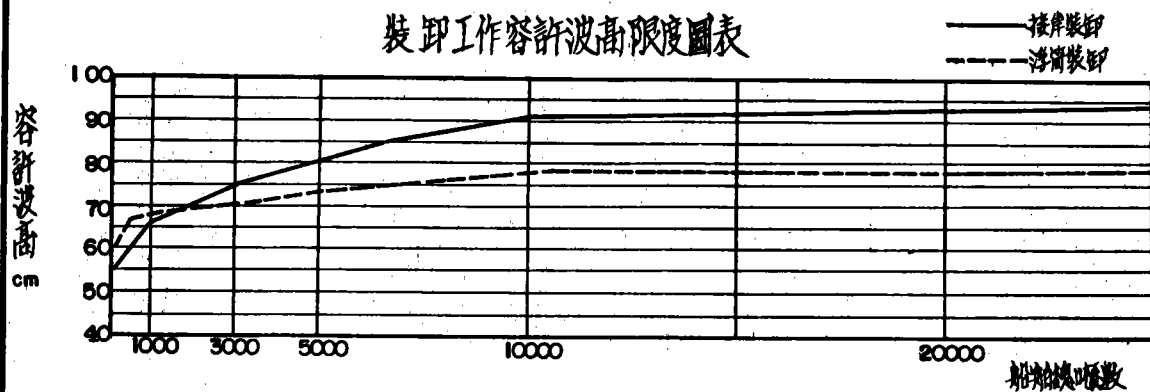
容許波高 停泊方法 噸位 (T) (m)	3,000	5,000	10,000	20,000
繫 浮 筒	1.60	1.74	2.35	2.35
拋 錨	2.25	2.76	3.20	3.20

表 5-3 裝卸工作容許波高限度

容許波高 停泊方法 噸位 (T) (m)	3,000	5,000	10,000	20,000
接 岸 裝 卸	0.75	0.80	0.91	0.93
浮 筒 裝 卸	0.70	0.73	0.78	0.78



圖五. 大聯灣遮板檢核試驗電路增型佈置圖



圖六 船隻碇泊容許波高

六、時間縮尺理論分析

海岸現象之研究除學理探討外通常利用水工物理模型試驗以求驗證。主要有遮蔽及漂沙兩種試驗，前者使用固定床 (fixed-bed) 旨在研究深海波浪進入一海岸後之變化包括折射 (Refraction)，淺化 (Shoaling)，以及研究波浪侵入港灣受結構物作用產生之繞射 (Diffraction) 現象，此種定床模型，若縮尺之選定能符合流體運動之相似律，試驗結果將相當可靠，後者使用活動床 (movable-bed) 辦理有關底床形狀演變之研究，適用之運動相似律尚未發現或已發現而不能獲得試驗所需流體及砂等，惟試驗中之漂沙現象應儘量使其與實地相符合，亦即應儘量讓實地之漂沙現象在模型中重現，試驗途徑仍在不斷改進，其縮尺之選定常隨試驗者與試驗種類略有差異。通常模型縮尺可採等縮尺模型 (undistorted-scale model) 及變縮尺模型 (distorted-scale model) 兩種，所謂等模型縮尺亦即水平縮尺與垂直縮尺相等，吾人若將波浪變形之底床及內部磨擦因素忽略不計，一般運動方程式可寫為：

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \dots\dots\dots (6-1) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}$$

為使實地與模型間力學相似性成立起見，對於實地之運動方程式與模型之運動方程式對應各項比值應相對，吾人可推導出：

$$\frac{V_p}{V_m} = \left(\frac{\ell_p}{\ell_m} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (6-2)$$

$$\frac{t_p}{t_m} = \left(\frac{\ell_p}{\ell_m} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (6-3)$$

$$\frac{p_p}{p_m} = \left(\frac{U_p}{U_m} \right)^2 = \frac{\ell_p}{\ell_m} \dots\dots\dots (6-4)$$

亦即速度及時間縮尺均等於長度縮尺之平方根，單位面積之壓力其縮尺則等於長度縮尺。

所謂變縮尺模型亦即模型上水平縮尺與垂直縮尺不相等者，此種模型通常適用於長週期波作用下當模型所需含蓋範圍極大，或採用等縮尺導致模型上水深極小而底床摩擦產生顯著影響時，此外當長週期波原型 (prototype) 波高極小時若採用變縮尺模型在試驗上亦便於量測，故變縮尺模型應用於試驗上均有其特殊目的，試驗結果之準確性則決定於水平與垂直縮尺比例 (Degree of scale distortion) 及相對水深。

當相對水深 d/L 值，在 $0 < h/L < 0.05$ 時，為淺水波，根據微小振幅波理論其波速為

$$V = \sqrt{gh}$$

在上述情況下不等縮尺模型、波浪折射、繞射及共振等現象在模型上可以獲得相當正確之重現，且在任何型態波浪底床摩擦所產生之影響均較等縮尺為小，但邊界波浪反射影響與不等縮尺成比率增加，且非常顯著，波速縮尺可由 (6-6) 或長波波速得

$$\frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{g_m h_m}{g_p h_p} \right)^{1/2}$$

因 $g_m = g_p$ 設垂直長度為 L_v

$$\text{則 } C_r = \left(\frac{d_m}{d_p} \right)^{1/2} = \left[\frac{(L_v)_m}{(L_v)_p} \right]^{1/2} = (L_v)_r \dots\dots (6-6)$$

設水平長度為 L_h 其縮尺為 $(L_h)_r = \frac{(L_h)_m}{(L_h)_p}$ 不等縮尺比 Ω (

Distorted factor, $\Omega > 1$)。

$$\Omega = \frac{(L_v)_r}{(L_h)_r} \dots\dots\dots (6-7)$$

由上述可得時間比例為

$$T_r = \frac{(L_h)_r}{V_r} = \frac{(L_h)_r}{(L_v)_r^{1/2}}$$

$$\therefore T_r = \frac{(L_h)_r^{1/2}}{\Omega^{1/2}} \dots\dots\dots (6-8)$$

當相對水深極大時，波速為水深及重力加速度之函數，根據微小振幅波理論波速為

$$C = \left(\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (6-9)$$

$$\left(\frac{C_m}{C_p} \right)^2 = \frac{L_m}{L_p} \frac{\tanh \frac{2\pi h_m}{L_m}}{\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p}} \dots\dots\dots (6-10)$$

因波長比為水平長度比

$$\therefore \frac{C_m}{C_p} = (L_h)_r^{1/2} \frac{\left(\tanh \frac{2\pi h_m}{L_m} \right)^{1/2}}{\left(\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p} \right)^{1/2}} \dots\dots\dots (6-11)$$

由(6-7)式

$$\Omega = \frac{(L_v)_r}{(L_h)_r} = \frac{\frac{h_m}{h_p}}{\frac{(L_h)_m}{(L_h)_p}} = \frac{h_m}{h_p} \cdot \frac{L_p}{L_m}$$

(6-11)式可改寫成

$$C_r = (L_h)_r^{1/2} \frac{\left(\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p} \Omega \right)^{1/2}}{\left(\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p} \right)^{1/2}}$$

$$T_r = \frac{(L_h)_r}{C_r}$$

$$T_r = (L_h)^{\frac{1}{2}} \frac{(\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p})^{\frac{1}{2}}}{(\tanh \frac{2\pi h_m}{L_m})^{\frac{1}{2}}} = (L_h)^{\frac{1}{2}} \frac{(\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p})^{\frac{1}{2}}}{(\tanh \frac{2\pi h_p \Omega}{L_p})^{\frac{1}{2}}}$$

$$= (L_h)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\tanh \frac{2\pi h_m}{\Omega L_m}}{\tanh 2\pi \frac{h_m}{L_m}} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (6-12)$$

上述公式顯示在中間水深波浪，波速及時間縮尺為相對水深，水平縮尺及不等縮尺比之函數，因之當水深與波長之比 h/L 為 $0.05 < h/L < 0.5$ 時，由於不等縮尺影響其折射、繞射現象，與原型或等縮尺模型比較將產生變形 (Distortion) 現象，故利用縮尺模型辦理此類型波浪在港內可造成之波浪現象其結果僅可供作參考，惟在若干試驗中因受試驗水池之限制勢必採用變縮尺模型時則時間縮尺可決定於下兩因素：

- (1) 若欲使模型折射現象與實地情況相似則時間縮尺亦即週期縮尺應選用水深縮尺即垂直縮尺之平方根。

因波浪折射現象為波浪傳播經過不同水深因波速相異所引起之情況，設波速為 C ，依據微小振幅波理論 (small amplitude theory)

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}} \dots\dots\dots (6-13)$$

如實地波速與模型相似，折射現象即應相似則：

$$\frac{C_p}{C_m} = \frac{\sqrt{\frac{gL_p}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h_p}{L_p}}}{\sqrt{\frac{gL_m}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h_m}{L_m}}}$$

$$\text{但 } L = L_0 \tanh \frac{2\pi h}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

$$\text{得 } \frac{C_p}{C_m} = \frac{T_p \tanh \frac{2\pi h_p}{L_p}}{T_m \tanh \frac{2\pi h_m}{L_m}}, \quad \frac{C_p}{C_m} \times \frac{T_m}{T_p} = \frac{\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p}}{\tanh \frac{2\pi h_p}{L_m}}$$

當水深 h 與波長 L 比值很小時

$$\text{因 } \frac{\tanh \frac{2\pi h_p}{L_p}}{\tanh \frac{2\pi h_m}{L_m}} \div \frac{2\pi h_p / L_p}{2\pi h_m / L_m} = \frac{h_p L_m}{h_m L_p}$$

$$\therefore \frac{C_p}{C_m} \times \frac{T_m}{T_p} \times \frac{L_p}{L_m} = \frac{h_p}{h_m} \dots\dots\dots (6-14)$$

$$\text{又 } \frac{L_p}{L_m} = \frac{L_{0p}}{L_{0m}} = \frac{T_p^2}{T_m^2}$$

$$\text{及 } \frac{C_p}{C_m} = \frac{L_p / T_p}{L_m / T_m} = \frac{T_m}{T_p} \cdot \frac{L_p}{L_m} = \frac{T_m}{T_p} \times \frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{T_p}{T_m} \dots\dots (6-15)$$

將 (6-15) 代入 (6-14)

$$\frac{T_p}{T_m} \times \frac{T_m}{T_p} \times \frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{h_p}{h_m} \quad \therefore \frac{T_p}{T_m} = \sqrt{\frac{h_p}{h_m}} \dots\dots\dots (6-16)$$

有關 (6-15) 式內 $\frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{L_{0m}}{L_{0p}} = \frac{L_p}{L_m}$ 一式，事實上僅適用於 undist-

orted model。惟本研究報告中理論推導係假設在 undistorted model 中探討如欲重視模型中折射及繞射現象其時間縮尺究竟與水平和垂直縮尺關係如何？而後將此關係式應用在 distorted model 中研究其波浪特性變化情形以作分析比較，當然水平縮尺若等於垂直縮尺則兩者結果應相同。事實上有關 distorted model 理論到目前為止尚無定論，此亦為漂沙試驗時所常遭遇到之問題。

- (2) 若欲使模型繞射現象與實地情況相似則時間縮尺亦即週期縮尺應選用波長之平方根即水平縮尺之平方根。

因波浪之繞射為在波峯平行方向上波能量之擴散現象，為使波浪繞射現象獲得相似必先求得波長之相似性，因此：

$$\frac{L_p}{L_m} = \frac{\frac{gT_p^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h_p}{L_p}}{\frac{gT_m^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h_m}{L_m}}$$

$$\text{因 } L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} = L_0 \tanh \frac{2\pi h}{L} \text{ 即 } \tanh \frac{2\pi h}{L} = \frac{L}{L_0}$$

$$\therefore \frac{L_p}{L_m} = \frac{T_p^2 \frac{L_p}{L_{0p}}}{T_m^2 \frac{L_m}{L_{0m}}} \quad \therefore \frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{L_{0p}}{L_{0m}} = \frac{L_p}{L_m}$$

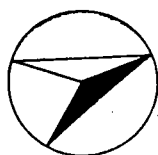
$$\text{亦即 } \frac{T_p}{T_m} = \sqrt{\frac{L_p}{L_m}} \dots\dots\dots (6-17)$$

柒、規劃佈置擬定經過及試驗內容

民國六十八年四月台中港務局依據高雄港務局規劃擬定兩種外廓堤防計劃方案進行大鵬灣規劃遮蔽模型試驗，一為兩萬噸級船舶進出目標方案，另一為十三萬噸級船舶進出目標方案，前者分為原計劃與修正計劃兩案，後者為因應發展目標之不同而分為第一期計劃與第二期計劃兩案。各種方案外廓堤防配置如圖 7 所示，試驗結果顯示四種外廓堤防佈置，除十三萬噸級船舶進出計劃方案，外港水域受入侵波浪及防波堤反射波浪之交互作用，波浪情況極為紊亂，尤其受 W S W 與 S W 兩正對波向直接入侵波浪作用下更甚，但就一般情況而言內港水域尚能符合船舶碼頭作業要求。此外台中港務局為作進一步試驗研究以供有關當局規劃參考亦曾分別進行(1)外港消波塊全部去除試驗(2)全部外廓堤防取消試驗(3)內港港口之增加內堤試驗(4)超暴潮位試驗等數種不同試驗，試驗結果顯示大鵬灣外廓堤防之建造仍屬必要，故高港局仍根據台中港務局所辦理大鵬灣規劃遮蔽模型試驗結果，並考慮未來能源問題提出一新的外廓堤防佈置如圖 8 實綫部份所示。此計劃在港外設置一火力發電廠用地，委由本所進行漂沙試驗（有關漂沙試驗部份詳載於本所專刊第三號屏東大鵬灣漂沙模型試驗研究報告）本所針對漂沙試驗結果提出一防沙效果最佳之外廓堤防修正計劃佈置如圖 8 虛綫部份所示，為瞭解修正後外廓堤防遮蔽是否能符合要求依據修訂佈置外廓堤防檢核遮蔽試驗，再根據試驗結果進行修訂佈置，將波浪直接入侵方向之碼頭修改為棧橋式碼頭，並於狹長之內港港口航道採用自然坡度拋石如圖 9 所示，試驗縮尺分別考慮折射現象、繞射現象及不等縮尺相似律先後完成 31 種情況試驗，其中佈置 A 因時間關係不等縮尺相似律僅進行影響內港最嚴重 W S W 波向試驗一種，模型試驗條件佈置、波高以及週期分別如表 7 - 1 所示。

表 7-1 大鵬灣遮蔽核試驗波浪條件

波浪型態	原型波高 (m)	模型波高 (cm)	原型週期 (sec)	模 型			週 期 (sec)
				考 慮 折 射 現 象 $T_m = T_p \times \sqrt{\frac{1}{\text{垂直縮尺}}}$	考 慮 繞 射 現 象 $T_m = T_p \times \sqrt{\frac{1}{\text{水平縮尺}}}$	考 慮 Distorted $T_m = T_p \times \left(\frac{\ell_{hm}^{1/2}}{\ell_{hp}} \right) \left(\frac{\tanh \frac{2\pi h_m}{\Omega L_m^{1/2}}}{\tanh 2\pi \frac{h_m}{L_m}} \right)$	
颱風波浪	WSW	6.0	11.5	1.15	0.81	0.655	0.655
	S W	6.0	11.5	1.15	0.81	0.655	0.655
	SSW	6.0	11.5	1.15	0.81	0.655	0.655
	S	6.5	11.8	1.18	0.83	0.669	0.669
	SSE	8.0	12.2	1.22	0.86	0.687	0.687
湧浪	WSW	3.0	14.0	1.40	0.99	0.769	0.769
	S W	3.0	14.0	1.40	0.99	0.769	0.769

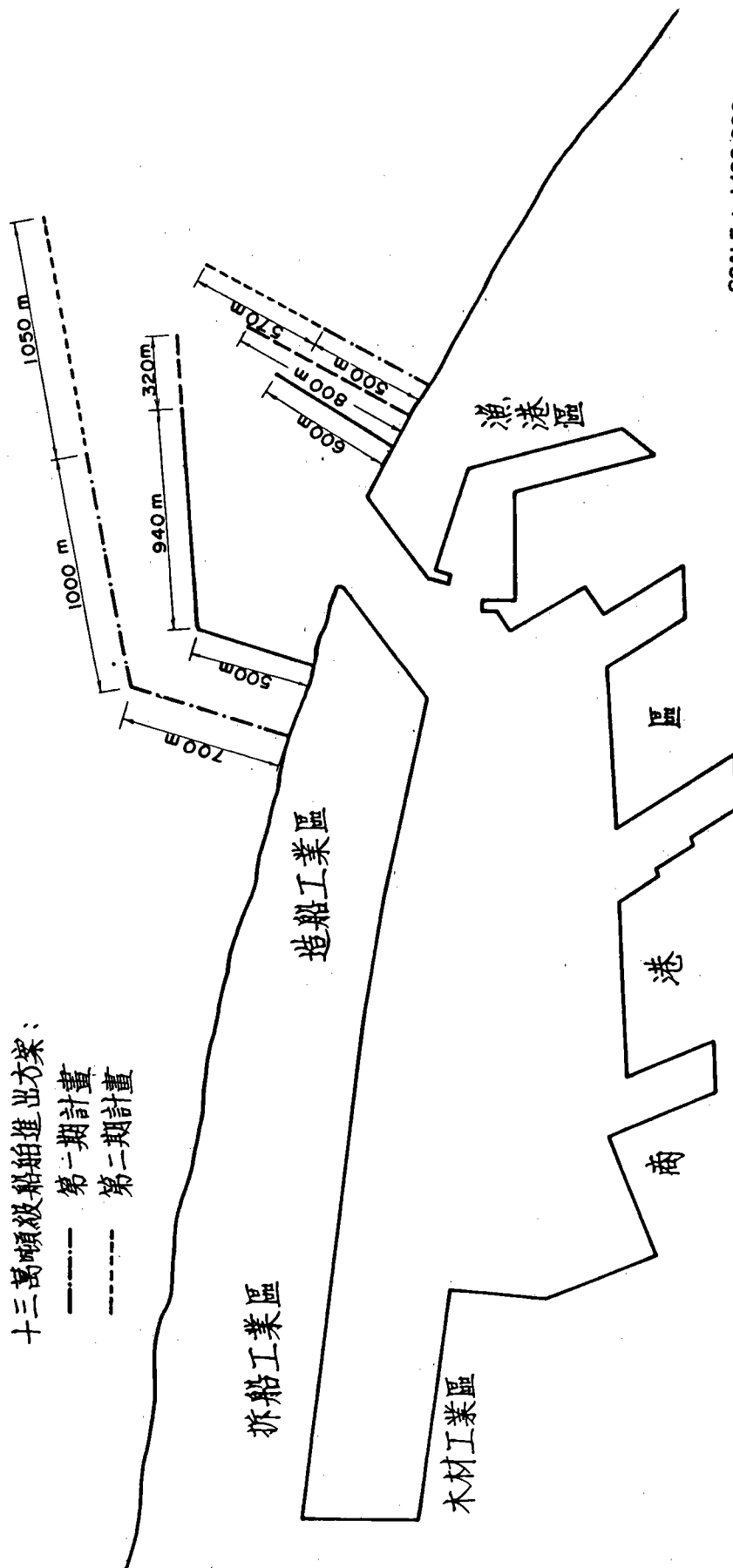


兩萬噸級船舶進出方案：

--- 原計畫
—— 修正計畫

十三萬噸級船舶進出方案：

--- 第一期計畫
--- 第二期計畫



SCALE : 1/20,000

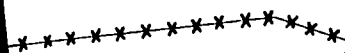
圖七 大鵬灣規畫各方案外廓堤防配置圖

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. —
 WD
 H
 T
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



實地部份碼頭所投佈置
 200M
 全港部份碼頭所投佈置



拆船工業區

造船工業區

木材工業區

漁港區

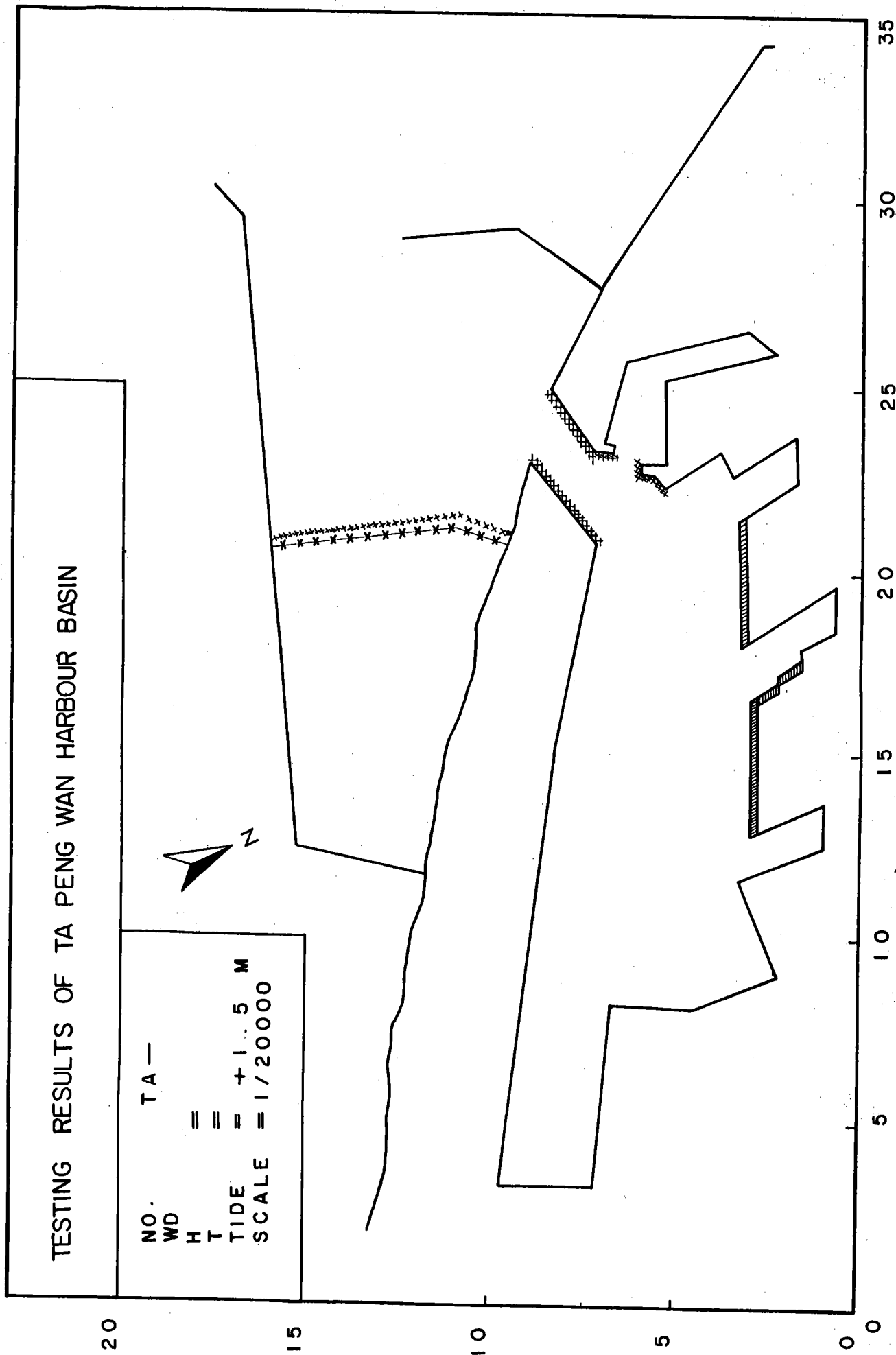
商

港

區

0 5 10 15 20 25 30 35

圖八 大鵬灣外廓堤防佈置圖



圖九 大鵬灣港域試驗碼頭(內港口前道自然淤積拋石及棧橋式碼頭分佈情形)

捌、試驗結果

一、佈置A之試驗

大鵬灣外廓堤防佈置A係根據屏東大鵬灣漂沙試驗結果所獲致之一防沙最佳外廓堤防佈置，防波堤內外側於水面以下均加拋塊石，俾減緩模型波浪反射作用，內港入口狹長航通及港內碼頭岸壁均採用垂直式，考慮以折射現象（即時間縮尺與垂直縮尺有關）、繞射現象（即時間縮尺與水平縮尺有關）及變縮尺相似律（即時間縮尺與垂直、水平縮尺均有關）等因素分別進行試驗。

(1)試驗A—I（佈置A考慮折射現象為主之試驗）

本試驗分別以WSW、SW和SSW向颱風波浪以及WSW、SW向湧浪等波浪條件進行試驗，試驗結果港內波浪狀況如圖十～圖十四所示主要區域波高如表8—1所示。

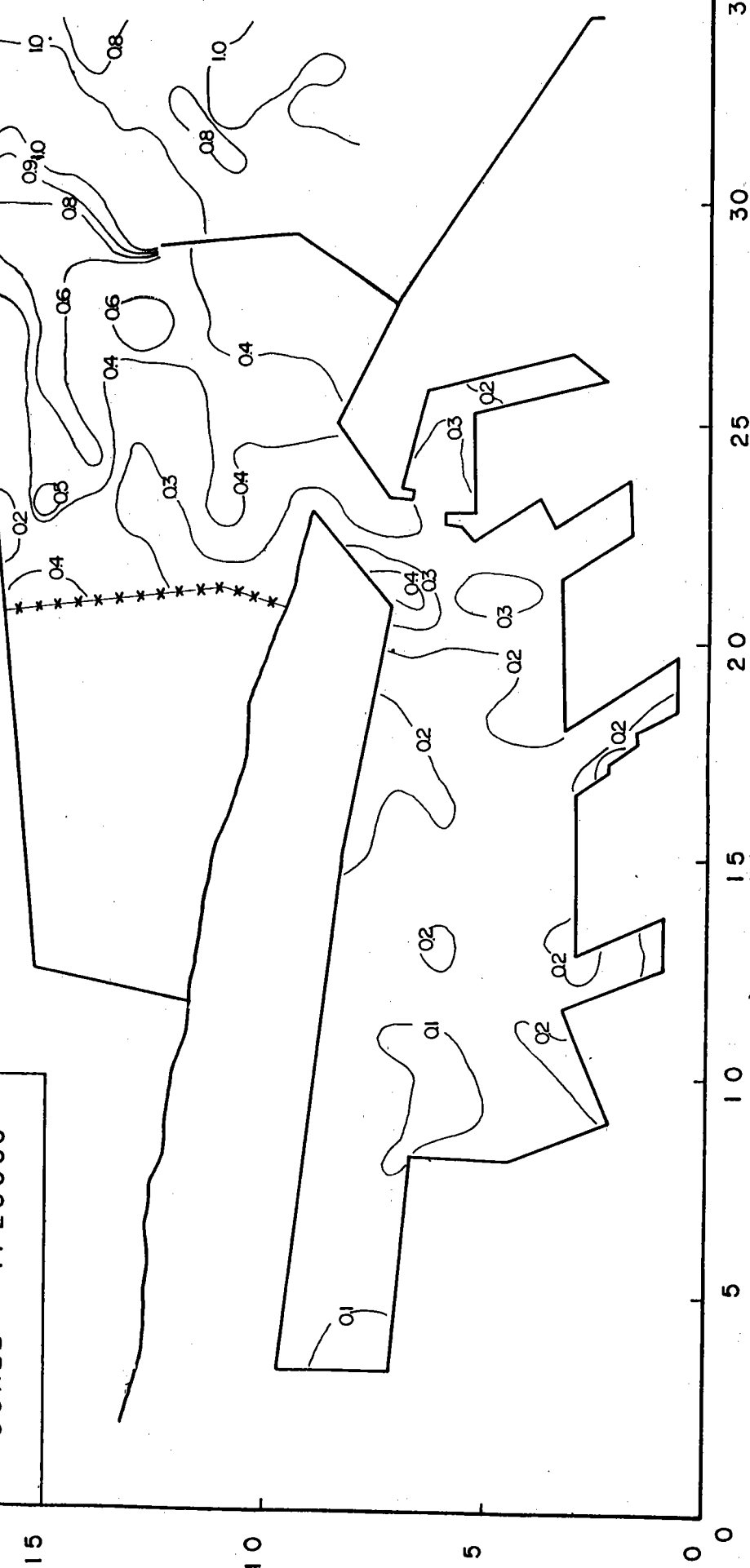
表8—1 試驗A—I 港內主要區域波浪狀況

試驗編號	波浪類型	區域			港口	迴船池	護岸區	進口航道	漁港區	商港區	木材工業區	拆船工業區	造船工業區	內港航道
		方向	波高(M)	週期(sec)										
A—I-1	颱風	WSW	6.0	11.5	3.6	2.4	1.8	1.8	1.2	1.2		0.6		
					6.0	3.6	2.4	3.0	1.8	1.8	0.6	0.9	1.2	1.2
A—I-2	颱風	SW	6.0	11.5	3.6	1.8	1.2	1.2		0.6		0.9		0.6
					6.0	3.6	1.8	1.8	0.6	1.2	0.6	1.2	1.2	1.2
A—I-3	颱風	SSW	6.0	11.5	2.4	1.2	0.7	0.6			0.3			0.6
					4.8	1.8	1.2	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.9
A—I-4	湧浪	WSW	3.0	14.0	2.4	1.2	0.6	0.9	0.3	0.6			0.6	0.6
					3.0	1.8	1.2	1.2	0.6	1.2	0.6	0.6	1.2	1.2
A—I-5	湧浪	SW	3.0	14.0	1.2	0.6								
					2.4	1.2	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3

當WSW向颱風波浪侵襲時，因波浪正對港口直驅而入，外港水域波浪情況極為紊亂，迴船池區域波高達4 m左右，且由於入侵波浪因南防波堤導波作用於護岸區靠近南防波角落波浪能量有集中趨勢，波高亦達2.5 m以上，未能符合颱風波浪侵襲期間，船舶港內碇泊容許波高限度要求，此方向波浪直接侵入內港水域、港池水域狀況亦不穩靜，漁港區、商港區、造船工業區等處波高均達1.5 m以上，未超過船舶碇靠碼頭容許波高限度，加以港內碼頭岸壁反射波浪影響，產生顯着之共振(oscillation)現象。而當SW向颱風波浪侵襲時，由於外廓堤佈置稍微發揮遮蔽效果，外港水域波浪已稍有改善，迴船區波高均在3 m以下，惟護岸區靠近南防波堤角落處仍因受波浪能量集中緣故，波高達2.5 m左右，外港其他區域波高均在1.5 m以下。港內水域波浪狀況雖已有改善，但商港區拆船工業區及造船工業區附近水域波高仍達1 m以上，未能符合裝卸工作容許波高限度，其餘港區水域波高則在1 m以下。在SSW向颱風波浪作用下，除外港水域迴船池及護岸區靠近南防波堤角落處波高分別達1.5 m和1.0 m以上外，其餘港內各區水域波浪狀況極為穩靜，波高均在60公分以下，WSW向湧浪侵襲時，雖然外海入射波高僅為3 m，外港水域迴船池波高仍高達2 m左右，港內水域在商港區及造船工業區附近，波高高達1 m以上，超過船舶裝卸工作容許波高限度要求，當SW向湧浪侵襲時，因外廓堤防已發生遮蔽效果，港內波浪狀況極為穩靜，各處波高均在40 cm以下。

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

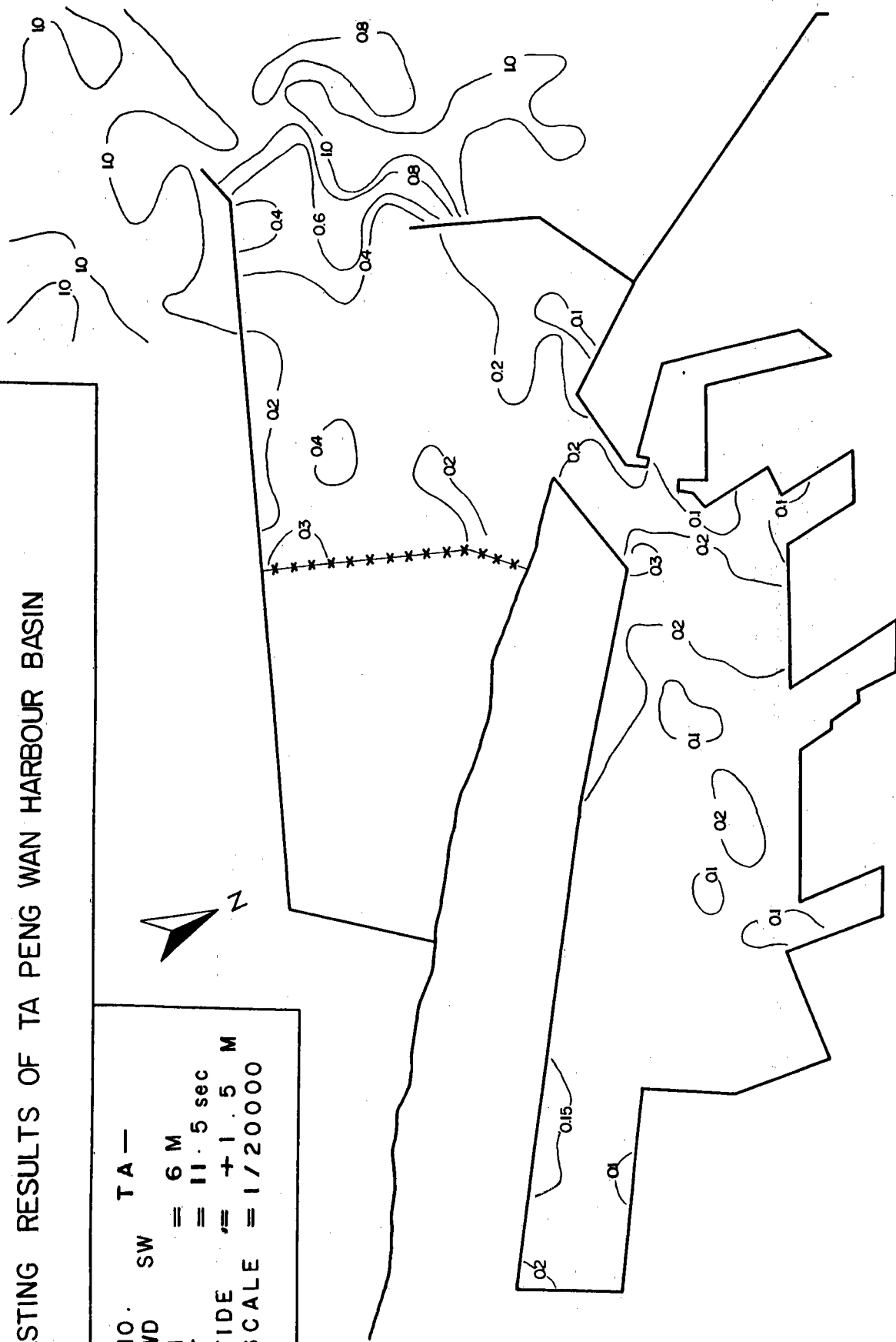
NO. TA —
 WD WSW = 6 M
 H = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖十 試驗 A-I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

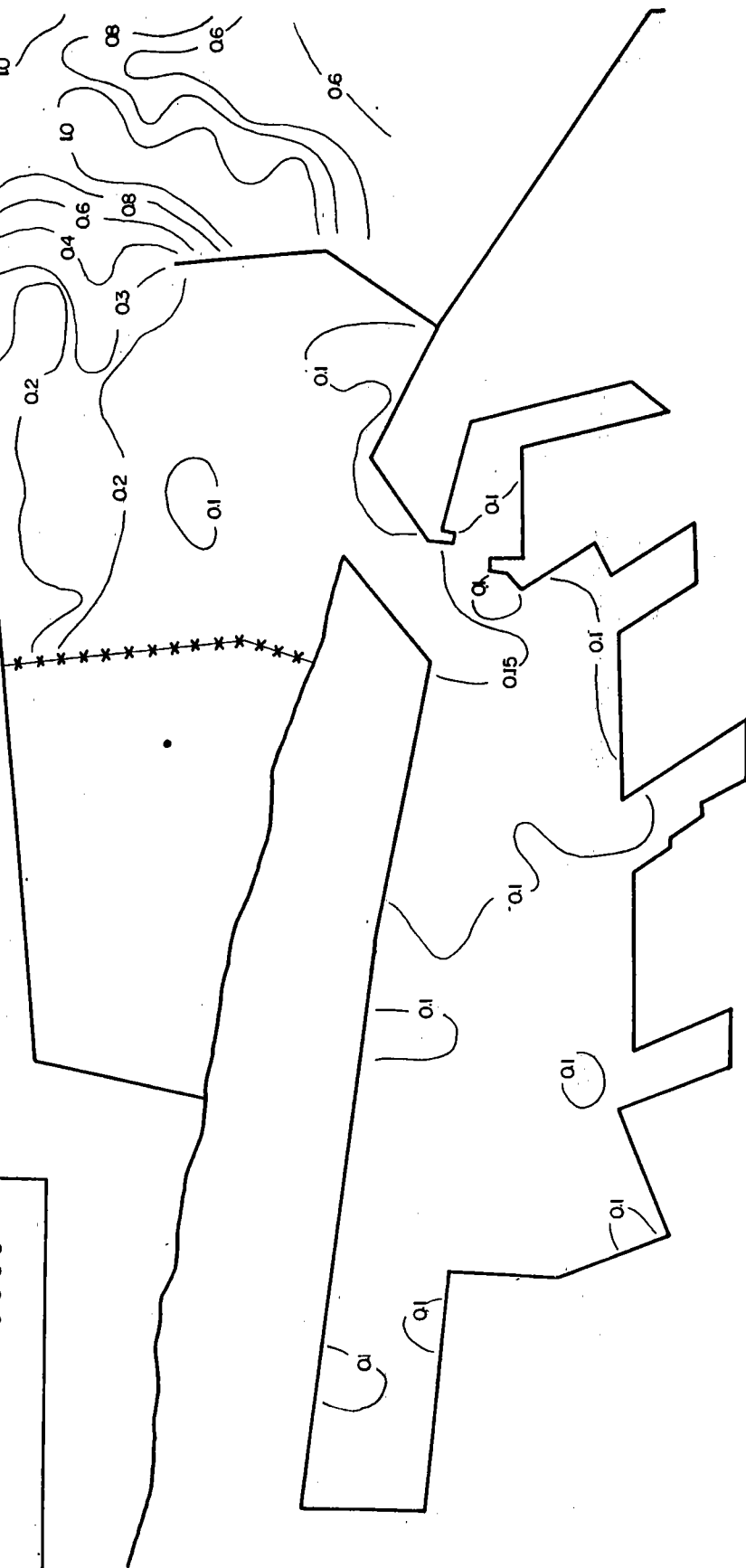
NO. TA —
 WD SW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖士 試驗 A-I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

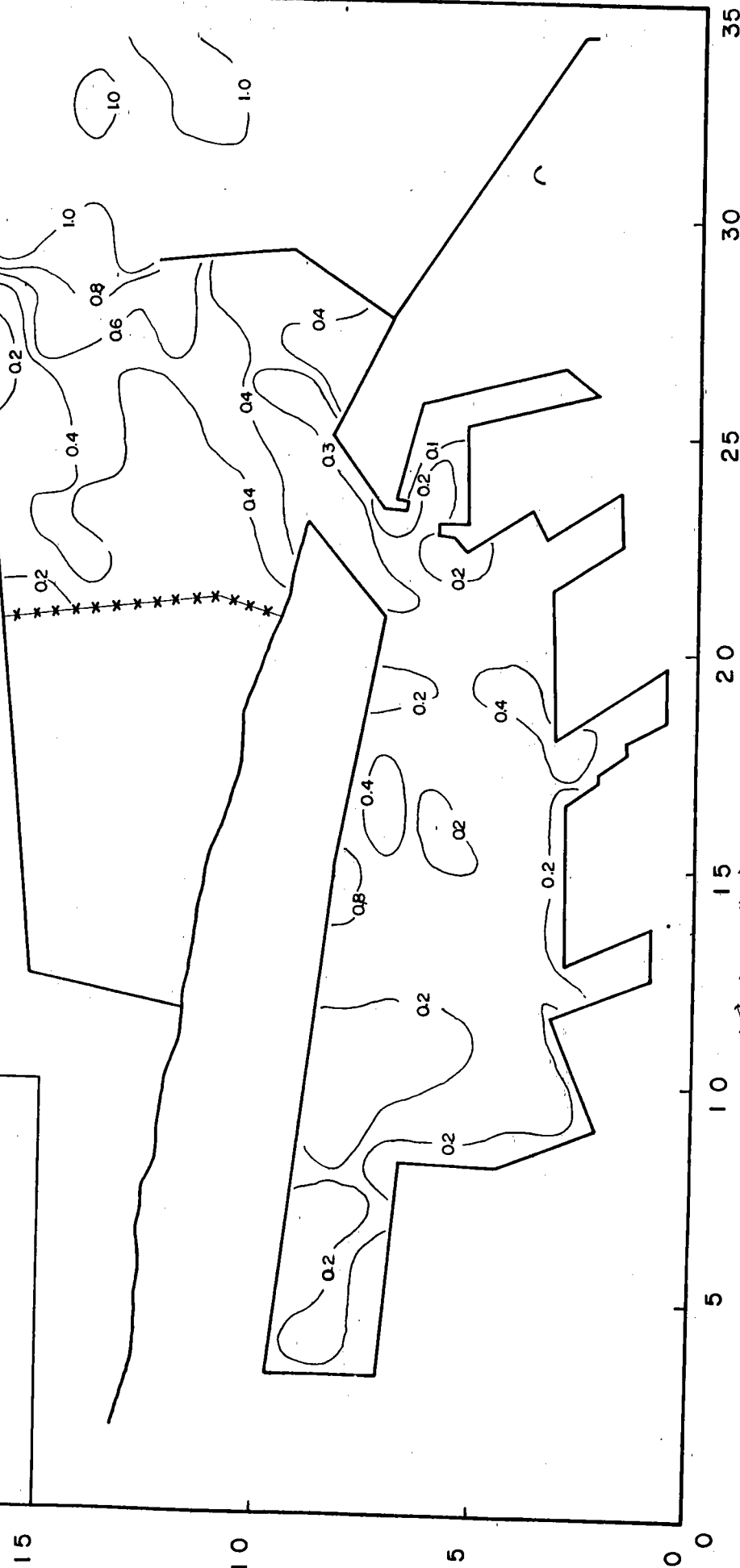
NO. TA —
 WD SSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖士 試驗 A—I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD WSW
 H = 3 M
 T = 14.0 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖三 試驗 A-I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. SW TA —
WD = 3 M
H = 14.0 sec
T = +1.5 M
SCALE = 1/20000

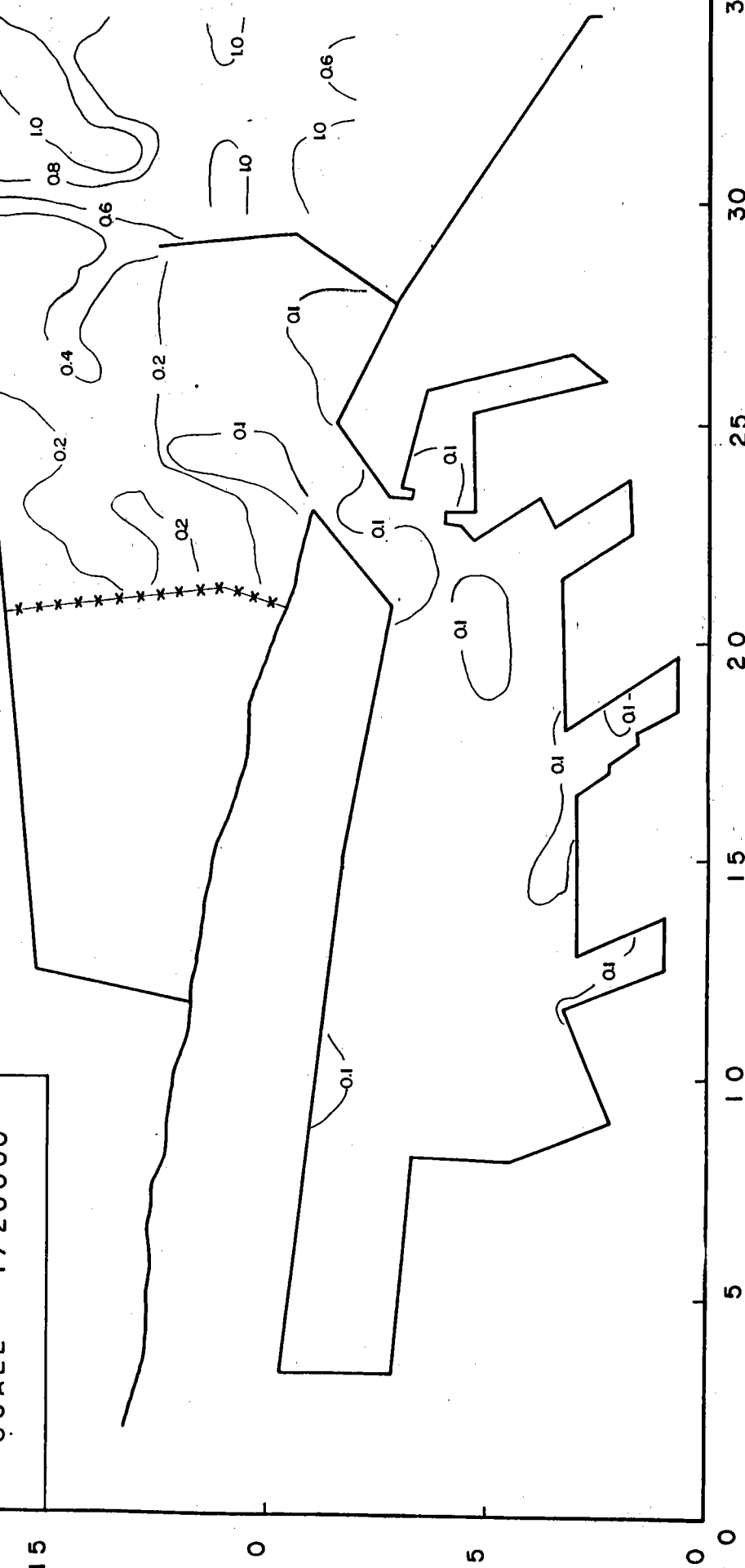


圖 試 驗 A-I 試 驗 結 果

(2)試驗A—II (佈置A考慮繞射現象為主之試驗)

本試驗以重現模型繞射現象為主，模型上時間縮尺與水平縮尺有關，經由試驗A—I試驗結果顯示，佈置A外廓堤防對於SW向以南之颱風波浪港內遮蔽效果均甚為良好，故本試驗僅以威脅較嚴重之WSW、SW向颱風波浪及湧波進行試驗，試驗結果港內波浪狀況如圖十五～圖十八所示，主要區域波高如表8—2所示。

表8—2 試驗A—II 港內主要區域波浪狀況

試驗編號	波浪類型	區域			港口	迴船池	護岸區	進口航道	漁港區	商港區	木材工業區	拆船工業區	造船工業區	內港航道
		方波週期 向(M)(sec)	波高	域										
A—II—1	颱風	WSW	6.0	11.5	3.6	2.4	1.8	1.2		0.6		0.6		0.6
					1	1	1	1	1.2	1	0.6	1	1.2	1
					6.0	3.0	2.4	3.0		1.2		0.9		1.2
A—II—2	颱風	SW	6.0	11.5	3.6	1.8	1.2	1.2	0.6	0.6	0.6			0.6
					1	1	1	1	1	1	1	0.6	1.2	1
					6.0	3.0	1.8	1.8	1.2	1.2	1.2			1.2
A—II—3	湧浪	WSW	3.0	14.0	2.4	0.9	0.9	0.9		0.3			0.6	0.6
					1	1	1	1	0.6	1	0.6	0.6	1	1
					3.0	1.5	1.5	1.2		1.2			0.9	1.2
A—II—4	湧浪	SW	3.0	14.0	1.2	0.6	0.6		0.2	0.3				
					1	1	1	0.6	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
					2.4	1.2	1.2		0.3	0.6				

本試驗當正對港口之WSW向颱風波浪侵襲時，外港水域波浪狀況仍極紊亂，迴船池水域波高達3.2 m，因南防波堤導波緣故波浪能量集中於靠近護岸區角落處，該區水域有顯著共振現象發生，波高達2.5 m～3.0 m左右。造船工業區靠近內港進口航道角落區域，因狹

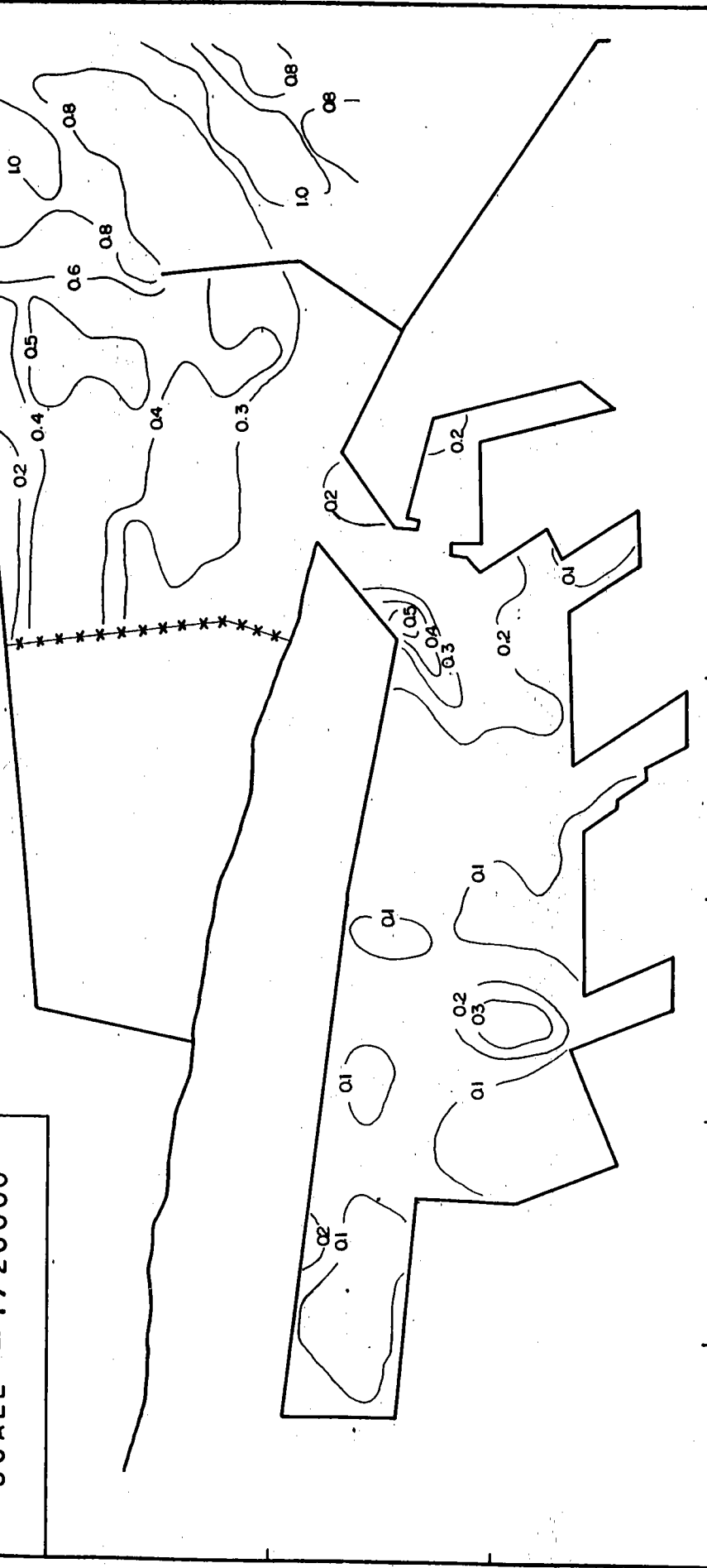
長進口航道北側垂直壁波浪反射作用波高超過 3 m 以上，整個港內水域波浪狀況，因受波浪之直接入侵影響，漁港區、拆船區及商港區附近水域部份波高部份超過 1.5 m 以上未能符合船舶碇靠要求，僅木材工業區附近水域波高在 1 m 以下。惟整個港內水域由於入侵波浪受到商港區碼頭垂直岸壁波浪反射影響加以港池形狀較規則，波浪能量集中於拆船工業區附近水域，致使該區有顯著共振現象發生。

當 S W 向颱風波浪侵襲時，雖然外廓堤防已略具遮蔽作用，惟防波堤內水域波浪狀況仍不理想，外港水域迴船區波高達 3 m 左右，護岸區附近水域波高亦達 2 m 左右，並於護岸區靠近內港入口航道附近水域有明顯波浪能量集中現象波高超過 3 m 以上，此現象為試驗 A - I 所沒有可推斷是試驗週期變化產生共振造成。而港內各區附近水域波高則均在 1.5 m 左右，仍未能符合船舶碇靠碼頭容許波高限度。

W S W 向湧浪侵襲時，試驗結果與試驗 A - I 相似，護岸區靠近南防波堤附近水域發生顯著波浪能量集中現象，且較相同試驗波高條件而模型週期不同之試驗 A - I - 4 為甚，波高達 1.8 m 左右，港內水域除商港區附近水域波高達 1.2 m ~ 1.5 m 外，其餘各區水域波高均在 1 m 以下。S W 向湧浪作用下，除外港水域護岸區波浪能量集中處波高超過 1.2 m 以上外，其餘各區附近水域波浪情況均極穩靜，波高約在 30 cm ~ 60 cm 之間。

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD WSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

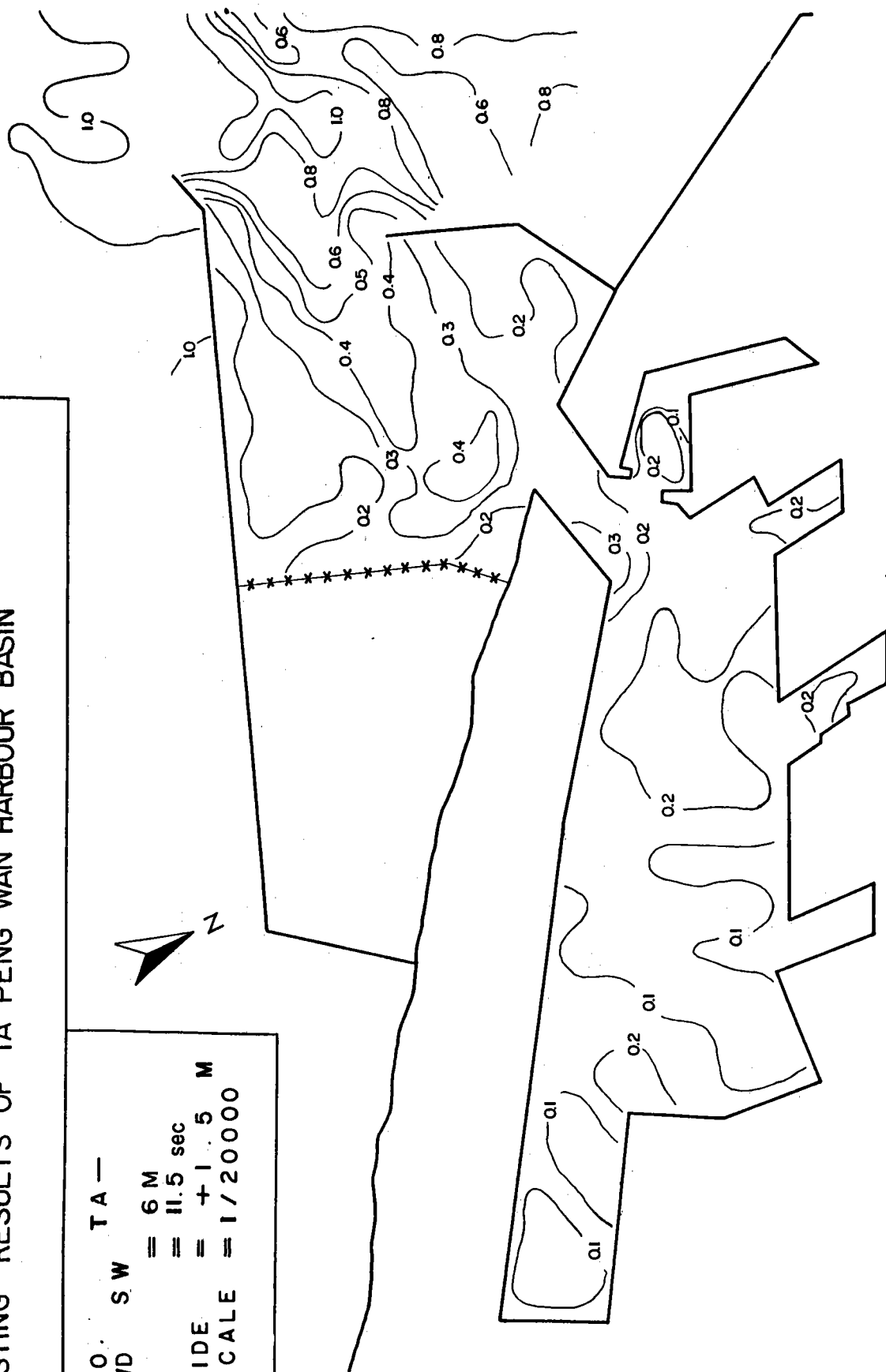


0 5 10 15 20 25 30 35

圖五 試驗 A-11 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

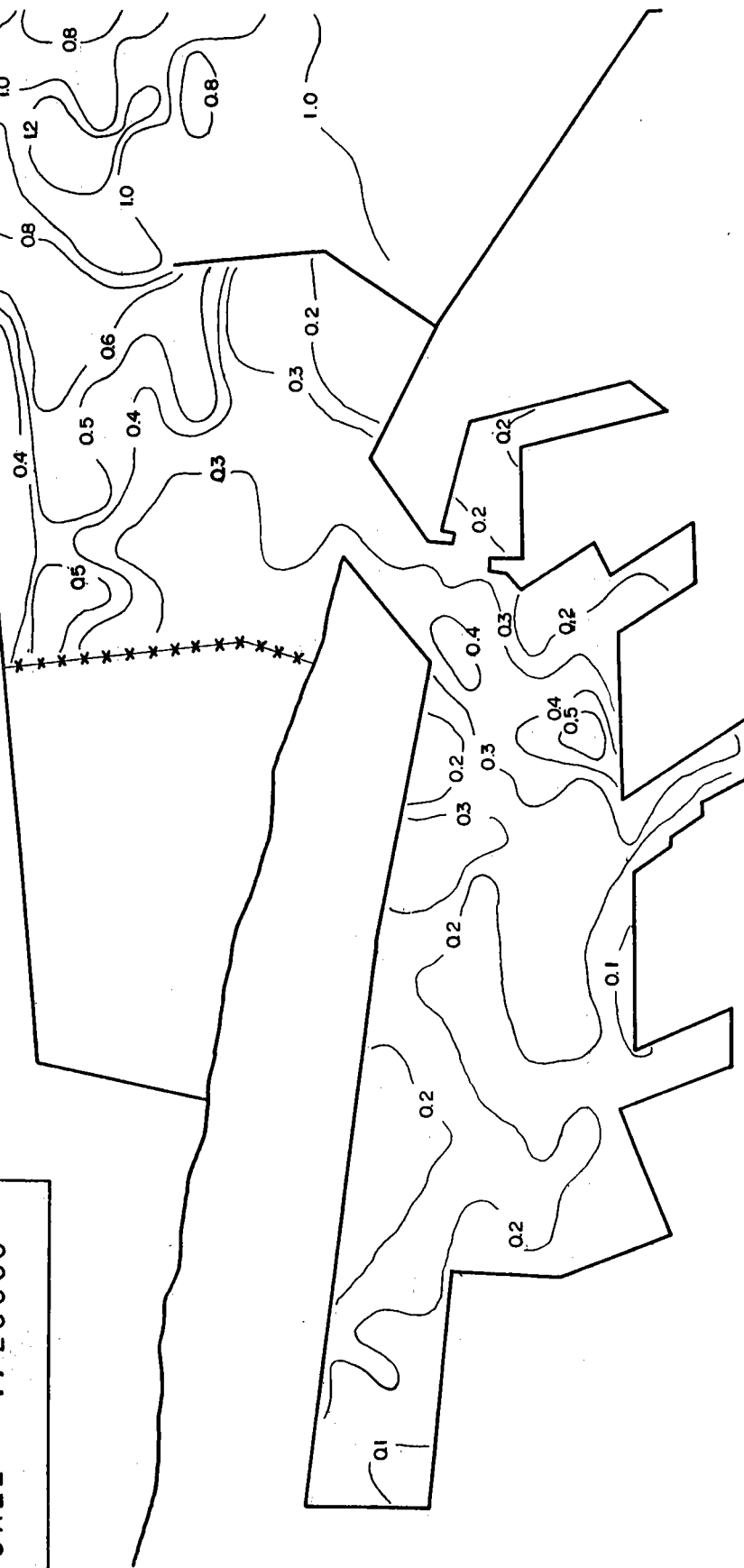
NO. TA —
 WD SW = 6 M
 H = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖六 試驗 A-II 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

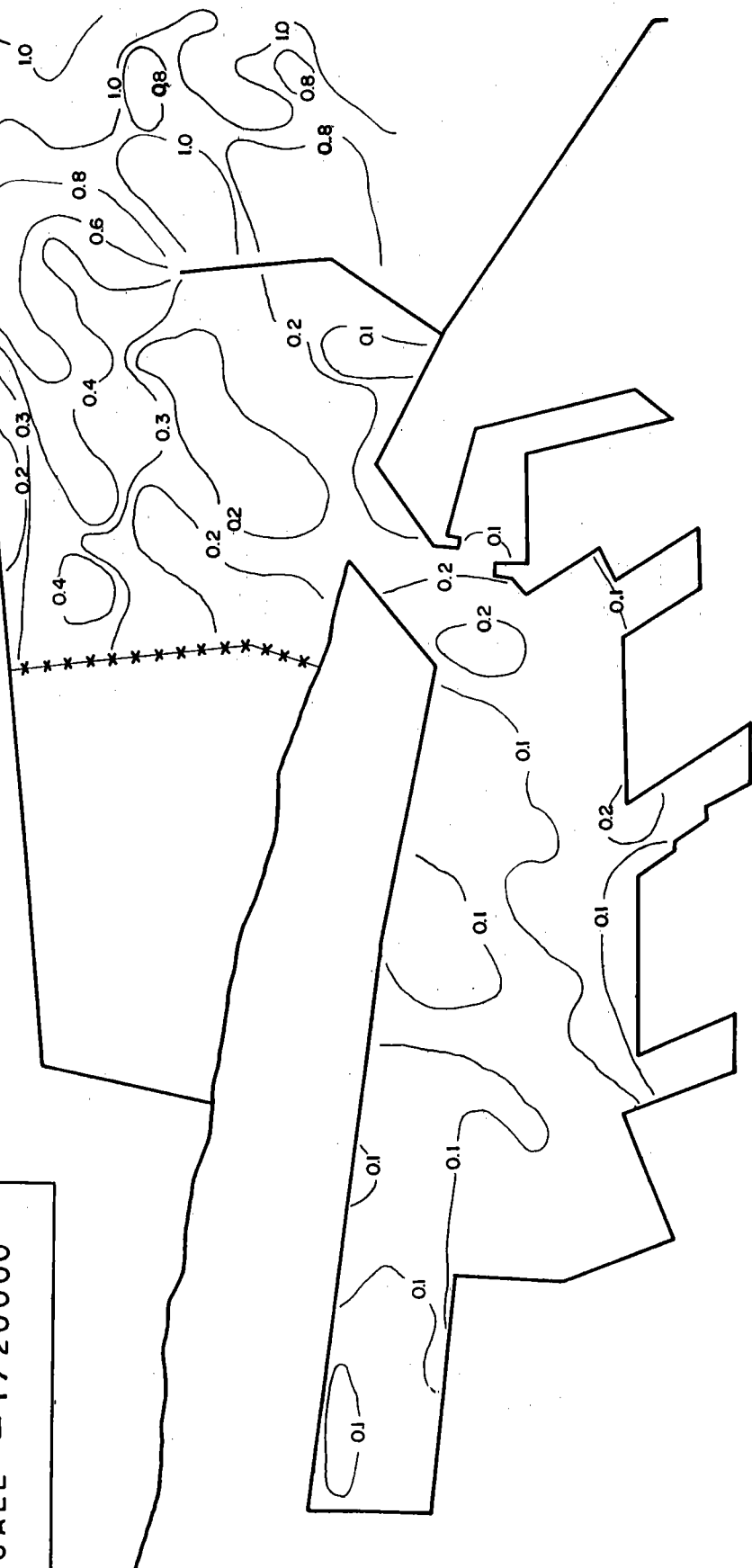
NO. TA —
 WD WSW = 3 M
 H = 14.0 sec
 T = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖七 試驗 A-II 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. SW TA —
WD = 3 M
H = 14.0 sec
TIDE = +1.5 M
SCALE = 1/20000



圖六 試驗 A-II 試驗結果

(3)試驗A—Ⅲ(佈置A考慮變縮尺模型相似律)

本試驗主要考慮模型時間縮尺為水平縮尺和垂直縮尺函數，依據變縮尺(Distorted scale)理論分析決定試驗波浪條件，選擇對佈置A構成最大威脅之WSW向颱風波浪及湧浪進行試驗，試驗結果港內波浪狀況如圖十九～圖廿所示，主要區域波高如表8—3所示。

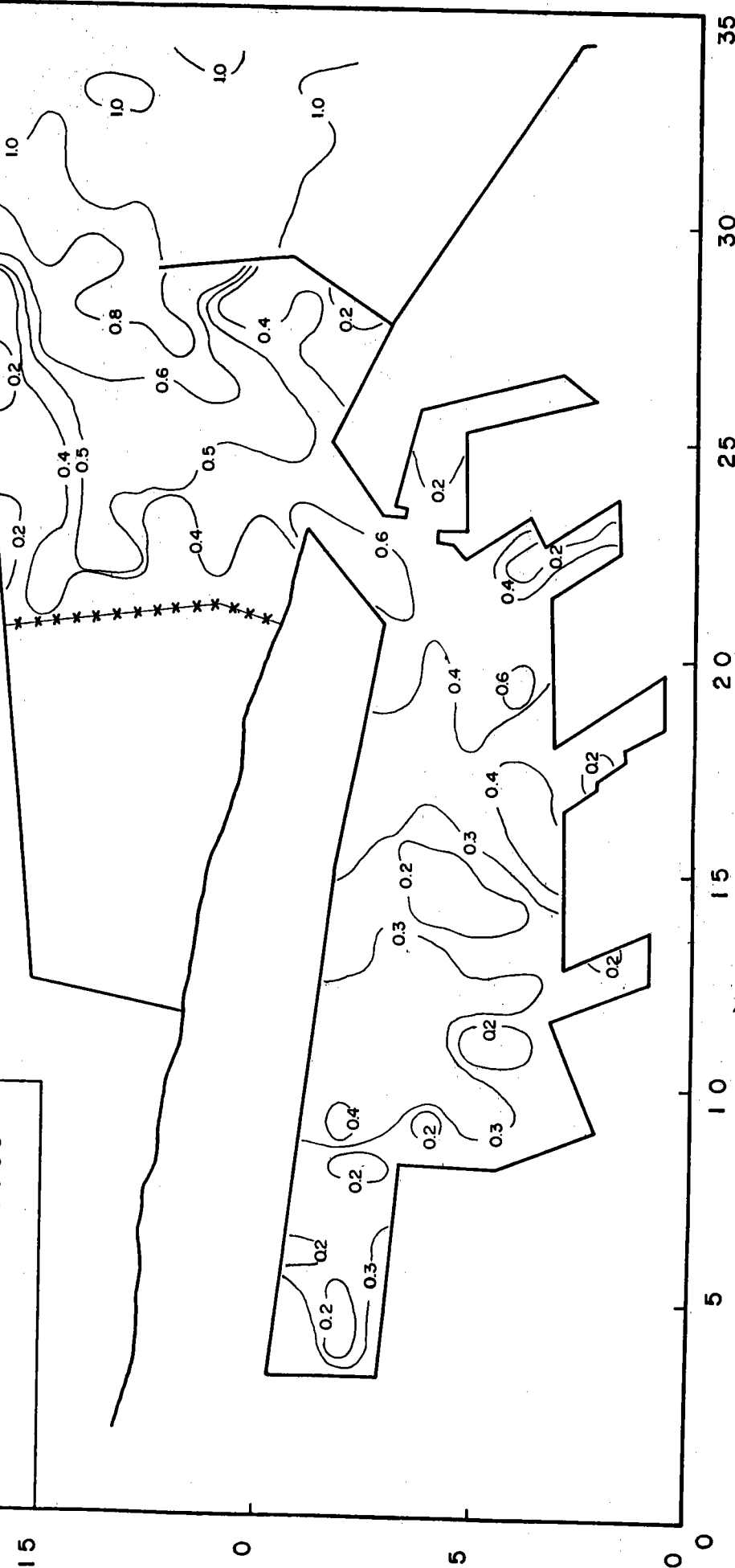
表8—3 試驗A—Ⅲ 港內主要區域波浪狀況

試驗編號	波浪類型	區 域			港口	迴船池	護岸區	進口航道	漁港區	商港區	木材工業區	拆船工業區	造船工業區	內港航道
		方向	波高(M)	週期(sec)										
A—Ⅲ—1	颱風	WSW	6.0	11.5	4.8	3.0				1.8	1.2	1.2	1.8	1.8
					∟	∟	2.4	3.6	1.2	∟	∟	∟	∟	∟
					6.0	4.8				2.4	1.8	2.4	2.4	2.4
A—Ⅲ—2	湧浪	WSW	3.0	14.0	2.4	1.2	0.9	0.6		0.3			0.3	0.3
						∟	∟	∟	0.3	∟	0.3	0.3	∟	∟
						1.8	1.2	0.9		0.6			0.6	0.6

WSW向颱風波浪正對港口直接入侵時，外港水域波浪狀況較試驗A—Ⅰ，A—Ⅱ惡劣，迴船池水域波高達4.8 m，護岸區附近水域波高超過2.4 m，港內水域除漁港區波高在1.2 m以下外，其餘各區水域波浪狀況極為紊亂，碼頭岸壁前波高均達2.4 m以上，未能符合船舶港內作業要求。惟當WSW向湧浪侵襲時，除外港水域護岸區附近波高超過1.2 m外，其餘港內各區水域波浪情況均甚為良好，能符合裝卸工作容許波高限度。

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD WSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

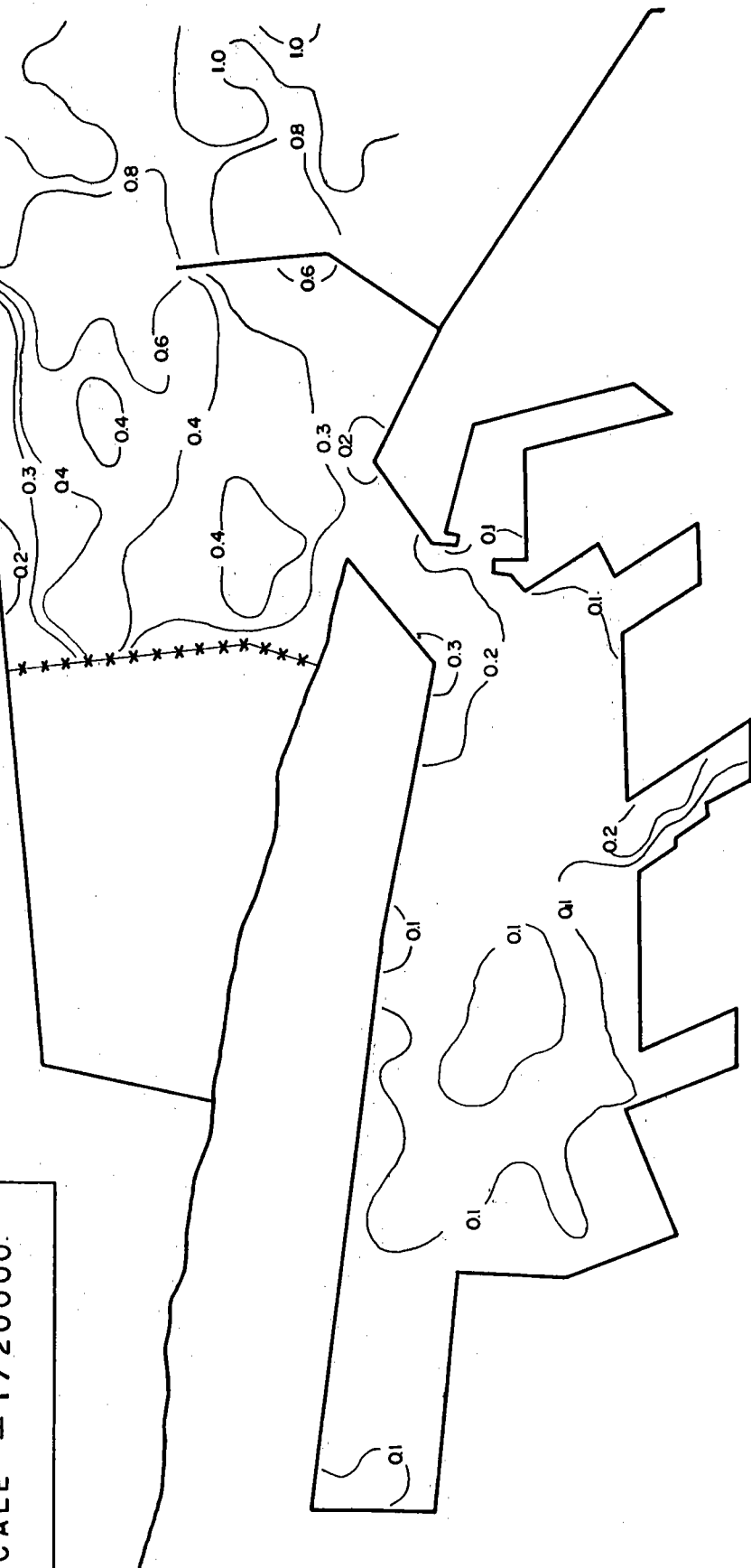


圖九 試驗 A—II 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO
WD
H
T
TIDE
SCALE

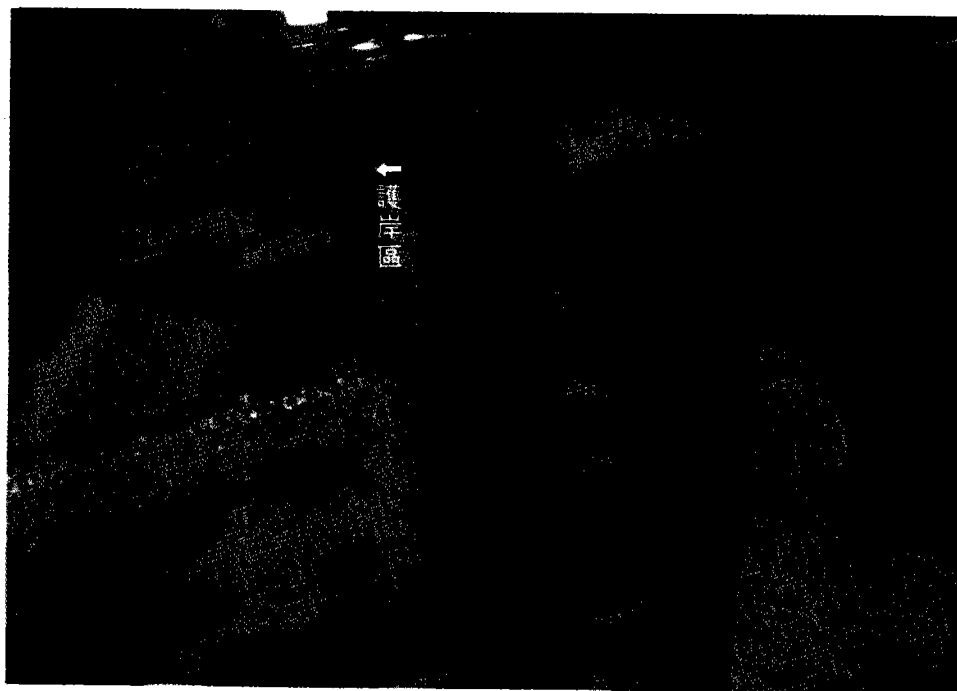
TA —
WSW = 3 M
= 14.0 sec
= +1.5 M
= 1/20000.



圖子 試驗 A-III 試驗結果

二、佈置B之試驗

綜合佈置A三種情況試驗結果顯示，依據屏東大鵬灣漂沙試驗結果所獲致之較佳外廓堤防佈置受正對港口威脅較嚴重之WSW、SW向颱風波浪及湧浪侵襲時，外港水域，護岸區靠近南防波堤角落附近水域，內港入口航道靠近造船工業區碼頭附近水域，商港區碼頭岸壁前水域波浪狀況均不甚理想，未能符合港內碇泊容許波高限度要求，尤其在拆船工業區、造船工業區碼頭岸壁前附近水域更有明顯波浪共振(oscillation)現象，推究其原因，主要係內港港池狹長，入口航道及商港碼頭均採用垂直岸壁，無法消減入侵波浪能量，且造成共振現象。故為改善港內波浪狀況，試驗佈置B，外廓堤防佈置因考慮漂沙效果維持不變外，外港水域岸邊加強拋石，尤其在護岸區拋石至水面以上，如照片1所示，內港狹長入口航道兩岸，則採用自然坡度拋石至水面以上，其範圍包括漁港區入口前兩小突堤部份，如照片2所示，商港區正對入射波浪方向碼頭，將垂直岸壁改規劃為棧橋式碼頭，拋石坡度為1：1，如照片3所示，此種佈置方案分別考慮重現模型折射現象、繞射現象及變縮尺模型相似律等因素進行試驗。



照片 1 護岸區拋石情形



照片 2 內港入口航道及漁船區突堤拋石情形

(1)試驗B-I (外廓堤防佈置B, 以重現模型折射現象為主)

本試驗分別以WSW、SW、SSW、S和SSE等五種颱風波浪以及WSW、SW向湧浪進行試驗, 試驗結果港內波浪狀況如圖廿一~圖廿七所示, 主要區域波高如表8-4所示。

表8-4 試驗B-I 港內主要區域波浪狀況

試驗編號	波浪類型	區 域			港口	迴船池	護岸區	進口航道	漁港區	商港區	木材工業區	折船工業區	造船工業區	內港航道
		方向	波高(M)	週期(sec)										
B-I-1	颱風	WSW	6.0	11.5	3.6 4.8	1.8 2.4	1.2 1.8	1.2 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.2 0.4	0.2
B-I-2	颱風	SW	6.0	11.5	3.6 4.8	1.2 1.8	1.2 以下	0.6 0.4	0.4 0.4	0.2 0.4	0.2 0.3	0.2 0.3	0.2	0.2
B-I-3	颱風	SSW	6.0	11.5	2.4 3.0	1.2	0.6	0.3	0.1	0.2 以下	0.2 以下	0.1 以下	0.2 以下	0.2 0.3
B-I-4	颱風	S	6.5	11.8	1.3 2.6	0.7	0.5 0.7	0.1 0.3	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下
B-I-5	颱風	SSE	8.0	12.2	1.6 2.4	0.6 0.8	0.6 0.8	0.3 以下	0.1 0.2	0.1 0.2	0.1 以下	0.1 以下	0.3	0.2
B-I-6	湧浪	WSW	3.0	14.0	1.8 3.0	0.6 0.9	0.6 0.9	0.6 0.9	0.1 以下	0.1 0.2	0.1 以下	0.1 以下	0.3	0.2
B-I-7	湧浪	SW	3.0	14.0	1.2 2.4	0.6 0.9	0.6 0.9	0.2 0.3	0.1 以下	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1 0.2

試驗B—I當面對港口威脅最嚴重之WSW向颱風波浪直接侵襲時，外港水域迴船區波浪狀況與試驗A—I相比較已有顯著改善，波高已由4 m減至2.5 m以下，符合港內船隻碇泊容許波高限度，護岸區碼頭前水域波高亦在1.5 m以下，已能符合進港船舶碇靠碼頭容許波高限度要求，同時由於內港入口航道兩邊自然坡度拋石以及商港區部份碼頭岸壁改為棧橋式碼頭，使得入侵港內波浪反射作用獲顯著改善，故港內各區碼頭前水域波浪情況均極穩靜，並完全消除佈置試驗A港內共振現象。外港水域仍有局部波浪能量集中現象，但波高已在2.5 m以下。SW向颱風波浪侵襲時，外廓堤防佈置對此方向波浪已稍具遮蔽效果，入侵港內波浪主要成分為繞射所引起，因港內四週岸壁，消波設施均已加以改善，故除外港水域迴船區波高超過1.5 m以上，護岸區附近水域波高達1.2 m以外，港內其餘各區水域，波浪情況均極為穩靜，能符合港內船隻裝卸工作容許波高限度。當偏南之SSW向、S向及SSE向颱風波浪入侵時，因外廓堤防發揮其遮蔽效能，外港、內港水域各區波浪情況均極穩靜，而當威脅港口較嚴重之WSW向及SW向湧浪侵襲時，因港內消波設施之改善以及波高較小，故港內各區波浪情況亦均極穩靜。

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD = 6 M
 H = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

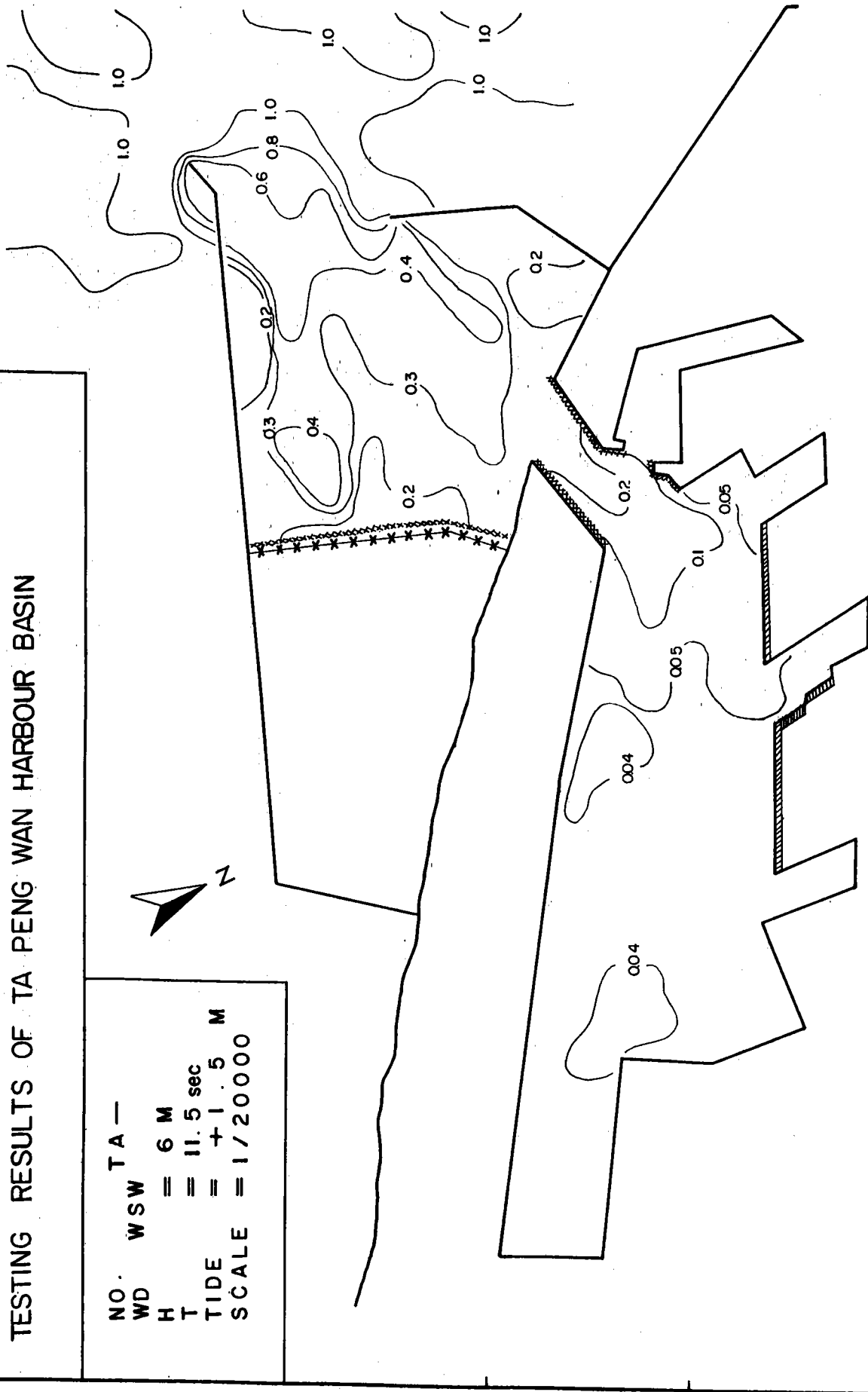


圖 廿 試驗 B—I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. SW TA —
WD = 6 M
H = 11.5 sec
T = +1.5 M
SCALE = 1/20000

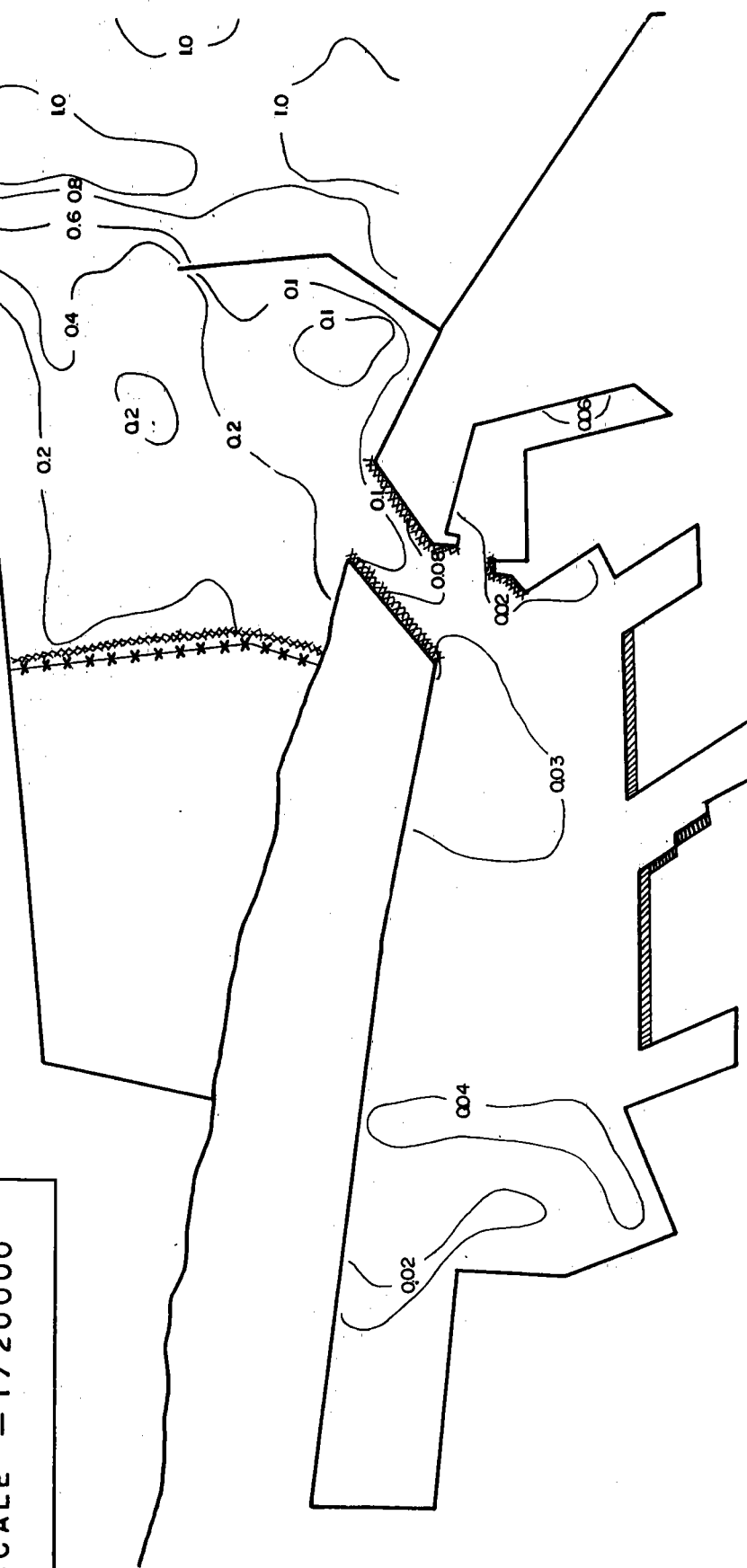


圖 21 試驗 B—I 試驗線

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD SSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

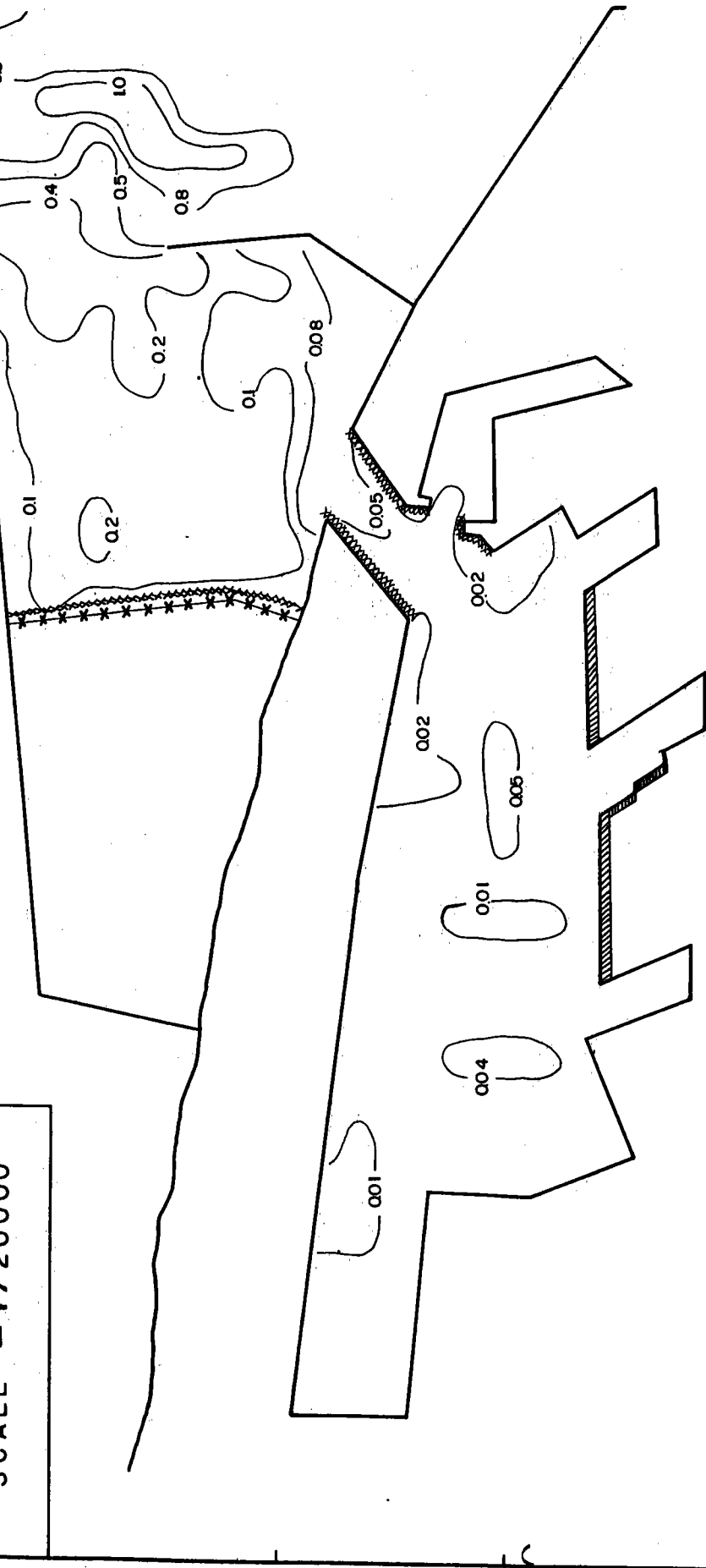


圖 廿 試驗 B—I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO S TA —
WD = 6.5 M
H = 11.8 sec
T = +1.5 M
TIDE SCALE = 1/20000

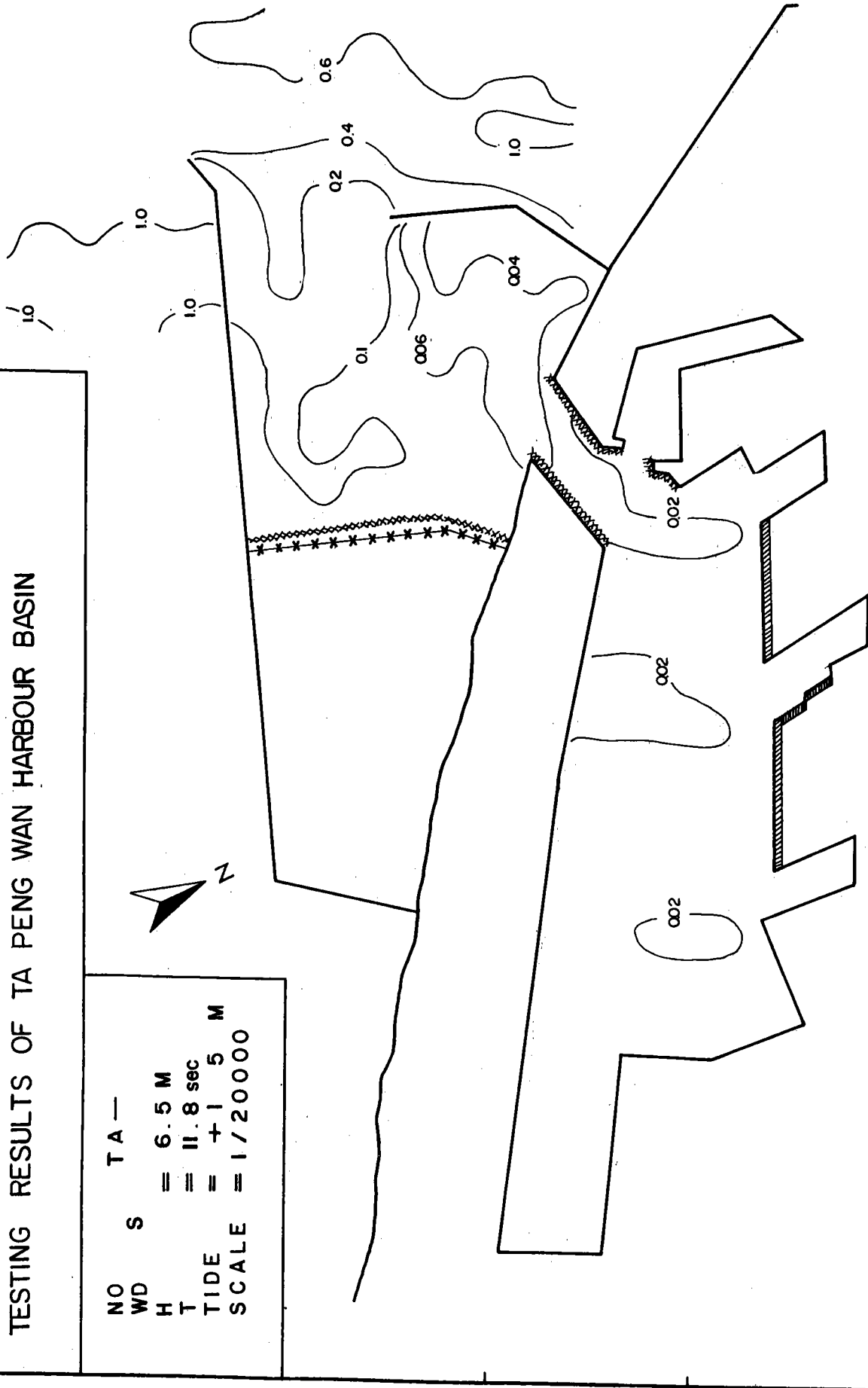
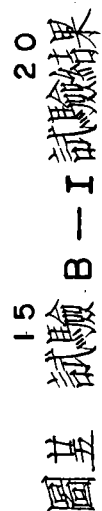


圖 51 試驗 B—I 試驗結果

NO TA --
WD SSE
H = 8 M
T = 12.2 sec
TIDE = +1.5 M
SCALE = 1/20000



TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. WSW TA —
WD = 3 M
H = 14.0 sec
TIDE = +1.5 M
SCALE = 1/20000



圖共 試驗 B—I 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD SW = 3 M
 HT = 14.0 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

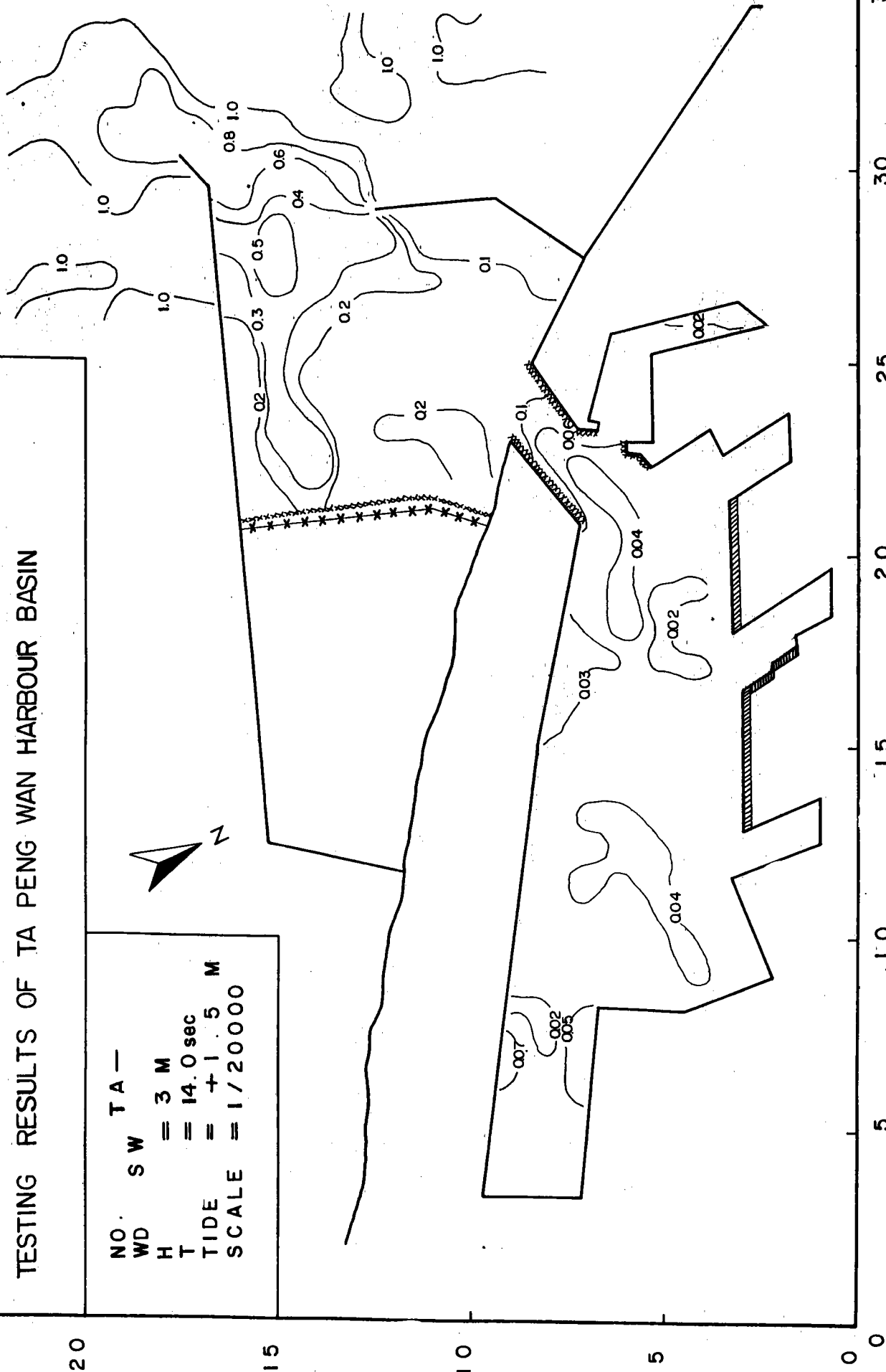


圖 藝 試驗 B—I 試驗結果

(2)試驗B—II (外廓堤防佈置B, 以重現模型繞射現象為主試驗)

試驗B—I係以重現模型折射現象為主之試驗, 模型試驗波浪週期縮尺取垂直縮尺平方根之一, 試驗結果顯示佈置B對於各方向入侵波浪遮蔽效果均甚為良好, 能符合船隻港內船舶作業要求。本試驗為瞭解重現模型繞射現象, 對港內波浪分佈之影響, 波浪週期縮尺取為水平縮尺平方根之一, 分別以WSW、SW、SSW、S和SSE等五種颱風波浪以及WSW、SW向湧浪進行試驗, 試驗結果港內波浪狀況如圖廿八~圖卅四所示, 主要區域波高如表8—5所示。

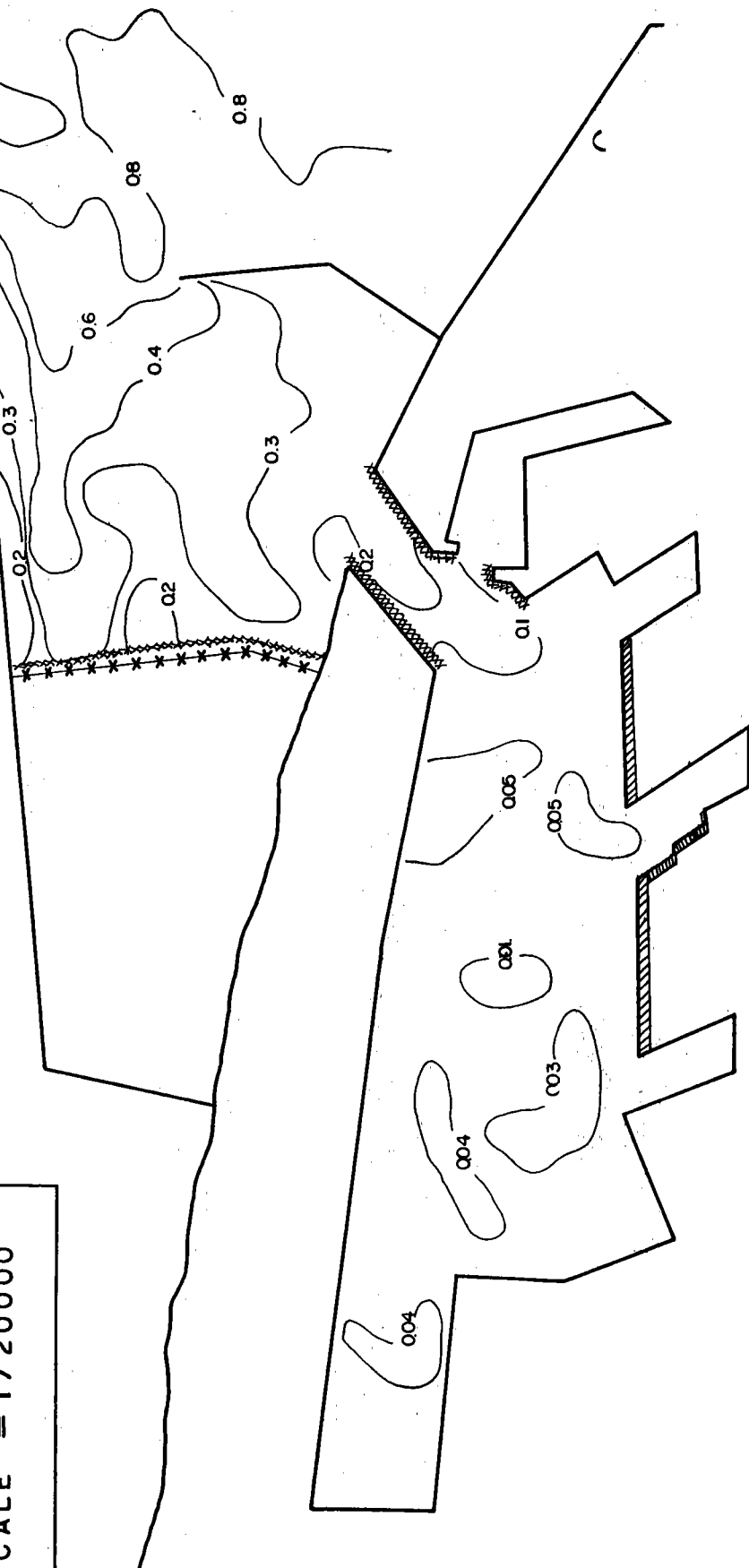
表8—5 試驗B—II 港內主要區域波浪狀況

試驗編號	波浪類型	區 域			港口	迴船池	護岸區	進口航道	漁港區	商港區	木材工業區	拆船工業區	造船工業區	內港航道
		方 向	波 高 (M)	週 期 (sec)										
B-II-1	颱風	WSW	6.0	11.5	3.6	1.8	1.2			0.2	0.2	0.2		0.2
					1	1	1	1.2	0.2	1	1	1	0.3	1
					4.8	2.4	1.8			0.3	0.3	0.3		0.3
B-II-2	颱風	SW	6.0	11.5	3.6		1.2	0.4		0.2		0.2		0.3
					1	1.2	1	1	0.3	1	0.2	0.2	0.3	1
					4.2		1.8	0.6	以下	0.3				0.4
B-II-3	颱風	SSW	6.0	11.5	1.8		0.6				0.2	0.2	0.1	
					1	1.2	1	0.5	0.1	0.2	1	1	1	0.2
					3.6		1.0		以下	以下	0.3	0.3	0.2	
B-II-4	颱風	S	6.5	11.8	1.3	0.3	0.3							
					1	1	1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
					2.6	0.7	0.6		以下	以下	以下	以下		
B-II-5	颱風	SSE	8.0	12.2	1.6	0.5	0.5			0.1				
					1	1	1	0.3	0.1	1	0.2	0.1	0.1	0.2
					2.4	0.8	0.8		以下	0.2	以下	以下	以下	以下
B-II-6	湧浪	WSW	3.0	14.0	1.8	1.2	1.0	0.6						
					1	1	1	1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3
					3.0	1.5	1.2	0.9	以下					
B-II-7	湧浪	SW	3.0	14.0	1.2	0.6	0.6							
					1	1	1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
					2.4	0.9	0.9		以下	以下	以下	以下	以下	

本試驗因週期縮尺取為水平縮尺平方根之一，故模型週期較試驗 B—I 為小，利用相同波高條件進行試驗。WSW 向颱風波浪侵襲時，外港水域護岸區波高約 1.8 m，惟迴船池及內港水域各區波浪情況則均甚穩靜，能符合船隻作業要求，SW 向颱風波浪侵襲時，除外港水域護岸區局部水域波高超過 1.5 m 外，其餘各區波浪情況亦極穩靜。其他 SSW、S 及 SSE 三個方向颱風波浪侵襲時，因外廓堤防佈置能有效遮蔽該三方向波浪，故港內波浪情況甚理想。WSW 向湧浪侵襲時，除護岸區局部水域波高約 1.2 m 外，其餘各區水域均極穩靜。SW 向湧浪作用時，港內各區水域波浪情況亦極穩靜，符合船隻作業要求。

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

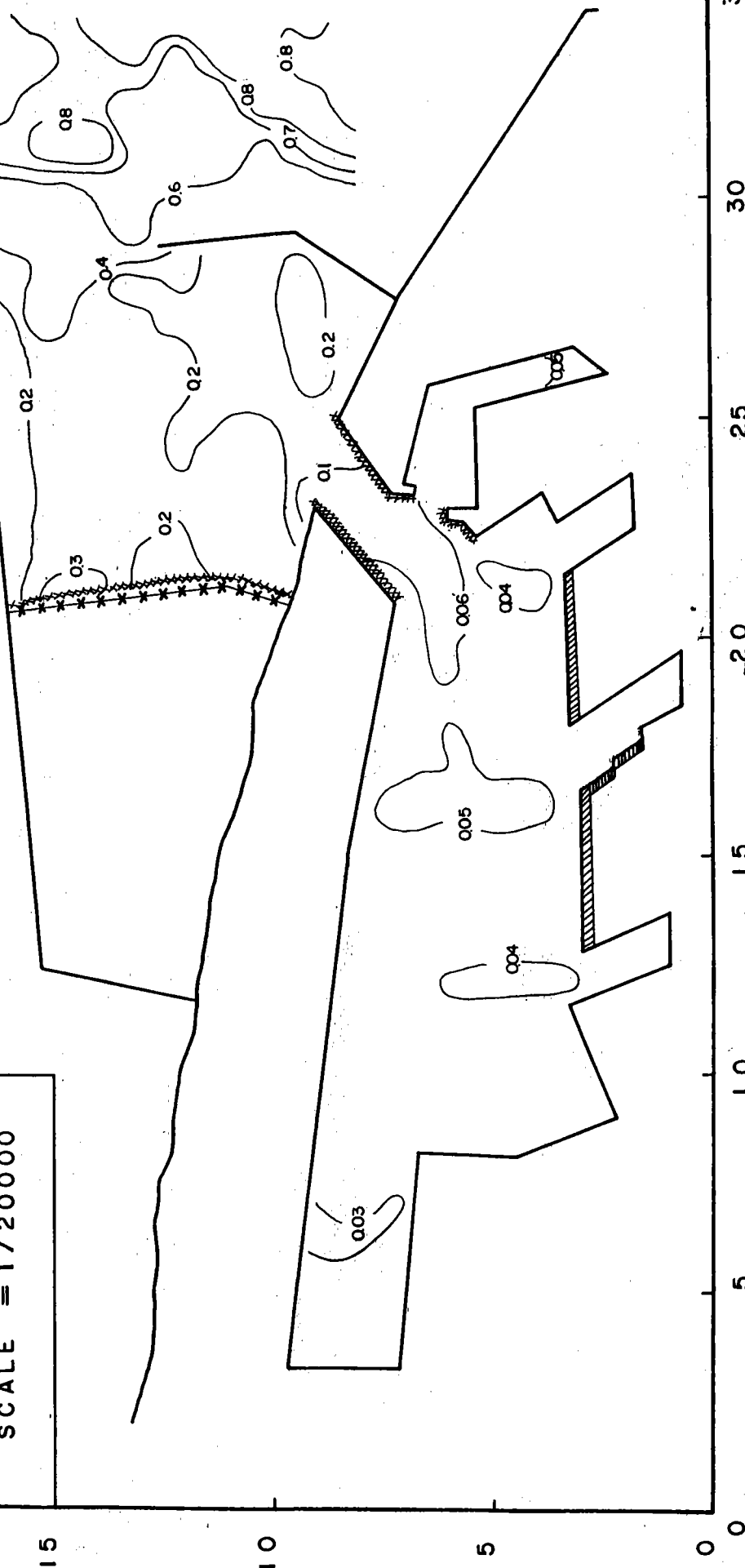
NO TA —
 WD W SW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖共 試驗 B—II 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

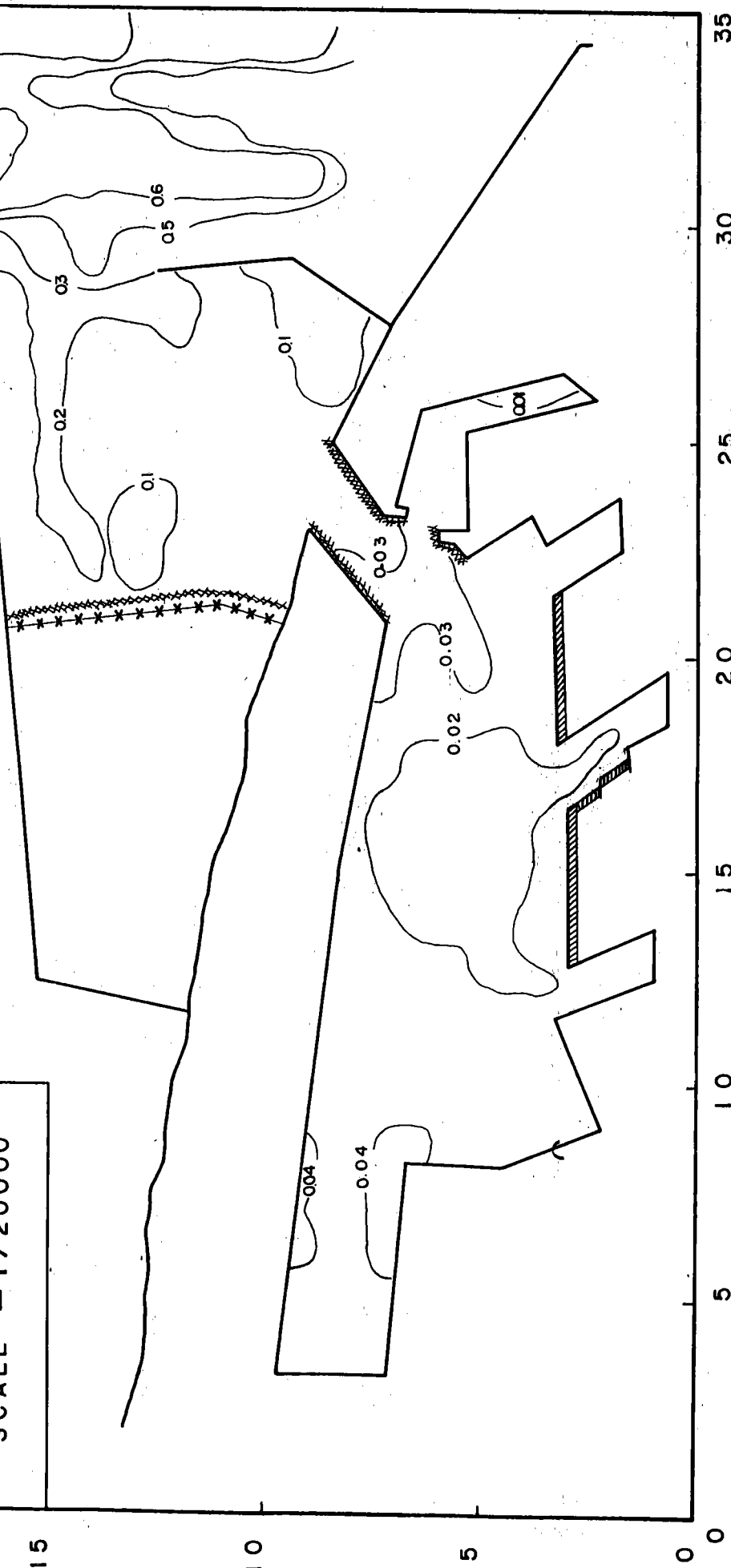
NO. TA —
 WD SW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖九 試驗 B-II 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD. SSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖廿 試驗 B-Ⅱ 試驗保

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. S TA —
WD = 6.5 M
H = 11.8 sec
T = +1.5 M
SCALE = 1/20000

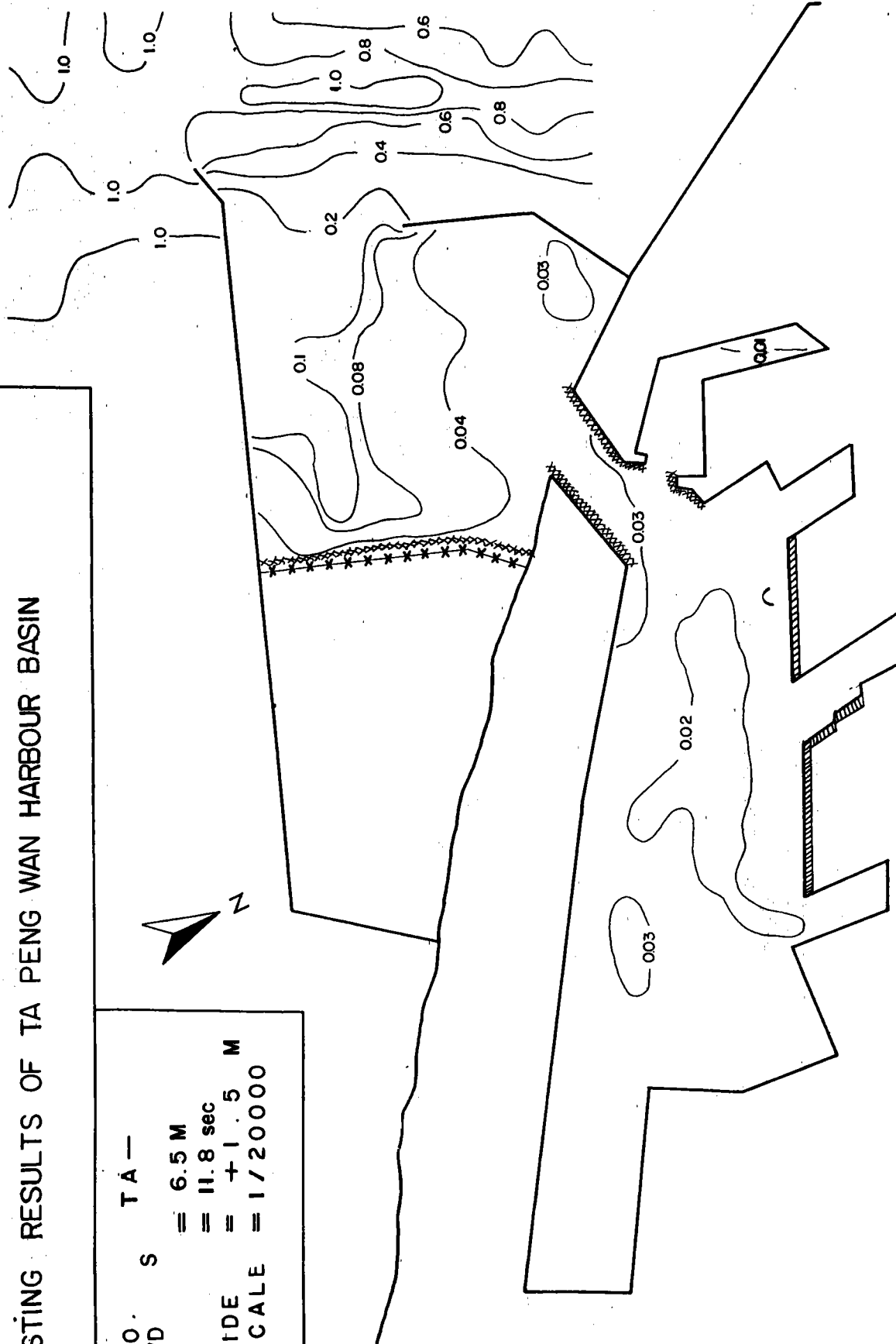


圖 2 試驗 B—II 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD SSE
 H = 8 M
 T = 12.2 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

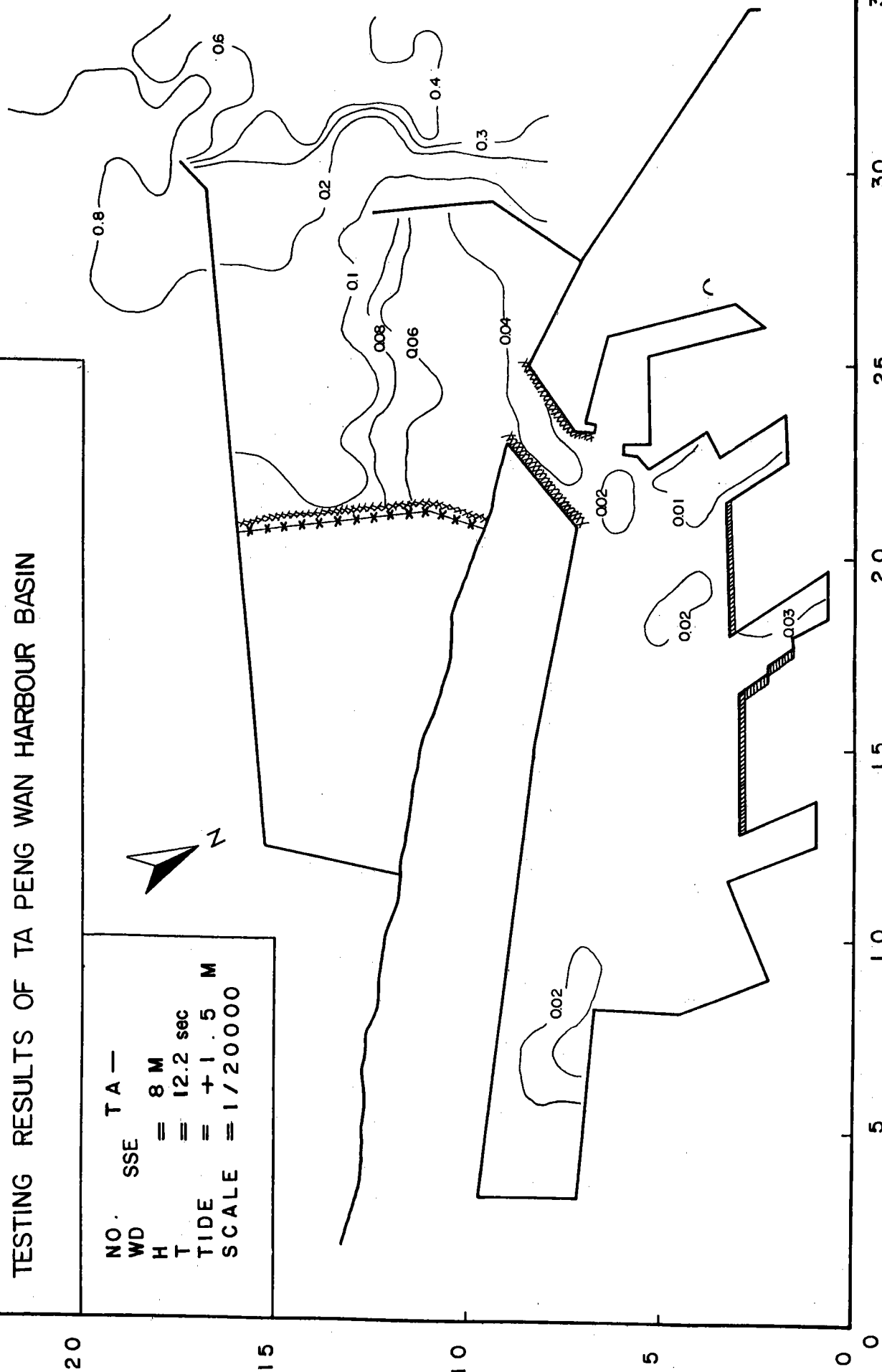


圖 世 試驗 B-Ⅱ 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD WSW
 H = 3 M
 T = 14.0 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

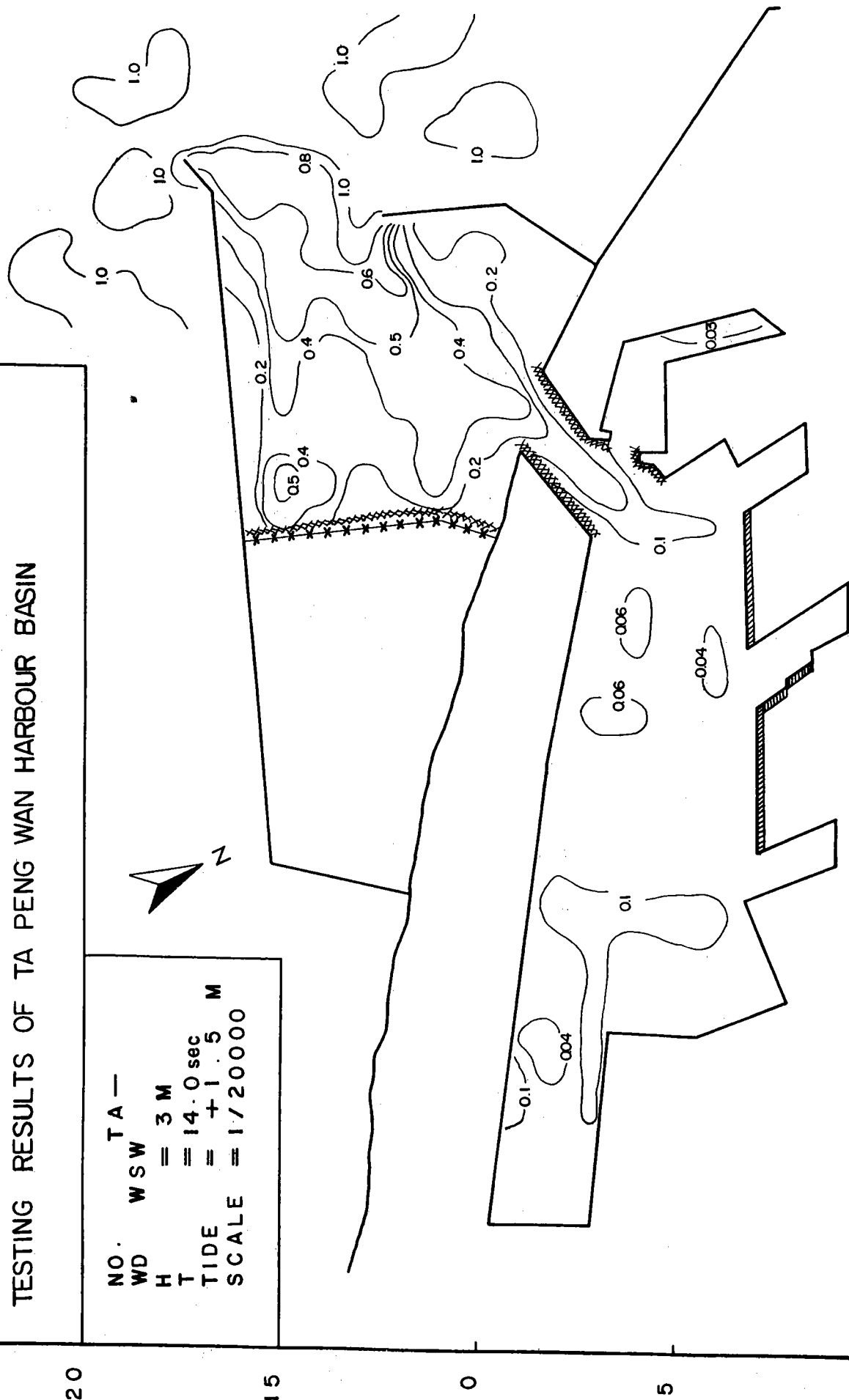


圖 世 試驗 B-Ⅱ 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD SW = 3 M
 H = 14.0 sec
 T = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

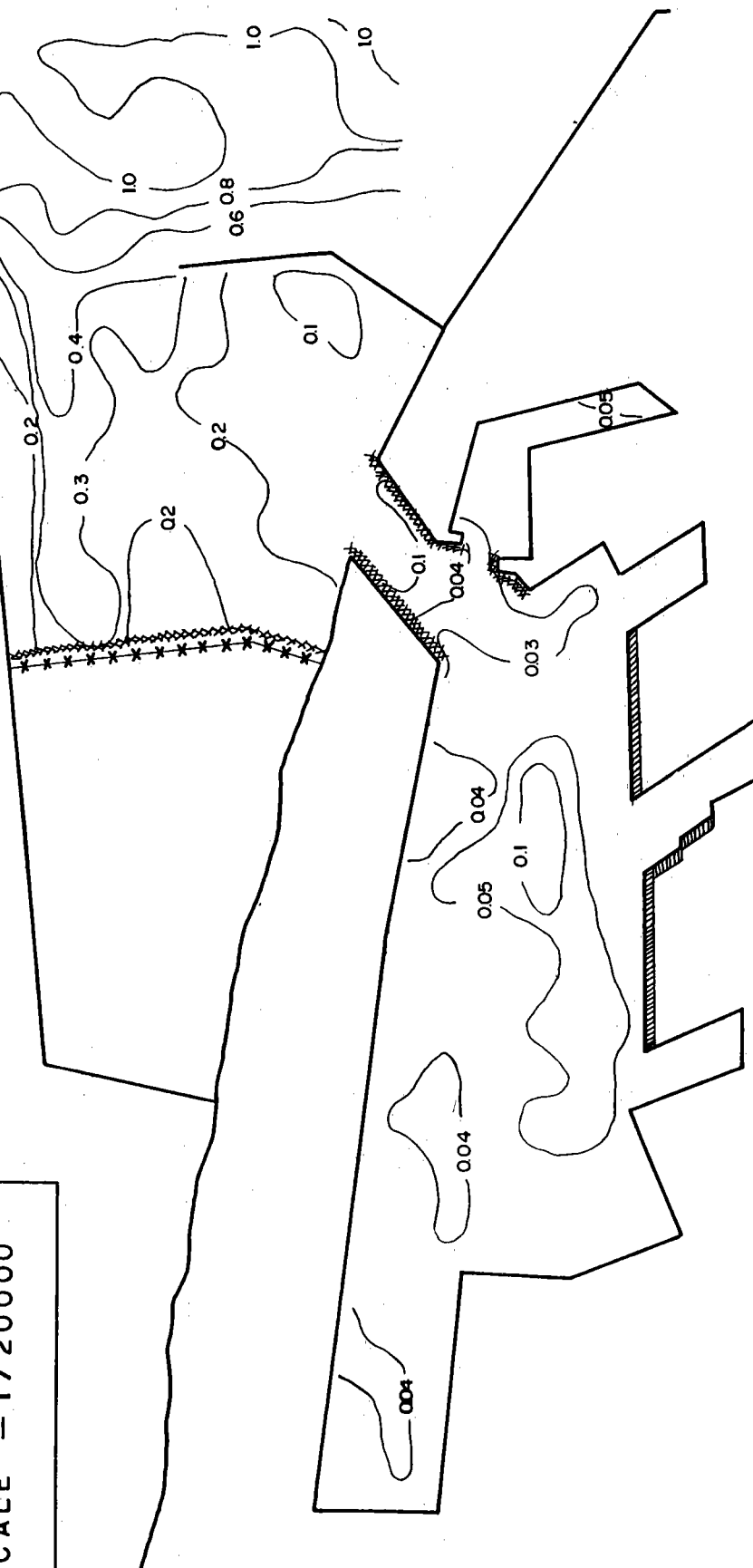


圖 港 試驗 B—II 試驗場

(3)試驗B—Ⅲ(佈置B,時間縮尺考慮變縮尺模型相似律)

本試驗主要考慮模型週期縮尺為水平縮尺和垂直縮尺之函數,依據變縮尺模型相似律

$$T_m = T_p \left(\frac{\ell_{hm}}{\ell_{hp}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\tanh \frac{2\pi h_m}{\Omega L_m}}{\tanh 2\pi \frac{h_m}{L_m}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

利用WSW、SW、SSW、S和SSE五種颱風波浪以及WSW、SW向湧浪分別進行試驗,試驗結果港內波浪狀況如圖卅五~圖四十一所示,主要區域波高如表8—6所示。

表8—6 試驗B—Ⅲ 港內主要區域波浪狀況

試驗編號	波浪類型	區 域			港口	迴船池	護岸區	進口航道	漁港區	商港區	木材工業區	拆船工業區	造船工業區	內港航道
		方 向	波 高 (M)	週 期 (sec)										
B—Ⅲ—1	颱風	WSW	6.0	11.5	3.6 4.8	2.4 3.6	1.8 2.4	1.8 2.4	0.3	0.2 0.6	0.2 0.4	0.5 以下	0.6 0.6	0.6 1.2
B—Ⅲ—2	颱風	SW	6.0	11.5	3.0 4.8	1.8 2.4	1.2 1.8	1.0 1.2	0.2 以下	0.2 0.6	0.2	0.3	0.3	0.3
B—Ⅲ—3	颱風	SSW	6.0	11.5	1.8 3.6	1.2	0.6 以下	0.6 以下	0.1 0.3	0.1 0.3	0.1	0.2 0.3	0.2	0.2
B—Ⅲ—4	颱風	S	6.5	11.8	1.3 2.6	0.5 0.7	0.5 0.7	0.4 以下	0.1 0.2	0.1 0.2	0.1 0.2	0.2	0.1 0.2	0.2
B—Ⅲ—5	颱風	SSE	8.0	12.2	1.6 2.4	0.6 0.8	0.6 0.8	0.2 0.3	0.1 以下	0.1 0.2	0.1 以下	0.1 以下	0.1 0.2	0.1
B—Ⅲ—6	湧波	WSW	3.0	14.0	1.8 3.0	1.2 1.5	0.6 0.9	0.6 0.9	0.1	0.1 0.3	0.1	0.1	0.1 0.2	0.2 0.3
B—Ⅲ—7	湧波	SW	3.0	14.0	1.2 2.4	0.6 0.9	0.3 0.6	0.3 0.6	0.1	0.1 0.2	0.1	0.1	0.2	0.1 0.2

本試驗模型上週期較佈置B前述試驗為小。相同之試驗波向與波高，而週期減小。當WSW方向颱風波浪侵襲時，佈置B三種試驗情況中，以本試驗外港水域波浪情況較不理想，迴船區波高超過2.5 m以上，護岸區局部水域波高亦達2.0 m左右，但港內水域波浪狀況尚能符合船舶作業要求，波高均在60 cm以下。而當SW向颱風波浪侵襲時，外港水域波浪狀況較WSW向波浪侵襲時，稍有改善，能符合船隻碇靠要求，港內水域波浪情況則極為穩靜。至於其他SSW、S及SSE向颱風波浪侵襲時，因外廓堤防遮蔽效果良好，港內各區水域波浪分佈情況則均甚理想。試驗結果顯示威脅港口較嚴重WSW向和SW向湧浪侵襲時，港內各區域波浪分佈情況，均能符合入港船隻作業要求。

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD WSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

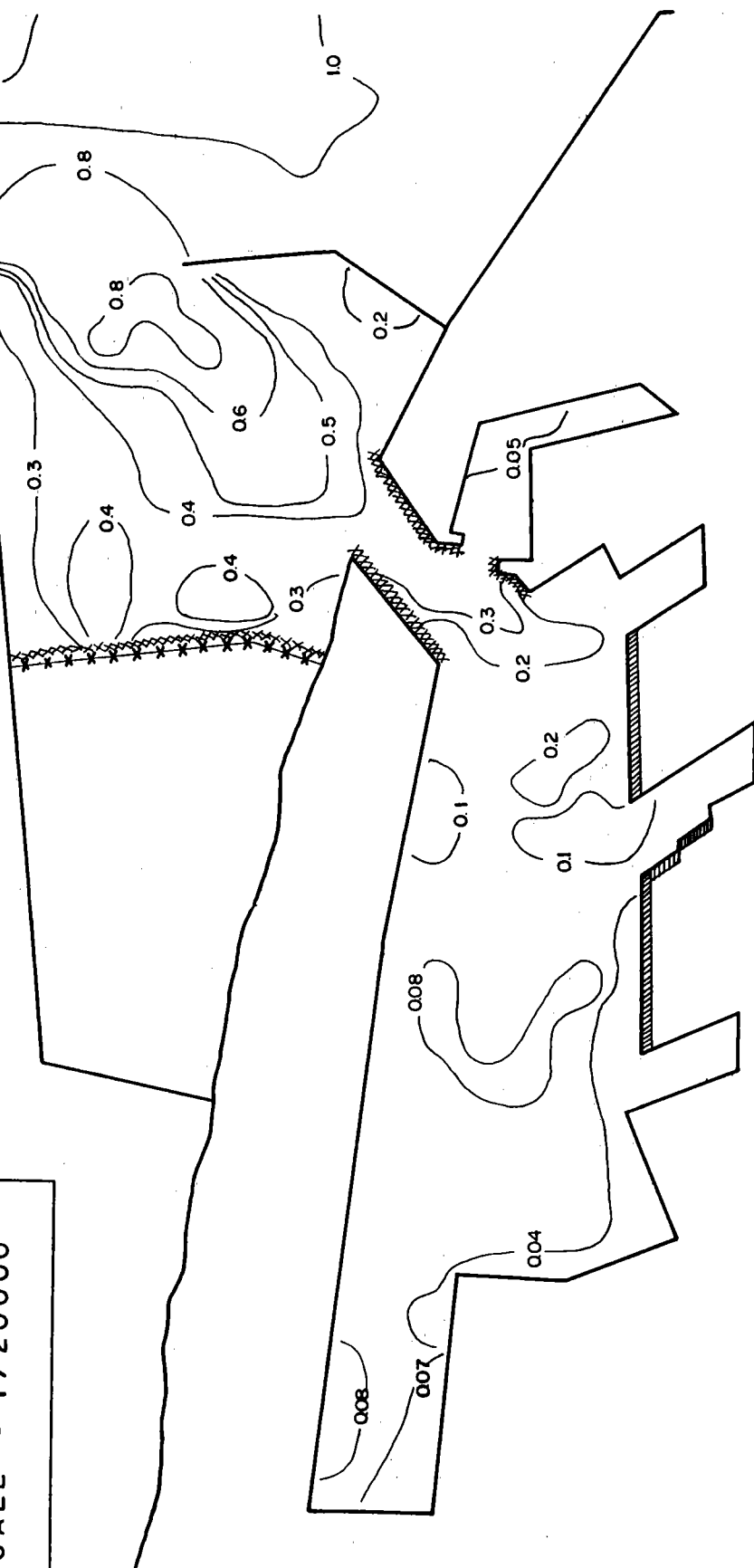
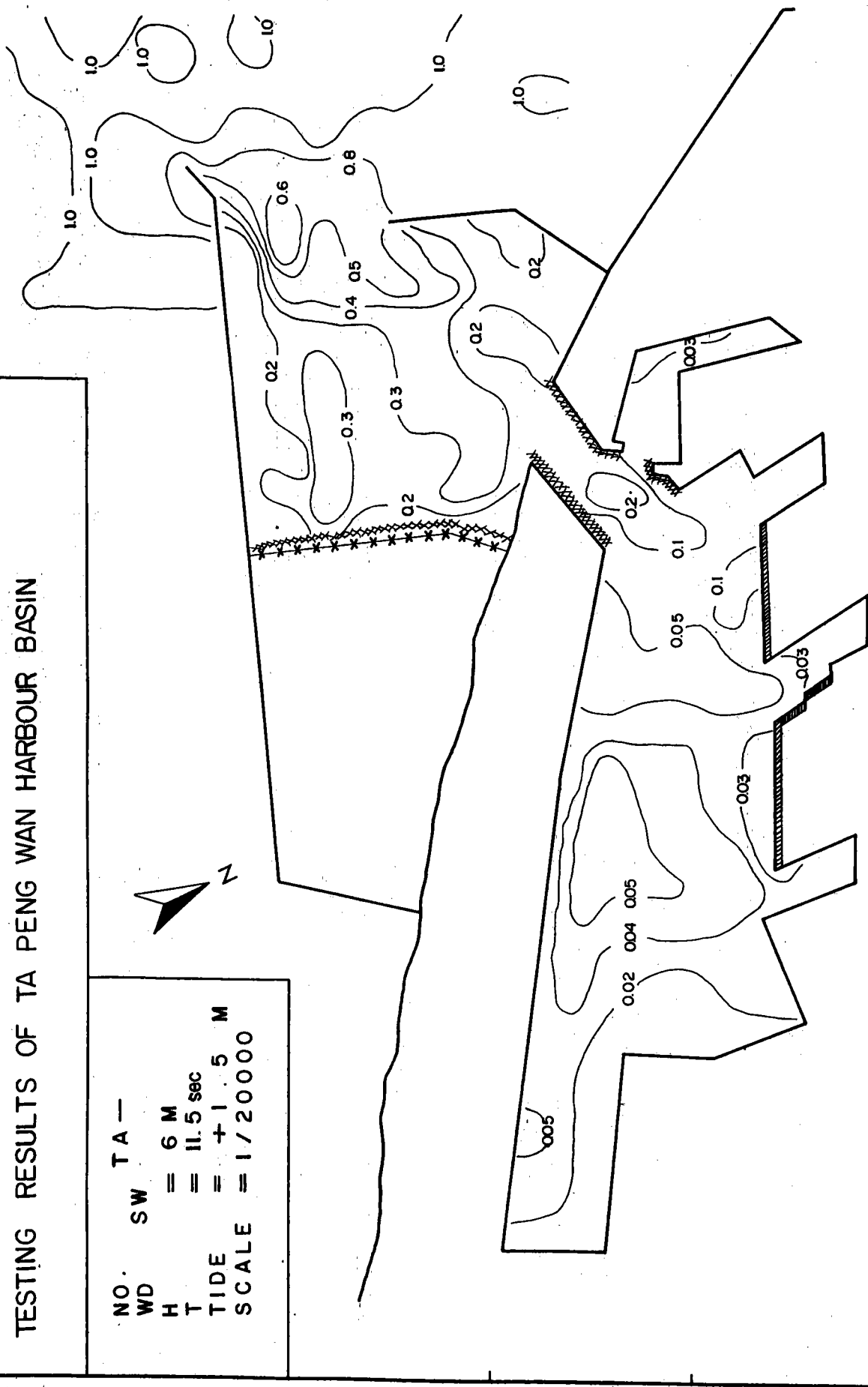


圖 藝 試 驗 B — III 試 驗 結 果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD SW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

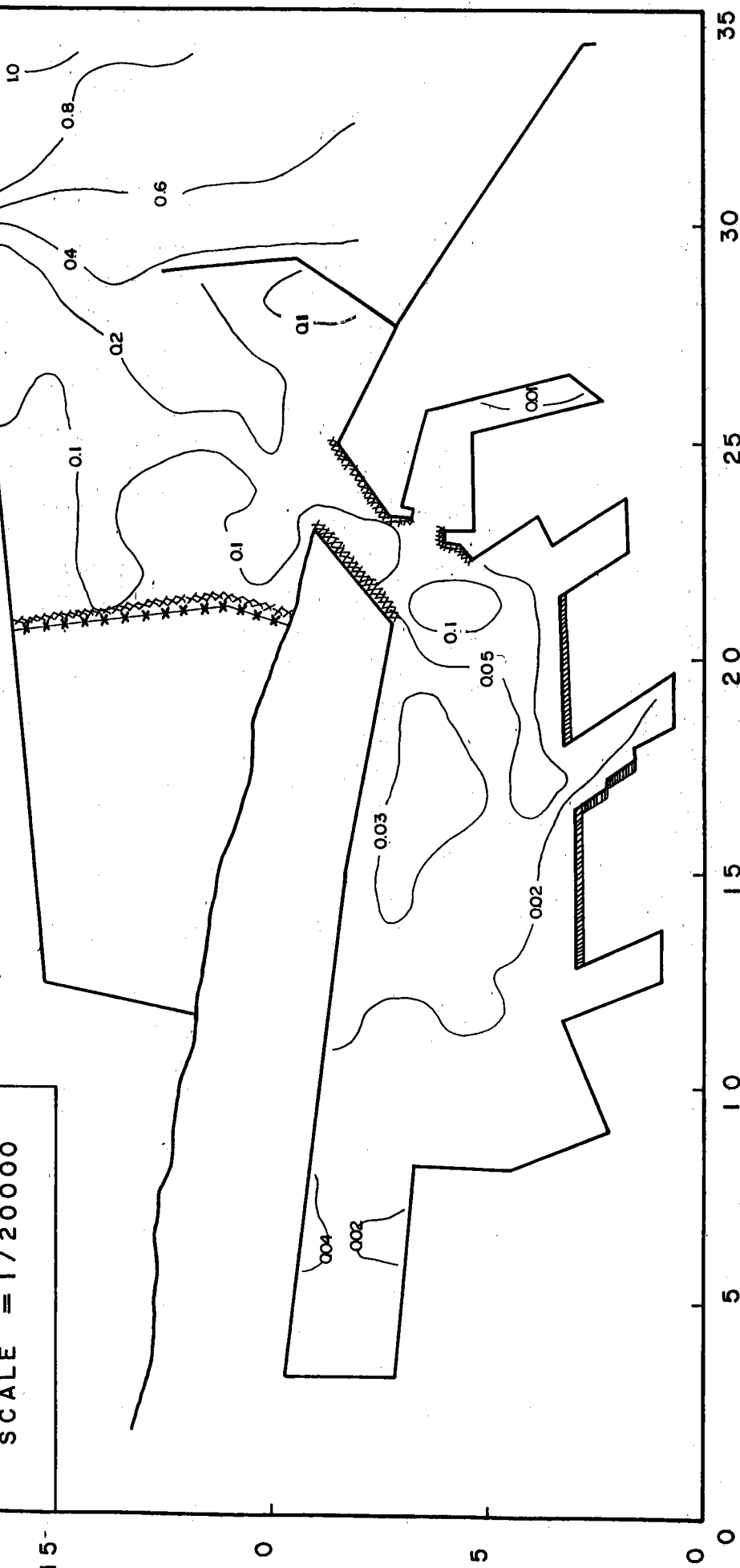


0 5 10 15 20 25 30 35

圖共 試驗 B-III 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD SSW
 H = 6 M
 T = 11.5 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000



圖世 試驗 B — III 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. S TA —
WD = 6.5 M
H = 11.8 sec
TIDE = +1.5 M
SCALE = 1/20000

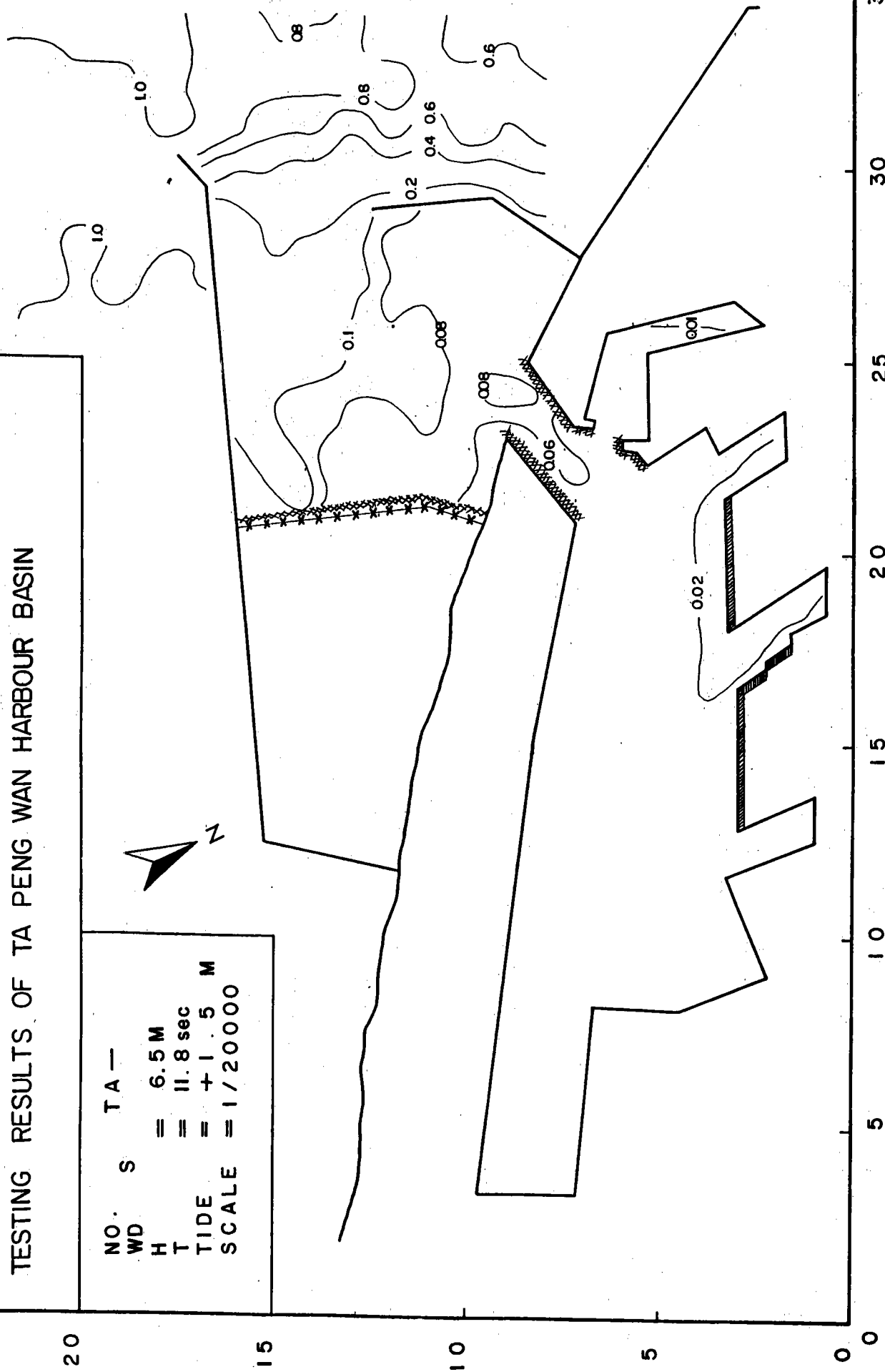


圖 廿 試驗 B-III 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO SSE TA —
WD = 8 M
H = 12.2sec
TIDE = +1.5 M
SCALE = 1/20000

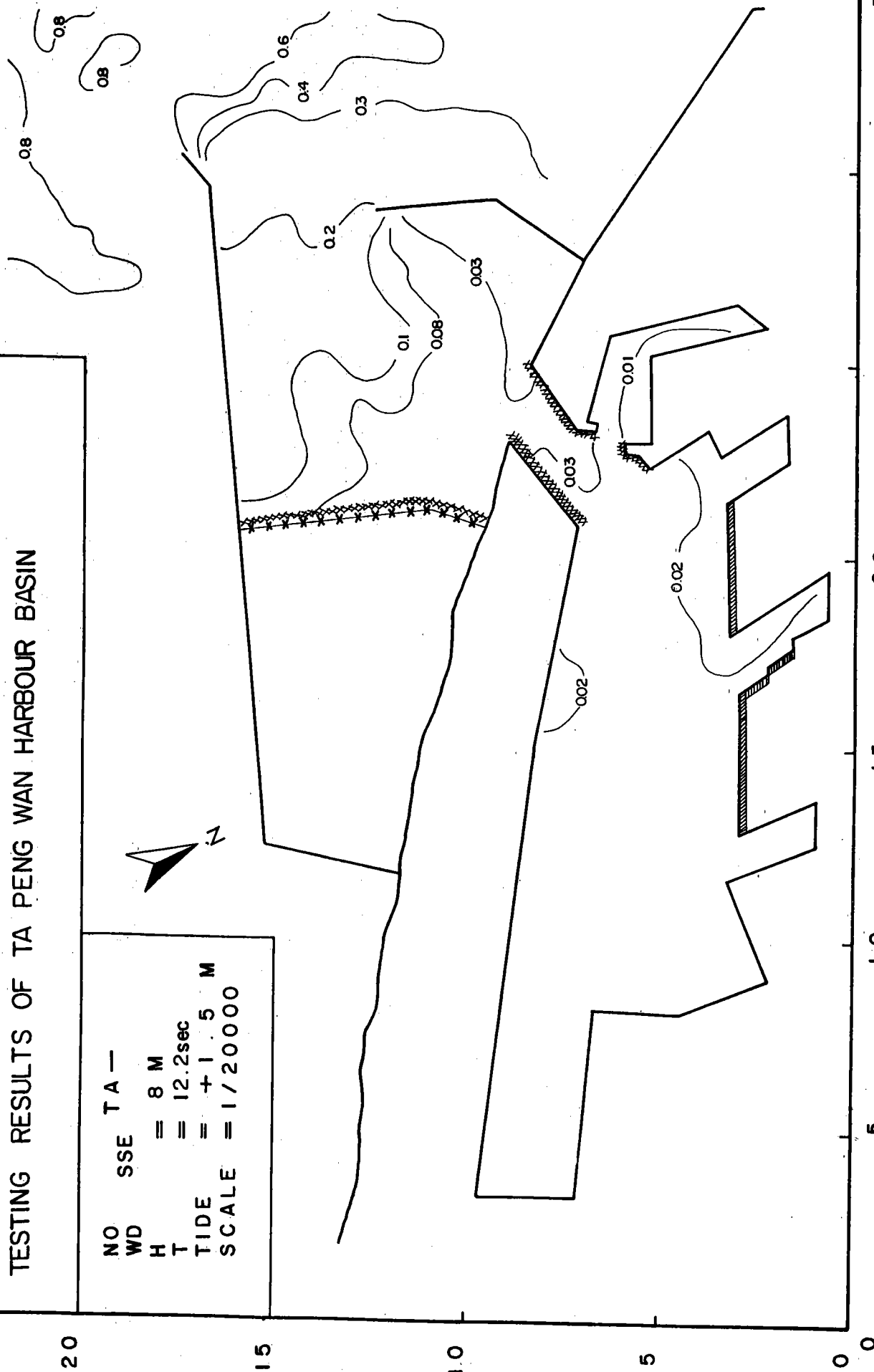


圖 芑 試驗 B-III 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. TA —
 WD = 3 M
 H = 14.0 sec
 TIDE = +1.5 M
 SCALE = 1/20000

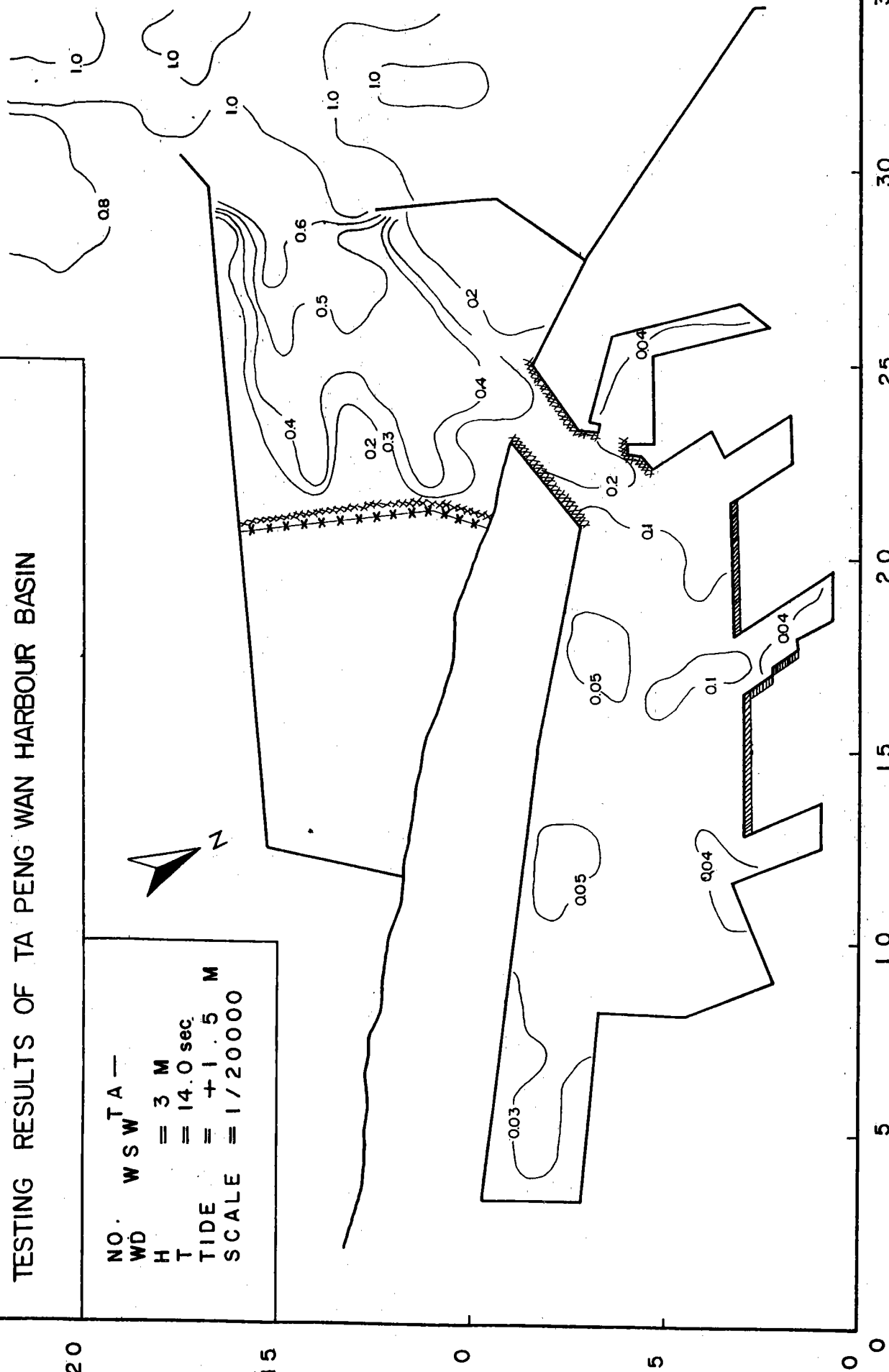
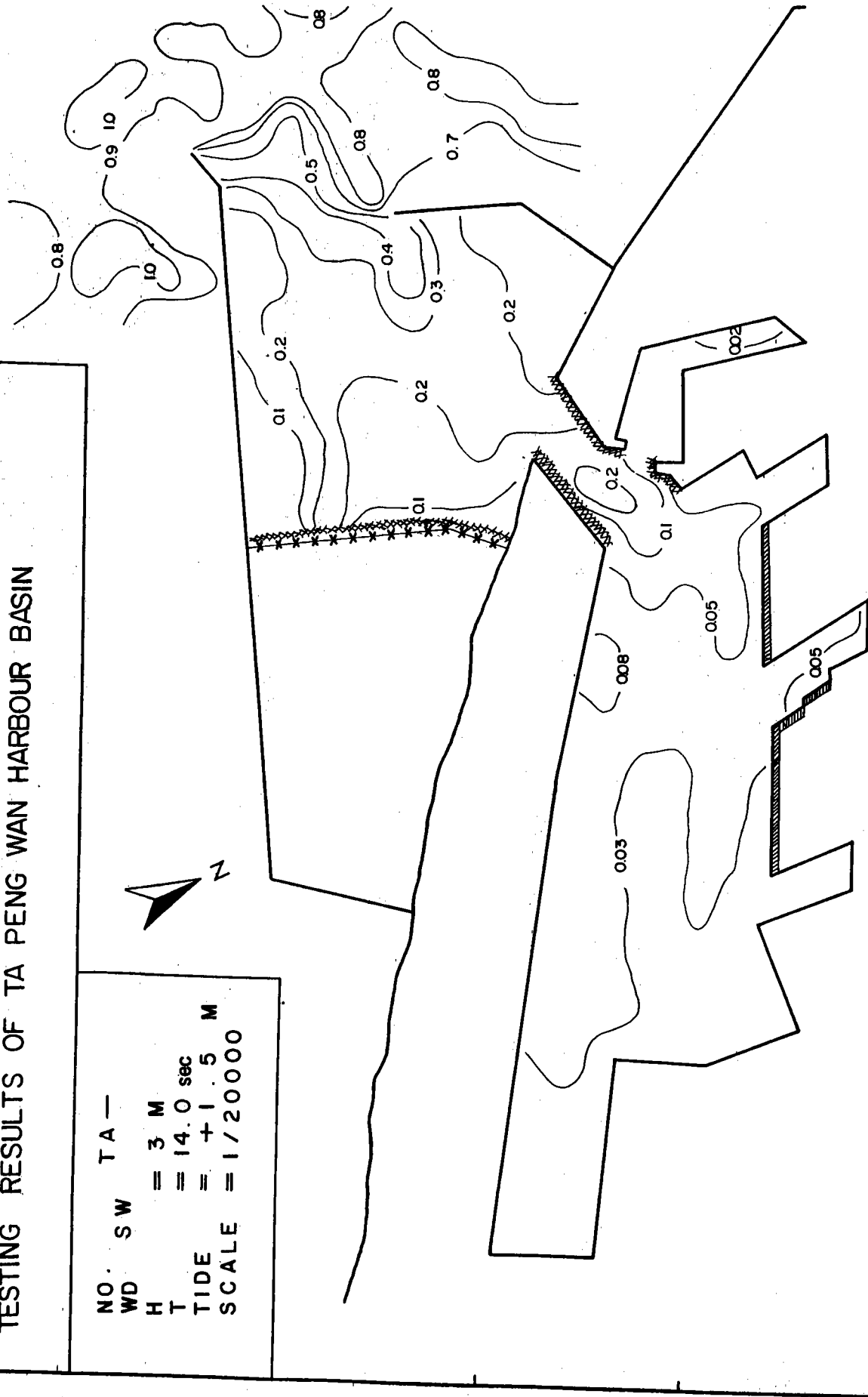


圖 罕 試驗 B-III 試驗結果

TESTING RESULTS OF TA PENG WAN HARBOUR BASIN

NO. SW TA —
WD = 3 M
H = 14.0 sec
T = +1.5 M
SCALE = 1/20000



0 5 10 15 20 25 30 35

圖四 試驗 B—III 試驗結果

玖、結論與建議

- 一、屏東大鵬灣外廓堤防遮蔽檢核試驗，綜合試驗結果以佈置B遮蔽效果較佳，可以符合船隻靠岸，碇泊要求，是一種防沙防浪俱佳之佈置。
- 二、對於相同佈置原型波浪條件相同，根據不同模型律採用三種時間縮尺辦理試驗，試驗結果顯示，以重現模型折射現象為主之試驗遮蔽效果最佳，重現繞射現象次之，考慮模型變縮尺模型相似律較差。惟該三種試驗情況對於佈置B而言，港內波浪狀況均甚為良好，內港水域亦能符合船隻作業要求。
- 三、大鵬灣港口方向朝西向，以WSW向及SW向颱風波浪對港池水域，穩靜威脅較大。當WSW向及SW向颱風波浪侵襲時，因波浪直接入侵港口，外港水域護岸區靠近南防波堤處水域因能量集中及護岸區波浪反射影響，致使該區在三種情況試驗，波高均達1.8 m未能符合船隻碇靠要求，建議於該區面對波浪方向建一斜式消波碼頭以消殺入侵波浪能量，改善該區波浪狀況，在該兩方向颱風波浪侵襲時，內港水域波浪狀況均相當穩靜，能符合船隻作業要求。
- 四、大鵬灣外港因水域狹窄，入侵波浪擴散不易，建議於防波堤內側四周加強拋石，並於護岸區加拋消波塊至水面以上以消滅部份能量。
- 五、一般模型反射波較現狀為大，尤其是不等縮尺模型更為誇張，同時大鵬灣沿岸多屬平坦沙灘具有良好消波效果，該港建成後，港內實際波浪狀況應較模型試驗結果為佳。

參 考 資 料

- 1 A.T. Ippen (1971) , Estuary and Coastal line Hydrodynamics
- 2 U.S.Army Coastal Engineering Research Center (1973) , Shore protection planning and design
- 3 湯麟武 (1971) , 海岸工程規劃設計, 農 復會特刊新二號
- 4 台中港模型試驗之研究 (1973) 台中港務局編印
- 5 張金機、黃清和 (1976) "基隆港東堤延伸遮蔽模型試驗報告" , 台中港務局
- 6 張金機、黃清和 (1976) "蘇澳港外防波堤平面模型試驗報告" , 台中港務局
- 7 張金機、黃清和 (1977) "花蓮港外港擴建規劃遮蔽模型試驗報告" , 台中港務局
- 8 屏東大鵬灣建港觀測資料研判評估工作 (上冊) (1980) , 中華顧問工程
- 9 張金機、黃清和 (1982) "台中港外廓堤防漂沙模型檢核試驗研究報告" , 港研所專刊第 1 號
- 10 張金機、黃清和 (1983) "屏東大鵬灣漂沙模型試驗研究報告" 港研所專刊第 3 號