

委託機關：台灣省交通處高雄港務局

計畫名稱：屏東大鵬灣漂沙模型試驗研究

金額：新台幣壹佰玖拾壹萬陸仟伍佰貳拾壹元整

時間：自中華民國七十年八月三日起

至中華民國七十一年四月廿五日止

計畫主持人：研究員兼組長 張金機

協同主持人：副研究員 黃清和

技 工：梅海潮 陳正義

蔡金吉 張富東

徐如娟

繪 圖：蔡金吉

資料整理：蓋美瑛 馬維倫

臨 工：林朝圳 楊水龍

內 容 摘 要

- 壹、前 言
- 貳、試驗設備
- 參、自然調查資料
- 肆、模型相似律
- 伍、模型縮尺及製作
- 陸、試驗內容及條件
- 柒、試驗波浪率定及試驗方法
- 捌、漂沙堆積一般形式
- 玖、試驗經過及結果
- 拾、結論及建議

附圖目錄

- 圖 1 大鵬灣地理位置圖
- 圖 2 大鵬灣夏季風玫瑰圖
- 圖 3 大鵬灣冬季風玫瑰圖
- 圖 4 大鵬灣全年季風玫瑰圖
- 圖 5 大鵬灣外海第一次水深測量圖
- 圖 6 大鵬灣外海第二次水深測量圖
- 圖 7 大鵬灣外海第三次水深測量圖
- 圖 8 模型製作斷面圖
- 圖 9 底質粒徑分佈曲綫圖
- 圖 10 外廓堤防設置蛇籠情形 (照片)
- 圖 11 大鵬灣規劃各方案外廓堤防配置圖
- 圖 12 大鵬灣外廓堤防佈置
- 圖 13 漂沙堆積一般形式
- 圖 14 67年4月~68年3月等深水線變化圖
- 圖 15 68年3月~69年4月等深水線變化圖
- 圖 16 預備試驗 I~IV 模型鋪設初期地形 (67年4月高港局所測水深圖)
- 圖 17 - (a) 預備試驗 I 東港漁港與大鵬灣舊潮口間模型鋪設初期地形
- 圖 17 - (b) 預備試驗 I 南平里外側模型鋪設初期地形
- 圖 17 - (c) 預備試驗 I 波浪作用 4 小時後東港漁港與舊潮口間地形變化
- 圖 17 - (d) 預備試驗 I 波浪作用 4 小時後南平里外海側地形變化
- 圖 18 a~e 表預備試驗 I 波浪作用後東港防沙堤附近地形變化
- 圖 19 示預備試驗 I 波浪作用後 A~H 之土量變化
- 圖 20 a~e 預備試驗 II, 波浪作用後東港防沙堤以南地形變化
- 圖 21 預備試驗 II, 波浪作用後 A~H 區之土量變化
- 圖 22 - (a) 預備試驗 II, 東港漁港與大鵬灣舊潮口間模型鋪設初期地形
- 圖 22 - (b) 預備試驗 II, 東港漁港與大鵬灣舊潮口間造波 4 小時後地形變化
- 圖 22 - (c) 預備試驗 II, 大鵬灣南平里外側海灘模型鋪設初期地形
- 圖 22 - (d) 預備試驗 II, 大鵬灣南平里外側海灘造波 4 小時後地形變化
- 圖 23 a~e 表預備試驗 III 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化
- 圖 24 表預備試驗 III 波浪作用後 A~H 各區土量變化
- 圖 25 - (a) 預備試驗 III, 東港漁港與大鵬灣舊潮口間模型鋪設初期地形
- 圖 25 - (b) 預備試驗 III, 南平里外海側模型鋪設初期地形
- 圖 25 - (c) 預備試驗 III, 南平里外海側造波 4 小時後地形變化
- 圖 26 a~e 表預備試驗 IV, 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化
- 圖 27 表預備試驗 IV 波浪作用後 A~H 區之土量變化
- 圖 28 - (a) 預備試驗 IV, 東港漁港防沙堤與大鵬灣舊潮口間海灘模型鋪設初期地形
- 圖 28 - (b) 預備試驗 IV, 南平里外側海灘模型鋪設初期地形
- 圖 28 - (c) 預備試驗 IV, 舊潮口造波時間 13 小時後地形變化
- 圖 28 - (d) 預備試驗 IV, 舊潮口與防沙堤間沙灘連續造波 13 小時後變化情形

- 圖 29 表佈置A，SSE向波浪作用後防波堤附近地形變化
- 圖 30 表佈置A，SSE向波浪作用後，A~J區之土量變化
- 圖 31 表佈置A，SSE向波浪作用後，各主要點之水深變化
- 圖 32 a~h，佈置A，SSE向波浪作用下各階段東港防沙堤附近漂沙淤積情形
- 圖 33 a~c，佈置A，SSE向波浪作用下各階段流況分佈情形
- 圖 34 示佈置A，W向波浪作用下，防波堤附近地形變化
- 圖 35 示佈置A，W向波浪作用下，A~J區之土量變化
- 圖 36 示佈置A，W向波浪作用下各主要點之水深變化
- 圖 37 - (a) 佈置A，W向波浪作用下，北防波堤與東港防沙堤間模型鋪設情形
- 圖 37 - (b) 佈置A，W向波浪作用下，大鵬灣南防波堤外側海灘模型鋪設情形
- 圖 37 - (c) 佈置A，W向波浪作用下，北防波堤與東港防沙堤間造波後7小時地形變化
- 圖 37 - (d) 佈置A，W向波浪作用下，大鵬灣南防波堤外側海灘造波後7小時地形變化
- 圖 38 a~b，佈置A，W向波浪作用下各階段流況分佈情形
- 圖 39 a~g，佈置B波浪作用下防波堤附近地形變化
- 圖 40 佈置B波浪作用後，A~J區之土量變化
- 圖 41 佈置B波浪作用後各主要點之水深變化
- 圖 42 a~f，佈置B各階段波浪作用下，東港防沙堤附近漂沙淤積情形
- 圖 43 a~c，佈置B波浪作用下各階段流況分佈情形

附表目錄

- 表1 大鵬灣外海颱風波浪及湧浪資料
- 表2 大鵬灣68年8月測得賀樸颱風波浪估算漂沙量
- 表3 民國68年6月份大鵬灣漂沙量估算
- 表4 東港港口抽砂量記錄表
- 表5 預備試驗及計劃佈置試驗之試驗條件及波浪作用時間
- 表6 歷年東港防沙堤，大鵬灣舊潮口與等深綫-10m間土砂量變化表
- 表7 佈置A，SSE向波浪試驗結果各主要點水深變化
- 表8 佈置A，SSE向波浪試驗結果，各主要區土量變化
- 表9 佈置A，W向波浪試驗結果各主要點水深變化
- 表10 佈置A，W向波浪試驗結果各主要區土量變化
- 表11 修訂佈置B，SSE向波浪試驗結果各主要點水深變化
- 表12 修訂佈置B，SSE向波浪試驗結果各主要區土量變化

摘 要

本模型試驗研究旨在利用物理模型(physical model)試驗方法，針對高雄港務局所提屏東大鵬灣興建開發計畫，探討防波堤興建後，沿岸漂沙移動變化情形，及其對東港漁港之影響作進一步研究。由於高港局提供現場實測資料不足，且時間太短，地形測量所獲得漂沙沖刷、淤積缺乏一致性(Consistence)，無法利用東港漁港防波堤興建完成後之沖刷現象在模型上重現以推算大鵬灣沿岸漂沙移動時間縮尺及對大鵬灣外廓堤防興建後土沙量堆積作定量(quantitative)推算，僅能藉水工物理模型試驗，對外廓堤防興建後漂沙移動變化情形作定性(qualitative)比較研究，以瞭解堤防各部位沖淤現象，並就試驗結果研提防止大鵬灣及東港兩港口堆積最佳佈置計畫一種，以作為有關單位規畫設計屏東大鵬灣外廓堤防之參考。

壹、前 言

大鵬灣位於本省西南部，屏東縣東港溪及林邊溪兩溪間，毗鄰東港鎮，地處北緯 $23^{\circ}27'$ 東經 $120^{\circ}26.7'$ ，北距高雄港約29公里，南距鵝鑾鼻約46公里，西南面對小琉球海程約12公里，港內現有水域成橢圓形狀，長約3500公尺，寬約1800公尺，面積500餘公頃，連同四週魚塢水面積共約1200公頃，沿海岸綫有天然之狹長沙洲為其屏障，如圖1所示，且海岸因成東西走向，不受東北季風影響。內陸有鐵路東港支線在鎮安站與屏東站連接。公路有縱貫線，交通至為便利，實為台灣西南海岸唯一良好天然港址。

大鵬灣原為國防用地，近年來屏東縣地方極力爭取闢建為商港，以繁榮屏東地區，嗣經行政院經濟設計委員會研究結果，認為大鵬灣應予綜合規劃，視需要依次開發，以適應國家經濟發展需要，亦經國防部于六十二年十月十三日同意，綜合開發大鵬灣，高雄港務局有鑑於此，乃提出開發大鵬灣作為高雄港輔助港之興建計劃。由於外廓堤防之興建不僅施工艱巨，且所費不貲。興建外廓防波堤主要目的除需阻擋波浪侵入港內，以維持水域穩靜，確保船舶航行安全，提供船隻碇靠、裝卸外，並應具有防止漂沙回淤阻塞航道及港口之功能。故為獲得最佳防波堤佈置，使能發揮最大功效，必須辦理水工物理模型試驗。高雄港務局乃於民國六十七年委託台中港務局先行辦理大鵬灣規劃遮蔽模型試驗，以期獲得防浪最佳之外廓堤防佈置方案。但因大鵬灣位於東港與林邊兩條溪流之間，係一片堆沙海岸，故規劃港口及防波堤佈置時，對於河川排砂，以及颱風波浪侵襲所造成漂沙移動，對鄰近區域之影響，均不容忽視，本所於七十年二月成立後，台中港務局便將原高雄港務局委託該局之漂沙模型試驗轉委託本所辦理，

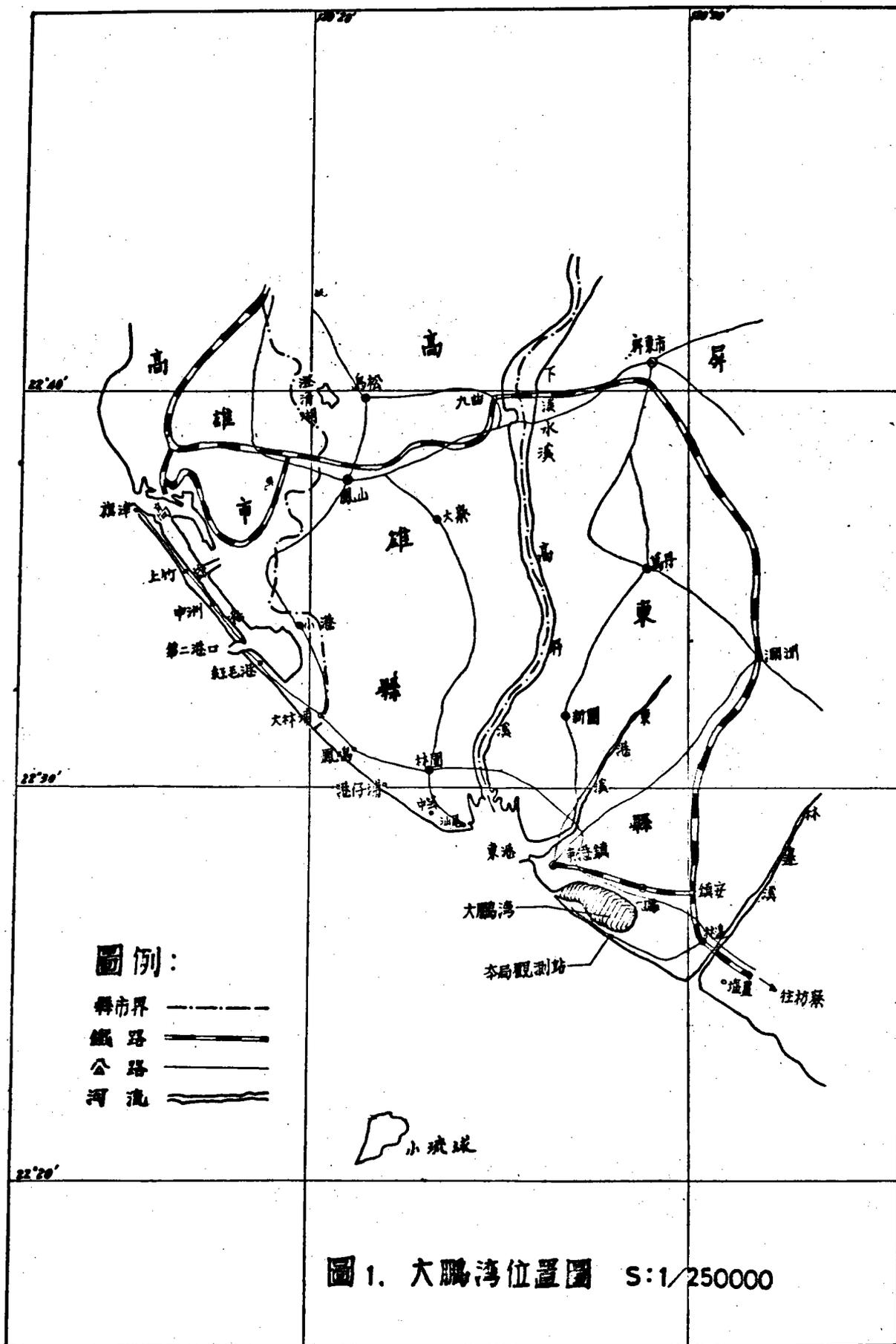


圖 1. 大鵬灣位置圖 S:1/250000

以期獲得一防浪、防沙俱佳，亦對鄰近區域產生最小漂沙影響之外廓堤防佈置。本漂沙模型試驗工作，模型製作始於民國七十年八月三日，全部試驗並於七十一年四月廿五日結束。先後進行四種情況預備試驗，三種主試驗，及三項流況試驗，謹將試驗經過及結果略述如后：

貳、試驗設備

(一)大型試驗水池：長60公尺、寬43公尺、深1公尺其內設有：

1 錘擊式造波機：

由三十匹馬力馬達帶動變速機及偏心輪，使三角形槽式造波板上下錘擊水面以製造波浪。試驗所需波浪之週期及波高可調整變速機之變速比及偏心輪距獲得，造波機安裝在弧形鐵軌上藉齒輪可以變換位置製造各種方向之波浪。

2 環流系統：

試驗池兩端各設進水及排水槽各一道，寬1公尺，深2公尺與室外蓄水池間設有管路及控制水閘。室外蓄水池裝有40匹馬力抽水機一座，以30公分輸水管分別通至兩水槽，作為環流之給水系統。兩水槽與試驗池之隔牆上裝置木閘41處控制模型內海流之流速分佈。並利用控制閘調節流量。

3 潮汐自動控制儀

由電子計時器及控制器自動調節空壓機分配至各控制閘之壓力，使控水閘作週期性啓動關閉，控制進出試驗池水量，使試驗水池水位作連續正弦變化以模擬潮汐現象。

4 導波板

在造波板兩端沿波浪方向排置，引導波浪至一定方向，以避免能量擴散。

(二)蓄水池：長60公尺、寬14公尺、深2.65公尺為鋼筋混凝土建築，蓄水量約2200公噸，四週裝置鐵絲網，池之南端鑿井兩口，深120公尺並設置抽水機抽取地下水供試驗用。

(三)測定儀器：

- 1 容量型波高儀 (Capacitance Type Wave Meter) 為試驗用波浪測定儀器，係將水面起伏變化，先經一對白金電容線感受器轉變為電阻變化，藉惠氏登電橋換成電流，再經增幅器 (Amplifier) 予以放大後變成電壓，由記錄儀 (Recorder) 記錄波浪變化或經電腦類比數據轉換器獲得波浪資料。
- 2 水平儀：測量漂沙地形變化高程，採用方格網方法以計算模型漂沙堆積或沖刷量。

叁、自然調查資料

漂沙模型試驗首先須利用預備試驗使原型海岸變化現象在模型中重現，其次辦理主試驗以明瞭海岸上增建各種不同佈置外廓堤防後對沿岸漂沙之影響，進而研擬防浪、防沙俱佳之港灣堤防佈置。為使各項自然現象能在模型中重現，試驗前必須對附近海岸自然資料進行慎重調查。高雄港務局於民國六十一年初即籌畫有關大鵬灣建港測量調查工作，包括氣象、海象、水文、地形及海岸變化情況等測量調查，茲將其與本試驗有關之調查項目概述如下：

(一)地形測量：

施測地形區域海岸長15公里，寬2公里，全區進行導線測量及設樁站，辦理1/3000比例尺地形實測，縮繪成1/6000地形圖，範圍西自高屏溪，東至林邊溪；北至沿海公路界，南至海岸沙灘。

(二)水深測量：

1. 外海：自高屏溪至林邊溪，長約15公里，由海岸砂灘向外海測至水深—25公尺；寬約3公里之海域。每隔100公尺測一斷面，分別在六十七年四月廿八日~五月十六日，六十八年三月十三日~三月廿三日；六十八年十月廿二日~十一月廿日；六十九年四月三日~四月廿九日及六十九年十月六日~十月卅日；共施測五次並以六十七年四月所測水深測量圖作為模型地形製作之依據。
2. 內港、內灣約4公里×2公里，每50公尺測一斷面，作方格網狀施測水深。

(三)海岸線變化測量：

自高屏溪西岸之汕尾村，至林邊溪南岸之鹽埕村之海岸變化情形，

每年在颱風季節前後各施測一次，主要在於瞭解海岸沙灘季節性變化及海岸線消長情形，但發現歷次測量結果，海岸沖淤並無規則性。

(四) 海底海灘採砂：

- 1 海底：每 500 公尺為一斷面，每隔一公尺水深採砂一處，採砂量約 500 公克，由船上使用採砂器撈取。採砂測量經分析後繪製成平均粒徑 (D_{50}) 分佈圖。雖每次測量結果不盡一致，但從歷次結果可知，大鵬灣海岸水深 5 m 至 10 m 處，平均粒徑約為 0.2 mm，水深超過 15 m 處，平均粒徑大都為 0.1 mm，而東港及林邊溪口淺灘處平均粒徑達 0.4 mm。砂粒比重則在 0.64 至 2.7 之間。
- 2 海灘：與海底同一斷面之海灘上，除去表面薄層後採樣，每一斷面取 3 個點。

(五) 潮流測量：

- 1 海流及潮流：分別選擇溪口與港口五個斷面，使用流速儀或浮標在大潮及小潮期間作 25 小時以上連續測量，觀測結果，各處最大流速除林邊溪口外約為 1 m/sec，溪口測站受河流影響，不論漲退潮、流向，均由河口向外海流。觀測站附近則有向東南東流之趨勢，一般而言，漲潮流向偏東南，流速約 0.4 m/sec，退潮時流向偏北至西北，流速約 0.8 m/sec。
- 2 沿岸流：在沿岸碎波帶內施測，每次連續觀測 25 個小時以上。

(六) 漂沙測量：

使用螢光砂，拋入海底後，經過若干時日利用潛水夫或捕砂器在投入點四週採取砂樣，利用螢光燈分析螢光砂粒數，以瞭解受波浪、海流作用後砂質擴散狀況。觀測結果在大鵬灣口外海處，螢光砂有向第三、四象限 ($181^\circ \sim 360^\circ$) 移動外，其餘大都向四周擴散，其原因可能係

採樣與拋放相隔時間太短（僅採樣一次）。至於捕砂器捕砂可能因資料缺乏高港局並未提出。

(七)氣象觀測：

包括風速風向觀測，並作全年風向風速設計，分析歷年來颱風侵台路徑，大鵬灣主要風向為N、NNE及NE，從68及69兩年資料顯示，在夏季颱風侵襲時風速可達七級以上，風向偏南，但其佔全年百分比僅為0.1，幾可忽略，故就氣象條件而言，大鵬灣的確是一不可多得之天然良港。

(八)波浪觀測：

高雄港務局在預定港口南端外海水深12公尺處，安裝測波儀一台觀測波高、週期，根據觀測波浪分析統計68及69年每日最大示性波高（ $H\frac{1}{3}$ ）超過2m者，分別佔全年之0.6%及1.5%，發生在七月及八月。較大波浪均發生在夏季；冬季（每年十月至隔年三月），示性波高幾乎平均不超過1公尺。

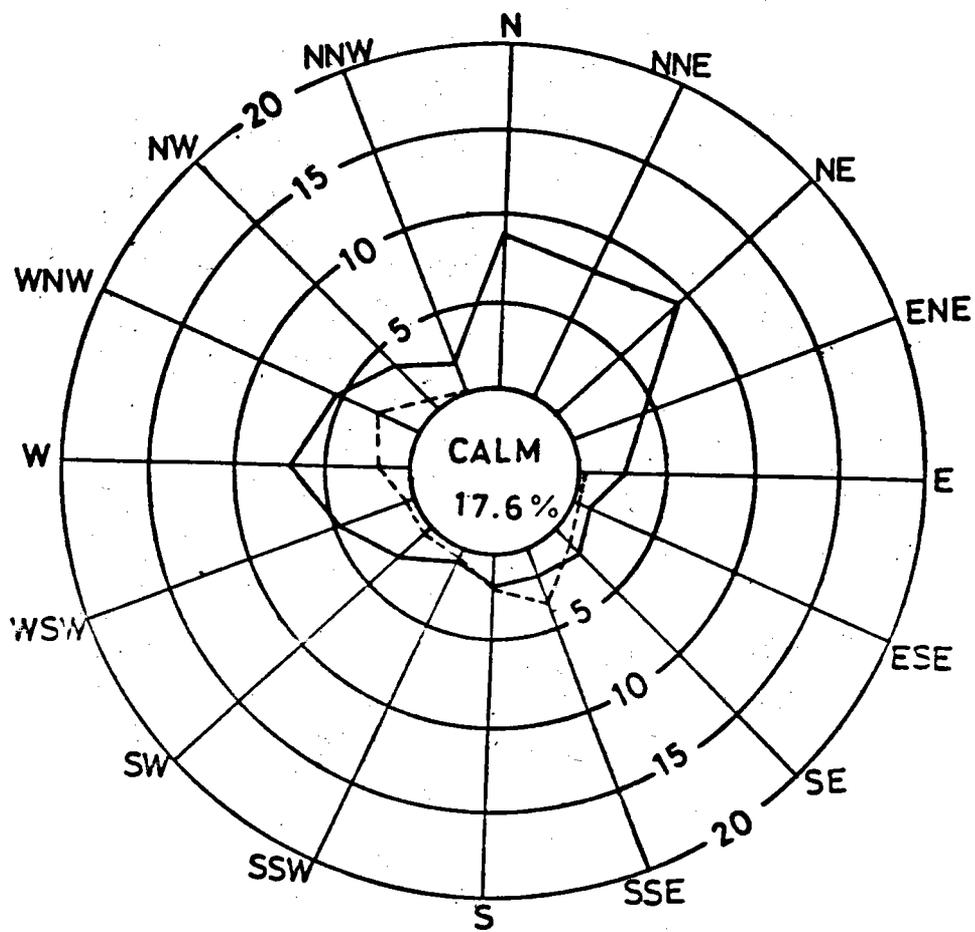
(九)潮汐觀測：

利用台電在東港觀測站經調整水位後，作為規畫設計參考，根據二年記錄資料顯示最高潮位為1.75m，最低潮位為0.2m，分別發生在六十八年七月及六月。

上述調查資料應用在模型試驗之自然條件，敘述如下：

(一)風及波浪：

高港局於六十八年起在大鵬灣設站觀測風向，風速一年，其全年與冬、夏季玫瑰圖如圖2，3，4。圖中顯示，全年風向以N~NE，WSW~WNW為主，但強風方向則以WNW及SSE居多，冬季風向與全年者近似，強風方向為WNW；夏季風向亦與全年者近似，強風方向



CALM	$< 0.3 \text{ m/s}$
————	$0.3 \sim 5.4 \text{ m/s}$
-----	$5.5 \sim 13.8 \text{ m/s}$
.....	$> 13.8 \text{ m/s}$

圖 2. 大鵬灣夏季風玫瑰圖 (68年)

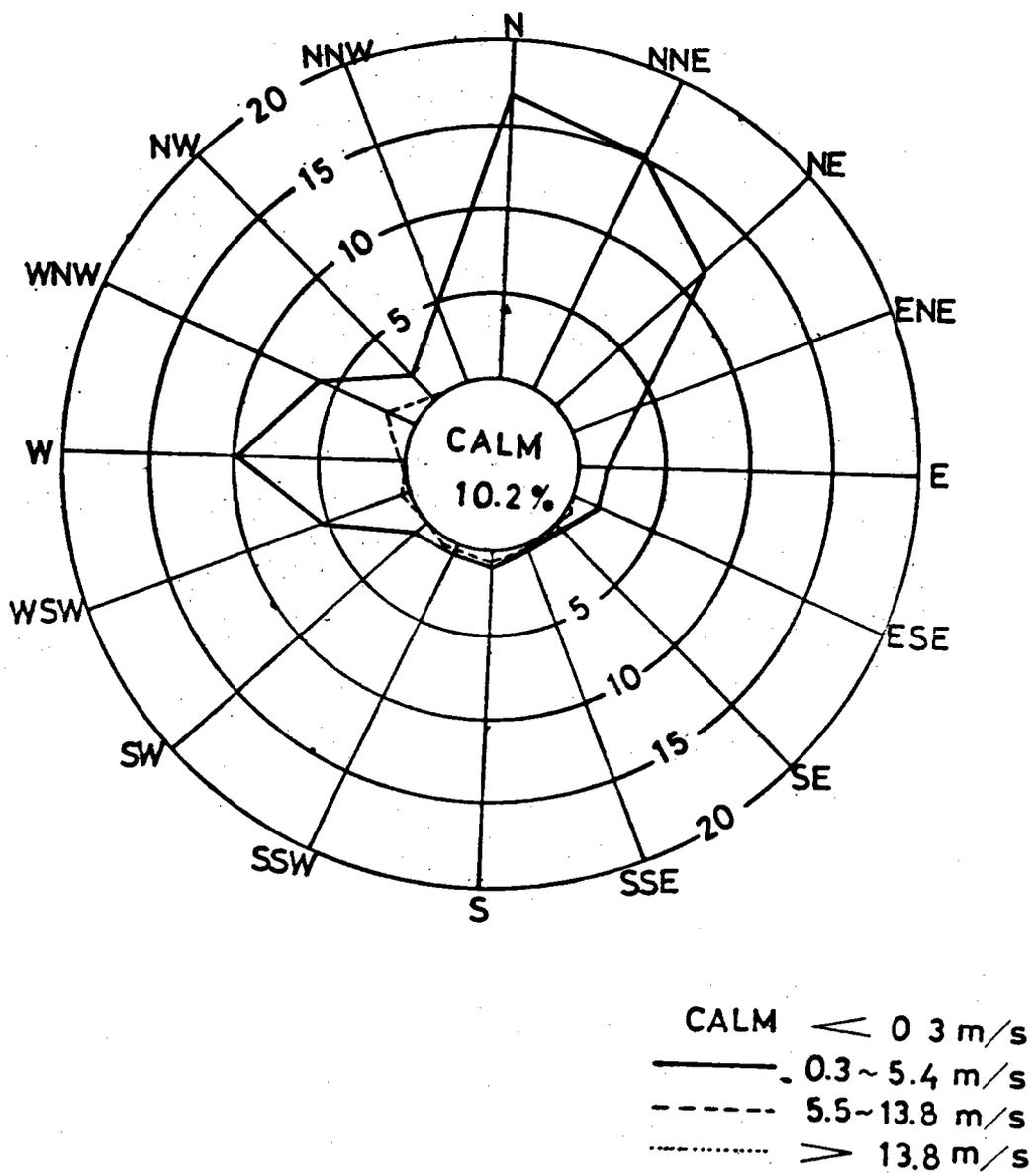
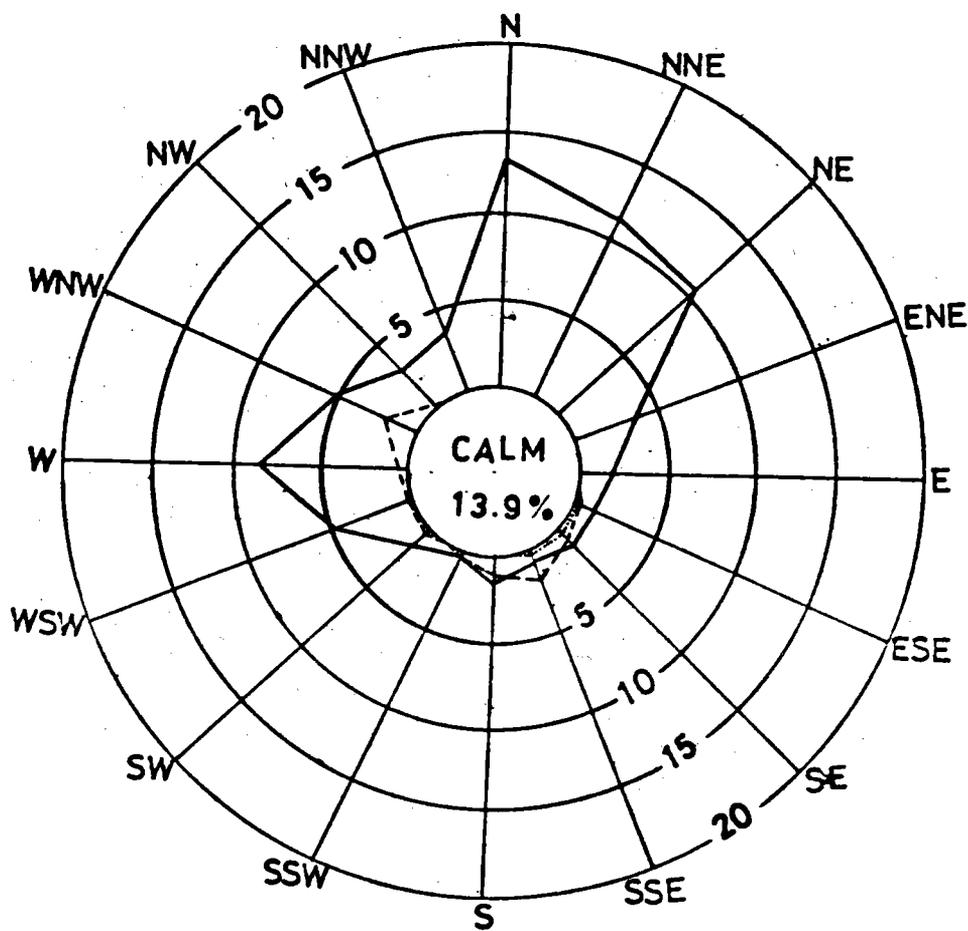


圖 3. 大鵬灣冬季風玫瑰圖 (68年)



CALM $< 0.3\text{m/s}$
 ——— $0.3 \sim 5.4\text{m/s}$
 - - - - $5.5 \sim 13.8\text{m/s}$
 $> 13.8\text{m/s}$

圖 4. 大鵬灣全年風玫瑰圖 (68年)

仍為WNW與SSE，可見大鵬灣之風向分佈尚稱穩定。

高雄港務局於民國六十七年九月起在大鵬灣南平里外水深13公尺處設測波站，經常觀測波浪並加以分析，發現夏季波浪最大波高在1.5公尺以下者佔84.8%，最大週期在9秒以下者佔88.2%。冬季則分別為97.6%及88.4%。由此可知夏季波浪應較冬季為大；而依全年統計得最大波高1.5公尺以下者佔90.5%，故可斷言該區海域相當平穩，所應考慮者僅為夏季颱風波浪及湧浪。有關大鵬灣外海波浪與湧浪依據中華顧問工程司（CEC）利用波浪追綜法推算資料如表1。

表1 大鵬灣外海颱風波浪及湧浪資料

波浪型態	波 向	波 高 (m)	週 期 (sec)
颱風 波 浪	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
湧 浪	SW	3.0	14.0
	WSW	3.0	14.0

(二) 溪川輸砂量

大鵬灣海岸附近有三條主要溪流入海，在西北海岸有高屏溪及東港溪分別距大鵬灣舊港潮口 4 公里及 2.5 公里；西南海岸有林邊溪距舊潮口 7.5 公里。大鵬灣因與此三條溪流相距甚近，故地形變遷當受此三溪流影響甚巨，將來築港後因目前海岸平衡現況改變，此三條溪流對大鵬灣海岸之影響勢必隨之發生變化。根據 CEC 應用 Schoklitsh 氏河床質 (bed load) 之計算模式

$$G = \frac{7000}{\sqrt{D}} S^{3/2} (Q - Bq_0) \dots\dots\dots(1)$$

式中 G : 河床質輸砂量 (kg / sec)

D : 河床質代表粒徑 (mm)

S : 水面坡降

B : 河道水面寬 (m)

Q : 流量 (CMS)

$$q_0 = 0.001944 D / S^{4/3} (m^3 / sec / m)$$

並應用台電公司及省水利局在高屏溪及林邊溪等水位站已有之懸移質 (Suspension load) 觀測記錄，推算懸移質，估算其輸砂量分別如下

高 屏 溪	2568 萬立公方
東 港 溪	119 萬立公方
林 邊 溪	122 萬立公方

其中高屏溪輸砂量至為驚人，幸其河口外之深谷可容納該溪大部份輸砂，減少其對附近海岸之影響。

(三) 漂沙

根據高雄港務局自民國六十七年至六十八年約一年半期間所作三次

水深測量如附圖 5，6，7 及螢光砂調查結果分析研判如下：

1. 海岸地形變化：大鵬灣沿岸海岸綫一般退縮 10 至 20 公尺，僅舊潮口南側及水利村北側局部堆積約 10 公尺，可能為 68 年賀樸颱風所造成，南平里外側水利村及林邊溪口附近有形成沙洲之趨勢，其砂舌方向均由南往北可為漂沙方向之明證。
2. 海底質粒徑：大鵬灣舊潮口北側林邊溪口南北側，崎峰村及高屏溪口南北岸附近均有廣大粗砂區，顯示在此區域內有劇烈之漂沙活動，且林邊溪口之粗砂區明顯向北延伸至水利村，可證漂沙方向為由南向北。
3. 螢光砂調查：此項調查顯示，沿岸兩向漂沙能力大致相當，但離岸移動較向岸活躍，此可能造成沿岸沖刷之因。漂沙移動之發生可能同時受波浪、潮流及海流之影響。
4. 漂沙優勢方向：由於螢光砂調查分析結果不易顯示漂沙優勢方向，故 C E C 分別由河上形狀，現有海岸結構物、海象及海底地形研判大鵬灣附近之沿岸漂沙優勢方向應為東南往西北。故大鵬灣建港規劃時應考慮如何控制南來漂沙因外廓堤防興建而防波堤南側逐漸堆積，以及防坡堤北側海岸之逐漸侵蝕問題。
5. 漂沙來源：一般漂沙來源可分為河川排砂、海岸本身受侵蝕以及鄰近海岸侵蝕等三項，就溪流排砂問題而言，大鵬灣附近有高屏、東港及林邊等三條溪，惟因高屏溪及東港溪之排砂大部份均直接排入緊鄰溪口之深谷，不易形成沿岸漂沙，同時根據高港局在大鵬灣沿岸三次測量結果均顯示林邊溪之排砂有往大鵬灣移動之趨勢，當可證明林邊溪之排砂為漂沙主要來源之一，其次就海岸本身之侵蝕言，依據民國五十九年海軍測量圖顯示大鵬灣沿岸之碉堡均已沒入海中，距現海岸約有 30 公尺，按該碉堡建於台灣光復初期距今已達 30 年，建造時距海

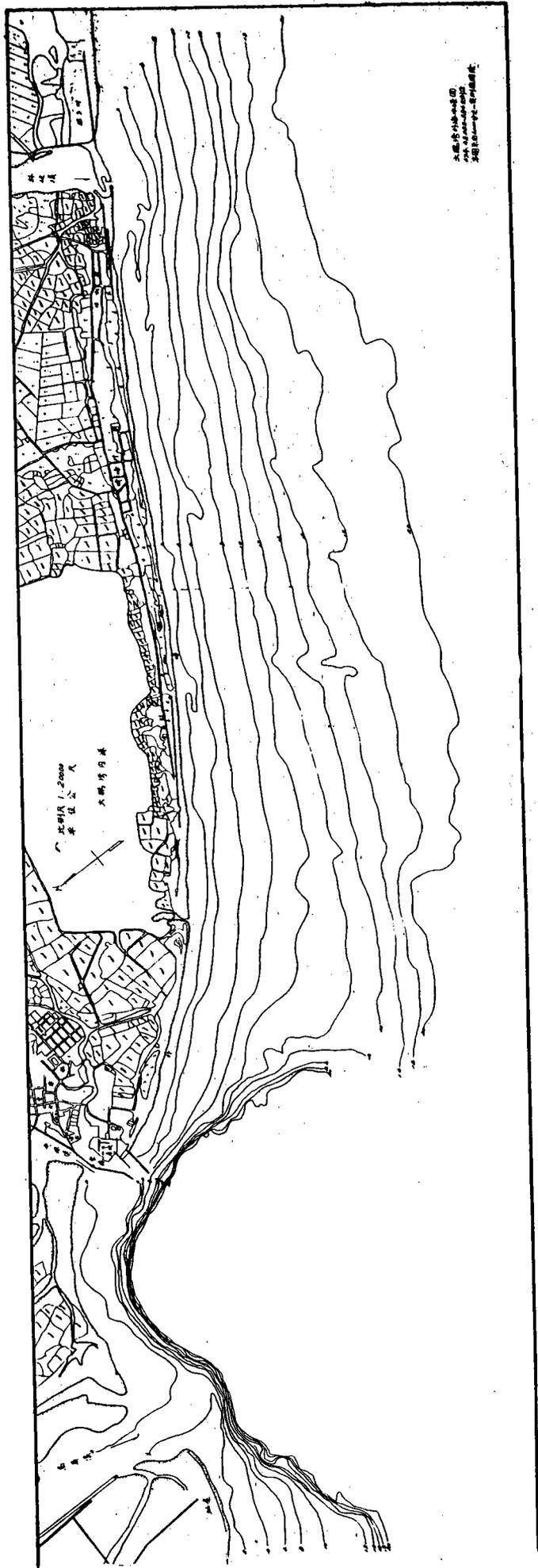


圖 5 大鵬灣外海水深測量圖 (第一期次)

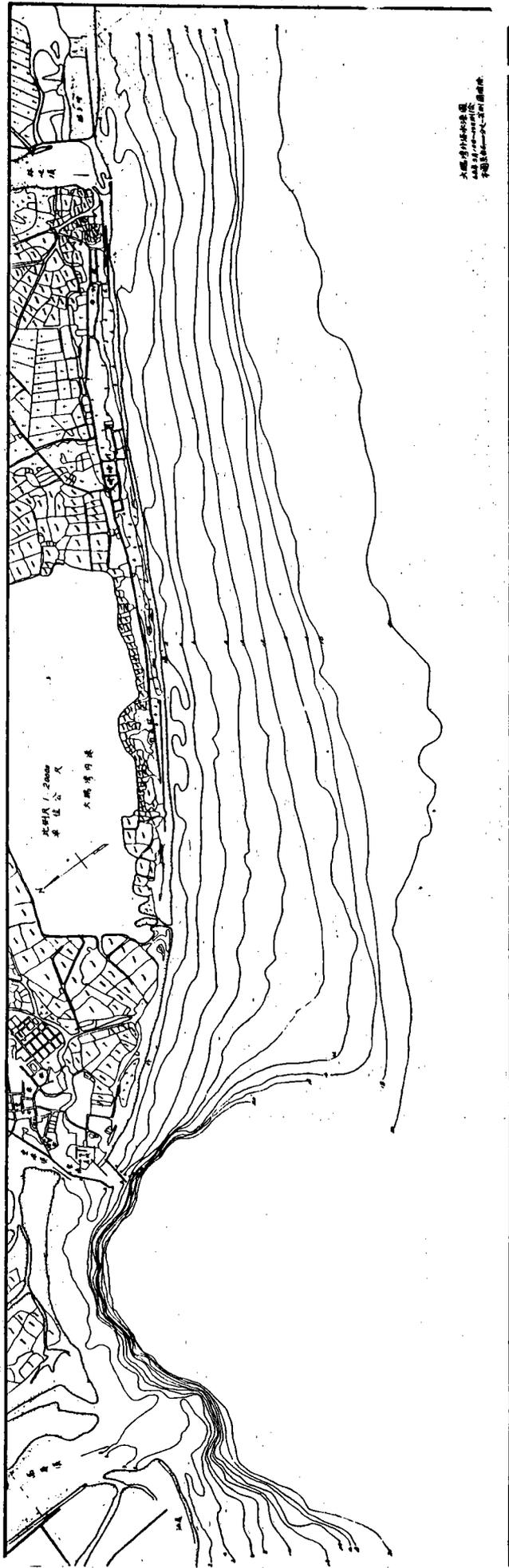


圖 6 大鵬灣外海水深測量圖 (第二期次)

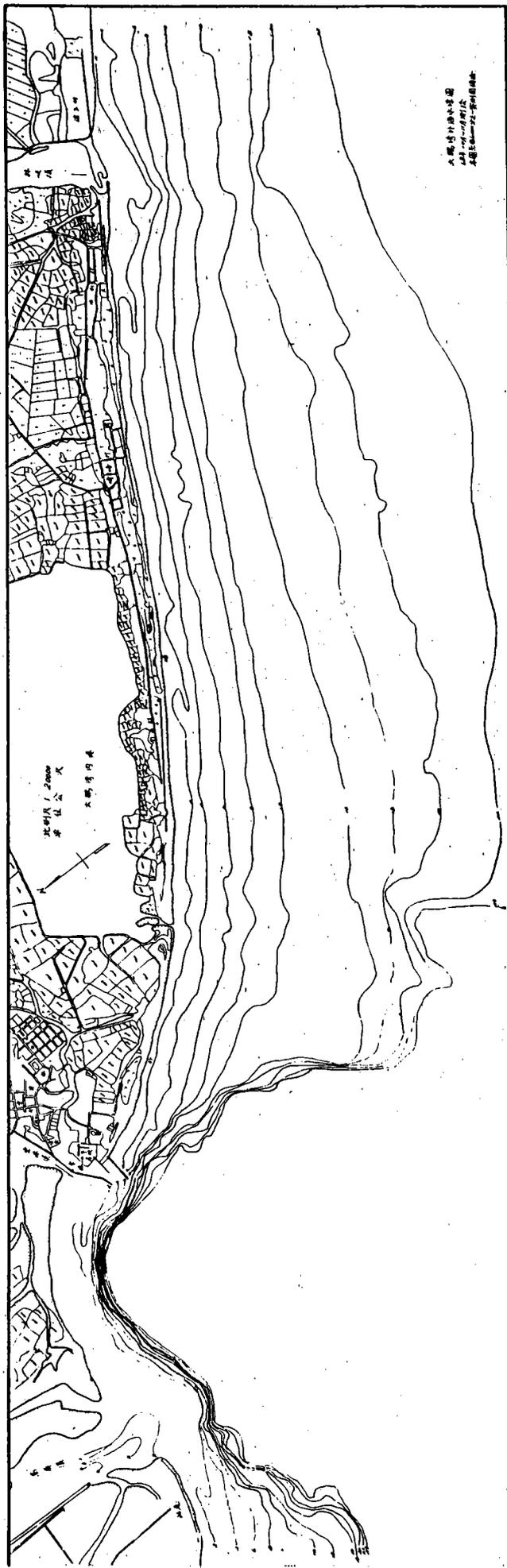


圖 7 大鵬灣外海水深測量圖 (第三期次)

岸綫當逾 50 公尺，是則海岸退縮約達 80 公尺，平均年約 2.5 公尺此種現象表示海洋波浪之搬運能力已超越沙源之補充量，而使海岸日漸侵蝕，而侵蝕後之土砂復成為它處之漂沙來源。最後就臨近海岸之侵蝕言，大鵬灣北側因有海底深谷隔斷，故該處以北海岸漂沙對大鵬灣不構成任何影響，而大鵬灣南側海岸因受林邊溪排砂之補充，海岸綫之退縮現象較緩，故可知大鵬灣沿岸之漂沙來源主要為林邊溪之排砂及其本身受侵蝕產生之流砂。

(四) 漂沙量估算

漂沙乃砂質海灘受波浪能量擾動及搬運而形成，其與波浪能量有密切之關係，欲求得正確漂沙量最佳之方法為在現場築堤予以試驗，由堤興建後逐年測得兩側堆積或侵蝕數量，以求得該海灘之平均年漂沙量，惟現場築堤試驗法以推求漂沙量耗資甚大且需時數年之久，故如有足夠波浪記錄多以經驗公式推算。C E C 曾利用民國六十八年八月一日至三日測得賀樸颱風波浪記錄計算其沿岸波能如表 2，依據美國海岸防蝕局 (Beach Erosion Board) 公式簡稱 B. E. B. 公式

$$Q = 0.000217 E_s$$

$$Q = \text{漂沙量 } m^3 / \text{hr}$$

$$E_s = \text{波浪能量之沿岸分量}$$

$$E_s = 225 r_w (H_o K_r)^2 \cdot C_{gb} \sin 2\alpha_b$$

此公式為美國陸軍工程師兵團綜合試驗之結果，適用在海底坡降 1 / 50 ~ 1 / 100，砂粒徑 0.1 ~ 0.4 公厘，且長期受尖銳度不大波浪作用處，此條件與大鵬灣之情況較為相似

C_{gb} : 碎波點波浪群速度 (Group Velocity)

K_r : 折射係數

α_b : 碎波波峯綫與海岸綫之夾角

經推算得總漂沙量為 29,948 M³，並推算得大鵬灣于六十八年六月份之淨漂沙量為由南往北 17000 m³ 如表 3 所示。即大鵬灣平時之漂沙量約為每月一萬餘立方公尺。同時根據東港漁港六十二年、六十三年及六十四年歷年之抽砂記錄如表 4，每年約需抽砂量 10 萬立公方。綜合以上分析可知在無颱風直接侵襲下，大鵬灣每年由南往北之漂沙量僅約為 10 萬立方公尺而已，而颱風直接侵襲大鵬灣一次亦可能造成 10 萬公方之漂沙移動，而漂沙方向當視颱風路徑而變。

表3 民國68年6月份大鵬灣漂砂量估算

時 間	項 目	波 高 (m)	週 期 (sec)	波 向	α (度)	Cg	E (kg-m/hr)	Q ₁ (m ³ /hr)	Q ₂ (m ³ /hr)
6月1日	16時	0.73	5.1	S45°W	-8	4.38	-149,100	-30	-32
2日	10時	0.41	6.0	S41°W	-4	5.47	-29,657	-8	-6
3日	10時	0.65	7.6	S40°W	-3	7.09	-72,565	-17	-16
4日	16時	0.67	2.3	S44°W	-7	1.15	-28,942	-8	-6
5日	16時	0.32	4.2	S39°W	-2	3.37	-5,579	-2	-1
6日	10時	0.58	8.7	S41°W	-4	7.9	-85,715	-19	-18
7日	16時	0.55	6.5	S45°W	-8	6.03	-116,520	-25	-25
8日	16時	0.65	7	S42°W	-5	6.55	-111,567	-24	-24
9日	16時	0.50	7	S43°W	-6	6.55	-78,900	-18	-17
10日	16時	0.37	6	S45°W	-8	5.47	-47,835	-12	-10
11日	16時	0.35	6	S44°W	-7	5.47	-37,568	-10	-8
12日	16時	0.42	6	S45°W	-8	5.47	-61,637	-15	-13
13日	10時	0.39	6	S43°W	-8	5.47	-53,146	-13	-12
14日	16時	0.42	6	S46°W	-9	5.47	-69,100	-16	-15
15日	16時	0.40	6	S43°W	-6	5.47	-12,170	-11	-9
16日	16時	0.38	6	S39°W	-2	5.47	-12,769	-4	-3
17日	10時	0.32	5	S40°W	-3	4.25	-10,342	-4	-2
18日	16時	0.37	5	S45°W	-8	4.25	-37,166	-10	-8
19日	16時	0.60	7	S34°W	2	6.55	38,119	10	8
20日	16時	0.70	6.5	S32°W	5	6.03	118,905	25	26
21日	16時	0.80	7	S32°W	5	6.55	168,698	33	37
22日	16時	1.30	8	S35°W	2	7.41	202,445	39	44
23日	16時	1.40	9	S32°W	5	8.08	637,319	97	138

表3 民國68年6月份大鵬灣漂砂量估算(續)

時 間	項 目	波 高 (m)	週 期 (sec)	波 向	α (度)	Cg	E (kg-m/hr)	Q ₁ (m ³ /hr)	Q ₂ (m ³ /hr)
6月24日16時		1.3	8	S28°W	9	7.41	896,823	127	194
25日16時		1.15	8	S34°W	3	7.41	237,393	44	51
26日10時		1.0	8	S28°W	9	7.41	530,664	84	115
27日16時		1.15	9	S31°W	6	8.08	514,880	82	112
28日10時		1.2	9	S27°W	10	8.08	922,242	130	200
29日16時		1.3	10	S38°W	-1	8.61	-117,687	-25	-25
30日10時		0.8	7	S32°W	5	6.55	168,698	33	37
Σ								433	706

$$706 \times 24 = 16,944 \text{ m}^3$$

表4 東港港口抽沙量記錄表

月 份	年 抽沙量(m ³) 份		
	62	63	64
1	3,400	6,300	13,442
2	9,100	9,450	5,600
3	9,270	11,600	10,000
4	7,250	9,200	11,000
5	10,410	8,400	13,300
6	11,415	6,800	6,300
7	3,970	8,000	9,200
8	5,970	4,900	1,200
9	14,580	11,400	9,750
10	7,160	9,600	5,560
11	8,200	8,240	9,600
12	6,480	9,720	9,200
Σ	97,250	105,610	104,152

肆、模型相似律

海岸現象之研究除以理論分析外，通常利用水工物理模型試驗 (physical model) 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)，以及侵入港灣受構造物作用發生之繞射 (Diffraction) 等之影響。有關模型縮尺之選定，若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)，其主要目的在研究底床形狀演變，因適用之運動相似律尚未發現，或已發現而無法尋得試驗所需流體，必須在試驗中利用原型漂沙現象在模型中重現，求得模型縮尺，故模型縮尺之選定常隨試驗者與試驗種類略有差異。此項試驗涵蓋範圍甚廣，因試驗水池面積有限；通常模型縮尺可依實際需要採用等縮尺模型 (undistorted-scale model) 或變縮尺模型 (distorted-scale model)。等縮尺模型水平及垂直縮尺相等，若忽略使波浪變形之底床及內部摩擦因素不計，一般運動方程式可寫為

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= - g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

為使原型與模型間力學相似性成立起見，對於原型之運動方程式與模型之運動方程式對應各項比值應相等，吾人可推導出

$$\frac{V_p}{V_m} = \left(\frac{l_p}{l_m} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{t_p}{t_m} = \left(\frac{l_p}{l_m} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{P_p}{P_m} = \left(\frac{U_p}{U_m} \right)^2 = \frac{l_p}{l_m} \dots\dots\dots(5)$$

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。但在若干試驗中因受試驗水池之限制，無法達成水平及垂直縮尺必須相等之要求，勢必採用變縮尺模型(distorted-scale model)，則時間縮尺決定於下兩因素：

1. 若欲使模型折射現象與實地情況相似，則模型上時間縮尺亦即週期縮尺應選用水深(垂直)縮尺之平方根。

因波浪折射現象為波浪傳播(propagation)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)

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

如原型波速與模型折射現象相似則

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

但 $L = L_0 \tanh \frac{2\pi h}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$ 代入上式

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

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

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

$$\therefore \frac{C_p}{C_m} \times \frac{T_m}{T_p} \times \frac{L_p}{L_m} = \frac{h_p}{h_m} \dots\dots\dots (7-a)$$

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

$$\text{及 } \frac{C_p}{C_m} = \frac{L_p / T_p}{L_m / T_m} = \frac{T_m}{T_p} \cdot \frac{L_p}{L_m} = \frac{T_m}{T_p} \times \frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{T_p}{T_m} \dots\dots\dots (7-b)$$

$$\text{將 (7-b) 代入 (7-a) } \frac{T_p}{T_m} \times \frac{T_m}{T_p} \times \frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{h_p}{h_m}$$

$$\therefore \frac{T_p}{T_m} = \sqrt{\frac{h_p}{h_m}} \dots\dots\dots (8)$$

2 若欲使模型繞射現象與原型情況相似則模型上時間縮尺應選用水平縮尺之平方根。

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，因此

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

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

即 $\tanh \frac{2\pi h}{L} = \frac{L}{L_0}$

$$\therefore \frac{L_p}{L_m} = \frac{T_p^2 \frac{L_p}{L_{op}}}{T_m^2 \frac{L_m}{L_{om}}}$$

$$\therefore \frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{L_{op}}{L_{om}} = \frac{L_p}{L_m}$$

亦即 $\frac{T_p}{T_m} = \sqrt{\frac{L_p}{L_m}} \dots\dots\dots(9)$

伍、模型縮尺及模型製作

(一) 模型縮尺

根據以上討論之模型相似律，考慮漂沙現象大部發生在淺海區域，而該處波浪之變化大都因折射而起，則模型製作應儘量使其在模型內折射現象 (Refraction) 與實地相似。故本試驗漂沙模型縮尺選定如下：

1. 水平縮尺：根據試驗池之大小及模型所涵蓋之範圍決定為 $1 / 400$ 。
2. 垂直縮尺：以使模型底床沙粒容易起動為原則，並能使模型地形變化與實地相似，決定採用垂直縮尺為 $1 / 100$ 之變縮尺為模型。
3. 波浪縮尺：波高縮尺取與垂直縮尺相同為 $1 / 100$ ，週期縮尺則主要在使折射現象在模型上重現，取為垂直縮尺之平方根即 $1 / \sqrt{100}$ 。
4. 潮汐之時間縮尺：應為水平縮尺 $\sqrt{\text{垂直縮尺}}$ 故

$$(T_{tidal})_m = 12 \text{ 小時 } 25 \text{ 分} \times \frac{\frac{1}{400}}{\sqrt{\frac{1}{100}}} = 18.6 \text{ 分鐘}$$

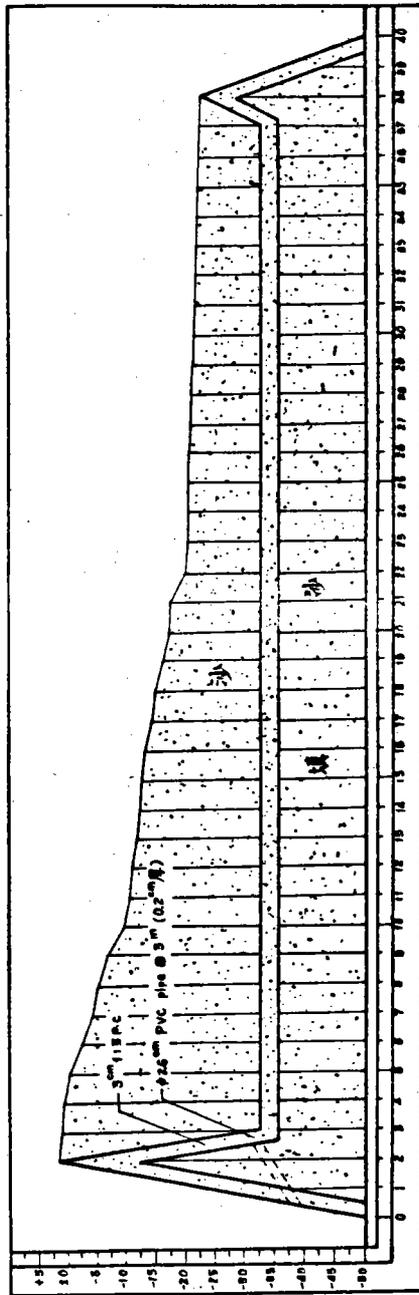
(二) 模型製作

1. 範圍：自林邊溪南岸起至東港溪北岸止全長約 15 公里，海側模型製作至等水深綫 - 25 公尺處。
2. 製作方法：
 - (1) 方格座標控制點：在平面水池底面，繪出一公尺見方平方網。
 - (2) 斷面製作：依據民國六十七年四月高雄港務局所測屏東大鵬灣附近海域水深圖，每隔 400 公尺繪製一斷面，依等深綫分佈計算模型上方格點之水深，製成模型斷面板，以利鋪設模型。

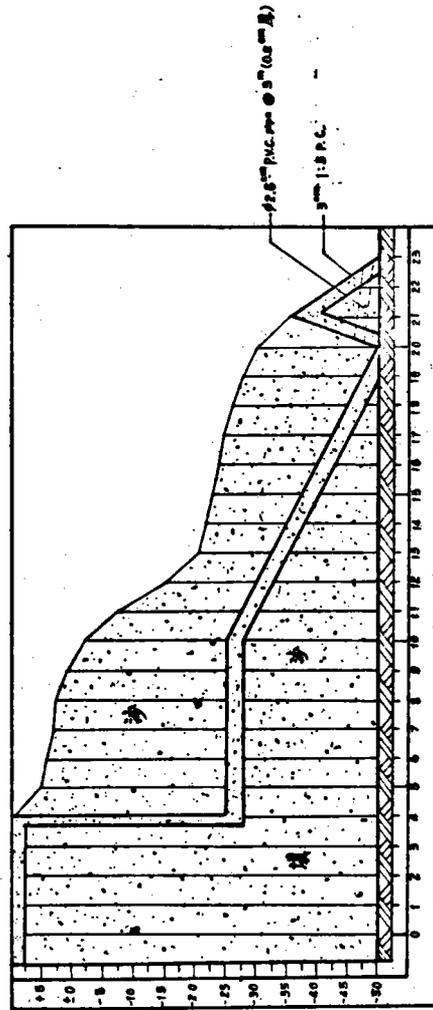
- (3)斷面放點及測定高程：在每一方格點上插上鉛條一支，並固定之。以水準儀在其上標定海底地形高程。
- (4)鋪設模型底床：將砂填於模型中，約在模型上高程下 20 公分，其斷面如圖 8 所示。然後於沙面上澆製約 5 公分厚之水泥沙漿面作為模型底床。
- (5)底質鋪設：在模型底床上，根據高港局所提供大鵬灣水深測量圖，鋪設外廓堤防附近土砂。先利用水準儀在固定鉛條上標註高程，將土砂鋪至所需高度後，進水排水使土砂增至所需密度，再校核整鋪高程。本試驗所用之底質海沙比重為 $S = 2.69$ ，平均粒徑 $D_{50} = 0.22 \text{ mm}$ ，粒徑分佈曲線圖如圖 9。
- (6)防波堤及海堤製作：根據大鵬灣外廓堤防平面佈置圖，使用 $5 \text{ m} \times 30 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 之鐵製踏板，及已澆製之 $5 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 1 \text{ m}$ 之混凝土塊，排置於模型中，為減緩外廓堤防及海岸因變縮尺模型波浪反射有誇張現象，於堤防外側及沿岸安放蛇籠，如圖 10 照片中所示。

3. 模型校正：

模型經方格點高程控制鋪設完成後，抽水達試驗高水位，然後依次放水至各種等深綫高程，依照所製作模型沿水深綫鋪放白色棉綫，根據地形圖校核模型上水深綫，如有誤差則修正模型地型，使二者一致，以此方法逐條修正等深綫至原型水位 - 25 公尺處。



B-B 断面圖



A-A 断面圖

SCALE
 水平 1/100
 垂直 1/5

圖 8. 模型製作断面圖

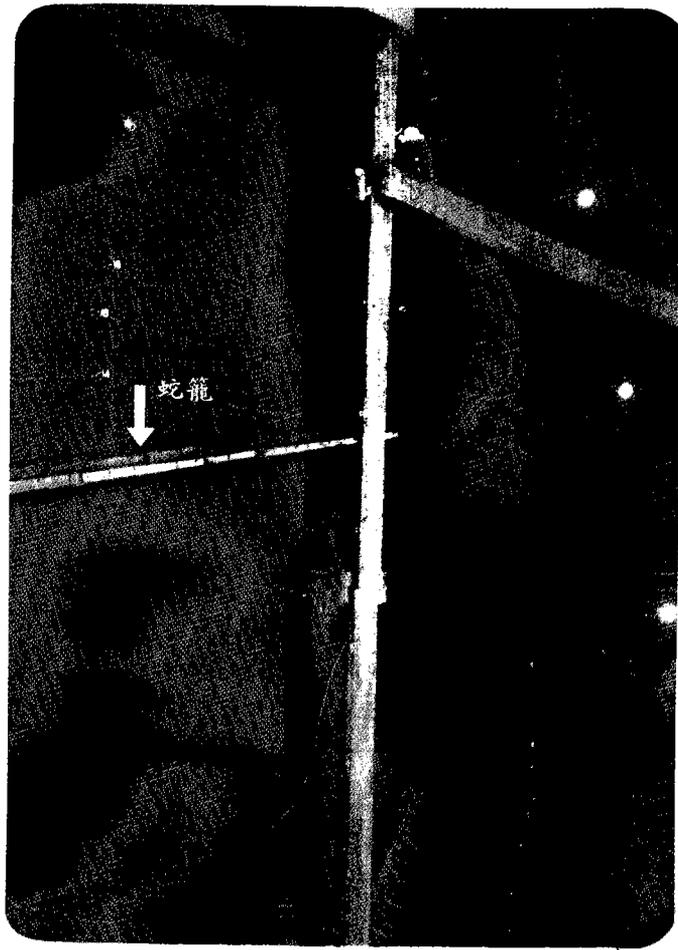
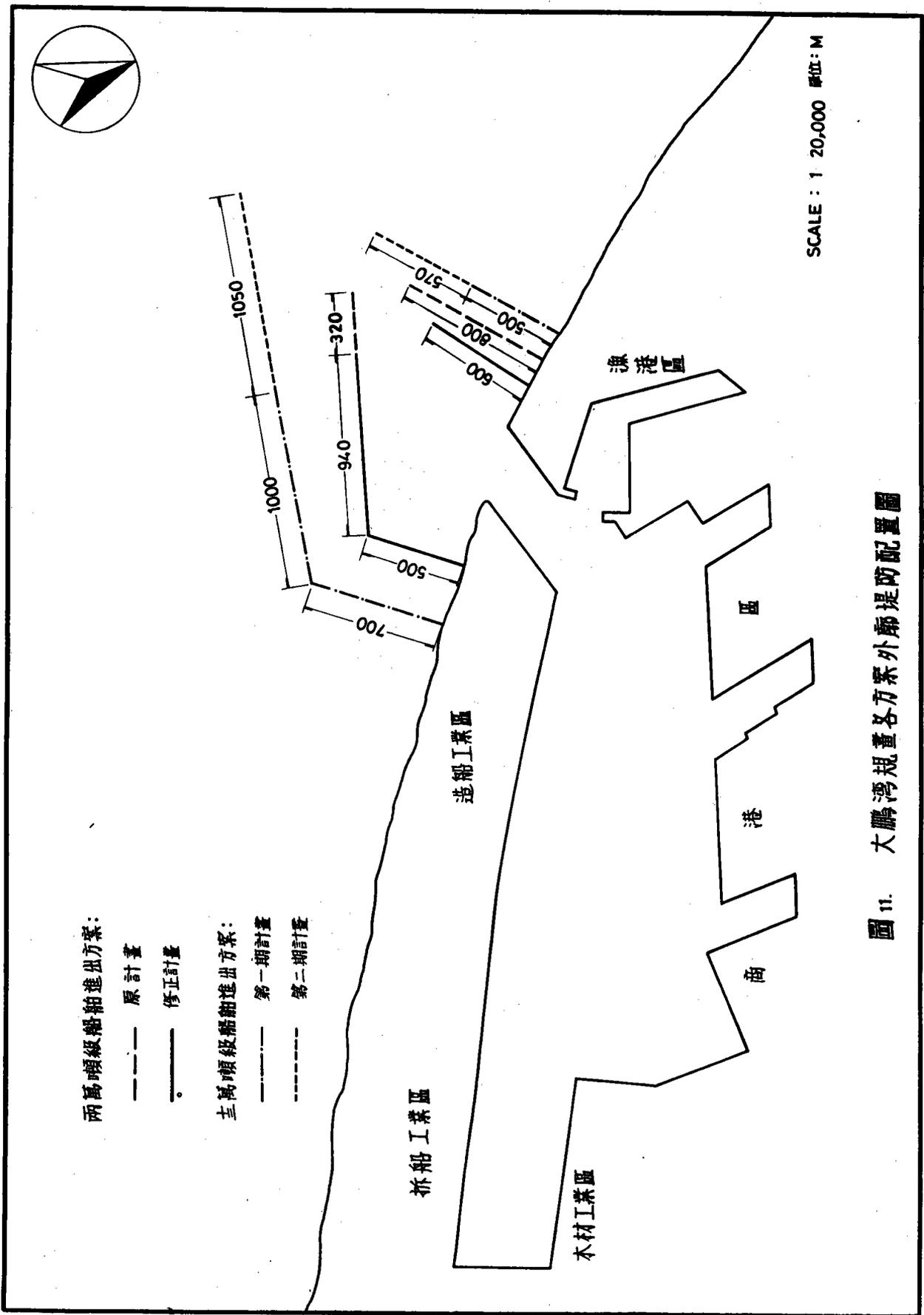


圖 10 外麻堤防設置蛇籠情形

陸、試驗內容及條件

外廓堤防佈置，應以能夠防止漂沙同時保持港內穩靜為目標。民國六十八年四月高雄港務局曾委託台中港務局辦理兩種外廓堤防及港內碼頭佈置方案試驗。其一以兩萬噸船舶進出目標方案，另一則以十三萬噸級船舶進出目標方案。前者又分為原計劃及修正計劃兩案，後者係因應發展目標之不同分為第一期與第二期計劃兩案。各方案之外廓堤防配置如圖 11 所示。試驗結果顯示兩種方案外廓堤防佈置在各種颱風及季節風波浪作用之下，港內波浪遮蔽效果均甚良好，故高港局根據台中港務局所作大鵬灣規劃遮蔽模型試驗結果，為因應未來能源問題並考慮台電計劃於大鵬灣投資興建火力發電廠事宜，仍提出另一種外廓堤防佈置，將火力發電廠計劃用地設置於港外，如圖 12 所示。漂沙模型試驗由台中港務局轉委託本所辦理，以期獲致一防浪防沙俱佳之外廓堤防佈置。惟漂沙模型試驗至目前尚無絕對可靠之相似律。故在辦理計畫佈置漂沙試驗之前，需先行辦理若干預備試驗，以期在模型上能重現大鵬灣沿岸唯一突出於海岸造物—（東港漁港北防沙堤）附近地形變化，藉以求得模型內之波浪、潮汐等之時間縮尺。其次根據預備試驗結果，進行計劃佈置漂沙主試驗。為進一步瞭解漂沙移動情形，利用辦理計畫佈置主試驗期間，進行數種流況試驗，謹將預備試驗、計劃佈置主試驗及流況試驗之試驗內容摘錄如表 5。



兩萬噸級船舶進出方案：

—— 原計畫
 —— 修正計畫

五萬噸級船舶進出方案：

—— 第一期計畫
 —— 第二期計畫

SCALE : 1 : 20,000 單位: M

圖 11. 大鵬灣規畫各方案外廓堤防配置圖

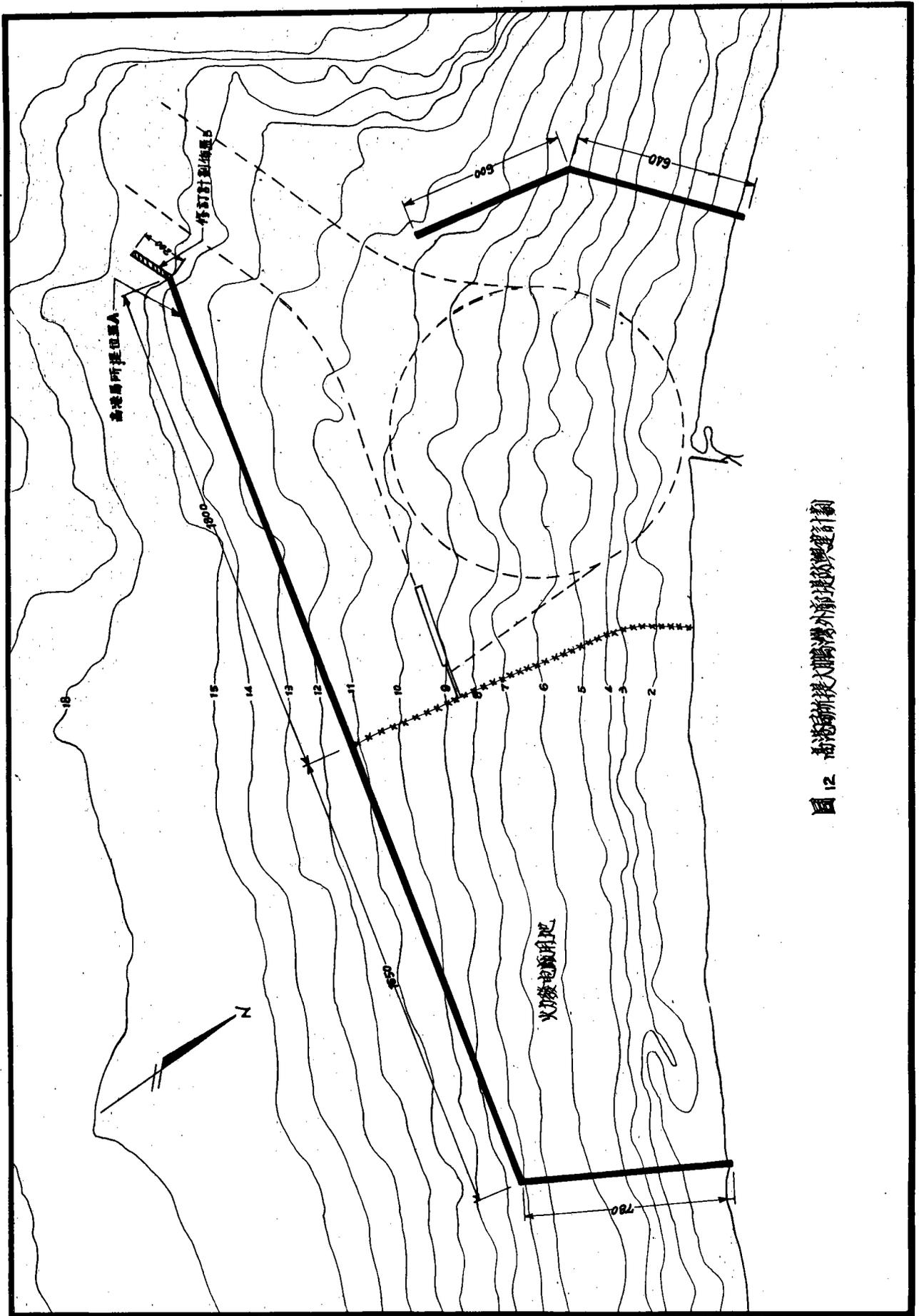


圖 12 高港前擬大鵬灣外新堤路興建計劃

表5 各種試驗之試驗條件及波浪作用時間

編號	波浪條件	潮汐條件	初期地形	波浪作用時間	其他條件
預備試驗 I	波向 S S E H = 6 m T = 12sec	平均水位 (+ 1.0 m)	67.年 4 月	241.8 分鐘	於林邊溪北岸 加砂以一定數量 為原則
預備試驗 II	波向 S S W H = 5 m T = 12sec	同 上	同 上	同 上	"
預備試驗 III	波向 S S E H = 6 m T = 12sec	朔望平均潮汐連續 變化 (+ 0.5 m ~ + 1.5 m)	同 上	同 上	"
預備試驗 IV	波向 S H = 5 m T = 12sec	同 上	同 上	780 分鐘	"
計畫佈置試驗 A	波向 S S E H = 6 m T = 12sec	同 上	同 上	1260 分鐘	"
計畫佈置試驗 A	波向 W H = 6 m T = 12sec	同 上	同 上	420 分鐘	無漂沙來源
修訂佈置試驗 B	波向 S S E H = 6 m T = 12sec	同 上	同 上	2160 分鐘	於林邊溪北岸 加砂以一定數量 為原則
佈置 A 流況試驗	波向 S S E H = 6 m T = 12sec	同 上	同 上		
佈置 A 流況試驗	波向 W H = 6 m T = 12sec	同 上	同 上		
佈置 B 流況試驗	波向 S S E H = 6 m T = 12sec	同 上	同 上		

柒、試驗波浪率定及試驗方法

(一) 試驗波浪之率定

於模型鋪設完成後，依照模型設計圖將造波機調動到相關位置使其與試驗波浪方向一致，迨造波機位置選定後依所需之試驗波浪條件調整變速機，使其週期等於相關模型波浪週期，其次調整偏心距，製造模型試驗所需波高，同時為避免波浪能量發散，將導波板依波向綫排列於造波機兩端。

將容量型波高計 (Capacitance type wave gage) 感受器 (Transducer) 置於模型水深 - 25 公尺，距造波板 3 ~ 5 個波長處，利用電腦資料處理系統，將波高儀控制箱輸出之電壓改接於類比 / 數據轉換器 (Analog / Digital Converter)。利用類比 / 數據轉變器測取電壓數據值，儲存於電腦記憶體內，以電腦程式分析計算，最後經由列表機 (Printer) 輸出計算結果，求得試驗波高與週期。

(二) 試驗方法

準備工作完成後，隨即進行全區地形測量，用以計算初期地形土砂量，然後開動造波機及自動潮汐控制儀進行各種波浪條件漂沙試驗。預備試驗時重點在研究大鵬灣舊潮口至東港漁港防沙堤間海岸漂沙移動變化情形，每隔 18.6 分鐘 (漲退潮所需時間) 測量該區地形一次。每次預備試驗開始 18.6 分鐘前每分鐘加沙量為 8 公升，而 18.6 分鐘以後則每分鐘加沙量改為 4 公升。加沙位置為林邊溪口北岸，作為沿岸漂沙來源。辦理計劃佈置主試驗時，試驗 A 原則上採連續造波 1 小時。修訂佈置試驗 B 因時間關係則採用 3 小時連續造波，造波停止後即着手地形變化測量。利用方格網計算方法，分別求出防波堤附近主要區域漂沙堆積

量，重複辦理相同試驗步驟直到漂沙開始入侵港口或東港漁港口為漂沙所阻塞時為止。為了解沿岸流況分佈，於進行計劃佈置主試驗時，利用浮子投置於外廓堤防及港口附近，採用追蹤法觀測浮子跡線 (path line)。

捌、漂沙堆積一般形式

測定區全區土沙量增加之一般形式，如圖 13 所示，試驗開始後某一時間內有顯著沖刷現象成曲線變化，如圖中 A 部，以後按一定比率直線增加，如圖中之 B 部份達某一時間後增加之速率漸減如圖中 C 部所示，最後土砂堆積量不再繼續增加而與歷時軸相平行。

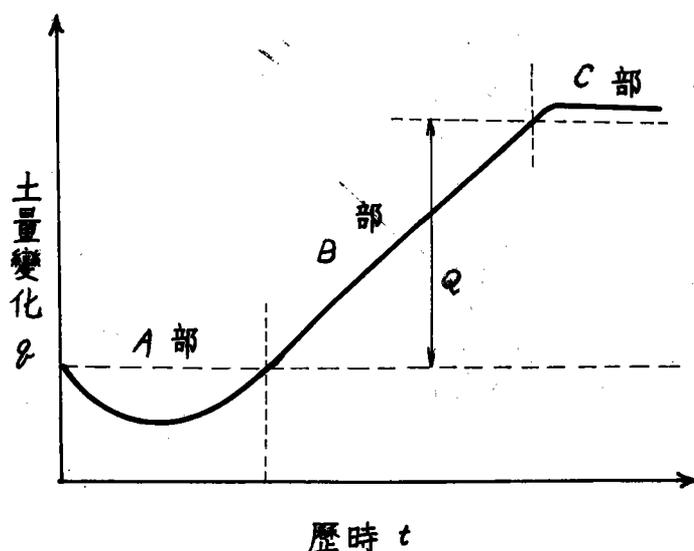


圖 13. 漂沙堆積一般形式圖

茲就各部份與漂沙現象之關係分述如下：

(一) A 部

試驗開始時土砂量減少或沖刷現象其原因為：

1. 模型海灘於波浪開始作用時發生若干地形變化，以資適應漸漸達到平衡狀況為止，此種由試驗波浪作用所獲致之平衡地形與實地地形很難一致，兩者間之差異於研判試驗結果時似須扣除。
2. 防波堤等構造物與波浪相互作用使漂沙移出測定區範圍，亦即沿構造

物附近之沖刷或崩潰現象與構造物之佈置形狀及附近地形有關。

3. 防波堤反射波所產生之水流，阻止漂沙侵入測定區中效應與構造物佈置及結構形式有關。

(二) B 部

防波堤攔截之漂沙，淤積於防波堤附近淤積速率（即圖中曲線之坡度）約與沿岸漂沙量相等。

(三) C 部

防波堤阻止漂沙能量達到飽和，土沙開始迂迴通過防波堤堤頭，測定區土沙量增加現象即告終止，土量變化曲線完全與歷時軸平行。圖中 Q 表示防波堤之貯沙能力，隨防波堤佈置而異。

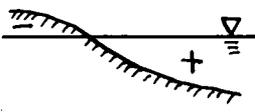
由試驗結果判斷防波堤佈置之優劣，最困難者在於 A 部之判斷，該部所形成包括前述三項因素中第 2、3 兩項因素為防波堤等構造物之影響，而第 1 項純為實際技術上之問題須予扣除，惟三者混合存在無法明確劃分。

玖、試驗經過及結果

(一)前 言

如前面所述，高雄港務局曾於民國六十七年四月、六十八年三月、十月和六十九年四月及十月分別辦理過五次大鵬灣外海水深測量。為瞭解六十七年~六十九年期間大鵬灣現場沿岸海底漂沙量變化情形作為辦理漂沙試驗之依據。經選擇東港漁港防沙堤以南至大鵬灣舊潮口間海岸，外海以等深線-10 m 為範圍，利用方格網法計算該區附近估算漂沙量，如表 6 所示。

表 6 歷年東港防沙堤、大鵬灣舊潮口和等深線-10m間土砂量變化表

時 間	土砂量變化 (m ³)	備 註
67 年 4 月	+ 7,253,229	
68 年 3 月	+ 7,562,152	
68 年 10 月	+ 7,648,352	
69 年 4 月	+ 6,258,339	
69 年 10 月	+ 6,837,794	

由表 6 土砂量變化情形可知，自六十七年四月份起至六十八年三月份期間該區屬侵蝕海岸，侵蝕土砂量估計約為 30 萬餘立公方。而自六十八年三月份起至六十九年四月份期間，該區海岸變化則有明顯堆積現象，堆積土砂並估計約為 130 餘萬立公方，分別如圖 14、15 所示。兩年土砂量變化顯示該區海岸地形變化不甚穩定，同時吾人發現六十八~六十九年期間漂沙量堆積遽增，其主要原因可能是六十八年八月賀模颱風波浪影響所致。由此可知影響該區土砂量變化主要因素為颱風波浪。

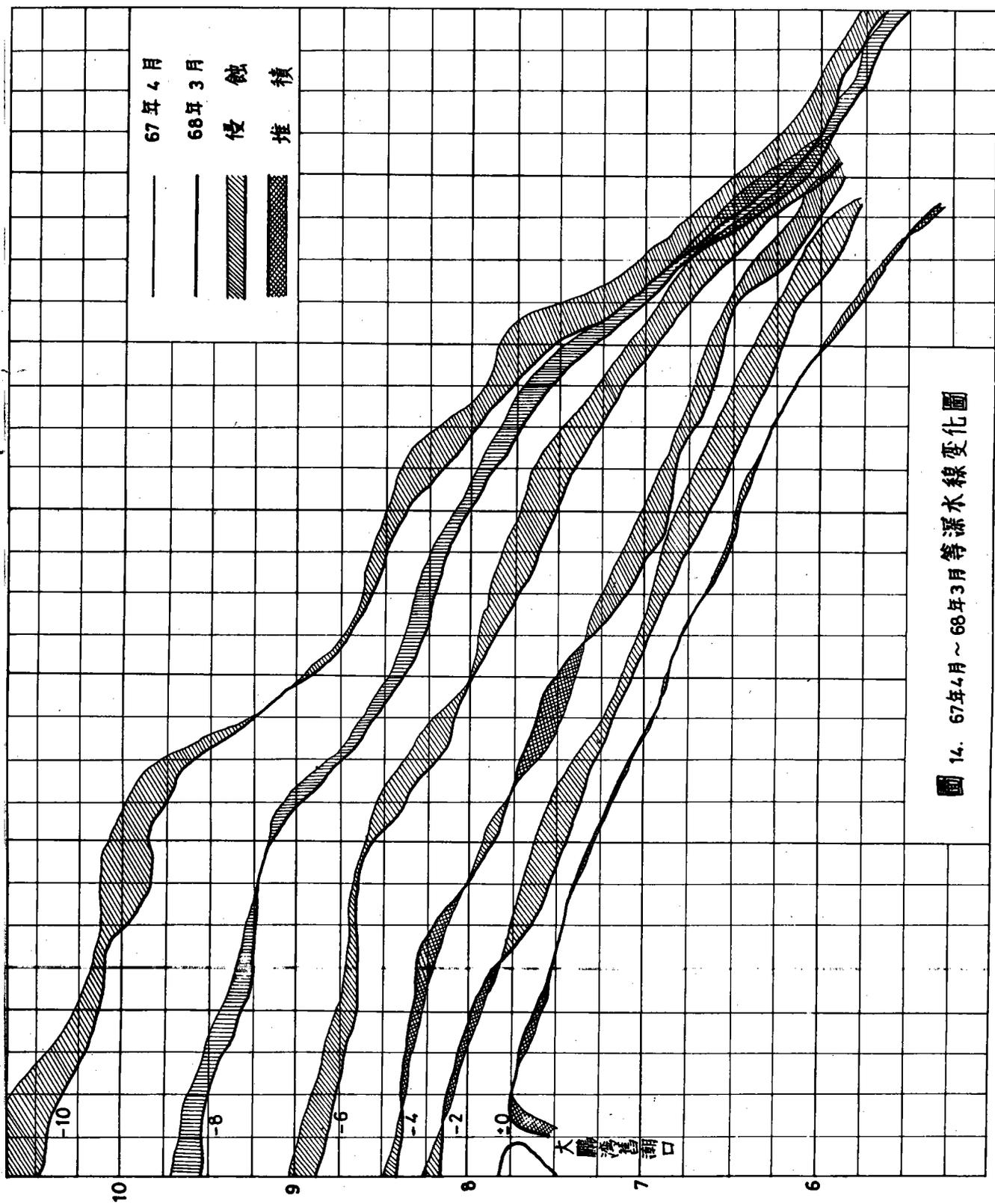


圖 14. 67年4月~68年3月等深水線變化圖

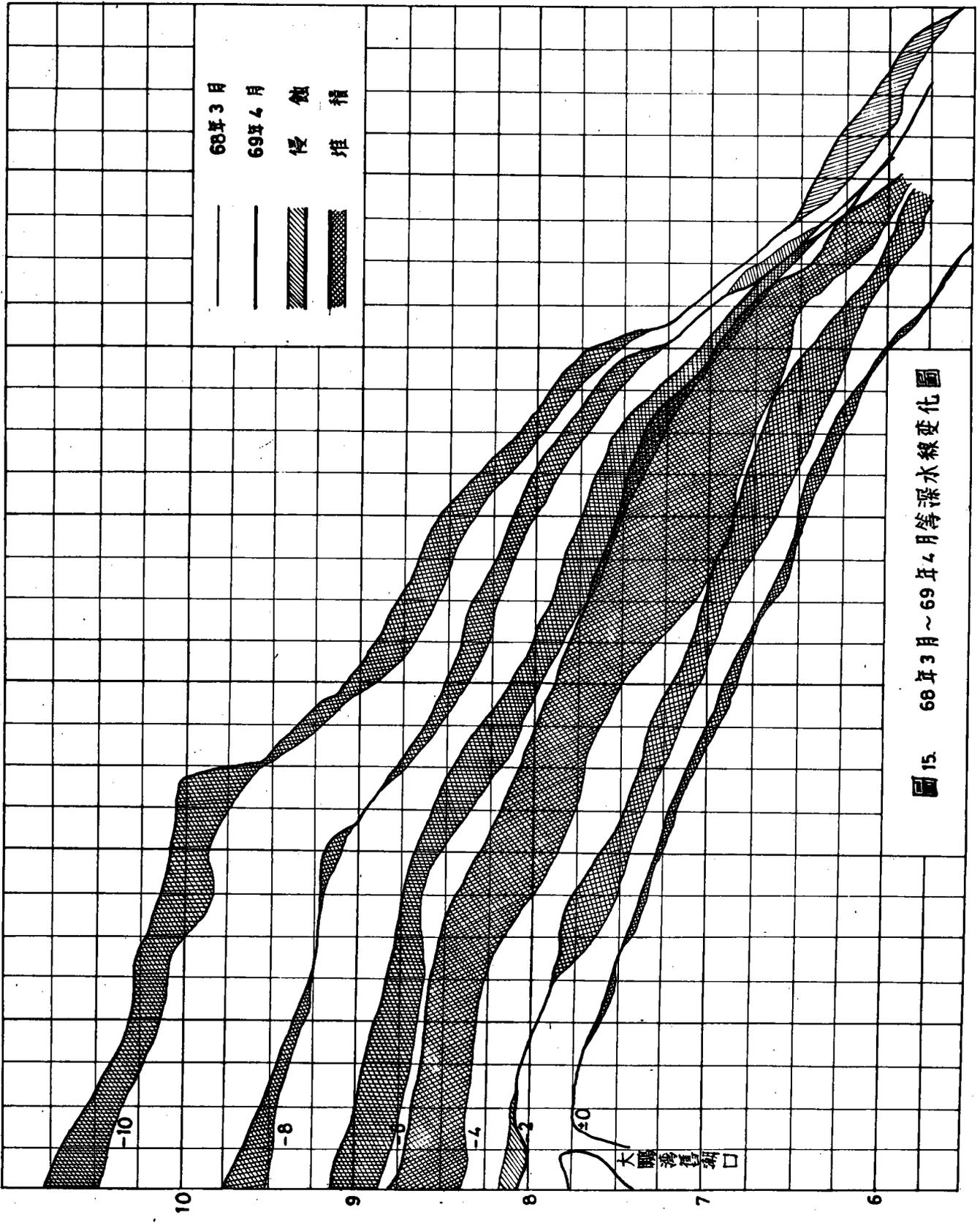


圖15. 68年3月~69年4月等深水線變化圖

依據 C E C 評估，漂沙主要來源來自林邊溪口，應無疑義，惟漂沙移動方向則隨颱風路徑而異，故試驗時選擇數個對屏東大鵬灣外廓堤防興建後及東港漁港防波堤產生漂沙影響較嚴重之波向，先進行預備試驗以決定主試驗試驗波浪條件。

(二) 預備試驗

1. 預備試驗 I —— 試驗條件如表 5 所示，採用民國六十七年四月高港局所測海底地形為初期地形，佈置東港漁港防波堤及防沙堤，試驗波向為 SSE，波高 6 m，週期 12 sec，全部波浪作用時間為 241.8 分鐘，潮汐採用平均水位 + 1.0 m，試驗中於林邊溪北岸加沙如圖 16 所示，相當於試驗水池座標 $x = 5$ m， $y = 9 \sim 10$ m 處，其加砂量如下：

波浪作用時間	加 砂 量	
0 — 18.6 分鐘	每 1.5 分鐘	12 公升
18.6 — 37.2 "	每 1.5 分鐘	6 公升
37.2 — 55.8 "	"	"
55.8 — 74.4 "	"	"
74.4 — 93.0 "	"	"
93.0 — 111.6 "	"	"
111.6 — 130.2 "	"	"
130.2 — 148.8 "	"	"
148.8 — 167.4 "	"	"
167.4 — 186.0 "	"	"
186.0 — 204.6 "	"	"
204.6 — 223.2 "	"	"
223.2 — 241.8 "	"	"

圖 17 照片 a、b 分別為預備試驗 I，東港漁港與舊潮口間及南平里外海側海底初期地形，白線表示等深線，照片 c、d 為該兩區受波浪作用 4 小時後，海底地形變化情況。

圖 18，a～e，表示預備試驗 I 波浪作用後東港防沙堤以南地形變化。

圖 19，表示預備試驗 I 波浪作用後 A～H 區之土量變化。

預備試驗 I 試驗結果顯示，當造波時間累積將達 1 小時時，舊潮口和東港漁港防沙堤間 - 4 m 以下等深綫幾無顯著變化，- 2 m 等深綫向陸側凹進，被沖刷之土沙量則向岸側淤積，等深綫由 ± 0 m 堆積至 + 2 m 形成一沙洲 (sand bar)。當造波時間累積達 1 ½ 小時後，設置於林邊溪口之加沙量大部份仍堆積於加沙地點，造波時間累積達 2 小時，大鵬灣崎峯村南平里外側沿岸沙灘逐漸有灘錐 (CUSP) 形成，此現象與大鵬灣現場沙灘變化情況極為相似，而原先堆積於舊潮口與東港防沙堤間之沙洲則逐漸受波浪沖積，惟東港防沙堤附近地形仍無顯著變化，當波浪造波時間累積達 3 小時後，舊潮口及東港防沙堤間沿岸沙灘顯著淤積，累積造波時間達 4 小時後，東港漁港防沙堤已逐漸堆積，最後為沿岸漂沙埋沒。

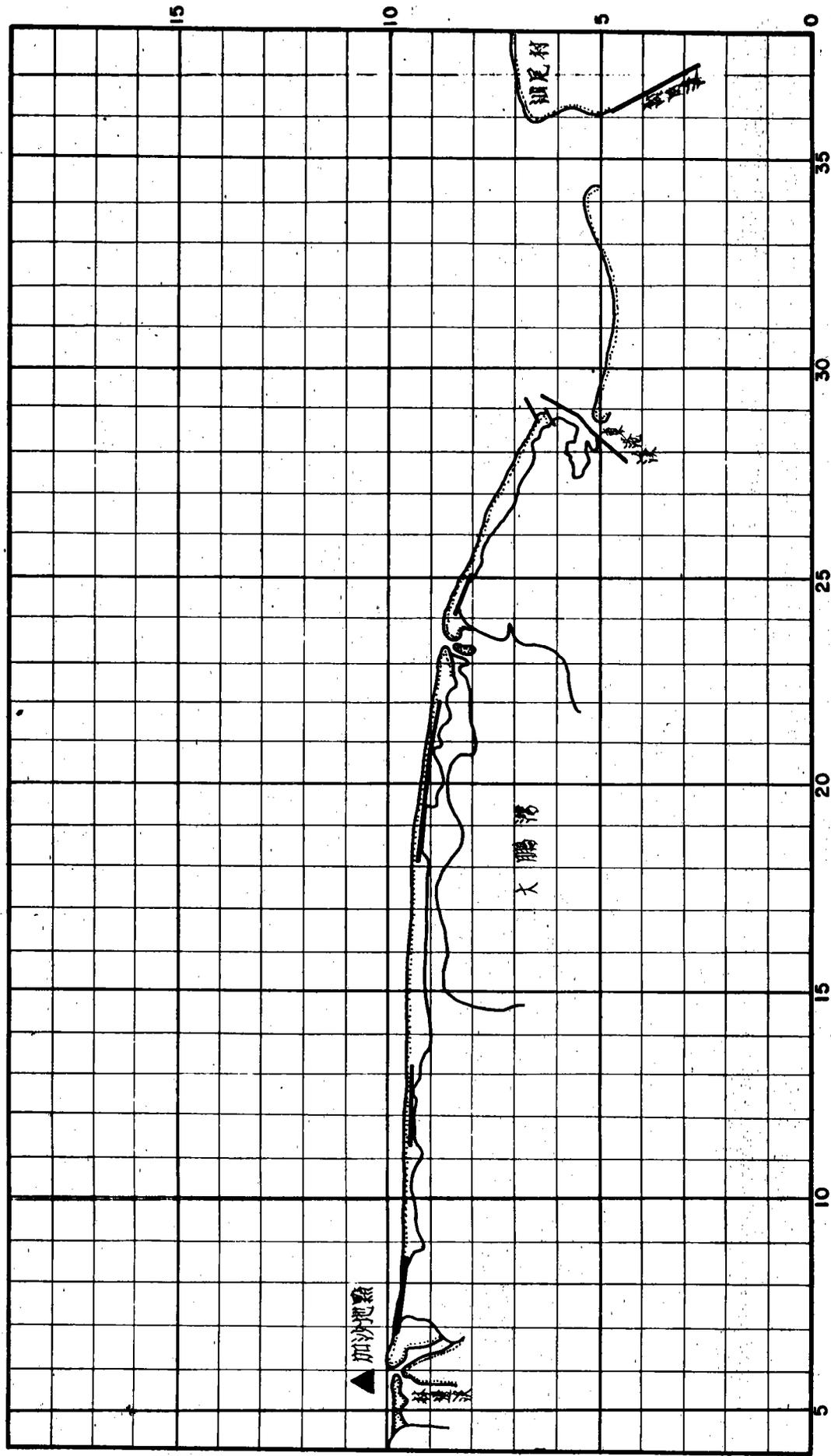


圖 16. 林邊溪北岸加沙地點位置圖

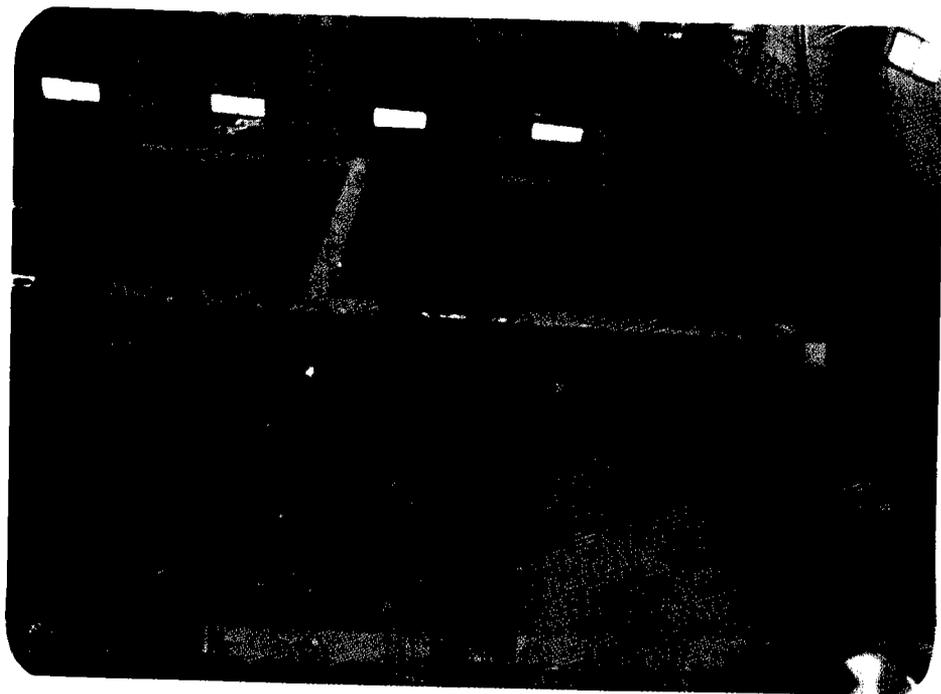


圖 17-a 預備試驗 I，東港漁港與大鵬灣舊溯口間模型鋪設初期地形

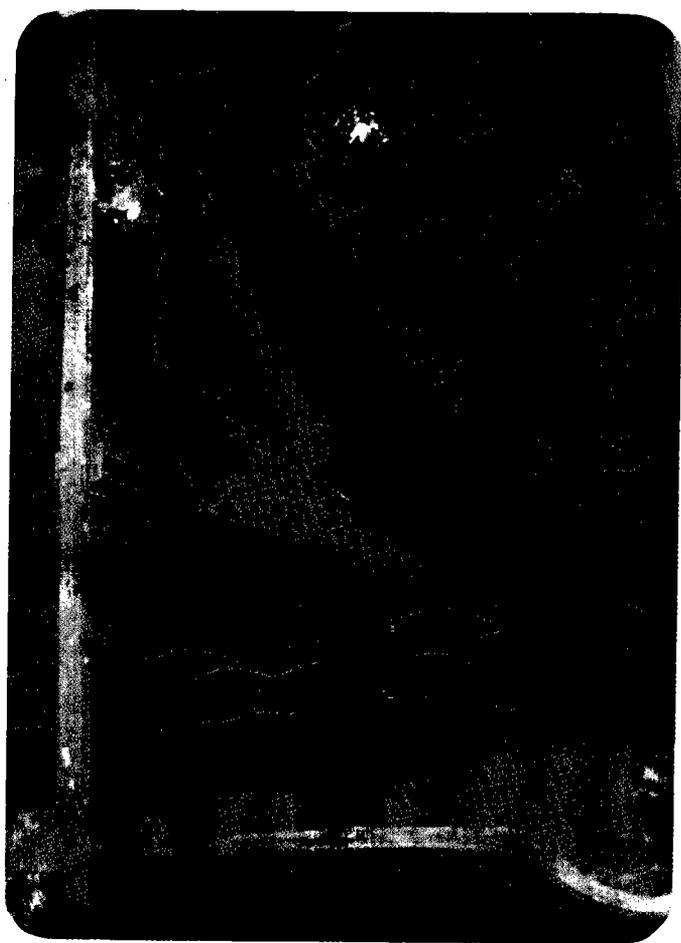
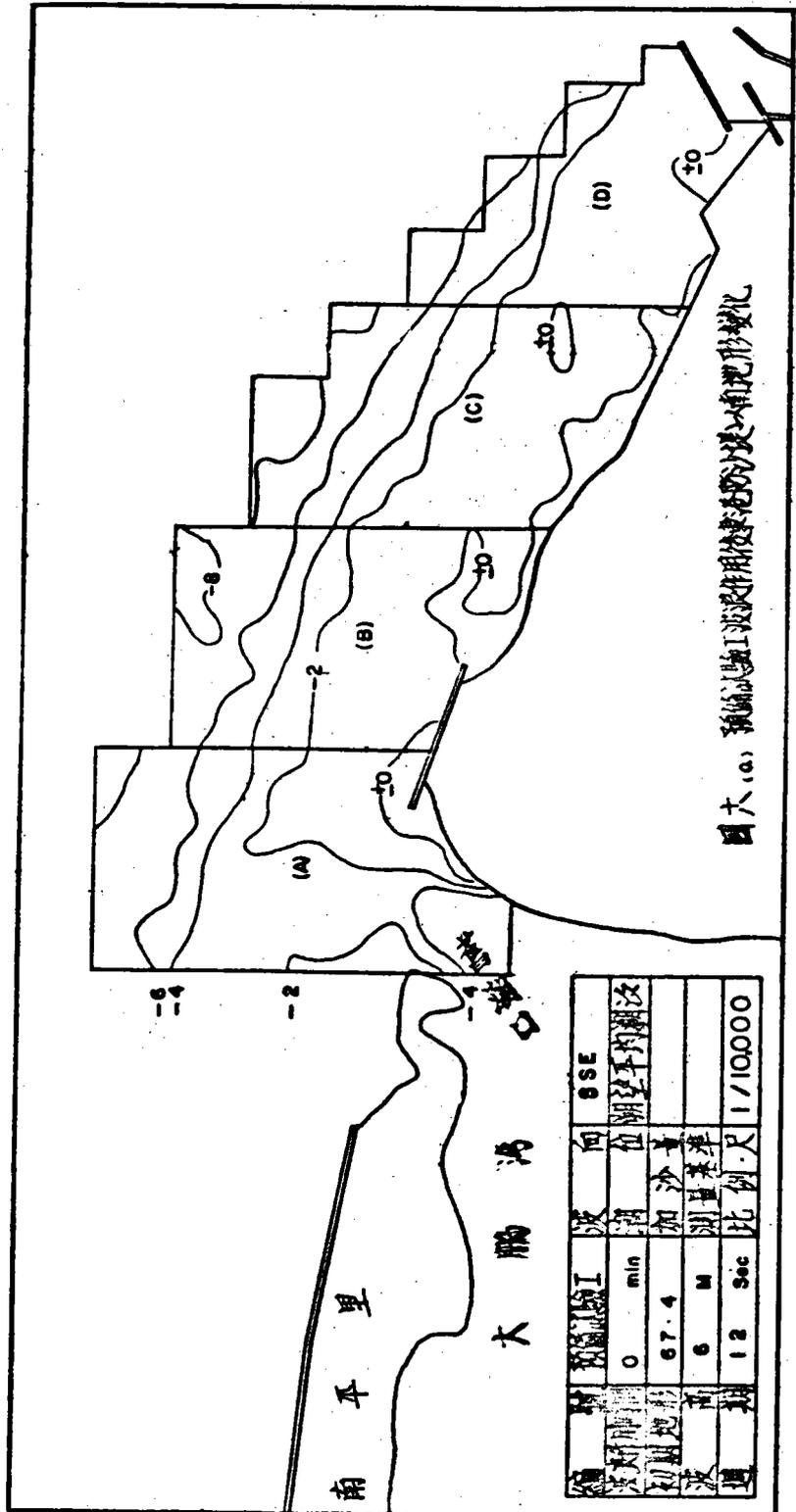
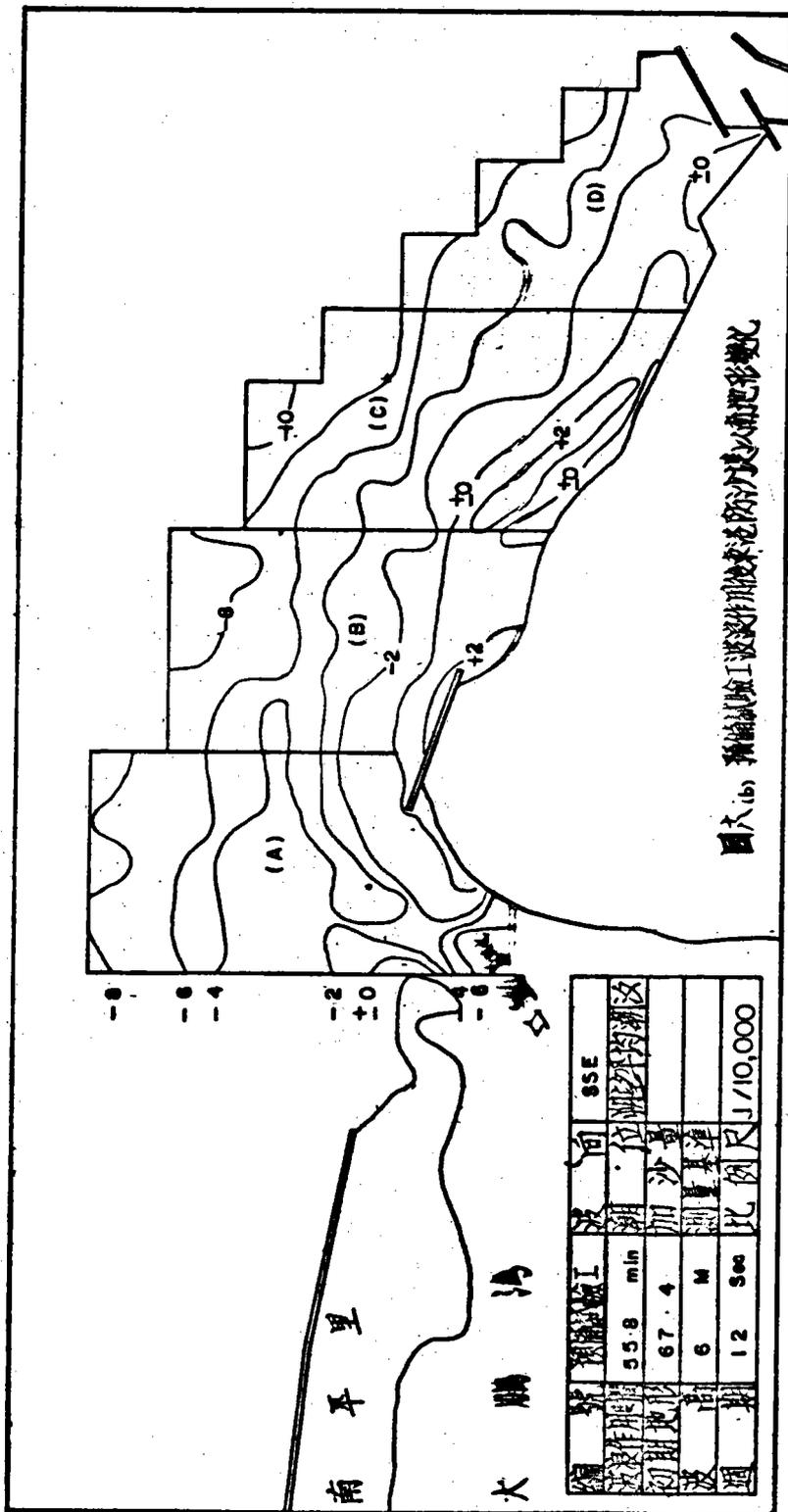


圖 17-b 預備試驗 I，南平里外海側模型鋪設初期地形





大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

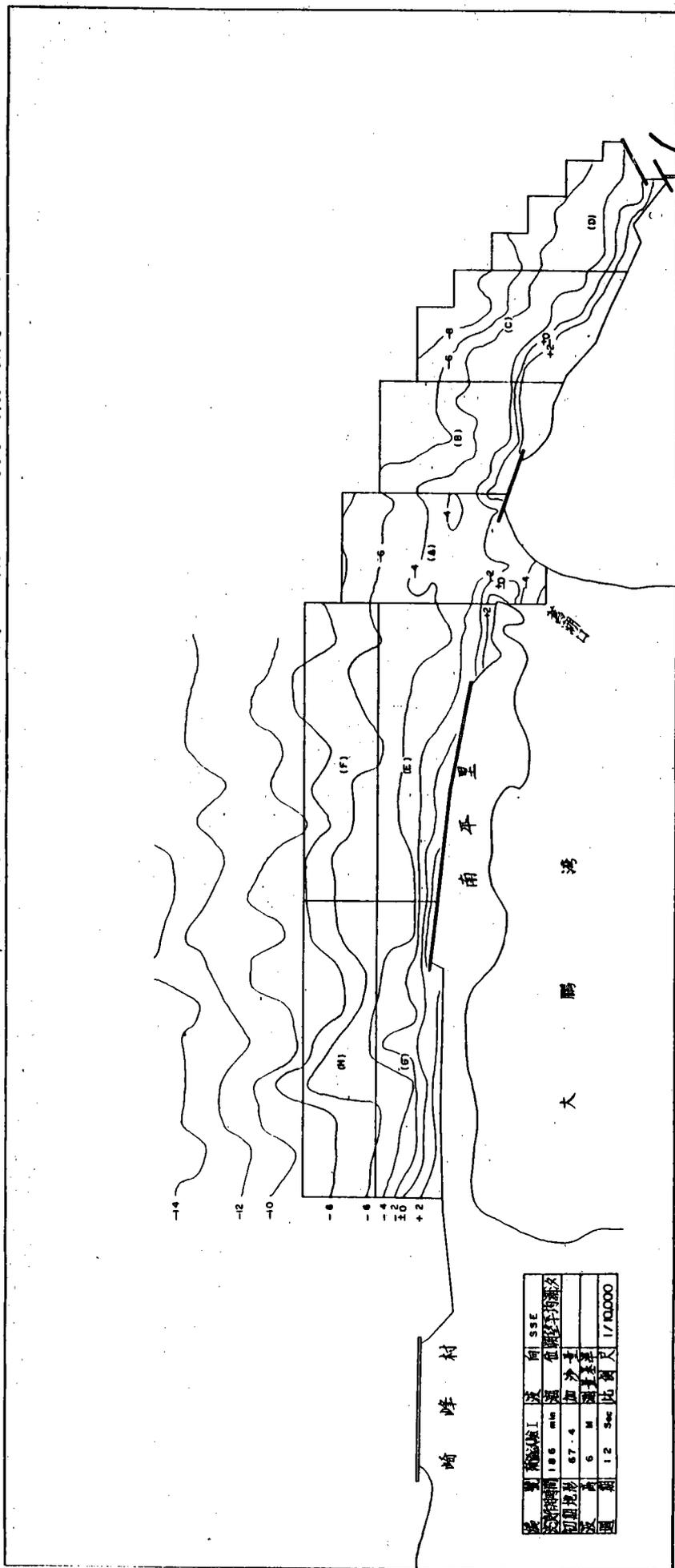


圖 18 (d) 預備試驗 I 波浪作用後東港防砂堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

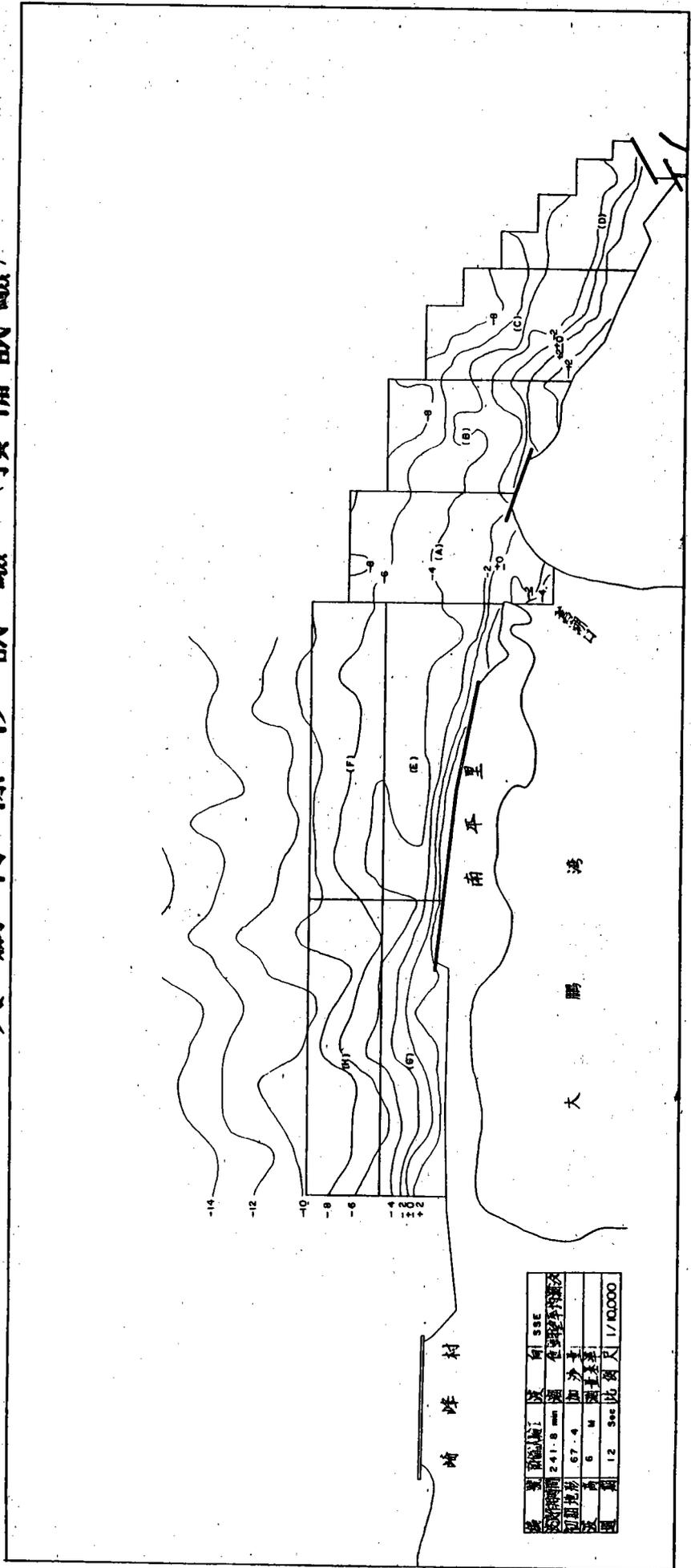


圖 18 (e) 預備試驗 I 波浪作用後東港防砂堤以南地形變化

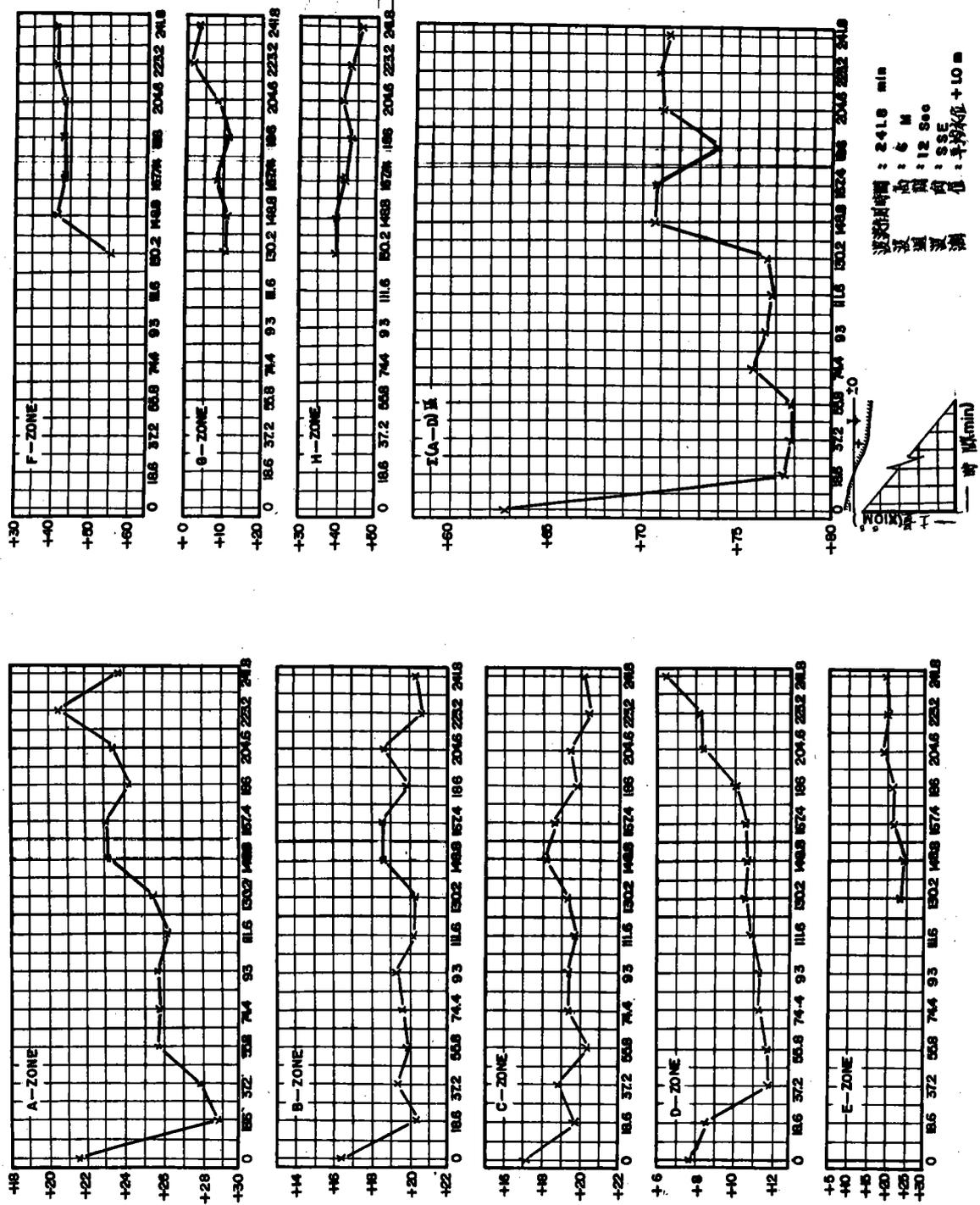


圖 19. 防波堤附近淤積土量變化圖 (積淤試驗 1)

2 預備試驗 II ——本試驗仍採用民國六十七年四月高港局所測海底地形為初期地形，試驗波浪改為 SSW 方向，波高 5 m，週期 12 sec，全部波浪作用時間維持 241.8 分鐘，潮汐採用平均水位 + 1.0 m，其他試驗條件如加沙量和加沙地點等與預備試驗 I 相同，由 0 至 18.6 分鐘，每 1.5 分加沙 12 公升，自 18.6 分後每 1.5 分加沙 6 公升。

圖 20， a ~ e 表示預備試驗 II 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化。

圖 21， 表示預備試驗 II 波浪作用後 A ~ H 區土量變化。

預備試驗 II 試驗結果顯示，當造波時間累積 1 小時後，舊潮口和東港防沙堤間各等深綫並無顯着變化，南平里外側海底等深綫亦然，而當造波時間累積達 2 小時時，- 4 m 以下等深綫仍無顯着變化，惟 - 2 m 等深綫靠近舊潮口北側一帶則略向陸側凹進，並產生沿岸沙洲，靠近東港漁港防沙堤處則略呈淤積現象。造波時間累積超過 3 小時後舊潮口及東港防沙堤中間處海岸沙灘呈嚴重沖刷現象，其被帶走之土砂量則往西北方向運行淤積於東港漁港防沙堤處。迨造波時間累積達 4 小時後，東港防沙堤以南淤積範圍逐漸向東延伸，惟 - 4 m 以下等深綫仍無顯著變化，而東港防沙堤則逐漸為沿岸漂沙淤積所埋沒。

圖 22， 照片 a、b 分別表示預備試驗 II 舊潮口及東港漁港防沙堤間海岸初期地形與造波 4 小時後地形變化，照片 c、d 則表南平里外側海灘初期地形及造波累積時間 4 小時後之地形變化。

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

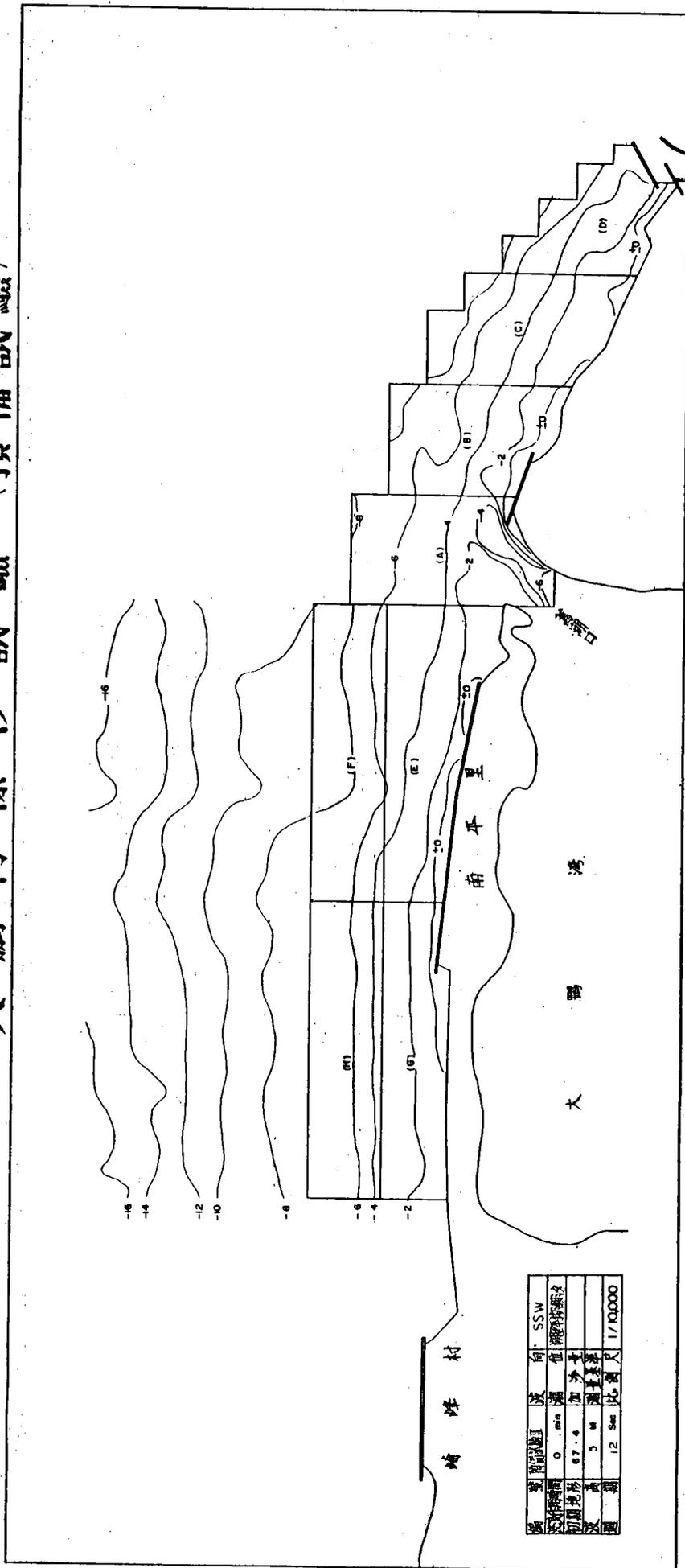
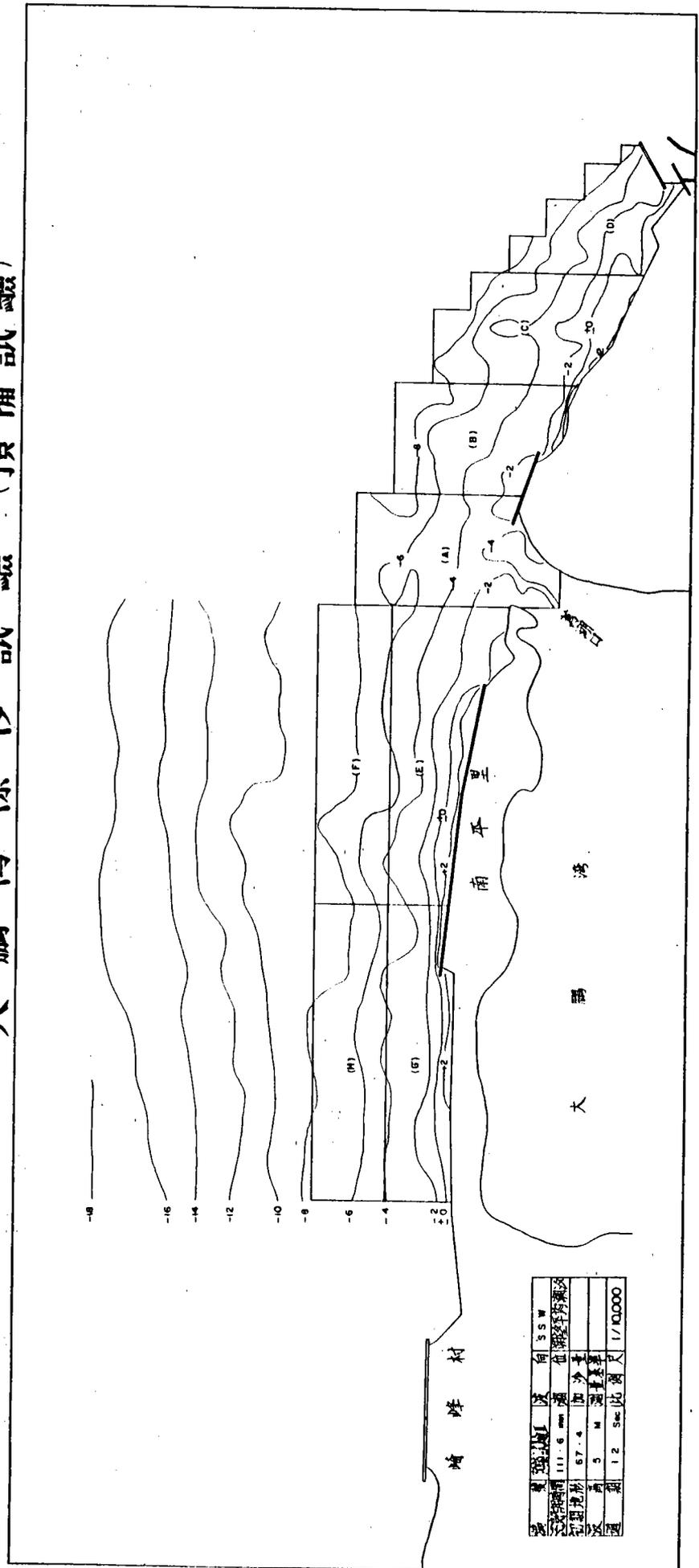


圖 20 (a) 預備試驗 II 波浪作用後東港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)



試驗日期	111.6.20	地點	嶺峰村南
試驗時間	67.4	試驗者	沙平
試驗地點	5	試驗儀器	測沙器
試驗距離	1.2	試驗日期	11/10/00

圖 20 (c) 預備試驗 II 波浪作用後東港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

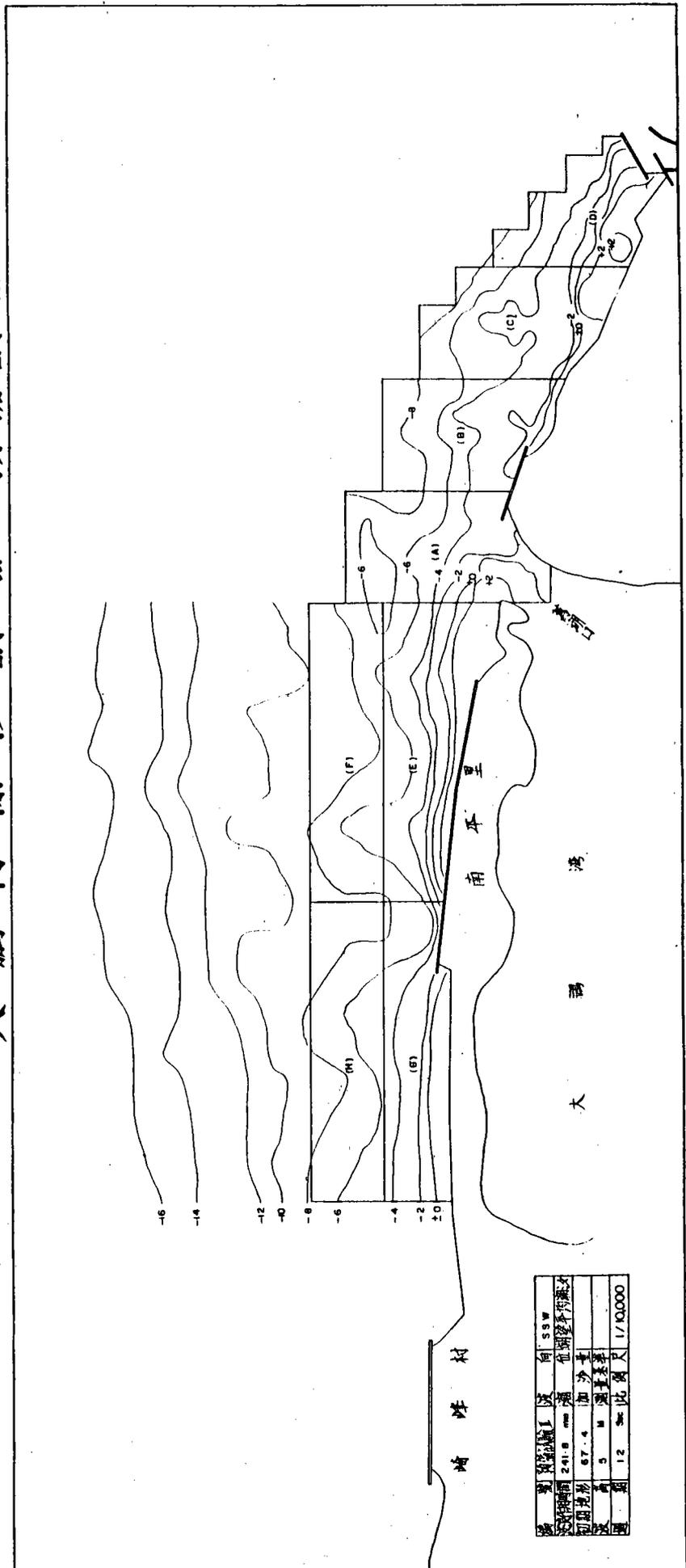


圖 20 (e) 預備試驗 II 波浪作用後東港防沙堤以南地形變化

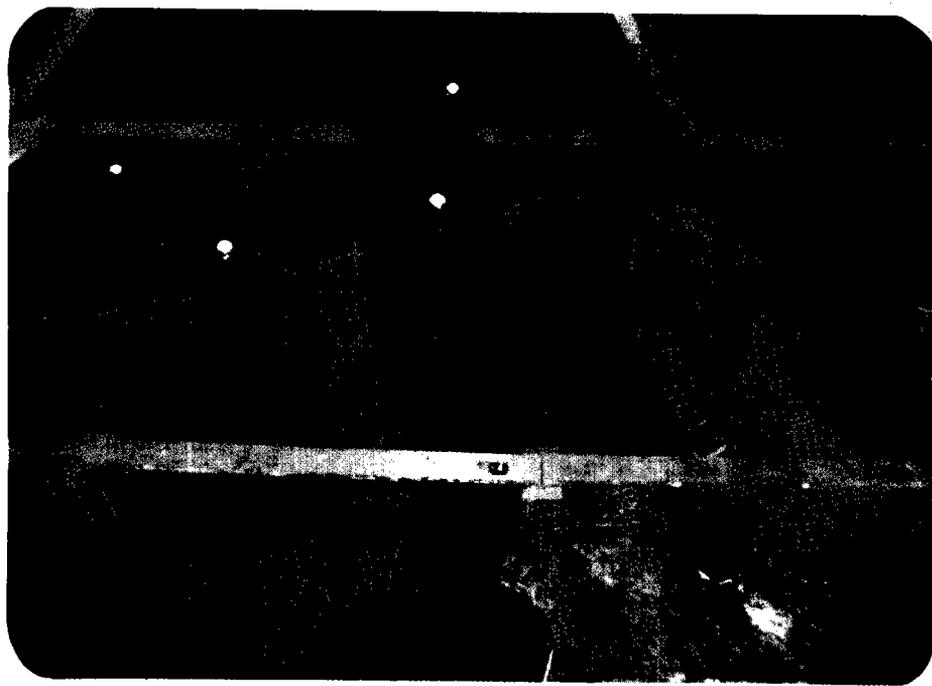


圖 22-a 預備試驗 II，東港漁港與大鵬灣舊潮口間模型鋪設初期地形

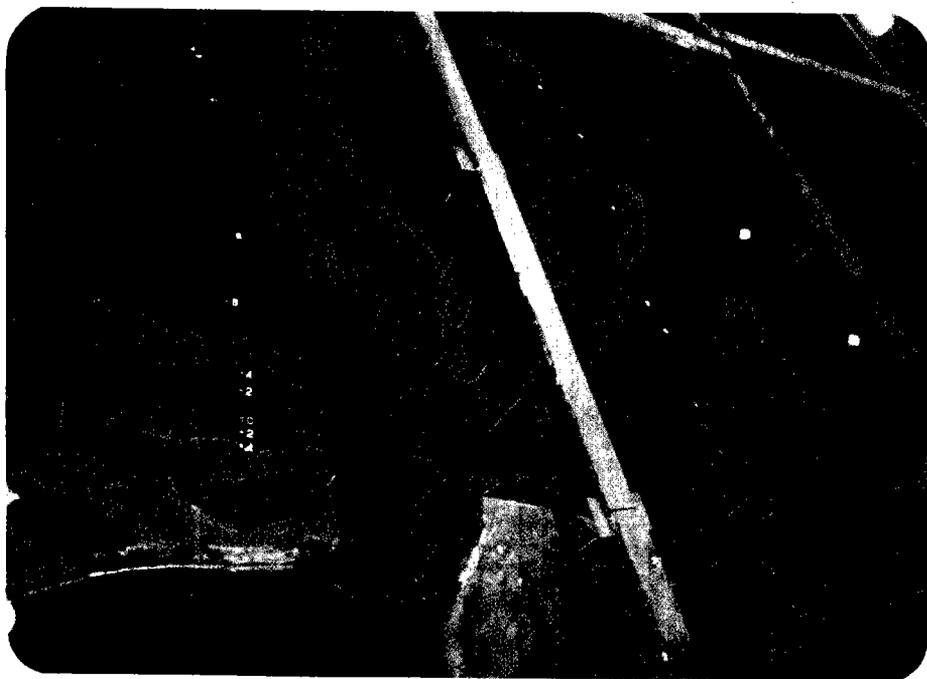


圖 22-b 預備試驗 II，東港漁港與大鵬灣舊潮口間造波 4 小時後地形變化

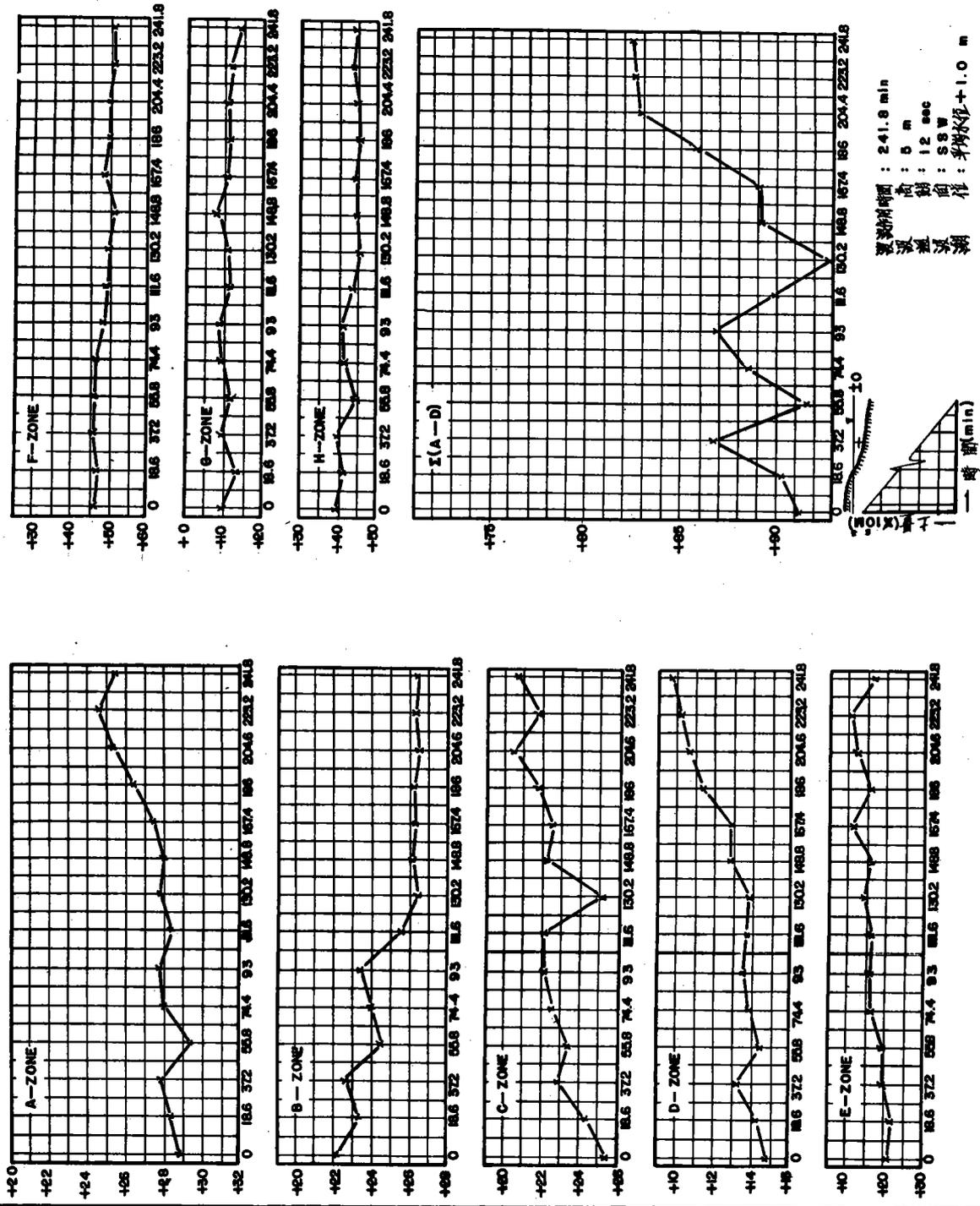


圖 21 兩波長與溫度變化圖 (稱量試驗工)

3. 預備試驗Ⅲ——本試驗初期地形採用民國六十七年四月高港局所施測海底地形、試驗波浪條件均與預備試驗Ⅰ相同。而潮汐條件則改採用朔望平均潮汐自動水位變化(+ 0.5 m ~ + 1.5 m)。波浪作用時間仍為 241.8 分鐘。加沙量及加沙地點維持與預備試驗Ⅰ, Ⅱ 相同。

加沙量與預備試驗Ⅰ、Ⅱ 相同, 前 18.6 分鐘, 每 1.5 分加 12 公升, 其後每 1.5 分, 加沙 6 公升。

圖 23, a ~ e 表示預備試驗Ⅲ波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化。

圖 24, 表示預備試驗Ⅲ波浪作用後 A ~ H 各區土量變化。

預備試驗Ⅲ與預備試驗Ⅰ唯一之差異為前者係採用朔望平均潮汐自動水位變化, 而後者採用 + 1.0 m 平均潮位, 試驗結果顯示, 造波時間累積達 1 小時時, 舊潮口和東港漁港防沙堤間海岸靠近防沙堤附近 - 4 m 與 - 2 m 等深綫間坡度變緩, 同時略向陸側凹進, 該區並有沿岸沙洲產生。東港漁港防沙堤附近則略呈淤積現象, 南平里外側等深綫仍維持略與海岸綫平行。當累積造波時間達 2 小時左右, 東港防波堤以南地區 - 4 m 等深綫並無顯着變化, 靠近舊潮口護岸堤區附近則發生沖刷現象。被波浪帶走之土沙則往西北方向運行, 逐漸堆積於東港防沙堤堤址附近。南平里外側灘錐 (Cusp) 逐漸形成, 此現象與現場沿岸沙灘極為相似。造波時間累積超過 3 小時後, 東港防沙堤攔沙效果逐漸呈飽和狀態, 沙洲已達防波堤堤頭處。南平里外側 - 4 m 等深綫則顯着向陸側凹進, 有嚴重之沖刷。此種現象亦與高港局實測水深資料及中華顧問工程司之評估報告中所述該區發生沖刷現象相符合。當累積造波時間達 4 小時後, 南平里外側海岸有灘錐 (Cusp) 形成。舊潮口和東港漁港防沙堤間沙灘海岸原為沖刷區域逐漸回淤

。防沙堤南側沙洲則更形顯著，此時東港防沙堤已為漂沙淤積所埋沒。

圖 25，照片 a、b 分別表示預備試驗 III 舊潮口及東港漁港防沙堤間與南平里外側海灘鋪設初期地形，造波後地形變化如照片 C，但因拍照調光不理想顯得模糊不清。

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

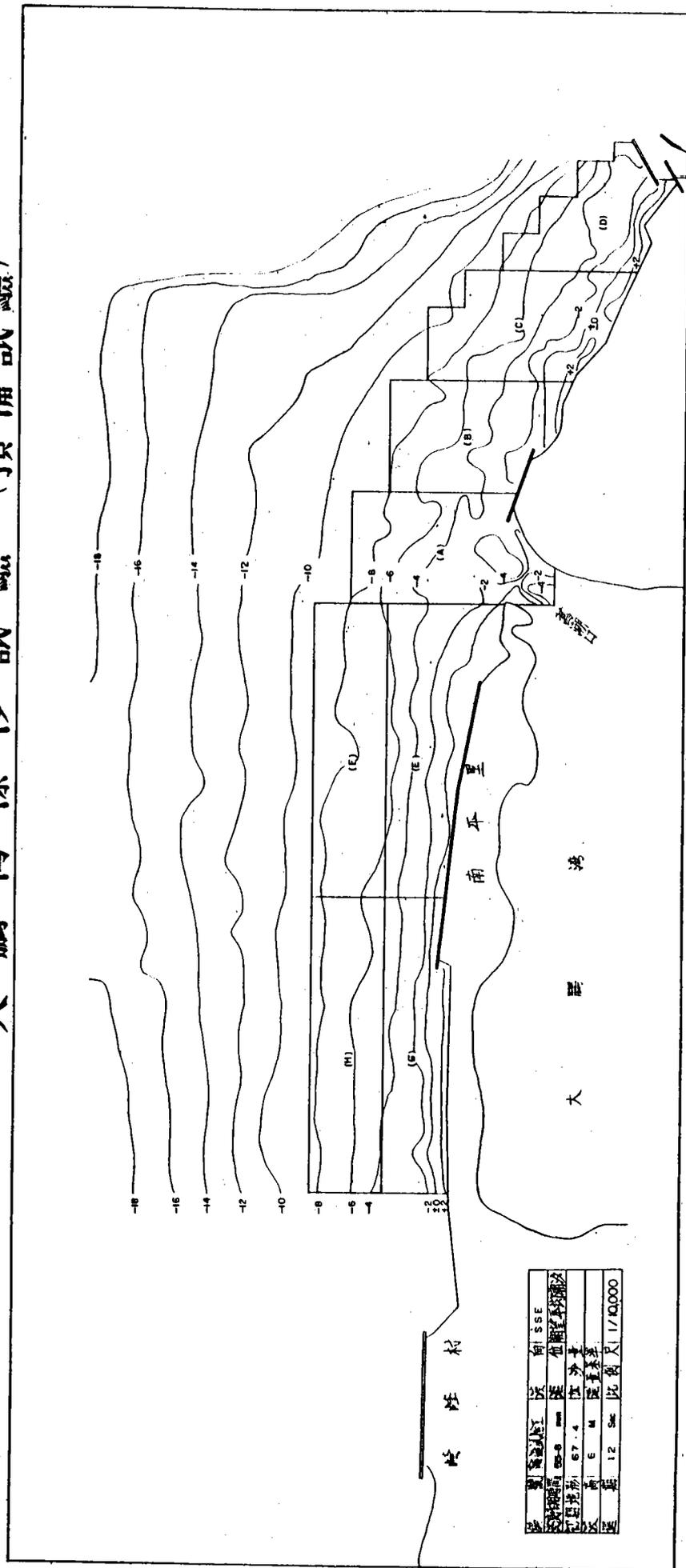


圖 23 (b) 預備試驗 III 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

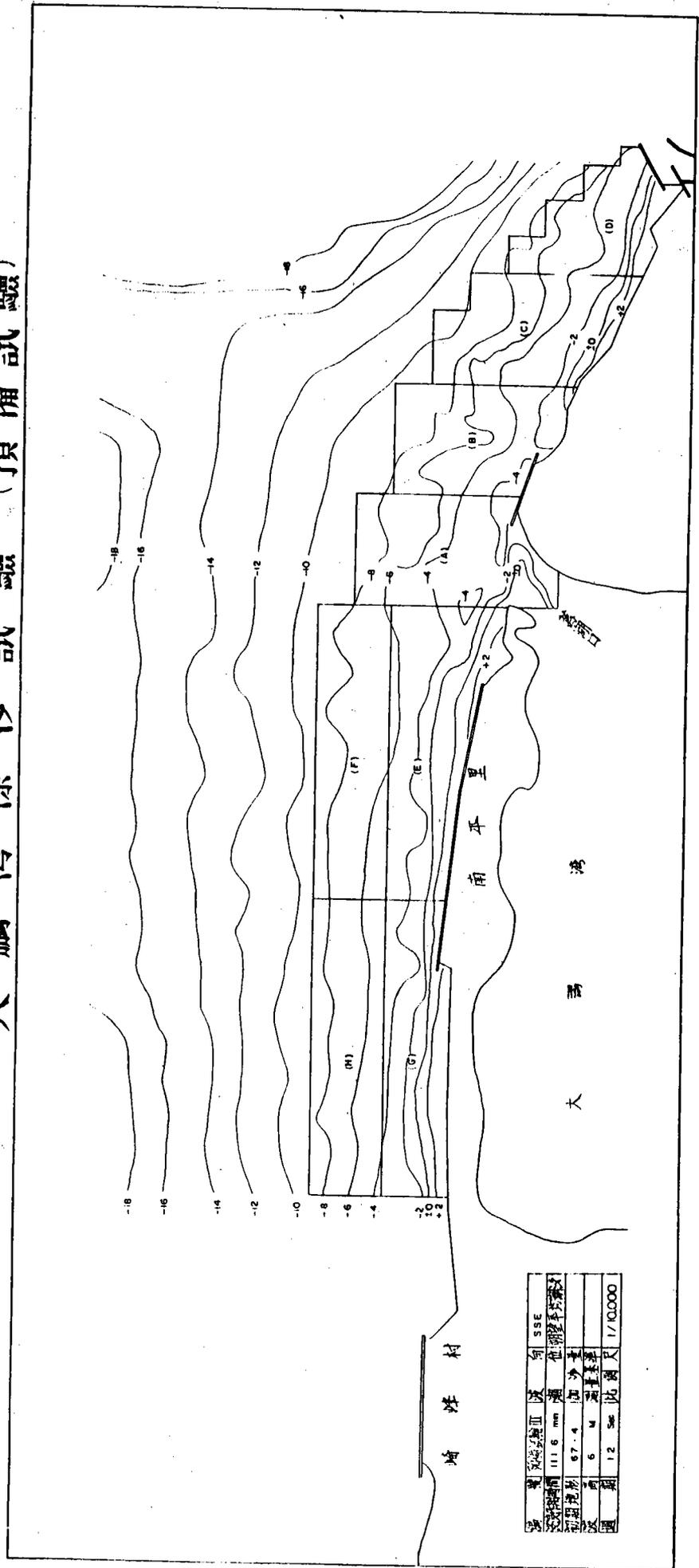


圖 23 (c) 預備試驗 III 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

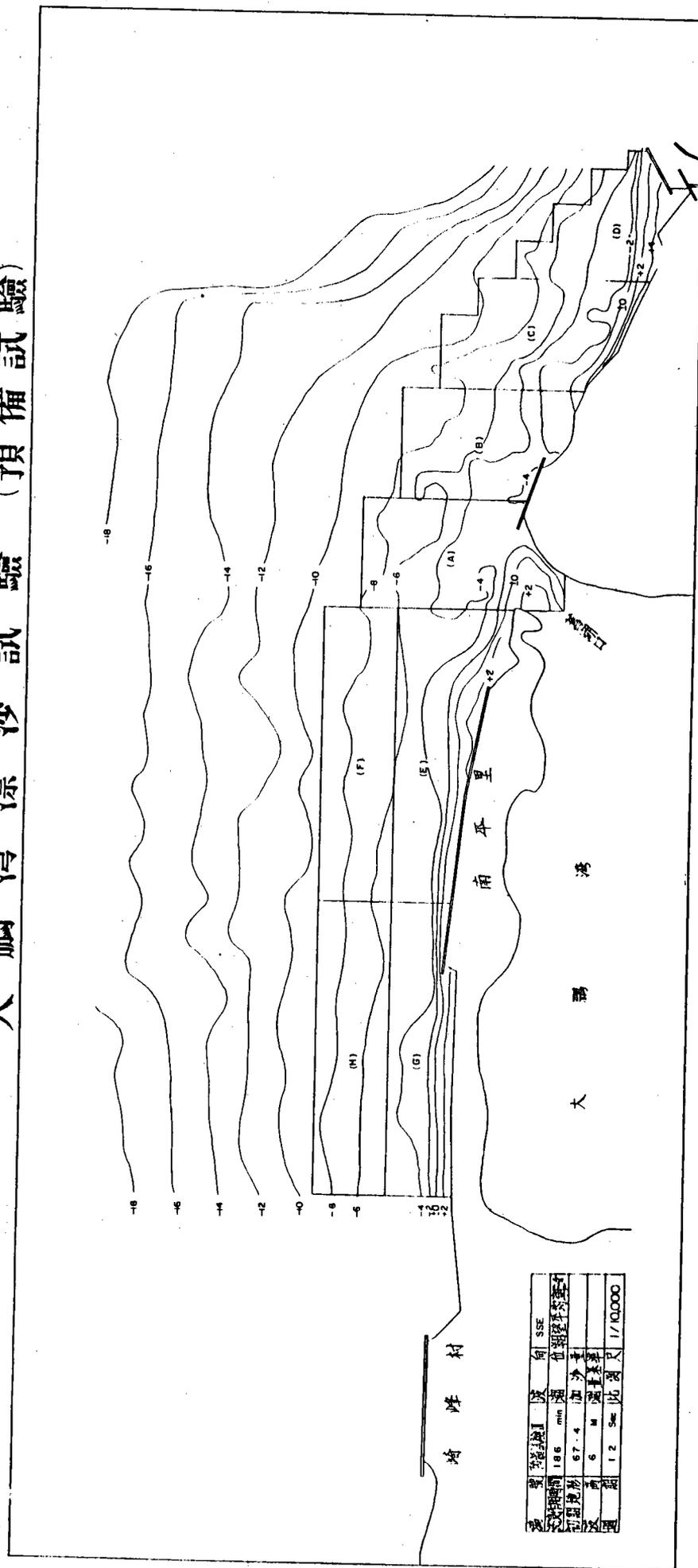


圖 23 (d) 預備試驗 III 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

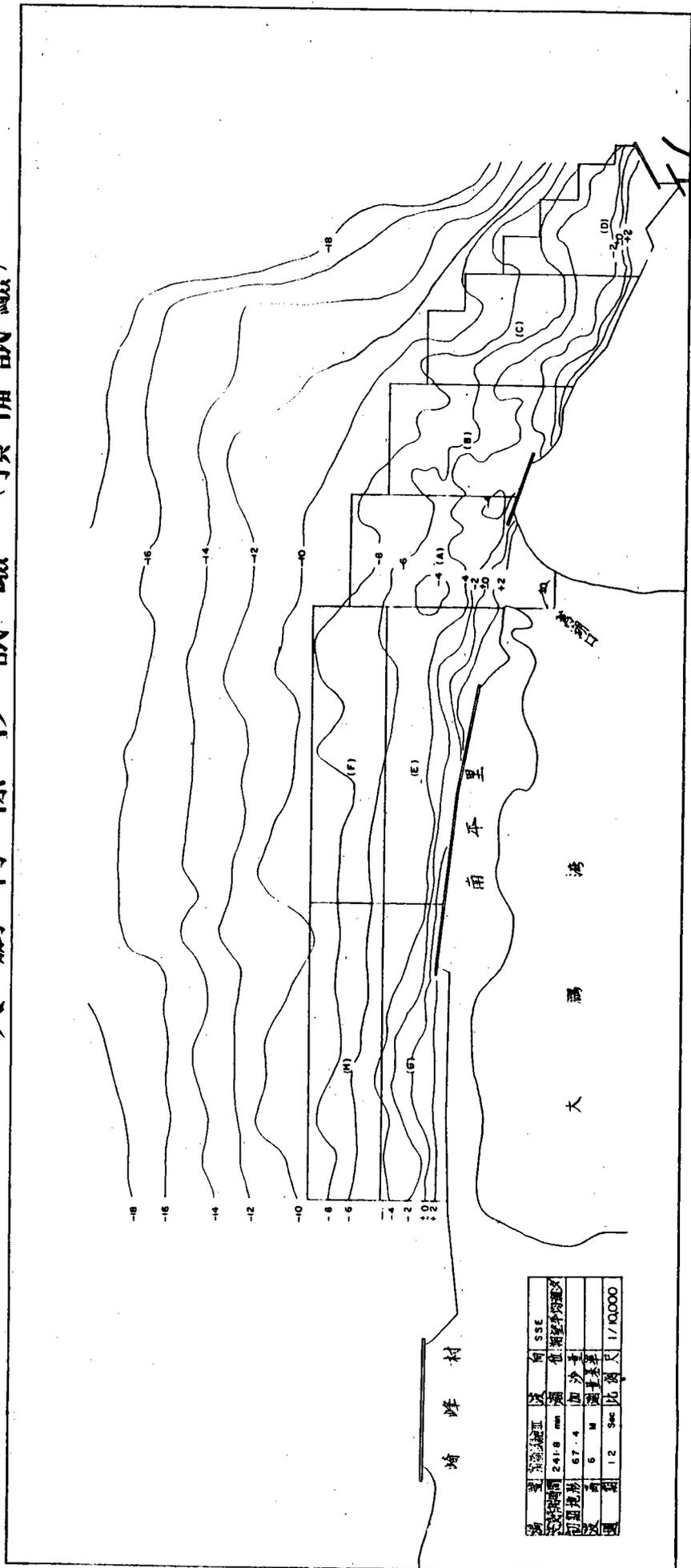


圖 23 (e) 預備試驗 III 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化

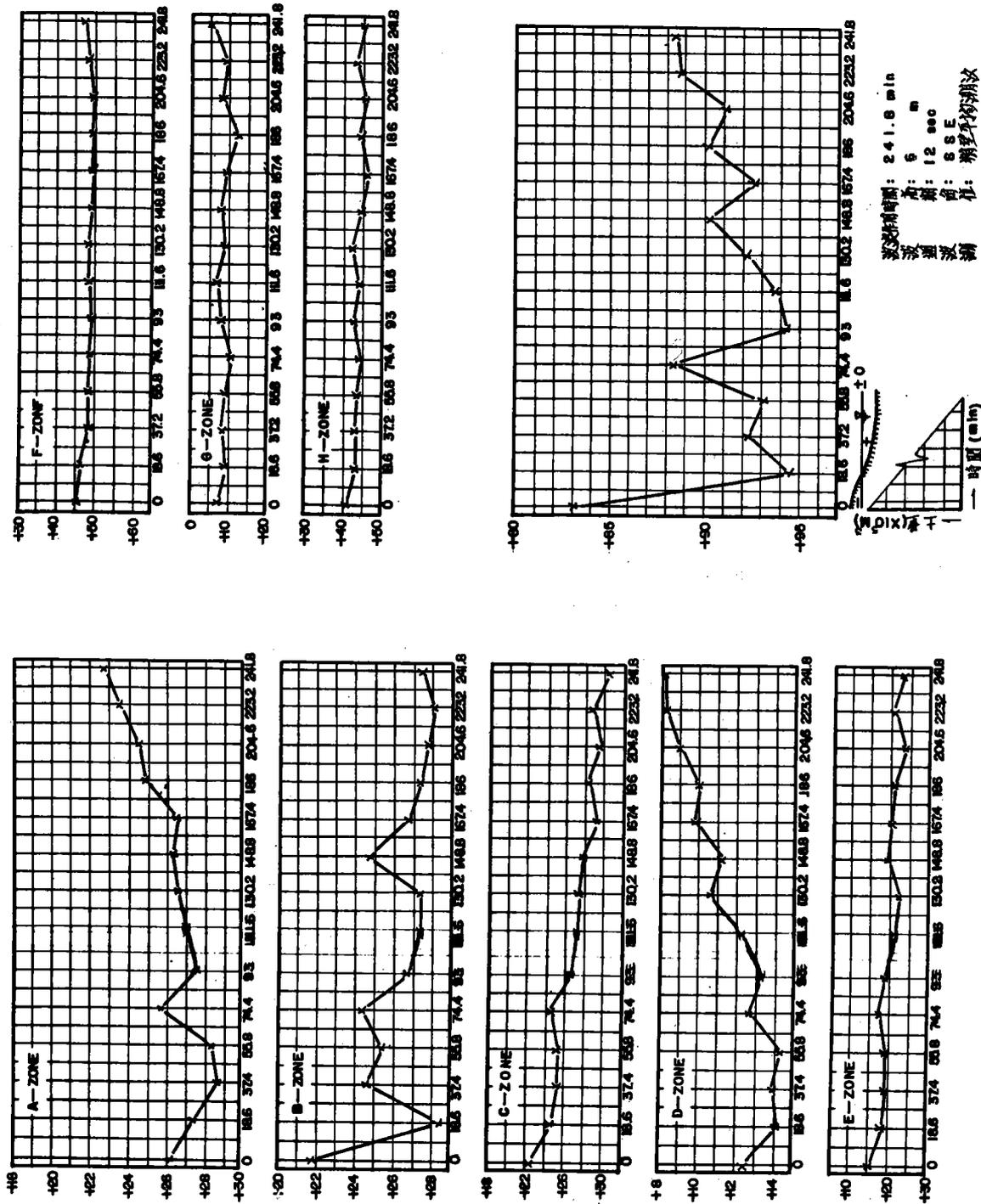


圖 24. 湖況測定值之時間變化圖 (湖況試驗 III)

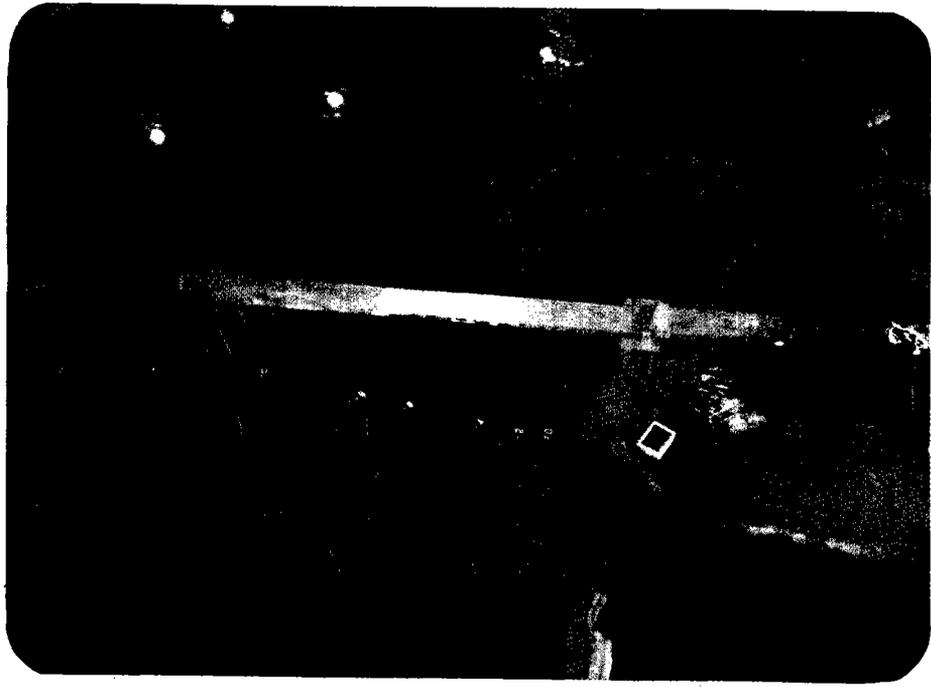


圖 25-a 預備試驗 III，東港漁港與大鵬灣舊潮口間模型鋪設初期地形

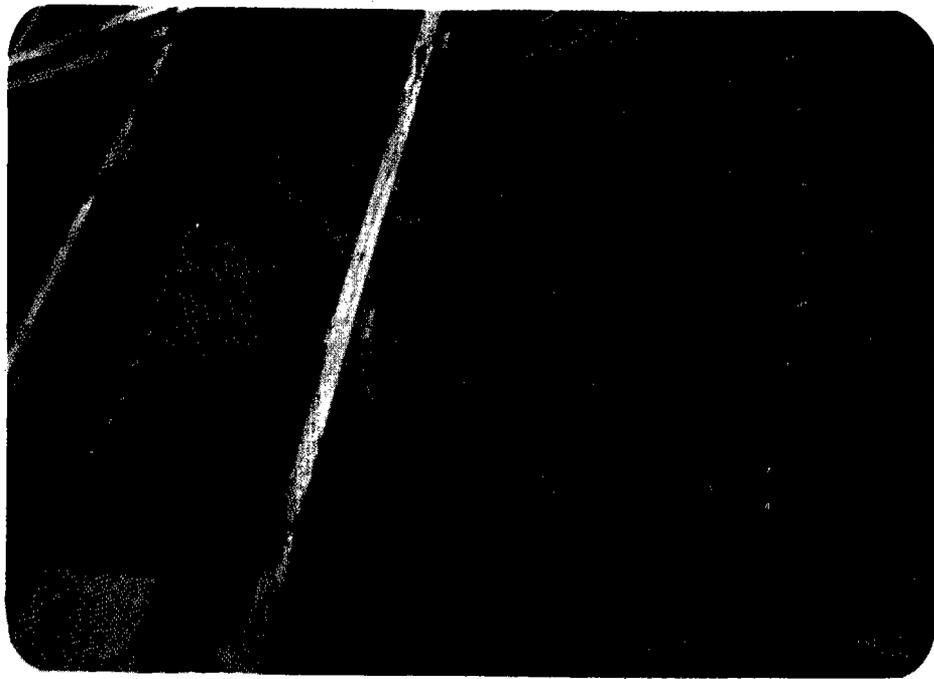


圖 25-b 預備試驗 III，南平里外海側模型鋪設初期地形

4. 預備試驗IV——為進一步瞭解各方向波浪對大鵬灣沿岸漂沙動態之影響，本試驗波向採用介於前述SSE與SSW中間之S方向波浪以進行試驗，波浪條件為波高5 m週期12 sec，潮汐為朔望平均潮汐自動水位變化(+0.5 m~+1.5 m)。模型初期地形仍以67年4月高港局所施測海底地形為依據以資比較。由於前述三種預備試驗，舊潮口與東港防沙堤間漂沙移動變化情形尚未受到投置於林邊溪口漂沙之影響，換言之連續造波4小時後投置之加沙量可能未到達該區，故為進一步瞭解加沙量到達該區後漂沙變化情形，故將預備試驗IV全部波浪作用時間延長至780分鐘。加沙量及加沙地點則維持與前述三種預備試驗相同，前18.6分鐘，每1.5分加沙12公升，自18.6分鐘至780分鐘，則每1.5分加沙6公升。假設漂沙源自林邊溪口及大鵬灣沿岸本身沙灘之沖刷。

圖26，a~e表示預備試驗IV波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化。

圖27，表示預備試驗IV波浪作用後A~H各區之土量變化。

本試驗造波初期1小時左右，舊潮口與東港防沙堤間沙灘海岸發生沖刷現象，零綫至-10 m等深綫均向陸側凹進現象，防沙堤附近水深由-2 m刷深至-4 m，南平里外側海灘護岸區亦發生沖刷現象。當累積造波時間達2小時左右，東港防沙堤以南海岸仍然發生沖刷，南平里外側-4 m等深綫以下則未有顯著變化，而舊潮口附近產生淤積現象。造波時間累積超過3小時後，舊潮口和防沙堤間仍然發生沖刷現象。造波時間累積達4小時，沖刷現象繼續發生，尤其在南平里外側護岸堤南側，水深由-2 m刷深至-6 m，舊潮口則逐漸為漂沙所淤積。當累積造波時間達7小時後，投置於林邊溪口漂沙所形成

之沙洲，已逐漸向西北方向移動。連續造波 8 小時後，東港防沙堤堤址已刷深至 - 6 m，南平里外側因投置於林邊溪口之土沙已達該區，而開始逐漸回淤，連續造波 9 小時後，由於沙洲已北移至大鵬灣舊潮口，東港防沙堤以南海岸沙灘亦開始回淤。造波時間達 11 小時後，防沙堤堤址處有再度沖刷現象，唯一般而言，舊潮口及東港防沙堤間海岸已逐漸回淤，由南往北方向移動之沙洲已越過舊潮口，防沙堤仍繼續沖刷現象。連續造波時間超過 12 小時後，地形無顯着變化，一直到累積造波時間 13 小時，舊潮口和東港防沙堤間海岸才開始有沙洲出現。

圖 28 照片 a、b 分別表示預備試驗 IV 舊潮口及東港防沙堤間與南平里外側海灘模型鋪設初期地形，照片 c、d 則表示連續造波 13 小時後舊潮口及舊潮口與防沙堤海岸沙灘變化情形。

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

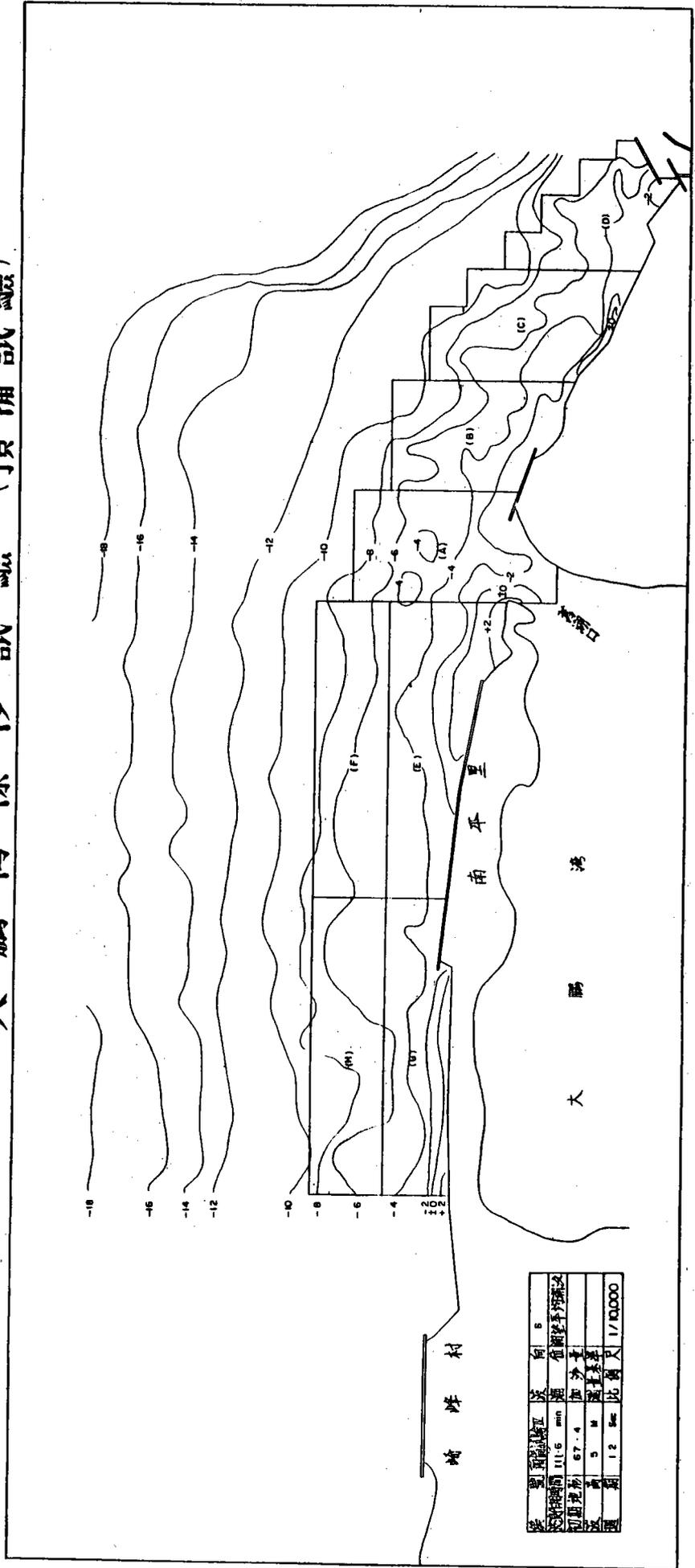


圖 26 (b) 預備試驗 IV 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

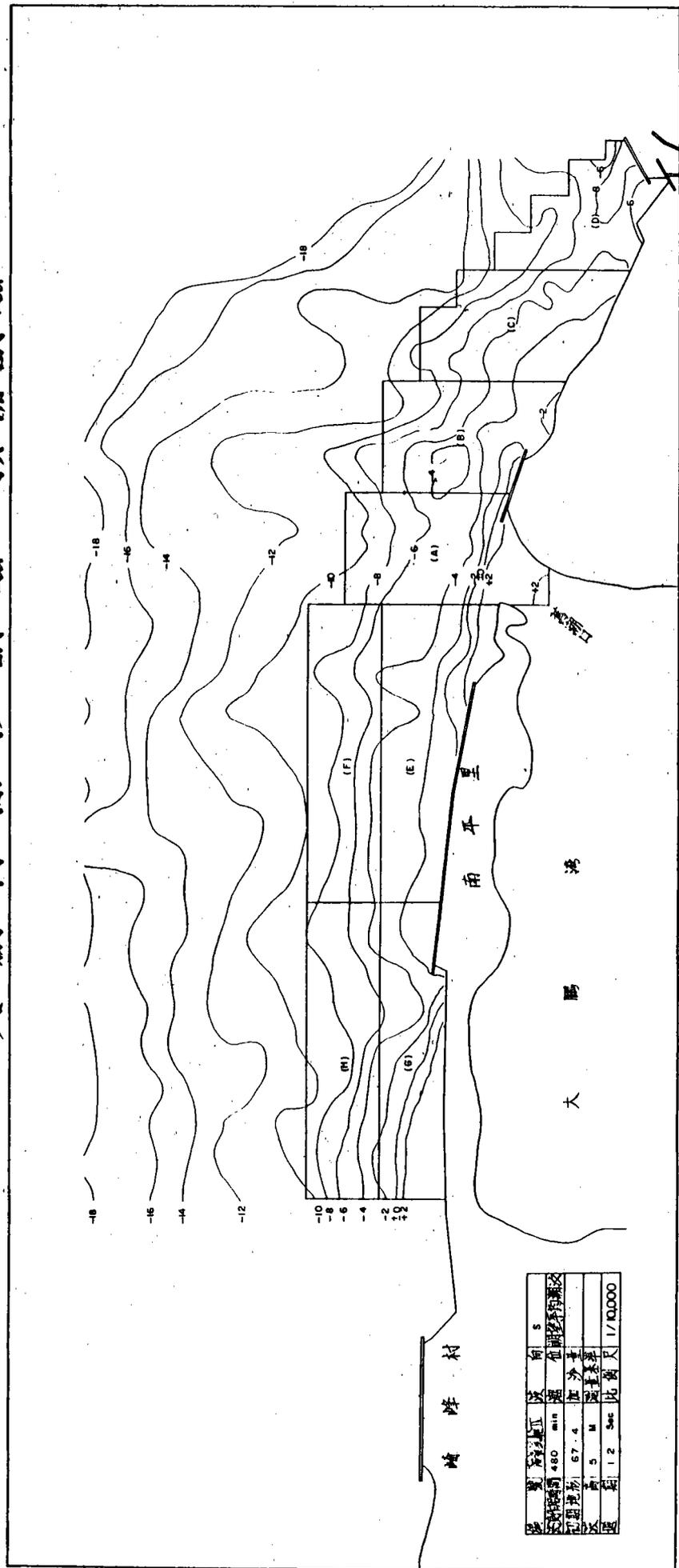


圖 26 (d) 預備試驗 IV 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化

大鵬灣漂沙試驗 (預備試驗)

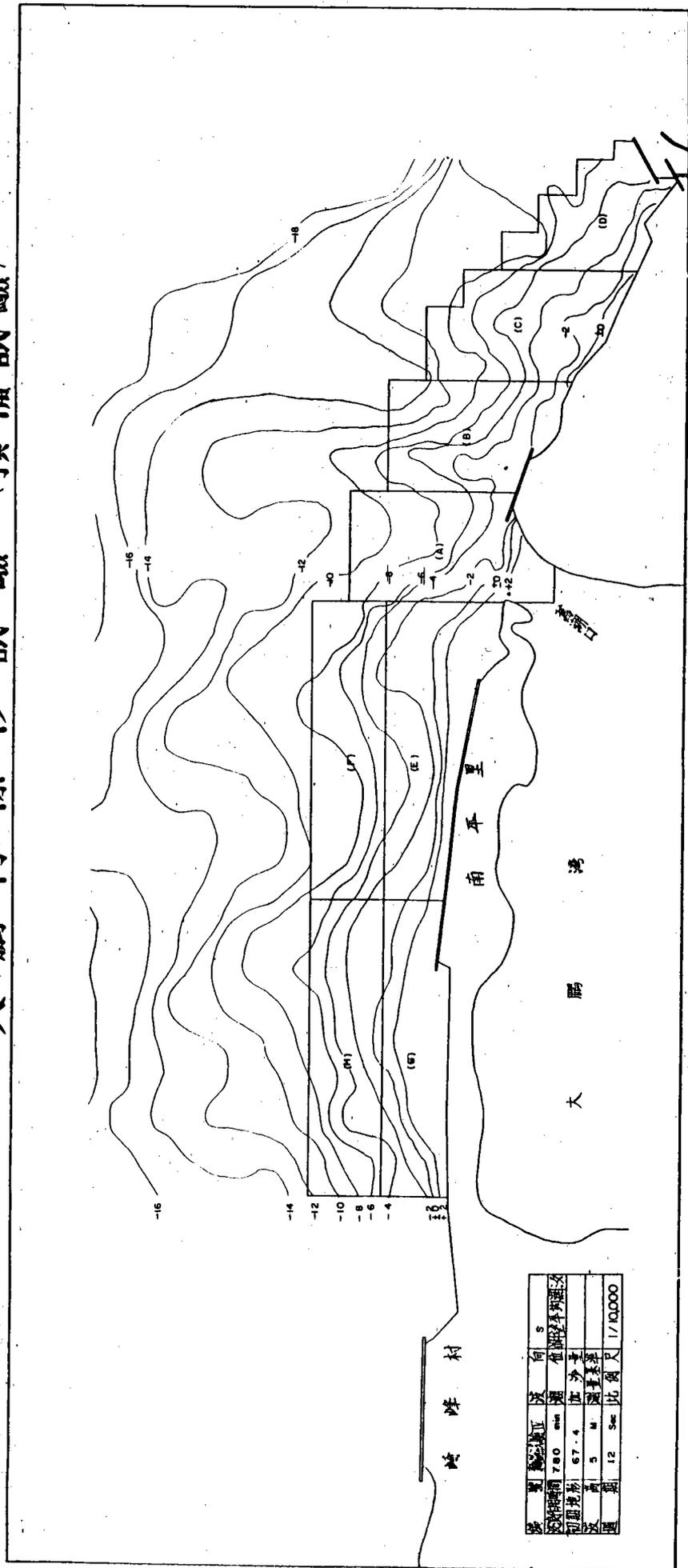


圖 26 (e) 預備試驗 IV 波浪作用後東港漁港防沙堤以南地形變化



圖 28-a 預備試驗 IV, 東港漁港防沙堤與大鵬灣舊潮口間海灘模型鋪設初期地形

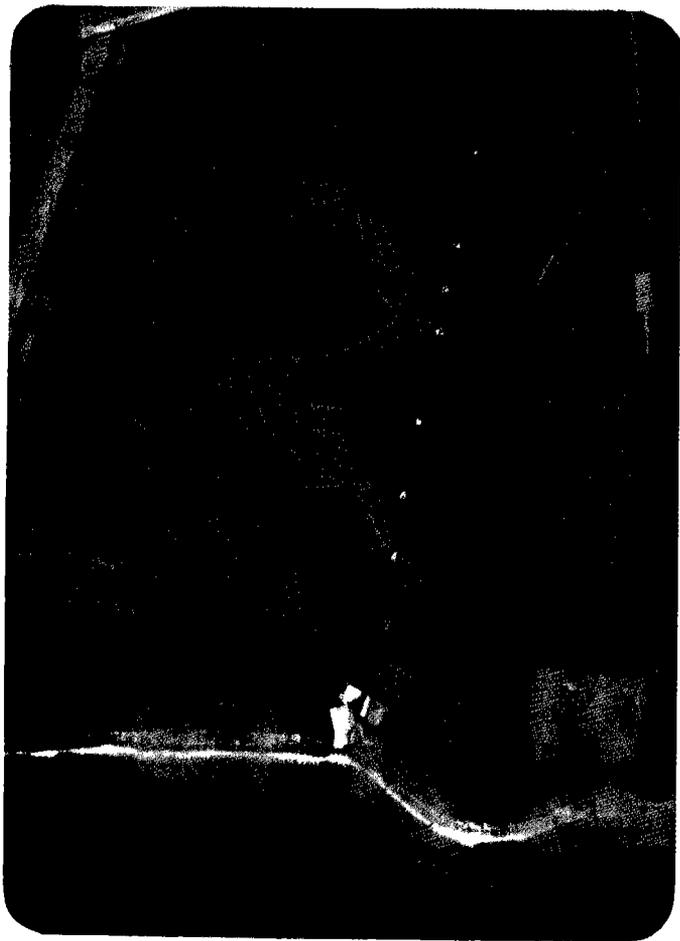


圖 28-b 預備試驗 IV, 南平里外側海灘模型鋪設初期地形

(三) 計畫佈置主試驗

綜合以上預備試驗 I ~ 預備試驗 IV 之試驗結果顯示，屏東大鵬灣沿岸沙灘變化以預備試驗 III 最能重現大鵬灣沿岸海灘現狀，故計畫佈置主試驗乃依照預備試驗 III，選定模型上之潮汐及波浪條件，並採用高港局所提計畫方案辦理主試驗。僅將試驗經過與結果概述如后：

1. 試驗佈置

(1) 大鵬灣興建計劃佈置 A

高雄港務局根據委託台中港務局辦理遮蔽試驗結果並考慮台電火力發電廠計劃所提外廓堤防定案佈置如圖 12 實綫部份所示，初期地形採用民國 67 年 4 月高港局施測水深圖，南防波堤全長 4230 公尺，堤頭水深達 - 15 公尺，北防波堤全長 1240 公尺堤頭水深達 - 10.5 公尺，台電火力發電廠計劃用地設置於港外，防波堤堤頂高程為 + 7 m，在模型上為減緩變縮尺模型反射現象過份誇張，在防波堤外緣設置沙籠，如圖 10 所示。

(2) 修訂計畫佈置 B

根據前項興建計劃佈置 A 試驗結果顯示，堤頭繞射波經折射後能量集中於東港與大鵬灣北防波堤間，造成該段海岸嚴重沖刷，而使東港港口淤塞，修訂佈置 B，針對此一缺點，將原南防波堤折角後沿 WSW 向延伸 200 m，即防波堤與 SSE 向波浪垂直，使入射波浪經堤頭繞射後向深海擴散，堤頭水深 - 16 公尺，如圖 12 虛綫部份所示。初期地形仍採用民國 67 年 4 月所測水深圖，北防波堤佈置維持不變。

2. 試驗條件

波浪——波向 SSE，波高 $H_p = 6$ m，週期 $T_p = 12$ sec，波高

縮尺採與垂直縮尺相同，故模型波高 $H_m = H_p \times 1 / 100 = 6 \text{ cm}$ ，
模型週期因欲求得折射現象之相似性取為縮尺之平方根，即

$$T_m = 12 \text{ sec} \times \frac{1}{\sqrt{100}} = 1.2 \text{ sec}$$

潮汐——原型朔望平均潮位為H.W.L = + 1.5 m，L.W.L =
+ 0.5 m，模型潮汐之時間縮尺，根據相似性原理為水平縮尺/
 $\sqrt{\text{垂直縮尺}}$ 故為

$$12 \text{ 小時 } 25 \text{ 分} \times \frac{1}{400} / \sqrt{\frac{1}{100}} = 18.6 \text{ 分鐘}$$

加沙量——為考慮因模型海灘受波浪開始作用時所發生急劇沖刷
現象，最初30分鐘每分鐘加沙量為 0.008 m^3 ，30分鐘後，每分鐘
加沙量減為 0.004 m^3 。

加沙地點——將漂沙投置於模型上林邊溪口北岸位置，除辦理漂
沙主方向SSE波浪對大鵬灣及鄰近地區之影響外，為進一步瞭解屏
東大鵬灣外廓堤防興建後，對沿岸海灘及東港漁港之影響，曾就大鵬
灣興建計劃佈置A，根據高港局所測水深資料及CEC之評估研判報告
，在沒有漂沙來源條件下，進行波高6 m，週期12 sec之W向颱風
波浪試驗。

3. 試驗結果

(1)興建計劃佈置A受SSE向波浪作用之試驗結果如下：

圖29，a~f表示佈置A SSE向波浪作用後防波堤附近地
形變化。

圖30，表示佈置A，SSE向波浪作用後，A~J區之土量變
化。

圖 31，表示佈置 A，SSE 向波浪作用後各主要點之水深變化。

試驗中各段時間之水深、土量等變化分別摘要列如表 7 及表 8。

大鵬灣海岸平直，坡度平緩，等深綫與海岸綫大略平行，當造波時間累積達 360 分鐘時，水利村、崎峰村沿岸因受林邊溪口北側加沙影響，灘線 ± 0 m 逐漸向海側平行淤積，靠近南防波堤靠岸垂直海岸部份（以下稱為垂直段）區域，因防波堤反射波波浪影響初期產生沖刷現象，等深綫 - 10 m 向陸側凹進，沖刷所產生之漂沙則沿着南防波堤海側與海岸成斜交部份（以下稱為斜綫段）淤積於距堤頭約 1000 m 地帶，航道以南 - 15 m 等深綫則無顯著變化。南防波堤堤頭處以及北防波堤斜綫段部份，因堤頭繞射波浪影響，均產生沖刷現象。大鵬灣北防波堤與東港防沙堤間約 1.5 公里海岸亦受到南堤堤頭繞射波浪影響，在中間地帶產生沖刷，受沖刷之土砂則淤積於東港防沙堤南側，該區等深綫 - 12 m 部份並無明顯變化；當波浪造波時間累積達 720 分鐘時，投置在林邊溪口之土沙已被移動至南平里外側大鵬灣南防波堤垂直段區域，- 10 m 等深綫向海側逐漸推進趨勢，並且沿着南防波堤斜綫段淤積，該區整個海域除低於 - 18 m 以下等深綫無顯著變化外，其餘淺於 - 18 m 地區均向海側淤積。至於大鵬灣北防波堤以北區域高於 - 8 m 等深綫部份因漂沙來源未達該區，致使整個區域因漂沙集體移動而發生嚴重沖刷，其土沙則淤積於東港防沙堤外側。當造波時間累積達 1080 分鐘時，水利村、崎峰村外側海岸 ± 0 m 等深綫繼續向海側延伸，投置林邊溪口土沙所形成之砂洲（sand bar）業已抵達南防波堤轉角處，顯示該堤垂直段部份攔沙效果將屆飽和狀態靠近南堤垂直段區域附近水深綫均約略與 SSE 波向綫相垂直，此表示投置林邊溪口之土沙被 SSE 向波浪所產生之沿岸流攜帶至該

區，沿岸漂沙將隨着波浪移動，換言之該區海岸已達平衡狀態。試驗結果證明該部份之漂沙沿南防波堤淤積於斜綫段距堤頭約 700 m 附近。南堤堤頭附近因繞射波浪影響致使該區堤防海側部份漂沙被沖刷，而淤積在航道附近。介於北防波堤與東港防沙堤中間海岸，仍繼續受波浪沖刷，被帶走之土石則使東港漁港口淤塞。試驗結果顯示當造波時間累積達 1080 分鐘時，整個東港港口已全為漂沙所淤塞，惟該區低於 - 8 m 等深綫部份則仍無明顯變化。此可證明淤積在東港港口之漂沙來源主要為該區海岸本身沖刷所造成，自無疑義。迨造波時間累積達 1260 分鐘時南防波堤以南海岸因在造波時間累積達 1080 分鐘時已達平衡狀況，故該區海岸等深綫均無顯著變化，致使投置在林邊溪口之漂沙自南堤折角處逐漸沿着防波堤淤積。唯在南堤堤頭兩側因波浪繞射緣故，沖刷現象特別顯著。介於北防波堤與東港漁港中間海岸地帶以及防波堤垂直段部份則開始呈淤積現象，此時整個東港漁港港口已全為漂沙所埋沒，但該區低於 - 8 m 等深綫仍無顯著變化。故綜合整個大鵬灣外廓堤防佈置 A 試驗結果顯示，南防波堤之興建完工，初期水利村崎峰村沿岸沙灘將逐漸向海側推進趨勢，而南堤垂直段附近區域呈淤積現象，而南堤折角處初期將發生急劇沖刷，直到南堤垂直段附近區域攔沙效果達飽和後，由南往北之漂沙逐漸沿着南防波堤斜綫段部份淤積，但南堤堤頭處因繞射波浪影響呈沖刷現象。尤其是當大鵬灣外廓堤防興建完成後，因阻絕漂沙來源，並又受到南堤堤頭繞射波浪影響，致使北防波堤與東港漁港防沙堤中間海岸發生嚴重沖刷現象，並造成東港漁港之阻塞。故現大鵬灣外廓堤防佈置應注意防止南防波堤垂直段外側沖刷，更應防範因南堤堤頭波浪繞射造成能量集中現象，使東港南岸受到嚴重沖刷，而所攜帶之漂沙使東港漁港

口淤塞，該區沖刷及東港漁港情形，如圖 32，照片 a~h 所示。利用浮子追蹤各區之流況分佈情形如圖 33。

表 7 佈置 A SSE 向波浪試驗結果各主要點水深變化

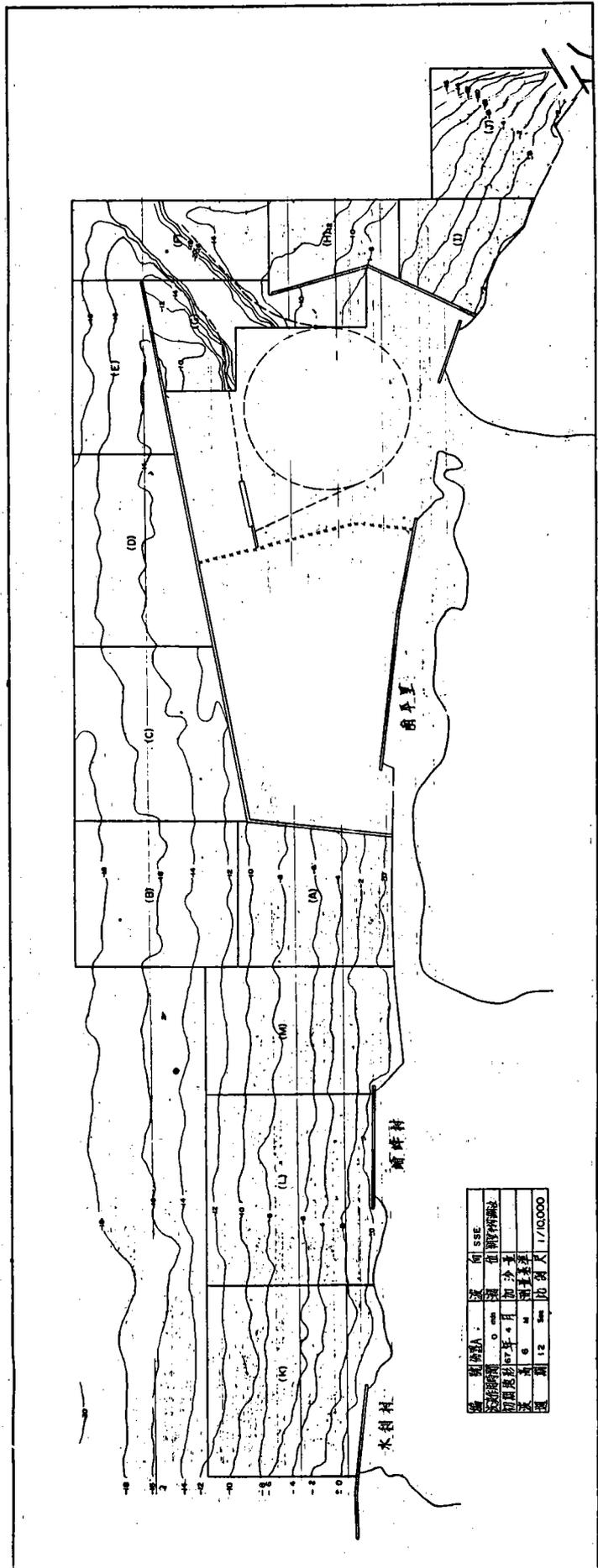
項目	時間位置	0 ~ 360 min	360 ~ 720 min	720 ~ 1080 min	1080 ~ 1260 min
		水 深	1	造波初期急劇刷深至 120 分鐘後達穩定共刷深 4.2 m	無顯著變化
2	造波初期發生沖刷現象到 300 分鐘時又恢復原狀以後急劇淤減 4.7 m		淤淺 1.2 m	繼續淤淺到 1020 分鐘再行刷深	繼續刷深
3	輕微刷深		繼續刷深到 420 分鐘後達穩定狀態，共刷深 1.5 m	無顯著變化	無顯著變化
4	初期發生沖刷現象，到 360 分鐘時共淤淺 1.3 m		再次沖刷到原有水深	自 720 分鐘後開始淤積到 1080 分鐘時淤淺 5.3 m	無顯著變化
5	300 分鐘後急劇沖刷，刷深 2.7 m		繼續刷深 1 m	無顯著變化	無顯著變化
6	無顯著變化		660 分鐘後急劇淤淺累計變淺 5.8 m	自 720 分鐘後交替沖刷及淤積	交替沖刷及淤積
7	無顯著變化		無顯著變化	無顯著變化	無顯著變化
8	初期發生沖刷到 360 分鐘時淤積 2.9 m		淤積 2.1 m	無顯著變化	無顯著變化

量變

B	土沙量無顯著變化	自 540 分鐘後，有淤積現象發生，土沙量淤積 $6 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量無顯著變化	自 1080 ~ 1140 分時土沙量發生淤積現象，以後無顯著變化淤積 $6 \times 10^5 \text{ m}^3$
C	土沙量無顯著變化	土沙量無顯著變化	780 ~ 840 發生 $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 土砂量淤積後，土沙量則無顯著變化共淤積 $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 土沙量	與 A 區情況相同，土沙量變化不甚穩定
D	120 ~ 180 分時土沙量增加 $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 外，其餘時間土沙量無顯著變化	360 ~ 420 分時土沙量增加 $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 後，則無顯著變化	土沙量以 $1 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率逐漸增加	無顯著變化
E	該階段土沙量變化不甚穩定初期沖刷，爾後淤積再沖刷土沙量變化為減少 $2.6 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量以 $1.1 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率逐漸淤積，共增加 $7 \times 10^5 \text{ m}^3$	自 780 分鐘後，土沙量以 $4.1 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積，土沙量增加 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$	土沙量無顯著變化
F	土沙量無顯著變化	土沙量無顯著變化	土沙量無顯著變化	土沙量無顯著變化
G	該階段土沙量變化不甚穩定，土沙量累積增加 $1 \times 10^5 \text{ m}^3$	該階段發生沖刷現象土沙量減少 $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3$	該階段土沙量變化不甚穩定 720 ~ 840 分時以 $2 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率沖刷，以後再行淤積	1140 分鐘後以 $5 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積增加土沙量 $10 \times 10^5 \text{ m}^3$
H	發生沖刷現象，土沙量減少 $2.8 \times 10^5 \text{ m}^3$	繼續沖刷，土沙量減少 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3$	該階段本區土沙量變化不甚穩定，累計土沙量無顯著變化	土沙量無顯著變化

化	I	發生沖刷現象，土砂量減少 $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量繼續沖刷，累計土沙量減少 $3 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量繼續沖刷，到 900 分鐘後則無顯著變化，累計土沙量減少 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量繼續沖刷，減少 $1 \times 10^5 \text{ m}^3$
	J	該階段本區土沙量變化亦不甚穩定，計減少土沙量 $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量繼續沖刷，累計土沙量減少 $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量無顯著變化	土沙量淤積增加 $1.1 \times 10^5 \text{ m}^3$
	全區	0 ~ 300 分鐘時全區發生沖刷現象共減少 $27 \times 10^5 \text{ m}^3$ 300 分後再行淤積	全區以 $10 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積	土沙量以 $10 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積	土沙量以 $10 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積

大鵬灣漂沙試驗



圖名	大鵬灣漂沙試驗	圖號	SS E
比例尺	1:10,000	繪圖日期	1977年12月
繪圖人	張加平	繪圖地點	南坪
繪圖時間	1977年12月	繪圖單位	水利部
繪圖地點	南坪	繪圖人	張加平
繪圖單位	水利部	繪圖日期	1977年12月

圖 29(a) 佈置A. S S E向波浪作用後防沙堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

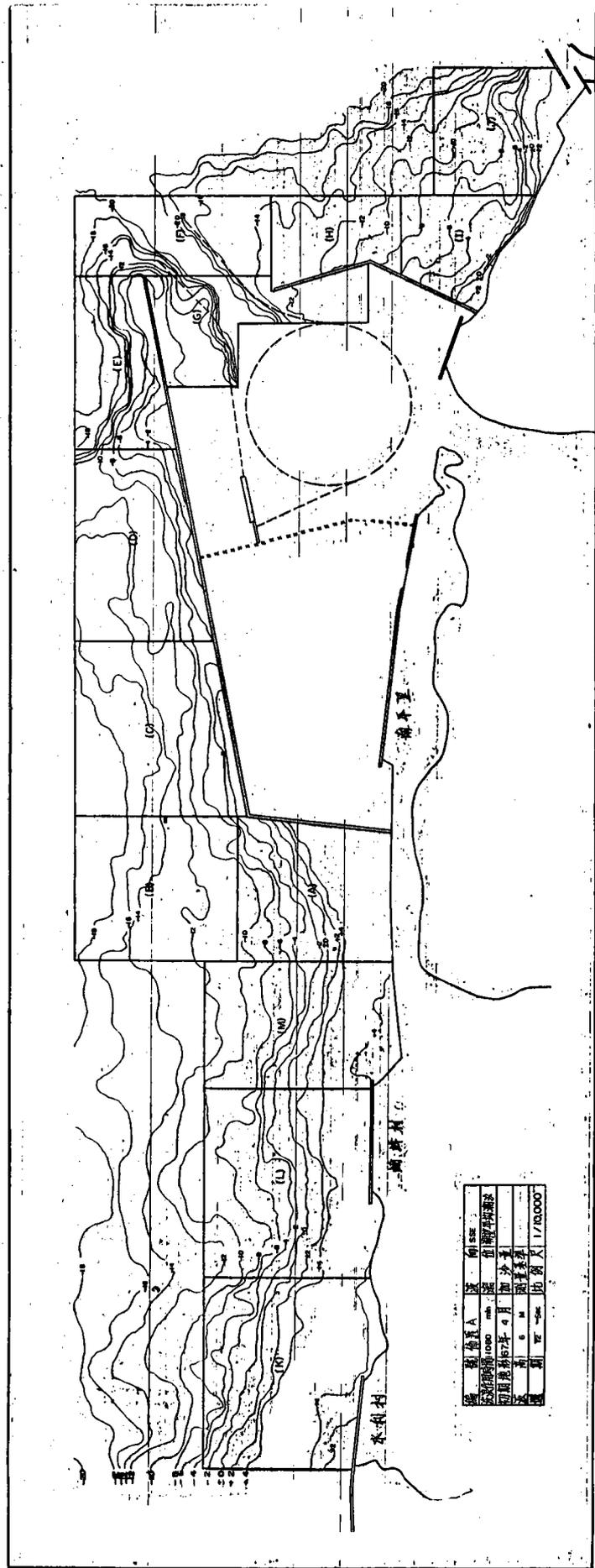


圖 29(d) 佈置 A. SSE 向波浪作用後防沙堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

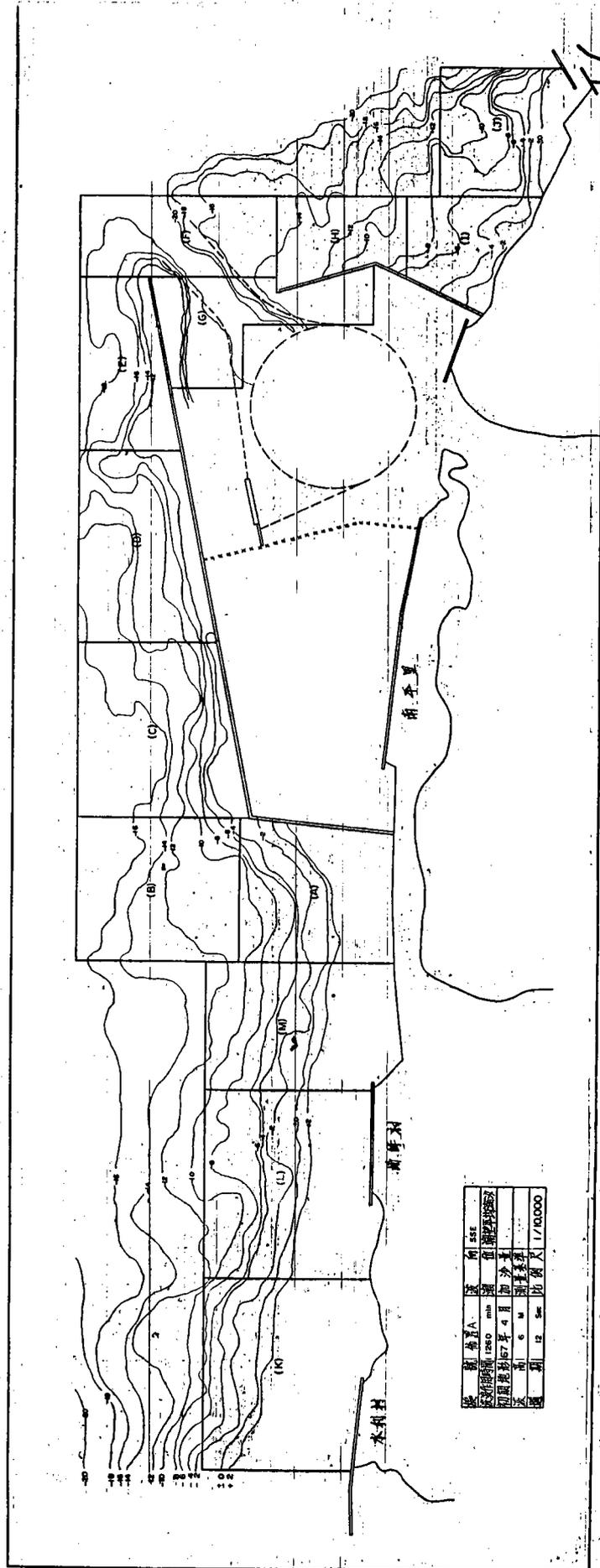


圖 29(e) 佈置A. SSE向波浪作用後防沙堤附近地形變化

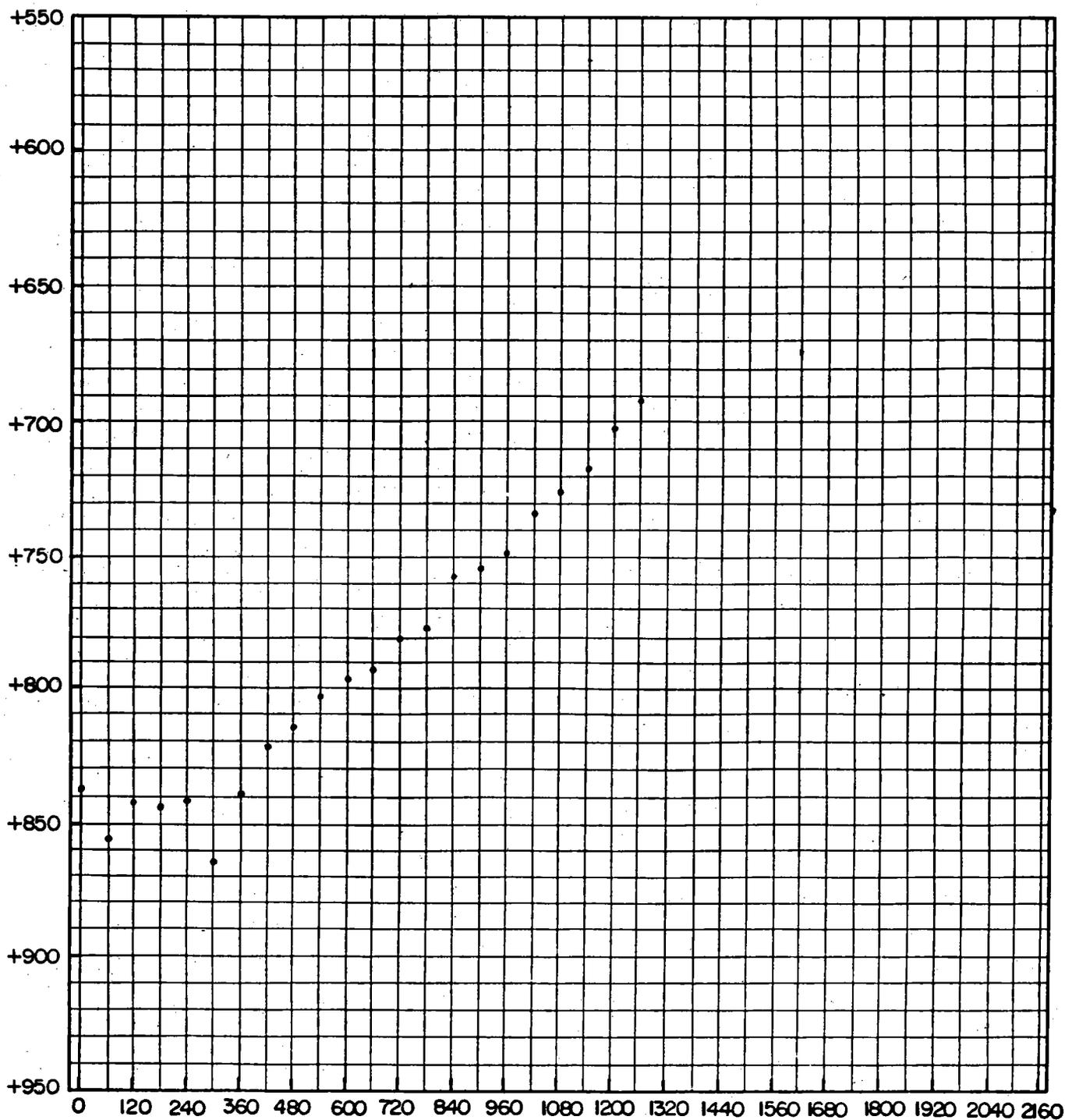
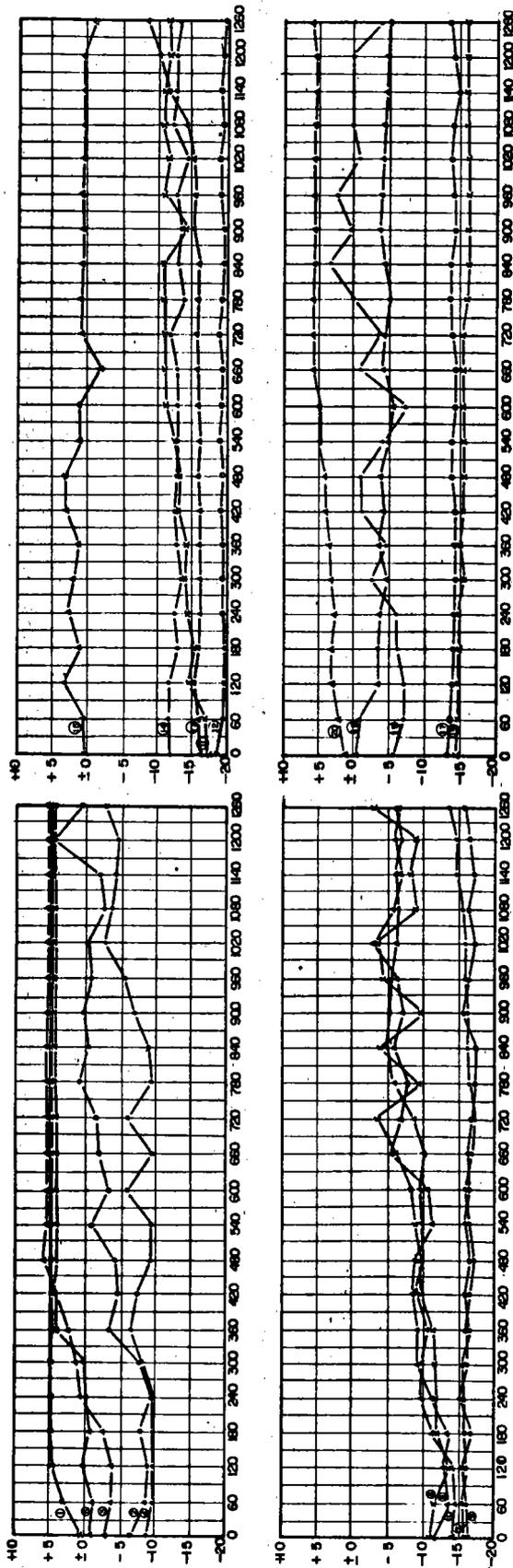


圖.30.(續) 防波堤附近全溫堆積土量變化

主要點水深變化圖



- x — 1 6.11.16
- • — 2 7.12.17
- ◊ — 3 8.13.18
- ◑ — 4 9.14.19
- △ — 5 10.15.20

波速 1260 mm
 波通 6 M
 潮期 12 Sec
 潮位 SSE
 潮型 半日潮

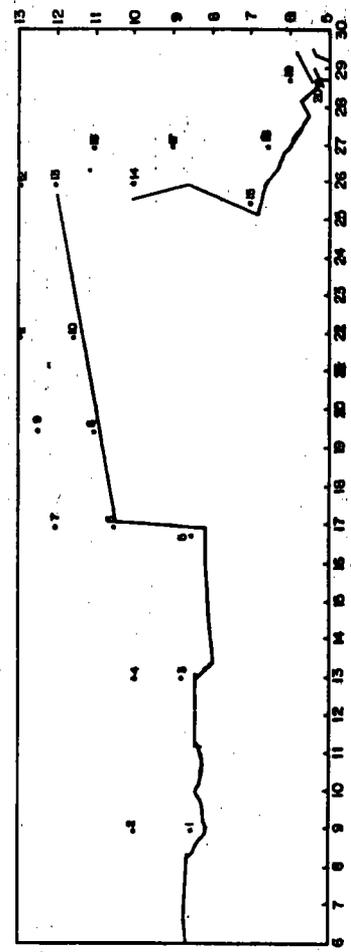


圖 31. 佈置 A.SSE 高波作用時主要點之水深變化

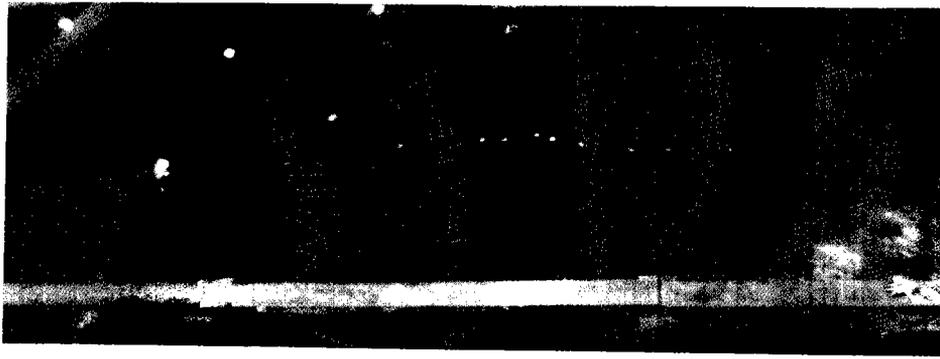


圖 32-a 大鵬灣與建計劃佈置A初期地形



圖 32-b 佈置A累積造波時間 600分



圖 32-c 佈置A累積造波時間 780分



圖 32-d 佈置A累積造波時間 840分

大鵬灣流況試驗記錄表

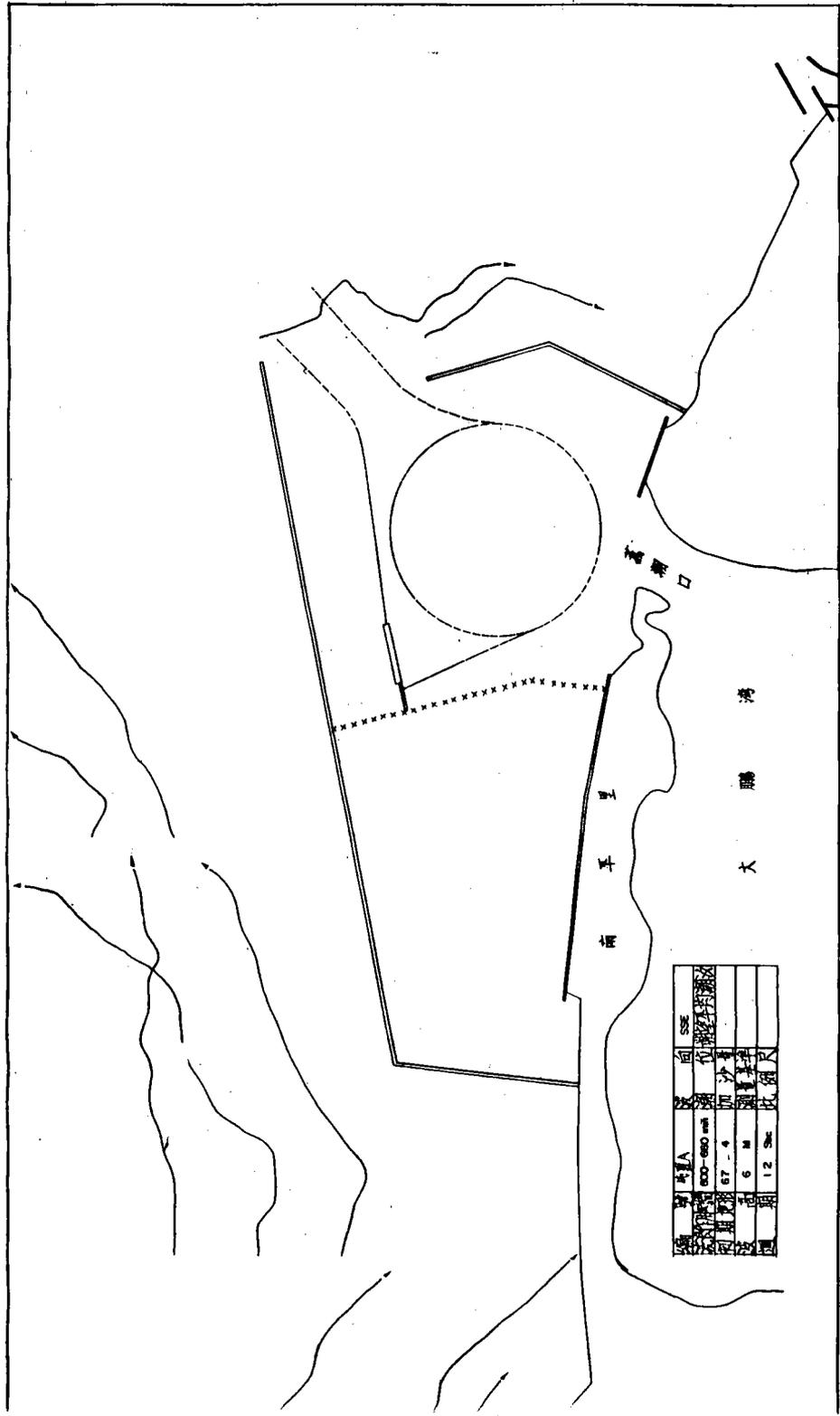


圖 33 (b) 佈置 A, SSE 向波堤作用各區流況分佈圖

大鵬灣流況試驗記錄表

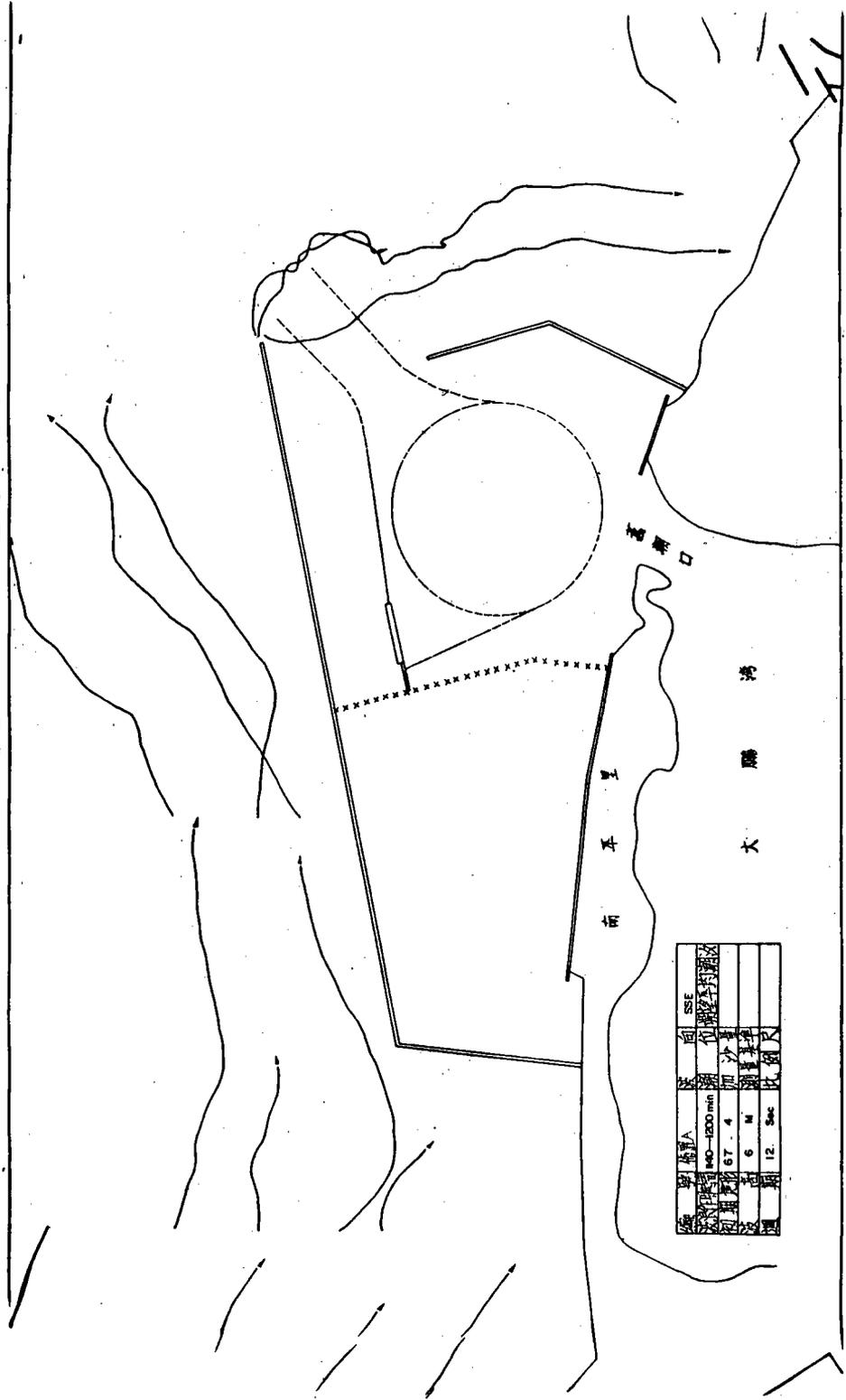


圖 33 (c) 佈置 A, SSE 向波堤作用各區流況分佈圖

(2)興建計劃佈置A於W向波浪作用下之試驗結果

圖 34， a ~ h， 示佈置A W向波浪作用後防波堤附近地形變化情形。

圖 35， 示佈置A W向波浪作用後， A ~ J區之土量變化情形

圖 36， 示佈置A W向波浪作用後各主要點之水深變化。

試驗各段時間之水深、土量等變化，分別摘要列如表9及表10

大鵬灣外廓堤防佈置A， W向波浪，因無漂沙來源情況下，當造波初期1小時，東港防沙堤附近發生嚴重沖刷現象，東港防沙堤堤址處刷深約6公尺左右，被沖刷之土沙量則淤積在大鵬灣北防波堤垂直段北側。等深綫-8 m以下則無顯著變化，南防波堤斜綫段部份與C區、D區及E區交界處同樣發生沖刷現象。當造波時間累積達2小時後，大鵬灣北防波堤與東港防沙堤間海岸-8 m以下等深綫雖無顯著變化，惟東港防沙堤堤址處因無沙源供給，致該區仍繼續沖刷，此乃必然現象，被帶走之土沙量則淤積於大鵬灣防波堤垂直段北側，等深綫則逐漸與W向入射波浪成垂直。南防波堤外側D區及E區附近呈淤積現象，水利村崎峰村外側海灘則發生沖刷，平均刷深約2公尺左右。當累積造波時間達3小時後，北防波堤與東港防沙堤間產生裂流(rip current)現象特別顯著，並於裂流南側流速減緩處形成一明顯沙丘。淤積於北防波堤北側沙洲則開始沿着北堤垂直立段向外延伸，港口航道此時亦開始淤積，南防波堤外側海灘-16 m以下等深綫無顯著變化。入射波浪因受南堤導波作用，波浪能量集中於南堤折角處，致使該區產生沖刷現象。造波時間累積達4小時後北防波堤及東港防沙堤間等深綫已約略與W向入射波浪成垂直，東港防沙堤堤址此時已刷深至-8 m。造波時間

累積達5小時後，整個港區附近水域水深綫並無繼續發生明顯變化，此表示海岸地形受W方向波浪作用在造波時間累積超過4小時後，海岸綫已逐漸達成平衡狀態。試驗證實繼續造波累積時間達7小時後，水深綫仍無顯著變化。

本試驗模型初期地形及造波7小時後地形變化情形如圖37，照片a~t所示。各區之流況分佈如圖38所示。

表 9 佈置 A (W 向波浪) 試驗結果各主要點水深變化

時間 事項		0 ~ 240 min	240 ~ 420 min
水 深	1	造波初期 1 小時即產生沖刷現象 以後則無顯著變化，刷深 4.4 m	無顯著變化
	2	無顯著變化	無顯著變化
	3	初期發生沖刷現象，至 240 分鐘 時又逐漸恢復原來水深	自 240 分鐘後又逐漸發生沖刷， 刷深 1.8 m
	4	刷深 2.5 m	無顯著變化
	5	自 120 分鐘後刷深 1 m	繼續刷深 1.3 m
	6	無顯著變化	無顯著變化
	7	刷深 1 m	無顯著變化
	8	無顯著變化	無顯著變化
	9	無顯著變化	刷深 1 m
	10	淤積 2 m	無顯著變化
變 化	11	無顯著變化	無顯著變化
	12	無顯著變化	無顯著變化
	13	急劇沖刷，刷深 4.7 m	無顯著變化
	14	刷深 2.5 m	繼續刷深 1.4 m
	15	自 60 分鐘後開始沖刷，刷深 1.5 m	無顯著變化
	16	輕微淤積	無顯著變化
	17	造波初期急劇沖刷，60 分鐘後 逐漸恢復原來水深	刷深 1 m
	18	刷深 0.5 m	刷深 0.5 m
	19	急劇沖刷，刷深 4.5 m	無顯著變化
	20	造波初期即急劇沖刷，刷深 3.8 m	無顯著變化

大鵬灣漂沙試驗

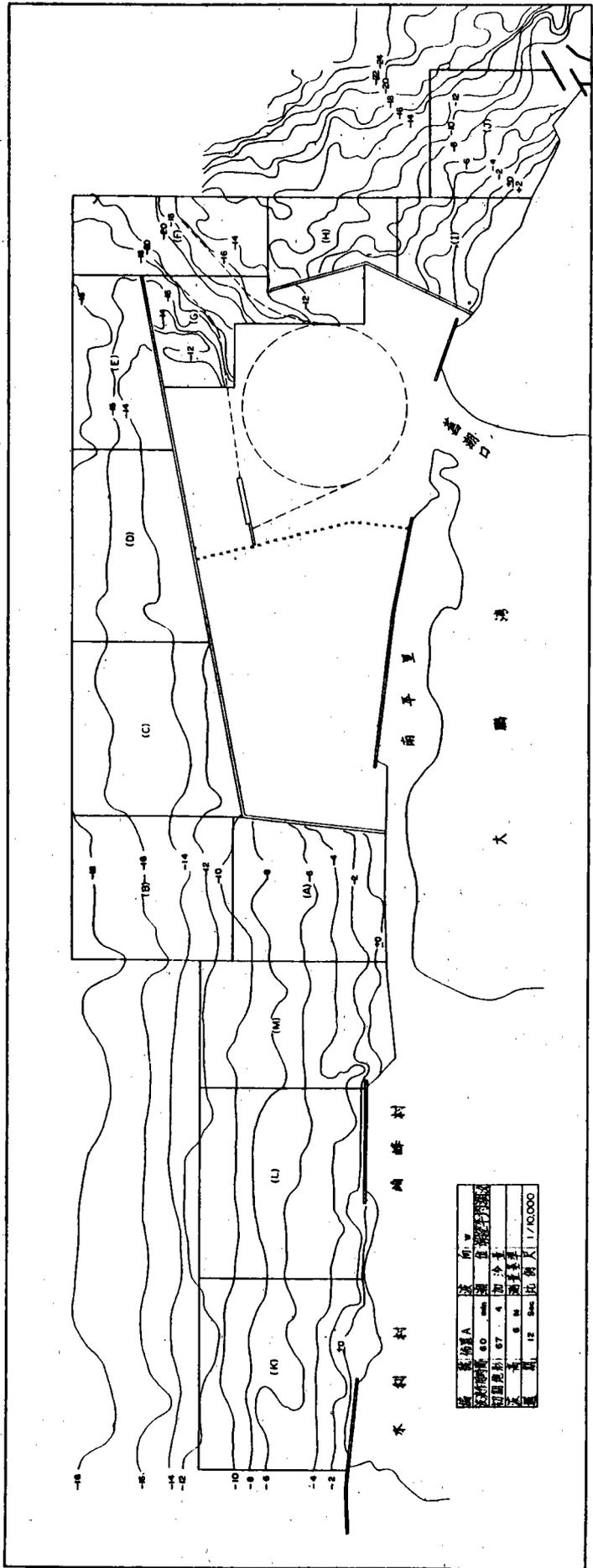


圖 34 (b) 佈置 A, W 向波浪作用後波堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

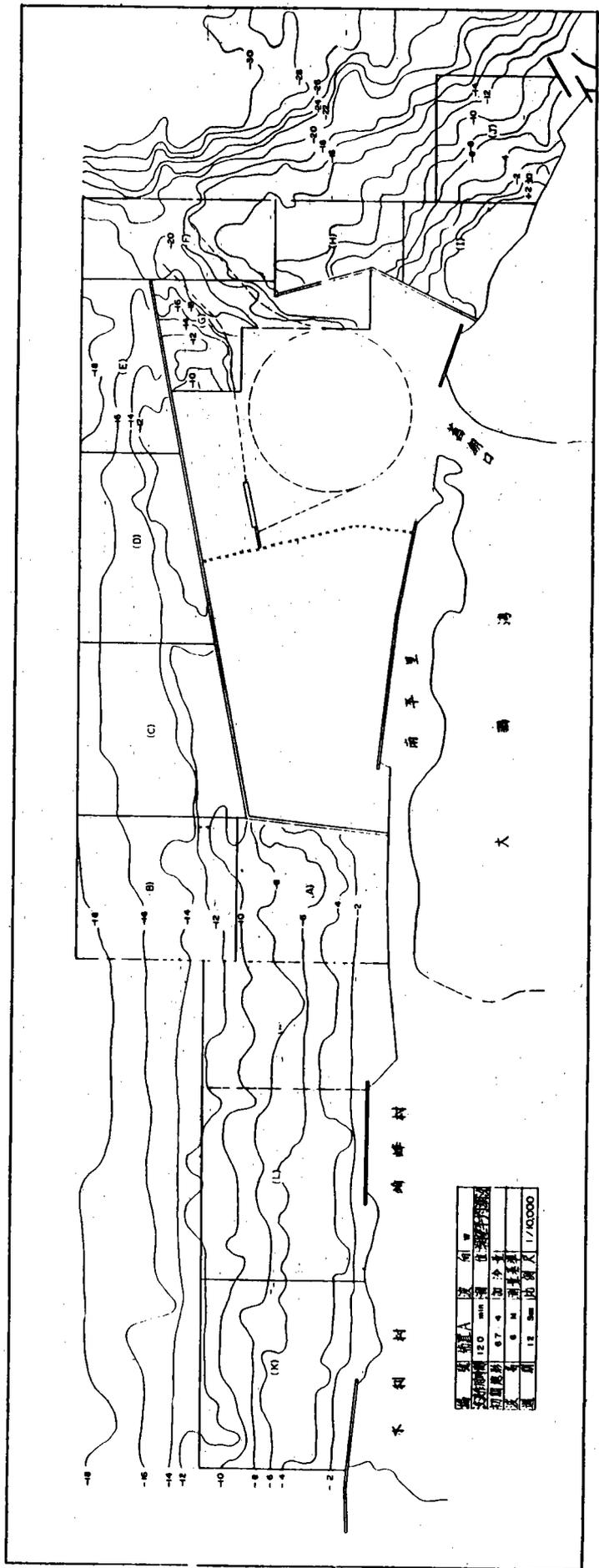


圖 34 (c)佈置 A, W向波浪作用後堤附近地形變化

太鵬灣漂沙試驗

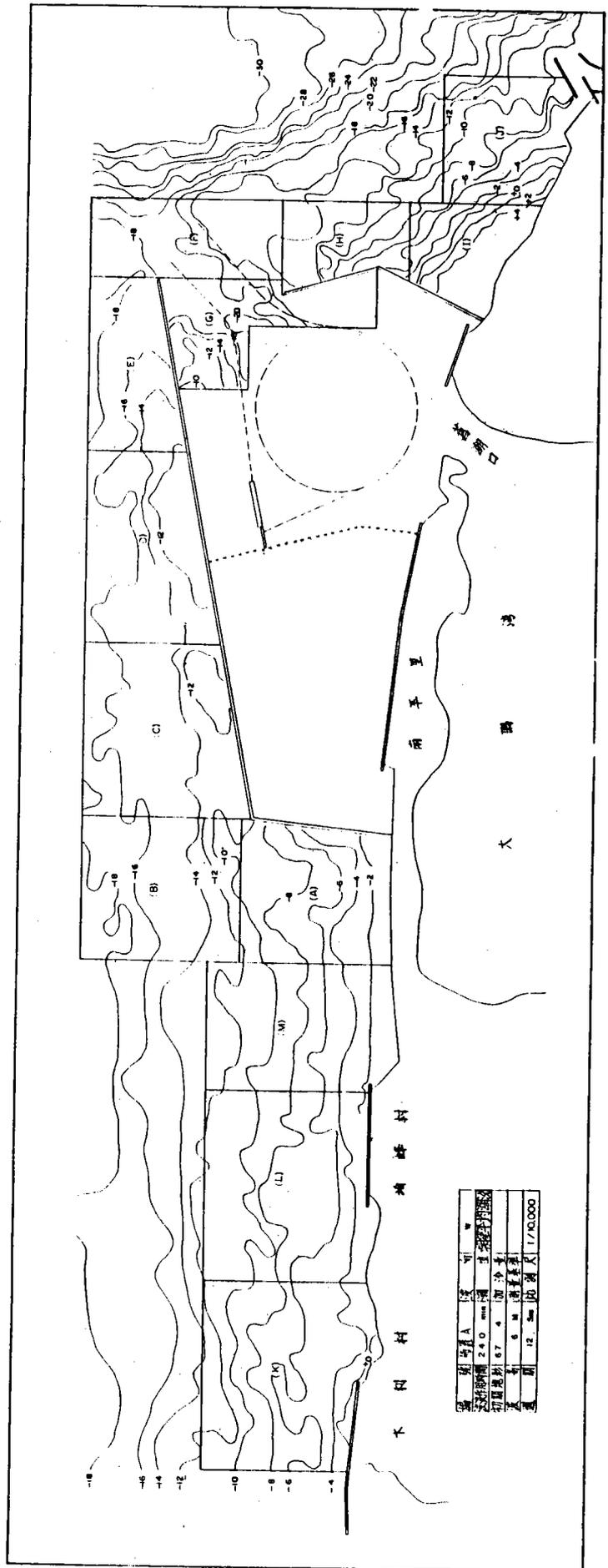


圖 34 (e) 佈置 A, W 向波浪作用後堤堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

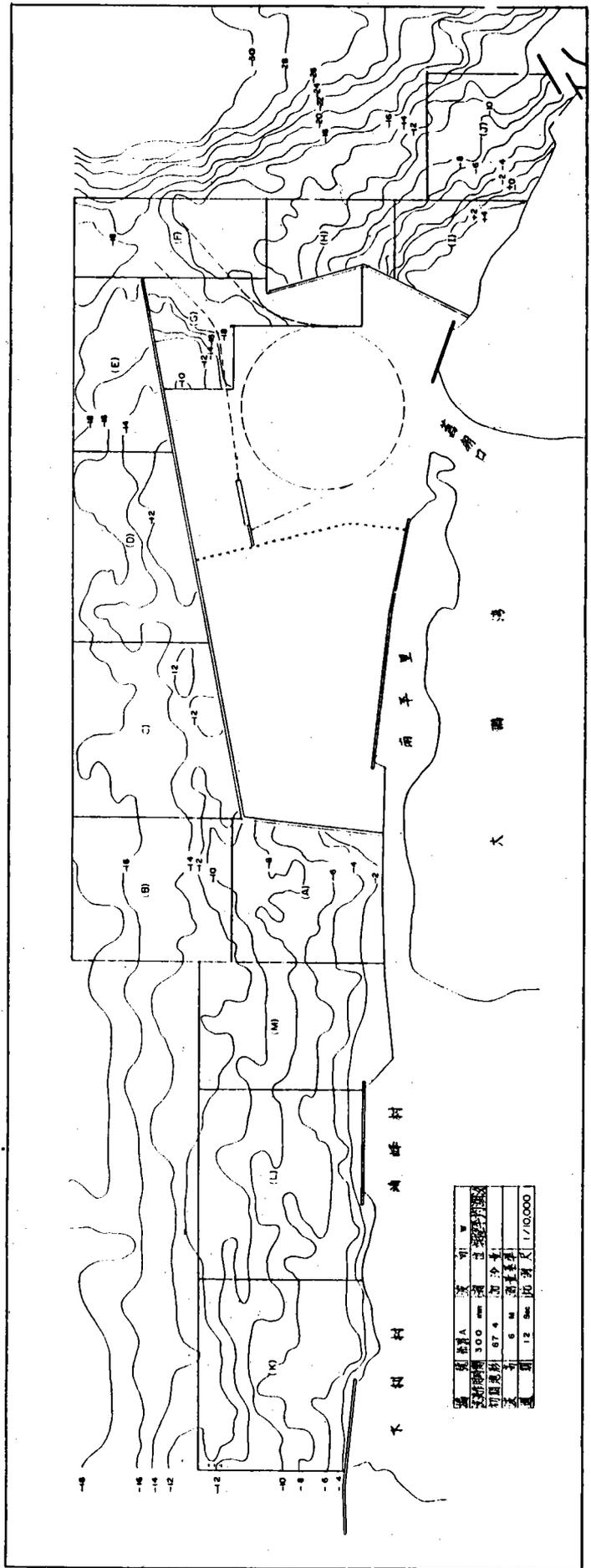


圖 34 (f)佈置 A, W向波浪作用後波堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

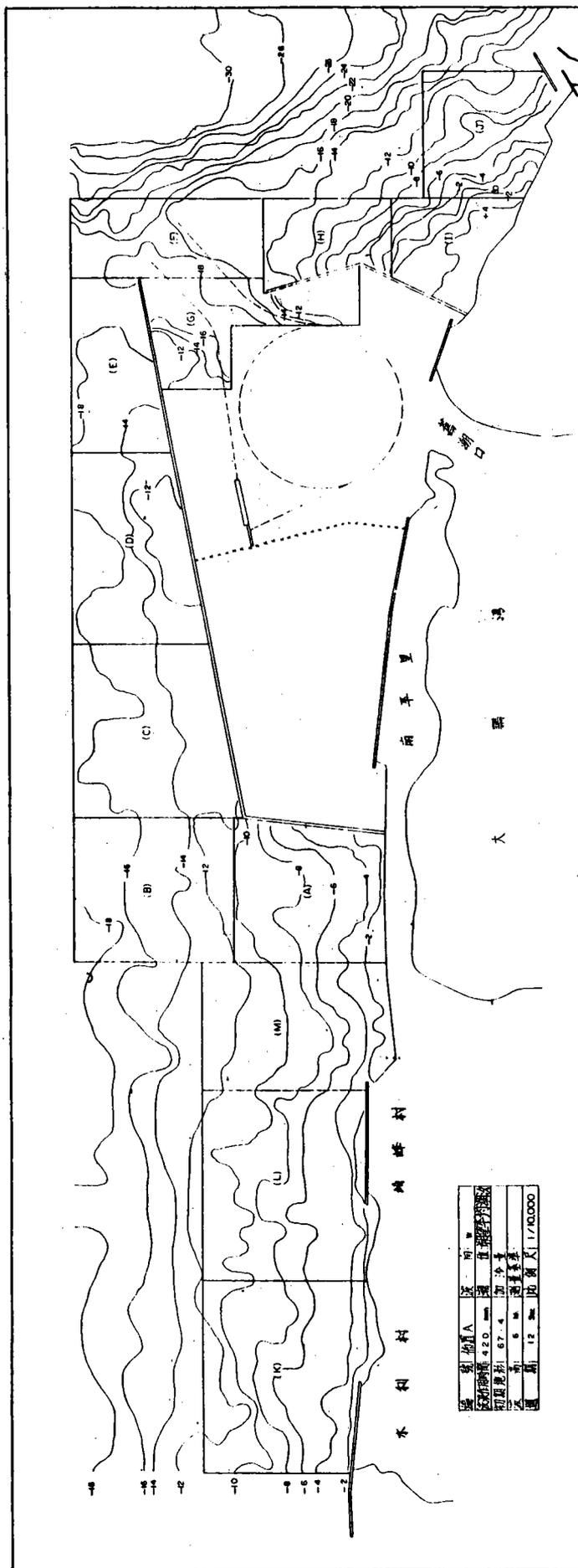


圖 34 (h) 佈置 A, W 向波浪作用後波堤附近地形變化

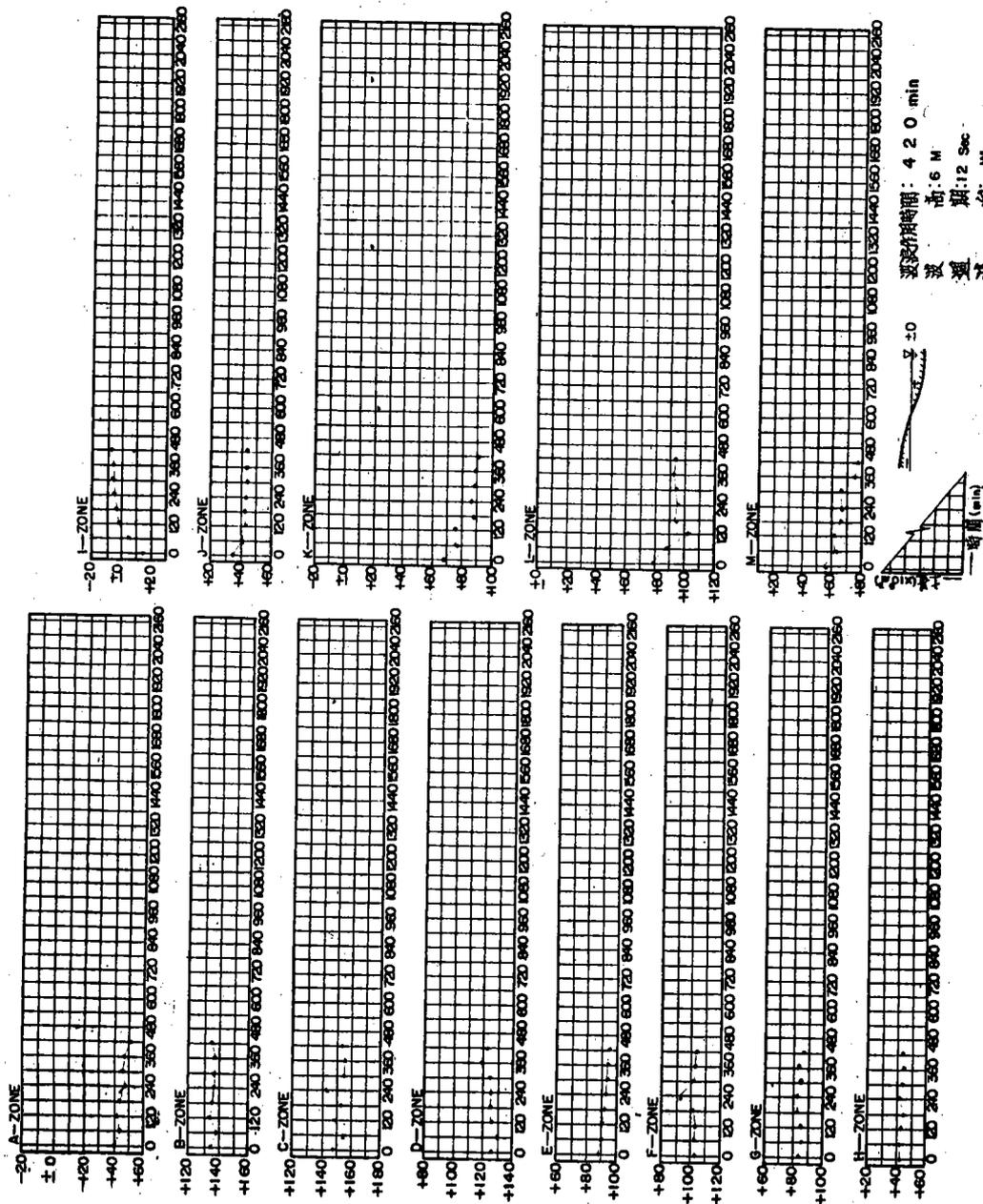


圖 35. 設置 A.W 向波作用枝防波堤附近堆積土量變化圖

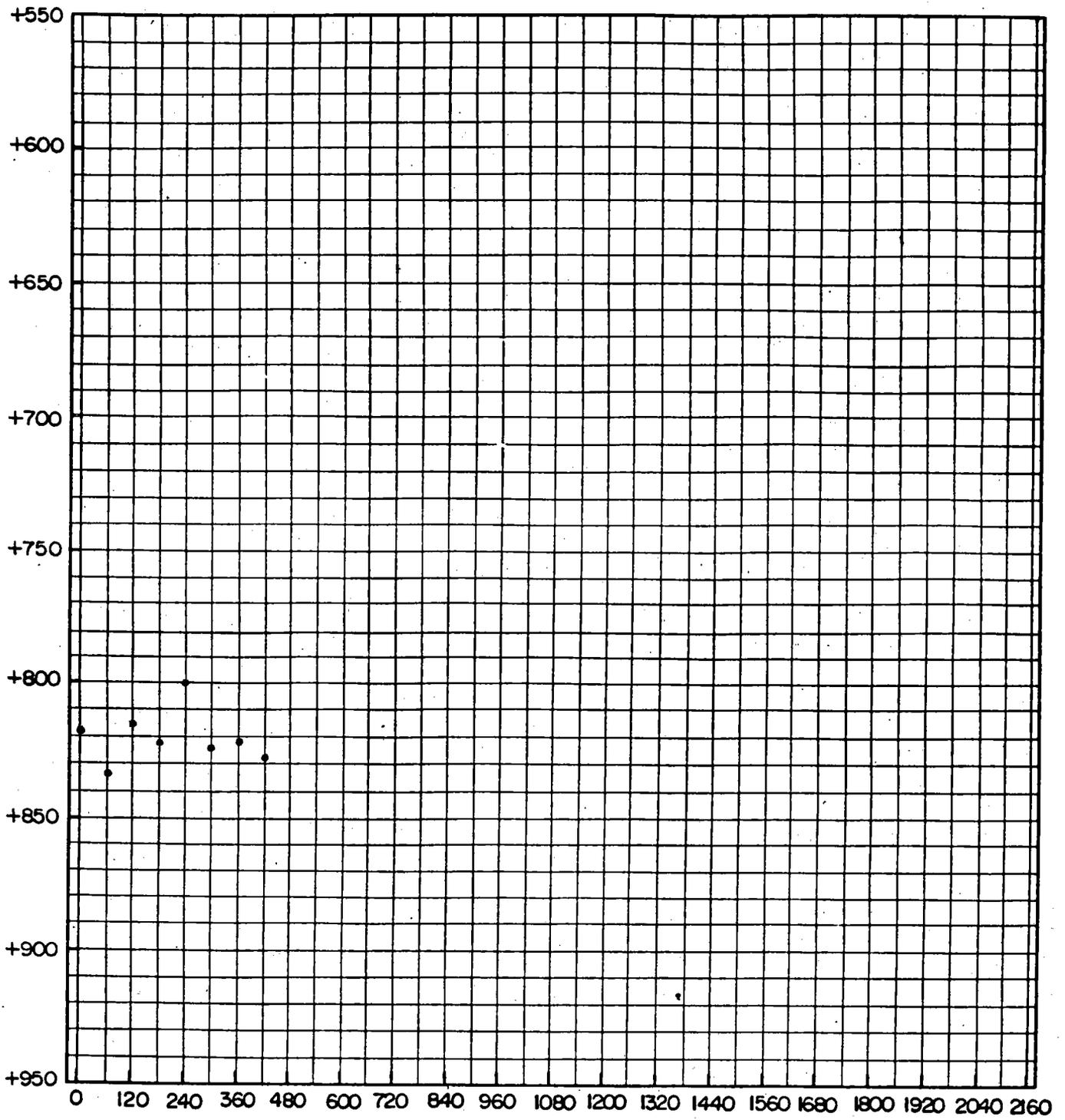


圖 35 (續) 防波堤附近全區堆積土量變化



圖 37-a 北防波堤與東港防沙堤間模型鋪設初期地形

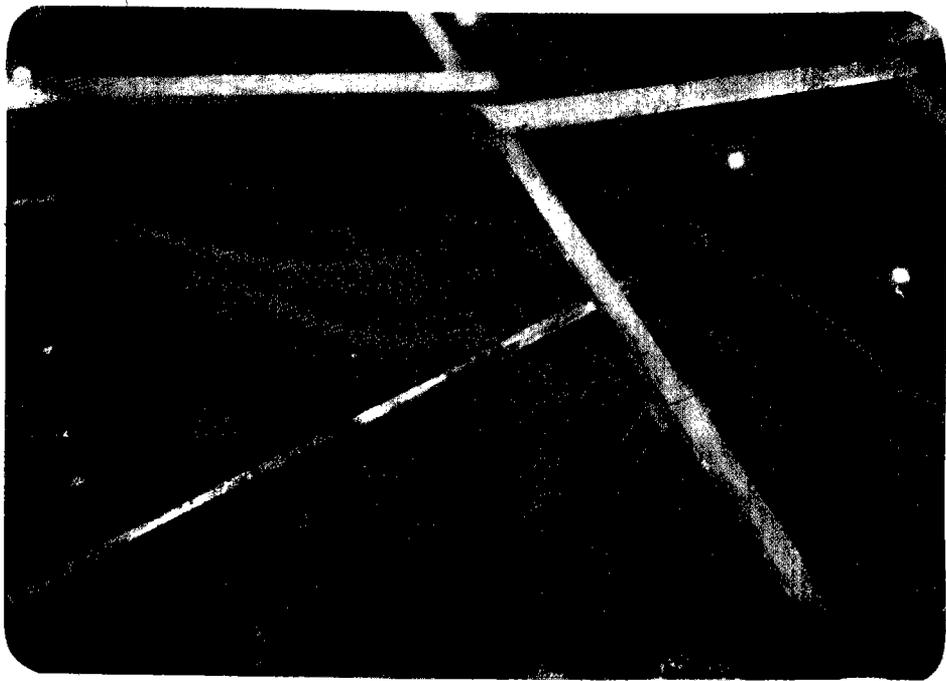


圖 37-b 大鵬灣南防波堤外側海灘模型鋪設初期地形

大鵬灣流況試驗記錄表

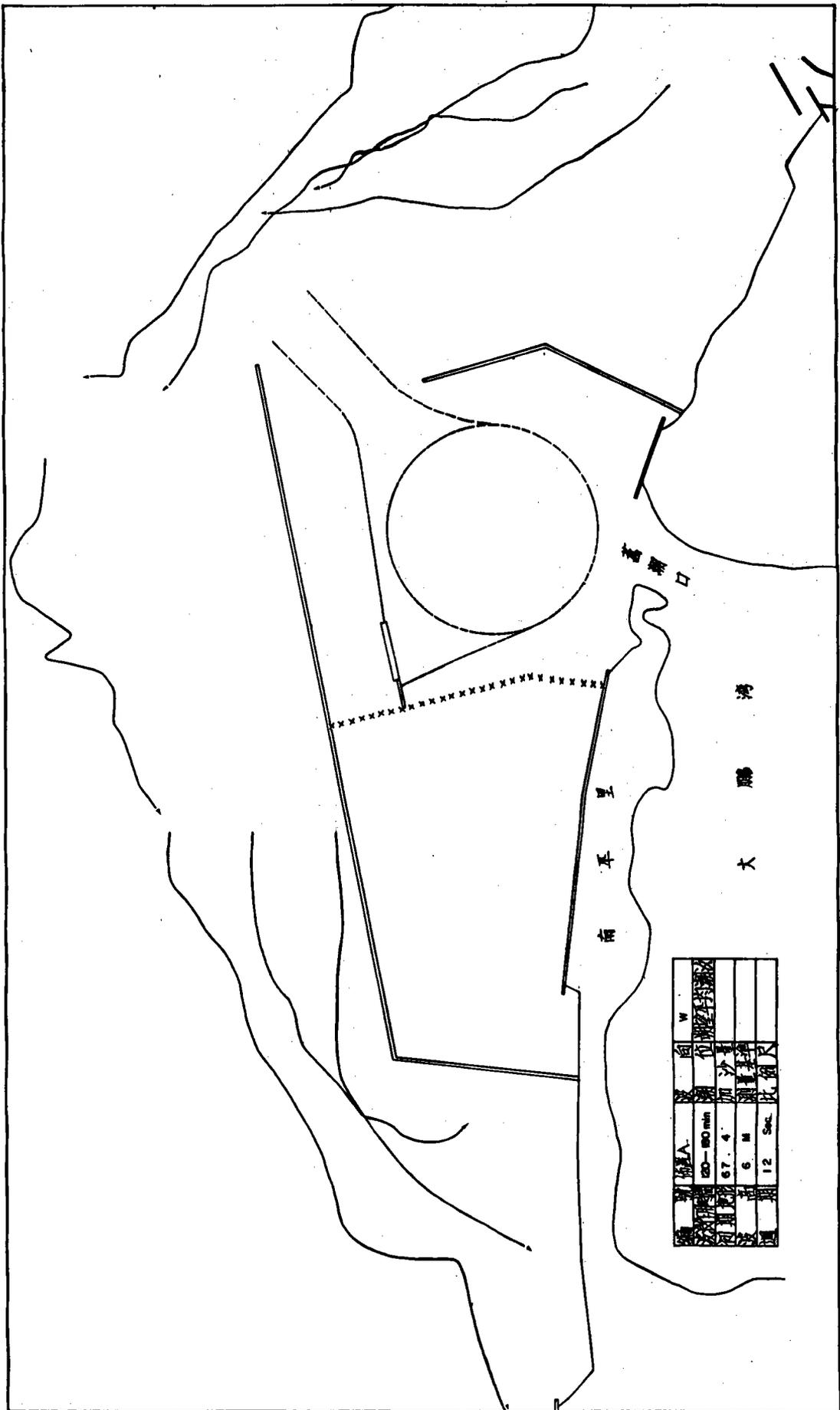


圖 38 (a) 佈置 A, W 向波浪作用各區流況分佈圖

大鵬灣流況試驗記錄表

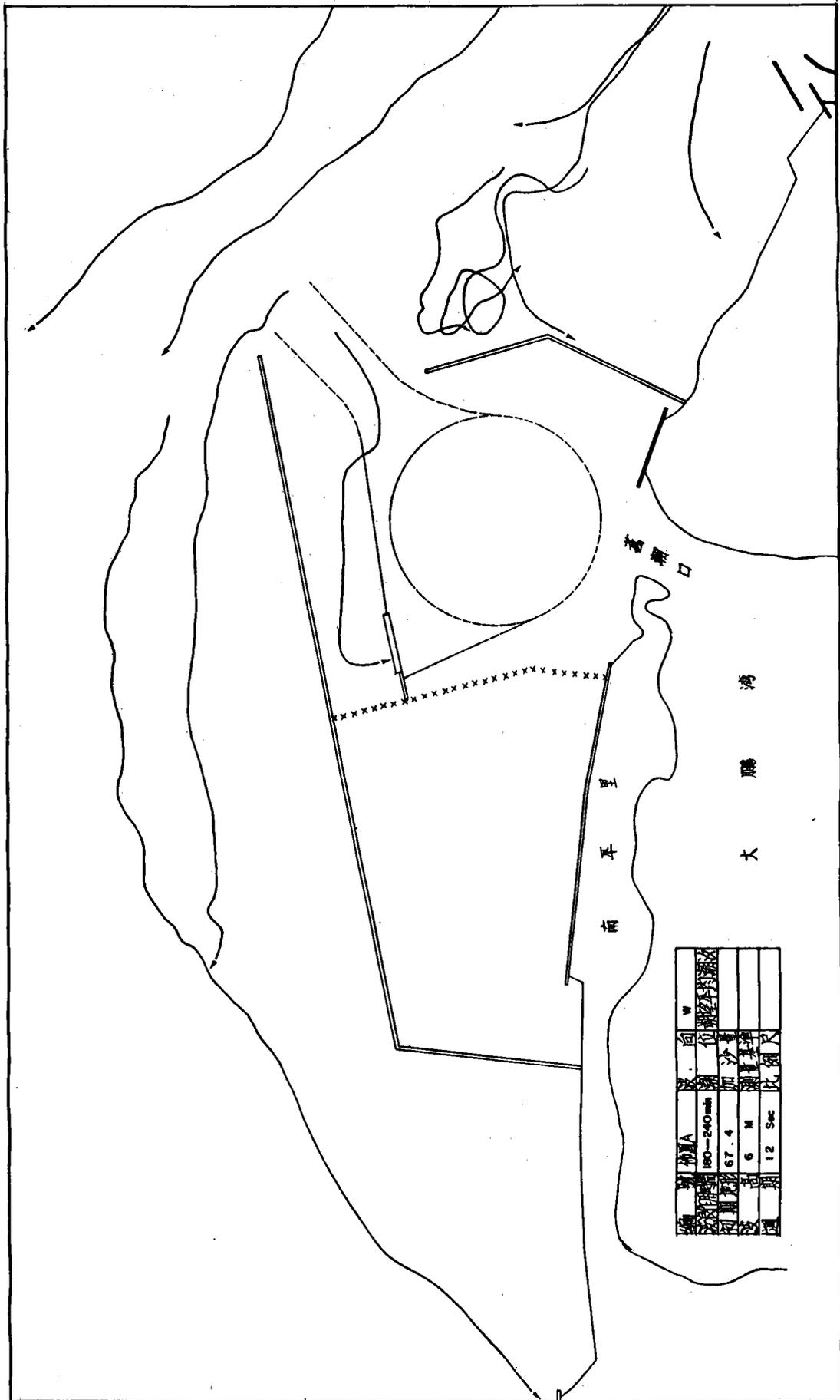


圖 38 (b) 佈置 A, W 向波浪作用各區流況分佈圖

(3)修訂計劃佈置B試驗結果如下

圖 39， a ~ g， 所示修訂佈置B波浪作用後防波堤附近地形變化。

圖 40， 所示修訂佈置B波浪作用後A ~ J區之土量變化。

圖 41， 所示修訂佈置B波浪作用後各主要點之水深變化。

試驗中各段時間之水深、土量等變化，分別摘要列如表 11 及 12。

佈置A試驗結果顯示，由於大鵬灣外廓堤防之興建，使北防波堤及東港防沙堤中間海岸所發生嚴重沖刷並造成東港港口淤塞情形，主要原因為南堤繞射波浪因受地形折射使波浪能量集中。為改善該區波浪狀況修訂佈置B南堤在原佈置A堤頭處折角後沿W S W向延長200公尺，堤頭水深達-16公尺，此佈置於試驗造波時間達360分鐘時，投射於林邊溪口泥沙由南向北移動，在水利村崎峰村外側高於-6m等深綫明顯向海側逐漸淤積。低於等深綫-6m則無多大變化。崎峰村以北到南堤垂直段間海域，因漂沙未到達該區致試驗初期因南堤垂直段反射波浪影響，呈急劇沖刷現象。特別在南堤折角處刷深約2~4公尺，沖刷之土沙量則淤積在南堤C區段。該區水深平均淤積約4公尺。南堤D區段呈沖刷現象，該區被沖刷之土砂量則淤積在南堤D區與E區交界處附近。南堤堤頭轉彎處因與SSE波向垂直，水深增加繞射波浪往深海擴散，故堤頭處水深綫變化不大。因南堤堤頭沿着波浪作用方向垂直延長200公尺，故在佈置A北防波堤及東港漁港防沙堤中間海岸嚴重沖刷情形，佈置B試驗結果證明已有顯著改善。低於-6m等深綫變化甚小，顯示該區因南堤堤頭之斜綫延長200公尺，波浪能量已大為減低。

沙慢慢達平衡狀態。向北移動，可能淤積於東港防沙堤南側之漂沙，則有向東港溪口深各滑落之趨勢，對東港防沙堤外側反而產生冲刷現象。當造波時間累積達 1800 分鐘時，南堤以南海岸等深綫此時已成平衡狀態。投置林邊溪口之泥沙開始越過南堤垂直段到達南堤 D 及 E 區交界，靠近南堤堤頭處，而北堤港側則呈淤積現象。惟航道水深仍維持不變，北防波堤與東港防沙堤間高於 -4 m 等深綫逐漸與海岸綫平行，顯示該區海岸在 S S E 向波浪作用下慢慢達平衡狀態。當試驗造波時間累積達 2160 分鐘時，漂沙繞過南堤堤頭堆積於港側。北防波堤與東港漁港防波堤海岸此時呈現淤積，但堆積在東港防沙堤南側，對東港漁港並無影響。該區各階段造波時間漂沙變化情形如圖 42 照片 a~f 所示。此種佈置流況測試結果如圖 43 所示。

由修訂佈置 B 試驗結果顯示，大鵬灣外廓堤防興建計劃若南堤堤頭沿 W S W 向沿伸 200 公尺則介於北防波堤及東港防沙堤間海岸，受南堤堤頭繞射波浪侵蝕情況已完全改變。佈置 A 顯示該地區受 S S E 波浪作用，發生嚴重冲刷現象，因南堤延長而得以維持海岸現狀，並使得東港港口免受漂沙淤塞，本修訂佈置，可作為高雄港務局規畫設計大鵬灣外廓堤防之依據。

大鵬灣漂沙試驗

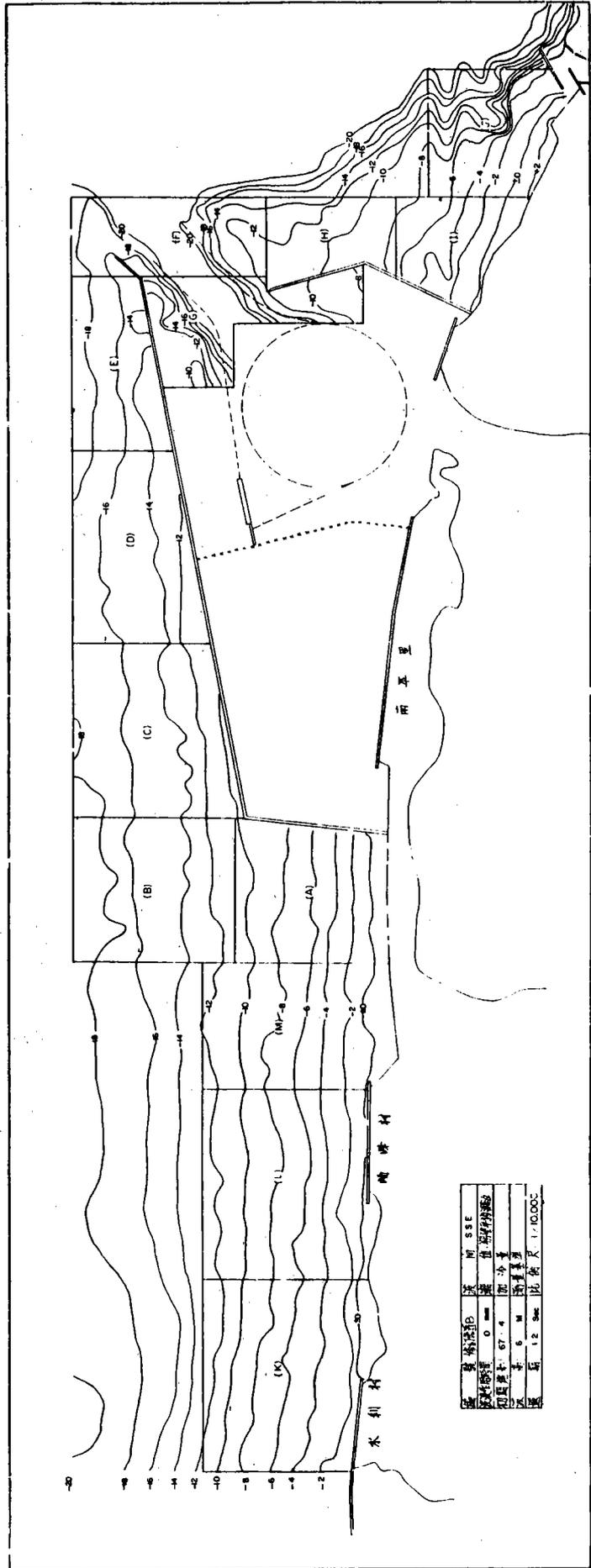


圖 39 (a) 修訂佈置 B 波浪作用後防堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

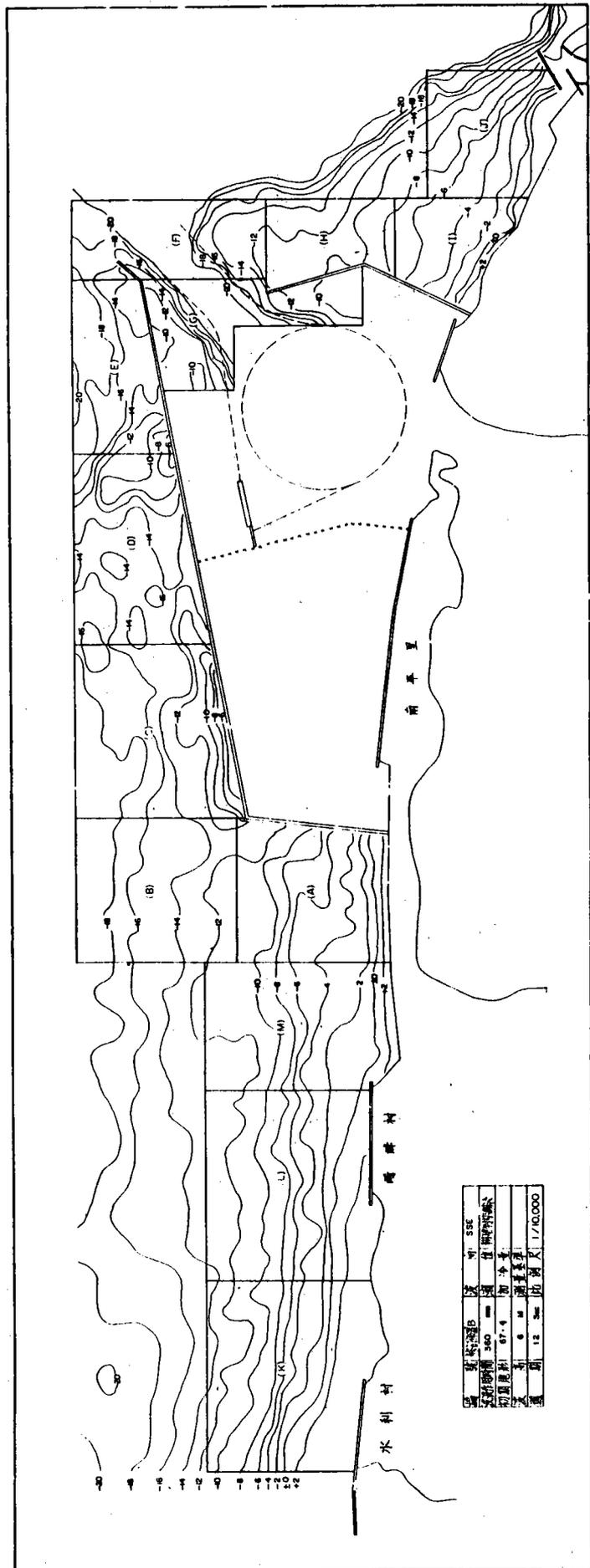


圖 39 (b) 修訂佈置 B 波浪作用後防波堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

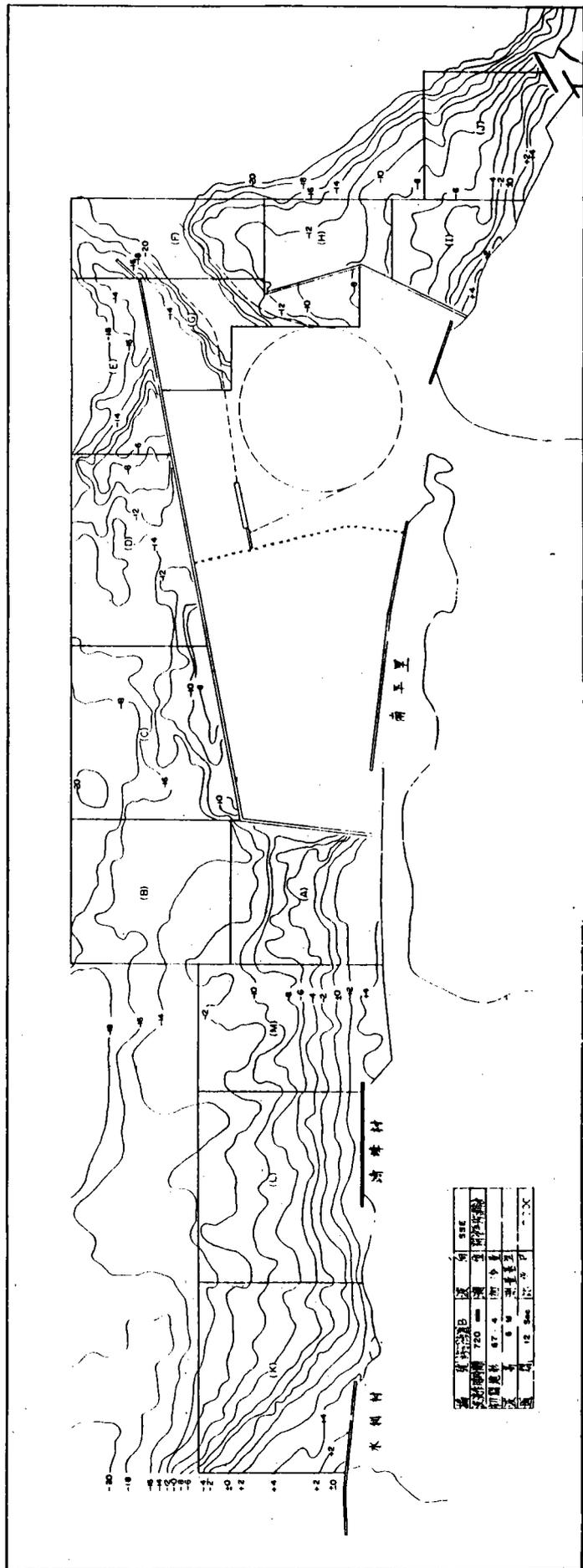


圖 39 (c) 修訂佈置 B 波浪作用後防堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗

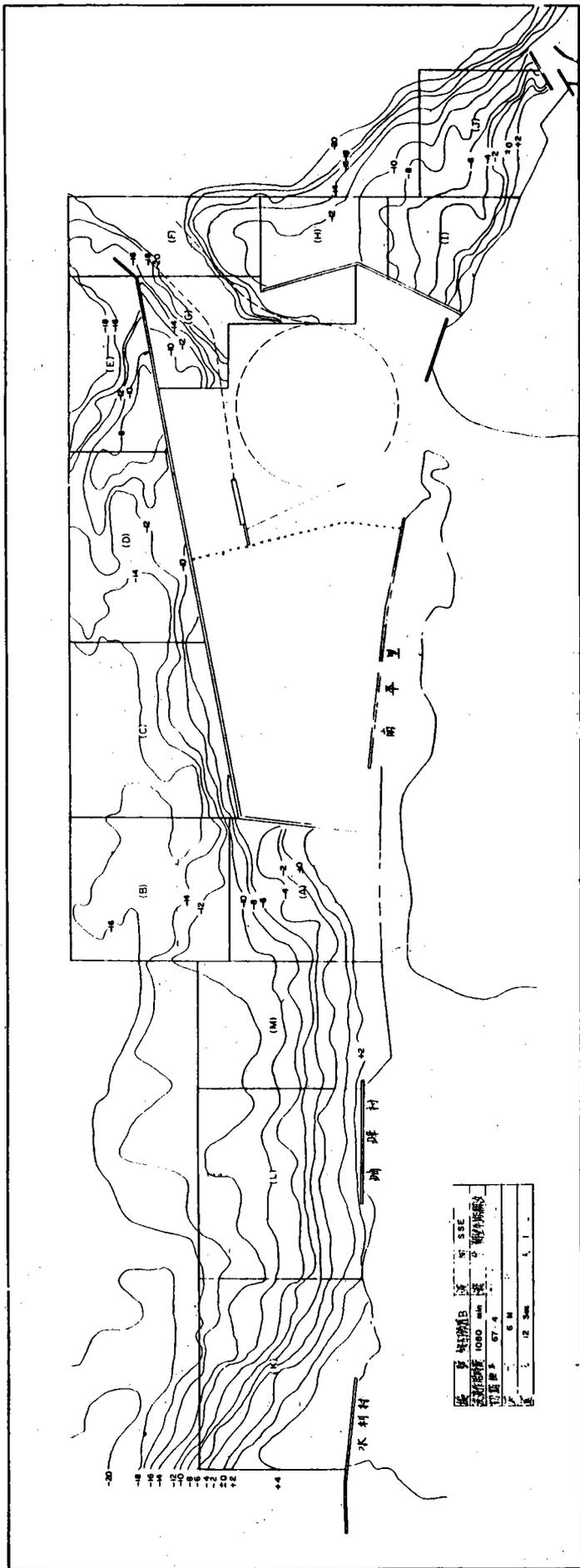
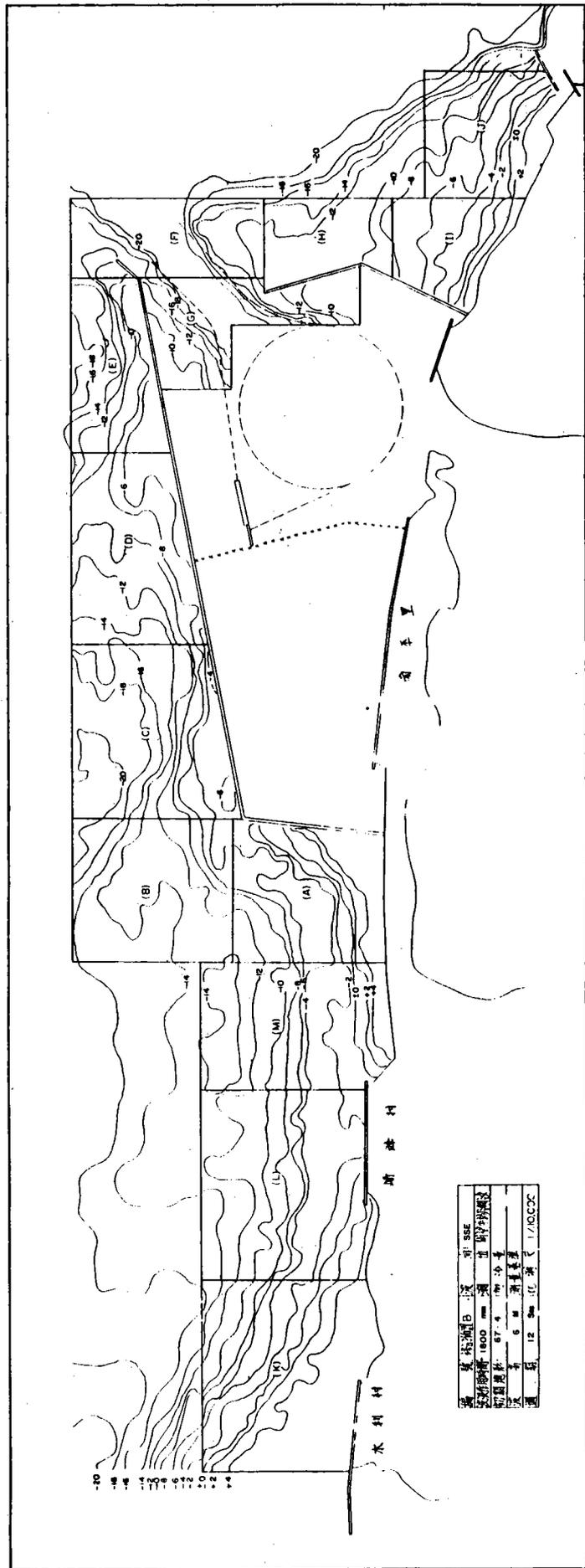
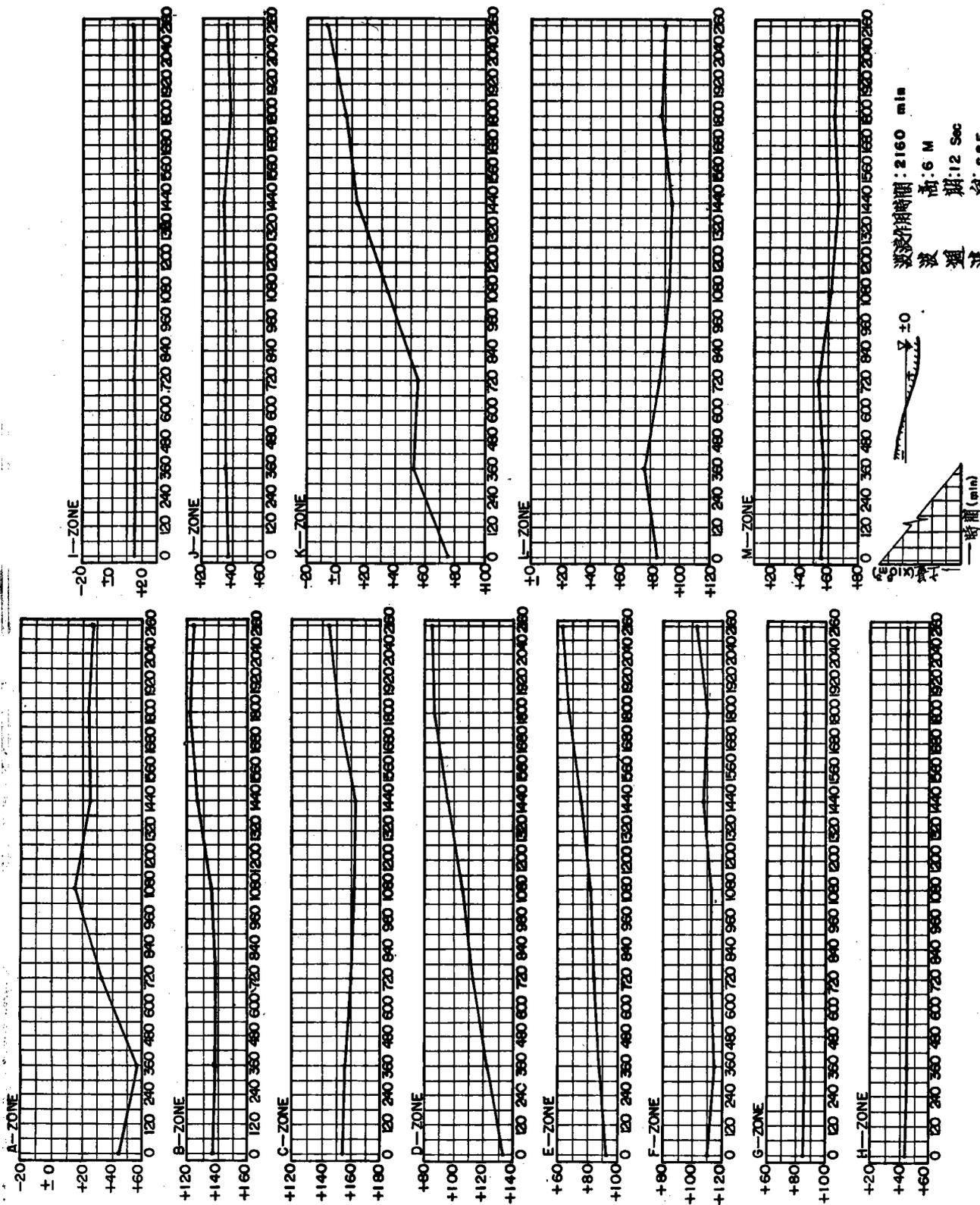


圖 39 (d) 修訂佈置 B 波浪作用後防波堤附近地形變化

大鵬灣漂沙試驗



圖'39 (f) 修訂佈置 B 波浪作用後防波堤附近地形變化



波浪作時間: 2160 min
 高: 6 M
 期: 12 Sec
 向: SSE
 任 潮望平海潮波

圖 40. 佈置 B 波浪作附後 A - J 區之土蓋變化

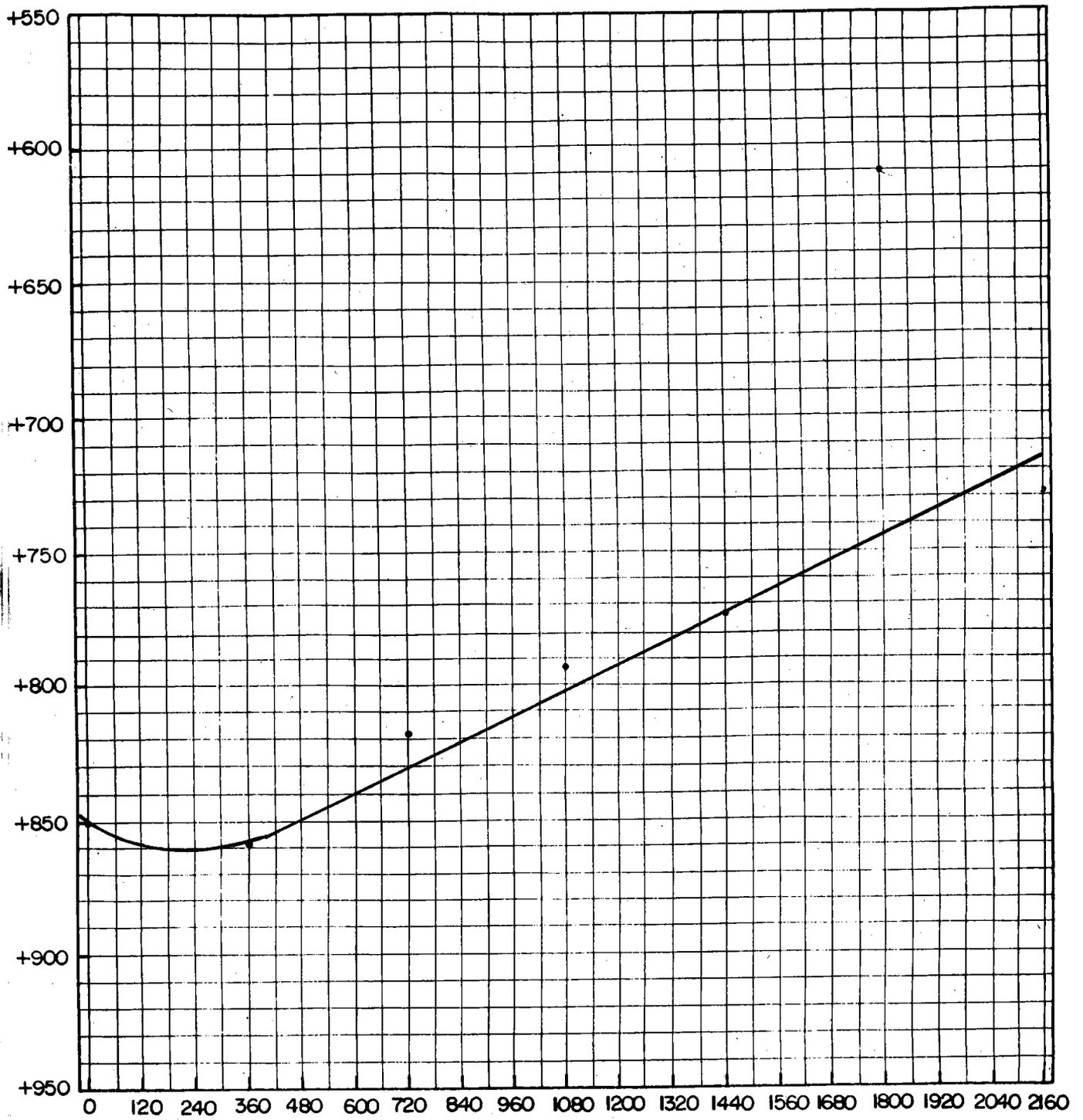
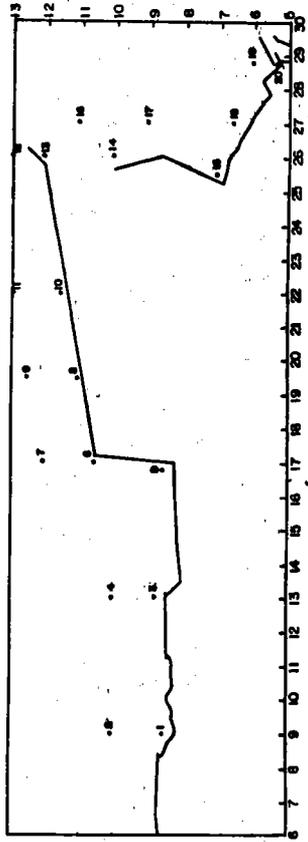
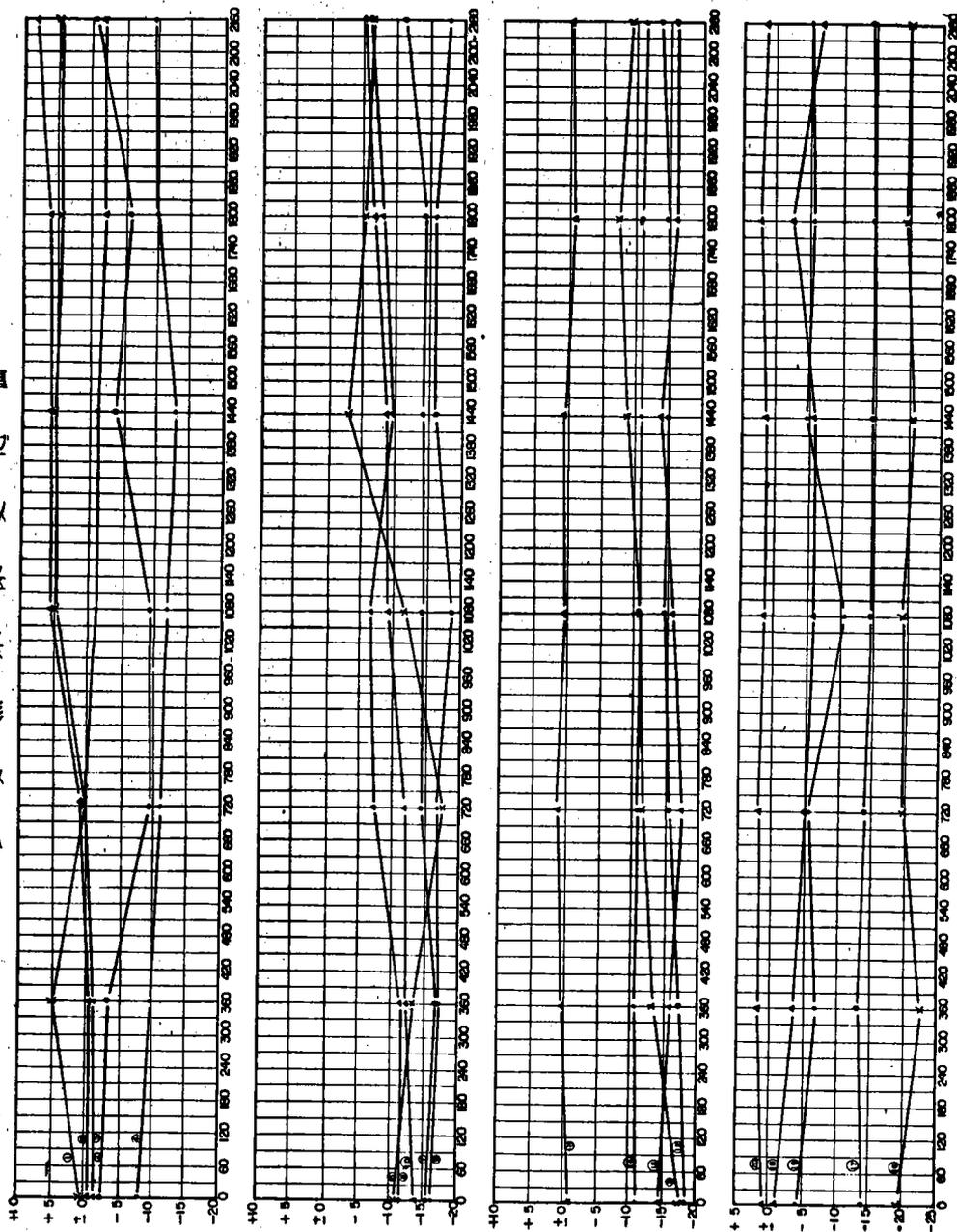


圖.40. (續) 防波堤附近全區堆積土量變化

主要點水深變化圖



波速 2180 m/h
 波高 0 m
 波期 12 min
 波位 3.94
 潮型 半日潮

圖 41. 修船區B. 波速和波高水深變化

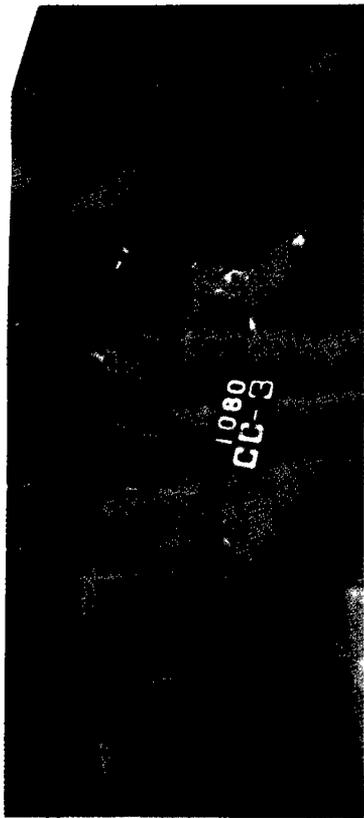
表 11 修訂佈置 B 試驗結果各主要點水深變化情形

時間 事項		0~720 min	720~1440 min	1440~2160 min
水 深 變 化	1	造波初期即發生嚴重冲刷現象刷深 4.9 m	無顯著變化	無顯著變化
	2	刷深 2.1 m	自 1080 分鐘後急劇淤積，淤淺 6 m	繼續淤淺 2.7 m
	3	淤淺 1.6 m	刷深 1.2 m	無顯著變化
	4	刷深 3.5 m	刷深 1.4 m	淤淺 2.5 m
	5	無顯著變化	自 720 分鐘後急劇冲刷 5.3 m	自 1800 分鐘後刷深 2.2 m
	6	急劇刷深 7 m	急劇淤積，淤淺 14.7 m	該階段發生冲刷現象，刷深 3.7 m
	7	淤淺 1.1 m	無顯著變化	淤淺 2.5 m
	8	自 360 分鐘後急劇淤積，淤淺 4.2 m	自 1080 分鐘後刷深 2.3 m	逐漸淤積，淤淺 3.0 m
	9	無顯著變化	無顯著變化	無顯著變化
	10	無顯著變化	自 720 分鐘後急劇淤積 3.4 m 以後則無顯著變化	淤淺 2.7 m
	11	初期即發生嚴重冲刷現象淤淺 6.1 m	淤淺 2.9 m	該階段發生冲刷現象
	12	淤淺 2.2 m	淤淺 1.1 m	淤淺 1.7 m
	13	刷深 2.7 m	淤淺 3.7 m	刷深 1.8 m
	14	無顯著變化	無顯著變化	無顯著變化
	15	無顯著變化	無顯著變化	淤積 1.0 m
	16	無顯著變化	無顯著變化	無顯著變化
	17	無顯著變化	無顯著變化	無顯著變化

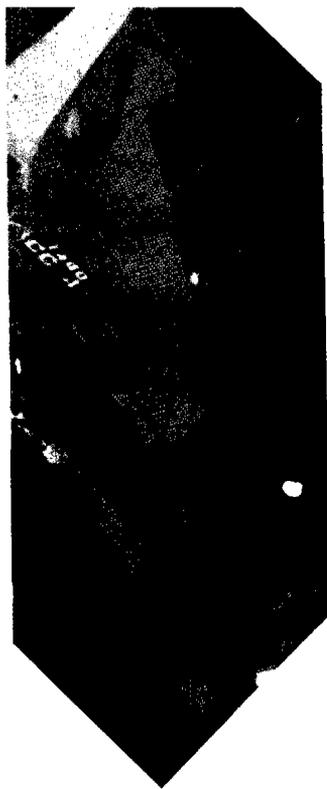
18	急劇沖刷，刷深 3.7 m	無顯著變化	無顯著變化
19	刷深 1.4 m	無顯著變化	無顯著變化
20	刷深 1.3 m	無顯著變化	無顯著變化

表 12 修正佈置 B 各區土沙量變化情形

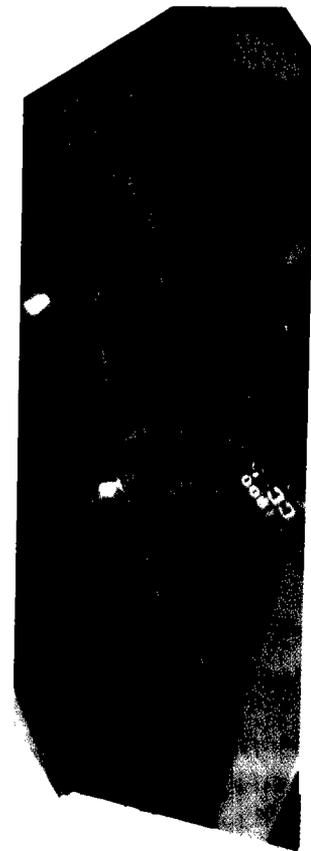
時間 事項		0~720 min	720~1440 min	1440~2160 min
土 量 變	A	初期發生沖刷現象以 $2 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率減少，360 分後以 $4 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加累計土沙量增加 $12 \times 10^5 \text{ m}^3$ 土沙量	720~1080 分以 $3 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加，1080 分後以 $1.8 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率減少累計增加 $7.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 土沙量	以 $0.5 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率減少
	B	土沙量無顯著變化	以 $1.0 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加，土沙量增加 $12 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量無顯著變化
	C	土沙量以 $0.5 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率減少	720~1080 以 $0.7 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率減少，1080 分後土沙量無顯著變化	土沙量以 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加，土沙量增加 $18 \times 10^5 \text{ m}^3$
	D	土沙量以 $1.7 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加	土沙量以 $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加	1440~1800 以 $3 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加 1800 後則無顯著變化
	E	土沙量以 $0.7 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加	自 1080 分後以 $1.7 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率增加，累積增加 $7 \times 10^5 \text{ m}^3$	以 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積，土沙量增加 $14 \times 10^5 \text{ m}^3$
	F	土沙量無顯著變化	自 1080 分後以 $0.6 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 速率淤積，土沙量增加 $4 \times 10^5 \text{ m}^3$	土沙量無顯著變化



(d) 累積造波時間 1080分



(e) 累積造波時間 1440分



(f) 累積造波時間 1800分



(a) 修訂佈置B初期地形



(b) 累積造波時間 360分



(c) 累積造波時間 720分

圖 42 修訂佈置B各階段造波時間漂沙變化情形

大鵬灣流況試驗記錄表

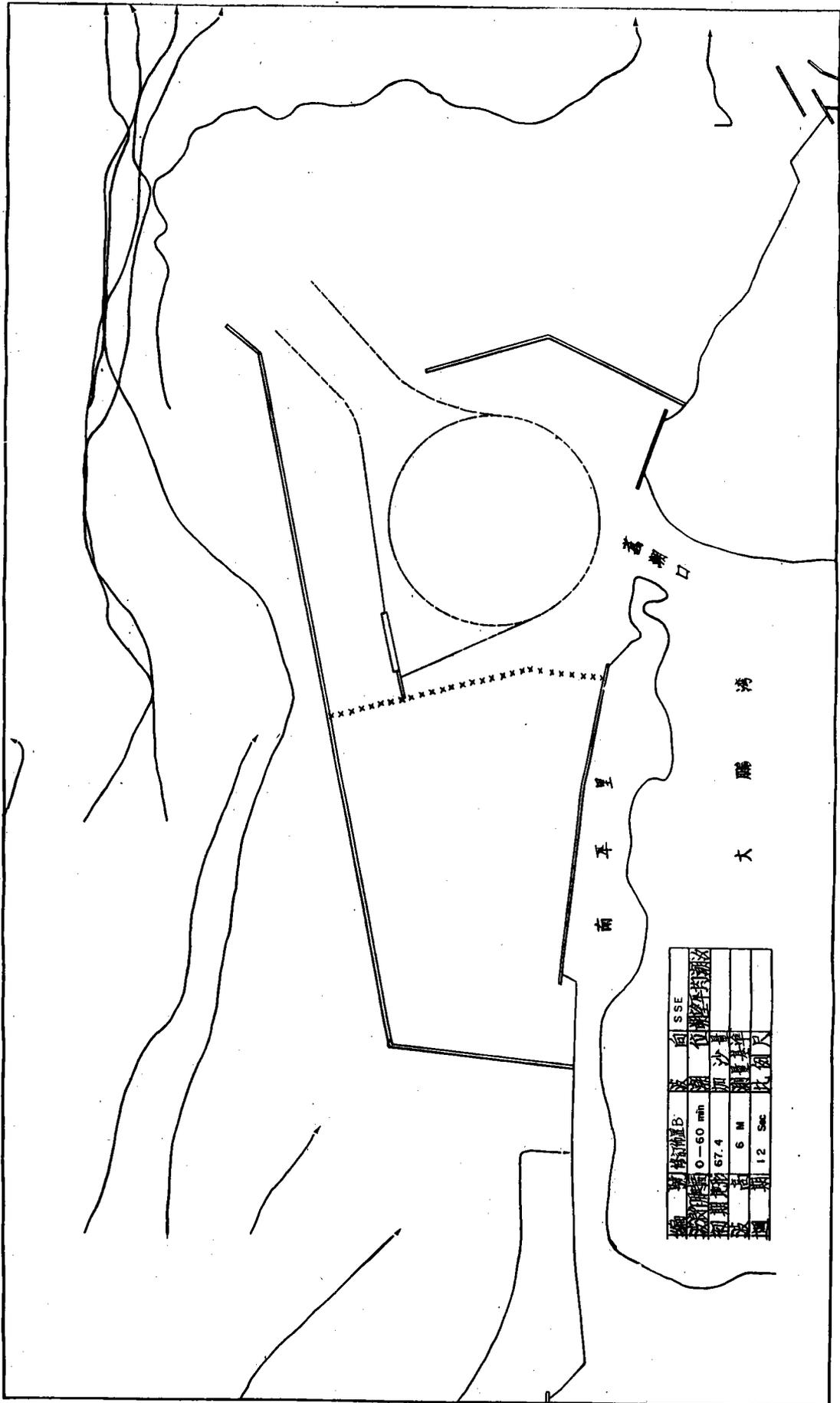


圖 42 (a) 修訂佈置 B 波浪作用各區流況分佈圖

大鵬灣流況試驗記錄表

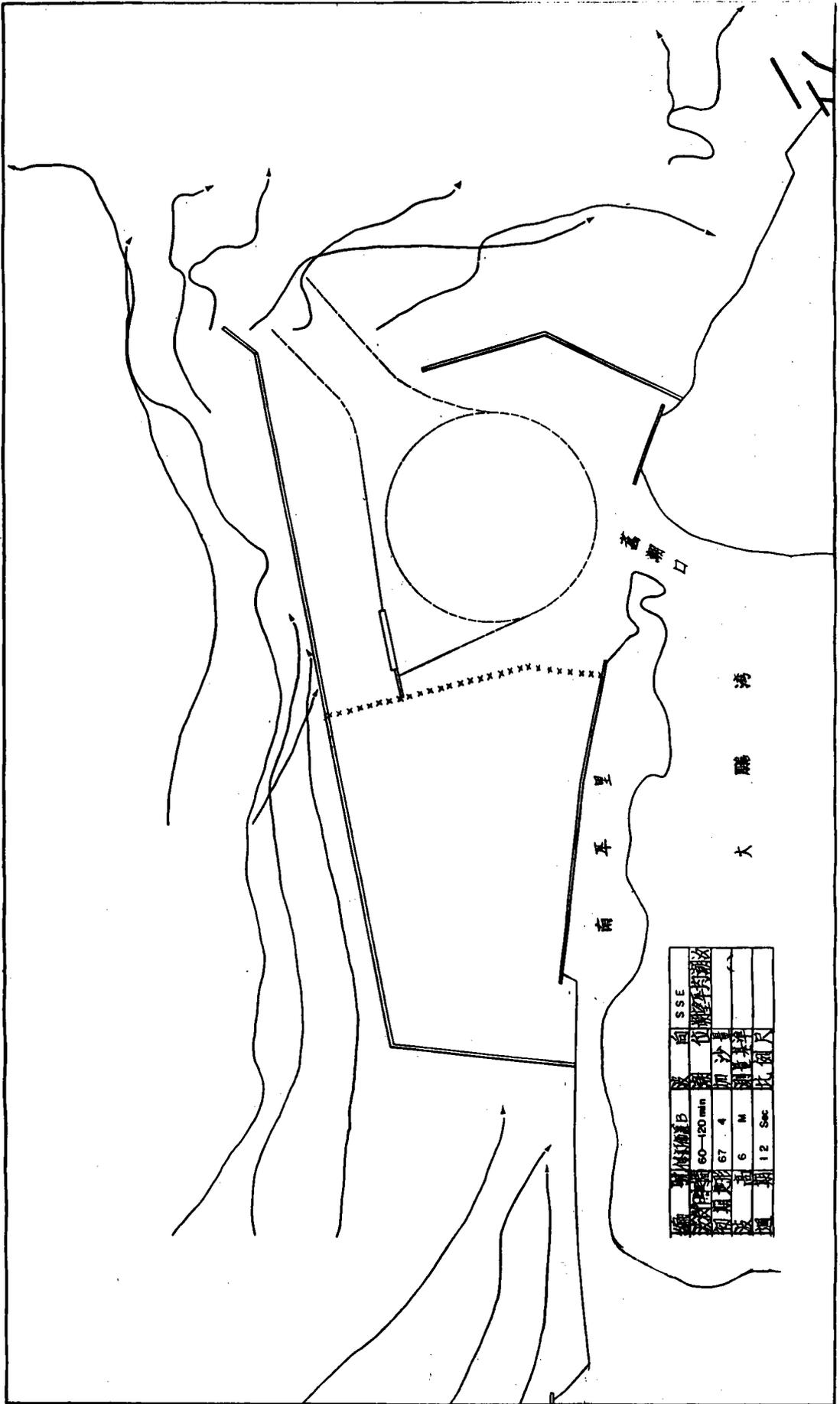


圖 42 (b) 修訂佈置 B 波浪作用各區流況分佈圖

大鵬灣流況試驗記錄表

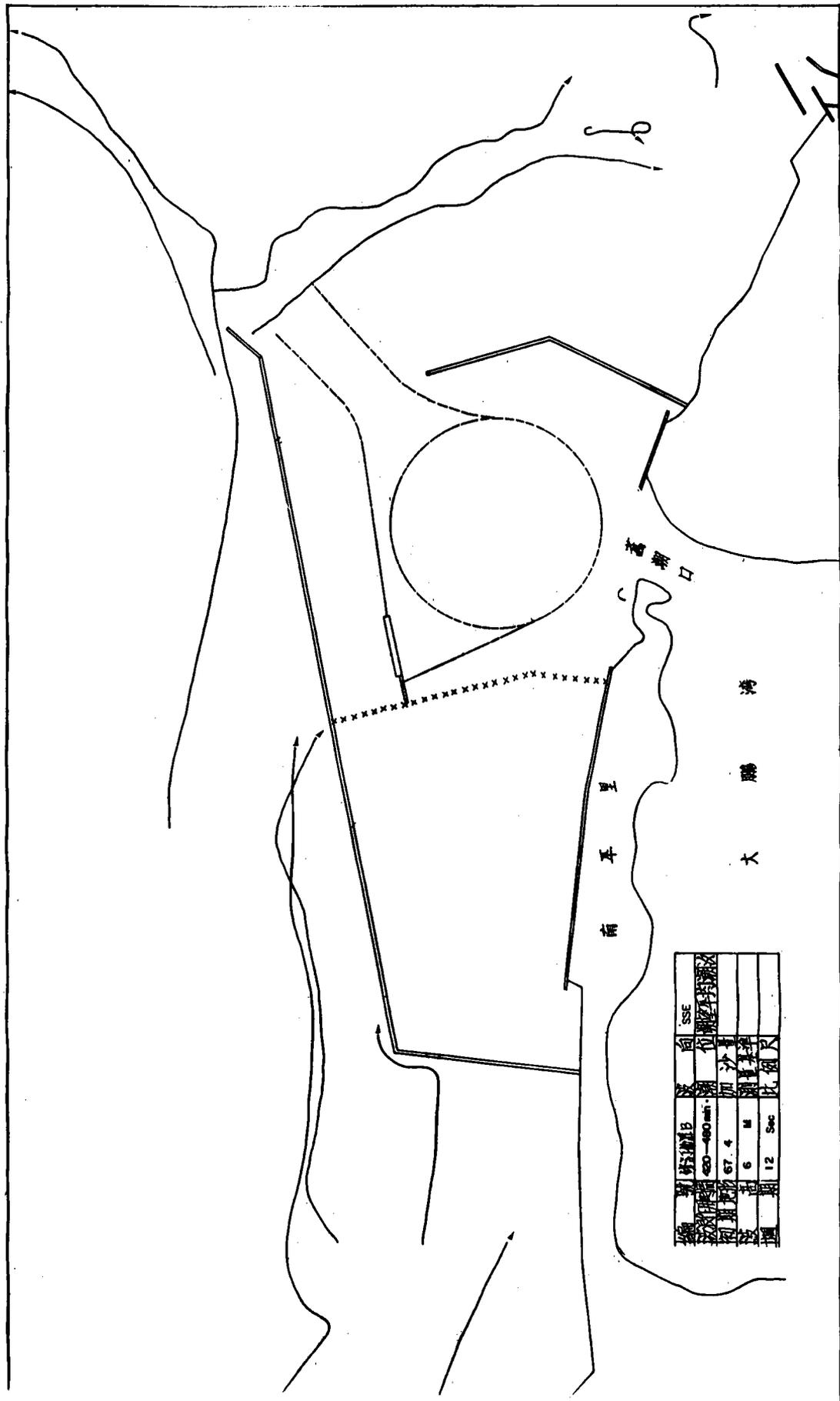


圖 42 (c) 修訂佈置 B 波浪作用各區流況分佈圖

拾、結論與建議

綜合以上兩種佈置試驗結果獲得以下數點結論與建議：

- 一、根據遮蔽試驗所擬防浪最佳之佈置A，漂沙試驗結果顯示南防波堤堤頭繞射波對東港與大鵬灣間海岸造成嚴重沖刷，其移動之泥沙，則加速東港漁港港口之淤塞。
- 二、修訂佈置B係將原佈置A南堤自堤頭起向WSW延伸200 m，堤線與入射波向SSE垂直。使得堤頭繞射波有向水深較大海域擴散，試驗結果顯示：大鵬灣外廓堤防佈置就防沙效果而言，以修訂佈置B較佳。此種佈置，不但可以免除大鵬灣與東港間海岸受沖刷，而且還能有效防止大鵬灣及東港港口受淤積。
- 三、佈置A在無漂沙來源情況下，受西W向波浪作用，沿岸地形初期發生侵蝕現象，但隨試驗時間增長而漸達成平衡狀態。
- 四、大鵬灣南防波堤折角處，受SSE颱風波浪侵襲時，由於沿岸流受收斂邊界影響，流速增大，初期將發生嚴重沖刷現象，設計時須特別注意。
- 五、大鵬灣南防波堤堤頭附近因繞射波浪影響，初期亦發生小量沖刷現象。但隨試驗時間增長而逐漸回淤，為避免因繞射波浪侵蝕大鵬灣北防波堤與東港防沙堤間海岸，而造成東港漁港港口淤塞。建議堤頭應作消波設施，並應作進一步較大縮尺堤頭斷面試驗研究。
- 六、本試驗顯示大鵬灣沿岸漂沙活動非常敏感，試驗佈置略有變更，則顯著影響沿岸沖淤形態，此係假設外廓堤防在同時完成條件下，所獲致結果。為使實地情況能與模型試驗吻合，建議大鵬灣外廓堤防興建應儘量一氣呵成。

七、為獲得防沙防波俱佳之外廓堤防佈置，建議辦理遮蔽檢核試驗以了解修訂佈置B之遮蔽效果。

參 考 資 料

- 1 A. T. Ippen (1971), Estuary and Coastline 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 東港漁港港口改善及長期擴建規劃報告 (1977) , 漁業技術顧問社
- 6 屏東大鵬灣建港測量調查工作報告書 (1980) , 高雄港務局
- 7 屏東大鵬灣建港觀測資料研判模試評估工作 (上册) (1980) , 中華顧問工程司
- 8 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, 港灣技術研究所, 專刊第 1 號

Model Studies of Littoral Drift on Ta-peng-wan

ABSTRACT

The main purpose of this program is to perform hydraulic model test for studying the littoral drift characteristics and furthermore to investigation the influence on Tung-Kang Fisher Harbor and it's neighborhood coastal line offer construction of Ta-peng-wan outer breakwater proposed by Kaoshiung Harbor Bureau. The field data available are limited and inconsistent, it is unable to reproduce prototype phenomenon in model. Hence, the model scale of time factor can not be obtained. To predict the amount of littoral drift transport quantitatively on movable-bed model investigation is impossible at present state. Therefore the authers have put their efforts to the qualitative study for the erosion or accumulation at Ta-peng-wan after construction of outer breakwater. The testing result shows the layout proposed by Kaoshiung Harbor Bureau is not acceptable. An amendent layout of breakwater recommended by the authers from experiential Observation has obviously reduce the influence of littoral drift on Tung-Kang Fisher Harbor. The amendent layout can be adopted for reference of planning and design of Ta-peng-wan Auxiliary Harbor.