

花蓮港整體規劃及未來發展計畫 — 長浪及漂砂防制研究

第四子計畫：綜合改善方案研定

委辦單位：台灣省政府交通處花蓮港務局

承辦單位：台灣省政府交通處港灣技術研究所

中華民國 八十六 年 十一 月

花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂砂防制研究

第四子計畫：綜合改善方案研定

1. 防波堤結構斷面型式實驗研究

計畫主持人	張金機	所長
協同主持人	廖慶堂	助理研究員
研究人員	邱永芳	研究員兼組長
	徐如娟	助理

2. 防波堤堤線配置平面試驗

計畫主持人	簡仲璟	研究員兼組長
協同主持人	江金德	助理研究員

3. 港口漂砂淤改善檢核試驗研究

計畫主持人	何良勝	研究員
-------	-----	-----

4. 綜合改善方案

計畫主持人	黃清和	研究員
共同主持人	王慶福	研究員
協同主持人	蔡立宏	助理研究員
研究人員	張金機	所長
	簡仲璟	研究員兼組長
	何良勝	研究員

本計畫支援人員

技工：楊怡芸、何炳紹、蔡瑞成、陳進冰、李江澤

目 錄

圖目錄.....	I
表目錄.....	IV
壹、研究計畫背景及目的	1
貳、研究方法與步驟	6
參、花蓮港港灣設施改善計畫研究成果檢討	7
一、水工模型試驗	7
二、數值模式計算	9
三、改善港口淤積研究	10
四、改善佈置研擬	11
五、東防波堤改善方案研擬	12
肆、綜合改善方案研擬	47
一、防波堤結構斷面型式試驗	47
二、防波堤線配置平面試驗	48
三、港口漂砂淤積改善檢核試驗	49
四、綜合改善方案研擬	52
五、施工經費	52
伍、法國及葡萄牙港灣工程考察	82
陸、結論及建議	92
附錄.....	93

圖 目 錄

圖 1	花蓮港位置圖	4
圖 2	花蓮港目前碼頭佈置及現況圖	5
圖 3	平面水工模型試驗佈置圖 (方案 A)	22
圖 4	平面水工模型試驗佈置圖 (方案 B)	23
圖 5	平面水工模型試驗佈置圖 (方案 C)	24
圖 6	平面水工模型試驗佈置圖 (方案 D)	25
圖 7	平面水工模型試驗佈置圖 (方案 E)	26
圖 8	數值模式計算佈置 A	27
圖 9	數值模式計算佈置 B	28
圖 10	數值模式計算佈置 C	29
圖 11	數值模式計算佈置 D	30
圖 12	數值模式計算佈置 E	31
圖 13	數值模式計算佈置 F	32
圖 14	建議改善佈置圖	33
圖 15	新東堤修護斷面示意圖	34
圖 16(a)	花蓮港舊東堤平面佈置圖(82.8.1)	35
圖 16(b)	花蓮港舊東堤斷面圖(0m~270m)	36
圖 16(c)	花蓮港舊東堤斷面圖(270m~450m)	36
圖 16(d)	花蓮港舊東堤斷面圖(450m~990m)	37
圖 16(e)	花蓮港舊東堤斷面圖(990m~1080m)	37
圖 16(f)	花蓮港舊東堤斷面圖(1080m~1330m)	38
圖 17	花蓮港舊東堤堤身淘空搶修示意圖	39
圖 18(a)	花蓮港舊工堤-3 ^m 水深段修繕斷面圖	40
圖 18(b)	花蓮港舊工堤-5 ^m 水深段修繕斷面圖	41
圖 18(c)	花蓮港舊工堤-6.5 ^m 水深段修繕斷面圖	42

圖 19	花蓮港舊東堤 70 ^M ~910 ^M 段修繕斷面示意圖.....	43
圖 20	花蓮港東堤改善平面配置圖 (方案一)	44
圖 21	花蓮港東堤改善平面配置圖 (方案二)	45
圖 22	花蓮港東堤改善平面配置圖 (方案三)	46
圖 23	花蓮港東防波堤試驗斷面 (I) (水深-12 ^m)	56
圖 24	花蓮港東防波堤試驗斷面 (II) (水深-15 ^m)	57
圖 25	花蓮港東防波堤試驗斷面 (III) (水深-20 ^m)	58
圖 26	花蓮港港池現有佈置 (佈置 A)	59
圖 27	花蓮港港池改善佈置 (佈置 B)	60
圖 28	花蓮港港池改善佈置 (佈置 C)	61
圖 29	花蓮港港池改善佈置 (佈置 D)	62
圖 30	花蓮港港池改善佈置 (佈置 E)	63
圖 31	花蓮港港池改善佈置 (佈置 F)	64
圖 32	花蓮港港池改善佈置 (佈置 H)	65
圖 33	花蓮港港池改善佈置 (佈置 I)	66
圖 34	花蓮港港池改善佈置 (佈置 J)	67
圖 35	花蓮港港池改善佈置 (佈置 K)	68
圖 36	花蓮港港池改善佈置 (佈置 P)	69
圖 37	花蓮港港池改善佈置 (佈置 Q)	70
圖 38	主試驗(現有東堤堤頭不變)離岸堤配置示意圖	71
圖 39	主試驗(東堤延伸)離岸堤配置示意圖.....	72
圖 40	港口漂砂淤塞防制試驗改善方案(I)離岸堤配置示意圖	73
圖 41	港口漂砂淤塞防制試驗改善方案(II)離岸堤配置示意圖	74
圖 42	港口漂砂淤塞防制試驗改善方案(III)離岸堤配置示意圖	75
圖 43	花蓮港定案建議改善配置圖.....	76
圖 44	花蓮港美崙溪口以南建議離岸堤斷面圖.....	77
圖 45	花蓮港美崙溪口以南建議突堤斷面圖.....	78
圖 46	花蓮港美崙溪口建議導流堤斷面圖.....	79

圖 47(a)	花蓮港建議新建東防波堤斷面圖(E ℓ $\pm$ 0~5 公尺)	80
圖 47(b)	花蓮港建議新建東防波堤斷面圖(E ℓ -8 公尺)	81
圖 48	法國敦克爾克港配置圖	87
圖 49	法國敦克爾克港相對位置圖	87
圖 50	法國敦克爾克港設計浚渫相關位置圖(1996 年)	88
圖 51	葡萄牙塞恩斯港外廓堤防配置圖	89
圖 52	葡萄牙塞恩斯港西防波堤遭颱風損壞位置圖	89
圖 53	葡萄牙塞恩斯港西防波堤復建示意圖	90
圖 54	葡萄牙塞恩斯港西防波堤復建斷面示意圖	90
圖 55	葡萄牙塞恩斯港西防波堤複式拋石示意圖	91
圖 56	工程最適設計決定示意圖	91

表 目 錄

表一	花蓮港營運碼頭現況.....	3
表二	花蓮港舊東堤歷年維修狀況.....	15
表三	防波堤堤線配置平面試驗波浪條件.....	50
表四	防波堤堤線配置平面試驗概況表.....	51
表五	花蓮港整建工程概算表.....	53
表六	花蓮港整建工程各項工程單價分析表.....	54
表六(續)	花蓮港整建工程各項工程單價分析表.....	55

壹、研究計畫背景及目的

花蓮港位處台灣東部，東臨太平洋，西背美崙山，北起奇萊峰，南迄美崙溪口，為東部唯一之國際港口。港口經緯度位於北緯 $23^{\circ}59'11''$ ，東經 $121^{\circ}37'35''$ ，如圖 1 所示。最初建港目標，僅為供砂糖輸日及作為環島航運之港口，進港船舶以三千噸為目標。花蓮港港埠建設肇始於民國十九年十月，歷經九年於民國廿八年完成，當時之港埠設施僅有三座碼頭長 410 公尺，航道水深-7.0 公尺，東防波堤堤長 1330 公尺，堤頂高程由 +5.0 公尺~+10.0 公尺不等，西防波堤堤長 200 公尺，主要為防止沿岸漂砂。台灣光復後，一直到民國四十八年，由於吞吐量之增加，原有碼頭已不敷使用，乃有第一期擴建計畫，增加二座長 320 公尺，水深-9.0 公尺之萬噸級碼頭，並拓寬航道為 90 公尺及浚深港內部份水域。民國五十二年九月一日正式開放為國際港，之後並進行第二、三期內港碼頭擴建，第三期擴建自民國六十三年七月開工，至民國六十六年底完成，計增加深水碼頭八座，使得花蓮港碼頭設計達十六座。但因受限於進港航道及港內水域狹窄，亦僅能勉強進出 15,000 噸級船舶。其後為因應航道發展之需求，故於民國六十五年起開始規劃第四期外港擴建工程，計畫擴大港池水域及航道，並興建可供 100,000 噸級船舶靠泊之深水碼頭，並於民國六十九年四月十六日開工，民國八十年完成。四期擴建主體工程為防波堤、碼頭、沉箱渠及填築新生地，計東防波堤堤長 1837 公尺，西防波堤堤長 1050 公尺，並在距東防波堤堤頭 300 公尺處外有一長 25 公尺之突堤，碼頭工程為深水碼頭九座，總長 2287 公尺，其中#17、#18 碼頭水深-12 公尺，可供 30,000 噸級輪船靠泊，#19~#24 碼頭水深-14.0 公尺，可靠 60,000 噸級 PANAMAX 散貨輪，#25 碼頭水深-16.5 公尺，可供 100,000 噸級煤輪停靠等，整個港埠建設歷經六十七個寒暑，始具有今日規模港區水域範圍，北起奇萊鼻燈塔，築有一道東防波堤，沿海岸高潮線南至美崙溪口北岸連接西防波堤以東所涵蓋之水面均屬之，目前碼頭佈置及營運現況詳如圖 2 及表 1 所示。由於受海岸地形限制，港區水域成瘦長形，內外港之間航道狹長，又因颱風期水域共振問題，船隻難以靠泊。

近年來政府促進區域經濟均衡發展，積極推動產業東移政策，花蓮港務局（以下簡稱貴局）在處理四期擴建工程後，除繼續研究花蓮港東防波堤延長工程可行性、花蓮港聯外道路興建規劃外，並先後相繼委託港灣技研究所（以下簡稱本所）處理花蓮港港灣設施改善計畫與花蓮港整體規劃及未來發展計畫，俾解決目前花蓮港港口航道淤積、颱風季節港池穩定性之改善、碼頭使用率之改善、工作船固定靠泊場所之規劃以及商漁港共用航道之困擾等多項課題。

貴局鑑於八十三年提姆颱風來襲時，其所引起長週期波浪，除造成港內不穩靜，船隻必須先出港避難外，並造成東防波堤胸牆結構破壞達500公尺以及西防波堤外消波塊被帶入港口，故在省政府交通處指示下，由貴局邀請相關工程機構、交通處、港研所、工程顧問公司以及相關學者專家人員等會商結果，建議在八十五年度編列預算，委請本所繼續處理長浪及漂砂防制之研究，期藉水工模型試驗進一步探討這種長週期波浪作用下，研定最適防波堤結構斷面以及改善港內水域穩靜並防浪、防砂之堤線佈置，本綜合改善方案研究，即就貴局委託本所辦理「花蓮港港灣設施改善計畫」與「花蓮港整體規劃及未來發展計畫」等二項研究結果，配合此次長浪及漂砂防制研究成果，研提一定案規劃配置，供貴局作為未來發展計畫參考依據。

表 1 花蓮港營運碼頭現況

碼頭編號	長度(公尺)	深度(公尺)	用途
1	123	- 7.5	散雜貨碼頭
2	153	- 7.5	散雜貨碼頭
3	134	- 7.5	散雜貨碼頭
4	160	- 8.5	散雜貨碼頭
5	160	- 8.5	砂石碼頭
6	150	- 8.5	散雜貨碼頭
7	120	- 6.5	砂石碼頭
8	220	-10.5	砂石碼頭
9	103	- 9.5	散雜貨碼頭
10	183	- 9.5	水泥碼頭
11	185	- 9.5	中鋼專用
12	150	- 7.5	散雜貨碼頭
13	185	- 9.5	水泥碼頭
14	185	- 9.5	散雜貨碼頭
15	100	- 8.5	散雜貨碼頭
16	144	- 7.5	客運碼頭
17	200	-12.0	散雜貨碼頭
18	200	-12.0	水泥碼頭
19	310	-14.0	散雜貨碼頭
20	302	-14.0	砂石碼頭
21	200	-14.0	散雜貨碼頭
22	200	-14.0	散雜貨碼頭
23	272	-14.0	散雜貨碼頭
24	271	-14.0	散雜貨碼頭
25	332	-16.5	散雜貨碼頭

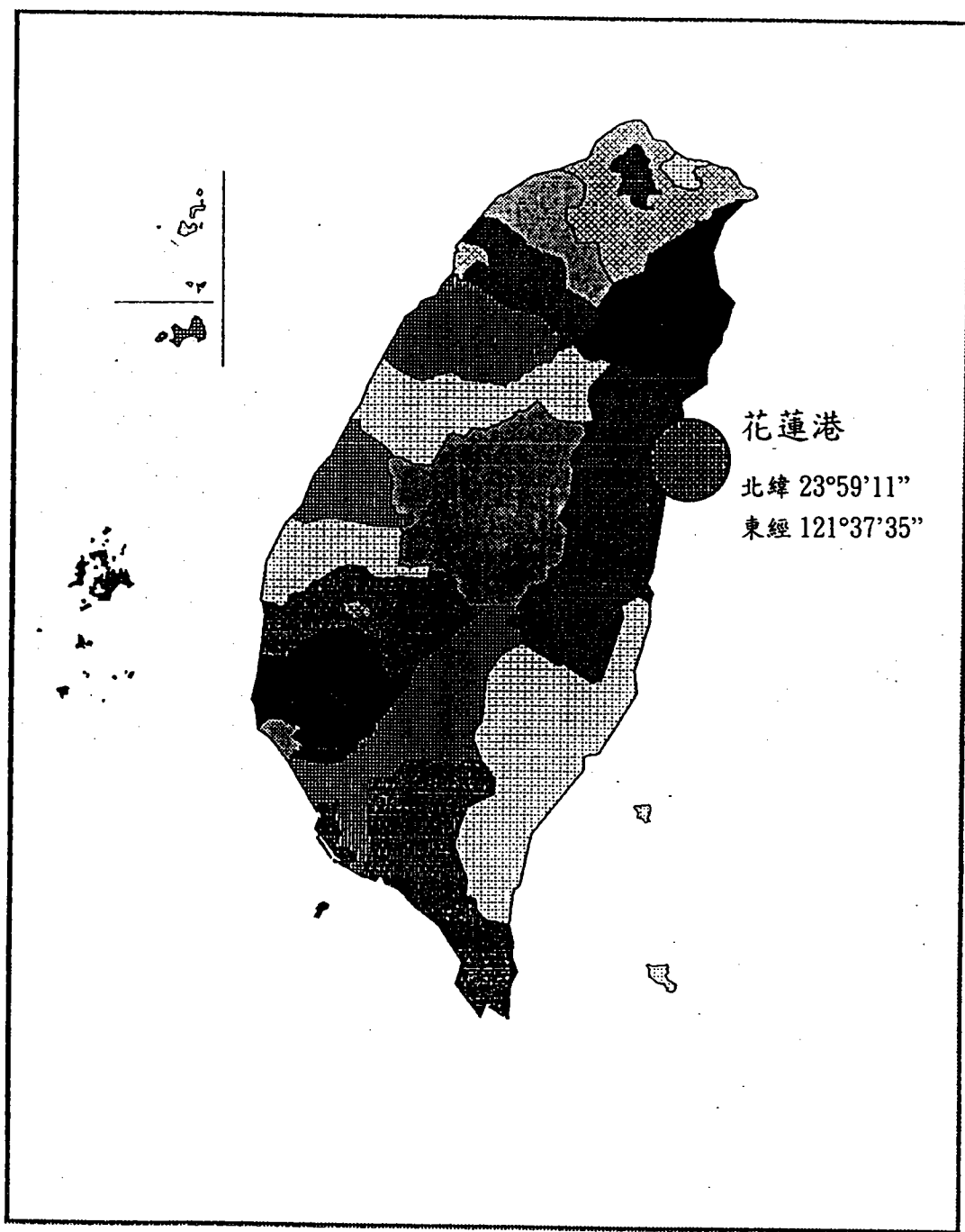


圖 1 花蓮港位置圖

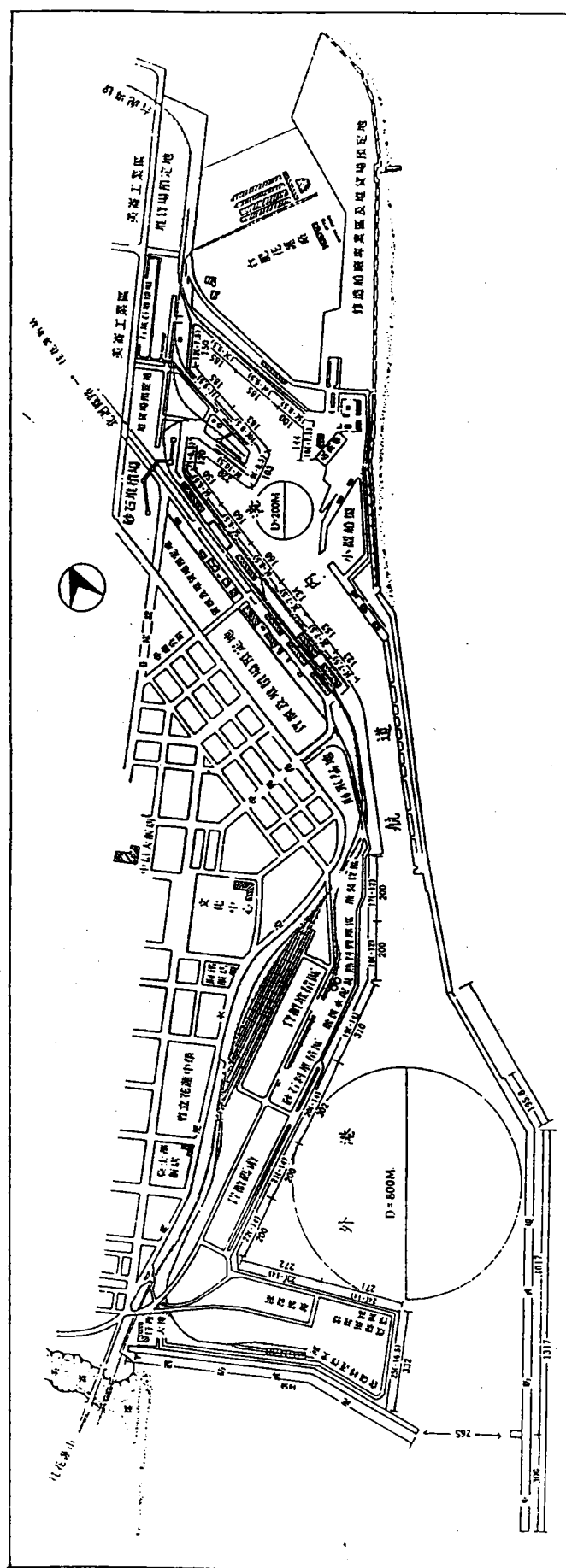


圖 2 花蓮港目前碼頭佈置及現況圖

貳、研究方法與步驟

根據 貴局與本所協商本子計畫研究方法與步驟分別如下：

- 一、就 貴局委託本所辦理之「花蓮港港灣設施改善計畫」與「花蓮港整體規劃及未來發展計畫」等有關碼頭配置、岸壁改善措施以及防波堤堤線配置作通盤檢討。
- 二、本所研究人員赴法國北部敦克爾克港(Dunkirk)考察並收集葡萄牙塞恩斯港(Sines)其防波堤因颱風侵襲嚴重破損後整建相關措施資料，作為此次改善方案參考措施。
- 三、綜合本次波浪越波對開孔胸牆波壓力影響試驗、防波堤堤線配置平面試驗以及港口漂砂淤塞改善檢核試驗等研究成果，研提一定案規劃配置。
- 四、就此定案配置研提施工計畫，含施工期限以及每期經費概估。

謹將整理情形及研究結果敘述如下：

參、花蓮港港灣設施改善計畫研究成果檢討

本研究計畫於民國八十二年十二月卅一日簽約，執行期限為二年六個月，原應於八十五年六月卅日完成，但因現場實測資料量龐大，無法在預定期程內完成，後經 貴局同意展延至九月底提出期末報告初稿，並於八十五年十二月完成期末報告。

本研究計畫共分現場海氣象調查、水工模型試驗、數值模擬計算、水深測量與漂砂堆積分析以及防波堤改善方案研擬等五個執行子計畫，再根據五個執行子計畫成果研提綜合改善方案。

根據本計劃現場波浪調查資料顯示，外海短週期入射波浪受防波堤遮蔽後能量密度已大幅減小，但長週期波浪能量則大幅增加。研判此種週期長達 128 秒、147 秒或 159 秒之小振幅波浪為造成船隻碇泊困難之主要外力。為尋求最佳佈置方案作為改善港池穩靜依據，分別利用水工模型試驗與數值模擬計算，針對可能之改善佈置方案加以試驗、計算。此外並對潛堤抑制長週期波浪功能與噴水浮式防波堤消波功能辦理斷面模型試驗。

一、水工模型試驗

為了解颱風波浪作用期間港池水理機制，作為研擬改善佈置之依據，辦理水工模型試驗。水工模型試驗分平面試驗與斷面試驗兩部份。

(一)平面水工模型試驗

平面模型試驗主要係針對現有防波堤佈置作局部調整，改變港池形狀，增加消波空間以抑制長波能量擴增，減低港池不穩靜現象。平面試驗除原佈置方案外，另提四種改善佈置方案。五種佈置方案分別如圖 3～圖 7 所示。

現況佈置 A，試驗結果內、外港池頻譜形狀重現現場調查波浪特性，長波成份進入港池後能量放大現象內港池較外港池明顯。佈置 B，在港口與吉安溪口間設置一道長約 600m 垂直海岸之潛堤，雖對偏東南向入射波有些許遮蔽效果，但對消滅港內長波能量功效不

大。佈置 C，除興建潛堤外，拆除東堤 500m，再沿東堤深水段延長 750m，並在新、舊堤間拋放消波潛堤兩道。試驗結果能改善現有港池遮蔽效果，且對內港池長波發揮抑制功能，但卻無法消滅外港池長波能量。佈置 D 除與佈置 C 相同外，再將東防波堤延伸 800m，試驗結果並未較佈置 C 獲得更多的改善效果。佈置 E 則將舊東堤與部份新東堤拆除另建新堤，維持港口南側潛堤。本佈置可使內港航道加寬，試驗結果對於港池遮蔽，長週期波浪能量抑制等均有較佳效果。

(二)斷面模型試驗

斷面模型試驗辦理潛堤及噴水浮式防波堤消波特性試驗。潛堤斷面試驗結果顯示，當波浪通過透水潛堤時，由於堤體內孔隙摩擦，消耗部份波能，反射係數較不透水潛堤為小，透過率也因受堤體紊流擾動而較不透水堤減小。潛堤堤頂寬度對反射率影響極為有限，但對通過潛堤後之波浪則造成不同程度的擾動。

波浪通過潛堤後，堤頂相對水深較大時，非線性量產生受堤寬影響，非線性量隨堤寬增大而增加。堤頂相對水深較小時，堤頂成為淺水區，堤後即有高階非線性量產生，高頻處出現第二及第三主頻。一般而言堤愈寬，非線性量愈大；離堤愈遠，非線量逐漸消失。本研究試驗條件，規則波週期 0.8sec ~ 5.0sec，相對水深 0.04 至 0.6 間；不規則波主頻在 0.18 至 1.3(sec⁻¹)間，相對水深在 0.06 至 0.7 間，未能達 158sec 外海波浪。研判此類波浪利用潛堤無法達成消波功能。

噴水浮式防波堤試驗結果顯示，入射波浪在各種不同表面流速作用下，不論堤前或堤後頻譜均有減低趨勢。入射主頻較高時，受較小流速作用，其堤前頻譜能量與形狀均與入射波相似。堤後頻譜能量無論表面流速大小皆較入射波頻譜能量為小，而能量減小部份則發生在頻率較高之成份波上，低頻部份能量減低極為有限，且表面流速愈大時，此種現象愈明顯。因此，噴水式防波堤只能作為短週期波消波無法應用於消滅花蓮港長週期波浪能量。

經過兩種斷面消波試驗，並蒐集相關文獻資料得知，要消除花蓮港週期長達數十秒波浪並非易事，至今尚無較具體可行方案。

二、數值模擬計算

配合現場觀測及水工模型試驗，利用數值模擬計算結果加以驗證，以尋求最佳佈置改善方案。數值模擬係採用本所建立之 Model WE21。主要控制方程式為橢圓緩坡方程式，考慮波浪由外海等水深進入港區後受地形折射防波堤繞射及構造物反射等影響，利用二維有限元素法計算港池波場。

現況佈置港池長達四千公尺，先以 Merian's 方程式檢核可能發生之共振週期，以等水深 10 公尺結果發現其中 160sec 與內港池#8 及#10 碼頭前實測值 158.9sec 極為接近；其餘可能發生共振週期計算值分別為 114sec, 89sec 等均與實測 120sec, 93sec 極為接近。

港池穩靜度，因岸壁反射係數不同，計算結果放大係數差異極大，但共振週期維持不變。#8、#10 及 #22 三個碼頭觀測波浪資料頻譜分析顯示能峰最長週期分別為 158sec, 158sec 及 146sec；而計算結果#8, #10 及 #22 碼頭分別在 155sec, 155sec 及 144sec 存在波能尖峰值。由此可知數值計算能重現原型波浪特性。

佈置改善港池穩靜度數值模擬共辦理五種改善佈置計算分別如圖 8～圖 13。佈置 B 與水工模型試驗佈置 C 相同，但未設置南濱潛堤南北走向新東堤拆除改為消波潛堤。計算結果部份現有港池共振點已消失，而 155sec 共振週期仍存在，#8, #10 及 #22 三個碼頭前水域，但放大係數已顯著降低，顯示開口能量消散設施發揮能量幅射效果。改善佈置 C 與水工模型試驗佈置 E 相同，但未設置南濱海岸潛堤。此佈置將佈置 B 拆除之新東堤外側再築新防波堤。計算結果雖然消失部份共振週期，振幅放大係數亦稍降低，但可能因內港航道加寬，港池特徵長度增長，在 188sec 附近出現新的共振點。#22 碼頭在 144sec 共振週期消失後，在 153sec 及 155sec 則出現更大增幅之共振點。佈置 D 與水工模型試驗佈置 D 相似，但東防波堤僅延長 600m，計算結果港內共振週期與現有佈置大致相同，共振點放大係數稍降低，但減小幅度有限。佈置 E 係在內航道進口處設立閘門，颱風波浪侵襲時關閉閘門，維持內港池穩靜，計算結果雖然因港池長度減小 155sec 共振週期振幅放大係數已不存在，但在#22 碼頭在 72sec 及 141sec 出現共振週期，放大係數較現況佈置增加一倍以上。

流況數值模擬計算結果顯示，花蓮港港口附近及南濱外海，夏季受

東南向颱風波浪作用時，波浪碎波形成之沿岸流，流向由南往北，受西防波堤與東防波堤阻擋，形成小環流，流速減小。因此，將南濱海岸受巨大颱風波浪作用造成沖刷之砂石往北輸送，在美崙溪口與港口附近，因流速減慢而淤積。冬季季風或夏季偏北路徑颱風所形成東北向風浪入侵時，受東防波堤繞射作用影響，數值計算結果顯示，經由東防波堤堤端波浪入射線為中心軸，在堤後遮蔽區及非遮蔽區形成順時針及逆時針兩個環流。堤後順時針方向環流將淤積在美崙溪口與港口間之土砂再往港內輸送而造成航道淤積現象。

三、改善港口淤積研究

為了解花蓮港港口以南至南濱海岸地形變化，本計畫除辦理五次水深測量外並蒐集水利局第九工程處自民國 73 年 6 月至 84 年 5 月在該區長期水深測量資料分析海岸沖淤狀況。

根據 11 年長期海域水深測量資料分析結果顯示美崙溪口以南三個斷面，每斷面間距 250m，由第一斷面至第三斷面海岸灘線每年平均向外海推進距離分別為 11m、6m 及 1m。自第四斷面，美崙溪口以南約 800m 處，長期資料顯示灘線呈現侵蝕現象，侵蝕最嚴重之南濱海岸灘線平均每年侵蝕約 6m 至 7m，仁化海岸每年退縮約 6m。

本計畫為了解颱風侵襲前後，短期地形變遷，曾於 83 年 5 月、7 月、10 月及 12 月颱風侵襲前後辦理水深測量，並在 85 年 5 月再測量一次。測量資料可能是導線控制誤差，分析結果呈現不合理之深海沖刷現象，但就 83 年 5 月至 84 年 5 月水深測量資料分析沖淤結果顯示，港口西防波堤堤頭外側每年淤積厚度超過一公尺，港口內側亦有近 20cm 淤積厚度。港務局應重視此趨勢，注意航道水深，維護航行安全。南濱外海海底坡極陡，夏季颱風侵襲時，若無足夠之沙源供給，南濱海岸將呈嚴重侵蝕現象。

為維護南濱海岸穩定，並防止美崙溪口及港口航道繼續淤積影響美崙溪排水及船舶進港安全，根據海流模擬計算結果及長期海岸沖淤資料分析結果顯示，在美崙溪口與吉安溪口間設置潛突堤或離岸堤，將有助於南濱海岸穩定，並可阻擋南濱海岸漂沙往北輸送淤積於港口。潛突堤或離岸堤佈置本所將再作更進一步試驗研究。

缺點一(A)初估經費約十二億元。

(B)潛堤之安定性仍有疑慮。

(5)綜合評估

(A)第一案：舊東堤外側重新築堤，並拆除原舊東堤，才可一勞永逸解決舊東堤問題，但新堤位置之選擇，應配合花蓮港未來之整體發展，特別是解決港池不穩靜等問題，應一併考量，所以，應以此案為主，進行治本方案之研擬。

(B)第二案：由花蓮港務局所提供之資料顯示，此段並無堤身老化之現象，堤體石料亦未流失，因此消波胸牆、消波型塊之功用，主要應係為減少越波現象，雖亦可減小堤身之受力，但與舊堤維修無直接關係。同時此案並未對堤體石料流失，堤身下陷提出具體對策，故其應屬越波對策，而非堤身老化對策。

(C)第三案：設置人工砂灘 $1000\text{M} \times 300\text{M}$ ，施工期間，如何穩住此砂灘之流失，有待進一步之研究，同時此案亦未提及如何維修老化之堤身。

(D)第四案：於東堤外側水深-8.1m處排放消波潛堤一道1,200公尺，理論上而言可減小入侵之波能，以保護舊東堤，但潛堤設置位置與安定則有待進一步研究。

6. 舊東堤改善規劃

如前述，為一勞永逸解決舊東堤問題，最好將舊東堤拆除，並於舊東堤外側重新築堤，以下依據不同之堤線考量研擬三個方案，茲分別說明如下：

(A)方案一（詳如圖20）

配合小型船渠擴建為花蓮專用漁港計畫，圍築新生地之海堤前有一道潛堤，可新建一道舊東防波堤與此潛堤相連，長約1,940公尺，並拆除舊東防波堤至潛堤與舊東堤交接處長1,130公尺，以及四期東防波堤前段公尺，如此可得一240公尺之缺口，使波浪可由此缺口進入淺水緩坡區，消殺波能。因越過潛堤之波浪會在緩坡式海堤

計算結果顯示，局部改變港池佈置雖不能徹底消除港池內長週期波浪能量放大現象，但已對港內長週期波浪能量發揮抑制功效。港口南側與吉安溪口間興建潛突堤除能破壞東防波堤繞射產生之港口環流機制減少港口淤積，增加南濱海岸穩定外，對東南向入侵波浪產生遮蔽效果，降低進入港池波浪能量，提高港池穩靜度。本研究計畫根據水工模型試驗與數值計算結果研提改善佈置方案為：

1. 港口南側與吉安溪口間佈置潛突堤群或離岸潛堤，除可防止南濱海岸沖刷，減少港口淤積外，並可遮蔽部份入侵港口之波浪，增加港池穩靜度。潛突堤或離岸潛堤佈置本所將再作進一步試驗研究。
2. 拆除內港航道東側部份新建東防波堤與舊東防波堤，沿 10m 等深線淺礁興建新堤長約 1800m 與漁港潛堤銜接，並在銜接處設置透孔式防波堤，佈置如圖 14。東防波堤拆除重建後，港池特徵長度維持不變，基本上仍無法消除現有共振週期波浪能量在港內放大現象。但內港池可以現有內航道東側二百多公尺之淺礁灘設置消波設施，將能量往外海消散。

五、東防波堤改善方案研擬

花蓮港東防波堤包含舊東堤及新東堤兩部份，新東堤於民國 80 年完工後迄今使用良好，但在民國 83 年時曾遭颱風(提姆)而使胸牆受損，不過主體沈箱部份並未有明顯之破壞；舊東堤已逾使用年限，而經常維修及改善；以下將針對東防波堤之改善研提改善建議，以供參考。

(一)新東堤改善方案

1. 新東堤現況

花蓮港於民國 83 年 7 月 10 日及同年 8 月 7 日分別遭受「提姆」及「道格」兩次颱風侵襲，導致東防波堤胸牆、西防波堤消波塊及第 25 號碼頭消波室嚴重損害，影響營運，花蓮港務局於災後立即通知相關單位人員到現場勘查，檢視受損害之東堤胸牆斷裂、西堤消波塊沖失、25 號碼頭面版、消波室梁柱等破壞情形，並探討損害原因，研擬復修方

案，以儘速完成修復，恢復正常營運。

2. 損害情形：

東防波堤遭受颱風損害情形如下：

自新東堤0K+517M~1K+750M計五段之第三道胸牆港側斷裂沖入港池，斷裂面大部分呈現平整現象，斷裂處距離堤面道路約1.4公尺高，厚約2.3公尺，共長487公尺，另有消波室第三道隔艙牆厚80公分破損20處，堤面道路破裂1,003平方公尺，護墩斷落242個，預估修復經費約一千九百萬元。

3. 修復方式

除將破損之RC隔艙、護墩、堤面道路依原設計修復外，為避免將來再度受損，因此擬加強胸牆部分設計，將胸牆厚度加寬50公分，以RC構造由底部+3.5M澆灌至頂部+10.5M，並增加二道剪力樺之設計，另於隔艙牆與胸牆銜接處以#8高拉力鋼筋錨錠，使構造物連成一體，以防隔艙牆再遭破壞。（估計修復費需一千九百萬元）（修復斷面詳如圖15）。

另外，本次颱風所致胸牆之破損，雖已修復完成，但由於造成本破損之原因，並未很清楚掌握，因此今後應加強監測作業，而經歷此次颱風，究竟堤體基礎之損壞如何、沈箱堤是否有產生位移、沈箱是否有龜裂等，均應作進一步之調查，以確保新東堤之安全。

(二)舊東堤改善研究

1. 花蓮港舊東堤概述

花蓮港舊東堤全長1,330公尺，肇建於民國十九年，由於當時物質、經費、機具設備等缺乏，因此堤身之建造以採用級配砂石或填置卵石為主，並依水深變化區分為五個斷面(如圖16(a)~(f))，即0K~0K+270M、0K+270M~0K+450M、0K+450M~0K+990M、0K+990M~1K+80M、1K+80M~1K+330M，其中除0K+990M~1K+080M係方塊疊置，1K+080M~1K+330M為沉箱構造外，其餘990公尺皆係採方塊疊置而成之合成堤式，其堤心則採用級配砂石或填置卵石，堤面再澆置一公尺厚度之 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 之混凝土，內側堤面澆置五十公分厚 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土，其

胸牆部份採 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土澆製，由於其混凝土採用低強度值，復因終年受颱風、地震及東北季風波浪之侵襲，堤面及胸牆處處龜裂，堤體有下陷及淘空之害，故每年均列有維修經費，以維其效能。

2. 現況調查

依本所在民國79年所做之堤面鑽探調查資料顯示，目前本堤堤身嚴重淘空段計有在堤程 $0\text{K}+200\text{M}\sim 0\text{K}+220\text{M}$ 、 $0\text{K}+635\text{M}\sim 0\text{K}+657\text{M}$ 、 $0\text{K}+685\text{M}\sim 0\text{K}+710\text{M}$ 、 $0\text{K}+795\text{M}\sim 0\text{K}+860\text{M}$ 、 $0\text{K}+890\text{M}\sim 0\text{K}+905\text{M}$ 、 $0\text{K}+970\text{M}\sim 0\text{K}+990\text{M}$ 六處，至於胸牆外側堤面及護基方塊部份依花港局實際所做之調查結果：胸牆部份因原使用混凝土強度為 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土，故除堤程 $0\text{K}+000\text{M}\sim 0\text{K}+263\text{M}$ (前段)， $0\text{K}+910\text{M}\sim 1\text{K}+300\text{M}$ (後段，已加高)龜裂不嚴重外，中間段計有300公尺龜裂嚴重。外側堤面則除堤程 $0\text{K}+200$ 前段尚完整外，歷年來陸續修復381公尺，餘429公尺均呈龜裂。護基型塊部份堤需補拋200塊。

3. 歷年維修概況

由於舊東堤已超過一般混凝土在惡劣環境下使用之年限(壽年約五十年)致近年來災害頻繁，維修費用有逐年增加之趨勢，茲就歷年維修列述如表2所示。依表列統計分析，往年除以護基方塊製拋保護堤基外，其基礎沖失之損害及堤身淘空部分均在堤程 $0\text{K}+200\text{M}\sim 0\text{K}+990\text{M}$ 之間，亦為本堤受破壞最嚴重區段，應為今後本堤維護加固之重點。

4. 現行維修方式之探討

為徹底解決舊東堤淘空下陷情形，花蓮港務局曾於79年間委託本所進行「舊東堤堤身灌漿加固修復可行性研究」經鑽心取樣顯示成效不佳。至於堤外築堤方式，雖可保護舊堤，減少災害，但本港東堤外海浪濤洶湧，暗礁多，施工機船作業困難，風險大，一年中實際可工作天數不多(約三~四個月)，尚需顧慮到施工中之災害，拋置之消波塊流失，無法測計之波流，地震以及海床變遷所造成海底波流變化沖擊影響，且在時效上可能亦緩不濟急。

表2 花蓮港舊東堤歷年維修狀況

年度	起訖樁號	維修內容	工程費(元)	備註
69	1 ^k +250~1 ^k +330	40T雙T塊製拋85個	2,255,277	保護堤基
70	1 ^k +100~1 ^k +200	20T雙T塊製拋114個	3,767,310	保護堤基
71	1 ^k +090~1 ^k +100	20T雙T塊製拋14個	905,890	保護堤基
72	0 ^k +438~0 ^k +524 0 ^k +070~0 ^k +175 0 ^k +438~0 ^k +524	130T雙T塊製拋9個 60T雙T塊製拋25個	2,650,733	保護堤基
73	1 ^k +005~1 ^k +046 1 ^k +005~1 ^k +045	堤身修補1500M ³ 40T雙T塊製拋40個	6,017,180	1. 堤身淘空修復41M 2. 保護堤基
74	0 ^k +890~0 ^k +981	堤身修補4,400M ³ 及20 雙T塊拋50個	7,129,122	堤身淘空修復91M及 胸牆坍塌85M
75	0 ^k +495~0 ^k +530 0 ^k +215~0 ^k +289 0 ^k +890~0 ^k +981	堤身修補615M ³ (35M) 堤身修補1,227M ³ (74M) 20T雙T塊50個	4,937,894	1. 堤身淘空修復109M 2. 保護堤基
76	0 ^k +230~0 ^k +690 0 ^k +290~0 ^k +360	70T方塊製拋30個 堤身修補70M	5,011,509	1. 保護堤基 2. 堤身淘空修復70M
77	0 ^k +070~0 ^k +200 0 ^k +200~0 ^k +700	70T方塊製拋25個 70T方塊製拋58個	4,434,276	保護堤基
78	0 ^k +070~0 ^k +220 0 ^k +420~0 ^k +990	70T方塊製拋167個	8,258,490	保護堤基
79				
80	0 ^k +800~0 ^k +830 0 ^k +891~0 ^k +911 0 ^k +975~0 ^k +991 0 ^k +095~1 ^k +100	堤身修補71M 胸牆修補85M	6,759,000	歐菲莉及黛特颱風災 害堤身修復71M
81	0 ^k +440~0 ^k +459 0 ^k +554~0 ^k +579 0 ^k +721~0 ^k +740 0 ^k +828~0 ^k +838	堤身修補78M 胸牆修補36M 70T方塊製拋30個	5,753,385	堤身修復78M

年 度	起 訖 樁 號	維 修 內 容	工 程 費 (元)	備 註
	0 ^k +712~0 ^k +738 0 ^k +828~0 ^k +838			
82	0 ^k +200~1 ^k +100 0 ^k +514.3~0 ^k +554.3	70T方塊製拋46個 堤身修補40M	6,245,471	堤身修復40M(83年度 預算提前使用)
83	0 ^k +838.1~0 ^k +886.1	堤身修補48M 30m ³ 方塊製拋30個	4,499,179	P.C打除
84	0 ^k +903.6~0 ^k +674.1	堤身及港側修補 421.8M 30m ³ 方塊製拋25個	15,582,069	P.C打除
84	1 ^k +034~1 ^k +075	堤身修補41M 10T鼎形塊吊放50個 太空包吊放438 m ³	1,657,928	水中P.C澆築308 m ³
85	0 ^k +484.3~0 ^k +514.3 0 ^k +554.3~0 ^k +674.3	堤身修補156M 30m ³ 方塊製拋15個	14,970,136	P.C打除
85	0 ^k +002.7~0 ^k +067.19 0 ^k +368~0 ^k +460 1 ^k +000~1 ^k +033.3 1 ^k +125~1 ^k +140 1 ^k +130~1 ^k +135	堤身修補145M 30T林克塊吊放100個	4,814,956	堤面道路翻修

另花港局亦曾在淘空情形不嚴重之堤身，以鑿孔灌入之方式塞填堤身，但效果亦不佳，僅可作為避免淘空情形繼續擴大之臨時措施，若干年後仍不保再遭破壞。故近幾年來花港局均採用舊堤加固法，在顧及本港環境與地質形態，且能在經費、時間控制、風險程度上均能顧及，應在不影響自然條件情況下，以治標方式依據損壞程度分階段作整體性之加固維護，以延長本堤使用壽年，其施工順序如下：破碎堤身舊混凝土，挖除堤心級配料至零水位高程→外側模板組立→澆灌 $210\text{kg}/\text{cm}^3\text{P.C}$ ，使堤身形成一巨積混凝土之不透水構造，穩定堤體(如圖17)，不再受淘空坍塌之害，經此澈底整修之堤身，迄今尚未發現有再遭破壞之情事，效果良好。

5、其他維修方式之探討

花蓮港舊東堤之改善，業已困擾花港局多年，其間雖有各界人士提供各種方案及構想，但目前為止，仍以傳統方式維修最具實績，不過由於本堤已超過一般使用年限，以傳統方式維修應屬短期之治標方案，亦即將來亦有可能再發生同樣之現象。因此，為一勞永逸解決東防波堤之問題，有需要研擬治本方案。綜合這些年來，各界所提之治本方案大致如下：

(1)將原舊東堤拆除，並於舊東堤外側重新築堤。

優點—(A)一勞永逸解決舊東堤問題。

(B)可擴大內港航道水域。

缺點—(A)工程經費龐大，概估約需新台幣三十五億元。

(B)最適堤線位置需先經模型試驗分析評估效果，費時較長。

(2)於舊東堤(接近新東堤交角處)外側再築一道堤保護，同時作消波設施，計長四二〇公尺。

本構想係於 $0\text{K}+910\text{M}\sim 0\text{K}+1080\text{M}$ 以消波型塊作護坡排列一七〇公尺，並在 $0\text{K}+1,080\text{M}\sim 0\text{K}+1,330\text{M}$ 以消波胸牆沈箱結構形式作二五〇公尺(如圖18)。

優點—(A)經費較省，估計約需新台幣四億八仟萬元。

(B)可有效達成消波及保護效果。

缺點—(A)保護舊東堤範圍距離太短(僅四二〇公尺)尚有大部分不能解決。

(B)往年拋放之雙塊必須清除後方能施工，施工船機不易靠近，施工恐有困難。

(3)以第二案為主，第二案未能保護部分設置1000M×300人工砂灘，並於舊東堤海側堤基處鋪設50公分厚緩坡，斜入海邊-1M高程處(類似小型船渠外側之防高浪堤)，寬度約50公尺(如圖19)。

優點—(A)經費適中。計需級配料或卵石七十萬立方公尺，三十噸消波形塊三五〇個，堤面四萬平方公尺，約需經費一億七仟萬元，再加上第二案估計約四億八仟萬元合計經費約六億伍仟萬元。

(B)消波效果經防高浪堤驗證效果顯著。

缺點—(A)一年中能施工天數少，影響工期。

(B)級配或卵石容易流失，維護費用較高，或由美崙溪口挖沙補充。

(C)施工期間遇颱風或休工期間須有保護措施。

(4)於東堤外側水深-18M處排放消波潛堤一道1,200公尺用以消減入侵之波能。

優點—(A)能消減部分入侵波能，達到保護東堤目的。

(B)潛堤至東堤間(水位-0M~-8M之間)借自然之力量有可能形成淺灘，保護舊東堤不再淘空。

(C)保有原舊東堤淘空部分修護後不再被浪破壞。

缺點一(A)初估經費約十二億元。

(B)潛堤之安定性仍有疑慮。

(5)綜合評估

(A)第一案：舊東堤外側重新築堤，並拆除原舊東堤，才可一勞永逸解決舊東堤問題，但新堤位置之選擇，應配合花蓮港未來之整體發展，特別是解決港池不穩靜等問題，應一併考量，所以，應以此案為主，進行治本方案之研擬。

(B)第二案：由花蓮港務局所提供之資料顯示，此段並無堤身老化之現象，堤體石料亦未流失，因此消波胸牆、消波型塊之功用，主要應係為減少越波現象，雖亦可減小堤身之受力，但與舊堤維修無直接關係。同時此案並未對堤體石料流失，堤身下陷提出具體對策，故其應屬越波對策，而非堤身老化對策。

(C)第三案：設置人工砂灘 $1000\text{M} \times 300\text{M}$ ，施工期間，如何穩住此砂灘之流失，有待進一步之研究，同時此案亦未提及如何維修老化之堤身。

(D)第四案：於東堤外側水深-8.1m處排放消波潛堤一道1,200公尺，理論上而言可減小入侵之波能，以保護舊東堤，但潛堤設置位置與安定則有待進一步研究。

6. 舊東堤改善規劃

如前述，為一勞永逸解決舊東堤問題，最好將舊東堤拆除，並於舊東堤外側重新築堤，以下依據不同之堤線考量研擬三個方案，茲分別說明如下：

(A)方案一（詳如圖20）

配合小型船渠擴建為花蓮專用漁港計畫，圍築新生地之海堤前有一道潛堤，可新建一道舊東防波堤與此潛堤相連，長約1,940公尺，並拆除舊東防波堤至潛堤與舊東堤交接處長1,130公尺，以及四期東防波堤前段公尺，如此可得一240公尺之缺口，使波浪可由此缺口進入淺水緩坡區，消殺波能。因越過潛堤之波浪會在緩坡式海堤

上消殺波能，故在潛堤及海堤間之波能不易進入港內，而由港內進入淺水緩坡區之波能則有可能進入潛堤及海堤之間的水域，因此港內之波浪有一宣洩波能之缺口。可使共振程度降低，但其效果必須經數值模擬及水工試驗確定之。

此方案防波堤所在位置水深大部份在10公尺以內，工程費較省。

另外新建防波堤與現有岸壁之間的距離為380公尺，今若考慮進出內港之貨輪為15,000DWT，而同時又有100噸以下漁船通過航道。所需航道寬度計算如下：

$$\begin{aligned}\text{航道寬} &= \text{船長} \\ &= 165.0 + 32.6 = 197.6 \text{公尺}\end{aligned}$$

因此可設航道寬度為200公尺。

現有岸壁至新建防波堤之間距為380公尺，扣除航道寬200公尺，尚餘180公尺。此部份水域可作為消波區。

(B) 方案二（詳如圖21）

如同方案一，舊東防波堤仍然拆除1,130公尺，但第四期東防波堤僅拆除200公尺，另320公尺暫時保留，供將來建碼頭之用。

如圖21所示，新建防波堤長2,040公尺，水深在20公尺附近部分長1,290公尺，再連接至漁港潛堤長公尺，此堤港側可使用緩坡，以削減波能。

此方案使波浪有較大之空間擴散，對解決共振問題有幫助。

新建東防波堤距離現有內外港間之航道西側岸壁500～600公尺，因此若按方案一所定之200公尺航道寬，則尚有300～400公尺寬之水域可作為消波區之用。

(C) 方案三（詳如圖22）

本方案是封閉現有港口，在舊東防波堤海側水深約30公尺處另開新港口，此目的是完全打破現有狹長型之水域，使港內變成兩大

泊渠。

第四期防波堤前段保留250公尺，故拆除部份為舊東防波堤1,130公尺，第四期東防波堤270公尺。新建防波堤分為南防波堤及北防波堤、南防波堤長公尺，北防波堤1,710公尺。港口寬250公尺，迴船池直徑700公尺，港口至迴船池中心距離約800公尺。

本方案可解除花蓮港現有長條狹窄水域所造成長浪共振現象之主因，現有港口封閉，將使外港成為一最穩靜之區域，對花蓮港之發展將有很大助益。但所需之工期及工程費將相當可觀。

(D)綜合評估

以上三方案經初步評估，在考量工程費、建設難易度及花蓮港未來之發展，初步認為以方案一較為適合，因此，擬以方案一作為舊東堤改建之建議方案，而此堤線佈置對港內長浪之影響如何，則有待作進一步評估。

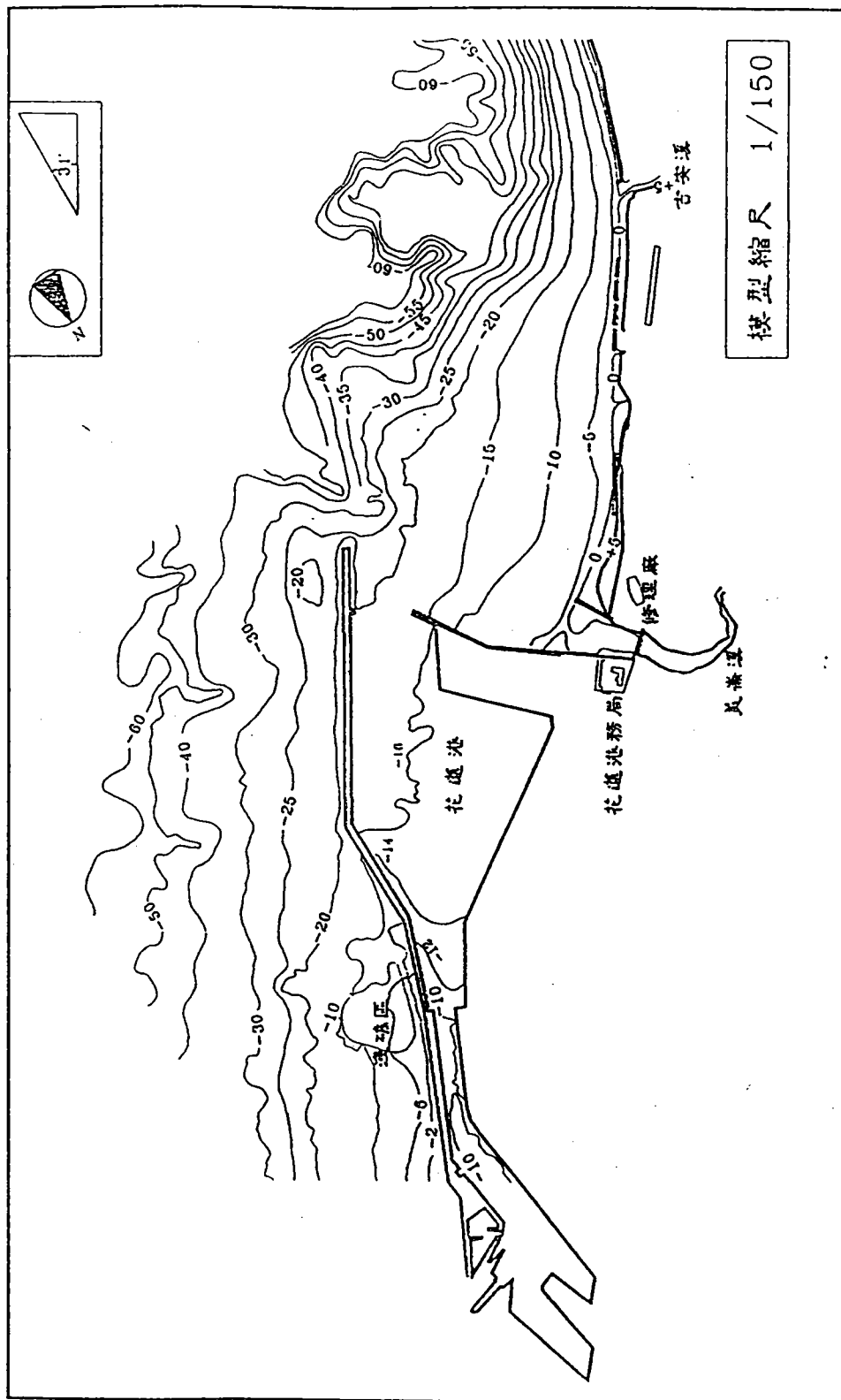


圖 3 平面水工模型試驗佈置圖 (方案 A)

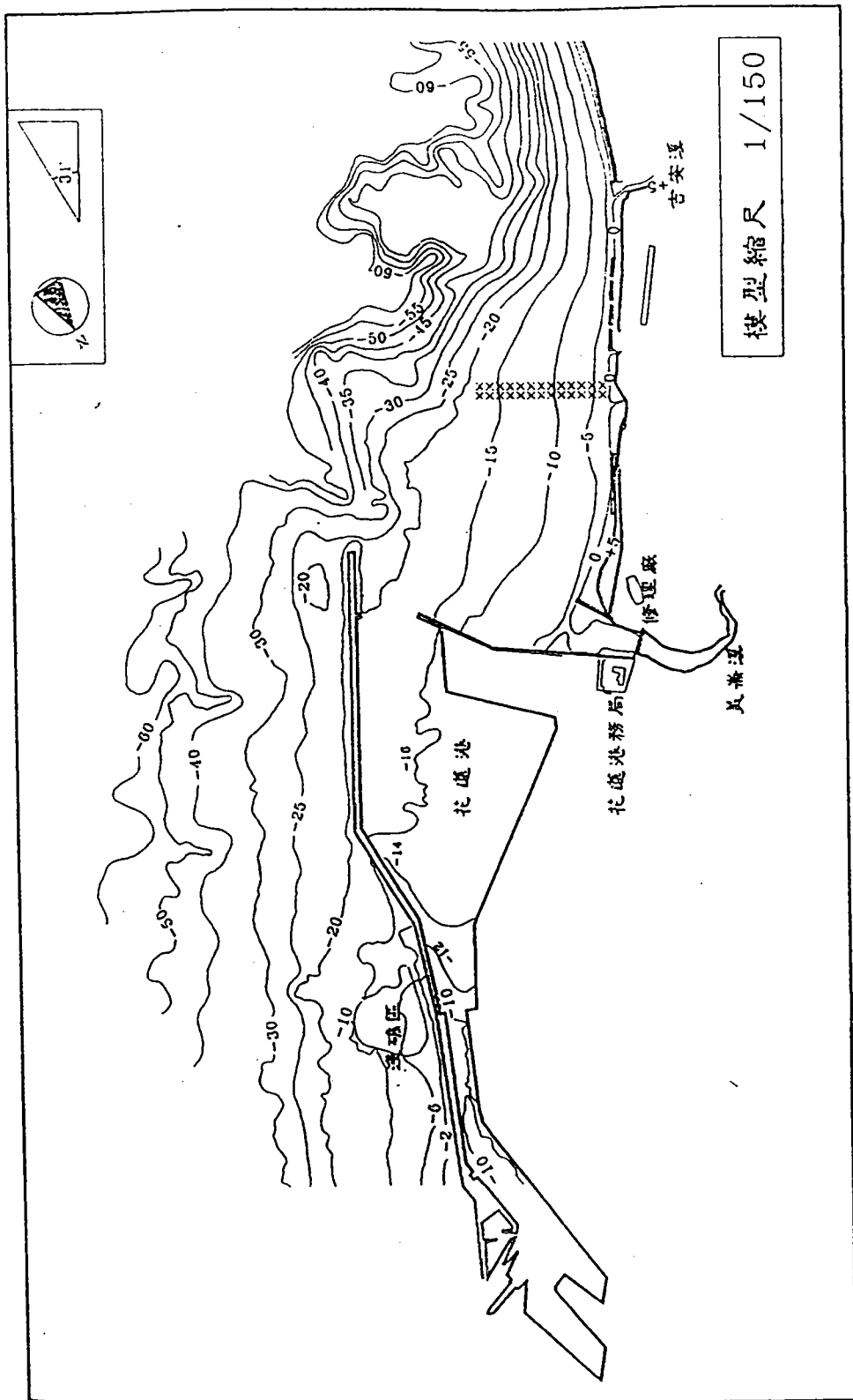


圖 4 平面水工模型試驗佈置圖 (方案 B)

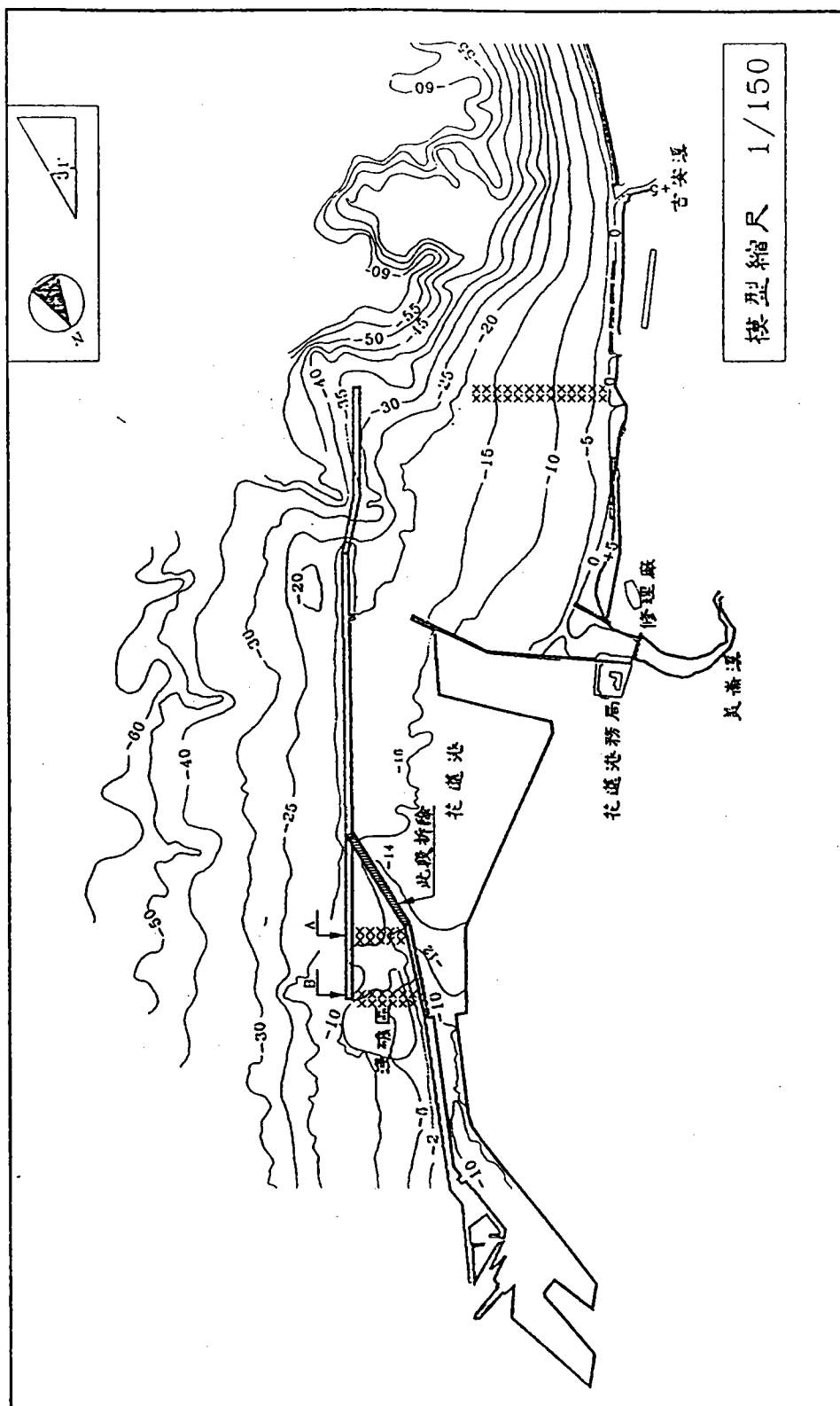


圖 5 平面水工模型型試驗佈置圖(方案 C)

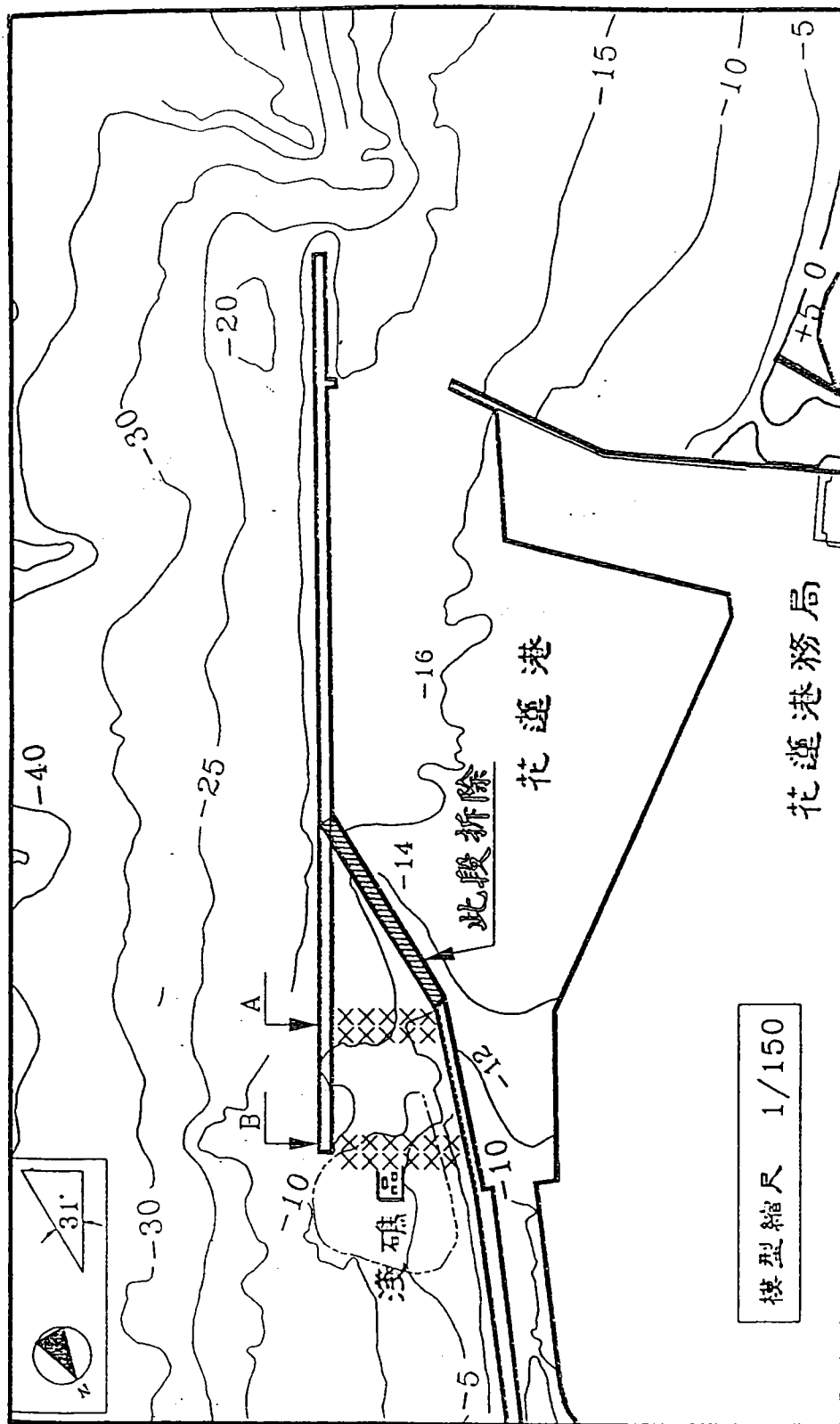


圖 6 平面水工模型試驗佈置圖 (方案 D)

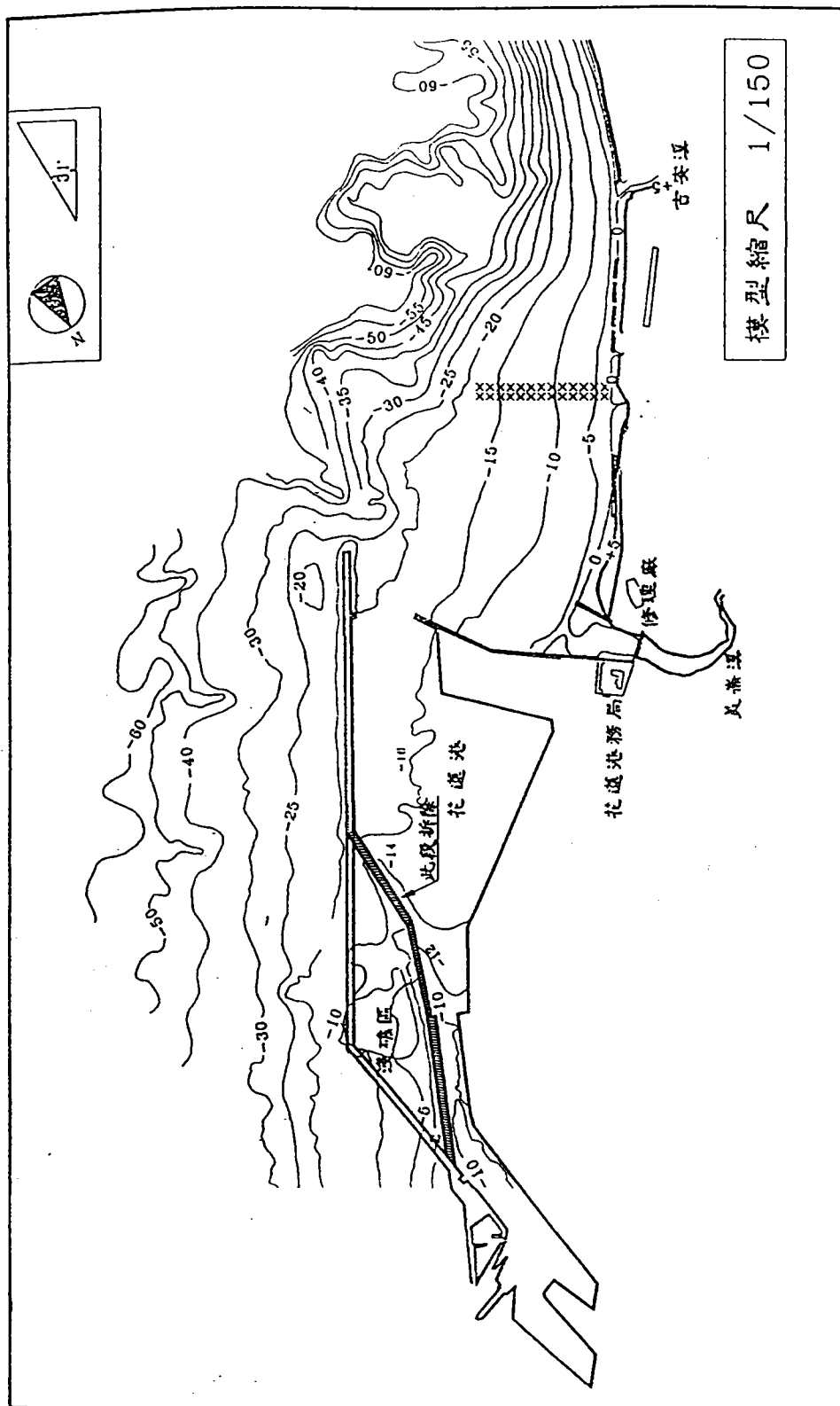
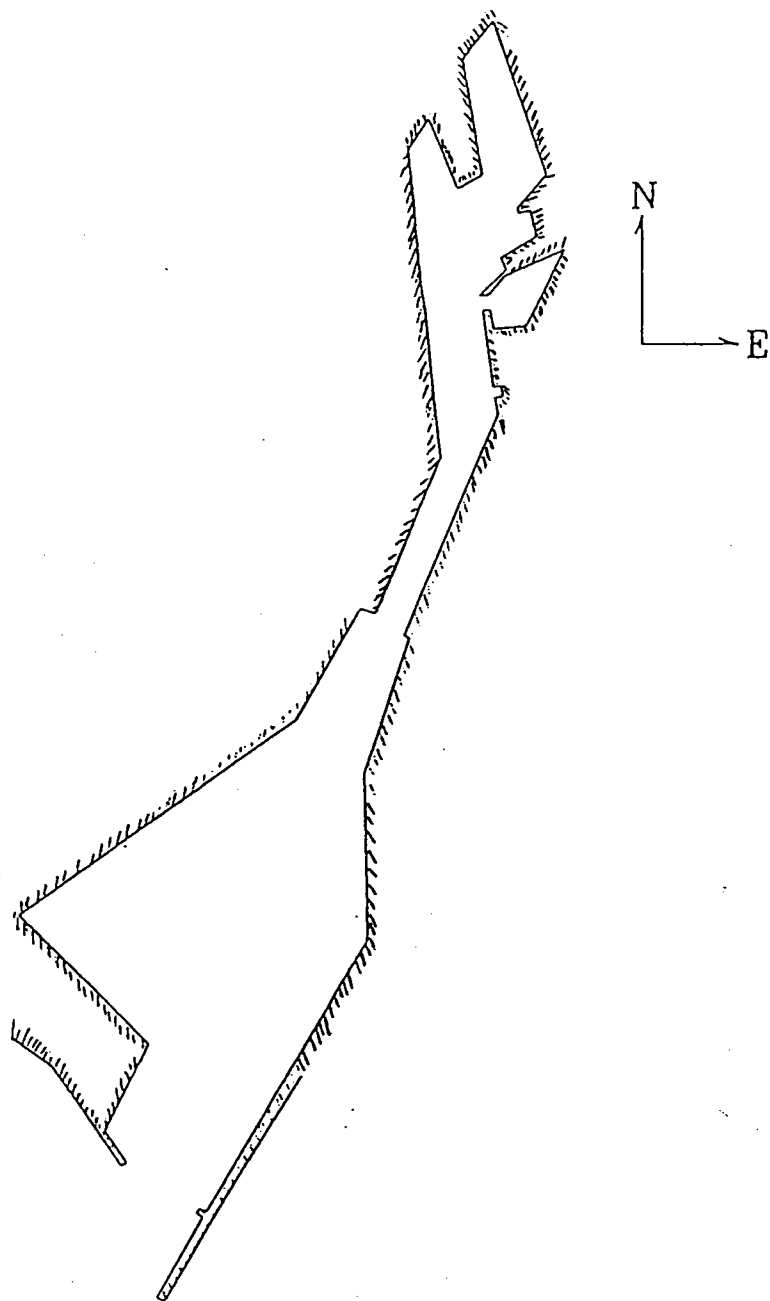


圖 7 平面水工模型試驗佈置圖 (方案 E)

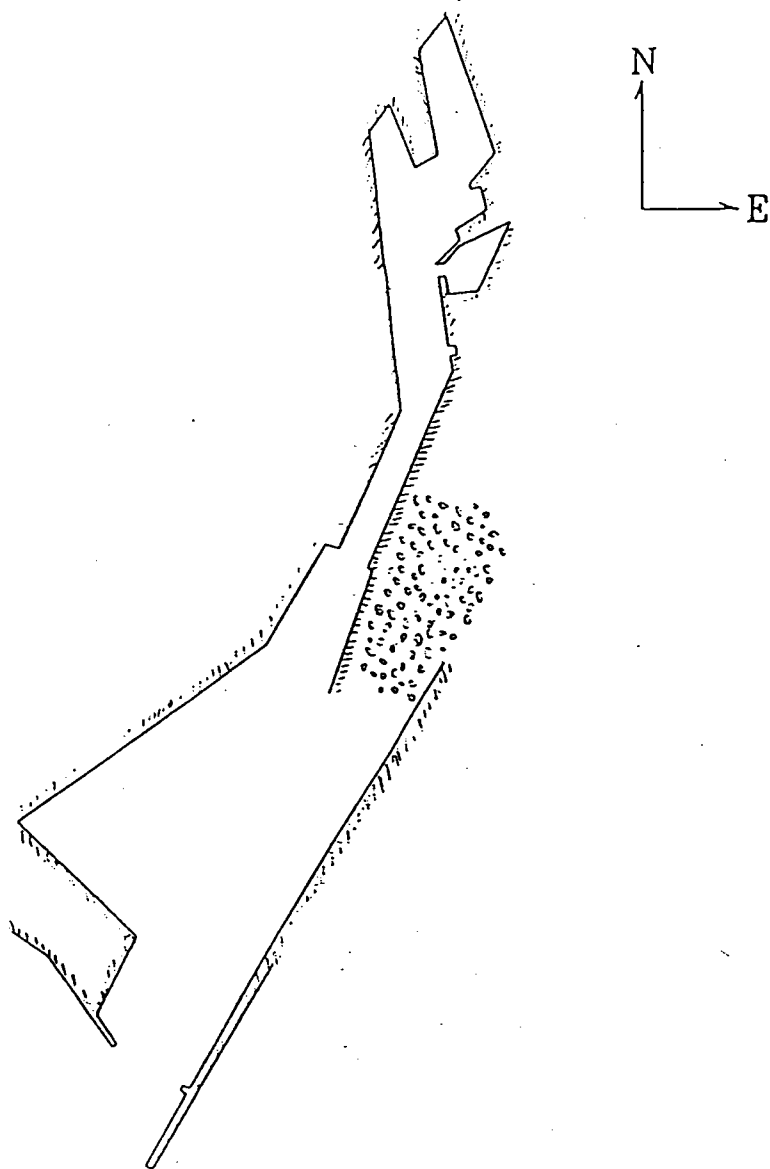


HLXA1A.BOU

Institute of Harbor & Marine Technology

圖 8 數值模式計算佈置 A

Boundary of Haw-Lien Harbor Type-B

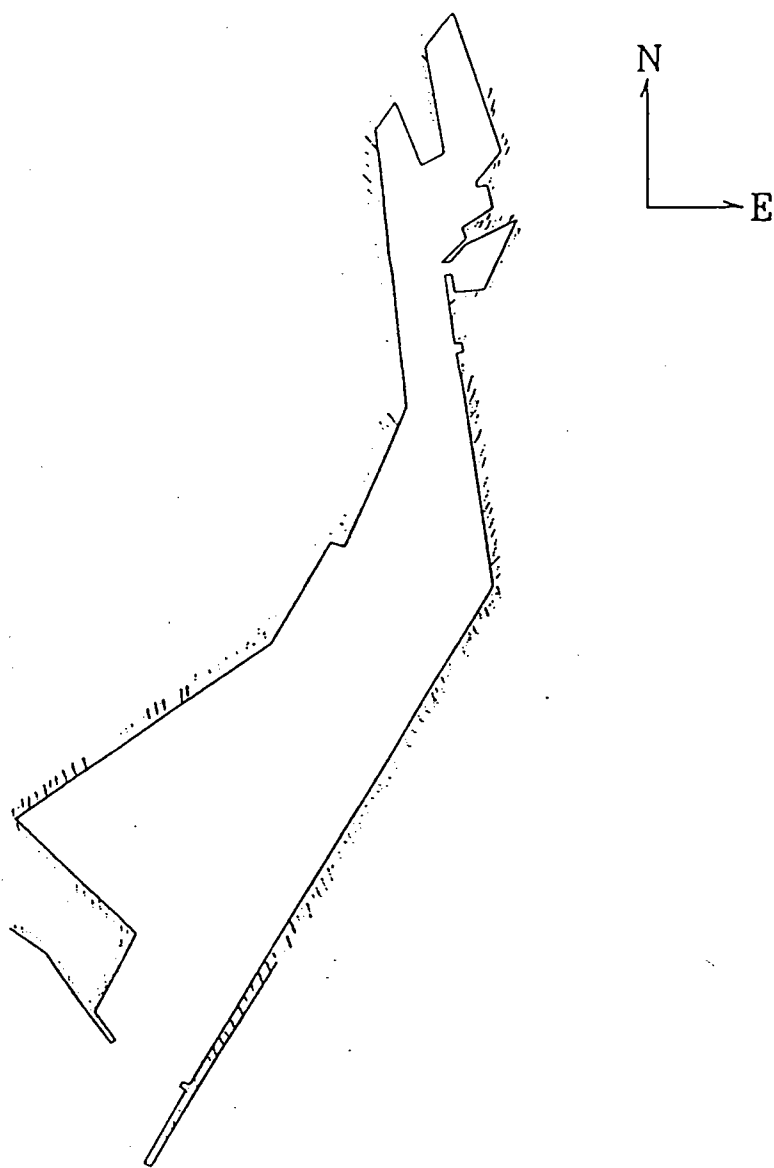


HLXA1A.BOU

Institute of Harbor & Marine Technology

圖 9 數值模式計算佈置 B

Boundary of Haw-Lien Harbor Type-C



HLXP1A.BOU

Institute of Harbor & Marine Technology

圖 10 數值模式計算佈置 C

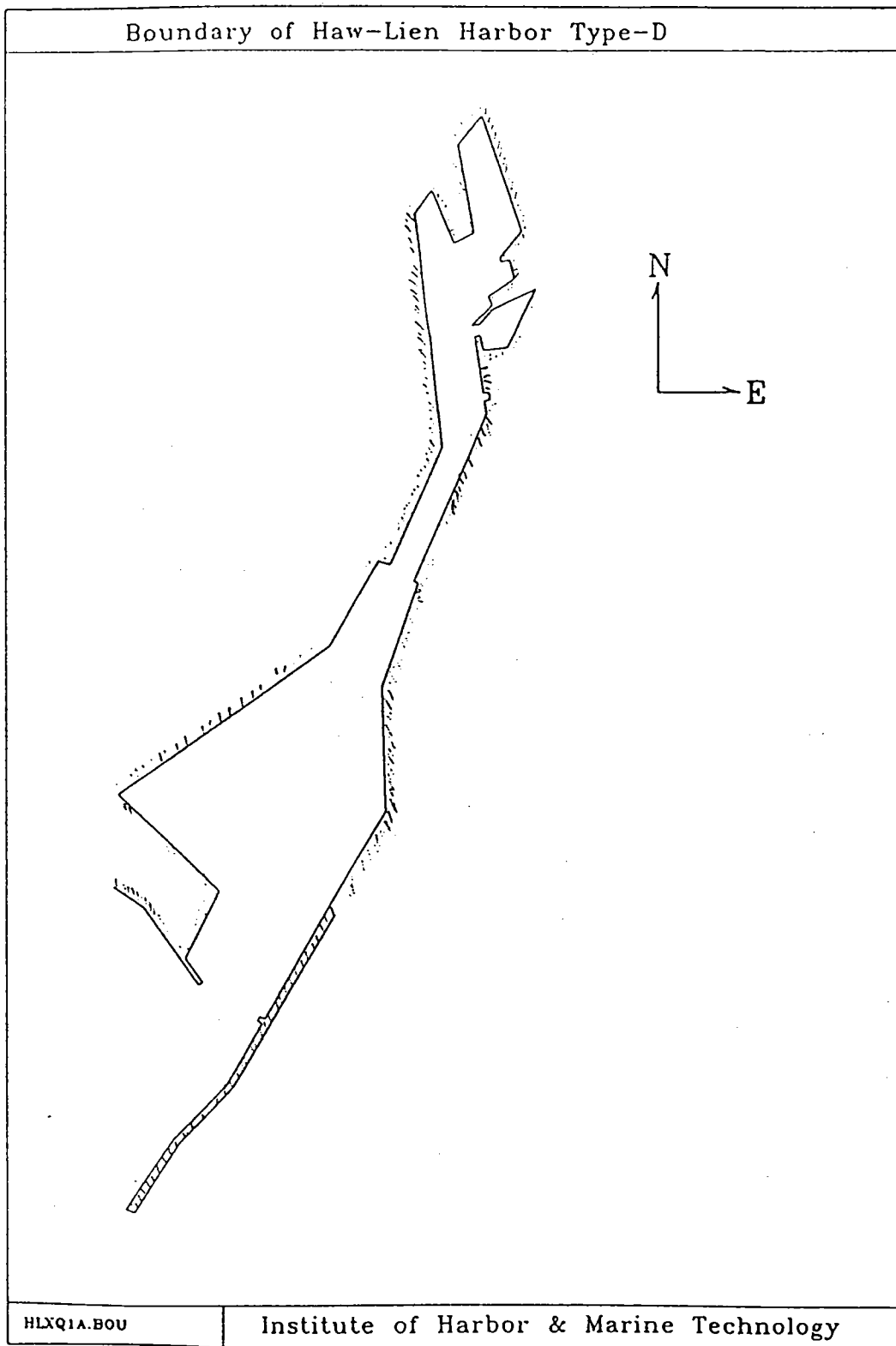
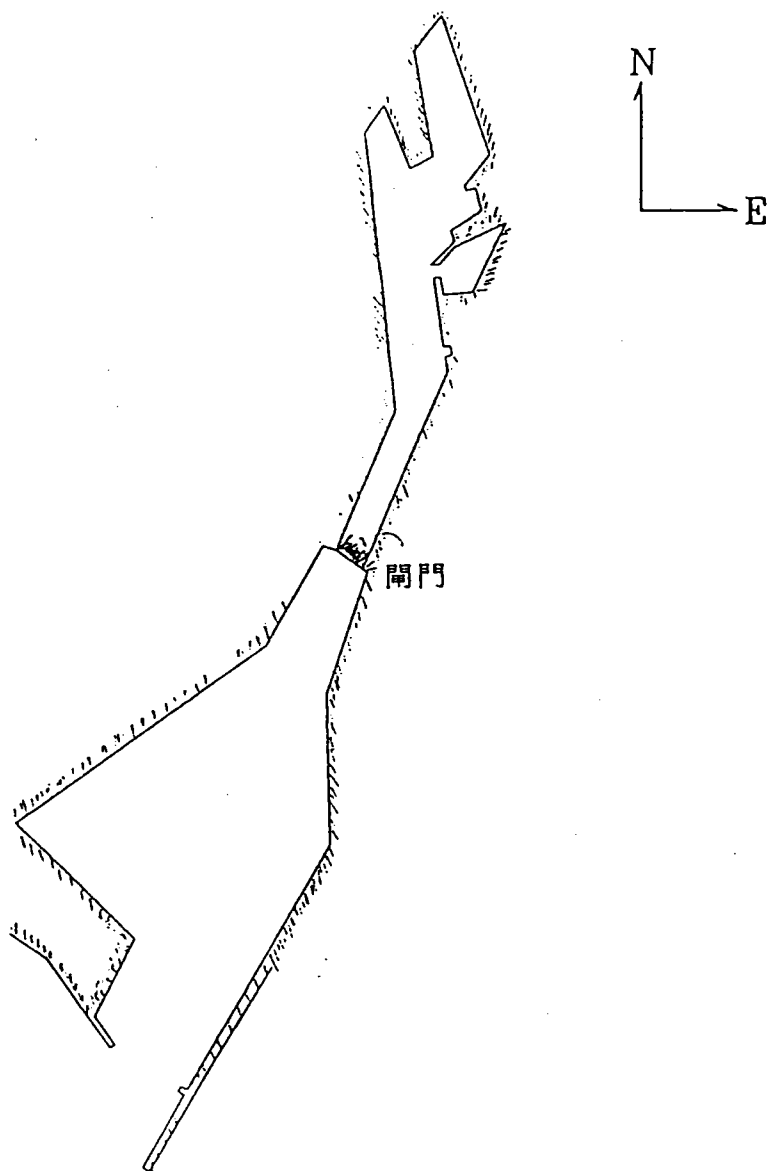


圖 11 數值模式計算佈置 D

Boundary of Haw-Lien Harbor Type-E

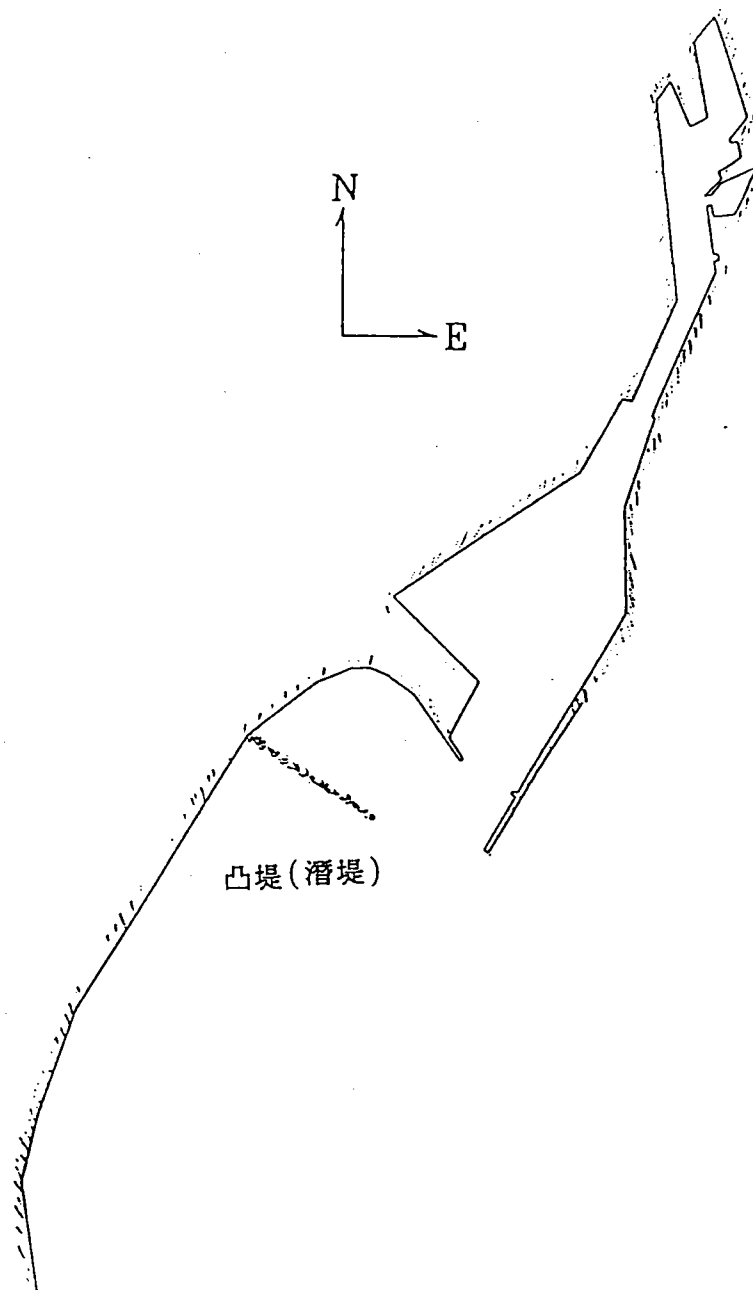


HLXZ1A.BOU

Institute of Harbor & Marine Technology

圖 12 數值模式計算佈置 E

Boundary of Haw-Lien Harbor Type-F



HLXG1A.BOU

Institute of Harbor & Marine Technology

圖 13 數值模式計算佈置 F

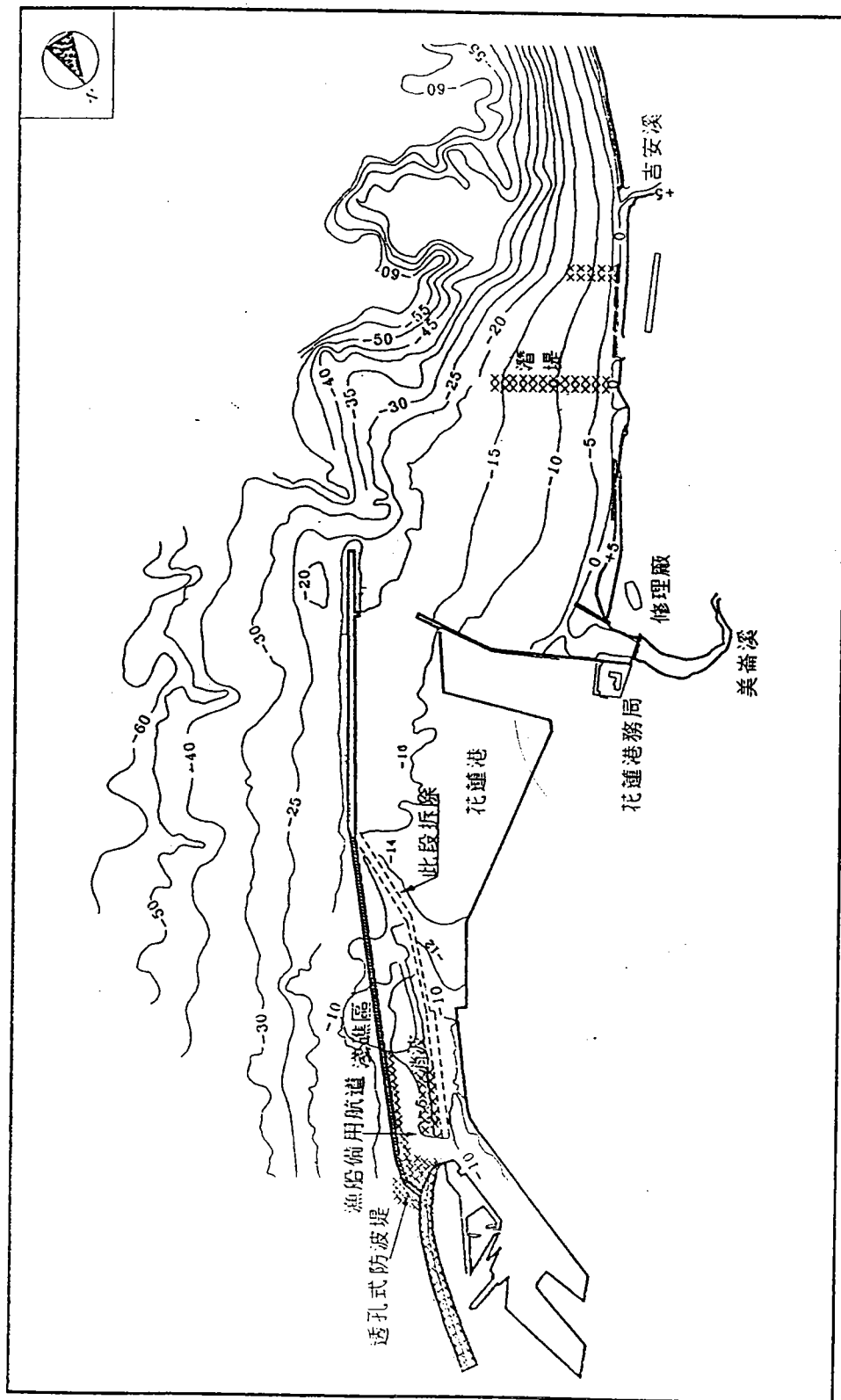


圖 14 建議改善佈置圖

Technical drawing of a wall cross-section showing reinforcement details. The drawing includes elevation markers (EL.+10.5, EL.+9.5, EL.+4.5, EL.+3.5), dimensions (3.50, 50, 150, 80, 100, 230, 600, 140, 25, 50), and reinforcement specifications (#5@20, #6@20, #8@30(TYP)X, #8@30X90). Key features include construction joints (施工缝封口), shear keys (剪力榫), and a reinforcement protection layer (钢筋保护层).

圖 15 新東堤修護斷面示意圖

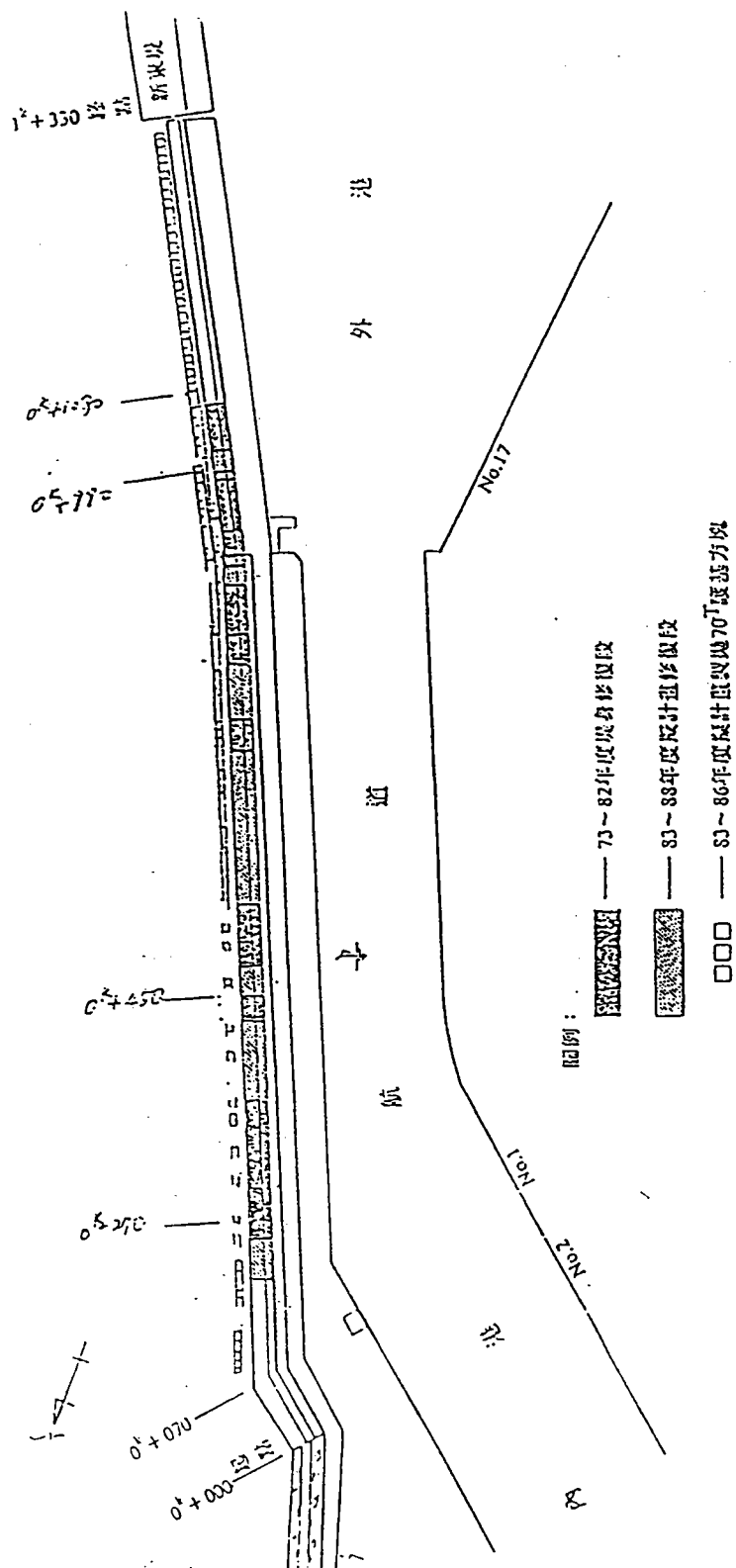


圖 16(a) 花蓮港舊東堤平面佈置圖(82.8.1)

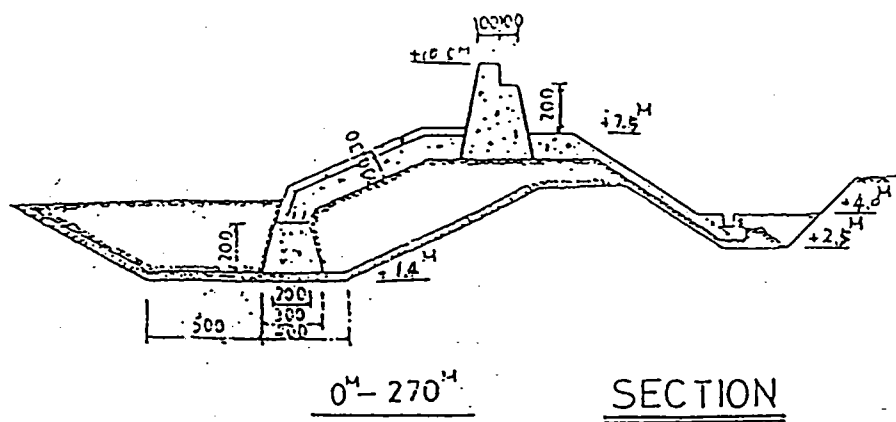


圖 16(b) 花蓮港舊東堤斷面圖(0m ~ 270m)

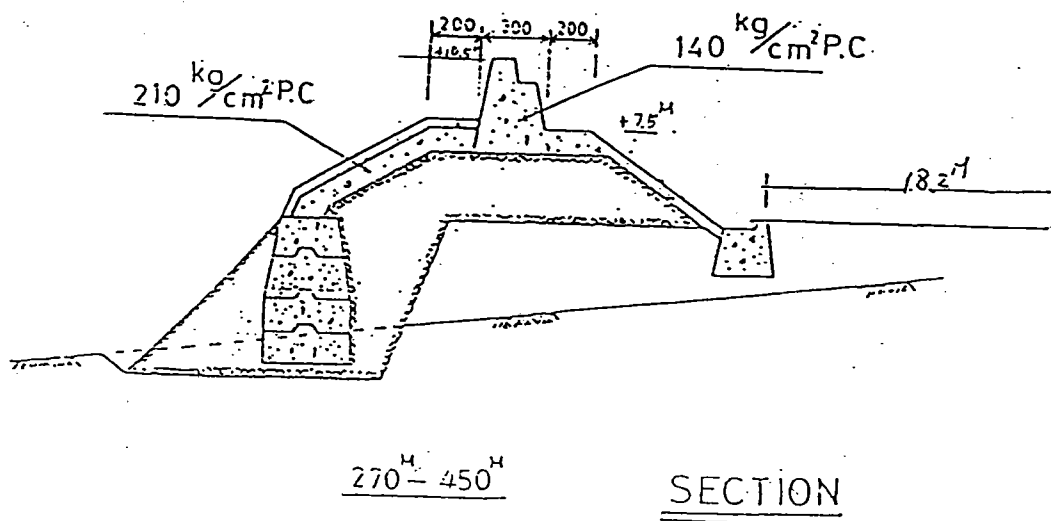


圖 16(c) 花蓮港舊東堤斷面圖(270m ~ 450m)

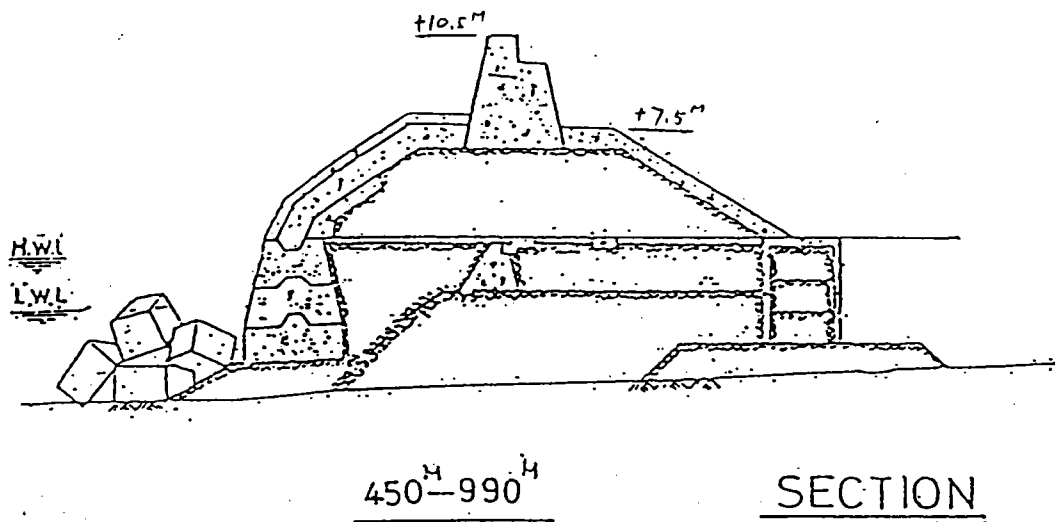


圖 16(d) 花蓮港舊東堤斷面圖(450m ~ 990m).

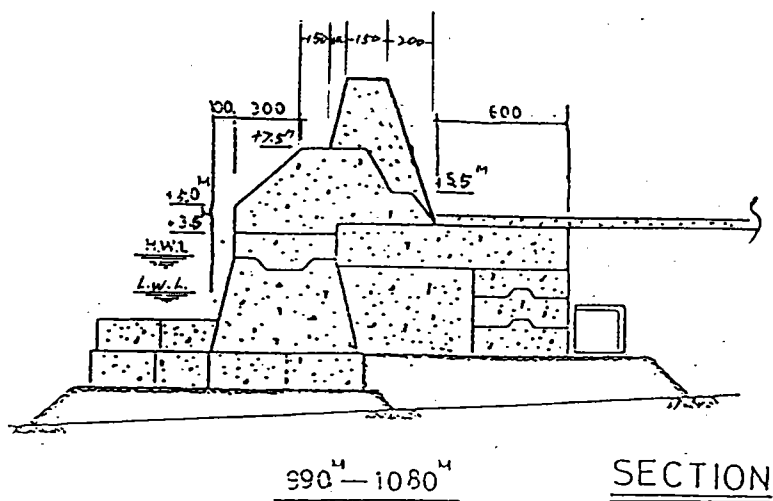
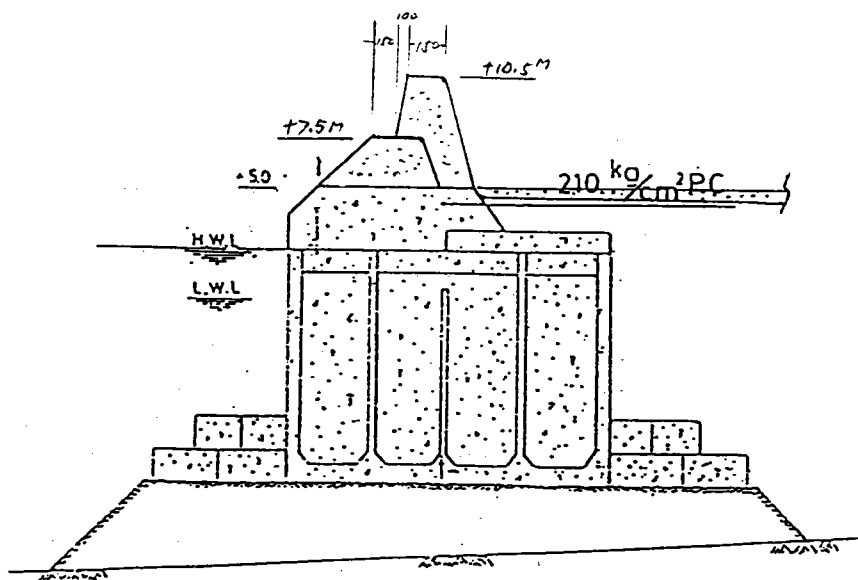


圖 16(e) 花蓮港舊東堤斷面圖(990m ~ 1080m)



1080^M—1330^M

SECTION

S: 1/300

圖 16(f) 花蓮港舊東堤斷面圖(1080m ~ 1330m)

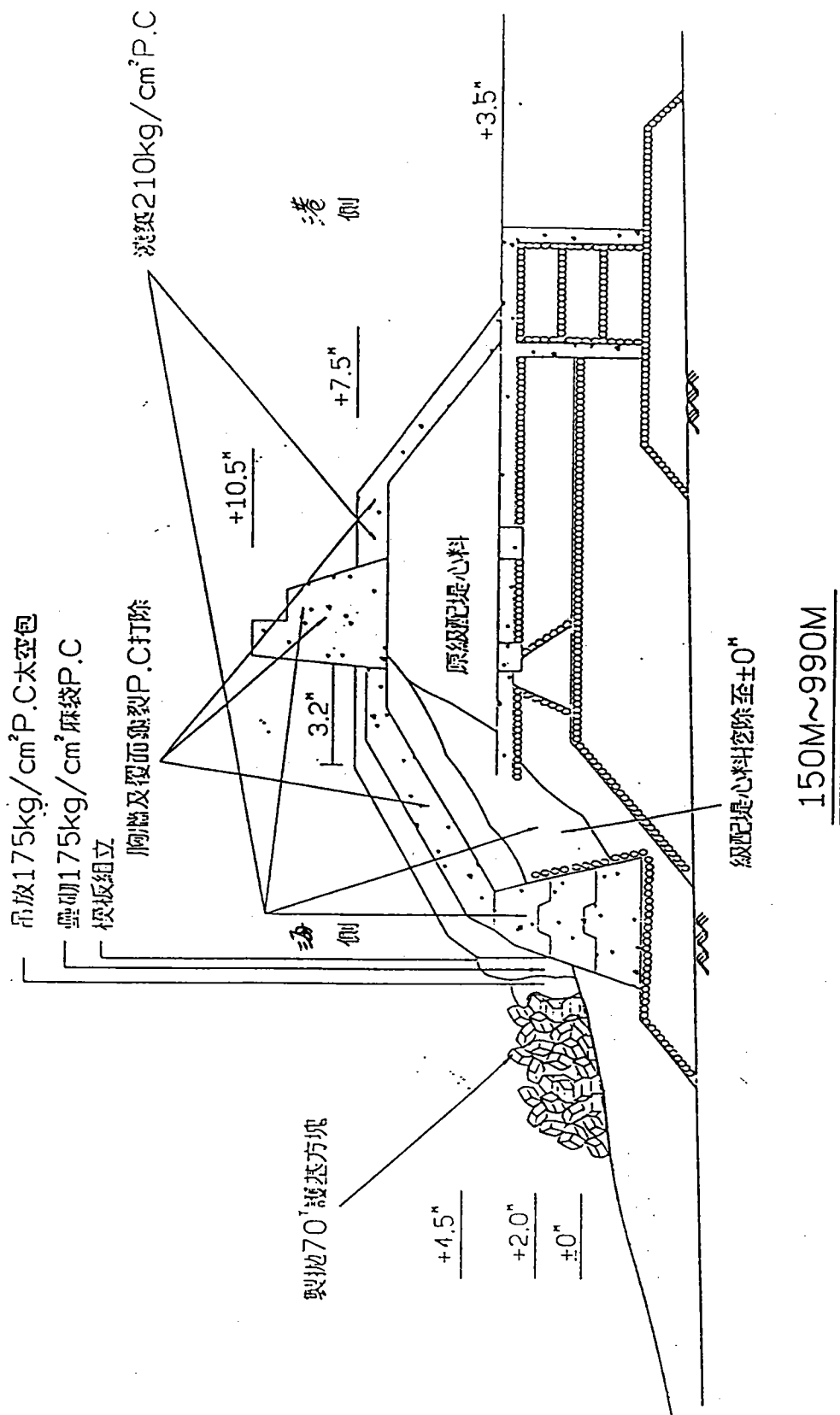


圖 17 花蓮港舊東堤身空搶修示意圖

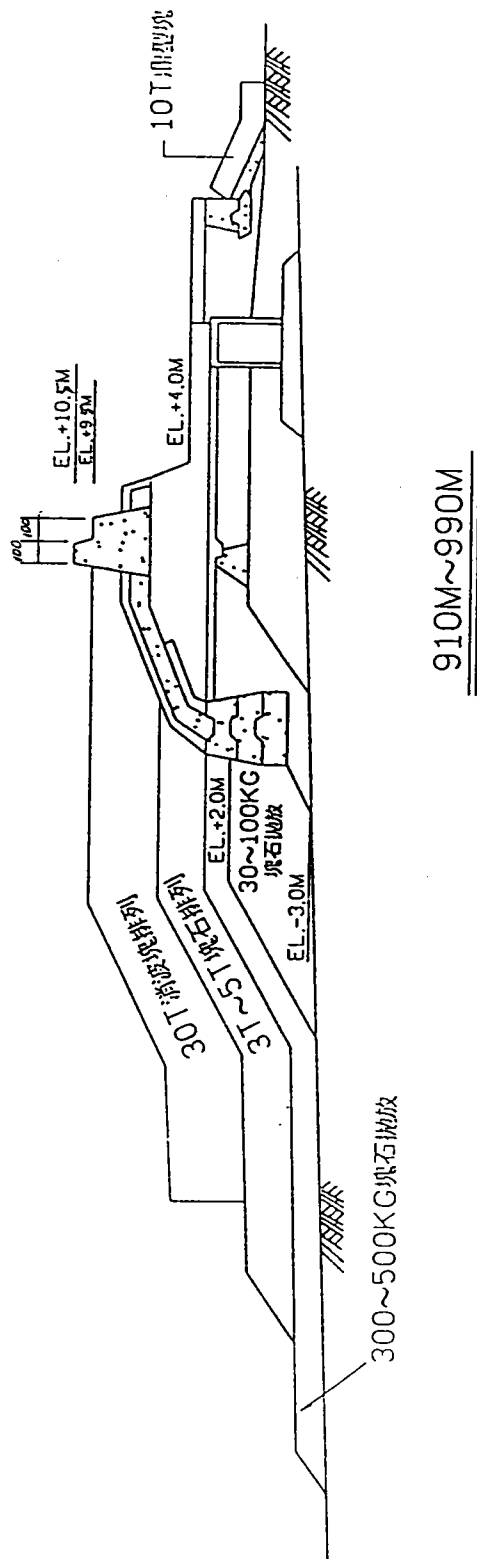


圖 18(a) 花蓮港舊工堤-3^m水深段修繕斷面圖

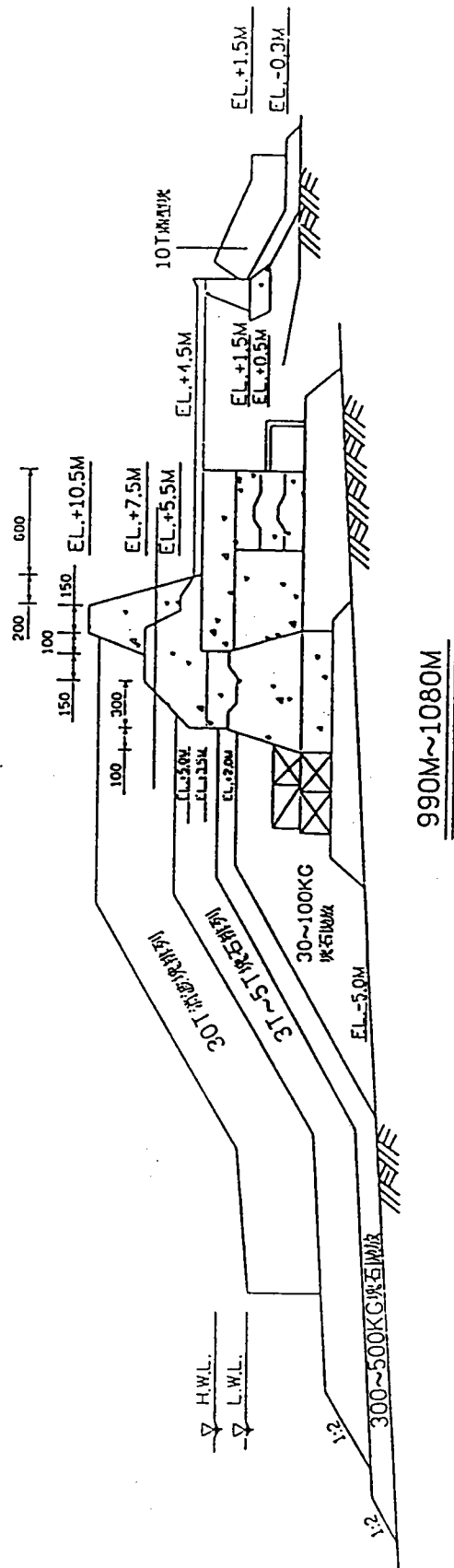


圖 18(b) 花蓮港舊工堤-5" 水深段修繕斷面圖

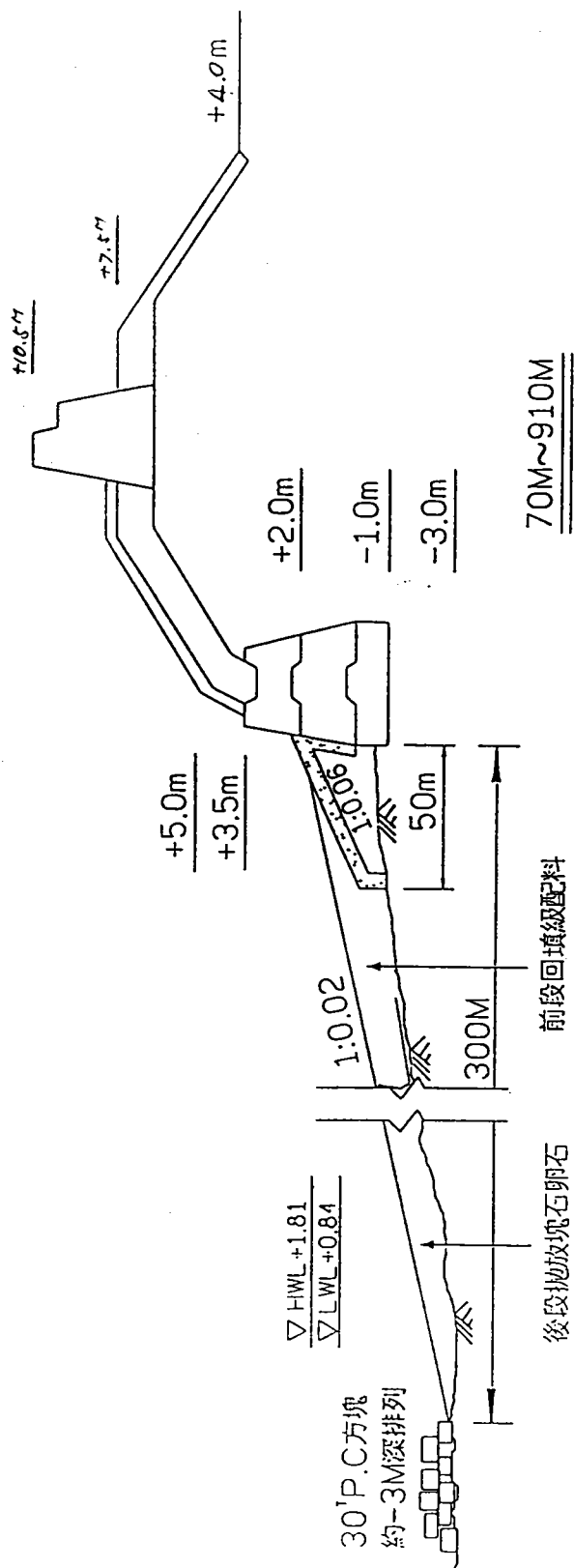


圖 19 花蓮港舊東堤 70^M ~ 910^M 段修繕斷面示意圖

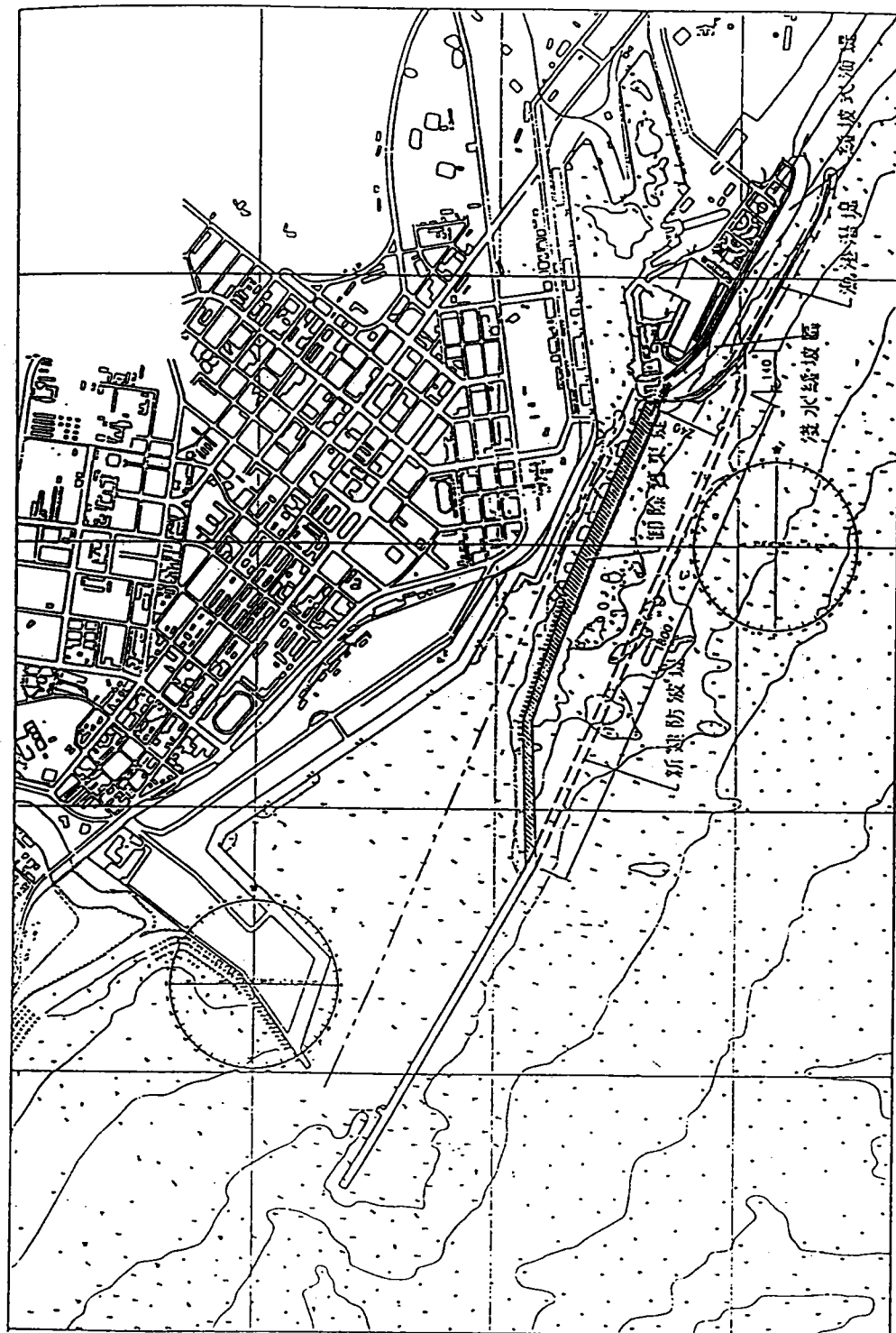


圖 20 花蓮港東堤改善平面配置圖 (方案一)

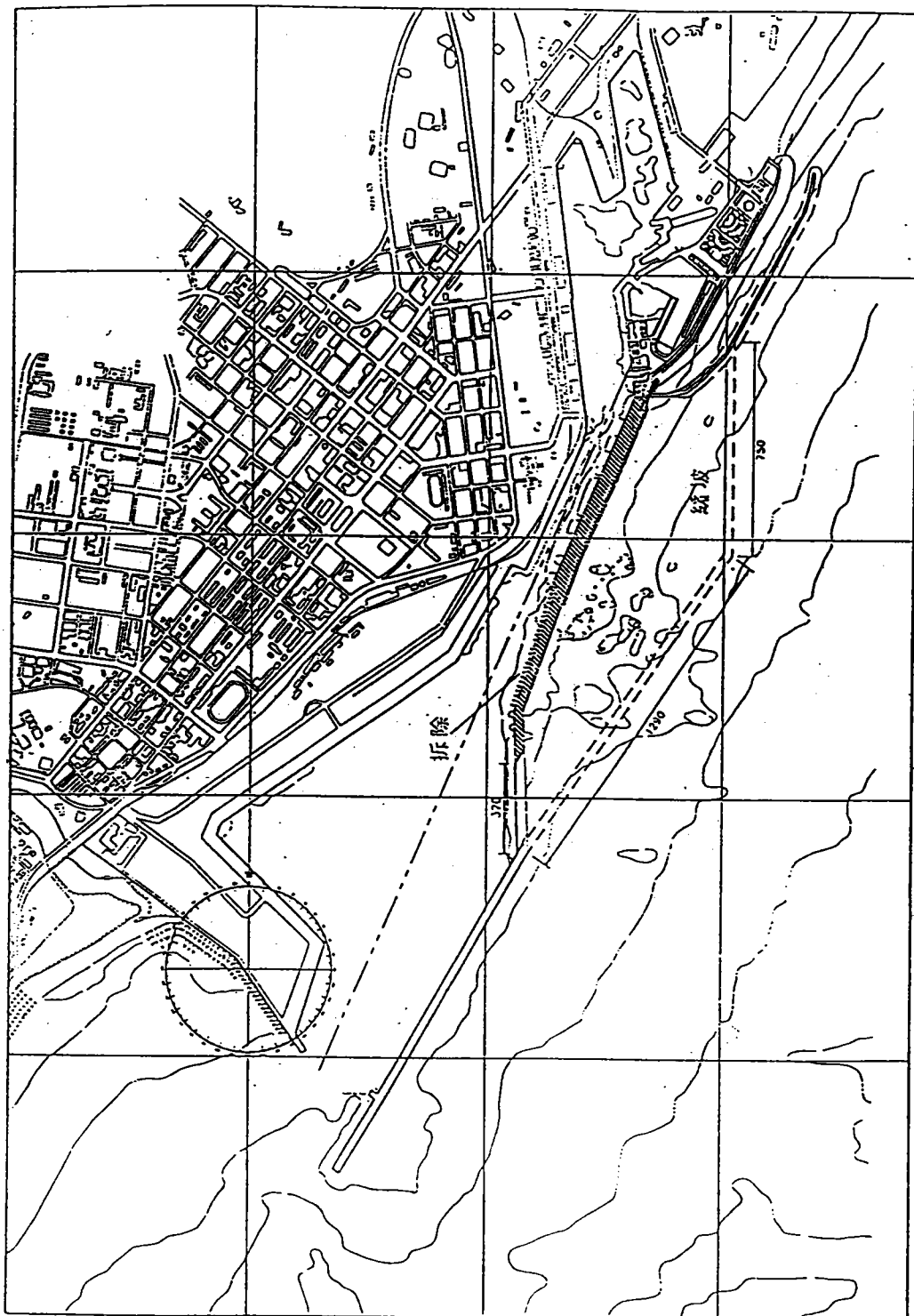


圖 21 花蓮港東堤改善平面配置圖 (方案二)

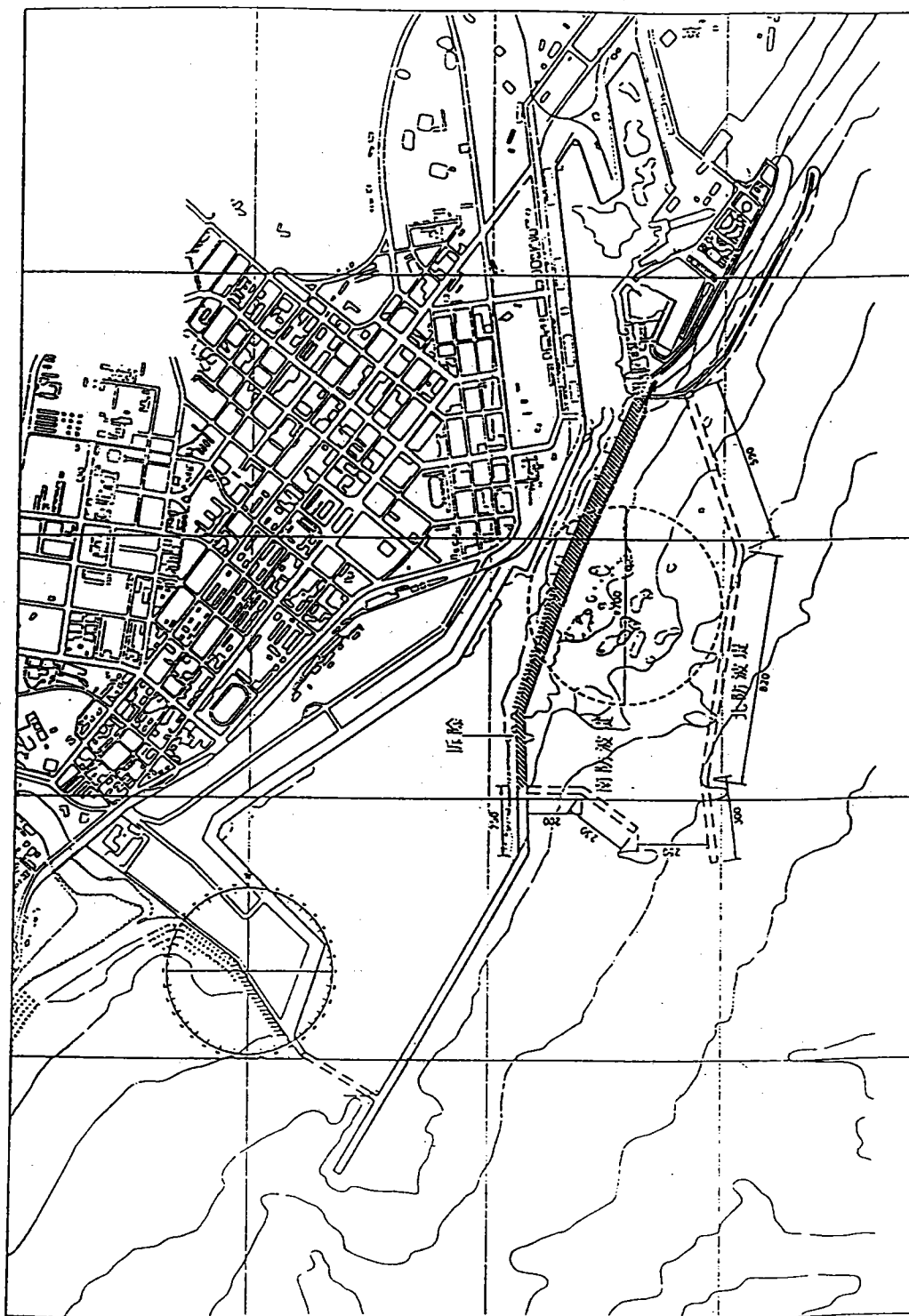


圖 22 花蓮港東堤改善平面配置圖 (方案三)

肆、綜合改善方案研定

貴局為徹底瞭解花蓮港港灣設施改善之依據以及就台灣地區港埠之整體發展以擬定花蓮港未來發展政策之參考，曾自民國八十二年十二月份起相繼委託本所辦理「花蓮港港灣設施改善計畫」與「花蓮港整體規劃及未來發展計畫」等之研究，貴局委託本所繼續辦理「花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂砂防制研究」計畫時，上述二項計畫尚在執行中，惟目前上述兩計畫已分別於八十五年四月以及十二月相繼完成，為使花蓮港未來發展計畫能更臻完善，本綜合改善方案研究，即就上述二項研究計畫成果，配合此次長浪及漂砂防制研究成果，研提一定案規劃配置，供貴局作為未來發展計畫參考依據。

本研究計畫分防波堤結構斷面型式試驗研究、防波堤堤線配置平面試驗研究，以及港口漂砂淤塞改善檢核試驗研究等三個執行子計畫，本報告根據上述三個執行子計畫研究成果，研提綜合改善方案。

一、防波堤結構斷面型式試驗

花蓮港新建東防波堤之消波胸牆段，在提姆颱風來襲時發生破壞，由此破壞引致對越波時消波式胸牆在受力情況與消波能力之待探討問題，而此問題之改善及探討，有助於目前防波堤之維護修善之參考亦可作為爾後花蓮港擴建時外廓防波堤設計之參考，有鑑於此，本研究即著重於堤面波壓力、上揚力、反射力、越波量、傳遞波高以及堤基石安定等情況之試驗探討，試驗斷面分別如圖 23～圖 25，共選取三種東防波堤斷面水深（-12m, -15m, -20m）佈置，共計三種沉箱複合堤斷面，每一試驗斷面採用兩種不同高程（含現況）加以比較越波狀況對胸牆壓力之影響。

經由各種試驗及討論結果獲致以下數點結論：

1. 開孔防波堤反射係數隨堤基水深增加垂直面積增大而加大；隨水位升高發揮開孔胸牆消波功能，以及波浪增大（波高、週期均增大）越波量增加而減小；反射係數介於 0.9 與 0.6 間。
2. 消波艙後側不透水胸牆增高 1.5m，即由 6m 增加為 7.5m（模型 15cm），堤面反射係數與現況未加高相較，略為增加但不顯著；其

變化趨勢則相似。

3. 防波堤越波量與傳遞波高均隨水位增高，波浪增大而增加，其趨勢相當一致。反射係數隨越波量或傳遞波增加而減小，符合能量守恒原則。
4. 堤面波壓不論水面下或水面上，試驗值均小於 Goda 公式計算值。水面下波壓試驗值約為計算值的 60%至 80%，隨水位降低入射波增大而漸接近計算值；水面上波壓試驗值，因開孔胸牆發揮消波功能，量測波壓遠較 Goda 公式計算波壓偏低，約為計算值 60%至 70%。
5. 試驗資料顯示開孔消波牆後側胸牆底部在高水位大波浪作用下，試驗所測得波壓力較同高程堤面波壓力偏高。部份試驗情況高達約 70%，胸牆波壓試驗值超過 Goda 公式計算值。由此可以驗證提姆颱風胸牆損毀原因。
6. 堤基拋石在低水位大波浪作用下產生位移現象。雖然模型與原型底床存有差異，但可以確定在強浪作用下防波堤堤基拋石發生位移現象，建議港務局每年需編列經費辦理追縱調查。
7. 胸牆加高雖可減低越波，但相對增加胸牆及堤體壓力，危及防波堤安全，且越波所造成傳遞波對港池船隻碇靠影響並不顯著，建議不加高。

二、防波堤線配置平面試驗

根據本所歷年來的研究與國內、外學者的相互討論，對於花蓮港颱風期間發生泊港池不穩靜現象因已有較清晰的瞭解，其原因依波浪之水理機制核視，當颱風於菲律賓東方太平洋海面形成時，其所造成的長週期湧浪進入花蓮港口至花蓮溪口間之南濱海岸時，將產生類似緣波 (Edge Wave) 的波浪型態，此緣波將沿著南濱海岸向港口行進，最後由港口進入花蓮港池，這些進入港內的長週波 (小波高) 由於無適當的消波設施或宣洩出口，再加上港池固有形狀，而產生港池共振現象，使港內長週期波波高增大，造成港內船隻泊靠困難，本試驗即針對此成因研擬長浪的各種可行防制對策，並藉由水工模型試驗的結果來檢視及評比各種對策的改善效果。

本試驗採水平與垂直皆為 1/150 比例之等比縮尺，並考慮 S、SSE、ENE 以及 NE 等四種入射波向；波浪條件由於考量長波及共振特性的清楚顯現，故選用原型週期 8 秒至 180 秒具相近波高之規則波共 19 組，此外考量實際的真實情況另選用具 JONSWAP 波譜型態的不規則波 2 組以及採用 1994 年 7 月 9 日 21 時 51 分及 10 日 11 時 30 分之提姆颱風實測波浪 2 組等分別進行試驗，（表 3、表 4 分別為本試驗波浪條件以及模型試驗概況表）；試驗配置除考量花蓮港目前港池佈置外另研擬 11 種改善佈置方案如圖 26～圖 37。

根據本計畫之試驗結果分析、比較後，以港池改善配置方案 J 及方案 Q 對於長浪防制效果較佳，但港池改善配置方案 J 是於#24 碼頭與#25 碼頭的交界處另築一長約 105 公尺之突堤，將對泊靠上述兩個碼頭的船隻造成不便，故有關防波堤堤線配置平面試驗，建議採用改善配置方案 Q，對於長浪防制之港池共振問題將以延長美崙溪口水利局第九工程處興建之原導流堤至水深 18 尺全長約 800 公尺為改善方案，俾破壞南濱海岸波場及阻絕長週期緣波進入港內，使港內共振現象減輕，同時避免港口淤塞；且將舊東堤拆除 1100 公尺，另在其外海側重新築堤，長約 1300 公尺。並與漁港海堤間形成一寬約 200 公尺缺口，此改善措施除使港內長波波能得以渲洩，以期降低港池共振程度外並可一勞永逸解決舊東防波堤堤基老舊淘空問題。

三、港口漂砂淤積改善檢核試驗

港口航道附近淤積問題，為目前花蓮港務局所面臨主要課題之一，美崙溪口之淤積地點則剛好在西防波堤外側，其淤積結果產生了兩個問題，一為減少美崙溪之洩洪能力，二為漂砂容易伸至港口航道，使港口及航道水深變淺。

本試驗除就現有配置考量冬季季節風波浪以及颱風波浪進行漂砂預備試驗外，就現有東堤堤頭不變情況離岸堤配置與東堤延伸情況離岸堤配置分別就冬季季節風，颱風波浪以及夏季季節風波浪等考量港口以南沿岸佈置不同堤距與堤長之離岸堤進行兩種主配置試驗，最後根據港口以南南濱海岸侵淤情況研提三種不同改善方案保護對策分別如圖 38～圖 42 所示。圖中離岸堤長 80 公尺，堤距為 30 公尺試驗結果顯示，以改善方案(II)離岸堤群配置對改善港口航道淤積以及南濱海岸保效果較佳。

表 3 試驗波浪條件

波浪編名	原 型		模 型		波浪型態
	波高(公分)	週期(秒)	波高(公分)	週期(秒)	
R0	0.75	180.0	0.50	14.7	規則波
R1	0.75	160.0	0.50	13.1	規則波
R2	0.75	150.0	0.50	12.3	規則波
R3	0.75	145.0	0.50	11.9	規則波
R4	0.75	140.0	0.50	11.4	規則波
R5	0.75	135.0	0.50	11.0	規則波
R6	0.75	125.0	0.50	10.2	規則波
R7	0.75	100.0	0.50	8.2	規則波
R8	0.75	80.0	0.50	6.5	規則波
R9	0.75	40.0	0.50	3.3	規則波
RA	0.40	160.0	0.27	13.1	規則波
RB	0.40	145.0	0.27	11.9	規則波
RC	0.40	125.0	0.27	10.2	規則波
RD	1.25	125.0	0.83	10.2	規則波
RE	1.50	80.0	1.00	6.5	規則波
RM	4.00	10.0	2.67	0.82	規則波
RN	2.00	8.0	1.33	0.65	規則波
RX	4.00	15.0	2.67	1.22	規則波
RY	8.00	15.0	5.33	1.22	規則波
M1	2.00	8.0	1.33	0.65	JONSWAP
M2	4.00	10.0	2.67	0.82	JONSWAP
T1	6.50	13.5	4.33	1.10	提姆颱風
T2	2.50	11.0	1.67	0.90	提姆颱風

表 4 模型試驗況表(√記號表已作試驗。—記號表未進行試驗)

佈置編 波浪編號	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K	P	Q
R0	√	√	√	√	√	√	—	—	√	—	—	√
R1	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
R3	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R4	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
R5	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R6	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
R7	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R8	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R9	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
RA	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
RB	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
RC	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
RD	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
RE	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
RM	√	√	√	√	√	√	—	—	√	—	—	√
RN	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—
RX	√		√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
RY	√	√	√	√	√	√	—	—	√	—	—	√
M1	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—
M2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
T1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
T2	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—
試驗波向	S SSE	S SSE ENE NE	S SSE	S SSE ENE NE	S	S	S	S	S	S	S	S

四、綜合改善方案研擬

為改善因長週期波浪所引起港池穩靜，減少港口航道淤積，降低船隻不能作業時間，增進船舶進港安全，並維護南濱海岸穩定，經由本次防波堤堤線配置平面試驗所研提改善配置方案 Q 對港內長週期波浪能量已能發揮功效。且經由本次港口漂淤塞改善檢核試驗研究，本所研提改善方案(III)離岸堤及突堤配置亦可有效改善港口航道，美崙溪口附近之淤積，並發揮保護美崙溪口以南、北濱、南濱、化仁海岸之穩定功效。故本研究計劃根據水工模型試驗結果並考量舊東堤拆除可行性及拆除經費問題，本所研提定案建議改善佈置如圖 43 所示。改善配置方案說明如下：

1. 根據堤線配置平面試驗改善配置方案 Q，拆除舊東堤 1,100 公尺至 $El \pm 0m$ ，將堤線外移沿著 $-5m \sim -8m$ 水深另建一道長約 1,300 公尺平行新東堤之防波堤與漁港潛堤銜接，並在銜接處設置透水式防波堤。
2. 沿著美崙溪口配合水利處已施工之導流堤延伸至總長約為 800 公尺，水深至 -18 公尺，俾與西防波堤形成一共振水域，除可消減長浪入侵外並具改善美崙溪口，港口及航道漂砂淤積。
3. 根據港口漂砂淤塞改善檢核試驗改善方案(III)離岸堤配置，沿著北濱、南濱以及化仁海岸興建 5 道突堤群並建 21 座離岸堤，每座離岸堤長為 80 公尺，間距為 30 公尺，用以保護該區海岸穩定。

五、施工經費

根據所研提花蓮港定案建議改善佈置，本所研提相關離岸堤、突堤、導流堤以及新建東防波堤等建議，斷面型式分別如圖 44～圖 47 所示，花蓮港整個工程費用概估約新台幣陸拾柒億元，有關舊東防波堤拆除，東防波堤外移興建、美崙溪河口導流堤、離岸堤興建 $-6m$ 深、離岸堤興建 $-8m$ 以及突堤興建(接離岸堤)等各項費用及單價分析詳如表 5 及表 6 中所示。

表 5 花蓮港整建工程概算

項次	工程項目	單位	數量	單價	總價	備註
一	舊東防波堤拆除	M	1,100.00	250,000.00	275,000,000.00	拆除到高程 El ±0m 處
二	東防波堤外移興建	M	1,300.00	2,200,000.00	2,862,000,000.00	
三	美崙溪河口導流堤	M	800.00	1,700,000.00	1,360,000,000.00	
四	離岸堤興建-6m 深	M	560.00	950,000.00	532,000,000.00	海上施工
五	離岸堤興建-8m 深	M	800.00	1,300,000.00	1,040,000,000.00	海上施工
六	突堤興建(接離岸堤)	M	1,00.00	650,000.00	650,000,000.00	
	總 計				6,717,000,000.00	

表 6 花蓮港防波堤外移工程單價分析

項次	工程項目	單位	數量	單價	總價	備註
一、	舊東堤每公尺拆除費				250,000.00	
1.	胸牆 PC 打除	式	1.00	21,000.00	21,000.00	
2.	內外 PC 護堤打除	式	1.00	28,900.00	28,900.00	
3.	內基腳 PC 塊打除	式	1.00	16,250.00	16,250.00	
4.	外基腳 PC 塊打除	式	1.00	65,000.00	65,000.00	
5.	堤心 PC 打除	式	1.00	114,500.00	114,500.00	
6.	打除方挖棄	式	1.00	4,350.00	4,350.00	
二、	東防波堤外移每公尺工程費				2,200,000.00	
1.	沉箱製作安放	式	1.00		1,485,600.00	
2.	φ 10 ~ 30cm 卵石採拋	式	1.00		14,000.00	
3.	5 ~ 100kg 塊石採拋	式	1.00		43,500.00	
4.	1 ~ 3T 塊石採拋	式	1.00		26,300.00	
5.	60T 方塊製拋	式	1.00		378,000.00	
6.	消波胸牆製作	式	1.00		252,600.00	
三、	導流堤每公尺工程費				1,700,000.00	
1.	φ 10 ~ 30cm 卵石採拋				11,000.00	
2.	5 ~ 100kg 塊石採拋				21,750.00	
3.	1 ~ 3T 塊石採拋				45,000.00	
4.	護基方丟塊製吊				70,000.00	
5.	沉箱製作安放				1,342,250.00	
6.	場鑄 P.C				210,000.00	
四、	離岸堤每公尺工程費	(-6M)			950,000.00	
1.	60T 改良型方塊製拋	式	1.00		780,000.00	
2.	小搬運	式	1.00		65,000.00	
3.	海上吊拋	式	1.00		105,000.00	
五、	離岸堤每公尺工程費	(-8M)			1,300,000.00	
1.	60T 改良型方塊製拋	式	1.00		956,000.00	
2.	小搬運	式	1.00		129,600.00	
3.	海上吊拋	式	1.00		214,400.00	

表 6(續) 花蓮港防波堤外移工程單價分析

項次	工程項目	單位	數量	單價	總價	備註
六、	突堤每公尺工程費				650,000.00	
1.	堤心堤採拋	式	1.00		99,000.00	
2.	1~2T 塊石採拋	式	1.00		90,000.00	
3.	30T 消波塊製吊	式	1.00		376,000.00	
4.	堤頂方塊製排	式	1.00		85,000.00	

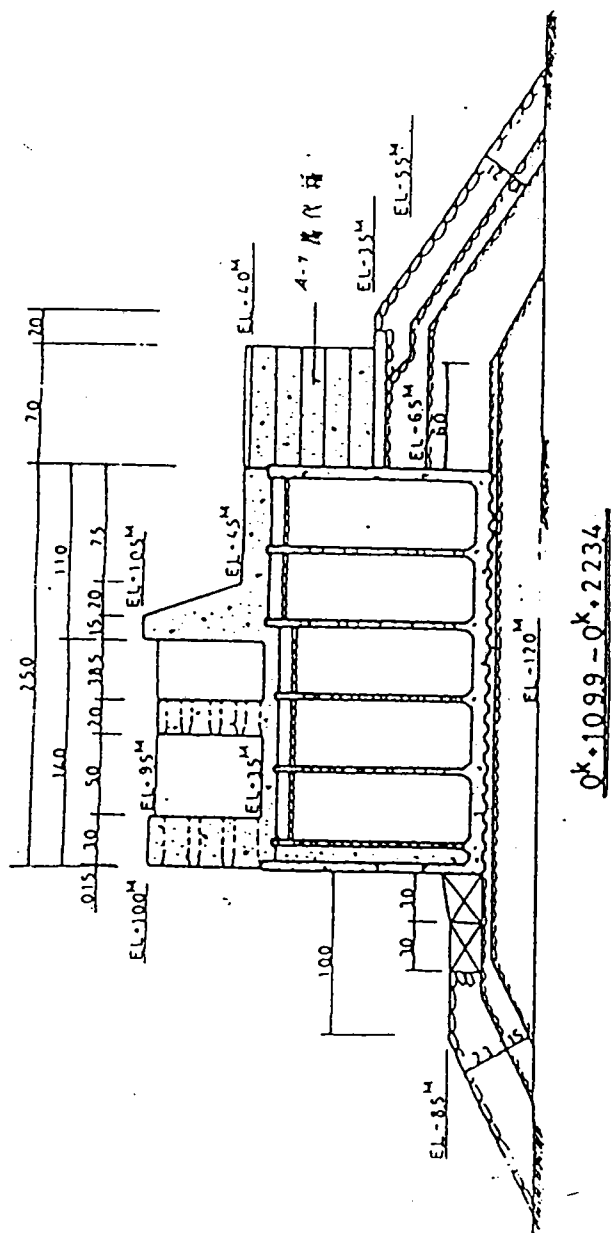


圖 23 花蓮港東防波堤試驗斷面 (I) (水深-12^m)

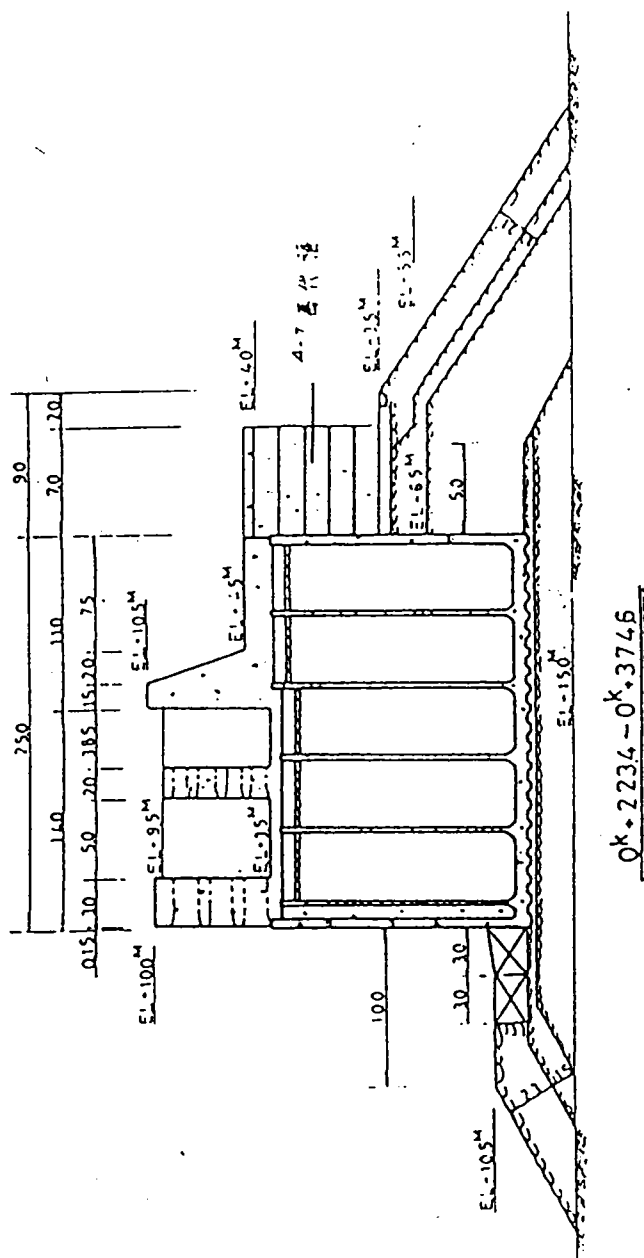


圖 24 花蓮港東防波堤試驗斷面 (II) (水深-15^m)

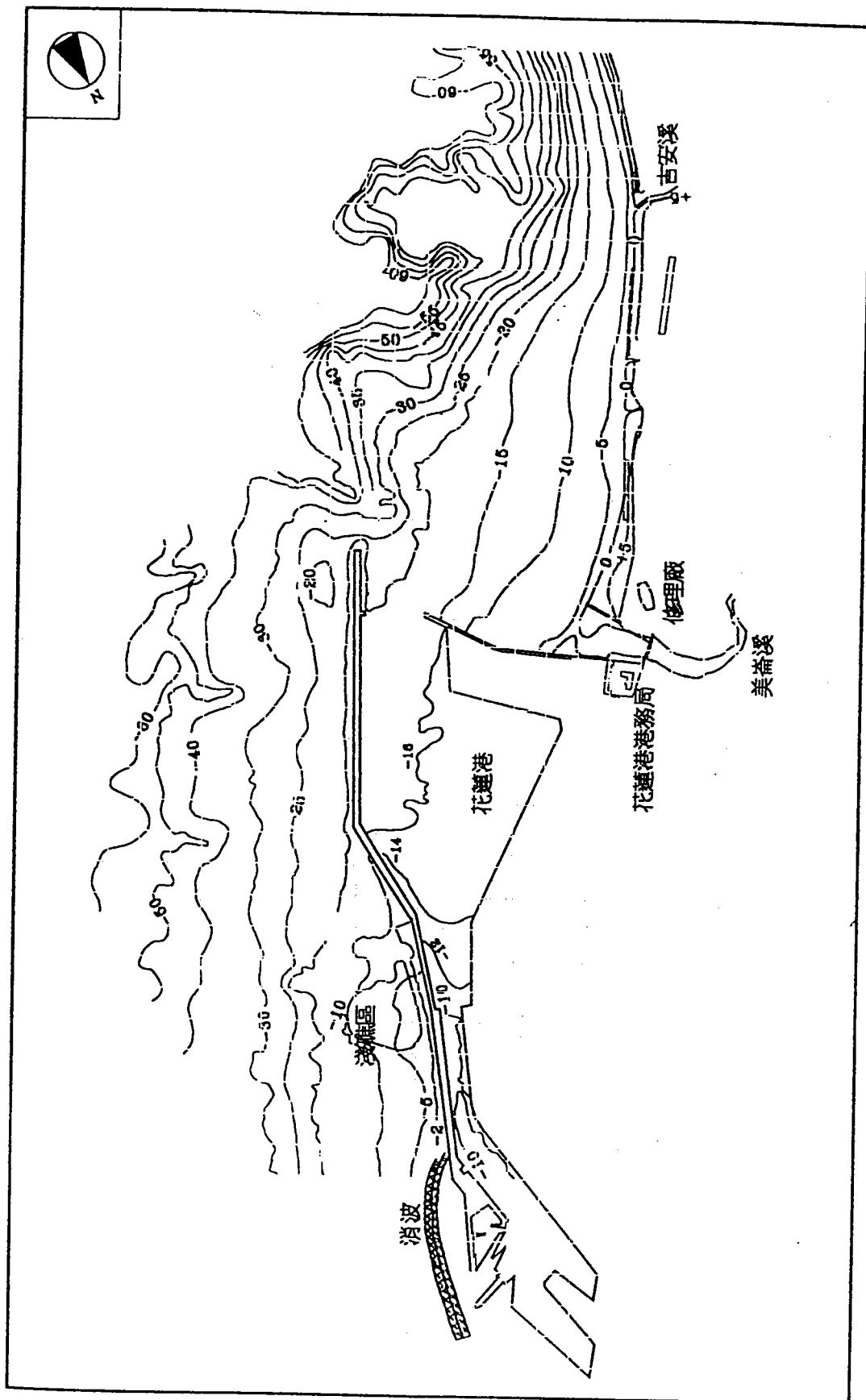


圖 26 花蓮港港池現有佈置 (佈置 A)

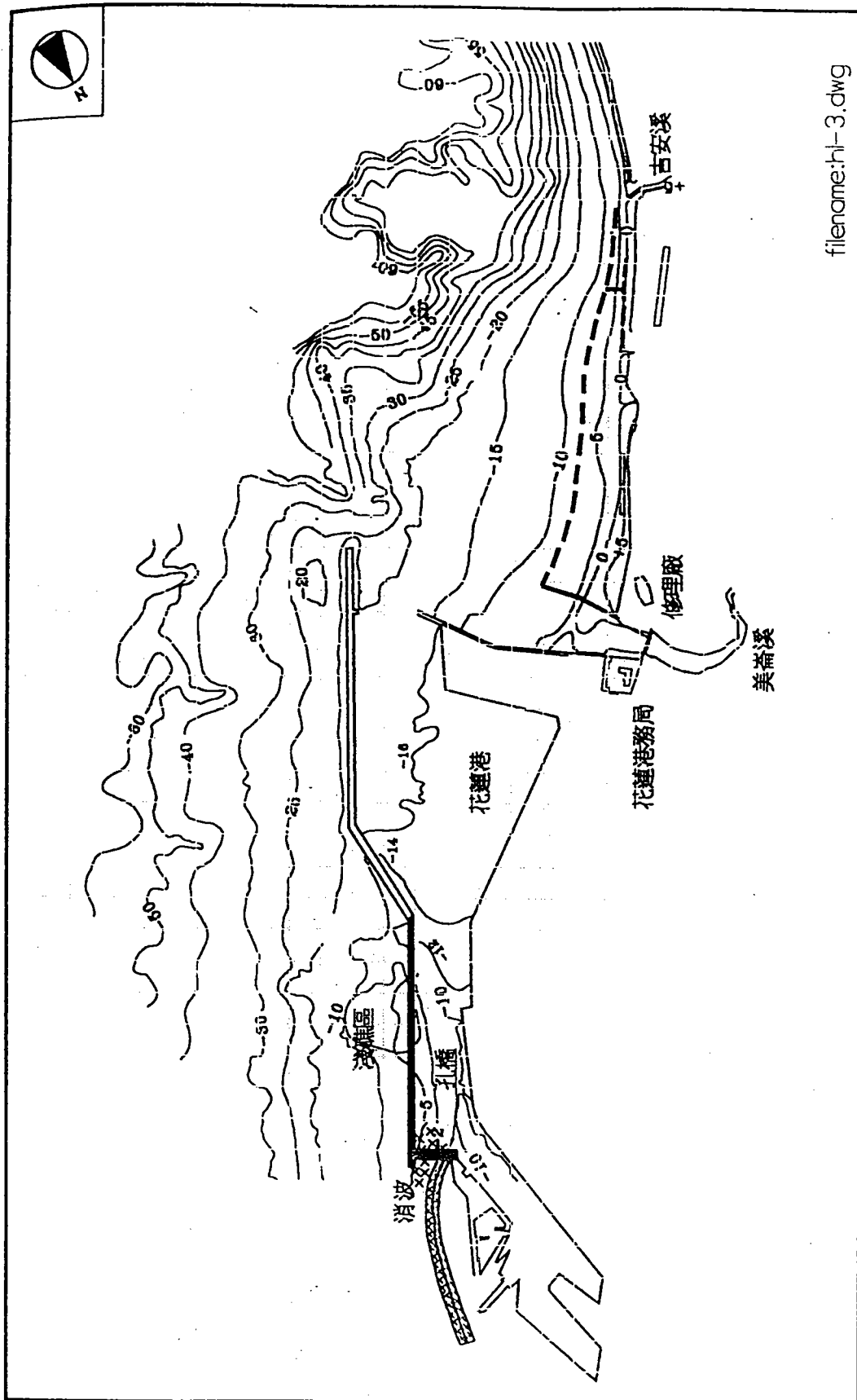


圖 27 花蓮港港池改善佈置 (佈置 B)

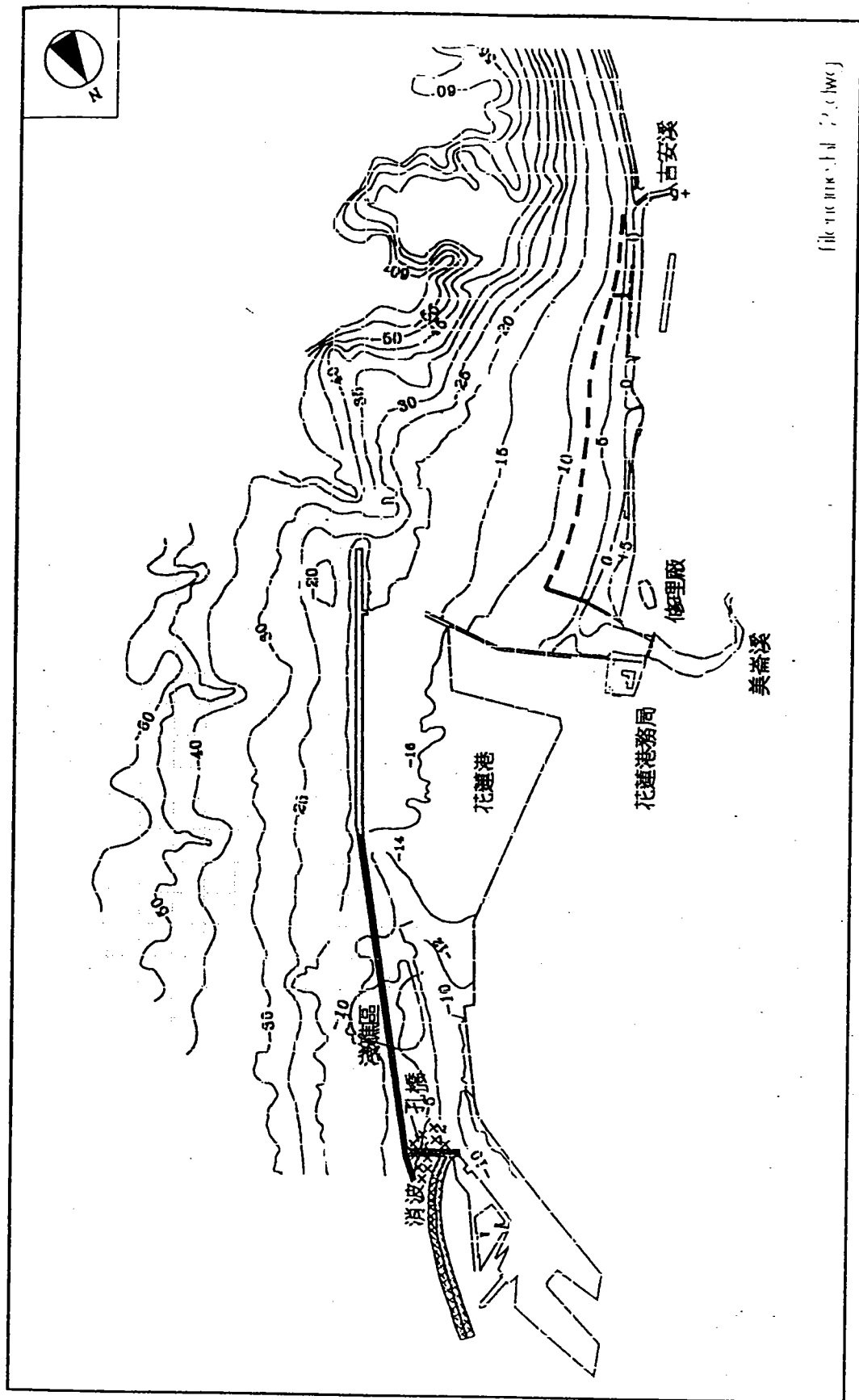
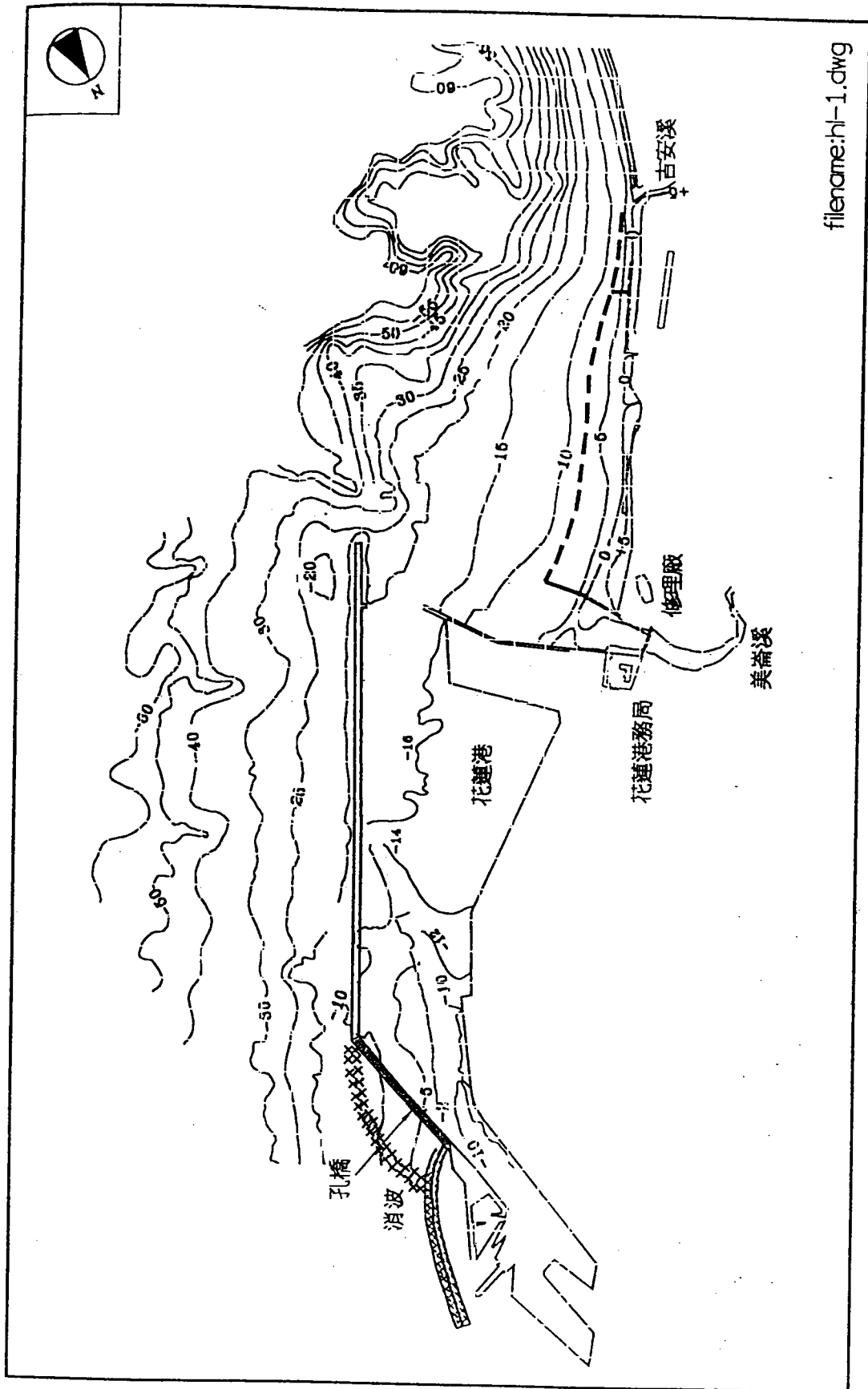
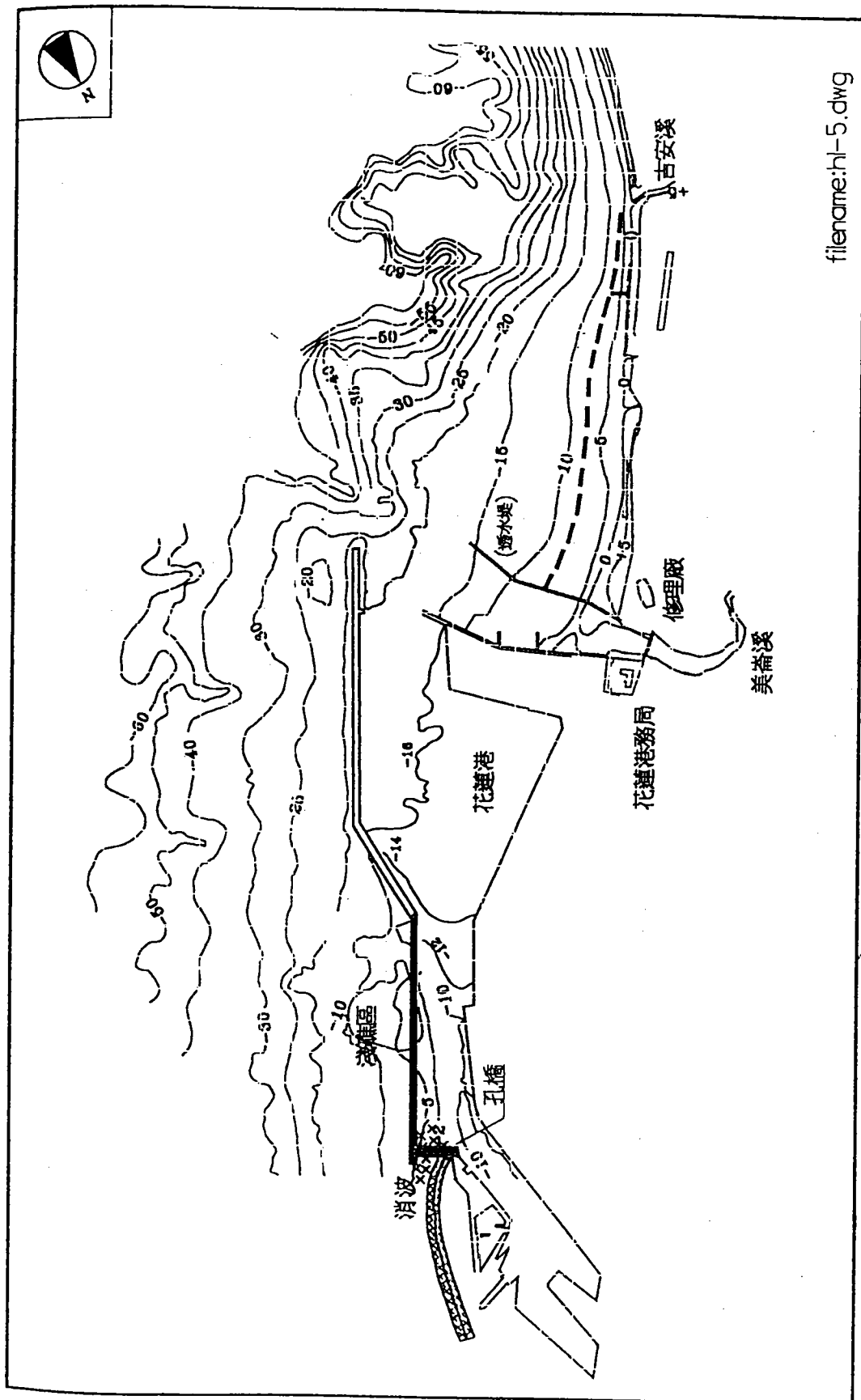


圖 28 花蓮港港池改善佈置 (佈置 C)



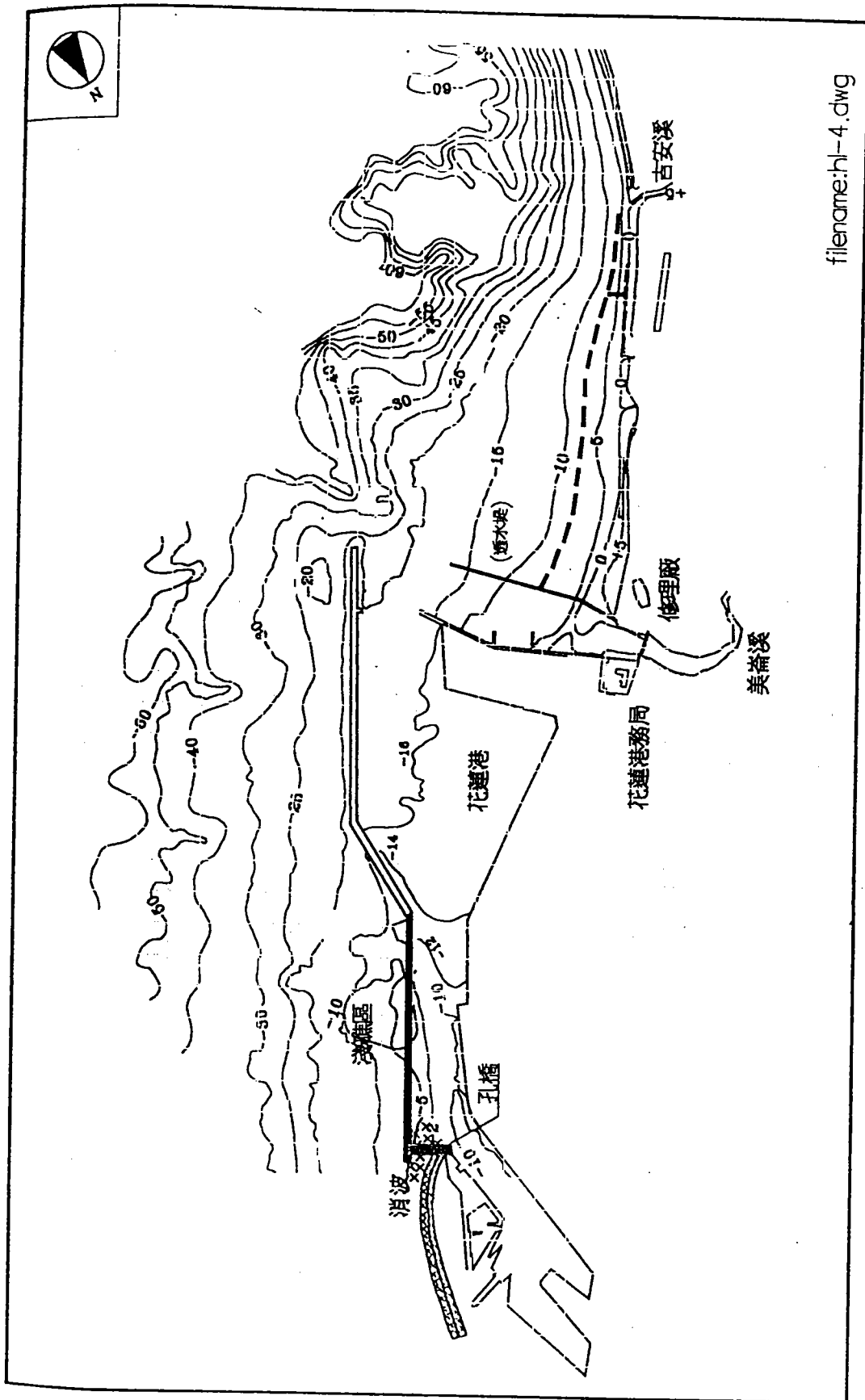
filename:hl-1.dwg

圖 29 花蓮港港池改善佈置 (佈置 D)



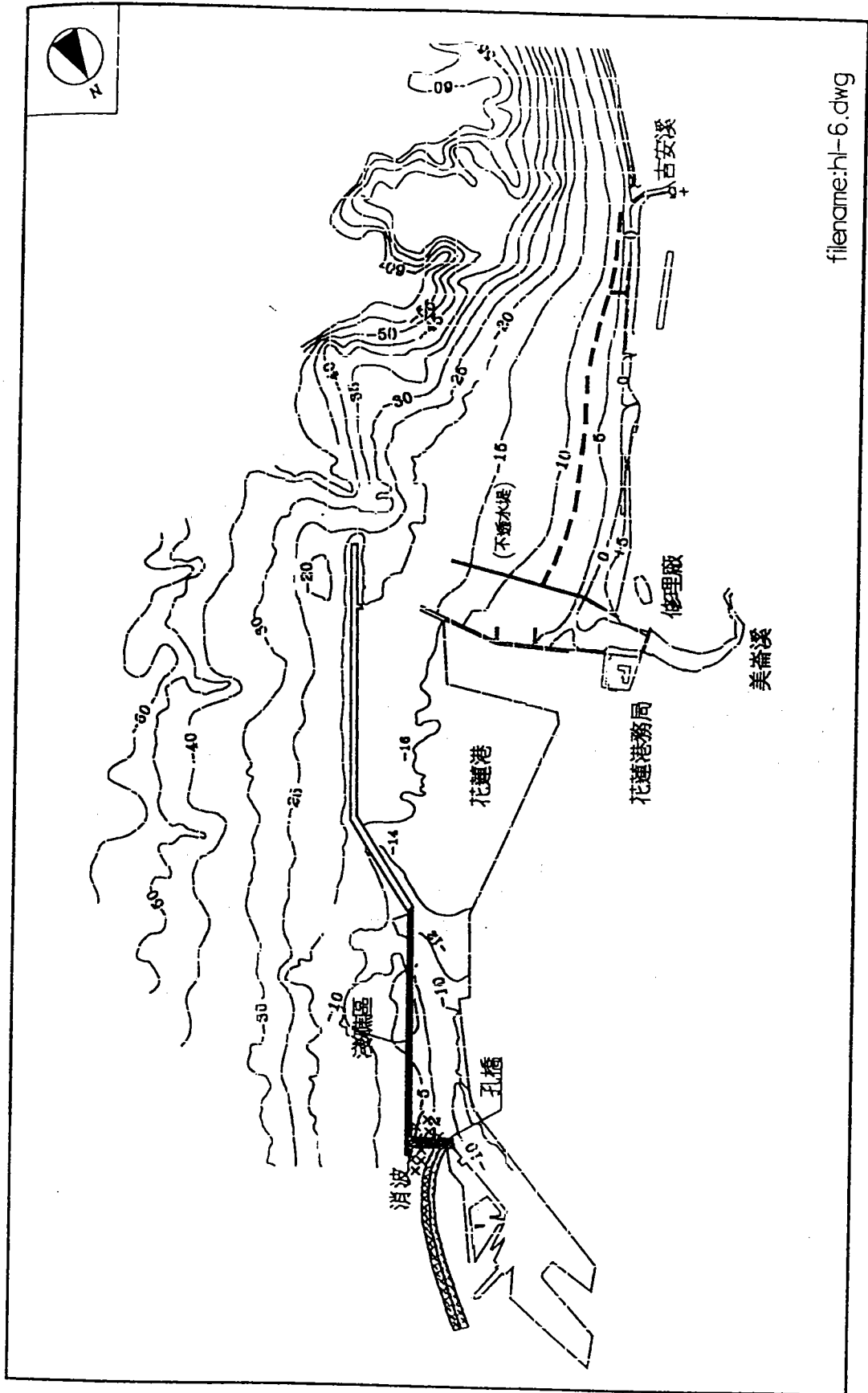
filename:hl-5.dwg

圖 30 花蓮港港池改善佈置 (佈置 E)



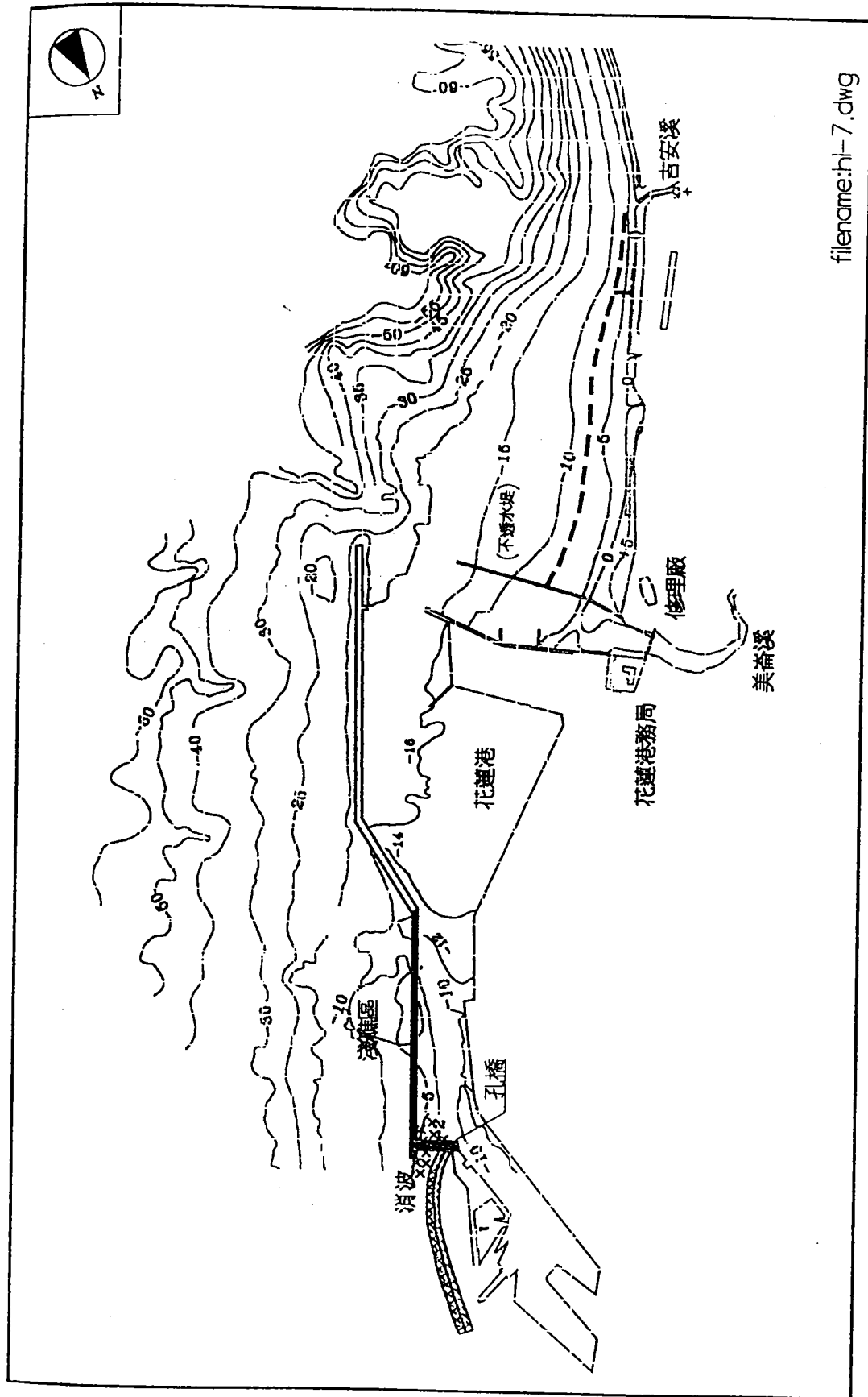
filename:hl-4.dwg

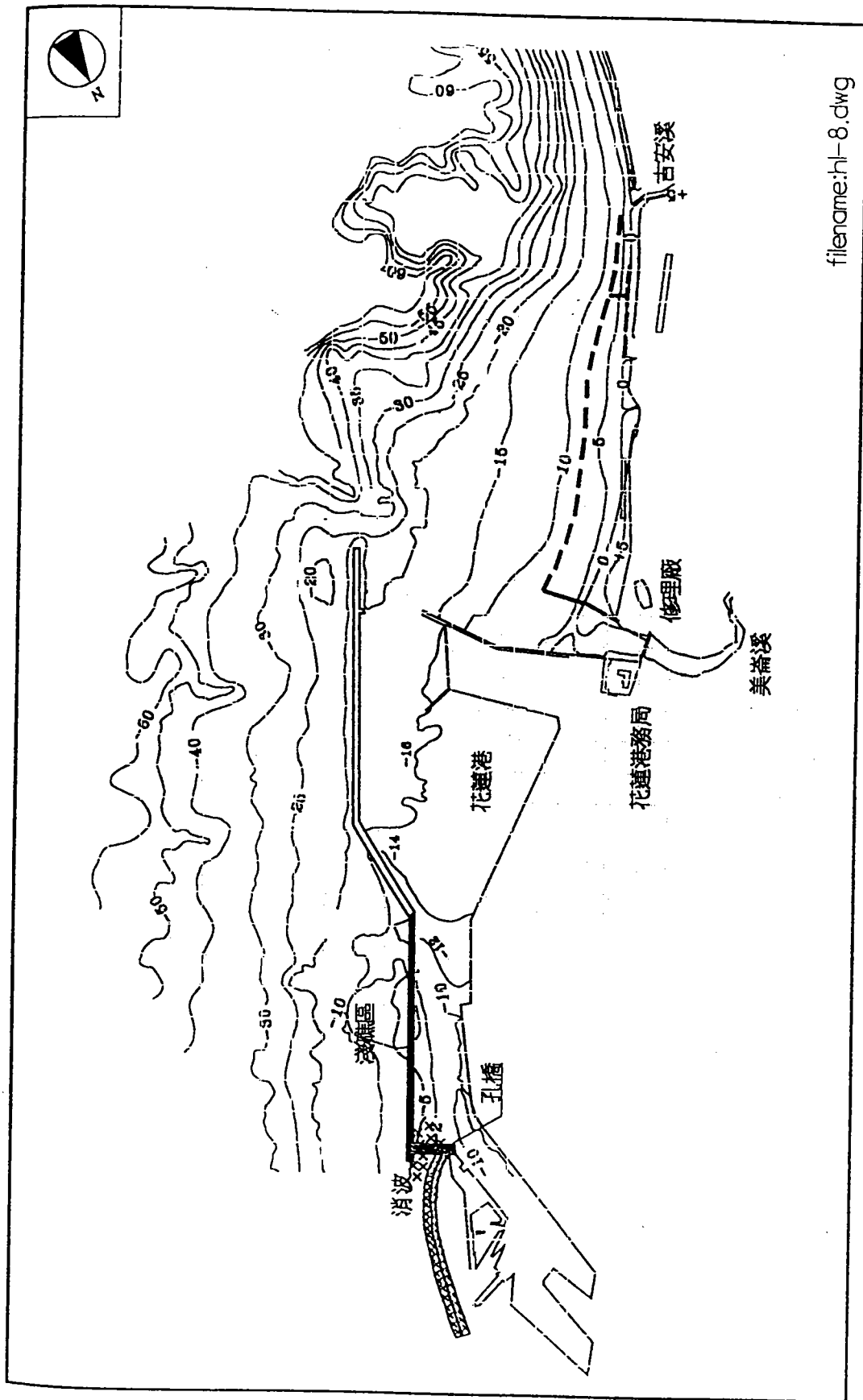
圖 31 花蓮港港池改善佈置 (佈置 F)



filename:hl-6.dwg

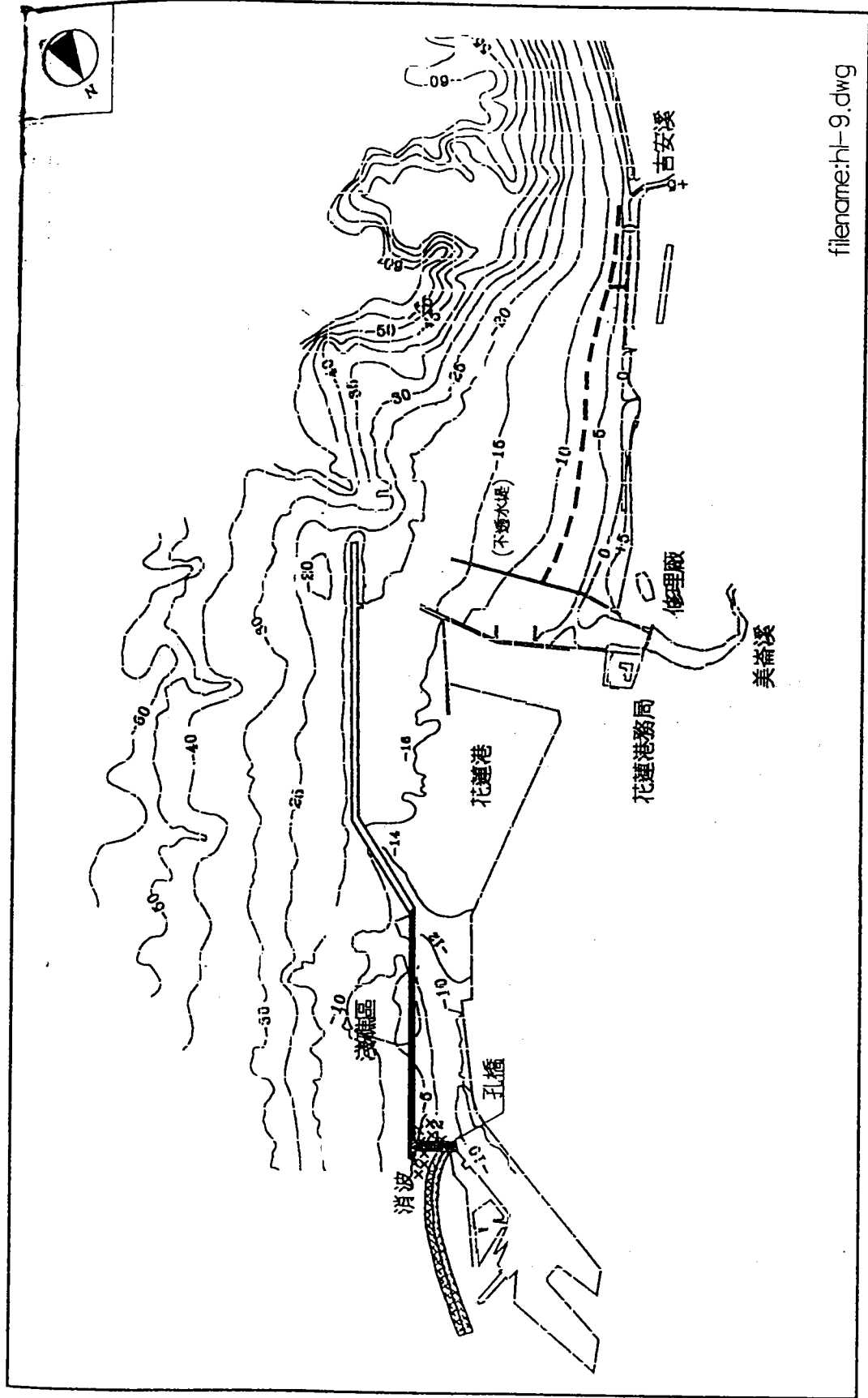
圖 32 花蓮港港池改善佈置 (佈置 H)





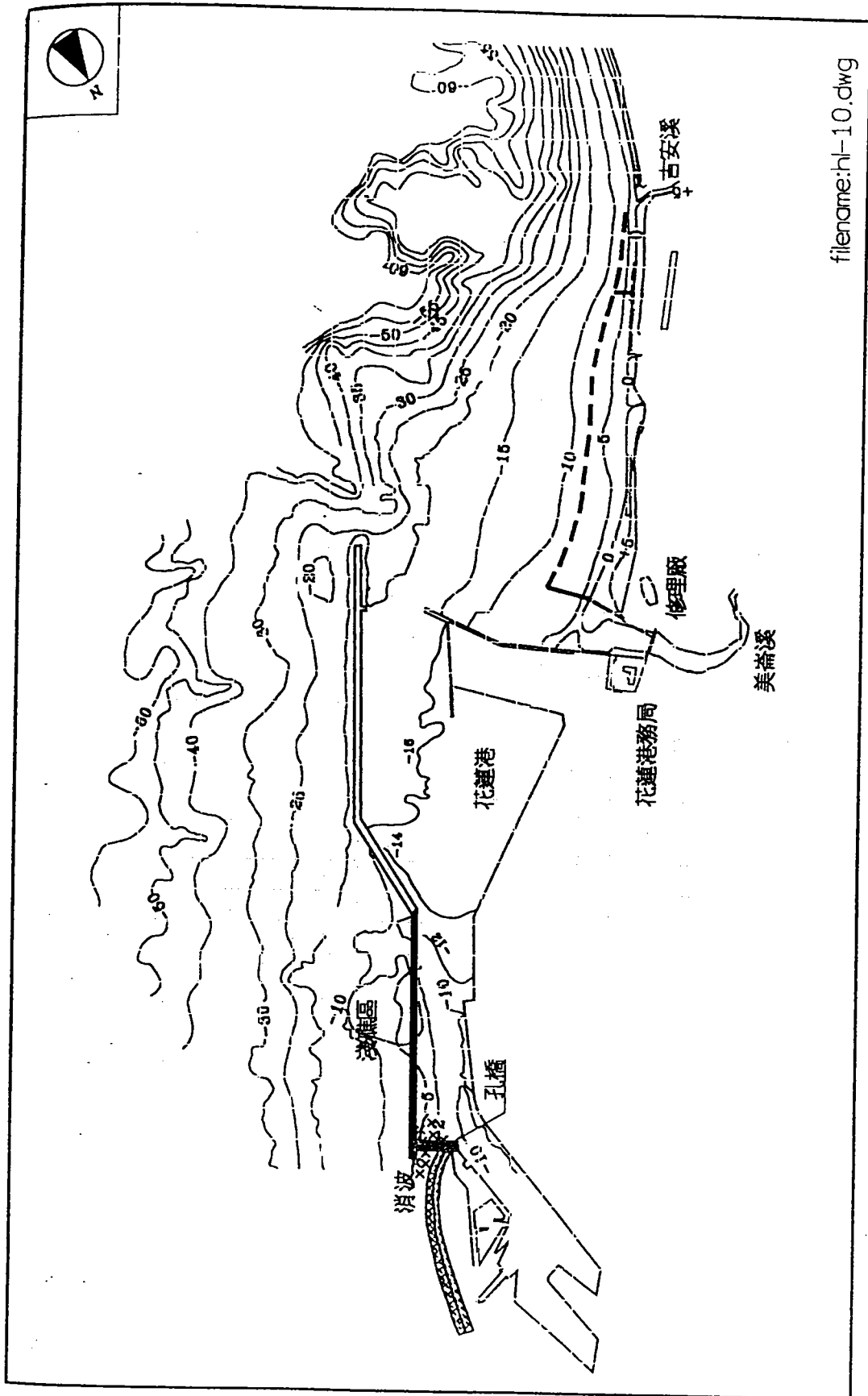
filename:hl-8.dwg

圖 34 花蓮港港池改善佈置 (佈置 J)



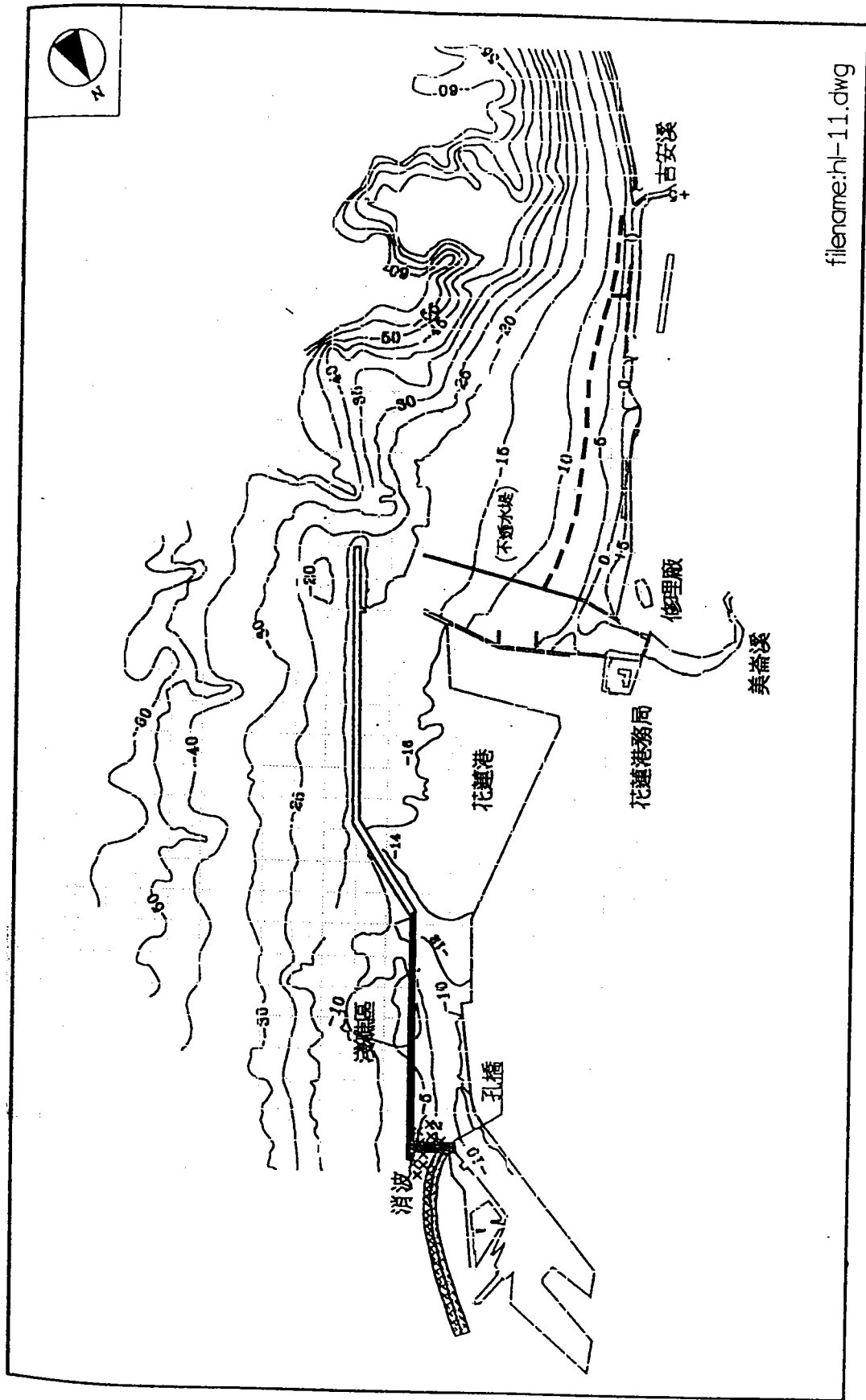
filename:hl-9.dwg

圖 35 花蓮港港池改善佈置 (佈置 K)



filename:hl-10.dwg

圖 36 花蓮港池改善佈置 (佈置 P)



filename:hl-11.dwg

圖 37 花蓮港港池改善佈置 (佈置 Q)

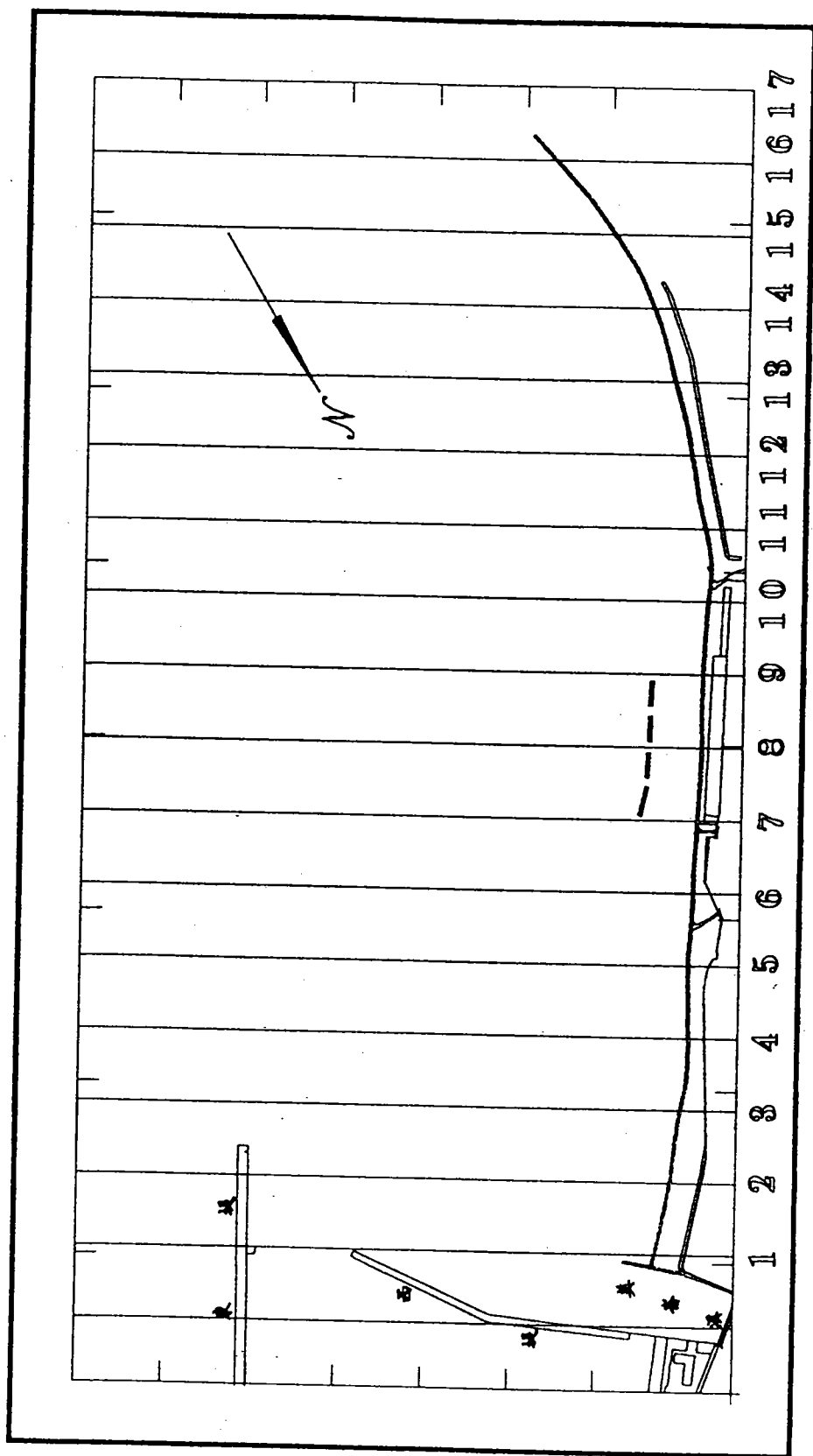


圖 38 主試驗(現有東堤堤頭不變)離岸堤配置示意圖

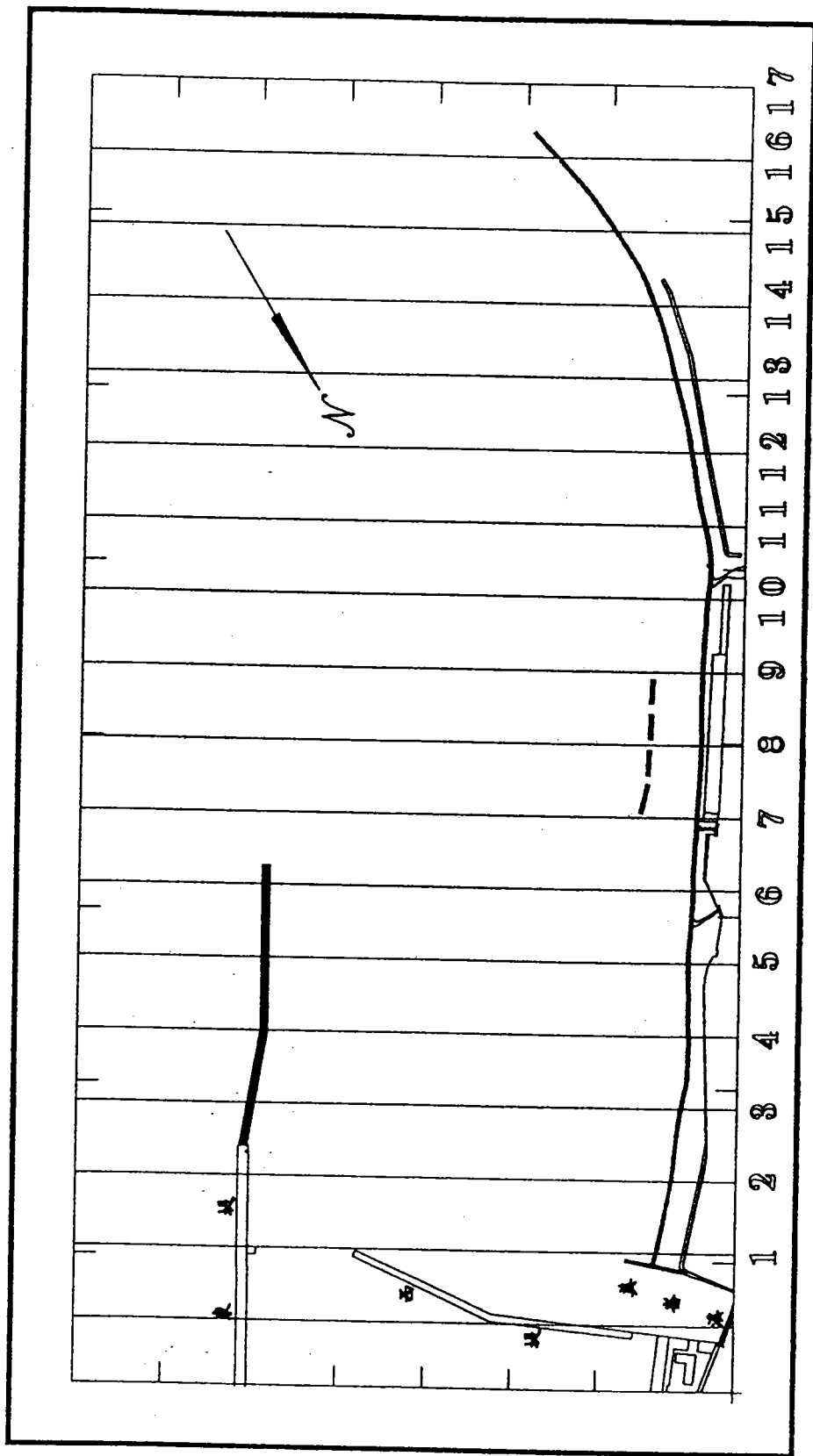


圖 39 主試驗(東堤延伸)離岸堤配置示意圖

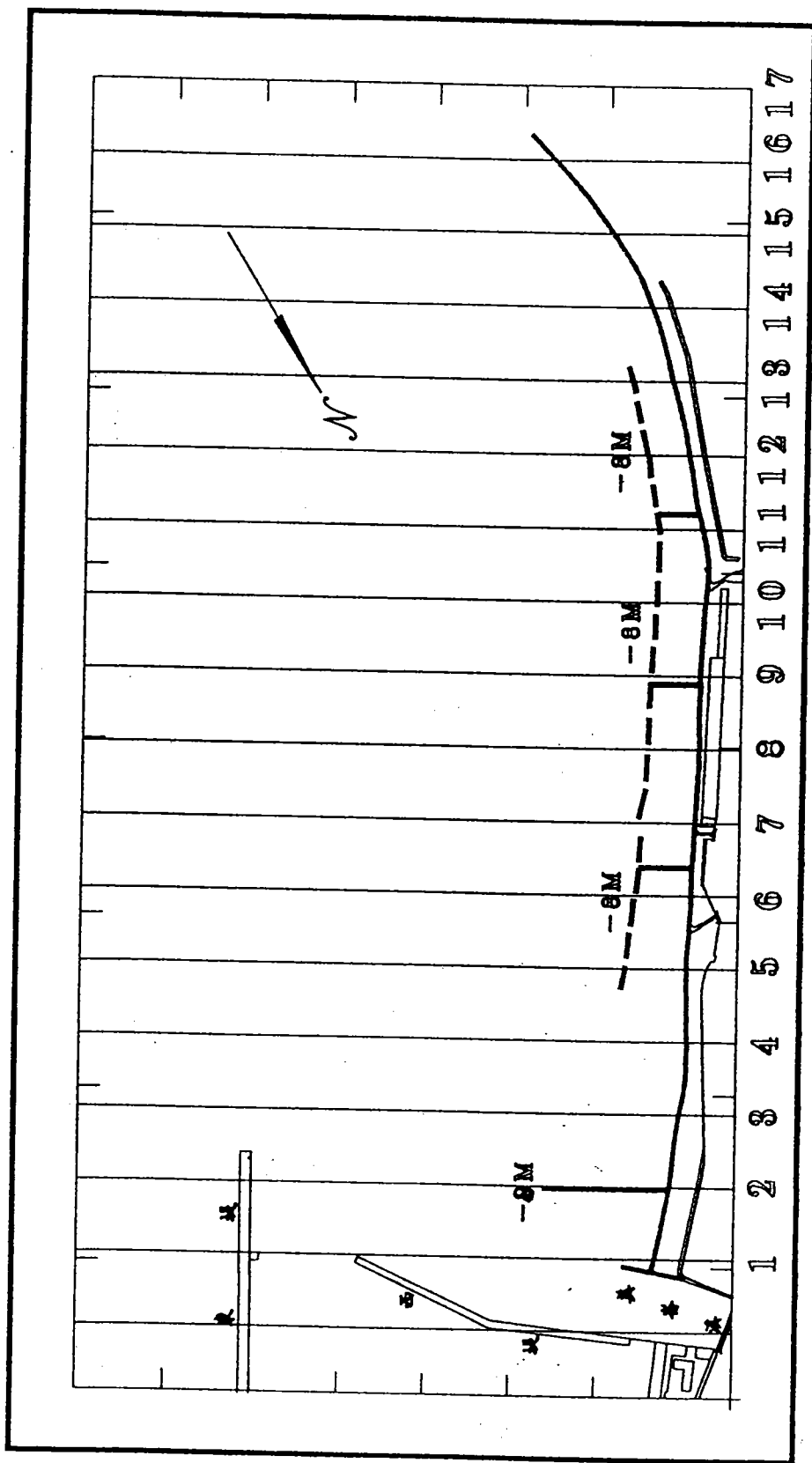


圖 40 港口漂砂淤塞防制試驗改善方案(I)離岸堤配置示意圖

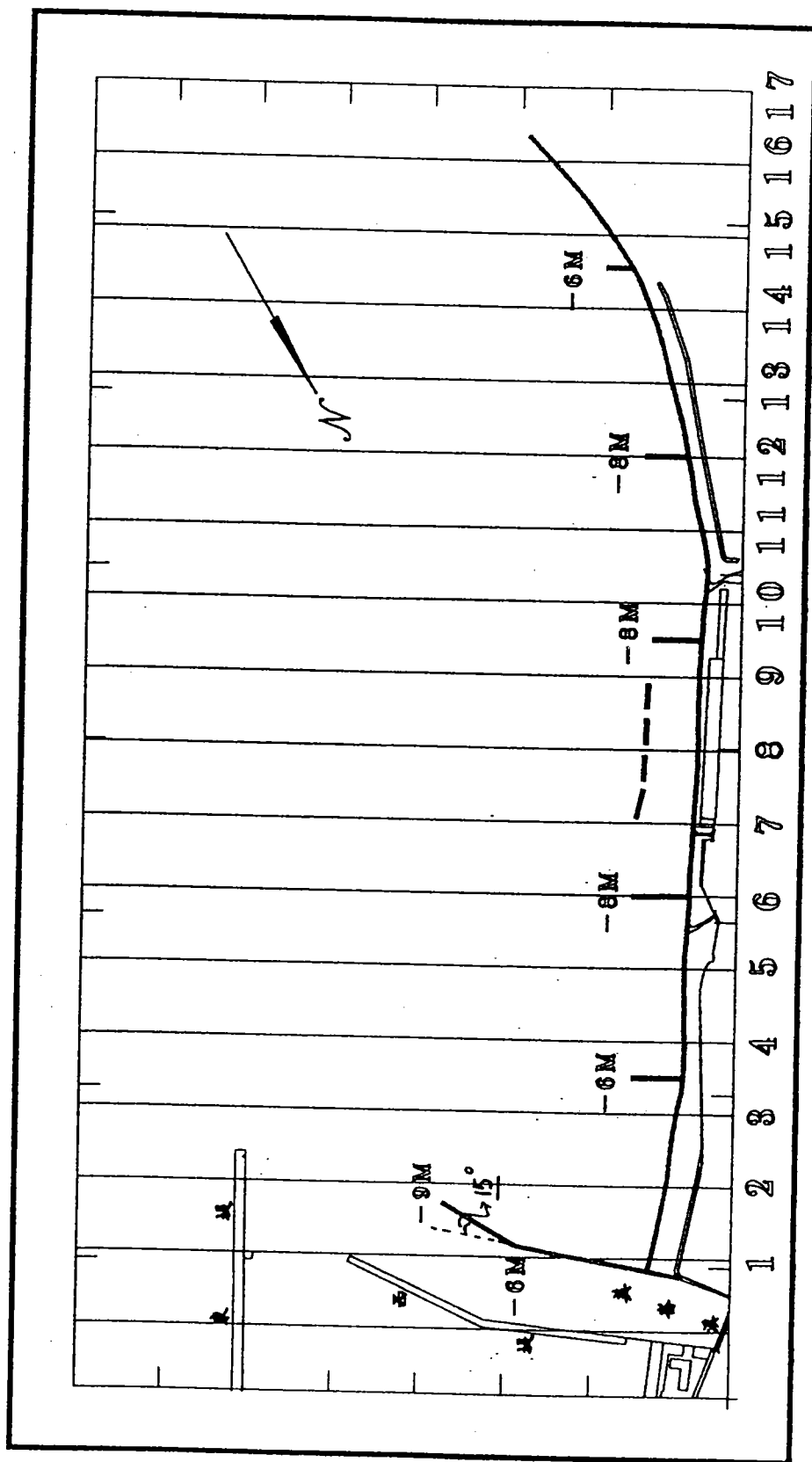


圖 41 港口漂砂淤塞防制試驗改善方案(II)離岸堤配置示意圖

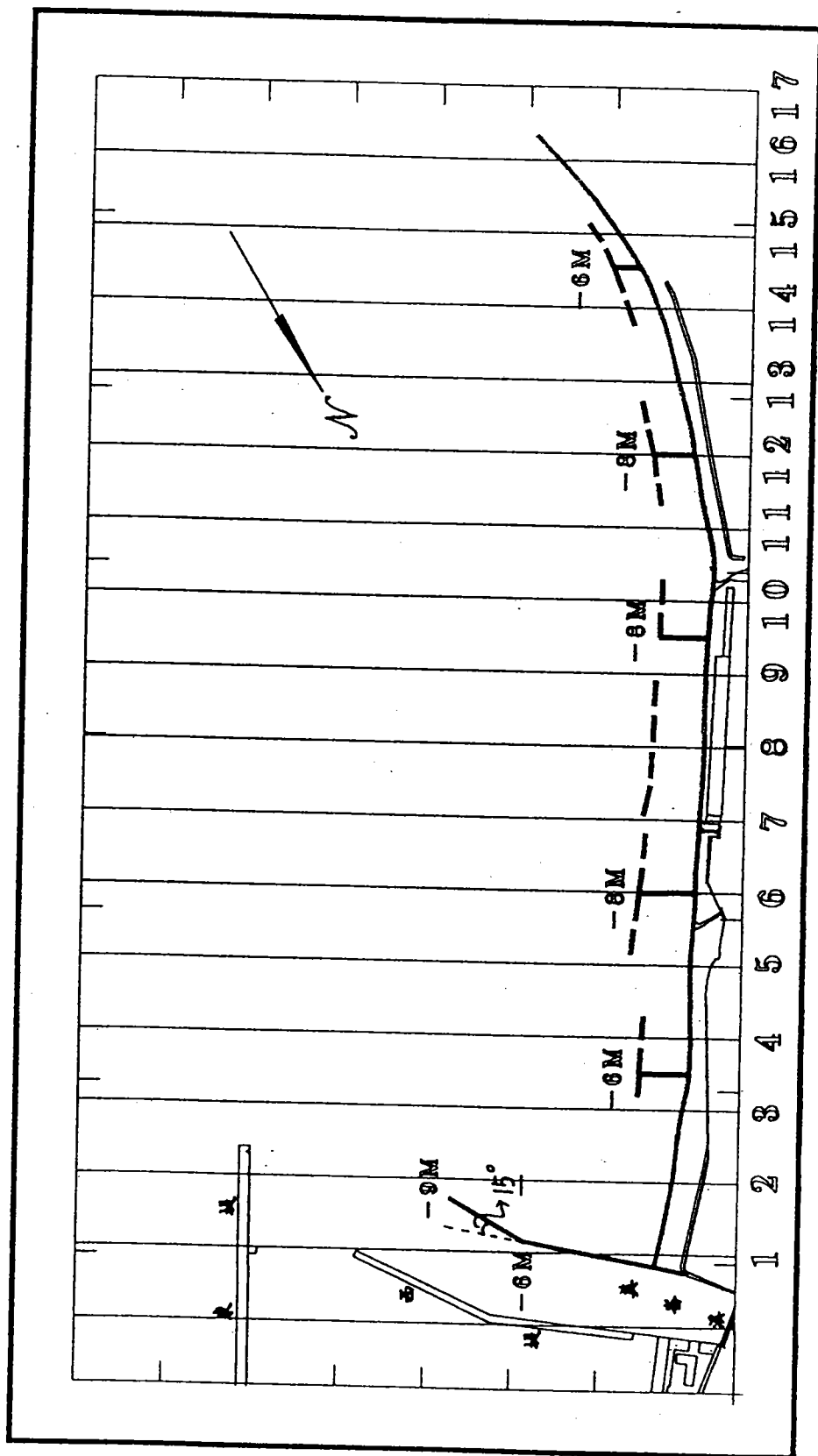
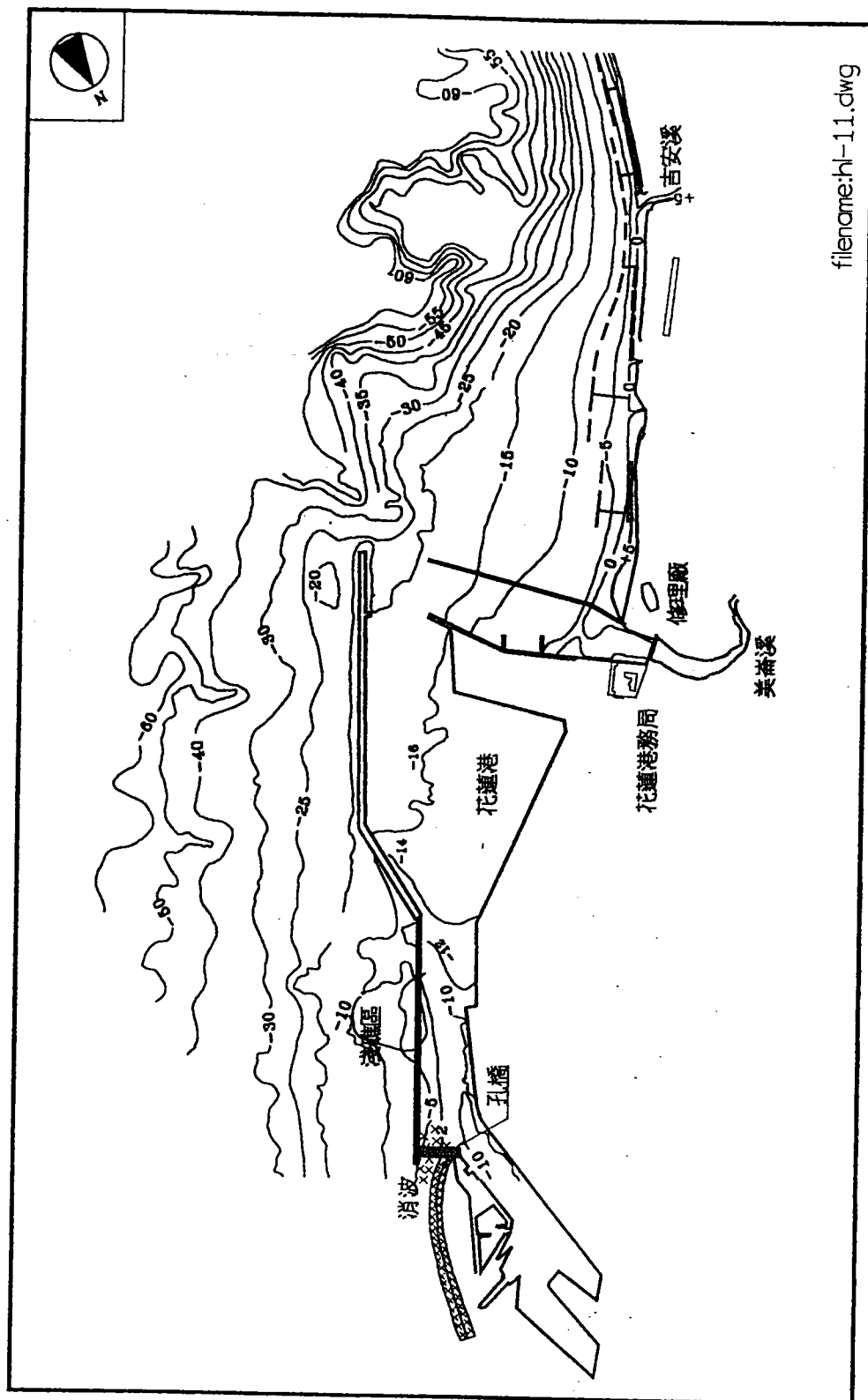


圖 42 港口漂砂淤塞防制試驗改善方案(III)離岸堤配置示意圖



filename:hl-11.dwg

圖 43 花蓮港定案建議改善配置圖

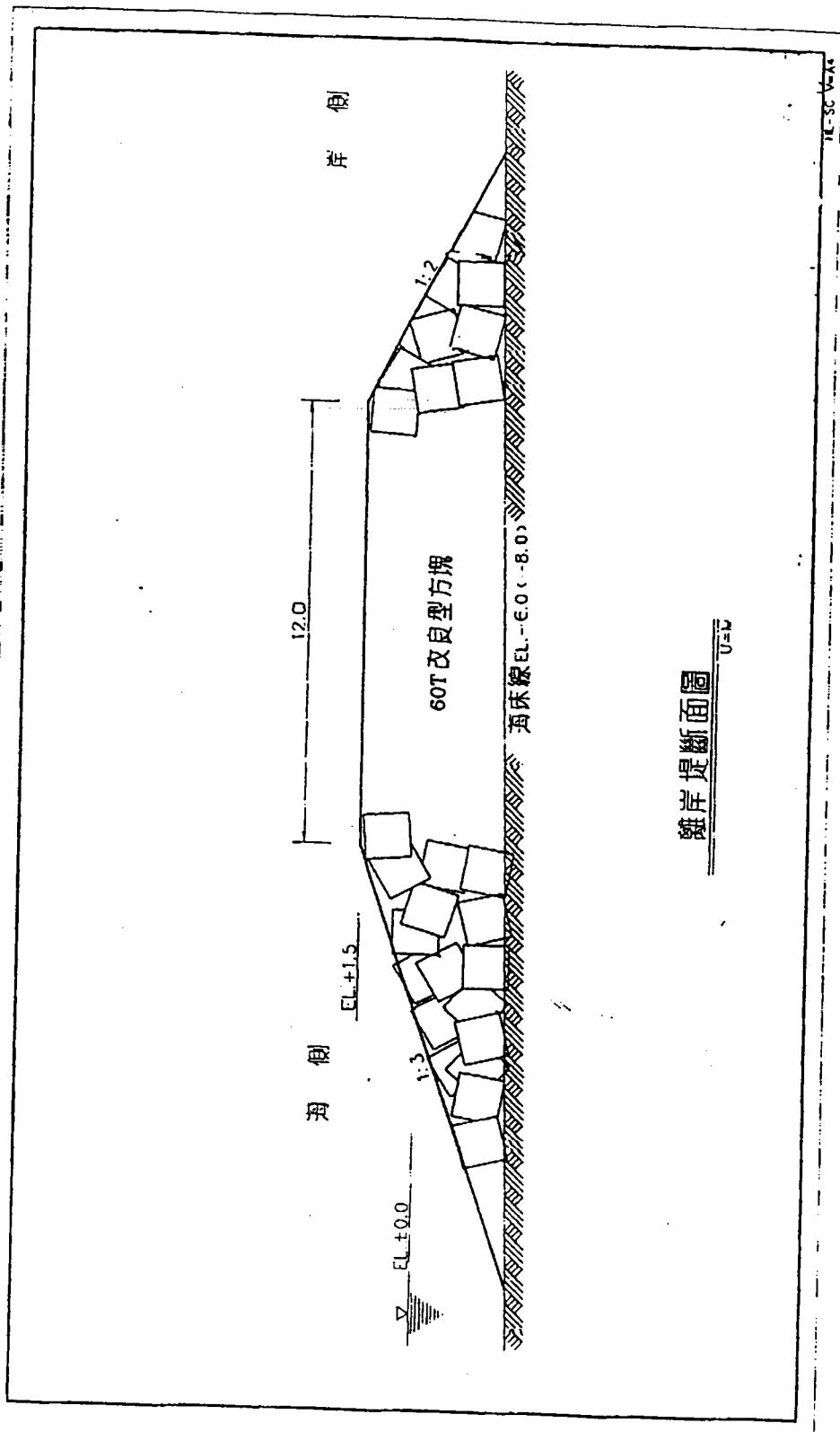


圖 44 花蓮港美崙溪口以南建議離岸堤斷面圖

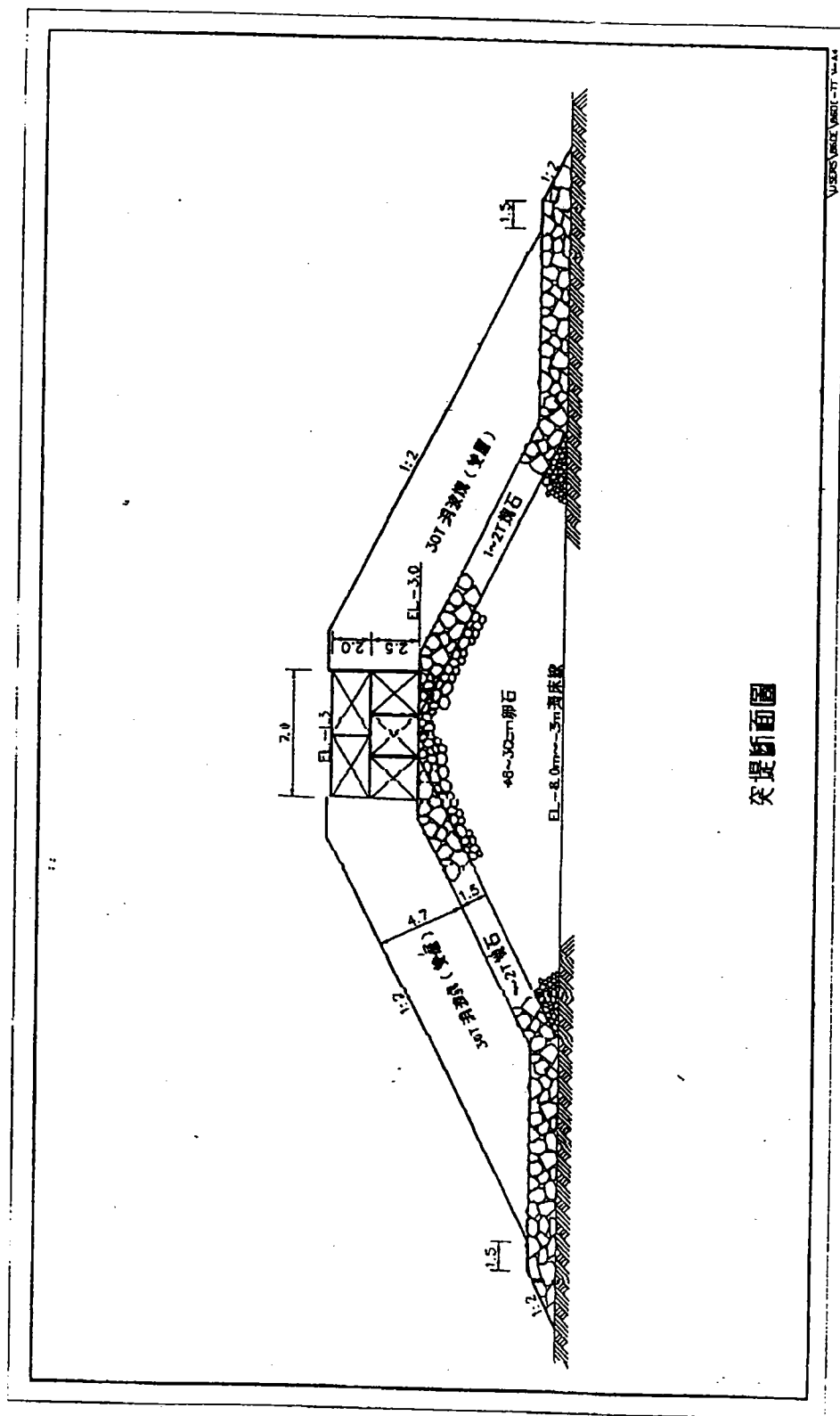


圖 45 花蓮港美崙溪口以南建議突堤断面圖

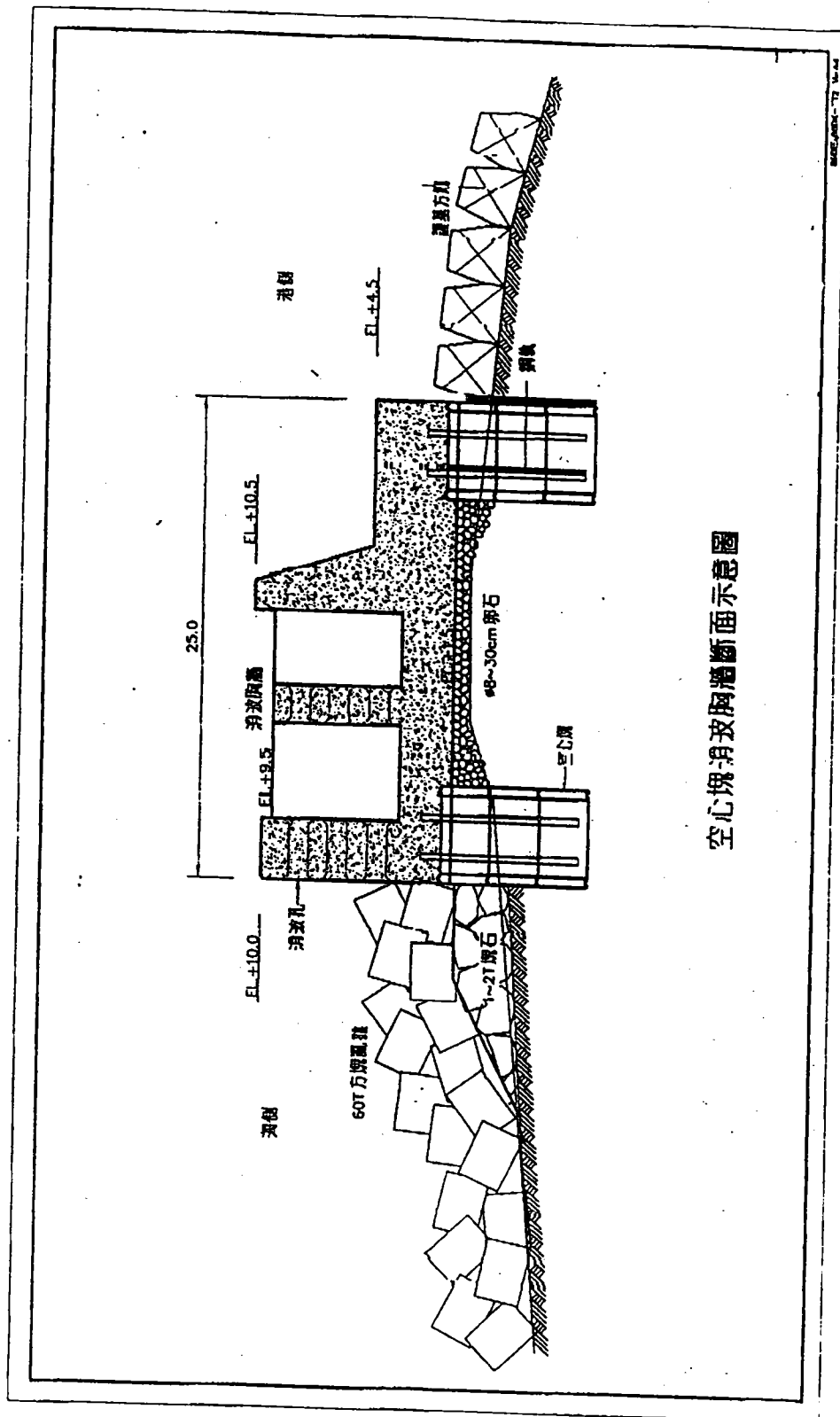
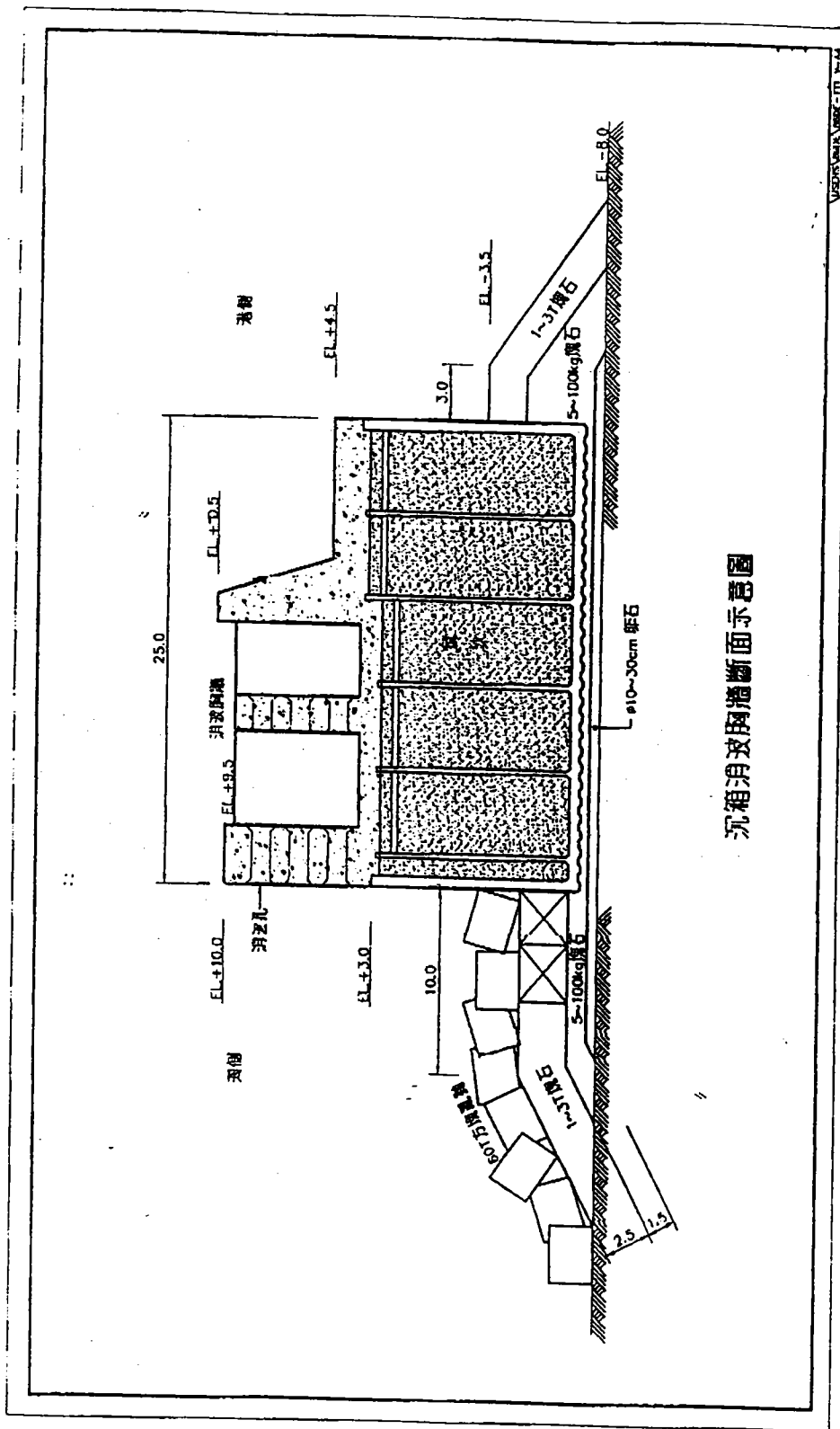


圖 47(a) 花蓮港建議新建東防波堤斷面圖(El ±0 ~ 5 公尺)



沉箱消波牆斷面示意圖

圖 47(b) 花蓮港建議新建東防波堤斷面圖 (EL -8 公尺)

伍、法國及葡萄牙港灣工程考察

本所辦理 貴局委託「花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂沙防制研究」計畫，其中「綜合計畫方案之研擬」主要工作項目即赴法國、葡萄牙實地考察法國北部敦克爾克港(Dunkirk)港口漂沙防治工程以及葡萄牙塞恩斯港(Sines)西外防波堤遭颱風侵襲破壞後復建及監測方法等資料收集，俾對情況類似之花蓮港港口淤塞改善以及東防波堤遭提姆颱風破壞後，如何整建方案研擬對策參考；後因受年度預算限制，僅由本所張金機所長及本計畫主持人黃清和研究員前往，謹將本次考察，訪問相關心得敘述如後。

一、敦克爾克港(Port of Dunkirk)

敦克爾克港地處法國北部為法國面臨北海(North Sea)一個重要港口，係一雙子星港(Twin Port)，兩個港口沿著海岸線相距 15 公里如圖 48 所示；東港口水深為 14.2 公尺，可供 11 萬 5 仟噸級船舶進出；西港口水深 20.5 公尺，可供 30 萬噸級油輪進出，屬法國第三大港為一工業港。西元 1995 年全部運量為 3940 萬噸，主要進口金屬礦石以及煤等。自敦克爾克西港口距離 channel tunnel 入口僅 30 公里；西碼頭距離世界最忙碌航行路線僅需航程時間 1 個半小時，與歐洲各主要港口航程時間都在 13 個小時內如圖 49 所示；在週遭半徑 350 公里範圍內，擁有 8,300 萬個消費者，位居歐洲戰略中樞位置。

此行由法國 SOGREATH 顧問公司安排於 1996 年 7 月 30 日在 Mr. M. DELATORRE 陪同下拜會敦克爾克港務局(Dunkirk Port Authority)港灣維護部門主任 Mr. JACQUES BOCKET，由於此行主要目的僅係要了解該港如何處置外海嚴重漂沙相關問題。本文僅將該港在西元 1995 年以及 1997 年已投資以及擬投資該港挖泥浚漂相關費用敘述如下。

敦克爾克港估計每年在港池，航道以及港口附近淤積漂沙量大約 300 餘萬方，漂沙優勢方向係由東往西，故港務局每年平均花費大筆經費用於浚漂港池，航道以及東西港口鄰近區域淤積漂沙；根據該局統計在西元 1995 年；港務局自辦以及委託其他浚漂公司代辦浚漂之土方量約有 300 餘

萬方，花費經費約新台幣陸仟萬元，且預估在西元 1997 年若欲維持航道，港池最起碼航行所需水深則需花費新台幣捌仟萬元以浚挖約 360 方之漂沙量；同時若欲浚挖到該港原始設計底床剖面則估計須編列新台幣約壹億柒仟萬元用以清除約 800 餘萬之土方量，吾人不免質疑，為何港務局不一勞永逸投資一筆經費興建外廓防波堤，用以阻擋由東往西移動之沿岸漂沙入侵，所獲得答案是為了“生態”、“環保”以及“景觀”三大訴求，此三項訴求不正是國內目前環保人士所追求的，反觀國內面對此項問題，直覺解決方式不是作一道防波堤越過碎波帶用以攔截沿岸漂沙，即設計高胸牆粗糙海堤阻斷親海空間，破壞景觀，只考量解決局部問題又不思考是否引起造成鄰近區域災害，普遍缺乏海岸開發保育並重觀念，能不叫人汗顏、省思。圖 50 為敦克爾克港在 1996 年預計浚漂相關位置圖。

二、葡萄牙塞恩斯港(Sines)

葡萄牙塞恩斯港(Sines)之行為本次出國考察主要任務之一；真可謂千里迢迢經過多次轉機及換車才到。距葡萄牙首都里斯本約 120 公里路程之塞恩斯港，此行透過中華港埠陳國廣總經理之安排，在塞恩斯港工程部門 Mr. Edgar E. Ponrse Pacheco 以及規劃部門 Mr. Manuel Din C. Dias 引導參觀了整個 Sines 港區，並赴重建後西防波堤參觀。

如前述，塞恩斯港位於葡萄牙首都里斯本(Lisbon)南方約 120 公尺處，水深 50 公尺，為葡萄牙最具競爭性的深水港(Deep Water Port)，防波堤長約 1.7 公里，外面護以 40 噸 Dolosses 保護塊，從陸地向南延伸，提供該港主要波浪之保護功能，如圖 51~圖 52。該港經常遭受西向波浪侵襲。滿潮(Spring Tide)潮差約 3.6 公尺，主要運輸貨物為石油及煤料，輸出以石油化學品及精煉油品為大宗。油輪靠泊於西防波堤之#2 及#3 碼頭，如圖 53 所示，#2 碼頭水深 28 公尺，可靠泊 350,000DWT 油輪，原設計#1 碼頭可靠泊 500,000DWT 油輪，然因遭受強風破壞，且全球油輪發展趨勢改變，因此已放棄修理使用，除了提供碼頭船席，在防波堤內也興建許多如供煉油裝卸之港埠設施。

西元 1978 年正當即將完工階段之塞恩斯港西外防波堤突然受到約九公尺有義波高之強風侵襲而遭致破壞，更不幸地於次年，亦即西元 1979 年二月，又遭到另一個幾乎與設計波高(Design Wave Height)11 公尺相同強風有義波高侵襲至全毀。

於西元 1979 年八月強風侵襲過後，西防波堤緊急搶修工作即刻進行，俾能在整個重建工作完成前繼續提供船席營運。緊急搶修結果，到西元 1981 年五月間即完成西防波堤 500 公尺。防波堤的搶修包括從陸上延伸到 #3 碼頭船席拋以 40 噸 Dolosse 保護塊，而在 #3 碼頭與 #2 碼頭船席間拋以 90 噸之 Antifer 保護方塊，而重建的防波堤的坡度也較原有防波堤平緩許多。

一系列的施工，都在西元 1981 年時作成 1:12 比例之搶修水工模型試驗(Hydraulic Model Tests)，有關試驗結果到西元 1993 年才由 Mol 等編輯完成，一般而言，模型試驗結果顯示搶修所採用保護塊不須作任何修正。只是加強保護塊與灌溉牆間空隙(The Gaps Between Armor Block and Parapet)之填料，減少波力衝擊壓力(Wave Impact Pressure)即可。試驗也顯示鋪設在西防波堤之輸油管線(Pipelines)需要保護，防止越波(Overtopping)的破壞，而從陸上到 #3 碼頭船席間之防波堤亦須改善。

前述試驗結果，基本上是對防波堤最後的重建(Definitive Breakwater Rehabilitation)而定，然而，在 1979 年到 1981 年間之緊急搶修對最後的重建(Final Rehabilitation)已造成某些限制。

因此，最後的重建計劃也作了另項探討，包括一項對塞恩斯港波浪條件的重新評估，也就是依據 1956 ~ 1980 年間之氣候紀錄，20 個主要暴風之數值及物理模型波浪折射分析(Numerical and Physical Model Refraction Analysis)，另一項水工模型穩定試驗(Additional Hydraulic Model Stability Tests)重加分析.....項目計有以裝設儀器之保護塊量測其加速度；作標準原型(Prototype-Scale)Antifer 方塊衝擊試驗，評估其破裂有關情況；作 Geotechnical Modelling 和研究決定重建防波堤最適長度(To Establish the Optimum Length of the Rebuilt Breakwater)及其對碼頭運轉的影響。

經試驗分析結果，依所採行的波高分佈設計，100 年回歸期(Return Period)之有義波高 $H_s=14$ 公尺；50 年回歸期之有義波高 $H_s=13$ 公尺；至於 10 年回歸期之有義波高 $H_s=11$ 公尺。然而，對某些入射波週期及方向而言，折射係數(Refraction Coefficients)則高達 1.1 規模，但對設計而言，未考量因折射而增加其波高。對主防波堤外側斷面(Outer Section of the Breakwater Trunk)所採行的設計標準，按照防波堤設計使用年限 50 年的考量；對 100 年回歸期， $H_s=14$ 公尺之波浪，容許 2%~3% 的 Armor Damage；

對 300 年回歸期， $H_s=15.5$ 公尺之波浪，則容許 10% 的 Armor Damage。前述所採用的破壞標準(Levels of Damage)依早期水力模型試驗而定。

在防波堤設計使用年限(Project Lifetime)內，至少發生一次次要破壞(Minor Damage 2%~3%)之或然率為 40%，至少發生一次主要破壞(Major Damage 10%以上)之或然率 15%。因此，根據以往保護塊破壞試驗，引起防波堤破壞之衝擊速度(Impact Velocity)訂定為 3m/sec。

在水力模型試驗(Hydraulic Model Tests)中，量測保護塊移動(Armor Unit Movement)旨在估算對模擬暴風侵襲時所造成的保護塊損壞數目，也就是只要保護塊的移動速度大於 3m/sec，乘上低速時之衝擊力，也可能發現破壞之案例。

依 Geotechnical Analysis 顯示主防波堤背風面之邊坡因地震穩定理由，必須減緩為 1:2。相關邊坡(指 Leeward Side)保護塊之設計，除在 CD-5 公尺以下部位拋放 9~12 噸 Dolosse 護坡外，CD-5 公尺以上部份則拋以 90 噸單層之 Antifer 方塊。(CD 表示 Chart Datum，大概指 MSL 以下二公尺之水位)。防波堤頂高(Crest Elevation)也從 CD+14 公尺降為 CD+13.2 公尺....，雖然容許較多越波(Overtopping)，但可改善穩定度。輸油管線(Prgelines)設計為可抵擋 100 年回歸期之越波，而主防波堤頂上灌牆(Parapot)前之空隙(Gap)則拋填以大塊石，以減少衝擊壓力，至於主防波外側一直向下延伸到 Outer Berm 部份均拋以 90 噸之 Antifer 方塊。詳如圖 54。

關於防波堤接近岸端到堤端(The Root of the Breakwater)約 500 公尺長部份之整修，總共提出有多種方案加以考量。首先，擬在現有重建防波堤前方考慮建立一道潛堤(Submerged Berm)，詳如圖 55，使能在防波堤岸端達到降低有義波高的效果，俾利作為西防波堤施工、維修及養護時之設備通道；但最後定案之方案則採加寬，加強現有防波堤斷面為主。於是現有易遭破壞之 40 噸 Dolosse 保護塊便以 90 噸 Antifer 方塊封蓋。結果，由於拋置 Antifer 方塊斷面坡度較緩，且在岸端的淤沙亦有減低入射波高之功能，因此，斷面設計更為穩定。而該處設計波高也受深度限制，採 6~9 公尺波高設計。

防波堤的最遠端(The Outer End of the Breakwater)，超過#2 碼頭部份，於 1978~1979 年受到暴風侵襲後，因遭到不斷的破壞，新建堤頭的設計包括了殘留的堤頭部份。重建時，將一部份炸毀並挖除，但絕大部份殘堤則留作為新堤頭之基礎。依據最適設計研究(Optimization Study)，詳如圖 56。西防波堤外端(The Outer Portion of West Breakwater)也設計為 500 公尺，離原#1 碼頭船席起算，推翻原設計之 300 公尺。新堤頭為圓形斷面，拋以 105 噸 Antifer 方塊，斷面與 90 噸 Antifer 方塊相同。惟所採用之混凝土密度為 3.1ton/m^3 之高密度者，最後的設計整個堤頭拋以三層高密度 Antifer 方塊而定案。

目前，正進行很廣泛之監控計劃，進行量測波浪、海潮及風象等狀況，以及其對防波堤斷面的影響。定期搭船以目測或照像觀測西波堤頭之越波情況。前述觀測在每年 10 月~4 月間每月各作一次，以及中夏(Midsummer)一次，全年共八次。而在每年初春，則派遣潛水人員作一次水下檢測。另外資料收集包括：每年一次水文測量、空照測量，以及防波堤斷面之地形測量。除此之外，每遇有暴風，產生大於 5~8 公尺有義波高時，均作特別測量。也就是暴風波高為五公尺時作防波堤之目視檢查，而暴風波高為八公尺時，則作一套完整的目視地形檢測、水文觀測以及照像測量。



圖 48 法國敦克爾克港配置圖

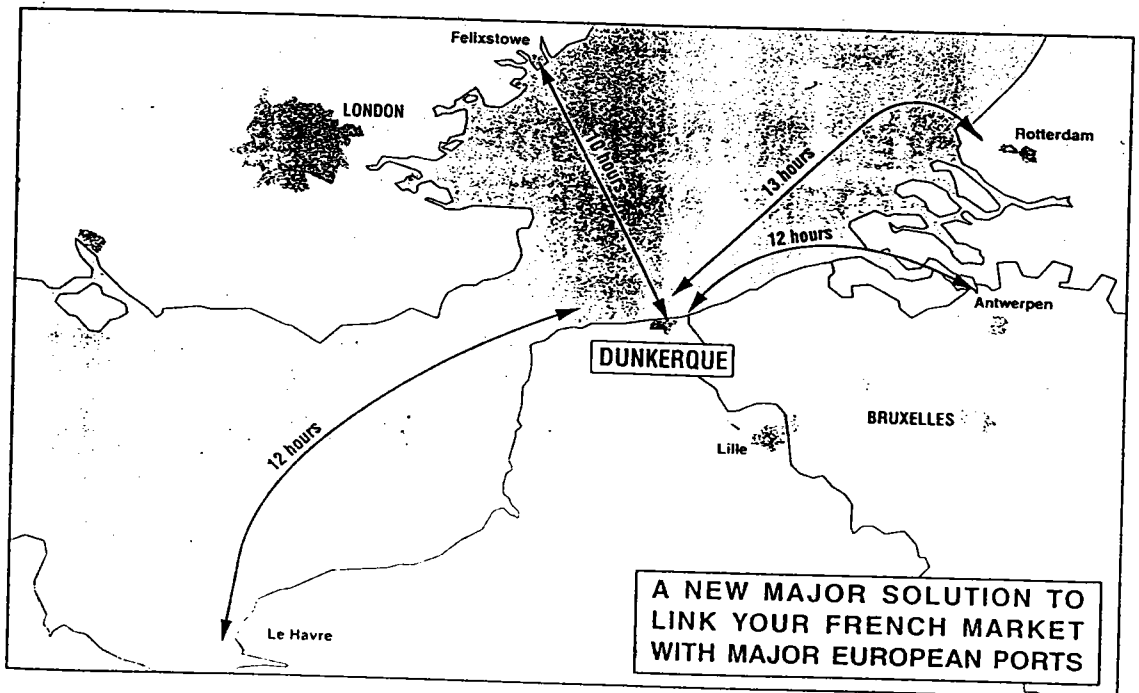


圖 49 法國敦克爾克港相對位置圖

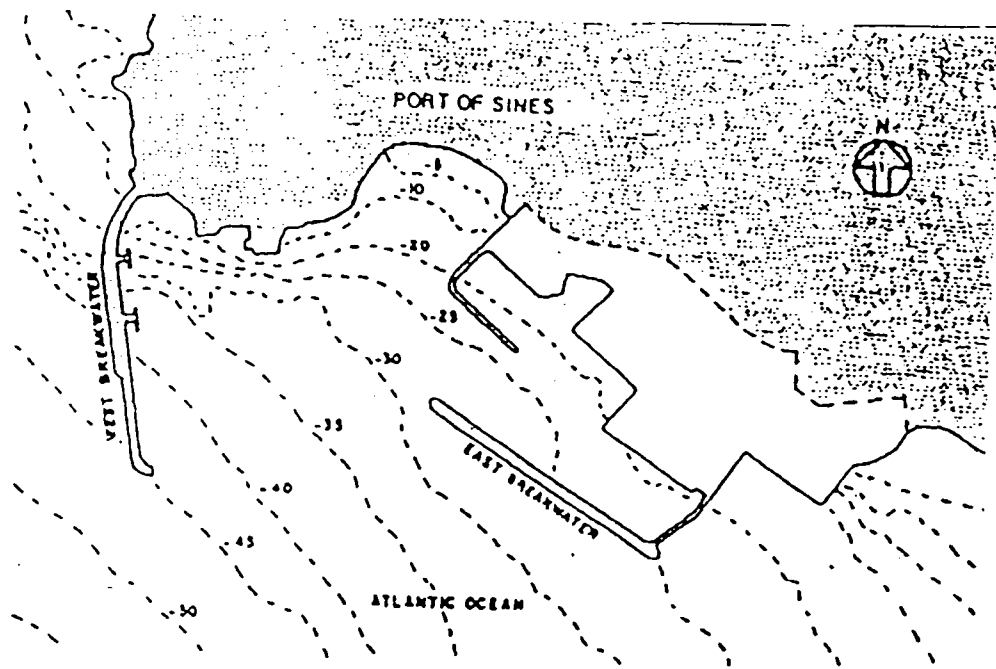


圖 51 葡萄牙塞恩斯港外廓堤防配置圖

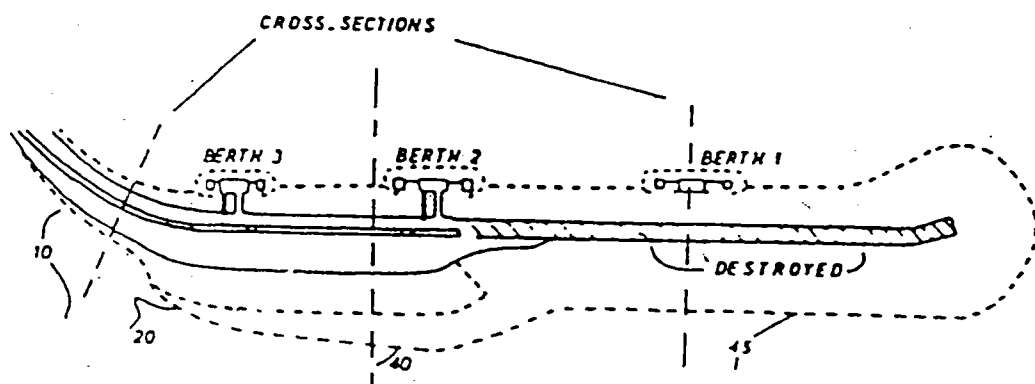
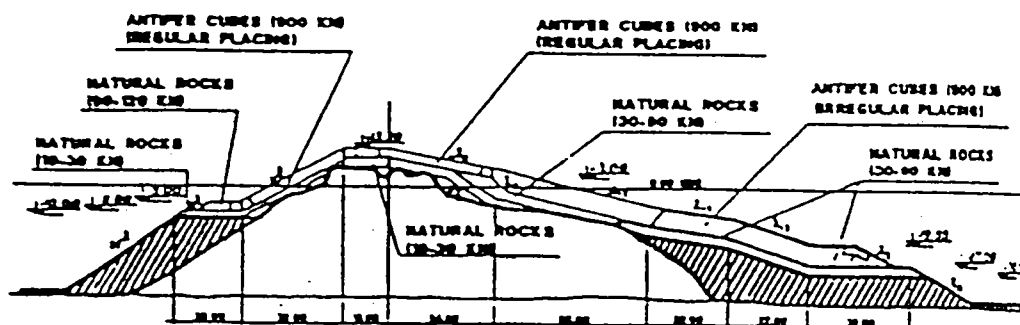
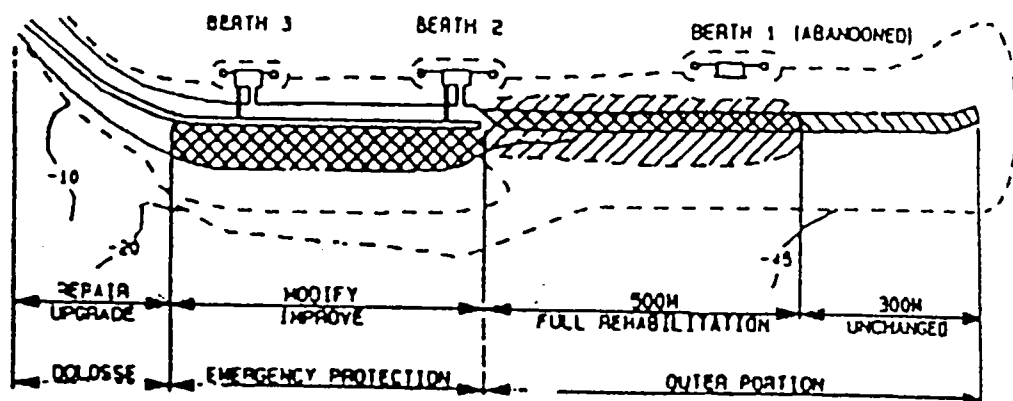


圖 52 葡萄牙塞恩斯港西防波堤遭颱風損壞位置圖



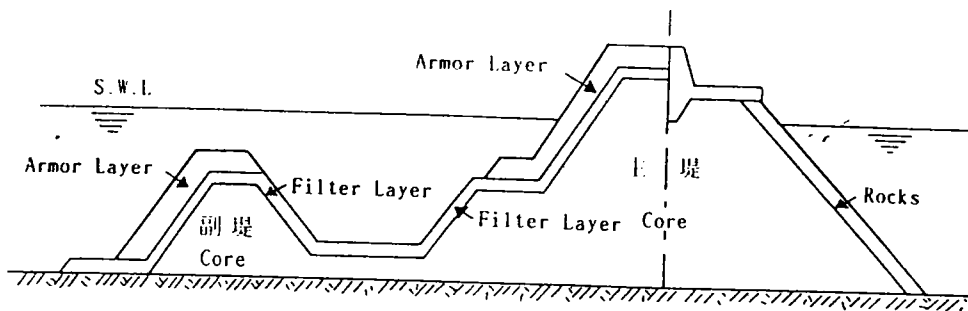


圖 55 葡萄牙塞恩斯港西防波堤複式拋石示意圖。

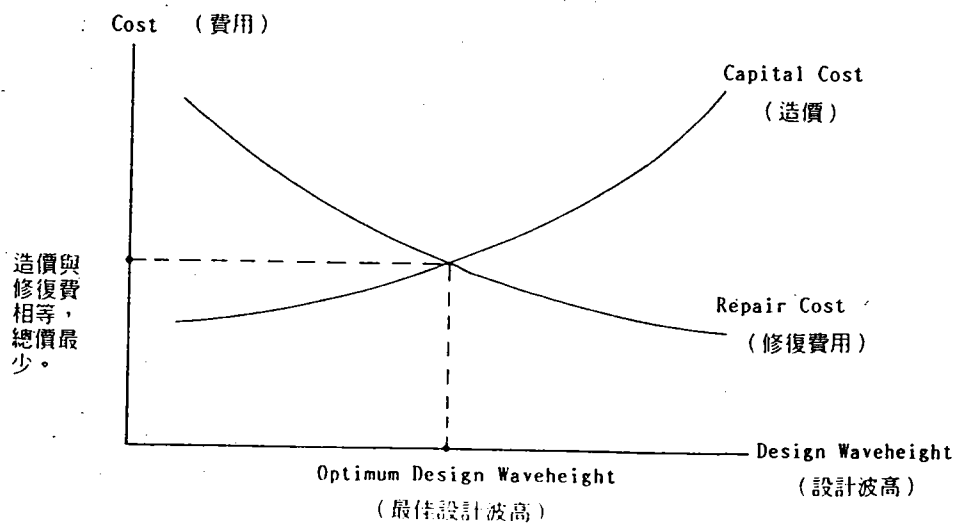


圖 56 工程最適設計決定示意圖

陸、結論及建議

綜合本次長浪及漂砂防制水工模型試驗結果，可獲致以下數點結論與建議。

- 一、試驗結果顯示舊東堤拆除重建方案，雖可增加內港航道寬度，對內港池穩靜有些微改善，惟對外港池穩靜效果不很顯著。且重建經費達 31 億餘元，近年來 貴局每年編列經費辦理舊東堤維修，因此建議繼續辦理維修並進行堤基、堤身現場調查後，再就安全與需求評估是否拆除重建。
- 二、#24 及 #25 碼頭折角設突堤 105 公尺方案，試驗結果顯示雖然可以有效改善外港池因長週期波浪所引起共振問題，但影響操船不宜採納。
- 三、水工模型試驗研究結果顯示，將現有美崙溪口導流堤延伸到水深-18 公尺處，除可有效抑制颱風波浪引起的港池共振，改善港池穩靜外，對花蓮港港口與美崙溪口淤積亦可獲致改善且對南濱海岸沖刷亦有正面效果，惟初期先行延伸到水深-15 公尺處即可，估計需經費 13 億 6 仟萬元，建議依重大經建計畫陳報。
- 四、南濱海岸興建離岸堤及突堤群對防制海岸侵蝕有正面效果，建議水利處編列預算執行。
- 五、商、漁港共用航道問題，建議爾後可配合東堤拆除重建時在北側交會處另闢漁港專用航道。
- 六、經由斷面試驗結果顯示，現有防波堤堤基保護塊，在大浪作用下產生位移，建議 貴局仿照國外塞恩斯港每年應編列預算執行監測相關事宜。

附錄：期末報告審查意見答覆說明及辦理情形

	專家、學者意見	答覆說明
台灣大學 林銘崇教授	1. 報告中提及入射波視為緣波，是否為短峰波。 2. 本次漂沙試驗以颱風為研究條件，其防波堤之建立，對海岸沖刷似乎沒有影響，與以往成大及農委會所研究皆著重冬季季節風影響之觀念似乎不同，此乃由於本研究視颱風主導漂沙。 3. 關於導流堤，在長浪防制部分建議延長至-18 M 水深，而在漂沙防治方面建議在更南建一導流堤，似乎沒有互相配合。 4. 導流堤建至-18 M 水深，似乎很少見到導流堤如此長的。	1. 究竟是緣波或是短峰波雖不在本計畫研究範圍內，但根據試驗過程中的觀察與量測應是緣波的可能性較大。對於緣波，實驗室外海波浪為 0.7cm 至岸邊逐漸增大，對沿岸輸砂有很大影響，此乃過去研究沒有考慮的。 2. 試驗分別考量颱風與季節風波浪作用情形，對海岸沖刷季節風波浪作用亦有影響，只是小於颱風波浪作用，此可由報告中之浮球流況印証。颱風波浪為引起漂砂主要因素，故本漂砂試驗以颱風為主。 3. 由於漂砂試驗先完成，在堤線佈置亦已考慮配合漂砂試驗作配置。惟堤線配置試驗結果顯示，更南處的導流堤對於長浪防制的效果並不明顯，因此未同時配置。 4. 導流堤延長的目的依長浪防制觀點而言，主要是防止港外類似緣波因東堤的阻擋而反射進入港內形成港池共振，而非導流作用。
成功大學 涂盛文教授	1. 漂沙試驗中，水平比尺為 1/200，垂直比尺為 1/62.8，由於波高不大，垂直比尺應可取較大及取整數，如此應較容易帶動砂粒。 2. 長浪試驗中，長浪在 140 秒為最大，採「秒區間」作實驗，由於共振在 140 秒附近特別敏感，故區	1. 漂砂試驗比例尺大小係配合本所試驗場地，經驗公式與造波機造波能力而定。由於試驗條件中，颱風波浪較大，若垂直比尺再放大時，造波機無法達到要求。 2. 長浪試驗中，長浪在 140 秒～160 秒皆有放大現象，較顯著現

	專家、學者意見	答覆說明
	間在這附近應取小，才可顯現共振最大值。 3. 漂沙試驗中，本報告中為3小時季節風後加20分鐘之颱風波浪，建議可多試①2小時季節風加20分鐘颱風再加1小時季節風，或②1小時季節風加20分鐘颱風再加2小時季節風，也許效果將更佳。	象為140秒及159秒，實驗中顯示放大現象不會在短時間1至2秒內變化極大。本計畫目的並非尋找最大共振的長波週期為何，主要是如何將處於共振週期區的波高減小，使得港池較穩靜。 3. 此種搭配係以試驗結果加以考量，且於期中報告中經專家學者同意。
水利處 蕭課長	1. 導流堤延伸至-15 M 水深，是否考慮河川排水及排砂之影響，以及洪水一來在河口與波浪能量作用，對導流堤及西防波堤是否不利，淤砂地點是否移到河口航道附近。 2. 導流堤堤頭附近是否形成漩渦，對航隻是否影響。 3. 由於河川沙源不多，作突堤是否有預期效果；而且由於坡度陡，水深較深施工恐不易。 4. 離岸潛堤配置，將列入本處今後規劃施工參考。	1. 導流堤之延伸也許對河床坡度有影響，但實驗結果顯示對颱風水位堆升、共振現象以及消波作用皆有明顯改善效果。 2. 淤砂可能移到港口航道附近，但量不多，應配合浚挖計畫。導流堤堤頭確實有可能形成漩渦，其情況應與東防波堤堤頭類似，詳細情形建議另案評估。 3. 對河川排水方面，應該是有利的，興建導流堤施工雖不易，但卻是對沿岸漂砂有正面改善作用。
花蓮縣政府	1. 由於西防波堤延長，導致美崙溪口及吉安溪口淤沙，以及南北濱及化仁地區侵蝕，本府本年花費3,000萬以上疏浚，建議此經費由港務局籌編。 2. 改善計畫之經費其分攤方式及負責之單位，請報告中提及。 3. 本人不贊成東堤繼續延伸。 4. 導流堤請確定應配置在-15 M 或-18 M 水深。	2. 本研究只負責提出改善計畫，不負責提出經費分配方式。 3. 研究中未建議東堤延伸。 4. 水工模型試驗研究結果顯示，導流堤延伸到水深-18m 處除可有效抑制颱風波浪引起的港池共振，改善港池穩靜外，並可減輕港口與美崙溪口淤塞，惟初期先行延伸到水深-15m 處即可。

	專家、學者意見	答覆說明
花蓮港務局 方總工程司	1. 美崙溪流量應納入研究，建議與水利單位研究其影響程度。 2. 導流堤之興建請提供斷面圖，導流堤設計 60 公噸之方塊，施工恐不易。 3. 防波堤堤基位移，請提出解決方案。 4. 越波過碼頭，請估計波高。	1. 美崙溪流量由於太小，故本試驗不予考慮。 2. 導流堤斷面參考圖 46。 3. 防波堤護基方塊並不會位移，而拋石會移動，若採用 17.6 噸即可達到不移動效果。 4. 根據斷面試驗結果，在胸牆不加高條件下，越波後傳遞波高最壞情況不會超過 2 公尺。
花蓮港務局 港工處	1. #1~#3 碼頭為航道最大瓶頸，在航道加寬部分建議一併拆除。 2. 舊東堤外移，北端消波開口後，由於東北向波浪作用，外港池是否穩靜。 3. 此改善方案，對內港只有少部分效益，對外港並沒有，是否值得花這麼多錢投資興建。	1. 通盤考量。 2. 北端消波開口後，東北向波浪對港池影響極小，由於開口處設計為消波設施，而且北端消波開口不大，因此外港池仍靜，請參考研究報告(第二子計畫)第三章之 3-3-2 節。 3. 效益估應綜合考量，並非本計畫研究範圍。
花蓮港務局 工務組 鍾組長	1. 本研究報告結論過於籠統，希望結論能扼要，明確及量化敘述。 2. 關於經費，在報告中興建 800 公尺導波堤需 16 億，拆除 1100 公尺舊東堤需 15.4 億，建新東堤需 32.5 億，共 63.9 億。今日簡報為導波堤需 13.6 億，拆除舊東堤需 2.7 億，建新東堤需 28.6 億，共 44.9 億。不同之處在哪？ 3. 如此龐大投資其效果如何，經濟效益如何，需明確提及。 4. 舊東堤之維護本局已在 82 年~86 年間投資 8 仟餘萬元，於今年以混凝土實體補強完成，預估尚可再使用五十年，祇為防止港池振盪，而需拆除重建是否值得。	1. 遵照辦理。 2. 由於設計長度、斷面不同以及拆除方式不同，所以經費估算有所差異，經費估計方面將再作嚴謹的計算。 3. 非本研究範圍，建議另案辦理。 4. 舊東堤拆後外移重建，雖可增加內港航道寬度，但試驗結果顯示防波堤外移無法有效改善港池穩靜。本所已建議 貴局每年編列經費繼續辦理東堤維修並進行辦理堤基、堤身現場調查後，就安全與需求評估是否拆除重建。

	專家、學者意見	答覆說明
	5. 導流堤為何設計為不透水堤，尤以本港海域海床為岩盤，若建成不透水堤其施工難度與費用將倍數增加，非所宜。導流堤作用為防止漂沙迴淤東西防波堤口。其淤沙每年不到 5 萬立方米，挖泥所需每年僅約 500 萬元，如投資 16 億元興建流堤，划算嗎？再者擬建之導流堤與原西堤形成為美崙溪口之導流槽，該溪之漂沙淤積可能更形嚴重堵塞河口，會否造成美崙溪雨季之汎濫(水災)？ 6. 如此龐大投資主要目的祇為颱風來臨時花蓮港可作為避風港，但花蓮港一年中颱風期無法停靠船隻天數平均不到 6 天而已，值得嗎？ 7. 張所長 3、4 月前在省府交通處簡報時強調花蓮港為人工港在颱風來襲時無法作為避風港是無法改變之事實，強調經過許多研究與試驗無法改善且已經國外學者專家証實。如今祇因處長關切卻使不可能變成可能。改善以後是否真能靠船呢？有否考量強風因素？若完成興建後因湧浪及風之吹襲依然無法在颱風期停靠船隻，如何交代？	5. 導流堤之不透水，為一廣義之不透水，並不是真正不透水。再者美崙溪口及港口附近每年淤砂約為 5 萬方，且大部份是鄰近海岸被侵蝕帶到該區，而佳山計劃以及美崙溪輸砂量明顯減少，當不致於嚴重堵塞河口反而有正面效益。 6. 提供一安全港池讓船隻泊靠為一國際港必備條件。所以在此作建議改善港池穩靜。而本次改善之研究，其已達預期之效果。 7. 試驗期間，由於本所造波機設備更新，新造波機功能轉強，可模擬長週期波浪，試驗瓶頸在今年 5 月突破，而有新結果。惟本研究結果並無考量強風因素，故改善之後，試驗結果証明確實可有效減少長週期波浪所引起港內共振現象。是否可停靠船隻本研究無法作百分之百保証。
花蓮港務局 賴課長	1. 報告提到沈箱底下有位移現象，但在本局連續三年維修工程中，發現護基方塊皆沒動，位移狀態倒是發生在舊東堤。 2. 導流堤興建請考慮美崙溪輸砂量。	1. 參考辦理。 2. 遵照辦理。

	專家、學者意見	答覆說明
交通處 江技正	1. 離岸潛堤及突堤興建希望考慮水利處目前已委託之研究成果，配合比對與考慮，若確定執行，希望水利處配合港務局共同執行。 2. 拆除舊東堤及興建導流堤，基於經費龐大，建議分階段編列預算，奉核後付諸實施。 3. 請列國外類似長週期波影響其處理的案例。 4. 由於改善配置皆獨立研究，請提及整合改善效果。 5. 舊東堤是否必需拆除，由於並非本研究範圍，建議以另案方式委託調查研究。	1. 遵照辦理。 2. 改善計畫所需經費將研提港務局參考，視經濟效益、政策考量加以評估編列。 3. 參考第四子計畫-綜合改善方案研究第五單元。 4. 遵照辦理。
花蓮港務局 黎局長	感謝學者專家今天百忙之中與會，並且提出許多寶貴意見，省長、處長皆重視花蓮港目前之問題，本次研究委請港研所根據今日會議意見作修正。而擇日將此研究成果報告上級單位，由上級單位決定是否執行。	