

專刊第152號

花蓮港整體規劃及未來發展計畫

— 長浪及漂砂防制研究

第二子計畫：防波堤堤線配置平面試驗

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

第二子計畫：防波堤堤線配置平面試驗

- 計畫主持人 ： 黃清和 研究員
- 子計畫主持人 ： 簡仲璟 研究員兼組長
- 協同主持人 ： 江金德 助理研究員
- 研究人員 ： 楊怡芸 技工
- ： 何炳紹 技工
- ： 蔡瑞成 技工
- ： 陳進冰 技工
- ： 李江澤 技工
- 計畫督導 ： 張金機 所長

目 錄

摘要	I
表目錄	II
圖目錄	III
照片目錄	VII
壹、 計畫背景與目的	1
1-1 計畫背景	1
1-2 計畫目的	2
貳、 平面水工模型試驗設備與佈置	3
2-1 試驗設備	3
2-2 試驗範圍與模型縮尺	4
2-3 試驗波浪條件與模型佈置	4
2-4 試驗方法與步驟	6
參、 試驗資料分析結果與討論	22
3-1 資料分析方法與試驗現象說明	22
3-2 規則波分析	26
3-2-1 不同週期港內波高放大比較	26
3-2-2 不同佈置港內波高放大比較	34
3-2-3 不同波向港內波高放大比較	40
3-3 不規則波分析	41
3-3-1 波高、週期統計分析	41
3-3-2 不同佈置港池遮蔽效果檢視	48
3-3-3 頻譜分析	56

肆、 論與建議	83
誌謝	85
參考文獻	86

摘 要

夏季颱風季節期間，花蓮港常發生港池不穩靜而造成港內碇靠船隻斷纜的事故。此問題根據本所以往相關研究及國內、外專家學者指出，可能係颱風期間的長週期湧浪於南濱海岸形成類似緣波型態之波場，當此長週期緣波進入港內後，因港形的特有形狀而造成港池共振的現象，使得港內長週期波波高增大，影響船隻碇泊。

花蓮港舊東堤目前已超過一般混凝土使用年限又終年受颱風、地震及東北季風波浪之侵襲，堤體有淘空、下陷之害，故自民國 69 年起每年均列有維修經費，且有逐年升高趨勢。因此在相關研究計畫中曾建議將舊東堤拆除，並於外海側另築新堤，同時一併解決內港航道寬度不足的問題。

花蓮港務局基於本所曾進行一序列有關花蓮港之海氣象現場觀測調查、數值模式計算及水工模型試驗。對於本計畫之背景與目標有深入瞭解，因此委託本所辦理「花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪與漂沙防制研究」。本報告為該研究之第二子計畫「防波堤堤線配置平面試驗」。本計畫將對長浪的防制研擬各種可行之堤線配置方案，並藉由水工試驗的結果評比各方案的優劣，以建議較佳的堤線佈置，以供花蓮港務局於後續的港灣設施改善工程中作為參考。

根據本計畫之試驗結果分析、比較後，建議對於長浪防制之港池共振問題將以延長美崙溪口水利處興建之原導流堤至水深 18 公尺全長約 800 公尺為改善方案，以期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，同時避免港口的淤塞，至於舊東防波堤堤基老舊淘空問題，為求一勞永逸建議將舊東堤拆除 1,100 公尺，另在其外海側重新築堤長約 1,300 公尺並與漁港海堤間形成一寬約 200 公尺缺口，使港內長波波能得以渲洩，以期同時降低港池共振程度。有關試驗過程與資料分析比較結果，詳見本報告第二、三章。

表 目 錄

表 2-1	試驗波浪條件	5
表 2-2	模型試驗概況表	21
表 3-1	各佈置內、外港測點長波統計值表(試驗波浪條件:M2 ; 波向:S)	49
表 3-2	各佈置內、外港測點長波統計值表(試驗波浪條件:T1 ; 波向:S)	49

圖目錄

圖 2-1	觀測儀器(波高計)佈置圖	7
圖 2-2	花蓮港港池現有佈置(佈置 A)	8
圖 2-3	花蓮港港池改善佈置(佈置 B)	9
圖 2-4	花蓮港港池改善佈置(佈置 C)	10
圖 2-5	花蓮港港池改善佈置(佈置 D)	11
圖 2-6	花蓮港港池改善佈置(佈置 E)	12
圖 2-7	花蓮港港池改善佈置(佈置 F)	13
圖 2-8	花蓮港港池改善佈置(佈置 H)	14
圖 2-9	花蓮港港池改善佈置(佈置 I)	15
圖 2-10	花蓮港港池改善佈置(佈置 J)	16
圖 2-11	花蓮港港池改善佈置(佈置 K)	17
圖 2-12	花蓮港港池改善佈置(佈置 P)	18
圖 2-13	花蓮港港池改善佈置(佈置 Q)	19
圖 2-14	試驗步驟流程圖	20
圖 3-1	規則波水位變化逐時圖(CH:9 為外海測點; CH:6 為#22 碼頭 測點; CH:15 為#8 碼頭測點; 試驗編名:R6, 入射波向:S) ...	28
圖 3-2	外港池測點 5(#20 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值:	29
圖 3-3	外港池測點 6(#22 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值	30
圖 3-4	內港池測點 14(#12 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值	31
圖 3-5	內港池測點 15(#8 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值	32
圖 3-6	內港池測點 17(#2 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值	33
圖 3-7	外港池測點 5(#20 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高	

圖 3-7 外港池測點 5(#20 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值	35
圖 3-8 外港池測點 6(#22 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值	36
圖 3-9 內港池測點 14(#12 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值	37
圖 3-10 內港池測點 15(#8 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值	38
圖 3-11 內港池測點 17(#2 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值	39
圖 3-12 外港池測點 5(#20 碼頭)不同波向之波高比值.....	42
圖 3-13 外港池測點 6(#22 碼頭)不同波向之波高比值.....	43
圖 3-14 內港池測點 14(#12 碼頭)不同波向之波高比值.....	44
圖 3-15 內港池測點 15(#8 碼頭)不同波向之波高比值.....	45
圖 3-16 內港池測點 17(#2 碼頭)不同波向之波高比值.....	46
圖 3-17 不規則波水位變化逐時圖(CH:9 為外海測點; CH:6 為#22 碼頭測點; CH:15 為#8 碼頭測點; 試驗編名:T1, 入射波向:S).....	47
圖 3-18 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 A; 入射波向:S; 試驗波浪條件:M2	51
圖 3-19 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 A; 入射波向:SSE; 試驗波浪條件:M2	52
圖 3-20 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 A; 入射波向:S; 試驗波浪條件:T1	53
圖 3-21 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 A; 入射波向:SSE; 試驗波浪條件:T1	54
圖 3-22 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B; 入射波向:S; 試驗波浪條件:M2	55
圖 3-23 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B; 入射波向:SSE; 試驗波浪條件:M2	56

圖 3-24 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B ; 入射波向:ENE ; 試驗波浪條件:M2.....	57
圖 3-25 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B ; 入射波向:NE ; 試驗波浪條件:M2.....	58
圖 3-26 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B ; 入射波向:S ; 試驗波浪條件:T1.....	59
圖 3-27 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B ; 入射波向:SSE ; 試驗波浪條件:T1.....	60
圖 3-28 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B ; 入射波向:ENE ; 試驗波浪條件:T1.....	61
圖 3-29 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 B ; 入射波向:NE ; 試驗波浪條件:T1.....	62
圖 3-30 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:S ; 試驗波浪條件:M2.....	63
圖 3-31 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:ENE ; 試驗波浪條件:M2.....	64
圖 3-32 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:NE ; 試驗波浪條件:M2.....	65
圖 3-33 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:S ; 試驗波浪條件:T1.....	66
圖 3-34 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:SSE ; 試驗波浪條件:T1.....	67
圖 3-35 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:ENE ; 試驗波浪條件:T1.....	68
圖 3-36 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D ; 入射波向:NE ; 試驗波浪條件:T1.....	69
圖 3-37 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 J ; 入射波向:S ; 試驗波浪條件:M2.....	70
圖 3-38 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 J ; 入射波向:S ; 試驗波浪條件:T1.....	71

圖 3-39 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 Q; 入射波向:S; 試驗波浪條件:M2.....	72
圖 3-40 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 Q; 入射波向:S; 試驗波浪條件:T1.....	73
圖 3-41 內、外港測點的頻譜(佈置 A)	76
圖 3-42 內、外港測點的頻譜(佈置 B)	77
圖 3-43 內、外港測點的頻譜(佈置 J)	78
圖 3-44 內、外港測點的頻譜(佈置 Q)	79
圖 3-45 不同佈置內、外港測點於低頻區之波浪能量值比較.....	80
圖 3-46 不同佈置內、外港測點於主頻區之波浪能量值比較.....	81
圖 3-47 不同佈置內、外港測點於高頻區之波浪能量值比較.....	82

照片目錄

照片 3-1	南濱海岸緣波形成	23
照片 3-2	緣波沿海岸行進	23
照片 3-3	緣波向港口入射	24
照片 3-4	外港區共振波湧上#22 號碼頭	24
照片 3-5	外海入射波波平如鏡	25

壹、計畫背景與目的

1-1 計畫背景

花蓮港四期擴建完成後於夏季颱風侵襲期間常發生港池不穩靜而造成港內泊靠船隻斷纜的現象。為了安全上的考量有時港內船隻需出港錨泊，以避免斷纜後船隻於港內自由漂流造成災害。不過颱風來襲時港外波浪巨大，船隻即使下雙錨仍可能因流錨而發生擱淺的事故。因此颱風來襲前船隻出港躲避港池不穩靜的作法並不是一個最好的方式，只能當作是減輕較大災害的不得已措施。國外某些港口雖有類似作法，但颱風來襲船隻不但不能進港避難，反而要出港至錨泊地或駛往他港。此種情況與一般民眾的認知剛好相反，這對身為國際港的花蓮港形象實有負面影響，至於對使用本港的航商或業者其影響則更不可言喻。整體而言，這種情形對花蓮港欲提升競爭力造成極大的障礙。花蓮港務局極欲解決此一問題，故曾委託本所辦理一序列有關海氣象現場觀測調查、數值模式計算與水工模型試驗，此外本所基於主動解決各港苦惱問題的任務精神與責任，於民國 80 年起連續進行花蓮港港內、港外颱風波浪的觀測，並獲得大量的寶貴資料。根據上述的研究計畫結果，對於港池不穩靜的發生原因，已有較可靠的觀測證據及學理加以說明。在瞭解成因後對於改善對策的研擬也可以有較具體的思考方向。

花蓮港舊東堤全長 1,330 公尺，肇建於民國 19 年，堤身以級配砂或堆置卵石建造，堤面澆置 1 公尺(內堤面 50 公分)厚度之 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土，胸牆部份採用 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土澆製，由於其混凝土採用低強度值，復因目前已超過一般混凝土使用年限(壽年約五十年)及終年受颱風、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、淘空及胸牆斷裂之害，故自民國 69 年起每年均列有維修經費且有逐年升高趨勢。舊東堤之改善業已困擾花蓮港務局多年，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，傳統維修方式應屬短期治標方案。因此，為求一勞永逸之治本方案在本所辦理之「花蓮港港灣設施改善計畫之研究」及「花蓮港整體規

劃及未來發展計畫」當中建議將舊東堤拆除，並於外海側另築新堤，同時一併解決內港航道寬度不足的問題。由於舊東堤的拆除與新東堤的興建會改變目前港池的形狀，對前述港池不穩靜的問題將有所關連，因此在研究的考量範圍與目標下舊東堤改建與港池不穩靜兩者需同時加以探討。

1-2 計畫目的

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的港池不穩靜現象成因已有較清晰的瞭解。其原因依波浪之水理機制檢視，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。本計畫將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，根據評比結果建議港池不穩靜的較佳改善方案同時也對舊東堤老舊問題，及港口漂沙淤塞作一相關說明，供花蓮港務局於後續的港灣設施改善施工計畫中作為參考。

貳、平面水工模型試驗設備與佈置

本試驗於港灣技術研究所第二試驗場棚進行，其相關設備、模型製作與佈置及試驗方法說明如後。

2-1 試驗設備

- (1) 試驗水池長 62 公尺，寬 57 公尺，深 1 公尺。位於本所第二試驗場棚。
- (2) 可移動推移式造波機：本所新購造波機。本造波機由 DAVIS 工程有限公司負責造波機的設計與製作，另由加拿大國家研究委員會 (NRC) 的加拿大水力中心負責造波控制及分析軟體。造波機由四個獨立造波模組組成，每個模組的造波板高 0.9 公尺，長 6 公尺由液壓推動，利用電腦傳送數位訊號至控制器中之類比轉換器，將其轉換成類比訊號，再傳送至各造波模組之伺服放大器及伺服閥。可模擬規則波及多種波譜型態之不規則波。
- (3) 容量型波高計及增幅器：試驗用波浪測定儀器，共 6 組增幅器及 27 支波高計。
- (4) 資料擷取處理系統：32 通道的試驗資料讀取、儲存及分析，共一套。
- (5) 導波板：於造波板兩端沿波浪行進方向平行佈置，以引導波浪於設定方向，避免試驗波浪能量擴散。
- (6) 地下蓄水池：長 60 公尺，寬 14 公尺，深 2.65 公尺，蓄水量約 2,200 公噸，經抽水機抽取注入試驗水池，或經閘門開啓將水池中的水排入蓄水池。
- (7) 錄影機及相機：試驗過程及水面波動現象記錄。

2-2 試驗範圍與模型縮尺

本試驗模型範圍採花蓮港及鄰近海域，考慮較具影響該港的入射波方向及離結構物 12 倍試驗波長以上之造波距離條件，故模型範圍北起花蓮港七號碼頭南至南濱海岸吉安溪出口之南約 500 公尺，水深則至 50 公尺。

本試驗在考慮各種波浪條件、水池尺寸、試驗儀器準確度及試驗精確性要求，因而模型採水平與垂直皆為 1/150 比例之等比縮尺。由於試驗波浪乃屬重力波範圍，故粘滯性影響可以忽略，而僅以重力為考慮因素。因此，模型律採用福祿數(Froude No)，其長度與時間之關係如下：

$$\frac{T_p}{T_m} = \left(\frac{L_p}{L_m} \right)^{1/2}$$

上式 L 與 T 分別表長度與時間尺度，P 與 m 分別表原型與模型。

2-3 試驗波浪條件與模型佈置

本試驗採四種入射波向，即南、南南東、東北東、東北方向。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 組及採用 1994 年 7 月 9 日 21 時 51 分及 10 日 11 時 30 分之提姆(TIM)颱風實測波浪 2 組，各試驗波浪條件如表 2-1。

表 2-1 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

本試驗依模型佈置不同共使用 23 ~ 27 支容量式波高計分別佈置於港內及港外。港內波高計安置地點除了考慮可能發生港池共振的地點外，另外配合以往曾發生隻斷纜的碼頭位置。觀測儀器佈置如圖 2-1。

根據花蓮港務局提供之 83 年 10 月港內水深圖及 80 年 10 月港外水深圖，依比例尺縮小佈置於平面水槽中，並以水泥沙漿鋪設 5 公分厚之表面，而製作為固定床之花蓮港及鄰近海域模型。對於長浪防制對策所研擬的改善佈置則以木板訂作製成或以碎石鋪設以節省佈置更換時間，本次試驗除花蓮港目前港池佈置外另研擬 11 種改善佈置方案。如圖 2-2 ~ 圖 2-13。

2-4 試驗方法與步驟

考慮港內水面的不穩靜情況，可能是由於港池盪漾所造成，因此本試驗的資料觀測時間為 410 秒，換算原型約 5,000 秒。由於花蓮港港池形狀過於狹長，因此造波時間為 500 秒，其中前 90 秒為波浪未成熟時段。觀測儀器所測得之訊號由增幅器放大後經 A/D 轉換存入電腦裡，資料取樣頻率為 20Hz。每次試驗資料蒐集完畢後，隨即將各波高計所測得之水位變化資料以向上零切法進行分析，以求得各測點之波高與週期，並據此研判入射之試驗波浪是否符合設定值，及查核其他測點是否運作功能正常，否則該試驗重做。對於某些試驗情況另以照相及 V8 錄影機同時作記錄，以供日後觀察之用。試驗過程之步驟流程圖如圖 2-14。

本試驗分前後兩階段第一階段為預備試驗，其目的為探討依花蓮港現有港形，其港內波浪不穩靜情況及發生原因。第二階段為改善試驗是根據第一階段的試驗結果及配合本所八十三年度基本研究「台灣四周海象調查研究」花蓮港南濱近岸海域波浪場的模型試驗結果、八十五年度本所「花蓮港港灣設施改善計畫之研究」及八十四年度本所「花蓮港整體規劃及未來發展計畫」的研究成果，研擬可能的各種防制方案，進行試驗，並將結果與第一階段作一比較，以研選較佳的佈置。本次試驗對不同模型佈置、入射波條件共進行 251 次以上試驗，彙整如表 2-2。

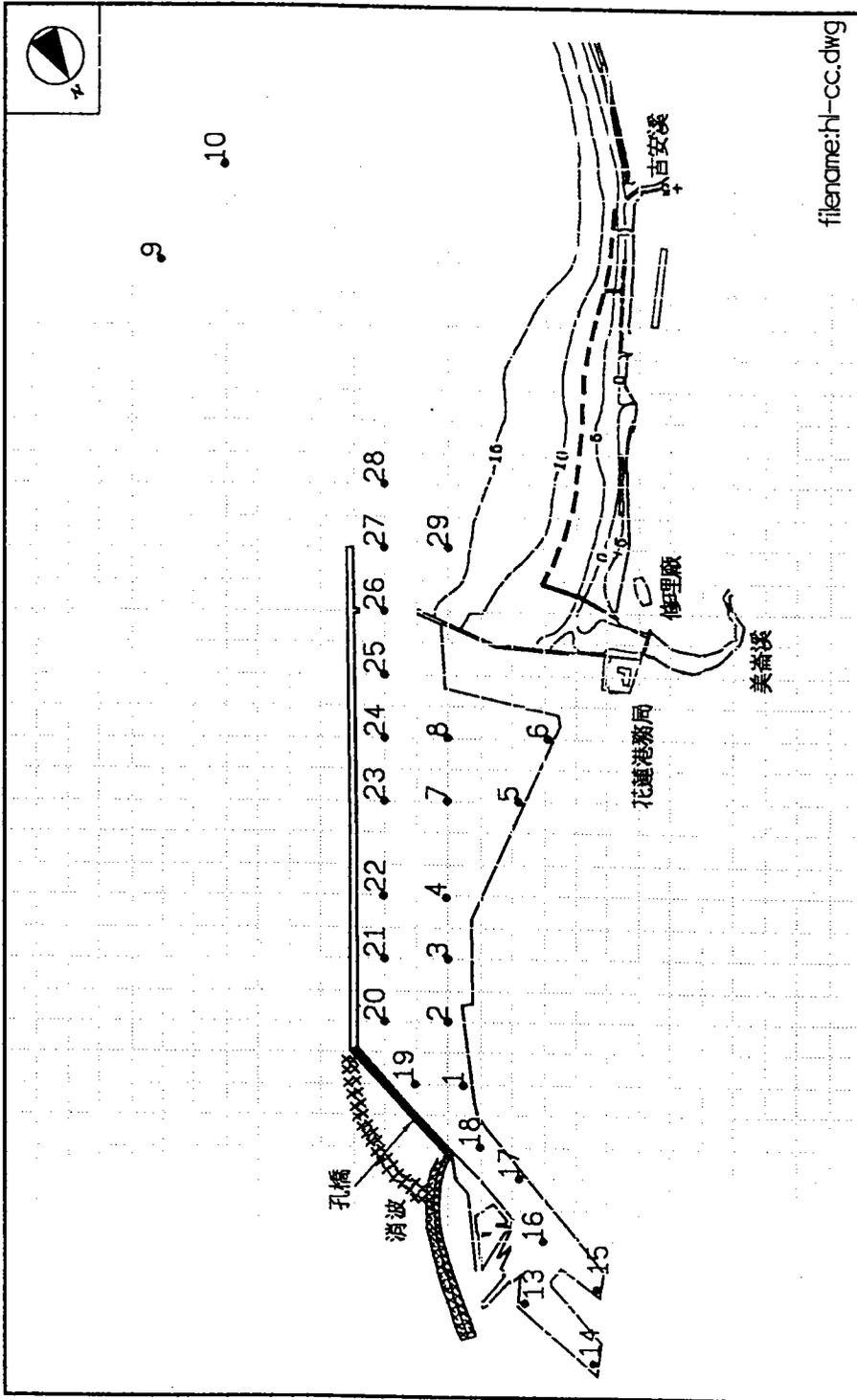


圖 2-1 觀測儀器(波高計)佈置圖

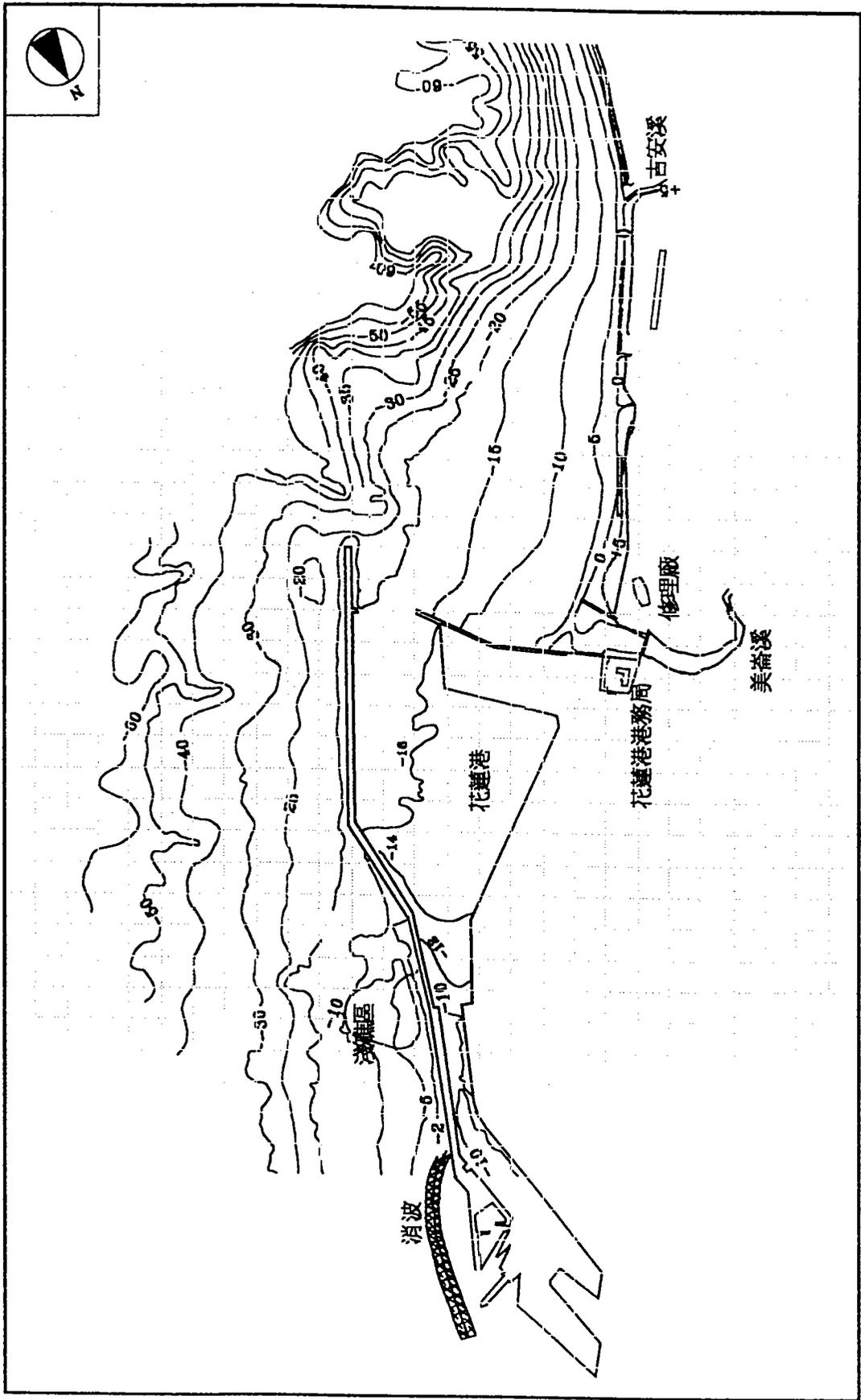
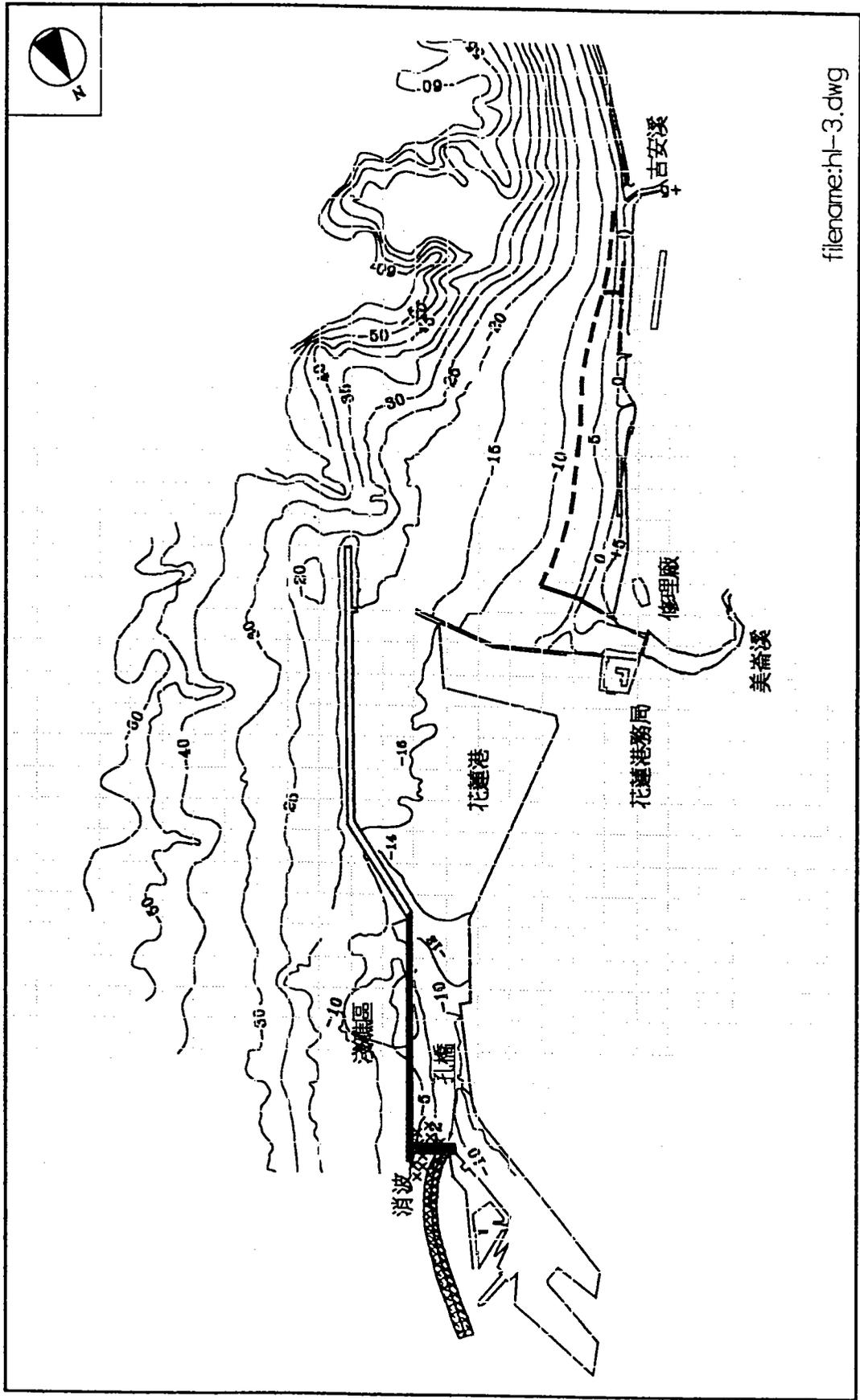


圖 2-2 花蓮港港池現有佈置(佈置 A)



filename:h-3.dwg

圖 2-3 花蓮港港池改善佈置(佈置 B)

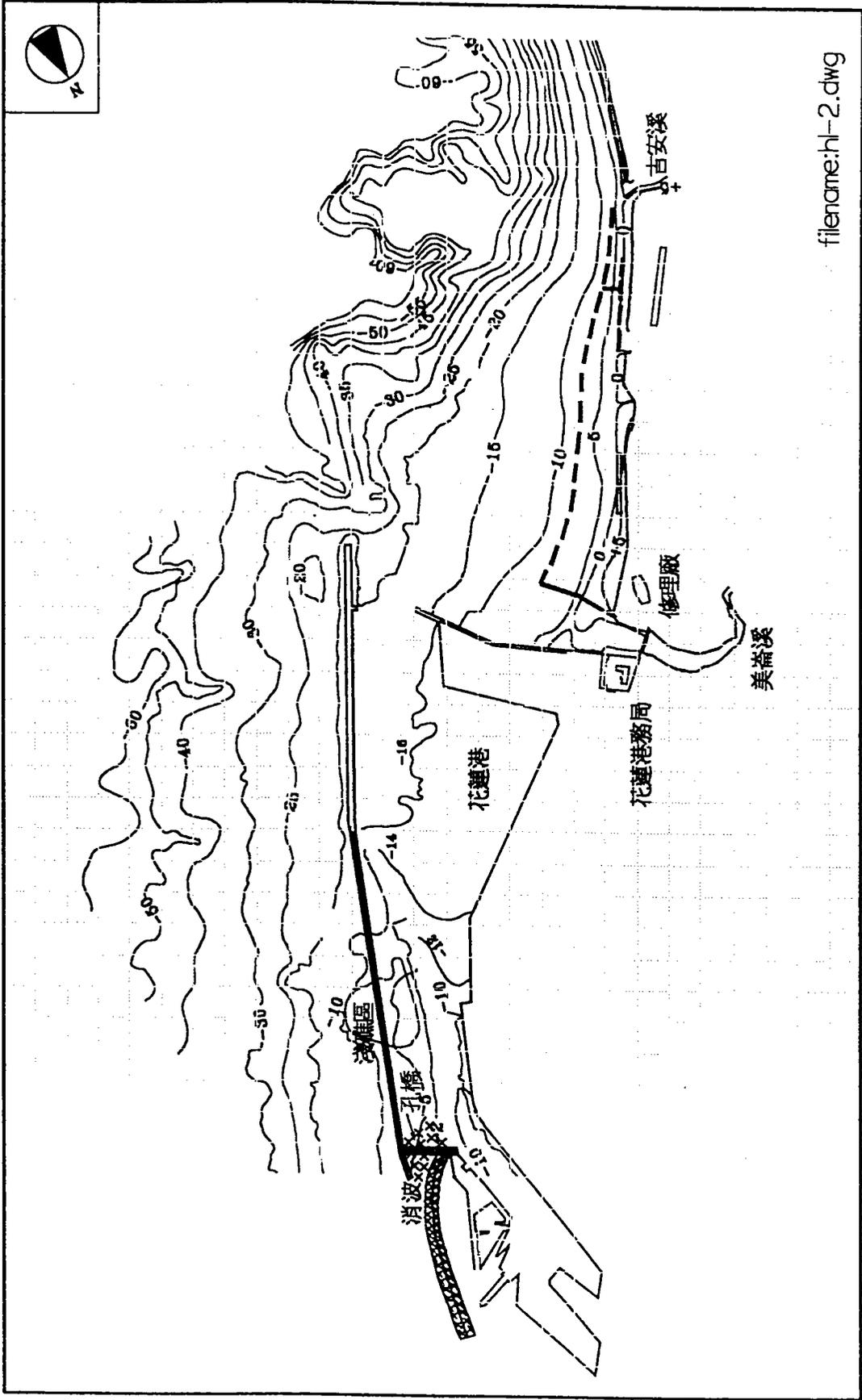
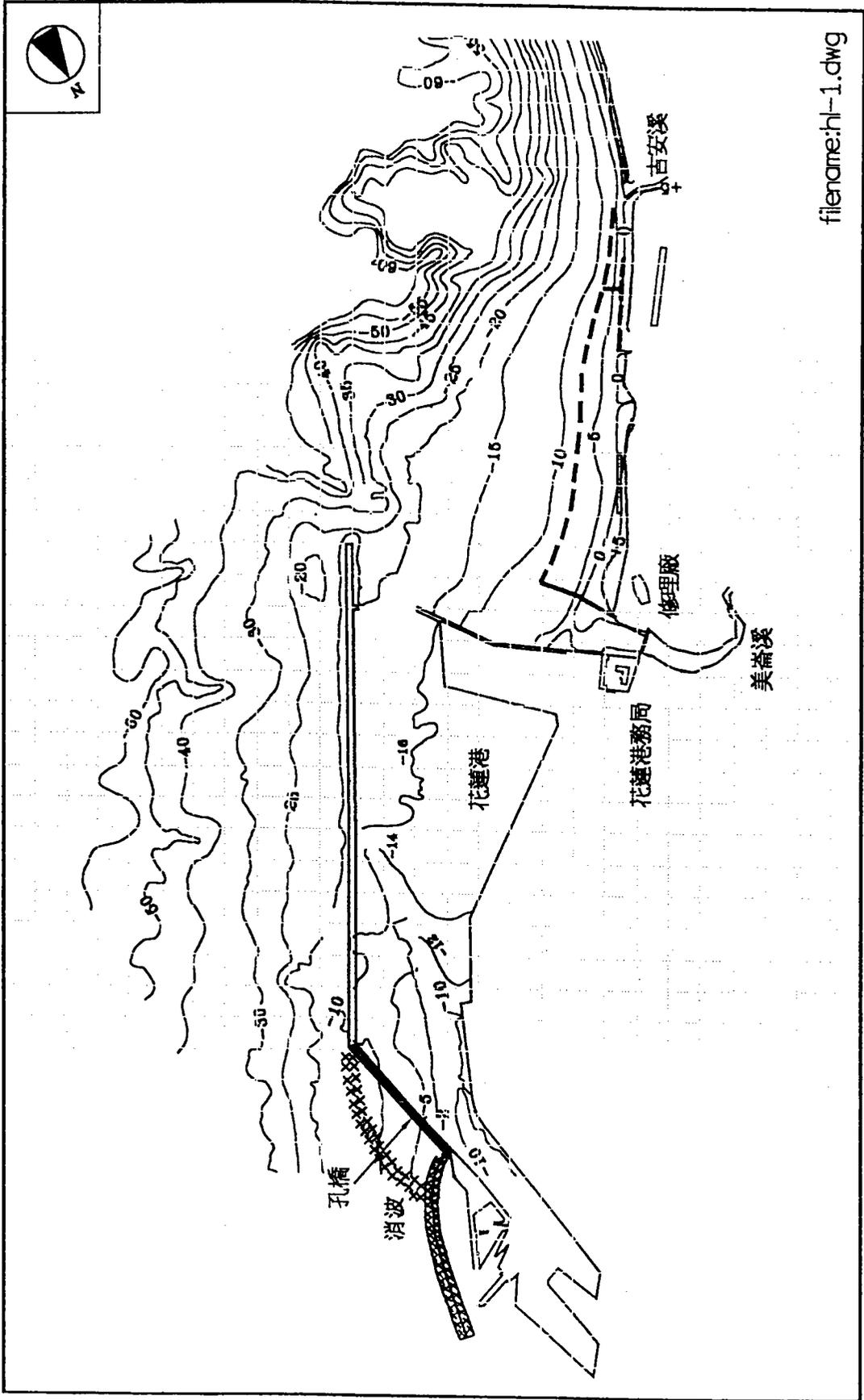


圖 2-4 花蓮港港池改善佈置(佈置 C)



filename:hl-1.dwg

圖 2-5 花蓮港池改善佈置(佈置 D)

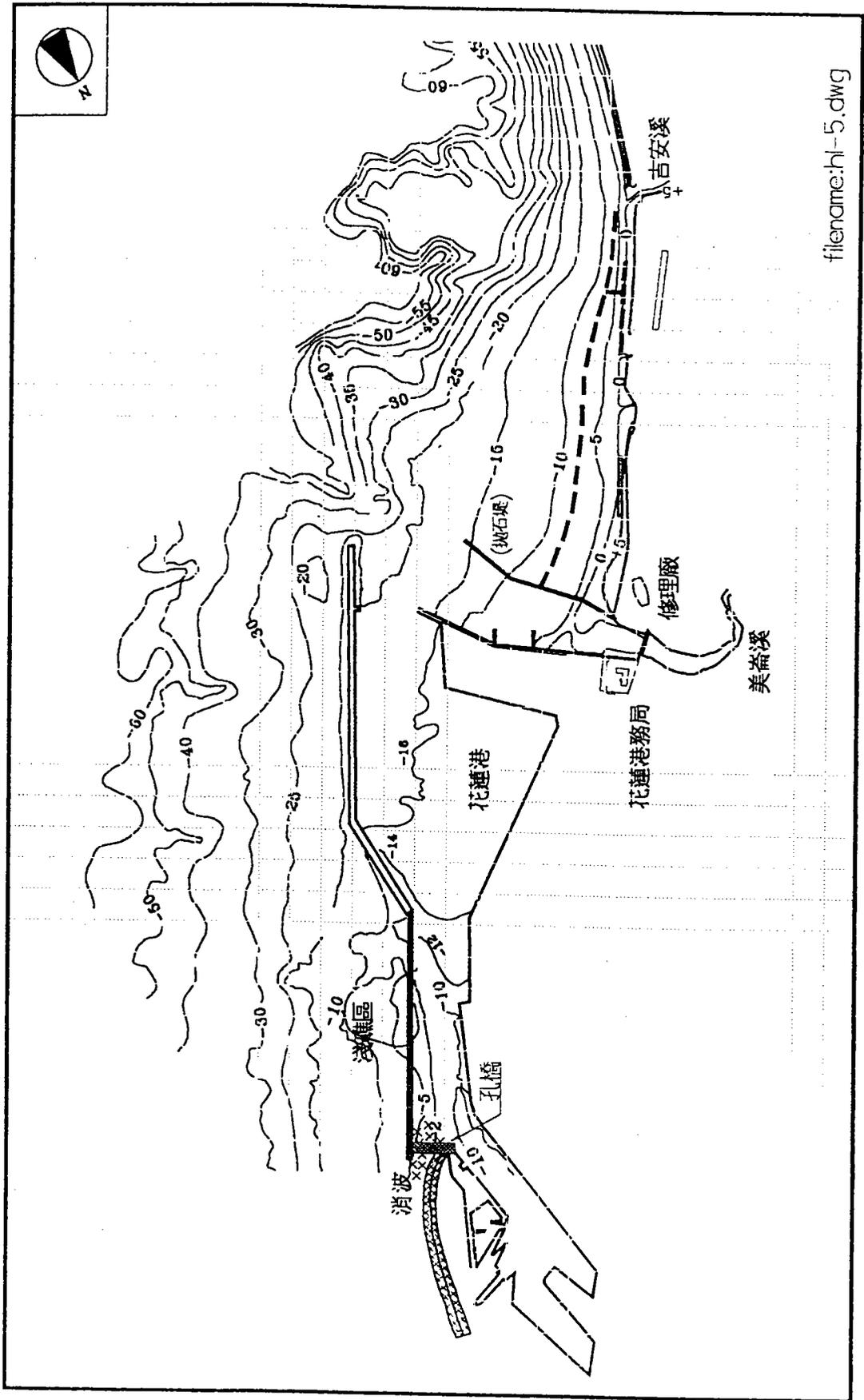
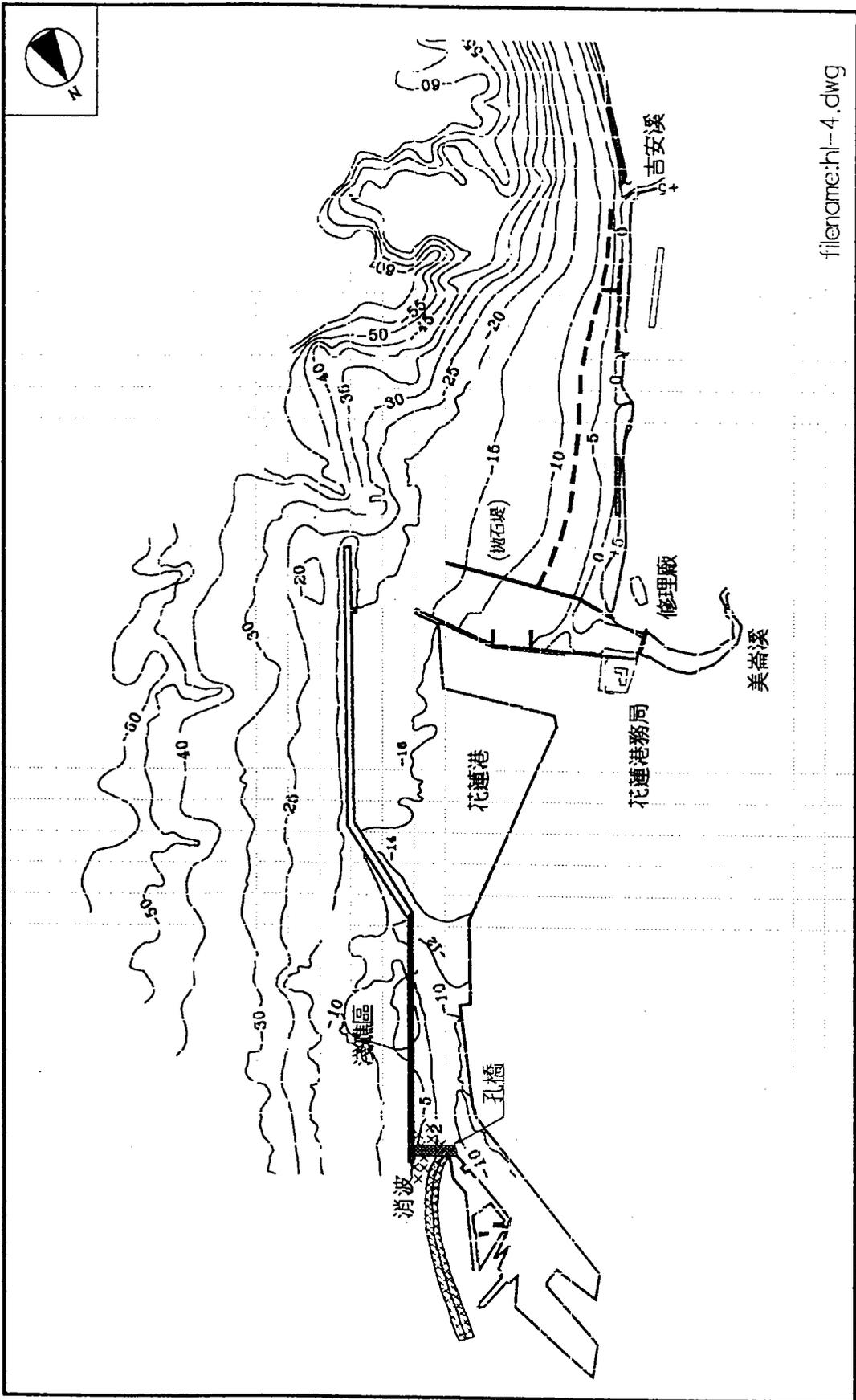


圖 2-6 花蓮港港池改善佈置(佈置 E)



filename:hl-4.dwg

圖 2-7 花蓮港池改善佈置(佈置 F)

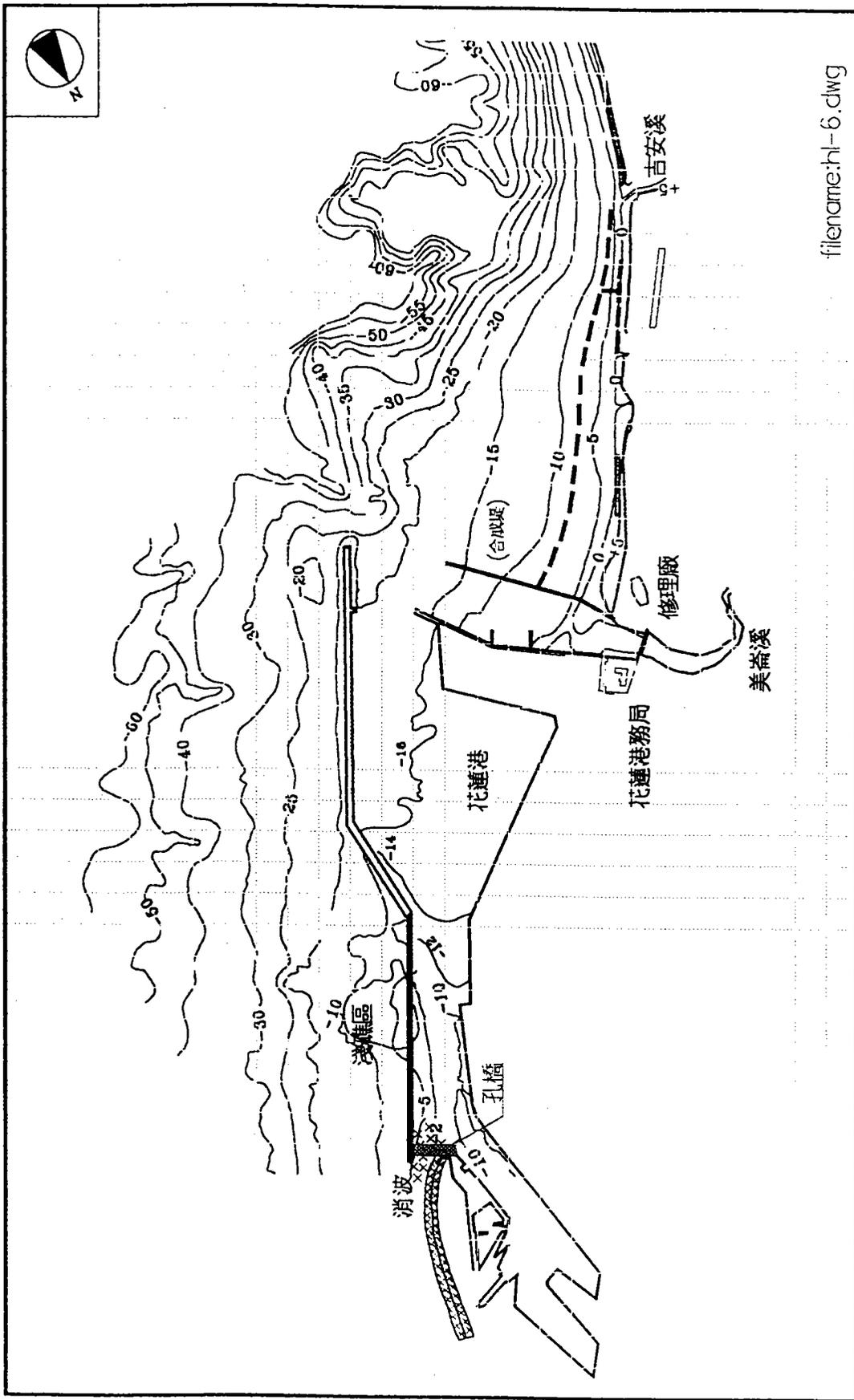
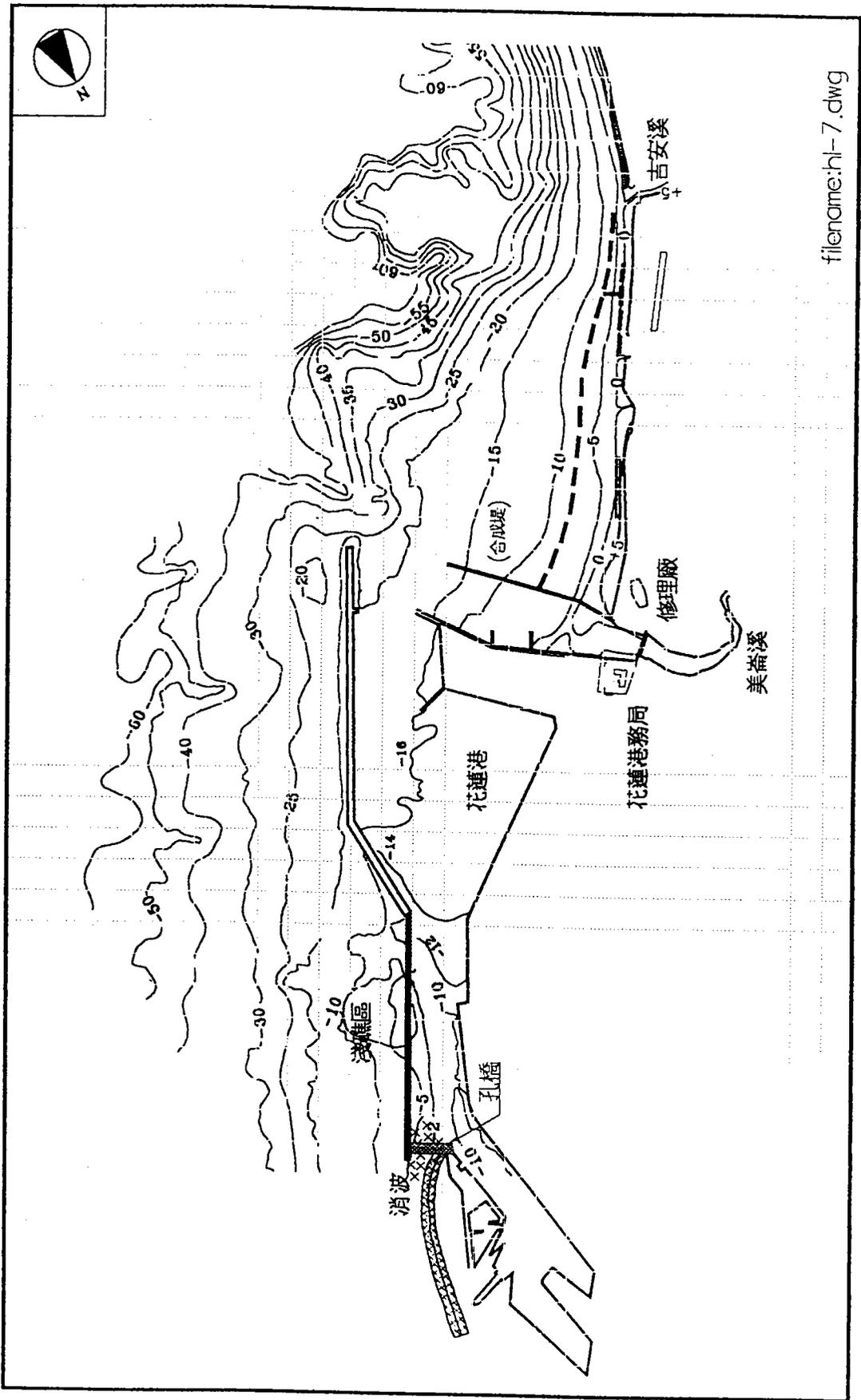
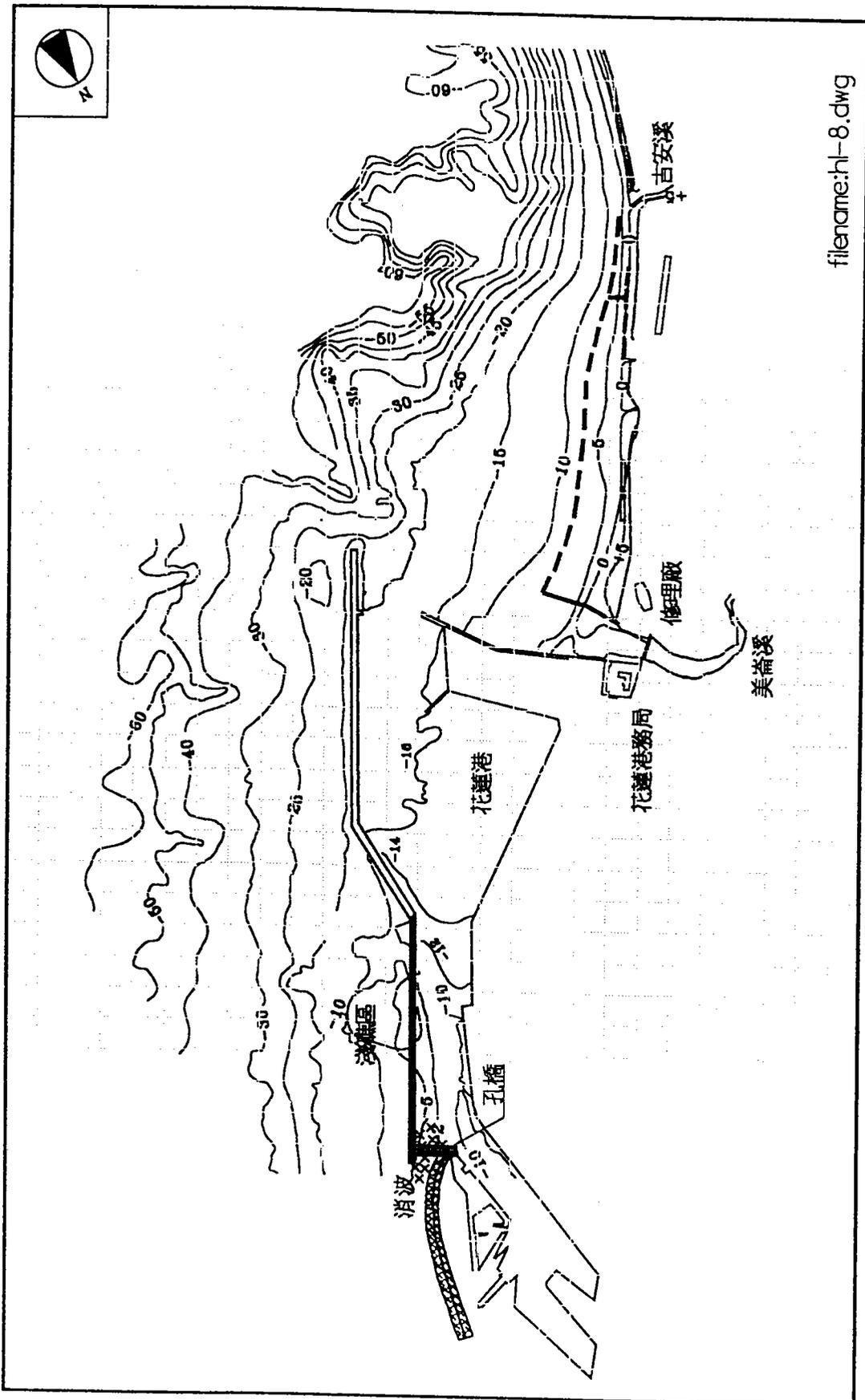


圖 2-8 花蓮港港池改善佈置(佈置 II)



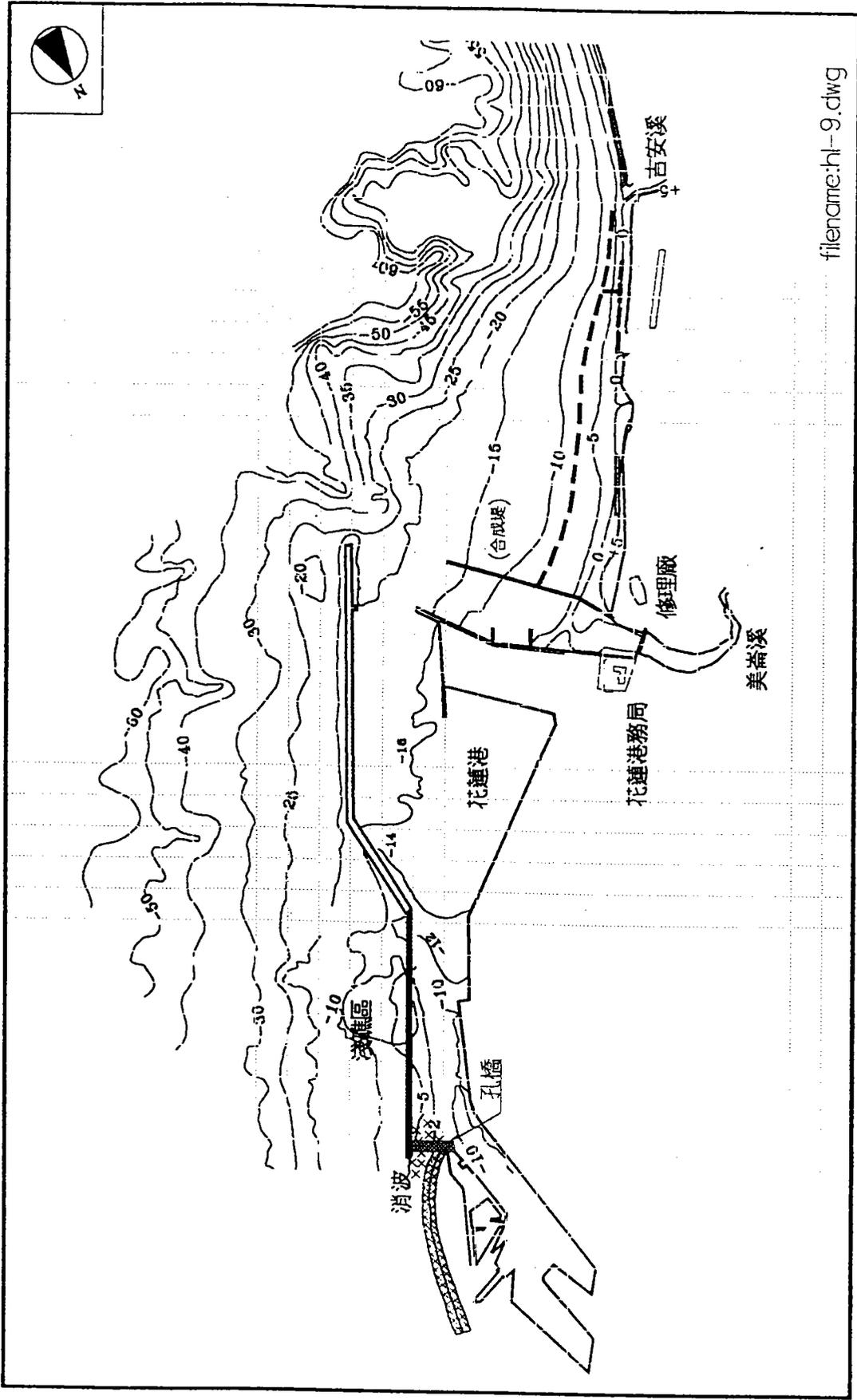
filename:hl-7.dwg

圖 2-9 花蓮港港池改善佈置(佈置 I)



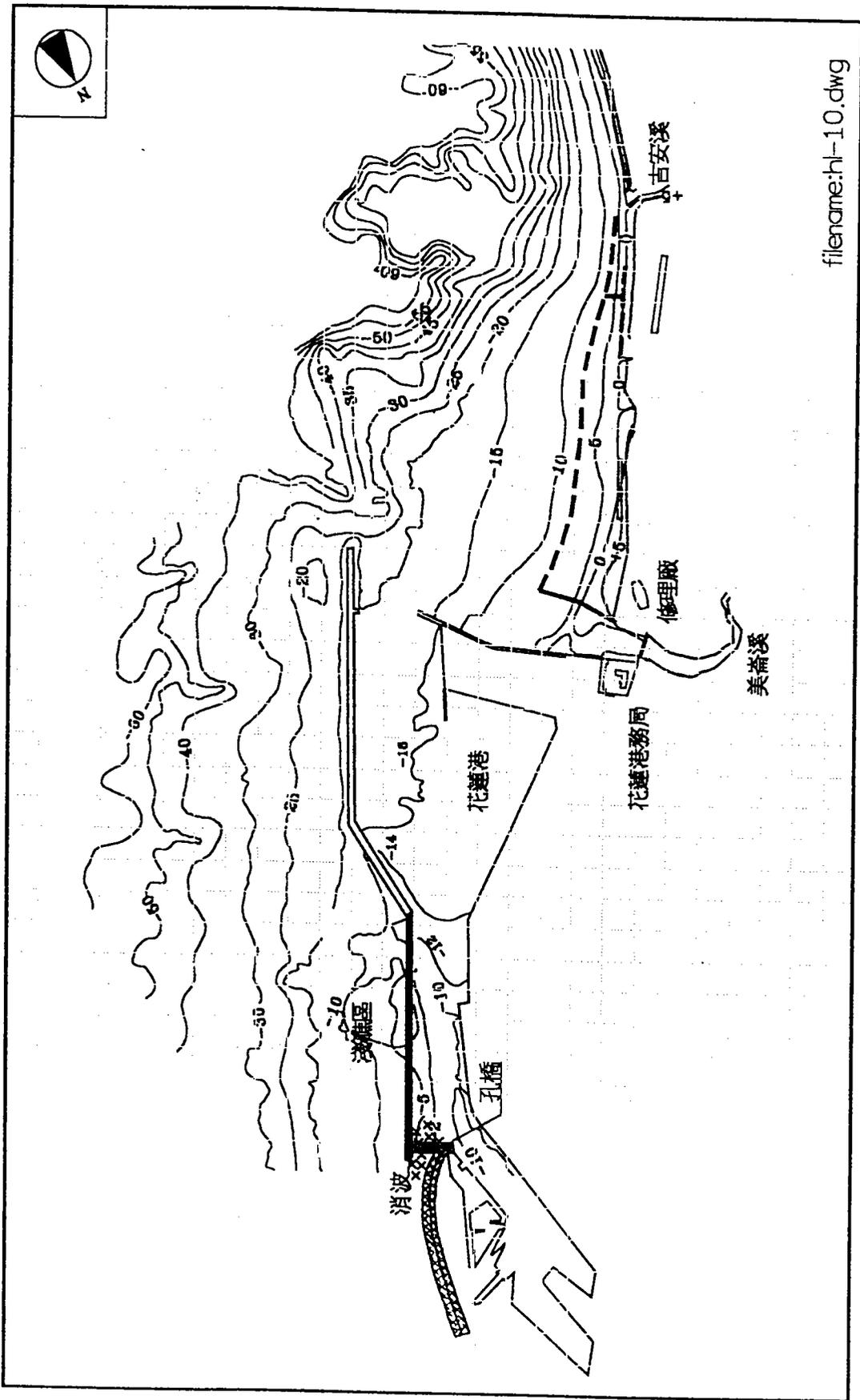
filename:hl-8.dwg

圖 2-10 花蓮港池改善佈置(佈置 J)



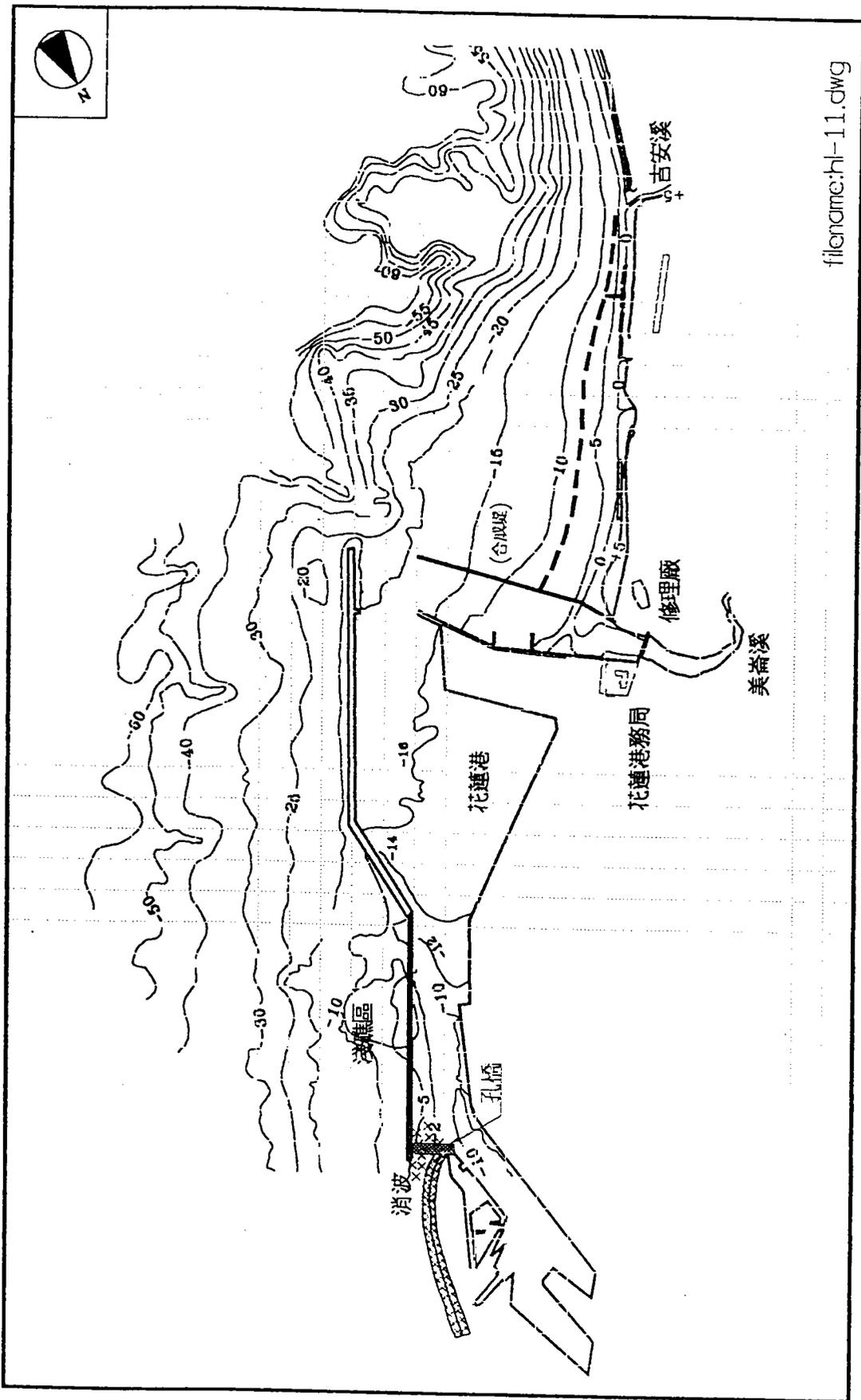
filename:ht-9.dwg

圖 2-11 花蓮港港池改善佈置(佈置 K)



filename:hl-10.dwg

圖 2-12 花蓮港港池改善佈置(佈置 P)



filename:hl-11.dwg

圖 2-13 花蓮港港池改善佈置(佈置 Q)

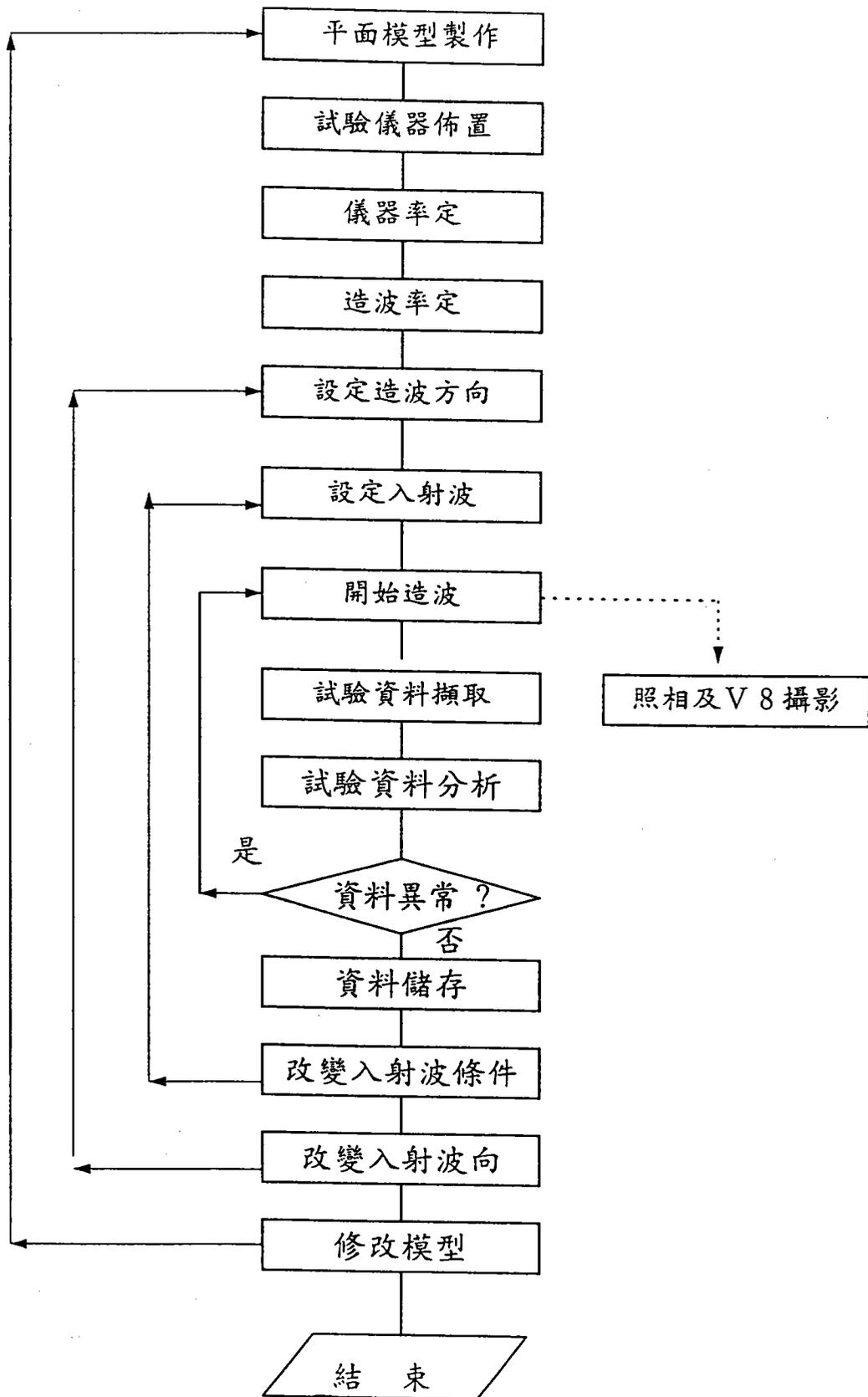


圖 2-14 試驗步驟流程圖

表 2-2 模型試驗概況表(√記號表已作試驗。—記號表未進行試驗)

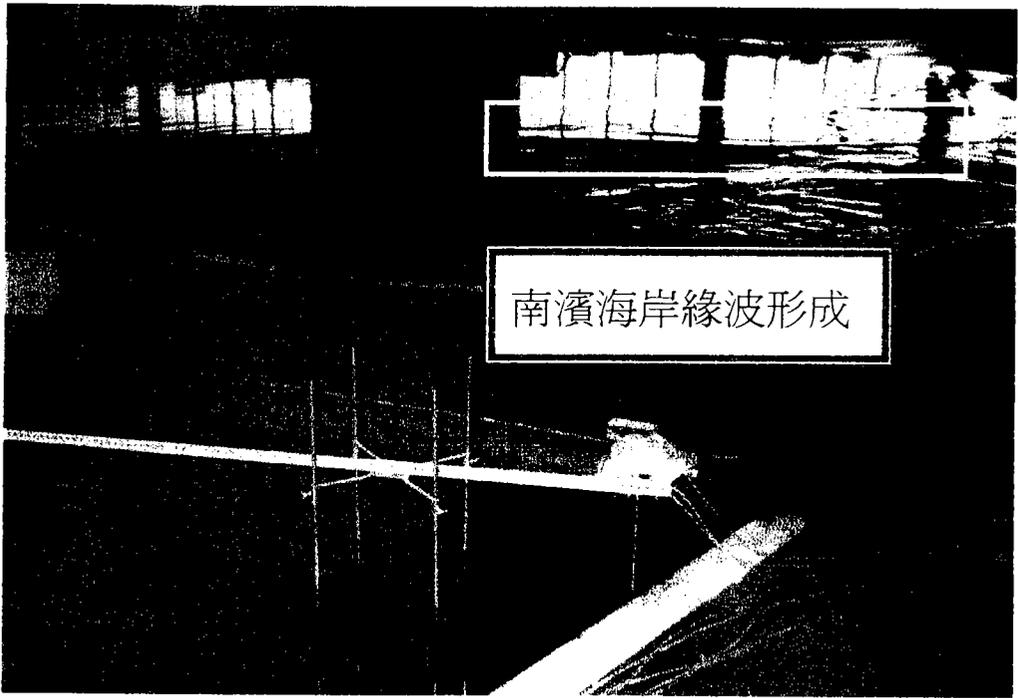
佈置編 波浪編號	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K	P	Q
R0	√	√	√	√	√	√	—	—	√	—	—	√
R1	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
R3	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R4	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
R5	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R6	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
R7	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R8	√	√	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
R9	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
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

參、試驗資料分析結果與討論

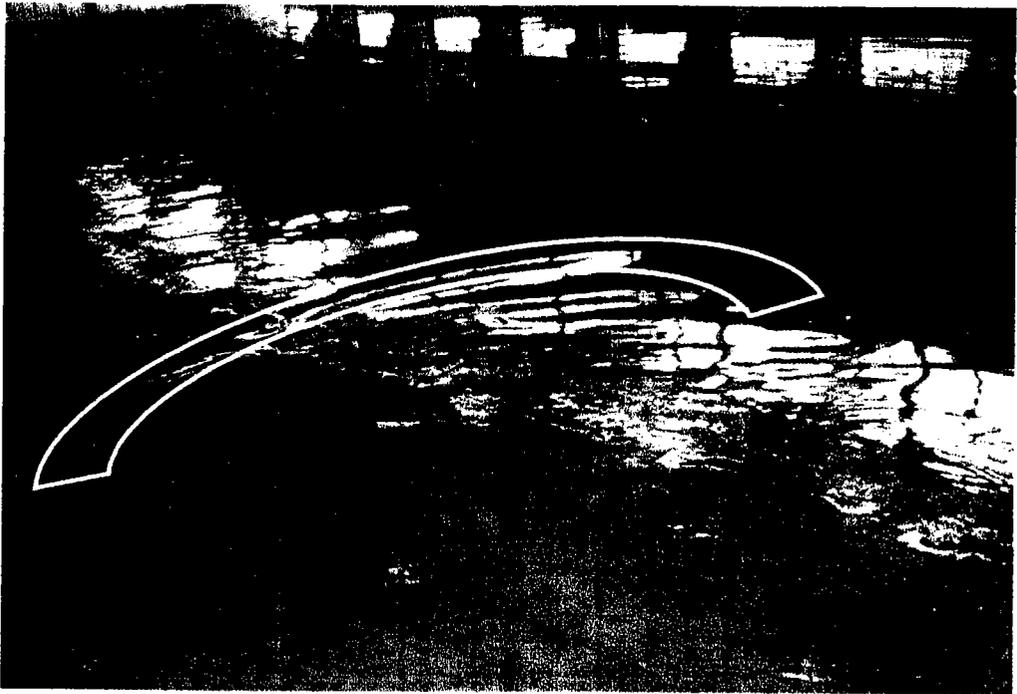
3-1 試驗現象與資料分析方法說明

在「花蓮港港灣設施改善計畫之研究」中，本所曾研擬幾種改善港池不穩靜的佈置進行水工模型試驗並獲得幾點初步成果。不過在該次試驗中的波浪條件皆是不規則波，而未進行長週期規則波試驗，此乃受限於舊造波機的造波能力(1985年向丹麥 DHI 購買)。本所今年初向加拿大 DAVIS 購置的新造波機，因造波能力的提昇，故能模擬長週期的規則波。事實上在造波機所模擬的不規波包含各種週期的成份波，當然也包含長週期波。不過以不規則波進行試驗時，由於各種週期成份波夾雜在一起，因此各成份波對於港池共振所呈現出來的反應特性也變得糾纏不清，若再考量波浪間的非線性交互作用，則情況就變得更加複雜，若無適當的解析方法，將無法確切的掌握各成份波的共振機制。本次試驗由於新造波機的造波能力改進，使得不規則波中的各個週期成份波能以單一週期的規則波加以模擬，而進行試驗。此種作法的好處是可以將原本複雜的共振現象單純化。換句話說，對於某一特定週期的波浪其港池共振的特性反應能以較清晰的面貌呈現出來，使我們對於港池共振問題的解決有較明確的切入方向。將不規則波視為由各個不同週期規則波所組成，這會牽涉到非線性的問題，不過以規則波進行試驗時所呈現出來的港池共振現象將變得較單純，甚至以目視觀察就能看出端倪，因此在本次試驗中規則波試驗是重點之一。試驗過程中以目視發現長週期的規則波在南濱海岸形成類似緣波後(如照片 3-1)。沿著海岸向港口推進(如照片 3-2)，進入港內後在外港池產生約東西向的港池共振現象(如照片 3-3)，在某些試驗波浪條件下甚至於 22 號碼頭處發生波浪湧上碼頭面的情況(如照片 3-4)，但此時外海的入射波波高依目視觀察仍很微小(如照片 3-5)。對於此種有趣的現象本次試驗已將其以 V8 攝影記錄，以供日後查看。(在本報告所謂內港池與外港池之區分是以內港航道北側港池為內港池，而南側為外港池)。

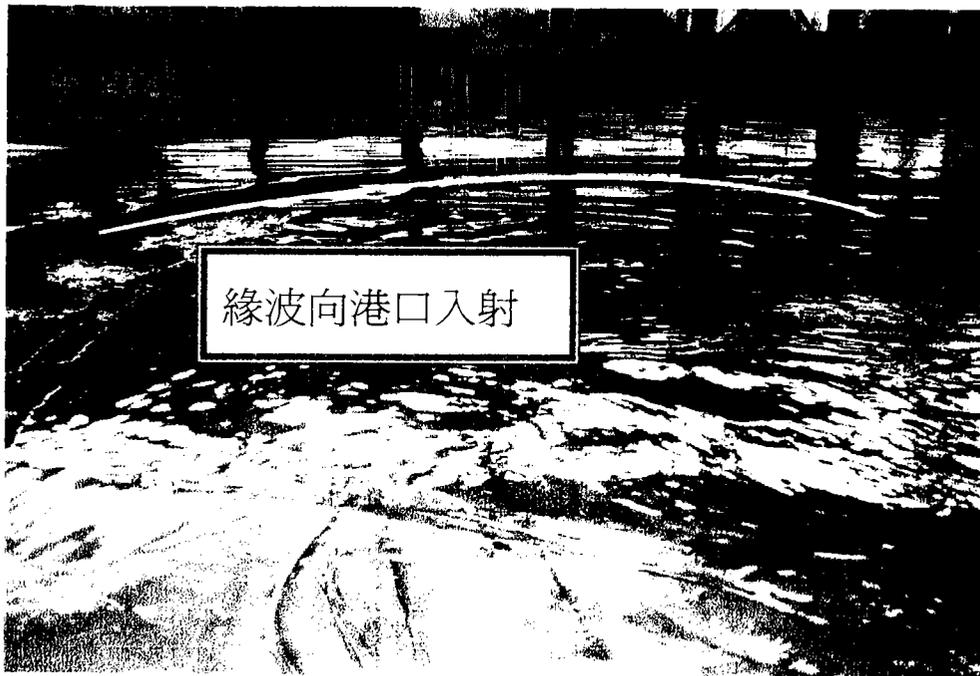
本次研究除了前述的規則波試驗外，另外也進行不規則波試驗，因此在資料分析上依據試驗目的對此兩種波浪的試驗結果以不同的分析觀點



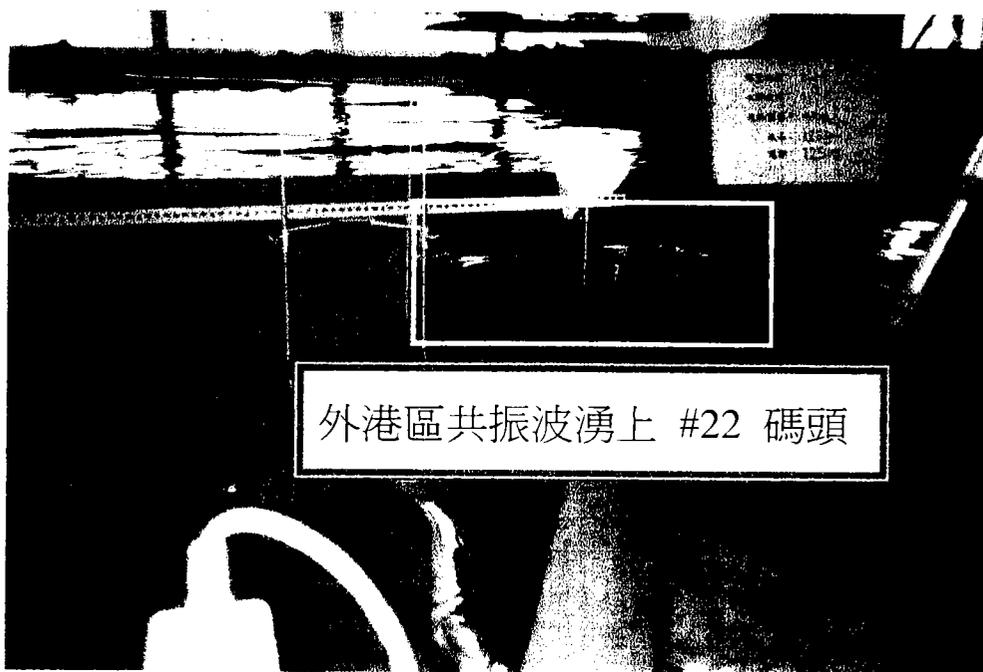
照片 3-1 南濱海岸緣波形成



照片 3-2 緣波沿海岸行進



照片 3-3 緣波向港口入射



照片 3-4 外港區共振波湧上 #22 碼頭



照片 3-5 外海入射波波平如鏡

進行處理。在規則波部份將以港內測點的波高與外海入射波高的比值，作為港池共振程大小的衡量依據，並對不同的波浪週期、模型佈置及入射波向進行比較，以明瞭何種改善佈置對於長浪防制或港池共振減輕具有較佳的效果。至於不規則波部份，除了進行一般的波高、週期統計分析外，並對港池的遮蔽效果以 K_0 值作一檢視，此外利用頻譜分析的方法處理，以考察各頻率區間的波浪能量於不同佈置、不同測點的變化情形，藉此評比各佈置的改善港池共振效果。

3-2 規則波分析

對於某一規則入射波條件(波高、週期及波向)及某一模型佈置，將各波高計所測得之水位變化如圖 3-1，經由向上零切法可求得波高與週期，並以港內波高與入射波高的比值作為港內波高放大的評比指標。由於波高計測點數目及試驗波浪條件眾多無法逐一針對不同波浪條件及模型佈置方式的各個波高計測點進行比較。所以在不影響歸納結果的前提下，選取較具代表性的某些測點如代表外港池的測點編號 5(#20 號碼頭)、編號 6(#22 號碼頭)、代表內港池的測點編號 14(#12 號碼頭)、編號 15(#8 號碼頭)、及測點編號 17(#2 號碼頭)等，試驗波浪條件則選擇 180 秒、160 秒、150 秒、145 秒、140 秒、135 秒、125 秒、40 秒、15 秒及 10 秒等 10 種原型週期。試驗波向則選擇 S 及 SSE 方向。將選取的各測點在不同佈置、不同週期的波高比值分別繪於圖 3-2 ~ 圖 3-6。

3-2-1 不同週期港內波高放大比較

為了方便與實測結果比較，在本小節中波浪週期以原型尺度說明，其對應的模型週期見表 2-1。由圖 3-2 中可發現對外港池的測點 5(#20 碼頭)而言，其波高比值在長週期時(125 秒~180 秒)大於 1，換言之，波高有放大現象。若依佈置 A(圓形實心符號，為了方便說明，在本小節皆以本佈置為例)仔細觀察可發現其波高比值由週期 180 秒的 1.17 隨週期減小而增大，當週期 140 秒時比值達到最大約 2.36，隨後隨週期減小波高比值急速減小，當週期減至 15 秒以下時，波高比值已降至 0.4 以下。由波高比值隨週期變化可知在週期 140 秒左右時，外港池的

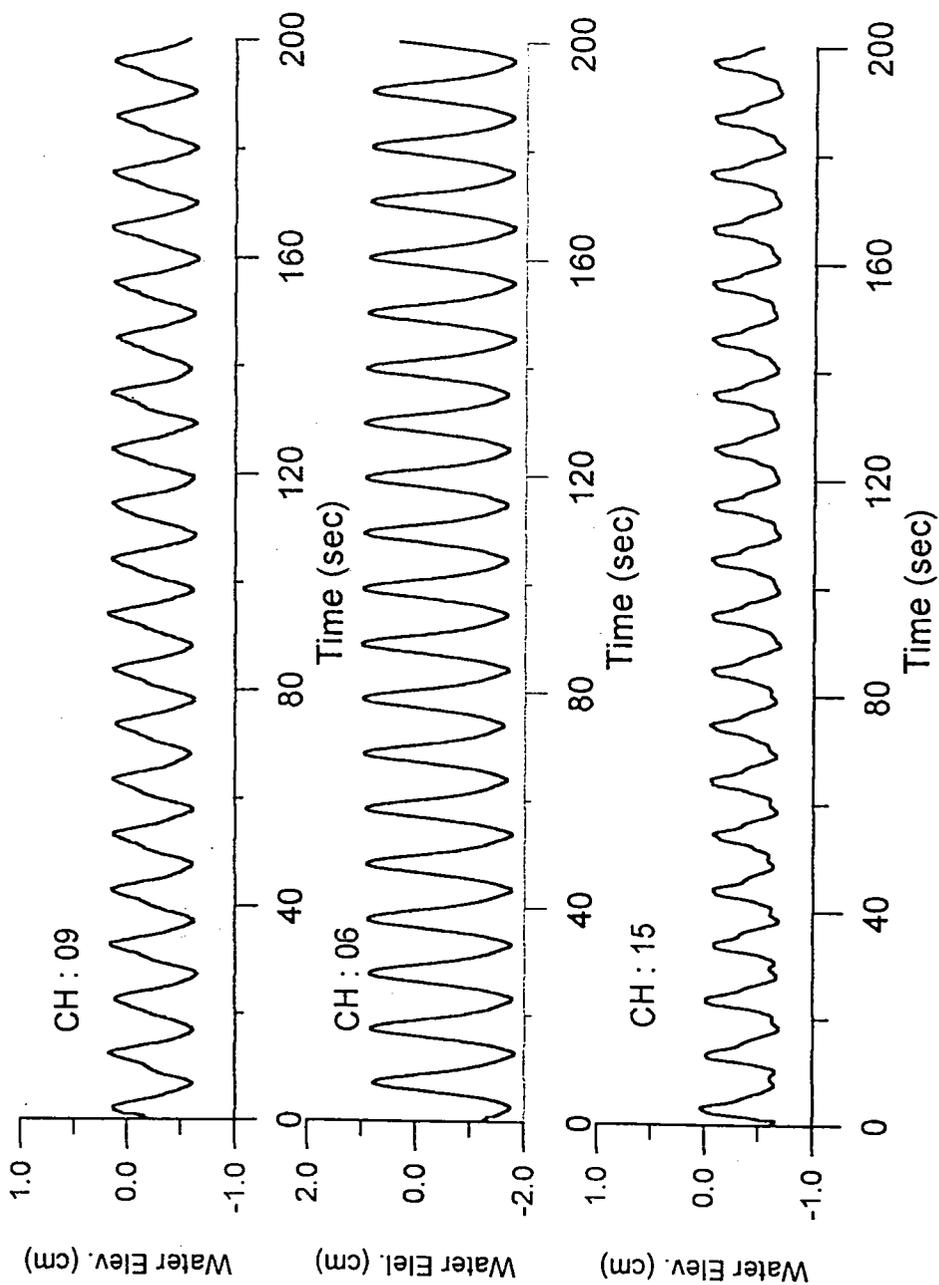
共振現象最明顯，此與以往的現場調查觀測結果非常符合，這表示本次試驗的模型能適當的將現場實際共振特性以近真實的模擬效果重現，換言之，對於本次水工模型試驗的可靠度與信賴度有所保證。

對於同是外港池的測點 6(#22 碼頭)，其波高比值隨週期的變化趨勢與上述測點 5 的結果非常相似，其最大波高比值也是發生在週期 140 秒，如圖 3-3。不過整體而言，在同一週期時測點 6 的波高比值較測點 5 為大，例如週期 140 秒時，測點 6 的波高比值約可達 3.46。此原因應該是測點 6 與測點 5 相較更接近 22 號碼頭與 23 號碼頭交界的港池轉角處，而港池共振一般是以港池轉角處最容易發生。正如本次試驗於測點 6 鄰近的港池轉角處會發生波浪湧上碼頭面上的現象。

再由屬於內港池的測點 14(#12 碼頭)來檢視其波高比值如圖 3-4。圖中顯示的波高比值隨週期變化的型態與前述外港池的測點 5 或測點 6 不同。測點 14 的波高比值由週期 180 秒的 1.46 隨週期減小而減小至週期 125 秒時則又增大為 1.29，但隨後又週期減小而急劇減小，當週期 10 秒或 15 秒時已降至 0.2 以下，與外港測點 5(或測點 6)相較，週期 140 秒的尖峰波高比值不存在。可見內港測點 14 的港池共振型態與外港池有些不同。

不過若由同屬內港池的測點 15(#8 碼頭)來考察，其波高比值如圖 3-5。圖中顯示測點 15 的波高比值隨週期的變化趨勢與外港池的測點 5(或測點 6)非常相似。其波高比值於週期 140 秒處發生最大值約 2.01。不過大體而言在同一週期時測點 15 的波高比值較測點 5 為小，此意味著內港池測點 15 的港池共振程度較外港池為小。

雖然測點 14 與測點 15 都是屬於內港池的測點，但兩者波高比值隨著週期變化的趨勢形態並不相同。換言之，兩測點對於長週期波浪的港池共振反應特性有所不同，其原因可由兩測點所處的位置進一步考察。兩測點雖然同在內港池，但由內港池的形狀來看，事實上可以再細分幾個較小的港池區域，(1)由 6 至 8 號碼頭所圍成(2)由 10 至 15 號碼頭所圍成及(3)小型船渠等。本試驗的測點 14 位於(2)區而測點 15



R6ELEV.GRF

圖 3-1 規則波水位變化逐時圖(CH:9 為外海測點; CH:6 為#22 碼頭測點;
 CH:15 為#8 碼頭測點; 試驗編名:R6, 入射波向:S)

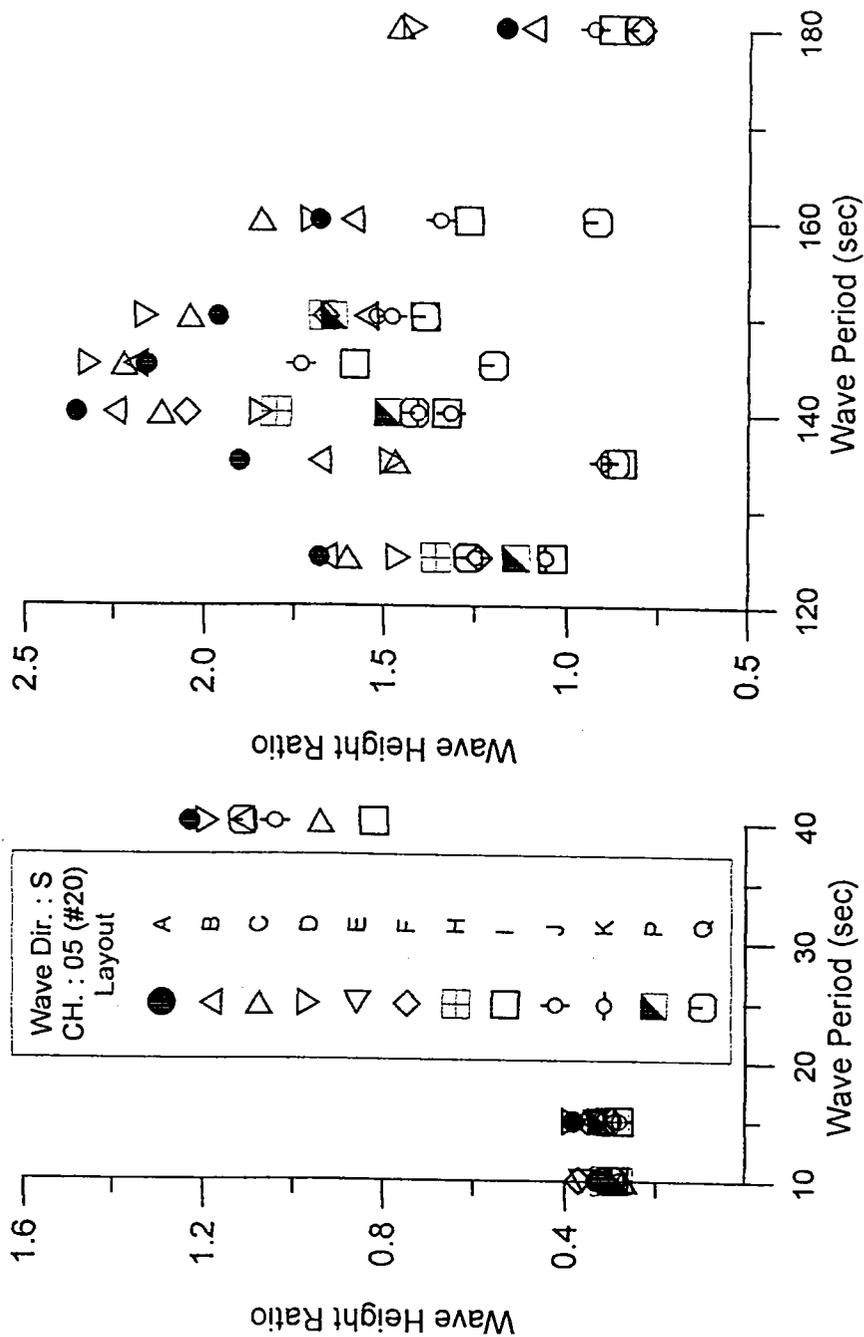
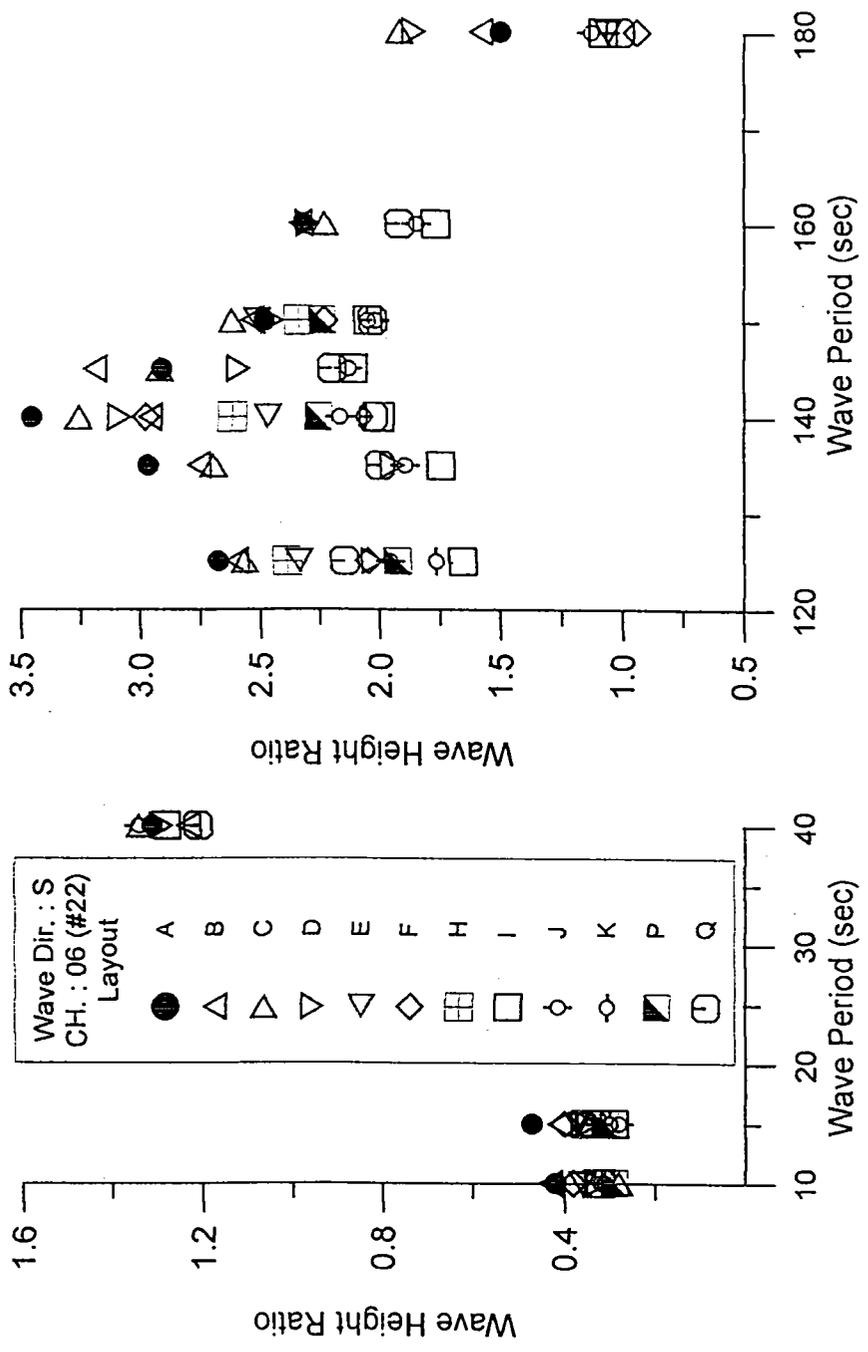
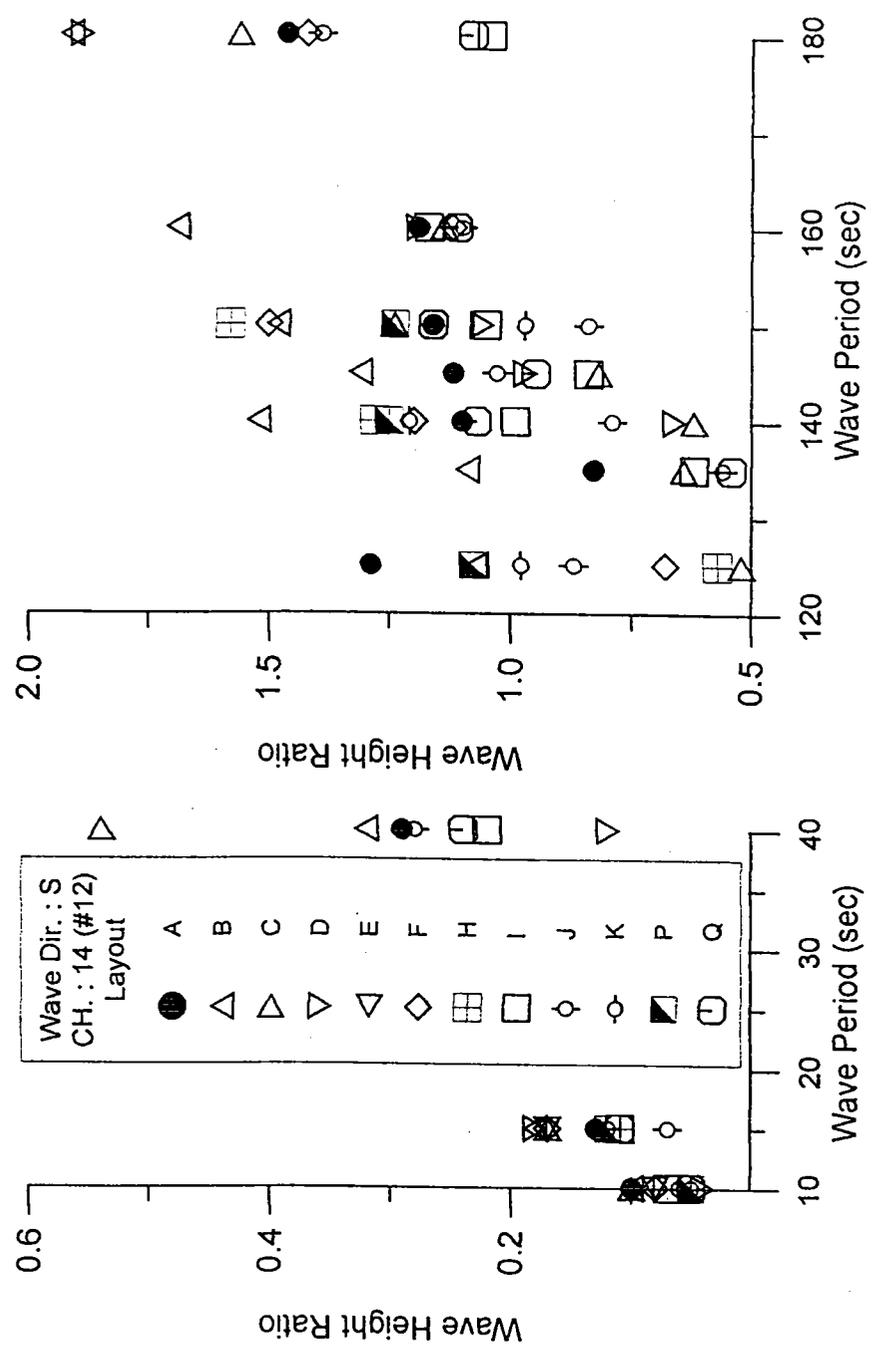


圖 3-2 外港池測點 5(#20 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值



RA06H.GRF

圖 3-3 外港池測點 6(#22 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值



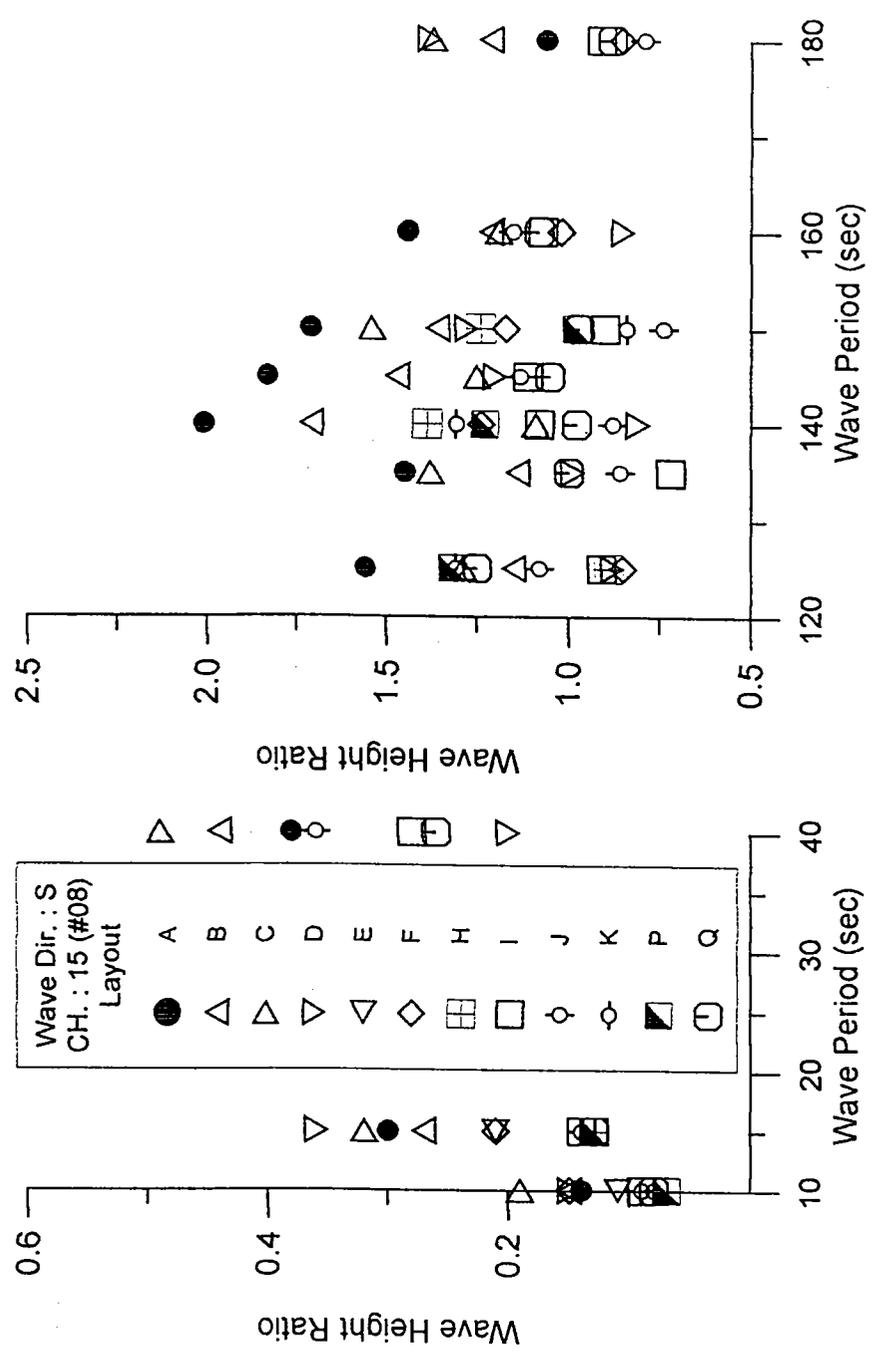


圖 3-5 內港池測點 15(#8 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值

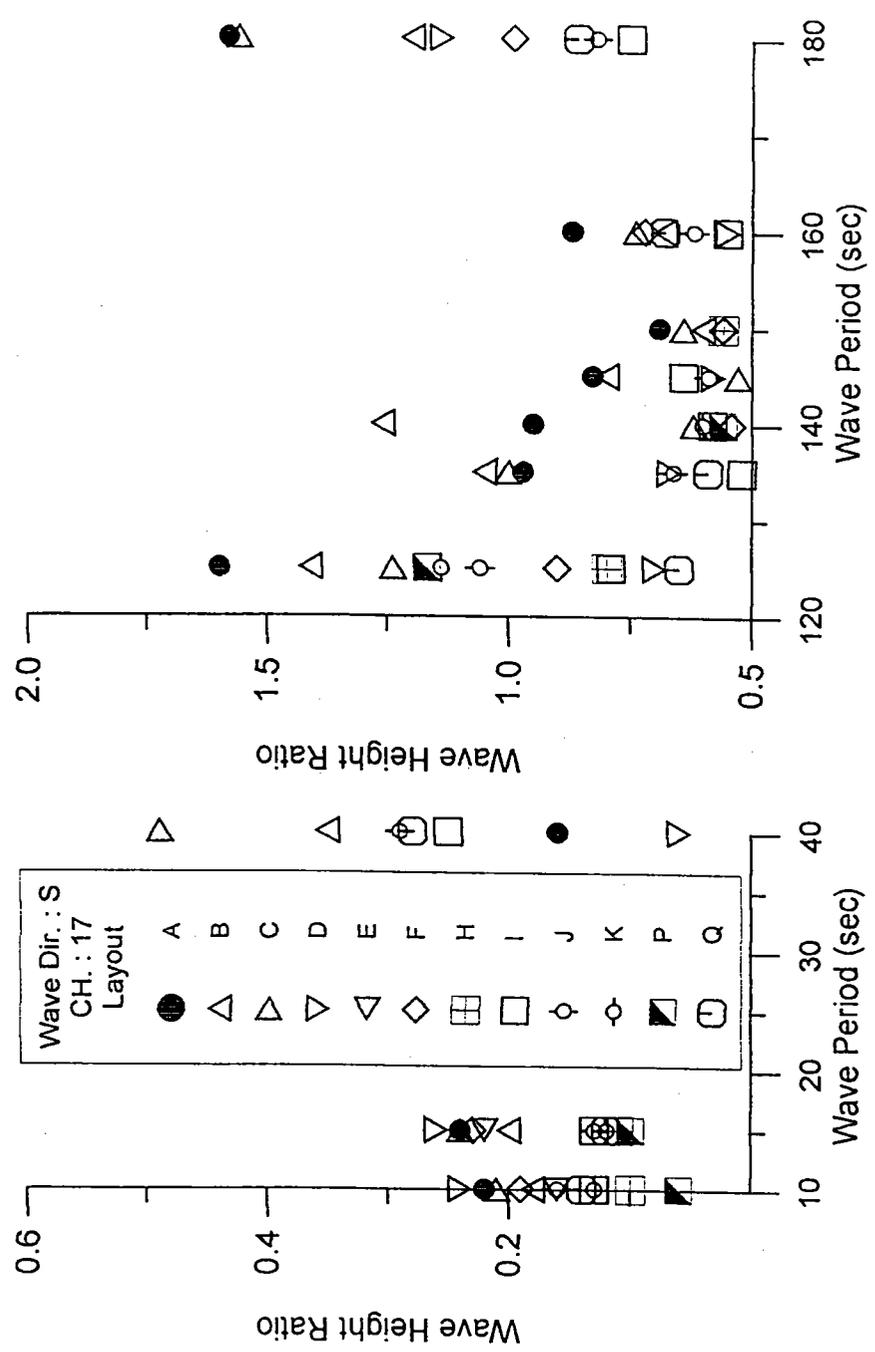


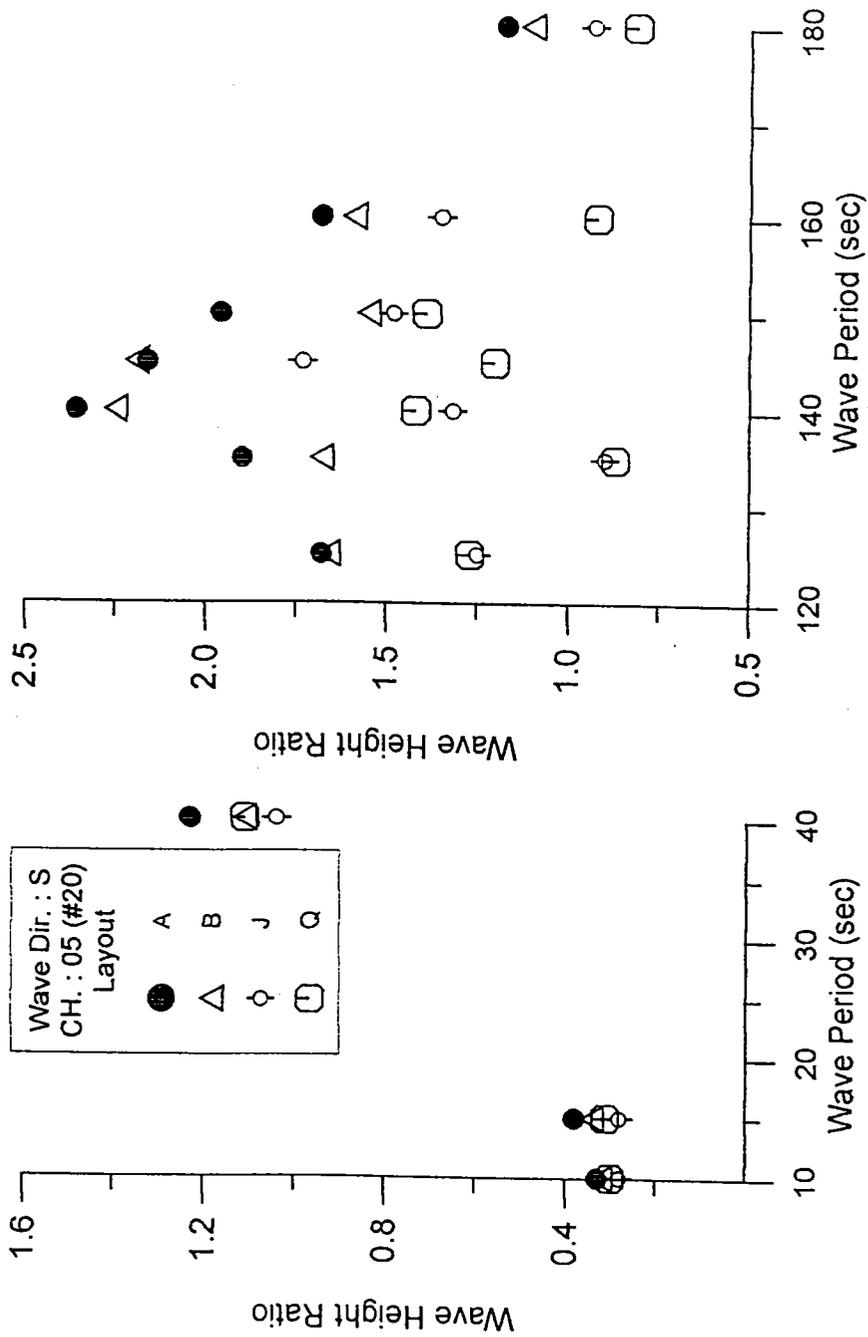
圖 3-6 內港池測點 17(#2 碼頭)不同週期不同佈置之波高比值

則位於(1)區。正如一般港池共振的現象常隨港內觀測點不同而有所差異的認知一樣，測點 14 及測點 15 分屬不同較小的港池區域，因此其港池共振特性會有所不同的情況是可以理解的。

圖 3-6 所顯示的是測點 17 (#2 號碼頭)的波高比值隨週期的變化情形。由該圖中可發現波高比值由週期 180 秒的 1.58 隨週期減小而減小至週期 150 秒時減為 0.69，但隨後卻隨週期減小而增加至週期 125 秒時則增為 1.60。此種波高比值隨週期變化的趨勢型態與前述的內、外港測點皆不相同。由此可再一次說明港池共振常隨觀測點的不同會有不同的共振型態出現，因此無論在數值模式計算、現場調查或水工模型試驗這種隨位置而變的共振特性需加以注意。

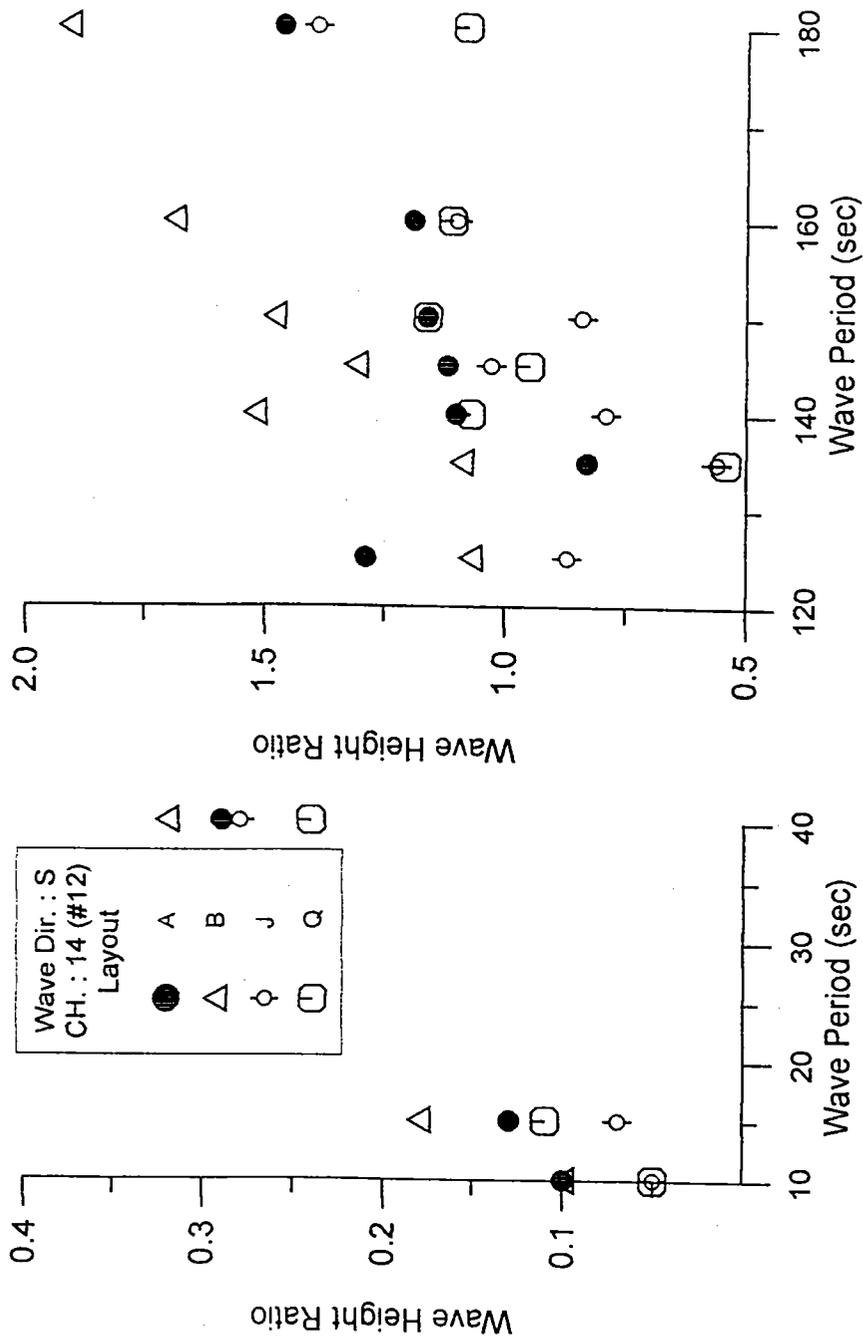
3-2-2 不同佈置港內波高放大比較

在上小節中是以佈置 A 為例，說明內、外港測點之波高比值隨週期變化情形。在本小節則針對不同佈置港內波高比值加以考察，以明瞭何種佈置對於減輕港池共振的效果較佳。同樣參考圖 3-2 來考察外港測點 5 於不同模型佈置下的波高比值，由圖中可發現佈置 A(即花蓮港目前港池情形)的波高比值較大，而佈置 B、C 及 D 的波高比值稍小些，但與佈置 A 仍很相近，此顯示佈置 B、C 及 D 對於外港測點 5 的港池共振減輕效果不明顯，至於其他佈置(港外導流堤延伸或港內突堤)，則多少有些效果，在此為了方便說明，及圖形較簡潔易自看起見，選擇四個佈置 A、B、J 及 Q 加以說明(各佈置詳圖見第二章)如圖 3-7~3-11。如圖 3-7 中可明顯看出佈置 J 及 Q 於港外測點 5 對於長週期波時(大於 120 秒)的波高比值降低頗具效果，其中又以佈置 Q 較佳，至於短週期波時(小於 15 秒)也稍具效果，但不是很明顯。不過原本短週期波時的港池共振就不明顯(見上小節)，因此佈置 J 及 Q 對於港外測點 5 的港池共振具有減輕作用。另外佈置 B 則效果不明顯，其波高比值與佈置 A 很相近，此說明舊東堤開闢一缺口，對於減輕外港的港池共振效果不大，此與以往研究結果一致。對於同屬外港的測點 6 其不同佈置的波高比值可參照圖 3-3 或圖 3-8。由圖 3-8 中可發現其結果與測點 5 相同，即當長週期波時佈置 J 及 Q 對減輕港池共振具有明顯效果，尤其是波高比值



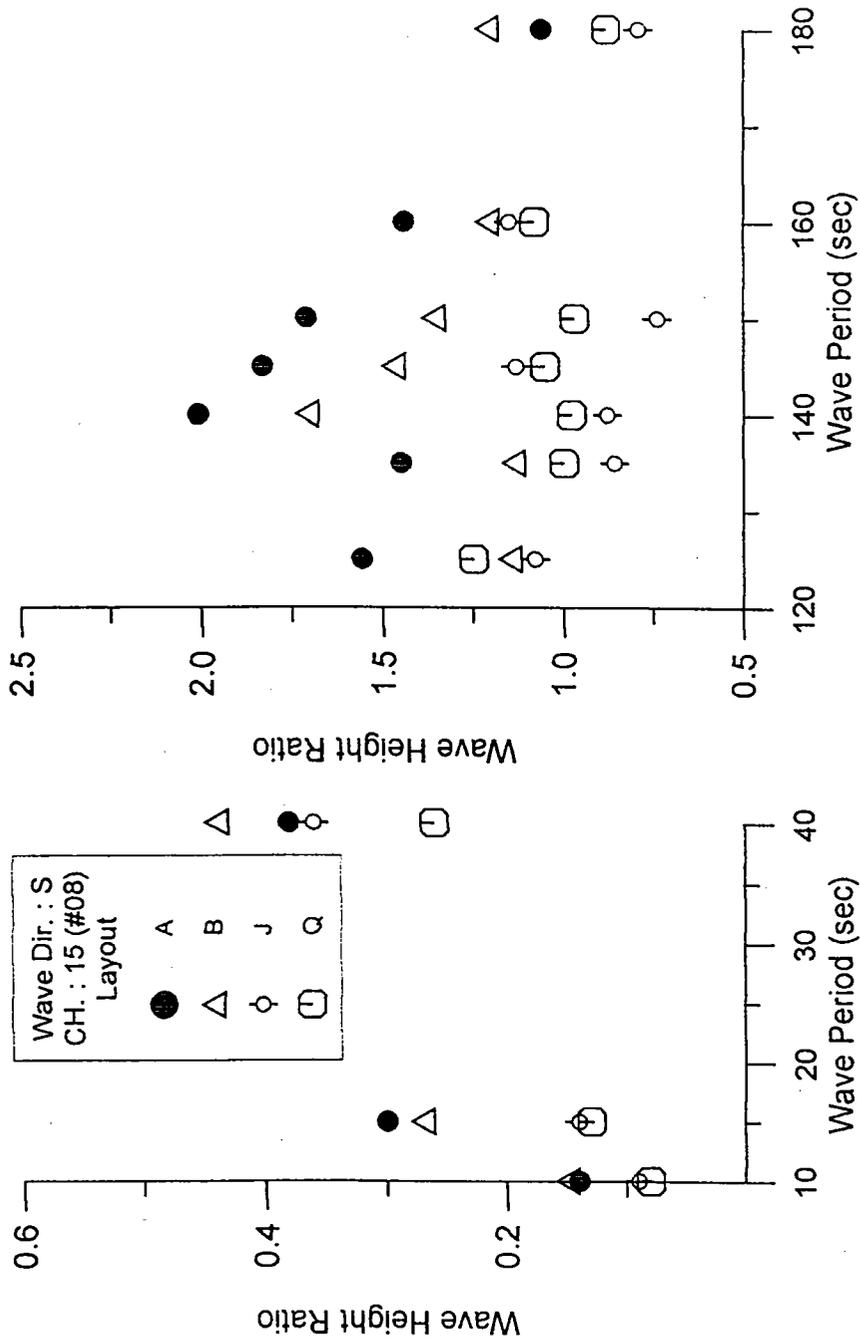
RA05H1.GRF

圖 3-7 外港池測點 5(#20 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值



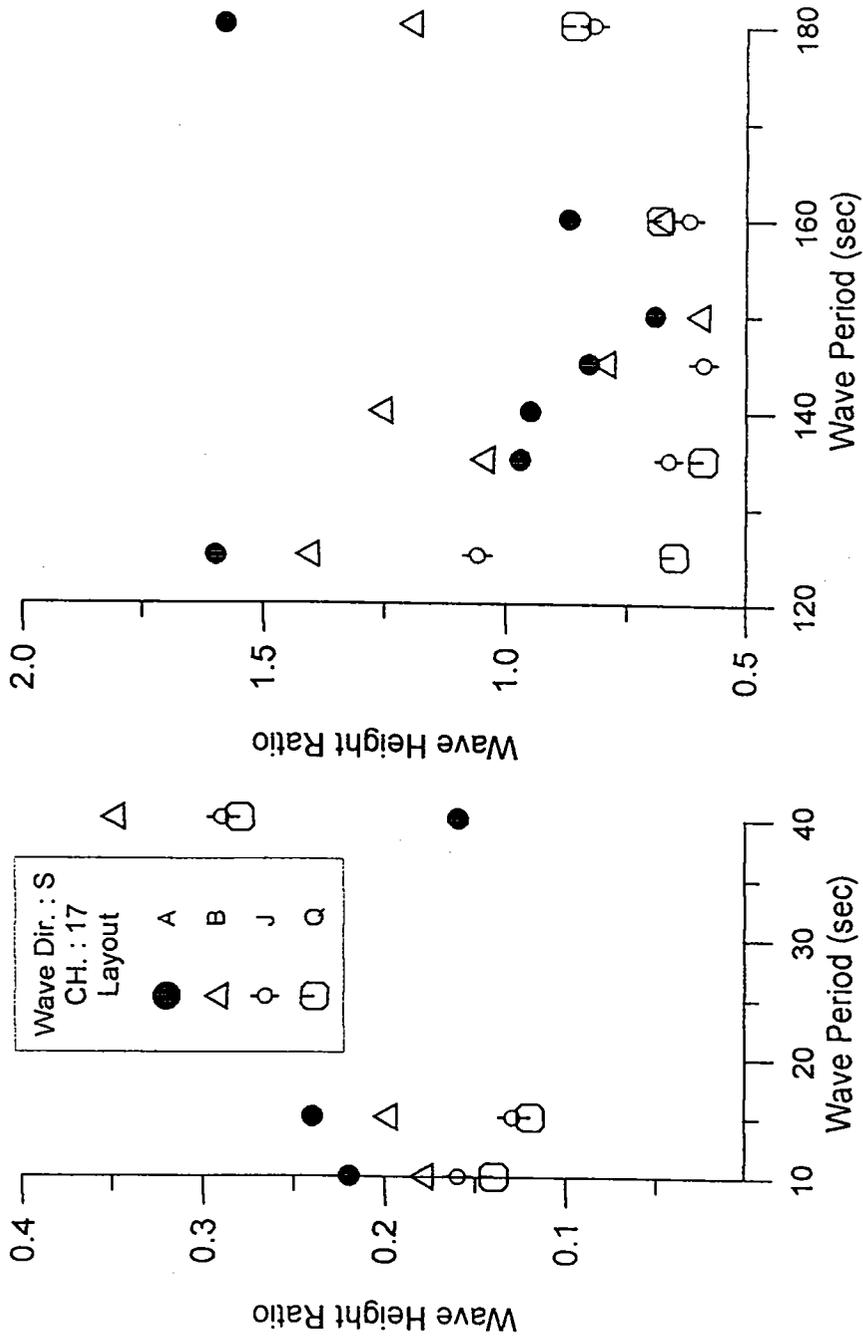
RA14H1.GRF

圖 3-9 內港池測點 14(#12 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比值



RA15H1.GRF

圖 3-10 內港池測點 15(#8 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比



RA17H1.GRF

圖 3-11 內港池測點 17(#2 碼頭)不同週期佈置 A、B、J 與 Q 之波高比

最大的 140 秒長波週期最明顯。

對於內港測點 14 則可參考圖 3-4 或圖 3-9，由圖 3-9 可發現佈置 B 的波高比值較佈置 A 為大，所以佈置佈置 B 對於內港測點 14 的港池共振問題具有負面效果，其原因值得進一步探討。至於佈置 J 及 Q 仍具減輕港池共振的作用，且兩者效果差不多。對於同屬內港的測點 15 則可參考圖 3-5 或圖 3-10，由圖 3-10 可看出佈置 J 及 Q 對於減低港池共振的效果與外港測點 5 或 6 很相似，其波高比值於長週期波時已降至 1.0 左右。此外佈置 B 的波高比值與佈置 A 相較大致而言皆較小，此顯示佈置 B 對於測點 15 也具有減輕港池共振的作用，只是效果沒有佈置 J 或 Q 明顯，測點 17 於各佈置的波高比值可參考圖 3-6 或圖 3-11。如圖 3-11 可看出佈置 J 及 Q 對於本測點的港池共振減輕除週期 40 秒外也具明顯效果。

綜合以上的比較說明可發現本次試驗中所研擬的各種改善佈置中，以佈置 J 及 Q 對於外港或內港的港池共振都具有較明顯減低的效果，尤其是在 140 秒的長週期波時效果最顯著約可降低 40% 以上。另外要說明的是佈置 B (舊東堤重建並開一開口) 對於外港的港池共振降低效果不明顯。而對於內港則無法獲得具體結論。佈置 J 是參照佈置 B，但另外於外港池 24 與 25 號碼頭交界處築一長約 105 公尺突堤，以改變外港池形狀，進而破壞外港池的港池共振模態。達到減輕港池共振的目的。佈置 Q 也同樣是參照佈置 B，但另外利用於港外美崙溪口的導流堤加以延長，以阻絕南濱海岸的長週期緣波進入港內，而降低港內的共振程度。上述兩種佈置的出發觀點及思考方向不同，但對港池共振問題的解決皆有正面的效果。

3-2-3 不同波向港內波高放大比較

本次試驗入射波向共有 4 種，其中 NE 及 ENE 方向主要是探討新東防波堤的遮蔽效果，而不考慮港池共振的問題，主要是基於兩點理由(1) 對花蓮港港池共振較具威脅的波向是 S 及 SSE，尤其是當颱風於菲律賓東方海面形成後以西北或北北西的方向向花蓮港逼近(2) 花蓮港南濱海

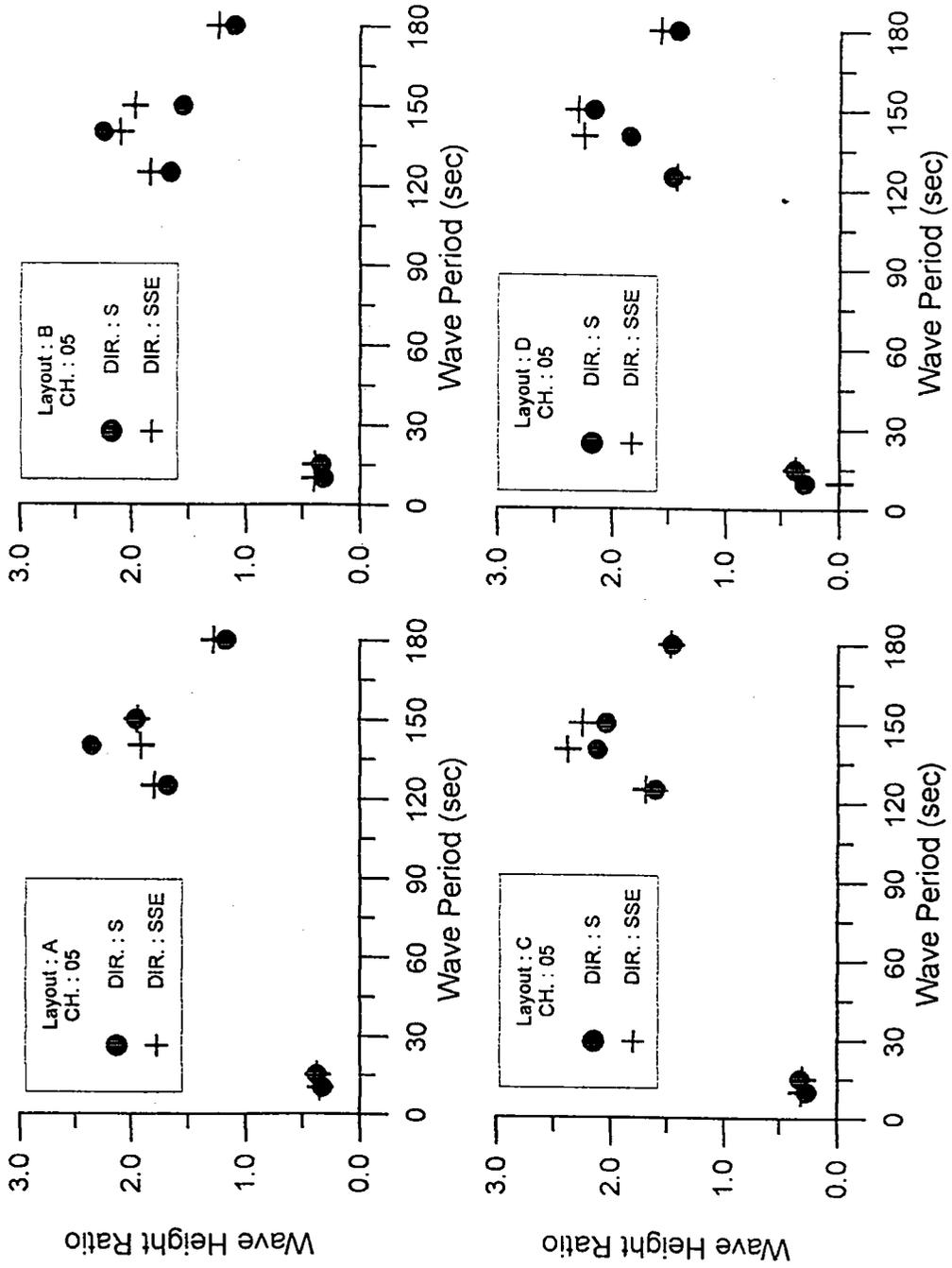
岸的特殊地形，易造成長週期的緣波現象，進入港內造成港池共振。因此在本計畫中關於港池共振的問題主要是以 S 及 SSE 波向為考量。而不同波向對於港內波高放大的結果，可參考圖 3-12 ~ 3-16。由上述這些圖中顯示內港與外港測點的波高比值隨波浪週期的變化趨勢並不隨入射波波向的不同而有明顯差異，換句話說，港池共振的反應特性不隨入射波向不同而改變，不過這只是針對 S 及 SSE 兩種波向的比較結果，至於其他波向例如 SE 及 ESE 等，則可參考「花蓮港港灣設施改善計畫之研究」也有相同的歸納結果。綜合而言，在某一波向範圍內不同波向對港內波高放大現象的影響不大。

3-3 不規則波分析

對於某一不規則入射波條件及某一模型佈置，將各波高計所測得之水位變化如圖 3-17。經由頻譜分析可得各測點的各頻率能譜值，及利用上零切法求得示性波高、週期等。根據在不同頻率區間的能譜值大小來比較不同佈置間波浪能量的結構變遷情形，以研判港池共振的減輕效果。此外以港內各測點的遮蔽係數值(K_D 值：測點示性波高/入射波示性波高)，來檢視各佈置的港池穩靜度，以檢討各佈置中防波堤的配置是否適當。

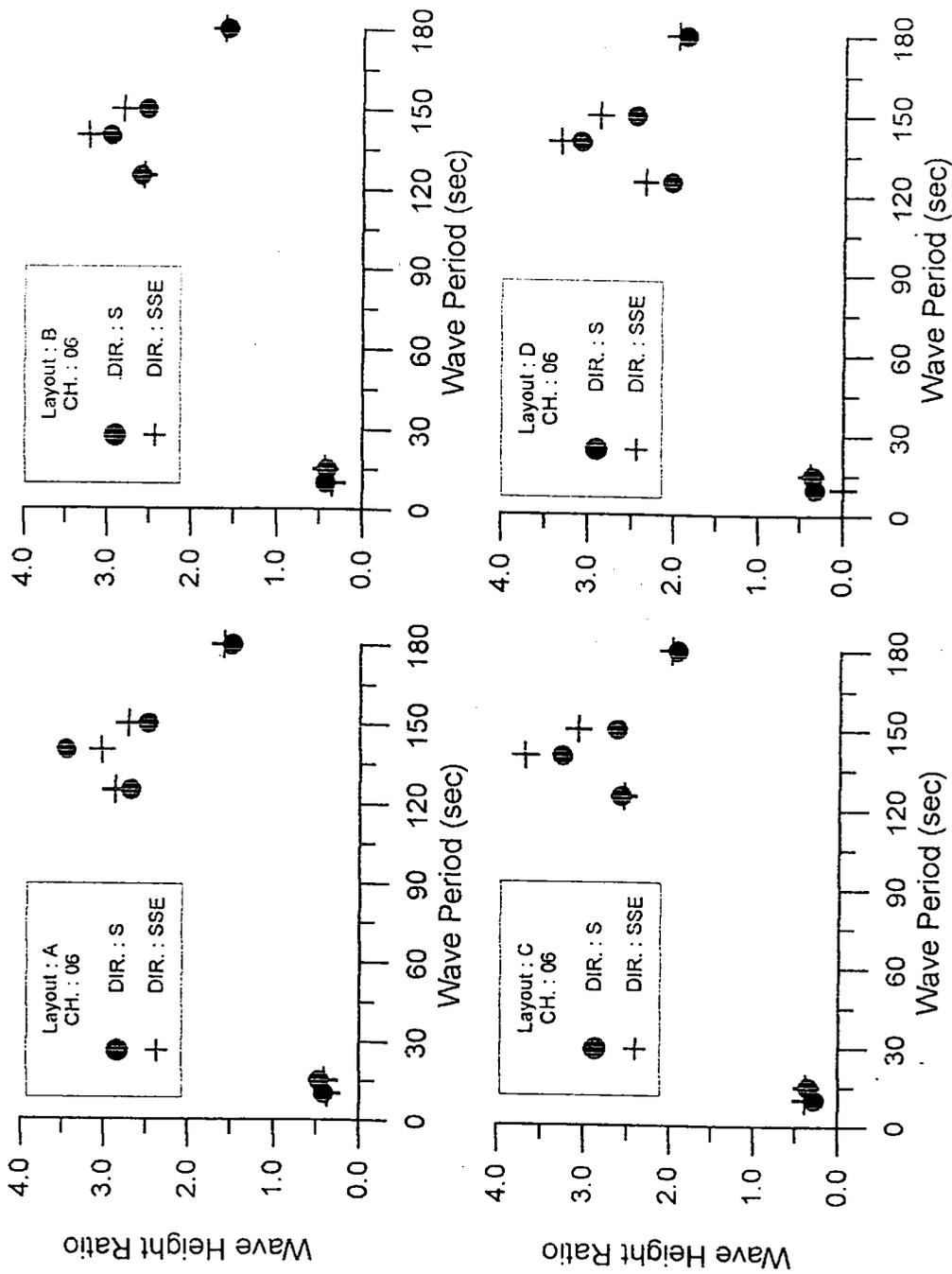
3-3-1 波高、週期統計分析

將波高計所測得之水位變化，經由向上零切法可求得統計波高與週期，如 H_{max} 、 T_{max} 、 $H_{1/10}$ 、 $T_{1/10}$ 及 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$等。另外根據探詢花蓮港港務人員及碼頭作業人員發現船隻斷纜時，其船體水平移動的距離往往大於其上、下振動的幅度。一段波高較大，週期較短的波浪可能造成船體水平較小的振幅，但波高較小，週期較長的波浪卻可能造成船體水平較大的振幅，此或許是船隻斷纜的原因。基於上述的考量則一般波浪統計之 T_{max} 因其是對應 H_{max} 所求得，故無法表示真正的最長週期波(其對應波高不一定是 H_{max})。因此本研究有別一段的波浪統計(以波高為觀點)，而另外以週期為觀點求得最長波週期及其對應的最長波波高。



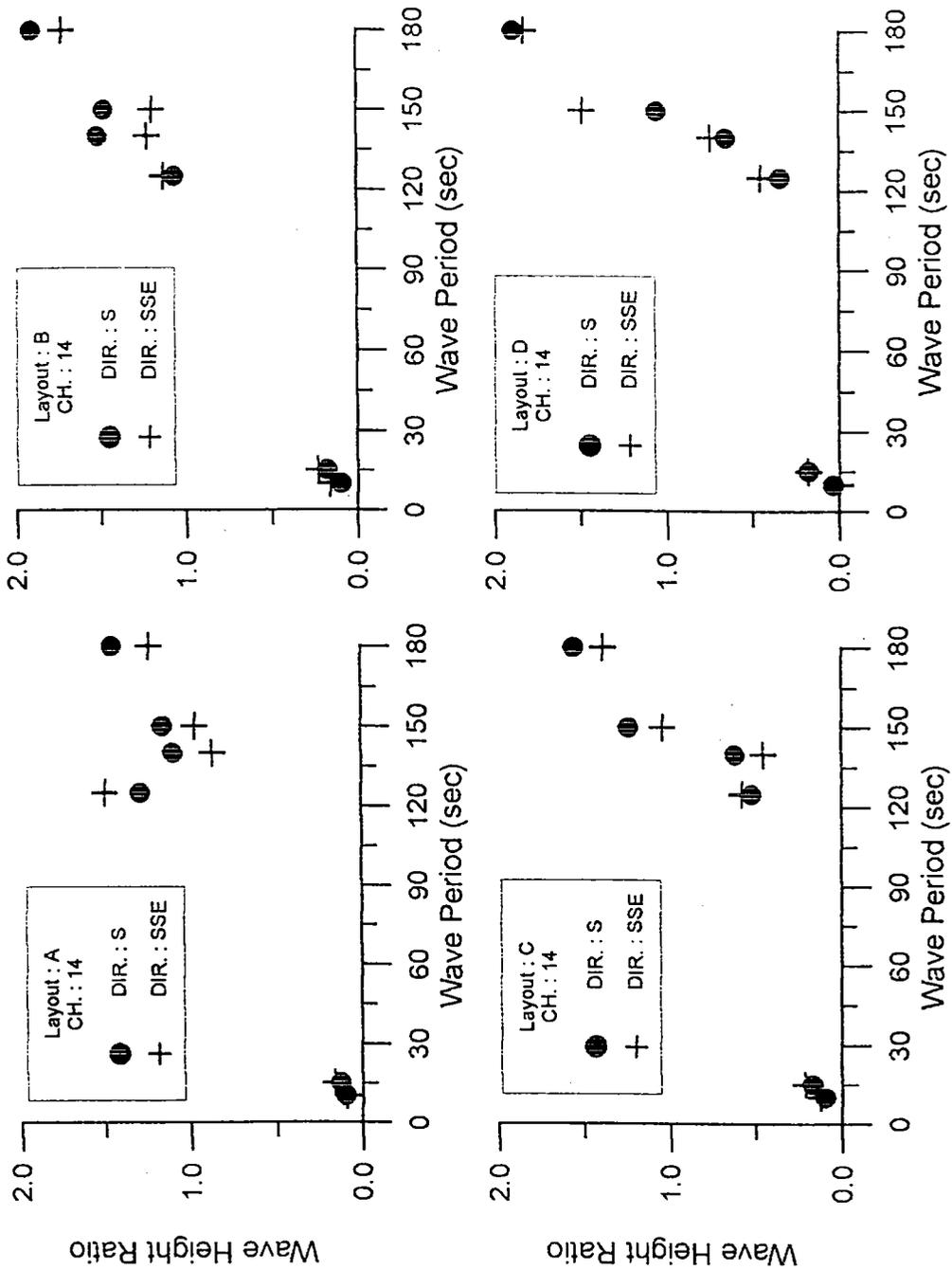
RA05SSE.GRF

圖 3-12 外港池測點 5 (#20 碼頭) 不同波向之波高比值



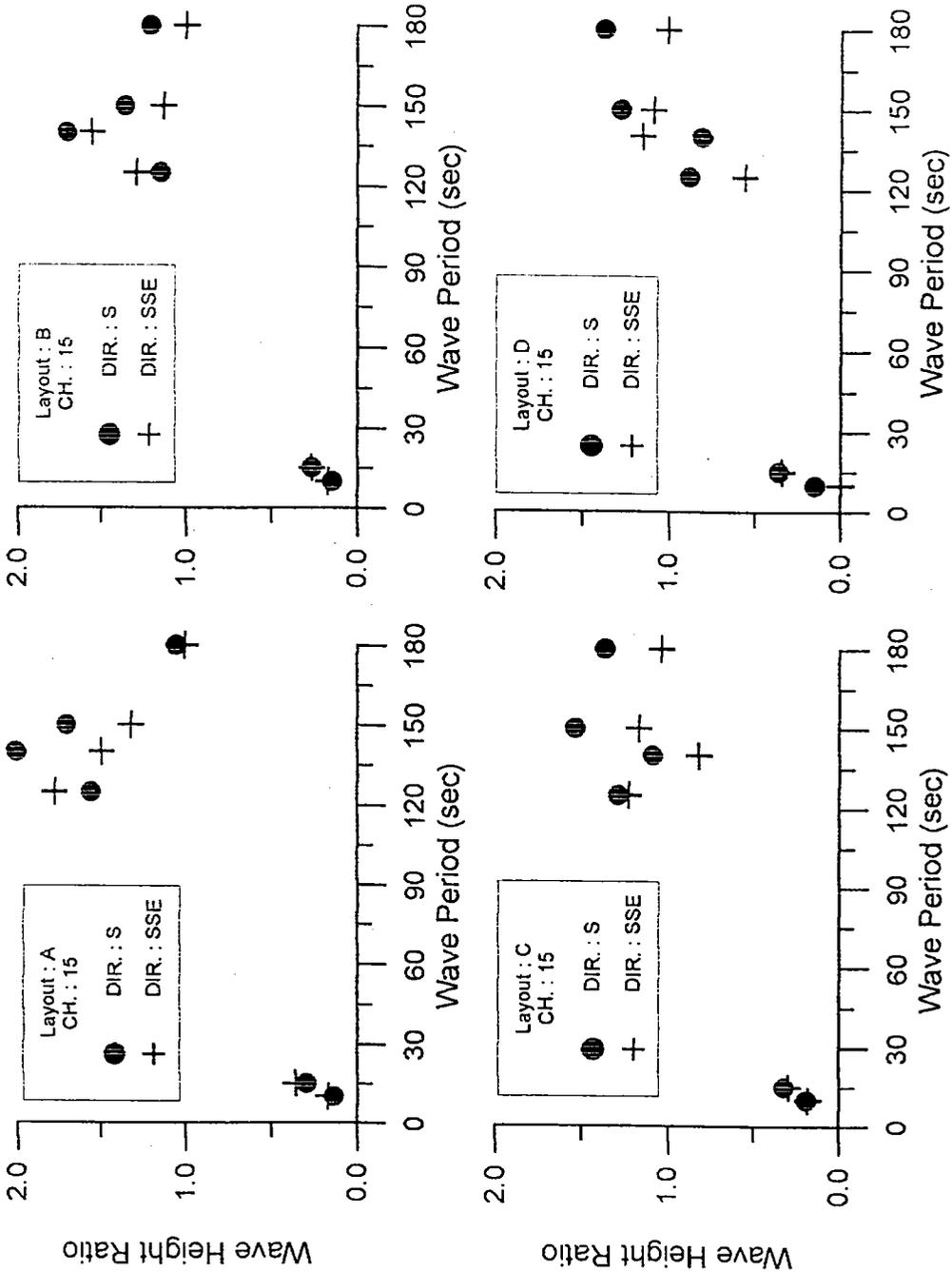
RA06SSE.GRF

圖 3-13 外港池測點 6(#22 碼頭)不同波向之波高比值



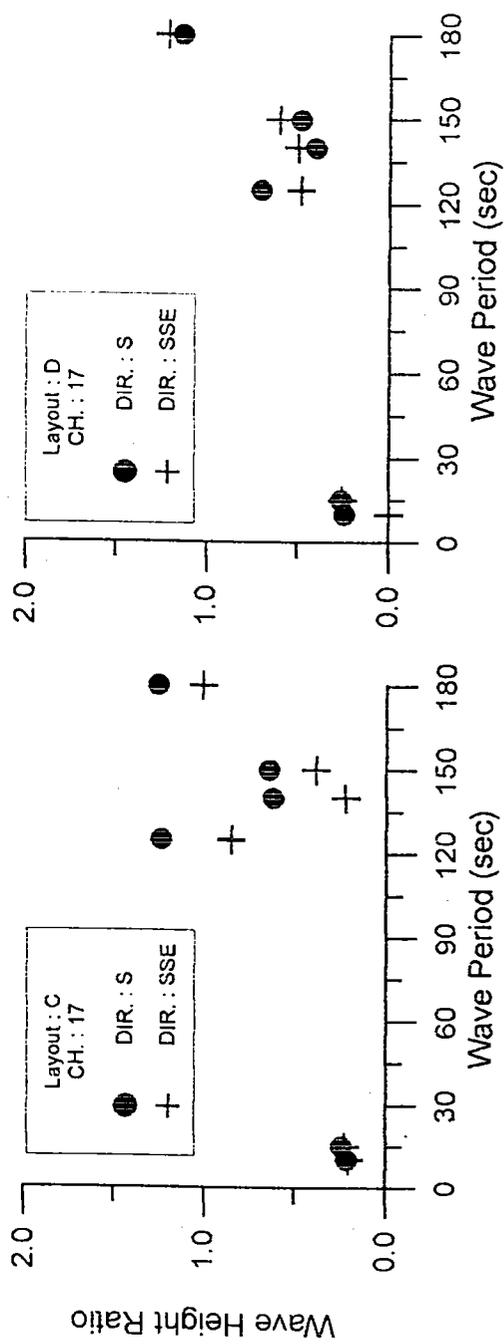
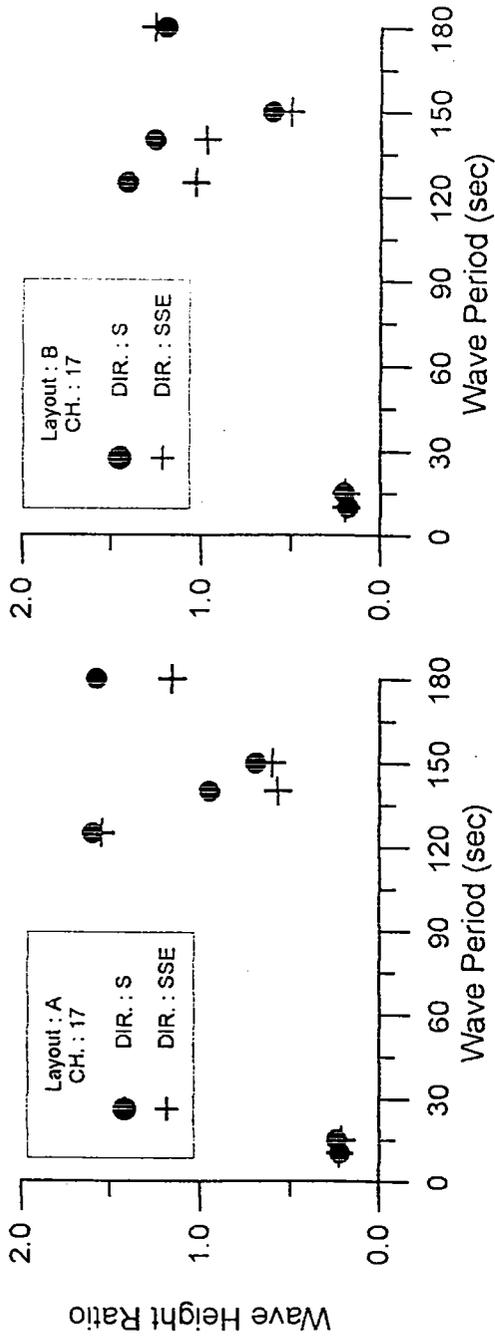
RA14SSE.GRF

圖 3-14 內港池測點 14(#12 碼頭)不同波向之波高比值



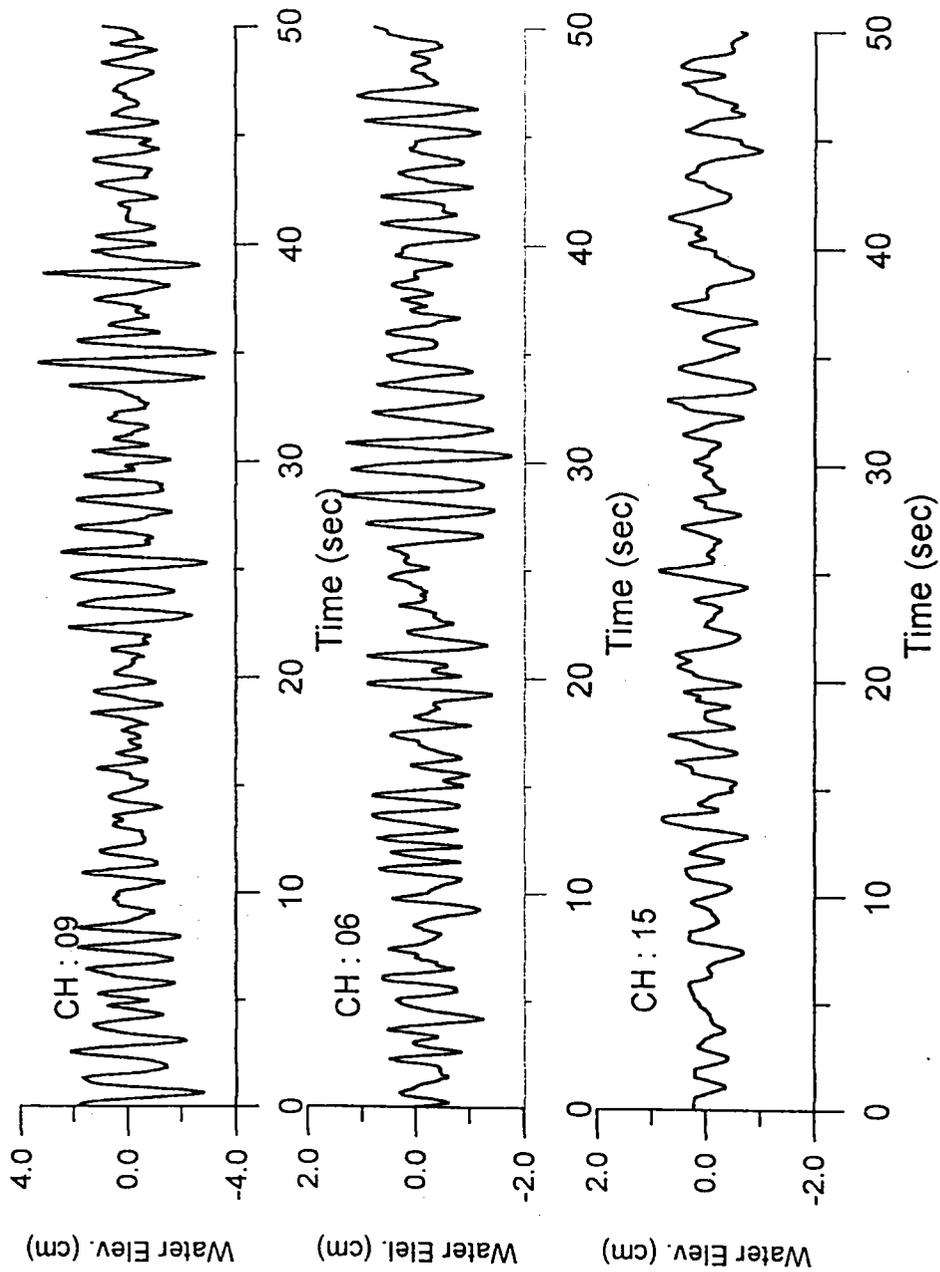
RA15SSE.GRF

圖 3-15 內港池測點 15(#8 碼頭)不同波向之波高比值



RA17SSE.GRF

圖 3-16 內港池測點 17(#2 碼頭)不同波向之波高比值



T1ELEV.GRF

圖 3-17 不規則波水位變化逐時圖 (IICH:9 為外海測點; CII:6 為 #22 碼頭測點

; CII:15 為 #8 碼頭測點; 試驗編名:T1, 入射波向:S)

由表 3-1 及表 3-2 可發現外港測點(測點 5 及 6)的長波週期約為入射波示性週期的 1.3 倍,而各佈置的長波週期很接近約 1.0 左右,此顯示對週期的降低各改善佈置沒有明顯效果。基本上進入港內的波浪週期很難以港池形狀的調整而加以改變,較容易改變的是波高,如表中所示長波波高明顯較入射示性波高為小,事實上港池共振的防制目標,即是使港內處於共振週期的波浪成份不發生共振而導致波高增大,影響船隻繫泊安全。由表中比較不同佈置間長波波高的降低情形,可發現佈置 J 及 Q 具有較佳的效果,尤其是內港的測點(測點 14 及 15)。不過內港長波的週期則較外港為大,與入射波示性週期相較約大 2 至 3 倍。綜合而言各改善佈置(佈置 B、J 及 Q)對於外港的共振長波週期放大抑制效果較內港為佳,但對於共振長波波高放大則內港較外港為佳,真可謂是魚與熊掌不可兼得。不同佈置對於抑制長波週期放大的效果並不明顯,但對長波波高的降低則佈置 J 與 Q 效果較明顯。

3-3-2 不同佈置港池遮蔽效果檢視

以佈置 A、B、D、J 及 Q 為例,將不同入射波向之不規則波浪(波浪名稱 M2 及 T1)的港池波高係數值(K_D 值)繪製於圖 3-18 ~ 圖 3-40。由上述圖中比較可知依 S 及 SSE 入射波向而言,除某些測點外,各佈置之港口區域 K_D 值介於 0.5 ~ 0.6; 外港池區域 K_D 值介於 0.3 ~ 0.45; 內航道區域 K_D 值介於 0.20 ~ 0.35; 而內港池區域 K_D 值介於 0.05 ~ 0.25。若進一步考察可以發現佈置 D 由於在漁港南側有一開口,波浪能量可以洩漏出去,因此內港區的 K_D 值大致上較其他佈置為小(測點 15 除外); 另外佈置 Q 由於美崙溪口的導流堤延長,阻擋部份波浪進入港內,因此港內 K_D 值較佈置 A、B 及 D 稍小; 佈置 J 因為在外港區有一突堤使得外港區之 #22、#21 碼頭處之 K_D 值因受到此突堤的遮蔽而有偏小趨勢。

若從 NE 及 ENE 的入射波向來檢視港內波高之 K_D 值分佈情形(以佈置 B、D 比較)則發現佈置 B 的外港池區 K_D 值皆小於 0.2(較 S 及 SSE 入射波方向為小)。內港池區則小於 0.16, 而內港航道區 K_D 值較大,某

表 3-1 各佈置內、外港測點長波統計值表(試驗波浪條件：M2；波向：S)

測點 佈置	測點 9(入射波)		測點 5(#20 碼頭)		測點 6(#22 碼頭)		測點 14(#12 碼頭)		測點 15(#8 碼頭)		測點 17(#2 碼頭)	
	示性週期 (秒)	示性波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)
A	0.77	2.42	1.01	0.55	1.01	0.64	1.36	0.17	1.89	0.25	1.03	0.34
B	0.78	2.26	1.03	0.47	1.04	0.59	3.39	0.18	2.44	0.24	1.21	0.26
J	0.75	2.35	0.96	0.49	0.97	0.52	1.71	0.09	1.57	0.18	1.04	0.26
Q	0.76	2.45	0.95	0.49	1.02	0.52	1.33	0.10	1.19	0.14	1.00	0.23

表 3-2 各佈置內、外港測點長波統計值表(試驗波浪條件：T1；波向：S)

測點 佈置	測點 9(入射波)		測點 5(#20 碼頭)		測點 6(#22 碼頭)		測點 14(#12 碼頭)		測點 15(#8 碼頭)		測點 17(#2 碼頭)	
	示性週期 (秒)	示性波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)	長波週期 (秒)	長波波高 (公分)
A	1.10	4.28	1.40	1.30	1.45	1.59	2.49	0.50	2.04	1.06	1.47	0.80
B	1.12	4.10	1.56	1.05	1.55	1.27	3.88	0.66	2.37	0.82	1.66	0.60
J	1.10	4.52	1.37	0.99	1.46	1.02	2.75	0.26	2.03	0.50	1.51	0.46
Q	1.10	4.32	1.34	1.07	1.40	1.14	2.82	0.39	1.97	0.45	1.44	0.41

些測點可高達 0.63，幸好此區沒有碼頭供船隻靠泊影響應該不大。不過，此航道段為船隻進出內港及漁船進出漁港區之必經之路，在考量船舶的航行安全因素下，尤其是耐波力較差的小型漁船筏，對於佈置 B 的新東堤缺口處(即圖示中的孔橋處)其消波效果需再加強。佈置 D 由於新東堤的缺口較大，因此港內之 K_D 值與佈置 B 相較，皆較大。例如航道區的某些測點 K_D 值可能高達 0.93，外港區 K_D 值皆小於 0.51，內港區 K_D 值則皆小於 0.32。因此若新東堤採用佈置 D 的形式，則因新東防波堤缺口較大，為求港內穩靜度的提昇，缺口處的消波設施宜再加強，以消除 NE 及 ENE 方向波浪的入侵。

以佈置 Q 來檢視颱風期間船隻碇靠碼頭及季風期間船隻裝卸作業的安全性。假設颱風侵襲期間 2 萬噸級船隻碇靠碼頭之容許波高為 1.5 公尺，則依此佈置外港區的碼頭(K_D 值介於 0.3)當外海颱風波浪小於 5 公尺時仍可安全泊靠 2 萬噸級以上船隻。若假設 1 萬噸級船隻碇靠碼頭之容許波高為 1.2 公尺，則內港區碼頭(K_D 值小於 0.15)於外海颱風波浪小於 8 公尺時仍可安全碇靠此噸級以上船隻。花蓮港冬季季節風期間外海波高大都小於 3.0 公尺(約佔 92%)，因此假設 1 萬噸級與 2 萬噸級船隻碼頭裝卸作業之容許波高分別為 0.91 與 0.93，則冬季期間內港 1 萬噸級與 2 萬噸級以上船隻裝卸作業大致沒有問題，可作業時間比例分別可達 100%及 92%。

目前花蓮港主要進出港船隻噸位皆不大，1 萬 5 仟噸級以上船隻因受限於內航道，故只能靠泊外港區碼頭，因此內港區碼頭只有 1 萬 5 仟噸級以下船隻碇靠，依此根據本次試驗佈置 Q 的港內波高係數(K_D 值)分佈結果顯示本佈置對於船隻碇靠安全及裝卸作業需求應可達其目標。

3-3-3 頻譜分析

以試驗波浪編名 M2 及 T1 分別代表季風及颱風的不規則波條件，來考察波向 S 之各佈置(A、B、J 及 Q)內、外港測點的波譜形狀如圖 3-41 ~ 3-44。各測點的頻譜分析是以 4096 個數據點為一樣本(時間長

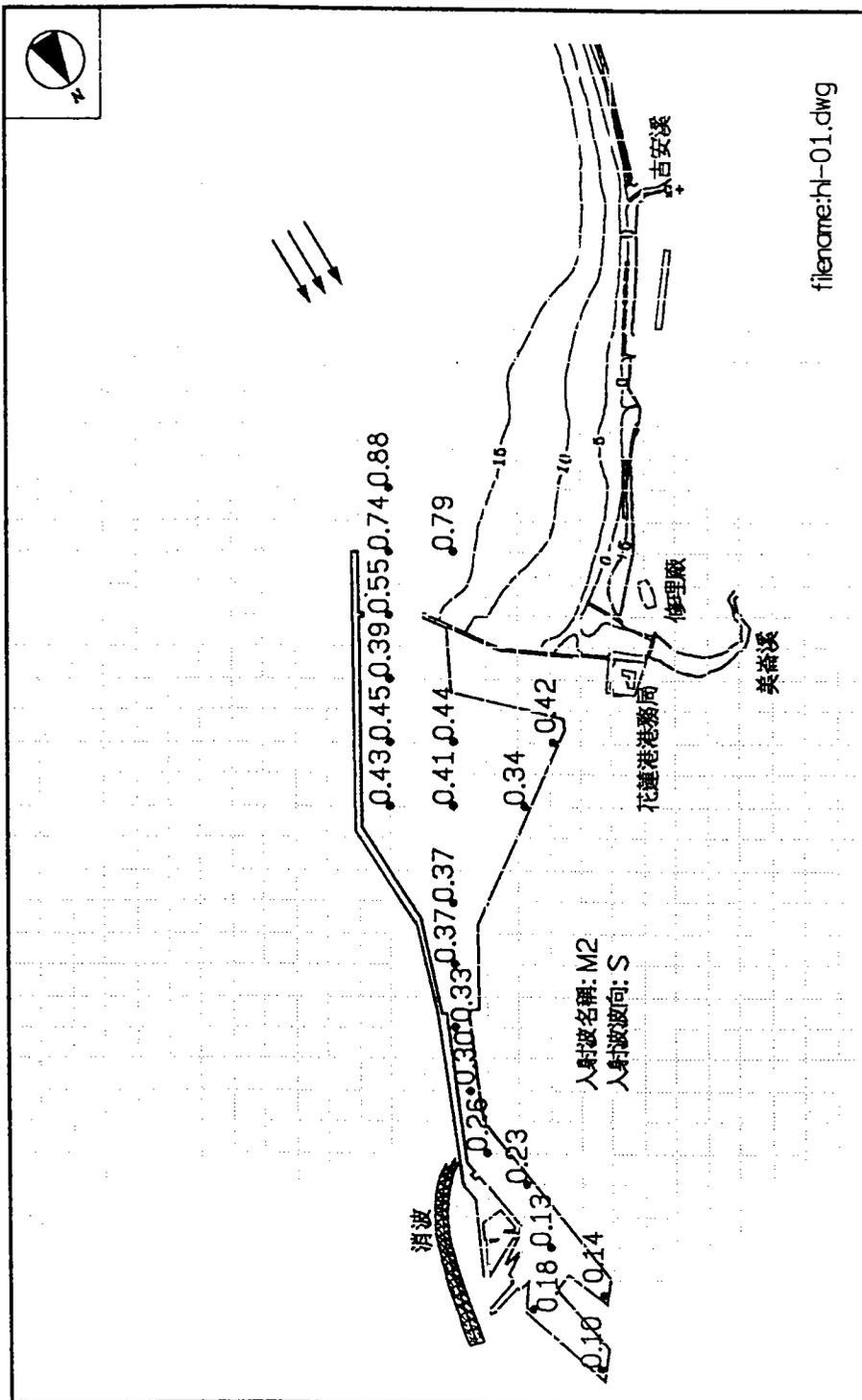


圖 3-18 港池波高係數值(K_b 值), 佈置 A; 入射波向:S; 試驗波浪條件:M2

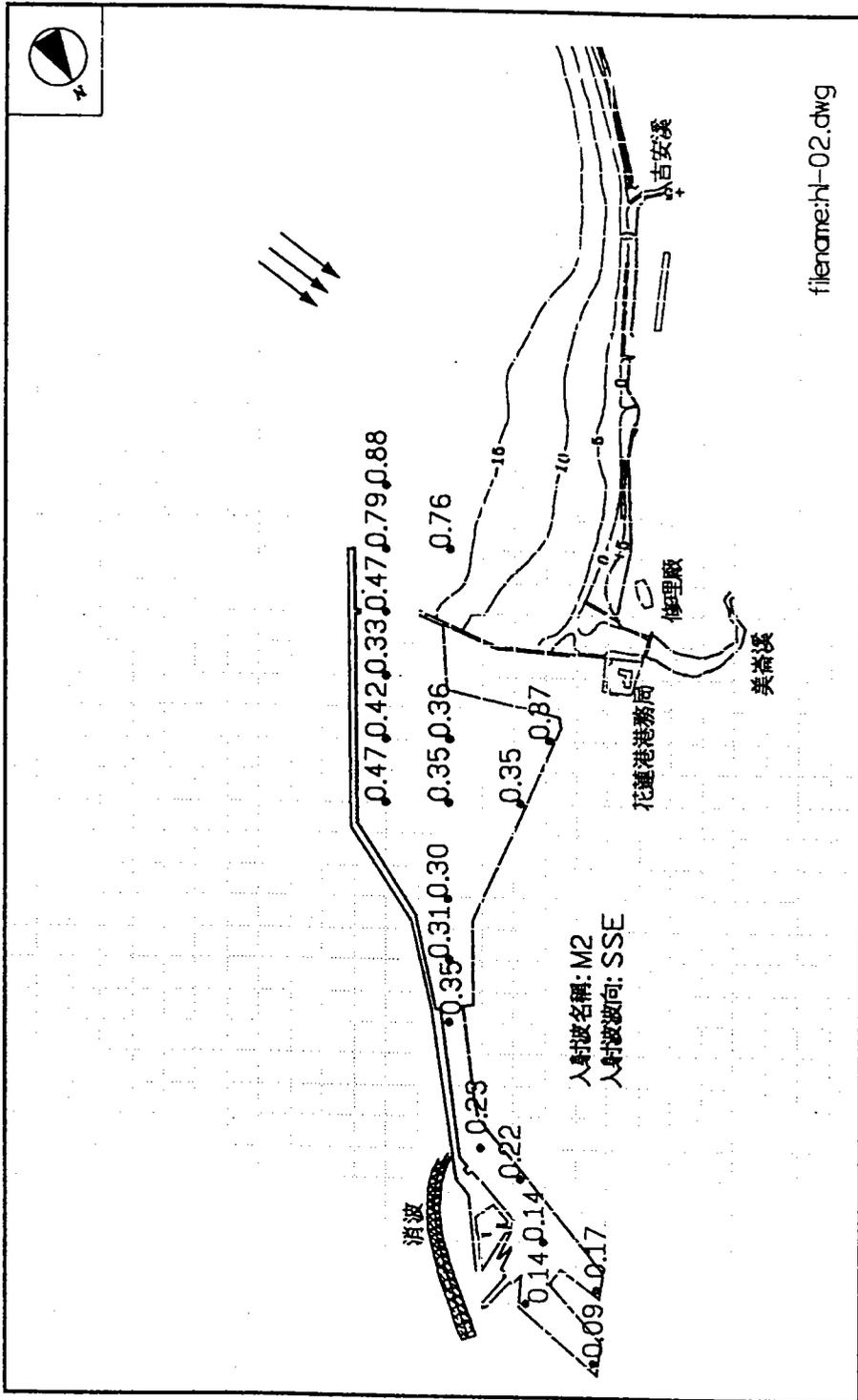


圖 3-19 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 A; 入射波向: SSE; 試驗波浪條件: M2

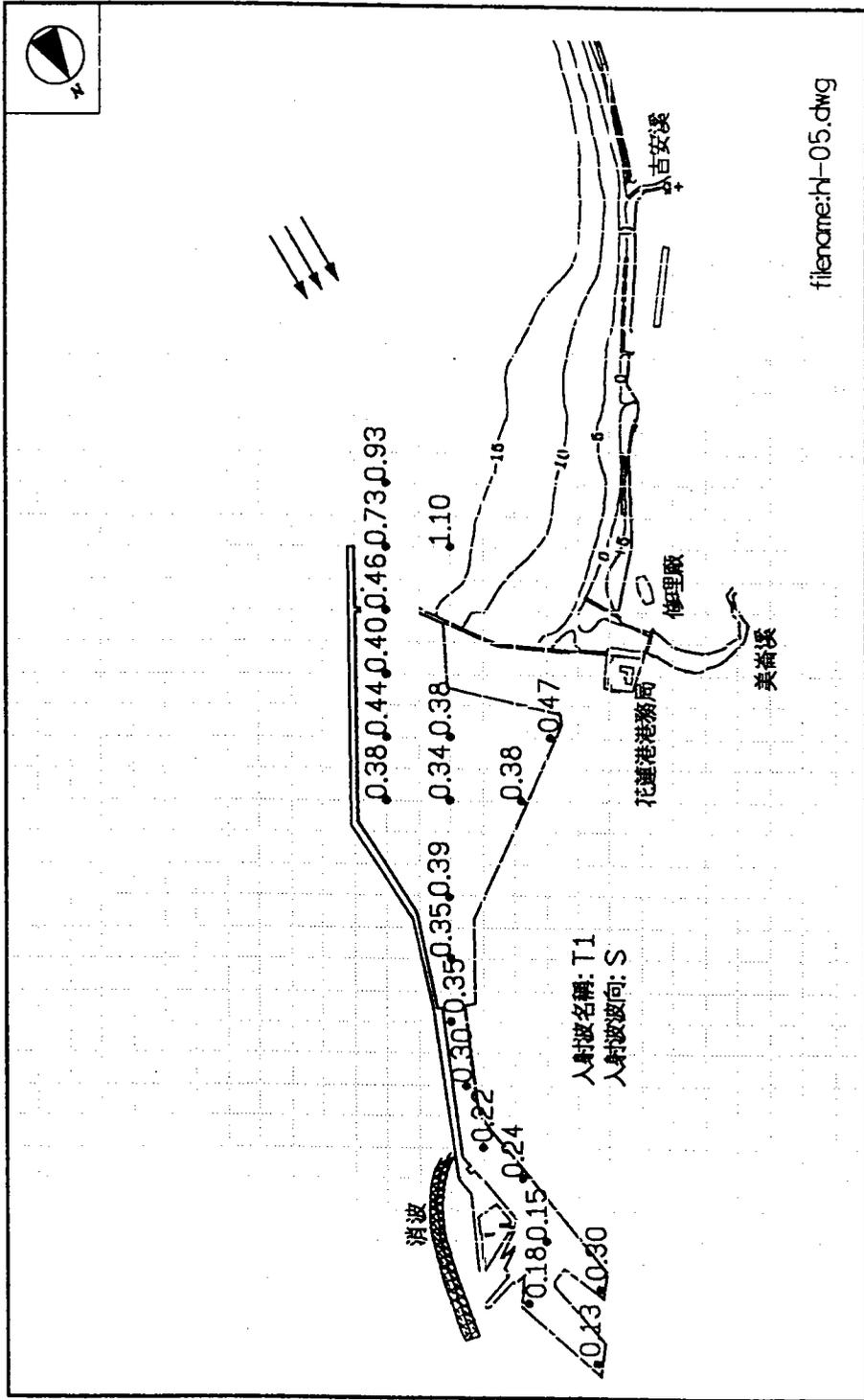


圖 3-20 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 A; 入射波向: S; 試驗波浪條件: T1

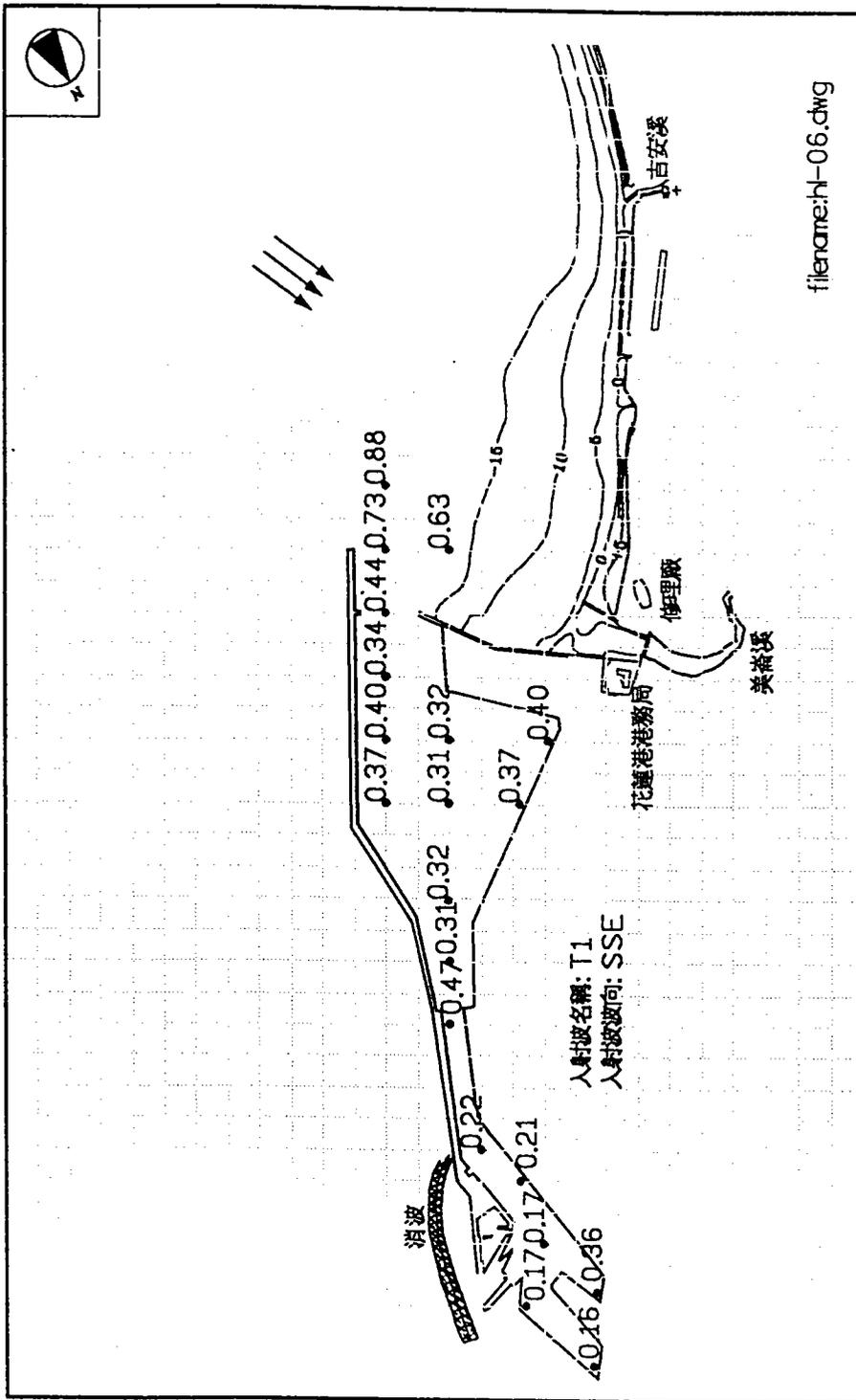


圖 3-21 港池波高係數值(K_b 值), 佈置 A; 入射波向:SSE; 試驗波浪條件:T1

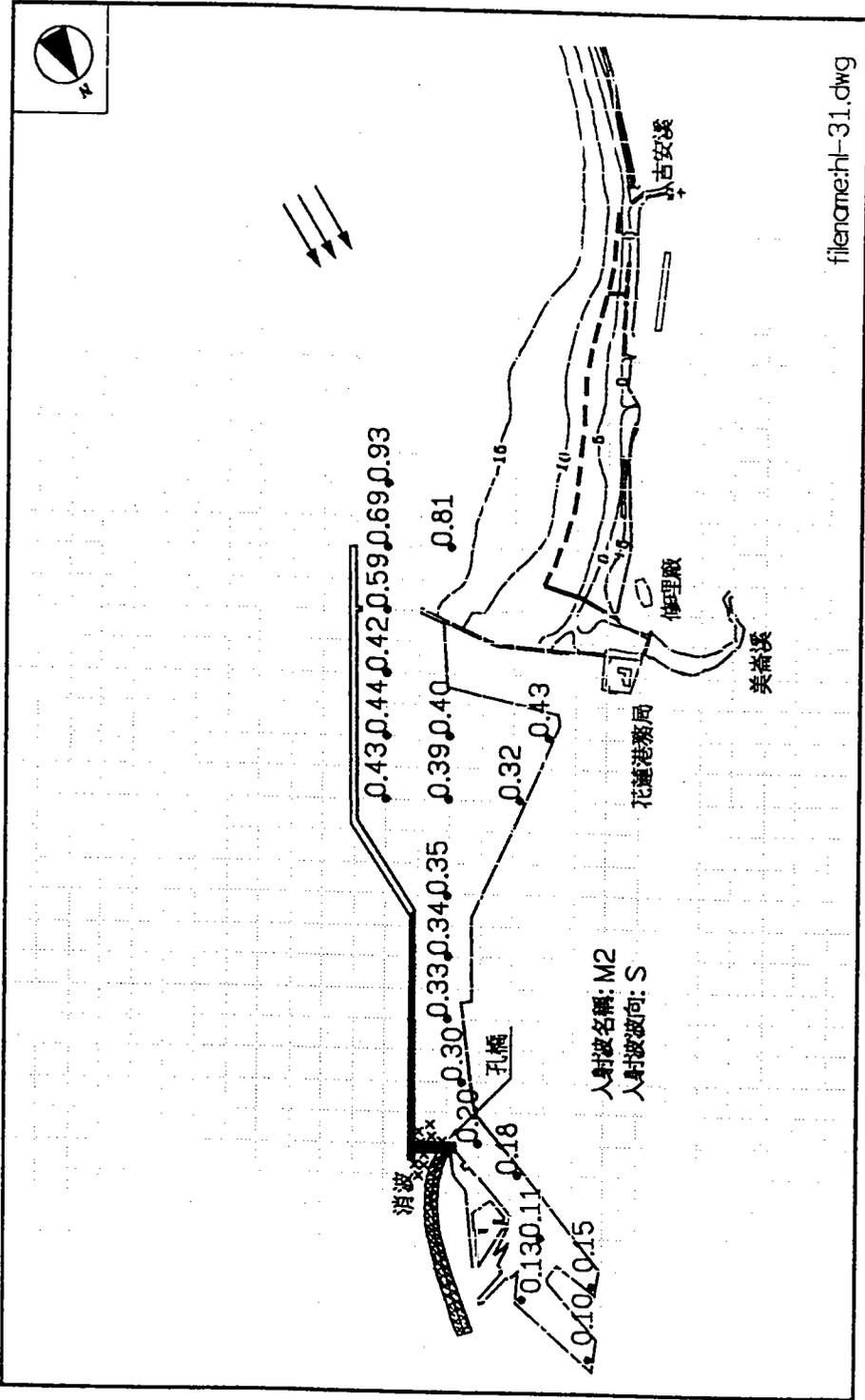


圖 3-22 港池波高係數值(K_n 值), 佈置 B; 入射波向: S; 試驗波浪條件: M2

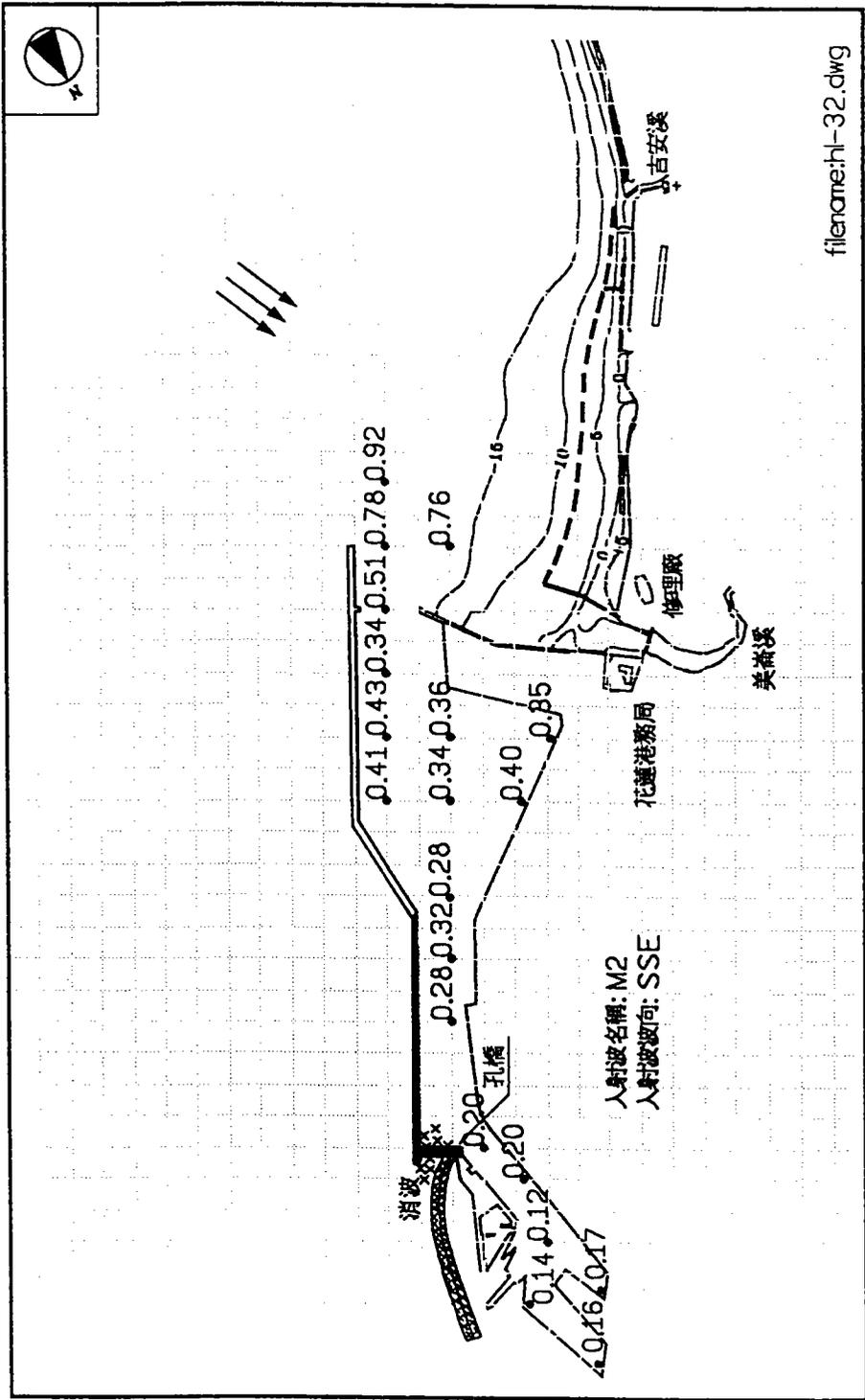


圖 3-23 港池波高係數值(K₀值), 佈置 B; 入射波向: SSE; 試驗波浪條件: M2

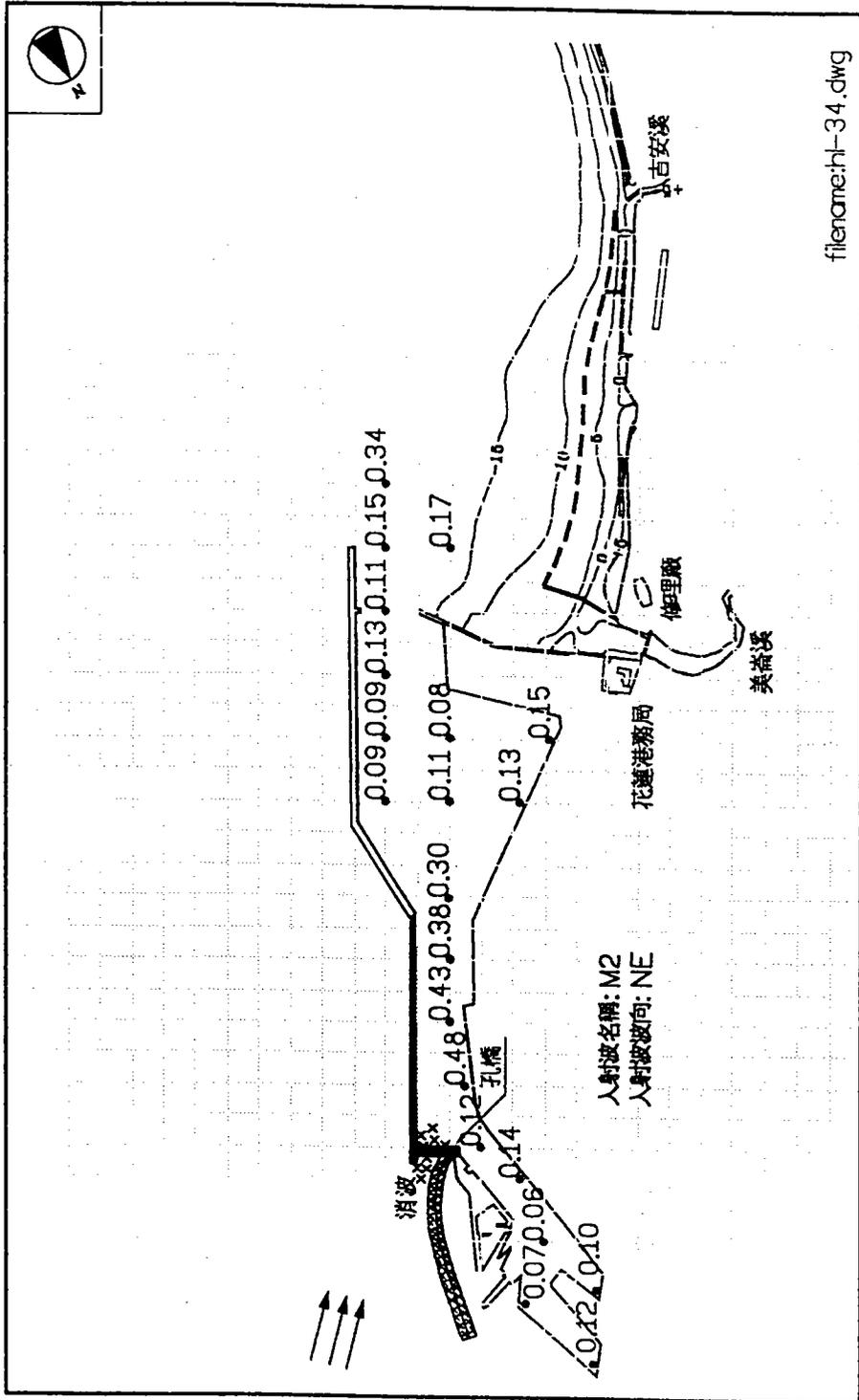


圖 3-25 港池波高係數值 (K_0 值), 佈置 B; 入射波向: NE; 試驗波浪條件: M2

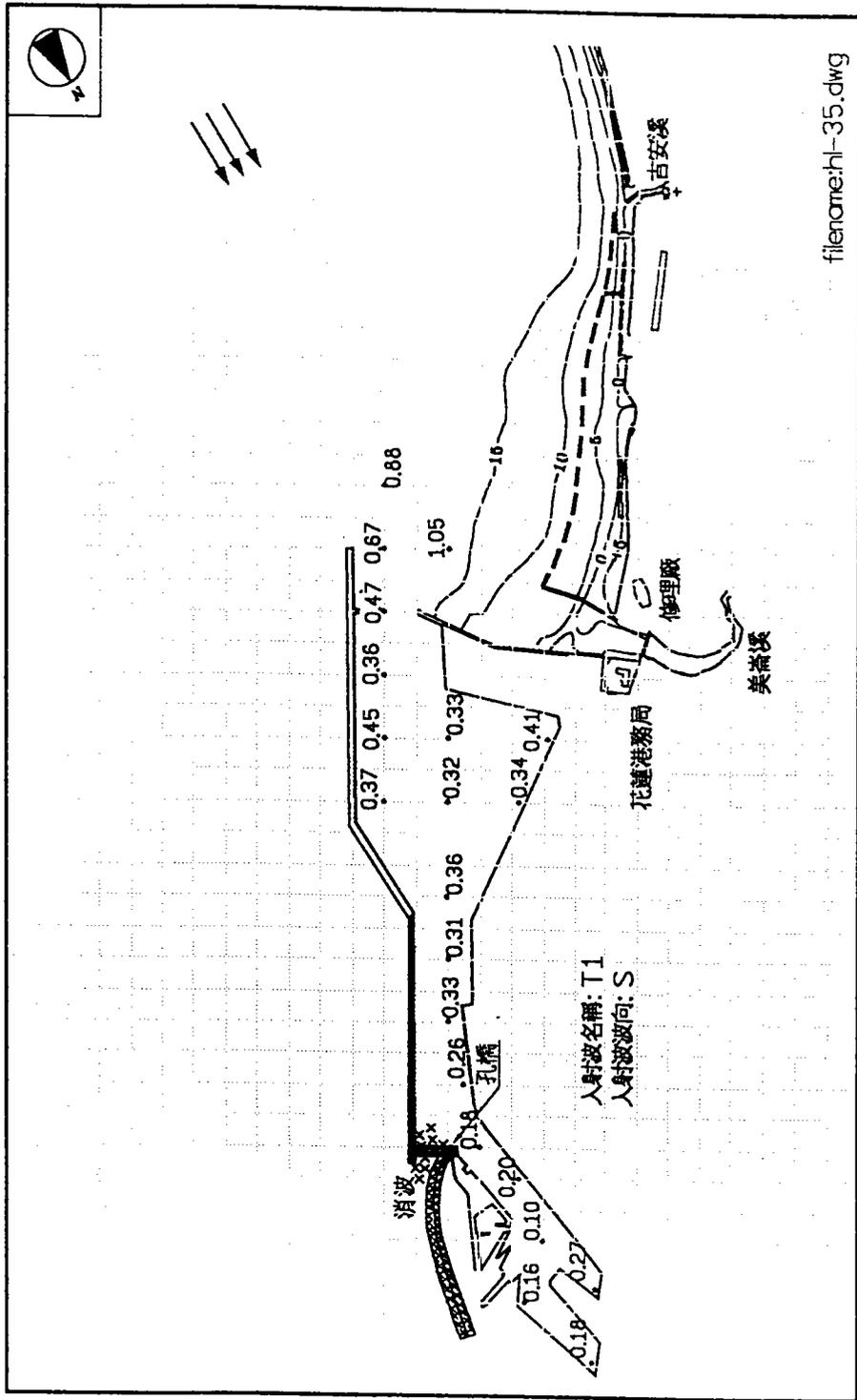


圖 3-26 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 B; 入射波向: S; 試驗波浪條件: T1

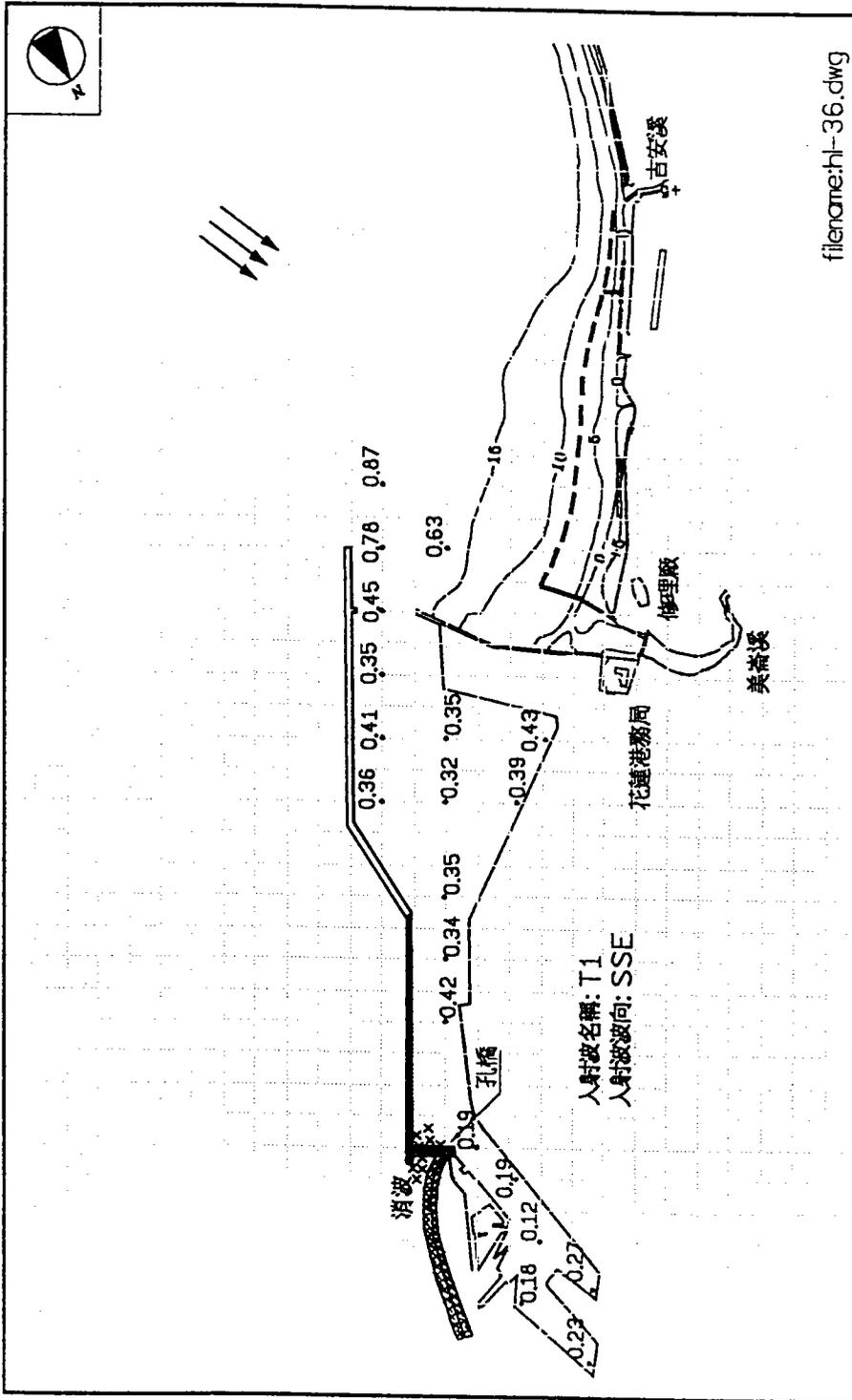


圖 3-27 港池波高係數值(K_b 值), 佈置 B; 入射波向: SSE; 試驗波浪條件: T1

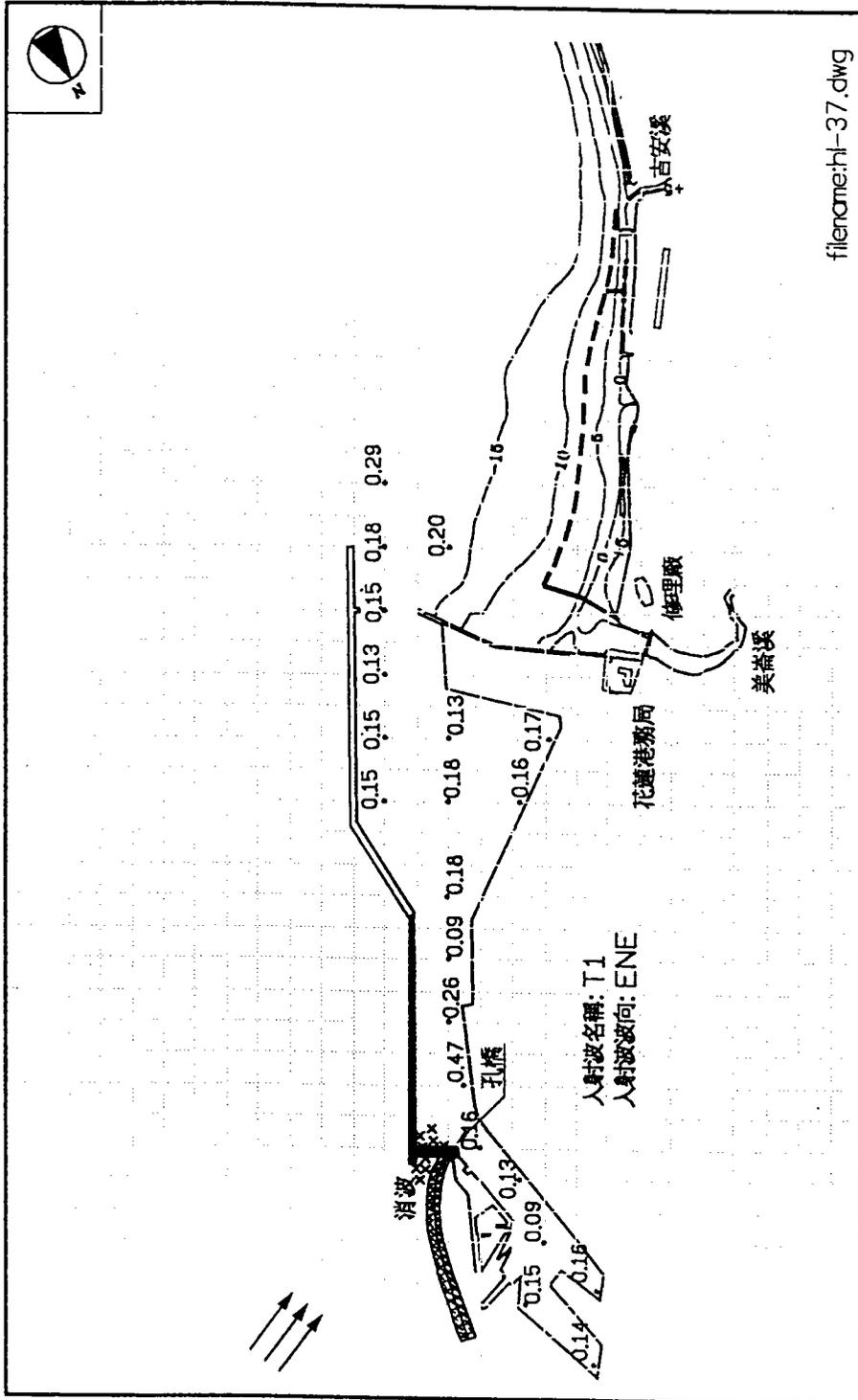


圖 3-28 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 B; 入射波向: ENE; 試驗波浪條件: T1

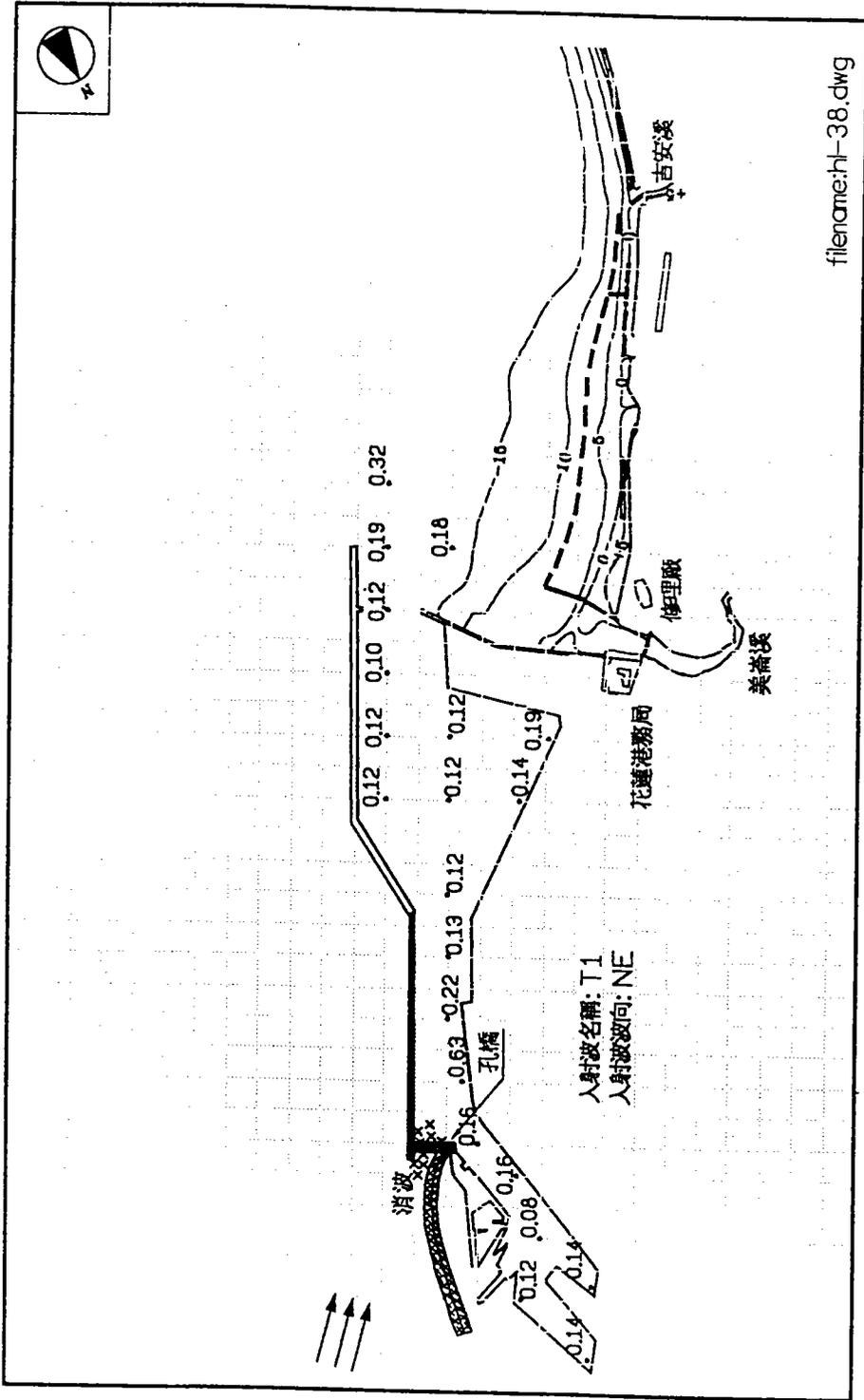


圖 3-29 港池波高係數值(K_p 值), 佈置 B; 入射波向: NE; 試驗波浪條件: T1

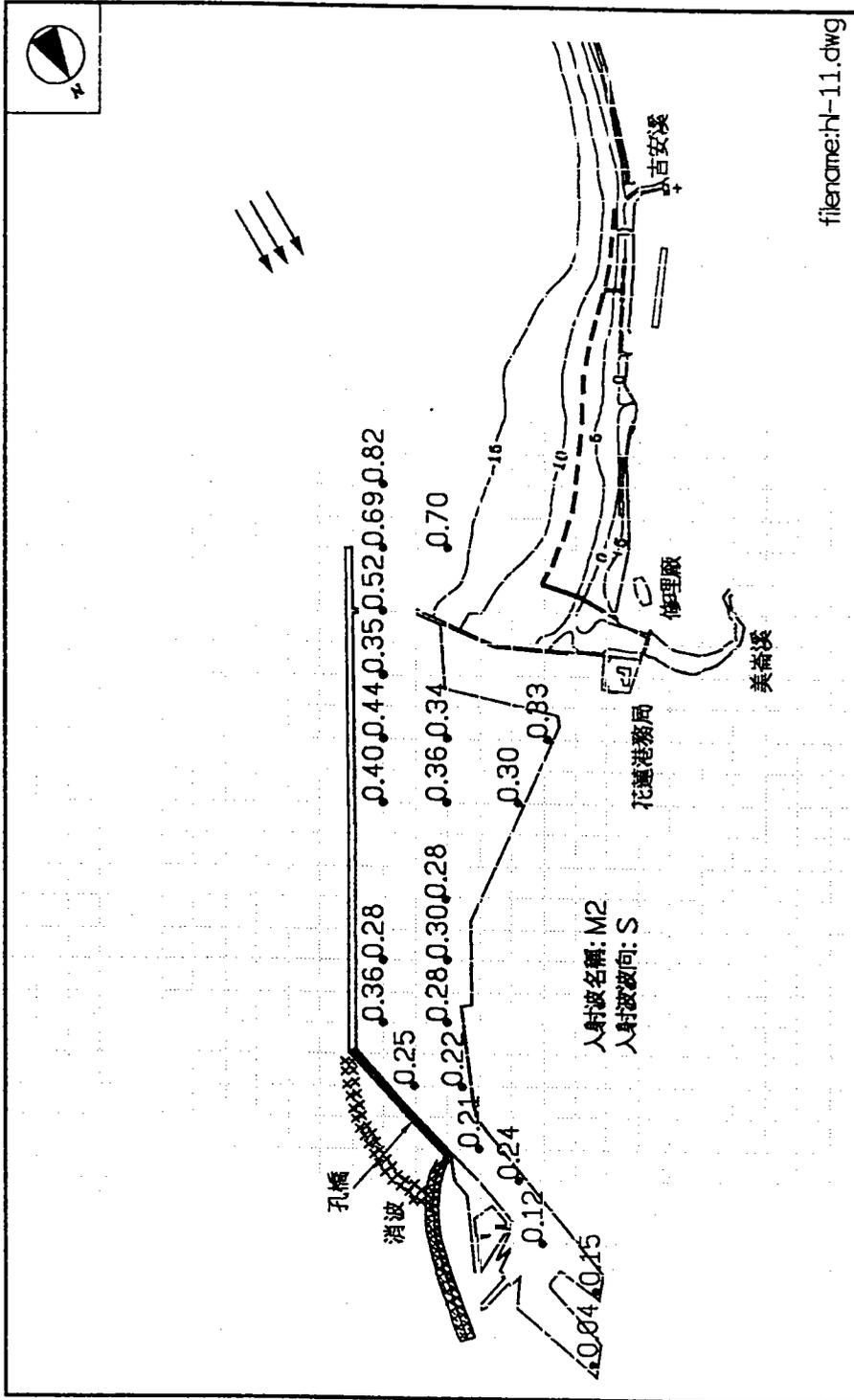


圖 3-30 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 D; 入射波向: S; 試驗波浪條件: M2

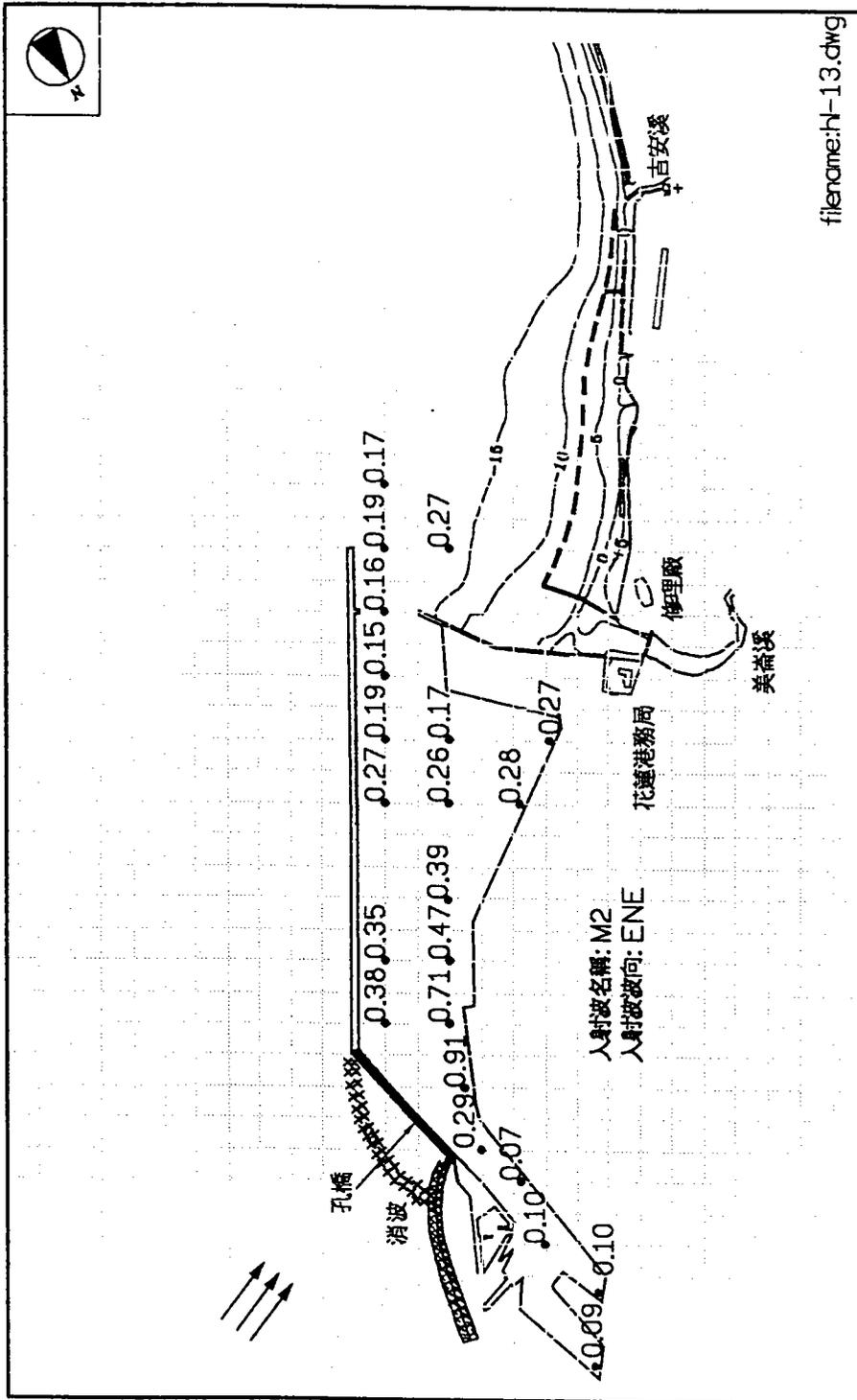


圖 3-31 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 D; 入射波向: ENE; 試驗波浪條件: M2

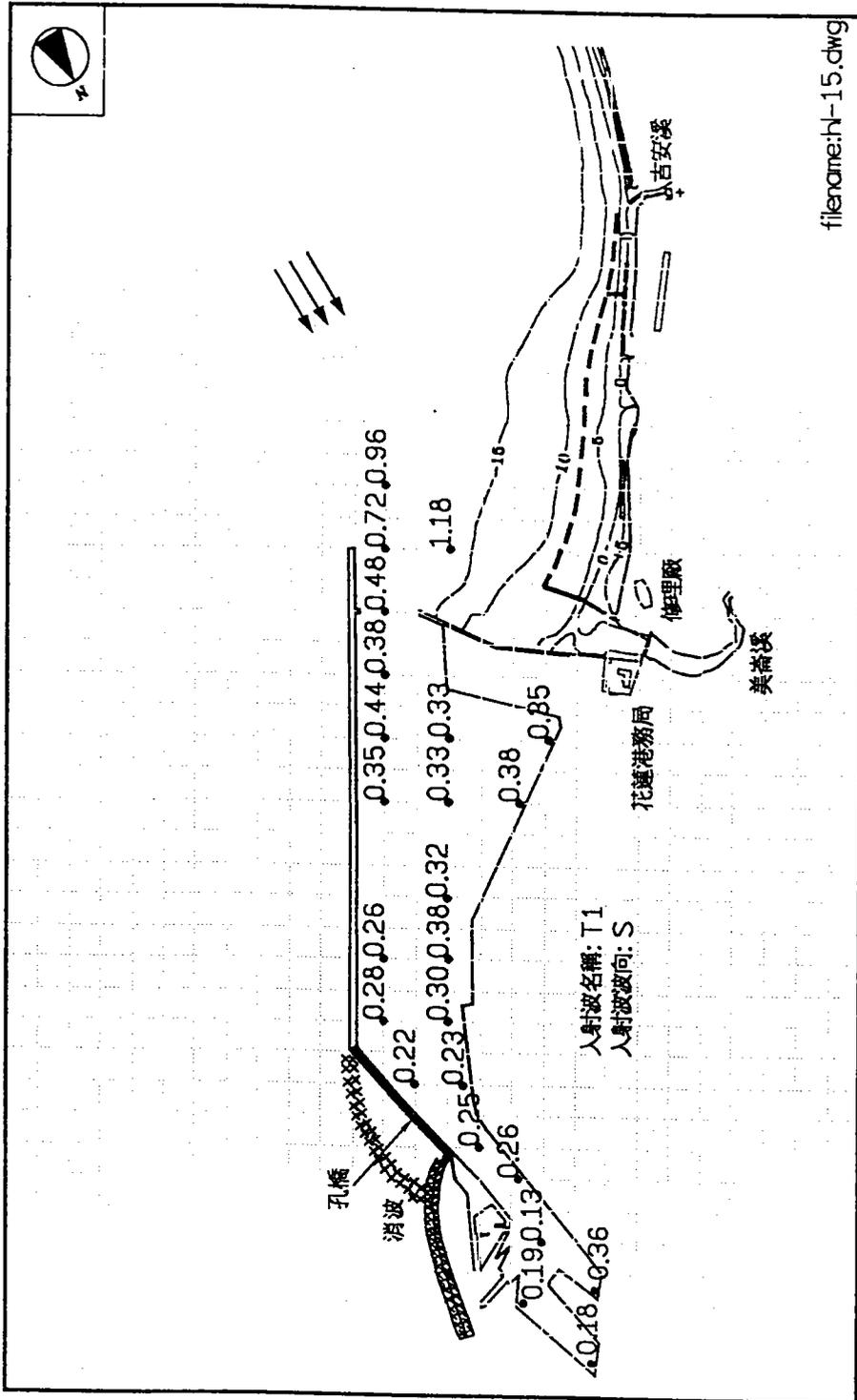


圖 3-33 港池波高係數值(K_D 值), 佈置 D; 入射波向: S; 試驗波浪條件: T1

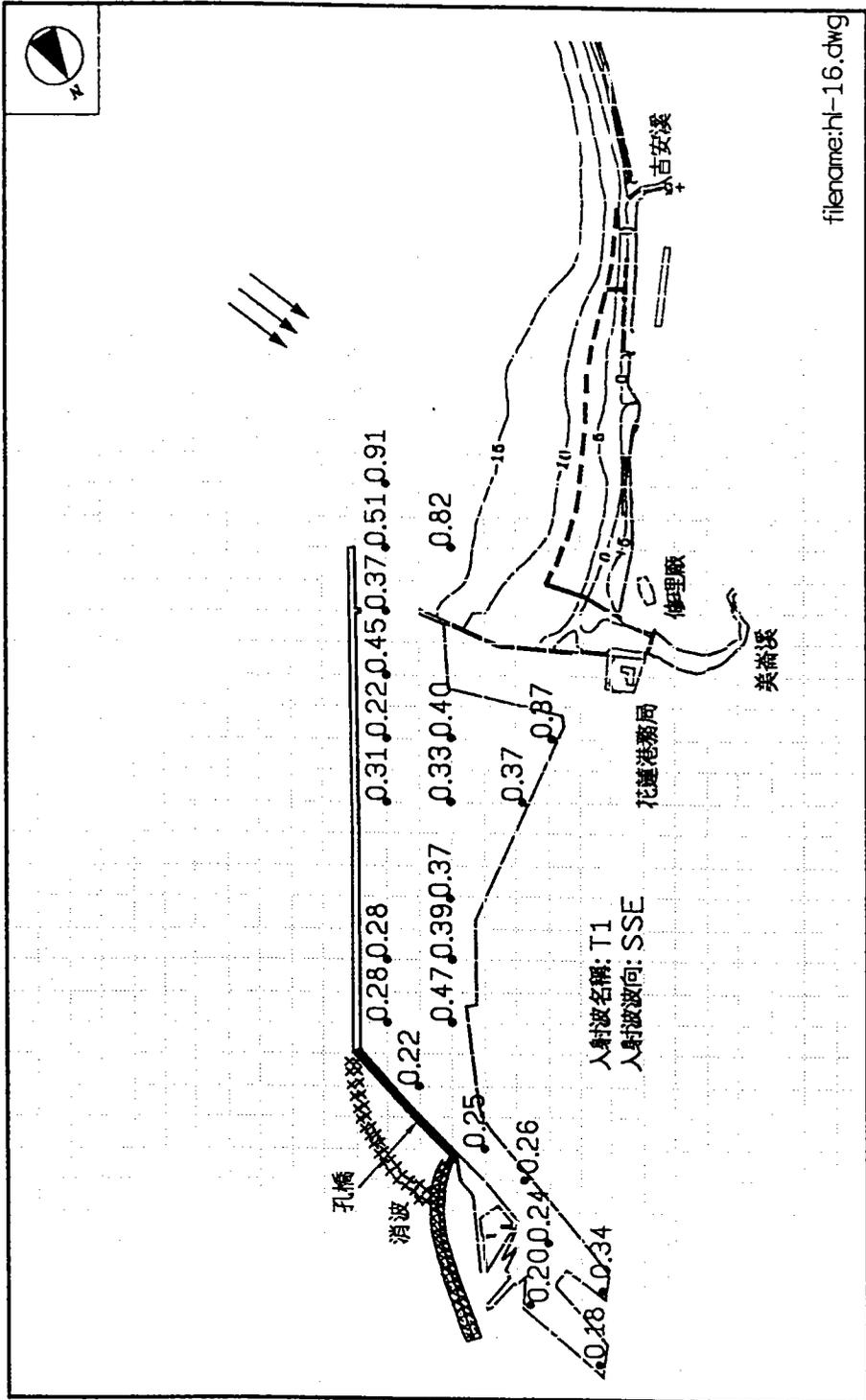


圖 3-34 港池波高係數值(K_0 值), 佈置 D; 入射波向:SSE; 試驗波浪條件:T1

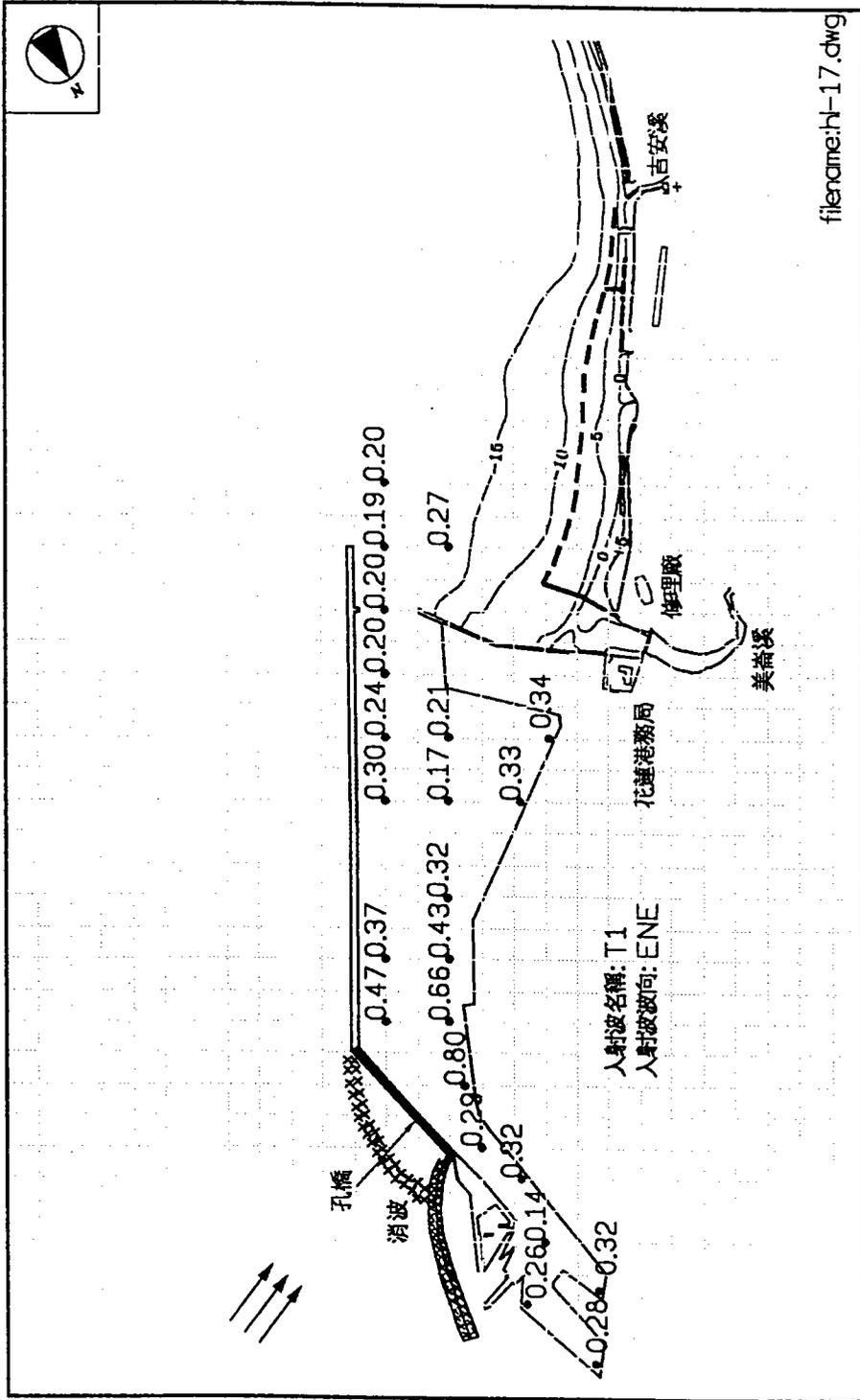


圖 3-35 港池波高係數值(K₀值), 佈置 D; 入射波向:ENE; 試驗波浪條件:T1

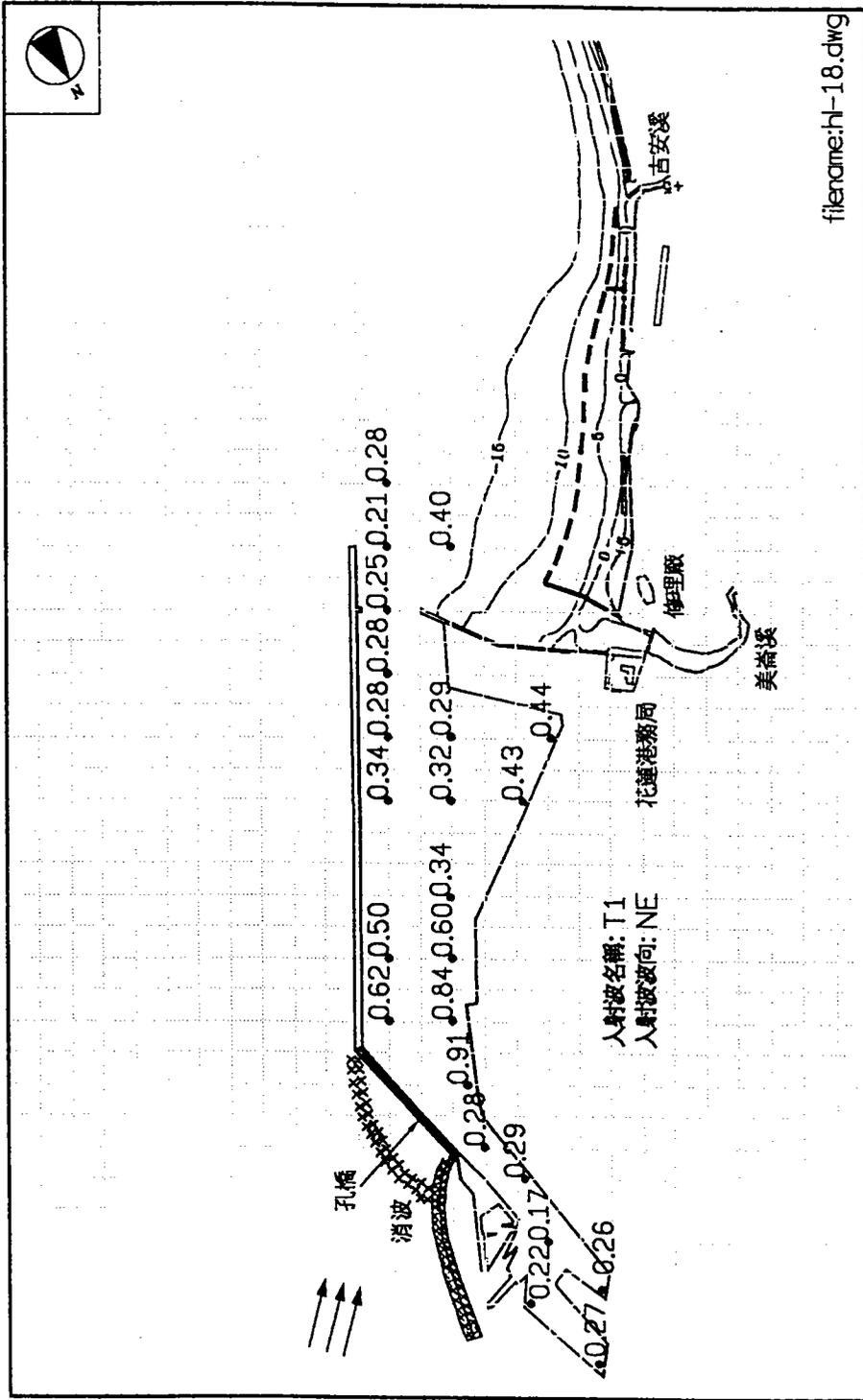


圖 3-36 港池波高係數值(K₀值), 佈置 D; 入射波向:NE; 試驗波浪條件:T1

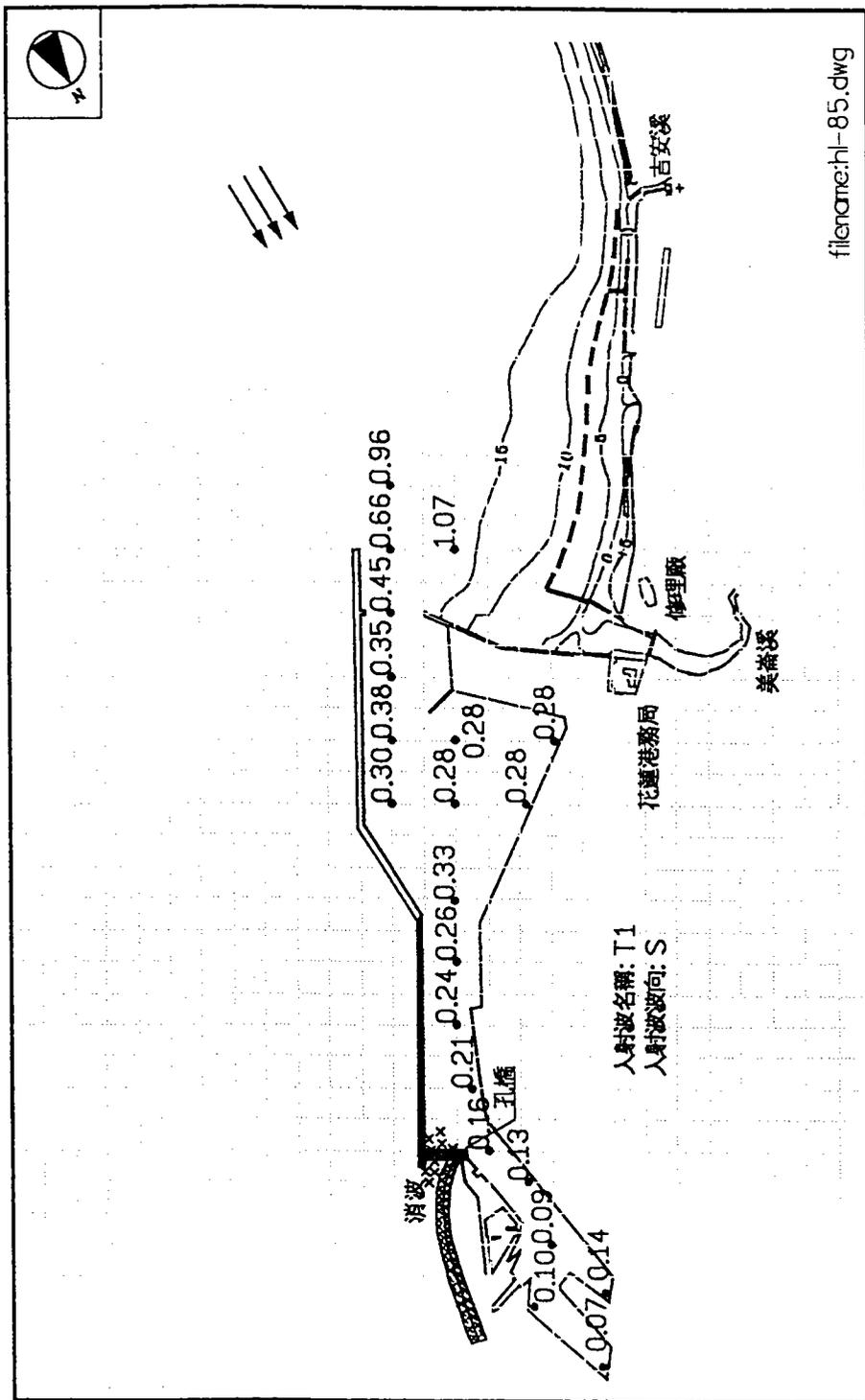


圖 3-38 港池波高係數值(K_b 值), 佈置 J; 入射波向: S; 試驗波浪條件: T1

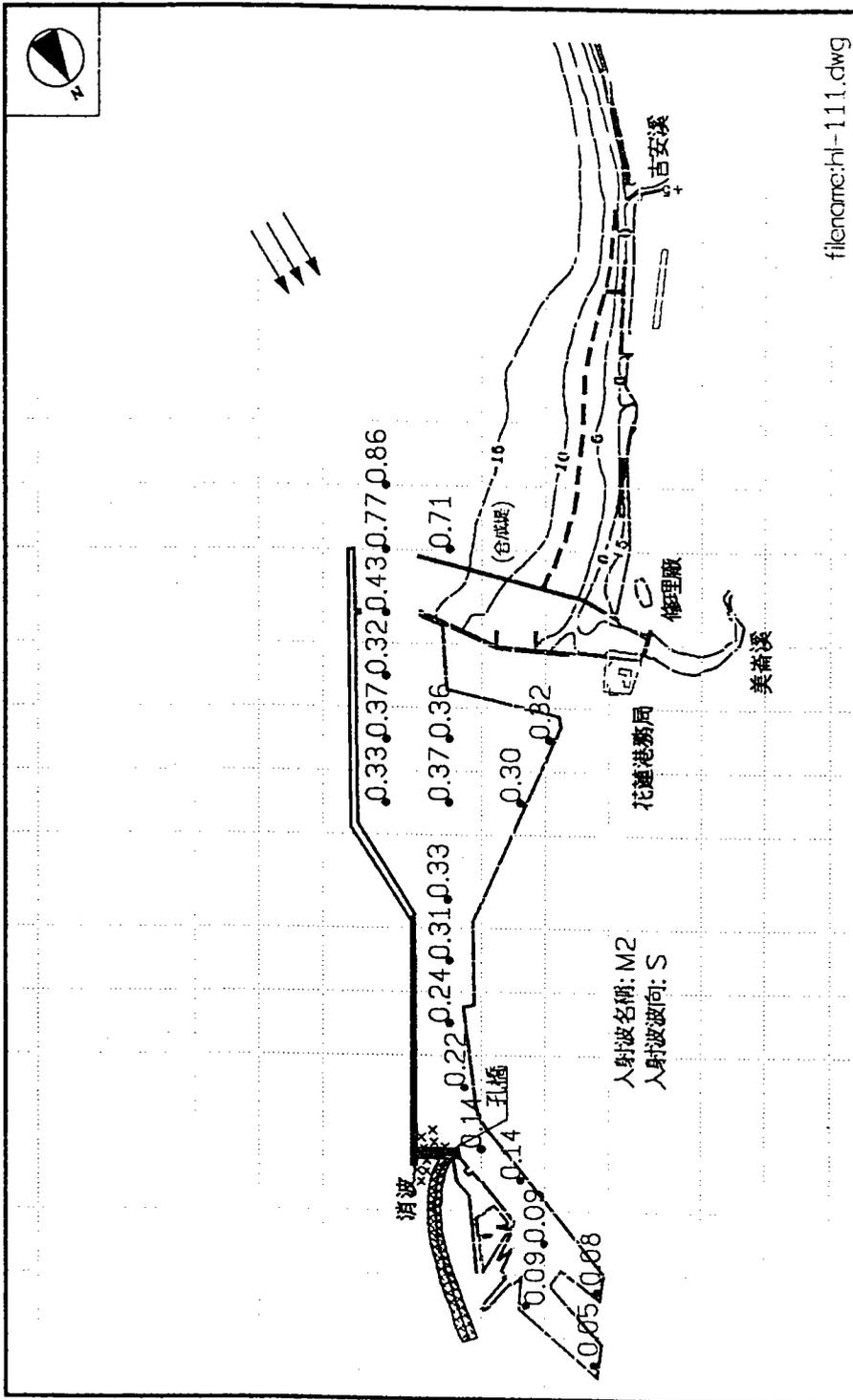


圖 3-39 港池波高係數值(K₀值), 佈置 Q; 入射波向: S; 試驗波浪條件: M2

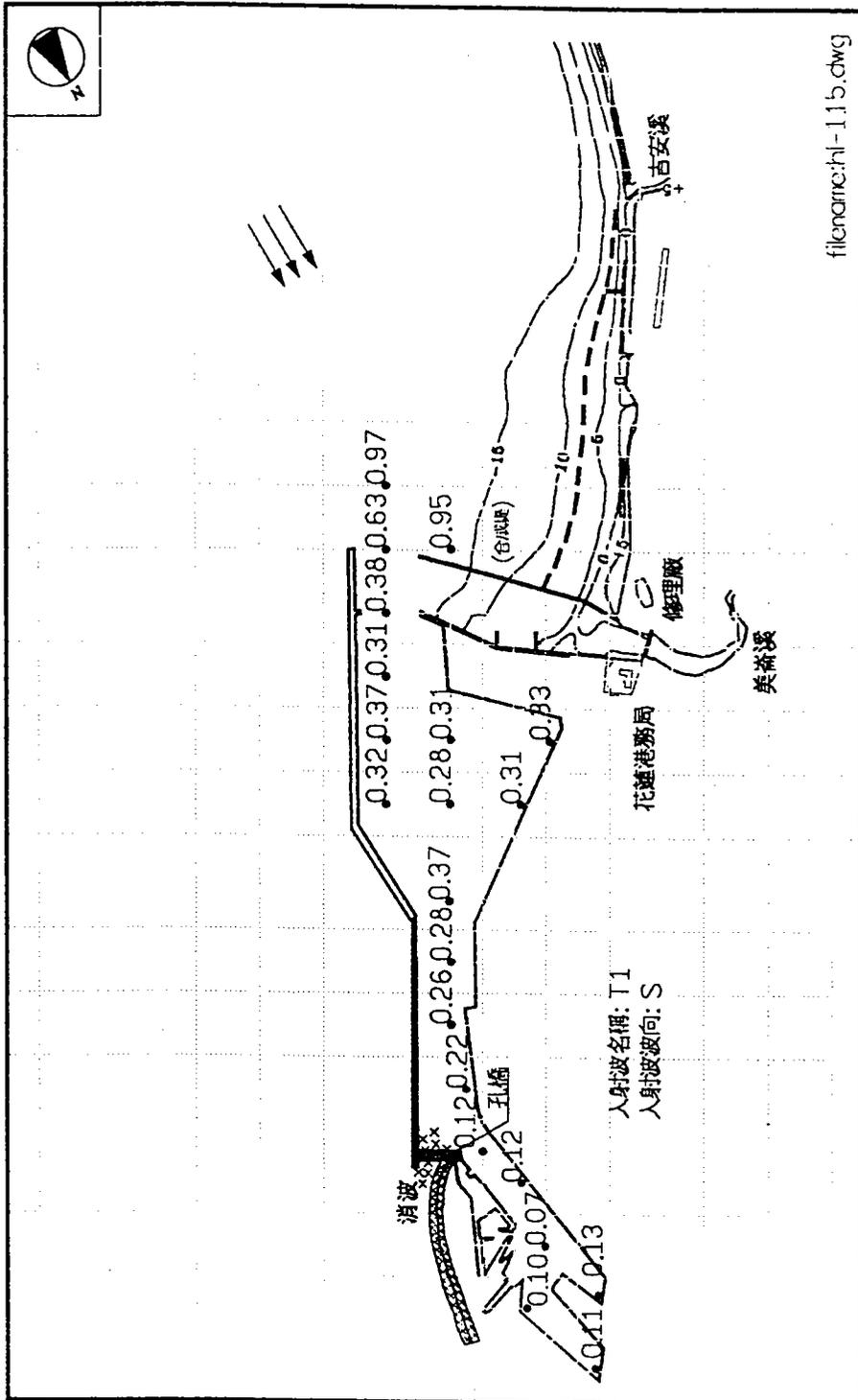


圖 3-40 港池波高係數值(K_b 值), 佈置 Q; 入射波向: S; 試驗波浪條件: T1

度約 205 秒)進行 F.F.T 轉換以求得頻譜,並以兩個樣本的頻譜平均作為最終頻譜,頻率解析度為 0.0049Hz。由圖 3-41 中顯示以佈置 A 而言,內港測點(#8 號碼頭)、外港測點(#22 號碼頭)與外海測點的波譜形狀比較發現內、外港測點的頻譜值於頻率 0.085Hz 及 0.18Hz 處各有一尖峰值(以前者較大),且較外海測點的頻譜值為大,能量相差約 25 ~ 35 倍。這種現象應該是此頻率的成份波因港池共振作用而導致波浪能量的增加,也就是發生波高放大的情況,此兩個頻率相當於週期 11.8 秒及 5.6 秒若依模型縮尺換算成原型約 144 秒及 67 秒。其中週期 144 秒與本章 3-2 節規則波分析中所顯示的於長週期波中當原型週期為 140 秒時港池共振作用最顯著的結果大致相符合,同時也以往現場實測資料的分析結果相吻合。同樣由圖 3-41 考察高頻區域(頻率大於外海入射波尖峰頻率)則發現內、外港測點的能譜值皆較外海入射波能譜為小,其中又以內港測點最小,此顯示短週期的成份波因防波堤遮蔽或因碎波使其能量大幅衰減。

其他佈置 B、J 及 Q 的波譜形狀可分別參考圖 3-42、圖 3-43 及圖 3-44。這些圖中的波譜形狀與變化趨勢大致與前述佈置 A 很相似。不過仔細比較在高、低頻區的能譜值仍有些差異,在此為明瞭這些差異,故將頻率分成三個區間,分別是 0.06Hz ~ 0.3Hz 之低頻區、0.8Hz ~ 1.2Hz 之主頻區及 1.5Hz ~ 2.5Hz 之高頻區。以這三個頻率區域中各測點的能譜值總和進行不同佈置的比較,藉此了解各佈置對於各頻區波浪能量的增減變化情形,進而比較出防制港池共振的較佳方案佈置,各頻區的能譜值總和見圖 3-45 ~ 圖 3-47。由圖 3-45 可發現低頻區的波浪能量在佈置 A 時內、外港測點(#8 及 #22 碼頭)皆較外海入射波大很多,而外港又較內港為大。佈置 B 也有類似情形,但佈置 J 及 Q 時可明顯發現其內、外港測點的波浪能量已大幅衰減,其中又以佈置 Q 較顯著,此表示佈置 J 與 Q 對於低頻波(長週期波)的能量放大(波高放大)有抑制的效果,換言之對於港池共振程度的減輕具有明顯作用。主頻區的能量則參考圖 3-46,圖中顯示在此頻率區間內、外港測點的波浪能量較外海測點小很多,此顯示在主頻率區間的波浪能量在內、外港區已大幅衰減。再仔細比較內、外港測點的波浪能量佈置 J 及 Q 較佈置 A 及 B 為小,唯

減小程度並不很明顯。由圖 3-47 可看出在高頻區波浪能量的變化情形，圖中顯示在此頻率區間，外海測點的波浪能量同樣較內、外港大很多，而外港又較內港大些。綜合而言港內波浪在低頻區的能量因港池共振作用而大幅增加，但此現象可藉由佈置 J 或佈置 Q 之改善方案，將此能量增大程度降低，而達到防制港池共振的目的，至於主頻區及高頻區因防波堤的遮蔽或因碎波港內波浪在此頻區的能量皆較外海波浪小，也就是在此頻區港內波浪並未發生港池共振作用使得波浪能量增加。

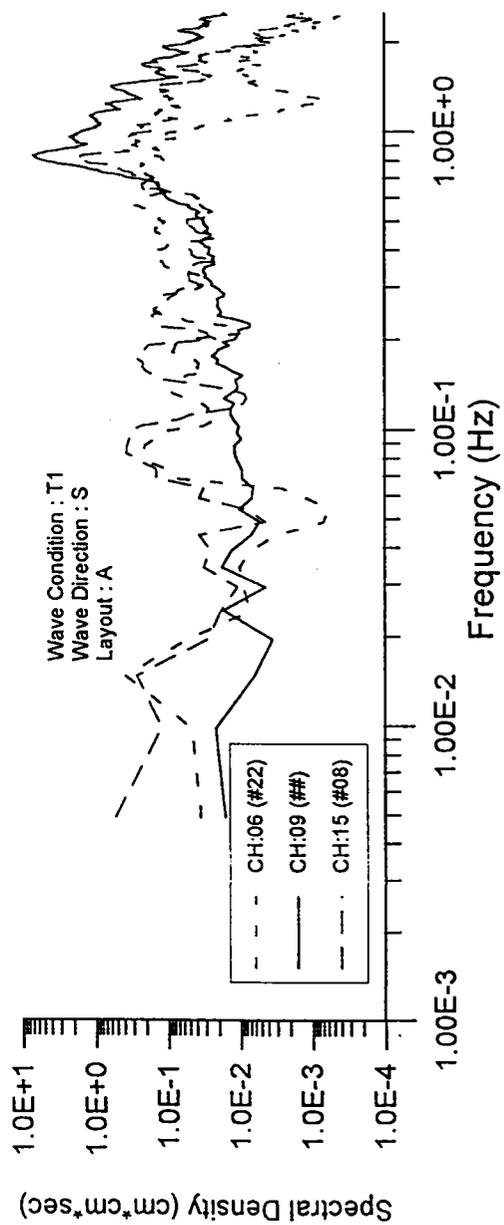
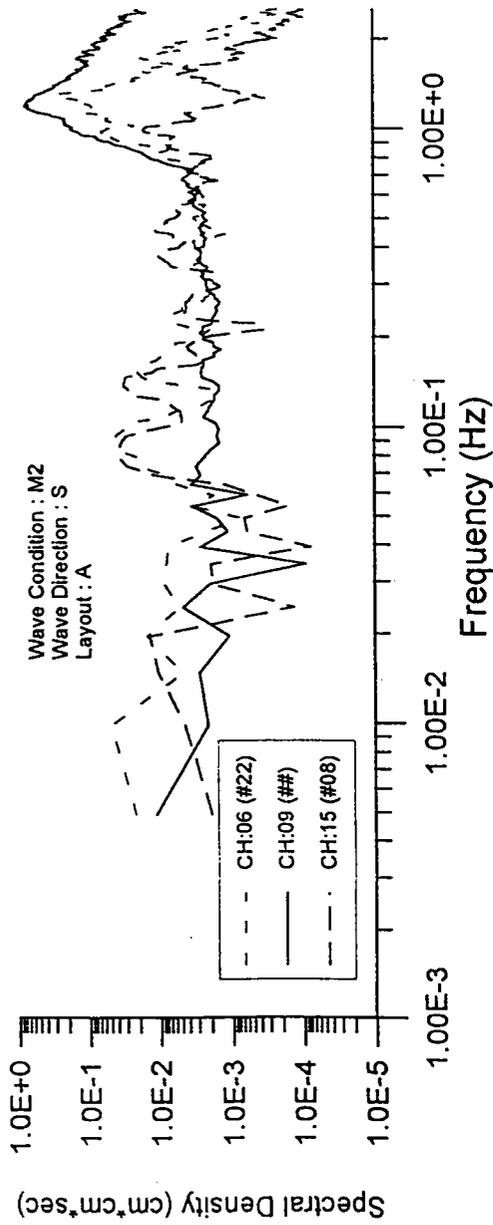


圖 3-41 內、外港測點的頻譜(佈置 A)

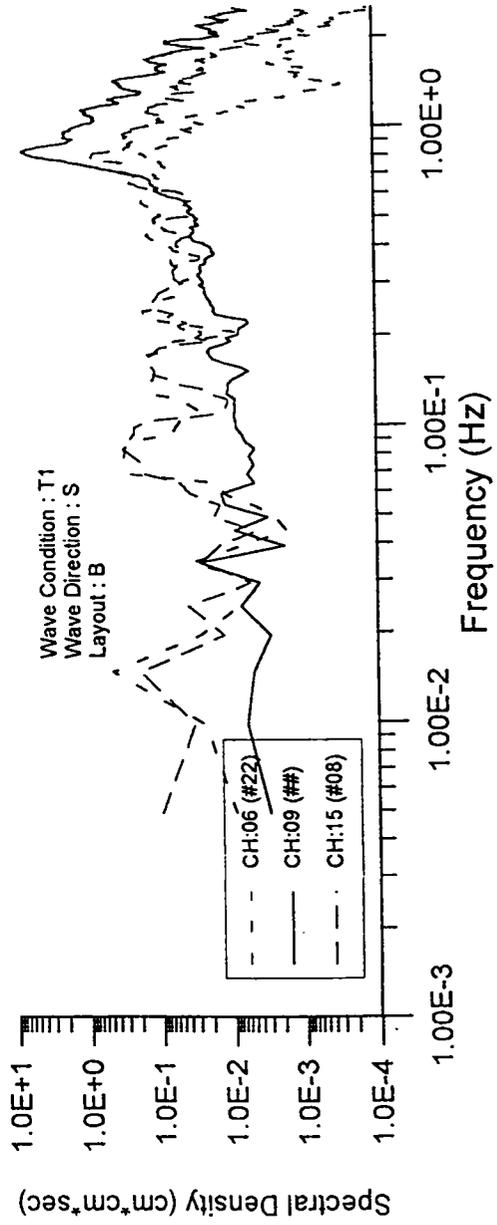
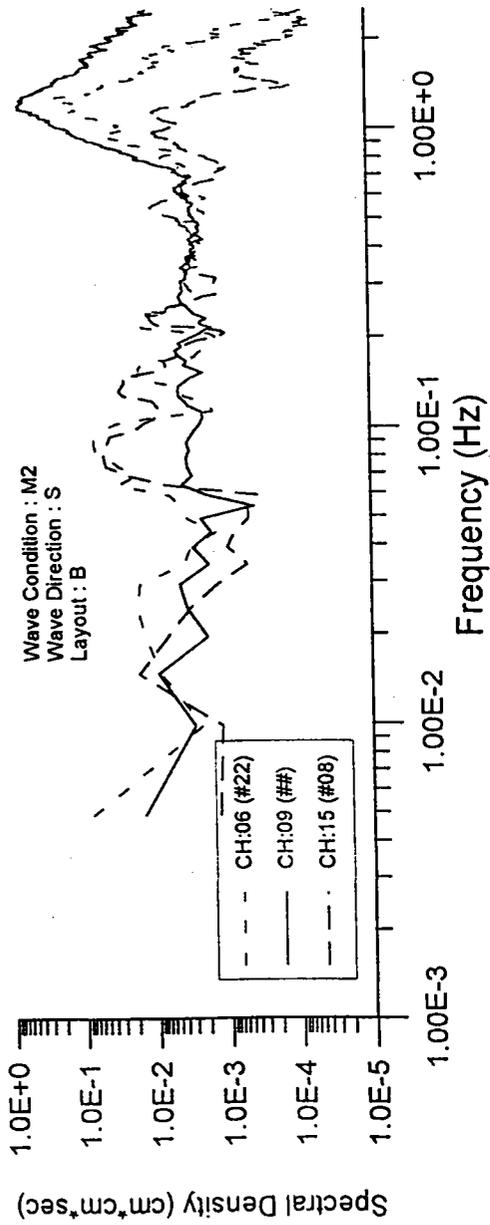
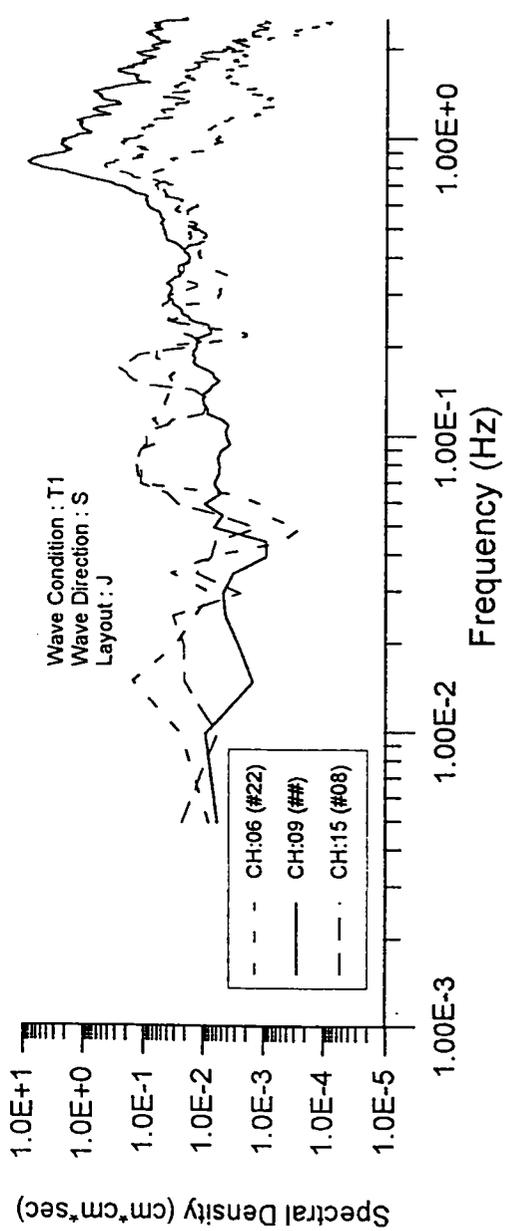
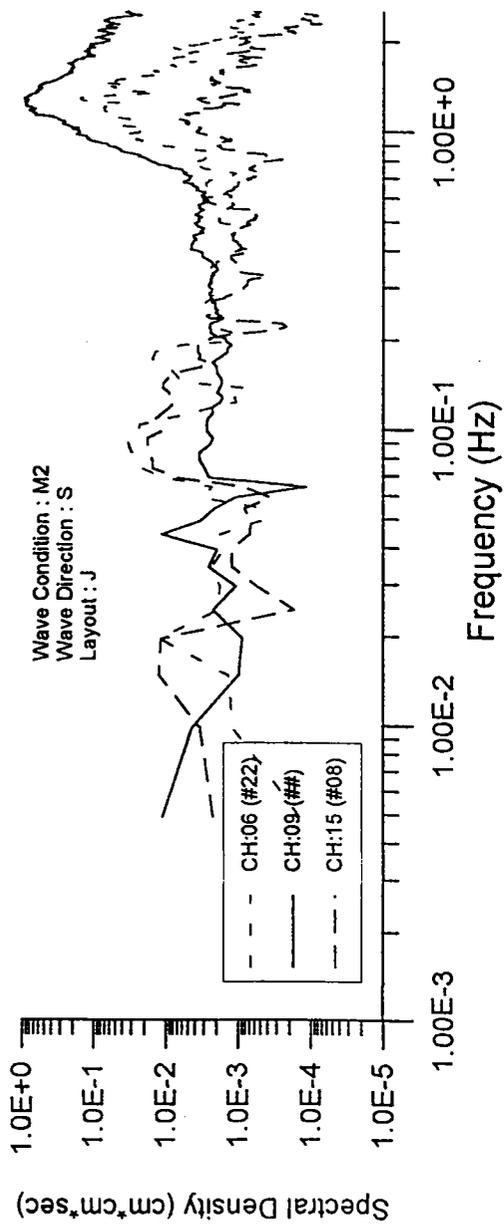
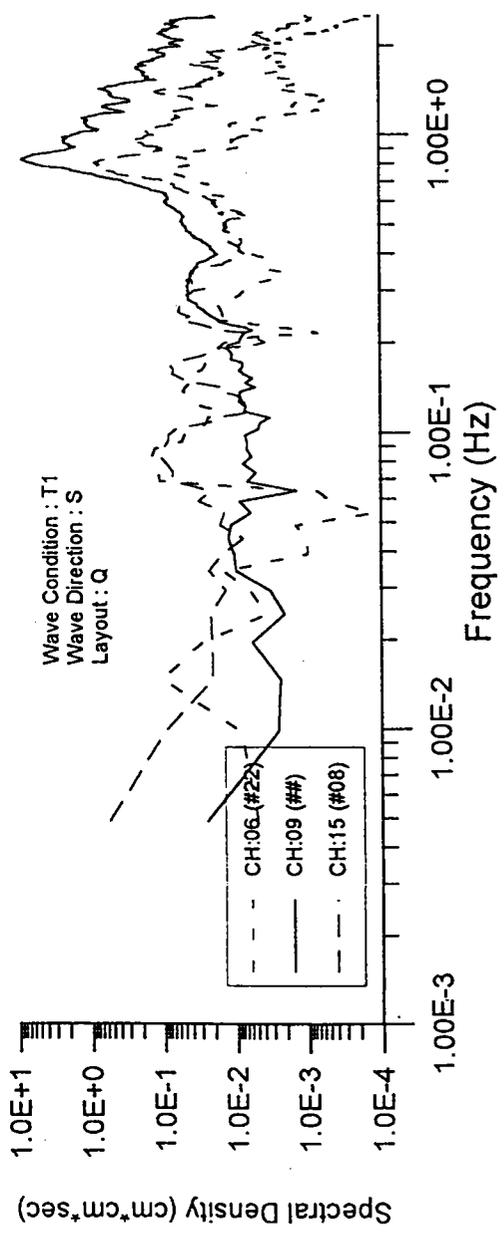
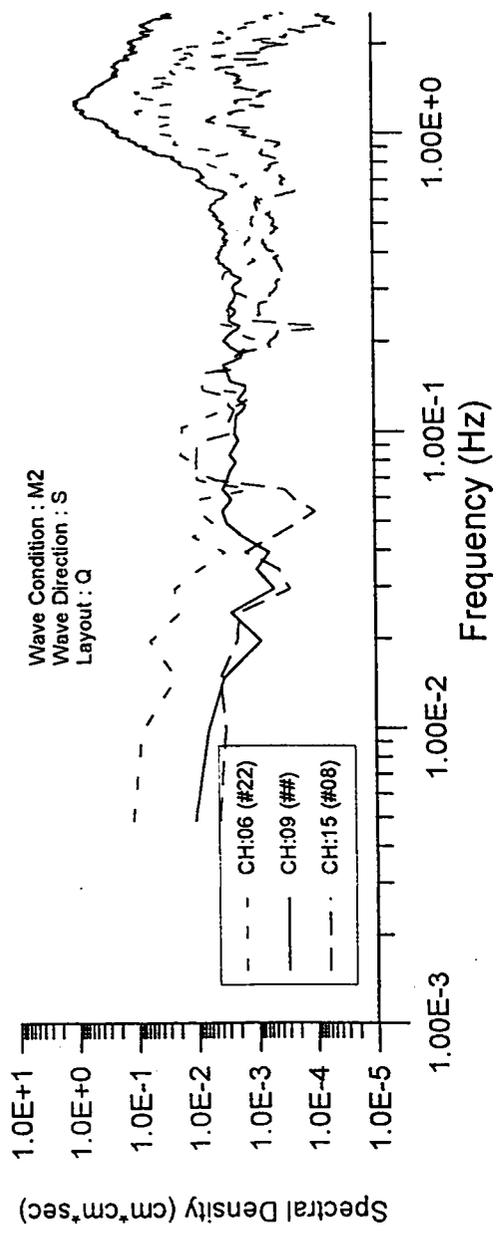


圖 3-42 內、外港測點的頻譜(佈置 B)



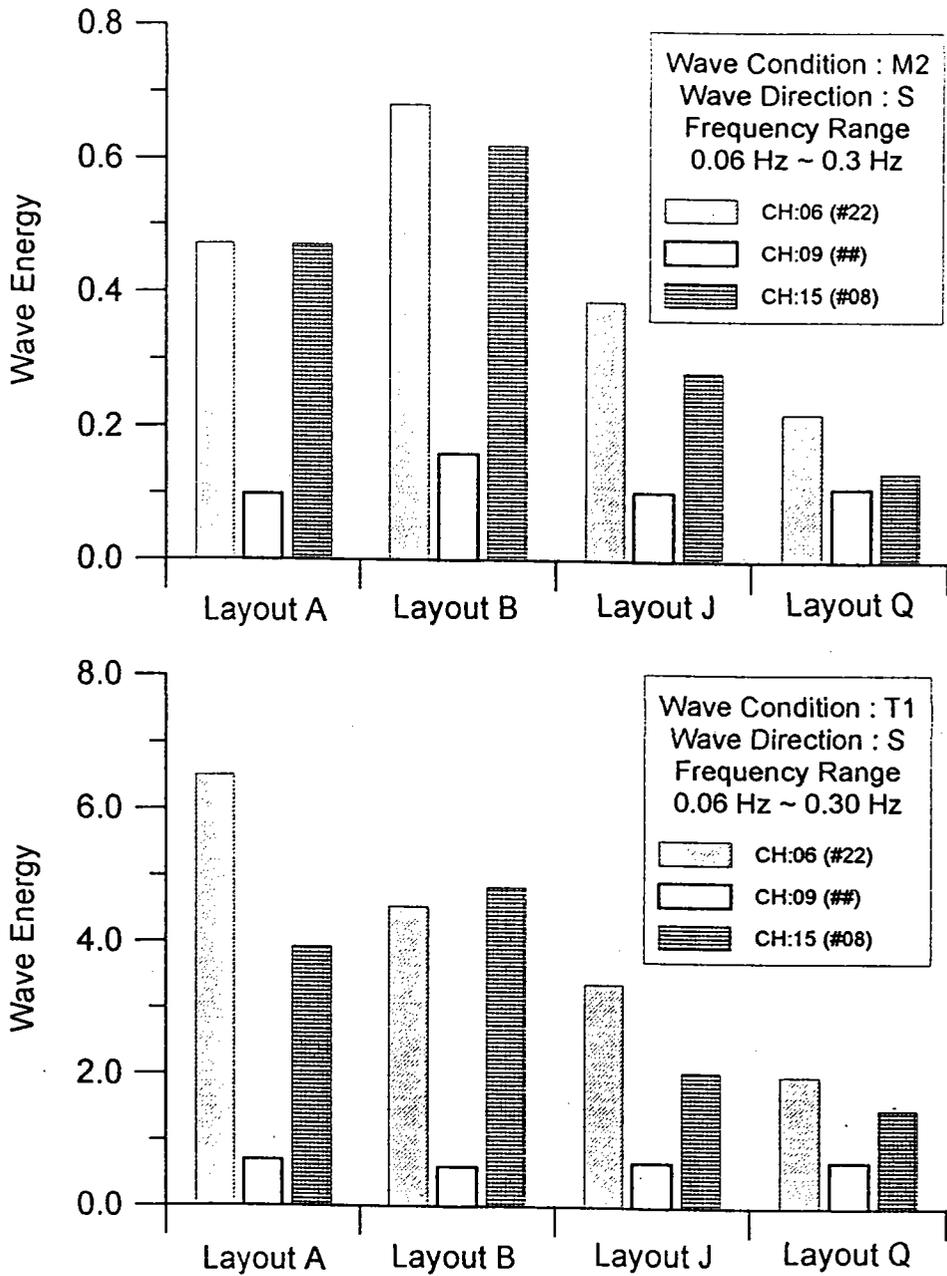
SXXJED.GRF

圖 3-43 內、外港測點的頻譜(佈置 J)



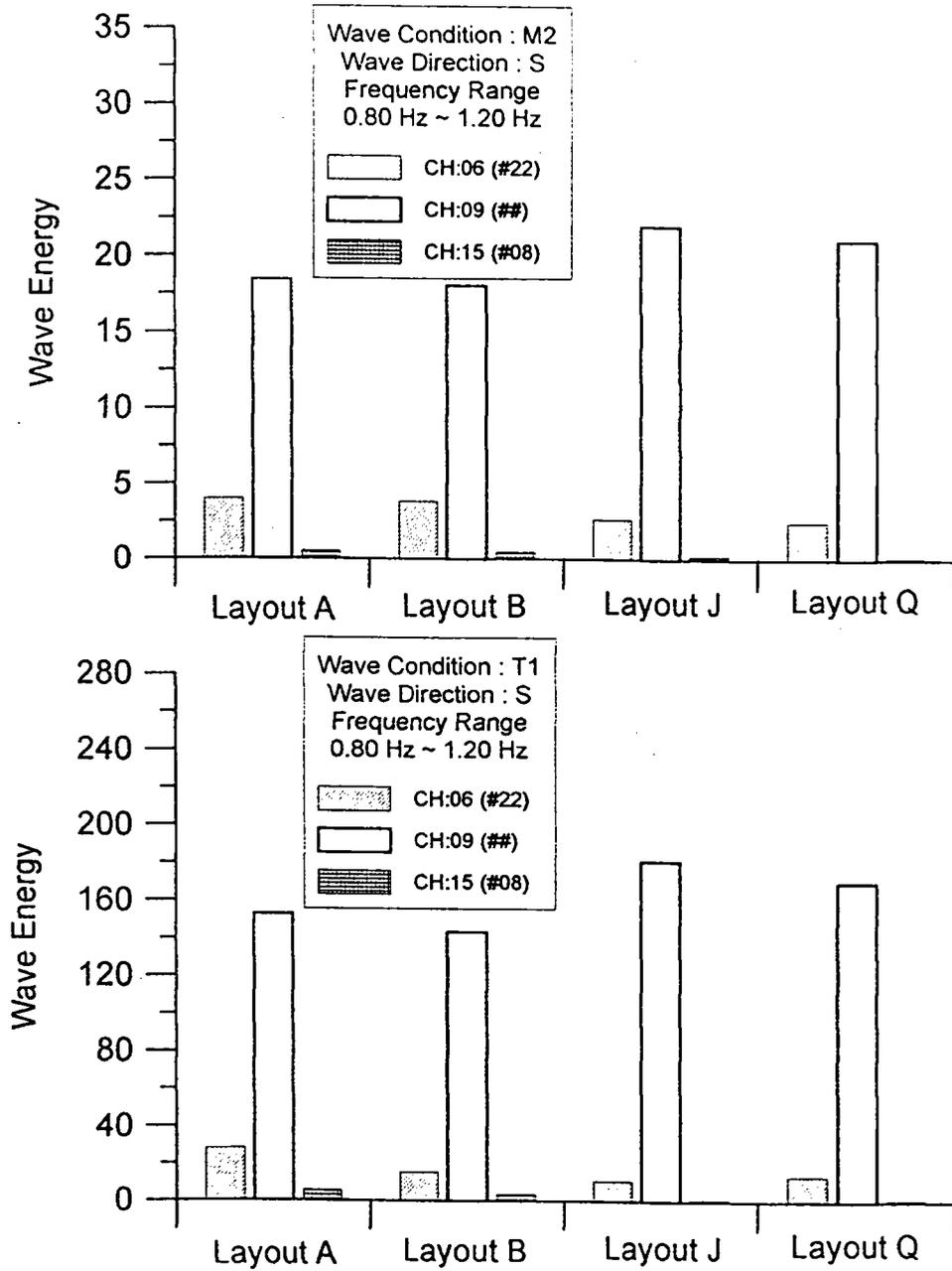
SXXQED.GRF

圖 3-44 內、外港測點的頻譜(佈置 Q)



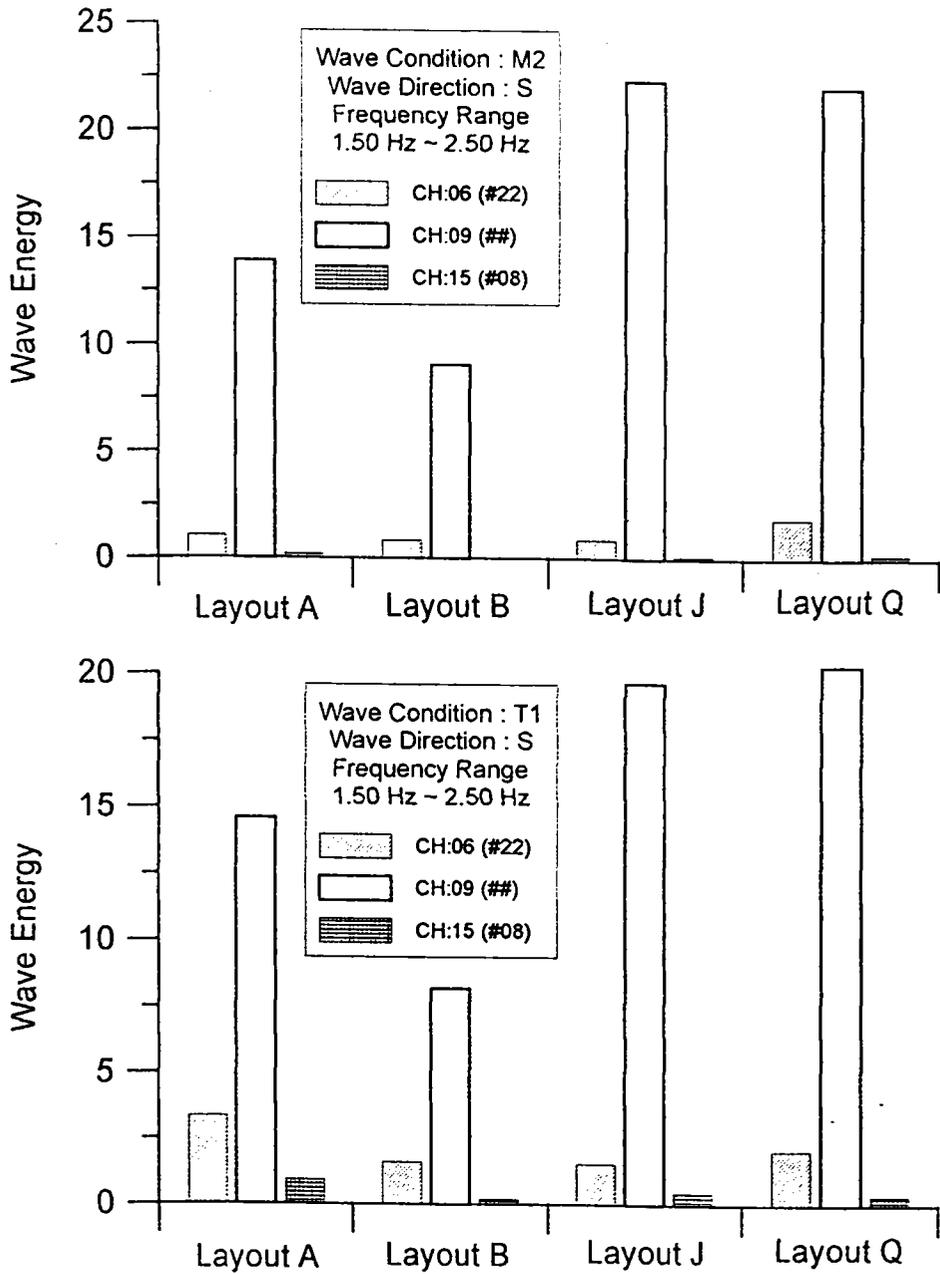
LED.GRF

圖 3-45 不同佈置內、外港測點於低頻區之波浪能量值比較



MED.GRF

圖 3-46 不同佈置內、外港測點於主頻區之波浪能量值比較



HED.GRF

圖 3-47 不同佈置內、外港測點於高頻區之波浪能量值比較

肆、結論與建議

基本上欲將港池共振完全消除是相當不容易，除非港池形狀作大幅修改，但此對已頗具港埠規模且正常營運中的花蓮港而言，改建工程施工期間所帶來的營運不便影響不得不審慎評估。如果再考量花蓮港的碼頭腹地不夠寬敞、海底地形坡度陡峭，使得港內水域空間的調整彈性很小。因此欲大幅改變港池形狀將變得更加不可能。

由以上的條件因素考量，如何在有限的港池修改空間中，研擬出針對長浪防制(港池共振)的改善方案，而且儘量不影響港埠的正常營運，則是本計畫的思考方向。所以在有條件的思考範圍裡本研究所研擬長浪防制的港池佈置方案，也就無法澈底消除港池共振的現象，不過如何將港池共振的程度加以降低、抑制則是努力達成的目標。

本研究利用物理模型針對所研擬的由各種不同的防波堤堤線配置方案所組成之各種港池形狀，進行港內長波的水工試驗。根據完整的試驗資料經由各種分析方法所得之結果，來探討各方案的優劣及可行性。獲得以下幾點結論與建議：

4-1 結論

1. 由規則長週期波的試驗中於南濱海岸的波場中發現類似緣波的水理機制，而此緣波進入港內後在外港池區發生東西向的明顯振盪，而此共振現象於原型週期約 140 秒時最明顯。
2. 由現有港池形狀(佈置 A)的外港波浪頻譜型態或長週期規則波的共振模態，與以往之現場觀測結果，或數值模擬計算皆相當一致，此表示本次試驗的物理模型能適當將現場實際的共振特性以近真實的模擬效果重現，因此對於試驗結果的信賴度能有所保證。

3. 本試驗研究所研擬各佈置方案對長浪防制(港池共振)皆具有不同程度的改善效果，其降低波高比值約有 20%~50%。各改善方案中，以佈置 Q 的改善程度最顯著；此外由於該佈置是將舊東堤拆除而往外海另築新堤，如此除了改善港池不穩靜的現象，同時也解決了舊東堤因年代久遠而產生的老化問題，並且也一併解決了內港航道寬度不足的安全顧慮。另外美崙溪口的導流堤延長對於南濱海岸的侵蝕與港口的淤積也有正面效益。
4. 試驗佈置 J 的長浪防制效果與佈置 Q 很相近，但由於佈置 J 是於 25 號碼頭及 24 號碼頭的交界處另築一長約 105 公尺的突堤，此對泊靠上述兩個碼頭的船隻而言可能會造成不便，因此本佈置暫不列入建議方案中。

4-2 建議

1. 港池共振問題將以延長美崙溪口水利處興建之原導流堤(東南向)至水深 18 公尺全長約 800 公尺(含水利處已興建部份)為改善方案，以期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，同時避免港口的淤塞。
2. 舊東防波堤堤基老舊淘空問題為求一勞永逸建議將舊東堤拆除長約 1100 公尺(0K+230~1K+330)。另外在舊東堤外側與新東堤堤線平行重新築堤長約 1300 公尺，其與漁港海堤間形成一寬約 200 公尺缺口，使港內長波波能得以宣洩，以期同時降低共振程度。
3. 美崙溪口的導流堤延長工程，需注意該堤區附近水域於颱風波浪侵襲時，由於波高巨大再加上波浪碎波，堤體所受外力的影響於設計時須謹慎考量以研擬較佳之堤體斷面型式。新東堤與漁港海堤間的缺口於東北向波浪入射時會造成內港航道波高偏大，在考量耐波力較差的小型漁船筏的航行安全因素下，對於缺口處的消波設施宜再加強。

誌 謝

本計畫研究期間感謝交通處陳處長武正、花蓮港務局黎局長克恕、方總工程司禎祥及黃課長焄雄多次蒞臨本所視察、督導。此外成大歐院長善惠、李兆芳教授、台大蔡丁貴教授與林銘崇教授提供寶貴意見與指導，在此一併誌謝。本計畫全體工作人員特別由衷感謝蔡教授對本研究相關問題熱心提供解決方案，並多次實際參與水工試驗及學理討論，使本計畫內容與成果更加完善。

參考文獻

1. F.M.Martinez, and V.S Naverac, 1988 ; “ An experimental study of harbour resonance phenomena ” , Proc, of Coast. Eng. Conf. A.S.C.E, 270-280.
2. Jose C. Santa's L'opez, and Gergorio Gomez Pina, 1988 ; “ Long waves in a Spanish harbour ”, Proc. Of Coast. Eng. Conf. A.S.C.E, 984-998.
3. D.A.Huntley, 1976 ; “ Long-period waves on a natural beach ” , J.G.R., Vol.81, No.36, 6441-6449.
4. A.J.Bowen, and R.T.Guza, 1978 ; “ Edge waves and surf Beat ” , J.G.R., Vol.83, No.C4, 1913-1920.
5. “花蓮港港灣設施改善計畫之研究”, 港灣技術研究所, 專刊第 127 號, 民國 85 年 12 月。
6. “花蓮港東防波堤延長工程規劃報告”, 中華民國港埠服務社, 民國 80 年元月。
7. “花蓮港整體規劃及未來發展計畫”, 港灣技術研究所, 民國 84 年。
8. 簡仲璟、曾相茂、林受勳, 1995, “台灣區域波浪統計特性比較研究”, 第十七屆海洋工程研討會, P161-176。
9. “台灣四周海氣象調查研究”, 港灣技術研究所, 基本研究 83 研四, 民國 83 年 6 月。