

台中港港口第二期擴建工程規劃

— 工程初步設計報告書 —

附冊肆

委託單位：台灣省政府交通處台中港務局

承辦單位：台灣省政府交通處港灣技術研究所

中華民國 八十八 年 五 月

「台中港港口第二期擴建工程規劃」

— 工程初步設計報告書 —

計劃總召集人：張金機 所長

計劃總主持人：簡仲璟 研究員兼組長

計劃主持人：蘇青和 研究員

協同主持人：曾哲茂 副研究員

參與人員：陳冠宇 助理研究員

參與人員：陳毓清 技工

協辦機構：宇泰工程顧問公司

台中港港口第二期擴建工程規劃

工程初步設計報告書

目 錄

第一章 規劃設計基準

壹、外廓堤防規劃設計基準	1-1
一、分析檢核採用安全係數	1-1
二、材料間摩擦係數	1-1
三、材料單位重及摩擦係數	1-1
四、防波堤胸牆頂高程	1-2
五、波力計算	1-2
六、拋石堤護面塊石計算	1-5
七、合成堤護基方塊及護面塊石重量計算	1-6
八、拋石堤壘層厚度及內層塊石重量	1-8
九、基礎容許承载力計算	1-8
十、穩定分析	1-11
十一、沉箱浮游安定計算	1-16
貳、財務規劃基準	1-18
一、工程費用估算原則	1-18
二、經濟分析原則	1-18

第二章 港口二期擴建定案工程計畫

壹、港口主體設施擴建計畫	2-1
一、外廓及水域設施定案擴建計畫	2-1
二、導助航設施改善計畫	2-11
貳、拖船輔助作業改善計畫	2-15
一、拖船輔助作業需求	2-15
二、船舶進港及拖船輔助作業程序	2-19
三、新購拖船性能建議	2-20

四、拖船外海帶纜作業要求	2-21
五、拖船領港登輪梯	2-23
參、其他輔助設施	2-23
一、增設減風設施計畫	2-23
二、船舶交通管理系統建議	2-25

第三章 工程初步設計

壹、北外防波堤延建工程初步設計	3-1
一、延建防波堤堤線佈置	3-1
二、各里程設計波浪條件擬定	3-1
三、各里程最佳堤體斷面研擬	3-17
四、防波堤斷面初步設計	3-41
貳、南內、外防波堤拆除設計	3-50
一、計畫拆堤段位置及堤體構造	3-50
二、堤體拆除施工方式建議	3-53
三、南內、外堤堤頭保護設施	3-61
四、堤體拆除回收工材再利用計畫	3-61
參、水域靜穩度改善工程初步設計	3-67
一、消波潛堤初步設計	3-67
二、航道兩側垂直岸壁加拋消波塊初步設計	3-67
肆、航道浚深拓寬工程初步設計	3-71
一、港外航道水域浚深拓寬工程	3-71
二、港口主航道水域浚深拓寬工程	3-71
三、北迴船池水域浚深工程	3-76
四、北迴船池與 W4 碼頭間水域浚深工程 (含避船水域及部份內航道)	3-76
伍、導航燈標新建工程初步設計	3-86
一、堤頭燈杆(標)新建工程	3-86
二、港外航道導臺標新建工程	3-89

第四章 實施計畫

壹、主要工程項目	4-1
一、北防波堤延伸工程	4-1
二、南外堤拆除工程(含新堤頭保護)	4-1
三、南內堤拆除工程(含新堤頭保護)	4-1
四、水域靜穩度改善工程	4-1
五、其他配合工程	4-2
貳、施工計畫	4-3
一、主要工程數量概估	4-3
二、大宗工材料源及運輸構想	4-5
三、主要工程施工流程及構想	4-11
參、計畫工期	4-22
一、可工作天數概估	4-22
二、施工能量分析	4-26
三、施工量及施工機具分析	4-32
四、工程預定進度	4-33
肆、財務計畫	4-35
一、各工程項目經費預估	4-35
二、分年工程預算	4-42
三、資金籌措	4-42
伍、工程效益	4-44
一、可量化效益	4-44
二、不可量化效益	4-47
三、效益分析	4-47

附錄 沉箱合成堤斷面穩定分析

圖 目 錄

第一章 規劃設計基準

圖 1-2-1	直立壁波壓分佈示意圖	1-13
圖 1-2-2	非線性波淺化係數計算圖	1-15
圖 1-2-3	基礎及護基拋石之安定係數 N_s	1-18
圖 1-2-4	承载力係數 N_r 、 N_q	1-21
圖 1-2-5	承载力係數 N_c	1-21
圖 1-2-6	砂基土與粘性土二層地層中之載重分佈	1-23
圖 1-2-7	底面反力計算示意圖	1-23
圖 1-2-8	基礎地盤載重分佈示意圖	1-26
圖 1-2-9	片山、內田法承载力係數計算圖	1-26

第二章 港口二期擴建定案工程計畫

圖 2-1-1	台中港港口第二期擴建工程平面佈置圖	2-2
圖 2-1-2	台中港港口航道及錨泊區規劃圖	2-6
圖 2-1-3	台中港港口航道水域浚挖範圍圖	2-10
圖 2-1-4	台中港現有燈塔及導航設施位置圖	2-12
圖 2-1-5	台中港導向燈標標示範圍圖	2-14
圖 2-2-1(a)	船艀乾纜作業圖	2-16
圖 2-2-1(b)	船艀拖纜作業圖	2-16
圖 2-2-2	拖船外海帶纜作業一景	2-23a
圖 2-2-3	拖船載送領港一景	2-23b
圖 2-3-1	台中港北側淤沙區整治第二期工程平面圖	2-24
圖 2-3-2	台中港北側淤沙區整治第二期建議修正平面配置圖	2-26
圖 2-3-3	減風設施配置圖	2-27
圖 2-3-4	船舶交通管理系统架構圖	2-29
圖 2-3-3	台中港 VTMS 系統配置圖	2-30

第三章 工程初步設計

圖 3-1-1 台中港港口第二期擴建工程計畫圖	3-2
圖 3-1-2(a) N 方向波浪折射計算結果(HHWL)	3-7
圖 3-1-2(b) NNW 方向波浪折射計算結果(HHWL)	3-7
圖 3-1-2(c) NW 方向波浪折射計算結果(HHWL).....	3-8
圖 3-1-2(d) W 方向波浪折射計算結果(HHWL)	3-8
圖 3-1-2(e) WSW 方向波浪折射計算結果(HHWL)	3-9
圖 3-1-2(f) SW 方向波浪折射計算結果(HHWL).....	3-9
圖 3-1-2(g) N 方向波浪折射計算結果(LLWL)	3-10
圖 3-1-2(h) NNW 方向波浪折射計算結果(LLWL)	3-10
圖 3-1-2(i) NW 方向波浪折射計算結果(LLWL)	3-11
圖 3-1-2(j) W 方向波浪折射計算結果(LLWL).....	3-11
圖 3-1-2(k) WSW 方向波浪折射計算結果(LLWL).....	3-12
圖 3-1-2(l) SW 方向波浪折射計算結果(LLWL).....	3-12
圖 3-1-3 潛水伏全日可工作時數與潛水深度關係圖	3-24
圖 3-1-4(a) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與承载力關係圖 (水深 22m，基腳寬度 1.5m)	3-32
圖 3-1-4(b) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與承载力關係圖 (水深 22m，無基腳).....	3-33
圖 3-1-4(c) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與承载力關係圖 (水深 23m，基腳寬度 1.5m)	3-34
圖 3-1-4(d) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與承载力關係圖 (水深 23m，無基腳).....	3-35
圖 3-1-4(e) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與承载力關係圖 (水深 24m，基腳寬度 1.5m)	3-36
圖 3-1-4(f) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與承载力關係圖 (水深 24m，無基腳).....	3-37
圖 3-1-5 閉孔沉箱平面及斷面圖	3-42
圖 3-1-6 北防波堤延伸段 0K+000~0K100 標準斷面圖	3-43

圖 3-1-7	北防波堤延伸段 0K+100~0K130 標準斷面圖	3-44
圖 3-1-8	北防波堤延伸段 0K+130~0K160 標準斷面圖	3-45
圖 3-1-9	北防波堤延伸段 0K+160~0K440 標準斷面圖	3-46
圖 3-1-10	北防波堤延伸段 0K+440~0K480 標準斷面圖	3-47
圖 3-1-11	北外堤延伸段平面圖	3-49
圖 3-2-1	南外堤堤頭段平面及立面圖	3-51
圖 3-2-2	南外堤拆除段主要斷面圖	3-52
圖 3-2-3	南內堤堤頭段平面圖	3-54
圖 3-2-4	南內堤拆除段斷面圖	3-55
圖 3-2-5(a)	浮筒型助浮袋	3-59
圖 3-2-5(b)	降落傘型助浮袋	3-59
圖 3-2-6	南外堤拆除後堤頭保護平面配置圖	3-62
圖 3-2-7	南外堤頭保護設施斷面圖	3-63
圖 3-2-8	南外堤拆除後堤頭保護平面配置圖	3-64
圖 3-2-9	南內堤新建堤頭正、斷面圖	3-65
圖 3-3-1	水域靜穩度改善工程潛堤斷面圖	3-68
圖 3-3-2	水域靜穩度改善工程(北防波堤航道側)斷面圖	3-70
圖 3-4-1	台中港進出港航道位置圖	3-72
圖 3-4-2	港口航道水域(含登輪區)浚挖平面圖	3-73
圖 3-4-3	港口航道水域(含登輪區)浚挖主要斷面圖	3-74
圖 3-4-4	港口主航道浚挖平面圖	3-77
圖 3-4-5	港口主航道浚挖主要斷面圖	3-78
圖 3-4-6	北迴船池浚挖平面圖	3-80
圖 3-4-7	北迴船池浚挖主要斷面圖	3-81
圖 3-4-8	北迴船池與 W4 碼頭間水域浚挖平面圖	3-83
圖 3-4-9	北迴船池與 W4 碼頭間水域浚挖主要斷面圖	3-84
圖 3-5-1	北外堤燈塔正面圖	3-87
圖 3-5-2	南外堤燈塔正面圖	3-98
圖 3-5-3	南內堤燈塔正面圖	3-90

圖 3-5-4 港外導向燈桿斷面圖	3-92
-------------------------	------

第四章 實施計畫

圖 4-2-1 台中港港口第二期擴建工程施工用地示意圖	4-13
圖 4-2-2 沉箱製作及拖放施工流程	4-16
圖 4-2-3 沉箱合成堤施工流程	4-17
圖 4-2-4 端進法安放沉箱示意圖	4-18
圖 4-2-5 跳島法安放沉箱示意圖	4-19

表 目 錄

第二章 港口二期擴建定案工程計畫

表 2-2-1 4000TEU 貨櫃船風速 30 節所需拖船拖力計算表	2-18
---	------

第三章 工程初步設計

表 3-1-1 北防波堤延伸段各里程位置及代表水深	3-1
表 3-1-2 台中港外海各方向各週歸期設計波浪	3-5
表 3-1-3(a) 北防波堤延伸各里程等值深海波高(HHWL)	3-13
表 3-1-3(b) 北防波堤延伸各里程等值深海波高(LLWL)	3-14
表 3-1-4(a) 北防波堤延伸各里程各波向堤前設計波高(HHWL) ..	3-15
表 3-1-4(b) 北防波堤延伸各里程各波向堤前設計波高(LLWL) ...	3-16
表 3-1-5(a) 北防波堤延伸段各堤段所受波力比較(HHWL)	3-18
表 3-1-5(b) 北防波堤延伸段各堤段所受波力比較(LLWL)	3-18
表 3-1-6 北防波堤延伸段各里程段設計波浪條件	3-19
表 3-1-7(a) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之 關係(基腳寬度 1.5m)	3-26
表 3-1-7(b) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之 關係(無基腳)	3-27
表 3-1-7(c) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之 關係(基腳寬度 1.5m)	3-28
表 3-1-7(d) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之 關係(無基腳)	3-29
表 3-1-7(e) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之 關係(基腳寬度 1.5m)	3-30
表 3-1-7(f) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之 關係(無基腳)	3-31
表 3-1-8 北外堤延伸段各里程堤段比較斷面選定結果	3-39
表 3-1-9 各里程段比較斷面單位長度工程費比較表	3-40
表 3-2-1 南外堤、南內堤沉箱拆除工法比較	3-58

表 3-2-2	南內、外堤拆除工材回收數量概估表	3-66
表 3-4-1	港外航道水域(含登輪區)浚挖量計算表	3-75
表 3-4-2	港口航道水域浚挖量計算表	3-79
表 3-4-3	北迴船池水域浚挖量計算表	3-82
表 3-4-4	北迴船池至 W4 碼頭間水域浚挖量計算表	3-85

第四章 實施計畫

表 4-3-1	台中港第一期建港工程期間統計之可工作天	4-23
表 4-3-2	台中港區重要氣象因子一覽表	4-25
表 4-3-3	台中港陸上施工各月可工作天數概估	4-27
表 4-3-4	台中港海上施工各月可工作天數概估	4-28
表 4-3-5	台中港港口第二期擴建工程計畫進度表	4-34
表 4-4-1	一港口第二期擴建工程費用估列	4-36
表 4-4-2	北防波堤延建每公尺工程費概估	4-37
表 4-4-3	南外堤拆除每公尺工程費概估	4-38
表 4-4-4	南內堤沉箱段拆除每公尺工程費概估	4-39
表 4-4-5	南內堤拋石段拆除每公尺工程費概估	4-40
表 4-4-6	內堤堤頭重建工程費概估	4-41
表 4-4-7	台中港港口第二期擴建工程費用概算表	4-43
表 4-5-1	台中港整體規劃及未來發展計畫預測之貨櫃運量及碼頭 需求	4-45
表 4-5-2	益本比分析表	4-50
表 4-5-2	益本比分析表(續)	4-51
表 4-5-3	報酬率分析表	4-52
表 4-5-3	報酬率分析表(續)	4-53

第一章 規劃設計基準

第一章 規劃設計基準

壹、外廓堤防規劃設計基準

一、分析檢核採用安全係數

- 沉箱滑動 1.2
- 沉箱傾倒 1.2
- 基礎承載安全係數 2.5
- 拋石滑動安全係數(地震時) 1.0
- 拋石滑動安全係數(常時) 1.2

二、材料間摩擦係數

- 混凝土對混凝土 0.50
- 混凝土對拋石 0.60
- 拋石對拋石 0.70
- 場鑄混凝土對混凝土 0.70

三、材料單位重及摩擦係數

材 料	單位重量 (T/M)	水中單位重 (T/M)	備 註
海 水	1.03	—	飽和海水重量
鋼 筋 混 凝 土	2.45	1.42	
混 凝 土	2.3	1.28	
石、塊石、卵石	1.6	1	
沉箱填充砂	2	—	
卵石混凝土	2.51	—	

四、防波堤胸牆頂高程

一般大型港口防波堤之設計，堤後如為大範圍水域，其可將局部越波能量吸收，在堤體安全無虞之前題下，考慮工程經濟，通常會允許颱風期間局部越波，在此前題下胸牆頂高程以不低於設計水位加上0.6倍示性設計波高。

但若堤後無較大水域供越波消能，或不允許越波，則胸牆頂高程須高於設計水位加上1.25倍示性設計波高。

五、波力計算

本計畫沉箱式直立堤之設計以合田公式計算波力，其波壓分佈如圖1-2-1所示。

(一)設計波高

使用合田公式計算波力時，設計波高採用最大波高 $H_{\max}$ ，其計算式如下：

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_o' & h/L_o \geq 0.2 \\ \min\{(\beta_o * H_o' + \beta_1 * h), \beta_{\max} * H_o', K_s H_o'\} & h/L_o < 0.2 \end{cases}$$
$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8 K_s H_o' & h/L_o \geq 0.2 \\ \min\{(\beta_o * H_o' + \beta_1 * h), \beta_{\max} * H_o', 1.8 K_s H_o'\} & h/L_o < 0.2 \end{cases}$$

式中

$$\beta_o = 0.028(H_o'/L_o)^{-0.38} \exp[20(\tan\theta)^{1.5}]$$

$$\beta_1 = 0.52 \exp[4.2(\tan\theta)]$$

$$\beta_{\max} = \max\{0.92, 0.32(H_o'/L_o)^{-0.29} \exp[2.4 \tan\theta]\}$$

$$\beta_o * = 0.052(H_o'/L_o)^{-0.38} \exp[20(\tan\theta)^{1.5}]$$

$$\beta_1 = 0.632 \exp[3.8(\tan\theta)]$$

$$\beta_{\max} = \max\{1.65, 0.53(H_o'/L_o)^{-0.29} \exp[2.4 \tan\theta]\}$$

K_s ：淺化係數，可以圖 1-2-2 求取

$\tan\theta$ ：海底坡度

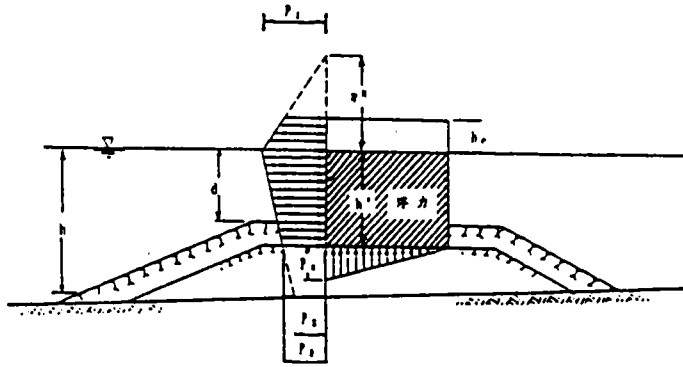


圖 1-2-1 直立壁波壓分佈示意圖

(二)波壓分佈

如圖 1-2-1 所示，在靜水面處之波壓 P_1 為最大值，靜水面上 η^* 高度處之波壓為 0，海底面之波壓為 P_2 ，則直立壁底面至頂端為止之波壓可以下式計算之。

$$\eta^* = 0.75 (1 + \cos b) H d$$

$$P_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos b) (a_1 + a_2 \cos^2 b) w_o H_d$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh(2ph/L)}$$

$$P_3 = a_3 P_1$$

$$a_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4ph/L}{\sinh(4ph/L)} \right]^2$$

$$a_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_d}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_d} \right]$$

$$a_3 = 1 - \frac{h}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right]$$

式中

η^* ：靜水面上波壓強度為 0 之高度(m)

P_1 ：靜水面之波壓強度(t/m²)

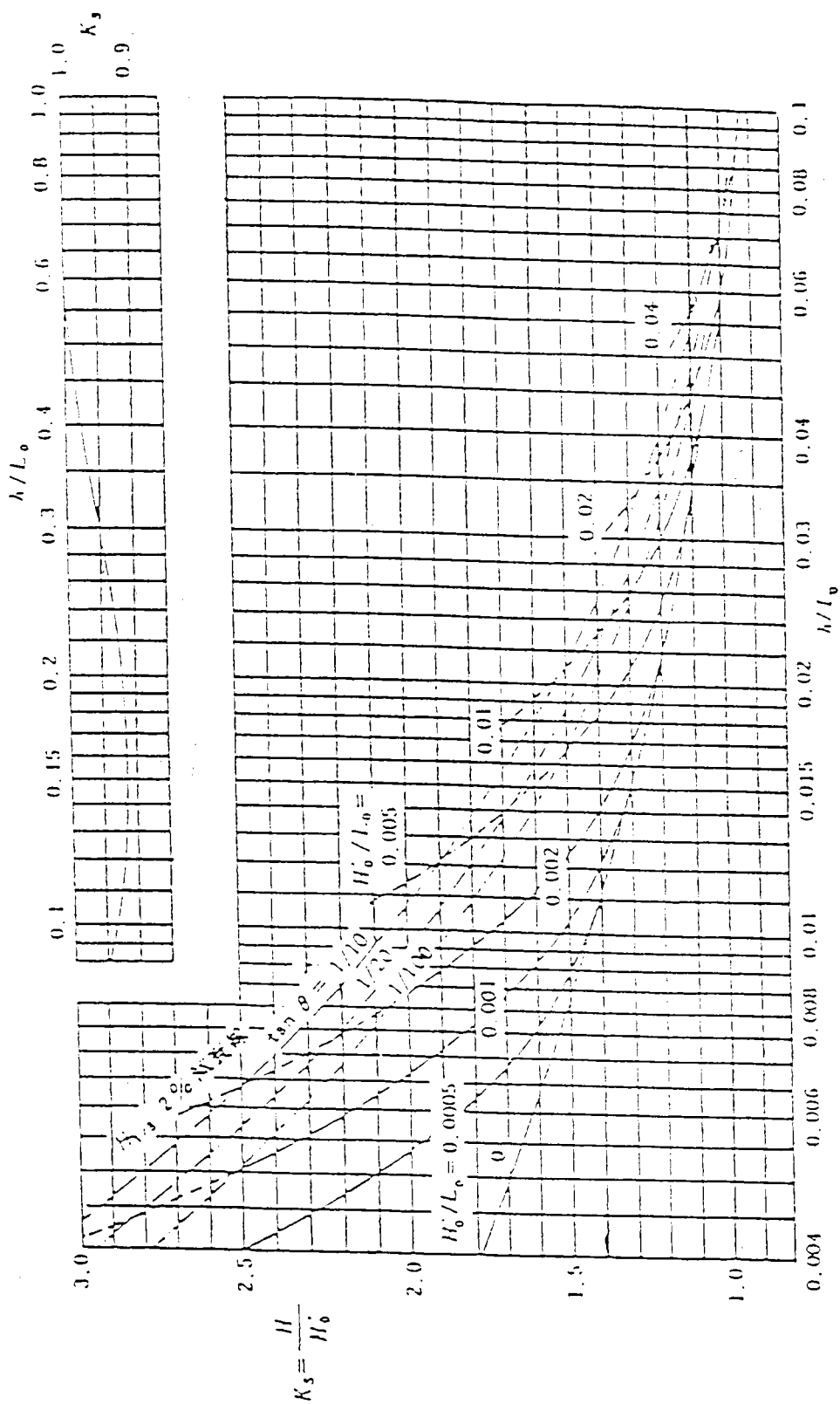


圖 1-2-2 非線性波淺化係數計算圖

P_2 ：海底面之波壓強度(t/m^2)

P_3 ：直立壁底面之波壓強度(t/m^2)

h ：直立壁前之水深(m)

h_b ：直立壁海側 5 倍示性波高距離處之水深(m)

h' ：直立壁底面之水深(m)

d ：覆基方塊或覆面石(塊)頂面水深較小者(m)

ω_o ：海水單位體積重($1.03t/m^3$)

H_d ：設計波高(m)

L ：水深 h 處之設計計算所使用之波長(m)

$\min(a,b)$ ： a 或 b 中較小者

β ：直立壁法線垂線與由波浪之主方向 $\pm 15^\circ$ 範圍中
修正之角度

(三)揚壓力

作用於直立壁底面之揚壓力分佈為前趾 P_u ，後趾為 0
之三角形分佈， P_u 之值下式計算之。

$$P_u = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \omega_o H_d$$

此時之浮力僅考慮靜水中之體積部份。

六、拋石堤護面塊石計算

受波力作用之斜坡面結構物斜坡表面，應覆蓋拋石或混凝土消波塊之重量，可依下列Hudson公式加以計算，對靜水面 $1.5H$ 以下水深之覆蓋拋石或混凝土消波塊可以採用較輕之重量。

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \alpha}$$

式中

W ：拋石亦或混凝土消波塊之最小重量(t)

γ_r ：石塊或混凝土消波塊之空中單位體積重量(t/m^3)

S_r ：石塊亦或混凝土消波塊對海水之比重

α ：坡面與水平面之角度

H：設計波高，採用 $H_{1/3}$ 。

K_d ：依覆蓋材料以及破壞率所決定之係數

七、合成堤護基方塊及護面塊石重量計算

合成堤之拋石基礎及堤趾護基所須重量可依下式計算。

$$W = \frac{\gamma_r}{N_s^3 (S_r - 1)^3} H^3$$

式中 W：石塊亦或混凝土塊所須重量(t)

γ_r ：石塊亦或混凝土塊之空中單位體積重量(t/m^3)

S_r ：石塊亦或混凝土塊相對海水比重

H：設計波高，一般採用示性波高 $H_{1/3}$ 。

N_s ：因波浪條件、拋石基礎形狀、護基材料之特性及水深等而決定之安定係數，通常以模型試驗加以決定或以圖 1-2-3 或以下列 Tanimoto 公式估算之。

$$N_s = \max \left\{ 1.8, \left[1.3 \frac{1-k}{k^{1/3}} \frac{h}{H_{1/3}} + 1.8 \exp(-1.5 \frac{(1-k)^2}{K^{1/3}} \frac{h}{H_{1/3}}) \right] \right\}$$

$$\text{其中 } K = \frac{4\pi h / L}{\sinh(4\pi h / L)} \sin^2 \left(\frac{2\pi B}{L} \right)$$

h：塊石所在位置水深

L：為在 h 處之波長

B：拋石基礎前肩寬(m)

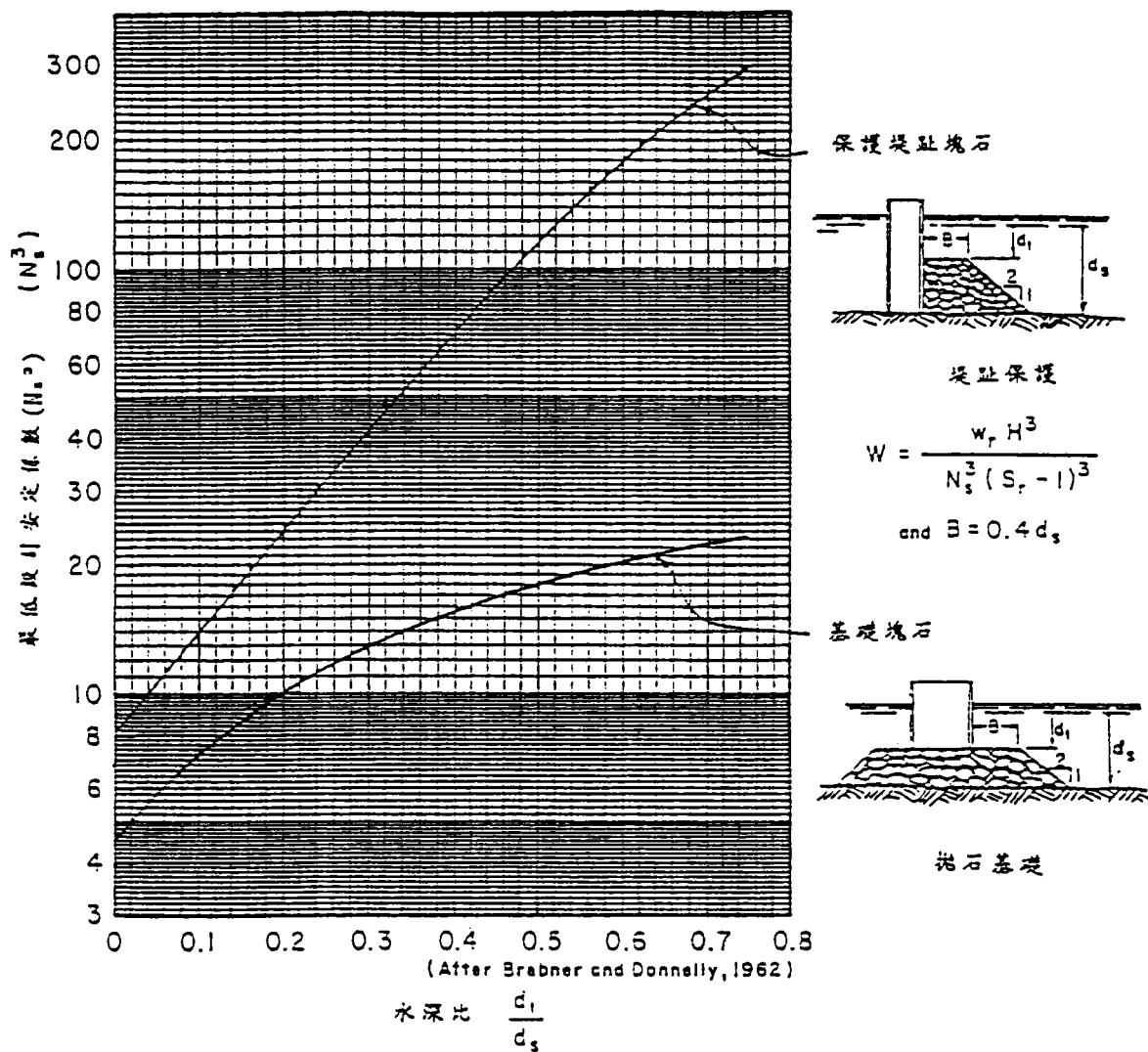


圖 1-2-3 基礎及護基拋石之安定係數 N_s

八、拋石堤壘層厚度及內層塊石重量

(一)拋石堤壘層厚度

$$t = nk\left(\frac{W}{r}\right)^{1/3}$$

式中 t：壘層厚度

n：層數

K：形狀係數(光滑塊石=1.02，粗糙塊石=1.15)

W：塊石重(噸)

r：塊石單位重(噸/m³)

(二)內層塊石重量

層次	重量及級配	百分比 (%)
護面層	W	100
第一內層	0.13W	25
	0.10W	50
	0.07W	25
第二內層	0.0075W	25
	0.0050W	50
	0.0025W	25
堤心石	重量以減少施工時因波力作用造成損失為原則。	

九、基礎容許承载力計算

外廓防波堤基礎之設置深度均小於基礎之最小寬度，於計算基礎承载力時可採淺基礎型式，計算公式依基礎地盤土質而有不同。

(一)砂質土基礎承载力

設置於砂質地層中基礎容許承载力，以下式計算之。

$$q_a = \frac{1}{F}(\beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D \cdot N_q) + \gamma_2 \cdot D$$

式中 q_a ：容許承载力(考慮基礎水中部份所受之浮力)(t/m^2)

B ：基礎最小寬度(或圓形基礎直徑)(m)

D ：基礎設置深度(m)

γ_1 ：基礎底面以下地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)(t/m^3)

γ_2 ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)(t/m^3)

N_r 、 N_q ：承载力係數(參考圖 1-2-4)

β ：基礎形狀係數。防波堤為連續形，形狀係數採 0.5。

F ：安全係數(重要結構物 2.5 以上，其他 1.5 以上)

(二)黏性土基礎承载力

$$q_a = N_c \cdot \frac{C_0}{F} + \gamma_2 \cdot D$$

式中 q_a ：容許承载力(考慮基礎水中部份所受之浮力)(t/m^2)

N_c ：承载力係數(參考圖 1-2-5)

C_0 ：基礎底面土壤之凝聚力(t/m^2)

γ_2 ：基礎底面以上地層土壤之單位體積重量(在地下水位以下者，採用水中土壤單位體積重量)(t/m^3)

D ：基礎設置深度(m)

F ：安全係數(重要結構物 2.5 以上，其他 1.5 以上)

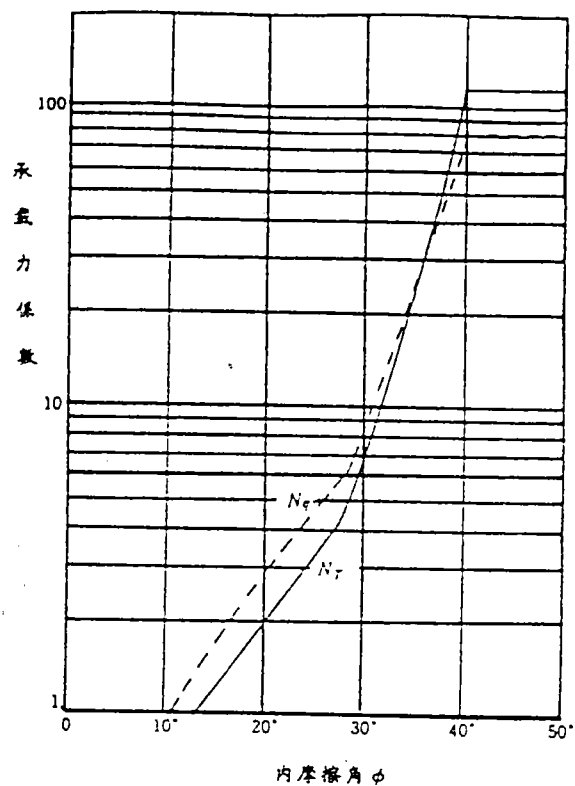


圖 1-2-4 承载力係數 N_r 、 N_q

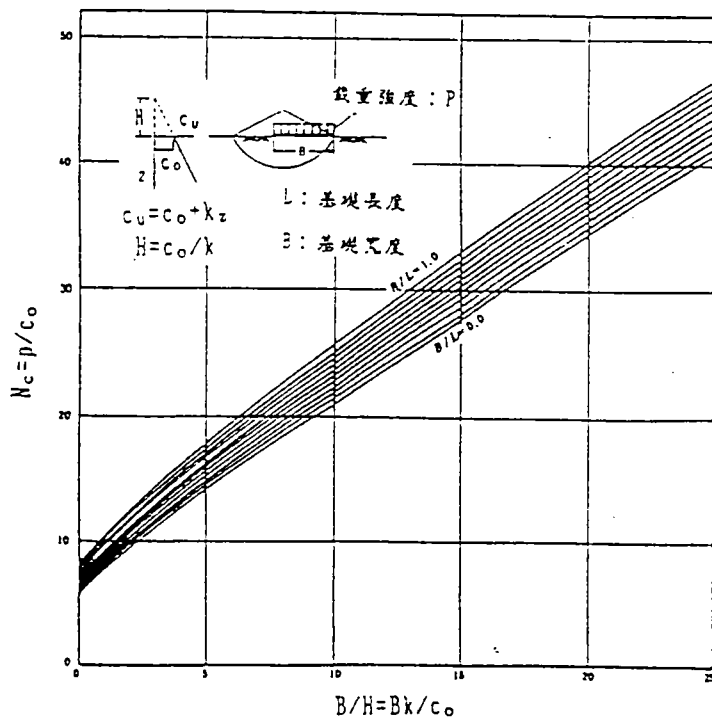


圖 1-2-5 承载力係數 N_c 、 N_q

(三)二層土壤之基礎承載力

如圖 1-2-6 所示，基礎最小寬度為 B 之基礎底面下，厚度 D_s 之砂質土層下存有黏性土層時，應依下列條件計算垂直承載力。

- $D_s \geq 2B$ ：依上層砂質土層之承載力
- $2B > D_s > 1.5B$ ：分別計算上層砂質土層之承載力，與考慮載重分散之下層黏性土層承載力，取其較小者為全土層承載力。
- $1.5B \geq D_s$ ：依下層黏性土層之承載力

(四)本計畫工址海床基礎承載力

依台中港既有地質鑽探資料顯示之土質特性，工址海床在承載堤體寬度 16m、基礎拋石厚度 2m 時之基礎容許承載力以 $64T/M^2$ 設計(基礎承載安全係數採 2.0)。

十、穩定分析

直立堤之堤體、合成堤之直立部、斜面堤之上部結構及消波塊覆蓋堤之直立部於颱風時及地震時之安定計算須檢討下列三項：

- 滑動(Sliding)
- 傾倒(Overturning)
- 基礎承載力(Bearing Capacity of Foundation)

(一)直立部滑動檢討

直立部之滑動安定，須滿足下式：

$$S.F. \leq \frac{f_w}{p}$$

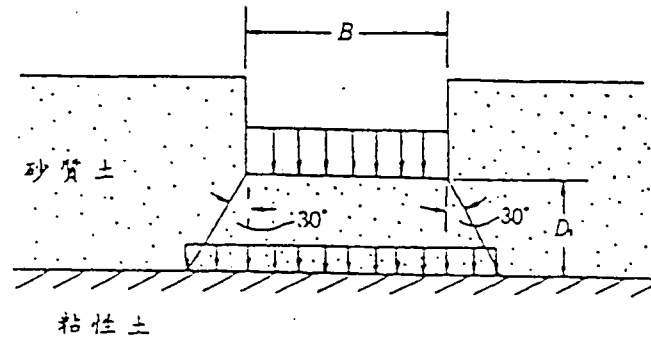


圖 1-2-6 砂土與黏性土二層地層中之載重分佈

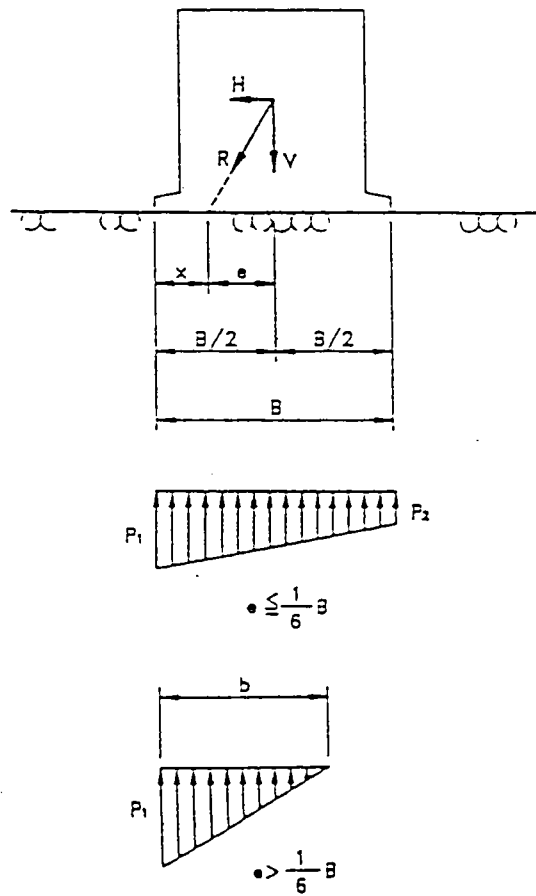


圖 1-2-7 底面反力計算示意圖

式中 S.F.：安全因數，波壓作用時，以 1.2 以上為標準，
以模型試驗能確認直立部之安定時，可小於 1.2。

f：直立部與基礎之摩擦係數

W：作用於直立部之垂直合力(t/m)

P：作用於直立部之水平合力(t/m)

(二)直立部之傾倒檢討

直立部之傾倒安定，須滿足下式

$$S.F. \leq \frac{Wt}{Ph}$$

式中 S.F.：安全因數，波壓作用時，以 1.2 以上為標準，
地震作用時，以 1.1 以上為標準。

W：作用於直立部之垂直合力(t/m)

P：作用於直立部之水平合力(t/m)

t：垂直合力作用力矩長(m)

h：水平合力作用力矩長(m)

(三)基礎承载力檢討

如圖 1-2-7 所示，堤體底面反力以下式計算。

● 偏心距 $e \leq 1/6B$

$$P_1 = \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \frac{V}{B}$$

$$P_2 = \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \frac{V}{B}$$

● 偏心距 $e > 1/6B$

$$P_1 = \frac{2}{3} \times \frac{V}{\left(\frac{B}{2} - e\right)}$$

$$b = 3\left(\frac{B}{2} - e\right)$$

偏心距 e ，由下式計算之

$$e = \frac{B}{2} - x$$

$$x = \frac{M_w - M_h}{V}$$

式中 P_1 : 前端反力 (t/m^2)

P_2 : 後端反力 (t/m^2)

H : 法線方向單位長之水平合力 (t/m)

e : 合力之偏心距 (m)

V : 法線方向單位長之垂直合力 (t/m)

B : 拋石基礎上堤體之寬度 (m)

b : $e > 1/6B$ 時，底面反力分佈寬度 (m)

M_w : 垂直合力對 A 點之力矩 ($t \cdot m/m$)

M_h : 水平合力對 A 點之力矩 ($t \cdot m/m$)

為求得基礎地盤上面之載重分佈，將拋石基礎上面之底面反力分佈，如圖 1-2-8 所示，散播角度取 30° ，此時基礎地盤上面之載重分佈成梯形，其最大應力 $P_1' (t/m^2)$ 可由下式計算。

$$P_1' = \frac{b}{b'} P_1 + \gamma_1' D$$

式中 R : 作用力合力

α : 合力 R 之傾斜角 (度)

e : 合力 R 之偏心距 (m)

γ_1' : 拋石之水中單位體積重量 (t/m^3)

D : 拋石基礎之厚度 (m)

B : 拋石基礎上堤體之寬度 (m)

b : 堤體底面反力分佈寬度 (m)

b' : 基礎地盤上之載重分佈寬度 (m)

$$b' = b + D \{ \tan(30^\circ + \alpha) + \tan(30^\circ - \alpha) \}$$

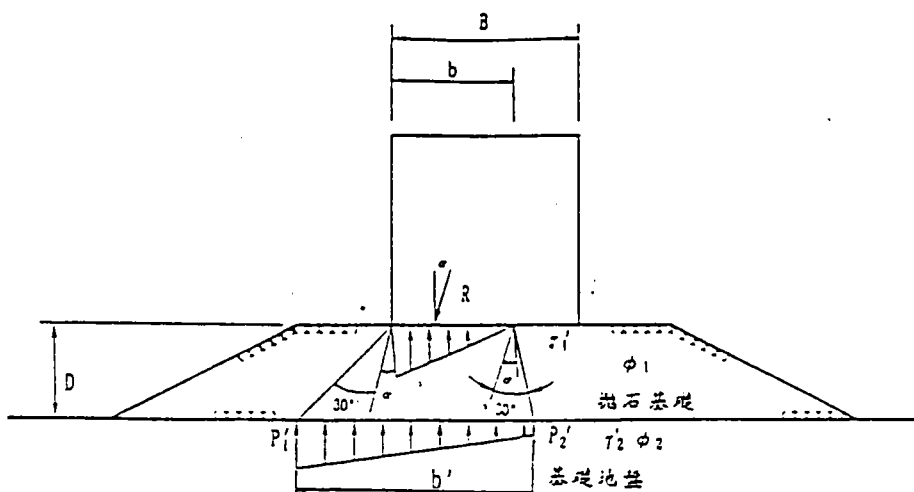
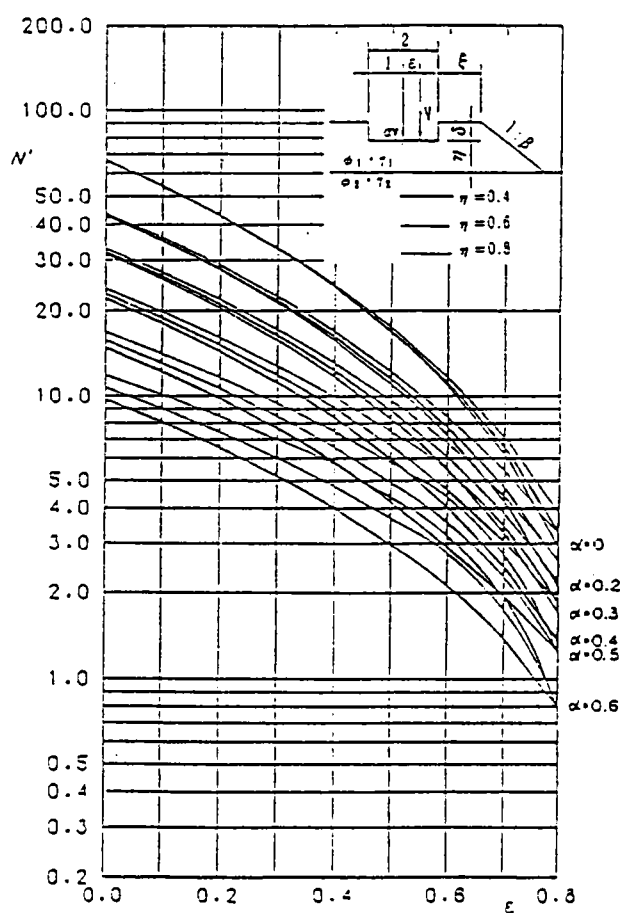


圖 1-2-8 基礎地盤載重分佈示意圖



$\xi = \infty, d = 0$ $B = 1.5\text{m}$ $\alpha = -0.280 - 0.147\alpha - 0.0195\alpha - 0.324\eta + 0.0728\xi + 0.569d$
 $N = N' \cdot (1 - \alpha)$ $B = 2.0\text{m}$ $\alpha = -0.292 - 0.120\alpha - 0.0266\alpha - 0.285\eta + 0.0682\xi + 0.726d$
 $(\phi_1 = 45^\circ, \phi_2 = 45^\circ, \xi = \infty, d = 0, r' = r_1/r_2 = 1)$

圖 1-2-9 片山、內田法承载力係數計算圖

(四)偏心傾斜荷重之檢討

片山・內田將摩擦圓法，擴張至二層地層上設置基礎之情況，並將其做成承载力係數之計算圖表。此法適用於二層地層均為不具凝聚力之均質砂地盤，與無限長之帶狀基礎，其極限承载力以及安全因數，以下式求取。

$$q = \frac{1}{2} N \gamma_1 \beta$$

$$F = \frac{q}{V/B}$$

式中 q ：極限承载力(t/m^2)

γ_1 ：上層地盤之單位體積重量(水中部份為水中單位體積重量)(t/m^3)

B ：基礎寬度(m)

N ：承载力係數(參考圖 1-2-9)

F ：安全因數

片山・內田建議採用此法時，計算碼頭於地震作用時，其採用之內部摩擦角較通常土壓計算所採用之內部摩擦角大 10° 之值，於其它狀況採用大 5° 之值。安全因數在常時及非常時均採 1.0 以上即可。

承载力係數 N 如圖 1-2-9 所示，採用圖表下方之近似式時，安全係數須採用 1.2 以上。

十一、沉箱浮游安定計算

為使沉箱自立浮游時不致有傾覆或傾斜，應進行安定計算。為保持沉箱之安定，依壓艙之有無及壓艙物種類，其應分別滿足下列公式之安定條件。

(一)一般狀況

一般依下列公式計算之。如圖 1-2-10 所示，為安全起

見 $\overline{GM}$ 之值應大於吃水之 5% 以上。

$$\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} > 0$$

式中 V : 排水容量(m^3)

I : 吃水面對長軸之斷面慣性矩(m^4)

C : 浮心(Center of Buoyancy)

G : 重心(Center of Gravity)

M : 傾心(Meta center)

(二) 壓艙物為水之狀況

在壓艙物為水之狀態下拖航時，以下列公式計算之。

$$\frac{I'}{V'}(I' - \Sigma i) - \overline{C'}\overline{G'} > 0$$

式中 i : 各隔間水面平行於沉箱回轉軸中線之斷面慣性矩(m^4)

V' 、 I' 、 C' 、 G' : 加壓艙物時之各值或位置。

(三) 壓艙物為砂、石或混凝土

壓艙物為砂、石或混凝土等時，以下列公式計算之。

$$\frac{I'}{V'} - \overline{C'}\overline{G'} > 0$$

式中 i : 各隔間水面平行於沉箱回轉軸中線之斷面慣性矩(m^4)

V' 、 I' 、 C' 、 G' : 加壓艙物時之各值或位置。

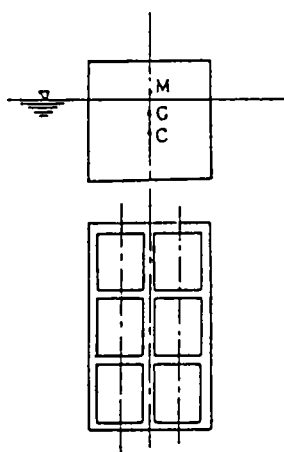


圖 1-2-10 沉箱漂浮穩定

貳、財務規劃基準

一、工程費用估算原則

- 各項工程費用之計算以民國87年物價為估價基準年。其中廠商利潤、保險、管理費、勞安及工程開工後其他必需之施工測量與調查費用以直接工程費之15%計。
- 本計畫如須編列工程預備金時，考慮工程位於港外，所可能面臨之不可預期因素較多，擬以直接成本之15%估算。預備金主要用於支付各種不可預期因素所造成之成本支出，如追加之附屬工程、施工期間不可預期之災損與補償、臨時設施、緊急或變更工程所需之費用。
- 本計畫調查、設計、監造、行政管理等間接費用以下表費率估算(以直接成本加預備金為估算基準)。

工 程 金 額	工程管理費提列標準
500萬元以下部份	5.50%
500至2,500萬元部份	5.00%
2,500至10,000萬元部份	3.50%
超過10,000萬元部份	2.90%

註：台灣省政府八二府主一字第175432號函頒佈標準

二、經濟分析原則

本計畫屬港區公共設施工程，計畫實施後預期可使大型船舶安全進泊台中港，並進一步提昇中小型船舶操航安全度，工程效益主要偏重在無法量化之層面上。而可量化之因子則係因港口擴建改善後所可能吸引之運量，但運量之增加與否非僅單由本工程所能獲致，其涉及因素相當廣泛。故本計畫將僅就可量化且可歸為港務局收益之項目進行定量分析，其餘項目均採定性說明。

第二章 港口二期擴建定案工程計畫

第二章 港口二期擴建定案工程計畫

壹、港口主體設施擴建計畫

一、外廓及水域設施定案擴建計畫

本計畫為確認最適港口擴建方式，分別以波浪繞射數值計算、海流數值計算、遮蔽水工試驗、快速(Fast-Time) 操船模擬、真時(Real-time)操船模擬試驗及漂沙水工試驗等研究工作對九種可能之擴建替選方案進行評估，相關成果請參考相關附冊。依據各研究成果，經權衡港域靜穩及操船安全需要，歷經多次討論，各參與研究成員(領港、船長、航商)及諮詢會議學者專家認為，研定之最佳擴建計畫配置為：北防波堤沿原堤線方向(WNW)延長480m，南外堤拆除93m(四座沉箱)，南內堤拆除50m。本計畫工程平面佈置如圖2-1-1所示，茲將主要工程項目說明如下：

(一) 外廓設施擴建計畫

1. 北防波堤延伸工程

北外堤延伸主要為提供廣闊浪、流靜穩之遮蔽區域，以利 12.5 萬載重噸級散貨輪及第四代貨櫃輪等大型船可在安全的操航環境下順利進港。北防波堤將沿現有堤線方向(WNW)再繼續延建防波堤 480m，防波堤堤址水深位於-20m～-25m 間。

由於防波堤延建將攔阻偏南向浪，並造成波能反射現象，依水工試驗結果顯示將降低港口段水域靜穩。因此，延長之沉箱堤南側將採用消波結構，以消滅波能，減少反射波對船舶進出港之影響。

2. 南外堤拆除工程

為使大型船舶能克服冬季強烈東北季風期風、浪、流

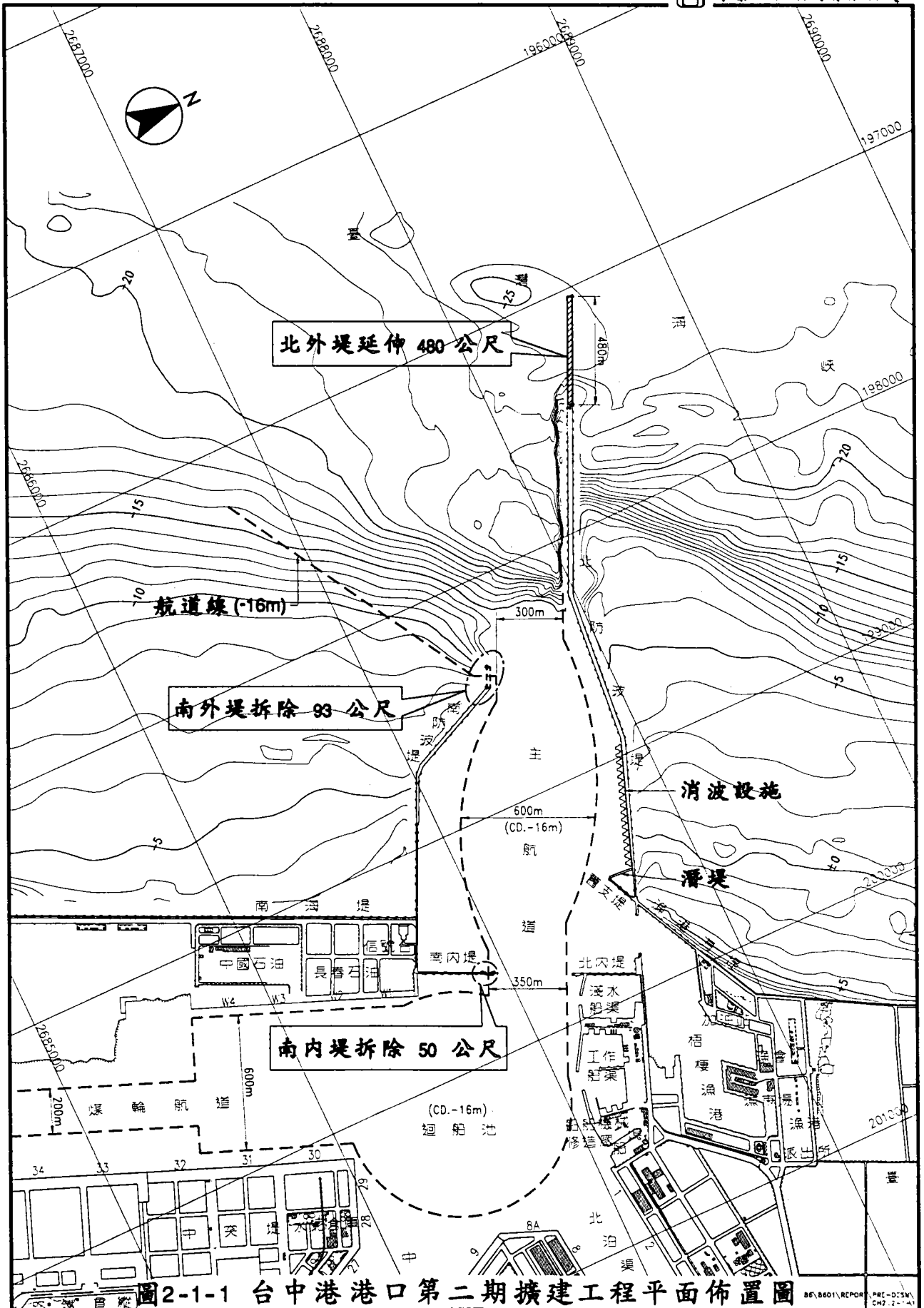


圖2-1-1 台中港港口第二期擴建工程平面佈置圖

86/B601/REPORT PRE-D35N/ CN2.2-1-1

之影響，安全通過外堤口進入港口主航道。依 Real-time 操船試驗驗證結果，南外堤至少須拆除平行主航道之 93m 沉箱堤，以確保船舶在港口前緣順利轉向進港。

該 93m 長堤段結構為沈箱堤，計四座沉箱。拆除後之新堤頭可直接利用原有堤體，但須於新堤頭外側進行堤頭保護設施。

3. 南內堤拆除工程

配合大型船安全航行需要，依操船試驗驗證結果，南內堤須拆除堤頭之 50m 堤段，以拓寬內堤口處航道寬度，其中包括 36m 長之沉箱段(二座沉箱)及 14m 長拋石段。拆除後剩餘之堤段結構均為拋石堤，基於堤體穩定考量，必須重建新堤頭。

4. 水域靜穩度改善工程

(1) 漁港港口設置消波潛堤

本案依平面遮蔽水工模型試驗結果，建議於漁港港口防波堤與北外堤間設置一消波潛堤、以消減南向波浪經北防波堤引導侵入港內波能。

(2) 主航道兩側加拋消波塊

台中港早期興建之南、北外堤內側皆為沉箱直立岸壁，當侵入港口主航道之波能受到兩側直立壁之反射，海面將呈現盪漾紊亂現象。為消減此侵入波能，惟有將航道北側沉箱垂直壁前緣加拋消波塊，以化解波浪反射之作用。

依平面遮蔽水工模型試驗結果，在北外堤航道側設置消波突堤，以及在南、北外堤航道側加拋消波塊將可消減部份侵入港內波能。

前述北防波堤內側增設之消波突堤可改善西南側波

浪作用於沉箱堤體所造成導浪現象。該突堤位置雖在航道範圍外，但依 Real-time 操船試驗結果，進港船舶如操作不當，極可能發生接近航道北側邊界現象，此突堤設置更加構成領港心理之威脅。突堤消波塊如受波浪作用滑落航道水域，亦將威脅船隻航行安全。故本計畫建議此突堤暫勿設置。

另於主航道兩側加拋消波塊，對消減侵入波能將有正面功效，本案建議在漁港港口拋石堤與北外堤間消波塊潛堤先行施作。另既有北防波堤沉箱段直接面對西南側波浪作用，擬將靠近內堤口之 500m 沉箱段內側加拋消波塊，以減輕直立堤體反射波浪對港內靜穩度之影響。而南外堤段大部份為斜坡拋石堤，波浪反射現象遠較北外堤輕微，未來將視本計畫經費結餘狀況或考量利用既有回收消波塊，逐年構築消波設施，進一步加強該堤段岸壁消波功能。

(3) 碼頭區改善

依水工模型試驗結果，在颱風及暴潮期間，受波浪侵襲時，8A 碼頭前緣將產生越波現象，此災害在現狀佈置即已存在。港口擴建後，8A 碼頭前緣波高將略為增加，在暴潮期間仍可能發生越波現象。

民國 85 年賀伯颱風產生 6.48m 暴潮位時致使碼頭區淹水之現象，其發生機率相當低，且此為港區現有大部份碼頭之共同問題。建議將來港內各碼頭區及其後線設施之排水系統全面進行檢討評估，並定期實施清淤維護工作。

(二) 水域設施擴建計畫

1. 港口航道及錨泊區水域規劃

為建立船舶進出港口秩序，本案完成港口擴建後，港口、航道及錨泊區水域規劃如圖 2-1-2 所示。茲分別說明如下：

(1) 航道水域

原佈置為自南外堤燈塔 240(T)方位，至北外堤間水域為船隻進出港之航道水域。本計畫將配合南外堤拆除 93m，上述航道水域陸側 240(T)方位邊界線將向陸側平移，在此邊界線所劃定航道水域將浚挖至 CD.-16m 之航道水深，以滿足計畫船舶航行吃水需求。

(2) 航道水域劃分

本案北外廓防波堤延建後，港外航行水域仍採分道航行制，以確保航行安全。進港與出港航道水域劃分仍維持原規劃，其分隔區三點之連線為：

G 點：LAT.24°-17'-44"N LONG.120°-28'-29"E

H 點：LAT.24°-17'-53"N LONG.120°-27'-40"E

I 點：LAT.24°-17'-18"N LONG.120°-27'-40"E

出港航路：出港船航行於分隔區之北邊航道，航向 294(T)出港。

進港航路：進港船航行於分隔區之南邊航道，航向 060(T)出港。

(3) 船舶備便區

船舶備便區仍維持原規劃，在距離拆除後之南防波堤燈塔西南西方位 080(T)2.5~3.0 哩處，為進港船備便區。進港船守聽 VHF14.16 儘可能漂流，不能拋錨隨時備便等候進港。

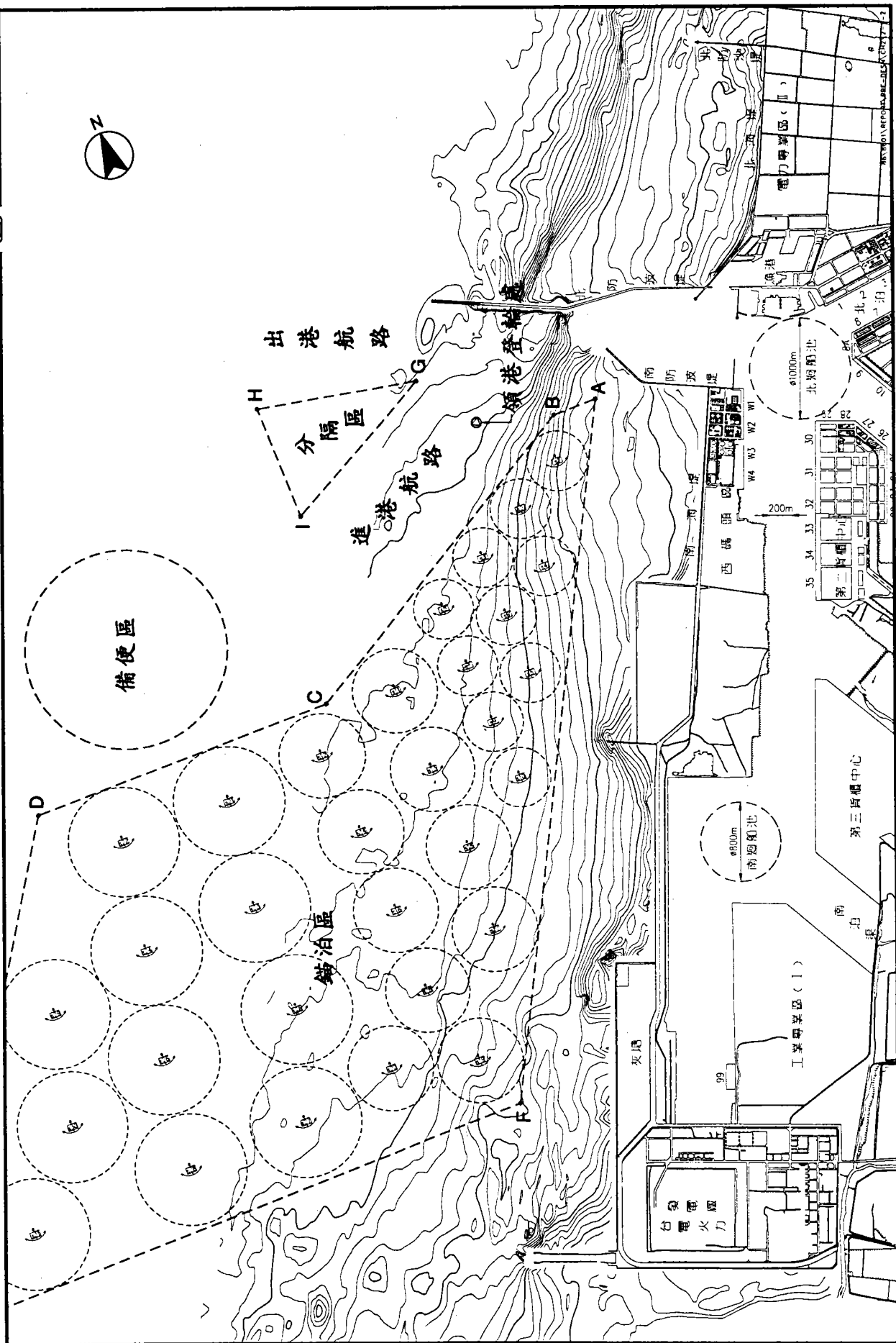


圖 2-1-2 台中港港口航道及錨泊區規劃圖

(4) 領港登輪位置

台中港原領港登輪位置為距南外堤燈塔西南西方約 0.5 哩處。將來北防波堤延長後，建議登輪位置自原地點朝向 240(T) 方位遷移 500m，以期領港登輪後有較大緩衝空間迴旋進港。

就本計畫擬進泊之第四代貨櫃輪及 12.5 萬噸散貨輪而言，領港如在上述地點登輪距港口航線距離約 1,700m，如船舶以 6 節航速進港，則進港船舶自接引領港至進入港口時間僅約 9.3 分鐘，在此短暫時間領港需立即掌握船舶操縱特性，指揮拖船帶纜，並將船舶轉向進港，時間十分緊迫。如稍有意外將肇致危險。

為確保大型船舶進港安全，本計畫建議領港仍應前往備便區登輪。備便區為一直徑約 1,800m 之開闊水域，大型船舶較有可能調整船向，利用船體遮擋風浪(making a lee)，便利領港登輪。

(5) 錨泊區

港口第二期擴建完成後，錨泊區之位置基本上與目前規劃範圍仍為一致，約位於南防波堤西南方 1~3 哩處，A~F 之連線，各點之經緯度如下。上述邊界線為配合南外堤拆除，擴大進港航道寬度，B、C 二點較原規劃略向陸側平移。

A 點：LAT.24°-17'-17"N LONG.120°-29'-21"E

B 點：LAT.24°-17'-17"N LONG.120°-29'-05"E

C 點：LAT.24°-16'-24"N LONG.120°-27'-28"E

D 點：LAT.24°-16'-24"N LONG.120°-25'-50"E

E 點：LAT.24°-14'-06"N LONG.120°-25'-21"E

F 點：LAT.24°-14'-06"N LONG.120°-27'-30"E

錨泊區範圍略為修定後，小型船隻錨地將需配合調整。另將來 A~D 點連線以北水域為禁止錨泊區，船隻

不得在此錨泊或停留，以保持航道暢通，確保船舶安全。

2. 港口航道水域浚深拓寬工程

(1) 航道浚挖水深

台中港目前港口主航道寬約 300m，水深 CD.-13.0～-14.5m，為配合港口二期擴建計畫，必須配合浚深拓寬航道。12.5 萬 DWT 散貨輪所需航道深度建議為 -18.0m；4,000TEU 第四代貨櫃輪所需航道深度為 -14.5m。

本計畫如擬 12.5 萬 DWT 散貨輪在任何時間均可進港，則除港口主航道外，南、北迴船池、南北向主航道、工業泊渠均需全面浚深至 CD.-18m。以此水深估算，將需浚挖土方量達 4,350 萬 m^3 。所需浚深工程費約新台幣 35 億元。

依港務局另案辦理之「台中港港池泊渠浚深及圍堤造地規劃」之研究建議，台中港近期將先行闢建南填方區(I)，以收容航道、港渠及碼頭浚挖所產生土方。該填方區可收容土方量約 3,105 萬 m^3 ，本計畫如擬將航道全面浚挖至 CD.-18m，則將面臨填區容量不足之困難。

本計畫如將航道浚深至 CD.-16.0m，則前述 12.5 萬 DWT 散貨輪必須候 2.0m 之潮水，方可航行進港。目前靠泊工業泊渠船舶自備便區起錨進港至完成靠泊碼頭，所需航行時間約 1.5 小時。台中港平均水位約 CD.+2.86m，每日約有兩次潮水水位高於 CD.+2.0m 時段，每次時段持續約 6.5 小時。以台電及桂裕公司計畫進口大宗散貨如全部以 12.5 萬 DWT 散貨輪載運，約每隔三天方有一艘大型散貨輪進泊，該型船仍需略候潮，並選擇白天高水位時段靠泊工業港渠。

故本計畫基於工程經濟性、浚深土方處理之考量，建議航道水深仍以浚挖至 CD.-16.0m 為宜。12.5 萬 DWT 散貨輪以候潮，或限制水尺方式進港裝卸。

(2) 航道浚深拓寬範圍

配合 12.5 萬載重噸級散貨輪及第四代貨櫃輪航行需要，內、外港口段主航道水域、北迴船池及港內主航道水域將浚深至 CD.-16m，並進行必要之拓寬。浚挖範圍配置詳圖 2-1-3。各浚挖水域說明如下：

A. 港外航道(含登輪區)

為避免 4,000TEU 貨櫃輪及 12.5 萬 DWT 散貨輪在進港口時受強風壓制而有偏向陸側之虞。台中港在南外防波堤新設堤頭燈塔 240(T)方位邊界至北外堤間水域均浚深至-16m，以增加大型船操航緩衝空間。

B. 港口段主航道

為使大型船進入港口段主航道後，擁有較充裕之空間以因應強風吹襲，港口段主航道將配合南內、外堤之拆除拓寬為 300m~600m，航道形狀呈近似橢圓形，水深均浚深至 CD.-16m。

C. 北迴船池

北迴船池仍維持直徑 1,000m，水深浚深至-16m。

D. 北迴船池與港內南北向主航道銜接段

依操船模擬結果顯示，大型船為克服垂直航向之風壓影響，必須採較高速度在港口段航行，但相對進入迴船池後所餘停船距離嚴重不足。故基於安全考量，必須在通過內堤口後，將船轉向駛往北迴船池與港內南北向主航道間水域。

基此，本計畫將北迴船池與 W1~W4 碼頭以及 30~32 號碼頭間，扣除兩側 50m 寬船席空間後之 600m 寬水域一併浚深至-16m，作為船舶航行應變空間。



二、導助航設施改善計畫

台中港現有導航燈標包括燈塔臺座、燈塔雷達標杆臺座、堤頭燈桿八座，前導燈、後導燈各壹，信號台壹座，各燈標位置如圖2-1-4所示。為配合港口擴建計畫，導航設施需配合遷建或新建設施如下：

(一) 堤頭燈杆(標)新建工程

本計畫將北防波堤、南外堤及南內堤分別進行延建及拆除後，新堤頭位置已改變，舊有之堤頭燈杆(標)設施必須予以拆除改建。

1. 北防波堤堤頭燈杆新建工程

北防波堤舊堤頭燈杆公稱光程原為 11.3 哩，於港口第一期擴建工程延伸 850m 後，考量燈杆承受之波力及進港船隻辨識需求，其改建後之堤頭燈杆仍採用原燈杆結構設計型式，但公稱光程提高為 16 哩。

本計畫再將北防波堤延建後，新堤頭僅自現有堤頭朝 WNW 方向延建 480m，衡量延建後堤頭位置及堤前波浪規模大小均與現有堤頭差異不大，新堤頭燈杆仍依原有設計型式進行重建，舊堤頭燈杆設施則予以拆除。新堤頭燈質、公稱光程(16 哩)等均沿用既有規格，燈具設施可直接自舊堤頭拆除後移用。

2. 南內、外堤新堤頭燈杆新建工程

南內、外堤堤頭導航燈之設置，同樣基於拆除規模不大，新舊堤頭位置差距不大，故新建堤頭燈杆可採用原設計型式之燈杆改建。新堤頭燈質、公稱光程等均沿用既有規格，燈具設施可直接自舊堤頭拆除後移用。

浮燈標及航通控制點作標

NO.	N	E	NO.	N	E
①	2685187.420	199633.114	⑩	2681443.243	196687.180
②	2685282.855	199391.263	⑪	2680876.127	196942.907
③	2684674.278	199430.629	⑫	2680775.861	196924.566
④	2684256.570	198986.291	⑬	2680001.656	196619.066
⑤	2683572.602	198995.908	P1	2681842.106	197184.405
⑥	2683230.286	198581.320	P2	2682390.552	197873.804
⑦	2682984.069	198763.673	P3	2682987.640	198625.327
⑧	2682709.774	198114.838	P4	2681963.979	197498.066
⑨	2682461.748	198267.417	P5	2682865.927	198311.380
⑩	2682703.623	197824.833	P6	2680923.845	196821.981
⑪	2682077.367	198122.631	P7	2685235.138	199512.189
⑫	2682305.150	197482.426	P8	2682227.755	197508.431
⑬	2682071.219	197652.917	P9	2682553.181	198239.251
⑭	2681903.912	197101.211	P10	2682926.001	198708.512
⑮	2681495.783	197187.422			

量標基本資料

NO.	量標距離	量標方位	量標高程(預定)
X1	LM7至LM2:100M,LM8至P3:350M	N21°32'03"E	EL.+30.0M
X2	LM1至LM2:100M,LM2至P3:370M	N51°31'13"E	EL.+20.0M
X3	LM3至LM4:200M,LM4至P6:300M	N21°32'03"E	EL.+20.0M
X4	LM5至LM6:100M,LM6至P7:270M	N51°31'13"E	EL.+20.0M
X5	LM9至LM10:500M,LM10至P7:300M	N21°32'03"E	EL.+30.0M

註: NO.①~⑮為航通浮燈標設置位置, NO.⑩、⑪、⑫為警告浮燈標設置位置,
P1~P7為航通控制點, X1~X5為量標設置方向。

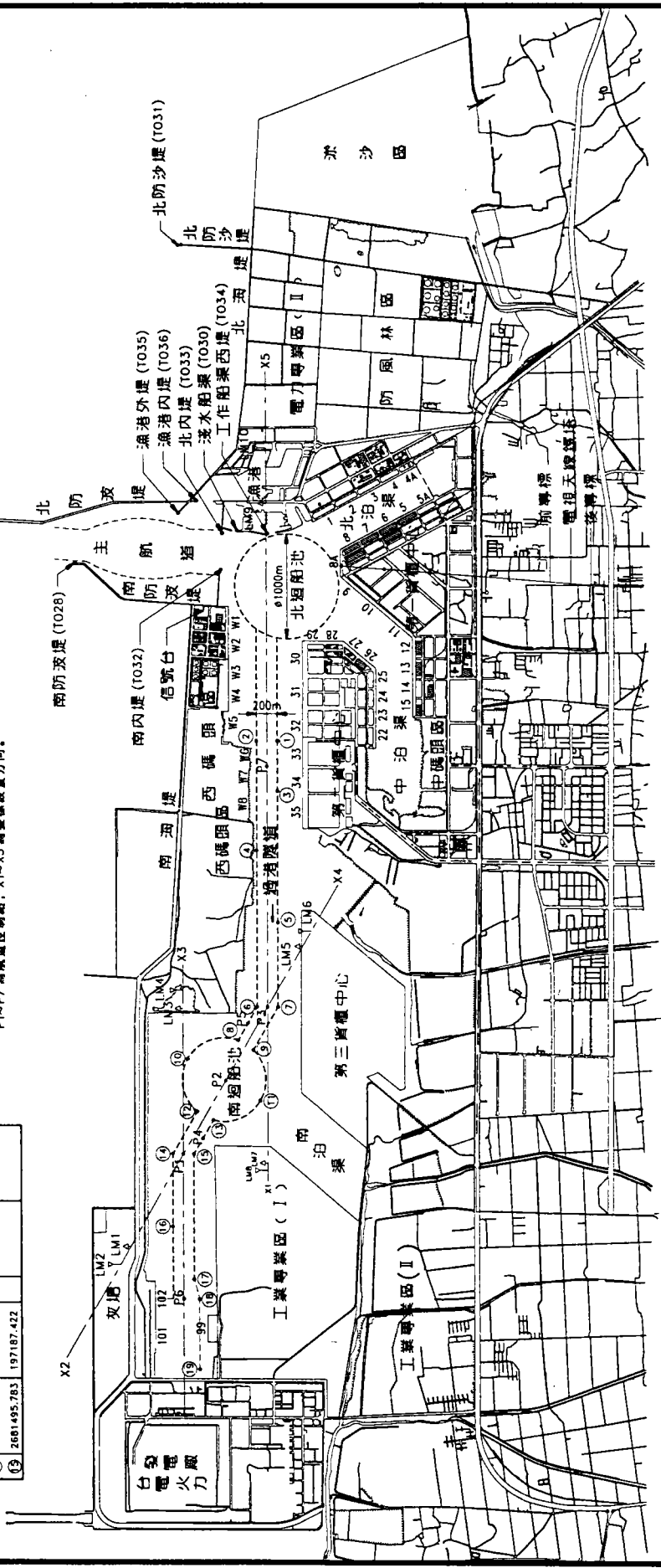


圖2-1-4 台中港現有燈塔及導航設施位置圖

(二) 導向燈標新建工程

台中港為標示進港航向，目前在北突堤碼頭區設置前導燈、後導燈各一座，以標示 110° (T) 進港航向。惟該二導燈標高度不足，領港多次反應標示不清，故港務局已計畫另案於前導燈裝設導向燈標(Sector light)乙座。

本計畫為提供船舶循 060(T) 航向進港時，可明確標示正確航向位置，建議在原一期擴建前舊有北外堤堤頭增設一導向燈標，以提供領港及船長辨識航向之參考，其位置如圖 2-1-5 所示。

台中港 060 進港航路寬約 1,250m，在此範圍內船舶進出港操航安全上皆無顧慮。此導向燈標設置目的僅在為提供領港一參考標線，將來大型船舶進港時，航行路線建議仍以本導向燈標為中心，選擇略偏西(海)側之 060~065 航向，以縮小進港前船舶迴轉角度，轉向半徑亦可加大。中、小型船舶可考量略偏東(陸)側之 055~060 航向，此航向船舶進港迴轉角度將加大，但可增加船舶通過遮蔽區距離，有助於領港提早登輪，使領港有較長時間指揮船舶轉向進港。

(三) 主航道夜間照明設施工程

台中港港口主航道兩側皆為防波堤設施，在月色昏暗夜晚，航道兩側一片漆黑，在進出港船舶上僅可見南北內、外防波堤頭四座堤頭燈標，對領港心理造成極大威脅。故領港多次反應希望加強航道夜間照明設施。

為提高夜航安全性，以期更多船舶利用夜間進出港口。將來可考慮在一期擴建前原有南、北外防波堤兩側胸牆，每隔約 30m 埋設一照明燈具，以標示防波堤位置。

為供應防波堤照明燈具所需電力，必須在南、北防波堤佈設電纜線。惟通過沉箱間隙之電纜極易遭受颱風波浪損壞。故將來應先設計妥善安全之電纜保護設施，再考慮增設主航道夜間照明設施。

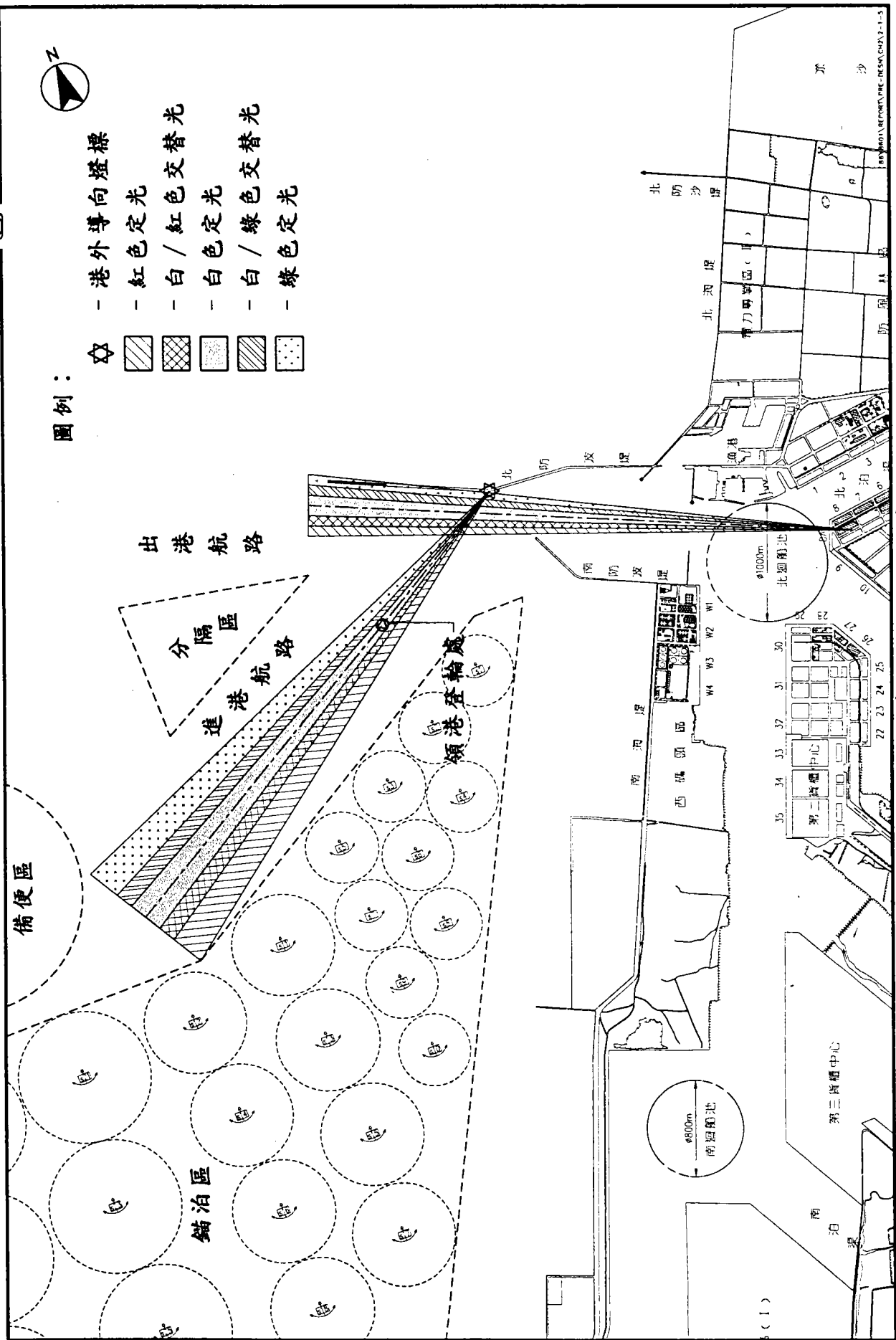


圖2-1-5 台中港導向燈標標示範圍圖

貳、拖船輔助作業改善計畫

一、拖船輔助作業需求

(一) 護衛船舶進港

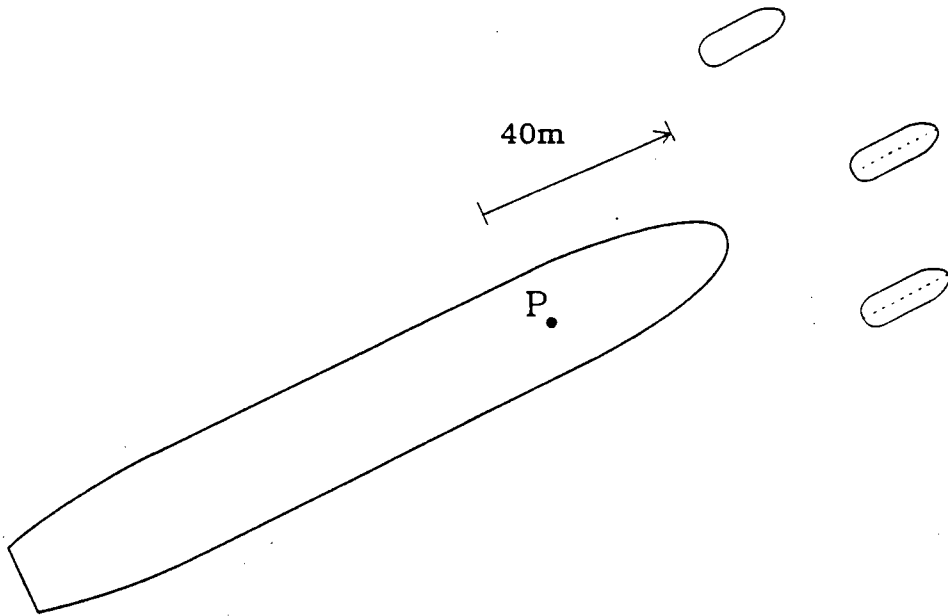
本計畫操船模擬試驗中，雖使用二艘 4000HP 拖船及二艘 3000HP 馬力拖船協助。但領港為保守起見，在實際進港操船試驗過程中，拖船暫停靠在西碼頭區備便，試驗船舶多在無拖船協助下，僅靠船舶自身動力抵抗風、浪、流作用進出港口。當進港船舶進入迴船池後，如仍無法安全停車或轉向進入內港主航道，方考慮利用拖船協助，修正調整船向。

依操船試驗結果，領港雖認為在無拖船協助下，計畫進泊之大型船舶仍可能在惡劣天候進港。但初期尚未累積足夠進出港操航實際經驗，航商或事業單位所屬船舶在惡劣海氣象條件下，無拖船協助進港仍缺乏信心。故建議本計畫完成後，計畫進港之大型船舶仍應配備護衛拖船，以備在緊急狀況提供必要之協助。

由於計畫船舶進港時，船隻仍保有相當動力，護衛拖船目的僅為增加船舶舵效，穩定進港航向。通常船舶在前進航行時，船舶轉向軸心(ship's pivot point)約距船艏 1/4 船長處。傳統推頂式拖船實施護衛航行如圖 2-2-1(a)繫船艏拖纜，假設以一艘 20t 拖力(bollard pull)拖船協助一艘 160m 長船隻轉向，所能提供力矩約為 $800\text{t}\cdot\text{m}(40\text{m}\times 20\text{tones}=800\text{t}\cdot\text{m})$ 。

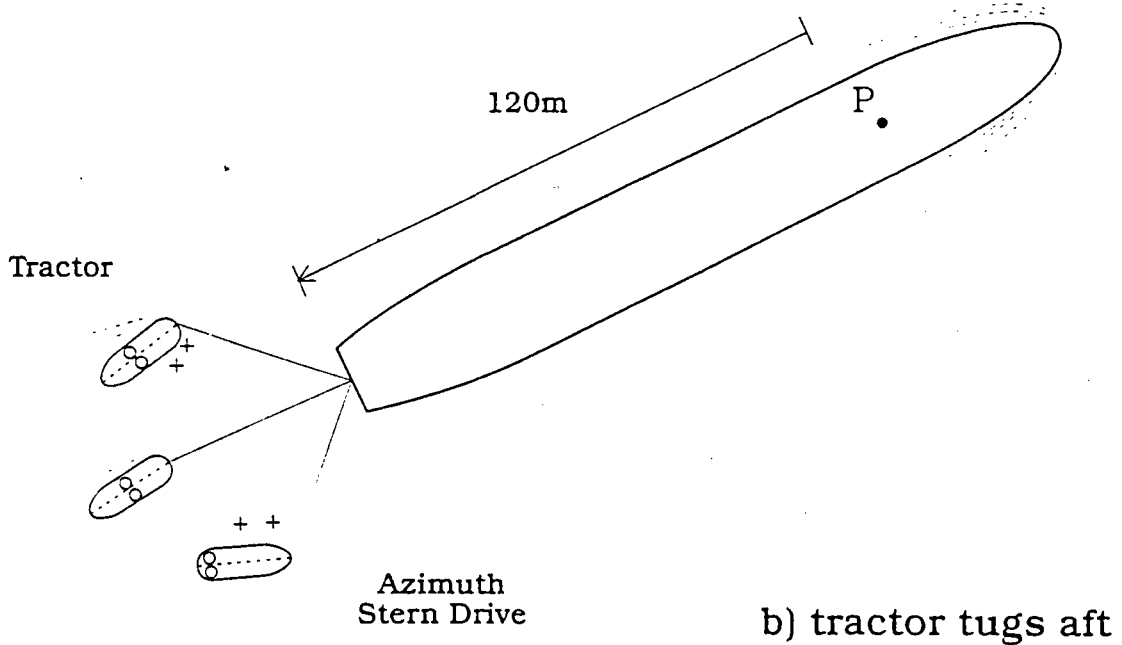
而拖拉式拖船(tractor)作護衛航行，則採如圖 2-2-1(b)繫上船艉纜，以前述拖力拖船所能提供之力矩約為 $2400\text{t}\cdot\text{m}(120\text{m}\times 20\text{tones}=2400\text{t}\cdot\text{m})$ ，約為傳統拖船之三倍。

傳統拖船在實施帶船艏纜時，船隻必須減速，否則拖船有被吸引，而與進港船發生碰撞之危險；而拖拉式拖船繫船



a) conventional tug forward

圖 2-2-1(a) 船艙拖纜作業圖



b) tractor tugs aft

圖 2-2-1(b) 船艙拖纜作業圖

資料來源：THE SHIP HANDLER'S GUIDE

艀纜較無上述困難。故將來為實施船舶進港護衛航行，拖拉式拖船將為必備之輔助設施。

由於計畫船舶進港時，船隻仍保有相當動力，護衛拖船僅為增加船舶舵效，穩定進港航向。於本計畫進行操船模擬試驗時，雖以二艘 4000HP 拖船及二艘 3,000HP 拖船進行試驗。但依試驗結果顯示，船舶進港操縱穩定性仍有待提高，故丹麥 DMI 試驗單位建議，台中港如擬在惡劣天候下，仍能滿足大型貨櫃船進出港口及靠離碼頭作業需求，可考量採用更大型之拖船協助，以增加船舶操縱性能。

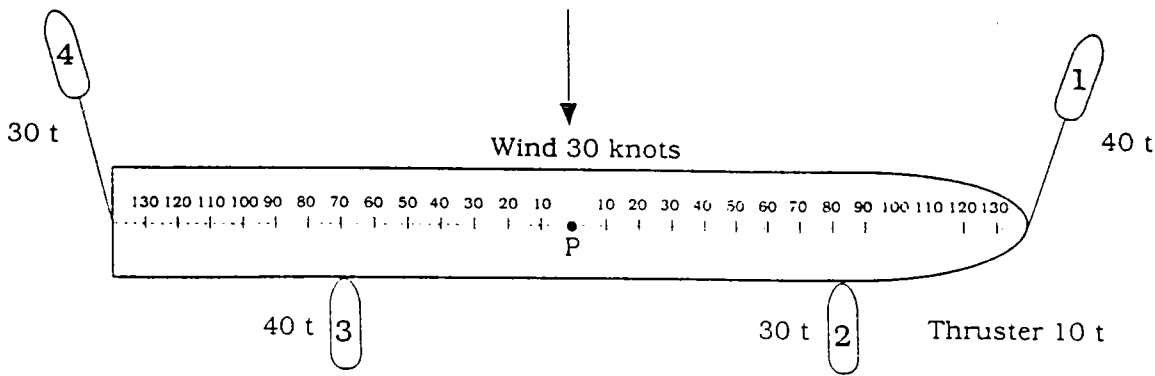
(二) 協助船舶靠離碼頭

當船舶準備靠離碼頭時，船隻接近靜止狀態無法產生舵效。當強風垂直作用於船體時，拖船拖力應大於強風作用力，方可安全操縱船舶。如以一艘長 280m 之第四代貨櫃輪為例，其出水高(free board)約 25m，受風面積約 7000m²，則在不同風速作用下，船體所承受之風力估計如下：

風速 15m/sec	船體受風力 88T
風速 18m/sec	船體受風力 119T
風速 20m/sec	船體受風力 156T

以操船試驗中所配備 2 艘 4,000HP 拖船及 2 艘 3,000HP 拖船協助靠離碼頭作業，拖船與風力作用力計算如表 2-2-1 所示。由此表計畫結果可知，在風速 15m/sec 作用時，上述拖船配置勉強可保有足夠力量操縱船舶。但如風速達到 20m/sec 以上時，上述拖船全部出力，僅能保持船舶抵抗橫風作用，維持靜止狀態，無法有效操控船舶。故將來第四代大型貨櫃輪確實計畫進泊台中港，必需考量使用更大型拖船，以協助貨櫃船在強風下仍可靠離碼頭。

表 2-2-1 4000TEU 貨櫃船風速 30 節所需拖船拖力計算表



	作用力(t)		力臂(m)		力矩(tm)	
	右舷	左舷	船艏	船艉	右舷	左舷
風力	0	88	0	0	0	0
#1 拖船	40	0	140	0	5600	0
船艏側力	10	0	115	0	1150	0
#2 拖船	30	0	85	0	2550	0
#3 拖船	40	0	0	70	0	2800
#4 拖船	30	0	0	140	0	4200
合計	150	88			9300	7000

(三) 載送領港登輪

本計畫北防波堤延長後，雖擴大了遮蔽區範圍，領港登輪位置亦可更加遠離港口。但如前節所述，本案計畫進港船舶如航至預定登輪地點接引領港，領港登輪後至港口時間十分短暫，在此短時間內如領港無法立即掌握船舶操縱特性，則進港船舶仍將具有潛在危險。為確保第四代大型貨櫃輪及

12.5 萬 DWT 散貨輪進港安全，本計畫建議領港仍應配合該大型船舶，前往備便區登輪。

領港乘座小型交通船如冒八級風浪出海前往備便區，航行過程將十分艱辛，小型交通船易受海浪起伏顛簸，登輪較為困難。如改利用拖船載送領港，拖船在外海航行之穩定性亦較交通船為佳，拖船相對大船運動量亦較交通船為小。利用拖船載送領港，較能提高領港登輪安全性。

惟實施拖船載送領港，拖船操縱性能必須十分靈活，當領港攀爬上繩梯後，拖船應即刻駛離，否則將發生夾傷領港之意外事件。

二、船舶進港及拖船輔助作業程序

(一) 拖船輔助作業程序

1. 巴拿馬極限型以下船舶

本案港口二期擴建完成後，巴拿馬極限型以下之中、小型船舶進港安全將更有效提升。在海況平靜時，船舶在領港引導下，多能利用船舶自有動力進入港口，拖船功能主要在港內協助靠離碼頭作業。

如海況惡劣時，可考慮將拖船駛出港口，暫於防波堤下風側備便，當進港船舶進入遮蔽區後，拖船再前往帶纜協助船舶進港。

2. 超巴拿馬極限型船舶

台中港完成港口第二期擴建工程計畫後，計畫進泊第四代貨櫃輪及 12.5 萬 DWT 級散貨輪。在天候條件不惡劣時，建議利用拖船協助載送領港、護衛進港、以及靠離碼頭。

在天候海況惡劣時，需要 4,000HP 以上拖船二艘，搭

配二艘 3,000HP 拖船協助船舶進港作業。大型船舶進港時，建議先派遣一艘 4,000HP 馬力以上，操縱性能良好之大型拖船載送領港出海登輪。領港登輪後，該艘拖船先行拖帶進港船舶船艀纜，護衛該船一同進港。在航行過程中，如無法穩定航向時，護衛拖船再提供必要協助。

其餘三艘拖船視天候狀況，可在港口外遮蔽區備便，當進港船舶進入遮蔽區，船速減緩後，另一艘大馬力拖船前往帶船艀纜，其餘二艘輔助拖船帶上前、後右舷纜，以協助靠泊碼頭作業。

三、新購拖船性能建議

本計畫為因應未來進泊大型船舶操航安全之需求，使用大型拖拉式拖船(tractor)將為必要之輔助設備。目前港務局所擁有之兩艘3400HP拖船(Z-Driver(Schottel) Tractor Tug)，屬SRP拖船之一種，其操縱性能靈活度不足。該拖船配備之42mm鋼纜重量過大，並不適外海帶纜作業，以致船上所裝設之纜勾(Towing Winch)未能發揮用途。目前該船仍以協助船舶靠離碼頭為主，從未實施外海帶纜護衛航行作業。

台航公司經營之兩艘3400HP拖船(Z-Driver (Aqua Master))亦屬SRP拖船之一種。本拖船船體設計在推進器部份為凹入船體方式，最大航速9.5節，該船使用38mm鋼纜，亦不適合在惡劣天候出海實施帶纜作業。

目前國內較成功適合作為海上帶纜作業之拖拉式拖船，皆使用VSP推進器。本型拖船在國內已有13艘(10艘已建造完成，3艘建造中)，主要使用單位為中油公司、台塑公司、台泥公司等公營事業單位。惟該設備為德國專利產品。以目前台中港拖船仍維持公營方式，在政府採購制度限制下，採用世界專利產品之行政困難度仍高。故將來唯有拖船民營化後，民間較有可能配合港

埠營運需要，購置高性能之VSP拖船。

台中港完成港口二期擴建後，近期較迫切需要進泊大型船舶之單位為台電及桂裕公司。在港務局尚無法提供高性能拖船協助進港之條件下，建議該兩家公司自行規劃所需要拖船設施。該計畫進港之大型船舶必須自備拖船出海載送領港，並在外海繫纜實施護衛航行後，港務局再同意該二公司使用12.5萬DWT散貨輪進港卸貨。

未來台中港拖船業務民營化後，如貨櫃航運公司確定使用第四代大型貨櫃輪進泊台中港，民營拖船公司較可能配合貨櫃船作業需求，增購大馬力高性能之拖船協助營運。未來增購拖船性能建議如下：

1. 拖拉式拖船，前置式推進器系統，船體設計需可靠、實用之成品船型為標準。
2. 馬力必須 4,000HP 以上，拖力(bollard pull)40~50T。
3. 航速 12 節以上。
4. 纜勾(Towing Winch)與拖纜應採用適合外海惡劣天候拖航設計。
5. 良好靈活拖船操控性，及全方位駕駛台操船視野。
6. 備有便利之領港登輪平台及(或)傾斜網狀登輪索。

四、拖船外海帶纜作業要求

(一) 拖船拖纜材質建議

台中港目前拖船多配備鋼纜，惟在外海拖帶纜作業時，重量過大，延展性不足，在海況惡劣時拖帶纜操作不易，且易發生斷裂之危險。一般適應海上作業 Tractor 拖船所使用之拖纜主要分為主纜繩及引繩兩段，其材質建議如下：

1.主纜繩

主拖纜一般工作長約 120m，兩端各有一直徑 1.5m 纜繩套孔。其材質一般可選用以下二者：

(1)12 股 Polyester 80mm 纜繩

本纜繩平均強度 140ton，最小斷裂強度 126ton，相對密度 1.38。此纜繩耐用性較後者略差，但損壞時可作現場維修。

(2)Superline Circular Braided Polyester 纜繩

本纜繩平均強度 168ton，最小斷裂強度 153ton。耐用性較前者優，但纜繩損壞時無法維修。

2.引繩

引繩工作長 20m，全長 40m，成圓圈狀兩端連結。其材質為 Dyneema 或 Spectra Fiber，均可浮於水面。其規格為 12 股 48mm，平均強度 160ton，最小斷裂強度 145ton，重量每 100m 不超過 145kg。

上述引繩最重要特點為具有浮水性，其重量僅有傳統鋼纜之 20%，但強度卻比鋼纜強 1.5 倍。可避免目前使用之尼龍纜繩或鋼纜落水沉沒後，意外捲入拖船或商船推進器，將造成重大損失之危險。

(二)拖船外海帶纜作業

在外海風浪惡劣時，拖船如擬前往外海帶纜作業，仍需要利用大船遮擋風浪(making a lee)，以便拖船在下風側實施帶纜，通常外海波浪達 3~4m 時，如大船配合良好，船艉下風側波浪可能僅約 1m 左右，仍有可能實施帶纜作業。

一般帶纜作業時，為先自大船放下一細繩，拖船靠近大船後，水手將細繩繫上拖船引繩後，再由大船水手將拖船纜

繩拉上。圖 2-2-2 示拖船帶纜作業一景。

如風浪惡劣，拖船無法靠近大船時，則可考慮利用繩槍，由拖船將細繩射向大船後，再帶上拖船引繩。

五、拖船領港登輪梯

未來新購拖船必須具備載送領港登輪之需求，目前拖船用登輪梯多設於船舶中間之欄杆外側，其底部為格柵板，頂部設扶手，以便利領港攀爬上船。圖 2-2-3 示該登輪梯設置之案例。

參、其他輔助設施

一、增設減風設施計畫

前述擴建港口、拖船輔助進港等措施，皆為抵抗自然環境對台中港發展之限制。長期而言，港務局更應積極設法改善港口附近海岸自然環境，降低風力對船舶進出港操船之影響。

台中港港口附近海岸自然環境之改善，非短期內可達成。目前較可行措施，建議先整治北側漂飛沙區，設置人工沙丘及防風林等設施。將來如確定大型貨櫃輪擬彎靠台中港後，再考量設置擋風牆設施，以降低風力對船舶進出港之影響。

(一) 北側漂飛沙整治區沙丘及防風林

港務局為減緩漂飛沙對商漁港區之危害，於民國 86 年提出「台中港北側淤沙區第二期整治工程計畫」，該計畫擬在漁港北側構築臨時海堤，以人工方式加速將淤沙區淺灘填築成高程約 CD.+7.0m，面積約 39.3 公頃新生地(詳圖 2-3-1)。本區土地填築完成後，地表將栽植防風林，以抵擋強風

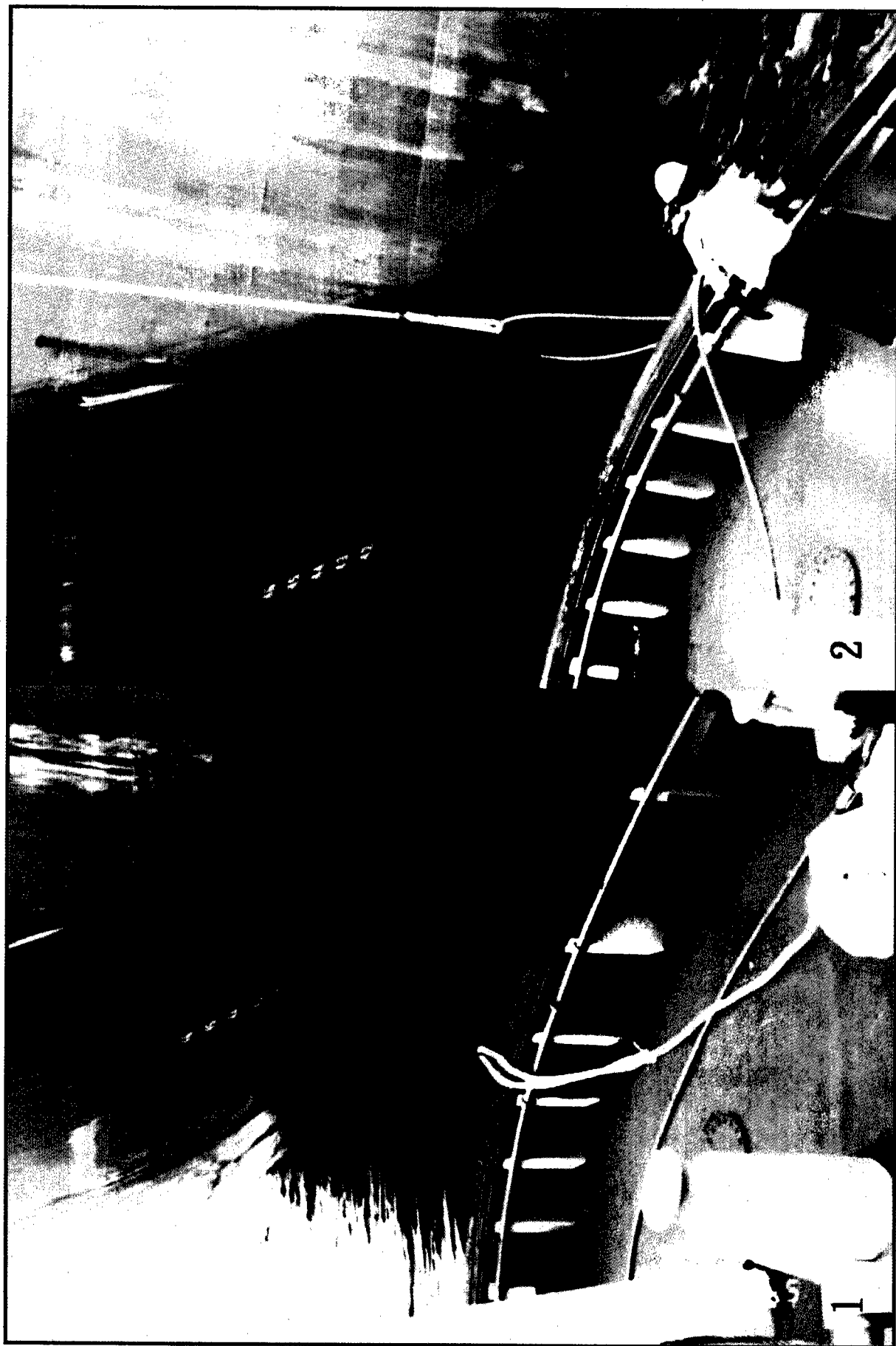


圖2-2-2 拖船外海帶纜作業一景

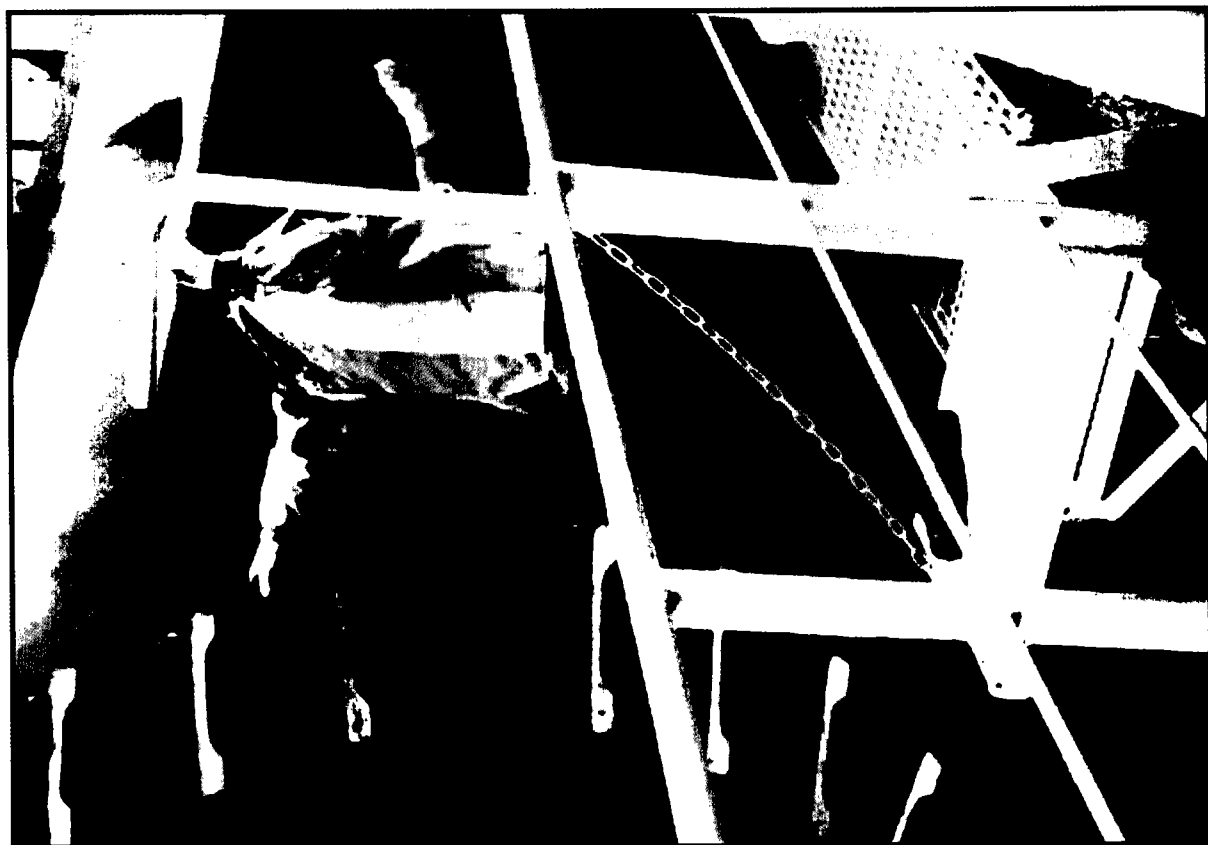


圖2-2-3 拖船載送領港一景

圖例：

- 填區範圍 (填至 CD. +7m)
- 浚挖範圍
- 新建海堤

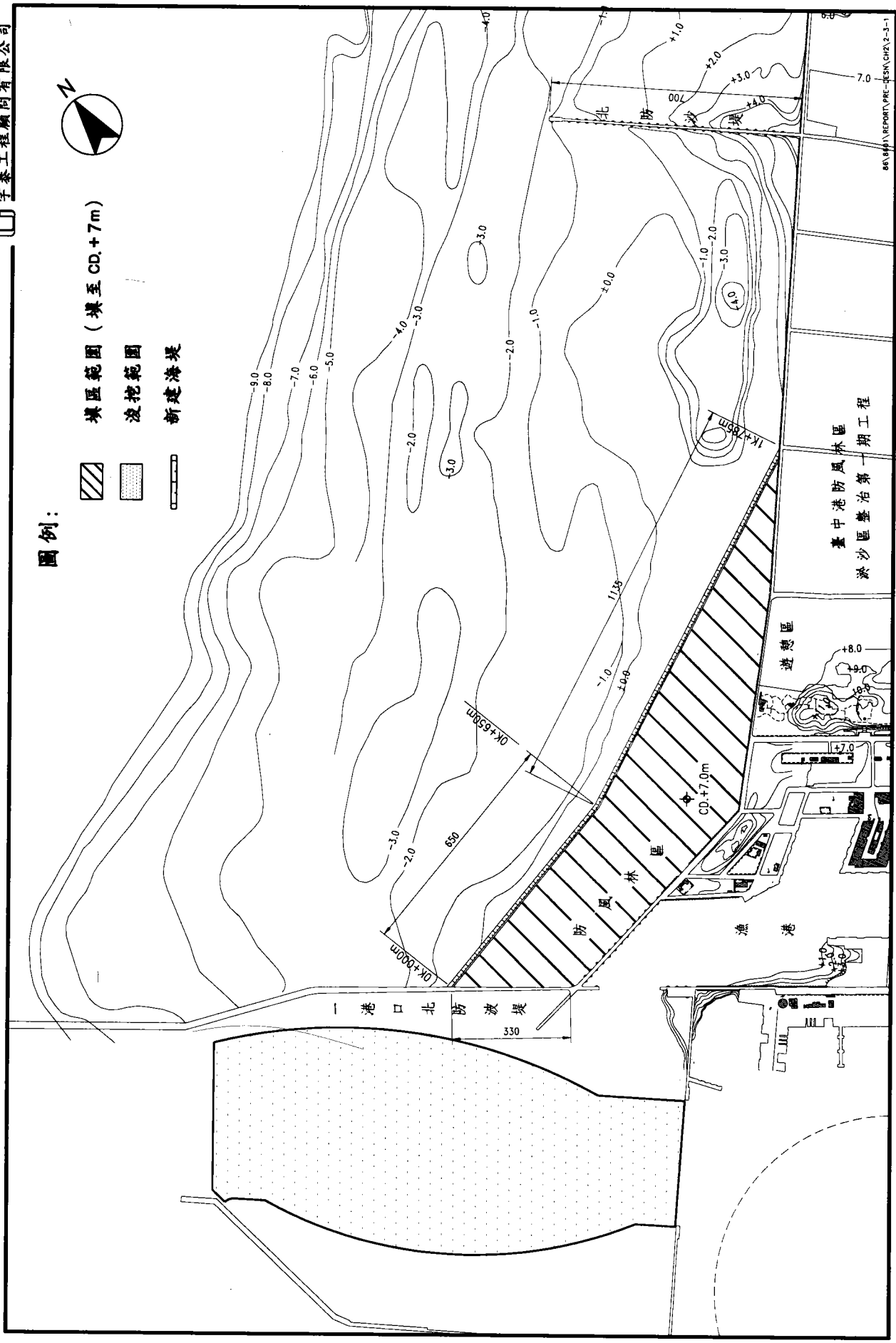


圖2-3-1 台中港北側淤沙區整治第二期工程平面圖

作用，並抑制飛沙之產生。

為期該漂飛沙區更能發揮擋風功能，建議將局部區域提高填地高程至 CD.+15.0m 左右，以形成一人工沙丘，其平面及剖面修正建議如圖 2-3-2 所示。該填區垂直北防波堤之海堤應加強抗浪結構，以避免北防波堤導浪所造成波浪集中現象。其餘北側海堤應儘量以簡易拋石堤方式設計，以確保陸域之親水性。

第二期漂飛沙區整治完成後，沿岸漂沙仍將持續淤積，將來可視海床淤積狀況再擴大整治範圍，最終將在主航道北側形成廣大防風林，將可有效改善港口自然環境。

(二) 擋風牆設施

海岸人工沙丘及防風林雖可有效降低部份風力，但沙丘頂端風力甚強，防風林生長不易。為更有效降低風力對船隻進出港影響，可考慮設置擋風牆設施。

依「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」成果，如在北防波堤外側及淺水船渠後側設置擋風牆設施(詳圖 2-3-3)，將可在擋風牆後側 250m 處達到減風係數 0.6 之效果，預估所需經費約新台幣 13 億元。

將來北側漂飛沙整治第二期工程計畫實施後，本擋風牆基礎及結構設施工程費將可能大幅降低。故未來可俟大型船舶往來本港頻率，再考慮投資興建之時機。

二、船舶交通管理系統建議

(一) 規劃中船舶交通管理系統架構

港務局目前正進行「台中港船舶交通管理系統」之規劃設計工作，計畫實施後，預期將對船舶進出港航行安全帶來極大助益。



圖 2-3-2 台中港北側淤沙區整治第二期建議修正平面配置圖

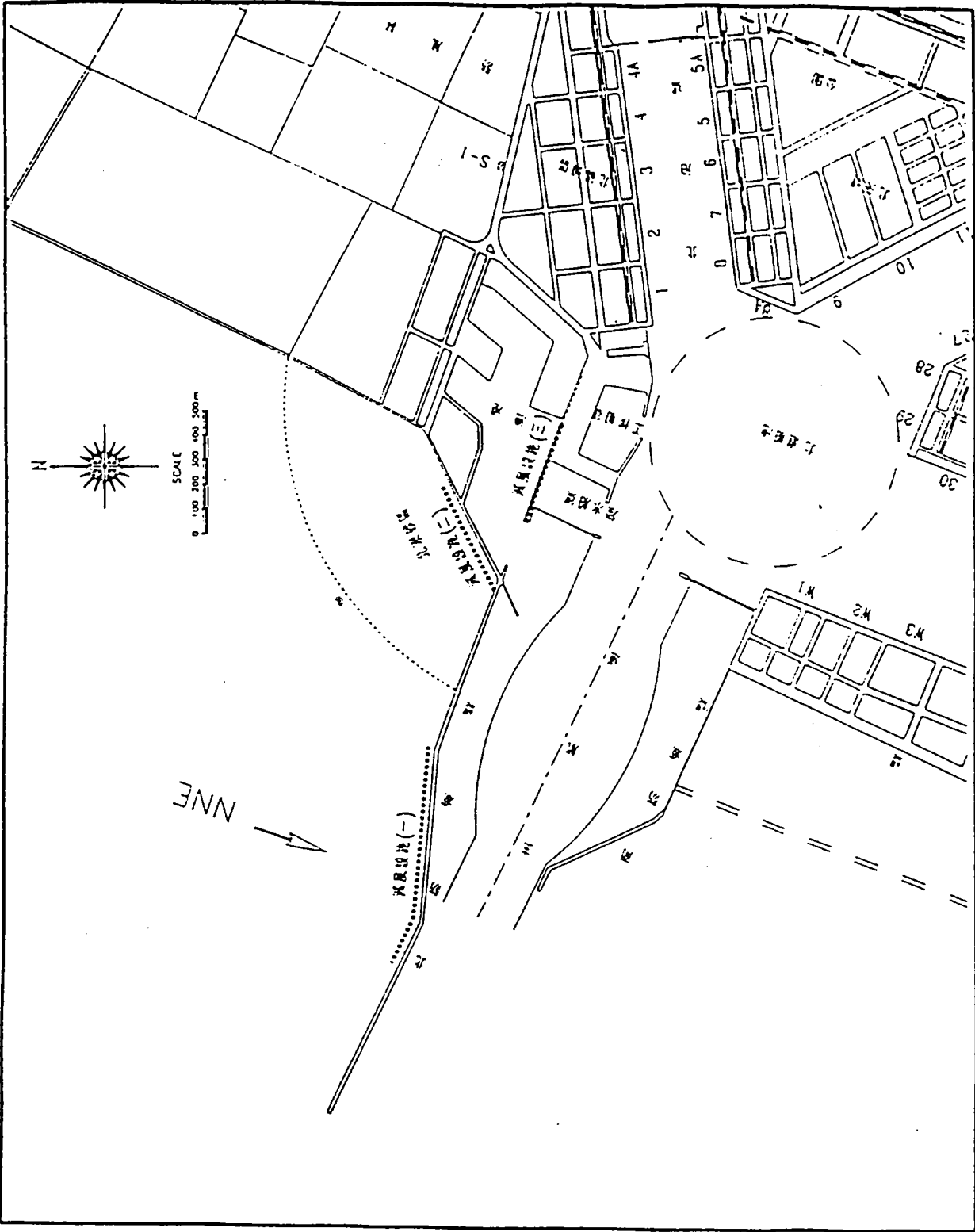


圖 2-3-3 減風施設配置圖

依目前初步設計成果，將來台中港船舶交通管理系统架構如圖 2-3-4 所示，圖 2-3-5 示各主要設施配置圖。本船舶交通管理系统主要中心設於港口入口旁 42m 高信號台，系統操作室設於信號台 10 樓。系統主要設備除二組 CCTV，一組 VHF 探向器天線及水質感應器以外，均安裝於信號台。

CCTV 系統裝設目的係監看港區內雷達盲區、港外錨區、及進出港船舶，並確認船名。1 號 CCTV 將設於計畫興建之 35m 高之鋼構鐵塔上。2 號 CCTV 將設於 8A 碼頭前導標鐵塔 35 公尺處，CCTV 鐵塔設備之所有影像及數據資料以中華電信公司光纖線路傳輸至操作室。

(二) 建議增設之管理內容

目前所規劃船舶交通管理系统，以船舶動態管理為主，並無船舶導助航之功能，建議待進出港船舶艘數逐漸增多後，應考量增設此項功能。將來可能增設內容如下：

1. 即時海氣象資料提供

目前所規劃之船舶交通管理系统已有氣象及水質偵測感應器，為期領港帶船時更能掌握海況，建議將來可再加強即時海象資料之提供，包括風力、波浪、潮位、流況等。

2. 船舶進出港助航系統

船舶進出港助航系統之建立，主要利用電腦軟體模擬海面各艘船舶後續時間可能位置，並將船舶可能發生偏離航道或可能遭遇碰撞危險之前，及時提供必要警訊。

惟每艘船舶操航特性並不相同，此電腦軟體所模擬船位僅可供參考，提醒領港稍加注意鄰近船舶動態。將來進出港船隻頻繁後，可考慮在船舶交通管理中心增設一值班領港，全盤瞭解海面船舶動態，並與海上引船領港溝通，提供操船建議及注意事項，以確保船舶航行安全。

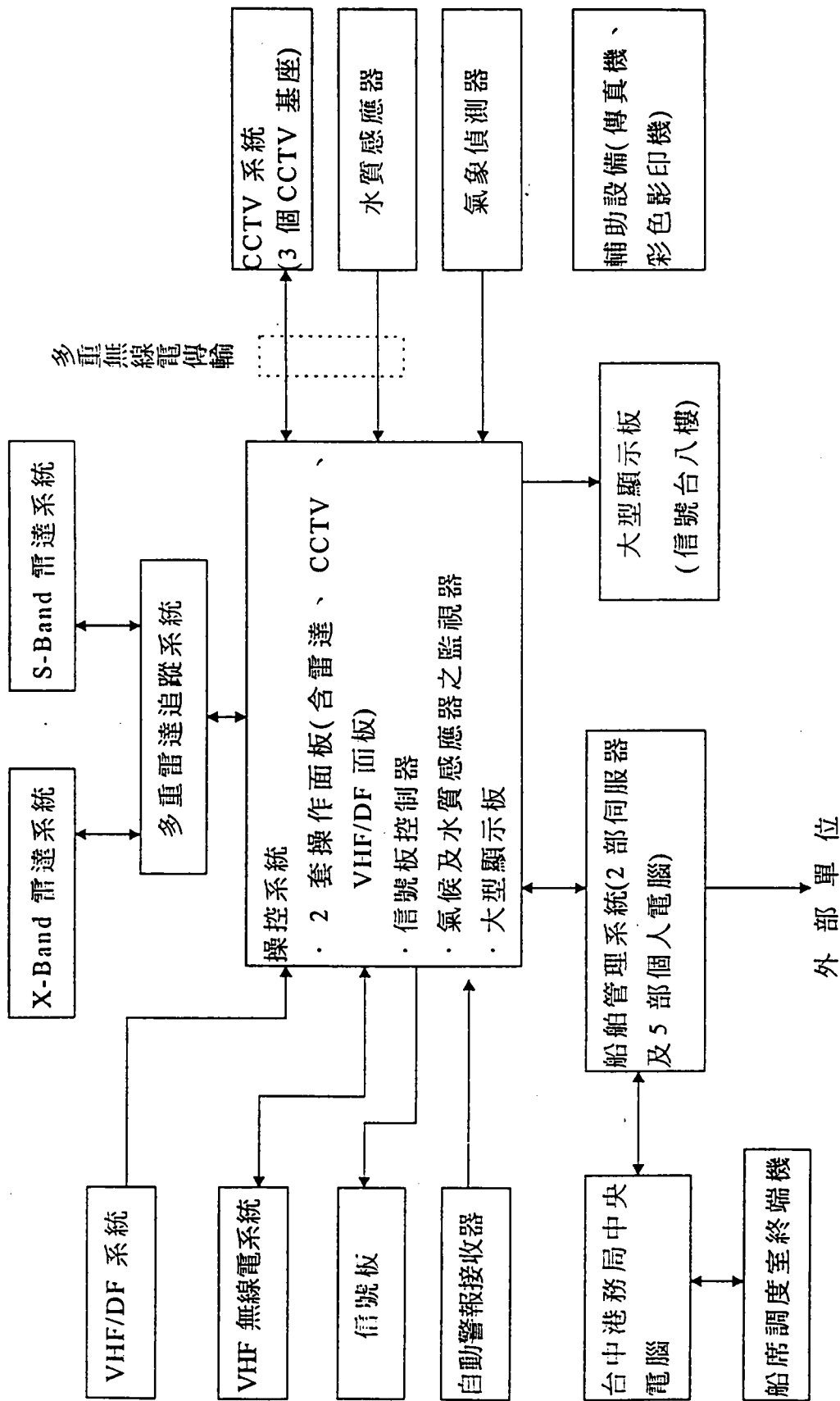


圖 2-3-4 船舶交通管理系統架構圖

資料來源：台中港船舶交通管理系統工程規劃設計第二期報告書

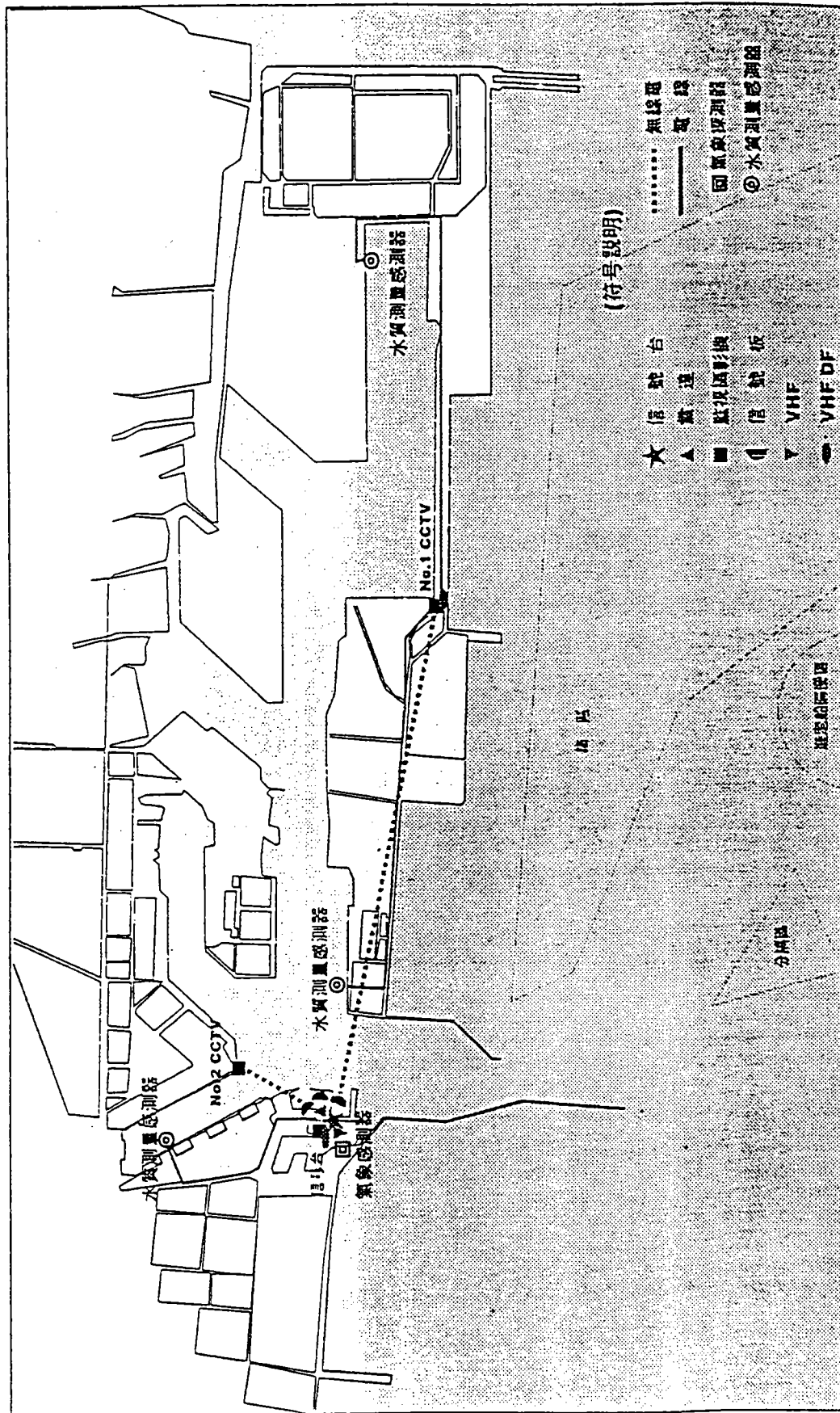


圖 2-3-5 台中港 VTMS 系統配置圖

資料來源：台中港船舶交通管理系統工程規劃設計第二期報告書

(三)「台中港進出港指南」修正建議

- 1.本計畫完成後，北防波堤南側遮蔽區海域及新堤頭附近流場將再改變，原「台中港進出港指南」所述之流向流速資料應於工程完工後配合實測流況進行修正。
- 2.修正錨泊區範圍。
- 3.原劃設之分道航行區、進港船備便區及禁止錨泊區仍予保持。但東北季風期間中小型船(船長 190m 以下、吃水 11m 以下)登輪點建議自原地點朝向 240(T)方位遷移 500m；大型船舶登輪點建議設在備便區。
- 4.本計畫建議之進港操航方式與現狀相同，但考量大型船與中小型船之登輪及進港航線位置均有不同，建議將來配合新設之港外航向導燈，說明各型船應遵循之航線範圍及指引用之導燈燈質。
- 5.將來完成海氣象即時通報系統後，海氣象資訊之通報方式(含播報頻道、頻率或顯示看板位置)建議列載於進出港指南中。

第三章 工程初步設計

第三章 工程初步設計

台中港第一港口第二期工程擴建計畫主要工程內容為延建北防波堤 480m，拆除南外防波堤 93m，拆除南內防波堤 50m，浚深港口航道，以及設置警戒及導航燈標等。未來港口擴建後，外廓防波堤佈置及航道水域浚挖範圍如圖 3-1-1 所示。茲將各項工程之初步設計構想說明如后。

壹、北外防波堤延建工程初步設計

一、延建防波堤堤線佈置

防波堤堤線配置及各控制點座標詳圖3-1-1，其中北防波堤係自現有堤頭處(N2688348、E197476)朝WNW方向繼續延建480m長，延建堤址現況水深介於CD.-20m～CD.-25m之間，新建堤頭控制點座標為N2688550、E197041。根據堤址水深，茲將北防波堤延伸段按設計時擬採用之代表水深，劃分各堤段里程位置如表3-1-1所示。

表 3-1-1 北防波堤延伸段各里程位置及代表水深

里程	0K+000 0K+100	0K+100 0K+130	0K+130 0K+160	0K+160 0K+480
水深	22m	23m	24m	24m

二、各里程設計波浪條件擬定

(一)設計波推算方法

1.擬定深海設計波之基本方針

(1) 防波堤工程設計用之深海設計波條件，一般採用之方法可分為下列三種：

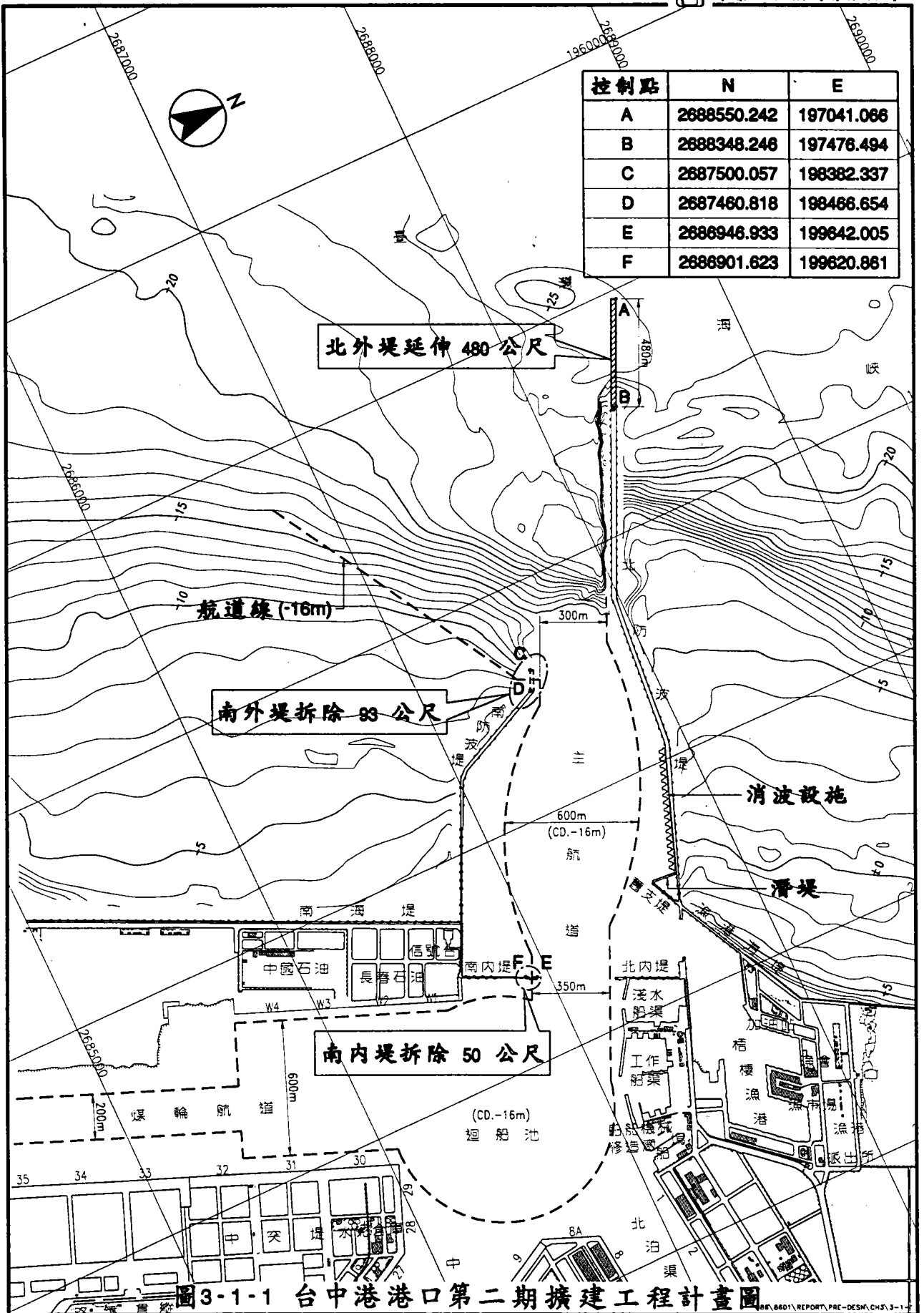


圖3-1-1 台中港港口第二期擴建工程計畫圖

- 根據 30 年以上之颱風波浪實測資料，採用極端值統計分析求得各迴歸期時各波向設計波。
- 根據 30 年以上颱風資料，以數值模式推算颱風波浪，再採用極端值統計分析求得各迴歸期時各波向設計波。
- 以模型颱風推算波浪，採用此法須檢討歷年颱風規模，颱風路徑等，並針對所採用之模型颱風檢討其發生率。

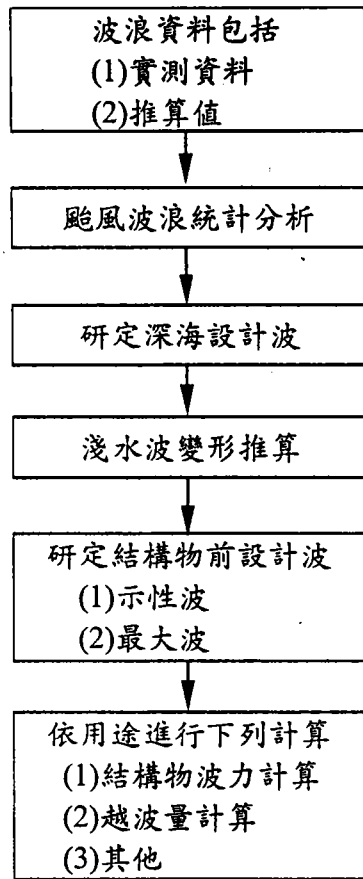
由於台中港海域歷年來並未有長期之颱風波浪實測資料，但中央氣象局則有台灣地區長期颱風資料，因此本計畫將採用第二種方法推求設計波。

- (2) 擬定深海設計波時，將依海岸地形走向分析所有可能抵達工址外海之波向，並以 22.5° 一計算方向。
- (3) 於決定各結構物之深海設計波時，理論上無論採用迴歸期或遭遇機率方式進行計算，均須視該結構物之功能、重要性、使用年限、工程經濟等因素而決定，再由設計者依據各情況而判斷之。國內對港灣防波堤壽年一般以 50 年計，防波堤設計亦慣用 50 年為設計迴歸期。基此，本計畫將採用 50 年迴歸期之設計波條件。

2. 設計波分析流程及步驟

(1) 分析流程

本計畫採用之設計波分析方法主要分為三個階段，首先為深海設計波之推算，其次為根據地形折繞射情形研定等值深海設計波，最後再根據堤前設計波以合田良實(Goda)之堤前波高計算法推算堤前設計波及進行相關波力分析。分析流程如下圖所示：



(2) 分析步驟

- 以實測記錄或推算法求出對計畫工址可能產生影響之波浪，並計算出各方向不同迴歸期深海設計波高。本計畫係採用井島武士博士之追蹤法(Tracing Method)利用颱風資料推算深海設計波。
- 計算深海波折射、繞射至結構物前水域，求出折射及繞射係數，並據此求出等值深海波高。
- 計算等值深海波高，經由淺化、破碎等效應於結構物前之各設計波參數。
- 上述求出之結構物前波浪，將用以計算波力、越波及其他波浪作用於結構物上之計算。
- 波浪的作用強度，例如波力，隨著潮位變化而變。因

此，針對不同之設計項目，應考量不同之設計潮位組合。

- 所有可能之入射波向，均應依上述過程計算，以求得對結構物影響最大之狀況。

(二) 等值深海波高計算

1. 深海設計波

颱風時最大波浪作用力係防波堤及海堤穩定分析主要考慮因素，台中港外海各種波向不同迴歸期規劃設計用示性波高及週期詳表 3-1-2 所示。

本計畫防波堤屬重要性構造物，其設計波浪將以 50 年迴歸期各方向所可能發生之最大颱風波浪進行設計。

表 3-1-2 台中港外海各方向各迴歸期設計波浪

迴歸期	5 年		10 年		25 年		50 年		100 年	
波 向	波高 (M)	週期 (sec)	波高 (M)	週期 (sec)	波高 (M)	週期 (sec)	波高 (M)	週期 (sec)	波高 (M)	週期 (sec)
N	2.87	7.60	3.11	7.91	3.35	8.22	3.57	8.49	3.74	8.68
NNW	4.77	9.80	5.18	10.22	5.60	10.63	5.98	10.98	6.27	11.25
NW	5.19	10.23	5.58	10.61	6.07	11.06	6.43	11.39	6.79	11.70
WNW	4.66	9.69	5.08	10.12	5.51	10.54	5.89	10.90	6.19	11.17
W	4.24	9.24	4.68	9.72	5.04	10.08	5.27	10.31	5.59	10.61
WSW	4.45	9.47	4.88	9.92	5.32	10.36	5.63	10.65	5.84	10.85
SW	4.87	9.91	5.28	10.32	5.70	10.72	6.07	11.06	6.36	11.32

2. 折射計算

波浪由外海以向海岸推進時，由於水深之變化，波速將產生改變而發生折射現象(refraction)；在折射過程中波高除因淺化外，亦隨折射而變化。

為瞭解前述研定之深海設計波在前進至堤體結構物附近海

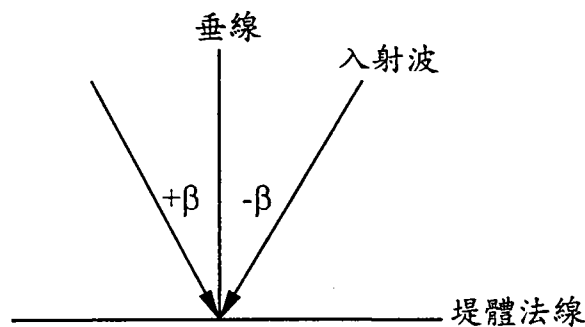
域時，受折射及淺化影響後波高之變化。本計畫以 SNELL 理論，根據台中港民國 86 年之實測地形資料進行推演。為充份反應出各種可能深海波向折射情形，折射計算範圍北起大甲溪口，南至大肚溪口，外海方向至水深約-50m 處，沿岸方向總長約 16.4km，離岸方向約 4~6km，計算範圍分割成 329×153 個網格，網格大小為 50m。

折射計算配合堤前設計波之推算，選擇 H.H.W.L.(+5.86m)及 L.L.W.L.(-0.55m)兩種潮位計算；計算波浪則選擇影響本計畫防波堤之 50 年迴歸期波浪(詳表 3-1-2)，經電腦數值模式計算，繪製北防波堤附近海域波浪折射圖如圖 3-1-2(a)~圖 3-1-2(l)所示。

3.等值深海波高

依上述折射計算結果，求取各堤段波浪入射角 β 、折射係數 K_r 及換算等值深海波高 H_0' ，詳如表 3-1-3(a)及表 3-1-3(b)所示

表中入射角度之定義為入射波與堤體法線垂直線之夾角，如下圖所示。



(三)堤前設計波條件

1.各方向堤前波計算

依等值深海波高計算結果，再按合田良實(Goda)之堤前波高計算法(詳第一章)，可求得各入射波向前進至北防波堤前之堤前波高如表 3-1-4(a)及表 3-1-4(b)所示，此一計算結果將作為防波堤

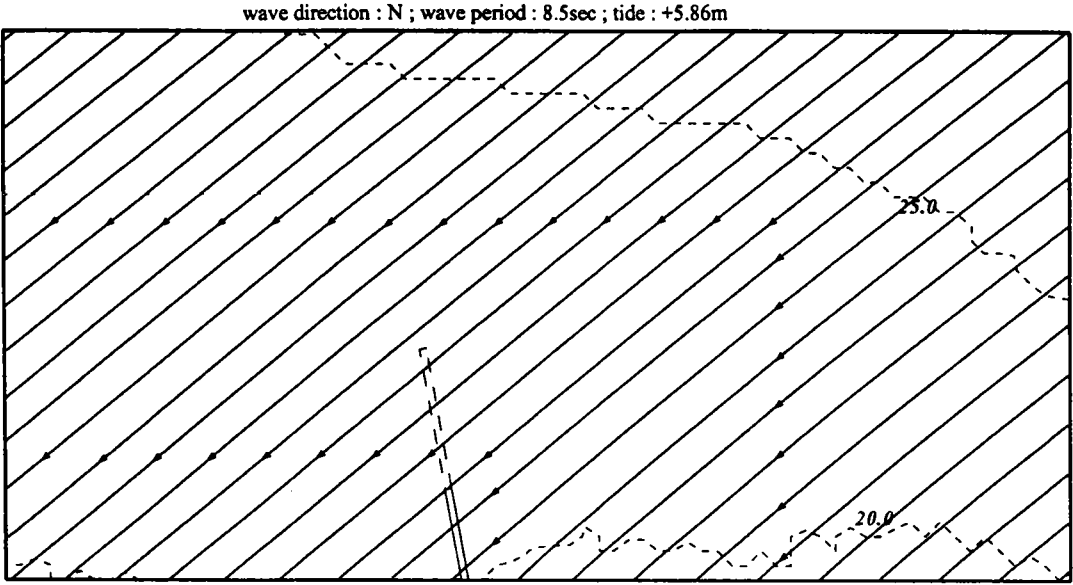


圖 3-1-2(a) N 方向波浪折射計算結果(HHWL)

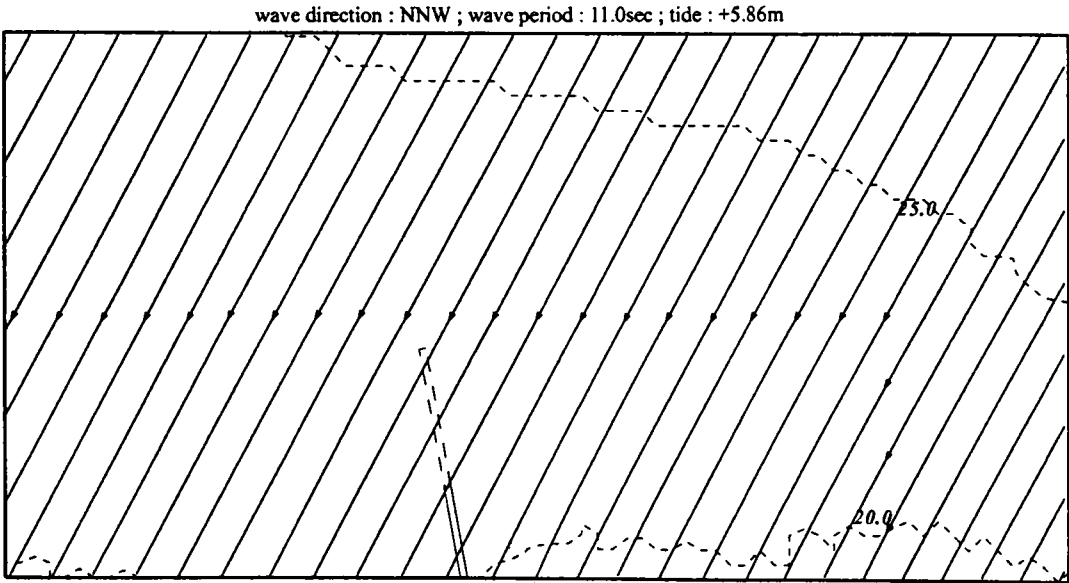


圖 3-1-2(b) NNW 方向波浪折射計算結果(HHWL)

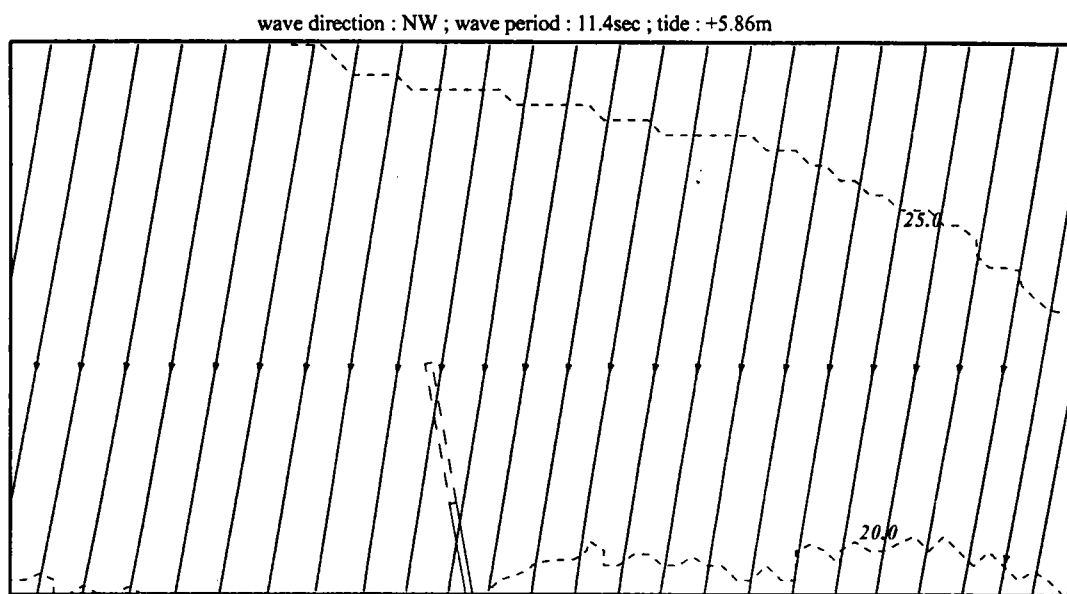


圖 3-1-2(c) NW 方向波浪折射計算結果(HHHL)

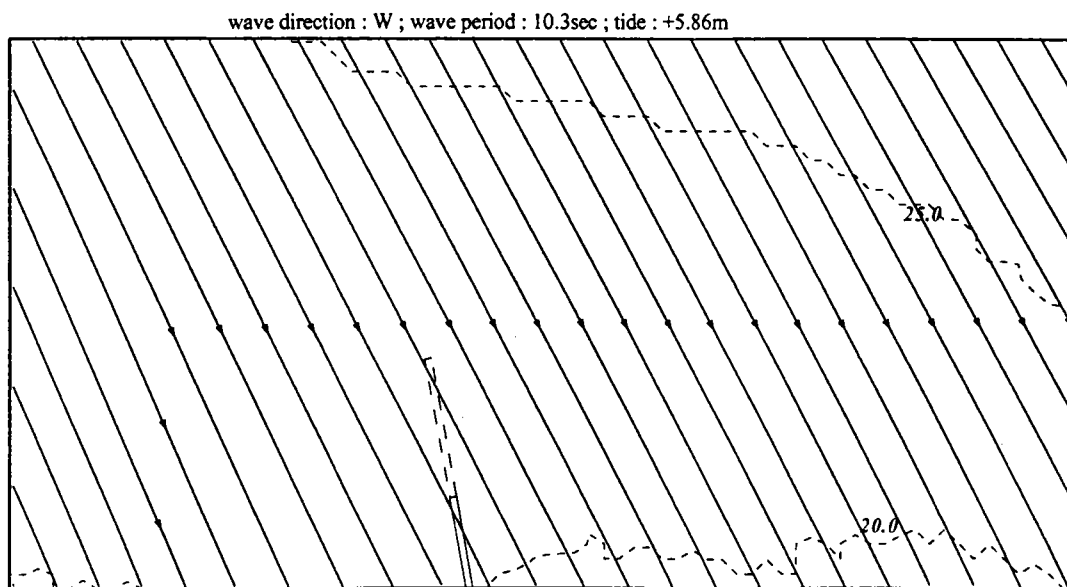


圖 3-1-2(d) W 方向波浪折射計算結果(HHHL)

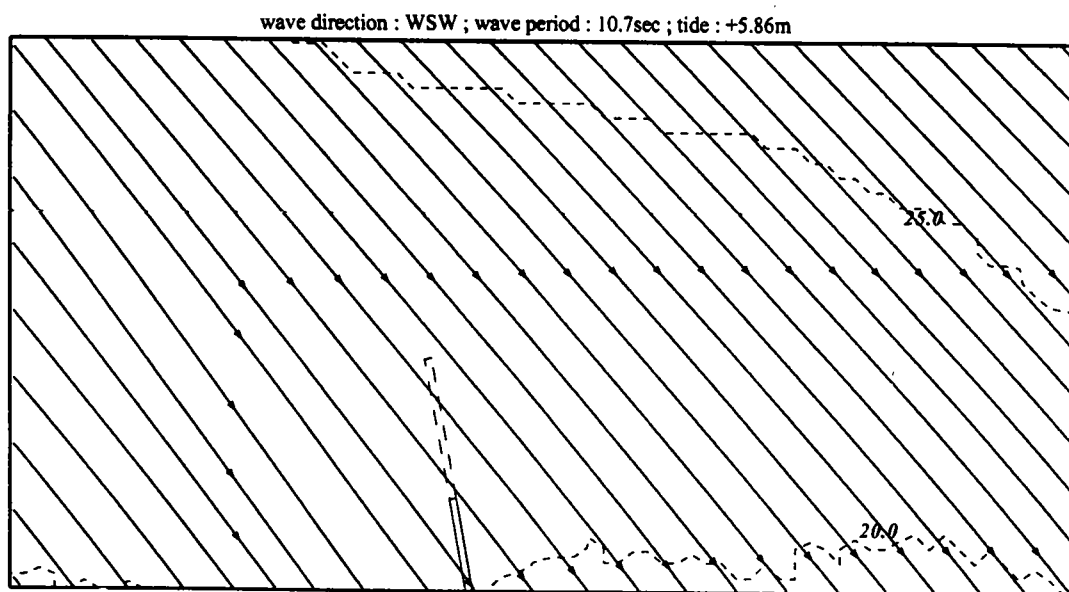


圖 3-1-2(e) WSW 方向波浪折射計算結果(HHWL)

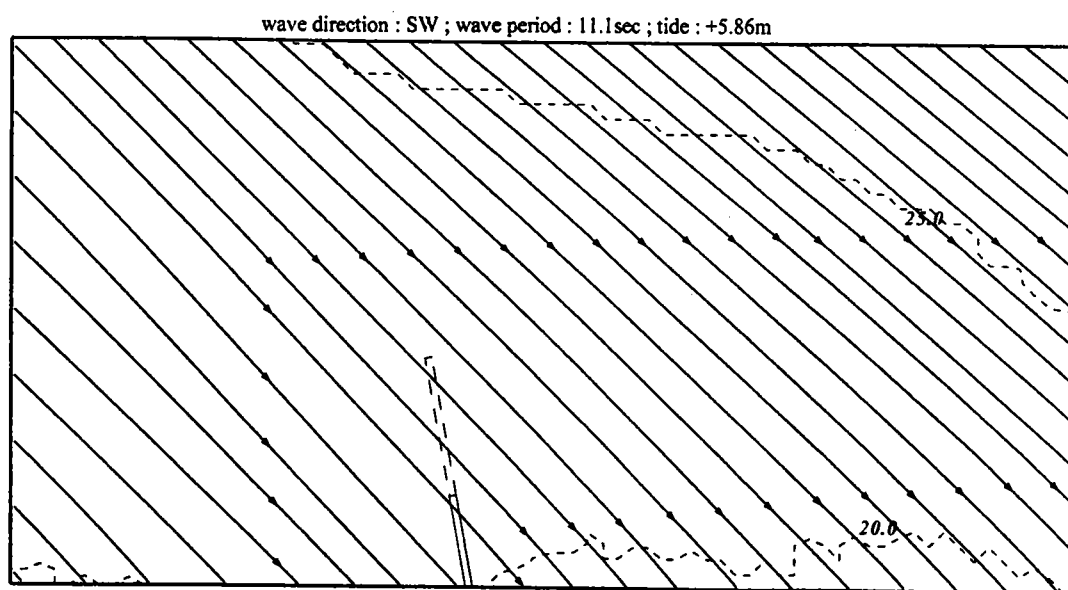


圖 3-1-2(f) SW 方向波浪折射計算結果(HHWL)

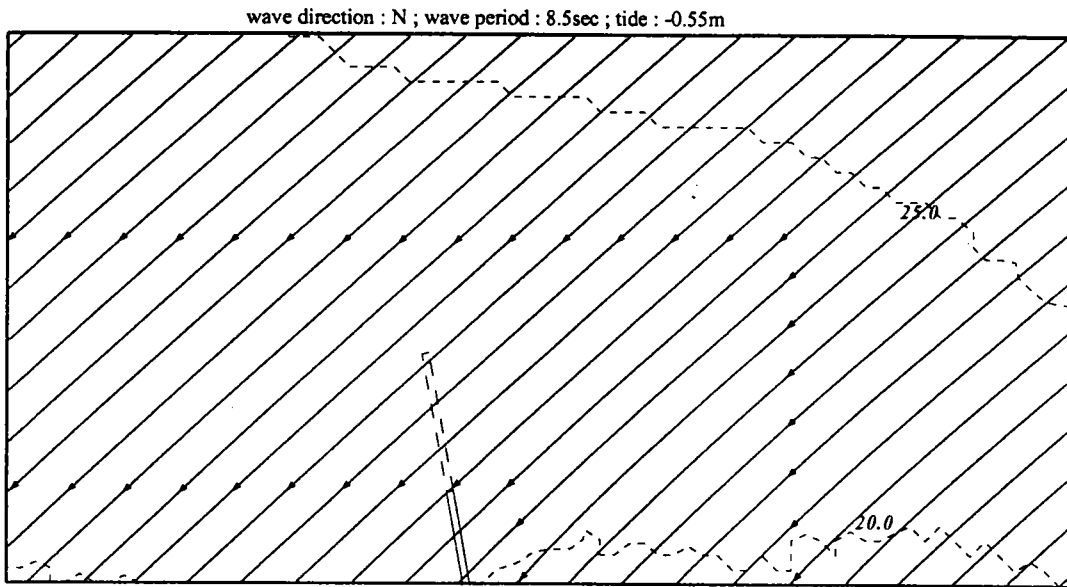


圖 3-1-2(g) N 方向波浪折射計算結果(LLWL)

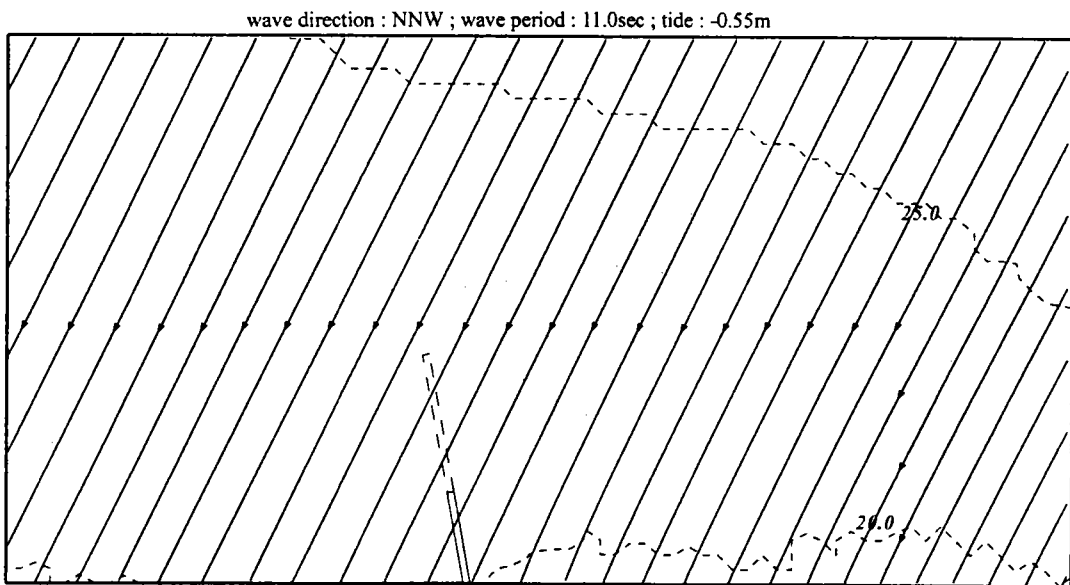


圖 3-1-2(h) NNW 方向波浪折射計算結果(LLWL)

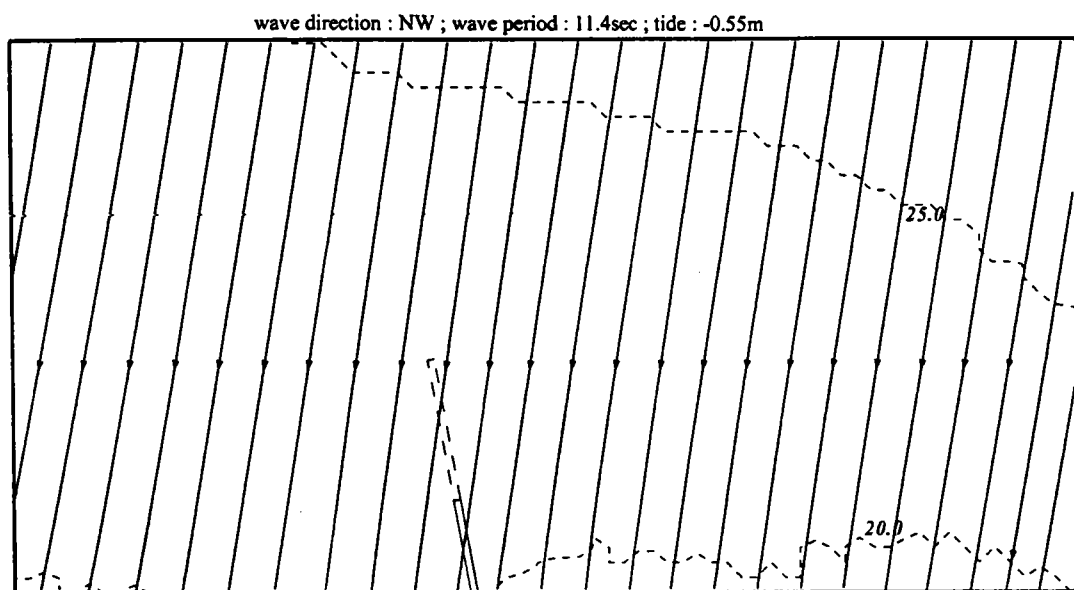


圖 3-1-2(i) NW 方向波浪折射計算結果(LLWL)

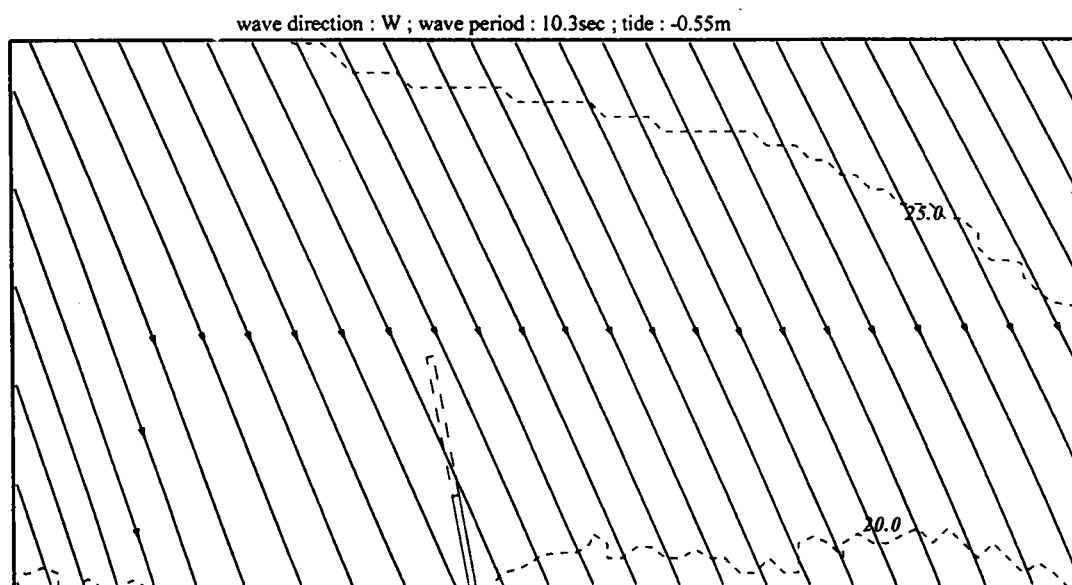


圖 3-1-2(j) W 方向波浪折射計算結果(LLWL)

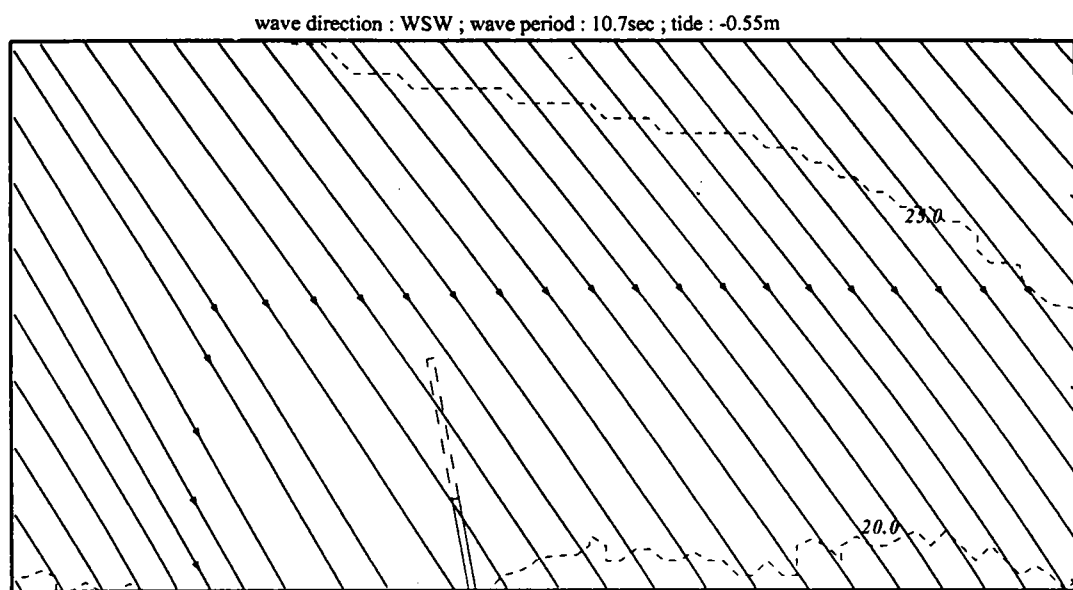


圖 3-1-2(k) WSW 方向波浪折射計算結果(LLWL)

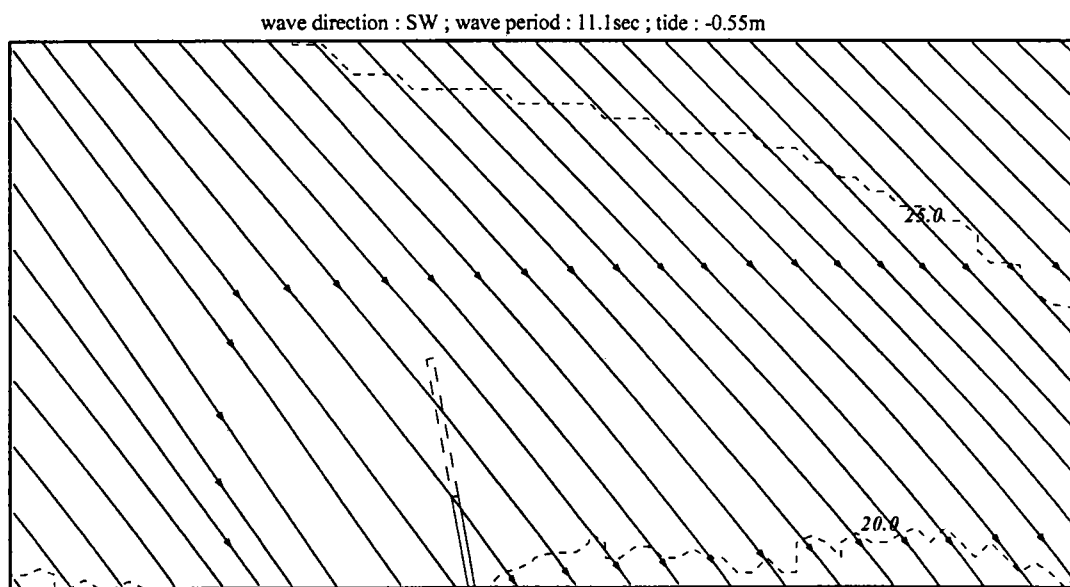


圖 3-1-2(1) SW 方向波浪折射計算結果(LLWL)

表3-1-3(a) 北防波堤延伸各里程等值深海波高(H.H.W.L.)

		N				NNW				NW			
		$H_0=3.57\text{m}, T_0=8.5\text{sec}$				$H_0=5.98\text{m}, T_0=11.0\text{sec}$				$H_0=6.43\text{m}, T_0=11.4\text{sec}$			
堤線里程	水深	Kr	H_0'	β_0	β	Kr	H_0'	β_0	β	Kr	H_0'	β_0	β
0K+000~0K+110	-22.0	0.97	3.46	30	15	0.96	5.74	53	38	1.01	6.49	71	56
0K+110~0K+130	-23.0	0.97	3.46	30	15	0.96	5.74	52	37	1.00	6.43	71	56
0K+130~0K+160	-24.0	0.97	3.46	30	15	0.96	5.74	52	37	1.00	6.43	71	56
0K+160~0K+480	-24.0	0.97	3.46	29	14	0.96	5.74	52	37	1.00	6.43	71	56
		W				WSW				SW			
		$H_0=5.27\text{m}, T_0=10.3\text{sec}$				$H_0=5.63\text{m}, T_0=10.7\text{sec}$				$H_0=6.07\text{m}, T_0=11.1\text{sec}$			
堤線里程	水深	Kr	H_0'	β_0	β	Kr	H_0'	β_0	β	Kr	H_0'	β_0	β
0K+000~0K+110	-22.0	0.89	4.69	73	58	0.68	3.83	53	38	0.42	2.55	57	42
0K+110~0K+130	-23.0	0.89	4.69	73	58	0.68	3.83	52	37	0.41	2.49	57	42
0K+130~0K+160	-24.0	0.89	4.69	73	58	0.68	3.83	52	37	0.41	2.49	57	42
0K+160~0K+480	-24.0	0.90	4.74	73	58	0.71	4.00	52	37	0.40	2.43	57	42

註： β_0 為波浪原始折射角度

β 為加減15度修正之波浪折射角度

表3-1-3(b) 北防波堤延伸各里程等值深海波高(L.L.W.L.)

		N				NNW				NW			
		$H_0=3.57\text{m}, T_0=8.5\text{sec}$				$H_0=5.98\text{m}, T_0=11.0\text{sec}$				$H_0=6.43\text{m}, T_0=11.4\text{sec}$			
堤線里程	水深	Kr	H'_0	β_0	β	Kr	H'_0	β_0	β	Kr	H'_0	β_0	β
0K+000~0K+110	-22.0	0.94	3.36	33	18	0.95	5.68	54	39	1.01	6.49	71	56
0K+110~0K+130	-23.0	0.94	3.36	33	18	0.95	5.68	54	39	1.00	6.43	71	56
0K+130~0K+160	-24.0	0.94	3.36	33	18	0.95	5.68	54	39	1.00	6.43	71	56
0K+160~0K+480	-24.0	0.95	3.39	32	17	0.95	5.68	54	39	1.00	6.43	71	56
		W				WSW				SW			
		$H_0=5.27\text{m}, T_0=10.3\text{sec}$				$H_0=5.63\text{m}, T_0=10.7\text{sec}$				$H_0=6.07\text{m}, T_0=11.1\text{sec}$			
堤線里程	水深	Kr	H'_0	β_0	β	Kr	H'_0	β_0	β	Kr	H'_0	β_0	β
0K+000~0K+110	-22.0	0.88	4.64	76	61	0.67	3.77	66	51	0.34	2.06	62	47
0K+110~0K+130	-23.0	0.88	4.64	76	61	0.68	3.83	66	51	0.34	2.06	62	47
0K+130~0K+160	-24.0	0.88	4.64	76	61	0.68	3.83	66	51	0.34	2.06	62	47
0K+160~0K+480	-24.0	0.90	4.74	76	61	0.71	4.00	65	50	0.36	2.19	61	46

註： β_0 為波浪原始折射角度

β 為加減15度修正之波浪折射角度

表3-1-4(a) 北防波堤延伸各里程各波向堤前設計波高(H.H.W.L.)

波向	里程	設計水深	β_0	β_1	β_{max}	Ks	$\beta_0 H_0 + \beta_1 h$	$\beta_{max} H_0$	KsH ₀	H _{1/3}	β_0^*	β_1^*	β_{max}^*	Ks	$\beta_0^* H_0 + \beta_1^*$	$\beta_{max}^* H_0$	1.8KsH ₀	H _{max}
N	0K+000~0K+100	-22.0	0.112	0.542	0.930	0.923	15.497	3.221	3.197	3.197	0.208	0.654	1.65	0.923	18.952	5.714	5.755	5.755
	0K+100~0K+130	-23.0	0.112	0.542	0.930	0.926	16.039	3.221	3.205	3.205	0.208	0.654	1.65	0.926	19.607	5.714	5.769	5.769
	0K+130~0K+160	-24.0	0.112	0.542	0.930	0.928	16.581	3.221	3.213	3.213	0.208	0.654	1.65	0.928	20.261	5.714	5.784	5.784
	0K+160~0K+480	-24.0	0.112	0.542	0.930	0.928	16.581	3.221	3.213	3.213	0.208	0.654	1.65	0.928	20.261	5.714	5.784	5.784
NNW	0K+000~0K+100	-22.0	0.112	0.542	0.931	0.916	15.752	5.344	5.259	5.259	0.208	0.654	1.65	0.916	19.427	9.472	9.467	9.47
	0K+100~0K+130	-23.0	0.112	0.542	0.931	0.915	16.295	5.344	5.253	5.253	0.208	0.654	1.65	0.915	20.082	9.472	9.456	9.46
	0K+130~0K+160	-24.0	0.112	0.542	0.931	0.914	16.837	5.344	5.248	5.248	0.208	0.654	1.65	0.914	20.736	9.472	9.447	9.45
	0K+160~0K+480	-24.0	0.112	0.542	0.931	0.914	16.837	5.344	5.248	5.248	0.208	0.654	1.65	0.914	20.736	9.472	9.447	9.45
NW	0K+000~0K+100	-22.0	0.110	0.542	0.920	0.919	15.822	5.975	5.968	5.968	0.204	0.654	1.65	0.919	19.556	10.716	10.742	10.72
	0K+100~0K+130	-23.0	0.110	0.542	0.920	0.917	16.360	5.916	5.899	5.899	0.205	0.654	1.65	0.917	20.202	10.610	10.618	10.61
	0K+130~0K+160	-24.0	0.110	0.542	0.920	0.916	16.902	5.916	5.891	5.891	0.205	0.654	1.65	0.916	20.857	10.610	10.603	10.60
	0K+160~0K+480	-24.0	0.110	0.542	0.920	0.916	16.902	5.916	5.891	5.891	0.205	0.654	1.65	0.916	20.857	10.610	10.603	10.60
W	0K+000~0K+100	-22.0	0.100	0.542	0.952	0.913	15.577	4.465	4.284	4.284	0.215	0.654	1.65	0.913	19.238	7.739	7.711	7.711
	0K+100~0K+130	-23.0	0.100	0.542	0.952	0.913	16.119	4.465	4.282	4.282	0.215	0.654	1.65	0.913	19.892	7.739	7.708	7.708
	0K+130~0K+160	-24.0	0.100	0.542	0.952	0.913	16.662	4.465	4.282	4.282	0.215	0.654	1.65	0.913	20.547	7.739	7.708	7.708
	0K+160~0K+480	-24.0	0.099	0.542	0.949	0.913	16.665	4.501	4.330	4.330	0.214	0.654	1.65	0.913	20.554	7.826	7.795	7.795
WSW	0K+000~0K+100	-22.0	0.128	0.542	1.031	0.915	15.600	3.947	3.501	3.501	0.238	0.654	1.708	0.915	19.143	6.538	6.303	6.303
	0K+100~0K+130	-23.0	0.128	0.542	1.031	0.914	16.142	3.947	3.499	3.499	0.238	0.654	1.708	0.914	19.798	6.538	6.297	6.297
	0K+130~0K+160	-24.0	0.128	0.542	1.031	0.913	16.684	3.947	3.497	3.497	0.238	0.654	1.708	0.913	20.452	6.538	6.294	6.294
	0K+160~0K+480	-24.0	0.126	0.542	1.018	0.913	16.698	4.070	3.651	3.651	0.234	0.654	1.686	0.913	20.477	6.741	6.572	6.572
SW	0K+000~0K+100	-22.0	0.154	0.542	1.184	0.923	15.500	3.018	2.354	2.354	0.285	0.654	1.961	0.923	18.959	4.998	4.237	4.237
	0K+100~0K+130	-23.0	0.155	0.542	1.192	0.926	16.037	2.967	2.303	2.303	0.288	0.654	1.974	0.926	19.603	4.914	4.146	4.146
	0K+130~0K+160	-24.0	0.155	0.542	1.192	0.928	16.579	2.967	2.309	2.309	0.288	0.654	1.974	0.928	20.257	4.914	4.157	4.157
	0K+160~0K+480	-24.0	0.157	0.542	1.201	0.928	16.573	2.915	2.253	2.253	0.291	0.654	1.989	0.928	20.246	4.828	4.055	4.055

表3-1-4(b) 北防波堤延伸各里程各波向堤前設計波高(L.L.W.L.)

波向	里程	設計水深	β_0	β_1	β_{max}	Ks	$\beta_0 H_0 + \beta_1 h$	$\beta_{max} H_0$	KsH ₀ ¹	H _{1/3}	β_0^*	β_1^*	β_{max}^*	Ks	$\beta_0 H_0 + \beta_1^*$	$\beta_{max}^* H_0^*$	1.8KsH ₀ ¹	H _{max}
N	0K+000~0K+100	-22.0	0.113	0.542	0.939	0.923	15.489	3.150	3.098	3.098	0.211	0.654	1.65	0.923	18.938	5.537	5.577	5.577
	0K+100~0K+130	-23.0	0.113	0.542	0.939	0.926	16.032	3.150	3.106	3.106	0.211	0.654	1.65	0.926	19.593	5.537	5.590	5.590
	0K+130~0K+160	-24.0	0.113	0.542	0.939	0.928	16.574	3.150	3.114	3.114	0.211	0.654	1.65	0.928	20.247	5.537	5.605	5.605
	0K+160~0K+480	-24.0	0.113	0.542	0.936	0.928	16.576	3.174	3.147	3.147	0.210	0.654	1.65	0.928	20.252	5.596	5.665	5.665
NNW	0K+000~0K+100	-22.0	0.113	0.542	0.934	0.916	15.748	5.304	5.205	5.205	0.209	0.654	1.65	0.916	19.420	9.374	9.368	9.37
	0K+100~0K+130	-23.0	0.113	0.542	0.934	0.915	16.291	5.304	5.198	5.198	0.209	0.654	1.65	0.915	20.074	9.374	9.357	9.36
	0K+130~0K+160	-24.0	0.113	0.542	0.934	0.914	16.833	5.304	5.194	5.194	0.209	0.654	1.65	0.914	20.728	9.374	9.349	9.35
	0K+160~0K+480	-24.0	0.113	0.542	0.934	0.914	16.833	5.304	5.194	5.194	0.209	0.654	1.65	0.914	20.728	9.374	9.349	9.35
NW	0K+000~0K+100	-22.0	0.110	0.542	0.920	0.919	15.822	5.975	5.968	5.968	0.204	0.654	1.65	0.919	19.556	10.716	10.742	10.72
	0K+100~0K+130	-23.0	0.110	0.542	0.920	0.917	16.360	5.916	5.899	5.899	0.205	0.654	1.65	0.917	20.202	10.610	10.618	10.61
	0K+130~0K+160	-24.0	0.110	0.542	0.920	0.916	16.902	5.916	5.891	5.891	0.205	0.654	1.65	0.916	20.857	10.610	10.603	10.60
	0K+160~0K+480	-24.0	0.110	0.542	0.920	0.916	16.902	5.916	5.891	5.891	0.205	0.654	1.65	0.916	20.857	10.610	10.603	10.60
W	0K+000~0K+100	-22.0	0.100	0.542	0.955	0.913	15.574	4.430	4.236	4.236	0.215	0.654	1.65	0.913	19.231	7.652	7.624	7.624
	0K+100~0K+130	-23.0	0.100	0.542	0.955	0.913	16.116	4.430	4.234	4.234	0.215	0.654	1.65	0.913	19.885	7.652	7.622	7.622
	0K+130~0K+160	-24.0	0.100	0.542	0.955	0.913	16.658	4.430	4.234	4.234	0.215	0.654	1.65	0.913	20.540	7.652	7.621	7.621
	0K+160~0K+480	-24.0	0.099	0.542	0.949	0.913	16.665	4.501	4.330	4.330	0.214	0.654	1.65	0.913	20.554	7.826	7.795	7.795
WSW	0K+000~0K+100	-22.0	0.129	0.542	1.036	0.915	15.595	3.906	3.450	3.450	0.240	0.654	1.715	0.915	19.135	6.469	6.210	6.210
	0K+100~0K+130	-23.0	0.128	0.542	1.031	0.914	16.142	3.947	3.499	3.499	0.238	0.654	1.708	0.914	19.798	6.538	6.297	6.297
	0K+130~0K+160	-24.0	0.128	0.542	1.031	0.913	16.684	3.947	3.497	3.497	0.238	0.654	1.708	0.913	20.452	6.538	6.294	6.294
	0K+160~0K+480	-24.0	0.126	0.542	1.018	0.913	16.698	4.070	3.651	3.651	0.234	0.654	1.686	0.913	20.477	6.741	6.572	6.572
SW	0K+000~0K+100	-22.0	0.167	0.542	1.259	0.923	15.452	2.597	1.905	1.905	0.309	0.654	2.084	0.923	18.870	4.302	3.430	3.430
	0K+100~0K+130	-23.0	0.167	0.542	1.259	0.926	15.995	2.597	1.910	1.910	0.309	0.654	2.084	0.926	19.524	4.302	3.438	3.438
	0K+130~0K+160	-24.0	0.167	0.542	1.259	0.928	16.537	2.597	1.915	1.915	0.309	0.654	2.084	0.928	20.179	4.302	3.447	3.447
	0K+160~0K+480	-24.0	0.163	0.542	1.238	0.928	16.549	2.705	2.028	2.028	0.303	0.654	2.05	0.928	20.202	4.480	3.650	3.650

各里程選定設計波高之依據。

2. 堤前設計波高選定

依據前述以合田良實波力計算公式求得之各方向波浪之入射角度(採經以 $\pm 15^\circ$ 修正過之角度)及堤前波高,可計算得不同波向波浪作用於直立堤之波力,各堤段波力計算結果如表 3-1-5(a)及表 3-1-5(b)所示。

根據波力計算結果可求得作用在北防波堤各堤段最大之波向及相對應之堤前設計波高。經進一步篩選各堤段設計波整理如表 3-1-6 所示。

三、各里程最佳堤體斷面研擬

(一) 防波堤型式種類概述

防波堤斷面型式種類甚多,傳統上堤型分類可從外觀概分為斜坡堤、直立堤及合成堤三大類,但如進一步按海堤構造材料型式及其特性進行區分,可進一步在斜坡堤、直立堤及合成堤三大類中分離出其他類型。基本上以世界上較常使用之堤型約可分類如下:

- 斜坡堤:拋石堤、拋混凝土消波塊斜坡堤。
- 直立堤:沉箱式直立堤、方塊式直立堤、空心方塊直立堤、混凝土單塊直立堤、鋼板圓筒式直立堤。
- 合成堤:沉箱式合成堤、方塊式合成堤、空心方塊合成堤、混凝土單塊合成堤。
- 消波塊覆蓋堤
- 直立消波塊堤
- 消波沉箱堤
- 上部斜面沉箱堤

表3-1-5(a) 北防波堤延伸段各堤段所受波力比較 (HHWL)

里程	深海波 波浪力	N	NNW	NW	W	WSW	SW
0K-000 0K-100	波 力	73.70	140.40	142.40	90.60	89.50	59.30
	傾覆力矩	1091.30	2003.10	2020.00	1293.90	1269.90	823.50
0K-100 0K-130	波 力	73.80	140.10	139.70	89.80	89.30	57.40
	傾覆力矩	1090.70	1998.20	1980.90	1282.70	1266.00	796.50
0K-130 0K-160	波 力	73.90	139.00	138.40	89.20	88.60	57.10
	傾覆力矩	1091.00	1981.00	1962.50	1272.70	1255.20	791.90
0K-160 0K-480	波 力	74.10	139.00	138.40	90.20	92.70	55.60
	傾覆力矩	1093.70	1981.00	1962.50	1288.10	1315.00	770.30

表3-1-5(b) 北防波堤延伸段各堤段所受波力比較 (LLWL)

里程	深海波 波浪力	N	NNW	NW	W	WSW	SW
0K-000 0K-100	波 力	66.40	139.90	143.00	85.30	72.90	38.80
	傾覆力矩	773.00	1729.70	1762.30	966.80	809.30	392.20
0K-100 0K-130	波 力	66.10	138.50	139.80	80.10	73.30	38.50
	傾覆力矩	769.30	1711.40	1719.60	914.10	816.10	388.70
0K-130 0K-160	波 力	65.90	137.10	138.30	79.20	72.50	38.10
	傾覆力矩	766.70	1693.70	1700.60	903.80	806.60	385.50
0K-160 0K-480	波 力	67.10	137.10	138.30	81.50	77.30	41.10
	傾覆力矩	782.30	1693.70	1700.60	934.30	869.00	418.50

表3-1-6 北防波堤延伸段各里程段設計波浪條件

堤址里程	設計水深	深海波向	波高 $H_{1/3}$	波高 H_{max}	週期	水位
0K-000 0K-100	-22m	NW	5.97	10.72	11.4	+5.86
0K-100 0K-130	-23m	NW	5.90	10.61	11.4	+5.86
0K-130 0K-160	-24m	NW	5.89	10.6	11.4	+5.86
0K-160 0K-480	-24m	NW	5.89	10.6	11.4	+5.86

各類堤型之特性分述如下。

1. 斜坡堤

斜坡堤是以砂石料、塊石或混凝土消波塊堆成者，堤身兩側成斜面，使波浪衝上斜坡時受斜坡及其表面凹凸不平之阻礙及堤身之孔隙使波能減衰，並阻其侵入海堤後線，以維護海堤後線設施或水面穩靜。

斜坡堤依所用材料可分為下列各類：

(1) 拋石斜坡堤

因受石塊大小限制，僅適用於波浪較小之處。如用於波力較大之處，坡面上應加放混凝土消波塊保護層。

(2) 拋混凝土消波塊斜坡堤

基於堤身安定度需要，堤身以混凝土消波塊組成，適用在波力甚大之海域。施工時需要廣大之混凝土消波塊製作場地。

2. 直立堤

壁面垂直安放於海底之結構物，最主要為反射波浪之動能，此種型式稱為直立堤。各種直立堤構造之特性概述如下：

(1) 沉箱式直立堤

此種以沉箱作為主體，且成為整體之結構物，故對抗波力作用甚強。沉箱可以乾工法製造，施工確實，故可縮短在海上之工作天。沉箱內可用廉價之材料填充，以節省工程費。缺點為需沉箱製造設備，大型起重機等之巨大費用。同時沉箱之下水、搬運、安放等水深之限制。又氣候不良天數較多之處其工作天受限制。沉箱安放後應在短時間內填充並澆築封頂混凝土，否則易受波浪之衝擊而破壞。又施工較複雜，如基礎之整平、拋石、沉箱安放、填充砂料、澆築上部混凝土等各項工程項目

繁多。

(2) 方塊式直立堤

該型以混凝土方塊疊積成為主體。優點為施工確實與容易，施工設備亦簡單。缺點為方塊與方塊間不能完全結合成為一體，比沉箱缺乏整體性。施工時海上工作期間較長，需要製造大量方塊之工地。又其不成為一體時，地盤反力之分佈實際如何不甚明瞭。

(3) 空心方塊直立堤

用中空型塊，塊體內填充石料或混凝土即成為直立堤。優點為底部摩擦較沉箱為大，抗滑動安全率高。堤體內用價廉材料填實，可節省工程費。缺點為缺乏整體性，又對開底直立堤之計算方法尚未確定。

(4) 混凝土單塊直立堤

係現場澆注之混凝土單塊堤。優點為可成為堅強之結構物，基礎雖不平，現場亦可施工，不需要複雜之施工設備。惟該堤僅使用於地層堅固之處，故檢定岩質地盤甚為重要，因疏忽此點而肇致災害之實例甚多。又對水中混凝土之施工不易確實控制，易生不良之後果，故應特別注意。缺點為如將來需搬移時，不能再加利用。該型直立堤不能作大型防波堤之用，僅用於水深較淺或規模較小之防波堤。

(5) 鋼板圓筒直立堤

以鋼板圓筒代替沉箱作為主體，圓筒內填築砂石，鋼板圓筒於陸上組裝，再載運至工址打設，施工時受到之天候限制與沉箱類似，施工時須要大型吊重及打設機具配合。本類型亦有採鋼管圓筒結構者。

3. 合成堤

合成堤為上部直立堤下部拋石堤所組合而成。直立堤部份放置於拋石堤之頂部，拋石堤同時作為直立堤部份之基礎。與波高相比，斜坡拋石面較淺時，與斜坡堤之功能相近。反之，水較深波高較小則與直立堤之功能相似。因兼具拋石堤及直立堤之優點，適用於水深波力大之處所。

合成堤依直立堤部份型式可分為下列各種：

- (1) 沉箱式合成堤
- (2) 方塊式合成堤
- (3) 空心方塊合成堤
- (4) 混凝土單塊合成堤

4. 消波塊覆蓋堤

直立堤及合成堤前面拋消坡塊時，即成為消波塊覆蓋堤。

5. 直立消波塊堤

此為將一般之混凝土單塊製作成各種型式之直立消波塊所堆置而成，亦有單體的，由於型式種類很多，因此須充分調查其消波特性而使用。

6. 消波沉箱堤

將沉箱前牆開孔並設置一消波室即成消波沉箱堤，主要功能為減輕反射及堤體重量。

7. 上部斜面沉箱堤

將沉箱高於水面部份及胸牆混凝土改成斜面即成上部斜面沉箱堤，主要係利用作用於直立堤之波力與斜面之波力不同時發生以減小作用於堤體之水平力，因此安全性較高，但相對越波所致港內傳遞波較大。

(二) 防波堤斷面型式研選

在前述各類堤型中，國內既有各港口及海岸開發所採用之外廓堤型式均以選用沉箱合成堤及拋石斜坡堤構造為主，其原因主要是防波堤結構必須能抵擋颱風季節之強浪，以及以往國內對卵塊石之取得相當容易。惟近年來，國內對環境保護日益重視，在水土保持及資源保護之限制下，加上各項大型建設相繼推動，國內卵塊石之供應已日趨缺乏，且取得成本亦大幅提高。

本計畫北防波堤延建段堤址水深介於-20m~-25m 間，若採拋石斜坡堤設計，雖較具有消波效果，但所需卵塊石數量相當多、不甚經濟；至於國外近年來較常採用之鋼板圓筒直立堤，在國內施作之工程費偏高，施工技術須仰賴國外，施工上所可能遭遇之問題與沉箱堤類似，本計畫採用該類堤型之可行性不高。國內過去建造沉箱式合成堤具有相當多實績，施工水深亦達 30m，故本計畫建議宜採用沉箱式合成堤斷面，另為減低北防波堤延建後反射波對船舶進出港之影響，於航道側將採消波設計，以消減波能。

(三) 沉箱式合成堤斷面選定因素

1. 波浪特性、地質情況、沉箱安放水深及胸牆頂高等均將影響沉箱之寬度。如胸牆頂高不變，則拋石數量將隨沉箱安放水深之加深而減少，但沉箱所需寬度則相對增加。本計畫將就沉箱高度及拋石基礎高程進行分析，並在符合經濟性之考量下研選最適安放水深。
2. 潛水俠水下整平工作，隨水深之增加而減低其工作效率，此將影響本計畫研定之沉箱安放水深。本計畫研選沉箱斷面時將參考日本運輸省公佈潛水俠水下全日可工作小時(如圖 3-1-3)。
3. 沉箱安放水深增加，沉箱之底版反力將增大，尤以大風浪時為然。增設兩側基腳，將可降低沉箱底版反力，防止沖刷，

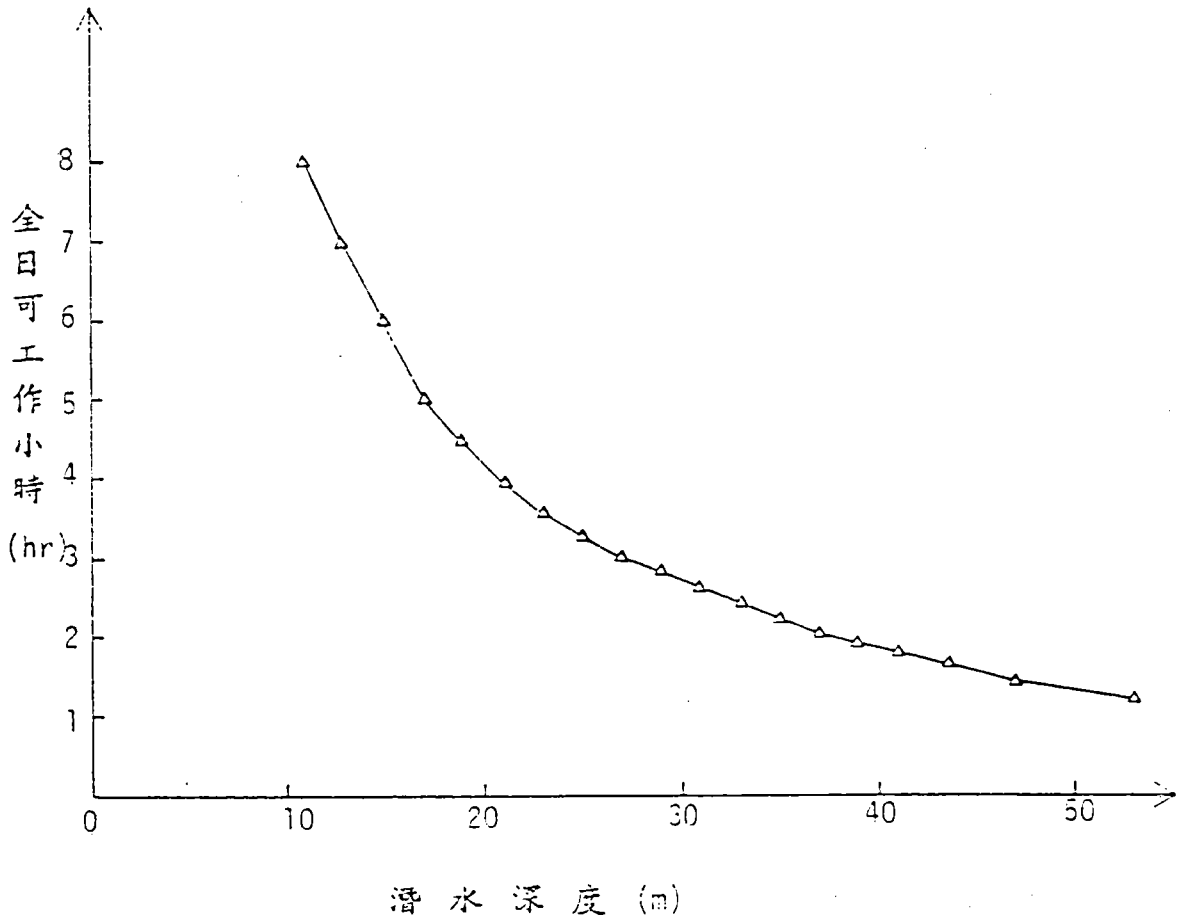


圖 3-1-3 潛水伏全日可工作時數與潛水深度關係圖

縮小沉箱寬度，本計畫將就有無設置基腳之沉箱規模進行分析。

4. 增加胸牆高程雖可減少越波量，但因堤身所受波力增加，將影響防波堤造價。本計畫擬延伸之防波堤後側為一廣大水域，亦無碼頭設施，其胸牆頂高將以不低於最低標準作為研定依據。

(四) 沉箱最適斷面研選

1. 堤頂高程

北防波堤延伸段遠居港口外側，颱風期間越波將不致影響港池靜穩，故延伸段堤頂高程將採允許越波進行設計。依防波堤允許越波之堤頂設計基準為：設計水位加上 0.6 倍示性設計波高，北防波堤延伸段之堤前設計示性波高界於 6.6m~6.7m，依此推算堤頂高程應在 CD.+9.82m 以上。

北防波堤在一期擴建工程延建之 850m 長堤段堤頂高程為 CD.+10.2~+12.2m，考量新舊堤段高程銜接及越波需求，本計畫新建延伸段堤頂高程採 CD.+11m。

2. 各種沉箱斷面安全穩定性比較分析

為研選出最經濟之沉箱堤斷面，本計畫先以不同之沉箱安放水深(包括-14m、-16m、-18m、-20m 等四種條件)，搭配沉箱採無基腳配置、具 1.5m 寬之基腳配置等二種情況進行堤體安全及穩定分析，最後再從分析結果中研選不同沉箱安放水深時之沉箱斷面進行工程費比較。

依據表 3-1-6 所列之設計波浪條件，各里程段防波堤於不同沉箱安放水深條件下，堤體滑動安全係數、傾覆安全係數、拋石基礎最大反力、拋石基礎容許反力與沉箱寬度間之關係以及檢核結果，如表 3-1-7(a)~表 3-1-7(f)及圖 3-1-4(a)~圖 3-1-4(f)所示。

表中所列沉箱寬度均為通過堤體滑動、傾覆安全穩定性檢核

表3-1-7(a) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之關係（基脚寬度1.5m）

堤址水深-22m，沉箱安放深度-14m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	2.91	2.85	2.80	2.75	2.70	2.65	2.60	2.55	2.50	2.45	2.40	2.34	2.29	2.24	2.19	2.14	2.09	2.04	1.99	1.94	1.89
傾覆安全係數	3.80	3.70	3.61	3.53	3.44	3.35	3.27	3.18	3.10	3.01	2.93	2.83	2.75	2.67	2.59	2.51	2.43	2.35	2.27	2.2	2.12
拋石底面最大反力	27.64	27.60	27.61	27.62	27.63	27.64	27.65	27.66	27.68	27.69	27.70	27.66	27.67	27.68	27.69	27.70	27.71	27.72	33.61	33.71	33.83
基礎容許承載力	60.59	59.95	59.30	58.66	58.02	57.37	56.73	56.10	55.47	54.85	54.22	52.95	51.67	50.39	49.08	47.78	46.47	45.14	43.79	42.45	41.09
堤址水深-22m，沉箱安放深度-16m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	3.02	2.96	2.91	2.85	2.80	2.75	2.70	2.65	2.60	2.55	2.49	2.43	2.38	2.33	2.28	2.23	2.17	2.12	2.07	2.02	1.97
傾覆安全係數	3.88	3.77	3.68	3.59	3.49	3.40	3.31	3.22	3.14	3.05	2.96	2.86	2.78	2.69	2.61	2.53	2.44	2.36	2.28	2.20	2.12
拋石底面最大反力	29.97	29.97	30.04	30.11	30.18	30.26	30.34	30.42	30.51	30.60	30.69	30.72	30.82	30.92	31.03	31.14	31.26	31.38	37.11	37.37	37.65
基礎容許承載力	56.90	56.22	55.57	54.91	54.24	53.58	52.92	52.28	51.62	50.97	49.91	48.52	47.19	45.85	44.49	43.13	41.75	40.36	38.95	37.52	36.09
堤址水深-22m，沉箱安放深度-18m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	3.12	3.06	3.01	2.95	2.90	2.85	2.80	2.74	2.69	2.64	2.58	2.52	2.47	2.41	2.36	2.31	2.26	2.20	2.15	2.10	2.04
傾覆安全係數	3.92	3.81	3.72	3.62	3.53	3.43	3.34	3.25	3.15	3.06	2.97	2.87	2.79	2.70	2.61	2.53	2.44	2.36	2.28	2.19	2.11
拋石底面最大反力	33.16	33.24	33.40	33.56	33.72	33.90	34.08	34.27	34.47	34.68	34.90	35.05	35.29	35.54	35.80	36.07	36.36	41.33	41.77	42.27	42.82
基礎容許承載力	53.27	52.60	51.93	51.24	50.57	49.90	49.21	48.54	47.88	46.91	45.56	44.13	42.76	41.36	39.96	38.54	37.11	35.66	34.19	32.70	31.19
堤址水深-22m，沉箱安放深度-20m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	3.22	3.16	3.10	3.05	2.99	2.94	2.89	2.83	2.78	2.72	2.67	2.60	2.55	2.50	2.44	2.39	2.33	2.28	2.22	2.17	2.12
傾覆安全係數	3.95	3.83	3.73	3.64	3.54	3.44	3.35	3.25	3.16	3.06	2.97	2.87	2.78	2.69	2.60	2.51	2.43	2.34	2.26	2.18	2.09
拋石底面最大反力	37.48	37.67	37.95	38.24	38.55	38.87	39.21	39.57	39.94	40.33	40.75	41.08	41.54	42.01	42.52	43.05	43.53	47.22	48.00	48.88	49.87
基礎容許承載力	49.71	49.03	48.34	47.64	46.96	46.27	45.58	44.90	44.00	42.63	41.24	39.77	38.36	36.92	35.48	34.02	32.54	31.02	29.51	27.96	26.39

註：表示基礎反力檢核未通過

表3-1-7(b) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之關係 (無基脚)

堤址水深-22m，沉箱安放深度-14m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	2.88	2.82	2.78	2.73	2.69	2.64	2.60	2.55	2.51	2.46	2.42	2.36	2.32	2.27	2.23	2.18	2.14	2.09	2.05	2.00	1.96
傾覆安全係數	3.59	3.51	3.45	3.38	3.32	3.25	3.19	3.12	3.05	2.98	2.91	2.83	2.76	2.69	2.62	2.54	2.47	2.40	2.32	2.25	2.17
拋石底面最大反力	29.20	29.18	29.23	29.28	29.33	29.38	29.44	29.50	29.56	29.62	29.69	29.69	29.76	29.83	29.90	29.98	30.06	37.20	37.43	37.67	37.95
基礎容許承載力	56.38	55.73	55.09	54.45	53.80	53.16	52.51	51.88	51.20	49.95	48.69	47.36	46.09	44.80	43.50	42.20	40.88	39.55	38.22	36.88	35.50
堤址水深-22m，沉箱安放深度-16m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	2.99	2.93	2.89	2.84	2.79	2.75	2.70	2.65	2.61	2.56	2.51	2.45	2.41	2.36	2.31	2.27	2.22	2.17	2.13	2.08	2.03
傾覆安全係數	3.64	3.56	3.49	3.42	3.35	3.28	3.20	3.13	3.06	2.98	2.91	2.82	2.75	2.67	2.59	2.52	2.44	2.36	2.29	2.21	2.13
拋石底面最大反力	32.13	32.18	32.30	32.43	32.57	32.71	32.85	33.01	33.17	33.33	33.51	33.61	33.80	34.00	34.21	34.42	41.29	41.69	42.12	42.59	43.12
基礎容許承載力	52.68	52.02	51.35	50.69	50.04	49.38	48.72	48.06	46.82	45.51	44.21	42.78	41.51	40.17	38.82	37.45	36.08	34.69	33.28	31.86	30.42
堤址水深-22m，沉箱安放深度-18m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	3.10	3.04	2.99	2.94	2.89	2.84	2.79	2.75	2.70	2.65	2.60	2.54	2.49	2.44	2.39	2.34	2.30	2.25	2.20	2.15	2.10
傾覆安全係數	3.67	3.59	3.51	3.43	3.36	3.28	3.20	3.13	3.05	2.97	2.89	2.80	2.72	2.64	2.56	2.48	2.40	2.32	2.24	2.16	2.08
拋石底面最大反力	36.15	36.30	36.54	36.79	37.05	37.33	37.61	37.91	38.23	38.56	38.91	39.18	39.56	39.96	40.39	40.80	47.03	47.72	48.48	49.33	50.27
基礎容許承載力	49.07	48.40	47.71	47.04	46.37	45.68	45.01	43.81	42.48	41.15	39.80	38.36	37.00	35.62	34.22	32.80	31.36	29.92	28.45	26.96	25.47
堤址水深-22m，沉箱安放深度-20m																					
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
滑動安全係數	3.20	3.14	3.08	3.03	2.98	2.93	2.88	2.83	2.78	2.73	2.68	2.62	2.57	2.52	2.47	2.42	2.37	2.32	2.27	-	-
傾覆安全係數	3.68	3.59	3.51	3.43	3.35	3.27	3.19	3.10	3.02	2.94	2.86	2.77	2.68	2.60	2.52	2.44	2.36	2.28	2.19	-	-
拋石底面最大反力	41.58	41.89	42.30	42.74	43.19	43.67	44.18	44.71	45.27	45.86	46.48	47.03	47.72	48.45	52.73	53.68	54.73	55.90	57.21	-	-
基礎容許承載力	45.51	44.83	44.13	43.44	42.76	42.07	40.87	39.52	38.18	36.81	35.42	33.95	32.54	31.11	29.65	28.20	26.71	25.21	23.70	-	-

註：表示基礎反力檢核未通過

表3-1-7(c) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之關係 (基腳寬度1.5m)

堤址水深-23m，沉箱安放深度-14m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	2.93	2.87	2.82	2.77	2.72	2.67	2.62	2.57	2.52	2.47	2.42	2.36	2.31	2.26	2.21	2.16	2.11	2.06	2.01
傾覆安全係數	3.83	3.73	3.64	3.56	3.47	3.38	3.29	3.21	3.12	3.04	2.95	2.86	2.78	2.69	2.61	2.53	2.45	2.37	2.29
拋石底面最大反力	27.80	27.74	27.74	27.73	27.73	27.72	27.71	27.71	27.70	27.69	27.69	27.62	27.61	27.60	27.58	27.57	27.55	27.53	27.51
基礎容許承載力	62.36	61.73	61.08	60.44	59.81	59.18	58.53	57.92	57.29	56.67	56.06	54.99	53.72	52.44	51.17	49.87	48.57	47.26	45.93
堤址水深-23m，沉箱安放深度-16m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	3.05	2.98	2.93	2.88	2.83	2.78	2.72	2.67	2.62	2.57	2.52	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.19	2.14	2.09
傾覆安全係數	3.91	3.80	3.71	3.62	3.52	3.43	3.34	3.25	3.16	3.07	2.99	2.89	2.80	2.72	2.63	2.55	2.46	2.38	2.30
拋石底面最大反力	29.87	29.85	29.90	29.94	29.99	30.04	30.09	30.14	30.20	30.26	30.32	30.31	30.37	30.43	30.50	30.57	30.64	30.71	36.81
基礎容許承載力	58.65	58.00	57.34	56.69	56.03	55.37	54.73	54.07	53.42	52.78	51.91	50.54	49.22	47.89	46.56	45.21	43.85	42.46	41.08
堤址水深-23m，沉箱安放深度-18m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	3.15	3.09	3.03	2.98	2.93	2.87	2.82	2.77	2.71	2.66	2.61	2.54	2.49	2.44	2.38	2.33	2.28	2.22	2.17
傾覆安全係數	3.96	3.85	3.75	3.65	3.56	3.46	3.37	3.27	3.18	3.09	3.00	2.90	2.81	2.72	2.63	2.55	2.46	2.38	2.29
拋石底面最大反力	32.73	32.78	32.89	33.02	33.14	33.28	33.42	33.56	33.71	33.87	34.03	34.13	34.30	34.49	34.68	34.89	35.10	40.67	41.02
基礎容許承載力	55.03	54.36	53.69	53.02	52.35	51.67	51.00	50.34	49.67	48.90	47.57	46.14	44.79	43.41	42.03	40.61	39.20	37.77	36.32
堤址水深-23m，沉箱安放深度-20m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	3.25	3.18	3.13	3.07	3.02	2.97	2.91	2.86	2.80	2.75	2.69	2.63	2.57	2.52	2.46	2.41	2.35	2.30	2.24
傾覆安全係數	3.98	3.87	3.77	3.67	3.57	3.47	3.37	3.27	3.18	3.09	3.00	2.89	2.80	2.71	2.62	2.54	2.45	2.36	2.28
拋石底面最大反力	36.60	36.74	36.96	37.20	37.45	37.71	37.98	38.26	38.56	38.87	39.20	39.44	39.80	40.18	40.57	40.99	45.42	45.99	46.62
基礎容許承載力	51.46	50.78	50.09	49.41	48.73	48.05	47.36	46.68	45.99	44.63	43.26	41.79	40.38	38.96	37.53	36.08	34.61	33.12	31.63

註：  表示基礎反力檢核未通過

表3-1-7(d) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之關係（無基脚）

堤址水深-23m，沉箱安放深度-14m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	2.90	2.85	2.80	2.76	2.71	2.67	2.62	2.58	2.53	2.49	2.44	2.39	2.34	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
傾覆安全係數	3.62	3.54	3.48	3.41	3.35	3.28	3.21	3.14	3.08	3.01	2.94	2.85	2.78	2.71	2.64	2.56	2.49	2.42	2.34
拋石底面最大反力	29.22	29.19	29.22	29.24	29.27	29.30	29.33	29.37	29.40	29.44	29.47	29.45	29.49	29.53	29.57	29.61	29.65	29.70	37.19
基礎容許承載力	58.14	57.51	56.87	56.22	55.59	54.95	54.32	53.69	53.07	51.94	50.69	49.38	48.12	46.84	45.57	44.27	42.97	41.66	40.35
堤址水深-23m，沉箱安放深度-16m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	3.02	2.96	2.91	2.87	2.82	2.77	2.72	2.68	2.63	2.58	2.53	2.48	2.43	2.38	2.34	2.29	2.24	2.19	2.15
傾覆安全係數	3.67	3.59	3.52	3.45	3.38	3.30	3.23	3.16	3.08	3.01	2.93	2.85	2.77	2.69	2.62	2.54	2.46	2.38	2.31
拋石底面最大反力	31.84	31.86	31.95	32.04	32.14	32.25	32.36	32.47	32.59	32.71	32.84	32.89	33.03	33.18	33.33	33.49	33.65	41.08	41.43
基礎容許承載力	54.45	53.79	53.13	52.47	51.81	51.16	50.51	49.87	48.80	47.52	46.23	44.86	43.54	42.21	40.88	39.52	38.16	36.79	35.41
堤址水深-23m，沉箱安放深度-18m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	3.12	3.07	3.02	2.97	2.92	2.87	2.82	2.77	2.72	2.67	2.62	2.56	2.51	2.46	2.42	2.37	2.32	2.27	2.22
傾覆安全係數	3.70	3.62	3.54	3.46	3.39	3.31	3.23	3.15	3.07	2.99	2.91	2.82	2.74	2.66	2.58	2.50	2.42	2.34	2.26
拋石底面最大反力	35.43	35.54	35.73	35.92	36.13	36.35	36.57	36.81	37.06	37.32	37.59	37.79	38.09	38.40	38.73	45.42	45.93	46.50	47.13
基礎容許承載力	50.82	50.15	49.34	48.80	48.13	47.47	46.80	45.77	44.46	43.13	41.80	40.38	39.02	37.65	36.26	34.86	33.45	32.00	30.56
堤址水深-23m，沉箱安放深度-20m																			
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0
滑動安全係數	3.22	3.16	3.11	3.06	3.01	2.96	2.91	2.86	2.81	2.76	2.71	2.64	2.59	2.54	2.49	2.44	2.39	2.34	2.29
傾覆安全係數	3.71	3.62	3.54	3.46	3.38	3.30	3.21	3.13	3.05	2.97	2.88	2.79	2.71	2.62	2.54	2.46	2.38	2.30	2.21
拋石底面最大反力	40.28	40.56	40.86	41.21	41.59	41.97	42.38	42.81	43.26	43.74	44.24	44.66	45.21	45.80	51.18	51.97	52.84	53.81	54.88
基礎容許承載力	47.26	46.58	45.89	45.21	44.52	43.85	42.84	41.50	40.15	38.79	37.42	35.95	34.55	33.14	31.71	30.25	28.80	27.31	25.80

註：表示基礎反力檢核未通過

表3-1-7(e) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之關係 (基脚寬度1.5m)

堤址水深-24m，沉箱安放深度-14m																							
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0		
滑動安全係數	2.96	2.90	2.85	2.80	2.75	2.70	2.64	2.59	2.54	2.49	2.44	2.38	2.33	2.28	2.23	2.18	2.13	2.07	2.02	1.97	1.92		
傾覆安全係數	3.86	3.76	3.67	3.58	3.50	3.41	3.32	3.23	3.15	3.06	2.98	2.88	2.80	2.71	2.63	2.55	2.47	2.39	2.31	2.23	2.15		
拋石底面最大反力	28.03	27.96	27.94	27.92	27.90	27.88	27.86	27.83	27.81	27.79	27.76	27.68	27.65	27.61	27.58	27.54	27.51	27.46	27.42	27.37	27.31	27.24	27.17
基礎容許承載力	64.12	63.50	62.86	62.23	61.59	60.97	60.34	59.72	59.11	58.49	57.89	57.01	55.76	54.50	53.23	51.94	50.65	49.36	48.06	46.75	45.42		
堤址水深-24m，沉箱安放深度-16m																							
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0		
滑動安全係數	3.07	3.01	2.96	2.91	2.85	2.80	2.75	2.70	2.64	2.59	2.54	2.48	2.42	2.37	2.32	2.27	2.21	2.16	2.11	2.06	2.01		
傾覆安全係數	3.94	3.83	3.74	3.65	3.55	3.46	3.37	3.28	3.19	3.10	3.01	2.91	2.82	2.74	2.65	2.57	2.48	2.40	2.32	2.24	2.16		
拋石底面最大反力	29.87	29.83	29.85	29.87	29.90	29.93	29.95	29.98	30.01	30.04	30.07	30.03	30.07	30.10	30.13	30.16	30.20	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23
基礎容許承載力	60.41	59.77	59.11	58.45	57.81	57.15	56.50	55.87	55.23	54.60	53.91	52.56	51.25	49.94	48.61	47.28	45.92	44.56	43.19	41.80	40.40		
堤址水深-24m，沉箱安放深度-18m																							
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0		
滑動安全係數	3.18	3.11	3.06	3.01	2.95	2.90	2.84	2.79	2.74	2.68	2.63	2.57	2.51	2.46	2.40	2.35	2.30	2.24	2.19	2.14	2.08		
傾覆安全係數	3.99	3.88	3.78	3.68	3.58	3.49	3.39	3.30	3.21	3.11	3.02	2.92	2.83	2.74	2.66	2.57	2.48	2.40	2.31	2.23	2.15		
拋石底面最大反力	32.43	32.44	32.53	32.62	32.71	32.81	32.91	33.01	33.12	33.24	33.36	33.41	33.53	33.61	33.81	33.95	34.10	34.10	34.10	34.10	34.10	34.10	34.10
基礎容許承載力	56.78	56.11	55.44	54.78	54.11	53.45	52.78	52.12	51.46	50.82	49.56	48.16	46.80	45.44	44.07	42.67	41.27	39.86	38.42	36.96	35.49		
堤址水深-24m，沉箱安放深度-20m																							
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0		
滑動安全係數	3.28	3.21	3.16	3.10	3.05	2.99	2.94	2.88	2.83	2.77	2.72	2.65	2.59	2.54	2.48	2.43	2.37	2.32	2.26	2.21	2.15		
傾覆安全係數	4.01	3.90	3.80	3.70	3.60	3.50	3.40	3.30	3.21	3.11	3.02	2.92	2.82	2.73	2.64	2.56	2.47	2.38	2.30	2.21	2.13		
拋石底面最大反力	35.89	35.99	36.17	36.36	36.55	36.76	36.97	37.19	37.43	37.67	37.93	38.10	38.38	38.67	38.98	39.30	39.64	40.00	40.36	40.72	41.08	41.44	41.80
基礎容許承載力	53.21	52.53	51.86	51.17	50.50	49.81	49.14	48.47	47.80	46.61	45.25	43.79	42.39	40.99	39.58	38.14	36.68	35.21	33.73	32.21	30.67		

註：表示基礎反力檢核未通過

表3-1-7(f) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與各安全控制參數之關係（無基脚）

堤址水深-24m，沉箱安放深度-14m																						
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	
滑動安全係數	2.93	2.87	2.83	2.78	2.74	2.69	2.64	2.60	2.55	2.51	2.46	2.41	2.36	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	2.08	2.04	1.99	
傾覆安全係數	3.64	3.57	3.51	3.44	3.37	3.31	3.24	3.17	3.10	3.03	2.96	2.88	2.81	2.73	2.66	2.58	2.51	2.43	2.36	2.28	2.21	
拋石底面最大反力	29.33	29.28	29.29	29.30	29.31	29.32	29.33	29.34	29.35	29.37	29.38	29.33	29.35	29.36	29.37	29.39	29.40	29.41	37.06	37.21	37.37	
基礎容許承載力	59.92	59.29	58.65	58.02	57.37	56.74	56.13	55.50	54.88	53.93	52.70	51.39	50.15	48.89	47.61	46.34	45.05	43.75	42.45	41.15	39.82	
堤址水深-24m，沉箱安放深度-16m																						
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	
滑動安全係數	3.05	2.99	2.94	2.89	2.84	2.80	2.75	2.70	2.65	2.60	2.56	2.50	2.45	2.40	2.36	2.31	2.26	2.21	2.16	2.12	2.07	
傾覆安全係數	3.70	3.62	3.55	3.48	3.41	3.33	3.26	3.18	3.11	3.03	2.96	2.87	2.79	2.72	2.64	2.56	2.48	2.40	2.32	2.25	2.17	
拋石底面最大反力	31.65	31.65	31.72	31.78	31.85	31.93	32.00	32.08	32.16	32.25	32.34	32.36	32.46	32.56	32.66	32.77	32.88	40.61	40.89	41.20	41.54	
基礎容許承載力	56.20	55.55	54.89	54.25	53.59	52.95	52.30	51.66	50.78	49.50	48.22	46.86	45.56	44.24	42.91	41.58	40.24	38.88	37.51	36.12	34.72	
堤址水深-24m，沉箱安放深度-18m																						
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	
滑動安全係數	3.15	3.09	3.04	2.99	2.94	2.89	2.84	2.79	2.74	2.69	2.65	2.58	2.54	2.49	2.44	2.39	2.34	2.29	2.24	2.19	2.14	
傾覆安全係數	3.73	3.65	3.57	3.49	3.41	3.34	3.26	3.18	3.10	3.02	2.94	2.85	2.77	2.69	2.60	2.52	2.44	2.36	2.28	2.20	2.12	
拋石底面最大反力	34.87	34.94	35.09	35.24	35.40	35.57	35.75	35.93	36.12	36.33	36.54	36.67	36.90	37.14	37.90	37.65	45.05	45.52	46.08	46.60	47.23	
基礎容許承載力	52.57	51.91	51.24	50.57	49.91	49.24	48.58	47.73	46.42	45.11	43.79	42.38	41.03	39.68	38.29	36.90	35.50	34.09	32.65	31.21	29.74	
堤址水深-24m，沉箱安放深度-20m																						
沉箱寬度	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5	27.0	26.5	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	
滑動安全係數	3.25	3.19	3.14	3.09	3.04	2.99	2.93	2.88	2.83	2.78	2.73	2.67	2.62	2.56	2.51	2.46	2.41	2.36	2.31	2.26	-	
傾覆安全係數	3.74	3.65	3.57	3.49	3.40	3.32	3.24	3.16	3.07	3.99	2.91	2.81	2.73	2.65	2.56	2.48	2.40	2.31	2.23	2.15	-	
拋石底面最大反力	39.22	39.40	39.67	39.96	40.26	40.57	40.90	41.25	41.61	41.99	42.39	42.71	43.15	43.61	44.10	50.54	51.27	52.07	52.96	53.94	-	
基礎容許承載力	49.01	48.33	47.66	46.97	46.28	45.61	44.79	43.46	42.11	40.77	39.41	37.95	36.57	35.15	33.74	32.31	30.86	29.39	27.90	26.39	-	

註：  表示基礎反力檢核未通過

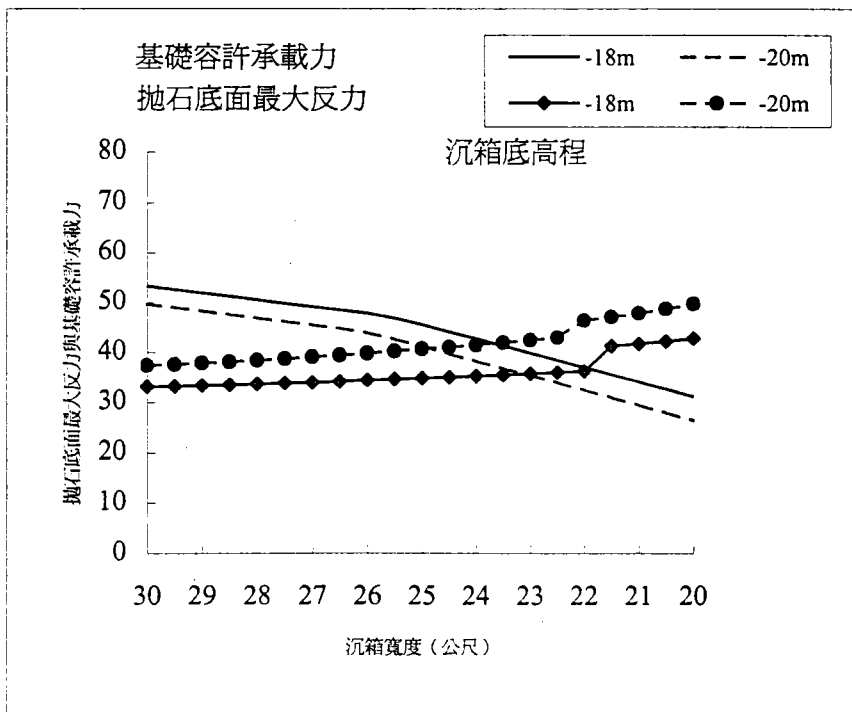
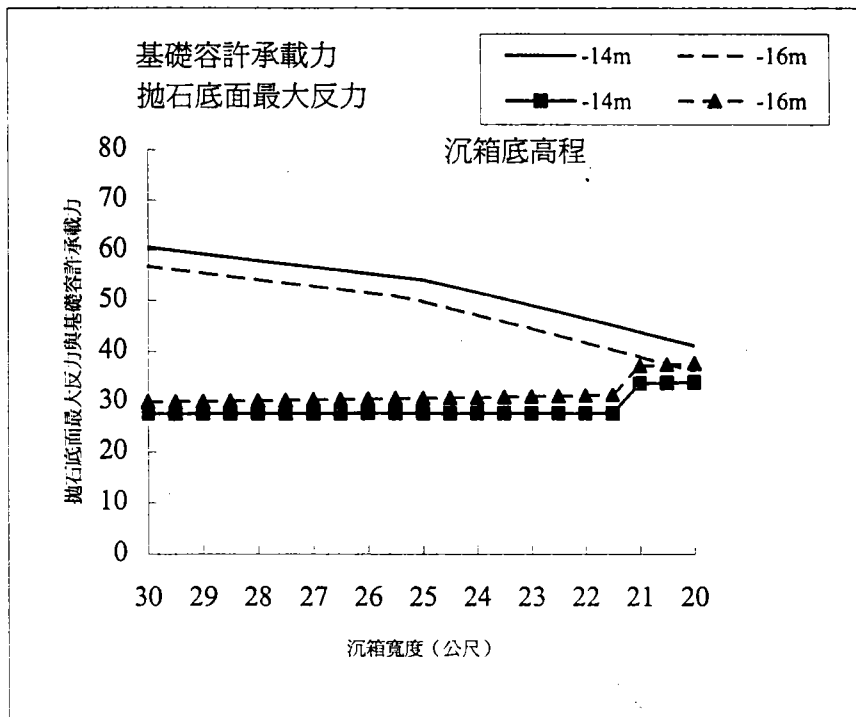


圖3-1-4(a) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與基礎承载力關係圖
(堤址水深22m, 基脚寬度1.5m)

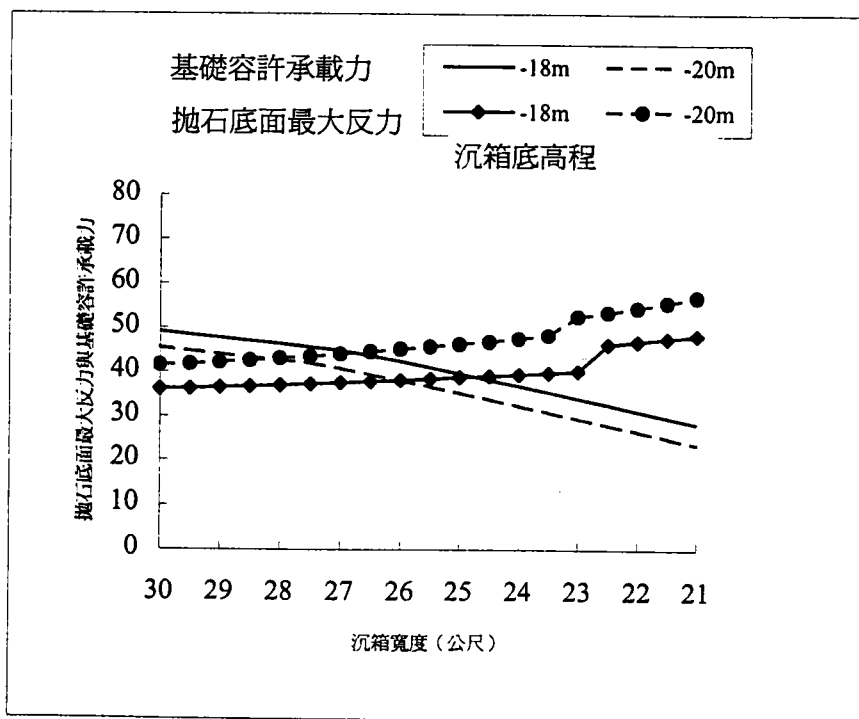
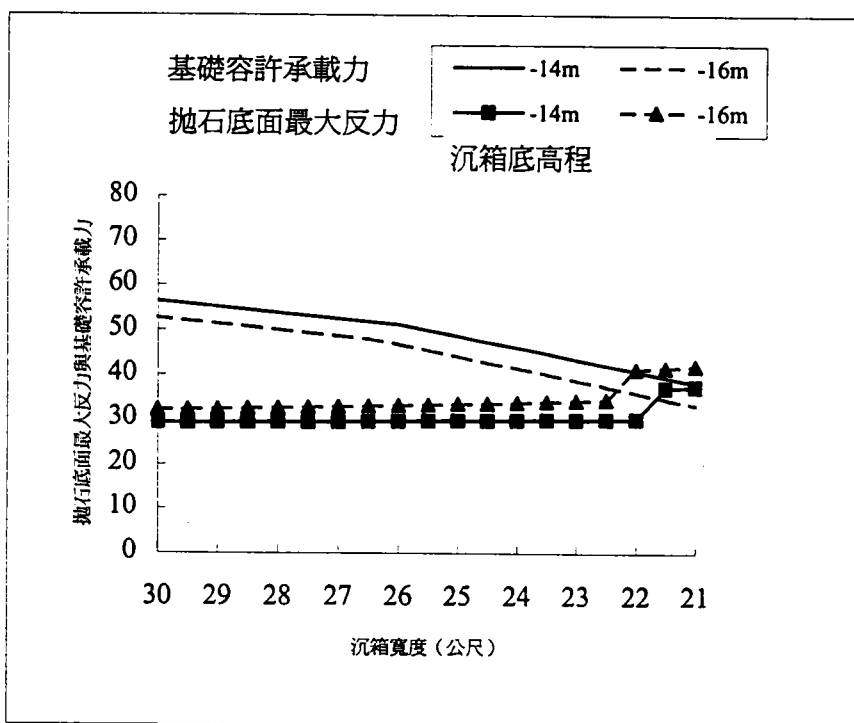


圖3-1-4(b) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與基礎承载力關係圖
(堤址水深22m, 無基脚)

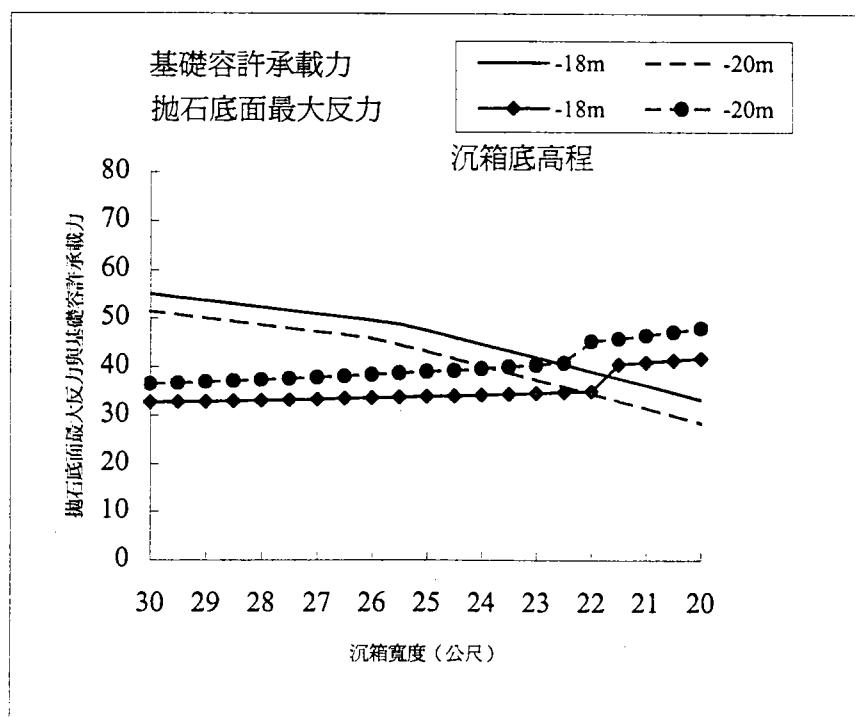
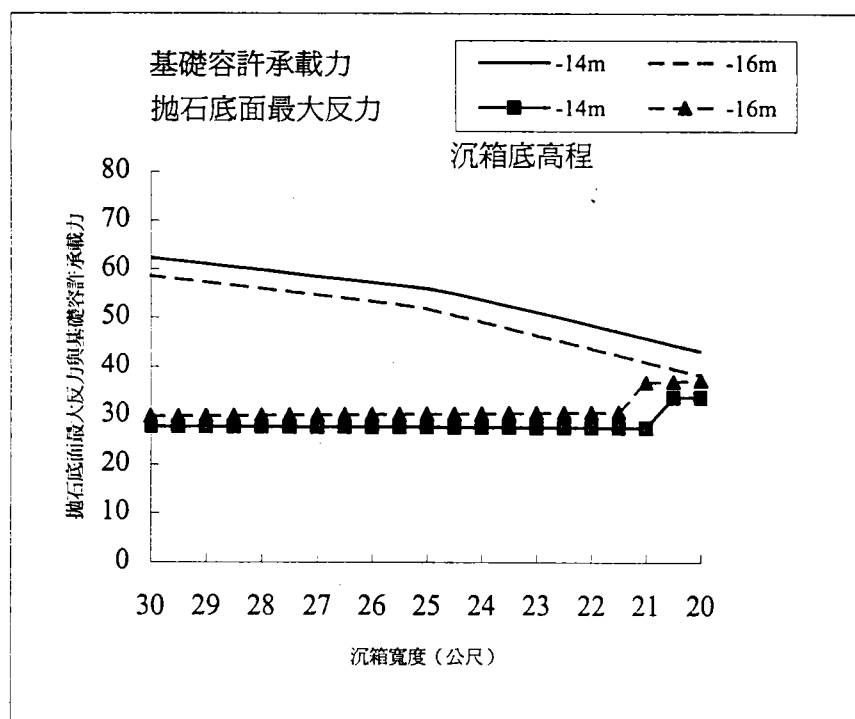


圖3-1-4(c) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與基礎承载力關係圖
(堤址水深23m, 基脚寬度1.5m)

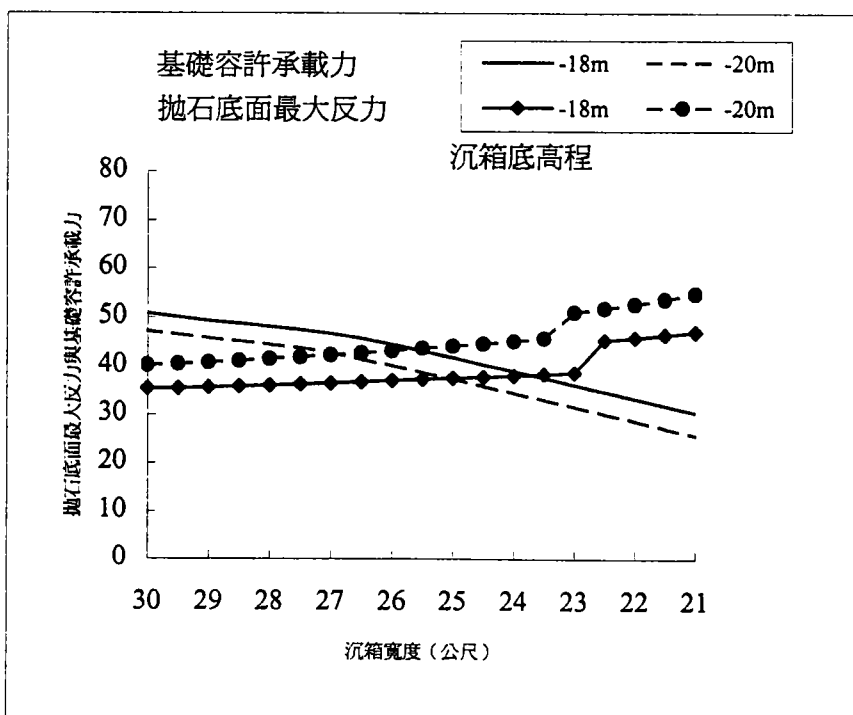
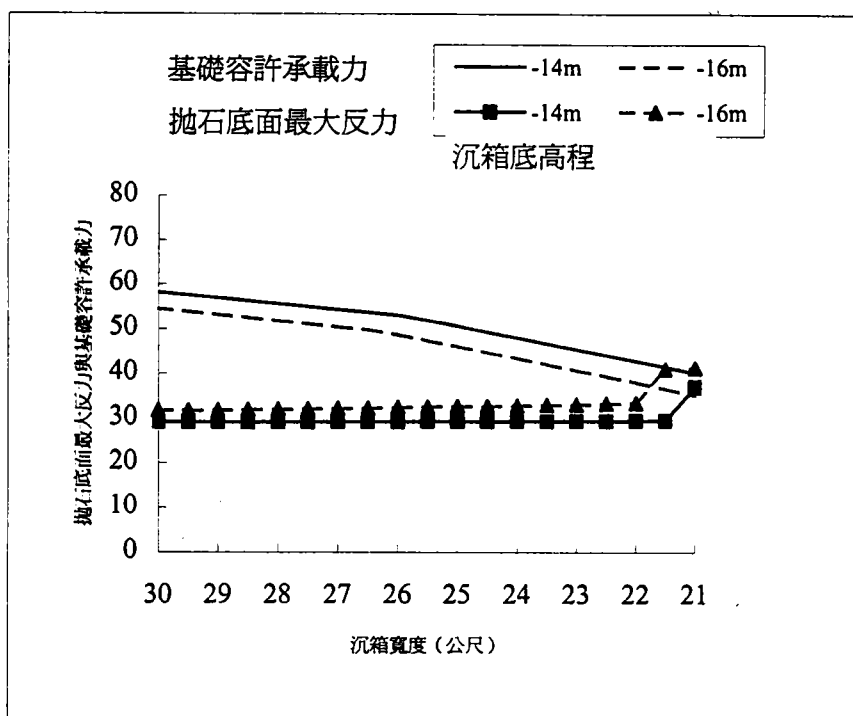


圖3-1-4(d) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與基礎承載力關係圖
(堤址水深23m, 無基腳)

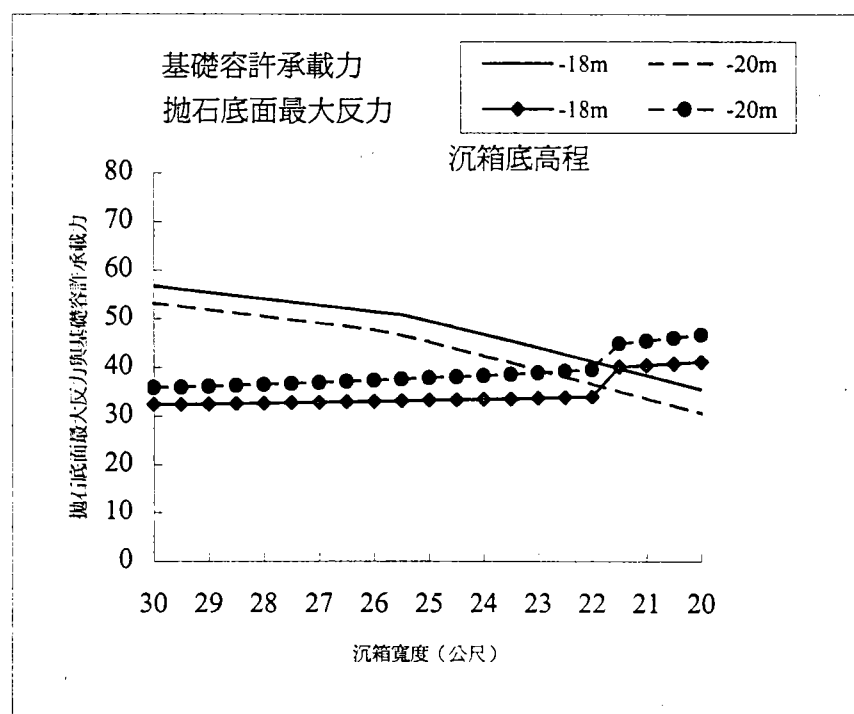
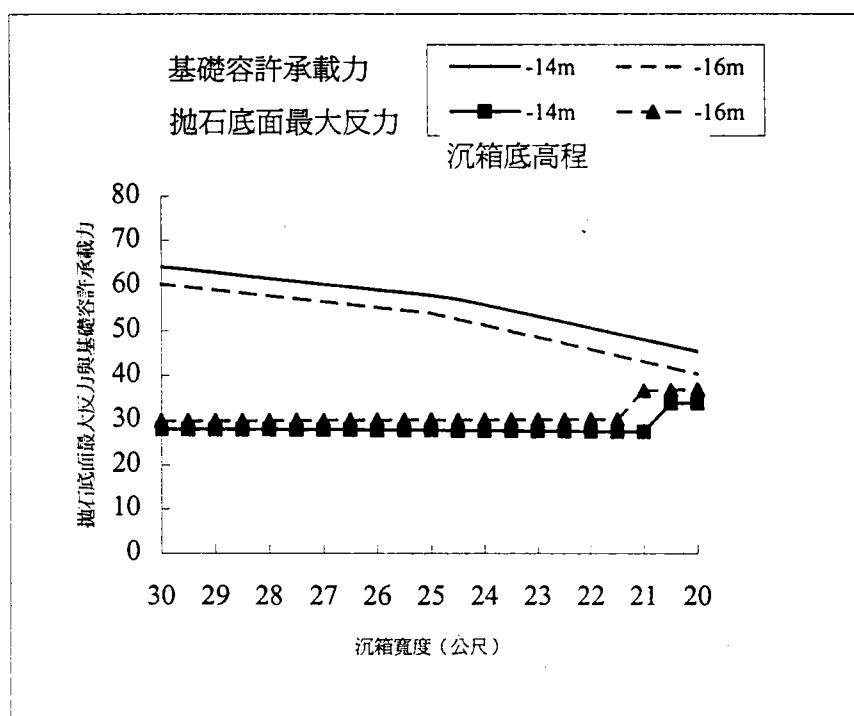


圖3-1-4(e) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與基礎承载力關係圖
(堤址水深24m, 基腳寬度1.5m)

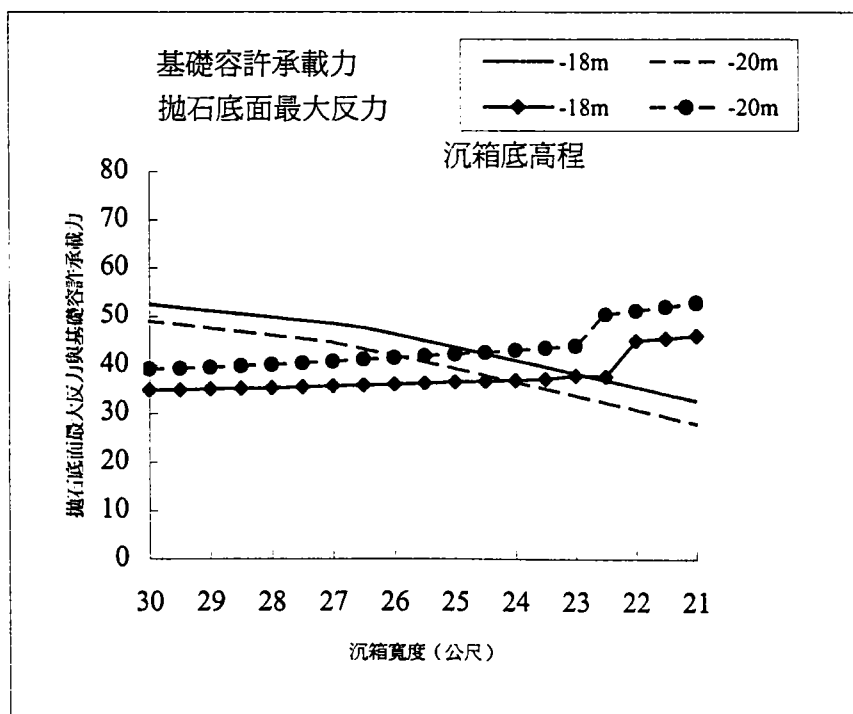
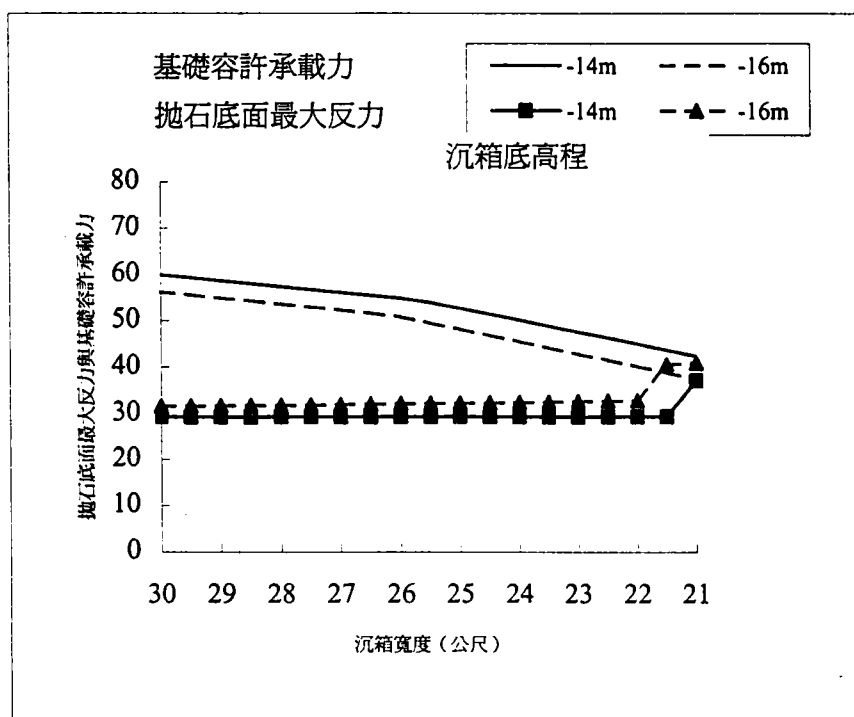


圖3-1-4(f) 台中港北防波堤延伸段沉箱寬度與基礎承载力關係圖
(堤址水深24m, 無基脚)

者，但各斷面因堤體規模、安放水深及拋石基礎厚度不同，沉箱體重量及受波力時之作用力反應在拋石基礎之最大反力均不同，相對的基礎容許反力隨著基礎堤身加寬亦有不同，故部份通過堤體滑動、傾覆安全穩定性檢核者，在基礎承载力檢核上並無法通過。

從計算成果表中可看出設置基腳之沉箱斷面寬度，在同一安放水深及堤址水深條件下，沉箱寬度可較不設置基腳減少約 2~3m，故在同一設計條件下，採用設置基腳之沉箱顯然較不設置基腳之沉箱來的經濟。

3.最適沉箱斷面研選

經由前述計算結果可知，決定沉箱斷面寬度之主要因素為拋石基礎最大反力，而設置有基腳之沉箱斷面在經濟性又相對較佳。從前述計算表中，可看出設計水深-22m、-23m、-24m 之沉箱堤，在-14m~-20m 安放水深時之較適沉箱寬度約界於 20m~27m(兩側各設 1.5m 寬基腳)之間。為便於比較，茲選取各堤段不同沉箱安放水深時之較適代表斷面如表 3-1-8。

各種不同沉箱安放水深時之沉箱堤斷面，因基礎厚度不同，其工程費亦有差異。表 3-1-8 所列斷面經計算基礎拋石數量及整平等工作所需費用後，各里程段防波堤比較斷面單位長度工程造價如表 3-1-9 所示。

由工程費比較表中，可看出各里程防波堤工程造價均以沉箱安放水深為-16m、沉箱寬度為 22m 者為最低，其次為沉箱安放水深-14m、沉箱寬度 20m。此二種斷面工程費差異有限，如就施工層面考量(沉箱安放及水下整平工作)，安放水深較淺之斷面將較易施工，但考量影響沉箱合成堤工程費之要素為石料單價之高低。而近年國內石料供應受河床禁採及山坡地水土保持之環保影響日趨缺乏，可預期未來價格將持續抬高，故沉箱底安放水深將以選擇-16m、沉箱寬 22m 為最適斷面。

表3-1-8 北外堤延伸段各里程堤段比較斷面選定結果

堤 線 里 程	設計水深 (M)	胸牆頂高程 (M)	沉箱安放水深 (M)	沉箱寬度 (M)	滑動安全係數	傾覆安全係數	拋石基礎 最大反力	拋石基礎 容許反力
0K+000~0K+100	-22	11	-14	20	1.89	2.12	33.83	41.09
			-16	22	2.17	2.44	31.26	41.75
			-18	25	2.58	2.97	34.90	45.56
			-20	27	2.89	3.35	39.21	45.58
0K+100~0K+130	-23	11	-14	20	1.90	2.14	33.71	43.26
			-16	22	2.19	2.46	30.64	43.85
			-18	25	2.61	3.00	34.03	47.57
			-20	27	2.91	3.37	37.98	47.36
0K+130~0K+160	-24	11	-14	20	1.92	2.15	33.81	45.42
			-16	22	2.21	2.48	30.20	45.92
			-18	25	2.63	3.02	33.36	49.56
			-20	27	2.94	3.40	36.97	49.14
0K+160~0K+480	-24	11	-14	20	1.92	2.15	33.81	45.42
			-16	22	2.21	2.48	30.20	45.92
			-18	25	2.63	3.02	33.36	49.56
			-20	27	2.94	3.40	36.97	49.14

註：表列沉箱均設置有1.5m寬之基腳

表3-1-9 各里程段比較斷面單位長度工程費比較表

堤線里程	設計水深 (公尺)	沉箱安放水深 (公尺)	沉箱寬度 (公尺)	單位長度工程費 (元／公尺)
0K+000~0K+100	-22	-14	20	1,857,000
		-16	22	1,854,000
		-18	25	1,924,000
		-20	27	1,964,000
0K+100~0K+130	-23	-14	20	1,952,000
		-16	22	1,951,000
		-18	25	2,012,000
		-20	27	2,047,000
0K+130~0K+160	-24	-14	20	2,050,000
		-16	22	2,039,000
		-18	25	2,102,000
		-20	27	2,133,000
0K+160~0K+480	-24	-14	20	2,050,000
		-16	22	2,039,000
		-18	25	2,102,000
		-20	27	2,133,000

綜合以上分析，本計畫決定採用胸牆頂高程為+11.0m、沉箱安放水深為-16.0m、沉箱長度 20m、寬度 22.0m、高度 22.5m 並具 1.5m 基腳之斷面型式，配置於全里程段。

四、防波堤斷面初步設計

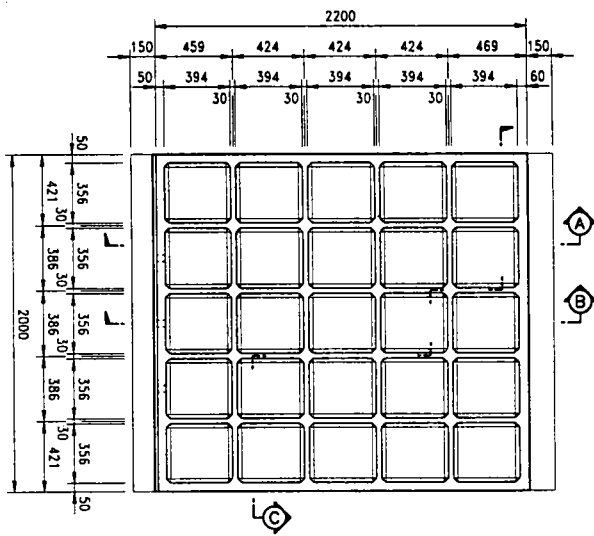
(一)北防波堤延伸段標準斷面

為降低直立式沉箱合成堤所可能產生之反射波影響，沉箱體靠港外航道側(南側)將設置消波設施。本計畫基於施工技術、困難度考量，沉箱堤係採直立壁型式，為達到消波效果，直立壁式沉箱堤一般常採用或研究中之方法包括有：

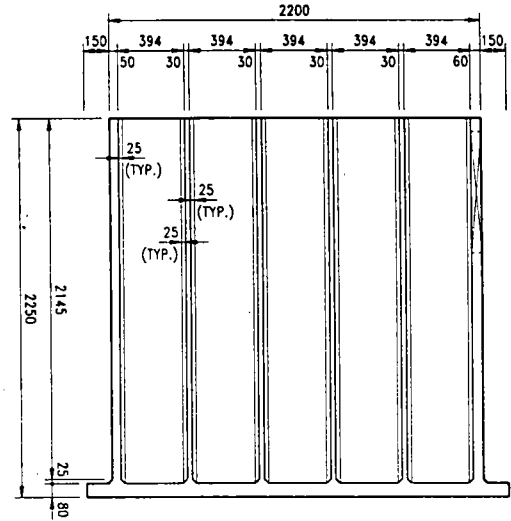
- 將消波側之上部結構調整成斜面形狀，此方式係仿照斜坡堤之消波原理，利用斜波降低波浪反射。為加強消波及降低越波浪，亦有研究將斜面加大，並於斜面上放置消波塊。
- 於消波側設置防衝設施吸收波浪衝擊能量。
- 於沉箱體外加設開孔曲面結構，利用曲面及其內部之消波空間消減波能。此一方法將擴大堤體規模，且施工技術、困難度及工程費均相對較高。
- 沉箱結構採中空設計，為加強消波能力，亦有研究設置多重中空結構。

北防波堤在一期擴建完成之 850m 堤段即係採中空設計，將消波側之部份艙室作為消波室，根據完成後使用實績顯示，對一般短週期季風浪消波效果良好。而且沉箱體內設置消波室，在施工困難度及工程成本上與原沉箱體相當接近，因此本案計畫延長之 480m 堤段亦建議採用設置消波室。

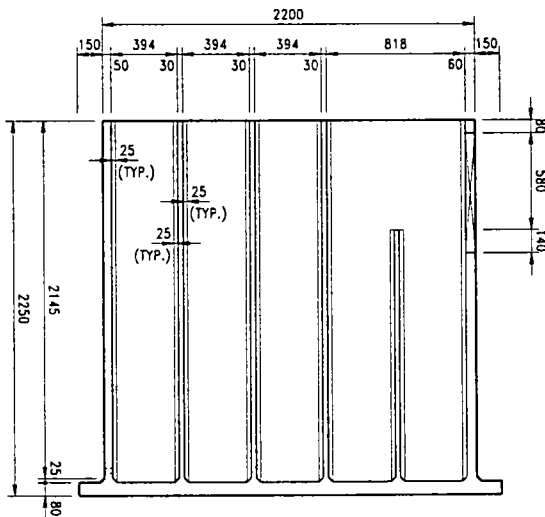
依據前節沉箱堤斷面分析研選出之各里程堤段最佳斷面，配合消波室設計研定之北防波堤延伸段開孔沉箱平面圖、斷面圖及各里程堤段標準斷面圖，如圖 3-1-5~3-1-10 所示。各堤段標準斷



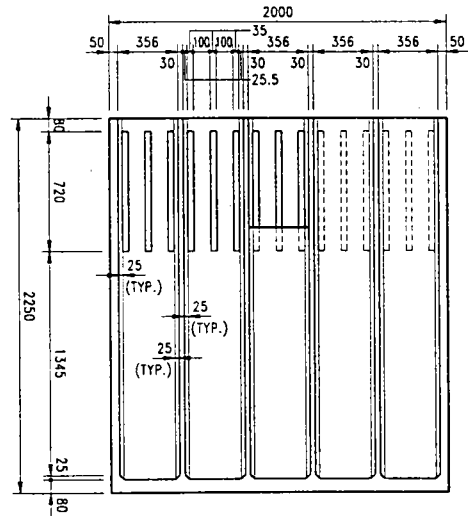
平面圖
U=CM



A-A 斷面圖
U=CM

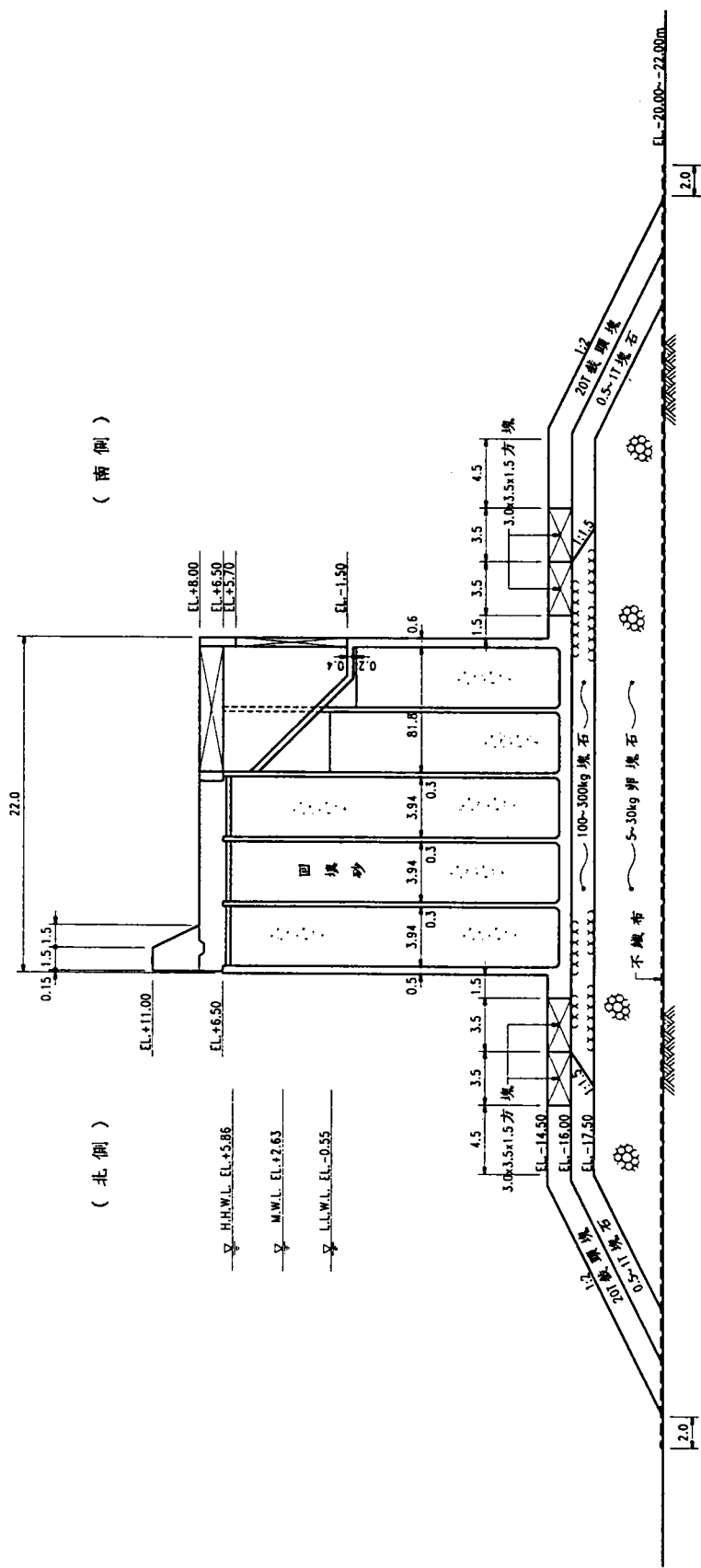


B-B 斷面圖
U=CM



C-C 斷面圖
U=CM

圖 3-1-5 開孔沉箱平面及斷面圖



• U=M

圖3-1-6 北防波堤延伸段 0K+000~0K+100 標準斷面圖



圖 3-1-7 北防波堤延伸段 0K+100~0K+130 標準斷面圖



圖3-1-8 北防波堤延伸段 0K+130~0K+160 標準斷面圖



圖 3-1-9 北防波堤延伸段 0K+160~0K+440 標準斷面圖

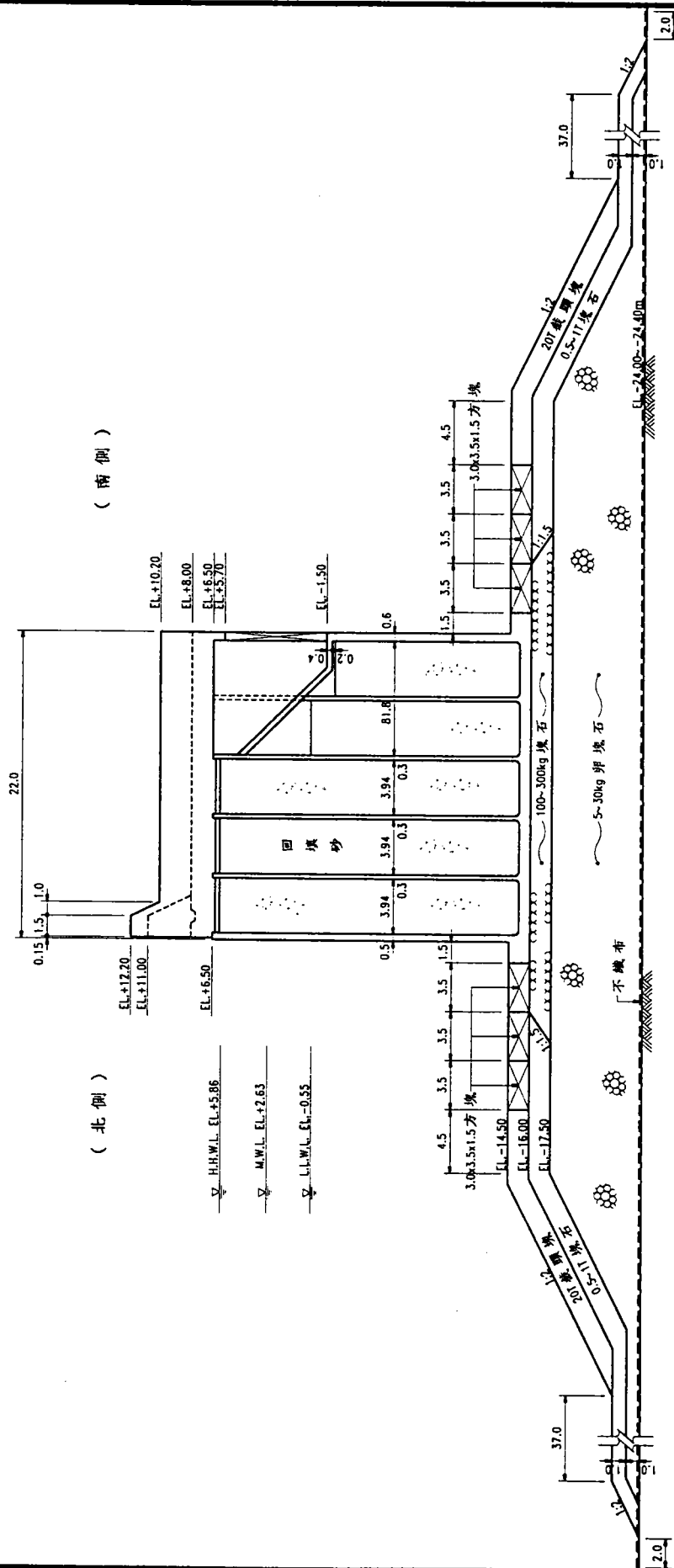


圖 3-1-10 北防波堤延伸段 0K+440~0K+480 標準斷面圖

面之滑動、傾覆、基礎滑動破壞等穩定分析檢核結果另詳附錄二所示，各斷面均能符合安全要求。

(二) 北防波堤堤頭保護

北防波堤延長後，將突出海岸約 3100m，由於防波堤阻斷原平行海岸流動之近岸流，受到防波堤之導引，將在防波堤北側形成一強制裂流，此離岸強制烈流流至北防波堤堤頭後，受外海平行海岸之海潮流壓制轉朝西向，流速可達 120cm/s。此強流將沖刷海床並形成一坑洞。

依過去台中港海岸地形監測之結果，在港口擴建前，此強流所刷深坑洞中心約距堤頭 WSW 方向約 300m 處，較相鄰海床刷深 6m。一期港口擴建後，此坑洞中心移至延長之 850m 防波堤堤頭 SSW 方向約 300m 處，較相鄰海床刷深 4m。未來本案再延長防波堤後，可預測堤頭海床刷深之現象仍將出現。為避免海床刷深後影響防波堤沉箱安全，在此堤頭前緣必須進行堤頭保護工程。

本計畫建議之堤頭保護型式（如圖 3-1-11 所示），護基 PC 方塊較堤幹部分多一排，抵抗來自各方向波浪所產生之下刷作用，以避免基礎遭淘刷而流失；另如前所述，未來北防波堤延建完成後，堤頭附近海床勢必遭堤頭強流沖刷，因此於堤頭前方半徑 80m 範圍內加拋厚 2m 卵塊石，以期能穩固海床，降低海床刷深對堤體安全之影響。

(三) 北防波堤平面展開

確立北防波堤延伸段堤體規模後，配合北外堤延建長度、南外堤、南內堤拆除長度，港口擴建平面配置如圖 3-1-1 所示。茲依據北防波堤延伸段之堤址水深、各堤段標準斷面以及現有堤體結構，繪製北防波堤延伸段及堤頭保護平面展開圖，如圖 3-1-11 所示。

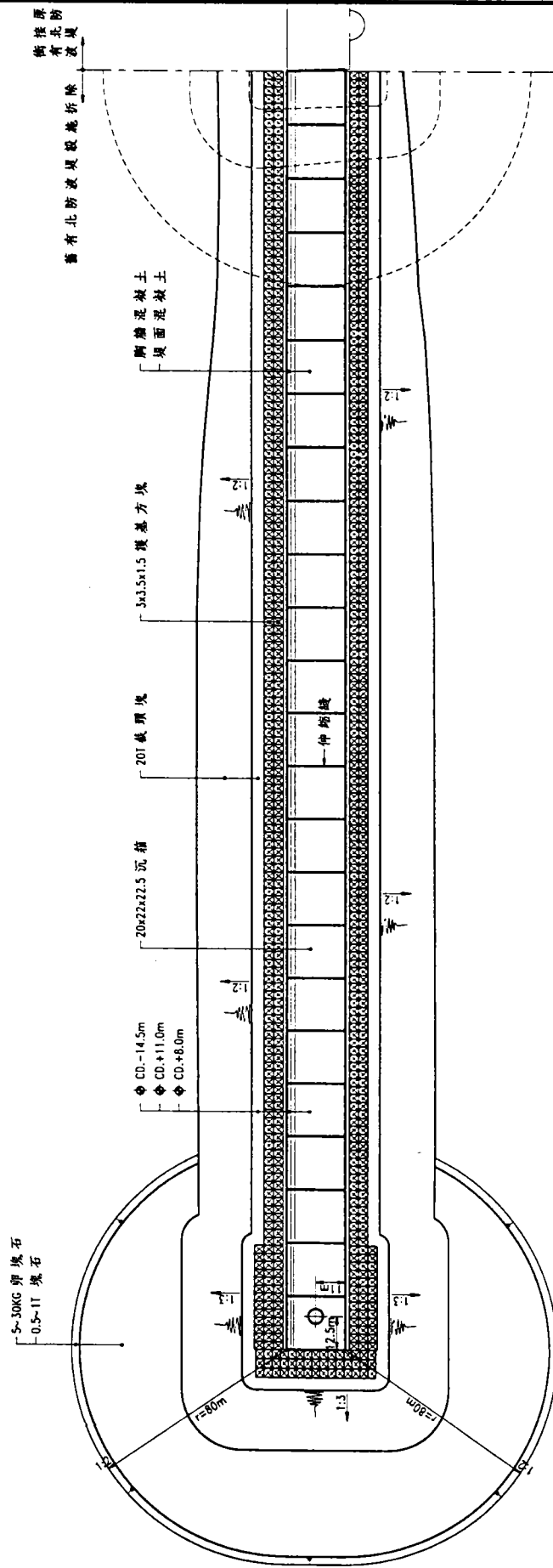


圖3-1-11 北外堤延伸段平面圖

貳、南內、外防波堤拆除設計

一、計畫拆堤段位置及堤體構造

(一) 南外堤拆除堤段

1. 計畫拆堤段位置

本計畫擬將南外防波堤堤頭平行現有主航道之四座沉箱拆除(圖 3-1-1 中 C、D 兩點)，長度為 93m，拆除後新堤頭控制點座標為 N2687461、E198467。

本堤段拆除後，距北防波堤距離約 520m，扣除堤基保護所需空間，實際垂直 110° 主航道方向之截面寬度仍維持 300m。但在港外航道部份，進港船舶為採 60° 航向，在此堤段拆除後，垂直 60° 航向截面之寬度將可增加為 610m。

由於台中港進港船舶必須在港口前緣，將船艏向自 60° 轉至 110° 航向，南內防波堤堤頭段拆除後，相對將增大港口前緣遮蔽區之操船空間，對船舶進港轉向之安全將有極大助益。

2. 拆除段堤體構造

計畫拆除之南外堤現有堤段平面及主要斷面如圖 3-2-1 及圖 3-2-2 所示。該堤段構造全係鋼筋混凝土沉箱合成堤，沉箱(SB6-2~SB6-5)尺寸為 $24\text{m(L)} \times 15.7\text{m(W)} \times 14\text{m(D)}$ ，其中 SB6-2 為異形沉箱。

本段防波堤沉箱內部填充物除 SB6-5 沉箱因過去施工時曾造成箱壁受損，部份艙體以水中混凝土填充外，餘均以海砂填充，並以混凝土封頂。

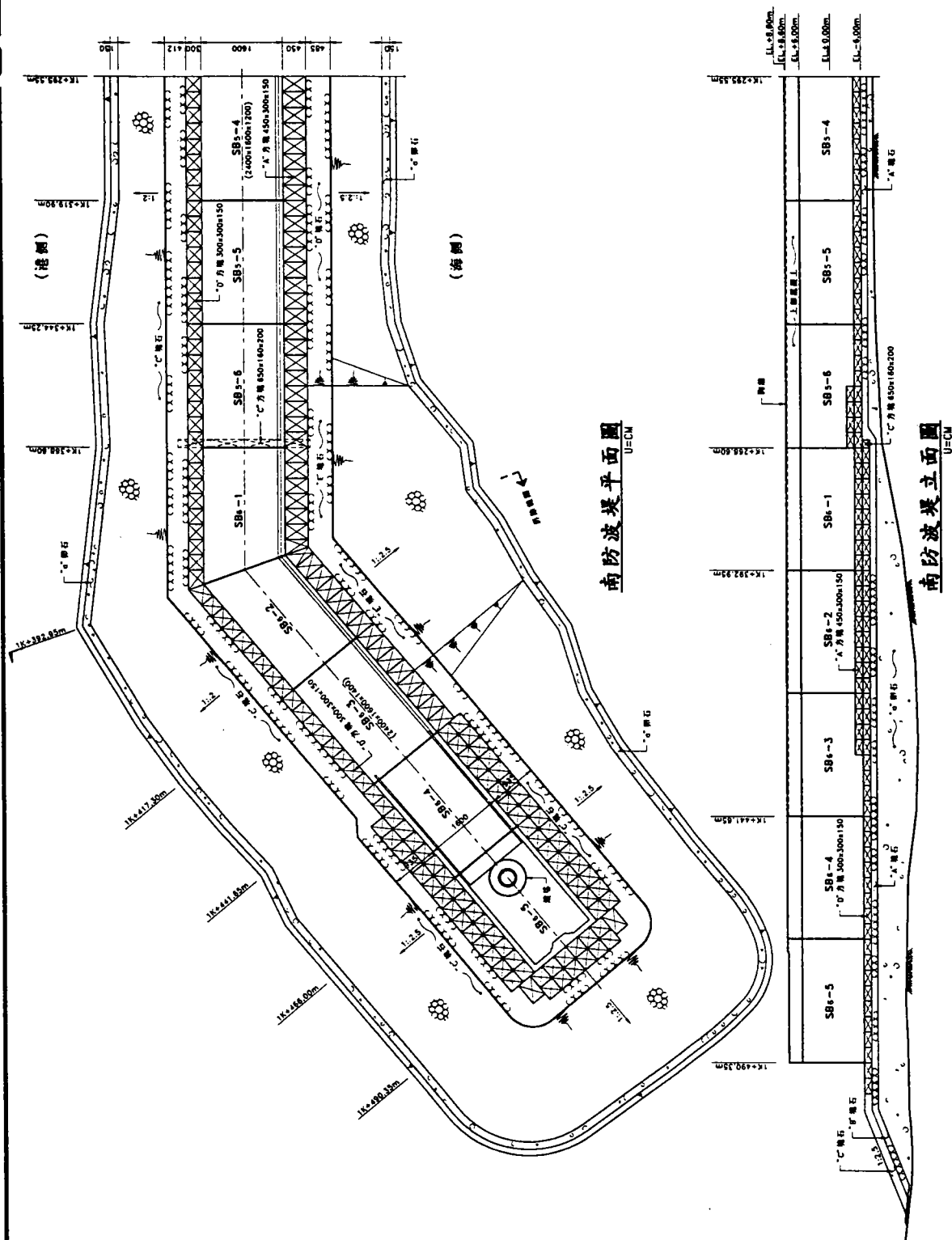


圖 3-2-1 南外堤堤頭段平面及立面圖

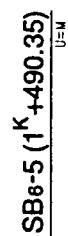


圖 3-2-2 南外堤拆除段主要斷面圖

(二)南內堤拆除堤段

1.計畫拆堤段位置

南內堤擬將現有堤頭段拆除 50m(圖 3-1-1 中 E、F 兩點)，拆除之堤體結構包括堤頭前段長 36m 之沉箱合成堤，以及後側段長 14m 拋石堤。由於本堤堤基海床深度較淺，在航道浚深至 CD.-16m 後，原有堤體海床坡度並無法穩固。故本堤實際上將需多拆除 27.5m，以修整海床坡面後，再重新興建一堤基較深之堤頭。重建後之新堤頭控制點座標為 N2686902、E199621。

本堤拆除後，南、北內堤堤頭相距 420m，扣除堤頭保護所需空間，現有之內堤口將可自原有之 300m 拓寬為 350m。

2.拆除段堤體構造

計畫拆除南內堤堤頭段之現有平面配置圖，如圖 3-2-3 所示，該堤段計有兩種結構型式，堤頭 36m 長為鋼筋混凝土沉箱合成堤斷面，由兩座 18m(L)×11m(W)×11m(D)沉箱所構成，沉箱內填海砂後，鋪設 30cm 厚、粒徑 40mm~100mm 之卵石，再以 50cm 厚之純混凝土封頂，其斷面尺寸如圖 3-2-4 所示。

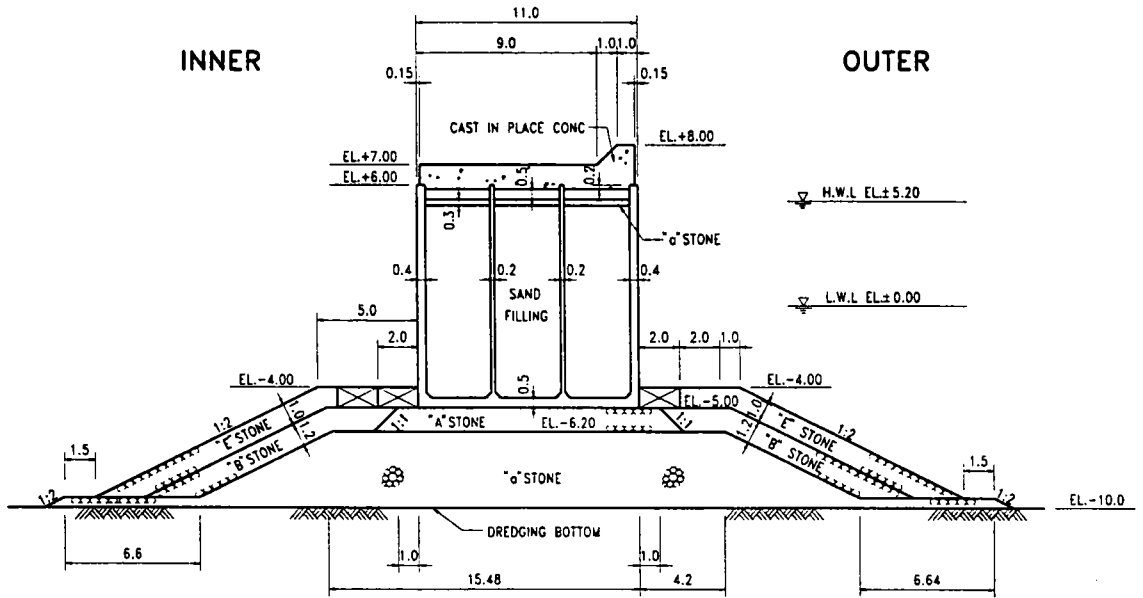
堤頭後側 14m 長之防波堤則為拋石斜坡堤式斷面，主要由 6 噸鼎形塊、300kg~500kg 塊石、5kg~100kg 塊石及粒徑大於 100mm 之卵石所構成，其斷面尺寸如圖 3-2-4 所示。

二、堤體拆除施工方式建議

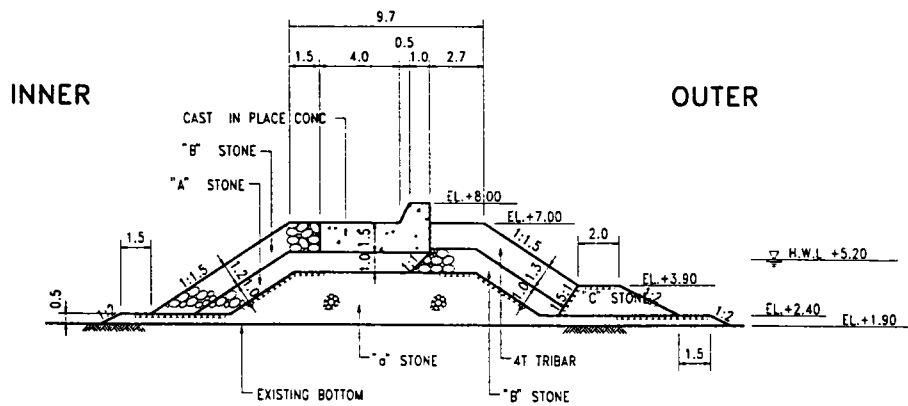
(一)沉箱堤體拆除

沉箱堤體拆除工作主要項目包括護基塊石及方塊吊除、堤面及胸牆混凝土鑿除、沉箱內回填砂料抽除、沉箱本體抽水浮移或鑿除、基礎塊石及卵石吊(挖)除等工作。茲分別就主要工作可能施工方式說明如下：

```
\\601\REPORT\PRE-DCLN\CH3\3-2-3
```



沉箱堤
U=M



抛石堤
U=M

圖3-2-4 南內堤拆除段斷面圖

1. 護基方塊及塊石吊除

南外堤、南內堤計畫拆除堤段中之混凝土護基方塊等構造物，除部份位於堤體近岸處可利用陸上機具吊除外，所有位於離岸較遠陸上機具無法吊除者，須由海上吊船吊移。

未來進行吊移作業時，較有可能利用陸上機具吊除者係近岸之 6 噸鼎形塊及混凝土護基方塊。其中 6 噸鼎形塊可用鋼纜捆綁後，以吊車進行吊移。

而混凝土護基方塊已設置 20 餘年，原製作吊環（鉤）受海水腐蝕可能已完全鏽蝕、既有混凝土方塊是否完整亦將影響其吊移進度及工法。進行吊除作業時必須在混凝土面上施打岩栓（釘）或鑿穿混凝土面，再以鋼纜固定後利用吊車予以吊移，但若方塊已破裂致無法採用吊移方式時，則須將較大混凝土塊破碎後，改以加長臂怪手挖除。

本計畫所需要吊除之最大混凝土塊體為 50 噸重之護基方塊。經衡量南外堤、南內堤堤面可供作業道路寬度（南外堤 14.3m、南內堤 9m）以及可供使用之吊車規格後，國內現有吊車無論輪胎式或履帶式，其作業能量均可負荷近岸施工需求。

各堤段離岸較遠之重型護坡塊石以及北外堤現有堤頭保護段之護基方塊，則需使用海上吊船吊移。其中護基方塊施工法與前述方塊吊移類似，但改用吊桿船或配設抓斗設備施工；大型塊體之移除可用抓斗船進行，如無法順利施工時，亦可考量於塊體鑿孔，再以吊桿船進行吊除。

部份無法吊除之護基方塊，則可考慮以鑽孔填塞膨脹藥劑的方式，將混凝土碎裂成適當大小、重量後，再以加長臂抓斗清除。

2. 堤面及胸牆混凝土鑿除

合成堤堤面胸牆、沉箱封頂混凝土可用水刀切割，或直接用混凝土破碎機碎裂後清運。

3. 沉箱回填料抽除

台中港各沉箱防波堤皆為抽取原有海床沙土填充，擬拆除之沉箱堤頂混凝土鑿除後，即可採用泵浦將填充沙混合海水抽除，所抽取之泥水以拋泥船載運至適當地點棄填。

4. 沉箱浮移或鑿除

各沉箱體經抽除填充回填沙後，原則上儘可能採用浮移方式，將沉箱拖移至他處使用或儲存。如沉箱壁體破損或已利用混凝土充填而無法浮移，再考慮使用混凝土破碎機，配合其他機具逐步破碎鑿除。由關沉箱浮移或鑿除施工方法之比較摘列如表 3-2-1 所示。

(1) 沉箱浮移

依本案擬拆除之防波堤沉箱現況，除南外堤堤頭處沉箱曾破損並以混凝土填充修復外，其餘尚無漏沙現象，沉箱狀況應不致太差。故本計畫建議以浮游方式進行拆除工程作業。

惟避免施工時因無法拆除，造成合約執行之紛爭，建議在進行細部設計時，應實施檢測工作，以確實掌握沉箱狀況。如在實際浮移作業施工時，發生沉箱壁破損漏水現象，則可考慮使用打撈沉船用之充氣助浮袋 (Lifting bags)，以增加部份艙體浮力。

充氣式助浮袋主要為高強度之 trevira cloth 外覆 PVC 所作成。其浮力視助浮袋大小，每袋最大可吊移 35T 之重物。目前水下沉船打撈工程所常用者有浮筒型助浮袋 (Total enclosed lifting bags) 及降落傘型助浮袋 (Parachute type lifting bags) 兩種，如圖 3-2-5(a)、圖 3-2-5(b) 所示，前者主要使用於多吊點重物，後者僅適用於單一吊點物體，建議由承包商視需要助浮艙體狀況，自行選擇使用。

表 3-2-1 南外堤、南內堤沉箱拆除工法比較

項 目	破碎拆除方式	抽水浮起方式
拆除方法	1.水上部份以破碎機破碎。 2.上部混凝土拆除後，以水力噴嘴配合抓斗船逐倉分層清除沉箱內回填料。 3.配合破碎機、無聲炸藥、水刀及水下切割設備拆除 RC 沉箱。 4.利用長臂挖土機及吊傳清除已拆除分解 RC 沉箱碎塊。 5.利用抓斗船抓除沉箱堤拋石基礎並浚深航道。	1.同左。 2.同左。 3.整修沉箱外壁止漏。 4.抽除沉箱內海水使沉箱浮起（必須時可將浮體固定於沉箱內外，以增加浮力）。 5.將沉箱拖移至指定地點棄放或再利用。 6.同左 5。
概估費用	5,000,000 元/座	3,000,000 元/座
工 期	3 工作月/座	2 工作月/座
優 點	1.沉箱部份隔艙填充物為混凝土，沉箱浮起困難時可採用。	1.工期短。 2.費用較低。 3.沉箱可再利用。 4.較無污染問題。
缺 點	1.潛水俠水下切割有安全顧慮。 2.工期較長。 3.工程費用較高。 4.沉箱無法再利用。	1.沉箱內如填充混凝土時無法採用。



圖3-2-5(a) 浮筒型助浮袋

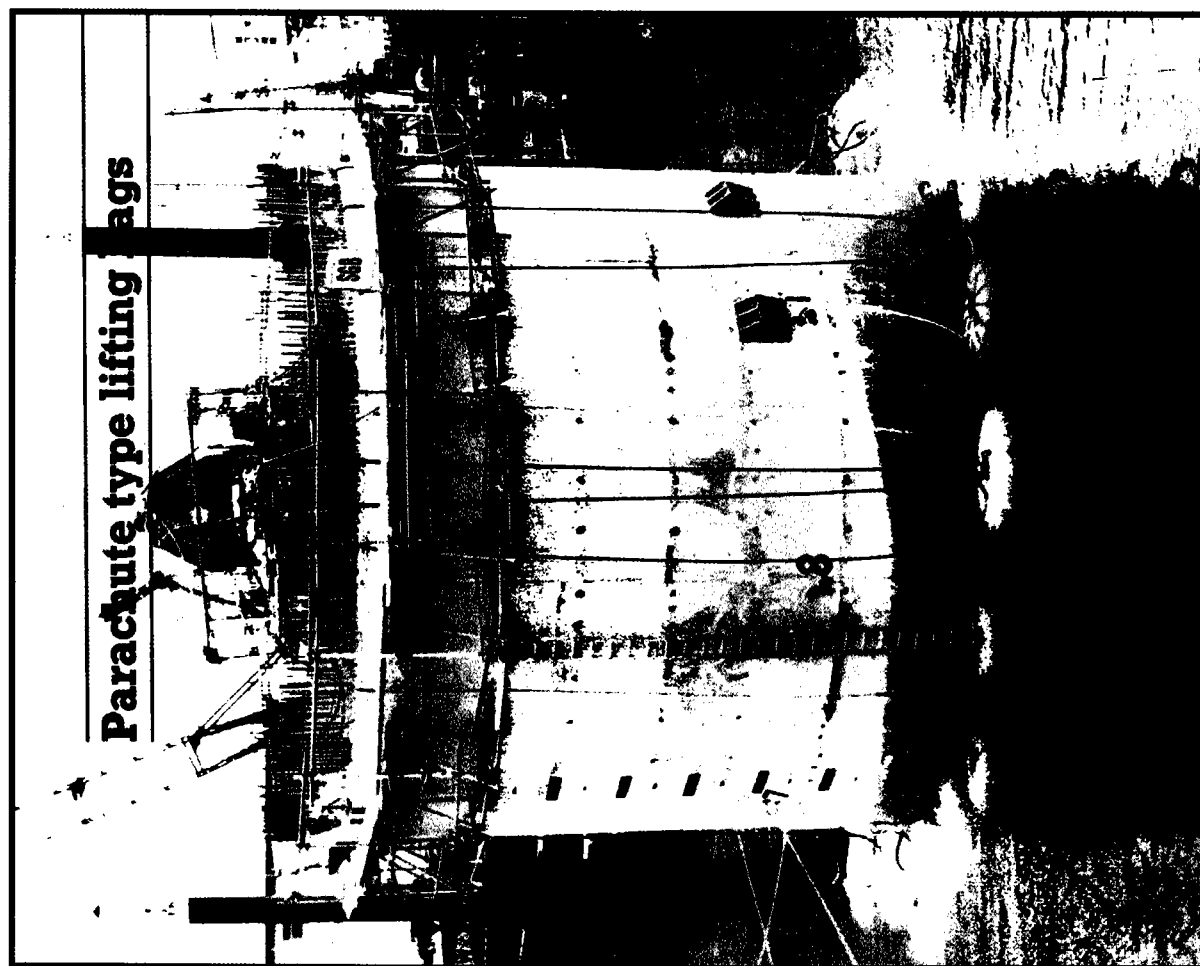


圖3-2-5(b) 降落傘型助浮袋

(2) 沉箱鑿除

如擬拆除沉箱無法浮移，必須就地鑿除，最簡便之方法以炸藥爆破方式處理。惟本沉箱體靠近港口航道，如沉箱壁體傾落航道，將有威脅船舶航行安全之顧慮，故本案將不考慮此方式。另化學膨脹劑碎裂混凝土之方式，限於沉箱壁體鋼筋量甚高，將影響膨脹劑之效率，故於本案例中亦不予考慮。

而本案擬拆除沉箱最深處約位於 CD.-8m 處，仍為長臂怪手可鑿除之施工範圍。將來如沉箱體確無法移除，則建議仍採傳統之怪手，將混凝土壁鑿碎後，再予清除。

(二) 拋石堤體拆除方式

有關拋石堤段之拆除，只有南內堤段部份，拆除長度為 14m，其水深均在 -3.0m 以上，施工技術較為簡單。其施工步驟如下：

1. 港外側 6 噸鼎型塊及港內側護坡塊石之吊除，可利用吊車及吊桿船吊除。
2. 堤面及胸牆純混凝土利用水刀或混凝土破碎機碎裂鑿除後吊（抓）運。
3. 護坡塊石及堤心塊石利用抓斗船抓除，配合駁船裝運。

(三) 堤頭燈塔拆移

目前於南外堤堤頭處設有一高 21.4m 之燈塔乙座，南內堤堤頭則設有一堤頭燈標。將來防波堤拆除後，南內堤堤頭燈標遷移較為容易。南外堤則必須以破碎機鑿除後，另於新堤頭重建。

三、南內、外堤堤頭保護設施

南外堤、南內堤拆除後需重新施作堤頭保護設施，以避免防波堤堤趾產生激烈沖刷作用，致使拋石基礎流失，而造成防波堤損壞。

(一) 南外堤堤頭保護設施

過去在北外堤未延建前，本堤頭外緣並未有淘刷現象。但在北外堤延建 850m 以後，流進流出港之海流在南外堤頭 N 方約 68m 處沖刷一深約 18m 之坑洞。將來本案再延長北防波堤後，預測此現象仍將可能持續。為避免堤頭浪、流淘刷海床沙土影響防波堤安全，在堤頭應進行保護工程。

南外堤堤頭段海床水深約 CD.-12m，沉箱底水深約 CD.-7.6m，底部拋石厚度約 4m。將來堤頭四座沉箱拆除，航道並配合浚深後，沉箱底部與航道底床高差約 8.4m。本案建議之堤頭保護型式，其平面、斷面如圖 3-2-6、圖 3-2-7 所示。

(二) 南內堤堤頭保護設施

南內堤擴建工程則係將堤頭段拆除 50m，拆除之結構型式包括堤頭段長 36m 之沉箱合成堤，以及後側段之 14m 拋石堤。

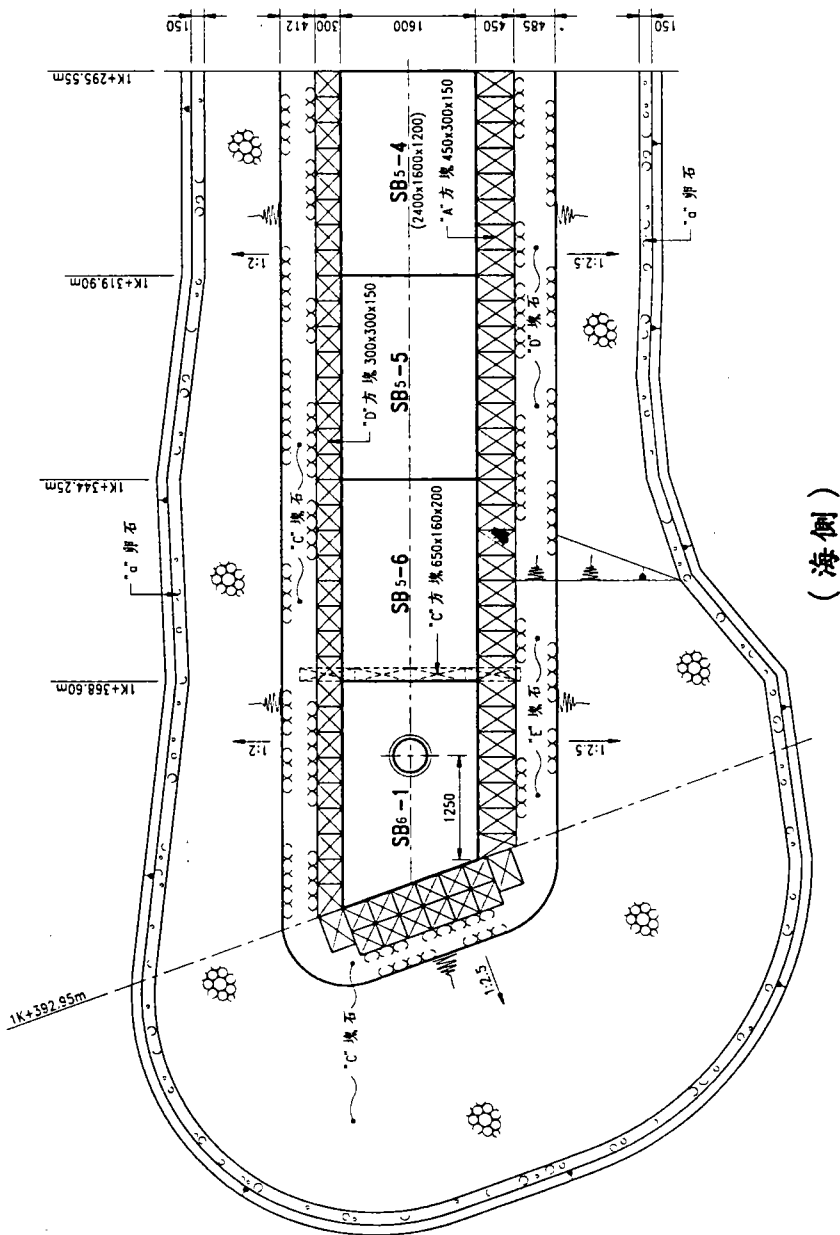
經考量現有防波堤型式、週圍海床地形變化及未來航道浚挖拓寬後預定之航道寬度、深度等因素，南內堤新建堤頭保護之平面展開圖及斷面圖，如圖 3-2-8、圖 3-2-9 所示。

四、堤體拆除回收工材再利用計畫

(一) 回收石料及混凝土塊再利用

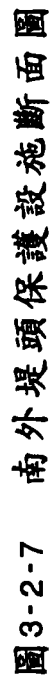
本計畫南內、外堤拆除，所進行護基方塊吊移、堤面混凝土鑿除、及基礎拋石挖除等工程將可回收相當數量之工材。如堤面混凝土塊回收率以 80% 計，基礎拋石回收率以 50% 計，估計本案回收之工材數量概估如表 3-2-2 所示。

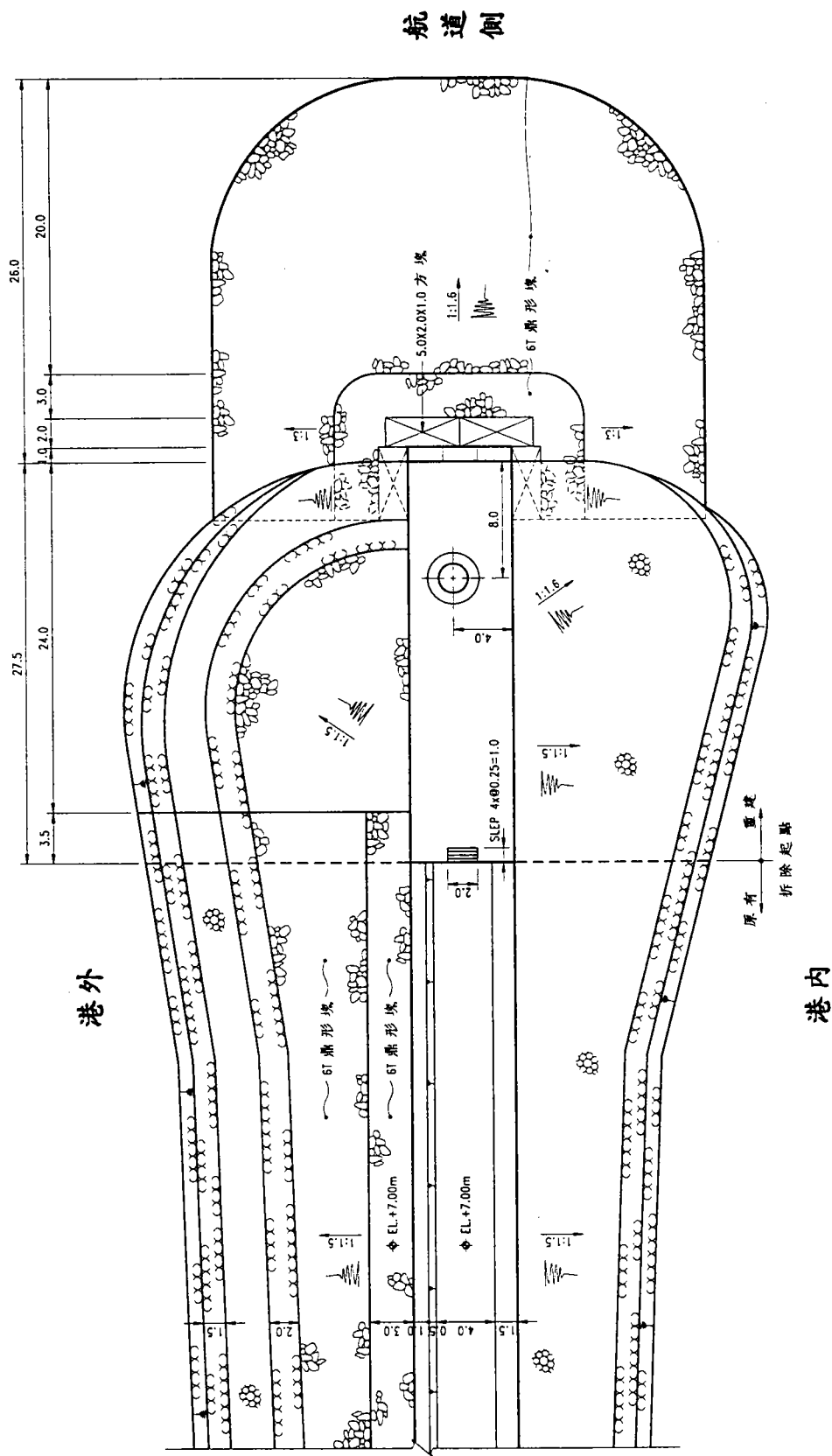
(港側)



(海側)

圖 3-2-6 南外堤拆除後堤頭保護平面配置圖





• U=M

圖3-2-8 南內堤拆除後堤頭保護平面配置圖

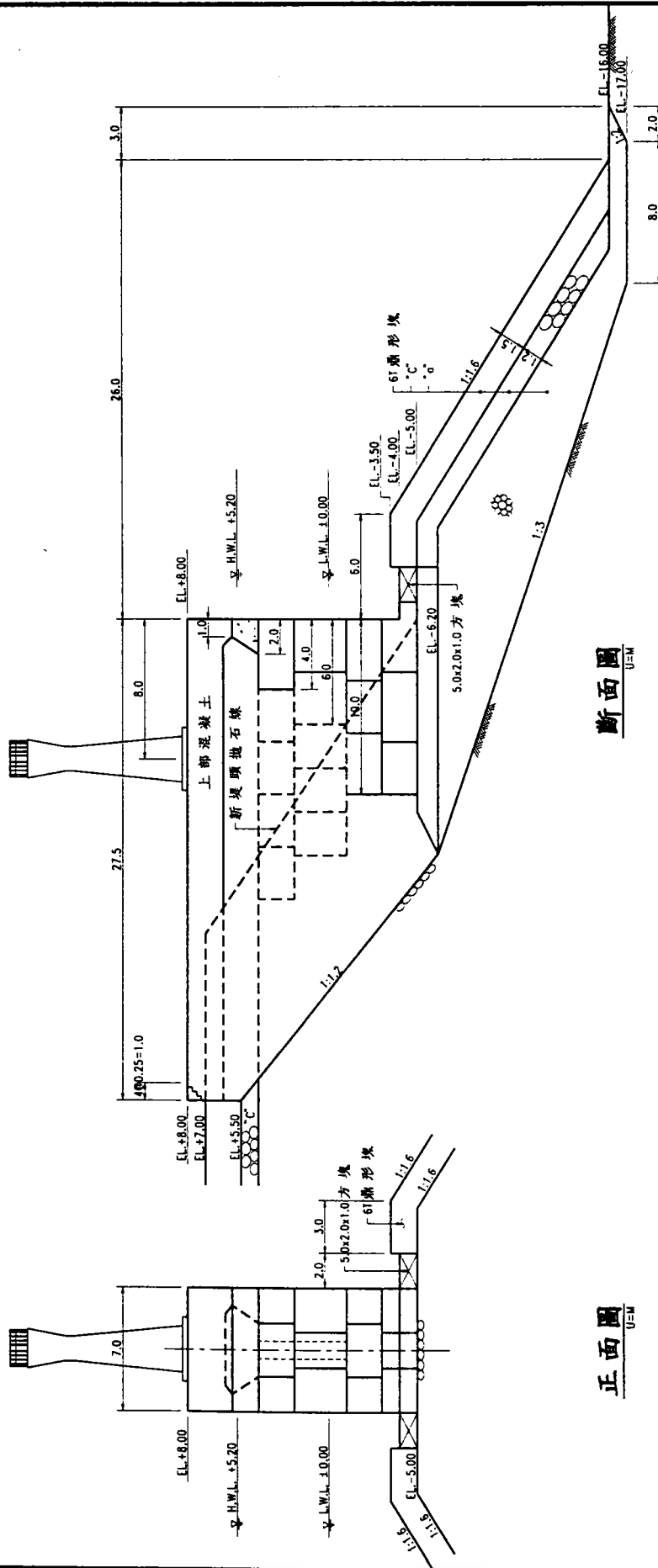


圖3-2-9 南內堤新建堤頭正、斷面圖

表 3-2-2 南內、外堤拆除工材回收數量概估表

工材項目	單位	南外堤	南內堤	合計
A 方塊	塊	30	28	58
D 方塊	塊	90	0	90
6T 鼎型塊	個	0	169	169
混凝土碎塊	m ³	2900	900	3800
A~E 塊石	m ³	9200	3500	12700
堤心石	m ³	18000	3700	21700

在近年中部地區石料供應來源日趨饋乏，本計畫所回收之工材應儘可能予以再利用。有關工材再利用首需克服之困難為工材拆除回收與再利用之時間配合，本案建議在執行北外堤延建基礎拋石期間，即同時進行南內、外堤拆除工作，以將回收混凝土碎塊及堤心石隨即裝船載運拋放，其他可利用之混凝土方塊則暫時儲存，俟沉箱安放後再予利用。

(二) 沉箱回收再利用

本案南外堤所拆除四座沉箱及南內堤拆除之二座堤頭沉箱，如可順利浮起並回收利用。則可考慮拖至南填方區(I)圍堤工程計畫中之北海堤沉箱段安放再利用。

參、水域靜穩度改善工程初步設計

在拆除部份南內、外堤堤段後，將使航道寬度加寬，使得侵入商港區及漁港區水域之波能相對增大。為消減侵入港口之波浪能量，降低港口擴建所造成之負面影響，參考水工模型試驗結果，建議於北防波堤航道側及漁港口間設置消波設施。消波設施佈置如圖 3-1-1 所示，茲將主要設計構想說明如下：

一、消波潛堤初步設計

(一) 設置目的

侵入主航道之波能因受到南、北內堤之阻隔，在內堤口附近有波浪集中現象，部份波浪將侵入漁港水域。依水工遮蔽試驗結果，為更徹底消除侵入港口波能，建議於漁港口航道西側與北外堤間，以消波塊拋放成一潛堤結構，以加強消波功能。

(二) 建議斷面

潛堤採用之設計堤前波高約 5.8m，週期 11.7sec，經分析消波塊穩定情形，擬完全以 15T 消波塊拋放而成，堤頂寬約 12m，約可置放三塊消波塊，堤頂高程 CD.+3.0m，在高潮位時將沒入海面中呈一潛堤狀，其斷面如圖 3-3-1 所示。

二、航道兩側垂直岸壁加拋消波塊初步設計

(一) 設置目的

台中港早期興建之南、北外堤內側皆為沉箱直立岸壁，當侵入港口主航道之波能受到兩側直立壁之反射，海面將呈現盪漾紊亂現象。為消減此侵入波能，惟有將航道兩側沉箱垂直壁前緣加拋消波塊，以化解波浪反射之作用。

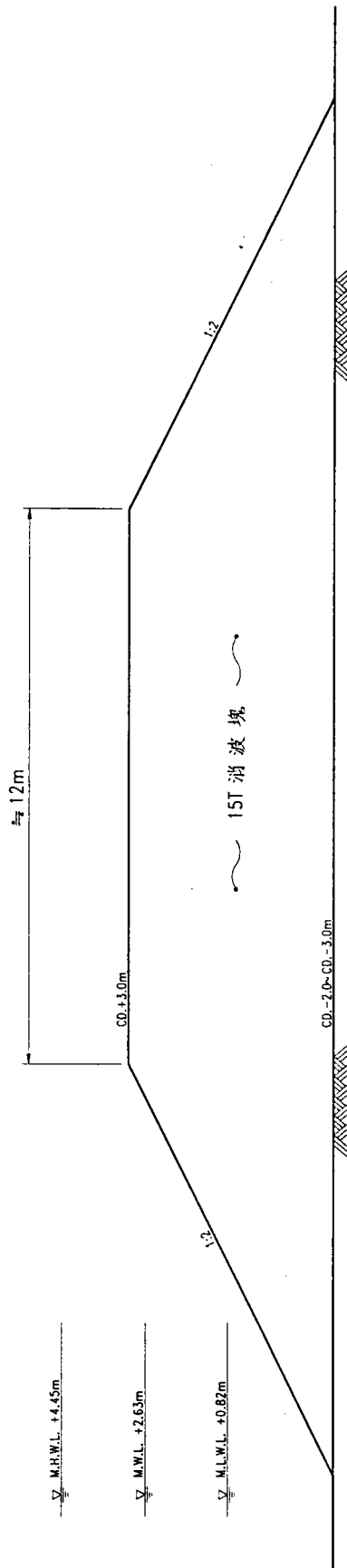


圖3-3-1 水域靜穩度改善工程潛堤斷面圖

(二) 建議斷面

本計畫建議加拋消波塊之斷面如圖 3-3-2 所示，每單位公尺造價約需新台幣 12 萬元。本計畫建議優先拋放北防波堤主航道側約 500m 長，以消減西南向波浪入侵後，經由直立堤所產生之波浪反射現象，降低主航道區水域波浪紛擾之程度。

至於南外堤部份，因面臨主航道側之現有防波堤堤體結構大多屬於斜坡拋石堤，波浪反射現象遠較北外堤輕微，所以未來將視本計畫經費結餘狀況或考量利用既有回收消波塊，築年構築消波設施，進一步加強該堤段岸壁消波功能。



圖 3-3-2 水域靜穩度改善工程（北防波堤航道側）斷面圖

肆、航道浚深拓寬工程初步設計

本計畫為滿足 12.5 萬噸載重噸散貨輪及 4000TEU 貨櫃輪進港航行需求，港口航道水域必須配合進行浚深拓寬工程。同時，為配合大型船隻靠泊內航道東側貨櫃碼頭及工業泊渠碼頭區，因此港內南北向主航道、南迴船池以及工業泊渠必須一併配合進行浚深拓寬工程，方可使大型船自港口安全航行至碼頭前水域。

故中港局已配合本計畫另研提「台中港航道浚深拓寬工程」計畫，將所有航道水域浚深拓寬所需經費均列入該計畫中，該計畫正在行政院審議中，將配合本案一併實施。

「台中港航道浚深拓寬工程」計畫中，有關港口航道水域浚挖設計必須完全配合本案第一港口擴建之研究成果。茲將本案計畫船舶安全進港所需航道浚深拓寬初步設計建議如下：

一、港外航道水域浚深拓寬工程

台中港船舶進港為採 60° 航向進港，目前港口航道東側邊界線為如圖3-4-1所示A、B兩點之連線，在此連線西側將確保CD.-14m之設計水深，東側靠岸邊則為小型船隻等待進港之錨泊區。

本計畫南外堤拆除93m以後，為提供大型船舶可較靠岸邊航行，以充份利用遮蔽區接引領港、實施帶纜、以及轉向進港，本航道東側邊界線將向東平移約30m，在此邊界線以西至北防波堤間水域，將全面浚深至CD.-16m，邊界線以東則修整為1：20之穩定坡度。詳圖3-4-2示港外航道浚挖範圍圖，圖3-4-3表示各主要浚挖斷面圖，依各浚挖斷面可計得港外航道浚挖量約125萬 m^3 ，詳表3-4-1所示。

二、港口主航道水域浚深拓寬工程

港口主航道為配合大型船舶航行需求，擬全面浚深至CD.-16m。航道寬度方面，在外堤口在WNW向截面仍維持300m寬，內堤口將拓

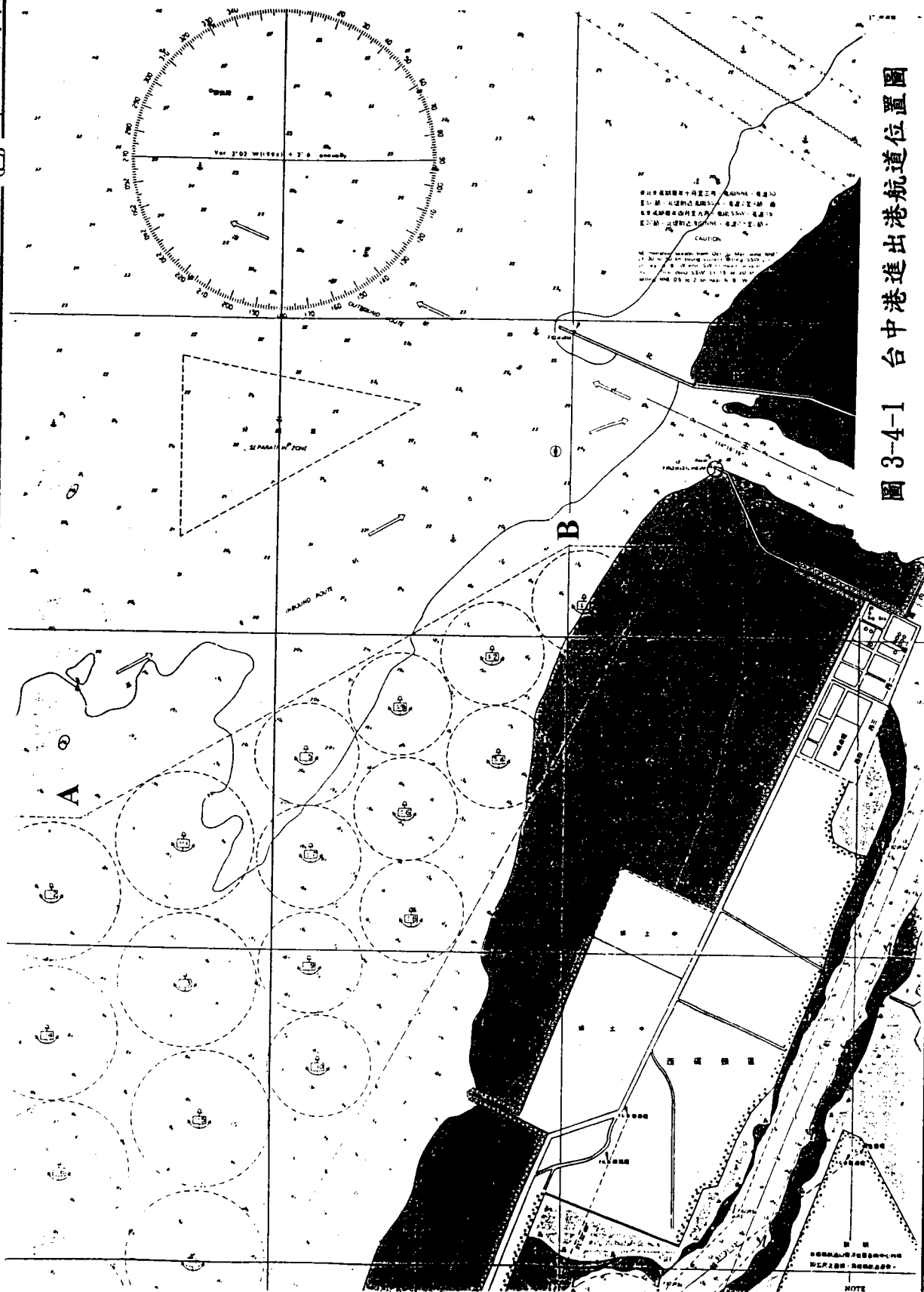
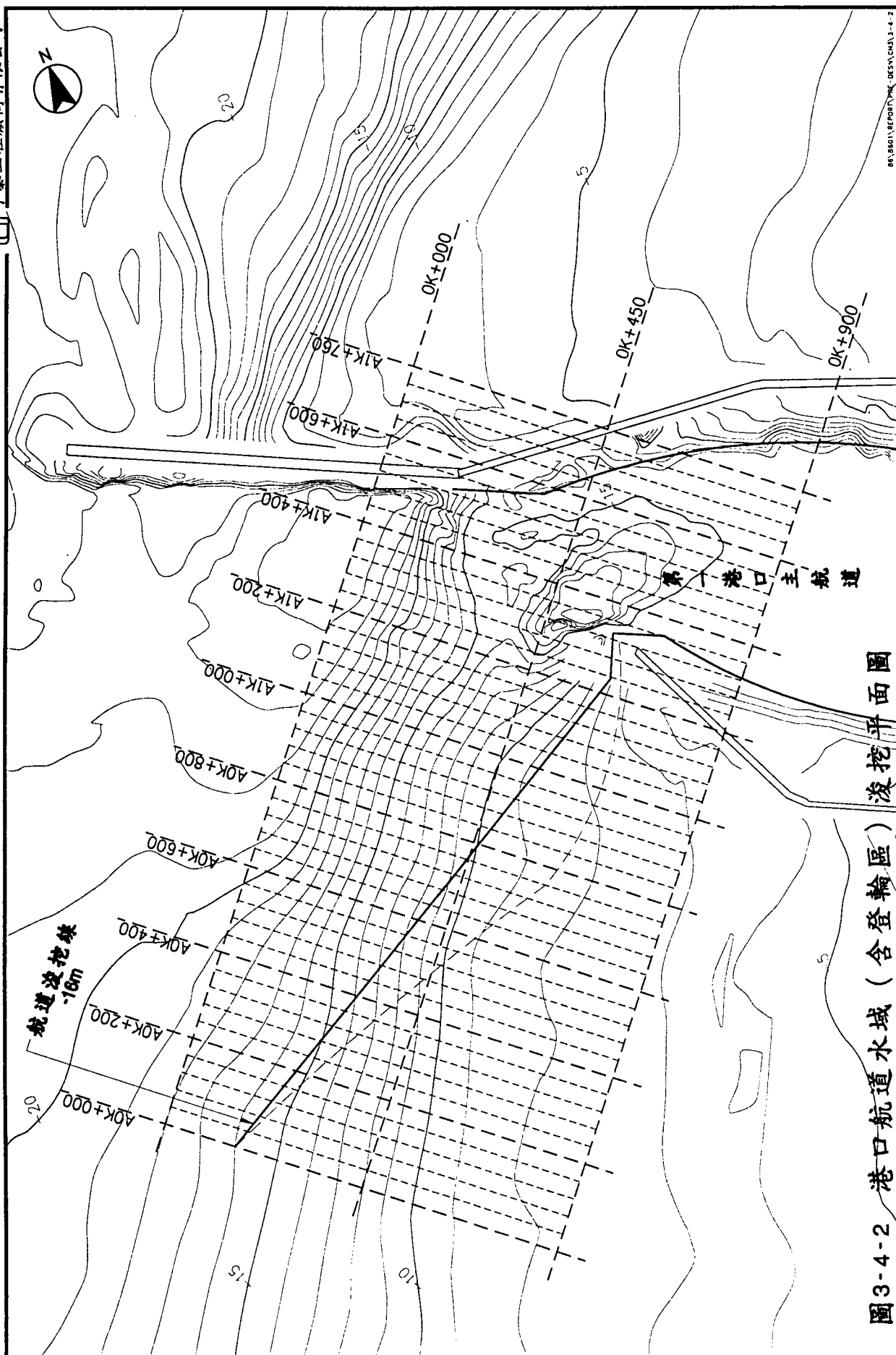


圖 3-4-1 台中港進出港航道位置圖



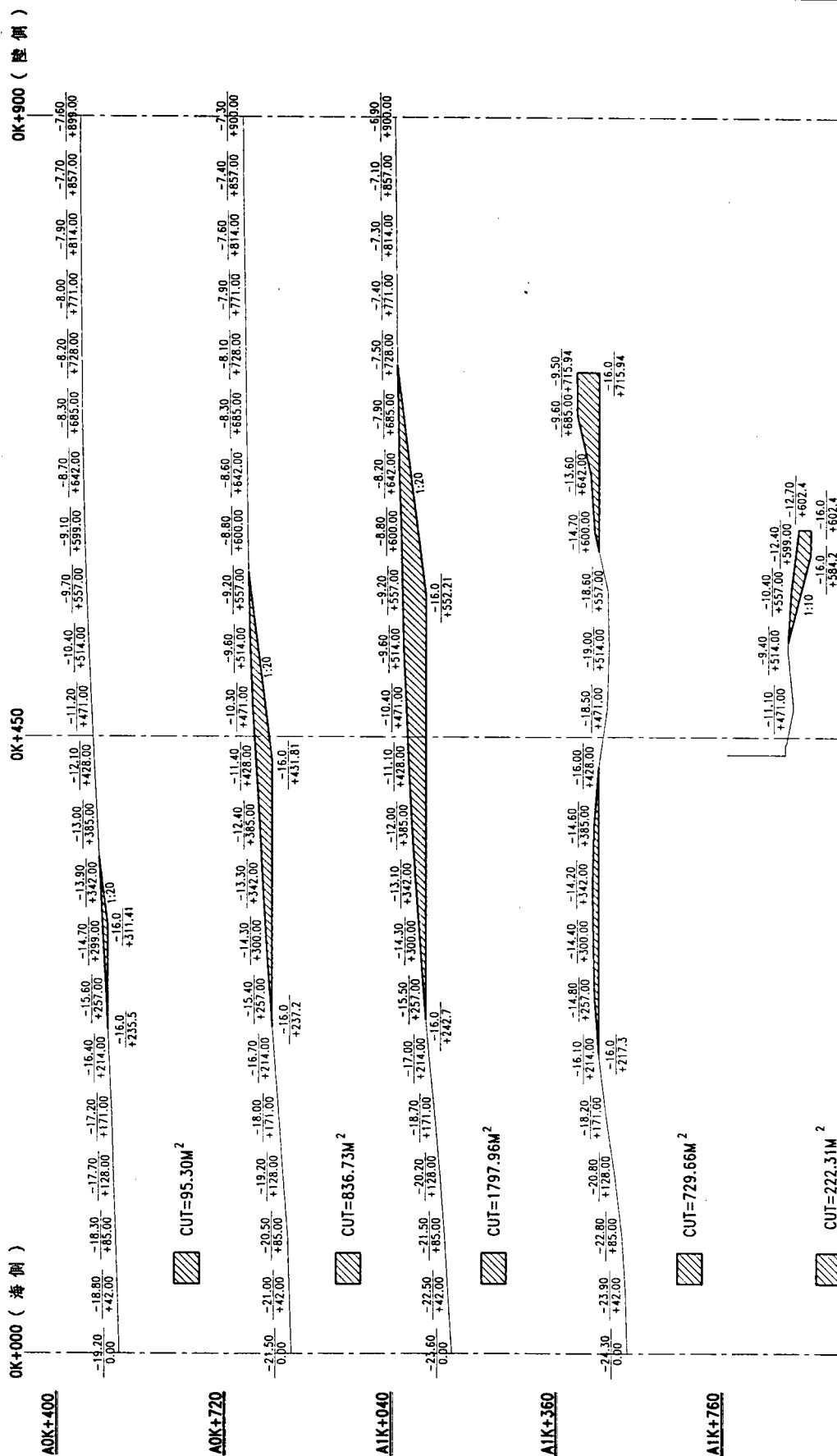


圖 3-4-3 港口航道水域 (含登輪區) 浚挖主要斷面圖

表3-4-1 港外航道水域(含登輪區)浚挖量計算表

里程	距離(m)	浚挖面積(m ²)	平均面積(m ²)	浚挖量(m ³)
A0K+000	40	0.00	1.79	71.40
A0K+040	40	3.57	6.02	240.60
A0K+080	40	8.46	9.03	361.20
A0K+120	40	9.60	11.84	473.60
A0K+160	40	14.08	17.54	701.40
A0K+200	40	20.99	25.31	1012.40
A0K+240	40	29.63	38.56	1542.40
A0K+280	40	47.49	62.53	2501.00
A0K+320	40	77.56	99.84	3993.60
A0K+360	40	122.12	108.71	4348.40
A0K+400	40	95.30	129.23	5169.20
A0K+440	40	163.16	207.91	8316.20
A0K+480	40	252.65	306.19	12247.60
A0K+520	40	359.73	408.29	16331.60
A0K+560	40	456.85	498.84	19953.40
A0K+600	40	540.82	585.86	23434.20
A0K+640	40	630.89	921.46	36858.40
A0K+680	40	1212.03	1024.38	40975.20
A0K+720	40	836.73	891.32	35652.80
A0K+760	40	945.91	1012.44	40497.40
A0K+800	40	1078.96	1152.21	46088.40
A0K+840	40	1225.46	1306.30	52252.00
A0K+880	40	1387.14	1475.88	59035.20
A0K+920	40	1564.62	1640.00	65599.80
A0K+960	40	1715.37	1757.38	70295.00
A1K+000	40	1799.38	1798.67	71946.80
A1K+040	40	1797.96	1805.86	72234.40
A1K+080	40	1813.76	1840.05	73601.80
A1K+120	40	1866.33	1913.90	76555.80
A1K+160	40	1961.46	2011.83	80473.20
A1K+200	40	2062.20	1764.28	70571.20
A1K+240	40	1466.36	1168.73	46749.20
A1K+280	40	871.10	796.53	31861.00
A1K+320	40	721.95	725.81	29032.20
A1K+360	40	729.66	636.53	25461.00
A1K+400	40	543.39	440.78	17631.00
A1K+440	40	338.16	288.11	11524.20
A1K+480	40	238.05	279.63	11185.00
A1K+520	40	321.20	349.28	13971.00
A1K+560	40	377.35	356.30	14251.80
A1K+600	40	335.24	367.71	14708.40
A1K+640	40	400.18	370.53	14821.20
A1K+680	40	340.88	351.90	14076.00
A1K+720	40	362.92	292.62	11704.60
A1K+760	40	222.31	111.16	1000.40
A1K+769	9	-		

浚挖量合計： 1, 251, 313m³

寬至350m。而航道中段部份，為期船舶進入主航道後，有較大操航空間以容忍橫風對船向控置之影響，將拓寬為600m，形成一橢圓袋狀航行水域。

在本航道浚挖範圍與相鄰結構物將至少保留50m~340m寬之安全距離，邊界修整視與防波堤距離長短調整為1:5~1:10之邊坡，以確保結構物之安全。詳圖3-4-4示港外航道浚挖範圍圖，圖3-4-5示各主要浚挖斷面圖，依各浚挖斷面可計得港外航道浚挖量約344萬 m^3 ，詳表3-4-2所示。

三、北迴船池水域浚深工程

北迴船池目前直徑為1,000，水深介於CD.-13m~-14m，在本計畫中迴船池直徑仍維持1,000m規模，但設計水深擬浚深至CD.-16m。浚挖範圍詳圖3-4-6，主要浚挖斷面詳圖3-4-7，依各浚挖斷面可計得港外航道浚挖量約180萬 m^3 ，詳表3-4-3所示。

四、北迴船池與 W4 碼頭間水域浚深工程(含避船水域及部份內航道)

依操船模擬試驗結果顯示，大型船為克服垂直航向之風壓影響，必須採較高速度在港口段航行，但相對的將無法順利在迴船池停船，基於安全考量，必要時必須再通過內堤口後，將船轉向駛往北迴船池與港內南北向主航道間水域。

基於上述理由，本計畫將北迴船池與W1~W4碼頭以及30~32號碼頭間，扣除50m寬船席空間後之600m寬水域一併浚深至-16m，作為船舶航行應變空間。浚挖平面圖及主要斷面圖，詳圖3-4-8、圖3-4-9，依各浚挖斷面可計得總浚挖量約為68萬 m^3 ，詳表3-4-4所示。

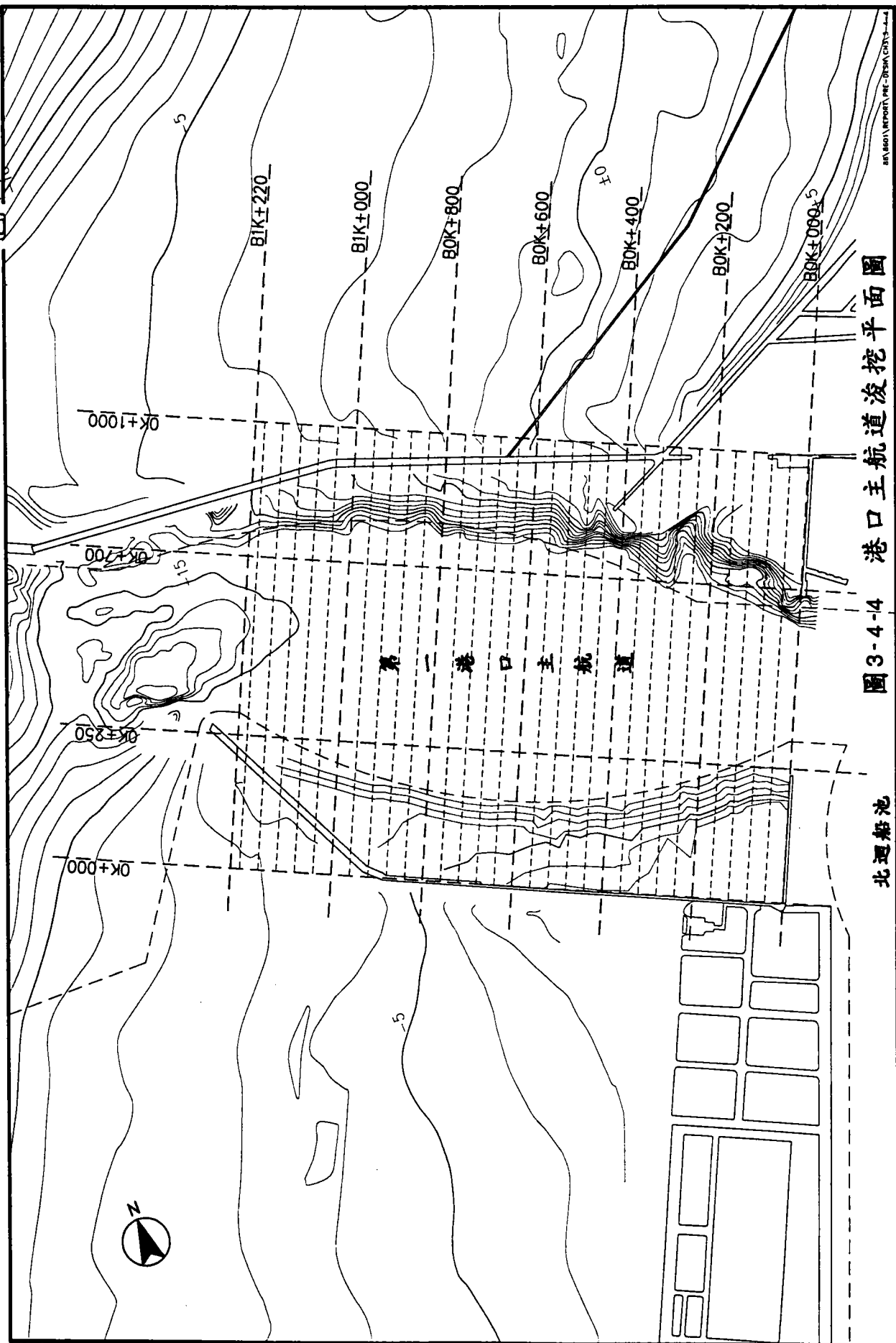


圖 3-4-4 港口主航道浚挖平面圖

北迴船池

REV. 001 / REPORT PRE-DESIGN / 3-4-4

OK+1000 (北防坡堤側)

OK+700

OK+250

OK+000 (南防坡堤側)

BOK+000

BOK+320

BOK+640

BOK+960

BIK+220

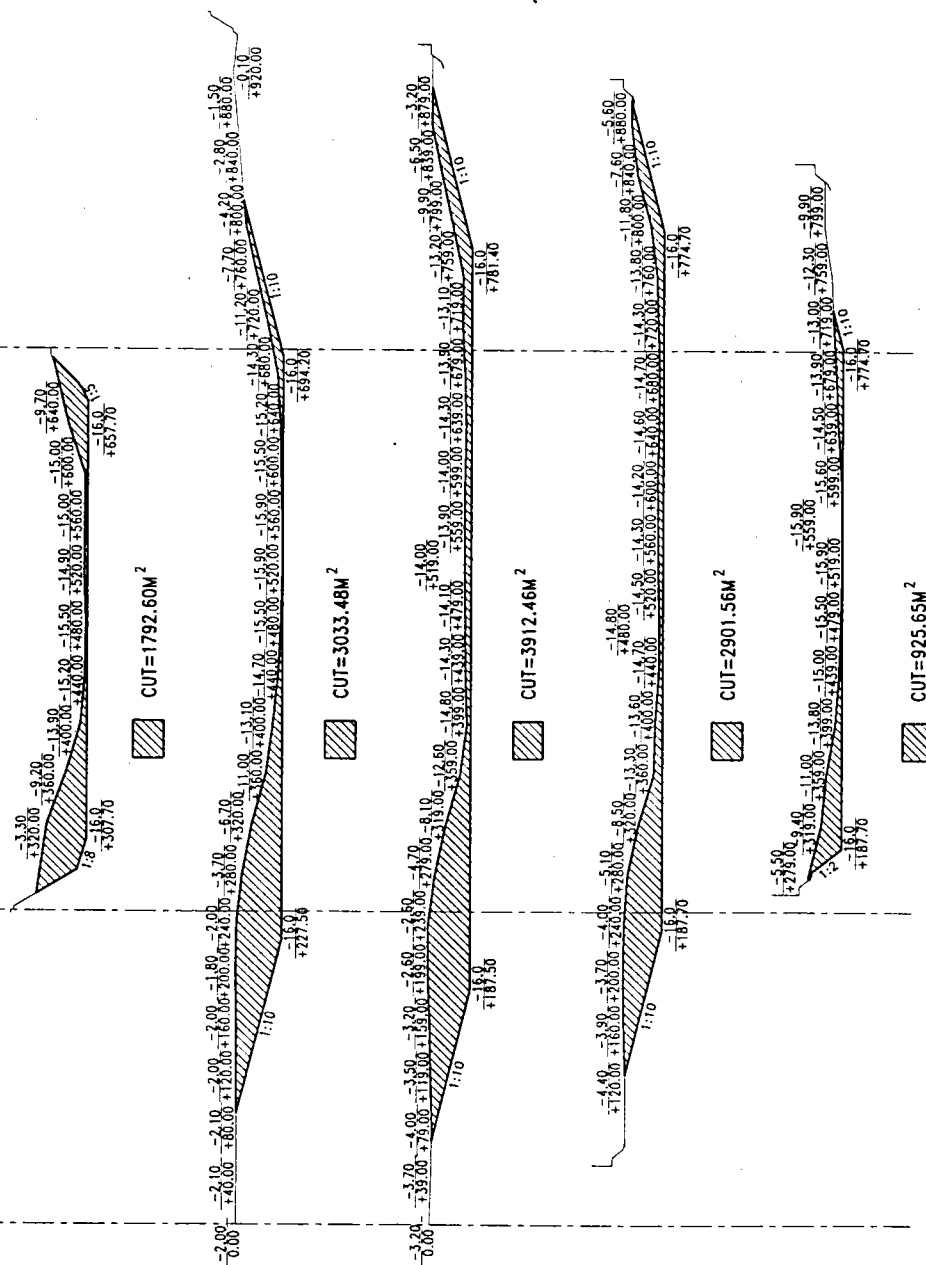


圖 3-4-5 港口主航道浚挖主要斷面圖

表3-4-2 港口航道水域浚挖量計算表

里程	距離(m)	浚挖面積(m ²)	平均面積(m ²)	浚挖量(m ³)
B0K+000	20	1792.60	2193.15	43863.00
B0K+040	40	2593.70	2364.57	94582.80
B0K+080	40	2135.44	1590.14	63605.60
B0K+120	40	1044.84	1553.40	62136.00
B0K+160	40	2061.96	2132.39	85295.40
B0K+200	40	2202.81	2262.24	90489.40
B0K+240	40	2321.66	2512.44	100497.60
B0K+280	40	2703.22	2868.35	114734.00
B0K+320	40	3033.48	3035.85	121434.00
B0K+360	40	3038.22	3053.81	122152.20
B0K+400	40	3069.39	3231.93	129277.00
B0K+440	40	3394.46	3554.77	142190.80
B0K+480	40	3715.08	3737.24	149489.60
B0K+520	40	3759.40	3665.98	146639.20
B0K+560	40	3572.56	3683.62	147344.80
B0K+600	40	3794.68	3853.57	154142.80
B0K+640	40	3912.46	3842.41	153696.20
B0K+680	40	3772.35	3744.88	149795.00
B0K+720	40	3717.40	3747.17	149886.80
B0K+760	40	3776.94	3721.52	148860.80
B0K+800	40	3666.10	3453.73	138149.20
B0K+840	40	3241.36	3234.03	129361.20
B0K+880	40	3226.70	3174.55	126982.00
B0K+920	40	3122.40	3011.98	120479.20
B0K+960	40	2901.56	2744.60	109784.00
B1K+000	40	2587.64	2616.38	104655.20
B1K+040	40	2645.12	2546.78	101871.20
B1K+080	40	2448.44	2256.88	90275.00
B1K+120	40	2065.31	1725.45	69017.80
B1K+160	40	1385.58	1155.62	46224.60
B1K+216	36	925.65	925.65	33323.40

浚挖量合計： 3, 440, 236m³

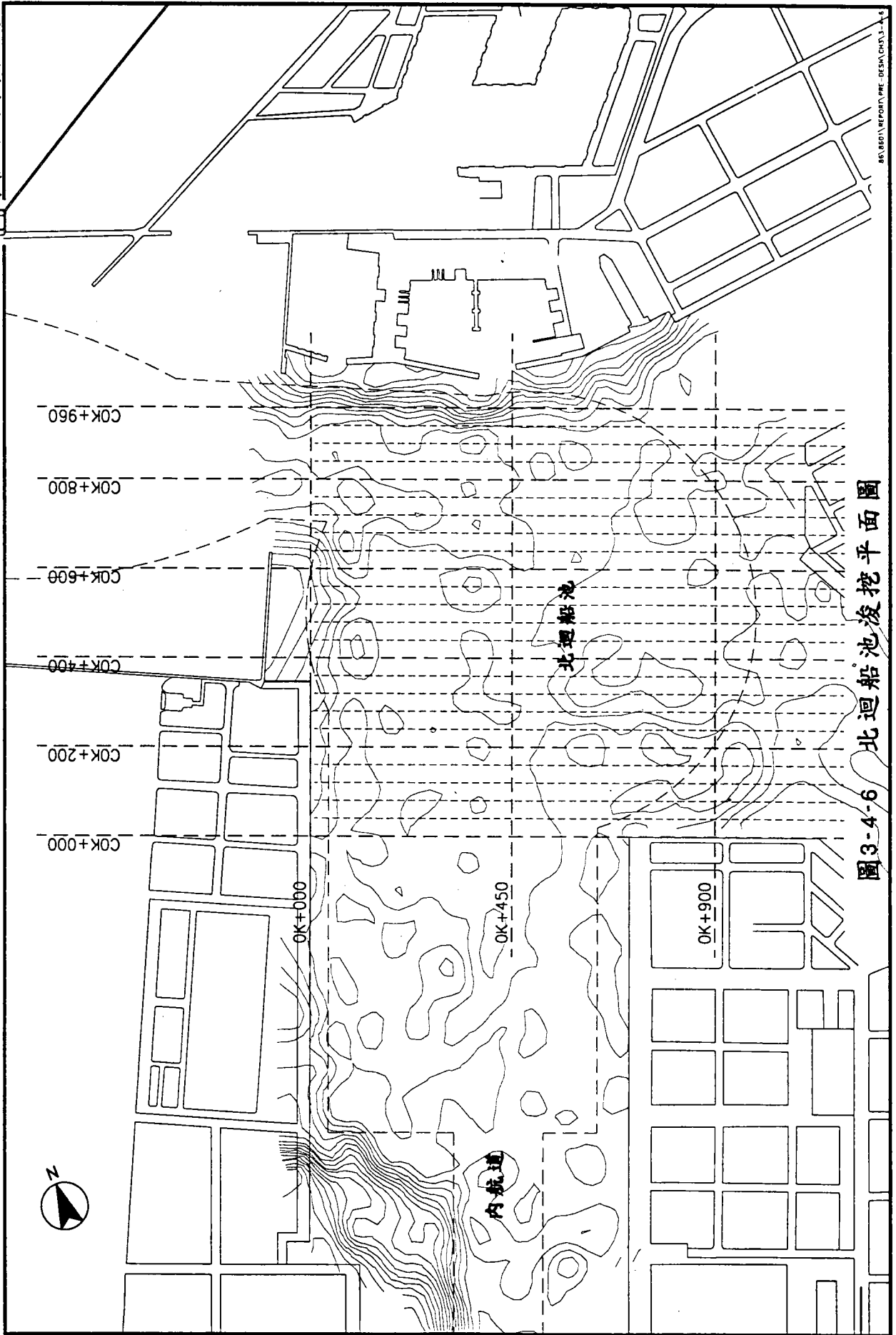


圖3-4-6 北迴船池浚挖平面圖

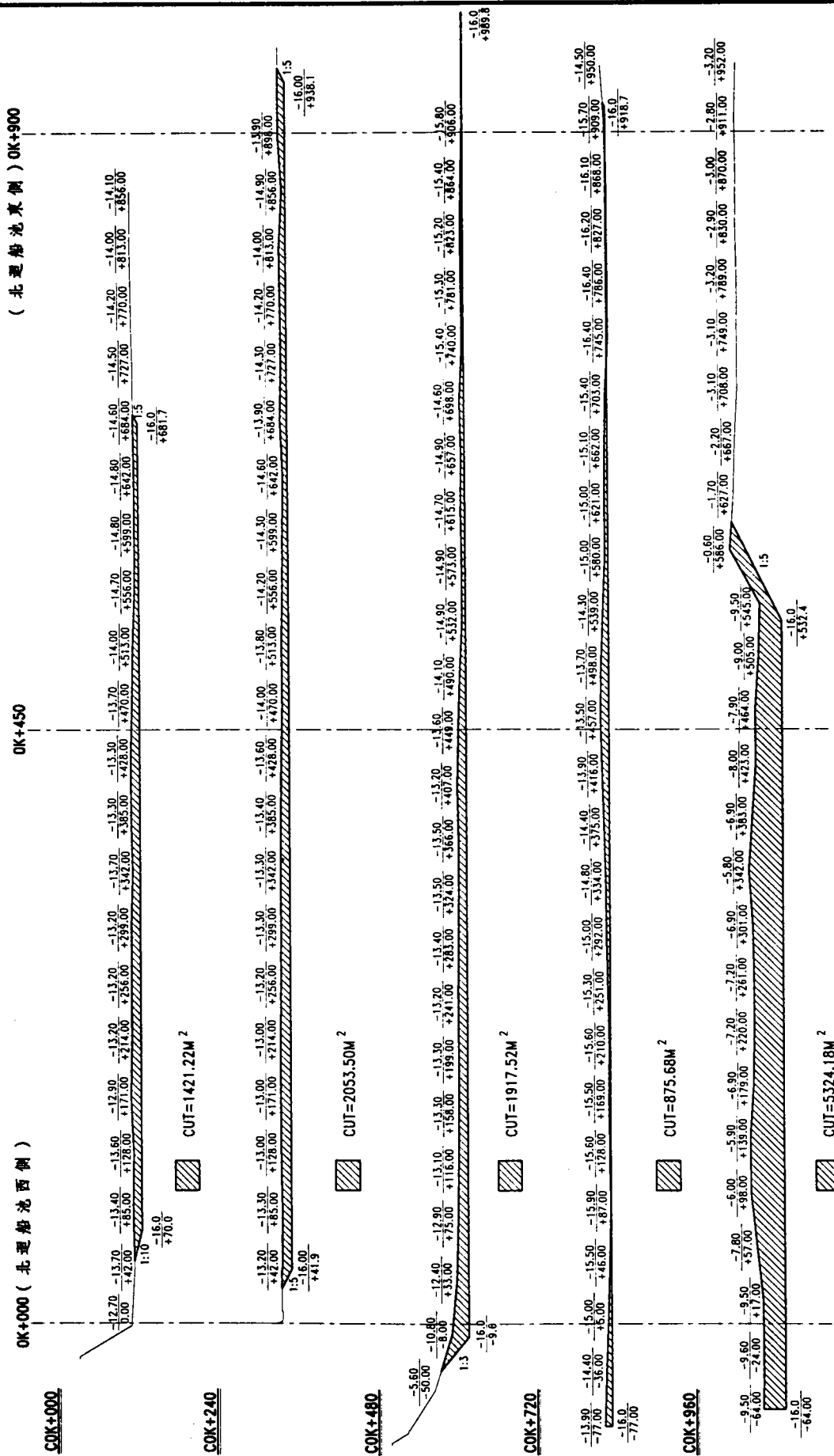


圖3-4-7 北迴船池浚挖主要斷面圖

表3-4-3 北迴船池水域浚挖量計算表

里程	距離(m)	浚挖面積(m ²)	平均面積(m ²)	浚挖量(m ³)
C0K-040	20	3460.56	2440.89	48817.80
C0K+000	40	1421.22	1457.54	58301.60
C0K+040	40	1493.86	1558.90	62356.00
C0K+080	40	1623.94	1665.90	66635.80
C0K+120	40	1707.85	1690.72	67628.60
C0K+160	40	1673.58	1768.31	70732.20
C0K+200	40	1863.03	1958.27	78330.60
C0K+240	40	2053.50	1966.49	78659.40
C0K+280	40	1879.47	1755.86	70234.40
C0K+320	40	1632.25	1676.98	67079.00
C0K+360	40	1721.70	1782.46	71298.20
C0K+400	40	1843.21	1834.22	73368.60
C0K+440	40	1825.22	1871.37	74854.80
C0K+480	40	1917.52	1930.34	77213.60
C0K+520	40	1943.16	1817.15	72685.80
C0K+560	40	1691.13	1511.09	60443.40
C0K+600	40	1331.04	1557.93	62317.20
C0K+640	40	1784.82	1439.69	57587.60
C0K+680	40	1094.56	985.12	39404.80
C0K+720	40	875.68	1228.78	49151.20
C0K+760	40	1581.88	1734.82	69392.60
C0K+800	40	1887.75	1956.31	78252.40
C0K+840	40	2024.87	2074.87	82994.60
C0K+880	40	2124.86	2467.96	98718.40
C0K+920	40	2811.06	2811.06	112442.40
C0K+960	20	2811.06	2811.06	56221.20

浚挖量合計： 1,805,122m³

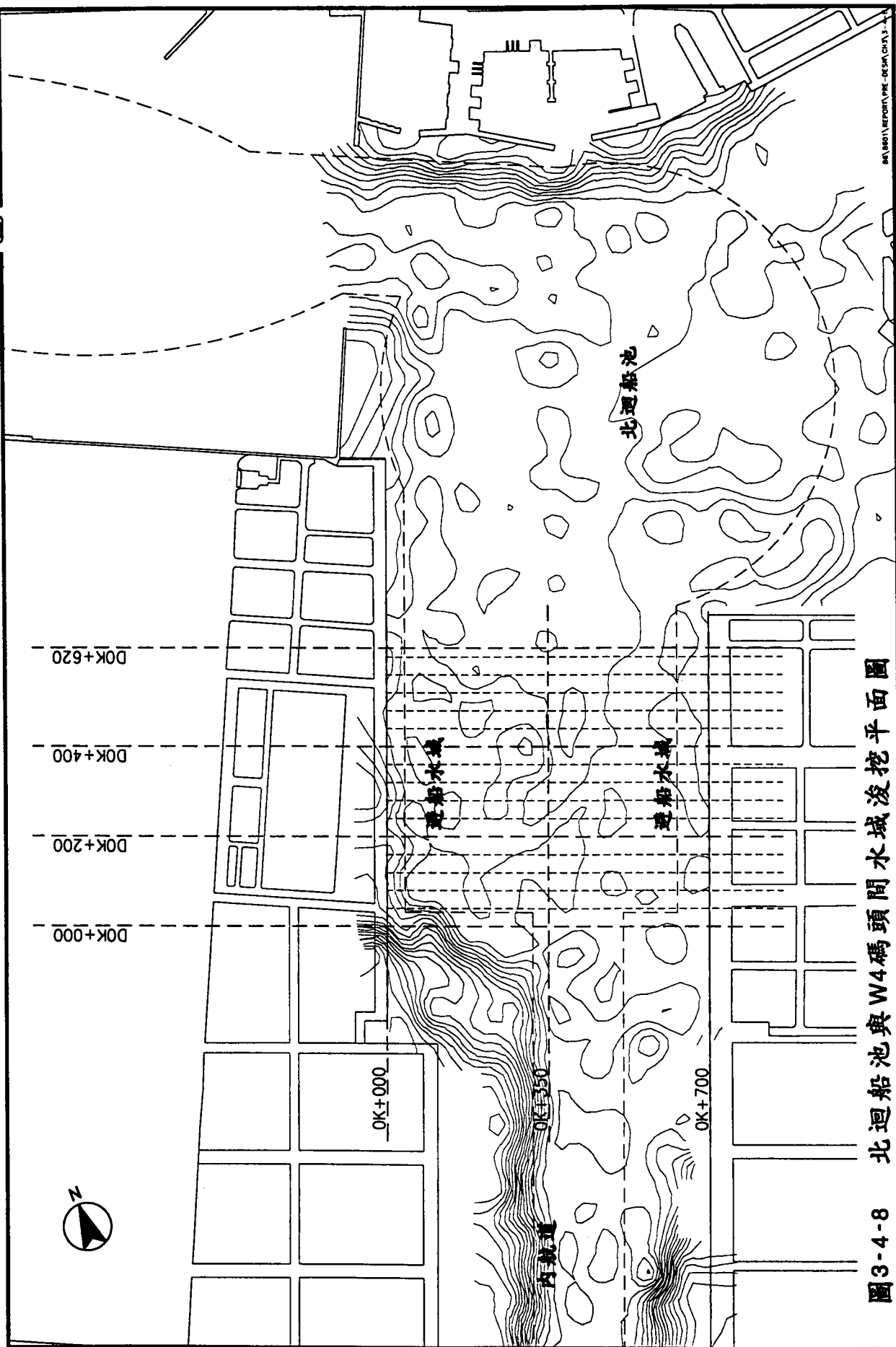


圖3-4-8 北迴船池與W4碼頭水城浚挖平面圖

845 8801 REPORT PRE - DESIGN 3

OK+700 (內航道東側)

OK+000 (內航道西側)

DOK+000

DOK+160

DOK+320

DOK+480

DOK+620

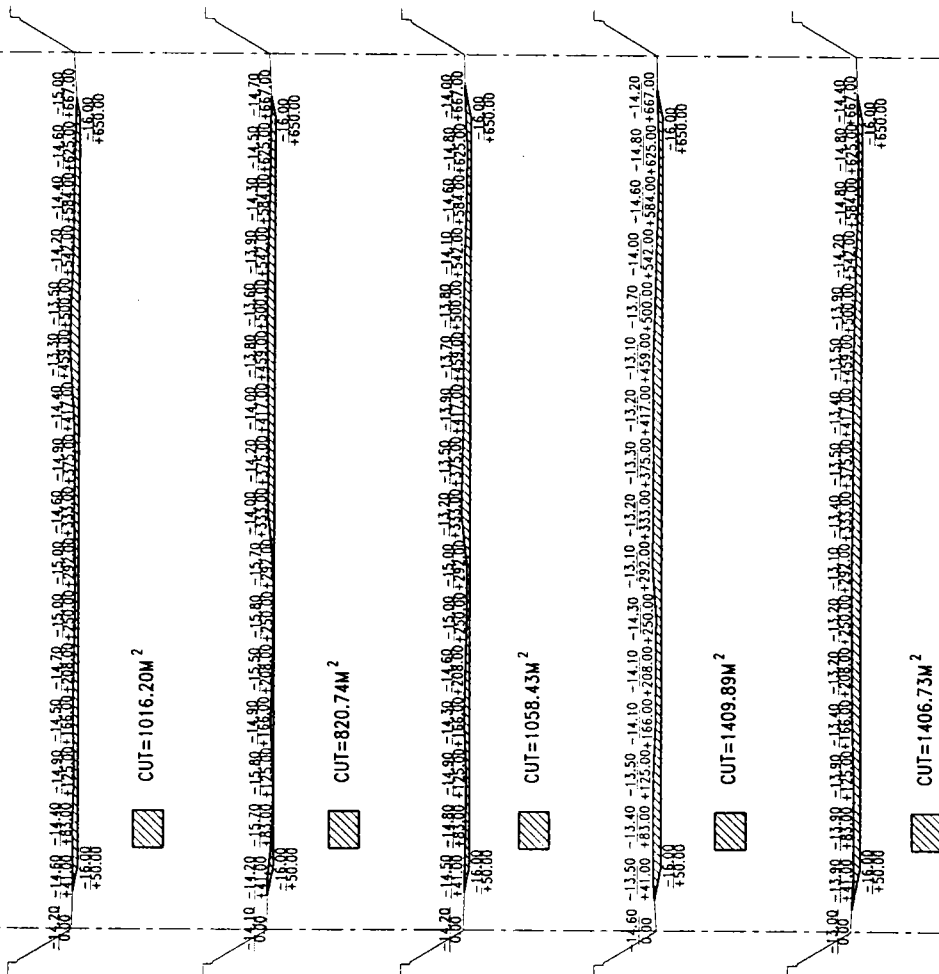


圖3-4-9 北迴船池與W4碼頭間水域浚挖主要斷面圖

表3-4-4 北迴船池至W4碼頭間水域浚挖量計算表

里程	距離(m)	浚挖面積(m ²)	平均面積(m ²)	浚挖量(m ³)
D0K+000	20	1016.20	967.94	19358.80
D0K+040	40	919.68	909.71	36388.20
D0K+080	40	899.73	813.83	32553.00
D0K+120	40	727.92	774.33	30973.20
D0K+160	40	820.74	853.07	34122.80
D0K+200	40	885.40	866.83	34673.00
D0K+240	40	848.25	914.10	36563.80
D0K+280	40	979.94	1019.19	40767.40
D0K+320	40	1058.43	1120.85	44833.80
D0K+360	40	1183.26	1191.07	47642.80
D0K+400	40	1198.88	1219.10	48763.80
D0K+440	40	1239.31	1324.60	52984.00
D0K+480	40	1409.89	1409.91	56396.20
D0K+520	40	1409.92	1427.24	57089.40
D0K+560	40	1444.55	1415.75	56629.80
D0K+600	30	1386.94	1396.84	41905.05
D0K+620	10	1406.73	1406.73	14067.30

浚挖量合計： 685,712m³

(僅400m航道部份): 498,740m³

(僅避船水域部份): 186,972m³

伍、導航燈標新建工程初步設計

一、堤頭燈杆(標)新建工程

本計畫將北防波堤、南外堤及南內堤分別進行延建及拆除後，新堤頭位置已改變，舊有之堤頭燈杆(標)設施必須予以拆除改建。

(一)北防波堤堤頭燈杆

本計畫將北防波堤延建後，新堤頭僅自現有堤頭朝 WNW 方向挺進 480m，衡量延建後堤頭位置及堤前波浪規模大小均與現有堤頭差異不大，所以新堤頭燈杆仍依原有設計型式進行重建，詳如圖 3-5-1 所示，舊堤頭燈杆設施則予以拆除。新堤頭燈質、公稱光程等均沿用既有規格，燈具設施可直接自舊堤頭拆除後移用。北防波堤新堤頭導航燈之燈質諸元摘列如下：

位置：北緯 24° 18'5.84"

東經 120° 28'41.97"

燈質：白聯閃光(2)4 秒明 0.5 秒暗 0.5 秒。

明 0.5 秒暗 2.5 秒。

光力：2,600 支燭光。

燈高：(自高潮面起至燈火中心)21.4m(70.2 呎)。

公稱光程：16 浬。

構造及高度：(自塔基至風標)白色圓形混凝土塔，18.4m(60.4 呎)。

(二)南外堤堤頭燈杆

南外堤堤頭導航燈之設置，可採用原設計型式之燈杆改建，詳如圖 3-5-2 所示。新堤頭燈質、公稱光程等均沿用既有規格，燈具設施可直接自舊堤頭拆除後移用。南外堤新堤頭導航燈之燈質諸元摘列如下：

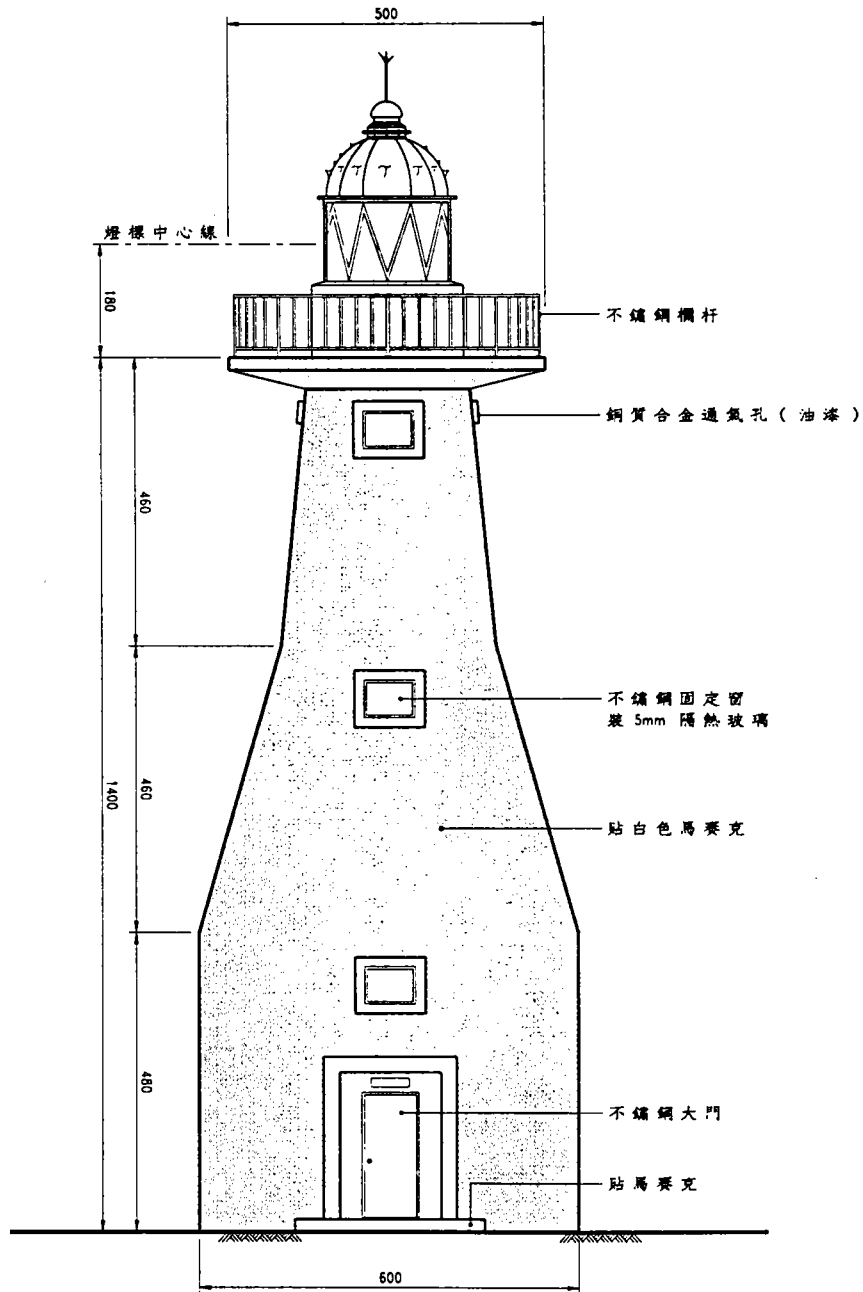
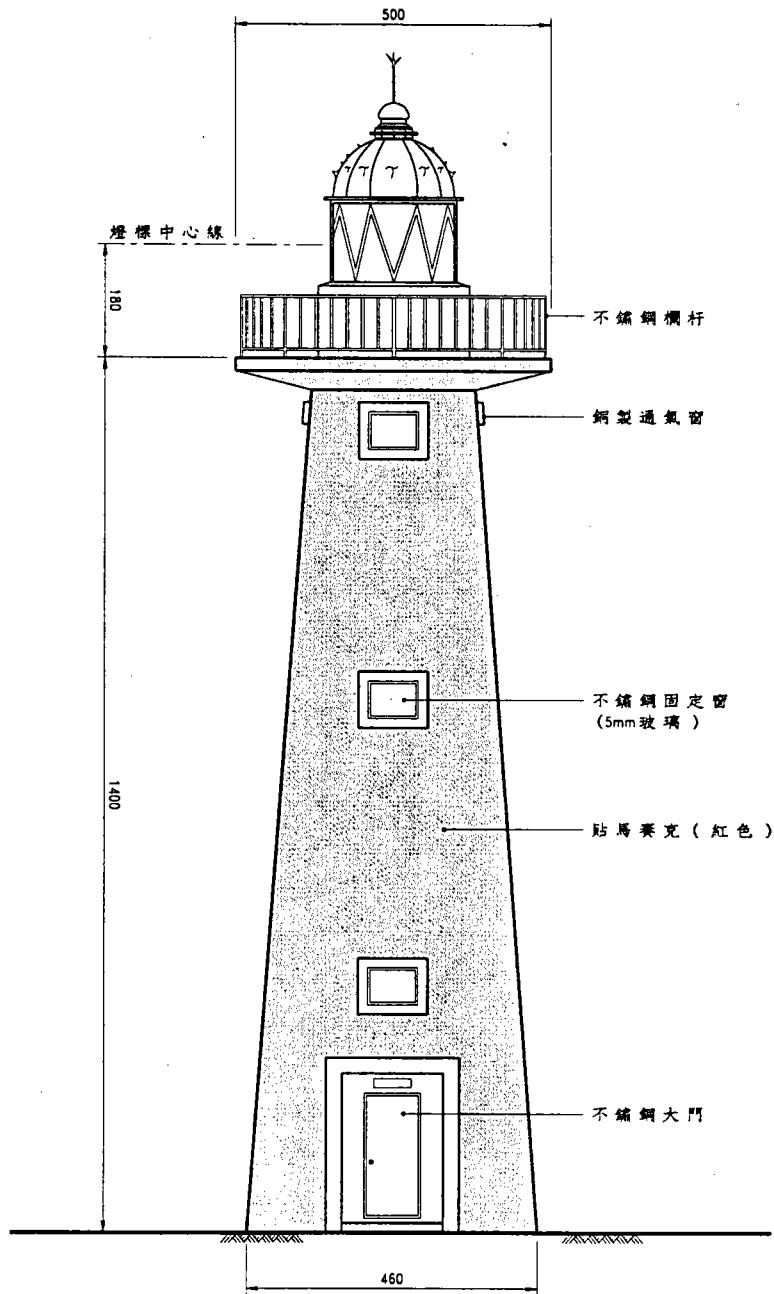


圖3-5-1 北外堤燈塔正面圖



• U=CM

圖3-5-2 南外堤燈塔正面圖

位置：北緯 24° 17'30.83"

東經 120° 29'32.86"

燈質：主 燈—紅聯閃光(2)4 秒明 0.5 秒暗 0.5 秒。

明 0.5 秒暗 2.5 秒。

輔助燈—紅聯閃光(2)4 秒明 0.5 秒暗 0.5 秒。

明 0.5 秒暗 2.5 秒。

光力：主 燈—520 支燭光。

輔助燈—60 支燭光。

燈高：主 燈—(高潮面起至燈火中心)21.4m(70.2 呎)。

輔助燈—(高潮面起至燈火中心)10.5m(34.4 呎)。

公稱光程：主 燈—8.1 浬。

輔助燈—4.7 浬。

構造及高度：(自塔基至風標)紅色圓形混凝土塔 18.4m。

(三)南內堤堤頭燈杆

南外堤及南內堤堤頭導航燈之設置，同樣採用原設計型式之燈杆改建，詳如圖 3-5-3 所示。新堤頭燈質、公稱光程等均沿用既有規格，燈具設施可直接自舊堤頭拆除後移用。南內堤新堤頭導航燈之燈質諸元摘列如下：

位置：北緯 24° 17'12.79"

東經 120° 30'13.38"

燈質：紅閃光每 3 秒一閃，明 0.5 秒暗 2.5 秒。

光力：70 支燭光。

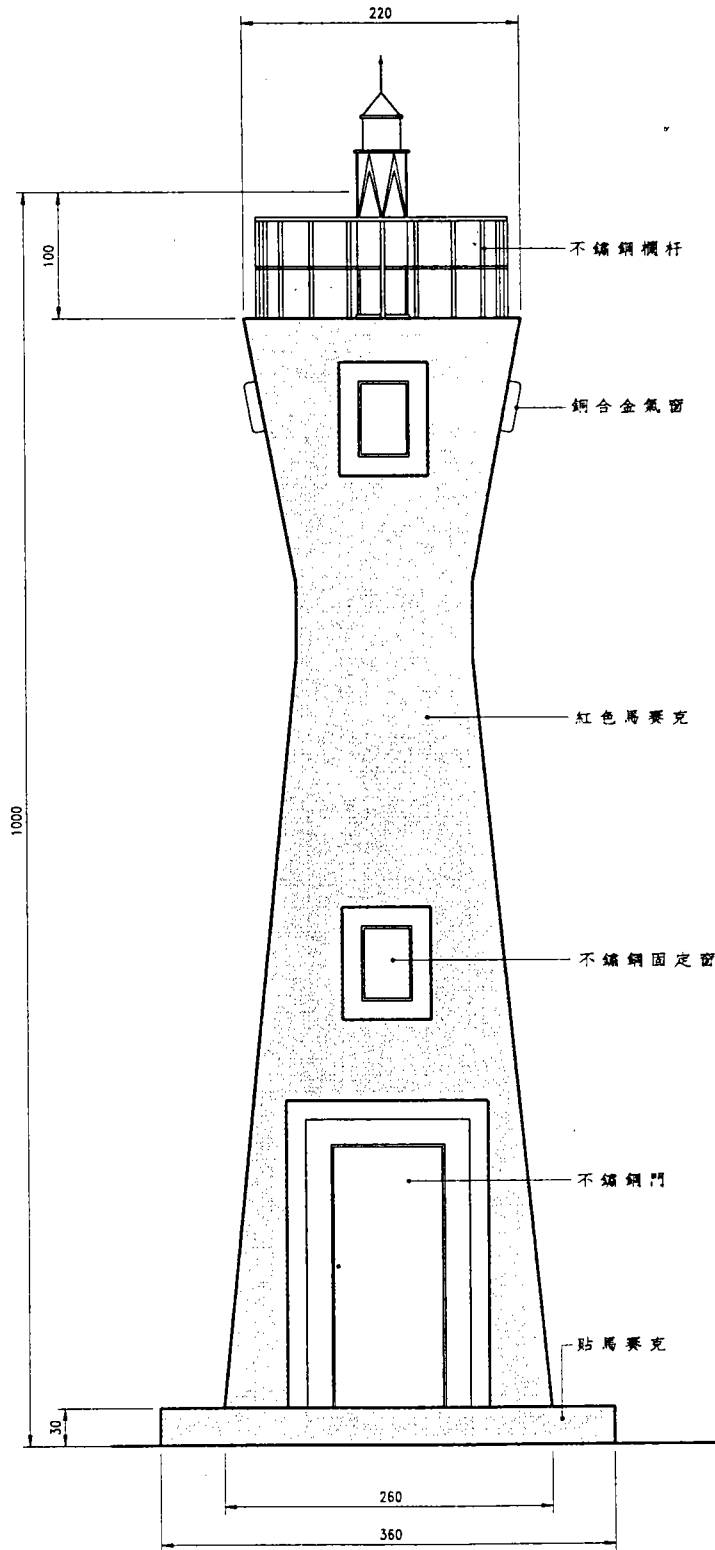
燈高：(自高潮面起至燈火中心)13.2m(43 呎)。

公稱光程：7.8 浬。

構造及高度：(自塔基至燈籠頂)紅色混凝土圓柱塔，
10.2m(33.5 呎)。

二、港外航道導疊標新建工程

港外航道導向燈標指引之航向為 060(T)，由於船舶自港外接近登輪區時，受風浪流影響，不易掌握航向，為使船舶易於辨識安全之航



• U=CM

圖3-5-3 南內堤燈塔正面圖

行路線，導燈燈質採紅白綠三色定光，紅色光束涵蓋範圍為安全航行區，紅光與白光交替出現之涵蓋範圍以及紅光與綠光交替出現之涵蓋範圍屬於警示區，此時船舶已偏離安全航行區，可警示船舶立即修正航向，綠色光束涵蓋範圍及白色光束涵蓋範圍為危險區，船舶已嚴重偏離航向，詳細之導向光束分佈配置另詳圖3-5-4。

茲依據港外航道長度及登輪區位置，並考量白天導向需要，所需光力以夜間照明之10倍概估，研定港外航道導向燈標斷面詳圖3-5-5所示，導燈結構及燈質諸元如下：

- 位置：北緯 24°17'48"，東經 120°29'25"
- 燈質：為紅、白、綠色扇形定光。
- 燈具水平弧角：20 度，其中紅色光分佈範圍為 3.4797 度，紅白色光交替變化分佈範圍為 1.8693 度，白色光範圍為 3.7466 度，白綠色光交替變化分佈範圍為 1.8693 度，綠色光範圍為 3.4797 度，弧角板為移動式。
- 燈具垂直弧角：5.6 度
- 光力：白光 1209 燭光，紅光 326 燭光，綠光 290 燭光。
- 燈高基本需求：(自高潮面起至燈火中心)6m。
- 公稱光程：5.7 浬(以大氣傳導係數 0.74，夜間導向計算)。
- 構造及基本高度需求：白色不鏽鋼管，高 3.6m(自塔基至燈具基礎)。

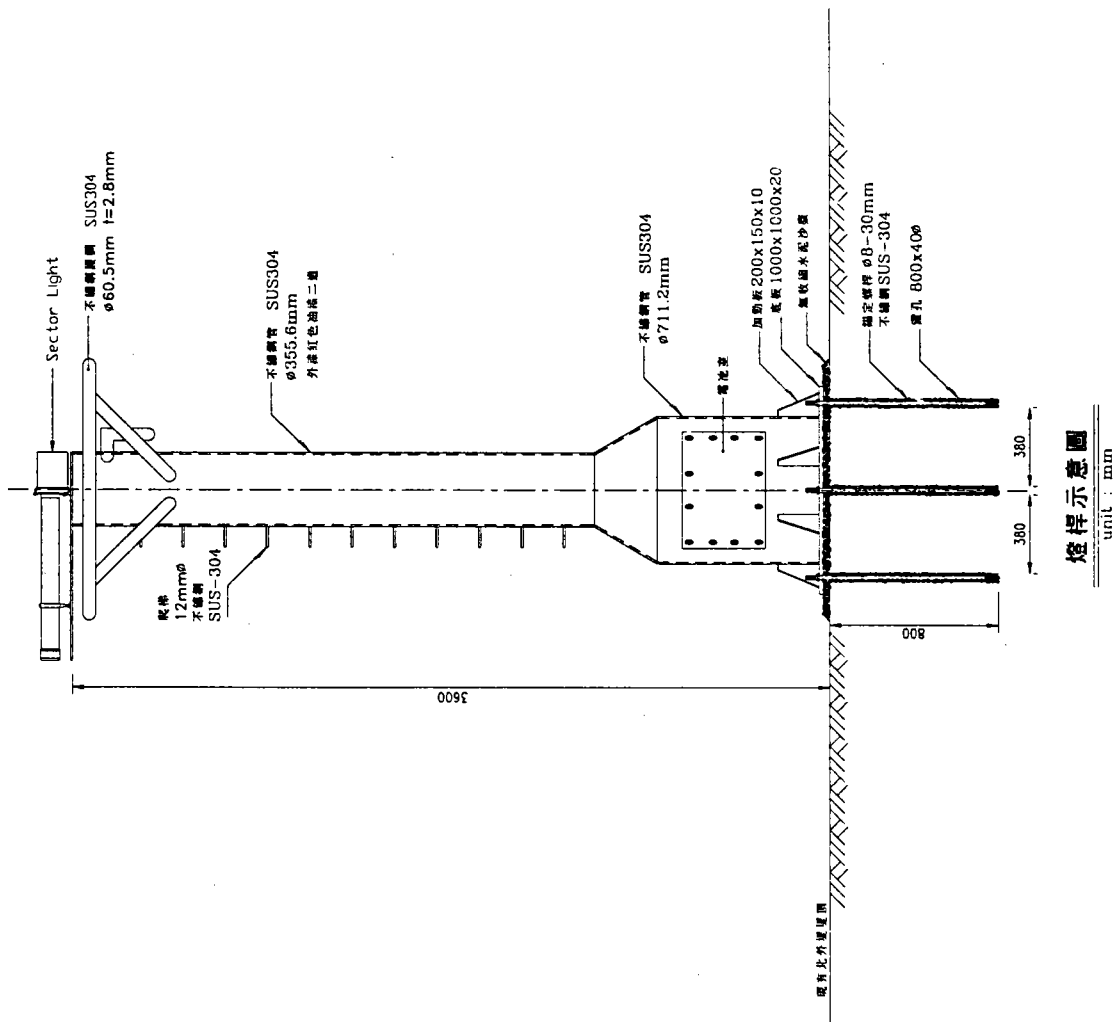


圖 3-5-4 港外導向燈桿斷面圖

第四章 實施計畫

第四章 實施計畫

壹、主要工程項目

依第二章研定之定案擴建計畫及第三章初步設計結果，本港口二期擴建計畫平面佈置如圖 2-1-1 所示，茲將主要工程項目說明如下：

一、北防波堤延伸工程

本計畫擬自現有北防波堤堤頭再繼續延建防波堤480m，防波堤堤址位於水深-20m~-25m間，將採用沈箱式合成堤斷面，於航道側採消波設計，以消減波能，減少反射波對船舶進出港之影響，及降低南向波浪順著堤體產生導浪現象，其斷面如圖3-1-5所示。

二、南外堤拆除工程(含新堤頭保護)

本計畫將拆除南外堤堤頭段之四座沈箱，總長93m。本堤段構造係沈箱合成堤，其中兩座曾因箱壁受損，內部以水中混凝土填充，拆除時需要予以鑿除。南外堤其餘需拆除堤段之沉箱本體如可順利浮起，將考慮移至本港填方區海堤工程中重複利用。拆除後之南外堤堤頭將闢設保護設施，以防止堤基之沖刷。

三、南內堤拆除工程(含新堤頭保護)

計畫拆除南內堤50m，包括堤頭段長36m之沉箱合成堤，以及後側之14m拋石堤。新堤頭將以堆疊混凝土方塊加以保護，並於外側底床坡面拋放塊石及消波塊保護。

四、水域靜穩度改善工程

在拆除部份南內、外堤堤段後，內、外港口處之航道寬度變寬，侵入商港區及漁港區水域之波能將相對增大。本計畫擬在北防波堤航

道側及漁港口間之水域設置消擋波設施，以消減侵入航道水域之波能，阻擋波浪侵入營運碼頭水域及漁港區內，降低港口擴建所造成之負面影響。

五、其他配合工程

(一) 導助航系統配合設施

1. 北防波堤、南外堤及南內堤現有燈塔或燈標之拆除及重建。
2. 配合本局船舶交通管理系統建立船舶進出港助航軟體，及即時海氣象資料通報系統等。
3. 在港口一期擴建前之原北防波堤堤頭處闢設一導向燈標，指引船隻進港航向。
4. 於南北防波堤設置夜間照明設施。

(二) 沉箱製作及貯存場地闢建

(三) 其他雜項工程

包括施工期間工地安全衛生、工區清潔維護、廢棄物清理、車輛清洗、道路維護、警戒標誌(燈)、及其他零星工程等。

貳、施工計畫

一、主要工程數量概估

(一)北外堤延伸堤段

北外堤延伸段全長 480m，全里程堤段均採用沉箱式合成堤。
主要工程數量如下：

■ 5~30kg 卵塊石	193,062m ³
■ 100~300kg 塊石	24,927m ³
■ 0.5~1T 塊石	53,424m ³
■ 20T 截頭消波塊	3,311 個
■ 3.0×3.5×1.5 方塊	711 個
■ 濾布	45,747m ²
■ 胸牆及堤面混凝土	24,360m ³
■ 模板	6,224m ²
■ 水下細整平	44,200m ²
■ 20M×22M×22.5M 沉箱	24 座

(二)南外堤拆除堤段

南外堤拆除四座沉箱式合成堤，計 93m 長。主要工程數量如下：

■ 4.5×3.0×1.5 方塊 (A 方塊)	30 個
■ 3.0×3.0×1.5 方塊 (D 方塊)	90 個
■ 堤面胸牆混凝土	3,024m ³
■ 沉箱封頂混凝土	4,58m ³
■ 沉箱填充料	18,128m ³

■ 沉箱	4 座
■ 5~100kg 塊石 (A 塊石)	1,967m ³
■ 100~300kg 塊石 (B 塊石)	5,715m ³
■ 300~500kg 塊石 (C 塊石)	8,883m ³
■ 1.0~3.0T 塊石 (E 塊石)	1,773m ³
■ 粒徑不小於 100mm 卵石 (a 卵石)	35,805m ³

(三) 南外堤重建堤頭保護

■ 胸牆及堤面混凝土	500m ³
■ 4.5×3.0×1.5 方塊 (A 方塊)	2 個
■ 3.0×3.0×1.5 方塊 (D 方塊)	12 個
■ 100~300kg 塊石 (B 塊石)	1,240m ³
■ 300~500kg 塊石 (C 塊石)	1,627m ³
■ 粒徑不小於 100mm 卵石 (a 卵石)	4,217m ³

(四) 南內堤拆除堤段

南內堤計拆除堤頭沉箱合成堤 36m 長及後側 14m 長之斜坡拋石堤。主要工程數量分述如下：

1. 南內堤沉箱段

● 5.0×2.0×1.0 方塊	28 個
● 堤面胸牆混凝土	740m ³
● 沉箱封頂混凝土	177m ³
● 沉箱填充料移除	3,708m ³
● 沉箱	2 座
● 5~100kg 塊石 (A 塊石)	605m ³
● 100~300kg 塊石 (B 塊石)	2,257m ³
● 1.0~3.0T 塊石 (E 塊石)	2,587m ³
● 粒徑不小於 100mm 卵石 (a 卵石)	4,586m ³
● 粒徑 40mm~100mm 卵石 (e 卵石)	105m ³

2.南內堤拋石段

●堤面胸牆混凝土	133m ³
●5~100kg 塊石 (A 塊石)	392m ³
●300~500kg 塊石 (C 塊石)	1,103m ³
●6T 鼎形塊	169 個
●粒徑不小於 100mm 卵石 (a 卵石)	2,757m ³

(五)南內堤重建堤頭保護

■ 5.0×2.0×1.0 方塊	4 個
■ 混凝土	1,530m ³
■ 模板	430m ²
■ 浚挖	10,000m ³
■ 5~100kg 塊石 (A 塊石)	658m ³
■ 300~500kg 塊石 (C 塊石)	875m ³
■ 粒徑不小於 100mm 卵石 (a 卵石)	4,260m ³
■ 6T 鼎形塊	226 個

(六)水域靜穩消波設施

■ 15T 消波塊	1,025 個
■ 30T 消波塊	984 個

二、大宗工材料源及運輸構想

(一)大宗工材料源

1.塊石料源

本計畫工程對作為護坡用之塊石需求量估計北外堤延伸段約為 8 萬 m³，南外堤堤頭保護設施重建約為 3,000m³，南內堤堤頭保護設施約為 2,000m³，合計約為 8.5 萬 m³。而從南外堤及南

內堤拆除堤段中可回收取得之塊石數量約為 2 萬 m^3 。所以南外堤及南內堤護坡所需塊石數量可由回收塊石中直接供應，至於北外堤延伸段部份估計仍需 6.5 萬 m^3 。

衡量目前國內土石供應情形，本計畫塊石需求量應可完全由國內取得，但是有鑑於近年來國內環保意識高漲，且在為保護河川生態，實行限採或禁採河川砂石政策影響下，國內石料供應已逐漸匱乏。因此為確保本計畫將來執行時石料供應無虞，亦可考慮配合自國外進口石料使用。以下茲就本計畫可能取得塊石之料源進行說明。

(1) 由國內取得塊石

依經濟部中央地質調查所出版之臺灣地質概論資料中，可看出台灣山區蘊藏有豐富之塊石料源，但國內各縣市近年來大都未發放開採塊石許可，目前市場上僅少數局部區域尚能供應塊石(以南部為主)。

以中部地區鄰近台中港之各縣市而言，並未有開放採取塊石之採石場。可是若本計畫執行時，原劃設為台中港專用之大甲溪砂石專用區，已順利取得開採許可，則料源問題自然迎刃而解，否則自當無法限制承包施工單位應由何處開採，應任其依市場供需情形選擇料源。

目前中部地區 1T 塊石到場(含開採、運輸及卸下)平均價格約為 850 元/ m^3 (小於 1T 之塊石價格則略低)，此一價格隨料源距離遠近會有所調整(但不含從東部運至工址)。由於國內對塊石開採係採申請許可，將來本計畫執行時，是否會有開採業者在中部地區覓得合適礦區並取得開採許可並無法預知，因此對於未來本計畫能否以更低廉成本自國內取得塊石實無法掌控。

基於料源之供輸距離與成本有密切關係，將來於設計階段應與可能之材料供應廠商接洽以瞭解可用之料源及數量，並於發包時要求承包商提出開採計畫，內容包括：

A. 石質

港灣工程用石質，應質地堅硬，一般要求比重宜大於 2.5，硬度宜在 50(Shore 硬度試驗)以上，無風化現象，磨損試驗磨損率宜小於 40%，抗硫酸鹽度試驗耗損量宜小於 15%。

B. 塊粒大小

料源開採時，可取得相當比率之可用塊石(開採後可供本計畫使用之各級料)，其相對的廢渣比例不宜過高。

C. 料源

可用石塊藏量應能滿足計畫採取之目標，而且需事先進行環境影響評估作業，分析是否可適時取得開採權。

D. 廢料處理

料源開採時，常有小於需要最小塊粒之顆粒出現，且其所佔百分比，少者約 30% 左右，多者可能達 50% 以上，此等廢料有何場地可供棄填，如何運輸，均須說明。

E. 運輸道路

石源至使用工地之運輸道路狀況。例如，是否需要自行開闢便道，現有道路是否可勝任石料之運輸及其如何減輕環境之衝擊等等。

F. 開採速度

開採速度將影響供料能力，因此應說明可開採速度，並評估是否需要提前開採。

(2) 由國外進口取得塊石

自國外進口塊石建港在國內以麥寮工業港為首例，其於建港初期即向台中港務局申請並獲同意由外籍貨輪直接在麥寮港進出卸貨。本計畫未來執行時如無法以較

低廉成本自國內取得塊石，或無法在國內取得足夠塊石時，屆時可以考慮自國外進口塊石。

由於臺灣省政府建設廳已於民國 86.6.20 日八六建礦字第 0 三二一九五號函核定：自即日起開放大陸產製 CCC25171090901「其他混凝土用，築路用或鐵路用及其他路基用卵石、礫石、碎石，不論是否經加熱處理」之貨品准許間接輸入，但限不得由淡水商港進口。本函係依經濟部 86.6.10 經(86)貿字第八六二六 0 六四三號公告辦理。因此，本計畫將來亦可就近自大陸進口取得所需塊石。

目前粗估如考慮自大陸進口塊石之費用普遍低於國內塊石，估計 1T 塊石到港費用(不含到港卸料費用)約在 700 元/m³ 以下，而自菲律賓進口塊石之成本與大陸亦相差無幾。此一費用就本計畫而言，因直接在台中港進口，塊石卸貨後內陸運輸成本相當便宜，因此相對較優於國內料源。惟因目前政府正式開放後，相關業者大多預期未來價格將會上漲。因此本計畫將來開發時是否採用國外或大陸料源仍須視市場供需情況而定。

2. 卵石料源

本計畫對卵石需求量估計 20.0 萬 m³，扣除南外堤、南內堤拆除堤段回收可利用卵石數量約 4 萬 m³ 後，仍不足 16 萬 m³。港務局雖於大甲溪下游河床擁有一砂石開採專用區，而且其蘊藏量遠超過本計畫需求量，然而依省水利處擬訂之大甲溪砂石採取整體管理計畫，台中港在大甲溪下游已不再擁有砂石開採專用權。基此，本計畫擬同時就國內外可能之卵石供應料源進行說明，以為將來計畫執行時參考。

(1) 由台中港砂石專用區(大甲溪)取得卵石

台中港砂石專用區係於民國 62 年 5 月間向臺中縣政府申請，原為 100 公頃，民國 63 年 5 月間因工程需要增加為 200 公頃，民國 64 年 5 月間再增加至 300 公頃。因

本場砂石蘊藏量異常豐富，故另距大甲溪橋上游約 5 公里路程劃設 200 公頃預備採石區，總採石面積 500 公頃，截至民國 77 年為止，本採石保留區估計尚有 1,700 萬方之砂石量，民國 77 年迄今該保留區均未開採，大甲溪上游由於水工結構物攔阻漂沙運行，致使下游河床有逐年侵蝕之傾向，保守估計該保留區仍有 1,200 萬方之砂石開採量。惟省水利處已取消本港砂石開採專用權。

(2) 由國內其他地區取得卵石

國內土木工程以往對卵石之取得都以河川為主，但近年來蘊藏於西部海岸河床之砂石資源幾已枯竭，國內砂石供應市場早已出現失調現象，加上基於資源保育及防洪安全考量，水利局對國內各主要水系已陸續減少許可開採範圍及數量，甚至全面禁採，依此趨勢研判，未來國內河川地可供應之砂(卵)石量將逐漸減少，且可能轉以東部海岸河川為主。

為因應國內各項建設對大量砂石之需求，經濟部曾劃設有十四處陸上砂石資源保留區並開放開採申請，唯陸上砂石資源開發有其困難處(開發成本高、環境影響不易克服、欠缺專用運輸道路及相關開發問題等)現均已由經濟部解除保留區設置；而台灣省礦物局在台中港附近已規劃有「台中大肚砂石資源專用區」、「南投竹山砂石資源專用區」、「苗栗三義砂石資源專用區」及「雲林林內砂石資源專用區」等四處，目前並未有業者申請開發，其面臨原因恐與經濟部原開放之保留區相去不遠。

基本上未來幾年國內當不致於面臨無卵石可採之窘境，況且本計畫卵石需求量並非十分龐大，若未來施工單位無法自大甲溪下游就近開採，仍可仰賴國內其他地區供應卵石。

(3) 由國外進口卵石

目前市場較具競爭優勢之可能進口地區主要以大陸

及菲律賓為主，但其前提是進口量必須達到經濟規模，其進口石料與國內供應之成本相差無幾。

3. 混凝土骨材及砂石級配料料源

混凝土用骨材及砂石級配料一般分為天然及人工(機軋)兩種。天然骨材及砂石級配料大多取自河床中之礫石及砂，但因其蘊藏量隨洪流輸沙而變，較難掌握。而人工骨材及砂石級配料床來源又分為兩種，一為將河川之大卵石利用碎石機輾壓後篩洗而成。由此可見混凝土骨材用料取得基本上與卵石及塊石面臨之問題大致相同。

本計畫將來最可能之料源地應是位於大甲溪下游之台中港砂石專用區，其開採許可如能順利取得，則混凝土骨材用料及砂石級配料將與卵石一樣無虞匱乏，且取得成本將低於其他產地(含國內外)。而一旦將來無法就近開採該專區石料，工程施工中仍可透過分散採購方式，由國內其他產區或國外取得所需石料。

4. 沉箱回填料

沉箱回填料直接配合沉箱拖放工作由工址海域取得。

5. 鋼筋

國內鋼鐵工業相當發達，鋼廠遍佈北、中、南部，鋼筋用料來源應無虞。

(二) 工材運輸構想

台中港現有聯外道路系統主要以台 1、台 12、台 17、台 10 乙、中山高速公路及縣 136 道路為主，本計畫未來施工期間主要工程材料陸上輸運所需仰賴之道路，將視未來料源分佈位置而有不同，惟無論陸上料源為何，各聯外道路必然匯集至台 17 省道(臨港路)，然後再經龍昌路(或重件路)銜接環港路進入本計畫工址；至於如以海運方式取得材料，則可直接自台中港進口停泊於施工碼頭。以下茲就各可能料源所可能採用之運輸構想概要如下：

1.由南外堤、南內堤拆除堤段取得工材

南外堤、南內堤拆除堤段回收之石料將堆儲於西 8、西 9 碼頭後線土地(將規劃為施工場地)，該批石料優先供應南外堤、南內堤堤頭保護設施重建工程，剩餘石料再配合北外堤延伸工程施工需要，由拋石傳直接裝載運至工址直接拋放。

2.由國內其他地區供應石料

本計畫未來如係由國內取得卵塊石，則如料源地係在西部地區，可經由國內綿密之道路系統銜接台 17 省道(臨港路)，然後再經龍昌路(或重件路)銜接環港路進入工址。

而如未來可在合理成本下自東部地區取得石料，則可選擇以海運直接運抵本港再卸運至工址。

3.由國外或大陸進口

本計畫未來如自國外或大陸取得石料，可直接由本港進口卸運至工址。

三、主要工程施工流程及構想

(一) 施工流程

1.開工後立即成立施工所、進行施工場地整地工作，必要時闢建臨時施工碼頭。

(1) 利用位於西 8、西 9 碼頭後線空地整建施工場地並設立施工所。(西 8 碼頭如於近期內順利完成招商，則改利用西 9、西 10 碼頭後線空地)

(2) 工程開工後，即行堆儲石料及製作消波塊，以利於北外堤延伸工程開始時可全力施作。

(3) 利用位於南迴船池與南海堤及西碼頭區間之水域進行浚深整平，以作為沉箱儲存水域。

2.利用浮船台於南迴船池與西碼頭區間水域製作並儲存沉

箱，在此同時開始進行南內堤拆除工程。

- 3.以海拋方式進行北外堤堤心卵塊石及護坡塊石拋放，完成基礎整平作業，開始拖放沉箱，並同時展開南外堤拆除工程。

(二) 主要工程施工構想

1. 施工所設置

本計畫開始動工後，即須在工址附近設置臨時施工所，以供開發單位之行政、工程人員及承包廠商進駐使用。

施工所擬設於西 8、西 9 碼頭後線空地上，位置詳圖 4-2-1。該空地鄰近南內、外堤，有利開發及施工單位就近掌控工程。惟西 8 碼頭目前正進行招商作業，將來如順利完成招商，則本計畫可利用西 9、西 10 碼頭後線空地(後述施工場地亦同)。

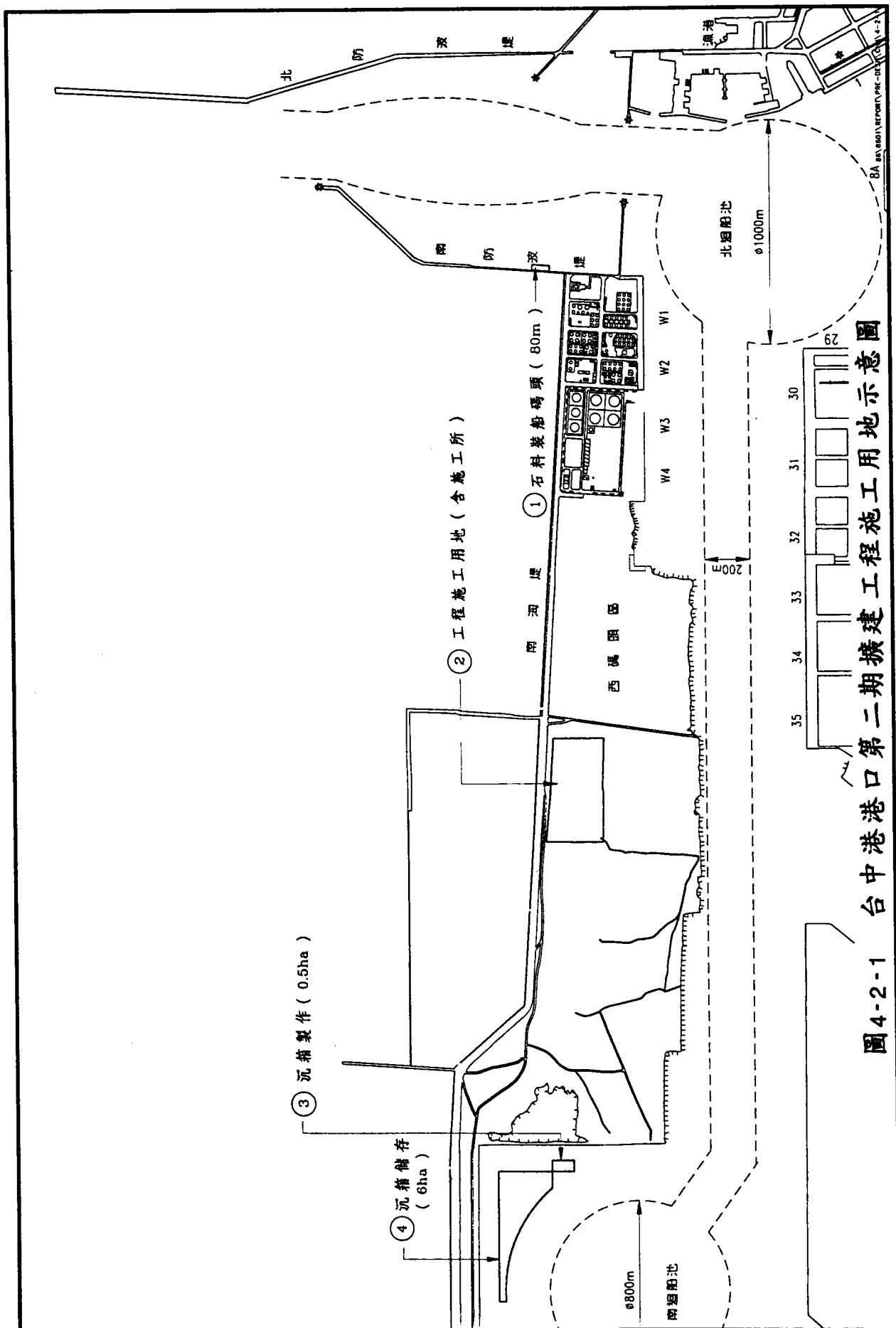
2. 施工場地準備

台中港於每年 10 月至翌年 3 月(以下概稱為冬季)間受東北季風影響，外海海象條件相當差，此段期間可施工之日數不多，未來北外堤延伸工程將會集中在 4 月～9 月(以下概稱為夏季)進行。由於可工作時間短，為求工程推展不致拖延過久，並在可控之進度下完成工作，便須儘可能利用冬季期間，將尚可在陸上完成之前置作業，諸如沉箱製作、消波塊預鑄、石料儲存等提早完成，俟夏季海面較為平靜時，再全力投入人力、機具搶工。因此本工程對施工場地之需求遠不同於陸上一般土木營建工程。

本計畫所需要設置之施工場地包括陸上及水上。陸上施工場地擬使用西 8、西 9 碼頭後線空地。水上施工場地則擬使用西碼頭區與南迴船池間水域。各場地位置詳圖 4-2-1，茲就各場地用途說明如下：

(1) 設於西 8、西 9 碼頭後線空地之施工場地

西 8、西 9 碼頭後線空地，除作為前述施工所設置地點外，並將作為一般機具、工材儲放、混凝土型塊澆製



及堆儲場地。本區用地規模約 6 公頃，足以支應施工場地需求。

本計畫原則上不在施工場地內設置混凝土預拌場，沉箱、混凝土型塊以及胸牆澆製所需混凝土擬以外購方式取得。惟如未來申請開發單位基於經濟考量，亦可在本施工場地設置混凝土預拌場。

(2) 設於南迴船池與西碼頭區間水域之沉箱製作儲存場地

基於南迴船池與西碼頭區間水域岸線在本計畫執行期間並未有開發計畫，且該水域空間及靜穩要求足以支應沉箱製作及儲存需求(受西碼頭區陸地遮蔽，吹風距離短，較不受冬季強烈風力影響)，因此擬將此水域及岸線規劃為沉箱製作及儲存場地。

沉箱製作擬採用在浮船台上澆製之工法，為利於浮船台繫泊，該岸線於動工後應配合水域整浚同時施作簡易繫纜設施。

沉箱儲放場地基本上應要求平整，方不致於沉箱儲存時破壞結構體。依本計畫研定之沉箱規模，沉箱高度為 22.5m，估計其製作、儲存時所需水深需求將為 CD.-13.0m~-16.0m，該水域現有水深地形約為 CD.±0m，動工後應即進行浚深工作。

(3) 石料裝船碼頭

為避免工程期間影響碼頭營運，原則上石料(含混凝土型塊)裝船碼頭擬設於南外堤堤根靠近南內堤處，位置示意如圖 4-2-1 所示。

本計畫會使用到裝船碼頭之工程主要為沉箱堤基礎石料拋放、護基方塊及截頭塊吊排以及南外堤、南內堤堤頭保護部份大型塊石及消波塊海上吊放，其餘均採陸上施工。估計本計畫須施設 80m 長石料裝船碼頭(或施工碼頭)，碼頭深度 CD.-5.0m。

3. 北外堤延伸工程

依據台中港歷年來氣海象實測資料，並參考台中港第一期工程、北防波堤擴建工程施工經驗，本項工程原則上採端進法施工，自現有北外堤堤頭向外海挺進。施工工法說明如下。

沉箱堤以沉箱結構為主，沉箱製作須預先在港內(南迴船池北側水域)進行，由於本港在東北季風期無法進行沉箱拖放，沉箱於製作完成後，即在港內(南迴船池北側水域)儲存，俟夏季時始進行拖放工作。沉箱製作流程詳圖 4-2-2。

沉箱進行拖航安放之前，堤址須先以陸拋或海拋方式在工址底床上堆置塊石基礎，俟基礎整平後才安放沉箱。沉箱堤之施工步驟詳圖 4-2-3。

沉箱堤基礎石料拋放，將採海上拋放之方式施工，石料在南海堤之裝船碼頭裝載至拋石船後，運載至堤址拋放位置直接拋放，隨後再由潛水人員至於進行拋石基礎之整坡整平。

本計畫沉箱合成堤原則以端進法進行。端進法施工時，係由已完成之結構體(拋石堤末端或已安放之沉箱)沿堤體中心線方向逐個安放沉箱，詳圖 4-2-4。

沉箱合成堤施工在沉箱拖放部份受氣海象影響較大，加上台中港海域一年中可施工之日數有限，將來施工時，如因遭遇惡烈天氣而致無法按進度推展時，除以前述之端進法進行沉箱安放外，亦可考慮以跳島法施工。

跳島法優點在於可增加工作面，加速工程進度。施工方式係由已安放妥之沉箱外數座沉箱距離處拖放沉箱，其間隔距離須準確測量預留，一般跳島以不超過 1~2 座沉箱為原則，而後其他沉箱再嵌入兩座已放好之沉箱中間，因此跳島沉箱安放後填砂前需再複測預留間隔，安放方式詳圖 4-2-5。其施工法可分為：

(1) 二座沉箱併放式

此方法係同時安放兩座沉箱，較外側之沉箱先行大

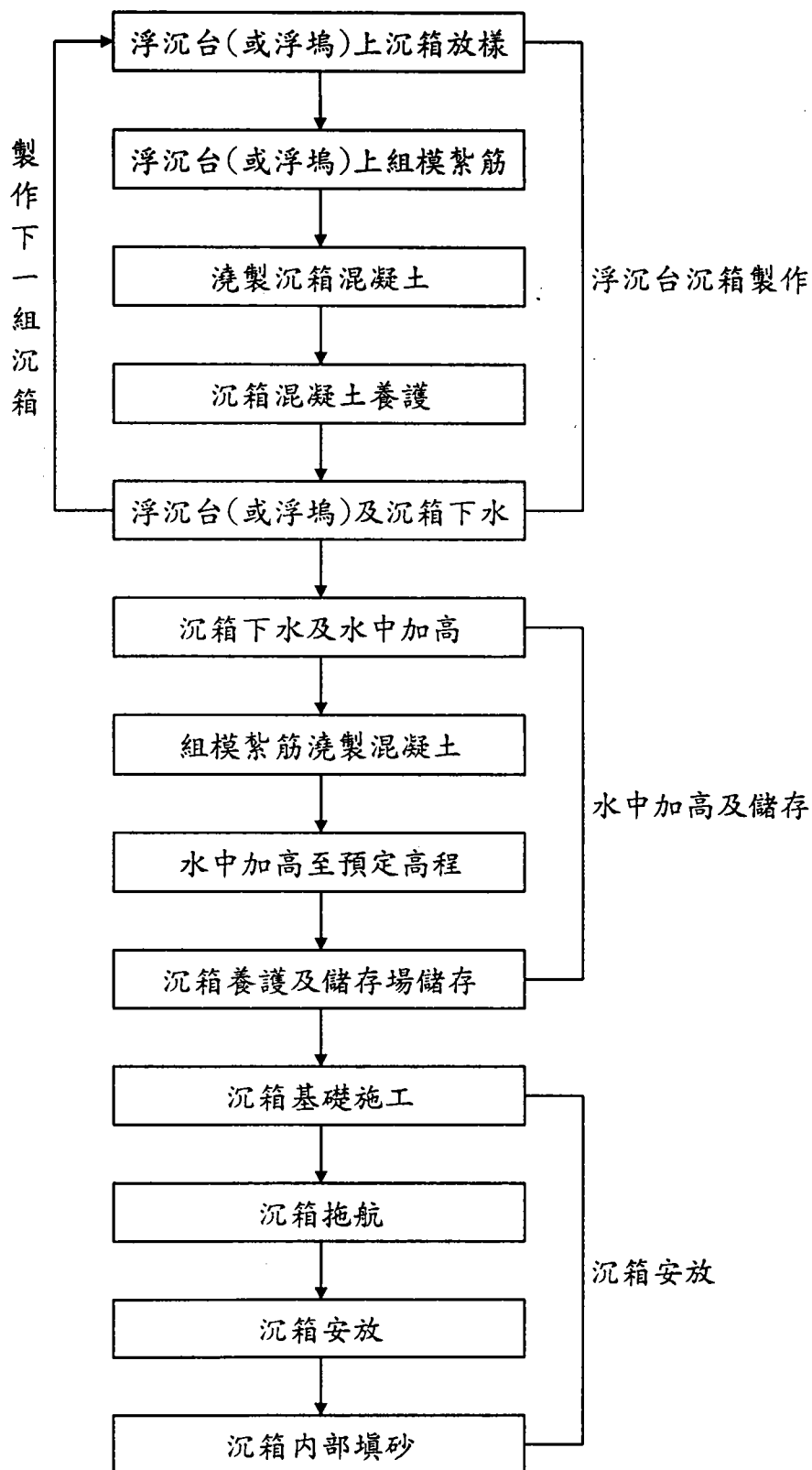


圖4-2-2 沉箱製作及拖放施工流程

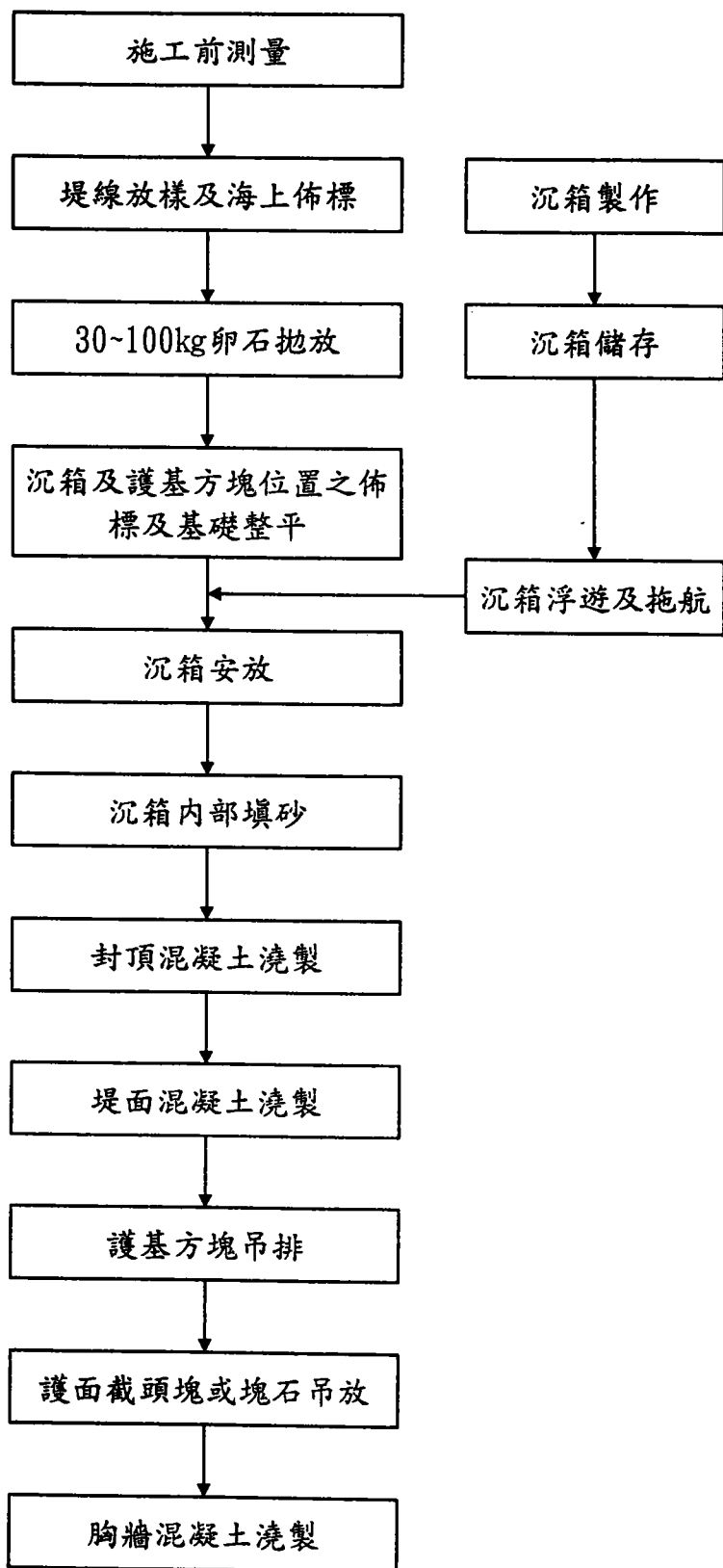


圖4-2-3 沉箱合成堤施工流程

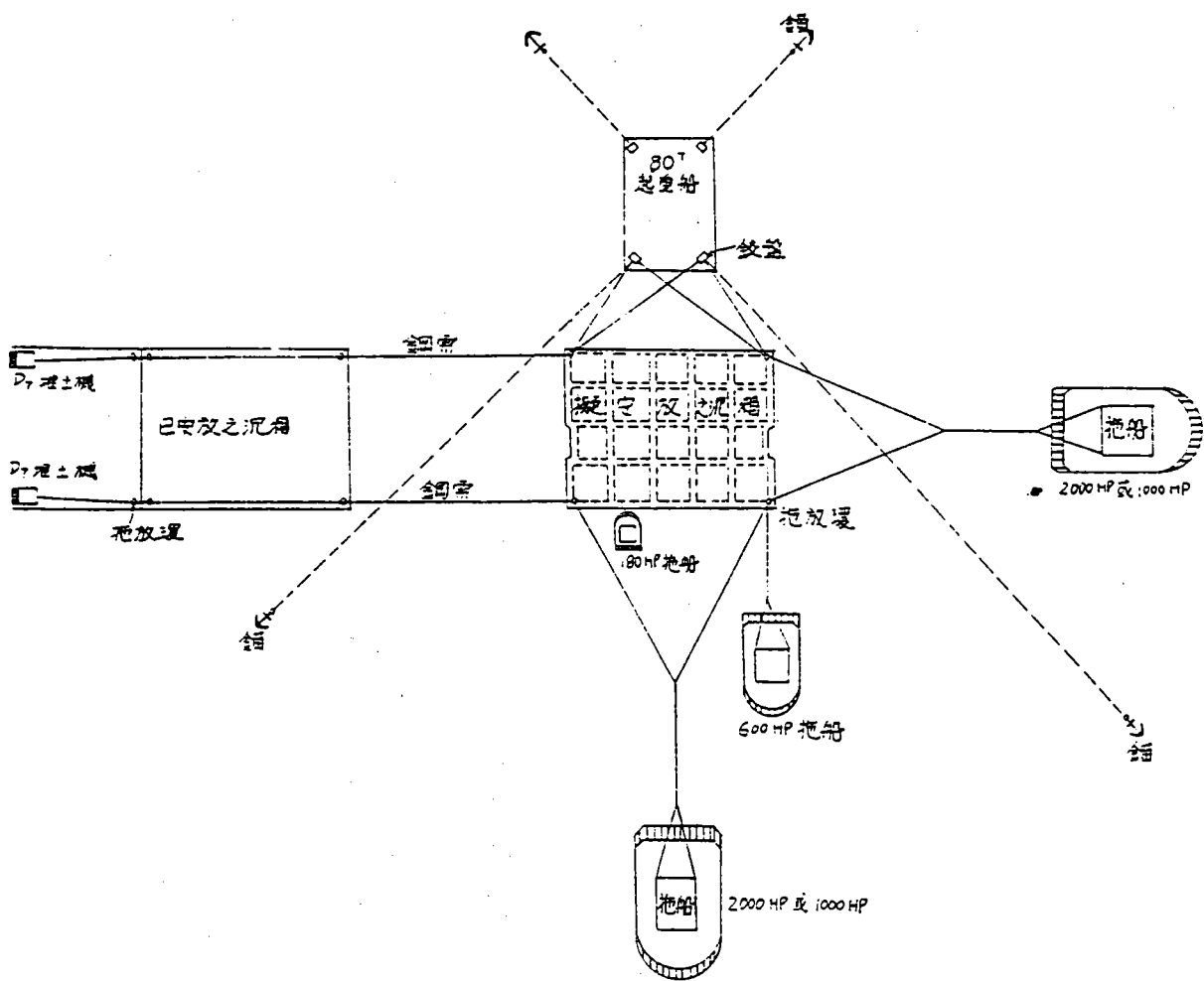


圖 4-2-5 跳島法安放沉箱示意圖

略安放，以便工作人員可於其上進行內側沉箱安放時之調整工作，等內側沉箱安放完妥後，外側沉箱再抽水使其浮起，重新調整安放。

由於沉箱安放後，必須立即進行沉箱回填、封頂混凝土澆注、以及護基方塊吊放作業，但此方法一次同時進行二個沉箱之作業，工作量較大，必須非常確定天候變化之影響，否則不宜採用。

(2) 座沉箱單放式

即在欲作跳島之沉箱之港側，先行定位吊重 80T 以上之水上起重船，做為沉箱安放時調整之依靠，以代替併放式之外側沉箱，安放時以 2,000HP 以上之拖船將沉箱拖至起重船前方，沉箱上調整索與船上絞盤連接，第二條鋼索則與已安放之沉箱上之滑輪連接，海側及沉箱正前方則以兩條以上之拖船拖拉，逐次調整沉箱位置並放水使之下沉。

調整過程中最重要者，為空檔沉箱距離需準確測量預留，避免將來沉箱無法嵌入，故跳島式沉箱安放後未填砂前，應以鋼尺再複測一次，若距離不足則該跳島沉箱應再浮起重放。等跳島沉箱安放妥當後預留沉箱基礎拋石應全面趕工，俟該座沉箱嵌入後堤防才屬安全。

跳島法施工在台中港建港時即曾採用，但此法雖具有沉箱間孔隙不易控制之缺點，惟北外堤後方為一開闊水域，可不考慮防漏設施之處置。

4. 南外堤拆除工程

南外堤拆除，施工流程初擬如下：

- (1) 拆除現有燈塔及臨時浮燈標安置。
- (2) 吊除護趾 P.C. 方塊：因堤址可能有淤沙掩蓋方塊，須先清除淤沙後，吊除裝車後送。
- (3) 鑿除堤面胸牆純混凝土。

- (4) 鑿除沉箱封頂純混凝土。
- (5) 灌水抽除沉箱內回填砂料，同時進行箱壁破損止漏作業。
- (6) 沉箱抽水起浮拖移。
- (7) 吊除基礎石料及抓除堤心卵石。
- (8) 堤頭燈塔及保護設施重建。

以上 1.~5.及 8.項工作均可在堤面上作業，6.及 7.兩項則於海上作業，至於各拆除作業項目所可採用之工法，已於第三章中討論，在此不再贅述。

5. 南內堤拆除工程

南內堤拆除堤段中有關沉箱合成堤之拆除方法與步驟與前小節所述大致雷同，至於拋石堤段之拆除，拆除長度僅 14m，堤址水深均在 -3.0m 以上，施工技術較為簡單，拆除步驟如下：

- (1) 吊除港外側 6 噸鼎型塊及港內側護坡塊石。
- (2) 利用水刀或混凝土破碎機碎裂鑿除堤面及胸牆無筋混凝土。
- (3) 抓除護坡塊石及堤心塊石。
- (4) 施作堤頭保護工。
- (5) 新建堤頭燈塔。

參、計畫工期

一、可工作天數概估

台中港地區在冬季期間東北季風相當強勁，海事工程在冬季時往往呈停擺狀態，此由台中港於第一期建港期間所統計之可工作天數(詳表4-3-1)即可看出。台中港地區一年中良好之施工期係集中在4~9月，採海上施工之工程必須在夏季期間方能進行，而陸上施工及在港內施工之工程則仍可在冬季進行。

由於台中港自建港以來，已取得長時間之氣海象觀測資料，可反應出工址海域長期之氣海象變化趨勢，提供本計畫掌握台中港之海上可施工期，另參考工址及鄰近海域既有之氣海象資料，據以推估將來建港各項工程在海上、陸上施工之可工作天數。茲將各項工程之作業條件限制與可工作天之條件、天數之估擬分述如后。

(一)各項作業條件限制

本工程雖全屬海事工程，但依施工項目、施工方式而言，仍可區分為陸上工程、海上工程及浚渫工程二種，其各項作業條件之限制均不同，茲分述如下：

1.陸上工程

影響陸上工程施工之自然條件主要為風、雨、霧三種，其中風又包括颱風及平常季風兩種，各項限制條件為：

- 風—陸上颱風警報發佈時，即停止工作；另考慮陸上工程進度攸關海上工程能否於天候良好時全力施作，陸上工程限制條件將訂在：常時風速達到每秒 10m 時，方停止陸上工程。
- 霧—能見度小於 1km。
- 雨—降雨量大於 10 公釐。

表 4-3-1 台中港第一期建港工程期間統計之可工作天

工程項目 \ 月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計	說 明
陸 上 施 工		12	12	15	22	26	25	26	20	24	16	12	10	220	晴天及風速<10m/sec
		10	7	14	20	24	21	21	13	16	11	12	10	179	
海 上 施 工	港 內 作 業	12	12	15	22	26	25	26	20	24	16	12	10	220	波浪條件與風速條件相符， V<10m/sec
		10	7	14	20	24	21	21	13	16	11	12	10	179	
	港 外 作 業	5	8	11	19	22	20	25	24	16	8	5	3	166	風速<10m/sec 波浪 $H_{1/3}$ <0.8m
		(4)	(6)	(11)	(17)	20	16	20	17	8	(6)	(5)	(3)	81	
	整平、整坡	2	4	10	14	19	20	23	22	14	8	4	1	141	風速<10m/sec 波浪 $H_{1/3}$ <0.8m
		(2)	(2)	(10)	(14)	17	16	18	15	11	(6)	(4)	(1)	77	
	沉箱拖放	0	4	4	9	12	10	16	14	10	3	1	0	83	風速<10m/sec 波浪 $H_{1/3}$ <0.5m
		0	(2)	(4)	(9)	12	10	11	11	6	(3)	(1)	(0)	50	

註：1.上欄係氣象條件可工作天，下欄係扣除假日、颱風等日數之可用工作天。
 2.15天以下工作天，大禮拜不考慮，颱風減半，5天以下工作天、大禮拜、颱風不考慮，習俗假日減半。
 3.括弧()中日數，實際無作業，不列入工作天。

2. 海上工程

影響海上工程最主要之因素為波浪條件，茲將本工程各項海事工程施工項目之波高限制詳列於后：

- 海中拋石—波高($H_{1/3}$)<1.0m
- 沉箱抽砂回填作業—波高($H_{1/3}$)<1.0m
- 水中整平整坡及襯墊鋪設—波高($H_{1/3}$)<0.8m
- 海上消波塊吊放—波高($H_{1/3}$)<1.0m
- 於堤面上採端進法吊放消波塊—波高($H_{1/3}$)<1.0m
- 於堤面上採端進法拋石—波高($H_{1/3}$)<1.0m
- 沉箱拖放—波高($H_{1/3}$)<0.5m

(二) 各項工程可工作天估擬

1. 陸上工程

陸上工程之可工作天估擬，依全年日數扣除必休之國定假日、例假日、強風、颱風、霧日及豪雨(降雨量大於 10 公釐)日數而定。依前述作業條件限制，統計台中港區豪雨與霧日數分別詳如表 4-3-2 所示。

因台中港區夏季生強風之機率較低(低於 4%)，故夏季六～八月強風日數之估計擬併入颱風日計算。依台中港北堤測站資料估算每年強風日數約為 108 天(不含六～八月颱風造成之強風日數)，如表 4-3-2 所示。

颱風方面，平均每年侵台颱風次數為 3.68 日，平均每次以 4.0 日計。

例假日以每月兩日休假為原則，至於國定假日方面，以各主要節慶日為必休假日為主，各國定假日及例假日之休假日數如下所示：

- 元旦＝必休 2 日
- 春節＝必休 4 日

表4-3-2 台中港區重要氣象因子一覽表

月 份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	合計
平 均 豪 雨 日 數	0.6	2.8	3.8	3.7	5.1	4.8	3.6	3.9	2.3	0.0	0.5	0.5	31.6
平 均 霧 日 數	0.6	1.7	2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.5	1	7.2
強 風 日 數	16.1	14.9	11.7	7.3	4.4	2.4	2.5	2.8	6.3	13.7	17.6	15.5	115.2

●清明、中秋、勞動節＝各休 1 日、共 3 日

●例假日＝全年 26 日

颱風、豪雨、假日可能同時發生，故估算時將所有影響因素(如豪雨、颱風、假日等)造成無法工作之日數，假定有 1/4 重複，據以估擬可工作天數。依上述之各項統計資料所擬定之陸上各項工程之可工作天數詳如表 4-3-3 所示，全年陸上工程可工作天概估約為 216 天，於港內施工之海上工程其全年可工作天同陸上工程。

2. 海上工程

依前述海上各項工程之施工作業條件限制，參考台中海域波浪觀測資料，評估各項海上施工作業之可作業天數如表 4-3-4 所示。

台中海域冬季東北季風期(10 月至翌年 3 月)，風強浪大，海上工程可連續施工天數極為有限，原則上冬季海上工程均不施作。

概估本港址夏季海上工程依不同工作項目可施工天數約在 81～148 天。由於外海可工作天數因海象條件限制可供作業天數實在有限，為爭取施工時間、配合工作性質需要及趕工起見，海上工程之作業天數估擬，不另扣除國定假日、例假日等，將來承商實際施工時，可利用不可工作天進行輪休。

二、施工能量分析

(一) 石料海拋作業

1. 開底船海拋

假設平均每船可運載石料 200m^3 ，每天作業 10 小時以 6 航次計(每一循環 1.5 小時)，則每船每工作天可拋放石料：

$$200\text{m}^3/\text{船} \cdot 6 \text{ 艘次}/\text{天} = 1200\text{m}^3/\text{船}/\text{天}$$

表 4-3-3 台中港陸上施工各月可工作天數概估

影 響 因 素	天 數	說 明	年 可 工 作 天 數
陸上颱風警報	16	4次×4天=16天	1. 假定所有影響天數 有1/4重覆 2. 全年可工作天數為 365天－199天×3/4 ＝216天
豪 雨	32		
霧 日	8		
強 風	108		
國定假日	9	詳文中敘述	
例 假 日	26	52周 / 2＝26天	
小 計	199		

表4-3-4 台中港海上施工各月可工作天數概估

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	夏季	冬季
海上拋石及抽砂回填作業	6	8	13	21	26	27	29	26	19	9	4	3	148	43
海底整平、整坡	4	6	10	17	22	25	27	24	16	7	3	1	131	31
水下鋪放濾布														
沉箱製作(港內)	比照陸上工程，全年可工作天約為216天													
海上沉箱拖放、型塊吊放	1	3	6	11	12	13	19	16	10	3	1	0	81	14
於堤面上採端進法吊放消波塊	6	8	13	21	26	27	29	26	19	9	4	3	148	43
於堤面上採端進法拋石	6	8	13	21	26	27	29	26	19	9	4	3	148	43

- 說明：1.海上拋石以及抽砂回填作業波浪限於 $H_{1/3} \leq 1.0m$
2.水中整坡整平及水下鋪放濾布波浪限於 $H_{1/3} \leq 0.8m$
3.海上消波塊吊放波浪限於 $H_{1/3} \leq 1.0m$
4.消波塊吊放(端進)波浪限於 $H_{1/3} \leq 1.0m$
5.沉箱拖放波浪限於 $H_{1/3} \leq 0.5m$
6.陸上拋石(端進)波浪限於 $H_{1/3} \leq 1.0m$

2. 抓斗海拋

海拋石料作業如採抓斗進行，估計作業量每小時為 150m^3 ，如假設抓斗作業效率為 0.8，抓斗船容量平均為 200m^3 ，每天作業 10 小時以 3 航次計(每一循環約 3.2 小時)，則每船每工作天可拋放石料：

$$200\text{m}^3/\text{船} \cdot 3 \text{ 艘次}/\text{天} = 600\text{m}^3/\text{天}$$

如採較大型駁船裝載石料，並配合抓斗海拋，則可大幅提高作業效率，如仍假設抓斗作業量為 $150\text{m}^3/\text{時}$ ，每天作業 10 小時，作業效率 0.8，則每組船機每工作天可拋放石料：

$$150\text{m}^3/\text{時} \cdot 10 \text{ 時}/\text{天} \cdot 0.8 = 1200\text{m}^3/\text{天}$$

(二) 陸上吊排消波塊

以單一工作面估算，假設吊排一消波塊之循環時間為 12 分，每天作業 10 小時，作業效率 0.8，則每天可吊排消波塊：

$$(10 \text{ 時}/\text{天} \cdot 60 \text{ 分}/\text{時}) / (12 \text{ 分}/\text{個}) \cdot 0.8 = 40 \text{ 個}/\text{天}$$

(三) 海上吊排護基方塊(或消波塊)

以單一工作面估算，假設海上吊排一個護基方塊或消波塊之循環時間為 20 分，每天作業 10 小時，作業效率 0.8，則每天海上可吊排護基方塊或消波塊：

$$(10 \text{ 時}/\text{天} \cdot 60 \text{ 分}/\text{時}) / (20 \text{ 分}/\text{個}) \cdot 0.8 = 24 \text{ 個}/\text{天}$$

(四) 沉箱基礎整平

依台中港第一期工程施工經驗，平均每一潛水俠每小時約可完成 4m^2 整平作業。但本工程堤段堤址水深介於 -20m~-25m 間，在此水深下平均每一潛水夫每小時約可完成 2.5m^2 整平作業，以每組潛水俠二人，每天有效作業時數為 4 小時，則每組潛水俠每

天可完成 10m^2 整平作業。

(五) 沉箱製作

採浮沉台及活動鋼模製作沉箱，依近年之施工經驗，每座沉箱於浮沉台上製作至下水加高完成，約需 25~30 工作天。

(六) 每年沉箱可施工量估算

台中海域東北季風期風強浪大，不適合沉箱拖航安放工程之進行。故除沉箱製作可全年進行外，沉箱基礎卵石拋放、整平、沉箱拖航安放、沉箱回填封頂…等，原則上均於夏季(每年四~九月)施作。

依表 4-3-4 知，夏季沉箱施工可工作天數如下：

■ 基礎海上拋石	148 天
■ 基礎整平	131 天
■ 沉箱拖放	81 天
■ 沉箱回填	148 天
■ 護基方塊吊放	81 天

就施工上瓶頸而言，主要為沉箱拖放，如以每 2~3 天拖放一座沉箱，就台中海域夏季每年 81 工作天而言，約可完成 30 座沉箱之拖放，惟因實際作業時，如良好天候無法連續，將仍無法進行拖放作業，此部份因素在此尚未考慮，前述拖放量僅屬理想狀況。依台中港建港以來之堤防施工經驗，每年可完成沉箱拖放之平均值約為 12 座。依此估算每座沉箱基礎之施工日數如下：

■ 基礎拋石	$148 \text{ 天} / 12 \text{ 座} = 12.3 \text{ 天}$
■ 基礎整平	$148 \text{ 天} / 12 \text{ 座} = 12.3 \text{ 天}$

依不同水深，每座沉箱基礎拋石量約為 $7500 \sim 10500\text{m}^3$ ，亦即每工作天須施作約 $610 \sim 860\text{m}^3$ ，以此工作量而言，一組底開海

拋船配合一組抓斗船已可滿足需求。

就基礎整平而言，依不同水深，每座沉箱基礎整平量約為 $1720 \sim 1880\text{m}^2$ ，亦即每工作天須整平約 $160 \sim 175\text{m}^3$ ，如以傳統潛水俠進行整平作業，估計約須配置 17 組潛水俠方可滿足需求。

就沉箱製作而言，係於港區內以浮沉台或浮塢製作，以每座沉箱製作需 25~30 工作天，及台中港全年可工作天 216 天而言，如以一年須需拖放 12 座沉箱估算，並假設沉箱堤開始拖放沉箱前一年即進行沉箱製作儲存工作，則估計僅須動員一~二組沉箱製作設備，即可滿足前述每年拖放 12 座沉箱之需求。

(七) 護坡塊石抓除

本作業如採抓斗進行，估計作業量每小時為 70m^3 ，如配合大型駁船裝運，假設作業效率為 0.8，每天作業 10 小時，則每船每工作天可抓除護坡塊石料：

$$70\text{m}^3/\text{時} \cdot 10 \text{ 時/天} \cdot 0.8 = 560\text{m}^3/\text{天}$$

(八) 堤心卵石抓除

本作業如採抓斗進行，估計作業量每小時為 120m^3 ，如配合大型駁船裝運，假設作業效率為 0.8，每天作業 10 小時，則每船每工作天可抓除護坡塊石料：

$$120\text{m}^3/\text{時} \cdot 10 \text{ 時/天} \cdot 0.8 = 960\text{m}^3/\text{天}$$

三、施工量及施工機具分析

(一)北外堤延伸工程

本堤段計需完成拖放沉箱數量為 24 座。依前述分析，台中海域理想施工狀況為每年可施作 30 座沉箱，但考量實際施工時，海上天候瞬息萬變，且沉箱拖放必須有連續二～三天之好天氣方能進行，能進行拖放之沉箱數量將低於前述理想值，依台中港歷次堤防興建經驗，其平均值每年雖可完成之沉箱堤為 12 座，本堤段約可於三年內完成。本防波堤工程所需要之主要動員機具如下：

- 沉箱製作：浮沉台或浮塢一～二組(每組每月可同時製造完成 2 座沉箱，預計於沉箱堤施工前一年開始進行沉箱製作儲存)
- 沉箱拖航安放：拖船 2 艘、堆土機 2 部、抽沙船 1 部(回填用)
- 基礎卵石拋放及整平：底開拋石船 1 組、抓斗船 1 組、潛水俠 17 組(視施工時海象狀況及工程緊迫性而定)
- 護基方塊及截頭塊吊排：平台船 1 組、起重船 1 組

(二)南外堤拆除工程

計畫拆除沉箱合成堤四座，總長度計 93m，拆除後並須重建堤頭保護設施，依前分析本工程需時一年始可完成，其主要動員機具如下：

- 胸牆、堤面純混凝土鑿除：混凝土破碎機、挖溝機各 1 部、傾卸車 2 部
- 沉箱拖移：拖船 2 艘
- 護面塊石及堤心卵石抓除：抓斗船、駁船各 1 艘
- 海拋石料：裝載機、底開拋石船各 1 艘
- 消波塊陸吊：起重機 1 部、平台車或傾卸車 2 部
- 消波塊海吊：平台船、起重船各 1 組

- 護基方塊陸吊：起重機、平台車各 1 部

(三) 南內堤拆除工程

主要工程項目為拆除 36m 長之沉箱合成堤、14m 長之拋石堤及重建方塊式直立堤以保護後側斜坡拋石堤，本工程可於一年半內完成，主要動員機具如下：

- 胸牆、堤面純混凝土鑿除：混凝土破碎機、挖溝機各 1 部、傾卸車 2 部
- 沉箱拖移：拖船 2 艘
- 護面塊石及堤心卵石抓除：抓斗船、駁船各 1 艘
- 海拋石料：裝載機、底開拋石船各 1 艘
- 堤體方塊陸吊：起重機、平台車各 1 部
- 堤體方塊海吊：起重船、平台車各 1 組

四、工程預定進度

依前述研定之施工能量，預計防波堤興建及拆除工程費時約 3 年方能完成，其他配合工程，如水域靜穩改善工程、船舶進出港助航系統、即時海氣象資料系統等可在此一期間內同步進行。

如將細部設計、發包作業所需時間計入，將各項工程作業分年進度估列於表 4-3-5。計算執行進度假設中港局於民國 88 年 9 月以前可完成細部設計及發包作業，則本計畫工程預定在民國 88 年 10 月正式開工，估計在民國 91 年 12 月以前可完成擴建工程。

表4-3-5 台中港港口第二期擴建工程計畫進度表

工程項目	數量	權重	88下半年及89年度			90年度			91年度	
			88.7~12	89.1~6	89.7~12	90.1~6	90.7~12	91.1~6	91.7~12	
一、設計及發包作業	1式									
二、北防波堤延伸工程	480M									
1.石料儲存及海拋	1式	15%	5%	25%	25%	25%	20%			
2.沉箱製作及貯存	1式	23%	10%	35%	35%	20%				
3.沉箱拖放	1式	26%		25%	25%	25%	25%			
4.胸牆混凝土澆製	1式	10%			20%	20%	20%	20%	20%	
三、南外堤拆除工程	93M	6%		25%	25%	25%	25%			
四、南內堤拆除工程	50M	3%		25%	25%	25%	25%			
五、水域靜穩改善	1式	8%					5%	10%	85%	
六、其他配合工程	1式	9%		17%	17%	17%	17%	17%	15%	
累計進度			3%	25%	49%	70%	86%	90%	100%	

肆、財務計畫

一、各工程項目經費預估

本計畫所估算之工程費用係以民國87年7月物價為估價基準，另考量本計畫工期自實施至完工，時間長達3.5年，遭遇物價波動之機率相當高，為免計畫預算於執行時面臨不足窘境，物價上漲可能增加之費用有必要列入，故於研估算工程費時，已依前節研定之工程進度，將施工期間物價上漲所須準備之工程費用估算在內(物價上漲率採3.5%)。本節所估列之各項工程費用計含廠商管理、勞安、保險、利潤、營業稅，以及空氣污染防治費與物價上漲準備費用。全部工程費合計需新台幣15億1仟萬元整，詳表4-4-1所示，茲分別說明如下：

(一)北防波堤延工程

北防波堤計延伸 480m，新堤頭處並須施作保護工，合計延建工程所需經費為約 11.04 億元。延伸工程每公尺平均單價如表 4-4-2 所示。

(二)南外堤拆除工程

南外堤計拆除 93m 沉箱合成堤段，拆除後新堤頭部份並須施作保護工，合計拆除工程（含新堤頭保護設施重建）所需經費約為 7.72 仟萬元。本項工程每公尺平均單價詳表 4-4-3 所示。

(三)南內堤拆除工程

南內堤拆除工程包括 36m 長沉箱堤段、14m 長拋石堤段、重建及堤頭保護等設施工程，所需工程費約 5.07 仟萬元。拆除段每公尺平均單價詳表 4-4-4、表 4-4-5 所示，重建堤頭設施工程費用另詳表 4-4-6。

表4-4-1 一港口第二期擴建工程費用估列

單位：新台幣仟元

工	程	項	目	數量	工程費	備註
一	北	防	波堤延伸工程	480公尺	1,104,000	沉箱堤
二	南	外	堤拆除工程	93公尺	77,190	沉箱堤
三	南	內	堤拆除工程	50公尺	50,700	含36公尺沉箱堤14公尺拋石堤及堤頭重建
四	水	域	靜穩改善工程	一式	100,000	
五	其	他	配合工程	一式	178,110	
合 計					1,510,000	

註：1. 其他配合工程含導(助)航系統配合設施、沉箱製作貯存場地闢建、空氣污染防制費及其他雜項工程
 2. 表列工程費已含物價調整因素(年物價上漲率3.5%)

表4-4-2 北防波堤延建每公尺工程費概估

單位：新台幣元

項次	項目	單位	數量	單價	複價	備註
壹、	工程費					
1.	胸牆混凝土及澆注	M ³	50.8	2,200	111,760	
2.	模板	M ²	13.0	550	7,150	
3.	5~30Kg卵塊石採拋	M ³	402.2	660	265,452	
4.	100~300Kg卵塊石採拋	M ³	51.9	770	39,963	
5.	0.5~1T塊石採拋	M ³	111.3	1,430	159,159	
6.	20T截頭塊製作及吊放	塊	6.9	37,400	258,060	
7.	1.5Mx3Mx3.5M護基方塊製作及吊放	塊	1.5	58,410	87,615	
8.	濾布及鋪設	M ²	95.3	264	25,159	
9.	水下細整平	M ²	92.1	440	40,524	
9.	伸縮縫	M ²	3.6	132	475	
10.	沉箱澆製及拖放(20Mx22Mx22.5M)	座	0.05	17,921,750	896,088	
11.	零星工料及其他	式	1	64,379	64,379	
	小計				1,955,784	
貳、	廠商利潤(含測量、管理					
	、勞安、保險等)	12%			234,694	
	合計				2,190,478	
參、	加值營業稅	5%			109,523	
肆、	總計				2,300,000	

註：表列工程費已考慮施工期間物價調整因素

表4-4-3 南外堤拆除每公尺工程費概估

單位：新台幣元

項次	項目	單位	數量	單價	複價	備註
壹、	工程費					
1.	水中A型方塊移除	塊	0.33	29,700	9,801	
2.	水中D型方塊移除	塊	0.97	44,550	43,214	
3.	堤面胸牆混凝土拆除	M ³	34.5	1,177	40,607	
4.	沈箱封頂混凝土拆除	M ³	4.9	1,177	5,767	
5.	沈箱填充料灌水抽沙	M ³	194.9	132	25,727	
6.	沈箱拆除	座	0.043	320,100	13,764	
7.	"A"塊石移除	M ³	21.2	990	20,988	
8.	"B"塊石移除	M ³	61.5	990	60,885	
9.	"C"塊石移除	M ³	95.5	990	94,545	
10.	"E"塊石移除	M ³	19.1	990	18,909	
11.	"a"卵石移除	M ³	385	715	275,275	
12.	堤頭保護	式	1	80,000	80,000	
13.	零星工料及其他	式	1	16,302	16,302	
	小計				705,783	
貳、	廠商利潤(含測量、管理					
	、勞安、保險等)	12%			84,693	
	合計				790,476	
參、	加值營業稅	5%			39,523	
肆、	總計				830,000	

註：表列工程費已考慮施工期間物價調整因素

表4-4-4 南內堤沉箱段拆除每公尺工程費概估

單位：新台幣元

項次	項目	單位	數量	單價	複價	備註
壹、	工程費					
1.	水中方塊吊移	塊	0.8	21,000	16,800	
2.	堤面混凝土拆除	M ³	20.6	1,124	23,144	
3.	沈箱封頂混凝土拆除	M ³	4.9	1,124	5,505	
4.	沈箱填充料灌水抽沙	M ³	103.0	126	12,978	
5.	沈箱拆除	座	0.06	1,638,000	98,280	
6.	"A"塊石移除	M ³	16.8	945	15,876	
7.	"B"塊石移除	M ³	62.7	945	59,252	
8.	"E"塊石移除	M ³	71.9	945	67,946	
9.	"a"卵石移除	M ³	127.4	683	86,951	
10.	"e"卵石移除	M ³	2.9	683	1,979	
11.	零星工料及其他	式	1	78,978	78,978	
	小計				467,688	
貳、	廠商利潤(含測量、管理					
	、勞安、保險等)	12%			56,122	
	合計				523,810	
參、	加值營業稅	5%			26,190	
肆、	總計				550,000	

註：表列工程費已考慮施工期間物價調整因素

表4-4-5 南內堤拋石段拆除每公尺工程費概估

單位：新台幣元

項次	項目	單位	數量	單價	複價	備註
壹、	工程費					
1.	堤面混凝土拆除	M ³	9.5	1,124	10,673	
2.	"A"塊石移除	M ³	28.0	945	26,460	
3.	"C"塊石移除	M ³	78.8	945	74,466	
4.	6T鼎型塊移除	塊	12.1	1,575	19,058	
5.	"a"卵石移除	M ³	197.0	683	134,453	
6.	零星工料及其他	式	1	32,511	32,511	
	小計				297,620	
貳、	廠商利潤(含測量、管理					
	、勞安、保險等)	12%			35,714	
	合計				333,334	
參、	加值營業稅	5%			16,666	
肆、	總計				350,000	

註：表列工程費已考慮施工期間物價調整因素

表4-4-6 南內堤堤頭重建工程費概估

單位：新台幣元

項次	項目	單位	數量	單價	複價	備註
壹、	工程費					
1.	混凝土及澆製	M ³	1,530	2,217	3,392,677	
2.	模板	M ³	430	554	238,374	
3.	浚挖	M ³	100,000	133	13,304,615	
4.	"a"卵石吊運拋放	M ³	4,260	721	3,070,040	
5.	"A"塊石吊運拋放	M ³	658	998	656,583	
6.	"C"塊石吊運拋放	M ³	875	998	873,115	
7.	6T鼎型塊吊運拋放	塊	226	1,663	375,855	
8.	5Mx2Mx1M方塊製作及吊放	塊	4	38,805	155,221	
9.	零星工料及其他	式	1	42,366	42,366	
	小計				22,108,845	
貳、	廠商利潤(含測量、管理					
	、勞安、保險等)	12%			2,653,061	
	合計				24,761,906	
參、	加值營業稅	5%			1,238,094	
肆、	總計				26,000,000	

註：表列工程費已考慮施工期間物價調整因素

(四) 水域靜穩改善工程

水域靜穩改善工程主要包括漁港北側消波潛堤、北防波堤內側加拋消波塊等工程，所需工程費約為 1 億元。

(五) 其他配合工程

包括沉箱製作貯存場地闢建、船舶進出港助航軟體、即時海氣象資料系統、燈塔拆除與重建工程、港外航道進港導(疊)標、主航道夜間照明設施、施工期間警戒標誌(燈)、道路維護、環境維護等其他雜項工程以及空氣污染防制費。估計工程費需 1.78 億元。

二、分年工程預算

依前述工程費估算，本計畫總工程費估約 15 億 1 仟萬元，所列費用已含施工期間物價調整時所須籌措之準備費用。另於民國 87 年 7 月開徵之空氣污染防制費，本計畫施作之堤防新建、拆除工程(含燈杆拆除重建)，以及水域靜穩改善工程項目均屬於開徵範圍，將來施工時依法須繳納工程合約金額之千分之三，其繳付時間係在開工及工程完工驗收時，每次各繳一半費用。

茲依前節研擬之施工計畫及工程進度，估列 89 至 91 會計年度各分年預算如表 4-4-7，本計畫所需工程經費約為新台幣 15 億 1 仟萬元。

三、資金籌措

本計畫為防波堤興建與改建工程，屬港埠無生產性之基本建設，資金擬全部由交通建設基金投資補助。

表4-4-7 台中港港口第二期擴建工程費用概算表

單位：新台幣仟元

工 程 項 目	單 位	單 價	88下半年及89年度		90年度		91年度		小計	
			數量	複價	數量	複價	數量	複價	數量	複價
一 北防波堤延伸工程	公尺	2,300	240	552,000	180	414,000	60	138,000	480	1,104,000
二 南外堤拆除工程	公尺	830	48	39,840	45	37,350			93	77,190
三 南內堤拆除工程										
1. 沉箱堤段拆除	公尺	550	18	9,900	18	9,900			36	19,800
2. 拋石堤段拆除	公尺	350	14	4,900					14	4,900
3. 堤頭重建工程	式	1				26,000				26,000
四 水域靜穩改善工程	式	1				2,000		98,000		100,000
五 其他配合工程										
1. 導(助)航系統配合設施	式	1		36,000		7,000		67,000		110,000
2. 沉箱製作貯存場地闢建	式	1		50,000						50,000
3. 其他雜項工程	式	1		4,895		3,750		4,535		13,180
4. 空氣污染防治費	式	1		2,465				2,465		4,930
合計			700,000		500,000		310,000		1,510,000	

註：1. 導(助)航系統配合設施包括港外航道進港導(疊)標、船舶進出港助航軟體、即時海氣象資料系統、燈塔拆除與重建工程、主航道夜間照明工程

2. 其他雜項工程包括工地安全衛生、工區清潔維護、廢棄物清理、車輛清洗、道路維護、警戒標誌(燈)、及其他零星工程所需費用

3. 本計畫經費已考慮施工期間物價調整因素

伍、工程效益

本計畫防波堤延長工程屬本港長期發展不可或缺之基礎建設，計畫完成後本港將可提供大型船舶安全進泊環境，擠身現代化國際港埠行列，吸引航商業者進駐本港投資近洋及遠洋貨櫃基地及加工出口區，除可促進本港貨櫃運量持續成長及節省進泊本港之散貨運輸成本外，將帶動中部地區關聯產(商)業繁榮發展，增加大量就業機會，並減輕中櫃南北運之陸運交通負荷，降低整體社會成本。本計畫預期效益基本上分為可量化及不可量化效益，茲分列如下：

一、可量化效益

(一) 促進台中港貨櫃運量持續成長

台中港貨櫃運量來源以近洋航線之進出口櫃為主，如僅以現有一港口規模，以及第一貨櫃中心與第二貨櫃中心之#9～#11、#31～#35等8座貨櫃碼頭，參照「台中港整體規劃及未來發展計畫」預測之貨櫃運量及貨櫃碼頭數量，現有設施所能帶動之運量最多僅可達到149萬TEU之規模(詳表4-5-1)，如營運條件未能再改善，則未來運量甚難有突破性之成長。

為達成「台中港整體規劃及未來發展計畫」中所預測在民國110年貨櫃運量261萬TEU之運量目標，台中港必須具備提供4,000TEU以上大型貨櫃船進泊之條件，方能吸引航商開闢遠洋定期航班、投資第三貨櫃中心(#36～#42號碼頭)。

本計畫執行後，除遭遇強烈季風、巨流外4,000TEU級貨櫃船進泊本港已無困難，預計至民國110年時可達到261萬TEU之貨櫃運量目標，同時亦能帶來航商投資貨櫃轉運中心之實質收益。

表4-5-1 台中港整體規劃及未來發展計畫預測之貨櫃運量及碼頭需求

年	全港貨櫃運量	碼頭需求	假設本計畫誘導之運量	碼頭及後線土地需求
90	121萬TEU	8 座	-	第二貨櫃基地(已興建)
91	128萬TEU	8 座	-	第二貨櫃基地(已興建)
92	135萬TEU	8 座	-	第二貨櫃基地(已興建)
93	142萬TEU	8 座	-	第二貨櫃基地(已興建)
94	149萬TEU	8 座	7萬TEU	第二貨櫃基地(已興建)
95	156萬TEU	9 座	14萬TEU	21 公頃
96	163萬TEU	9 座	21萬TEU	21 公頃
97	170萬TEU	9 座	28萬TEU	21 公頃
98	178萬TEU	9 座	36萬TEU	21 公頃
99	185萬TEU	9 座	43萬TEU	21 公頃
100	192萬TEU	10 座	50萬TEU	42 公頃
101	199萬TEU	10 座	57萬TEU	42 公頃
102	206萬TEU	10 座	64萬TEU	42 公頃
103	212萬TEU	10 座	70萬TEU	42 公頃
104	219萬TEU	10 座	77萬TEU	42 公頃
105	226萬TEU	11 座	84萬TEU	63 公頃
106	233萬TEU	11 座	91萬TEU	63 公頃
107	240萬TEU	11 座	98萬TEU	63 公頃
108	247萬TEU	11 座	105萬TEU	63 公頃
109	254萬TEU	11 座	112萬TEU	63 公頃
110	261萬TEU	12 座	119萬TEU	84 公頃
110年以後	>261萬TEU	15 座	>119萬TEU	84~147公頃

註：1. 進行效益分析時，超過民國110年以後之運量按民國105~110年間之成長比例累計

2. 表中「假設本計畫誘導之運量」係假設民國94年以後增加之運量均為因本計畫實施後所誘導之成果
3. 碼頭及後線土地需求按各年須增建碼頭數對照第三貨櫃基地面積(147公頃)計算得

(二) 節省大宗散貨海運成本

台電公司在擴建台中火力電廠第九、十後機組後，未來每年將自台中港進口燃煤 1,200 萬公噸，桂裕鋼鐵公司每年計畫進口鐵礦砂及其它燃物料約 800 萬公噸。受限於本港港口及港池航道規模，兩家公司目前僅能使用 6 萬 DWT 級散貨輪運輸。

如最大進港船型能提高至 12.5 萬噸，經分析台電公司及桂裕鋼鐵公司之 2,000 萬噸大宗散貨將有 75% 之運量會改採海岬型散貨輪運輸。依台電公司之研究，由於出口港不同、運距不同，使用 12.5 萬噸海岬型散貨輪及巴拿馬極限型煤輪每公噸海運費用之節省差距頗大，約介於每噸 1.2~9.2 美元之間。考慮進口貨源之分散、船隊噸級分佈，初步評估如最大進港船型能提高至 12.5 萬噸，則每噸之海運費用較採巴拿馬極限輪平均約節省美金 3.4 元，以每年海岬型散貨輪運輸 1,500 萬噸之運量估計，每年將可節省海運成本新台幣 15 億元以上。

(三) 延緩新闢港口需求

二港口計畫之實施除需投資興建外廓防波堤及浚挖航道水域以外，另須先配合完成過港隧道及填方區海堤等設施，以維持西碼頭區聯外交通與收容航道浚挖所產生土方。所需工程費高達新台幣 300 億元以上，施工期程則至少需時十年以上。

在一港口船舶交通量未達到飽合，而財政困難之狀況下，政府實難為配合提高本港計畫進港船型，而進行二港口闢建工程。本計畫所需投資經費有限，單以延緩二港口興建時程一年，所節省投資利息即高達新台幣 22 億元以上。故本計畫如奉核定實施後，將可解決本港目前所遭遇迫切需求，延後二港口需要闢建時程，有效減輕政府財政負擔。

二、不可量化效益

- 配合世界海運船舶大型化趨勢，提供大型船舶安全進泊環境，使本港擠身現代化國際港埠行列，吸引航商及業者至本港投資各項港埠設施，以維持營運成長。
- 改善操航條件，確保船隻進出港之安全，並放寬進出港之限制條件，大幅縮短船舶無法進出港之時間，降低船舶等待成本，同時可提昇領港登輪安全性，縮減領港無法帶船之時間。
- 加強航運業者對本港之信心，建立良好投資形象，配合本港原有聯外交通便捷及腹地廣闊優點，吸引業者投資本港加工出口區，促進本港未來之發展。
- 目前每年在本港結關，運送基高兩港進出口貨櫃量約50萬TEU，對國內陸運交通影響甚大。本計畫實施後，本港將可發展遠洋貨櫃基地，現有中櫃南北運現象將可減少，降低高速公路不合理車流，減輕內陸交通運輸負荷，除可節省貨櫃內陸運輸成本，亦可間接降低整體社會之運輸成本。
- 本計畫實施後，配合本局前述擬實施之經營管理輔助措施，預期可充份發揮一港口效能，使本港港埠營運成長率仍得以維持，達到未來發展計畫中所預期之營運目標。
- 加速本港開發，航商業者將樂於投資本港，隨著遠洋貨櫃基地、加工出口區之發展，以及其他產業之進駐，將帶動中部地區關聯產(商)業之發展，同時產生大量就業機會，促進國家整體經濟成長。

三、效益分析

本計畫執行後，將使本港之基礎建設更為完善，可量化之投資效益包括促進台中港貨櫃運量持續成長、節省大宗散貨海運成本等二項。其中貨櫃運量得以持續成長之效益將顯現在台中港之營運收益上，而後者則係降低進駐台中港之業者營運成本，有利台中港港建立良好投資形象，故本計畫僅就貨櫃營運部份進行效益量化分析。

(一)營運收益

由前述說明可知貨櫃運量之成長及第三貨櫃中心之開發將帶給台中港可觀之收益，其中與貨櫃營運及碼頭後線儲轉業務有關之收入，當可歸因於本計畫實施後所產生之效益。將來台中港貨櫃碼頭將以開放民間投資為原則，主要收入有以下數項：

1.碼頭岸肩裝卸業務

此業務收入包括土地租金、土地改良投資報酬費、專用碼頭租金、機械使用管理費、裝卸管理費等。

2.碼頭後線儲轉業務

此業務收入主要包括土地租金、土地改良投資報酬費、管理費等。

上述各項收入均比照台中港目前出租#31~#33 號碼頭向業者收取之費率計算。各項費率如下：

- 碼頭岸肩及後線儲轉土地租金為每平方公尺 80 元
- 碼頭岸肩及後線儲轉土地改良投資報酬費為每平方公尺 50.7 元
- 碼頭岸肩裝卸、機具使用管理費為每 TEU 收 278.9 元(現行裝卸管理費費率 20 呎櫃收 208.6 元，40 呎櫃收 328.8 元，機具使用管理費每櫃收 149.6 元，本計畫假設 20 呎櫃及 40 呎櫃各佔運量一半)
- 碼頭後線儲轉管理費為每 TEU 收 93.3 元
- 各碼頭在免租使用期間 (以 10 年計) 不計碼頭租金，免租使用期以後按下列公式計算：
※ 原始造價 × 營造工程物價指數漲幅 × (1+10%) ÷ 10
(每座碼頭造價以 6 億元概算，營造工程物價指數漲幅每年以 3.5% 計)
- 各項費率於租用期間每年以物價上漲率 3.5% 調整
- 貨櫃運量、碼頭興建數量及後線儲轉土地面積按「台中港

整體規劃及未來發展計畫」預測資料計算

- 依中港局最近三年度(84、85、86)之事業決算分析，港埠營業利益率平均約為 45%。故本計畫以前述各項貨櫃營運收入之 45%作為實質淨收益。

(二) 工程成本提列

成本計算時除本計畫投資成本外，因考量台中港能供大型船進泊亦須有港務局另案呈提之「台中港航道浚深拓寬工程」之配合方能達成，故將航道浚深拓寬工程投資成本列入計算。各項成本提列如下：

- 本計畫投資成本為 15 億 1 仟萬元，全數依施工進度逐年提列。
- 「台中港航道浚深拓寬工程」投資成本為 27 億元。該計畫將航道從-14m 浚深至-16m 之工程費用可視為配合大型船進泊之投資成本，估計約佔該計畫投資成本之 40%。
- 完工後第一年之維護成本係以前述投資總額之千分之 5 計算，並於第二年起按物價上漲率(3.5%)逐年調整。

(三) 投資效益

依上述條件估算結果，在本計畫實施以後之 40 年營運期間內，可能為台中港帶來之可量化效益淨現值約為新台幣 14.1 億元，益本比 1.57，內生報酬率 9.7%，已大於計畫所採用之折現率 7.5%。益本比分析表及報酬率分析表成果詳表 4-5-2、表 4-5-3。

表4-5-2 益本比分析表

單位：新台幣仟元

折現率：7.5%

現值基準年：88年度

年序	年度	分年成本	分年收益	現值因子	分年成本現值	分年收益現值	累計成本現值	累計收益現值	益本比
1	89	(792,800)	-	0.930233	(737,488)	-	(737,488)	-	-
2	90	(749,200)	-	0.865333	(648,307)	-	(1,385,796)	-	-
3	91	(559,200)	-	0.804961	(450,134)	-	(1,835,930)	-	-
4	92	(249,200)	-	0.748801	(186,601)	-	(2,022,531)	-	-
5	93	(239,600)	-	0.696559	(166,895)	-	(2,189,426)	-	-
6	94	(21,050)	14,413	0.647962	(13,640)	9,339	(2,203,066)	9,339	0.004239256
7	95	(21,787)	45,550	0.602755	(13,132)	27,455	(2,216,198)	36,795	0.016602678
8	96	(22,549)	63,025	0.560702	(12,643)	35,338	(2,228,841)	72,133	0.032363587
9	97	(23,339)	81,668	0.521583	(12,173)	42,597	(2,241,014)	114,730	0.051195632
10	98	(24,155)	101,539	0.485194	(11,720)	49,266	(2,252,734)	163,996	0.072798762
11	99	(25,001)	122,701	0.451343	(11,284)	55,380	(2,264,018)	219,376	0.096896912
12	100	(25,876)	163,883	0.419854	(10,864)	68,807	(2,274,882)	288,183	0.126680482
13	101	(26,781)	187,433	0.390562	(10,460)	73,204	(2,285,342)	361,387	0.158132652
14	102	(27,719)	212,430	0.363313	(10,071)	77,179	(2,295,413)	438,566	0.191061913
15	103	(28,689)	238,948	0.337966	(9,696)	80,756	(2,305,109)	519,322	0.225291879
16	104	(29,693)	267,062	0.314387	(9,335)	83,961	(2,314,444)	603,283	0.260660055
17	105	(30,732)	372,319	0.292453	(8,988)	108,886	(2,323,431)	712,169	0.306515987
18	106	(31,808)	407,130	0.272049	(8,653)	110,759	(2,332,085)	822,928	0.352872392
19	107	(32,921)	443,922	0.253069	(8,331)	112,343	(2,340,416)	935,271	0.399617476
20	108	(34,074)	482,790	0.235413	(8,021)	113,655	(2,348,437)	1,048,926	0.446648578
21	109	(35,266)	523,835	0.218989	(7,723)	114,714	(2,356,160)	1,163,640	0.493871459

續接下頁

表4-5-2 益本比分析表(續)

折現率：7.5%

單位：新台幣仟元

年序	年度	分年成本	分年收益	現值因子	分年成本現值	分年收益現值	累計成本現值	累計收益現值	益本比
22	110	(36,500)	656,794	0.203711	(7,436)	133,796	(2,363,596)	1,297,436	0.548924802
23	111	(37,778)	705,650	0.189498	(7,159)	133,719	(2,370,755)	1,431,156	0.60367098
24	112	(39,100)	757,120	0.176277	(6,892)	133,463	(2,377,647)	1,564,619	0.658053515
25	113	(40,469)	811,329	0.163979	(6,636)	133,041	(2,384,283)	1,697,660	0.712021174
26	114	(41,885)	868,406	0.152539	(6,389)	132,465	(2,390,672)	1,830,126	0.765527574
27	115	(43,351)	1,034,939	0.141896	(6,151)	146,854	(2,396,824)	1,976,980	0.824833175
28	116	(44,868)	1,101,884	0.131997	(5,922)	145,445	(2,402,746)	2,122,425	0.883332894
29	117	(46,439)	1,172,248	0.122788	(5,702)	143,937	(2,408,448)	2,266,362	0.941005145
30	118	(48,064)	1,246,187	0.114221	(5,490)	142,341	(2,413,938)	2,408,703	0.99783125
31	119	(49,746)	1,323,866	0.106252	(5,286)	140,664	(2,419,224)	2,549,367	1.053795225
32	120	(51,487)	1,531,892	0.098839	(5,089)	151,411	(2,424,313)	2,700,777	1.114038345
33	121	(53,289)	1,621,996	0.091943	(4,900)	149,132	(2,429,212)	2,849,909	1.173182426
34	122	(55,155)	1,716,532	0.085529	(4,717)	146,813	(2,433,930)	2,996,722	1.231227897
35	123	(57,085)	1,815,698	0.079562	(4,542)	144,460	(2,438,472)	3,141,182	1.288176669
36	124	(59,083)	1,919,703	0.074011	(4,373)	142,079	(2,442,844)	3,283,261	1.344032011
37	125	(61,151)	2,178,930	0.068847	(4,210)	150,013	(2,447,054)	3,433,274	1.403023318
38	126	(63,291)	2,298,529	0.064044	(4,053)	147,207	(2,451,108)	3,580,481	1.460760456
39	127	(65,506)	2,423,832	0.059576	(3,903)	144,402	(2,455,010)	3,724,883	1.517257556
40	128	(67,799)	2,555,090	0.055419	(3,757)	141,601	(2,458,768)	3,866,484	1.572529344

表4-5-3 報酬率分析表

現值基準年：88年度

報酬率：9.7%

單位：新台幣仟元

年序	年度	分年成本	分年收益	現值因子	分年成本現值	分年收益現值	累計成本現值	累計收益現值	益本比
1	89	(792,800)	-	0.911183	(722,386)	-	(722,386)	-	-
2	90	(749,200)	-	0.830254	(622,026)	-	(1,344,412)	-	-
3	91	(559,200)	-	0.756513	(423,042)	-	(1,767,454)	-	-
4	92	(249,200)	-	0.689322	(171,779)	-	(1,939,233)	-	-
5	93	(239,600)	-	0.628098	(150,492)	-	(2,089,726)	-	-
6	94	(21,050)	14,413	0.572312	(12,047)	8,249	(2,101,773)	8,249	0.00392478
7	95	(21,787)	45,550	0.521481	(11,361)	23,753	(2,113,134)	32,002	0.015144538
8	96	(22,549)	63,025	0.475165	(10,715)	29,947	(2,123,849)	61,950	0.029168688
9	97	(23,339)	81,668	0.432962	(10,105)	35,359	(2,133,954)	97,309	0.045600411
10	98	(24,155)	101,539	0.394508	(9,529)	40,058	(2,143,483)	137,367	0.064085915
11	99	(25,001)	122,701	0.359469	(8,987)	44,107	(2,152,470)	181,474	0.084309695
12	100	(25,876)	163,883	0.327542	(8,475)	53,678	(2,160,946)	235,152	0.10881925
13	101	(26,781)	187,433	0.298450	(7,993)	55,939	(2,168,939)	291,092	0.134209318
14	102	(27,719)	212,430	0.271943	(7,538)	57,769	(2,176,476)	348,861	0.160286868
15	103	(28,689)	238,948	0.247790	(7,109)	59,209	(2,183,585)	408,069	0.186880455
16	104	(29,693)	267,062	0.225782	(6,704)	60,298	(2,190,289)	468,367	0.213837977
17	105	(30,732)	372,319	0.205728	(6,323)	76,597	(2,196,612)	544,964	0.24809282
18	106	(31,808)	407,130	0.187456	(5,963)	76,319	(2,202,575)	621,283	0.282071117
19	107	(32,921)	443,922	0.170807	(5,623)	75,825	(2,208,198)	697,107	0.315690699
20	108	(34,074)	482,790	0.155636	(5,303)	75,140	(2,213,501)	772,247	0.348880408
21	109	(35,266)	523,835	0.141813	(5,001)	74,287	(2,218,502)	846,534	0.381578969

續接下頁

表4-5-3 報酬率分析表(續)

單位：新台幣仟元

年序	年度	分年成本	分年收益	現值因子	分年成本現值	分年收益現值	累計成本現值	累計收益現值	益本比
22	110	(36,500)	656,794	0.129218	(4,716)	84,869	(2,223,219)	931,403	0.418943582
23	111	(37,778)	705,650	0.117741	(4,448)	83,084	(2,227,667)	1,014,487	0.455403417
24	112	(39,100)	757,120	0.107283	(4,195)	81,226	(2,231,861)	1,095,713	0.490941541
25	113	(40,469)	811,329	0.097755	(3,956)	79,311	(2,235,817)	1,175,025	0.525545985
26	114	(41,885)	868,406	0.089073	(3,731)	77,351	(2,239,548)	1,252,376	0.559209199
27	115	(43,351)	1,034,939	0.081161	(3,518)	83,997	(2,243,067)	1,336,373	0.595779448
28	116	(44,868)	1,101,884	0.073953	(3,318)	81,487	(2,246,385)	1,417,860	0.631174355
29	117	(46,439)	1,172,248	0.067385	(3,129)	78,991	(2,249,514)	1,496,852	0.665411215
30	118	(48,064)	1,246,187	0.061400	(2,951)	76,515	(2,252,465)	1,573,367	0.698509063
31	119	(49,746)	1,323,866	0.055946	(2,783)	74,065	(2,255,248)	1,647,433	0.730488421
32	120	(51,487)	1,531,892	0.050977	(2,625)	78,092	(2,257,873)	1,725,524	0.764225672
33	121	(53,289)	1,621,996	0.046450	(2,475)	75,341	(2,260,348)	1,800,866	0.796720449
34	122	(55,155)	1,716,532	0.042324	(2,334)	72,651	(2,262,683)	1,873,516	0.828006715
35	123	(57,085)	1,815,698	0.038565	(2,201)	70,022	(2,264,884)	1,943,539	0.858118454
36	124	(59,083)	1,919,703	0.035140	(2,076)	67,458	(2,266,960)	2,010,997	0.88708957
37	125	(61,151)	2,178,930	0.032019	(1,958)	69,767	(2,268,918)	2,080,763	0.917072918
38	126	(63,291)	2,298,529	0.029175	(1,847)	67,059	(2,270,765)	2,147,823	0.945858863
39	127	(65,506)	2,423,832	0.026584	(1,741)	64,434	(2,272,506)	2,212,257	0.973487984
40	128	(67,799)	2,555,090	0.024223	(1,642)	61,891	(2,274,148)	2,274,148	1

附錄 沉箱合成堤斷面穩定分析

台中港北防波堤延建工程：0K+000~0K+100

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	22.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	5.86m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=22.00+5.86=27.86\text{m}$$

$$h_b=27.86+5\times 5.90\times .010=28.16\text{m}$$

$$d=27.86- 6.0- 1.5=20.36\text{m}$$

$$h''=27.86- 6.00=21.86\text{m}$$

$$h_c=22.00+11.00-27.86= 5.14\text{m}$$

$$\alpha_1=0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 27.86 / 161.20}{\sinh(4 \times \pi \times 27.86 / 161.20)} \right)^2 = .726$$

$$\alpha_2 = \text{MIN} \left[\frac{28.16 - 20.36}{3 \times 28.16} \left(\frac{10.60}{20.36} \right)^2, \frac{2 \times 20.36}{10.60} \right]$$

$$= .025$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{21.86}{27.86} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 27.86 / 161.20)} \right)$$

$$= .691$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos(.0))(.726 + .025(\cos(.0))^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.24 \text{ t/m}^2$$

$$P_3 = .691 \times 6.24 = 4.31 \text{ t/m}^2$$

$$P_u = (1 + \cos(.0)) \times .726 \times .691 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 4.27 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P_u = 4.27 \times 22.00 / 25.00 = 3.76 \text{ t/m}^2$$

$$P_4 = 6.24 \times (12.40 - 5.14) / 12.40$$

$$= 3.65 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.24 + 4.31) \times 21.86 / 2.0 + (6.24 + 3.65) \times 5.14 / 2.0$$

$$= 140.84 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M_p = (2.0 \times 6.24 + 4.31) \times 21.86^2 / 6$$

$$+ (6.24 + 3.65) \times 21.86 \times 5.14 / 2$$

$$+ (6.24 + 2.0 \times 3.65) \times 5.14^2 / 6$$

$$= 1954.01 \text{ t-m/m}$$

$$U = 3.76 \times 25.00 / 2 = 46.95 \text{ t/m}$$

$$M_u = 46.95 \times 25.00 \times 2/3 = 782.51 \text{ t-m/m}$$

$$W_b = (22.0 \times 21.86 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 499.98 \text{ t/m}$$

$$M_b = 499.98 \times 25.00 / 2 = 6249.78 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(㎥³/個)	個數	體積 ㎥³	Y(m)	VxY(㎥⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3²×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3²×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3²×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0²×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3²× .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 499.98 - 46.95)}{140.84} \\ = 2.55 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14459.34 - 6249.78}{1954.01 + 782.51} \\ = 3.00 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{8210.13 - 1954.01 - 782.51}{1144.77 - 499.98 - 46.95} \\ = 9.16$$

$$e = 25.0/2 - 9.16 = 3.34 \leq 1/6B \\ \alpha = \arctan(140.84/597.83) = 13.3 \\ p_1 = (1 + 6 \times 3.34/25.0) \times 597.83/25.00 = 43.11 \\ p_2 = (1 - 6 \times 3.34/25.0) \times 597.83/25.00 = 4.72 \\ b = 25.00 + 6.0 \times (\tan(30+13.3) + \tan(30-13.3)) \\ = 32.45 \\ e_{11} = 3.34 + 6.0 \times \tan(13.3) = 4.76 \\ e_{22} = (25.0/2 + 6.0 \times \tan(30-13.3) + 4.76) - 32.45/2 \\ = 2.84 \\ P_{11} = 597.83/32.45 \times (1 + 6 \times 2.84/32.45) + 6.0 \\ = 34.09 \\ Q_a = 45.78$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 499.98 - 46.95 = 597.83 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 13.00) \times 6.0/2 \times 1 = 114.00 \\ \text{總重量} = 597.83 + 114.00 = 711.83 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(6.0/(25.0 + 13.00 + 6.0 \times \tan 30)) = 3.0 \\ \tan 40.0 \times (711.83 \times \cos 3.0 - 140.84 \times \sin 3.0) \\ F = \frac{711.83 \times \sin 3.0 + 140.84 \times \cos 3.0}{\tan 40.0} \\ = 3.33 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 17.36 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 17.36/L) = 135.32 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ \kappa = .035 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 11.23) = 11.23 \\ 2.00 \times 5.90^3 \\ W = \frac{11.23^3 \times (1.94 - 1)^3}{2.00 \times 5.90^3} = .35$$

台中港北防波堤延建工程：0K+000~0K+100

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	22.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	-.55m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=22.00+(-.55)=21.45\text{m}$$

$$h_b=21.45+5 \times 5.90 \times .010=21.75\text{m}$$

$$d=21.45-6.0-1.5=13.95\text{m}$$

$$h''=21.45-6.00=15.45\text{m}$$

$$h_c=22.00+11.00-21.45=11.55\text{m}$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 21.45 / 146.87}{\sinh(4 \times \pi \times 21.45 / 146.87)} \right)^2 = .781$$

$$\alpha 2 = \text{MIN} \left[\frac{21.75 - 13.95}{3 \times 21.75} \left(\frac{10.60}{13.95} \right)^2, \frac{2 \times 13.95}{10.60} \right]$$

$$= .069$$

$$\alpha 3 = 1 - \frac{15.45}{21.45} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 21.45/146.87)} \right)$$

$$= .776$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P 1 = 1/2(1 + \cos .0)(.781 + .069(\cos .0)^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.83 \text{ t/m}^2$$

$$P 3 = .776 \times 6.83 = 5.30 \text{ t/m}^2$$

$$P u = (1 + \cos(.0)) \times .781 \times .776 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 5.16 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P u = 5.16 \times 22.00 / 25.00 = 4.54 \text{ t/m}^2$$

$$P 4 = 6.83 \times (12.40 - 11.55) / 12.40$$

$$= .47 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.83 + 5.30) \times 15.45 / 2.0 + (6.83 + .47) \times 11.55 / 2.0$$

$$= 135.80 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M p = (2.0 \times 6.83 + 5.30) \times 15.45^2 / 6$$

$$+ (6.83 + .47) \times 15.45 \times 11.55 / 2$$

$$+ (6.83 + 2.0 \times .47) \times 11.55^2 / 6$$

$$= 1577.36 \text{ t-m/m}$$

$$U = 4.54 \times 25.00 / 2 = 56.71 \text{ t/m}$$

$$M u = 56.71 \times 25.00 \times 2/3 = 945.24 \text{ t-m/m}$$

$$W b = (22.0 \times 15.45 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 354.73 \text{ t/m}$$

$$M b = 354.73 \times 25.00 / 2 = 4434.15 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(m ³ /個)	個數	體積 m ³	Y(m)	VxY(m ⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3 ² ×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3 ² ×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3 ² ×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3 ³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0 ² ×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3 ² × .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 354.73 - 56.71)}{135.80} \\ = 3.24 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{10014.72 - 4434.15}{1577.36 + 945.24} \\ = 3.97 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{10024.57 - 1577.36 - 945.24}{1144.77 - 354.73 - 56.71} \\ = 10.23$$

$$e = 25.0/2 - 10.23 = 2.27 < 1/6B \\ \alpha = \arctan(135.80/733.32) = 10.5 \\ p_1 = (1 + 6 \times 2.27/25.0) \times 733.32/25.00 = 45.30 \\ p_2 = (1 - 6 \times 2.27/25.0) \times 733.32/25.00 = 13.36 \\ b = 25.00 + 6.0 \times (\tan(30+10.5) + \tan(30-10.5)) \\ = 32.25 \\ e_{11} = 2.27 + 6.0 \times \tan(10.5) = 3.38 \\ e_{22} = (25.0/2 + 6.0 \times \tan(30-10.5) + 3.38) - 32.25/2 \\ = 1.88 \\ P_{11} = 733.32/32.25 \times (1 + 6 \times 1.88/32.25) + 6.0 \\ = 36.70 \\ Q_a = 45.39$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 354.73 - 56.71 = 733.32 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 13.00) \times 6.0/2 \times 1 = 114.00 \\ \text{總重量} = 733.32 + 114.00 = 847.32 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(6.0/(25.0 + 13.00 + 6.0 \times 2.0)) = 3.0 \\ \tan 40.0 \times (847.32 \times \cos 3.0 - 135.80 \times \sin 3.0) \\ F = \frac{847.32 \times \sin 3.0 + 135.80 \times \cos 3.0}{\tan 40.0} \\ = 3.93 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 10.95 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 10.95/L) = 111.37 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ \kappa = .061 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 5.77) = 5.77 \\ W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{5.77^3 \times (1.94 - 1)^3} = 2.56$$

台中港北防波堤延建工程：0K+100-0K+130

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	23.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	5.86m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=23.00+5.86=28.86\text{m}$$

$$hb=28.86+5\times 5.90\times .010=29.16\text{m}$$

$$d=28.86-7.0-1.5=20.36\text{m}$$

$$h''=28.86-7.00=21.86\text{m}$$

$$hc=23.00+11.00-28.86=5.14\text{m}$$

$$\alpha_1=0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 28.86 / 163.09}{\sinh(4 \times \pi \times 28.86 / 163.09)} \right)^2 = .719$$

$$\alpha 2 = \text{MIN} \left[\frac{29.16 - 20.36}{3 \times 29.16} \left(\frac{10.60}{20.36} \right)^2, \frac{2 \times 20.36}{10.60} \right]$$

$$= .027$$

$$\alpha 3 = 1 - \frac{21.86}{28.86} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2 \pi \times 28.86 / 163.09)} \right)$$

$$= .692$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P 1 = 1/2 (1 + \cos .0) (.719 + .027 (\cos .0)^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.19 \text{ t/m}^2$$

$$P 3 = .692 \times 6.19 = 4.28 \text{ t/m}^2$$

$$P u = (1 + \cos(.0)) \times .719 \times .692 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 4.23 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P u = 4.23 \times 22.00 / 25.00 = 3.73 \text{ t/m}^2$$

$$P 4 = 6.19 \times (12.40 - 5.14) / 12.40$$

$$= 3.62 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.19 + 4.28) \times 21.86 / 2.0 + (6.19 + 3.62) \times 5.14 / 2.0$$

$$= 139.68 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M p = (2.0 \times 6.19 + 4.28) \times 21.86^2 / 6$$

$$+ (6.19 + 3.62) \times 21.86 \times 5.14 / 2$$

$$+ (6.19 + 2.0 \times 3.62) \times 5.14^2 / 6$$

$$= 1937.31 \text{ t-m/m}$$

$$U = 3.73 \times 25.00 / 2 = 46.57 \text{ t/m}$$

$$M u = 46.57 \times 25.00 \times 2/3 = 776.19 \text{ t-m/m}$$

$$W b = (22.0 \times 21.86 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 499.98 \text{ t/m}$$

$$M b = 499.98 \times 25.00 / 2 = 6249.78 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(m ³ /個)	個數	體積 m ³	Y(m)	VxY(m ⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3 ² ×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3 ² ×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3 ² ×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3 ³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0 ² ×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3 ² × .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 499.98 - 46.57)}{139.68} \\ = 2.57 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14471.69 - 6249.78}{1937.31 + 776.19} \\ = 3.03 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{8210.13 - 1937.31 - 776.19}{1144.77 - 499.98 - 46.57} \\ = 9.19$$

$$e = 25.0/2 - 9.19 = 3.31 < 1/6B \\ \alpha = \arctan(139.68/598.21) = 13.1 \\ p_1 = (1 + 6 \times 3.31/25.0) \times 598.21/25.00 = 42.95 \\ p_2 = (1 - 6 \times 3.31/25.0) \times 598.21/25.00 = 4.91 \\ b = 25.00 + 7.0 \times (\tan(30 + 13.1) + \tan(30 - 13.1)) \\ = 33.68 \\ e_{11} = 3.31 + 7.0 \times \tan(13.1) = 4.95 \\ e_{22} = (25.0/2 + 7.0 \times \tan(30 - 13.1) + 4.95) - 33.68/2 \\ = 2.73 \\ P_{11} = 598.21/33.68 \times (1 + 6 \times 2.73/33.68) + 7.0 \\ = 33.39 \\ Q_a = 47.53$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 499.98 - 46.57 = 598.21 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 13.00) \times 7.0/2 \times 1 = 133.00 \\ \text{總重量} = 598.21 + 133.00 = 731.21 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(7.0/(25.0 + 13.00 + 7.0 \times 2.0)) = 3.1 \\ \tan 40.0 \times (731.21 \times \cos 3.1 - 139.68 \times \sin 3.1) \\ F = \frac{731.21 \times \sin 3.1 + 139.68 \times \cos 3.1}{\tan 40.0} \\ = 3.39 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 17.36 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 17.36/L) = 135.32 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ x = .035 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 11.23) = 11.23 \\ W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{11.23^3 \times (1.94 - 1)^3} = .35$$

台中港北防波堤延建工程：0K+100~0K+130

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	23.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	-.55m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=23.00+(-.55)=22.45\text{m}$$

$$h_b=22.45+5 \times 5.90 \times .010=22.75\text{m}$$

$$d=22.45-7.0-1.5=13.95\text{m}$$

$$h''=22.45-7.00=15.45\text{m}$$

$$h_c=23.00+11.00-22.45=11.55\text{m}$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 22.45 / 149.44}{\sinh(4 \times \pi \times 22.45 / 149.44)} \right)^2 = .771$$

$$\alpha_2 = \text{MIN} \left[\frac{22.75 - 13.95}{3 \times 22.75} - \left(\frac{10.60}{13.95} \right)^2, \frac{2 \times 13.95}{10.60} \right]$$

$$= .074$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{15.45}{22.45} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 22.45/149.44)} \right)$$

$$= .777$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos(.0)) \left(.777 + .074(\cos(.0))^2 \right) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.76 \text{ t/m}^2$$

$$P_3 = .777 \times 6.76 = 5.25 \text{ t/m}^2$$

$$P_u = (1 + \cos(.0)) \times .777 \times .777 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 5.10 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P_u = 5.10 \times 22.00 / 25.00 = 4.49 \text{ t/m}^2$$

$$P_4 = 6.76 \times (12.40 - 11.55) / 12.40$$

$$= .46 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.76 + 5.25) \times 15.45 / 2.0 + (6.76 + .46) \times 11.55 / 2.0$$

$$= 134.53 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M_p = (2.0 \times 6.76 + 5.25) \times 15.45^2 / 6$$

$$+ (6.76 + .46) \times 15.45 \times 11.55 / 2$$

$$+ (6.76 + 2.0 \times .46) \times 11.55^2 / 6$$

$$= 1562.32 \text{ t-m/m}$$

$$U = 4.49 \times 25.00 / 2 = 56.09 \text{ t/m}$$

$$M_u = 56.09 \times 25.00 \times 2/3 = 934.91 \text{ t-m/m}$$

$$W_b = (22.0 \times 15.45 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 354.73 \text{ t/m}$$

$$M_b = 354.73 \times 25.00 / 2 = 4434.15 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(m³/個)	個數	體積 m³	Y(m)	VxY(m⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3²×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3²×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3²×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0²×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3²× .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 354.73 - 56.09)}{134.53} \\ = 3.27 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14448.04 - 4434.15}{1562.32 + 934.91} \\ = 4.01 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{10027.56 - 1562.32 - 934.91}{1144.77 - 354.73 - 56.09} \\ = 10.26$$

$$e = 25.0/2 - 10.26 = 2.24 \leq 1/6B \\ \alpha = \arctan(134.53/733.94) = 10.4 \\ p_1 = (1 + 6 \times 2.24/25.0) \times 733.94/25.00 = 45.16 \\ p_2 = (1 - 6 \times 2.24/25.0) \times 733.94/25.00 = 13.56 \\ b = 25.00 + 7.0 \times (\tan(30 + 10.4) + \tan(30 - 10.4)) \\ = 33.45 \\ e_{11} = 2.24 + 7.0 \times \tan(10.4) = 3.53 \\ e_{22} = (25.0/2 + 7.0 \times \tan(30 - 10.4) + 3.53) - 33.45/2 \\ = 1.80 \\ P_{11} = 733.94/33.45 \times (1 + 6 \times 1.80/33.45) + 7.0 \\ = 36.01 \\ Q_a = 47.09$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 354.73 - 56.09 = 733.94 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 13.00) \times 7.0/2 \times 1 = 133.00 \\ \text{總重量} = 733.94 + 133.00 = 866.94 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(7.0/(25.0 + 13.00 + 7.0 \times 2.0)) = 3.1 \\ \tan 40.0 \times (866.94 \times \cos 3.1 - 134.53 \times \sin 3.1) \\ F = \frac{866.94 \times \sin 3.1 + 134.53 \times \cos 3.1}{\tan 40.0} \\ = 3.97 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 10.95 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 10.95/L) = 111.37 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ x = .061 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 5.77) = 5.77 \\ W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{5.77^3 \times (1.94 - 1)^3} = 2.56$$

台中港北防波堤延建工程：0K+130~0K+440

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	24.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	5.86m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=24.00+5.86=29.86\text{m}$$

$$hb=29.86+5\times 5.90\times .010=30.16\text{m}$$

$$d=29.86- 8.0- 1.5=20.36\text{m}$$

$$h''=29.86- 8.00=21.86\text{m}$$

$$hc=24.00+11.00-29.86= 5.14\text{m}$$

$$\alpha_1=0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 29.86 / 164.94}{\sinh(4 \times \pi \times 29.86 / 164.94)} \right)^2 = .712$$

$$\alpha 2 = \text{MIN} \left[\frac{30.16 - 20.36}{3 \times 30.16} \left(\frac{10.60}{20.36} \right)^2, \frac{2 \times 20.36}{10.60} \right]$$

$$= .029$$

$$\alpha 3 = 1 - \frac{21.86}{29.86} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 29.86 / 164.94)} \right)$$

$$= .694$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P 1 = 1/2(1 + \cos .0)(.712 + .029(\cos .0)^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.14 \text{ t/m}^2$$

$$P 3 = .694 \times 6.14 = 4.26 \text{ t/m}^2$$

$$P u = (1 + \cos(.0)) \times .712 \times .694 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 4.20 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P u = 4.20 \times 22.00 / 25.00 = 3.70 \text{ t/m}^2$$

$$P 4 = 6.14 \times (12.40 - 5.14) / 12.40$$

$$= 3.59 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.14 + 4.26) \times 21.86 / 2.0 + (6.14 + 3.59) \times 5.14 / 2.0$$

$$= 138.59 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M p = (2.0 \times 6.14 + 4.26) \times 21.86^2 / 6$$

$$+ (6.14 + 3.59) \times 21.86 \times 5.14 / 2$$

$$+ (6.14 + 2.0 \times 3.59) \times 5.14^2 / 6$$

$$= 1921.54 \text{ t-m/m}$$

$$U = 3.70 \times 25.00 / 2 = 46.22 \text{ t/m}$$

$$M u = 46.22 \times 25.00 \times 2/3 = 770.35 \text{ t-m/m}$$

$$W b = (22.0 \times 21.86 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 499.98 \text{ t/m}$$

$$M b = 499.98 \times 25.00 / 2 = 6249.78 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(m ³ /個)	個數	體積 m ³	Y(m)	VxY(m ⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3 ² ×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3 ² ×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3 ² ×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3 ³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0 ² ×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3 ² × .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 499.98 - 46.22)}{138.59} \\ = 2.59 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14460.04 - 6249.78}{1921.54 + 770.35} \\ = 3.05 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{8210.13 - 1921.54 - 770.35}{1144.77 - 499.98 - 46.22} \\ = 9.22$$

$$e = 25.0/2 - 9.22 = 3.28 \leq 1/6B \\ \alpha = \arctan(138.59/598.56) = 13.0 \\ p_1 = (1 + 6 \times 3.28/25.0) \times 598.56/25.00 = 42.79 \\ p_2 = (1 - 6 \times 3.28/25.0) \times 598.56/25.00 = 5.09 \\ b = 25.00 + 8.0 \times (\tan(30+13.0) + \tan(30-13.0)) \\ = 34.91 \\ e_{11} = 3.28 + 8.0 \times \tan(13.0) = 5.13 \\ e_{22} = (25.0/2 + 8.0 \times \tan(30-13.0) + 5.13) - 34.91/2 \\ = 2.62 \\ P_{11} = 598.56/34.91 \times (1 + 6 \times 2.62/34.91) + 8.0 \\ = 32.86 \\ Q_a = 49.30$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 499.98 - 46.22 = 598.56 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 13.00) \times 8.0/2 \times 1 = 152.00 \\ \text{總重量} = 598.56 + 152.00 = 750.56 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(8.0/(25.0 + 13.00 + 8.0 \times 2.0)) = 3.2 \\ \tan 40.0 \times (750.56 \times \cos 3.2 - 138.59 \times \sin 3.2) \\ F = \frac{750.56 \times \sin 3.2 + 138.59 \times \cos 3.2}{\tan 40.0} \\ = 3.45 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 17.36 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 17.36/L) = 135.32 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ \kappa = .035 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 11.23) = 11.23 \\ W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{11.23^3 \times (1.94 - 1)^3} = .35$$

台中港北防波堤延建工程：0K+130~0K+440

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	24.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	-.55m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=24.00+(-.55)=23.45m$$

$$hb=23.45+5 \times 5.90 \times .010=23.75m$$

$$d=23.45- 8.0- 1.5=13.95m$$

$$h''=23.45- 8.00=15.45m$$

$$hc=24.00+11.00-23.45=11.55m$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 23.45 / 151.83}{\sinh(4 \times \pi \times 23.45 / 151.83)} \right)^2 = .762$$

$$\alpha_2 = \text{MIN} \left[\frac{23.75 - 13.95}{3 \times 23.75} \left(\frac{10.60}{13.95} \right)^2, \frac{2 \times 13.95}{10.60} \right]$$

$$= .079$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{15.45}{23.45} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 23.45 / 151.83)} \right)$$

$$= .778$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos(.0))(.762 + .079(\cos(.0))^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.70 \text{ t/m}^2$$

$$P_3 = .778 \times 6.70 = 5.21 \text{ t/m}^2$$

$$P_u = (1 + \cos(.0)) \times .762 \times .778 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 5.04 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P_u = 5.04 \times 22.00 / 25.00 = 4.44 \text{ t/m}^2$$

$$P_4 = 6.70 \times (12.40 - 11.55) / 12.40$$

$$= .46 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.70 + 5.21) \times 15.45 / 2.0 + (6.70 + .46) \times 11.55 / 2.0$$

$$= 133.27 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M_p = (2.0 \times 6.70 + 5.21) \times 15.45^2 / 6$$

$$+ (6.70 + .46) \times 15.45 \times 11.55 / 2$$

$$+ (6.70 + 2.0 \times .46) \times 11.55^2 / 6$$

$$= 1547.47 \text{ t-m/m}$$

$$U = 4.44 \times 25.00 / 2 = 55.48 \text{ t/m}$$

$$M_u = 55.48 \times 25.00 \times 2/3 = 924.72 \text{ t-m/m}$$

$$W_b = (22.0 \times 15.45 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 354.73 \text{ t/m}$$

$$M_b = 354.73 \times 25.00 / 2 = 4434.15 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(m³/個)	個數	體積 m³	Y(m)	VxY(m⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3²×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3²×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3²×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0²×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3²× .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 354.73 - 55.48)}{133.27} \\ = 3.31 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14471.24 - 4434.15}{1547.47 + 924.72} \\ = 4.06 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{10023.47 - 1547.47 - 924.72}{1144.77 - 354.73 - 55.48} \\ = 10.28$$

$$e = 25.0/2 - 10.28 = 2.22 < 1/6B \\ \alpha = \arctan(133.27/734.55) = 10.3 \\ p_1 = (1 + 6 \times 2.22/25.0) \times 734.55/25.00 = 45.01 \\ p_2 = (1 - 6 \times 2.22/25.0) \times 734.55/25.00 = 13.75 \\ b = 25.00 + 8.0 \times (\tan(30 + 10.3) + \tan(30 - 10.3)) \\ = 34.65 \\ e_{11} = 2.22 + 8.0 \times \tan(10.3) = 3.67 \\ e_{22} = (25.0/2 + 8.0 \times \tan(30 - 10.3) + 3.67) - 34.65/2 \\ = 1.71 \\ P_{11} = 734.55/34.65 \times (1 + 6 \times 1.71/34.65) + 8.0 \\ = 35.48 \\ Q_a = 48.80$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 354.73 - 55.48 = 734.55 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 13.00) \times 8.0/2 \times 1 = 152.00 \\ \text{總重量} = 734.55 + 152.00 = 886.55 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(8.0/(25.0 + 13.00 + 8.0 \times 2.0)) = 3.2 \\ \tan 40.0 \times (886.55 \times \cos 3.2 - 133.27 \times \sin 3.2) \\ F = \frac{886.55 \times \sin 3.2 + 133.27 \times \cos 3.2}{\tan 40.0} \\ = 4.03 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 10.95 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 10.95/L) = 111.37 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ \kappa = .061 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 5.77) = 5.77 \\ W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{5.77^3 \times (1.94 - 1)^3} = 2.56$$

台中港北防波堤延建工程：0K+130~0K+480

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	24.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	5.86m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=24.00+5.86=29.86\text{m}$$

$$hb=29.86+5 \times 5.90 \times .010=30.16\text{m}$$

$$d=29.86- 8.0- 1.5=20.36\text{m}$$

$$h''=29.86- 8.00=21.86\text{m}$$

$$hc=24.00+11.00-29.86= 5.14\text{m}$$

$$\alpha_1=0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 29.86 / 164.94}{\sinh(4 \times \pi \times 29.86 / 164.94)} \right)^2 = .712$$

$$\alpha_2 = \text{MIN} \left[\frac{30.16 - 20.36}{3 \times 30.16} \left(\frac{10.60}{20.36} \right)^2, \frac{2 \times 20.36}{10.60} \right]$$

$$= .029$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{21.86}{29.86} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 29.86 / 164.94)} \right)$$

$$= .694$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos(.0))(.712 + .029(\cos(.0))^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.14 \text{ t/m}^2$$

$$P_3 = .694 \times 6.14 = 4.26 \text{ t/m}^2$$

$$P_u = (1 + \cos(.0)) \times .712 \times .694 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 4.20 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P_u = 4.20 \times 22.00 / 25.00 = 3.70 \text{ t/m}^2$$

$$P_4 = 6.14 \times (12.40 - 5.14) / 12.40$$

$$= 3.59 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.14 + 4.26) \times 21.86 / 2.0 + (6.14 + 3.59) \times 5.14 / 2.0$$

$$= 138.59 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M_p = (2.0 \times 6.14 + 4.26) \times 21.86^2 / 6$$

$$+ (6.14 + 3.59) \times 21.86 \times 5.14 / 2$$

$$+ (6.14 + 2.0 \times 3.59) \times 5.14^2 / 6$$

$$= 1921.54 \text{ t-m/m}$$

$$U = 3.70 \times 25.00 / 2 = 46.22 \text{ t/m}$$

$$M_u = 46.22 \times 25.00 \times 2/3 = 770.35 \text{ t-m/m}$$

$$W_b = (22.0 \times 21.86 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 499.98 \text{ t/m}$$

$$M_b = 499.98 \times 25.00 / 2 = 6249.78 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(㎥ ³ /個)	個數	體積 ㎥ ³	Y(m)	VxY(㎥ ⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3 ² ×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3 ² ×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3 ² ×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3 ³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0 ² ×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3 ² × .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 499.98 - 46.22)}{138.59} \\ = 2.59 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14460.04 - 6249.78}{1921.54 + 770.35} \\ = 3.05 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{8210.13 - 1921.54 - 770.35}{1144.77 - 499.98 - 46.22} \\ = 9.22$$

$$e = 25.0/2 - 9.22 = 3.28 < 1/6B$$

$$\alpha = \arctan(138.59/598.56) = 13.0$$

$$p_1 = (1 + 6 \times 3.28/25.0) \times 598.56/25.00 = 42.79$$

$$p_2 = (1 - 6 \times 3.28/25.0) \times 598.56/25.00 = 5.09$$

$$b = 25.00 + 8.0 \times (\tan(30 + 13.0) + \tan(30 - 13.0)) \\ = 34.91$$

$$e_{11} = 3.28 + 8.0 \times \tan(13.0) = 5.13$$

$$e_{22} = (25.0/2 + 8.0 \times \tan(30 - 13.0) + 5.13) - 34.91/2 \\ = 2.62$$

$$P_{11} = 598.56/34.91 \times (1 + 6 \times 2.62/34.91) + 8.0 \\ = 32.86$$

$$Q_a = 49.30$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 499.98 - 46.22 = 598.56$$

$$\text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 16.50) \times 8.0/2 \times 1 = 166.00$$

$$\text{總重量} = 598.56 + 166.00 = 764.56$$

滑動面與地盤間之角度

$$\alpha = \arctan(8.0/(25.0 + 16.50 + 8.0 \times 2.0)) = 2.6$$

$$\tan 40.0 \times (764.56 \times \cos 2.6 - 138.59 \times \sin 2.6)$$

$$F = \frac{764.56 \times \sin 2.6 + 138.59 \times \cos 2.6}{\tan 40.0 \times (764.56 \times \cos 2.6 - 138.59 \times \sin 2.6)} \\ = 3.66 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 17.36 \quad B = 5.00$$

$$L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 17.36/L) = 135.32$$

$$S = 2.00/1.03 = 1.94$$

$$x = .035$$

$$N_s = \text{MAX}(1.8, 11.23) = 11.23$$

$$W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{11.23^3 \times (1.94 - 1)^3} = .35$$

台中港北防波堤延建工程：0K+130~0K+480

穩定分析計算

一、設計條件

堤址水深：	24.00m	等值深海波高：	6.43m
設計潮位：	-.55m	設計波浪週期：	11.40sec
海底坡度：	.010	波浪入射角度：	56.00
Hmax：	10.60m	H1/3：	5.90m

二、波力計算

各種計算水深

$$h=24.00+(-.55)=23.45m$$

$$h_b=23.45+5 \times 5.90 \times .010=23.75m$$

$$d=23.45-8.0-1.5=13.95m$$

$$h''=23.45-8.00=15.45m$$

$$h_c=24.00+11.00-23.45=11.55m$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times \pi \times 23.45 / 151.83}{\sinh(4 \times \pi \times 23.45 / 151.83)} \right)^2 = .762$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{23.75 - 13.95}{3 \times 23.75} \left(\frac{10.60}{13.95} \right)^2, \frac{2 \times 13.95}{10.60} \right]$$

$$= .079$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{15.45}{23.45} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 23.45/151.83)} \right)$$

$$= .778$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos(.0))(.762 + .079(\cos(.0))^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.70 \text{ t/m}^2$$

$$P_3 = .778 \times 6.70 = 5.21 \text{ t/m}^2$$

$$P_u = (1 + \cos(.0)) \times .762 \times .778 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 5.04 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基脚

$$P_u = 5.97 \times 22.00 / 25.00 = 4.44 \text{ t/m}^2$$

$$P_4 = 6.70 \times (12.40 - 11.55) / 12.40$$

$$= .46 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.70 + 5.21) \times 15.45 / 2.0 + (6.70 + .46) \times 11.55 / 2.0$$

$$= 133.27 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M_p = (2.0 \times 6.70 + 5.21) \times 15.45^2 / 6$$

$$+ (6.70 + .46) \times 15.45 \times 11.55 / 2$$

$$+ (6.70 + 2.0 \times .46) \times 11.55^2 / 6$$

$$= 1547.47 \text{ t-m/m}$$

$$U = 4.44 \times 25.00 / 2 = 55.48 \text{ t/m}$$

$$M_u = 55.48 \times 25.00 \times 2/3 = 924.72 \text{ t-m/m}$$

$$W_b = (22.0 \times 15.45 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 354.73 \text{ t/m}$$

$$M_b = 354.73 \times 25.00 / 2 = 4434.15 \text{ t-m/m}$$

$$\alpha_2 = \text{MIN} \left[\frac{23.75 - 13.95}{3 \times 23.75} \left(\frac{10.60}{13.95} \right)^2, \frac{2 \times 13.95}{10.60} \right]$$

$$= .079$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{15.45}{23.45} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 23.45 / 151.83)} \right)$$

$$= .778$$

$$\eta^* = 0.75 \times (1.0 + \cos(.0)) \times 10.60$$

$$= 12.40 \text{ m}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos(.0))(.762 + .079(\cos(.0))^2) \times 1.03 \times 10.60$$

$$= 6.70 \text{ t/m}^2$$

$$P_3 = .778 \times 6.70 = 5.21 \text{ t/m}^2$$

$$P_u = (1 + \cos(.0)) \times .762 \times .778 \times 1.03 \times 10.60 / 2.0$$

$$= 5.04 \text{ t/m}^2$$

因沉箱設有基腳

$$P_u = 5.04 \times 22.00 / 25.00 = 4.44 \text{ t/m}^2$$

$$P_4 = 6.70 \times (12.40 - 11.55) / 12.40$$

$$= .46 \text{ t/m}^2$$

$$\text{波力合力 } P = (6.70 + 5.21) \times 15.45 / 2.0 + (6.70 + .46) \times 11.55 / 2.0$$

$$= 133.27 \text{ t/m}$$

$$\text{波力合力矩 } M_p = (2.0 \times 6.70 + 5.21) \times 15.45^2 / 6$$

$$+ (6.70 + .46) \times 15.45 \times 11.55 / 2$$

$$+ (6.70 + 2.0 \times .46) \times 11.55^2 / 6$$

$$= 1547.47 \text{ t-m/m}$$

$$U = 4.44 \times 25.00 / 2 = 55.48 \text{ t/m}$$

$$M_u = 55.48 \times 25.00 \times 2/3 = 924.72 \text{ t-m/m}$$

$$W_b = (22.0 \times 15.45 + 1.5 \times 1.5 \times 2 + .0 \times .0) \times 1.0$$

$$= 354.73 \text{ t/m}$$

$$M_b = 354.73 \times 25.00 / 2 = 4434.15 \text{ t-m/m}$$

三、沉箱體積、堤體重量及力矩計算

沉箱體積及一次力矩計算

	名 稱	體積計算式(m ³ /個)	個數	體積 m ³	Y(m)	VxY(m ⁴)
1	底 版	22.0×20.0× .8	1	352.00	.8/2.0	140.80
2	前 後 牆	20.0×21.7× .5	2	434.00	.8+21.7/2	5056.10
3	側 牆	21.0×21.7× .5	2	455.70	.8+21.7/2	5308.91
4	橫 隔 牆	19.0×21.7× .3	3	371.07	.8+21.7/2	4322.97
5	縱 隔 牆	20.1×21.7× .3	3	392.55	.8+21.7/2	4573.24
6	垂直托肩	1/2× .3 ² ×21.7	64	43.40	.8+21.7/2	505.61
7	水平橫托肩	1/2× .3 ² ×(20.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.03	.8+ .3/3	3.56
8	水平縱托肩	1/2× .3 ² ×(22.0-2×4× .3-2× .5-3× .3)	8	4.53	.8+ .3/3	4.00
9	隅角部托肩	1/3× .3 ³	64	.33	.8+ .3×3/8	.30
10	基 脚	1.5×1.5×20.00	2	90.00	1.5/2	67.50
11	基脚托肩	1/2× .0 ² ×20.00	2	.00	1.5+ .0/3	.00
	合 計			2147.61		19982.97

堤體重量及抵抗力矩計算

	名 稱	計 算 式	重量 (T/M)	力臂 (M)	力矩 (T-M/M)
1	沉箱本體	2147.61×2.45/20.0	263.08	12.50	3288.52
2	封頂混凝土	18.10×20.10× .8×2.3×/20.0	33.47	12.50	418.38
	- 垂直拖肩	-1/2× .3 ² × .8×4×4×2.3/20.0	-.18	12.50	-2.30
3	上部混凝土	(4.5-3.0)×21.70×2.3	74.86	12.50	935.81
	+ 沉箱內	361.81×2.3/20.0	20.80	12.50	260.05
	+ 胸牆	1.5×3.0×2.3	10.35	22.60	233.91
		1/2×1.5×3.0×2.3	5.17	21.35	110.49
4	填充沙	22.0×20.0×22.5×2.0/20.0	990.00	12.50	12375.00
	- 沉箱	2147.61×2.0/20.0	-214.76	12.50	2684.51
	- 封頂混凝土	470.35×2.0/20.0	-47.04	12.50	587.94
	+ 基脚	(90.00- .00)×2.0/20.0	9.00	12.50	112.50
	合計		1144.77		14459.91

四、堤體安定檢討

(一)沉箱安定檢討

$$F_s = \frac{.6 \times (1144.77 - 354.73 - 55.48)}{133.27} \\ = 3.31 > 1.2 \text{ O.K.}$$

$$F_o = \frac{14471.24 - 4434.15}{1547.47 + 924.72} \\ = 4.06 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(二)地盤承载力檢討

$$t_e = \frac{10023.47 - 1547.47 - 924.72}{1144.77 - 354.73 - 55.48} \\ = 10.28$$

$$e = 25.0/2 - 10.28 = 2.22 < 1/6B \\ \alpha = \arctan(133.27/734.55) = 10.3 \\ p_1 = (1 + 6 \times 2.22/25.0) \times 734.55/25.00 = 45.01 \\ p_2 = (1 - 6 \times 2.22/25.0) \times 734.55/25.00 = 13.75 \\ b = 25.00 + 8.0 \times (\tan(30 + 10.3) + \tan(30 - 10.3)) \\ = 34.65 \\ e_{11} = 2.22 + 8.0 \times \tan(10.3) = 3.67 \\ e_{22} = (25.0/2 + 8.0 \times \tan(30 - 10.3) + 3.67) - 34.65/2 \\ = 1.71 \\ P_{11} = 734.55/34.65 \times (1 + 6 \times 1.71/34.65) + 8.0 \\ = 35.48 \\ Q_a = 48.80$$

(三)拋石基礎安定檢討

$$\text{體堤重量 } W_1 = 1144.76 - 354.73 - 55.48 = 734.55 \\ \text{滑動面上石塊重量 } W_2 = (25.0 + 16.50) \times 8.0/2 \times 1 = 166.00 \\ \text{總重量} = 734.55 + 166.00 = 900.55 \\ \text{滑動面與地盤間之角度} \\ \alpha = \arctan(8.0/(25.0 + 16.50 + 8.0 \times 2.0)) = 2.6 \\ \tan 40.0 \times (900.55 \times \cos 2.6 - 133.27 \times \sin 2.6) \\ F = \frac{900.55 \times \sin 2.6 + 133.27 \times \cos 2.6}{\tan 40.0} \\ = 4.29 > 1.2 \text{ O.K.}$$

(四)拋石基礎護面石重量

$$H_s = 5.90 \quad T = 11.40 \quad d = 10.95 \quad B = 5.00 \\ L = g \times 11.40^2 / (2\pi) \times \tanh(2\pi \times 10.95/L) = 111.37 \\ S = 2.00/1.03 = 1.94 \\ x = .061 \\ N_s = \text{MAX}(1.8, 5.77) = 5.77 \\ W = \frac{2.00 \times 5.90^3}{5.77^3 \times (1.94 - 1)^3} = 2.56$$