

第七章 津沙海堤方案規劃

依前述各章節之現場調查及海岸防護設施功能分析評估之結果，參考選定區域週邊海岸空間利用，並配合當地都市規劃等相關規劃工作，針對本計畫津沙海堤，研擬相關規劃構想理念，配合不同的海岸環境空間營造手法，建議營造改善初步構想；並進行佈置與功能設計後，再概估工程經費、計畫評價與相關配合工作之建議。

7.1 規劃理念與手法

在防止越波溢淹或海岸侵蝕之措施，在設計上除要求結構物本身安全並發揮最大保護效果外，應使其對鄰近海岸之影響降至最小。一般防止海岸侵蝕之保護工法分成剛性工法與柔性工法兩種。前者屬於傳統工法，相關工法包括：(1)海堤與護岸；(2)突堤；(3)離岸堤等。後者則考慮自然海灘特性和海岸景觀，國內外常見的包括：(4)人工潛礁或潛堤；(5)人工岬灣；(6)人工養灘等。如何以上述方法或彼此搭配使用，以利用波浪、漂沙之特性達到海岸保護之目的，則應配合所確立之保護目標與原則研擬方案。

目前正研擬分析上述單一種工法或者整合式工法，來達到控制波浪之目的，並將從各種工法的安全性、經濟性、施工性、環境衝擊及景觀等因素來評估，本計畫針對津沙海堤，整理出有關各種海岸保護工法及其優缺點詳表 7-1 所示。

綜合上述各工法優缺點，可知突堤、離岸堤和人工岬灣之工法較不適用於津沙海堤改善，故本計畫將參考 ISPS 整合離岸堤、人工養灘及緩坡海堤整合式工法及單一工法潛堤及人工養灘，再透過溯升及越波量分析，探討各種改善策略與方案之效能，並依據分析結果綜整、比較三個方案之優劣性後，提出較佳及可行之改善佈置方案(含海堤斷面圖、平面配置圖、透視圖及經費預估等)。

表 7-1 海岸保護對策工法之比較

項目	海堤+護岸+養灘+潛堤	離岸堤	突堤	潛堤	人工岬灣	人工養灘
1. 向離岸型漂砂淤砂效果	佳	佳	尚可	尚可	配合養灘較佳	需補充砂源
2. 降低波高功能(安全性)	佳	佳	無	佳, 較大波高時須採加寬堤寬或數列潛堤	對固定波向較有效, 大波浪時較差	可有效消減波能, 養灘長度若不足, 需配合其他工法禦浪
3. 對環境景觀衝擊程度	如利用塊石等天然材質, 將對環境及景觀衝擊程度較小	易阻擋潮水交換影響水質、視覺亦有阻隔	大, 通常以混凝土消波塊作為被護層保護, 不僅防礙觀海視線, 更因凌亂消波塊破壞海岸景觀	小, 對海水循環防礙較小, 對生態環境影響相對減輕, 而結構物不露出水面對景觀破壞較少	配合現地景觀佳	小
4. 經濟性	普通	經費較高	普通	經費稍高	經費稍高	經費稍高, 沙源不易取得, 且每年養灘需有維護費用
5. 施工性	施工方便	海上施工	普通	海上施工	普通	普通
6. 是否需配合措施	無, 可搭配平台增加防禦功效	砂源不足, 須配合養灘	無	砂源不足, 須配合養灘	配合養灘效果更佳	無
7. 漁民安全	影響低	船隻航行不易, 夜間需配警示標幟	影響低	船隻航行不易, 夜間配警示標幟較佳	夜間配警示標幟較佳	影響低
8. 是否適用於沙海堤	O	X 計畫區潮差較大, 且離岸堤易阻擋潮水交換, 影響水質	X 計畫區為天然灣澳, 不適用	△	X 計畫區為天然沃口	△

備註： O：良 △：尚可 X：劣

7.2 海岸現況評估

本節茲透過波浪溯上與越波量水理推估模式，不考量未來海水位上升之影響，進行現有海岸防護設施改善空間評估作業，根據津沙斷面波浪溯上與越波量推算結果顯示，於重現期 50 年波浪條件下，於現況海岸斷面之最大波浪溯上高程(R_{2%})el 約分佈在 9.70m，超越堤頂，安全餘裕不足，且其平均越波量為 0.035m³/sec/m，如加高海堤 3m，雖可達到安全標準，但也造成景觀的不協調，有必要尋求可行性方案以降低越波量。

7.3 方案規劃

依海岸環境特性及現有海岸防護設施改善可行性評估結果，整合相關單位之既有計畫，並納入海岸緩衝區理念，規劃兼顧防災及保育之海堤區域環境永續利用示範區。

海堤設施改善原則，將優先考量防災需求，相關工程措施應盡可能融入自然工法理念，降低對現地生物棲息環境之衝擊，以營造適意的海岸景觀空間及多元化之使用機能。本節將綜合各段海堤現況情形，包括現況堤面坡度、材質、越波風險及堤後利用狀況，研擬堤身改善規劃措施。

7.3.1 方案佈置

本段海堤堤後為 10m 寬道路，道路另一邊緊鄰民房，現況堤

前大致維持自然海岸景觀，但海堤高度阻絕海灘親水功能，若能改善海堤防護設施，將可提升本段海岸景觀美質，營造更優質之觀光環境。另外以安全性為考量，為削減近岸波能，除現況之零方案外，根據表 7-1 及表海岸保護對策工法之比較結果，本計畫採用面的保護方式共規劃三種佈置方案以消減波能，提升環境品質，各佈置方案詳細說明如下：

一. 方案一：海堤改善+護岸

(一). 堤頂高

現況堤頂高 6.7~7m，高於現有路面約 3.2~3.6m，防礙人與水之間親水關係，依據設計要領在不致於造成災害危險、堤防損害之安全容許範圍內，可考慮容許少量波浪越波之安全越波量設計之，俾能降低堤高減緩視覺障礙與親水方便，有利於與環境之融合，越波量則於堤後設置排水溝再排洩入海，因此不加高海堤，但也考慮當地民眾對於降低堤高對於安全虞慮，海堤的高程保持現況 7m，未來建議持續觀測波浪是否有越波的情形，如果無可以是重行檢討堤高是否有降低高度的可能性。

(二). 回波牆

反波式海堤可折回波浪方向避免波浪越堤外，比垂直式海堤更能有效消滅越波量，但原有回波效果不佳，回波牆需考慮出射角角度及反射之波浪不得直接跌入沙灘引起沖刷，盡可能射入坡面，施作護岸

平台以避免海堤基腳淘刷，新舊海堤交接處須植剪力鋼筋避免分離，堤頂要封頂避免海水滲入海堤影響壽命，其示意圖詳所圖 7-1 示。



圖 7-1 回波牆示意圖(單位 m)

(三). 護岸平台

堤前拋放塊石形成天然材料多孔性緩坡式海堤，吸收波浪能量降低溯升及越波量，有利滲透降低上舉力並可避免波浪之反射及回刷(Downrush)，也能與自然海岸互相融合，有利生態與景觀，但考慮堤內高程約 3.5~4m，研擬平台高程 3m 處，平台寬 4m，堤面坡坡度 1/2 複式斷面型式，以計畫區海岸線保護長度約為 100m 計算，塊石需求體積 $V = 100 \times 16 = 1,600 (m^3)$ 。

(四). 堤趾

海岸結構物之存在常因波浪之反射及回刷(Downrush)而使波浪及流速增加，堤趾沖刷常會導致結構物之破壞，沖刷與海岸安定息息相關於設計之際不得不加以注意。

最大沖刷深度大致發生在捲波型碎波於在堤趾落下時。過大之波浪未達堤已先碎波，反而不致於造成影響。通常堤前水深大於三倍波高時無沖刷現象或可忽視，波浪剛好在堤趾碎波時，亦即水深約小於二倍最大波高時沖刷最深，沖刷水深/波高比 h_s/H_s 之關係如圖 7-2。

依據實驗陡坡堤及近垂直結構物之沖刷深度，於波浪尖銳度 $S_{mo} = 0.02 \sim 0.04$ 波浪作用下近似於入射波波高，而捲波型碎波發生於堤腳時，最大沖刷深度又與反射率有關，故光滑不透水堤沖刷較深。因此如在堤腳部份加 1:3 之緩坡即可減低反射及沖刷。1:3 不透水堤可比直立堤減少 20~50%之沖刷深，堆石堤幾乎無明顯沖刷甚致可能有淤積。故方案一堤趾採取拋塊石之緩坡式海堤將有助於避免回波牆之沖刷。

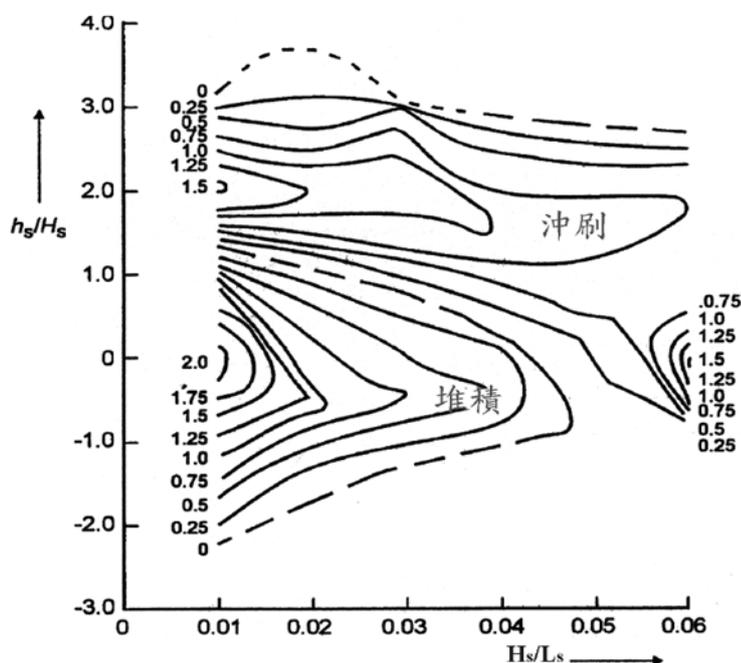


圖 7-2 垂直海堤前之相對沖刷深度圖

設置基礎保護工之目的在防止沖刷引起之結構物破壞，並防止被覆層之滑動，故基礎保護工之深度需依沖刷深度決定，依 SPM(1984) 建議砂灘之沖刷深度 d_s 如下：

$$d_s = 1.8H_s \quad (7-1)$$

故方案一之堤趾參考海岸防護及環境復育規劃參考手冊(郭,2010)，採取之基礎保護工型式為深埋式，深埋深度為 2.27m 以上，再回填砂或卵石或骨材(參照圖 7-3)。

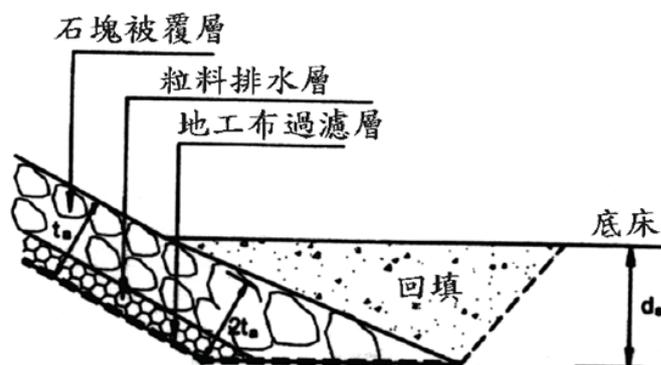


圖 7-3 基礎保護工法(SPM1984)

研擬緩坡式海堤搭配養灘，有利於與環境之融合親水方便，平面如圖 7-4 圖 7-5 所示，堤體斷面如所示，其斷面特性如下：

- a. 頂高程：EL.+7.0m
- b. 堤頂：採回波牆設計
- c. 護岸平台：寬度 4m，高程 EL.+3m，可降低溢流量也可避免基腳沖刷。

- d. 護岸外坡:坡度 1:2
- e. 護岸材料：依據設計波浪條件及 Hudson 公式計算堤址高程所需塊石重量，採用 0.66 噸為宜。故在設計塊石重量時，採用 0.66 噸以上。



圖 7-4 津沙海堤方案一平面圖

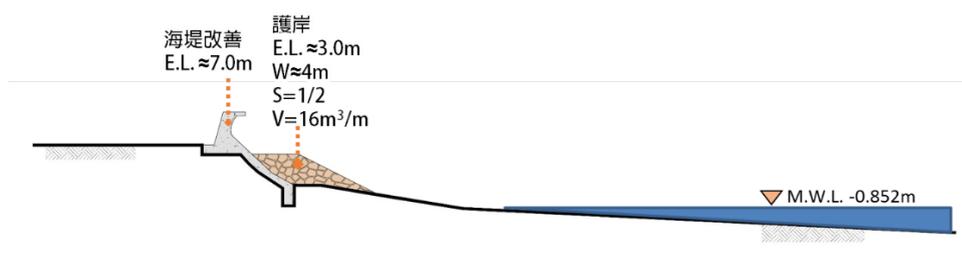


圖 7-5 津沙海堤方案一斷面圖

經評估溯升高 2.08m 高程 5.73m 低於現況 7m 及溢流量 4.5×10^{-9} cms/m。

二. 方案二：海堤改善+護岸+養灘+潛堤

(一). 堤頂高

詳如方案一。

(二). 回波牆

詳如方案一。

(三). 護岸平台

詳如方案一。

(四). 堤趾

詳如方案一。

(五). 養灘灘台高度

海灘受潮汐水位及波浪大小變化作用，有些呈現均勻剖面但亦有一或數道灘台者，一般而言低灘台乃在正常波浪推移底床質作用下所形成，而高灘台則為暴風波浪所形成。人工養灘安定性評估中，為避

免養灘區於高潮時波浪越過灘台頂，一般而言建議人工養灘之灘台高度可以原海岸之高灘台做為指標或後灘平台高度可由溯升高公式推算灘台高度應比年機率 2%波浪之溯升高加高潮位略高些，溯升高(R)採用栗山等(2005)公式推算之。

$$\frac{R}{H_o} = 52 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-2.7} \quad \frac{H_o}{L_o} \geq 0.013 \quad (7-2)$$

$$\frac{R}{H_o} = 8.25 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-0.461} \quad \frac{H_o}{L_o} < 0.013 \quad (7-3)$$

式中

H_o ：深海波波高(m)

L_o ：深海波波長 (m)

依據設計波浪條件及栗山公式計算溯升高(R) 0.61 m，平均高潮位 1.257，灘台高度 1.867m，採用 2m。

(六). 養灘坡度

方法 1：採用 Sunamura(1984)建議之迴歸方式如圖 7-6，津沙海灘砂徑 d_{50} 採用 0.25mm，納入波浪相關要素考量，可得 $\tan\beta \cong 0.22$ ，坡度約為 1:5。

方法 2：參考 CEM 之建議，以養灘土壤粒徑決定養灘坡度，詳表 7-2 所示。由於本計畫區鄰近海域中值粒徑介於 0.20mm~0.50mm 間，參照 CEM 之建議坡度，上側坡度為 1:15~1:10，下側坡度為 1:20~1:15，

統一採用 1:15。

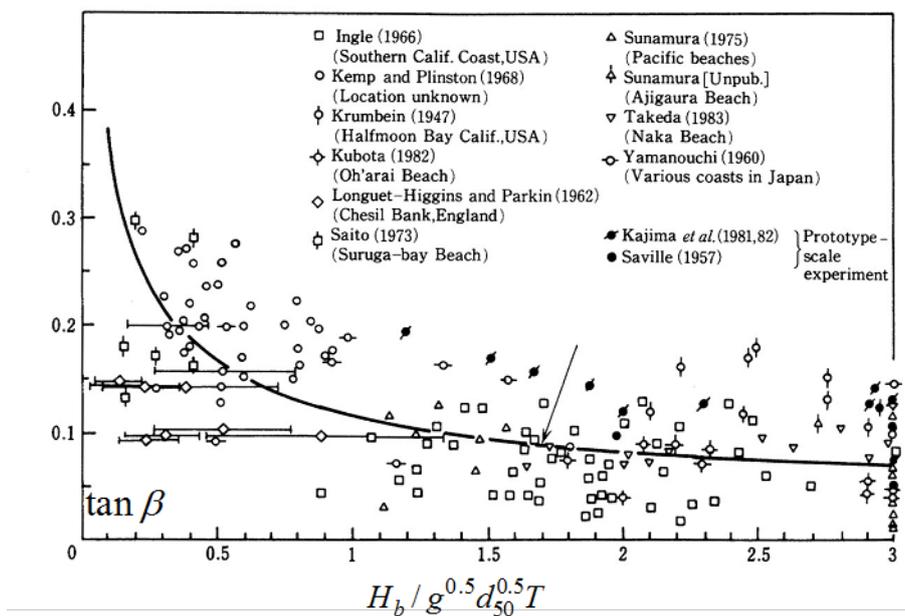


圖 7-6 沙灘表面坡度迴歸圖(Sunamura，1984)

表 7-2 養灘粒徑與向海側坡度對應表

中值粒徑(mm)	上側坡度	下側坡度
$D_{50} < 0.2$	1:20~1:15	1:35~1:20
$0.2 < D_{50} < 0.5$	1:15~1:10	1:20~1:15
$D_{50} > 0.5$	1:10~1:7.5	1:15~1:10

(七). 養灘

起始養灘高程為 EL.+2.0m、25%流失率，以計畫區海岸線保護長度約為 100m 計算，養灘需求體積 $V = 150 \times 100 \times 1.25 = 18,750 (m^3)$ 。

(八). 潛堤

潛堤設置避免養灘沙源流失其位置於水深-4m 處，距既有海堤堤線約 70m，堤頂高程-1~-1.5m，堤寬 6m，長度約為 150m 計算，採用 8 噸消波塊為主(詳方案三)約 300 塊。

研擬緩坡式海堤搭配養灘，有利於與環境之融合親水方便，平面如圖 7-7 圖 7-8 所示，堤體斷面如所示，其斷面特性如下：

- a. 頂高程：EL.+7.0m
- b. 堤頂：採回波牆設計
- c. 護岸平台：寬度 4m，高程 EL.+3m，可降低溢流量也可避免基腳沖刷。
- d. 護岸外坡:坡度 1:2
- e. 護岸材料：依據設計波浪條件及 Hudson 公式計算堤址高程所需塊石重量，採用 0.66 噸為宜。故在設計塊石重量時，採用 0.66 噸以上。

- f. 起始養灘高程：EL.+2.00m。
- g. 養灘：起始高程：EL.+2.00m，海灘砂徑 d50 採用 0.25mm 以上，坡度 1:15，體積 18,750 (m³)
- h. 潛堤：位置高程-4m，頂高-1m，堤寬 6m，採用 8 噸消波塊為主(詳方案三)約 300 塊。



圖 7-7 津沙海堤方案二平面圖

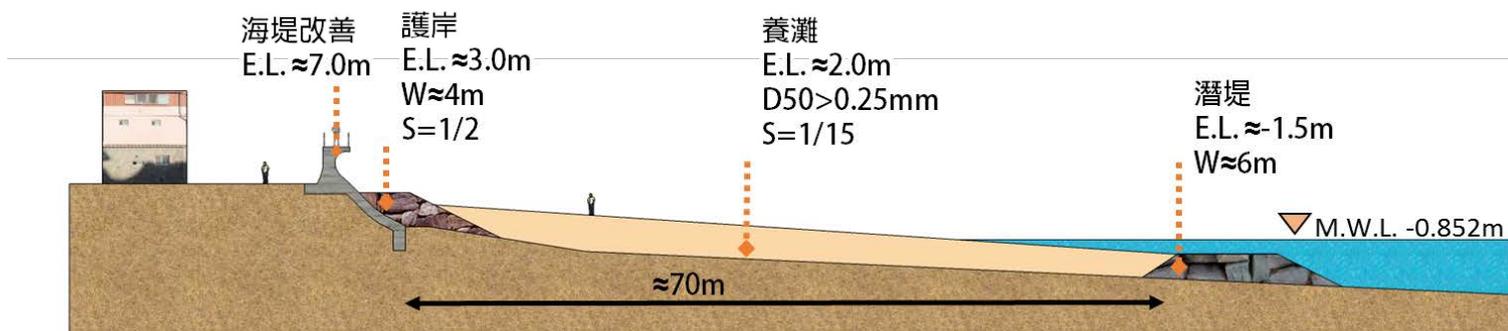


圖 7-8 津沙海堤方案二斷面圖

(九). 工程措施安全分析

養灘及潛堤為景觀考量，不計消能效益，經評估同方案一，溯升高 2.08m 高程 5.73m 低於現況 7m 及溢流量 $4.5 \times 10^{-9} \text{cms/m}$ 。

三. 方案三：潛堤

本方案三為在既有海堤下，於海中設置潛堤。潛堤為一突出海底潛沒於水面下藉其形狀(堤頂水深、堤寬、坡度、空隙)，使入射波產生碎波、分裂、滲透、反射或折射等，減衰入射波能量或改變其進行方向，抑制堤背後透過波能量，減少海岸災害或控制海灘之結構物。其功能為：

1. 強制波浪提早碎波：藉堤頂水深小於底床並小於入射波之碎波界限，強迫大於堤頂之入射波發生碎波使波能減衰。
2. 促進波浪分裂：經由寬潛堤堤頂促使入射波分裂產生高頻成

份波轉移主成份波能量。

3. 藉潛堤透水性使波動產生之滲透水流因摩擦、擾亂而損失波能。
4. 藉潛堤形狀及其平面佈置，使波浪發生折繞射改變波浪進行方向，並使之碎波減衰波能，同時改變沿岸流流向控制漂砂分佈。
5. 促使波高減衰使海堤溯升及溢流降低，減少災害並安定海灘。
6. 抑制水流及波高，以利水中及底棲生物棲息。

一般潛堤如一般傳統式之離岸堤斷面大約堤頂寬只有 3~5 個消波塊，約數公尺寬與波長比甚小者，主要目的在藉堤體產生碎波及波浪分裂減衰波能。

(一). 潛堤位置

通常潛堤位置距海岸線約在 50~200m 之間，距離之設置與波浪週期及海灘坡度有關，一般都設置於水深 2~4m 處。津沙海岸目前現況之前灘不寬，水深-4m 處距既有海堤堤線約 70m，堤線如設置於碎波帶內則可有效抑制波浪。根據上述建議離岸潛堤之佈設水深約在 -4m 處。

(二). 堤長

潛堤堤長(B)應有一波長(L)以上為宜。於緩坡海岸設置堤長比 $B/L \cong 1.2 \sim 1.6$ 即能使波高明顯降低。如設置於水深 4m 處時堤長應有 153~204m($1.2 \sim 1.6L$)長即能有效使波高減衰，但津沙海岸因屬沃口，水深 4m 處寬度僅約 155m。

(三). 開口寬

潛堤開口寬通常約為一波長或大於一波長而小於 2 波長(堤趾波長)或離岸堤長之 $1/3 \sim 1/4$ 約在 25~50m 間，以避免產生離岸流，或者開口內側海灘侵蝕後退到原灘線內側，本計畫考慮津沙海岸當地舢舨進出，開口設計採 25m，但開口處流況，建議另案數值及水工模型分析。

(四). 堤高

本計畫區堤趾水深約在 -4.0m 水深處，離岸潛堤堤身為達到長期間沒水效果，堤頂高程需在平均低潮位 EL.-0.852m 以下，故以 EL.-1.0m 設定。另開口處堤頭則需長時間出水面，以達到船隻進出安全警示效果，堤頭之堤頂高程設定在平均高潮位 EL.+1.257m 以上，故採用三層消波塊排列設定。若考量設計水位 EL.+3.65m，則堤身之堤頂水深約為 4.65m($=+3.65 - (-1.0)$)，就 $H=0.78d$ 之碎波指標而言，堤前波高為 3.627m ($=0.78 \times 4.65$) 以上即可於堤頂達到碎波之條件，因此，在颱風波浪來襲 (以 50 年颱風波浪之潛堤堤趾波高介於 3.72m) 時，潛堤可

有效消滅波浪之能量。

(五). 堤頂寬

潛堤可藉由堤體寬度達到消滅波能之效，其功能則可視為潛礁。茲依據堤頂高程(EL.-1.0m)之設定，並考量相當外海波高為 5.58m 之條件，本計畫初步採用 van der Meer & d' Angremond (1991) 之經驗式計算入射波透射過後之波浪大小，透射係數(Kt)與堤頂潛沒水深之關係圖、透射係數(Kt)與堤頂寬度之關係圖，各如圖 7-9、圖 7-10 所示。分析潛堤之寬度增加與透射率之關係詳圖 7-11，由圖可知，堤寬由 5m 增加至 50m 之後，則波浪透射率由 0.65 降至最低約為 0.15，考量透射率越大，波浪衰減幅度越小，其海岸保護功能越小，故堤體寬度之增大對海岸保護及生態功能皆有極大之助益，惟工程經費將增加。

為確保安全性，本計畫整理潛堤堤頂寬與越波量之關係圖如圖 7-11 所示，以越波量不超過 0.01cms/m 的情況下，對應的潛堤堤頂寬約為 35m，故初步建議堤寬設計採 35m，其透射率約為 0.44。

van der Meer & d' Angremond (1991)之經驗式如下：

$$C_t = \left(0.031 \frac{H_s}{D_{n50}} - 0.24\right) \frac{R_c}{D_{n50}} + b \quad (7-1)$$

maximum $C_t = 0.75$, minimum $C_t = 0.075$ conventional structure

maximum $C_t = 0.60$, minimum $C_t = 0.15$ reef type structure

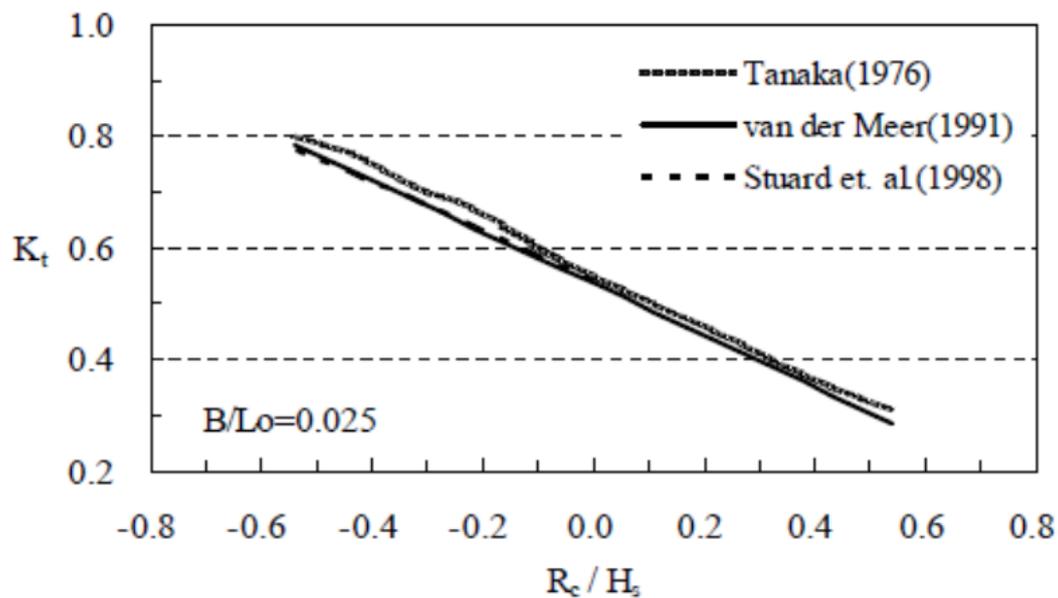


圖 7-9 透射係數(K_t)與堤頂潛沒水深之關係圖

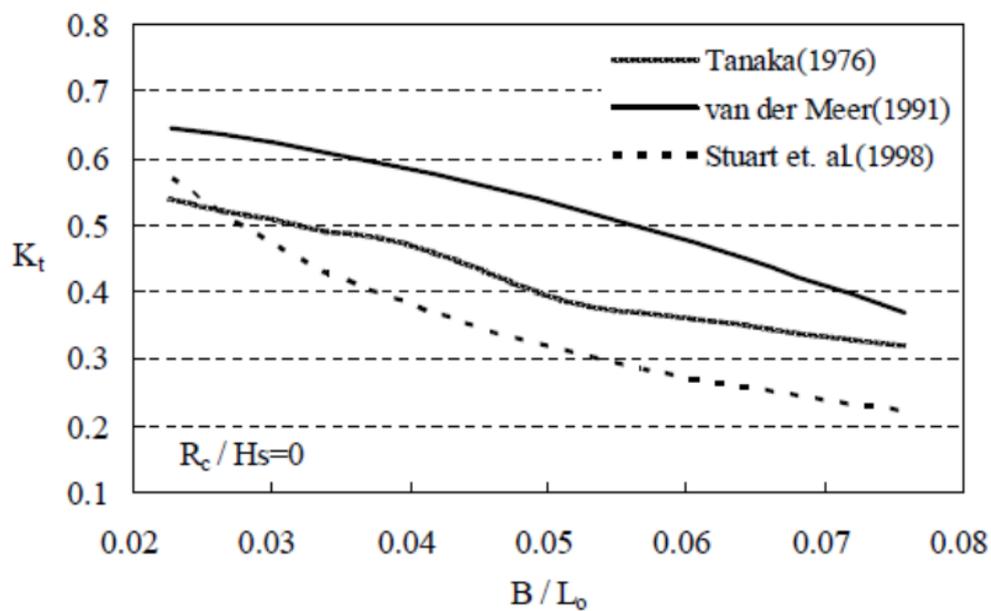


圖 7-10 透射係數(K_t)與堤頂寬度之關係圖

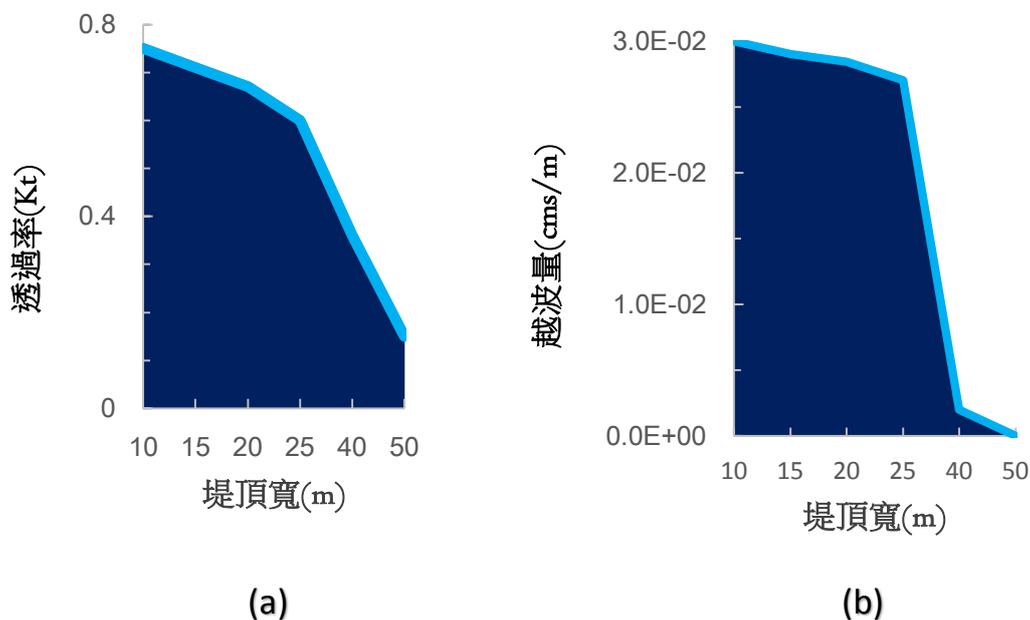


圖 7-11 (a)潛堤寬度與透射率 (b)潛堤寬度與越波量

(六). 塊石重量

塊石重量採用 Hudson 公式推算之。

$$W = \frac{\gamma_s H_s^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (7-2)$$

式中 W : 護面塊重量 (t)

γ_s : 護面塊單位重 (t/m^3 , 採 $2.3t/m^3$ 計)

H_s : 堤前設計波高 ($H1/3 \sim H1/10$, 採 $5.13m$ 計)

K_d : 穩定係數(穩定係數 $K_d=9$, 依「港灣構造物設計基準」

之防波堤設計基準及說明, 鼎形塊 K_d 值介於 $9 \sim 10$ 間, 故本

案設計採用9作為設計依據。)

S_r ：護面塊對海水比重(採1.03計)

α ：斜面與水平面之夾角(本案實際消波塊係以水平雙層排列放置，惟設計仍保守採用坡度1:2計算)

依據設計波浪條件及 Hudson 公式計算離岸潛堤之堤址高程所需塊石重量，水深在 EL.-4.0m 內重量以採用 8 噸消波塊為主，開口處加重 1.5 倍。

依據堤體斷面初擬之尺寸及消波塊重量，研擬潛堤之平面如圖 7-12 所示，堤體斷面如圖 7-13 所示，潛堤之斷面特性如下：

1. 堤頂高程：堤身 EL.-1m、堤頭 EL.+1.3m 以上
2. 堤頂寬度：至少 35m(8T 消波塊，堤身及堤頭分別採雙層及三層排列)
3. 堤體材料：採用高孔隙之消波塊或塊石及襯墊為主。
4. 堤體功能：堤體透射率約 0.44。

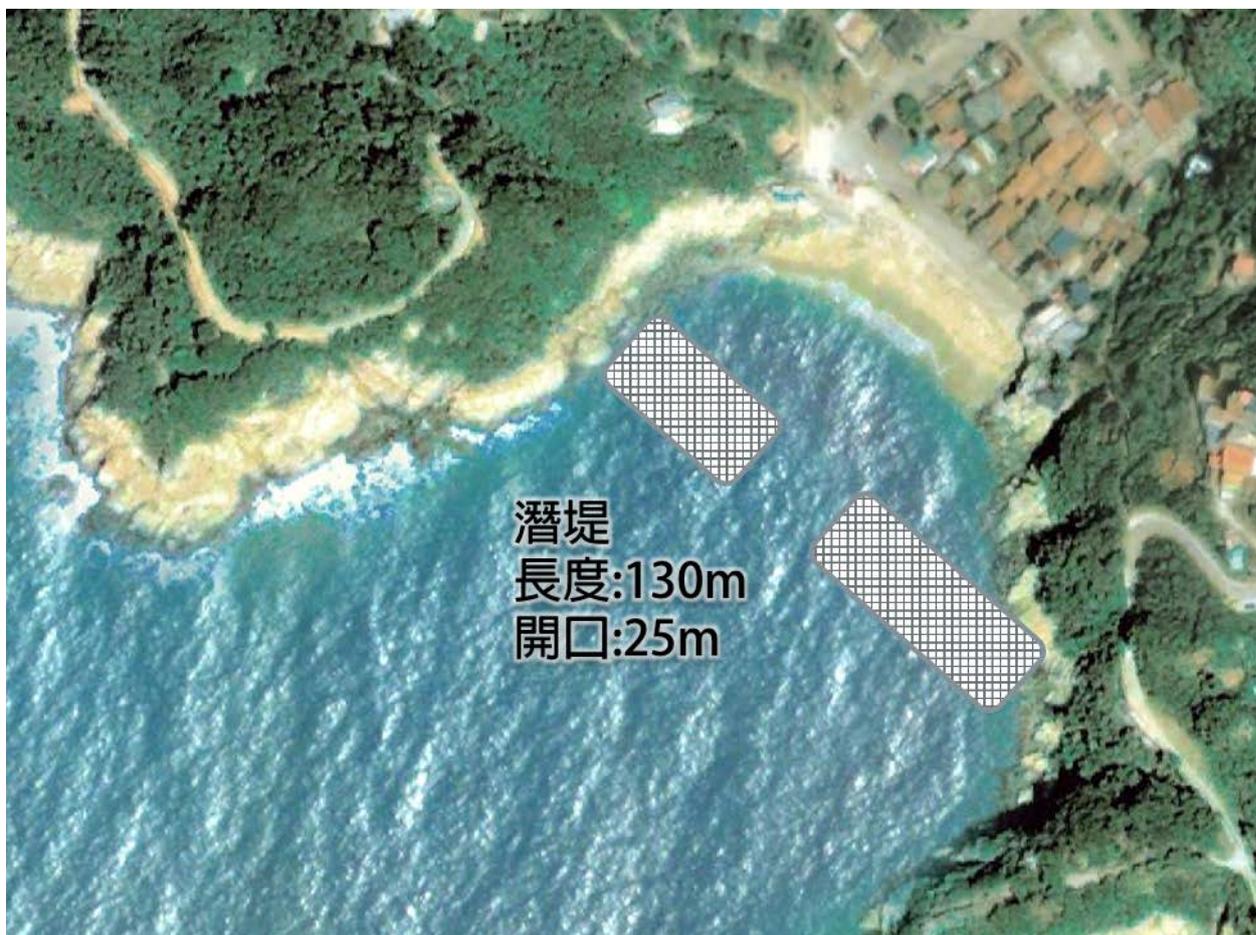


圖 7-12 津沙海堤方案三平面佈置圖

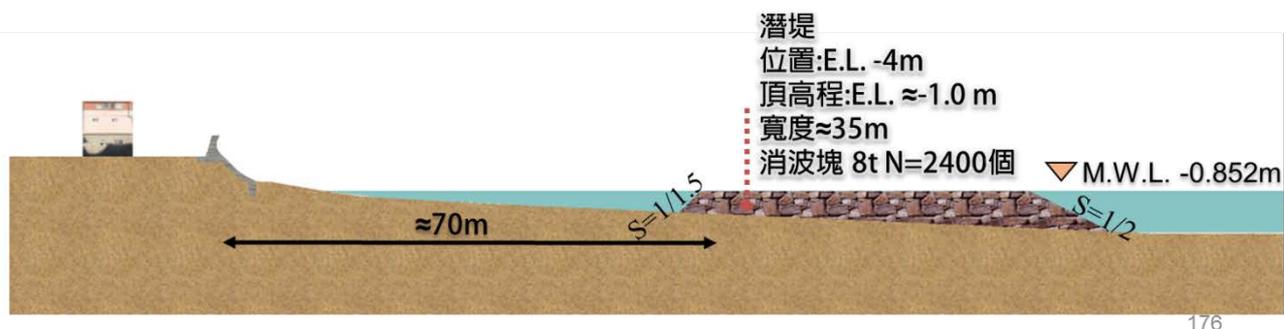


圖 7-13 津沙海堤方案三斷面佈置圖

四. 方案四：人工養灘

(一). 灘台高度

一般而言建議人工養灘之灘台高度可以原海岸之高灘台做為指標，或後灘平台高度可由溯升高公式推算，依栗山公式計算溯升高(R) 0.61 m，平均高潮位 1.257，灘台高度 1.867m(詳方案一)，考慮環境現況，故起始養灘平台高程可保守採 EL.+3.50m。

(二). 養灘坡度

依據 Sunamura(1984)建議之迴歸方式，坡度約為 1:5，而參照 CEM 之建議坡度，上側坡度為 1:15~1:10，下側坡度為 1:20~1:15，見方案一。

綜合上述方法，並考量現地坡度 1/20，未來養灘粒徑與現地相近下，故建議坡度採 1:20。

(三). 平台寬度

平台寬度通常受限於工程經濟性、環境影響，當工程費用充裕、借土區沙源豐富，且拓寬之沙灘在不嚴重影響底棲生物生存的前提下，增加平台寬度是被允許的，但其最佳寬度仍需考慮受暴風侵蝕影響之效益性。基此，平台寬度以大潮平均高潮位(EL.+1.75m)下仍保有一定量之緩衝空間為目標，且施工時之最大平台寬度將加上因結構物造成之岸線變化，以及颱風波浪作用下平台可能之減少寬度。假設颱風期間灘線退縮距離以 20m 估計。

受颱風影響下仍有 20m 之寬度，推算於平台起始高程 EL. +3.50m 處之平台寬至少需 40m。

(四). 養灘需求體積

起始養灘高程為 EL.+3.50m、25%流失率，以計畫區海岸線保護長度約為 100m 計算，7.8 萬方(見 7.3.2)。

人工養灘之平面佈置如圖 7-14 所示，斷面佈置如圖 7-15 所示。其斷面特性如下：

1. 養灘平台高程：EL.+3.50m

2. 起始養灘平台寬度：40m
3. 養灘沿岸長度：100m
4. 養灘需求體積：7.8 萬方

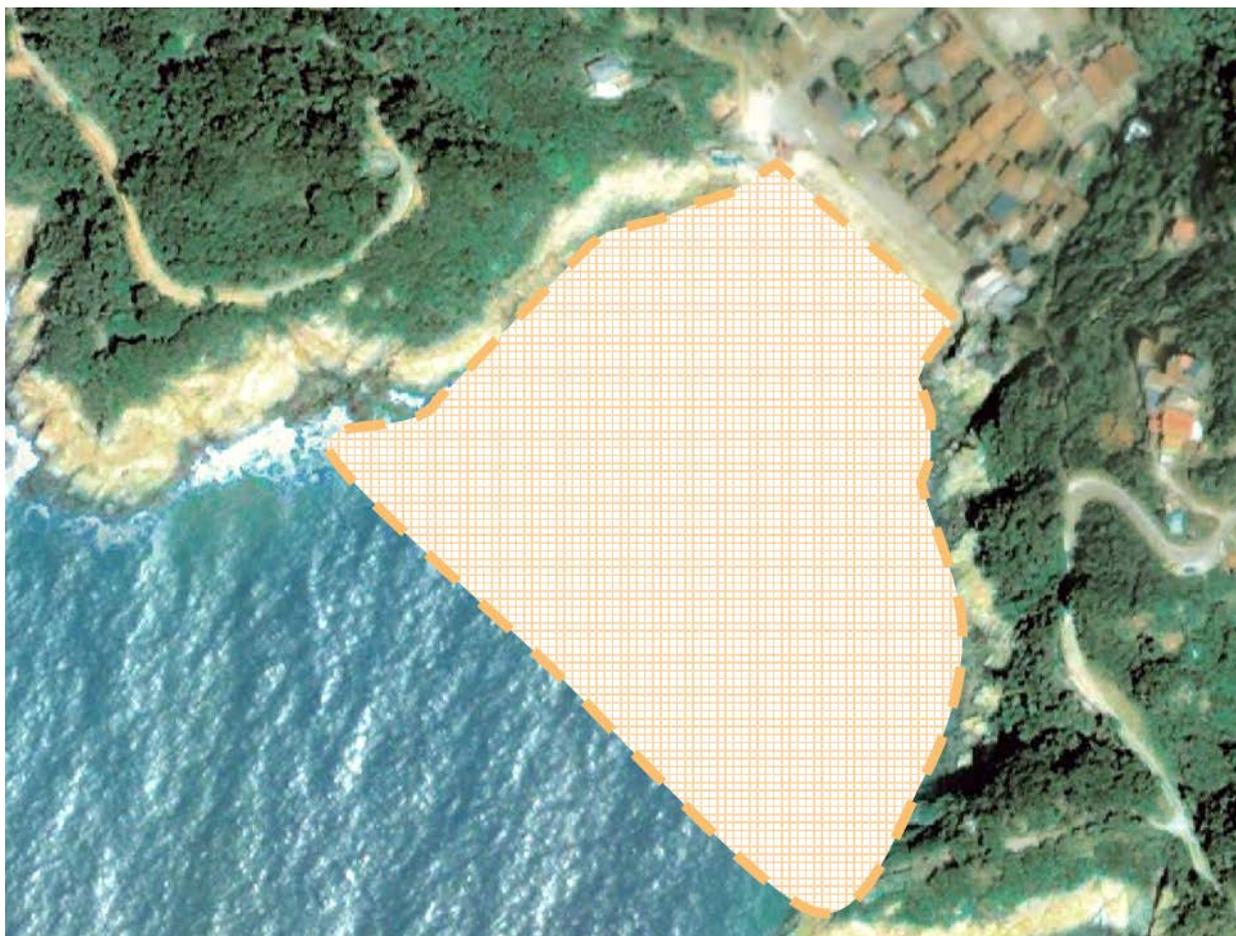


圖 7-14 津沙海堤方案四平面佈置圖

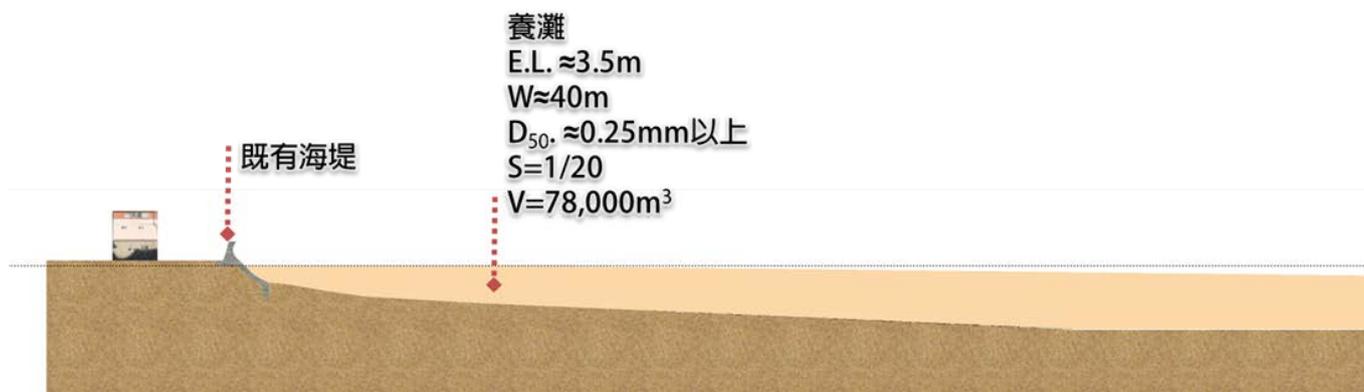


圖 7-15 津沙海堤方案四斷面佈置圖

7.3.2 工程數量及經費估算

一. 工程數量

依照各工程規劃設計斷面圖及其設計長度、高度概估工程數量，說明如下：

(一). 方案一：海堤改善+護岸

本計畫以敲除原有堤頂約 50 公分，並以植筋方式將既有海堤改善為回波牆型式，海堤改善長度約 100 公尺，。除此之外，回波牆改善後因堤頂寬為 2m，可於堤頂營造休憩空間，做為環境營造之用。

另外緩坡式護岸以鋪排塊石為主，護岸於高程 3m 處施作 4m 寬平台，並於外側施作 1:2 之緩坡，緩坡之斷面積約 16m²，以施作長

度約 100m 計算，塊石體積需求數量為 1,600m³。

(二). 方案二：海堤改善+護岸+人工養灘+潛堤

本計畫除方案一海堤改善及護岸改善外，考慮景觀做為環境營造之用。

另外施作養灘及潛堤，養灘需求體積 18,750 m³，潛堤需求 8 噸混凝土塊約 300 塊。

(三). 方案三：潛堤

潛堤設置於水深-4m 處，長度約為 130m，寬度約為 35m，以開口堤頭處三層，其餘採二層排列，共計約需 2,400 個混凝土塊。

(四). 方案四：人工養灘需求體積

養灘需求體積若假設養灘區與抽沙區粒徑相近下，依 CEM 建議可採 (相關參數示意圖，詳圖 7-16 所示)： $V = W \times (B+DC)$

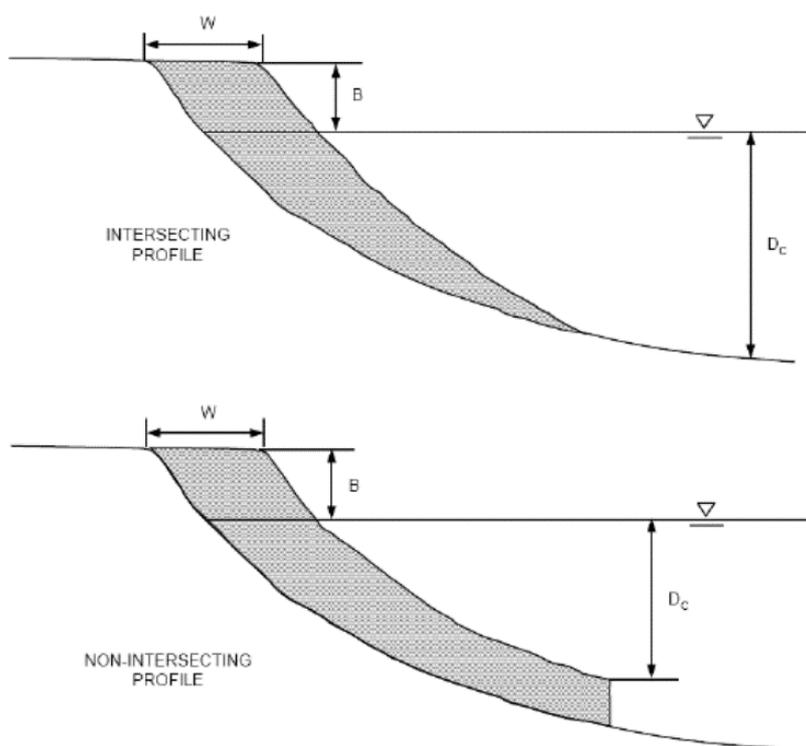
其中，V:養灘需求體積(m³/m)

W：養灘平台寬度(m)，採 40m 計。

B：平均潮位至養灘平台高程距離(m)，採 4.352m 計。

DC：漂沙限界水深(m)，採 11.14m 計。

依前述之設計條件及 CEM 所建議養灘量之計算方式，考慮起始養灘高程為 EL.+4.0m、25%流失率，以計畫區海岸線保護長度約為 100m 計算，養灘需求體積 $V = 40 \times (4.352 + 11.14) \times 100 \times 1.25 = 77,460$ (m^3)。保守建議本計畫之起始養灘平台寬度為 40 m 下，養灘量為 7.8 萬方。



資料來源：Coastal Engineering Manual(2003), part V

圖 7-16 養灘需求公式參數示意圖

依照各工程規劃設計斷面圖及其設計長度、高度概估工程數量，綜整各方案數量詳表 7-3，至於詳細確實之工程數量，應依施工時測量、設計所得之數據為準。

表 7-3 各方案工程數量概估一覽表

方案	改善內容	工程數量概估
一	海堤改善+護岸	海堤改善：長度約100m 緩波式護岸（塊石）：1,600m ³
二	海堤改善+護岸+人工養灘+潛堤	海堤改善：長度約100m 緩波式護岸（塊石）：1,600m ³ 人工養灘體積：18,750m ³ 潛堤：8噸混凝土塊約300塊
三	潛堤	潛堤：8噸混凝土塊約2,400塊
四	人工養灘	人工養灘需求體積：7.8萬m ³

二. 各項工程基本單價分析

各項工程基本單價依規定應依據經濟部水利署現行頒布之工資、工率分析主要工程細目單價，再根據各項工程之工程數量進行各項工程基本單價分析，然因本計畫區域位於離島，其單價異於臺灣本島之價格，故相關單價將參考馬祖地區之相關單價。

其中於「連江縣南竿鄉津沙海堤及復興村沃口海堤整建規劃」規劃報告中，人工養灘單價雖為 600 元/m³，本計畫參考最近決標工程「馬祖南竿鄉復興村沃口海堤海岸環境改善工程」物價，將人工養灘單價預算調整為 1,200 元/m³；另塊石鋪設單價調整為 1,500 元/m³，另外在大宗資材方面，混凝土價格約為臺灣本島的 2 倍，210kg/cm² 混凝土以 4000 元/m³ 估算，鋼筋以 42 元/kg 估算。

在方案一及二，既有海堤堤頂敲除、運棄及回波牆，海堤改善約 100m，回波牆建造費約 100,000 元/m，堤頂環境營造約為 10,000 元/m。

三. 工程費估計

工程建造費包括直接工程成本、間接工程成本、工程預備費及物價調整費等，綜上，依前述津沙海堤之海岸防護方案，本計畫估算相關之工程經費如表 7-4~表 7-7 所示。

四. 用地取得及拆遷補償費估計

本計畫無用地取得及拆遷補償費費用。

五. 總工程費估計

總工程費為用地取得及拆遷補償費與工程建造費之合計，實施計畫階段則增加估列設計階段作業費用等，因本工程無用地取得及拆遷補償費，故工程建造費即為總工程費，經分析可知，方案一約需 1,860 萬元，方案二約需 5,910 萬元，方案三約需 8,154 萬元，方案四約需 12,636 萬元。

表 7-4 方案一經費概估表

項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價	備註
壹	直接工作費					
1	海堤改善	m	100	100,000	10,000,000	
2	堤頂步道及環境營造	m	100	10,000	1,000,000	
3	塊石鋪設	m ³	1,600	1,500	2,400,000	
4	襯墊(織布)及鋪設	m ²	1,000	175	175,000	
5	整坡	式	1	200,000	200,000	
	小計				13,775,000	
貳	間接工作費	式	1	2,755,000	2,755,000	約直接工作費20%
參	工程預備金	式	1	2,070,000	2,070,000	約直接工作費15%
	總計				18,600,000	

表 7-5 方案二經費概估表

項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價	備註
壹	直接工作費					
1	海堤改善	m	100	100,000	10,000,000	
2	堤頂步道及環境營造	m	100	10,000	1,000,000	
3	塊石鋪設	m ³	1,600	1,500	2,400,000	
4	襯墊(織布)及鋪設	m ²	1,000	175	175,000	
5	整坡	式	1	200,000	200,000	
6	人工養灘	m ³	18,750	1,200	22,500,000	
7	混凝土塊(8噸)	個	300	25,000	7,500,000	
	小計				43,775,000	
貳	間接工作費	式	1	8,755,000	8,755,000	約直接工作費20%
參	工程預備金	式	1	6,570,000	6,570,000	約直接工作費15%
	總計				59,100,000	

表 7-6 方案三經費概估表

項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價	備註
壹	直接工作費					
1	混凝土塊(8噸)	個	2400	25,000	60,000,000	含搬運及鋪設
2	整坡	式	1	400,000	400,000	
	小計				60,400,000	
貳	間接工作費	式	1	12080000	12,080,000	約直接工作費20%
參	工程預備金	式	1	9,060,000	9,060,000	約直接工作費15%
	總計				81,540,000	

表 7-7 方案四經費估算表

項次	項目及說明	單位	數量	單價	複價	備註
壹	直接工作費					
1	人工養灘	m ³	78,000	1,200	93,600,000	
	小計				93,600,000	
貳	間接工作費	式	1	18720000	18,720,000	約直接工作費20%
參	工程預備金	式	1	14,040,000	14,040,000	約直接工作費15%
	總計				126,360,000	

7.4 各方案綜和評價及優選方案

計畫優選是決策過程中不可或缺的一項重要工作，在許多不同優劣的方案中，決策者要決定何者為最佳或最適之方案，必須透過一些客觀、合理的評估方法對各方案加以評估。

依據前述規劃方案，本計畫概由海岸防護能力提升改善成效、工程經濟性及海岸環境改善等三面向，進行方案評比，以擇優選定做為近期改善之最終建議方案。

一. 海堤生態棲地評估

本計畫採用「一般性海堤生態棲地調查」(2013)建議做為評估各方案對生態棲地的影響。

(一). CHGM 模式

CHGM 評估內容主要分為「棲地影響因子」與「棲地功能評價指標」兩大部分：

1. 棲地影響因子:

- (1) 本地原生種植物覆蓋度之百分比 (X 1)
- (2) 潮汐水流交換 (X 2)
- (3) 海側環境之自然地貌(X 3)
- (4) 陸側環境之自然地貌 (X 4)
- (5) 海岸安定程度 (X 5)
- (6) 周圍土地未開發比率 (X 6)

(7) 海底地形 (X 7)

(8) 海岸線曲折度 (X 8)

(9) 海岸水體品質 (X 9)

(10) 海岸自然程度 (X 10)

2. 棲地功能評價指標

(1) 水域生物棲息空間 Y1

$$Y1=(X2 \times X3 \times X5 \times X7 \times X8 \times X9)^{1/6}$$

(2) 野生動物棲息空間 Y2

$$Y2=(X1 \times X4 \times X6 \times X9 \times X10)^{1/5}$$

(3) 生態綠化維持 Y3

$$Y3=(X1 \times X4 \times X5 \times X6 \times X10)^{1/5}$$

(4) 環境污染自淨能力 Y4

$$Y4=(X2 \times X3 \times X4 \times X7 \times X9 \times X10)^{1/6}$$

3. 整體棲地評價 Y

$$Y=0.3Y1+0.2Y2+0.2Y3+0.3Y4$$

Y 的範圍亦在 0.1 到 1.0 之間，0.1 表示棲地環境品質最壞，1.0 表示棲地環境品質最好。依照用途亦可將 0.1 到 1.0 的區間劃分成五個區和等級，如表 7-8 所示。

表 7-8 整體棲地評價功能指標分級表

評估分數	等極
0.81~1.00	極優
0.61~0.80	良好
0.41~0.60	中等
0.21~0.40	略低
0.00~0.20	極差

(二). 各方案海堤生態棲地分析

本計畫依現地狀況套入棲地影響因子評分表中，即可對應出示範圍內 15 個測點的各項棲地條件分數，如表 7-9。在得到棲地影響因子分數後，將分數代入由棲地影響因子與棲地評價功能指標之相關程度所組成的公式，並利用各項棲地評價功能指標對於生態棲地影響程度之權重值，算出 4 項棲地評價功能指標以及整體棲地評價等五項分數，方案一在水域生物棲息空間 0.62、生態綠化維持 0.36、環境污染自淨能力 0.36 及整體棲地評價分數 0.4 略高於方案二~四，如表 7-10。

表 7-9 各方案棲地影響因子分數表

方案 影響因子	方案一	方案二	方案三	方案四
本地植物覆蓋度百分比	1	1	1	1
潮汐水流交換	1	0.7	0.4	0.7
海側環境自然地貌	0.1	0.1	0.1	0.1
陸側環境自然地貌	0.1	0.1	0.1	0.1
海岸安定程度	1	0.3	1	0.3
周圍土地未開發比率	0.2	0.2	0.2	0.2
海底地形	1	1	1	1
海岸線曲折度	0.8	0.8	0.8	0.8
海岸水體品質	0.7	0.7	0.7	0.7
海岸自然程度	0.3	0.2	0.2	0.2

表 7-10 一河川局海堤棲地評價功能指標與整體棲地分數表

生態指標 方案	水域生物 棲息空間	野生動物 棲息空間	生態綠化 維持	環境污染 自淨能力	整體棲地 評價	棲地類型
方案一	0.62	0.01	0.36	0.36	0.4	沙灘、岩石
方案二	0.48	0.01	0.26	0.32	0.33	沙灘、岩石
方案三	0.53	0.01	0.33	0.29	0.34	沙灘、岩石
方案四	0.48	0.01	0.26	0.32	0.33	沙灘、岩石

二. 各方案海堤環境評估

本計畫參考「台南海岸侵蝕原因及防護設施改善對策研究」(2013)，針對海岸防護能力提升改善成效、工程經濟性及海岸環境改善等三面向，再分別細分為數項評估指標及各項指標之權重如下：海岸防護(消能成效)、擴增堤前緩衝保護空間、工程施工性、維護管理性、工程經濟成效、生態性、景觀性及親水性等八子項，而其權重分配如表 7-11 所示。而於評比時，各評估指標視其程度，給予 1~5 不等之分數，並分別將各指標分數乘以對應權重後加總，即可得該方案之整體評比分數。

依據海堤生態棲地評估及海堤環境評估計算結果，以評比分數最高者為優選方案。

表 7-11 改善方案評比指標權重

考量層面	評估指標	權重
海岸防護能力提升改善	海岸防護(消能成效)	20%
	擴增堤前緩衝保護空間	15%
工程經濟性	工程施工性	10%
	維護管理性	10%
	工程經濟成效	15%
海岸環境改善	生態性	10%
	景觀性	10%
	親水性	10%

參考來源：台南海岸侵蝕原因及防護設施改善對策研究(2013)

綜合上述海堤生態棲地評估及海堤環境評估兩個指標之綜合評比結果，如表 7-10 及表 7-12 所示，以方案一所評定之分數最高，故建議以該方案做為優選方案。

表 7-12 改善方案優選評估

評估指標	權重	方案一	方案二	方案二	方案三
海岸防護	20%	5	5	5	5
擴增堤前緩衝保護空間	15%	3	4	3	5
工程施工性	10%	5	4	1	3
維護管理性	10%	5	1	1	1
工程經濟成效	15%	5	3	2	1
生態性	10%	5	3	5	3
景觀性	10%	3	4	3	4
親水性	10%	5	3	1	3
方案加權合計分數		4.5	3.65	2.85	3.3
排序		1	2	4	3

7.5 優選方案實施優先順序及分年計畫

海岸環境營造工程規模大、經費大、海岸不確定性高及影響範圍廣，且考慮政府財源之籌措及施工人力之配合問題，得予分期分年辦理。優先順序考量原則如下：

1. 保護對象具重要性及急迫性者優先。
2. 工程實施後能立即產生防護效益者優先。
3. 分期分年效益評估較高者優先。
4. 工程用地較易取得、地方政府配合問題較少者優先。
5. 防護工程原則由下游往上游分期分年辦理，但保護對象具重要性及急迫性，且實施後不致增加其他地區之災害者可優先辦理。

本計畫因急迫、風險性較大及考慮到防護效益，優選方案(方案一)不分期執行，但本區海岸情況特殊，相關資料不足，造成不確定性高及影響範圍廣，依據上述原則防護效益，採先執行方案一海堤改善及護岸部分優先施作，實施完成再觀察防護評估成效後，再決定是否辦理方案二人工養灘及潛堤等後續工作。

7.6 計畫評價

海岸環境營造計畫的經濟評價，一般以益本比衡量之。益本比(B/C)為年計效益(B)與年計成本(C)之比值，理論上 $B/C \geq 1$ 為合格，亦即表示其具有興建的價值。海岸地區多屬較窮困地區，地處偏僻，人口較少，工商業較不發達，依已往經驗益本比常小於 1，理論上不具興建價值。但若該計畫的環境評價高，基於社會整體考量，仍有優先實施之可能。

7.6.1 成本分析

- 一. 成本與效益分析應採同一物價基準始能比較，未來發展情形之海岸災害損失，設按固定增加率 R%以複利計算，並以利率 3%換算為現值，則
損失折為
未來 50 年之平均
現況損失之倍數為

N :

$$N = \frac{\left[1 + \left(\frac{1+R}{1+i} \right) \dots + \left(\frac{1+R}{1+i} \right)^{50} \right]}{\left[1 + \left(\frac{1}{1+i} \right) \dots + \left(\frac{1}{1+i} \right)^{50} \right]}$$

式中：R 為固定增加率，若依據 91 至 101 年營造工程物價指數，R 為 4.64%，年利率 i 採用 3%，則 N 值為 1.62。

- 二. 建造成本：

計畫總工程費 18,600 仟元

施工期間利息採年利率 3%估算工程完工時之建造成本與年計成本工程費換算為完工後總值 19,158 仟元(18,600 仟元×1.030)。本計畫

建造成本計為 19,158 仟元。

三. 年計成本：

(一). 固定成本

A. 年利息

年利息為投資之利息負擔，依建造成本乘以年利率方式計算，一般水利投資利息係以利率 3% 估計。

年利息=建造成本 \times 3%=19,158 仟元 \times 3%=575 仟元

B. 年償債積金

為投資之攤還年金，依建造成本為準，採用積金法，依年息複率計算，在經濟分析年限內，每年平均負擔數。以經濟分析年限採 50 年且年利息 3% 為例，此款額約為總建造成本之 0.8865%。

年償債積金=建造成本 \times 0.8865%=19,158 仟元 \times 0.8865%=170 仟元

C. 年稅捐保險費

以總工程費之 0.12% 為保險費，0.5% 為稅捐費合計為 0.62%。

年稅捐保險費=19,158 仟元 \times 0.62%=119 仟元

固定成本=年利息+年償債積金+年稅捐保險費=864 仟元

(二). 運轉及維護成本

包括機械設備之運轉、設施之維修及養護、安全檢查及評估等費

用，依計畫大小、結構物、機械種類、運轉方法及其他因素而定，非固定值，一般以佔各分項結構工程建造費之百分率計算，倘無法以上述原則分析時，年換新準備金及運轉維護成本得以總工程建造費之3%估計。

運轉及維護成本=19,158 仟元×3%=575 仟元

年計成本=固定成本+運轉及維護成本=1,439 仟元

7.6.2 效益分析

計畫效益分為可計效益與不可計效益兩種。可計效益為金錢能衡量之效益，可分為直接、間接效益及其他附加效益。一般海岸環境營造效益分析以可計效益為依據，並蒐集不可計的無形效益資料，以供環境評價及決策參考。本計畫分析計算海岸環境營造年計效益，為經濟評價的依據。

一. 可計效益

(一). 直接效益

本計畫改善以聚落保護為主，故直接效益以計畫區內「建物損失」及「公共設施及其他損失」估計。

A. 建物損失

本計畫參考水利局防洪工程講義「日本一般資產洪災損失率表」，如表 7-13，進行損失評估，推估年計平均洪災損失。

計畫區內房屋現值以每戶 250 萬元、家庭用品以每戶 25 萬元計算，本區平均淹水深度約 0.5 公尺，影響戶數前排約 10 戶，以估算建物損失。因計畫淹水區內無較具規模之企業，故建物損失以家庭住宅為主，企業單位之損失不予估算，損失總額為 749 千元/年。

表 7-13 一般資產洪災損失率表

淹水深度		淹 水 深 度 (公尺)					土砂堆積(公尺)	
		0.5 以下	0.5-0.99	1.0-1.99	2.0-2.99	3.0 以上	0.5 以下	0.5 以上
總額資產								
家 庭 用 品		8.6	19.1	33.1	49.9	69	50	69
建物損失率		5.3	7.2	10.9	15.2	22	43	57
企 業 單 位	消耗性 資產	18	31.4	41.9	53.9	63.2	54	63
	庫存品	12.7	27.6	37.9	47.9	56.2	48	56
農 漁	消耗性 資產	15.6	23.7	29.7	36.6	45	37	45

B. 公共設施及其他損失

由於計畫內缺乏詳細調查資料，公共設備及其他損失之估計值，乃採用建物損失損失總額之 30% 為 225 千元/年。

(二). 間接效益

海岸防護實施完成後所衍生之間接效益，主要為土地利用價值提高、促進經濟繁榮、保障人民財產安全等，多與未來發展和政府政策及未來土地利用計畫相關。兩處海岸防護設施完工後，雖不可賣出產

生直接效益，但因提升海堤安全。除此外，還可提供親水需求及回復部分海岸之自然風貌，促進區域海岸景觀及遊憩品質提升。

就實務上來說，雖間接效益甚大，但量化之標準則甚難訂定。因此，一般間接效益得以直接效益之25%估計。若依前述直接效益估算，改善計畫之間接效益約為244千元/年。

綜合上述，本改善實施計畫在可計效益部分，約可產生1,217千元/年。

表 7-14 可計效益推估成果表

	項目	估算方式	年效益(萬元)
直接效益	建物損失	5 戶 *(250(萬))* *5.3%+20(萬)*8.6%	74.9
	公設損失	建物損失*30%	22.5
間接效益		直接效益*25%	24.4
總和			121.7

二. 不可計效益

1. 海堤改善及護岸完成後，可避免波浪溢堤的風險，保障堤後居民生命財產，並提升生活品質。
2. 本計畫實施後，因提升海岸環境品質，可增加津沙之整體觀光效益，提升觀光人數。

三. 益本比

經濟評價本計畫以計畫年計效益與投資年計成本之比決定，本計畫採用益本比值來表示。

益本比=B/C

式中 B、C 分別為年計效益與年計成本。

年計效益 1,217 千元

平均年計效益：(N×年計效益) 1,971 千元

益本比=1,971 千元/1,439 千元=1.37

四. 效益評估

本計畫屬防治海岸侵蝕災害之公共建設，益本比為 1.37，具有保障沿海地區居民財產安全，降低海岸侵蝕威脅投資價值。

7.7 環境評價

海岸防護計畫的環境評價，係廣義的針對外部衝擊如環境、生態、遊憩等方面，評價該計畫對環境的貢獻度及影響情形。由於海岸防護計畫的外部衝擊程度，較難以用貨幣價格為基礎表示，故環境評價並無固定評價指標，得視實際情形評價其對社會貢獻度及影響情形。

而就本計畫區之海岸環境防護及復育工作而言，相關海岸防護及環境營造改善或維護等措施之執行，除可減少生命傷亡風險、降低災損外，更具有促進社會安定、維持陸域土地利用機能等諸多無形效益，並符合現階段海岸自然環境復育及永續發展等政策目標；同時，維護政府照顧人民之良好形象，增加人民對政府之向心力等，在在顯示本計畫具正面之社會評價。

就工程實施後之維護層面而言，本改善計畫藉由海堤改善及興建護岸方式，平時海堤設施幾乎不受潮浪之影響，而於極端海象條件下，

亦可降低堤岸設施受波浪衝擊損壞之風險，故可大幅減少原海堤維護之頻率與經費投入，而後續維護僅需視堤前相關設施之損害情況，再做適度之補強即可。

就環境層面而言，南竿鄉津沙村津沙海岸段為連江縣難得之灣澳沙岸地形，故維持並回復自然海岸之理念，乃為計畫區海岸現階段執行海岸防護與環境營造工作時，應與考量之重要課題。而本計畫透過海堤改善及興建護岸方式工法，雖於改善期間可能造成海岸環境短暫性干擾與負面衝擊，但其完成後，即可回復近自然之寬廣開闊灘岸環境，提升生活環境品質。

綜合上述量化與各層面之評析顯示，本研究研提之改善計畫兼顧海岸防護與環境營造改善，並符合現階段海岸永續發展之政策理念，故整體評價良好，值得後續積極推動執行。