

外傘頂洲保護措施進行數值分析與水工模型試驗之研究

郭禮安¹ 楊瑞源² 劉景毅³ 張裕弦⁴

摘要

本文之研究目的在經由數值分析及水工模型試驗，針對外傘頂洲逐年潛沒、後退之現象，研擬出具體可行之外傘頂洲保護措施，俾利於政府相關單位推動執行外傘頂洲保護對策之參考。因此本研究係先收集外傘頂洲附近海域之相關海象背景環境資料，並據此研判影響外傘頂洲逐漸潛沒之機制，然後初步擬定外傘頂洲保護措施，先以數值模式進行各保護措施之成效性與可行性評估，最後擇取最佳方案，以水工模型試驗進行校驗。研究成果顯示施予軟性工法之柔性突堤群與潛沒式海底人工砂丘二種方案均可達到不錯之海岸保護成效。

Numerical and Physical Modeling Study on the Protection of Wai-San-Ting Barrier Island

Li-Ani Kuo Ray-Yeng Yang J.Y.Liou Yu-Hsuan Chang

ABSTRACT

The research of this paper was objected for using both numerical and physical model aimed as submerging and retreating landscape phenomena of Wai-San-Ting barrier, to conclude an efficient and ensure method to save the Wai-San-Ting barrier. Further that to give the government some countermeasure of protection methods. By that, this paper must first to gather enough background data around the Wai-San-Ting barrier to analyze the submerging mechanism and dealing for-method. In procedures, the numerical model will be first on line to evaluate protection methods and as for the best evaluation will then be left for the physical model to do the proofreader. The result of this paper shows that soft groins and submerged artificial berms are two-effected methods that can be applied on Wai-San-Ting barrier.

一、緒論

嘉義縣東石、布袋與雲林縣口湖等沿海鄉鎮因屬地勢低窪地區，復受地層下陷之影響，使得溢淹潛能更形加重；所幸由於外傘頂洲之地形遮蔽效應抵擋北來波浪，使得外傘頂洲南側形成穩靜水域。

而位處八掌溪北側之好美寮海岸則因已不在外傘頂洲遮蔽區範圍內，因此較大之波浪可直接侵襲該處海岸，以致砂洲及海灘流失，防風林與海堤亦受損，為此水利單位乃興建八座離岸堤以加強海岸保護。由此觀知，外傘頂洲可說是雲、嘉兩縣最貴重之海岸防災屏障。

然從針對外傘頂洲之相關研究分析顯示該砂洲目前不僅面積持續縮減，高程亦逐漸降低。根據 1991~1999 年間外傘頂洲附近海域之實測資料顯示（如圖 1 所示），外傘頂洲有朝逆時針方向偏移之趨勢，其每年偏轉角度約為 0.2 度，平均每年南移

1. 國立成功大學水工試驗所試驗組研究助理
2. 國立成功大學水工試驗所試驗組組長
3. 國立成功大學水工試驗所數理組組長
4. 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士班研究生

約 50~60 公尺。此外，從歷年來的航照及衛星影像分析比對亦顯示，在高潮線以上之乾砂洲面積，已從 1984 年的 2.05 平方公里縮減至今約只有 0.5 平方公里，且砂洲上亦不見防風定砂之綠色植物。一旦外傘頂洲潛沒消失後，勢必將使八掌溪口以北之雲、嘉沿海地帶，直接面臨較大波浪之侵襲，人民之生命財產亦將遭受嚴重之威脅，故構思侵蝕防治之對策乃刻不容緩。

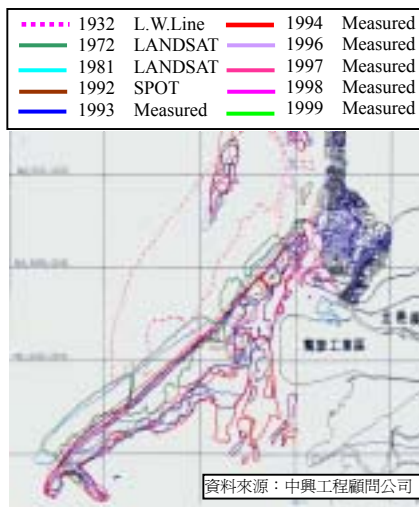


圖 1 外傘頂洲歷年實測海域地形圖

緣此，經由收集之海域環境背景資料與分析結果，瞭解外傘頂洲變遷之機制後，本文朝向以「水面下」與「水面上」不同動力因子之影響來研擬外傘頂洲保護措施。「水面下」部份，先評估一般之海岸保護工法在外傘頂洲附近海域海象條件之可行性，最後擷取突堤群工法與人工岬灣工法，搭配不同配置共計九種方案進行數值模擬。由模擬結果選擇其一在保護成效與經濟考量上之最佳方案，進行水工模型試驗再確認其保護效果，本文並建議以歐、美國家行之有年且具一定海岸保護成效之柔性工法施作，即地工砂管（Geotubes）。另外則增加一潛沒式海底人工砂丘工法進行水工模型試驗。而「水面上」部份則提出以進行植栽工程來達到防風定砂之目的。研究成果期能提供具體可行之外傘頂洲保護措施供政府相關單位參考，並進一步落實與執行。

二、環境背景資料收集與分析

2.1 外傘頂洲歷年地形變遷資料收集與分析

1. 前省水利局於 1981 年所進行之「嘉義海埔地開發初步規劃報告」，綜整分析外傘頂洲在 1900 年~1980 年間之地形變遷如下：

(1) 雲嘉交界之箔子寮砂洲、統仙洲、外傘頂洲等，一系列長達 20 公里之大砂嘴，自雲林縣三條崙附近，以西南偏西方向伸出海域，此係昔日濁水溪未治理前，由北港溪輸出之大量泥砂淤積而成。

(2) 在 1911 年實施濁水溪整治計畫以後，北港溪之泥砂輸出量銳減，外傘頂洲開始逐年後退。

(3) 自 1920 年至 1979 年間，共約 4 公里之侵蝕，使得外傘頂洲外緣形成凹狀，向內彎曲。各時期之後退速率：1920 至 1947 年間，年平均後退約 30 公尺；1947 至 1960 年間，年平均後退約 180 公尺；1962 至 1979 年間，年平均後退約 40 公尺。

2. 工研院 1991~1992 年間所進行「遙測資料應用於嘉義地區海岸變遷研究」，分析結果如下：

(1) 根據民國 62 年以來衛星影像分析結果顯示，外傘頂洲呈嚴重侵蝕後退之趨勢，其西側向海部份原露出水面之浮洲面積已急遽減少，整個砂洲亦有往東南方海岸漂移之趨勢。民國 75 年至 79 年間的相對位移，北段為 240 公尺，南段為 420 公尺，平均每年分別為 65 公尺與 115 公尺。

(2) 預測未來數年內，外傘頂洲南段主體將以平均每年約 100 公尺的速率往東南方向漂移。

2.2 過去外傘頂洲之保固方案

外傘頂洲正逐漸消失為不爭之事實，近年來產官學界各相關單位亦曾盡心力，嘗試應用各種保固方案以減緩外傘頂洲的消失速度，各單位所提之方案，整理如下：

1. 「外傘頂洲的開發或保護：生態環境的觀察與思考」，(邱文彥，1999)其研究中指出，民國四十五、四十六年間，雲林縣政府向當時「中國農村復興聯合委員會」申請補助，完成在外傘頂洲上約 50 公頃面積的定砂造林計畫，後因經費短缺未加強保護，致全被侵襲摧殘。近年來林務單位又進行定砂與造林，唯因颱風、飛砂、鹽霧與乾旱

危害，定砂綠化的工作成效仍然有限。此外，也針對外傘頂洲保護與開發提出五項方針：即維持砂洲的地形地貌、維持砂洲系統之動態穩定、維護內灣海域水質、保護海岸濕地生態機能、外傘頂洲有限度之開發等。

2. 「東石附近海埔地開發計畫---國土保安、自然環境及經濟發展並重」，(曾漢洲、1999)認為外傘頂洲之保固方法有下列幾項：

- (1)海堤：於砂洲內側全面築海堤，阻斷波浪之越洗作用，可防止外傘頂洲進一步東移，不過，需注意堤面坡度的設計，以免波能反射後造成漂砂流向外海。
- (2)突堤群：外傘頂洲南段沿岸流強勁，致使由北向南之沿岸輸砂流入深海，造成海岸侵蝕。若於砂洲南端構築一突堤，向西延伸相當距離，迫使沿岸流轉向，留置漂砂於堤之北側，則可保固外傘頂洲南端之海岸。
- (3)離岸堤：外傘頂洲西北段海岸之沿岸流非優勢流況，故此區應可設置離岸堤群以穩定海岸。
- (4)防風定砂：歷年來在外傘頂洲上曾做過一些定砂措施，如雲林縣政府於民國 77 年曾應用 3700 萬元經費於外傘頂洲造林，而至今未見二年生林木存活，此造林計畫宣告失敗。

由前述資料顯示不過，相關單位雖瞭解外傘頂洲正逐漸消失，但目前對外傘頂洲的未來仍只停留在觀查、勘測、檢討之階段。

2.3 外傘頂洲地形變遷機制分析

經由收集之環境背景資料分析結果可知整個外傘頂洲地形變遷受到波浪、海流及風等動力因子作用及砂源供給之間失衡的影響。波浪因子有冬季波浪及夏秋季颱風波浪，海流部份則為恆流、潮流及風吹流。而風的因子則需考慮陸地上風吹砂及冬季季風影響。綜合研判本區的地形變遷機制，可得到以下結論並以圖 2 示意之。

1. 西半段岸線由於沿岸流造成輸砂掉入外傘頂洲西南側之澎湖海溝，後退速度較快。東半部岸線則因西北側之箔子寮砂洲遮蔽效應，後退速度較和緩。
2. 冬季波浪（影響水面下）與風（影響水面上）應為主要的動力因子，其餘為次要因子。
3. 颱風來自西南向，對外傘頂洲之影響，利弊相參。

4. 海流對西南側砂嘴與中段潮溝影響較大。

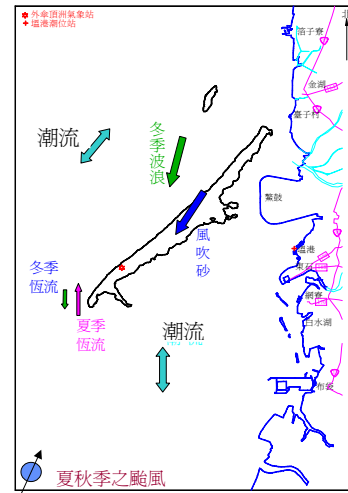


圖 2 外傘頂洲變遷機制示意圖

三、數值模擬分析

3.1 一維海岸地形變遷模式

一維岸線變遷模式(GENESIS)主要計算波浪經過折射、繞射與淺化碎波後所產生之沿岸流與漂砂對海岸線變遷之影響。雖然一維海岸線變遷模式無法考慮海潮流對地形變遷之影響，卻適合模擬長期之海岸變遷，並易於配置海工結構物適合保護措施的規劃及預測成效。

考慮波浪於接近海岸線碎波後產生之攪動為海岸地形砂粒移動之主要原動力，則一維海岸線變遷模式之控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left[\frac{\partial Q}{\partial X} - q \right] = 0 \quad (1)$$

上式中

y = 海岸線離基準線之距離(m)

D_B = 海岸線平台高程(m)

D_C = 砂粒移動臨界水深(m)

Q = 沿岸輸砂量率(m^3/sec)

q = 來自內陸河川之砂源($m^3/sec/m$)

沿岸輸砂量 Q 以下列公式計算之

$$Q = H_{b_s}^2 C_{gb} \left[a_1 \sin 2\theta_{b_s} - a_2 \cos \theta_{b_s} \frac{\partial H_{b_s}}{\partial X} \right] \quad (2)$$

上式中，係數 a_1 與 a_2 利用下式計算之

$$a_1 = \frac{K_1}{16 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1-n) (1.416)^{2.5}} \quad (3)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1-n) (1.416)^{3.5}} \quad (4)$$

其中

H_{b_s} =碎波後波高(m)

C_{gb} =群波速(m/sec)

θ_{b_s} =碎波波峰線和岸線的夾角

K_1, K_2 =無因次經驗係數

m =由海岸線往離岸方向至計算點位之平均
底床坡度

ρ_s =砂粒密度(約 2650 kg/m³)

ρ =海水密度(約 1030 kg/m³)

n =底床孔隙率(m³/m³)

3.2 擬定外傘頂洲保固措施之策略

由上一章節可知，冬季波浪與風為造成外傘頂洲砂洲流失之兩大動力因子，分別影響水面上與水面下之輸砂機制。水面上的部份，將於第五章中詳述。水面下的部份則以構築結構物改變波、流場，藉由海岸保護工法以安定海岸。無論所採用保護方案規模的大小，究其策略最終須以達成增加砂源及降低損失兩大目標。而目前海岸保護工法種類多，經綜整評估後，本文初擬之海岸保護工法如下：

1. 欲達成增加砂源目標者：有人工養灘、人工砂丘、海底人工砂丘三種方案。
2. 欲達成降低損失目標者：有地表防風定砂、突堤

群、人工岬灣三種方案。其以減少掉入外傘頂洲西南側澎湖海溝之漂砂量為目標。

3.3 外傘頂洲保固措施數值模擬

3.3.1 選定保固措施進行數值模擬

外傘頂洲北側岸線以鄰近砂嘴的西段岸線的侵蝕後退情況最為嚴重，而東半段因為受到箔子寮汕沙洲的遮蔽效應及砂源的補充，侵蝕程度較不明顯。因此本文所擬定的保護工法以先減緩西段岸線的侵蝕後退為目標，故主要將結構物佈置於外傘頂洲的西段。在綜合考慮各項因素後，本文提出突堤群工法及人工岬灣工法作為外傘頂洲之保固措施方案，並進行數值模擬分析。二方案簡述如下：

1. 突堤群方案：突堤興建後將改變海岸原有漂沙特性而引起鄰近海岸地形之變遷，由於突堤的攔截，漂沙在突堤上游形成堆積，而下游發生侵蝕。其整體防治成效則與突堤的配置有關，配置計畫主要考慮突堤長度，突堤間隔、突堤方向、透波率、平面配置、突堤高度與斷面型式。其中突堤在水中長度以灘線至碎波點距離之 40%~60%為最有效之設置長度。平面配置時需在下游面設置副堤，其堤長與堤距以 $\tan 6^\circ$ 關係式縮減，以減少下游海岸之侵蝕。
2. 人工岬灣方案：人工岬灣的初步規劃主要由入射波向決定控制線長度，再由 Hsu 等人(1987)所提出二階多項式關係式如式(5)，計算出岬灣形狀，以作為決定岬頭長度、離岸距離、方向、間隔等平面配置之參考(郭一羽編，2001)：

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2 \quad (5)$$

其中

$$C_0 = -0.05821 + 0.00982\beta - 0.00021\beta^2$$

$$C_1 = 0.78803 + 0.00562\beta + 0.000216\beta^2$$

$$C_2 = 0.28129 - 0.01622\beta + 0.000004\beta^2$$

R_0 ：夾角為 0 時，控制點與灣岸的距離

R ：夾角為 θ 時，控制點與灣岸的距離

β ：波浪入射角度

本文擬定突堤群與人工岬灣配置方案共九種，以一維模式進行數值模擬各配置方案之海岸防治效果。模擬期間歷時六年(1999~2005年)。

3.3.2 數值模擬結果

綜整分析突堤群與人工岬灣之防制方案模擬成果，包括保護灘線之成效、結構物下游側是否侵蝕嚴重與初步之工程成本評估，認為突堤群方案，其堤長分別為 360m、260m、190m、138m，堤距分別為 450m、350m、250m 之方案為最佳方案。其模擬結果如圖 3 所示，突堤上游側呈現明顯之淤積狀況，且可保護岸線長達 3km，使得外傘頂洲岸線後退之情況明顯改善。至於最後一根突堤下游側仍有侵蝕之情況，則需實際規劃時以其他工法來補不足之處。

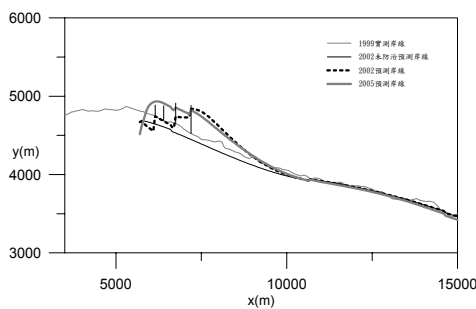


圖 3 突堤群方案模擬成果示意圖

由數值模擬結果得到之突堤群最佳方案，再由 3.2 節評估之海岸防護工法擇定其一潛沒式海底人工砂丘工法，併進行下一階段水工模型試驗檢驗其海岸防護成效。

四、水工模型試驗

4.1 海域地形再現性試驗

海域地形再現性試驗為造波試驗條件是否能妥切模擬海域地形再現之預備試驗，另由試驗分析結果可求取漂砂時間比尺，以瞭解試驗造波時數與現場海域地形歷經時間之關係。Ou 與 Hsu (1985) 針對求取漂砂時間比尺之方法，提出以海灘剖面之偏差值作為判斷指標的方法，即每隔一段時間測量地形再與目標地形之海灘剖面加以比較，並計算其標準偏差後繪成偏差時間圖，當偏差出現最小時，

亦即顯示此刻之模型地形與驗證年份地形之誤差最小，故該時間就可換算為漂砂時間比尺。

4.1.1 試驗規劃

1. 試驗水池：本試驗於成大水工所大型平面試驗水池執行，為一長 150 公尺、寬 60 公尺、深 1.5 公尺之試驗水池。配置 7 組平推式造波機，每部造波機長 7 公尺、高度 1.2 公尺，能於水深 0.8 公尺時，波浪週期 1.6 秒~2.5 秒之範圍內造出最大波高 0.32 公尺之不規則波。
2. 試驗配置與試驗條件：試驗模擬範圍涵蓋整個外傘頂洲，北起三條崙砂洲南段，南至外傘頂洲以南約 3 公里之海域。模型比尺為水平比尺 1/400、垂直比尺 1/100。試驗造波條件則參考成大水工所離島工業區計畫相關報告之試驗研究成果，其最妥切再現地形之造波條件，波高 2m，週期 6sec。造波波向則參考本研究數值模擬之率定驗證結果，以 N10°W 作為試驗波向。試驗鋪設起始地形為 2000 年之海域地形。整個試驗配置如圖 4 所示：

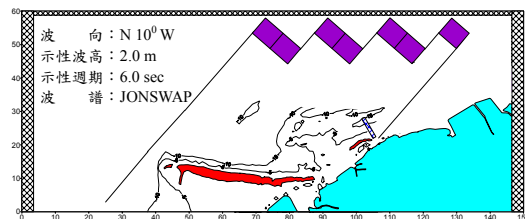


圖 4 海域地形變遷試驗配置圖

4.1.2 試驗結果

經由前述所提之試驗條件進行造波模擬，並擇選如圖 5 之 14 個海灘剖面，作為與 2001 年目標地形計算總平均標準偏差之依據。圖 6 即為海域地形再現性試驗的整體海灘剖面標準偏差與試驗累積造波時間之關係圖。從分析結果顯示，當波浪作用累積達 60 分鐘時出現最小之標準偏差量，此時模型地形可適確地再現 2001 年之目標水深地形。因之模型造波 60 分鐘之海灘剖面變化相當於現場(2000 年~2001 年)一年之變化時間，故模型漂砂時間比尺相當於模型 1 小時：實體 1 年。由試驗結果可知，上述之波浪條件可妥切再現目標之海域地形，後續外傘頂洲保固方案之試驗造波條件即以此進行之。

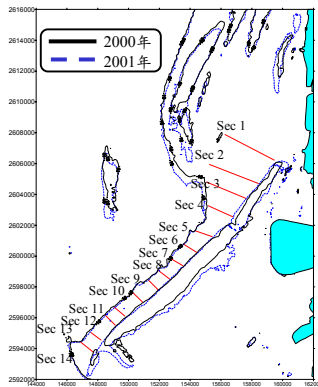


圖 5 海域地形再現性試驗之海灘斷面示意圖

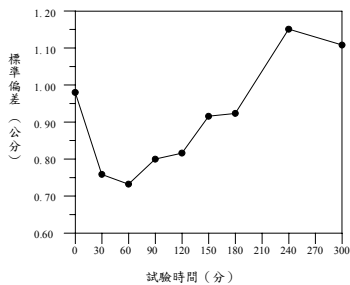


圖 6 海灘斷面標準偏差示意圖

4.2 外傘頂洲保固方案試驗

經由前述之討論分析，本文擬以突堤群（降低損失保固策略）與潛沒式海底人工砂丘（增加砂源保固策略）二種保固方案進行水工模型試驗校驗其海岸保護成效，並增加一海域現況之模擬作為對照組。模擬期間共五年（2001 年~2005 年），並以上一節海域地形再現性試驗之波浪條件與求得之漂砂時間比尺，作為保固方案試驗造波條件與造波延時之依據。

4.2.1 保固方案試驗配置說明

1. 現況(即無建構保護措施之情形)。
2. 保固方案一：即本文數值模擬海岸保護成效之最佳方案，在外傘頂洲西段靠近砂嘴部分建構突堤群(四座突堤)作為保護措施。其堤長分別為 360m、260m、190m、138m，堤距分別為 450m、350m、250m 之方案。此方案規劃構想乃在防治砂嘴附近之侵蝕，並同時能保護外傘頂洲中段西側之部份岸段不再退縮。保固方案一之突堤群相關位置示意如圖 7 所示。

3. 保固方案二：由於現況未設保護措施下，其試驗結果顯示外傘頂洲中段西側附近約有 2 公里餘長之海岸出現侵蝕退縮，因此乃構思在外傘頂洲中段西側外海水深 4~5m 處設置四座潛沒式海底人工砂丘(沒水深約 1m)，其目的除提前消滅波能，以保護此區岸段侵蝕能減緩外，並希望能提供下游側之輸砂源。在參考一般潛堤之配置及保護岸灘之長度與實作土方量之考量下，規劃每座人工砂丘長約 350m、寬 150m（每座抽砂構建之砂量估算為 12~13 萬方）建構之，各座砂丘之間距則為 200m。保固方案二有關潛沒式海底人工砂丘之配置示意如圖 8 所示。

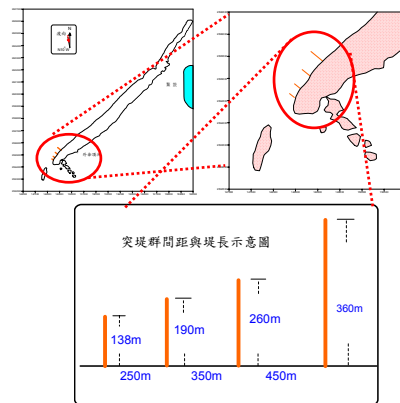


圖 7 保固方案一突堤群相關位置示意圖

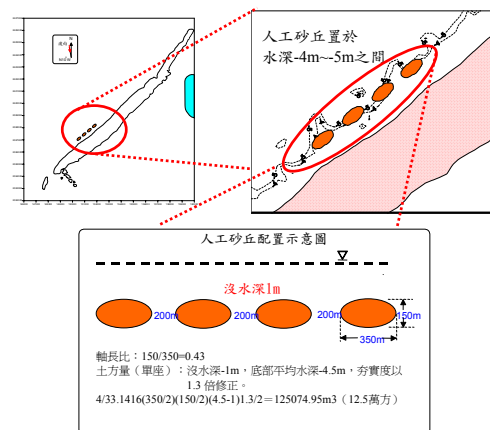


圖 8 保固方案二潛沒式海底人工砂丘配置示意圖

4.2.2 試驗結果

試驗配置現況、保固方案一與保固方案二在累計造波時數達 300 分鐘後(即 2005 年)，外傘頂洲西段之灘線變化如圖 9 所示。由試驗結果可知，在

現況試驗模擬部份，外傘頂洲東段砂洲灘線之變化至 2005 年仍維持相當穩定之趨勢並少有變化。而外傘頂洲西段砂洲之灘線約以每年 21~28 公尺之速率向後退縮。至於外傘頂洲西段砂洲靠砂嘴部分則以較快之每年 70~80 公尺之速率向後及向東南漂移。

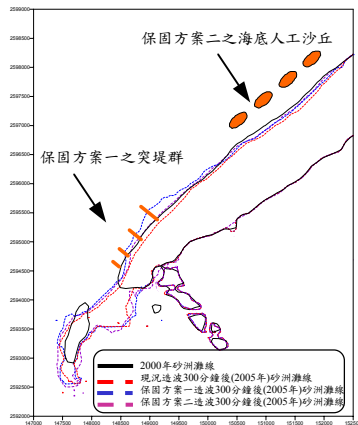


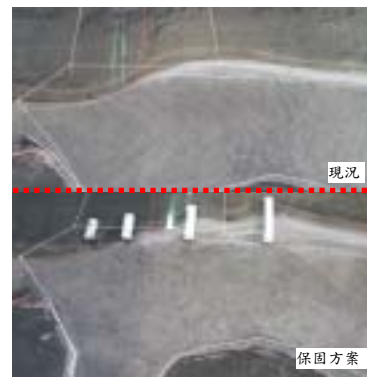
圖 9 外傘頂洲三個配置方案造波 300 分鐘後之灘線變化示意圖

保固方案一之試驗模擬部份，四座突堤群之前三座突堤均發揮攔沙及保護灘線不再退後的效用，且第一座突堤的東側亦約有 1.5 公里之灘線不再發生侵蝕退縮的現象（如圖 9 所示）。而其中外傘頂洲西段砂洲灘線仍舊發生侵蝕的區位則約略為現況情形下的 1/3，其向後退縮的速率亦較為和緩，係以每年 10~15 公尺之速率向後退縮。然在最靠近外傘頂洲砂嘴部分之第四座突堤鄰近灘線雖仍出現侵蝕後退現象，但下刷情形已明顯較現況未設保護措施情形下趨於緩和，退縮量約僅於現況下的一半而已（如照片 1 之比較）。有關第四座突堤鄰近灘線兩側所出現之侵蝕情形，則需實際規劃時以其他工法來補不足之處。

保固方案二之試驗模擬部份，外傘頂洲中段西側附近之灘線仍出現侵蝕現象，但灘線退縮情形可較現況未設保護措施下獲致減緩。吾人進一步觀察試驗過程中人工砂丘之消長情形，於造波 60 分鐘（即 2001 年）後建構之人工砂丘即受波浪作用而消失，人工砂丘之構置砂源則被運往近灘並集中在 1~2 公尺水深處形成堆積（如圖 10 所示）。而後隨季風波浪的持續作用又藉沿岸流的挾帶輸送，漸次被

帶往下游側使外傘頂洲中段西側灘線再度出現侵蝕退縮的現象（如圖 9 所示）。

綜整試驗結果可知，對於外傘頂洲之保護成效，保固方案一較保固方案二更能發揮立即而明顯的海岸保護效用。



照片 1 現況與保固方案一造波 300 分鐘後（2005 年）之灘線變化比較

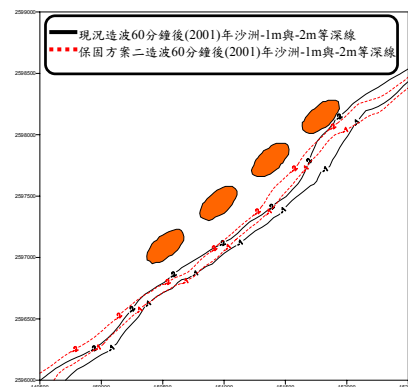


圖 10 現況與保固方案二造波 60 分鐘後（2001 年）-1m 與 -2m 等深線比較圖

4.2.3 柔性工法-地工砂管概述

地工砂管是以聚丙烯(Poly propylene Fabric)原料製造之地工織布作成管狀形成後，再將砂或浚挖之泥砂充填其內的海岸工程新工法，其具經濟實用、堅固耐用與施工快速等優點，目前在歐、美各國已行之有年。然就外傘頂洲保護措施之進行而言，其為一離島型砂洲，相關施工、輸運作業除勢必較台灣本島增加工程經費外，且若以傳統澆灌消波塊或是塊石等硬性工法施工，對外傘頂洲造成不良的環境生態衝擊影響不可不慎。故針對保護措施試驗中之保固方案一的突堤群配置，避免硬體結構

而選擇柔性突堤是一可考慮的施工工法之一，俾可同時兼顧克服海岸侵蝕及環保的問題。照片 2 為美國北卡諾萊納州禿頭島柔性突堤(地工砂管)之應用實例。



照片 2 美國北卡諾萊納州禿頭島柔性突堤(地工砂管)之應用實例

五、外傘頂洲防風定砂方案

外傘頂洲露出水面之輸砂搬運機制，經綜整資料研判係由強勁之東北季風所引發之風吹砂效應，將外傘頂洲水面上之砂源吹落入海，造成砂源之流失與砂洲高程之降低。故水面上之砂源保固可考慮以植生來達到防風、定砂、攔砂之目的，然因外傘頂洲以往栽植木麻黃防風林之失敗經驗，本文建議採用所謂之「植物演進工法」，逐年分不同樹種階段進行植栽，其分期植生觀念如下所述：

1. 第一期以快速生長，也急速死亡之低等先驅草種種植，其死亡後可增加土壤有機質之供應。
2. 第二期以永久草種，藉此改良植栽區之微氣候，以提高高等植物之存活率。
3. 第三期以荳科及灌木類栽種。
4. 第四期種植屬高等且原本存活率不高之木本植物。藉前三期較低等植物之犧牲，土壤之改良，此時栽種木本植物如木麻黃時，可提高其存活率。

上述植物演進工法，係美國工兵署經歷上百次定砂工程失敗之經驗中獲得。

六、結論與建議

1. 經由相關研究分析可知，外傘頂洲逐漸潛沒消失與向南、向內陸漂移之趨勢，為不爭之事實，而積極推動與執行外傘頂洲保護措施，亦是刻不容緩之任務。

2. 外傘頂洲針對水面下之保固，經數值模擬初步分析，再由水工模型試驗校驗後，二個保固方案之試驗結果顯示均可達一定程度之海岸保護成效，其中又以保固方案一之突堤群工法成效較為顯著。並建議以柔性工法之地工砂管施作，期能同時兼顧克服海岸侵蝕及環保的問題
3. 外傘頂洲針對水面上之保固，因以往栽植木麻黃防風林之失敗經驗，本文建議以植物演進工法進行砂洲露出水面部份之植栽工程，可提高植生樹種之存活率，並達到防風、固砂、定砂之目的。

謝誌

本文係國立成功大學水工試驗所研究報告「外傘頂洲保護措施進行數值分析及水工模型試驗研究計畫」(研究試驗報告第二七一號)之研究成果，承蒙嘉義縣政府經費之贊助，謹致感謝之意。

參考文獻

1. 歐善惠，許泰文(1987)，「漂沙時間比尺之試驗研究」，第九屆海洋工程研討會論文集，353 頁-370 頁。
2. 外傘頂洲開發保護停聽看研討會論文集(1999)，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
3. 雲林離島式基礎工業區開發計畫八十八年度工作計畫，海岸地形變遷專題報告(1999)，中興工程顧問公司。
4. 雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析第四部分平面漂砂水工模型試驗(2000)，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第二四八號。
5. 郭一羽編(2001)，「海岸工程學」。
6. 外傘頂洲保護措施進行數值分析及水工模型試驗研究計畫(2002)，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第二七一號。
7. Le'Me' Haute, B.(1970) "A Comparison of Fluvial and Coastal Similitude", *Proc. 12th Conf. On Coastal Eng.*, pp.1077-1096.
8. U.S.Army Corps Engineers, CERC, (1979) "Coastal Hydraulic Models", Fort Belvoir, Va.