旗津海岸治理計畫

關鍵詞：數值模擬、潛堤、人工養灘、地形變遷、水工模型試驗

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣工程部／正工程師／郭少谷 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣工程部／工程師／賴彥廷 ❷
國立成功大學水工試驗所／助理研究員／郭禮安 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣工程部／副理／朱志誠 ❹
高雄市政府／秘書長／吳宏謀 ❺

摘 要 ABSTRACT

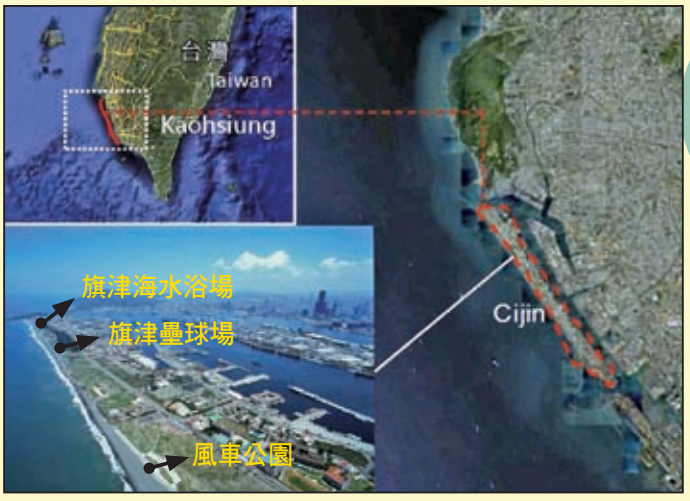
近年來，旗津海岸線侵蝕現象相當嚴重，高雄市政府於98年起著手辦理「旗津區海岸線保護工程」計畫，為國內首例採用序列離岸潛堤+人工養灘複合工法之海岸保護工程，並已於102年8月完工。本研究乃藉由數值模擬及水工模型試驗等工具，探討漂沙現象、定沙保護對策及養灘工法成效評估等課題，經研究結果可知，在漂沙現象方面，由實測侵淤結果顯示，旗津海岸全區-10m水深以內侵蝕情形於近年來有加劇趨勢；另由數模結果可知，旗津海岸漂沙受S向颱風波浪之外力影響最為顯著，故颱風期間漂沙主要卓越方向係由南往北。在定沙保護對策方面，以人工灣澳潛堤+離岸潛堤+離岸堤+人工養灘等綜合性海岸保護方案可減緩旗津海岸侵蝕現象，並可降低旗津海域裂流流速。在養灘工法成效評估方面，藉由水工模型試驗之方式進行工程構築前後之地形變遷分析，並與現場實測調查資料及數值模式成果互為印證後，由其成果可知，相較於先前實測之現況侵蝕趨勢逐年加劇情形比對，興建完成後已可達到侵蝕逐年減緩或維持原有現況之定沙成效，顯示潛堤在配合人工養灘下，除海岸保護之成效外，亦可藉由沙灘形成達到海岸環境營造之目標。最後，由完工後之照片可知，旗津海岸已初步形成整體連貫性沙灘，未來可結合鄰近之海水浴場、風車公園等設施，提供市民優質的親水及觀賞夕陽之環境。

1 2 3 4 5

壹、前言

旗津海岸經高雄市政府(以下簡稱高市府)歷年來之經營，已具完善之休憩環境，如圖1所示，惟近年來旗津沿線沙灘逐漸侵蝕，海岸線不斷退縮，已流失大量沙灘，嚴重威脅到岸際構造物之安全，如旗津海水浴場現況部分(詳圖2所示)，觀景平台之基礎有明顯沖刷之情形，可知當地海岸線仍處於退縮狀態，若不加以保護，將危及後方建築物之安全，亦對海岸地區景觀造成嚴重破壞，壓縮民眾親水遊憩之空間。另由旗津壘球場及風車公園歷年照片比對可知(詳圖3～圖4所示)，旗津壘球場靠海側之平台出現塊狀崩落現象。緊鄰壘球場北側原為一海巡署哨站，但現況僅剩下已毀壞之基礎，而風車公園之海岸線侵蝕情況嚴重，沙灘上可見已毀壞之蛇籠，且即使埋設鋼板樁後侵蝕現象仍未見改善，顯示該區段海岸侵蝕現象嚴重且有立即性危險。

基此，高市府於89年辦理之「高雄市旗津區海岸線治理規劃」[1]中，對旗津海岸整治已有完整之構想，然當時之規劃係以海岸整治為目標，並未對海岸生態部分提出建議；另高市府於94年延續該規劃之成果辦理「高雄市海

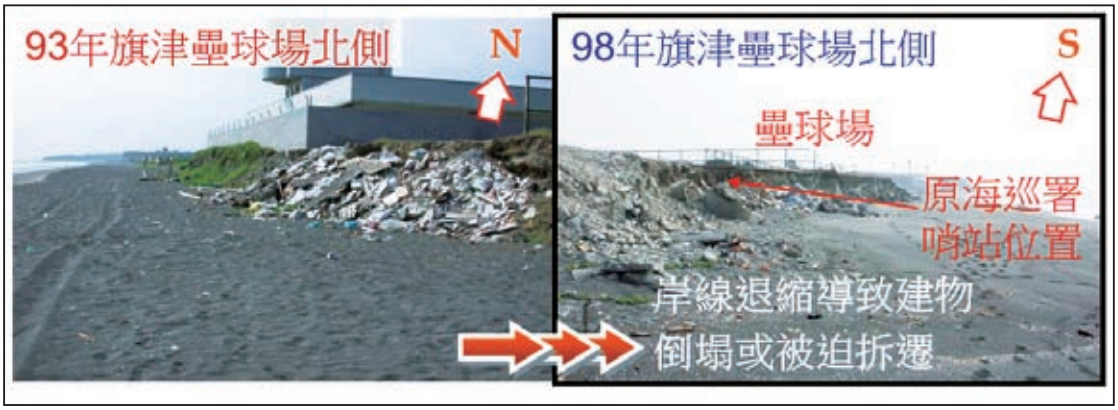


資料來源：google earth，本計畫整理

圖1 旗津地理位置及休憩環境示意圖

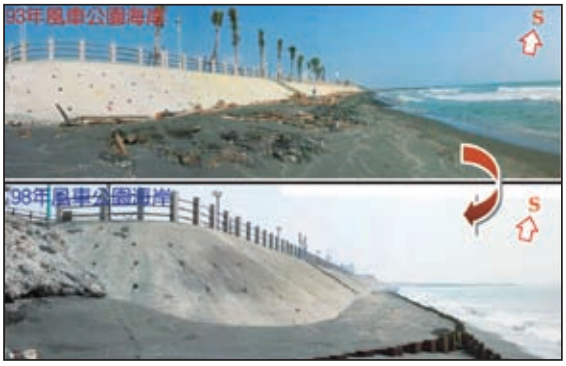
資料來源：本計畫整理

圖2 旗津海水浴場施工前照片(98年)



資料來源：本計畫整理

圖3 旗津壘球場歷年照片比對



資料來源：本計畫整理

圖4 風車公園歷年照片比對

岸生態復育規劃」[2]案，對高雄市海岸生態復育進行規劃研究，並進一步加強生態功能之配置。

為期「國際海洋觀光港市」之目標能早日實現，高市府乃推動「旗津區海岸線保護計畫」，希望在該計畫之保護工程完成後，可恢復以往美麗的沙灘，結合鄰近之海水浴場、風車公園等設施，提供市民優質的親水及觀賞夕陽之休憩空間。

貳、漂沙現象探討

一、歷年旗津海岸地形變遷

由於漂沙現象之水理機制複雜，故於進行海岸保護規劃時應對旗津海岸歷年之地形變化詳予比較分析後，再進行改善規劃作業。

自民國94年起，高雄市政府工務局下水道工程處(現為水利局)針對旗津海岸地形進行海岸地形水深調查工作，採用中潮系統，調查時間為每年之夏季（6～8月）及冬季（10～12月），經本研究所蒐集之水深監測資料包含6個年份，共計10次測量結果，如表1所示。

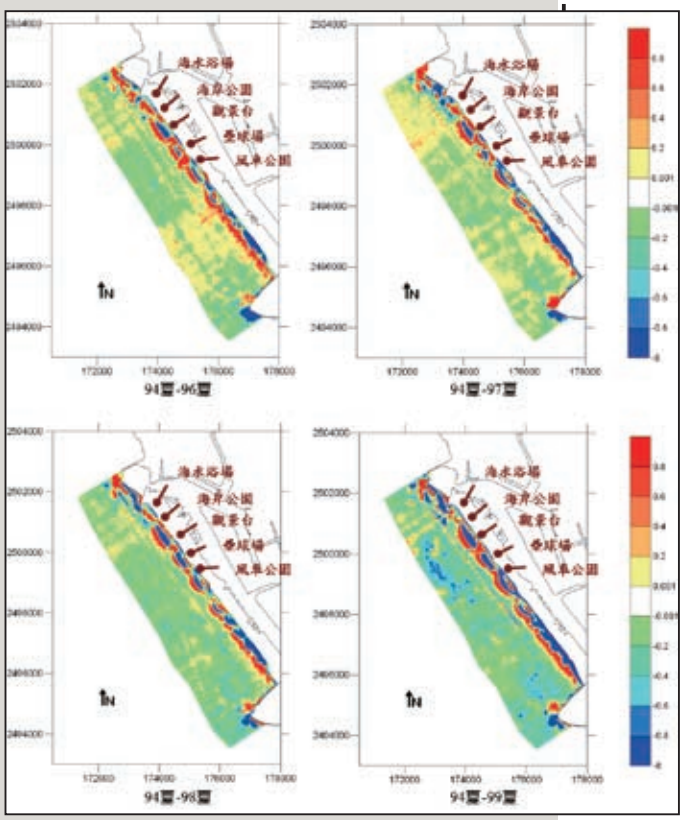
表1 旗津海岸歷年觀測水深概況表

單位	調查時間	備註
高雄市政府下水道工程處	94年夏季 94年冬季 95年冬季 96年夏季 96年冬季 97年夏季 97年冬季 98年夏季 98年冬季 99年夏季	測量範圍：高雄港第一港口至高雄港第二港口（即旗津海岸線），約7.5公里長之海岸。

資料來源：高雄市政府，本計畫整理

(一) 平面侵淤分析

圖5為以民國94年夏季為基準年，各年夏季相對94年夏季-20m水深以內之地形水深資料侵淤變化分佈圖。由結果可知，夏季季風及颱風期間旗津海岸線全線均處於侵蝕之狀態，海岸公園及壘球場海岸之沙灘有退縮之趨勢，風車公園北側之海岸侵蝕量則逐年漸增；近岸-1m~-3m水深處則有明顯淤積之情形，代表其漂沙趨勢為向外海移動。海岸公園至觀景台、壘球場、風車公園外側-5m水深處則明顯可見大片侵蝕，其外側則有明顯之淤積，且其侵淤狀況顯有隨時間增加之趨勢。



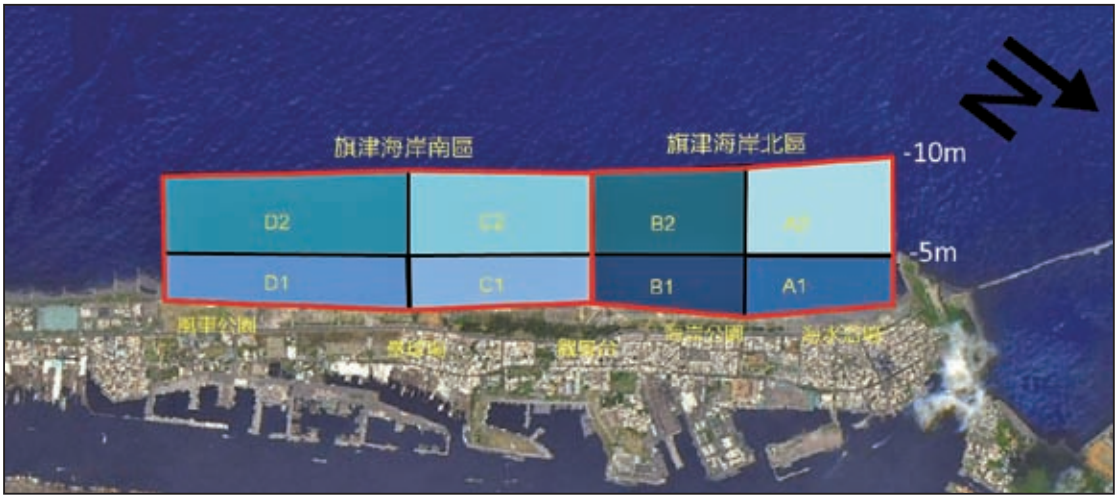
資料來源：本計畫整理

圖5 海水浴場至高雄港二港口間地形侵淤變化圖
(以94年夏季為基準年)

(二) 歷年累計侵淤分析

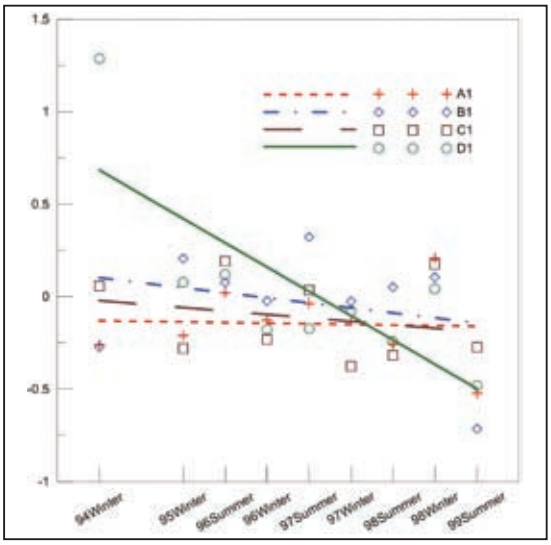
將海水浴場至風車公園水深-10m內之近岸區域分為A～D等四個區域，另以水深-5m線將各區分為近岸及遠岸兩區，各分區代號詳圖6所示。

由各分區之單位面積累積侵淤趨勢（詳圖7及圖8）可知，水深-5m以內(A1～D1)及-5m至-10m(A2～D2)之各區域趨勢線斜率均為負值，代表全區長期均屬侵蝕之趨勢，且以-5m內侵蝕情況較為嚴重。各資料點距離趨勢線上下之變動量甚大，尤以97年後A、B區之侵蝕趨勢與97年前相較，侵蝕量有顯著增加之情形發生，顯示該區近岸地形除仍未穩定之外，可能



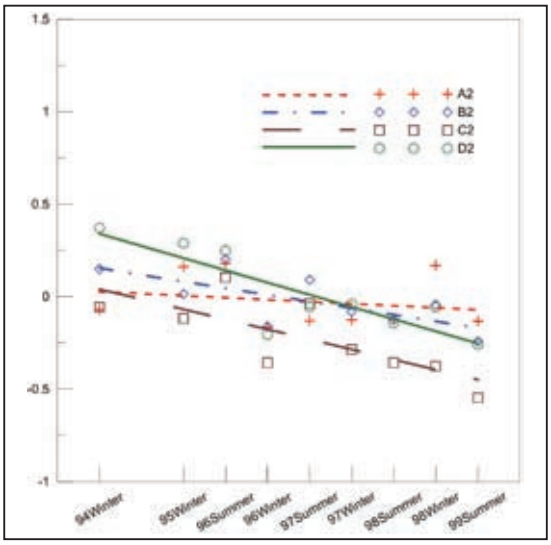
資料來源：google earth，本計畫整理

圖6 地形水深變遷計算分區圖



資料來源：本計畫繪製

圖7 單位面積累積侵淤趨勢圖(-5m內)



資料來源：本計畫繪製

圖8 單位面積累積侵淤趨勢圖(-5m～-10m內)

受不確定性之劇烈氣候(如颱風等)之影響較為顯著，或是該區域近年來之波流況有大幅度改變所造成。

二、數值模擬分析

本研究採丹麥DHI研發之Mike 21水力模擬軟體推估底床侵淤分佈(ST模組)，藉由模式計算結果瞭解旗津海岸漂沙移動與侵淤特性，俾作為地形變化趨勢之參考。

(一) 模擬條件說明

1. 波浪條件

季風波浪條件依冬、夏兩季代表波高、週期及波向進行推估。颱風波浪條件以推算之10年迴歸期W向及S向颱風波浪值為主。各波浪條件之輸入資料，詳如表2所示。

表2 本研究數值模式各波浪條件之輸入資料表

類 型	方向	平均波向(°)	示性週期Ts(sec)	示性波高Hs(m)
冬 季	W	270	6.20	0.77
夏 季	S	180	6.91	1.11
颱風(10年迴歸期)	W	270	8.80	4.40
	S	180	11.10	7.00

資料來源：本計畫整理

2. 潮位

季風採用平均潮位(EL.+0.19m)為輸入條件，颱風波浪則採用平均高潮位(EL.+0.38m)。其基準為中潮系統。

(二) 數值模式驗證

為驗證模式模擬之正確性，並瞭解造成計畫區與鄰近海岸地形變遷之主要驅動因素，乃以歷年測量成果甚為完整之旗津海岸做為主要驗證對象，利用民國97年及99年實測之水深做為模擬之率定條件，以深入瞭解旗津海岸之地形變遷情形，並校驗模擬結果之正確性。

由前述各方向季風及颱風等因子，依據既有97～99年地形侵淤資料作為對照，將模式分析依季風及颱風變化進行各種加權組合，並以前述之旗津海岸北區(原AB區)及南區(原CD區)做為率定之目標區(詳圖9所示)，分別進行模式率定，可得與實際侵淤量最為相近之加權組合結果如表3及表4所示，由該結果可知，南北二區塊數值與實測之淨淤積量誤差均約為5%以下，顯示本研究數值率定結果在定量方面與實測侵淤量相當接近。

資料來源：google earth，本計畫整理

圖9 率定範圍示意圖

表3 各外力權重加權表

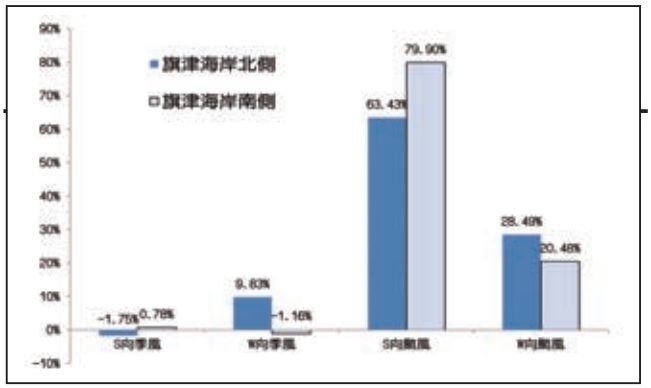
外 力 條 件	模擬時間	權 重
冬季季風(W)	一個月	×6
夏季季風(S)	一個月	×6
颱風(W)	半天	×3
颱風(S)	半天	×3

資料來源：本計畫整理

表4 加權組合後之地形侵蝕量統計表

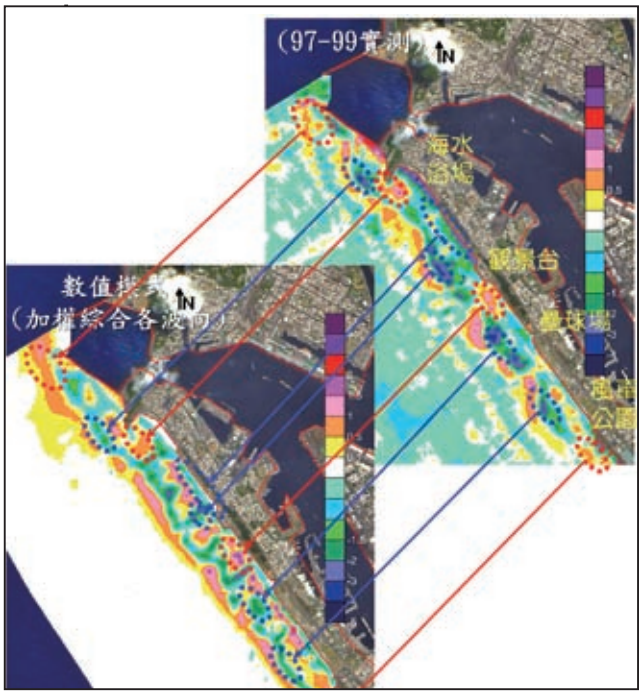
統 計 項 目		旗津海岸北側	旗津海岸南側	總 計
率定區面積(公頃)		90.5	117.8	208.3
淨侵淤量(萬m3/yr)	實測	-20.1	-16.7	-36.8
	模式	-21.0	-17.2	-38.2
平均侵淤厚度(cm/yr)	實測	-22.2	-14.2	-17.7
	模式	-23.2	-14.6	-18.3
誤差百分比		4.5%	3.0%	3.8%

資料來源：本計畫整理



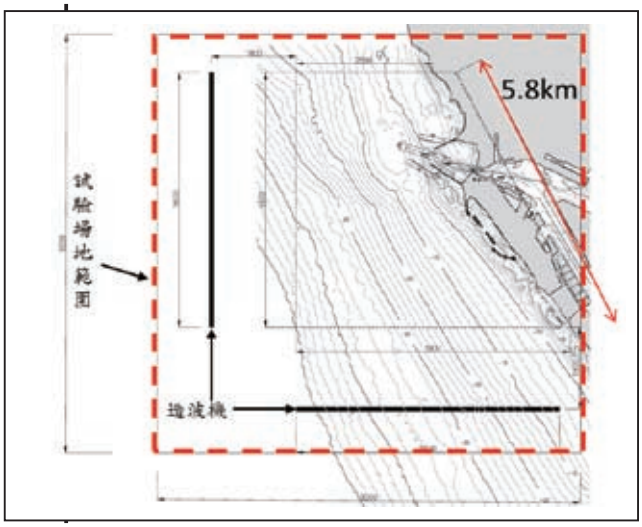
資料來源：本計畫繪製

圖10 各外力對率定區域侵蝕量之相對比例圖



資料來源：本計畫繪製

圖11 模擬結果與實測地形變化比較圖(2年)



資料來源：本計畫繪製

圖12 試驗規劃範圍圖(比例縮尺1:200)

上述加權組合下各外力之侵蝕量百分比如圖10所示。由結果可知，計畫區鄰近海岸受S向颱風波浪之外力影響最為顯著，與本計畫區鄰近海岸近年遭受颱風侵襲即造成大片沙灘消失之情形相符；另由加權後各外力分量總和之侵淤分佈與實測地形相較可知(詳圖11所示)，顯示本研究數值模擬與實測之侵淤分佈結果相近。其描述與現地漂沙現象相符，可供作後續評估配置方案定沙成效之參考。

三、水工模型試驗分析

(一) 水工模型試驗說明

1. 試驗範圍與比尺

本試驗工作模擬範圍自高雄一港口約5.8公里海岸線範圍，離岸方向則約2.9公里。經綜整考量試驗模擬範圍、試驗場地規模、造波機功能限制、國內目前一般可接受之歪比率範圍等因子，本試驗以水平比尺1/200、垂直比尺1/100進行，詳圖12所示。

2. 波浪條件

季風波浪條件依冬、夏兩季代表波高、週期及波向進行推估。颱風波浪條件以推算之10年迴歸期W向及S向颱風波浪值為主。各波浪條件之輸入資料，詳如表5所示。

3. 潮位

季風採用平均潮位(EL.+0.19m)為輸入條件，颱風波浪則採用平均高潮位(EL.+0.38m)。其基準為中潮系統。

表5 本研究水工模型試驗各波浪條件之輸入資料表

波浪條件		外　海			造波機處		
		Hs(m)	Ts (sec)	MWD	max. Hs(m)	mean Hs(m)	MWD
10年迴歸期颱風波浪	S	7.00	11.10	180	5.69	5.52	193
	W	4.40	8.80	270	4.36	4.30	270
夏季季風	S	1.11	6.91	180	1.09	1.07	182
冬季季風	W	0.77	6.20	270	0.77	0.77	270
水深		-192.45m			南側：-12～-39m 西側：-30～-62m		

資料來源：本計畫整理

表6　驗證試驗波浪組配與造波延時規劃表 (模擬97年～99年間之海象條件組配)

	季風波浪			颱風波浪			颱風波浪			季風波浪			備註
	波向	波高 週期	造波延時	波向	波高 週期	造波延時	波向	波高 週期	造波延時	波向	波高 週期	造波延時	
試次一	W (270°)	1.67 0.91	1hr 30min	S (193°)	11.96 1.63	1hr 25min	W (270°)	9.32 1.3	1hr 20min	S (182°)	2.32 1.02	1hr 30min	1.各試次進行不同組配波向試驗時需分別再次調整導波板、修整漸變段與吊移造波機等作業。 2.進行不同試次時則需重鋪動床地形。
試次二	W (270°)	1.67 0.91	1hr 30min	W (270°)	9.32 1.3	1hr 20min	S (193°)	11.96 1.63	1hr 25min	S (182°)	2.32 1.02	1hr 30min	
試次三	W (270°)	1.67 0.91	1hr 30min	W (270°)	9.32 1.3	1hr 20min	S (187°)	11.96 1.63	1hr 25min 延長 1hr	S (182°)	2.32 1.02	1hr 30min	
試次四	W (270°)	1.67 0.91	1hr 30min	W (270°)	9.32 1.3	1hr 20min	S (182°)	11.96 1.63	1hr 25min	S (182°)	2.32 1.02	1hr 30min	

註：1. 波向原則上以代表性之W與S波向表示，括弧內數值則為試驗造波實際角度，係指與正北之順時針夾角。

2. 試次一係為依循前述所規劃之起始造波組配與波浪條件，試次二～試次四則為依驗證試驗分析結果所調整之波浪組配試次。

資料來源：本計畫整理

4. 水深地形

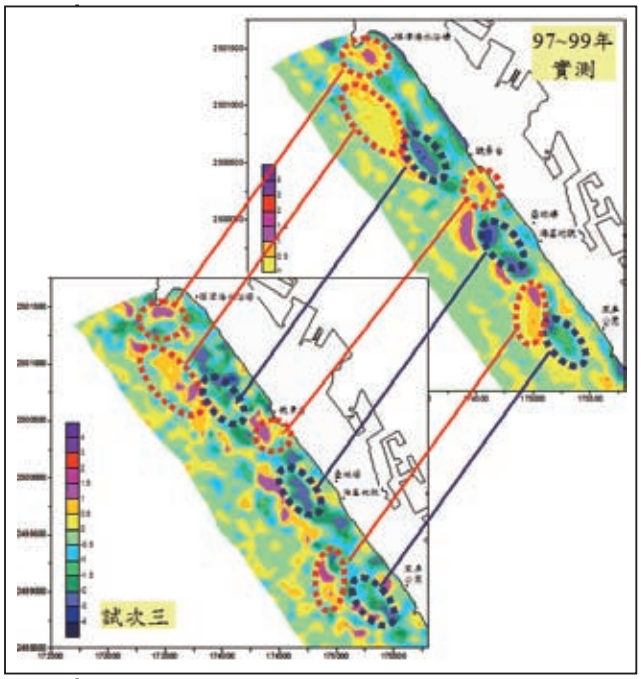
驗證試驗以97年夏季水深為基準，目標水深則為99年夏季水深，而配置試驗水深則以101年實測水深地形為基準。

(二) 驗證試驗成果

由前述可知本試驗先經數值模式求取代表性波浪條件(不同波向季風、颱風與其波高週期)，另以迴歸經驗式、理論式與實際颱風事件資料等分析長期性(季風)與短期性(颱風)之造波延時，茲擬定本試驗造波組配如表6，並以此進行驗證試驗，后依各試

次試驗分析結果修正調整造波組配條件。

整體而言，驗證試驗不論在淤積或侵蝕區位均與實測地形近似，詳圖13所示，進一步將各侵淤分析區塊如同數模分析般，分為旗津海岸北側(原區塊AB)與南側(原區塊CD)，並分析各試次旗津海岸南北二區塊與實測地形平均差異高度(如表7所示)，顯示試次三在依循前述試驗規劃組配條件下，驗證試驗分析結果與實測地形甚為近似，整體區塊平均差異高度僅約為13.5cm，可知本驗證試驗已妥適掌握影響本計畫區海域侵淤趨勢之海象水動力條件，後續將以驗證試驗試次三之波浪組配進行配置方案試驗。



資料來源：本計畫繪製

圖13 驗證試驗(試次三)與實測地形平面侵淤對照圖

參、配置方案研擬

一、規劃理念及原則

(一) 規劃理念

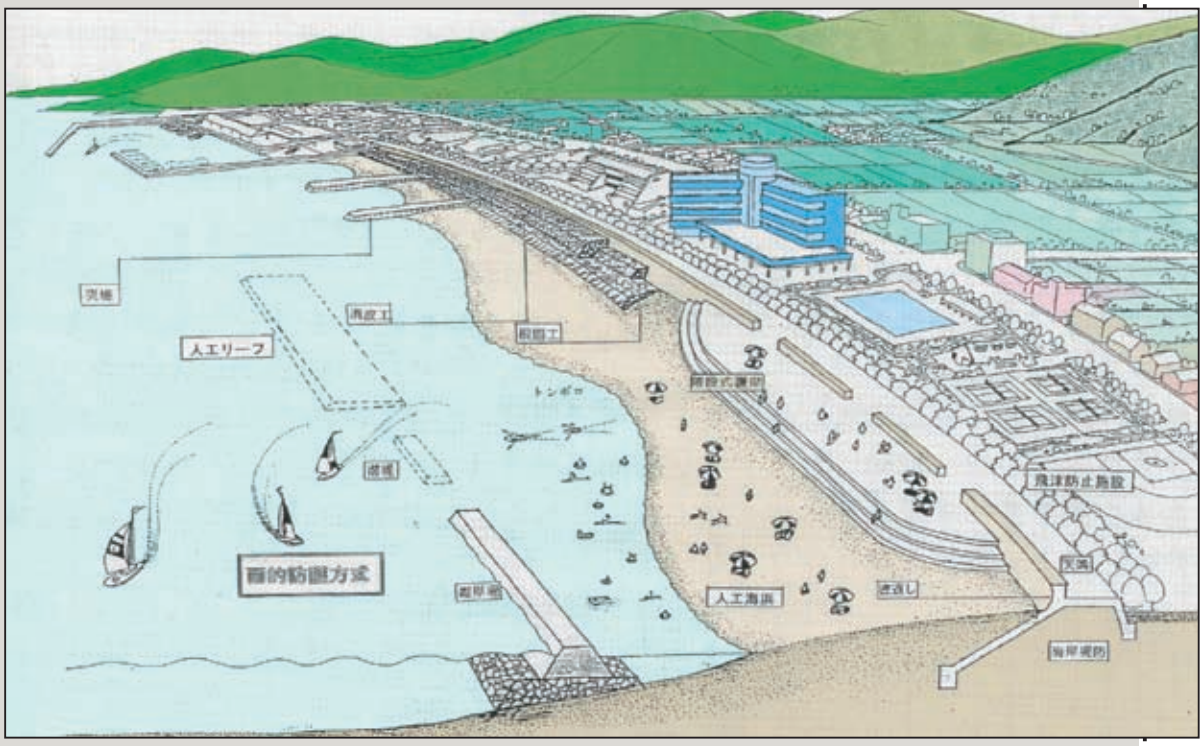
海岸防護規劃理念應以「面的保護」取代「線的防護」：早期海岸保護的主要措施皆以「線的防護」方式，在高灘地上構築堤防來防止海水入侵及土地流失，固然有些地方達到了目的，但有些地方反而招致堤前灘地消失及越波量增加以致堤防崩塌，亦常因加高堤防或堤前放置消波塊而導致與自然不協調之景觀。近年來國外相關案例皆朝向「面的防護」理念來規劃，其主要是利用突堤、離岸堤、緩傾斜堤、養灘、人工潛礁、人工岬灣等保護措施作複合式組合，來降低波浪對海岸的作用，達到海岸保護的目的；另亦可藉由擴大沙灘寬度來增加海岸生態多樣性及景觀遊憩功能，面的防護工法概念圖如圖14所示。

表7 驗證試驗各試次侵淤區塊量化分析表 (以旗津海岸北側與南側整體區塊分析)

試次	區塊平均侵淤高度 (cm)			建議採用
	旗津海岸北側	旗津海岸南側	與實測平均差異高度	
97～99年實測	-44.4	-28.4	-	
試次一	-88.9	-82.8	50.3	
試次二	-60.7	-55.3	22.5	
試次三	-49.1	-48.7	13.5	○
試次四	-54.8	-63.1	24.1	

註：旗津海岸北側為原A1+A2+B1+B2區塊、旗津海岸南側為原C1+C2+D1+D2區塊。

資料來源：本計畫整理



資料來源：椹木亨，「漂沙と海岸侵蝕」[5]

圖14 「面的保護」工法概念圖

(二) 規劃原則

依據上述理念，並參照以往海岸保護之經驗，本研究之規劃原則研擬如下：

1. 探討各保護工法之配置方式及其對旗津海岸之適用性並兼顧近海漁船航行之安全。

2. 海岸保護設施之功能性與經濟性並重考量。

3. 消減觀景台外側海域波能並保持良好視野。

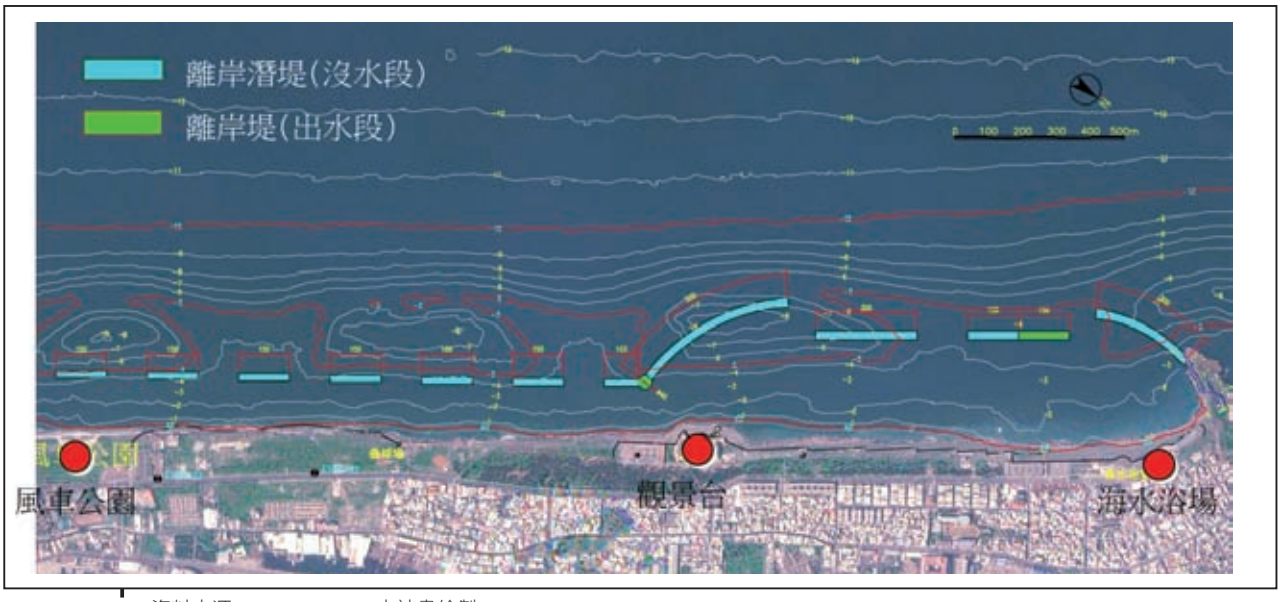
4. 維持海岸沙灘之穩定，並朝消減波能提供安全穩靜之遊憩水域為方向。

5. 未開發海岸之保護以符合經濟性與安全性為佳。

6. 增加海水浴場遊客休閒安全性考量，降低裂流流速，並同時達到降低景觀衝擊之成效。

二、旗津海岸保護最適方案研擬

觀景台至風車公園段以延續先期規劃配置為主，而改善範圍主要則為旗后山以南至觀景台間，先期規劃方案乃採二座橢圓形人工島及一座橢圓形人工潛島之配置，惟考量人工島施作之工程經費龐大，且計畫區鄰近海水浴場，為降低對當地自然景觀之衝擊，並增加民眾親近海洋之遊憩空間。乃將先期規劃配置於觀景台以北段之人工潛島1座+2座人工島修正為1座離岸潛堤(300m)及1座離岸堤+1座離岸潛堤之離岸堤綜合型式(150m+150m) 以節省工程經費。



資料來源：google earth，本計畫繪製

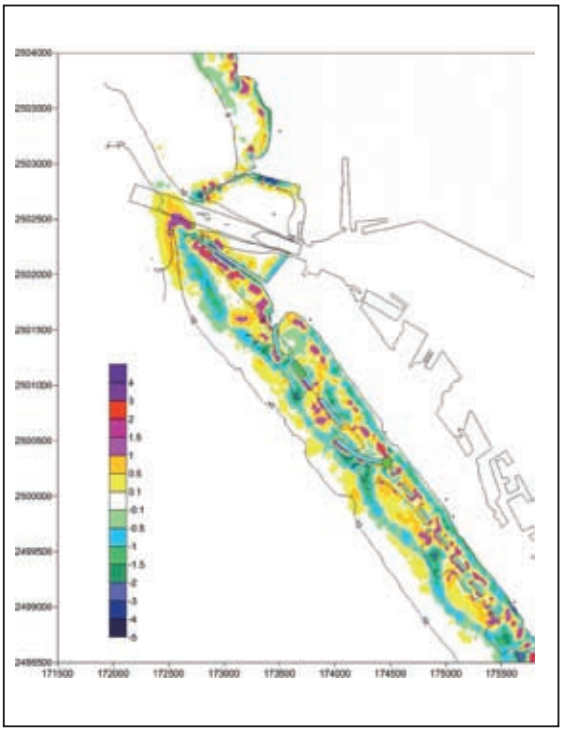
圖15 本研究建議配置方案平面配置示意圖

另南人工灣澳淺水端堤頭(觀景台前端)則修正為一直徑40m之圓形堤頭，除可阻擋南向之沿岸流外，亦可達航行安全警示效果，建議配置如圖15所示。

肆、配置方案成效評估

一、配置後數值模擬成果

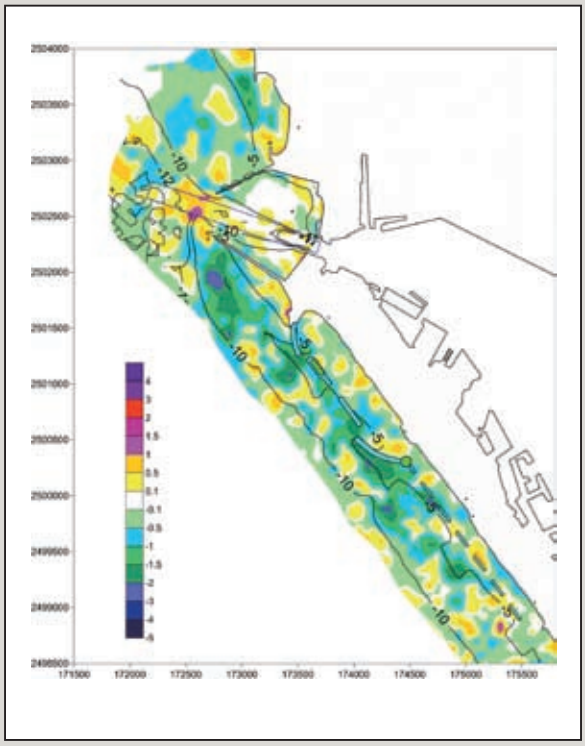
本研究模擬潛堤配置且無人工養灘之地形變遷，並以101年實測水深地形為基準，藉以瞭解僅設置潛堤之海岸保護成效。由2年間受冬、夏季季風波浪及颱風波浪作用後之底床變化侵淤圖(詳圖16所示)可知，建議配置完成2年後，旗津海岸近岸-5m以內多為淤積，水深較深區域(-5m～-10m)則呈現侵淤互現之情形，惟潮間帶間之海岸仍呈現侵蝕趨勢，顯示完工後雖可減緩旗津海岸沙源流失之侵蝕情形，但因在無人工沙源補注情形下，近岸0m灘線附近侵蝕情形仍無法改善。基此，倘若在潛堤配置完成後後再配合適當之人工養灘工法，以補充近岸側之沙源使其達到平衡灘線並形成完整之沙灘，



資料來源：本計畫繪製

圖16 潛堤配置後之底床侵淤分佈圖(數值模擬)

將有助於安定及保護旗津海灘，對該區域海岸遊憩功能更有加分之效果。綜上所述，建議尚需配合堤後之人工養灘，方可達到達成改善目標。

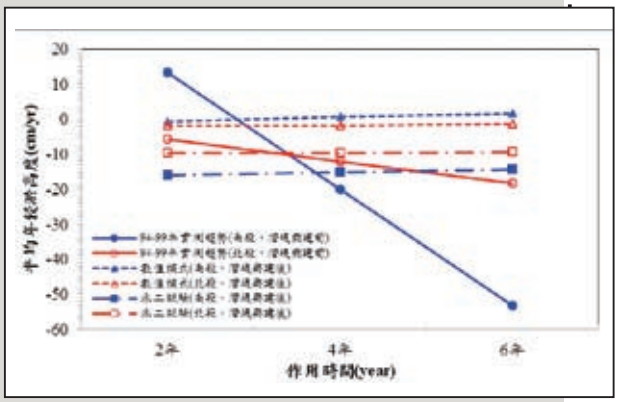


資料來源：本計畫繪製

圖17 潛堤配置後之底床侵淤分佈圖(水工模型)

二、配置後水工模型試驗成果

基於前述數值模擬之分析結果，水工模型試驗將以潛堤配合人工養灘為配置方案進行試驗，由2年間冬、夏季季風波浪及颱風波浪作用後之底床變化圖(詳圖17所示)可知，建議配置完成後，可削減波浪能量並使部分砂源淤積於堤後近岸處，惟受漂沙優勢方向由南往北影響，旗津北岸定沙成效較旗津南岸為佳；另近岸0m灘線附近受人工養灘影響，不同於數模結果則呈現淤積趨勢，顯示潛堤配合人工養灘工法，確可全面改善旗津海岸侵蝕情形。



資料來源：本計畫繪製

圖18 配置後水工模型試驗與數值模擬單位面積累積侵淤趨勢圖

三、綜合評估

由潛堤配置後旗津北段及南段之水工模型試驗與數值模擬於-5m水深內累積年侵淤高度趨勢圖(詳圖18)可知，以定性分析觀點而言，數值模擬與水工模型試驗之定沙成效，無論是旗津北岸及南岸之趨勢皆屬一致，亦即相較於先前實測之現況侵蝕趨勢逐年加劇(斜率為負值)而言，興建完成後已可達到侵蝕逐年減緩(斜率為正值)或維持原有現況(斜率為近似零)之定沙成效；另由旗津北段與南段侵淤比較可知，南段定沙成效較北段成效為佳。

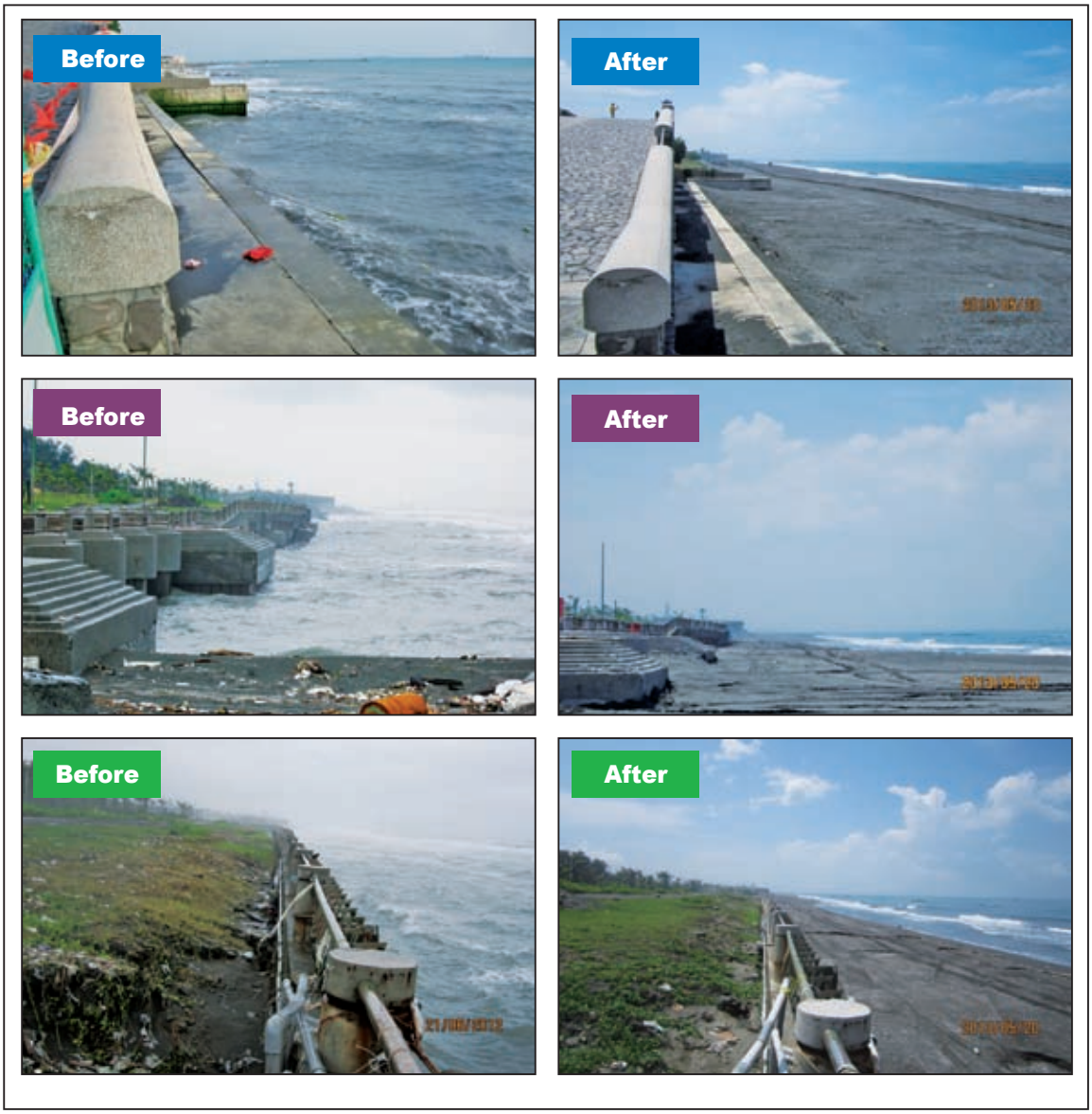
伍、計畫執行現況

本工程於民國100年10月開工，已於民國102年8月完工。完工後將使旗津海岸達到局部穩定之平衡狀態，潛沒於水面下之離岸式構造物則將使旗津區海岸回復寬廣、遼闊之原始風貌，沙灘將具有整體性。遊客漫步於沙灘上，完全看不到任何人工構造物，只有浩瀚無垠的大海與遼闊的沙灘，足以讓人忘卻煩憂。圖19為完工後旗津海岸空照圖，圖20則為旗津海岸現況及興建完成後之空照比較圖。

資料來源：高雄市政府

圖19 旗津海岸完工後空照圖

圖20，接下一頁↓



資料來源：高雄市政府

圖20 旗津海岸現況及完工後比較圖

陸、結論與建議

一、結論

由歷年旗津海岸地形變遷分析知，旗津海岸全區-10m水深以內之漂沙呈現減少之趨勢，整體侵蝕之情形於近年則有加劇趨勢，且近岸沙源有向外海流失之傾向。而由數值模擬結果可知，旗津海岸受S向颱風波浪之外力影響最為顯著，與近年遭受颱風侵襲即造成大片沙灘消失之情形相符。

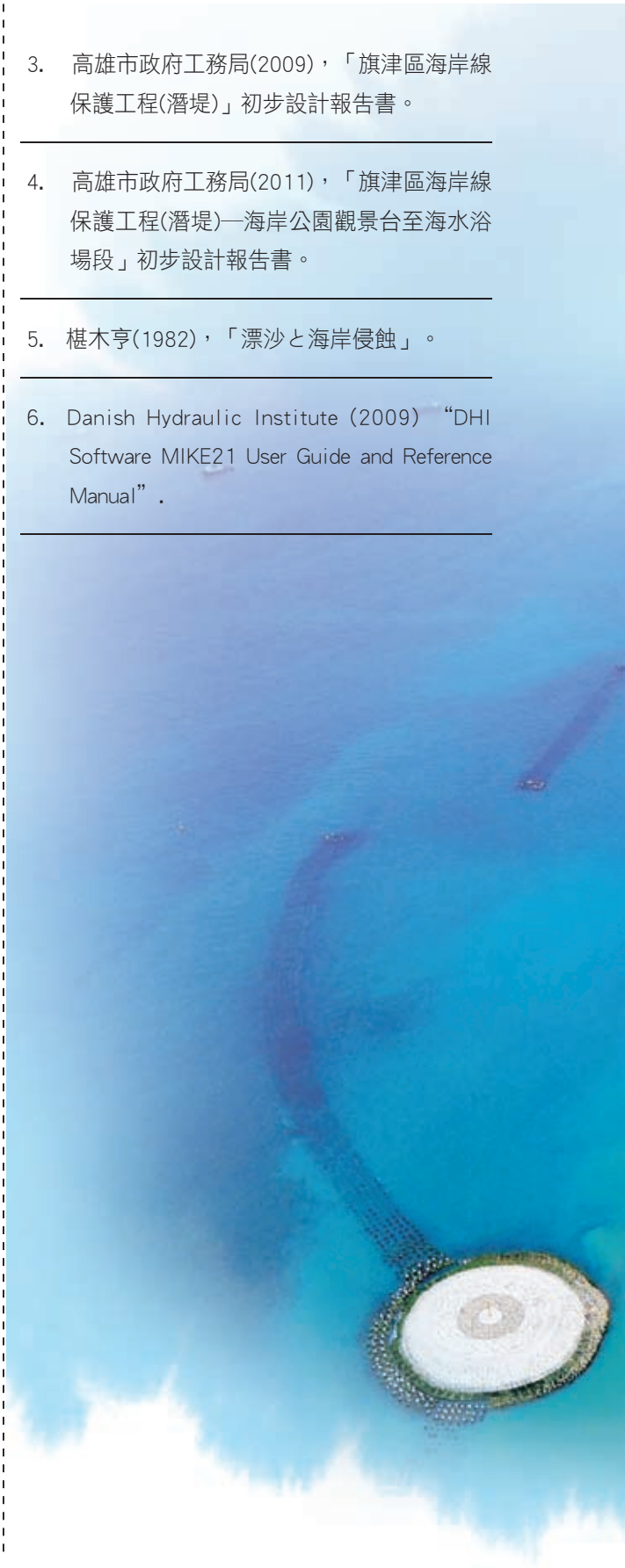
由僅潛堤配置後之數值模擬結果可知，受外圍人工灣澳潛堤及離岸(潛)堤影響，在無搭配人工養灘下，0m灘線附近雖仍有侵蝕狀況，但較現況更為趨緩；若再於配合人工養灘工法，將可於堤後形成沙灘，則消浪效果會更加明顯，完工後應可立即減緩旗津海岸之侵蝕現象。

由潛堤配合人工養灘之水工模型試驗結果可知，潛堤可削減波浪能量並使部分砂源淤積於堤後近岸處；另近岸0m灘線附近受人工養灘影響，不同於數值模擬結果則呈現淤積趨勢，顯示潛堤配合人工養灘工法，確可全面改善旗津海岸侵蝕情形。

最後，由數值模擬與水工模型試驗之平均年侵淤高度結果可知，相較於先前實測之現況侵蝕趨勢逐年加劇而言，興建完成後已可達到侵蝕逐年減緩或維持原有現況之定沙成效，顯示在配合人工養灘下，除海岸保護之成效外，亦可藉由沙灘形成達到海岸環境營造之目標。

二、建議

建議養灘後務必進行定期斷面監測，以確定有形成足夠寬度之沙灘來保護旗津海岸現有構造物之安全；並建議高雄市政府可持續向相關主管機關爭取後續維護經費，亦可與高雄港洽談以港區疏濬土方作為養灘之料源，可有效再利用疏濬土方，對於航道疏濬及海岸保護二方面而言，實有互補之效，更可降低整體作業成本。

參考文獻

1. 高雄市政府工務局(2000)，「高雄市旗津區海岸線治理規劃」規劃總報告書。
2. 高雄市政府工務局(2005)，「高雄市海岸生態復育規劃」規劃總報告書。
3. 高雄市政府工務局(2009)，「旗津區海岸線保護工程(潛堤)」初步設計報告書。
4. 高雄市政府工務局(2011)，「旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段」初步設計報告書。
5. 椹木亨(1982)，「漂沙と海岸侵蝕」。
6. Danish Hydraulic Institute (2009) “DHI Software MIKE21 User Guide and Reference Manual”.