

# 河口短時距地形變動之研究 以淡水河口挖子尾為例

## Short-Term Morphological Fluctuation of the Tamsui Estuary A Case Study on the Watsuwei, Taipei, Taiwan

賴春婷\*                      林俊全\*\*                      任家弘\*\*\*  
Chun-Ting Lai              Jiun-Chuan Lin              Chia-Hung Jen

### Abstract

Estuaries can be subdivided into three regimes: wave dominated, tidal dominated and river dominated. This study investigates the morphological changes of the Tamsui River estuary whose changes are dominated by river-induced processes.

This study aims to understand the short-term morphological fluctuations of the Tamsui Estuary. A detailed tacheometric survey was used to measure the surface relief for the construction of digital terrain models (DTMs) of the Watsuwei research site before and after Typhoon Sinlaku which took place in 2002. This event caused severe erosion and deposition in the study area.

This study demonstrates how monsoons, with their reciprocal predominant wind directions have accelerated the recovery of the eroded areas by replenishing the sediment lost during Typhoon Sinlaku.

---

\* 國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士

Master, Department of Geography, National Taiwan University

\*\* 國立臺灣大學地理環境資源學系教授

Professor, Department of Geography, National Taiwan University

\*\*\* 國立臺灣大學地理環境資源研究所博士班研究生

Ph. D. Student, Department of Geography, National Taiwan University

**Keywords: short-term morphological fluctuation, estuary, typhoon Sinlaku, erosion and deposition.**

## 摘 要

河口位於海陸交會之地,是海岸環境系統中重要的一環,主要受波浪、潮汐、河流三種營力所主導。在過去 20 年中,「瞬時」、「事件」這種短時距、小空間尺度的研究,已成為海岸動力地形學的研究焦點。淡水河口南岸是臺灣海岸侵蝕嚴重的區域,挖子尾沙嘴更是變動最明顯的地方。本研究選擇淡水河口的挖子尾地區進行短時距、颱風事件、小空間尺度的探討,透過全測儀進行實地測量以得到挖子尾灘面的高程及不同時期灘面的侵蝕程度,並記錄了 2002 年辛樂克颱風期間的風速、風向、波浪、潮汐變化,以了解辛樂克颱風事件的影響,及颱風事件與平常時期灘面變化的差異。

研究結果顯示,辛樂克颱風事件的強風、波浪,造成挖子尾灘面侵蝕深度達 1.2 公尺,堆積深度達 0.9 公尺,並破壞了原有的沙洲形態。颱風期間的風速對波浪有加乘的作用,如強風遇上漲潮時期就會形成更大的波浪能量,增加波浪對灘面泥沙的搬移與運動。造成挖子尾灘面侵蝕變化的原因,包括波浪能量、灘面坡度、水流方向、靠近人工結構物等。

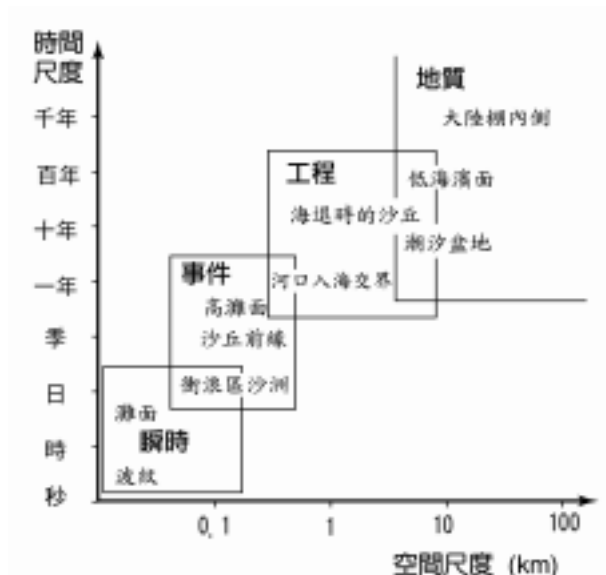
在颱風事件後的挖子尾灘面侵蝕持續變動,而沙洲則回復颱風前被破壞的形態,並持續堆積且擴張;整體灘面也由侵轉淤,顯見挖子尾灘面具有短期地形變動的回復力。由於水泥路突堤效應的影響,面迎水流方向的灘面侵蝕狀況比背水流側嚴重;而當水泥路損壞之後,亦改變了附近灘面原有的侵蝕狀態,因此人工結構物對挖子尾灘面的影響,在短期研究中即可觀察得知。坡度較陡、灘面短小且面迎淡水河的 B 區灘面,則在研究期間內持續呈現侵蝕狀況,直至 5 月始見堆積,應與季風轉向有關聯。

**關鍵字: 短時距、地形變動、河口、颱風、侵蝕與淤積**

## 前 言

海岸環境是相當動態的,其地形演育更是外界動態營力下所反映出來的變化 (Cowell and Thom, 1994)。河口是海洋與陸地交會的地方,由於其位置的特殊性與營力的多樣性,全球正注意海岸線後退的重大威脅 (Williams *et al.*, 1990)。河口的地形變動可能對居民、生態及海岸設施造成衝擊與破壞,並影響到全球的環境變遷系統,使河口的研究顯得相當重要。

地形學研究領域中,因時間、空間尺度的差異,對各研究主題的焦點也有所不同。在過去二十年中,探討營力過程的海岸動力地形學,已將研究焦點放在「瞬時」跟「事件」這種短時距、小空間尺度的探討 (圖 1) (Cowell and Thom, 1994)。河口海岸地區不規則的突發性事件 (如颱風、地震、洪水等) 所產生的改變,對河口地形的影響程度通常較有規律的週期性變化劇烈,且地形會具有某種可回復性的循環過程 (林雪美, 1998)。因此,颱風事件可能造成河口的地形變動即值得我們深入研究。



資料來源：Cowell and Thom, 1994

圖 1 海岸地形演育的時空尺度關係圖

淡水河是臺灣北部第一大河，河口南岸的八里，在過去二十年來已成為臺灣海岸侵蝕問題嚴重的區域 (Fan, 2001)。近十餘年來更由於河川上游水庫的興建、海岸周圍港口的增築等，使得淡水河系河床急遽下降，海岸災害不斷發生，海岸線明顯受到侵蝕而後退，尤以河口南岸沙質海岸沖淤變化幅度極大 (許時雄, 1991)。在臺北港興建之後，已有多位學者投入港口興建對海岸漂沙活動造成的影響，但多以數值模擬或大規模河口海域為調查對象，缺乏短期與實地量測的相關研究。

淡水河口自關渡以下有淡水、竹圍、挖子尾三個自然保留區，挖子尾自然保留區可說是三個自然保留區中最直接面對海洋營力，所受衝擊也最大的地區。由於河口沙洲的變化會影響紅樹林的生長與分布，並造成生態上的問題 (林俊全, 1998)，近年來挖子尾沙嘴有明顯的轉向、後退變化，且灘面上有水泥堤、橋墩等人工結構物影響著周圍水流與漂沙活動，因此，挖子尾自然保留區的生態是否會受到影響與破壞都值得我們關注。因此，本研究選定挖子尾地區進行灘面的短期觀察與測量，藉由相關環境資料收集，希望能對此區短時距的地形變動及颱風事件、人工結構物等影響因素進行更多的探討，了解挖子尾灘面在 2002 年辛樂克颱風事件與非颱風時期之變化差異，辛樂克颱風期間波浪、潮汐與風速的能量關係，並探討挖子尾灘面變動的空間分布與灘面坡度、人工結構物間的關聯性。

## 研究區概況

淡水河流域面積 2,726 平方公里，共包括大漢溪、新店溪、基隆河三條支流。由於淡水河為感潮河川，河川下游的水位、流量及水質，每日受潮汐的影響而有週期性的變化，潮汐作用也影響了下游

的河流地形(張瑞津, 1989)。林雪美(1996)曾依河口堆積規模與堆積位置將淡水河歸於左岸沙洲型河口,屬於受到波浪與潮汐營力作用的混合型河口。臺灣省住都局於1985年委託成功大學臺南水工研究所進行海象調查研究,指出在八里和淡水河河口前,於退潮時段有一大片約1.8平方公里、成梯形狀面積的平坦沙灘,該淺灘當地人號稱「門洲」,其位置會隨季節及淡水河流量移動(顏沛華等,1986;魏震,2001)。此淺灘即海岸地形分類中的前濱區(王鑫,1988),本研究選擇此範圍為主要實地測量灘面(圖2)。

挖子尾位在淡水河口南岸八里地區,旁有挖子尾自然保留區,面積約30公頃,退潮時可露出廣大灘面,許多漁船在保留區前方停泊;但漲潮或洪水流量較大時,水會直接淹進整個保留區,甚至淹至一旁的路面。挖子尾沙嘴是淡水河口地形變遷最明顯的地方,其周圍的海岸、水泥堤防都有受到海水波浪破壞的情況。

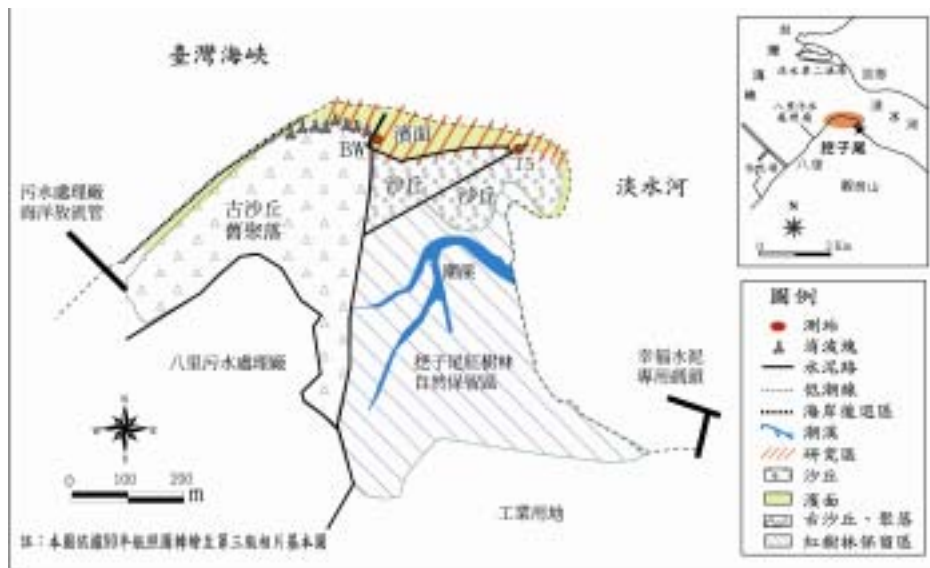


圖2 研究區及周圍環境示意圖

### (一) 氣候

淡水地區的雨量以夏雨為主,冬季受到東北季風及鋒面影響仍有100多公釐的月雨量,全年平均雨量為2,119.6mm。在風向、風速方面,除了夏季為西南季風外,其他季節多受到東北季風的吹襲,東北季風對此地的影響時間相當長,風速多介於0至5m/s之間。本研究從2002年7月起在挖子尾地區自架氣象測站,資料顯示此地平均風速約為4.5m/s,若取2002年8月及12月資料比較,可明顯看出季風風向的轉移。8月風向以東南風為主,12月風向則轉以東北風為主,平均風速分別為3.2m/s、3.1m/s。根據臺北港資料顯示,淡水河口海域季風的風速強弱與波浪之間呈正相關,風速越強則示性波高越大,因此季風的轉換之間亦改變了海流與波浪的強弱(港灣技術中心,2003)。

### (二) 海象資料

根據臺北港測站研究，淡水河口的示性波高以 0 至 50cm 最多，約佔了 32%；週期主要分布於 4 至 6 秒之間，約佔了 45%；波向以來自 N 方向最多，約佔 33%。淡水河口附近波浪能量不小，波向則受到東北季風影響，春、秋、冬季節波向與風向一致（邱永芳等，2000）。颱風季節或東北季風吹襲下，有時可帶來 5、6 公尺的波高，強勁波浪易造成對海岸灘面與沙丘崖腳的侵蝕。根據臺北港附近海域的監測資料顯示，本區的海流與風向並無直接相關性，應不是風驅流的影響，而主要為每日漲退潮的潮流；此地海流流速皆小於 80cm/s，主要流向為 ENE 及 WSW 方向之往復運動（邱永芳等，2000）。根據水利處淡水測站的潮汐觀測結果顯示，淡水河口為半日潮為主的混合潮，每日會有二次的高低潮，夏秋之際水位較高、水位差較大；冬春之際水位較低、水位差較小。根據本研究於挖子尾自架測站所得之潮位資料，挖子尾平均潮位為 1.528m，平均潮差為 2.118m（表 1）。由於海流與波浪的結合會影響河口附近的漂沙，因此本區的漂沙優勢方向為由北向南的方向為主，每年可帶動約 164 萬立方公尺的漂沙量（基隆港務局，1997）。近年來淡水河口左右兩岸漁港、商港的防波堤興建，將會影響大量漂沙的移動方向，改變淡水河口的地形。

表 1 挖子尾測站潮位資料表

潮 位	高程(公尺)
最高高潮位 (HHWL)	2.208
平均高潮位 (MHWL)	1.565
<b>平均潮位 (MWL)</b>	<b>0.467</b>
平均低潮位 (MLWL)	-0.552
最低低潮位 (LLWL)	-0.944

資料時間：2002 年 7 月至 11 月。

註：潮位高程基準面乃依據八里安檢站旁之航測圖根點 (BW2005) 高程 3.4327 公尺計算

## 研究方法

本研究流程乃透過對河口營力、地形變遷、泥沙沈積運動等相關文獻的回顧，收集歷年來淡水河口的地形變動情況、相關的環境資料與人為的開發利用，在挖子尾地區自架氣象、潮位觀測儀器，再透過對灘面的測量得到短時期內的地形高程資料，並針對研究期間的颱風事件與平常時期進行資料比對與分析。

本研究在海巡署八里安檢測站旁的橋墩上，架設含雨量、風速、風向、潮位記錄的自記式測站，自記的紀錄儲存器為 INC 的 CR10X 儀器。記錄方式為各儀器以每 10 秒讀取一次資料，再以每半小時為一單位的資料呈現。選用的潮位計為 PS9105 的水下壓力計 (submersible pressure transducer)，潮位計順沿著橋墩而下置於接近灘面的位置。潮位記錄以每 10 秒讀取一次，讀取內容包括 10 秒內平均水位、最高水位與最低水位，自動計算各 10 秒讀取的資料，再以每半小時為一單位的資料呈現。由於淡水河的波浪週期分布於 4 至 6 秒 (45%) 及 6 至 8 秒 (42%) 之間，本潮位計記錄 10 秒內之最高與最低水位差，可推為當時的波浪波高。波浪高是波浪能量的一種呈現方式，因此雖然資料為半小時一筆，

但由於累積長時間的多筆資料，仍可進行不同時期的波浪能量比較。

測量雨量所利用的為傾倒式雨量計 (recording rain gauge)，雨量由集雨漏斗流入，達到 0.2mm 時傾倒，並留下記點，由記點的累積數可直接換算總雨量，記錄在測站儀器的紀錄器中。風速風向儀器可測量之最大風速為 40m/s，以正北方為 0 度，繪製風速風向玫瑰圖時以十六方位製圖，每個方位為 22.5 度。

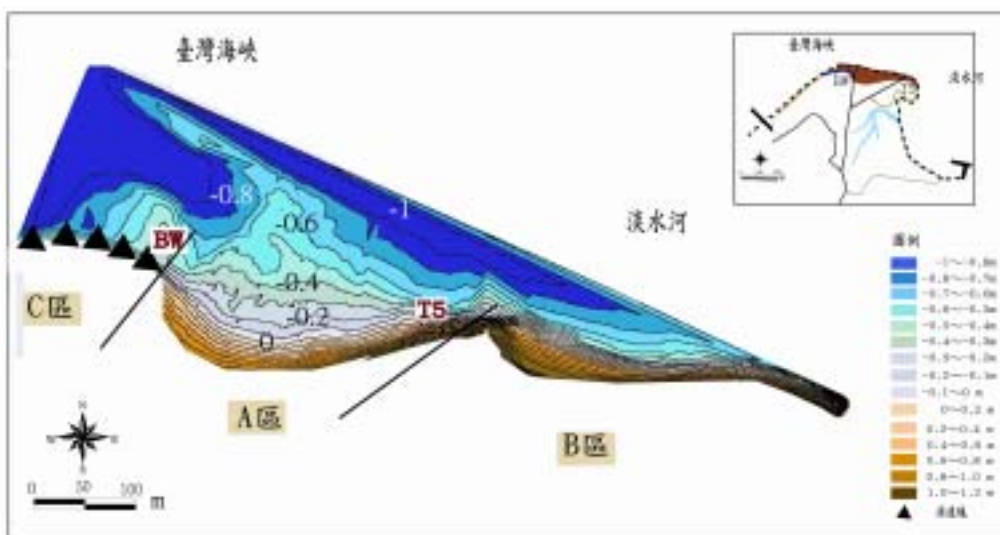
本研究所選擇的測量儀器為 Leica TP1100 型的全測儀，選用的標尺為 Leica mini. prism，儀器的高程精度為 2mm，水平氣泡誤差為 6'。進行水準測量時誤差產生原因主要受儀器、人為及自然等因素影響 (管晏如, 1987)，本研究進行測量時，水平氣泡控制在 2" 以內，並輸入當時氣溫、氣壓、濕度等氣象條件，由全測儀自動進行校正以減小自然的誤差。進行野外測量時，基準點之設置選擇八里海巡署安檢站旁的航測圖根點 (BW)，並利用此點引測另一端位在水泥路上的基準點 (T5)。室內作業則利用 Leica Survey Office 讀取測量資料，加上基準點的絕對座標，利用 ERADS Imagine 8.5 的空間分析功能，將資料以每網格 20cm×20cm 進行內插，得到該次灘面的數值模型。最後將每次測量前後二次的資料利用影像相減的方法，得出不同時間內地形侵淤的變化量及分布狀況，並繪製分區剖面圖進行比較。

## 研究成果

本研究除了對挖子尾灘面進行實地量測外，也希望能探討颱風事件對灘面侵淤變化的情況。由於研究期間只有辛樂克颱風直接影響臺灣，故在辛樂克颱風前對研究區灘面進行測量 (圖 3)，之後每隔一段時間再進行測量，從 2002 年 9 月至 2003 年 5 月為止總共有七次資料 (表 2)。為求研究區有最大灘面出露，本研究盡量選擇農曆大潮時間，此時乾潮水位最低，灘面顯露最大。由於淡水河口潮汐屬於半日潮型，一天可有二次漲退潮，在 2002 年 12 月、2003 年 1 月及 3 月進行測量時，白天乾潮水位較高，所測量的灘面較小，在進行不同時期灘面比較時，以共同包括之最大灘面為主。

本研究所量測的挖子尾灘面，主要是以基準點 (BW、T5) 可通視的範圍，量取退潮時最大灘面，因有人工水泥路區隔出明顯界線，所以量測的灘面自成一個獨立的區域。可依海巡署八里安檢站 (BW) 所在之橋墩及右側的一條水泥路 (T5) 將此灘面大致分為 ABC 三個區域，此橋墩與水泥路為研究區中的突出人工結構物。

A 區為 BW 與 T5 兩控制點中間的灘面，此區面積最大且位於淡水河與臺灣海峽交界之地，所受營力較為複雜，大致以 0 公尺為界，分為前濱區及暴潮時才會受影響的後濱區。後濱區坡度較陡，並無波紋出現；而前濱區中間有段較為平緩的區域，波紋複雜而明顯，另因地勢較低，每次漲潮時潮水必先進入此區，退潮時海水也較不易消退；在接近 BW 的控制點旁橋墩最靠近濱線處，則出現地勢較高的沙洲。B 區的位置為 T5 控制點右側灘面，直接面臨淡水河，由於坡度較陡且灘面狹窄，所以水流在平常時期即可直接打到岸上，並無後濱區存在；其後方為一整片的沙丘，高 1m 多，以及挖子尾沙嘴內側的自然保留區。C 區為 BW 控制點左側的灘面，此區已直接面臨臺灣海峽，是三區中地勢最低的區域，整區都在平均潮位線以下。歷年來海岸後退嚴重，海崖受浪拍打有明顯崩落的情況，岸邊堆滿許多消波塊以保護海岸；另在 C 區外側近濱線處，有一突出沙洲，中間平坦兩側坡度較陡。



資料時間：2002年9月3日。

圖3 挖子尾灘面辛樂克颱風前地形分層設色圖

表2 本研究實測相關資料表

次數	國曆日期	農曆日期	乾潮水位(公分)	備註
1	2002年9月3日	7月26日	-128	辛樂克颱風前
2	2002年9月22日	8月6日	-134	辛樂克颱風後
3	2002年11月3日	9月29日	-123	
4	2002年12月18日	11月15日	-68	
5	2003年1月16日	12月14日	-53	
6	2003年3月2日	1月30日	-78	
7	2003年5月18日	4月18日	-204	

資料來源：中央氣象局，2003。

註：乾潮水位依據中央氣象局淡水測站每日潮汐資料，基準面為基隆0公尺海平面。

### (一) 辛樂克颱風事件

辛樂克颱風出現於2002年9月初，9月4日起發佈海上颱風警報，於9月8日解除颱風警報，近中心最大風速為43m/sec，屬於中度颱風。辛樂克颱風由太平洋往臺灣北部而來，由於逆時針旋轉的關係，在近北部時出現類似西北颶的情況，以北風、北北西風為主，強風順著開口朝西的淡水河口潮汐而上，由於適逢農曆大潮時期，強勁的風浪將河口四周堤岸及八里安檢所周圍水泥路面打壞，所帶來的能量驚人。雖然此次颱風帶來巨大風浪，但卻未帶來大量雨量，淡水河的河川水位、流量也未大幅增加，因此可認為此次颱風造成的破壞大致以波浪、潮汐為最主要的營力，河川逕流的營力並未特別

凸顯，有別於一般颱風還挾帶巨大雨量、流量。

根據挖子尾測站資料，颱風時期平均風速為 6.95m/s，比平常時期的風速 (3.2m/s) 大了 2 倍，高潮潮位也增加了約 0.7m。非颱風時期本區十秒內最大波高為 0.76m、平均波高為 0.288m；但辛樂克颱風侵臺時此區十秒內最大波高為 1.562m，平均波高為 0.452m (表 3)，亦比平常時期大了約 2 倍。辛樂克颱風對挖子尾地區帶來的強風與波浪能量大，造成挖子尾測站被大風浪吹倒至海灘上。

表 3 辛樂克颱風侵臺時挖子尾測站氣象潮位資料

資料時間	2002 年 9 月 4 至 6 日	農曆 7 月 27 至 29 日
平均風速(m/s)	6.95	蒲福風級 4
瞬時最大風速(m/s)	12.77	蒲福風級 6
主要風向	北北西風 (23%)、北風 (18%)	
總雨量(mm)	10.2	
最高潮位(m)	2.208	
最低潮位(m)	-0.898	
十秒內最大波高(m)	1.562	

由於風力所造成的表面波浪是海岸地帶進出能量重要的因素之一 (Komar, 1976)，波浪對海岸的侵蝕與海灘特性的沈積作用影響很大。本研究除了取得挖子尾的潮位資料外，並讀取每 10 秒內水位的最高點與最低點，以此水位差推為當時的波浪高度 (波浪振幅)，波浪越高，所帶來的能量就越大，藉以了解此地颱風時期潮汐漲落、波浪振幅與風速之間的關聯。

圖 4 為辛樂克颱風期間 9 月 4 至 6 日中午挖子尾測站所得之潮位、風速與波浪 (潮汐水位差) 之間的關係圖，由於資料時間為二天半，淡水河口的潮汐屬於半日潮。這段期間內共有 5 次的漲退潮；因風速大小與潮汐漲退的關係，使當時的波浪呈現出來幾種不同的變化趨勢。

本研究將颱風期間漲退潮情況分為 10 個不同的階段，其中 2、4、6、8、10 為漲潮階段，除第 4 階段外，漲潮時期風速皆大，波浪值也跟著增大，6、8、10 的風速又比 2 大，波浪高也同樣比 2 大的多，風速在漲潮時期對波浪的增高有正向的關係；第 4 階段的風速雖然小，但是因為適逢漲潮時期，潮汐推著波浪一波一波向前湧進，雖然風速不大，但仍然可以有不小的波浪。圖 4 的 1、3、5、7、9 為退潮階段，跟漲潮時期剛好相反，雖然 3、7、9 階段的風速頗大，但因碰上退潮階段，潮水往外海退去，即使風速再強勁也無法創造出強大的波浪；1、5 階段風速小又碰上退潮，波浪能量小，波浪高也越小。由此可知，風速的強弱與波浪之間具有正向的關聯，在漲潮階段當風速越大時，波浪也越大，風速對波浪有增強的作用；但是在退潮階段，即使風速再強大，波浪振幅卻未見增加，乃因退潮時波浪能量削弱，即使強風也無法帶來大的波浪振幅與能量。因此，當颱風來襲又碰到大潮時期，其波浪能量與破壞力即非常驚人。圖 4 中的第 10 單元，就說明當高潮時又碰到大的風速時，便可能形成特別高的波浪。



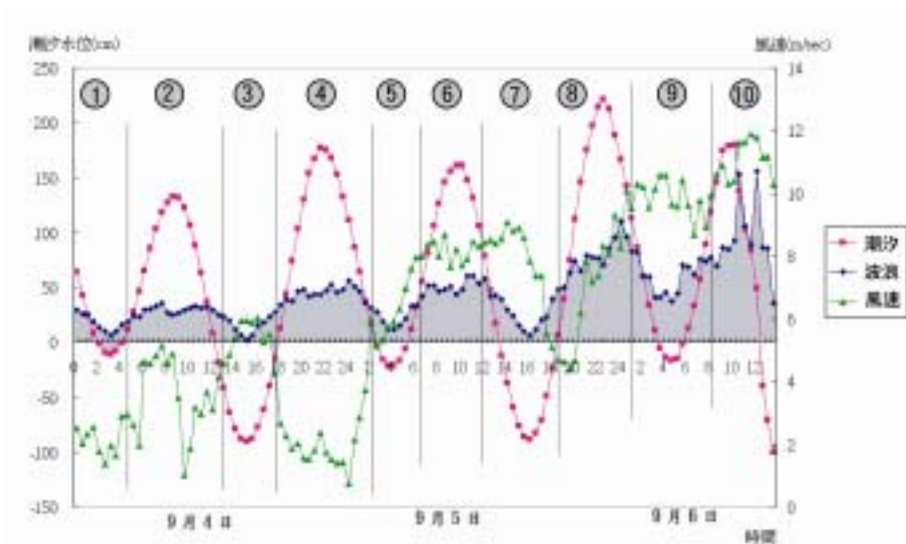


圖 4 辛樂克颱風期間挖子尾潮位變化、波浪、風速比較圖

## (二) 辛樂克颱風造成的地形變化

為更了解辛樂克颱風對灘面造成的侵淤變化，將颱風前（2002年9月3日）、後（2002年9月22日）二次的灘面資料利用影像相減的原理進行比較，可得出挖子尾灘面侵淤互現的狀況（圖5）。研究成果以藍色表示侵蝕狀況，紅色表示淤積情況。在辛樂克颱風後的灘面比颱風前侵蝕深度達1.2m，堆積深度可達0.9m，都只能代表這段時間內變化的最終結果，整個灘面以侵淤10cm左右的區域所佔面積最大。若以每個內插網格 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 的面積計算侵淤變化量，則颱風事件後灘面堆積了 $2,955\text{m}^3$ ，侵蝕量為 $15,674\text{m}^3$ ，全區總變化量為侵蝕 $12,718\text{m}^3$ ，辛樂克颱風事件造成了泥沙被搬走而灘面變動的狀況。

以ABC三區而言，侵蝕最嚴重的地方以B區及A區近T5控制點旁的水泥路附近灘面為主，是辛樂克颱風事件中被侵蝕最深的地方。T5控制點旁水泥路西側侵蝕狀況又比東側嚴重，此乃因波浪由西側迎面而來，波浪受到堤防效應在此產生折射，不斷地挖空此地附近的泥沙使得西側所受到的波浪能量衝擊遠大於東側，故以此區侵蝕現象最嚴重。堆積最多的地方在A區暴潮線以上的後濱灘面及近濱線處，此與A區中間較低窪，海水波浪湧進時能輕易將此處較細的泥沙顆粒往後濱區搬運，當能量減弱時則泥沙沈積於此或順著退潮方向往濱線處移動，才會形成中間侵蝕兩旁堆積的狀況。

## (三) 颱風事件後的灘面變化

將辛樂克颱風事件後的其他次灘面測量資料進行比較，不同時期灘面的侵淤狀況互異，但直至2003年5月最後一次灘面卻幾乎都是堆積的狀況，此可能與季風轉向改變漂沙與水流活動有關。若計

算各個不同時期灘面的侵淤量 (表 4)，並配合挖子尾測站所得辛樂克颱風的資料，辛樂克颱風造成的波浪能量與灘面侵蝕量之間呈現正向的關係，單就颱風事件而言，灘面侵蝕程度較嚴重；但颱風之後各月的灘面侵淤變化量，2003 年 3 月前整體侵蝕量仍比堆積量多，至 2003 年 5 月時，本區的堆積量已經超過侵蝕量達  $5,848\text{m}^3$ ，此應與季節性的風向轉變有關，由於辛樂克颱風事件以北風為主，冬季主要吹東北季風，到了 5 月的風向轉變，亦改變了漂沙水流的方向。

若分析颱風事件的灘面變化與之後的灘面侵蝕狀況，可看出灘面在颱風事件後是否具有地形上的回復力 (圖 6)。根據表 5，整個研究期間挖子尾灘面最後的總侵淤量改變了之前以侵蝕為主的狀況，反而堆積了  $101\text{m}^3$ 。可見以挖子尾灘面而言，雖然颱風事件造成此區嚴重侵蝕，但數個月後，河口沙洲仍具有回復的現象，甚至在近濱線的沙洲堆積情況更高於研究前的高度，使整個灘面形態有很大變化，造成灘面切割的小地形區域差異呈更明顯的變化趨勢。

由於本研究並未探討整個挖子尾沙嘴的變動。儘管如此，僅就挖子尾的灘面而言，仍可在短時間內看出地形在颱風事件下的變動與其後的地形回復狀況。這些現象也說明台灣地區的河口環境，呈現一個高度動態的狀況。由於淡水河流量相當大，河流、海洋、潮汐等營力相當複雜，對於挖子尾灘面變動的影響營力以及機制之探討，仍須更多流量、流速、漂沙等相關資料佐證。

表 4 挖子尾灘面不同時期地形侵淤變化表

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
測量時間	2002 年 9 月 3 日	2002 年 9 月 22 日	2002 年 11 月 3 日	2003 年 1 月 16 日	2003 年 3 月 2 日
	2002 年 9 月 22 日	2002 年 11 月 3 日	2003 年 1 月 16 日	2003 年 3 月 2 日	2003 年 5 月 18 日
侵蝕量 ( $\text{m}^3$ )	-15,674	-6,033	-6,716	-2,594	-5,308
堆積量 ( $\text{m}^3$ )	2,955	1,378	6,345	1,875	11,156
<b>變化總量 (<math>\text{m}^3</math>)</b>	<b>-12,718</b>	<b>-4,656</b>	<b>-371</b>	<b>-719</b>	<b>5,848</b>

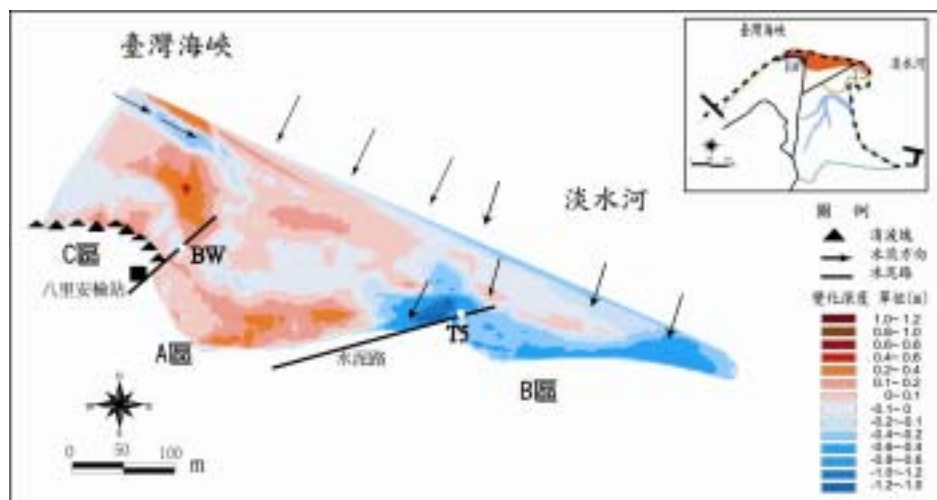
資料時間：2002 年 9 月至 2003 年 5 月。

表 5 挖子尾灘面在辛樂克颱風事件及其後地形侵淤變化表

	辛樂克颱風事件	辛樂克颱風事件後
測量時間	2002 年 9 月 3 日、2002 年 9 月 22 日	2002 年 9 月 22 日、2003 年 5 月 18 日
侵蝕量 ( $\text{m}^3$ )	-15,674	-20,651
堆積量 ( $\text{m}^3$ )	2,955	20,753
<b>變化總量 (<math>\text{m}^3</math>)</b>	<b>-12,718</b>	<b>101</b>

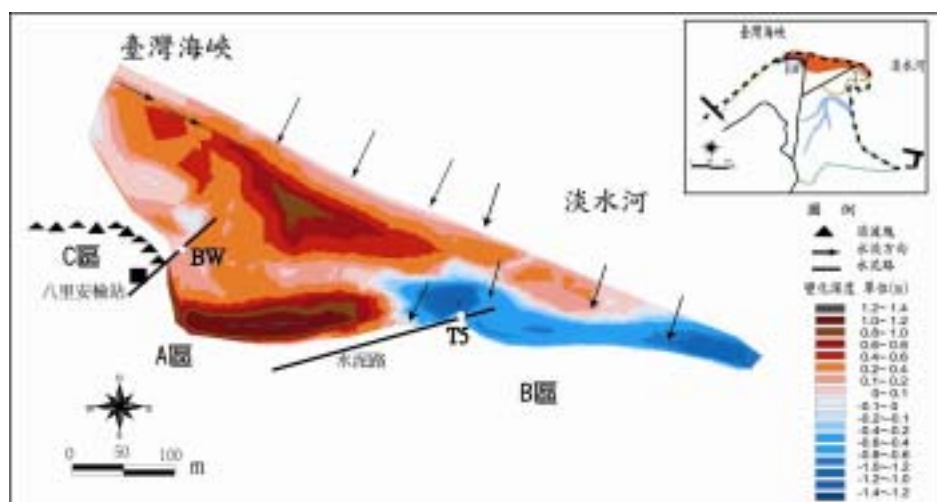
資料時間：2002 年 9 月至 2003 年 5 月。

註：辛樂克颱風侵臺時間為 2002 年 9 月 4 至 8 日。



資料時間：2002年9月3日、2002年9月22日。

圖5 辛樂克颱風前後挖子尾灘面地形侵淤變化圖



資料時間：2002年9月3日、2003年5月18日。

圖6 挖子尾灘面地形侵淤變化圖

#### (四) 挖子尾灘面的剖面形態

海灘的剖面形態反映出波浪對海灘的破壞與堆積的過程。在颱風季前量測之斷面，所呈現的地貌是屬冬季至春季間，各種海岸作用在海灘綜合營造的結果；而颱風季節過後所量測之斷面，則呈現夏、秋季海岸作用（包括颱風作用）之海灘地貌（Komar, 1976）。本研究測量所得資料進行比較時，透過八條剖面線（A、B 區各三條，C 區二條）的分析，了解此區灘面剖面的型態，以及平常時期的灘面侵淤狀況，颱風前後的變化是否有明顯的差異。整體而言，分述如下：

1. A 區（圖 7）：A 區的 3 條剖面線中，A1、A2 剖線地勢較為平緩，A3 剖線較接近 T5 控制點旁的水泥路，整體坡度較陡。整區灘面變化為侵淤互現，颱風後 A1 剖面線在後濱及近濱線的沙洲灘面被侵蝕，但是後續幾次卻慢慢堆積回來，越來越高；中間低平的地區則一直呈現堆積的狀況，但是每次變化量並不大，可能與其地勢較低平有關。A2 剖面線位於 A 區中間位置，與 A1 剖面線有相近的形態，亦呈現堆積的狀況，其後濱處堆積變化尤為明顯；但 2002 年 8 月至 2003 年 5 月期間，後濱區的範圍逐漸向後擴大，根據測量時灘面邊界結果顯示，其後方原有的部分沙丘後退了 1 公尺左右，沙丘高度亦降低，推測 A2 剖面線所在的後濱區的堆積，可能部分來自原沙丘的沈積物。A3 剖面線近 T5 控制點旁的水泥路，後濱區較陡，海水由海向陸湧進時碰到水泥路而產生水流繞射的現象，泥沙一直被淘空、搬運而呈現侵蝕的狀態；近濱線處則地勢低平，變化不大。

2. B 區（圖 8）：本區直接面臨淡水河，由於感潮的影響，漲潮時海水可淹沒整個區域。此區為三個區域中坡度最陡、灘面最小地方。三條剖面線在研究前期都是屬於侵蝕狀態，但至 2002 年 5 月，出現明顯堆積的情況。之前灘面侵蝕的狀態應與地勢陡、波浪能量大，以及灘面小波浪可直接拍打岸邊，且無緩和波浪能量的空間有關。從剖面圖中亦可發現辛樂克颱風事件造成的侵蝕比其他時期的變化明顯，颱風突發事件的營力能量比一般時期來得大。

3. C 區（圖 9）：C 區灘面為三區中為最平坦、地勢最低的地區，整體位於平均潮位以下。從剖面圖中可發現，本區的侵淤量並未特別明顯，但近濱線的沙洲隨著時間而出現位置上的變動，辛樂克颱風事件後沙洲向濱線移動，但後續的資料卻顯示沙洲往岸邊移動，此可能與季風轉移有關；夏季吹東南風，冬季吹東北季風，風向對漂沙、波浪方向產生影響，也帶動沙洲泥沙的搬運而產生沙洲的位移。由於此區的地形特徵與徐茂泉、陳友飛（1999）所提原始坡降小的海岸特性，有部分共通處。推測雖然 C 區的泥沙運動應以向岸運動為主，在長期狀態呈現侵蝕後退情況，但在短期研究中未能突顯出來。

整體而言，辛樂克颱風事件後至 2002 年 11 月時，挖子尾灘面仍以 T5 水泥路左側灘面侵蝕最嚴重，B 區灘面仍然持續呈現侵蝕、A 區後濱區依然為堆積狀態。與第一次辛樂克颱風事件後的測量比較，變化最明顯的地方為 C 區的灘面從堆積 0 至 40 公分轉為侵蝕 0 至 20 公分的狀態；而灘面堆積深度變化則仍以 A 區後濱區堆積最多。到了 2003 年 1 月後，A、C 區外圍的沙洲已經逐漸恢復辛樂克颱風前完整的狀態，且地勢有明顯堆高的狀態；但 B 區的灘面則仍呈現侵蝕狀況，且地勢越來越陡。因此時為東北季風盛行的時候，降雨較多，水流流量增加，使 T5 旁控制點水泥路西側在這段期間內受到嚴重的破壞，侵蝕深度亦可達到 1.2 公尺；而 T5 控制點旁水泥路東西側灘面由於水流來向的差異，使得西側的迎水流灘面較東側灘面受到明顯的侵蝕與破壞；但 B 區灘面仍持續侵蝕，而 A 區灘面則是後濱區與近濱線處的沙洲有明顯堆高現象，已回復辛樂克颱風事件前的沙洲形態，甚至沙

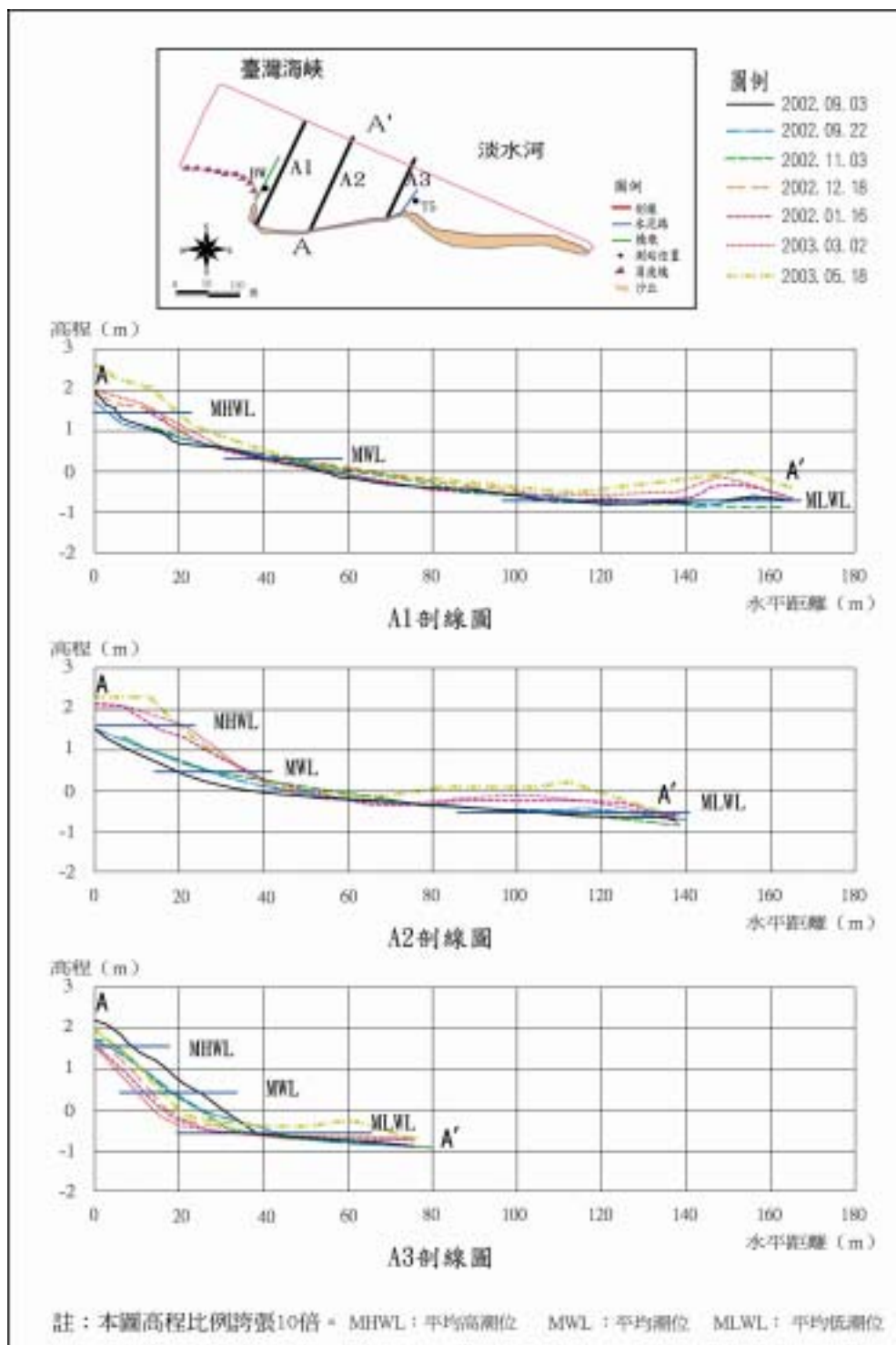


圖 7 挖子尾 A 區灘面剖線變化圖

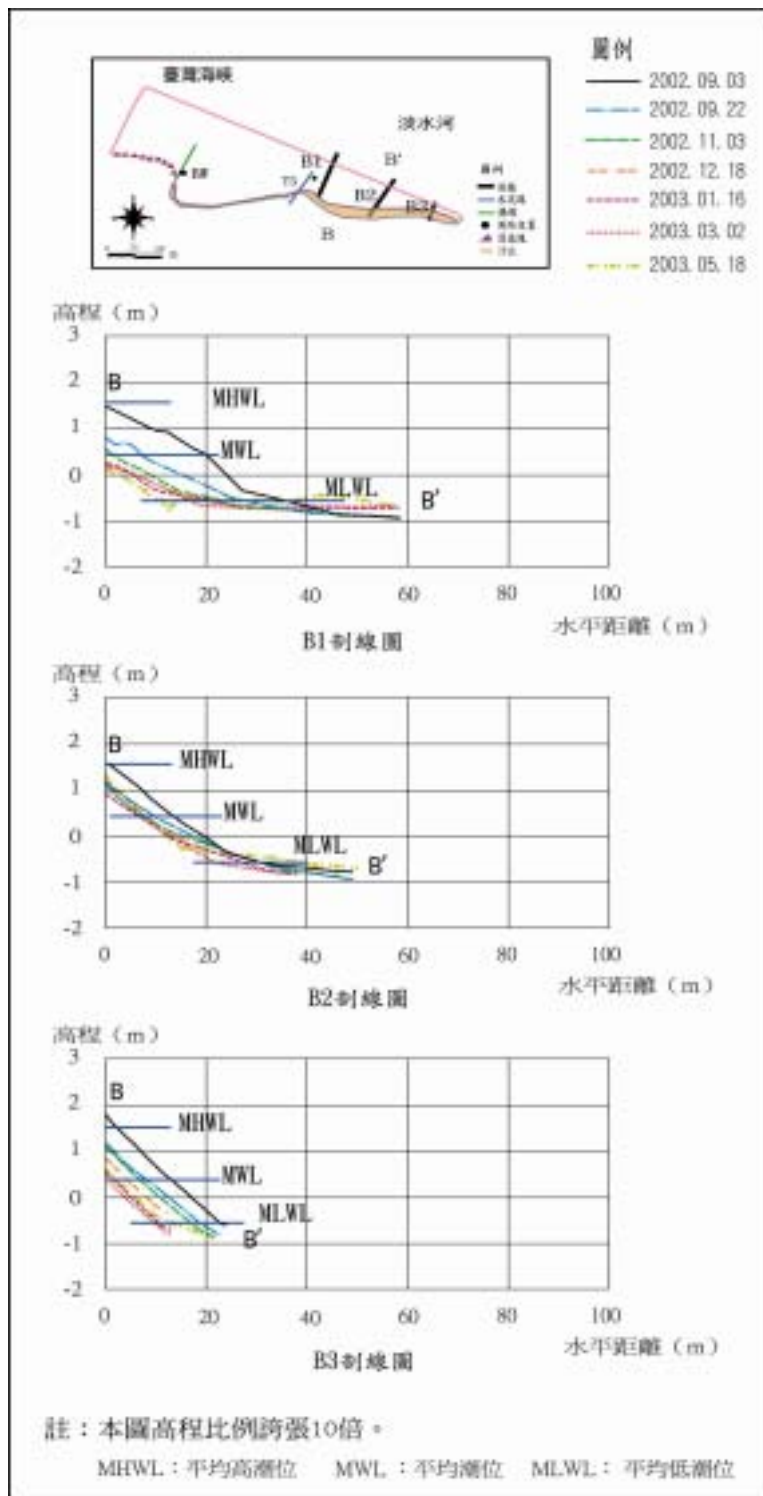


圖 8 挖子尾 B 區灘面剖線變化圖

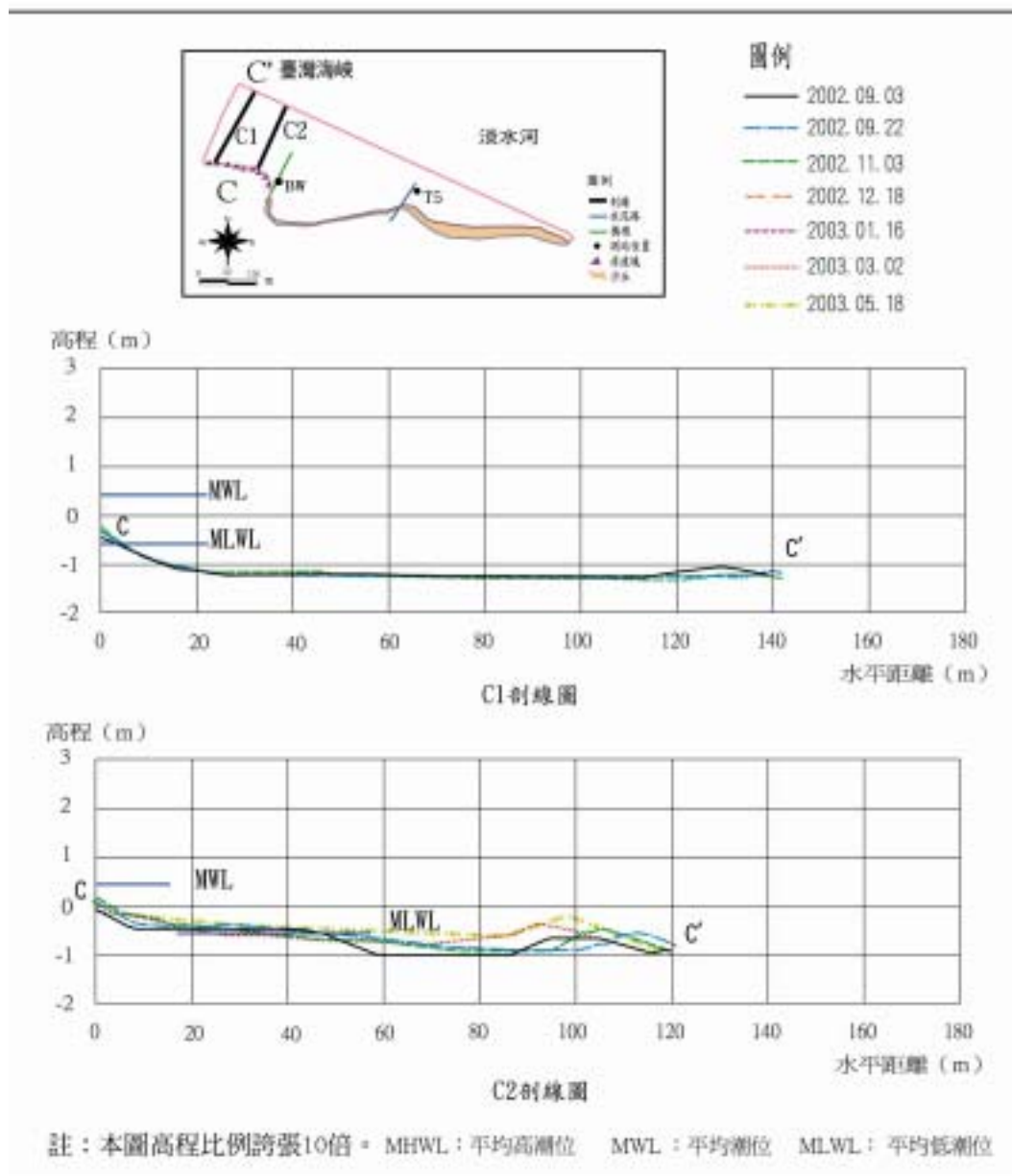


圖 9 挖子尾 C 區灘面剖線變化圖

洲堆得更高且向內陸擴大，此應與季風轉移導致沿岸漂沙活動轉變有關。

2003 年 3 月時灘面與之前的地形並無太大的變化，但 T5 控制點旁的水泥路已經斷裂，且水流已可由 T5 西側直接通到東側；B 區灘面較高處，則首次出現部分淤積的情況，應與季節性的風向轉移有關，將較低處的泥沙顆粒往高處攜帶，而 A 區後濱處的灘面逐漸堆高，外圍的沙洲也堆高擴大，但中間低窪的區域則受到侵蝕而面積縮小。到 2003 年 5 月時 A 區近濱線處的沙洲越來越大，且一直往內

擴大更甚 3 月時，T5 控制點旁水泥路整個斷掉陷落，沿著 T5 水泥路左側有一道比灘面低約 50 公分的水流，為此段灘面泥沙被強勁水流持續在此所淘空侵蝕。由於水流已可由 T5 水泥路左側直通東側，原先整體具有阻隔效果的突堤卻破了洞，使得貫穿的水流將部分在水泥路下方及水泥路東側的泥沙掏出，改變了原先水泥路西側嚴重侵蝕的狀態，可見突堤的阻隔與影響效應相當大。在 2003 年 3 月 5 月這二個月中，本區灘面幾乎整體呈現堆積的狀態，B 區也由早期持續侵蝕至 1 月的高灘面呈現堆積狀況，整區呈現堆積現象，改變最大。此現象應與季風轉移改變漂沙、水流方向有關。

## 討 論

根據本研究對挖子尾灘面實地測量的資料分析，探討灘面短期變動的空間分布與人工結構物之間的關聯性時，可以發現在短期時間內灘面即有明顯的變化。隨著季節與時間的變動，淡水河口的灘面呈現出不同的侵淤形態。

淡水河口流量因暴雨激增可能在短時間內快速影響海灘地形。由於本研究時間僅有一個辛樂克颱風事件，其強度、雨量比起歷年的颱風紀錄並不明顯，河流營力成為探討颱風事件對挖子尾灘面變動時，可暫時省略其他的因素，得由潮汐及波浪作用為主要探討的主題。本研究由挖子尾測站所得之風速、波浪、潮汐資料分析，瞭解辛樂克颱風事件時的強風以及當時的大潮，對灘面的變化的確造成很大的影響。

受限於測量儀器與基準點選擇的困難，本研究並未測量淡水河口挖子尾地區完整的沙嘴，因此亦未探討研究區旁的挖子尾沙嘴是否受到颱風、洪水事件的影響而改變了開口寬度或產生沙嘴形態的轉移，而僅就靠近八里部分灘面進行量測。另由於本研究僅為短期灘面的觀察與測量，仍缺少長期的資料進行比較，因此若能持續進行較為長期的研究，收集更多相關海氣象資料、河流水文資料及颱風事件，探討不同規模、形態的颱風造成的灘面變化、海灘冬夏季剖面的差異等，將能增加對挖子尾灘面受季節性、颱風事件影響之了解。

林雪美等 (2002) 針對臺灣中部、東部等不同規模的河口沙洲進行研究中，認為除了河口規模及主導營力都是影響沙洲變動與回復重要的因素。由於淡水河口的流域規模相當大，河流亦受到太多人為土地利用的干擾，且寬闊的河口受到相當複雜的營力在此交互作用，使得挖子尾沙嘴、灘面的變動特性的主要影響因素亦顯得相當複雜。本研究試圖從沈積物侵淤的變化來探討挖子尾短期的變動，雖然發現灘面的侵淤在颱風事件後有回復的現象，且侵淤空間分布可能受到季風轉移的影響，但仍缺少河口地區流量、流速、輸沙、沙丘等相關環境資料，仍有待繼續長期研究來解決相關的問題。

## 結 論

本研究利用全測儀，從 2002 年 9 月至 2003 年 5 月，共對挖子尾灘面進行了七次的實地測量。透過各時期的灘面 DTM 資料進行影像處理，比對各階段的侵淤情況。研究期間發生的辛樂克颱風，在短期時間內即能對挖子尾灘面造成明顯的侵淤變化。颱風事件後的灘面變化為侵蝕深度達 1.2m，堆積深度可達 0.9m，而整體灘面則以侵淤 10cm 左右的區域比例最多；灘面堆積量為 2,955m<sup>3</sup>，侵蝕量為



15,674 m<sup>3</sup>。侵蝕最嚴重的灘面為 B 區及靠近 T5 旁控制點旁水泥路的 A 區灘面，堆積最明顯的地方則為 A 區後濱區及近濱線處灘面。辛樂克颱風時期的波浪能量、漲退潮及風速之間有明顯相關。風速大、漲潮時期，則波浪越高、能量越大；若遇上退潮時，則強勁的風速亦無法帶來大的波浪能量。辛樂克颱風事件所帶來的能量與地形侵蝕變化量呈正向的關係。

辛樂克颱風事件後的挖子尾灘面，由於各區灘面受水泥路、坡度等因素差異，而有不同的侵蝕狀況。B 區灘面長時間為侵蝕現象，直至 2003 年 3 月後呈現明顯堆積；A 區後濱區堆高、近濱線處沙洲堆高並向陸擴張，中間低窪地區則呈現侵蝕，為退潮水流的主要通道。C 區灘面受到人為破壞，但數月後已回復自然形態。颱風事件後的挖子尾灘面由侵轉淤，主要是東北季風在此階段扮演著重要的角色。在東北季風轉弱的 3 至 5 月，許多原先侵蝕的灘面都出現堆積的現象，與季風轉向改變了水流、漂沙活動有相當密切關係，易顯現了挖子尾灘面具有短期地形變動的回復力。

除颱風、季風等自然營力外，人工結構物、灘面坡度、寬度等都會影響波浪的能量強度而呈現在地形侵蝕變動。在挖子尾灘面 T5 控制點的水泥路西側，由於是直接迎向水流方向，又受波浪繞射的影響，灘面受侵蝕破壞的程度遠大於東側背水流面，而當水泥路受到破壞之後，部分灘面則由侵轉淤。研究區中以 B 區灘面小、坡度陡、接近水泥路的地方侵蝕最嚴重，堆積明顯的地方則以 A 區後濱區及近濱線處的沙洲為最，沙洲堆高、內陸擴展並延伸。因此，人工結構物對波浪、漂沙活動的影響，在短期內即可觀察得知。

整體而言，淡水河口的地形變遷受到波浪、海流、潮汐與河水的影響，呈現高度動態的狀況。本研究探討短時的地形變動，也說明侵蝕與淤積現象的特徵。

## 引用文獻

- 王鑫 (1988) 地形學，臺北：聯經書局，181-185。
- 中央氣象局 (2003) 淡水潮汐預報，<http://marine.cwb.gov.tw/CWBMMC/tidefoc/014TS.html> [2003.04.01]。
- 林俊全 (1998) 淡水紅樹林自然保留區沙洲陸化問題探討，臺灣省林務局保育研究系列 87-07 號，69-71。
- 林雪美 (1996) 臺灣西部河口地區的地形學研究，國立臺灣師範大學地理研究所博士論文，92-124。
- 林雪美 (1998) 臺灣西部河口地形的短期變動，海峽兩岸環境地形研討會論文集，44-64。
- 林雪美、彭佳偉、張喬盛 (2002) 颱風事件對臺灣河口地形的影響分析—以水璉溪及中港溪為例，國立臺灣師範大學地理研究報告，37: 1-22。
- 邱永芳、洪憲忠、吳基、林柏青、廖慶堂、王胄、徐如娟 (2000) 八十九年八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，5-1 6-41。
- 洪憲忠 (2000) 淡水港海域海岸地形變遷研究，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2-1 2-3。
- 徐茂泉、陳友飛 (1999) 海洋地質學，中國：廈門大學出版社。
- 基隆港務局 (1997) 海岸地形變遷及防護對策研究，淡水港第二期工程 (含淡水港外郭防波堤興建工程) 環境影響說明書 (定稿本) - 附錄三，基隆：基隆港務局，2-1 4-20、7-2 7-4。
- 基隆港務局 (1997) 淡水港第二期工程 (含淡水港外郭防波堤興建工程) 環境影響說明書 (定稿本)。
- 港灣技術中心 (2003) 臺北港海域流速、流向玫瑰圖，<http://ceweb.ihmt.gov.tw/index-new.htm> [2003.04.01]。

- 張瑞津 (1989) 淡水河下游感潮的研究, 地理學研究, 13: 1-55。
- 許時雄 (1991) 淡水河口海岸地形觀測研究, 中國民國第十三屆海洋工程研討會論文集, 426-440。
- 經濟部水利署 (2003) 臺灣主要河川報導, <http://www.wra.gov.tw/River/river.asp#> [2003.04.01]。
- 管晏如 (1987) 測量學, 再版修訂, 臺南: 友寧出版社, 1-10。
- 顏沛華、徐容、溫進丁、呂珍謀、黃煌輝 (1986) 臺灣省臺北近郊衛生下水道系統八里污水處理廠暨海洋放流管等工程影響評估計畫海象現場調查, 經濟部水資源統一規劃委員會臺南水工試驗所研究試驗報告第 93 號。
- 魏震 (2001) 臺北港興建對鄰近海岸地形影響之評析, 國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文, 3-13-13。
- Cowell, P. J. and Thom, B. G. (1994) Morphodynamics of coastal evolution. In : Carter, R. W. G. and Woodroffe, C. D. (eds.) *Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, U. K. : Cambridge, 33-86.
- Fan, K. L. (2001) Some coastal environmental problems in Taiwan, *Acta Oceanographica Taiwanica*, 39: 1-20.
- Komar, P. D. (1976) *Beach Processes and Sedimentation*, N. J. : Prentice-Hall, 36-39.
- Williams, S. F., Dodd, K. and Gohn, K. K. (1990) *Coasts in Crisis*. U. S. Geological Survey Circular, 1-32.
- Wright, L. D. (1977) Sediment transport and deposition at river mouths, *A Synthesis Geological Society of American Bulletin*, 88: 857-868.

92 年 4 月 5 日 收稿  
92 年 9 月 5 日 修正  
92 年 11 月 8 日 接受