

研究所別：地理學研究所

論文名稱：雙溪河口沙洲地形變動之成因探討

指導教授：林雪美

研究生：黃俊彰

論文內容：共一冊，約五萬三千餘字，共分五章十六節，並以六百字摘要說明

摘要

河口是聯繫陸地與海洋的重要管道，包含河川、陸地、海岸三方面，在海陸營力系統作用下，明顯為水流與泥沙的動力轉換點，呈現高度的複雜性與敏感性；河口的堆積形態也會因波浪、逕流與潮汐的交互作用而有所差異。

雙溪河口沙洲為台灣北部頗負盛名的海水浴場。近年，由於沙嘴形貌顯著改變，1999 年動工的核四重件碼頭成為眾矢之的。但影響海岸地形變動的原因複雜，需詳加分析才得以釐清。本研究以近一年的海灘剖面實測資料，探討雙溪河口沙洲在無颱風年下的變動情形，另外，也比對歷史航照找出突發事件對沙洲的影響，藉此探究影響雙溪河口沙洲地形變動的因子。

本研究結果得知，影響雙溪河口地形變動的因子有：1. 颱風強度、路徑、發生的季節與間隔時間，2. 豪雨，3. 強烈東北季風引起的波浪，4. 漁港的興建等四項。颱風的路徑及其所引起的豪雨逕流或波浪營力增強等因素，會造成雙溪河口左、右兩岸沖淤位置與變動量的差異，甚至造成原出海口淤積而形成新的出海口。至於沙洲地形的回復狀況，則需視來襲的颱風強度，及與下次颱風的間隔時間。依據歷年航照數化比對以及年內實測，在無接續強勁颱風的影響下，推估雙溪河口沙洲回復期大約是 10 個月。由豪大雨帶來的陸象逕流營力增強，往往造成左岸沙嘴斷裂，其回復需要 3-5 個月的時間。本研究得知，東北季風的波高大於 2 公尺時，會出現沙洲體積減少、灘面後退、變陡等形態改變，且波高大致與河口沙洲體積呈反比關係。河流沿岸工程方面，雙溪河口右岸的福隆漁港在 1993 年興建完防波堤後，其西側淤沙面積確有逐年增加的趨勢，顯見鄰近漁港的興建對於雙溪河口沙洲變動較具貢獻度。

關鍵字：雙溪河口、東北季風、颱風、豪雨

Abstract

Estuary is an important channel to connect the land and oceans , including three aspects: river、 mainland and coast ; under the influence of mainland and ocean physical strength ,estuary apparently is an motive turning point of flowing water and silt, presenting its complexity and sensitivity.

Shuang-xi Estuary is a famous bathing beach in North Taiwan. Recently,with the noticeable changes in the shape of spit, Zhong- jian dock established in 1999 becomes a target of the public criticism.There are many reasons to cause changes in coast topography and must make much research to make out.According to the findings of the one-year field work and in comparison with the aerial photographs,we attempt to find the key points that change Shuang-xi Estuary's landform.

Based on the result of the research,we conclude four factors that changed Shuang-xi Estuary's landform. 1.Typhoon's intensity、 path、 season and interval time between two typhoons 2. cloudburst 3.wave arising from northeast monsoon 4. Fu-Long fishery harbor. Strong run-off and wave that arise from typhoon will bring about some variation in the sites of erosion and aggradation on right and left banks at Shuang-xi Estuary,occasionally even making old outlet deposition and then forming new outlet. According to the one-year field work and in comparison with the aerial photographs,if there are no successive typhoons attacking, geomorphological cycle of this estuary is supposed to be 3-4 years or so.Besides ,strong run-off arising from cloudburst always destroy the spit on the left bank ,and it needs 3-5 months to recover its former landform. Based on the research,when the wave height is over 2 m,it will cause some changes in the beach's landform such as reducing volume of the sandbar,beach retreat and become steep ; besides , the wave height and the volume of the sandbar are in an inverse proportion.As to the other engineering along the bank, in 1993 ,Fu-Long fishery harbor was built on the right bankof Shuang-xi Estuary, after that,aggradation of its area has become larger and larger on the west side of the harbor year after year.It demonstrates that Fu-Long fishery harbor had much influence on Shuang-xi Estuary's landform.

At Shuang-xi Estuary ,the landform change is related to natural and man-made projects .In this study,we analyze alterant characteristics of Shuang-xi Estuary in one year、 the effects and recovery by typhoon events and to differentiate each effect from various river and coast engineering. The results we get could provide insights to schemes and developments at estuaries by the operation of bathing beach and the public river and coast engineering.

Key word: Shuang-xi Estuary、 northeast monsoon、 typhoon、 cloudburst

目 次

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的	1
第二節 文獻探討	3
第三節 研究理念、架構與方法	10
第四節 研究區概況	19

第二章 灘面地形的年內變動特性

第一節 雙溪河口沙洲地形	24
第二節 鹽寮灘面地形	45
第三節 重件碼頭南側灘面地形	52
第四節 三區營力綜合分析	61

第三章 突發事件對河口沙洲的影響

第一節 突發事件後河口沙洲的變動情形	63
第二節 突發事件海陸象營力探討	70
第三節 河口沙洲的地形回復	77

第四章 河海工程對河口沙洲的影響

第一節 貢寮雙溪自來水廠對河口沙洲的影響	89
第二節 核四重件碼頭對河口沙洲的影響	95
第三節 福隆漁港對河口沙洲的影響	104

第五章 結論與檢討

第一節 結論	106
第二節 檢討	108

參考文獻	110
附錄	115
謝辭	117

圖 目 次

圖 1-1 福隆沙灘相關報導	2
圖 1-2 雙溪河口沙洲原貌	2
圖 1-3 雙溪河口沙洲現況	2
圖 1-4：海灘斷面形狀分類圖	3
圖 1-5 海灘變化模式圖	4
圖 1-6 海岸地形演育的時空尺度關係圖	10
圖 1-7 研究架構圖	12
圖 1-8 研究區示意圖	15
圖 1-9 雙溪河口沙洲實測剖線示意圖	16
圖 1-10 重件碼頭南側實測剖線示意圖	16
圖 1-11 研究流程圖	18
圖 1-12 研究區示意圖	20
圖 1-13 冬、夏季龍洞平均風向風速玫瑰圖	21
圖 2-1 雙溪河口左岸沙洲歷月剖線變化圖	25
圖 2-2 雙溪河口右岸沙洲歷月剖線變化圖	27
圖 2-3 左岸沙洲歷月長軸變動圖	29
圖 2-4 雙溪河口沙洲歷月平面形態變動圖	31
圖 2-5 雙溪河口沙洲歷月立體剖面圖	34
圖 2-6 福隆地區日降雨量圖	35
圖 2-7 冬、夏季龍洞平均風向風速玫瑰圖	37
圖 2-8 歷史上雙溪左右岸河口沙洲形態	40
圖 2-9 雙溪左、右岸河口沙洲與雨量關係圖	42
圖 2-10 雙溪左、右岸河口沙洲與平均波浪關係圖	43
圖 2-11 雙溪河口沙洲體積與雨量、平均波浪關係圖	44

圖 2-12 鹽寮灘面歷月剖線變化圖	46
圖 2-13 鹽寮海岸線呈微波浪狀示意圖	47
圖 2-14 鹽寮灘面面積、體積和雨量關係圖	50
圖 2-15 鹽寮灘面面積、體積和平均波高關係圖	51
圖 2-16 重件碼頭南側灘面歷月剖線變化圖	53
圖 2-17 重件碼頭南側立體剖面圖	55
圖 2-18 重件碼頭水下礁岩區示意圖	57
圖 2-19 重件碼頭南側灘面面積、體積和雨量關係圖	59
圖 2-20 重件碼頭南側灘面面積、體積和平均波浪關係圖	60
圖 3-1 提姆颱風前後河口沙洲變動圖	64
圖 3-2 瑞伯颱風前後河口沙洲變動圖	65
圖 3-3 象神颱風前後河口沙洲變動圖	66
圖 3-4 納莉颱風衛星雲圖	67
圖 3-5 納莉颱風前後河口沙洲變動圖	67
圖 3-6 納莉颱風後新、舊出海口示意圖	68
圖 3-7 雙溪左岸沙嘴斷裂	69
圖 3-8 左岸左岸沙嘴回復	69
圖 3-9 瑞伯颱風逐時風浪圖	71
圖 3-10 象神颱風逐時風浪變化圖	72
圖 3-11 納莉颱風逐時風浪變化圖	73
圖 3-12 1995 年 5 月降雨量、逕流量關係圖	74
圖 3-13 納莉颱風 9 個月後雙溪出海口	85
圖 3-14 辛樂克颱風 2 個月後雙溪出海口	87
圖 4-1 抽水前河口沙洲形態	89
圖 4-2 抽水 4 年後河口沙洲形態	89
圖 4-3 抽水 7 年後河口沙洲形態	90

圖 4-4 雙溪水文站、自來水廠位置圖	91
圖 4-5 雙溪測站 2、測站 3 線性迴歸關係圖	93
圖 4-6 重件碼頭位置示意圖	95
圖 4-7 模擬夏季颱風波浪造成的離岸流示意圖	96
圖 4-8 模擬重件碼頭興建後冬季沿岸流況改變示意圖	96
圖 4-9 重件碼頭南北側灘面歷年變化圖	97
圖 4-10 福隆海岸面積變化趨勢圖	99
圖 4-11 重件碼頭南側民國 90 年與 88 年冬季地形比較	100
圖 4-12 重件碼頭南側民國 90 年冬季與 90 年春季地形比較	100
圖 4-13 重件碼頭南側民國 90 年冬季與 86 年溫泥颱風後至冬季地形比較	100
圖 4-14 重件碼頭南側納莉颱風後冬季 (90.11) 翌年春季 (2 月) 地形比較	100
圖 4-15 福隆海岸灘面夏季粒徑中數變化圖	101
圖 4-16 福隆海岸灘面夏季粒徑中數變化圖	101
圖 4-17 冬季水下沙洲示意圖	102
圖 4-18 夏季水下沙洲示意圖	102
圖 4-19 鹽寮海灘離岸流系統示意圖	103
圖 4-20 福隆漁港興建前、興建中沙洲面積變化圖	105
圖 4-21 福隆漁港興建前、後沙洲面積變化圖	105
圖 4-22 歷年福隆漁港西側淤沙面積佔雙溪河口沙洲面積百分比變化圖	105

表 目 次

表 1-1 福隆海岸地形施測時間表	14
表 2-1 雙溪河口沙洲歷月左、右岸面積變動表	32
表 2-2 雙溪河口沙洲歷月體積變動表	33
表 2-3 野外實測前十天平均降雨量表	35
表 2-4 龍洞站歷月波浪資料表	36
表 2-5 實測當日潮差及當月平均潮差表	37
表 2-6 鹽寮海灘體積和面積歷月變化量表	47
表 2-7 重件碼頭南側灘面歷月面積體積變化表	54
表 2-8 三區面積、體積與海陸象營力相關係數統計表	61
表 3-1 侵襲雙溪河口主要颱風事件	63
表 3-2 四個颱風前後河口沙洲變動量表	68
表 3-3 四個颱風前十天及颱風當天河海營力變動表	73
表 3-4 比較突發事件的海陸營力造成之沙洲形態改變	75
表 3-5 颱風各項營力與左岸變動量百分比相關係數分析表	75
表 4-1 重件碼頭南北側歷年灘面面積變化表	98
表 4-2 三區歷年灘面面積變化表	98
表 4-3 福隆漁港興建前後雙溪河口沙洲面積變化量表	105

照片目次

照片 2-1 雙溪右岸沙洲人為挖沙情形	28
照片 2-2 右岸沙洲『海洋音樂祭』整灘情形	28
照片 2-3 左岸沙洲前端遭挖除	32
照片 3-1 雙溪 4 月份出海口位置	77
照片 3-2 雙溪右岸隆隆溪河道	77
照片 3-3 雙溪舊河道因人為影響而封閉	78
照片 3-4 隆隆溪因人為影響改道出海	78
照片 3-5 隆隆溪旁人工土堤	78
照片 3-6 雙溪右岸灘面挖掘情形	79
照片 3-7 雙溪右岸沙洲海洋音樂祭整灘情形	79
照片 3-8 雙溪右岸舉辦音樂晚會	80
照片 3-9 雙溪右岸灘面整灘	80
照片 3-10 雙溪 8 月份出海口	80
照片 3-11 雙溪右岸「親子塑沙活動」舉辦	80
照片 3-12 雙溪 9 月右岸灘面遭大雨沖刷情形	81
照片 3-13 雙溪 9 月份出海口	81
照片 3-14 雙溪 12 月份出海口	81
照片 3-15 跨河大橋橋墩裸露，堆置沙包	81
照片 3-16 雙溪 1 月河道概況	82
照片 3-17 雙溪 1 月份出海口	82
照片 3-18 雙溪 2 月份出海口	82
照片 3-19 跨河大橋右岸橋墩裸露	82
照片 3-20 雙溪 3 月份出海口	83
照片 3-21 左右岸沙洲距離靠近	83

照片 3-22 雙溪 5 月份出海口	83
照片 3-23 雙溪與隆隆溪交會入海	83
照片 3-24 桃芝颱風前概況雙溪出海口	85
照片 3-25 桃芝颱風後雙溪出海口	85
照片 3-26 納莉颱風後雙溪出海口	85
照片 3-27 納莉颱風 2 個半月後雙溪出海口	85
照片 3-28 納莉颱風 5 個半月後雙溪出海口	85
照片 3-29 納莉颱風 8 個月後雙溪出海口	85
照片 3-30 納克莉颱風後雙溪出海口	87
照片 3-31 辛樂克颱風前雙溪出海口	87
照片 3-32 辛樂克颱風後雙溪出海口	87
照片 3-33 辛樂克颱風 20 天後雙溪出海口	87
照片 3-34 辛樂克颱風 6 個月後雙溪出海口	87
照片 3-35 辛樂克颱風 9 個半月後雙溪出海口	87

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

河口是聯繫陸地與海洋的重要管道，也是人類聚落以及交通港口發展的重要據點，舉凡河口對於環境、生物、人類生態等，都有舉足輕重的影響。河口因位於河海交界，在多元的營力系統作用下，呈現高度的複雜性與敏感性。台灣四周海岸地區，冬季面對強勁東北季風的吹拂，風浪營力明顯增強。夏季因為颱風侵襲、暴潮洪水造成的海岸侵蝕，則可在瞬時間完全改變海岸地貌。河口地區在冬夏季受到截然不同的自然營力影響，自然營力如何改變河口地形，值得深入探討。除了自然因子的影響，人為開發與河海結構物的設置亦是重要的影響因素，如漁港、防波堤、工業區、發電廠等都在此成立，增加了海岸的不穩定性；而且人為活動對河口地形的影響有時更甚於自然的營力。因此，針對河口地區進行人為工程時，需特別注重開發行為與土地利用相容性、適宜性的評估與規劃，以達資源永續發展。

河口地形的變動受到自然及人文因子影響，自然因素包含有逕流、潮汐和風浪等三種主要影響因子，而人文因素主要有水庫的建造、海岸工程及河流沿岸的整治及抽水、土地利用形態不同等；根據營力的不同，河口地形可分為風浪主導型（wave-dominated）、逕流主導型（river-dominated）與潮汐主導型（tide-dominated）等三類(Perillo, 1995；Woodroffe, 2002)。

近年來，位於台北縣雙溪河流出海口的福隆海水浴場，新聞大篇幅報導指出海灘有沙源流失情形(圖 1-1)，導致河口形態大規模改變（圖 1-2、1-3），部分輿論將矛頭指向 1999 年開始建造的重件碼頭。經過原委會調查小組鑑定之後，認為沙源的流失主要可歸納成三方面：1.颱風事件 2.沿岸河流整治工程 3.重件碼

頭。因此本研究以福隆海岸為研究區，探討其沙源流失的主因，並達到以下之研究目的：

1. 歸納雙溪河口沙洲的年內短期變動特性
 2. 探討雙溪河口沙洲颱風事件對其沙洲變動影響
 3. 探討河海工程對雙溪河口沙洲的影響
 4. 麼清三者對於雙溪河口沙洲變動之主導原因



圖 1-1 福隆沙灘相關報導 2003.2.26 中國時報



圖 1-2 雙溪河口沙洲原貌 1996.6.27



圖 1-3 雙溪河口沙洲現況 2003.6.25

第二節 文獻探討

以下針對研究目的，分別就常態下的河海營力、突發事件對灘面的影響以及河海工程對灘面的影響兩部份來探討相關文獻：

一、 常態下河海營力及突發事件對灘面的影響

湯麟武（1964）是台灣最早從事有關以河口為研究主題的學者，以數學模式推估研究的方法開啟河口沙洲的研究，相關研究以模擬及室內實驗佔大多數。其研究指出冬季東北季風吹拂之下，造成河口沙洲堆積，且在西部海岸，冬季的河口沙洲有由北往南移動的趨勢。

Sunamura and Horikawa (1974)根據試驗結果將一般平衡海灘斷面形狀，依波浪尖銳度和海灘坡度分為三種形式(圖 1-4)。第一型 (type A) 為暴風海灘 (storm beach) 或冬季海灘 (winter beach)；第二型 (type B) 為中間型海灘；第三型 (type C) 為正常海灘 (normal beach) 或夏季海灘 (summer beach)。其中正常海灘之漂沙以向岸為優勢方向，沙粒被推移至前灘成平台，而暴風海灘則呈現侵蝕狀，灘線向內陸移動，漂沙則會繼續往海側移動，而於較遠處形成沙洲。

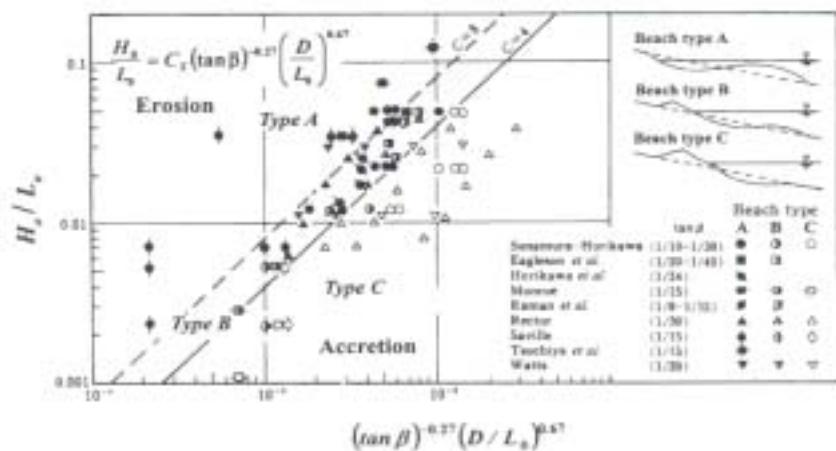


圖 1-4 海灘斷面形狀分類圖 資料來源：Sunamura 和 Horikawa (1974)

Sunamura (1985) 在海灘變化模式中(圖 1-5)，指出沿岸流 (longshore) 及向、離岸流 (on-offshore) 的大小與海灘的侵蝕與堆積之間的關係，並具體繪出離岸流與水下沙洲形態變化之關係，在平常離岸流較小時，對海灘是堆積作用，當冬季暴風或是颱風來臨時，對於海灘則是侵蝕作用；而沿岸流 (longshore) 盛行的地區，會將沿岸漂沙帶往下游測，水下沙洲等深線會較平行於海灘。因此，水下沙洲形態與沿岸流和離岸流大小有密切關係。

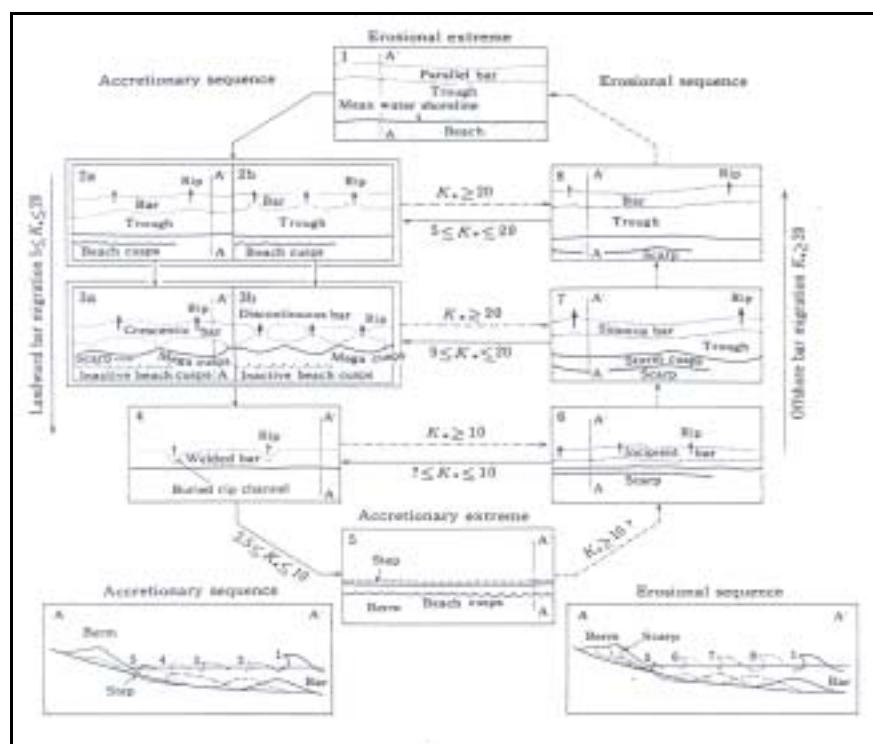


圖 1-5 海灘變化模式圖 資料來源：Sunamura (1985)

Sawamoto and Shuto (1988) 認為洪水造成的地形變化，往往是短時距的變化，在一個動態平衡的環境，在數天至數月即能藉常態性的水文營力恢復成原來的堆積形態。而 Cooper (1994) 在南非 Mvoti 河研究洪水前後河口型態的變化，所做的研究結果指出，一個逕流主導形的河口沙洲，突發事件對河口地形影響劇烈。研究發現，其研究區經過一個劇烈的風暴之後，河口沙洲在河流營力作用下，變化過程有循環的週期性，且回復的週期甚短，這也顯示了逕流主導形的主要特

徵。

Larson and Kraus (1994) 探討美國 Duck 海灘剖面的季節性與空間上的變化關係，研究認為波浪營力會明顯改變海灘的剖面形態，剖面的高程變化與波高有顯著相關。在春夏時波浪較小，秋冬季節波浪較強，都會造成不同剖面的變化。並導出一個剖線高程與波浪強度的相關公式，如下：

$$\triangle D = 1.15He - 1.25(m) \quad (\triangle D: \text{剖面高程變化}, He: \text{有義波高})$$

因此在冬、夏季風轉換明顯地區，波浪強度和灘面高程關係密切。

陳木祥 (1994) 探討在波浪作用下，因向離岸漂沙運移所造成的斜坡沙灘剖面之變化，以不同的波浪特性和沙灘坡度分析其對沙灘地形變化、輸沙量和輸沙率之影響。研究指出原始沙灘坡度是影響沙灘剖面變化的重要因素，若週期短、波高大和原始沙灘坡度緩，在原始灘線處較易沖刷成沙洲地形。

石再添、林雪美等 (1996) 以巨觀的角度對於台灣北部河口的自然環境、河口堆積型態等作分析比較，並且採用河海營力統計資料，對於堆積型態做分析探討。其中依據平均能量而言，可分成六大類型，其中雙溪河口屬於逕流主導型河口，且是屬於低能量型河口；但是以最大能量而言，雙溪卻是屬於風浪營力型的河口。

Bird (1996) 在研究中提到河口沙洲的形態敏感，在降雨旺盛的季節，由於陸象逕流營力的增強，會將河口沙洲壩沖開，而直到陸象營力減弱以及沿岸流營力增強，漂沙量的增加會將原先沖開的沙洲壩修補回復。

郭金棟等 (1997) 利用歷年航照圖及地形圖疊圖來研究林邊溪口的沙嘴變遷特性，研究指出沿岸漂沙並非造成沙嘴生長的主要原因，而主要是由海洋波浪入射造成向岸輸沙，將淤積於河口之沙源重新堆回河口內，也造成沙嘴形成地點並不在出海口，而是在距離河口上游幾百公尺地方出現。

Walker and Hammack (1997) 研究中指出，研究區內每年 10 月到隔年 4

月間的冬季暴風，對於研究區沈積物循環、再懸浮、輸送與水位和鹽度的變化都有相當程度的影響。由衛星影像中即可察覺冬季暴風對本區沈積物再懸浮與輸送的影響，也足以證實漂沙帶的寬窄及走向與風有直接的關連性。

長林久夫等（1998）於日本東北河口地形研究中探討降雨量與河口幅之間的關係，文中提及由於水文資料缺乏，以降雨量代替逕流量，來分析由暴雨所帶來高逕流量對河口的衝擊。並在研究中得知，只要 2 日累積降雨量達到 40 mm，河口將被沖開，河流長度未超過 25 km 的河川，其界檻值則為 25 mm 累積降雨量便能將河口沖開。

Corbau 等（1999）在法國北部大潮汐所做的研究指出，短時期波浪營力強弱的改變顯著影響當地海岸地形的變化，而洪水其間帶來的逕流增加導致海灘侵蝕以及海岸線後退，且灘面變化的高程約在 1 m 左右。

Phillips(1999) 研究結果指出，海岸對於事件的反應，通常其發生的序列與原先海岸的狀態都較事件的規模與能量更為重要。就海崖侵蝕後退的機制而言，事件的時機、序列和當時的地形狀態，較事件本身的規模更為重要，Neuse 河口在兩個月內歷經兩個規模相近颱風的侵襲，造成的結果卻有明顯的差異，原因就在於第一個颱風已對海岸地形造成影響。

張喬盛（2000）在花東海岸河口沙洲短期變動研究顯示，花東海岸河口沙洲變動具有共同性與差異性。在共同性方面：河口沙洲在冬季穩定成長期間，河口沙洲具有左岸向右岸延伸的趨勢，且沙洲寬度變窄的現象；另外，河口沙洲在颱風事件影響後皆能回復堆積規模及型態。在差異性方面：河口沙洲受重大營力的影響，變化規模不一，與其河口規模及河口段沉積物粒徑有關，且回復時間長短不一。花東海岸河口沙洲明顯受颱風事件的影響，但研究區內的三條河川變化趨勢相差甚大，水璉溪河口沙洲整體流失情形不嚴重，與其在颱風後迅速回復堆積速度有關，故整體變化量不大，回復時間快；秀姑巒溪河口沙洲則全數遭沖走，河口沙洲需要較長時間恢復堆積；馬武窟溪河口沙洲則呈現向海擴張，流失量不若秀姑巒溪大，並在海象營力作用下回復應有的堆積規模；其中本研究的雙溪河

口沙洲和馬武窟溪河口沙洲除了皆屬於東北部河川，且在流域面積、主流長度上極為相似，雙溪是否也有相同變動特性，值得深入探討。

林俊全等（2000）由地形剖面探討淡水河河口下游段紅樹林分佈和地形演育及水文關係中提及，淡水河的變遷呈現著動態的變化。沙洲受到洪水的影響，會先有沖蝕的現象，然後再回填的特徵；而地勢對紅樹林的分佈也有限制，然紅樹林植物及洪水事件又影響沙洲地形的變遷，顯示植物、地形、洪水之間的密切關聯性。

Woodroffe（2002）指出海岸地形在長時距下的變動趨勢，是由數個中、短時距的事件所累積造成的結果，其地形變動的關鍵與風浪營力大小、沿岸漂沙以及輸沙量多寡有關；極端事件對於海岸則是高能量、低頻率的干擾，當強度超越地形變動的界檻值，就會表現出海岸瞬間尺度（instantaneous-scale）的變動特性。

Ryu（2003）針對朝鮮半島南部的河口沙洲進行研究，指出島上開放型河口主要受到季風的影響，使的波浪的營力大於潮汐和海流，和北美的部分地區有相同的情況，會出現冬季侵蝕、春夏堆積的形態；另外，在半封閉型的河口沙洲主要受到潮流影響大於波浪因素，沙洲兩側反而在冬季出現堆積，但在夏季卻出現侵蝕的狀況；沙洲前緣的情形剛好相反，是冬季侵蝕、夏季淤積，不過都具有季節循環的特徵。

從以上的文獻可以得知，影響河口地形因子複雜，河口具有其獨特性，在常態下各河口會有不同營力主導形態變化，有時會隨著季節而有所改變。在逕流營力主導的河川，通常會因為降雨量多寡導致河口沖、淤明顯；在風浪主導形的河口，季節性轉變則較為明顯。一旦河口遭受到突發事件的影響，則河口形態可能會在短時間內被改變；但其程度和河口規模及突發事件強度有關，通常河口規模愈大、突發事件強度越強則回復期越長。

二、 河海工程對灘面的影響

Komar (1976) 曾指出在海岸興建垂直海岸方向的人工結構物，波浪會因為突堤的影響而改變流況，在沿岸流上游側會受突堤影響而有攔截沙源情形，而在突堤的後方，則會因為波浪入射和波浪的繞射效應而產生侵蝕，此稱為突堤效應。

鄧國雄 (1985) 在淡水河下游河道的研究中，利用歷年地圖、野外實察以及河道剖面資料等方式，計測淡水河系下游之河道型態的變化，並以自然和人文因子一起討論河道形態變遷的原因，並認為除自然因素之外，河口地區上游興建水庫的人文因素對近期地形的演育扮演了極為重要的角色。

陳吉餘等 (1988) 從歷史資料的紀錄以及河口段沈積物特性，來分析兩千年以來在長江河口的發育模式，並認為人類在海岸地區大規模的開發與利用大大的改變河口的地形，且認為人為影響力量比自然因素來的大。

許泰文、王順寬、歐善惠 (1995) 研究花東防波堤興建前後海岸的變化，指出在興建完防波堤之後，當處海灘灘面發現明顯變化，呈現出南邊侵蝕北邊堆積的狀況。

Levisen and Dolah (1997) 研究中提到，人為所造成的時間流量改變，以長時間來說的話，人為所造成的影響最後會趨近於平衡，不一定會對沉積環境造成巨大變化。

Komar (1999) 在尼羅河所做的相關研究也指出，在 1934 年的亞斯文低壩建立之後，一直到 1971 年的亞斯文高壩建立期間，認為氣候變遷的自然因素主導尼羅河三角洲的變遷甚至大於人為因素，而在高壩建立之後才由人為因素主導三角洲變化。

伍世良 (1999) 在香港河道整治的發展和問題研究中指出，近年來歐美各先進國家在治理河道上都盡量減少使用傳統的工程性方法去治理河流，而加強使用環保的設計和非結構性方法去處理河道問題，其原因主要是發現傳統的工程方法造成多種環境和生態上不良的影響。這些影響通常不侷限於被整治的一段河道，

被整治河道的上游和下游均有可能受到影響，而這些影響往往又都是不可逆轉的。例如，整治後的河底因為缺乏棲底，大部分的水中動物因而死亡，而水文特性的改變也有礙上下游水中生物的迴游產卵，上下游的生態因此受到破壞。

張瑞津、沈淑敏、滕肇芸（2000）等在立霧溪所做的調查中指出，因為興建壩堤的影響，造成流量減少，並且使河流搬運物質的能力降低，而沉積在河道中，也間接減少了泥沙堆積在河口的堆積量大小。

Barrie and Currie (2000) 在人為活動與加拿大 Fraser 河口三角洲形態變動關係研究中提及，Fraser 河口三角洲興建許多大規模工程，因為抽沙量超過河流本身的輸沙量而造成河床下切的趨勢；另外，在海岸線上興建三座防波堤，造成北岸細沙堆積日益加劇，南岸更因為上游側的沿岸漂沙來源銳減，產生嚴重侵蝕現象，由此也顯現人為影響對河口地形的變動扮演極重要角色。

Garland and Moleko (2000) 在南非 Mgeni 河所做的研究認為，在南非 Mgeni 河上游興建的 Inanda 水壩，在建壩後年逕流量減少 4%，壩內攔沙減少下游沈積物的淤積量，且河口沈積物的粒徑變細，但體積卻未明顯減少。推測可能水壩攔截的輸沙量較少，且又有海相沈積物供應，使河口的侵蝕現象不明顯。

許時雄〈2001〉在人工物對於海岸影響上指出，興建人工結構物於海岸上，往往破壞了海岸自然的平衡，反而加速了海岸的侵蝕，歷時數年對西南海岸之實地觀測比較，發現海岸在已興建海堤處，會因海堤阻擋了波浪之自然溯升，波浪被迫反射之能量加速了堤前海灘的侵蝕；海堤堤址離灘線愈近，其侵蝕幅度愈明顯，海灘等深線明顯向內凹入，灘波變陡，堤前水深加大，波浪作用力隨之劇增，侵蝕加劇，以致形成惡性循環；同樣的，興建人工結構物突出於海岸線上，亦往往阻擋了沿岸漂沙的的運行，破壞了漂沙的平衡，而加速了海岸的侵蝕。

由上述文獻可以得知，河岸工程的興建對於灘面的影響，需視河岸工程規模而定，並不一定會造成明顯改變。在海岸上興建人工結構物，可能會引發流場改變，產生突堤效應，導致海岸侵蝕和堆積。而兩者的影響都是在較長時間之下，顯現出對河川和海灘的影響。

第三節 研究理念、架構與方法

一、研究理念

根據 Cowell and Thom (1994) 在針對河口地形變遷所做的研究，一個海岸地形演育會因為許多不同時間尺度的外營力影響，而在時間序列之下，有不同空間變化。以百年以上的極長時距來說，影響地形變遷的因素以地質條件、海平面升降等因素主導；而短時距的年內、季節、月內、日內等來說，影響地形變遷因素以季風、颱風、暴雨、潮汐等為主；而更短的時距如分、秒，波浪或風的營力也會使灘面產生微地形的變化。此外，人為所興建的各種海岸工程，也會在中長時距之下，對海岸形態有所影響。

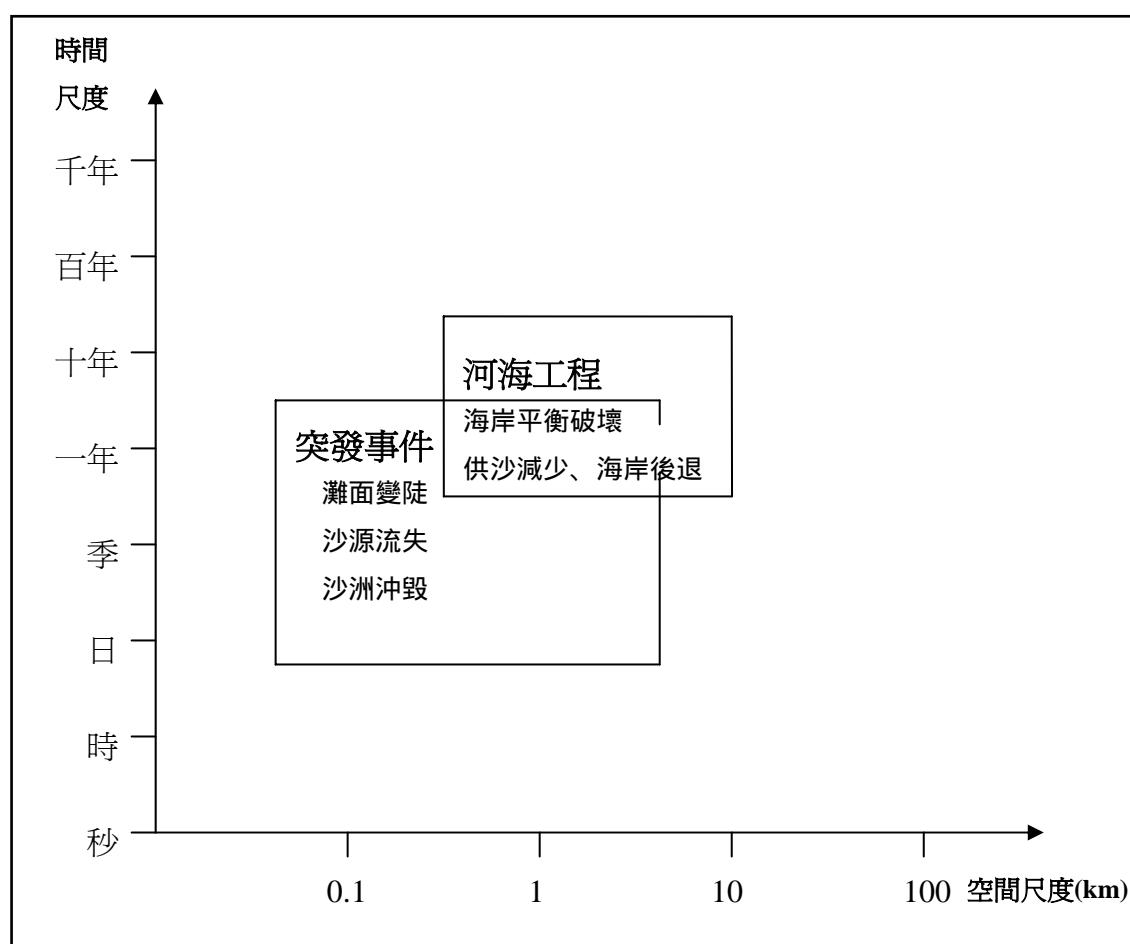


圖 1-6 海岸地形演育的時空尺度關係圖 改繪自 Cowell and Thom (1994)

本研究根據 Cowell and Thom 地形演育的時間以及空間的研究理念（圖 1-6），以年內實測觀察地形在中短時距下的年內變動特性，歷史突發事件的瞬時營力對灘面地形的影響與回復，以及海岸工程的興建在較長時距下對灘面地形的影響，觀察河口沙洲地形在受到自然以及人文因子的交互作用下，去釐清各種因子對河口地形的影響，是本文主要探討的焦點。

二、 研究架構

研究架構如圖 1-7 所示，河流堆積物在出海口處堆積而形成沙洲，河口沙洲在平常受到風浪、逕流、以及潮汐等經常性營力影響，而根據不同營力強弱會出現不同河口形態。逕流主導型的主要形態為河口兩岸地形對稱、等深線與海岸走向平行等（林雪美，1996）；而風浪主導型河口如東部地區的馬武窟溪，具有由北向南延伸的左岸堆積旺盛的形態（張喬盛，2001）；而潮汐主導型河口隨漲潮流於河口海岸四周形成寬廣且平緩的灘面，在潮差顯著的河口則形成垂直海岸的潮脊（林雪美，1996）。而除了平常性、季節性的能量之外，在海岸興建人工結構物往往破壞了海灘剖面的平衡，導致海岸線上會有侵淤情形產生，這種影響通常是長時間且緩慢的改變灘面形態。另外，短時距的自然營力，例如颱風、豪雨會在短時距之下，因為瞬時營力的增強而完全改變灘面形態。因此，本研究嘗試探討雙溪河口沙洲在自然以及人文因子共同影響之下，找出其沙洲變化的主因。

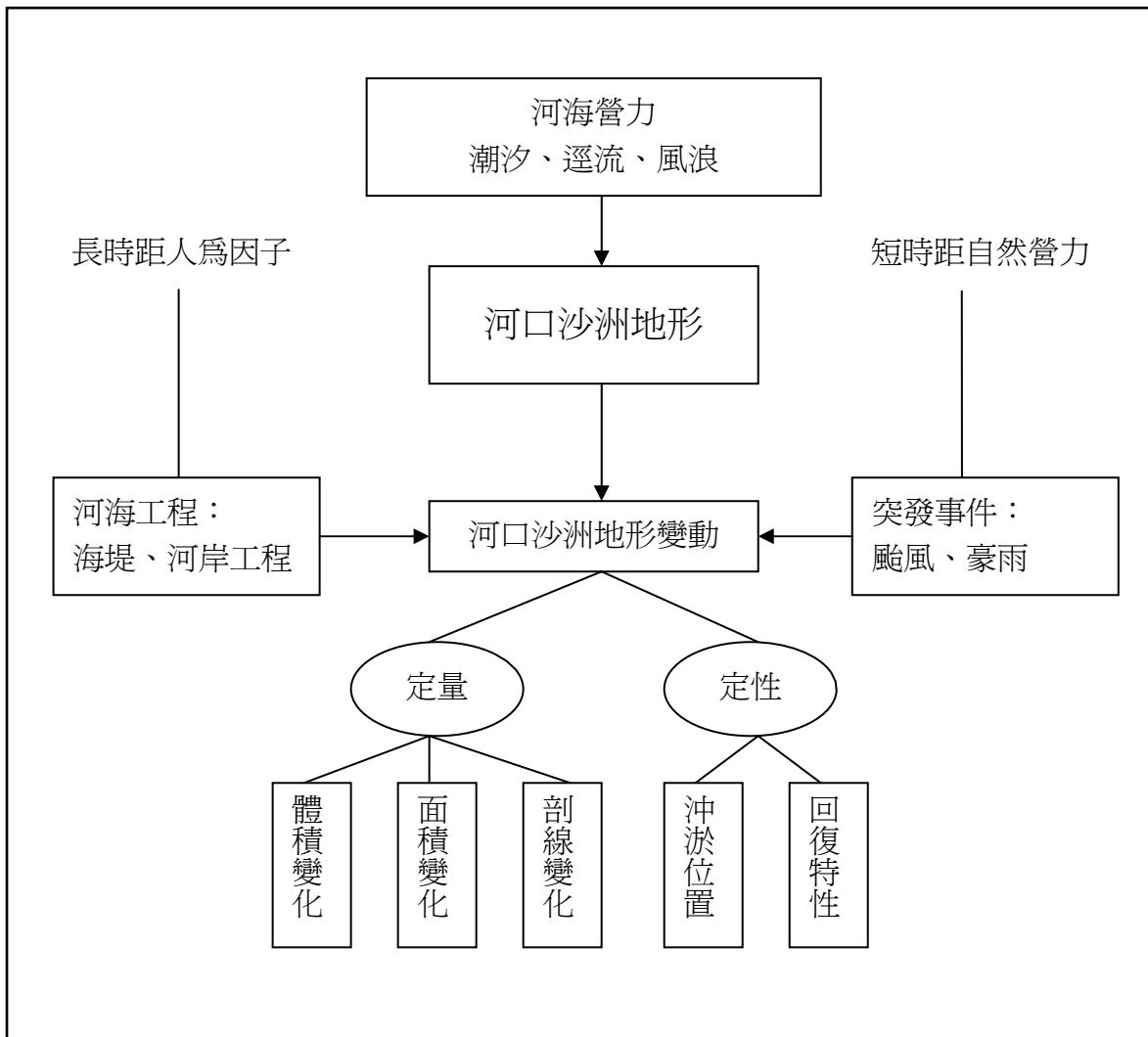


圖 1-7 研究架構圖

三、研究方法與步驟

本研究主要探討河口沙洲的變動原因，主要以短期年內的實測資料為基礎，探討在年內無颱風事件，河口沙洲形態與營力之間關係。並以航空照片推估歷史突發事件以及人為工程對灘面地形的影響，找出地形灘面變動的主要因子。因此，本研究方法的設計如下：

(一) 探討河口沙洲的年內短期變動特性

1. 文獻、資料蒐集

(1) 蒉集雙溪近幾十年來逕流量、降雨量、風浪、潮汐等相關資料。

(2) 蒐集歷史雙溪河口照片以及航空照片，測繪雙溪河口歷年來變動情形，以探討長期河海營力與雙溪河口沙洲變動之間關係。

2. 野外實察（野外考察時間如 表 1-1）

(1) 自動水準儀沙洲型態測量：本研究將福隆鹽寮海岸分成 1. 雙溪河口沙洲、2. 鹽寮海岸、3. 重件碼頭南側等三區（圖 1-8），分別利用自動水準儀於灘面做剖線量測，可初步得知海岸地形特徵。在雙溪河口沙洲測量時以橋墩為基準點，量測雙溪沙洲的左、右岸灘面，以放射性剖線量測，可得知沙洲空間變動特性，並測量包含濱線、濱堤、沙洲壩堆高點等關鍵變化位置。施測時，以每 20° 做一條剖線（圖 1-9），在轉折明顯處加作剖線，右側灘面共有 20 條剖線，而左側灘面則有 7 條剖線。如此一來，即可取得河口沙洲的相關基礎資料。在鹽寮海岸的則是測量垂直海岸方向剖線，在長達 1500 m 的沙灘，每隔約 200 m 施測一條剖線，總共有 8 條剖線，以得知鹽寮海岸歷月剖線消長狀況。在防波堤南側，因灘面比雙溪河口沙洲小，所以共施測 6 條放射性剖線（圖 1-10）。

(2) 風速風向測量：野外時測時，以手持風速風向計量測當時風速風向，與中央氣象局資料作比對之用。

(3) 灘面堆積物採樣：每次野外實測時，沿著鹽寮海岸至雙溪河口沙洲方向採砂，並採靠近濱線上的沙，在漲落潮下各採集一次沿岸漂沙樣本，以便進行室內雷射粒度分析儀實驗。

(4) 波浪：野外實測時，利用自動水準儀以及箱尺和望遠鏡，量測當時波浪高度以及週期，測得資料與中央氣象局資料可作比對之用。

3. 室內實驗：以雷射粒度分析儀進行堆積物的粒度分析，藉由粒徑中數變化得知此處沿岸流的流向，探討冬、夏季節轉換時，季風風向的轉變對沿岸流的影響。

表 1-1 福隆海岸地形施測時間表

施測日期	操作項目								備註
	雙溪河 口灘面	鹽寮海 岸灘面	防波堤 南側	風力	波浪	沿岸漂 沙採樣	含沙量	拍照	
2003.4.8								✓	第一次實察
2003.5.10-11	✓			✓	✓	✓		✓	
2003.6.17								✓	蘇迪勒颱風後
2003.7.8-9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2003.7.29								✓	尹布都颱風後
2003.8.4								✓	莫拉克颱風後
2003.8.12-13	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
2003.8.22								✓	梵高颱風後
2003.9.27-28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2003.12.4-5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2003.12.17								✓	
2004.1.16-17	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
2004.2.21-22	✓		✓	✓	✓	✓		✓	
2004.3.11								✓	
2004.5.2								✓	

4. 室內分析工作

- (1) 雙溪河口沙洲和重件碼頭南側使用 Microsoft Excel 軟體繪製河口地形剖面圖，說明歷月剖線變化情形。並使用 CorelDraw 9 軟體繪製平面形態變動圖，說明海灘二維空間變化形態特徵。再使用 Golden Software Surfer 6 繪製灘面立體形態圖，以軟體之公式計算出體積量，說明歷月體積變動量特性。
- (2) 鹽寮海岸使用 Microsoft Excel 軟體繪製河口地形剖面圖，但不同於放射狀剖面的 Golden Software Surfer 6 軟體，而使用 Arc Gis 8.1 計算出 8 條剖線歷月之體積和面積變化。
- (3) 利用相關係數統計，分析風浪、降水量以及潮汐營力等對地形的影響。

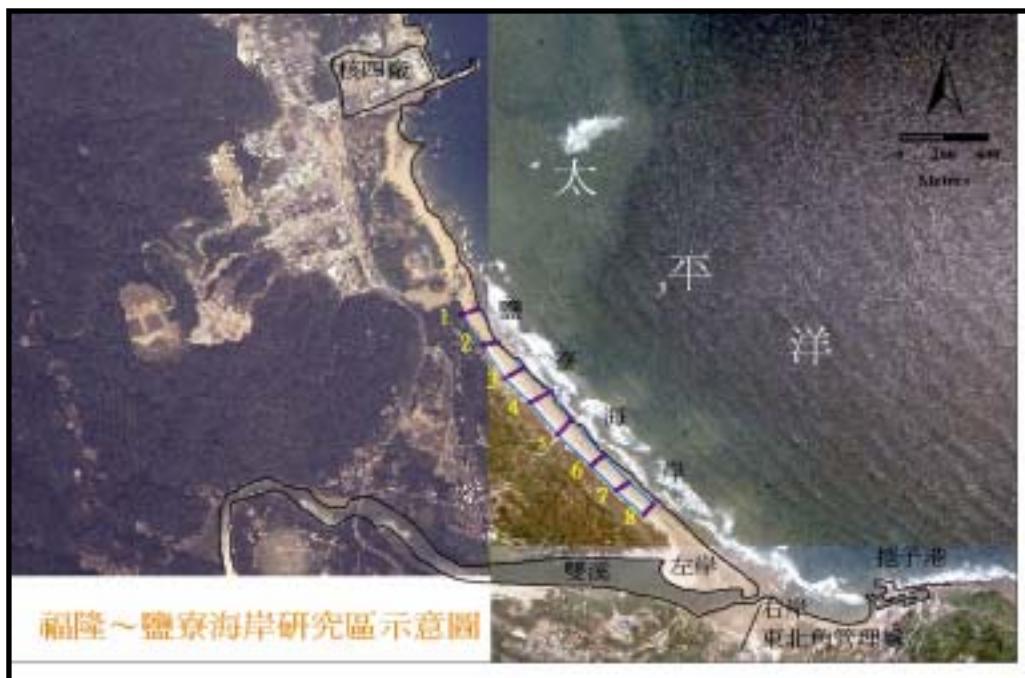


圖 1-8 研究區示意圖

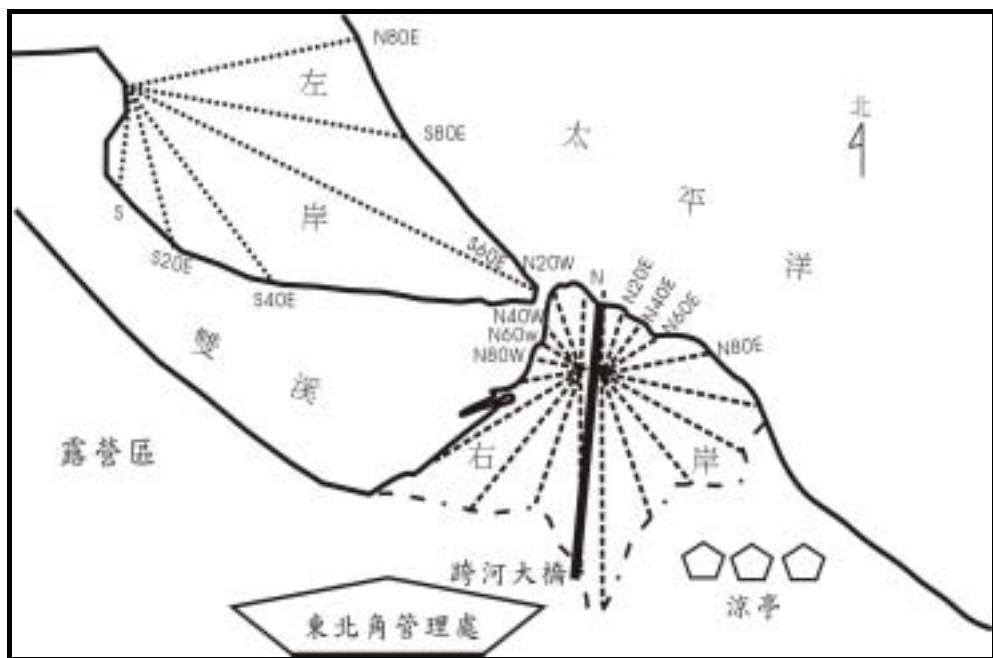


圖 1-9 雙溪河口沙洲實測剖線示意圖

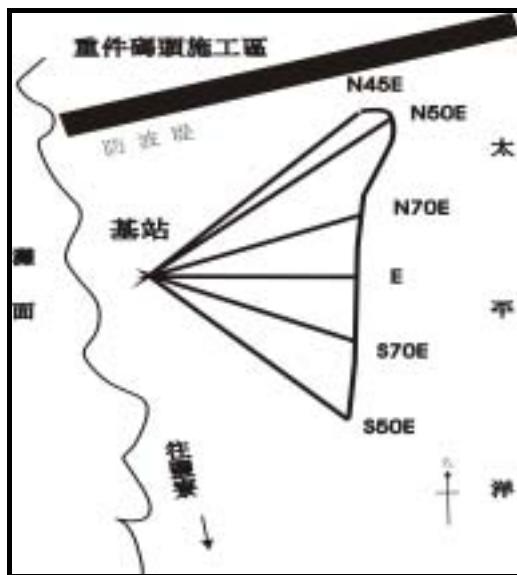


圖 1-10 重件碼頭南側實測剖線示意圖

(二) 探討突發事件(颱風、豪雨)對灘面地形的影響

1. 颱風、豪雨資料蒐集：蒐集侵襲福隆海岸颱風與豪雨事件前後的海陸象管力比對，進而探討其對灘面地形的影響。
2. 航照判讀：比對突發事件前後灘面地形照片，歸納出灘面地形在受到颱風

侵襲後的位置變動特性。

3. 航照數化：航照以 PCI 軟體定位，並用 Arc View3.2 軟體數化突發事件前後面積。

4. 定量分析：Arc View3.2 軟體可計算面積變動量，與營力比對之後，分析突發事件對灘面地形的影響。並利用相關係數統計方法，分析突發事件營力大小和河口沙洲變動量之間關係。

5. 定性分析：由航空照片以及年內實測作定性分析，推估灘面回復週期。

(三) 探討河海工程對灘面地形的影響

1. 河海工程資料蒐集：此區主要有三個河海工程，一為台電核四廠所興建重件碼頭，另一為福隆漁港，以及在雙溪河流的貢寮雙溪自來水廠，蒐集相關工程資料以及雙溪水文測站資料以資比對。

2. 航照判讀：找出歷年相關工程施工前、後河口沙洲照片，以期能歸納出灘面地形在施工前後變動特性，並分析其影響性。

3. 航照數化：找出逐年各相關工程施工前、中、後河口沙洲照片，再以 PCI 軟體定位，並用 Arc View3.2 數化工程前後面積變動量，比對分析河海工程對灘面地形的影響。

本研究透過常態下河海營力、突發事件以及河海工程等對灘面影響的文獻回顧，再透過野外實測、歷史航照比對等，針對相關資料作整理歸納分析，其研究流程如圖 1-11：

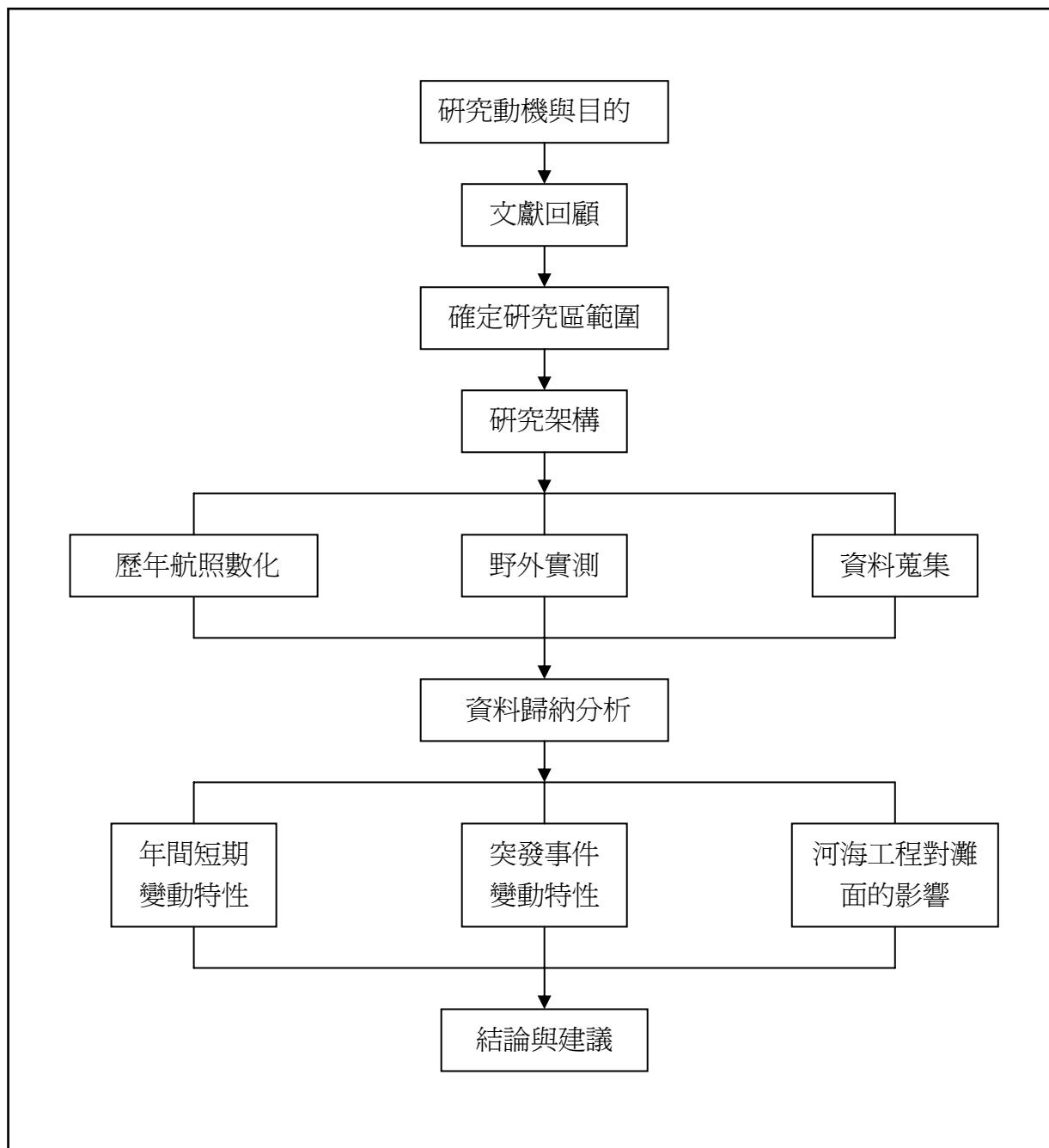


圖 1-11 研究流程圖

第四節 研究區概況

本論文之研究對象為福隆海岸地區，因為研究目的需要以及區域內受到不同營力影響而有不同特色，所以將區域內長約 4 km 的海岸分成三區，A 區：雙溪河口沙洲、B 區：鹽寮海灘、C 區：防波堤南側（圖 1-12），以下敘述其概況。

一、 地理位置與流域特性

(一) 地理位置

本區位於鼻頭角和三貂角兩岬角間的最內側海灣，北起石碇溪口，南迄隆隆溪，濱線長約 4km。本區最大河川為雙溪，雙溪流域經台北縣雙溪及貢寮兩鄉，北接瑞芳鎮，西北與平溪鄉相鄰。雙溪鄉與平溪鄉之邊界為雙溪鄉與基隆河流域之分水嶺，雙溪鄉流域西南接坪林鄉，其間之丘陵為北勢溪與雙溪流域之分水嶺。

(二) 流域特性

本區屬於東北角海岸的中段，東北角海岸地形主要受到地質構造控制，三貂角以西的構造線與海岸線近乎垂直相交。在強烈東北季風帶來的波浪侵蝕下，抗蝕力較強的岩層突出成為海岬，如鼻頭角以及三貂角；較弱的岩層被侵蝕後形成海灣，福隆海灣就依此形成。而區域內主要有雙溪和石碇溪和鹽寮溪等，以雙溪河川規模較大，各河川的輸沙在福隆海灣內穩定堆積，在雙溪出海口處形成天然沙嘴，也是北部頗負盛名的福隆海水浴場。雙溪出海口續往北走，由連綿長達 3 km 的鹽寮海濱公園，此處沙源也主要是由雙溪所供應。海灣最北界則是石碇溪出海口，石碇溪流長 8.5 km，流域面積約 7.6 km²，年輸沙量少。

雙溪起源於雙溪中坑，海拔 676 m，向東北方流約 5 km 到柑腳折向西南，流經上林、坪林約 7 km 到雙溪村與牡丹溪交會，曲折再向東南行約 2 km 與丁子蘭溪相會，在向東折行約 4 km 至貢寮鄉與枋腳溪相會至貢寮以下東南行折而北行達 3.5 km 之大灣至新社，往東南行約 2.5 km 與隆隆溪交會而由福隆出海，雙溪主流約 28.6 km，流域面積 132.5 km²，是北部第 4 大河流，屬台灣次要河川。

雙溪河流下游段波降 0.44%，河口外波降 0.89%，屬於內緩外陡型河川；河流開口方面，根據計測 1979-1982 年間聯勤調繪 1：50000 地形圖，雙溪河口寬度約 400 m。(石再添等，1996)

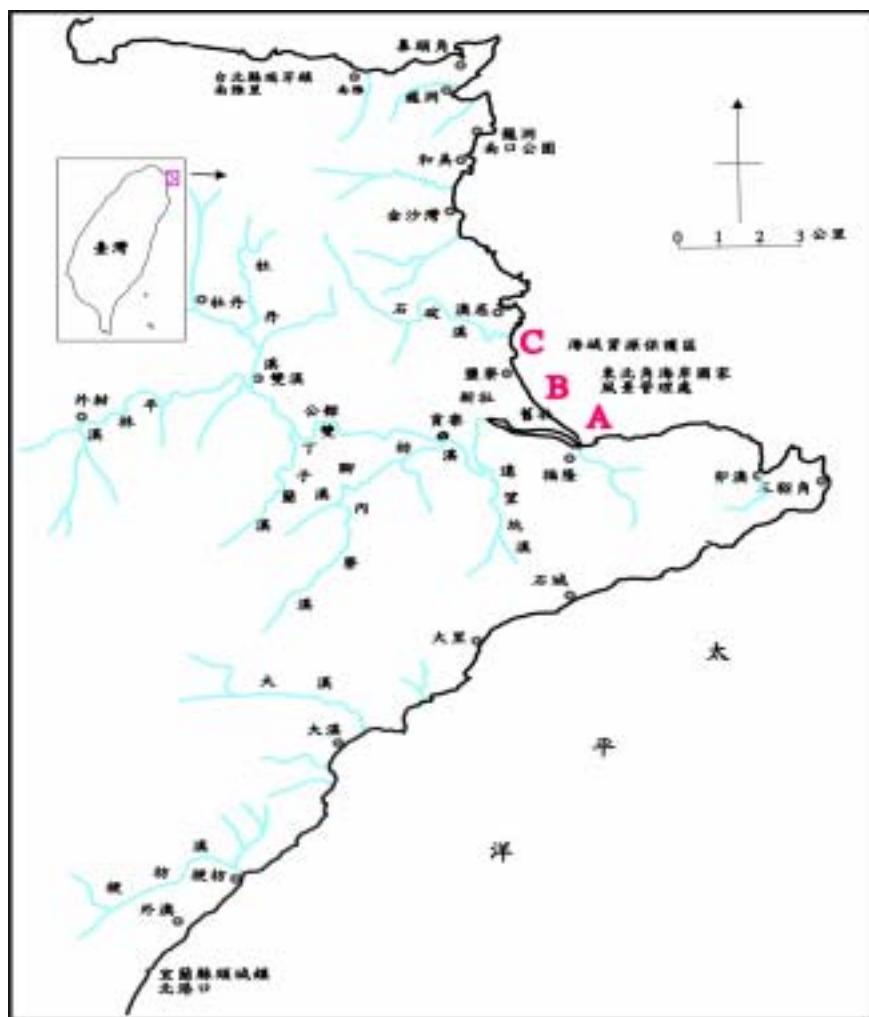


圖 1-12 研究區示意圖

二、海陸營力特徵

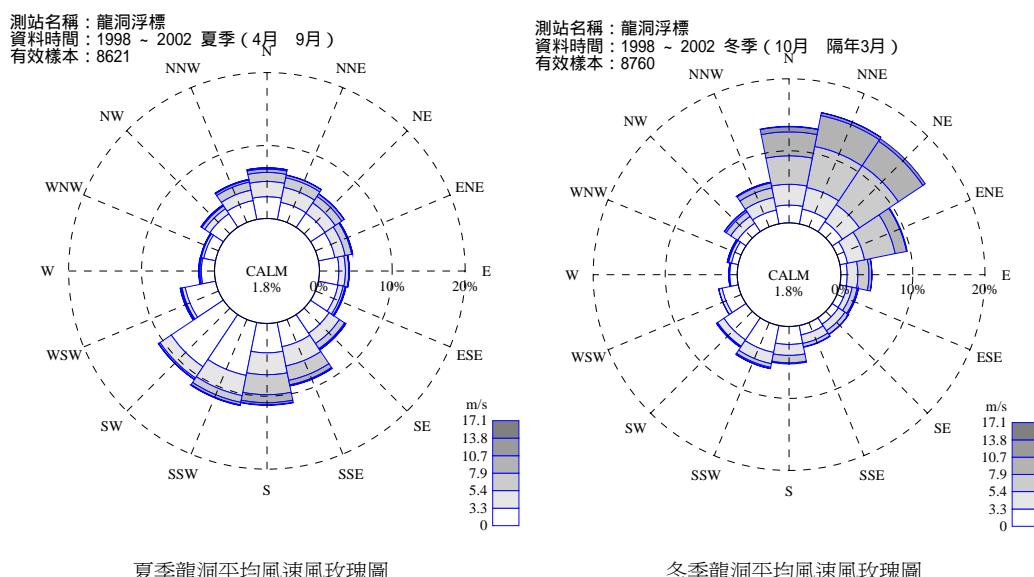
依河海能量分類雙溪屬於逕流主導型河川，其交互作用以河川逕流作用較為明顯；在最大能量分類上，則屬於風浪營力型河口（林雪美，1996），此類型河口會受東北季風增強之風浪影響，改變其河口地形。以下就各主要營力分別說明之：

(一) 逕流作用

雙溪年降雨量約為 3100 mm，年平均流量為 17.1 CMS，平均輸沙量年約 0.33×10^6 ton，歷年最小日平均流量為 1980 年 8 月 26 日的 0.1 CMS，歷年最大日平均流量為 1998 年 10 月 16 日的 722 CMS，而歷年最大瞬時流量為 2250 CMS。

(二) 風浪作用

根據龍洞測站風頻資料(圖 1-13)得知，在夏季以南風和西南風為主；在冬季以北風至東北風最具優勢，合佔 36.4%，平均風速在 5 m/sec 以上。此外根據龍洞波浪站資料說明，東北部河口海岸平均波高約 0.8–1.2 m，但冬季波高則明顯增強，平均波高約 1.8–2 m，且冬季最大波高可達 3–4 m 之間，因此東北季風對河口地形的作用影響顯著。



夏季龍洞平均風速風玫瑰圖

冬季龍洞平均風速風玫瑰圖

圖 1-13 冬、夏季龍洞平均風向風速玫瑰圖（資料來源：中央氣象局）

(三) 潮汐作用

根據台電鹽寮潮汐測站，潮差約為 0.55 m，而潮差在季節轉變情況下，也未有顯著差異。因此，在年內的時間變化當中受潮差的影響應不顯著。

(四) 近岸流

近岸流是風、波浪、沿岸坡度及海流等集合的表徵，對於海岸地型有侵蝕、

搬運與堆積作用。根據台塑公司（1990）研究，東北角海岸近域潮流振幅約 40cm/sec，流向主要為 NW-SE 向，大致平行海岸而行，故河口沙洲的趨勢應是兩岸相當。北部海域沿岸流仍與潮流與黑潮有密切相關，1987 年台電公司調查海漂物與沿岸潮流變化得知，沿岸流主要方向亦為 NW-SE 向，月平均流速以夏季較大，冬季較小。蘇仲卿（1979）等研究指出金山一帶海域漲潮流主要沿海岸朝 NW 方向流動，流速約 52 cm/sec，退潮流則流向相反，流速約 78 cm/sec，漲退潮流之淨流方向為 SE 向。而浪裂區之後的沿岸流況因監測較難，所以此區沿岸流資料缺乏。

三、 研究區的河海工程

研究區內主要有一個河岸工程及兩個海岸工程的興建，概況如下：

（一） 貢寮雙溪自來水廠概況

自來水廠位於雙溪下游段，於 1983 年開始營運，興建一座橡皮式攔水壩，在雙溪河川下游每天抽水約 2000 ton，主要供應當地居民水源；但自 1989 年起，為供應基隆地區水源，每天抽水量則增為 80000 至 90000 ton 之多。每天固定的抽水對於雙溪河口輸沙是否有一定影響，有待評估。

（二） 福隆漁港概況

福隆漁港位於雙溪出海口東南側，又稱為挖子港。1969 年為應當地漁船靠泊需要，將石灘挖掘成澳，經有關單位撥款興建，迄民國 1980 年共有碼頭 320.5 m，防波堤 169 m，泊地 0.32 公頃，水深 -1.0 m，由於天然形勢欠佳，港口防波堤短，漁船進出港困難且遇有風浪，漁船需駛他港避風，為提供漁船安全停泊需要，第一期漁港建設方案利用地形，闢建內泊地，至 1987 年底本漁港已有 -1.5 m 水深之泊地 0.7 公頃。

漁港有內外泊地之分，內泊地較穩靜，為避風泊地；而外泊地，因外廓設施不足，穩靜度不良，為改善穩靜度，港口易淤淺及漁船安全出入港需要，第二期

漁港建設方案于 1993 至 1994 年分兩年編列預算 1 億 4 千萬元新建外廓防波堤 120 m、突堤 30 m，增建外泊地碼頭 130m，完成後，港口航道及泊地已獲得改善，漁船可安全停泊（台灣省重要漁港簡介）。

在 1994 年外廓防波堤興建之後，漁港內淤沙常需藉助人為清理，其產生效應值得評估。

（三）重件碼頭概況

重件碼頭位於石碇溪出海口南側，鹽寮海岸最北側，重件碼頭係提供核能四廠興建期間，重型設備運輸船停泊需要而建。重件碼頭自 1998 年 4 月 8 日（陸上工程）及 1999 年 4 月 2 日（海域工程）分別開始建造。整個工程包含北防波堤全長 625 m（至 2002 年 12 月為止，施工完成 580 m），南防波堤全長 500 m（至 2002 年 12 月為止，施工完成 310 m），迄今雖未完工，但已有學者提出可能因為防波堤長度長達 600 m 以上，會產生如和美漁港相似的突堤效應，導致福隆海水浴場灘沙流失，再加上所產生的環保以及生態議題上的爭議，卻已經讓重件碼頭和福隆海岸上過多次報紙的頭條。因此，本研究主要針對突堤效應可能引發的海岸地形變遷，論述重件碼頭對河口沙洲的影響。

第二章 灘面地形的年內變動特性

第一節 雙溪河口沙洲地形

一、 歷月形態變動特性

本研究實測 2003 年 5 月至 2004 年 2 月雙溪河口沙洲兩岸地形變化，並計算期間河口沙洲剖線、平面與體積的變動量。其中各條剖線可以掌握河口沙洲區域性的歷月三維消長情形、平面形態能展現出整體的空間變動概況，而體積變化則表現河口沙洲的歷月增減總值，可得知整體沙洲流失或增長概況。以下分別就其剖線、平面形態和體積的量測結果，論述其歷月變動情形。

(一) 剖線

1. 左岸剖線

左岸臨海側剖線（圖 2-1），在冬季 12 月至 1 月剖線中，受波浪營力作用明顯，剖線中冬季坡度變陡，波浪所造成的陡坡高度可達 1.2 m 左右；且剖線長度較短，12 月份是剖線中最短的，和夏季最長剖線差約 30 m 左右。而夏季 5-9 月剖線亦受波浪影響，當坡度相對來說沒有冬季來的陡峭，波浪所造成的濱堤高度在 1 m 以下，且長度大致上來說比冬季剖線長約 20-30 m。

左岸臨河側剖線，在 S40°E 的剖線，由於較接近出海口堆積旺盛，所以地形較為平坦，起伏不大，大致上來說，9 月和 12 月，其長度較短，夏季 5 月、7 月及 8 月的剖線較長，剖線高度變化不大，但長度比 9 月、12 月長約 50 m 以上，顯示在河流出海口附近的高度敏感性。而 S20°E 和正 S 兩條臨河側剖線，則距離河口較遠，主要變化也是 9 月和 12 月長度較短，但長度的變動量比 S40°E 小，約在 20 m 以內，兩條剖線臨河側的陡坡主要是由於河流逕流營力導致邊坡崩塌而形成，和臨海側是由波浪營力所造成的濱堤成因不同。

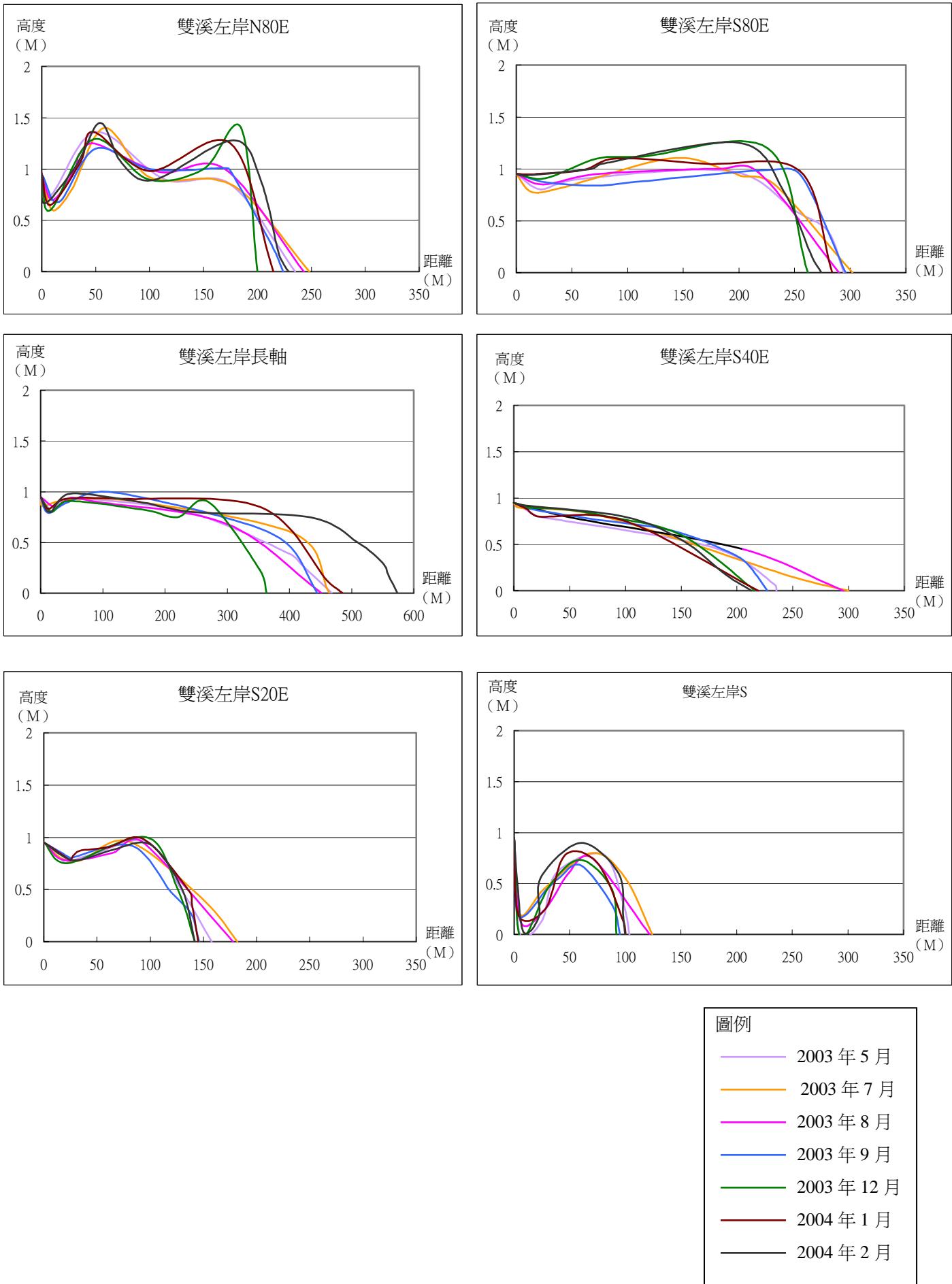


圖 2-1 雙溪河口左岸沙洲歷月剖線變化圖

2. 右岸剖線

由於右岸沙洲即是福隆海水浴場，因此在盛夏季節，會因為海水浴場的開放而受到人為影響。從各條剖線上（圖 2-2）可看到 5 月至 7 月的剖線，不管是在臨河側或是臨海側都有大幅縮短的情況，這是因為在 7 月 11-13 日有「海洋音樂祭」的舉辦，因此主辦單位考量到民眾安全以及整灘需要，將右岸臨河和臨海側灘面挖除（照片 2-1、2-2），並堆起沙包，我們可看到各條 7 月剖線都有不尋常高起的部分，即是由沙包所堆砌而成的。在經過 7 月的人為挖沙影響之後，在 8-9 月臨河側以及臨海側都呈現回復的特性，在 9 月的時候，幾乎各條剖線都呈現和原來 5 月剖線相仿的長度。

進入到 12 月份後，臨河側和臨海側剖線都有縮短的趨勢，且在臨海處有明顯波浪造成的陡坡。到了 1 月份時，臨海側沙源又開始堆積，不過堆積確有一個有趣的趨勢，在臨海側的橋右正北剖線至橋右 N80°E 的 5 條剖線，越往外側則剖線長度越長，這應該和東側的隆隆溪口所提供的泥沙淤積有關。而在臨河側的剖線，卻沒有因為逕流所帶來的泥沙填補 12 月份所流失的灘沙，和臨海側的剖線有不同的情況。而進入到 2 月份之後，因為右岸的臨河側和臨海側灘面幾乎都被淘蝕了，使量測基站都已在河道之中，所以並沒有剖線紀錄。

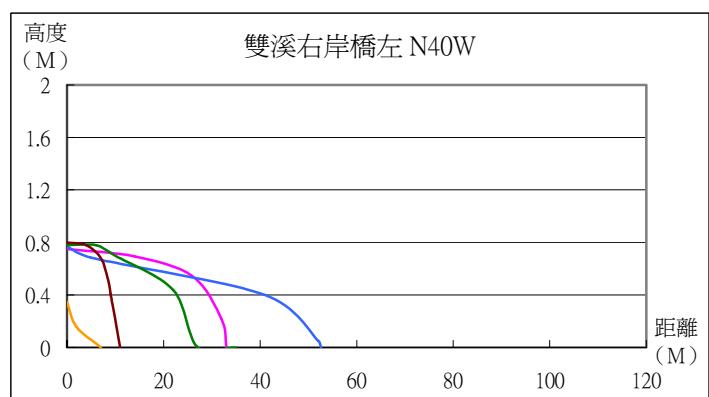
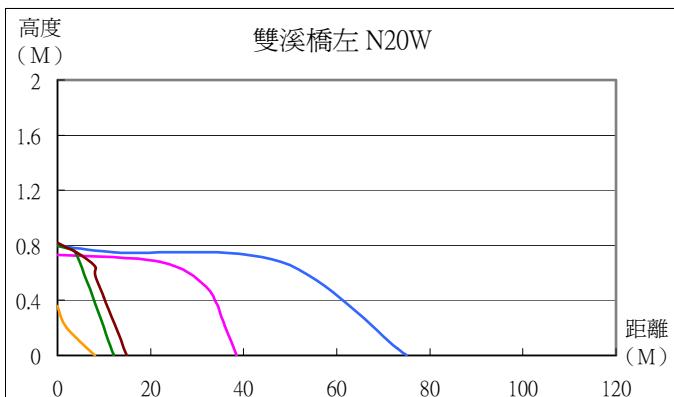
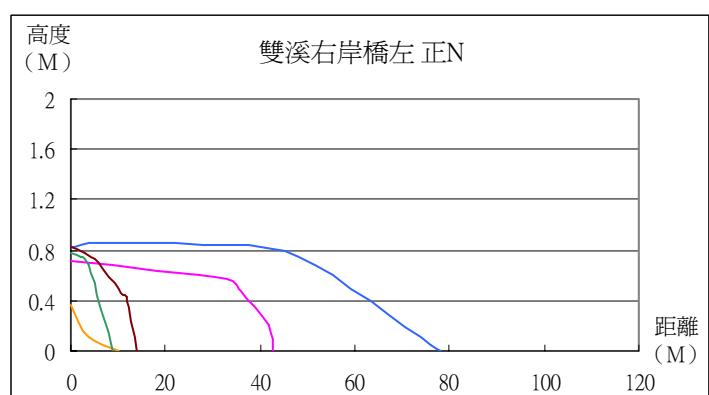
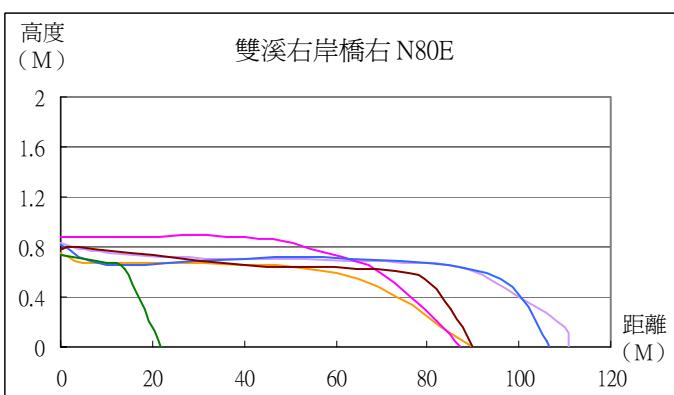
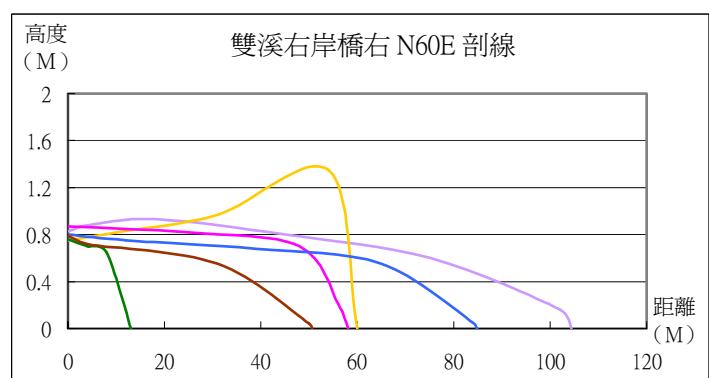
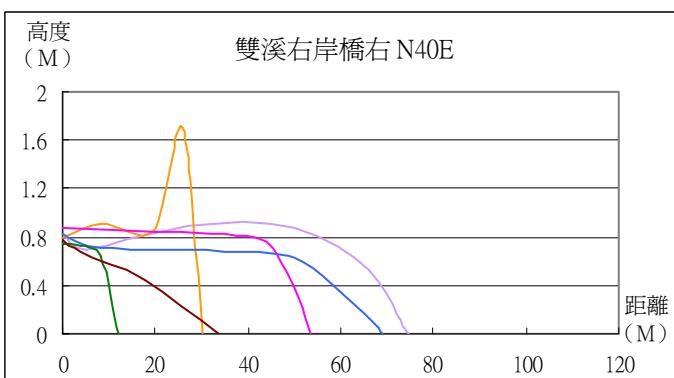
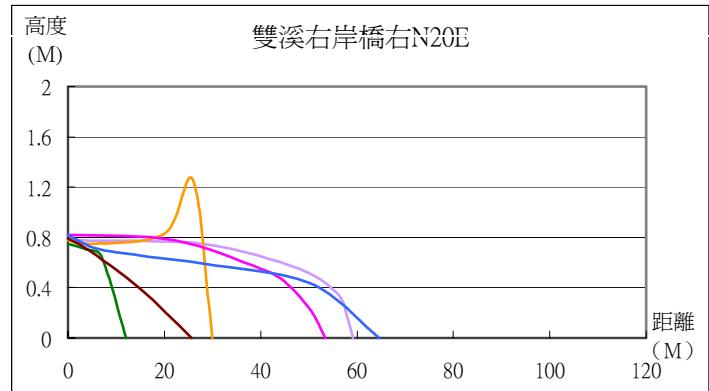
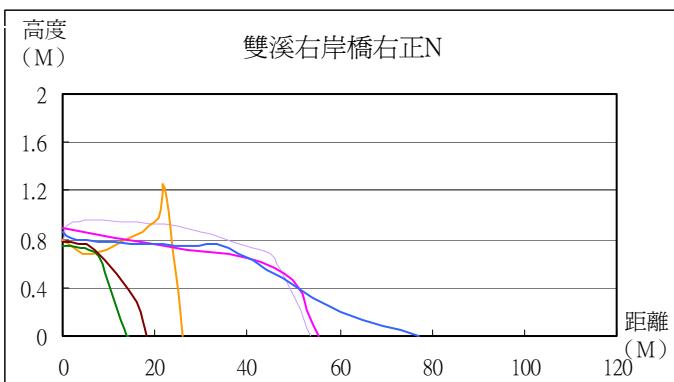


圖 2-2 雙溪河口右岸沙洲歷月剖線變化圖



照片 2-1 雙溪右岸沙洲人爲挖沙情形

2003.7.8



照片 2-2 右岸沙洲「海洋音樂祭」整灘情形

2003.7.8

3. 左岸沙洲長軸變動特性

左岸沙洲由於面海背河，深受陸象逕流營力以及海象波浪營力影響，易受到營力大小而有所移動，利用左岸沙洲歷月長軸變動（圖 2-3），可大體知道整體灘面移動形態。在 5 月沙洲長度 468 m，方向為 S60°E，7 月時沙洲長度為 464 m，方向則稍往南移動為 S56°E，到了 8 月，河口沙洲長軸為 470 m，方向則在稍往南移動為 S54°E，不過要特別提到的，在剖線中曾提及，左岸沙洲為了保持河口暢通，常要藉助人爲挖沙影響，而將左岸沙洲尖端挖除。因此，左岸沙洲長度應該都會比 7、8 月以來所量測到的長度要長。到了 9 月份，河口沙洲由於受到強大營力的影響，沙洲方向明顯往外移動，方向為 S65°E，且整個長度也只剩下 432 m，是 5 月實測以來最短沙洲長軸；到了 12 月份，沙洲長軸則稍往內移動，但和 9 月的長軸變動方向不大，方向為 S62°E，但沙洲長度卻只剩下 374 m，比起 9 月份縮短將近 60 m，明顯受到更強大營力作用而使長度縮短。1 月份時，沙洲長軸方向為 S59°E，長度為 480 m，沙洲又開始往東南向增長，在沒有人爲影響之下，到了 2 月份，長軸繼續往東南方向增長，長度已達 560 m。

整體說來，沙洲長軸在自然營力影響不大之下，沙洲變動長度和方向變動不大，但沙洲的持續增長卻受到人爲因素影響，以 5 月到 8 月為代表；到了 9 月和 12 月可看到營力競逐的結果表現在沙洲長軸的長度以及方向的改變；進入 1 月和 2 月之後，在無人爲影響之下，沙洲長軸持續往東南向延伸堆積，慢慢回復

到歷史河口沙洲型態，也就是左岸向東南方向延伸，而右岸沙洲面積狹小的型態。

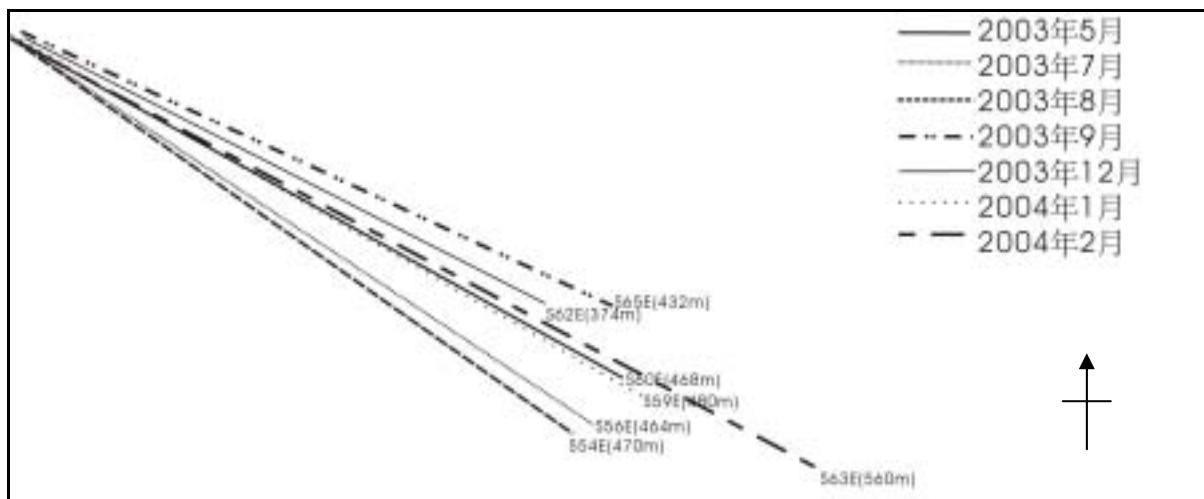


圖 2-3 左岸沙洲歷月長軸變動圖

2. 面積

面積變動如表 2-1，在 5 月至 7 月的左岸面積增加約 10000 m^2 ，形狀較為肥厚，而右岸面積則因為海洋音樂祭的舉辦，右岸橋左臨河側因為整灘被大肆挖掘（照片 2-1），從照片中可清楚看到挖土機的痕跡以及所堆砌出來的土堤，所以面積大幅減少了 8416 m^2 ；另外，在 7 月的平面形態也不見 5 月雙溪舊河道，這是因為 7 月海洋音樂祭在右岸舉辦，因為場地關係，而將整個右岸雙溪舊河道以人工填沙方式填平河道。而 7 月至 8 月的左岸灘面變動不大，面積小幅減少，但整體形狀還是大致成肥厚狀，在右岸灘面則因為 7 月所挖掉的沙量已經慢慢回補，所以面積大幅增加約 9000 m^2 。到了 9 月時，左岸面積大幅減少約 14000 m^2 ，顯然是因為某種營力增強所致，而在右岸變動量則不大，小幅增加約 2000 m^2 ，從平面變化圖也發現 9 月的左岸沙洲長軸有往外海移動趨勢。到了 12 月，在左岸的面積呈現歷月以來面積最小值，只有約 48000 m^2 ，比起 9 月面積減少約 9000 m^2 ，顯見左岸侵蝕嚴重，而在右岸的面積，也比起 9 月少了 70000 m^2 ，因此在 12 月的確受到強大營力影響而導致面積大幅流失。

而在 12 月到 1 月時，左岸面積增加約 10000 m²，右岸則微幅增加約 1000 m²，從面積形態變化（圖 2-4）裡看見左岸河口沙洲長軸有增長的趨勢，河口沙洲有明顯往東南方向延伸的變化，由於今年實測無明顯颱風侵襲，沙洲整個形態在納克莉以及辛樂克颱風後，一直未回復到之前左岸形態，一直到了一月才漸有回復到以往左岸向右岸延伸的形態。

實測結果發現，夏季左岸沙洲有持續增長的趨勢，從 5 月、7 月及 8 月河口形態皆可看出河口寬度不大，根據當地居民表示，當河口流路淤積顯著時，則會有人為挖沙的行動，導致增長趨勢中斷改變；在夏季有 2 至 3 次河口經由挖土機挖開河道，照片 2-3 看到左岸尖端沙洲顯然遭人為因素影響，而呈現平直狀形態。這是因為當地漁民需出海捕魚所不得不做的措施。雙溪舊河道已經因為 7 月海洋音樂祭的填沙，而無法從舊河道出海，新的河道因此慢慢淤積，一旦快完全堵塞，只好用人工方式將其挖掘以維持河口暢通。而 9 月到 12 月則因為面積縮減，沒有河口淤塞的問題。1 月左岸沙洲慢慢增長之際，發現雙溪已經有出現左岸河口沙洲向東南方向延伸的形態出現，和歷史形態相仿；到了 2 月整個回復情形非常良好，左岸河口沙洲持續往東南向增長，而右岸則是持續減少，顯見在無人為因素影響之下，整個河口沙洲形態有漸漸回復歷史型態的現象。因此，在 2 月的沙洲形態，已可看到左岸沙洲延伸已經超過右岸沙洲前緣繼續往南移動。

由於今年無颱風侵襲，而 2002 年的納克莉以及辛樂克颱風的影響之下，造成左岸沙洲斷裂、出海口改道且左岸沙源被搬運至右岸堆積，此種情形一直未完全回復，因此，2003 年以來可說是雙溪河口沙洲一直處於回復的狀態。

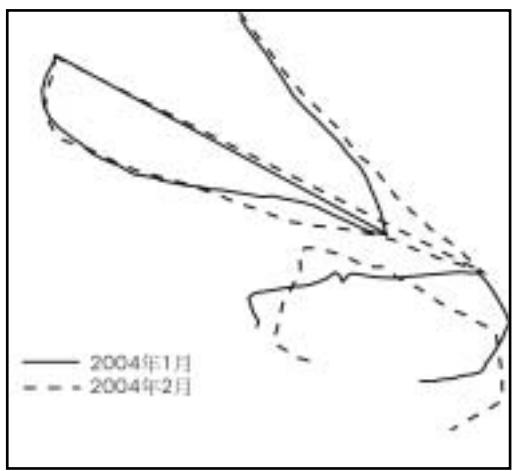
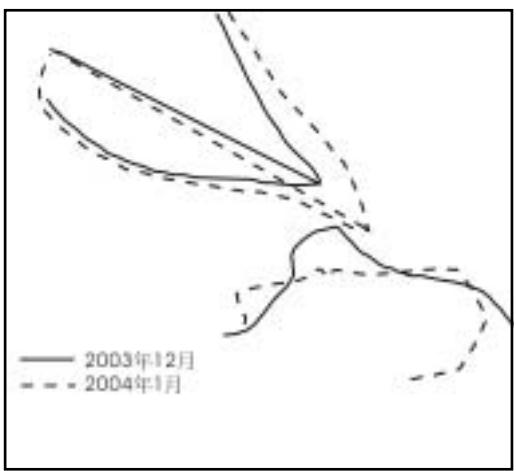
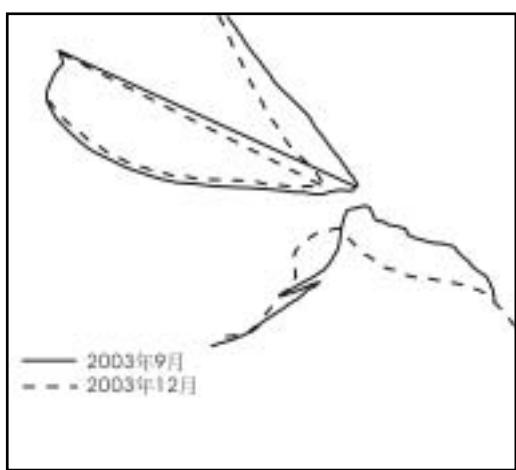
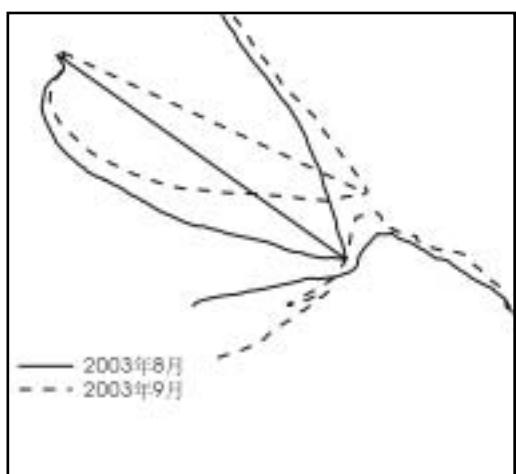
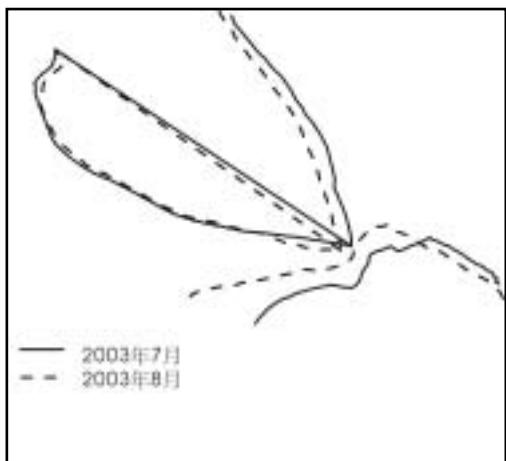
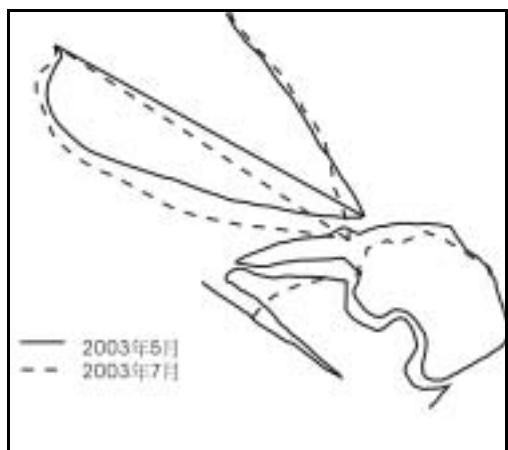


圖 2-4 雙溪河口沙洲歷月平面形態變動圖

表 2-1 雙溪河口沙洲歷月左、右岸面積變動表

月份	雙溪左岸 (m ²)	左岸面積變動量 (m ²)	雙溪右岸 (m ²)	右岸面積變動量 (m ²)	兩岸總量 (m ²)
92/5	64736	—	49080	—	113816
92/7	75767	11031	40664	-8416	116431
92/8	72238	-3529	49848	9184	122086
92/9	57743	-14495	52609	2761	110352
92/12	48382	-9361	45588	-7021	93970
93/1	58801	10419	46793	1205	105594
93/2	66392	7591	38596	-8197	104988



照片 2-3 左岸沙洲前端遭挖除 2003.06.26

3. 體積

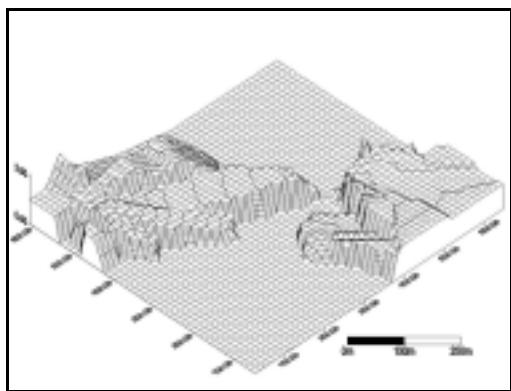
在體積變動方面（表 2-2），5 月至 7 月體積增加約 29000 m³，但其中有包含海洋音樂祭填補的沙量約 10000 m³，8 月至 9 月則是增加約 19000 m³，因此綜合來說，在夏季是體積漸增的情形。在這段期間由於營力不強變動無大，所以體積持續增長。到了 9 月分，體積大幅流失約 70000 m³，顯然受到巨大營力影響，而致使體積流失，面積也相對縮小。到了 12 月份體積持續縮減，體積只剩下約 80000 m³，顯然在 12 月體積受到更劇烈營力侵蝕而流失。到了 1 月體積則

增加 40000 m^3 ，且體積增加主要來自於左岸的增長。到了 2 月份，體積則微幅上揚了約 200 m^3 ，但沙源也主要來自於左岸沙洲增大，而右岸沙洲還是持續減少。

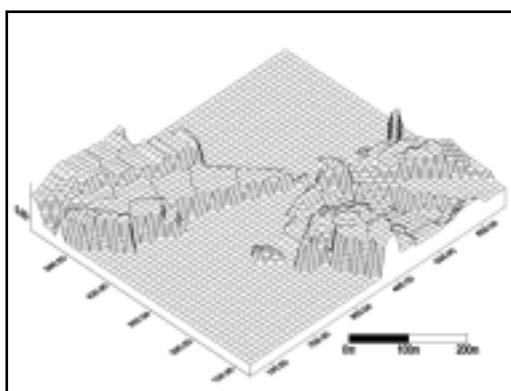
所以整體來說，體積在夏季是呈現持續堆積增加的特性；但進入冬季，體積則會因侵蝕而減少，至冬末營力較弱，沙源又會慢慢回復堆積，呈現季節間隨營力變化的變動特性。

表 2-2 雙溪河口沙洲歷月體積變動表

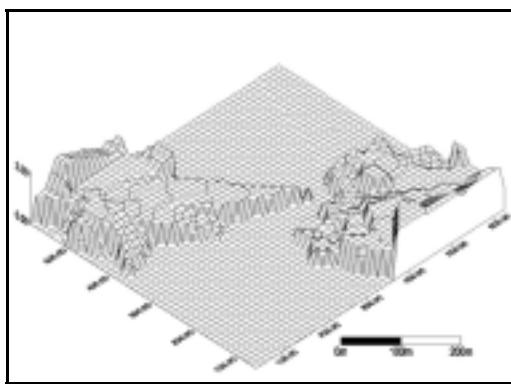
日期(年.月)	2003.5	2003.7	2003.8	2003.9	2003.12	2004.1	2004.2
雙溪體積(m^3)	134591	164213	183150	109710	82890	124800	125041
變動量(m^3)	—	+29622	+18937	-73440	-26820	+41910	+241



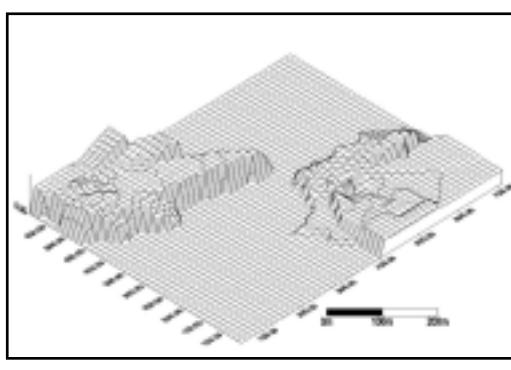
5月份



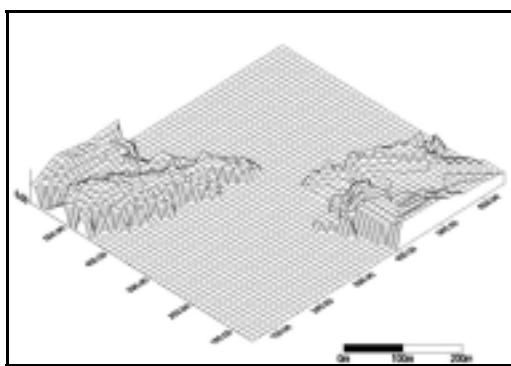
7月份



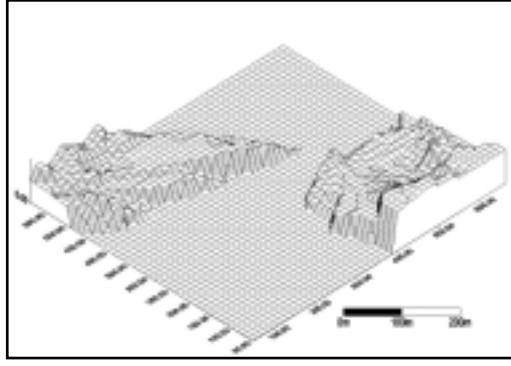
8月份



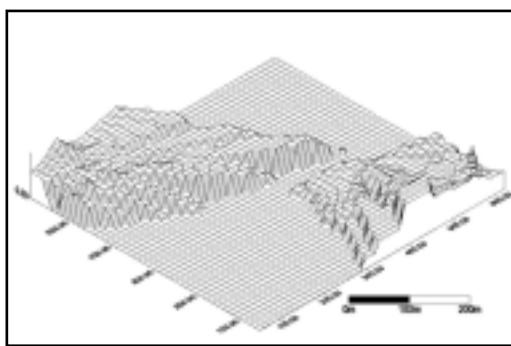
9月份



12月份



1月份



2月份圖

N ↗

圖 2-5 雙溪河口沙洲歷月立體剖面圖

二、河口沙洲形態變動之營力探討

河口沙洲位於河海交界，形態變動的主要因子包含陸象營力的逕流量，以及海象營力的波浪、潮汐大小等影響。在東北角的福隆海岸，冬、夏季節降雨強度不同，冬季降雨多但降雨強度低，夏季相對來說降雨少但降雨強度大。風浪營力在季節轉換時，冬、夏季強弱截然不同。而潮汐則為小潮差環境。以下為實測各月份的降雨量、波浪、潮汐等相關營力資料。

(一) 逕流量

雙溪水文測站屬於台灣電力公司所有，每年度的海、陸象資料需要至下一年度才會有完整資料，所以並無實測月份的逕流量值，但降雨量與逕流量關係成正比，故以降雨量來代替逕流量。圖 2-6 顯示降雨量以 2003 年的 6 月份、11 月份以及 2004 年的 2 月份降雨量較多，但如果將 7 次考察日期的前 10 天平均降雨量（表 2-3）來看，則以 12 月份的平均降雨量最高，9 月和 5 月次之，其他月份降雨量則非常少。輸沙量方面，並沒有固定含沙量監測，但從野外含沙量實測發現，在平常沒有降雨的時候，所測得的含沙量非常低，沙源主要由降雨增加，才能被帶至河口沈積。

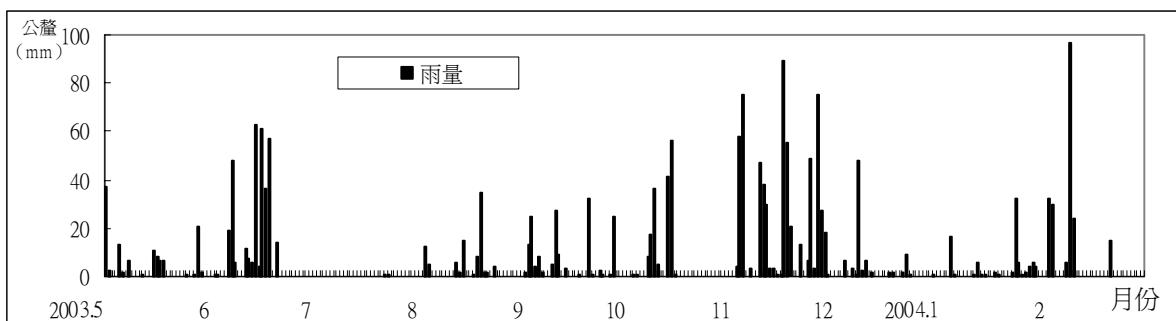


圖 2-6 福隆地區日降雨量圖

資料來源：中央氣象局

表 2-3 野外實測前十天平均降雨量表

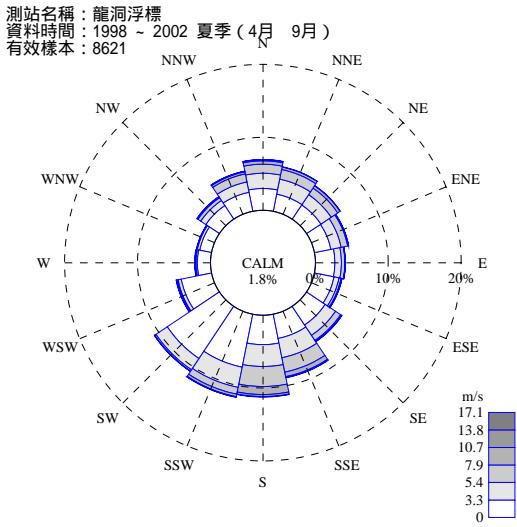
日期 (年.月)	2003.5	2003.7	2003.8	2003.9	2003.12	2004.1	2004.2
前十天平均降雨量(mm/day)	6.2	0	1.7	6.1	18	1	1.5

(二) 波浪

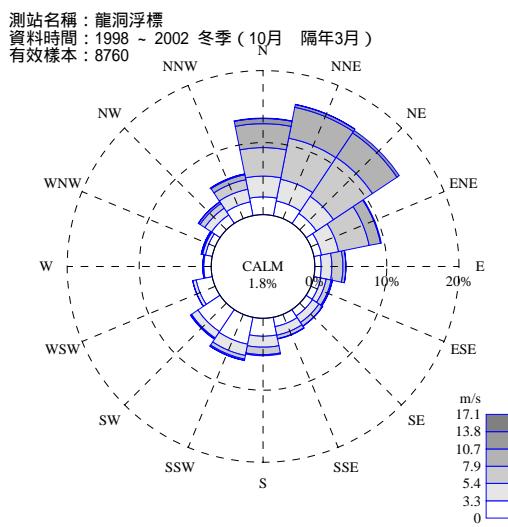
鄰近本研究區最近波浪站為東北角龍洞站，表 2-4 為歷月龍洞站波浪資料，圖 2-7 則為 1998-2002 冬、夏季風向風速玫瑰圖。實測的 5-8 月份，波浪營力不強，平均波高在 1 m 以內，且風向是以南風和西南風為主。至 9 月，波浪營力有加強的趨勢，但風向還是以南風和西南風為主。10 月東北季風慢慢增強，風向轉以北風及東北風為主，而波浪營力也逐漸增強，平均波高可達 1.6 m。至 11-12 月，東北季風營力為最強盛時期，波浪各營力都達到最大值，平均波高達 2 m，風速快而風向以北風和東北季風為主。1 月至 2 月東北季風慢慢減弱，風向還是以北風和東北風為主。

表 2-4 龍洞站歷月波浪資料表

相關營力 日期 (年.月)	平均波高 (mm)	平均週期 (0.1sec)	最大波高 (mm)	週期 (0.1sec)	>1m 示性波 比例	>2m 示性波 比例	>3m 示性波 比例
2003.5	86	56	195	66	35%	0%	0%
2003.6	89	58	269	91	31%	4%	0%
2003.7	57	57	243	109	9%	3%	0%
2003.8	83	64	326	94	35%	2%	0%
2003.9	139	63	455	84	61%	20%	5%
2003.10	158	61	400	75	81%	26%	3%
2003.11	199	64	475	82	82%	50%	15%
2003.12	196	94	430	84	88%	47%	10%
2004.1	192	88	431	78	85%	30%	5%
2004.2	175	79	419	80	71%	23%	3%



夏季龍洞平均風速風玫瑰圖



冬季龍洞平均風速風玫瑰圖

圖 2-7 冬、夏季龍洞平均風速風玫瑰圖（資料來源：中央氣象局）

(三) 潮汐

潮差方面，根據鹽寮測站，此地區年平均潮差約 0.55 m，屬於小潮差環境，潮汐的漲落潮對於灘面來說除了海水升降導致露出灘面大小不同之外，並不會為灘面帶來大量泥沙淤積，和西部地區由潮汐主控型河口截然不同，因此受到潮汐作用非常微小。下表為野外實測當日潮差及當月平均潮差，從表中得知，潮差變化小，且月間變化差異不大，受到潮汐作用影響不大。

表 2-5 實測當日潮差及當月平均潮差表

日期 (年.月)	2003.5	2003.7	2003.8	2003.9	2003.12	2004.1	2004.2
實測當日潮差 (cm)	48	35	66	67	51	38	51
當月平均潮差 (cm)	79	51	49	55	56	45	53

資料來源：台電鹽寮站

因此，即使在無颱風年侵襲下，雙溪河口沙洲形態還是深受各海、陸象營力影響，再加上此地區每年夏季因海水浴場開放，而深受人為因子的干擾，變動原因更為複雜。因此本研究將剖線、面積、體積同時受人文以及上述自然營力的影

響分述如下，再綜合分析在無颱風年下，探討河口沙洲年內變動的主因。

1. 河口沙洲剖線受自然與人文因子影響的變動情形

左岸剖線因為 9 月、12 月臨河側的剖線因為降雨逕流量增加導致剖線變短，剖線長度比夏季月份短約 30-50 m 左右。而臨海側的剖線則主要和波浪強度有關，各月份的波浪強度如表 2-4，波浪開始增強的冬季，造成臨海測剖線有縮短以及坡度變陡的趨勢，但由於在 9 月以及 12 月因為逕流量增加使沙洲有往外移動趨勢，臨海測剖線長度縮減沒有非常明顯。在右岸剖線臨海測以及臨河測由於人為挖沙影響，7 月剖線明顯變短，但在 8 月所帶來的泥沙堆積，直到 9 月都是持續增長回復情形。1 月臨海測也有稍稍回復特徵，但臨河側長度持續減少，2 月在臨河以及臨海側則都是明顯縮短，導致基站已經變成水地，為甚麼會這樣演變呢？2 月的逕流以及波浪強度都比 12 月來的小，1 月臨海側也有稍稍回復特徵，卻在 2 月間幾乎完全被侵蝕？而 2 月此時左岸的剖線正不斷的往右岸延伸，原來整個雙溪河口沙洲正回復到以往左岸堆積，而右岸幾無沙洲的堆積形態。在左岸最長剖線說明曾提到，7-8 月左岸沙洲幾乎已經和右岸相連，這也是歷史上雙溪河口形態特徵，但是由於會造成河口淤塞，所以必須用推土機將泥沙清除，以維持河口暢通。直到 12 月，強大的逕流和波浪，導致面積縮減，河口也沒有淤塞而需要清理的問題，所以 1 月之後，雙溪開始恢復到以往的流路，使得左岸河口沙洲不斷增長，右岸河口沙洲不斷減小，所以雖然右岸沙洲會不斷的被沖毀，但泥沙也不會在此淤積，這也是右岸剖線變動的主要原因。

2. 面積受自然與人文因子影響的變動情形

左、右岸面積與雨量和平均波浪關係如圖 2-9、2-10 所示。右岸的面積在 7 月受到人為影響之後，灘面面積減少約 8000 m²，在 8-9 月是其恢復期，所以逕流所攜帶的輸沙量對其是堆積的作用。但到了 12 月之後，由於 12 月前 10 天平均降雨量達 18 mm，以及平均波高達 1.9 m 影響之下，在海陸象營力雙重影響之下導致右岸灘面迅速縮減，但在 12 月至 1 月，即使在海陸象營力皆減弱情形之下，右岸灘面也不見有顯著恢復情形。到了 2 月，降雨量增加且波浪營力減弱

情形之下，右岸灘面面積也並沒有增加情形，反而是歷月以來右岸灘面面積最小的，也就是說 2 月逕流增加並沒有在右岸造成堆積，反而對其造成沙源遭沖刷而流失，且在之後的 3-5 月監測，右岸灘面都沒有灘面增加的情形，就如之前我們在面積變動所提到的，整個河口型態正在一個回復的狀態，回復到其歷史的左岸堆積，而右岸幾無沙洲的型態特徵（圖 2-8）。也就是說河口在 12 月受到強大逕流以及強大波浪影響，左右岸面積都大幅下降，且河口寬度變大，到了 1 月，營力減弱而沙源回補之際，由於地形穩定特性，右岸沙洲不會持續堆積，所以也就沒有河口淤積的問題。而左岸沙洲也慢慢往東南向移動，由河流所帶來的輸沙量並不會繼續在右岸造成堆積，也不會有人為挖沙的舉動出現。

在左岸面積變動上，大致而言在 5-8 月，是降雨量不多逕流營力不強的時候，整體面積較大且形狀肥厚，但要特別提及的是龍門安檢站在夏季因為出海口常淤塞，會有不定期清除河口淤沙情形，所以面積會因為人為影響而縮小，但確實的量沒有辦法得知；到了 9 月逕流營力增強，特別是在 9 月野外實測（日期：9 月 27 日）前一天，降下約 30 mm 降雨量，實測當天逕流明顯增強，推測由於當天逕流量增加，而導致左岸灘面面積縮小。到了 12 月，逕流營力以及波浪營力都明顯增強，左岸面積也因此大幅縮減，是歷月以來灘面面積最小的，僅有 $48000 m^2$ 。到了 1 月波浪營力減弱，而逕流不強盛時期，左岸面積大幅增加，整個左岸沙洲此時期正進入在沒有人為干擾之下的回復期，因此進入 2 月之後，波浪營力持續減弱，而逕流營力雖然增強，但左岸沙洲還是持續往東南向回復增長，其整個沙洲長度已超過右岸沙洲，且因為右岸灘面沒有持續增長，所以也沒有出海口淤積的問題。

整體說來，左岸灘面受到逕流以及波浪的影響比起右岸灘面來的較為敏感，在進入到 1-2 月，右岸河口沙洲原來直接面對太平洋的臨海側已經變成雙溪口右岸的臨河側，和歷史河口沙洲型態相仿（照片 2-6）。因此，右岸河口沙洲對於波浪敏感度不高，而相對於右岸，左岸面海背河的情況之下，顯然對於逕流以及波浪敏感度都非常之高。另外，根據歷史航照判斷，沙源都不會在右岸堆積，這

也是為什麼在 12 月後，右岸面積都不會持續增加的原因。



圖 2-8 歷史上雙溪左右岸河口沙洲形態 1986.06.28

3. 雙溪河口體積受自然與人文因子影響的變動情形

體積與雨量以及平均波浪關係如圖 2-11 所示。夏季波浪不強情形之下，整體體積呈現持續增長情形，而進入 10 月份之後，波浪營力的顯著增強，至 12 月波浪營力最強，體積也呈現最小值的變化，至 1-2 月又稍稍回復，所以整體來說，平均波浪大致與體積成反比關係。而在雨量與體積關係，9 月體積的流失，應該跟實測前一天逕流增強，使臨河側面積縮減、體積減少有關；而 12 月份的前 10 天平均降雨量達 18 mm，是所有月份中最強的，所對應到的體積也是最小值，因此降雨量應跟雙溪河口體積有一定的相關性。

綜合上述變動因子探討得知，雖然雙溪河口沙洲深受人文以及自然作用的交互影響，但從顯著海、陸象營力改變以及地形變動，還是可以從中歸納出逕流與波浪營力對於雙溪河口沙洲的影響。

降雨量的多寡決定逕流營力大小，實測的 5-8 月份，當降雨量不多、逕流不強時，河口沙洲沙源在臨河側持續堆積，使左岸沙洲形狀較為肥厚且面積、體積較大；在 9 月以及 12 月，因為逕流營力增加，則導致臨河側剖線縮短，使左岸有面積縮小、體積減少的情形發生。

波浪的影響方面，則主要是季節性的變化為主。夏季波浪營力較弱，波浪營

力對灘面來說堆積大於侵蝕，因此使臨海側剖線較長且面積、體積較大。到了冬季東北季風開始強盛時期，則會因為波浪的侵蝕大於堆積作用，則剖線變短而陡，且面積、體積會有減少的情形，一旦東北季風減弱時期，體積則又會慢慢回堆增加。

因此雙溪河口沙洲形態的變動與逕流量與波浪大小有關，逕流量大會沖蝕河口地形，而後再慢慢回復堆積。波浪營力則主要則是季節性變化為主，夏季持續堆積，冬季侵蝕；至東北季風減弱又緩慢開始回淤。

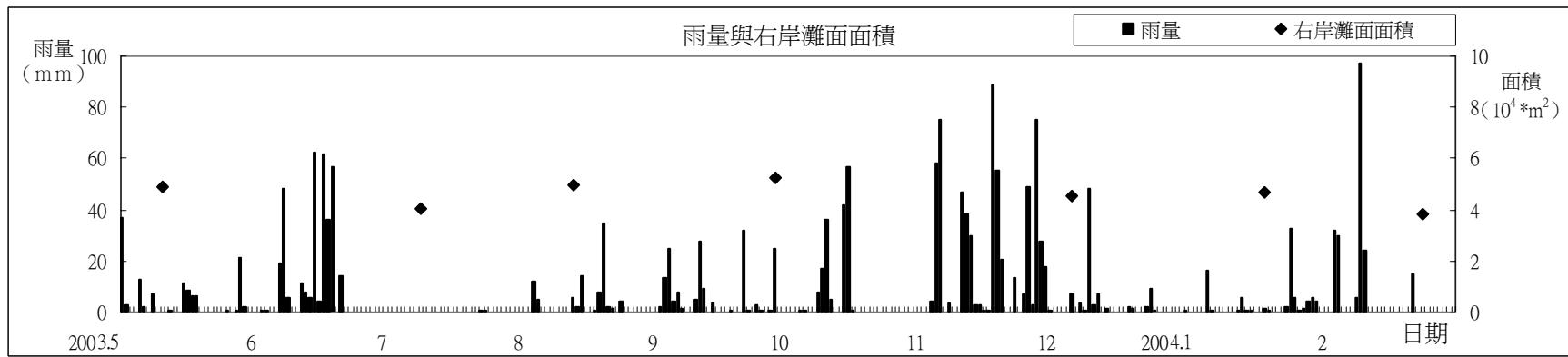
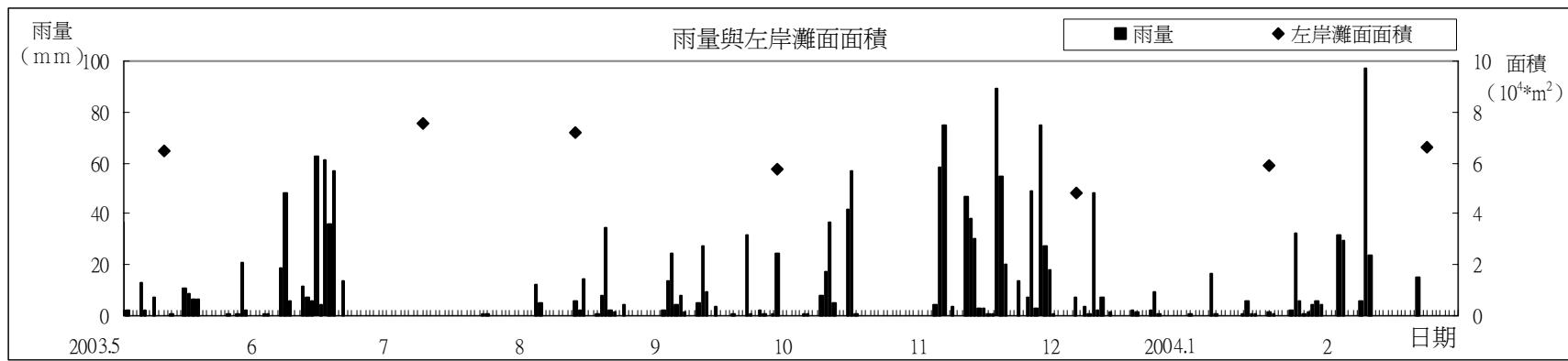


圖 2-9 雙溪左、右岸河口沙洲與雨量關係圖

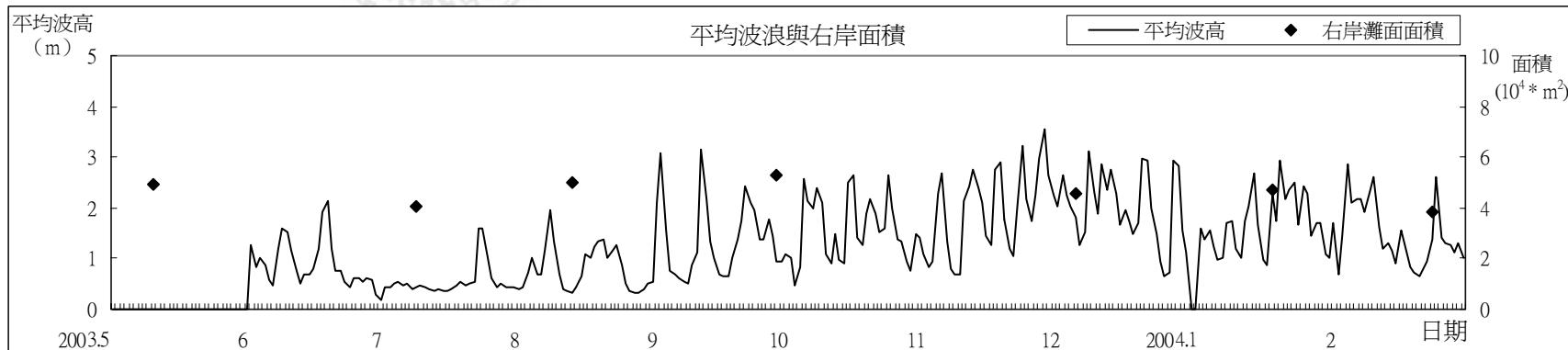
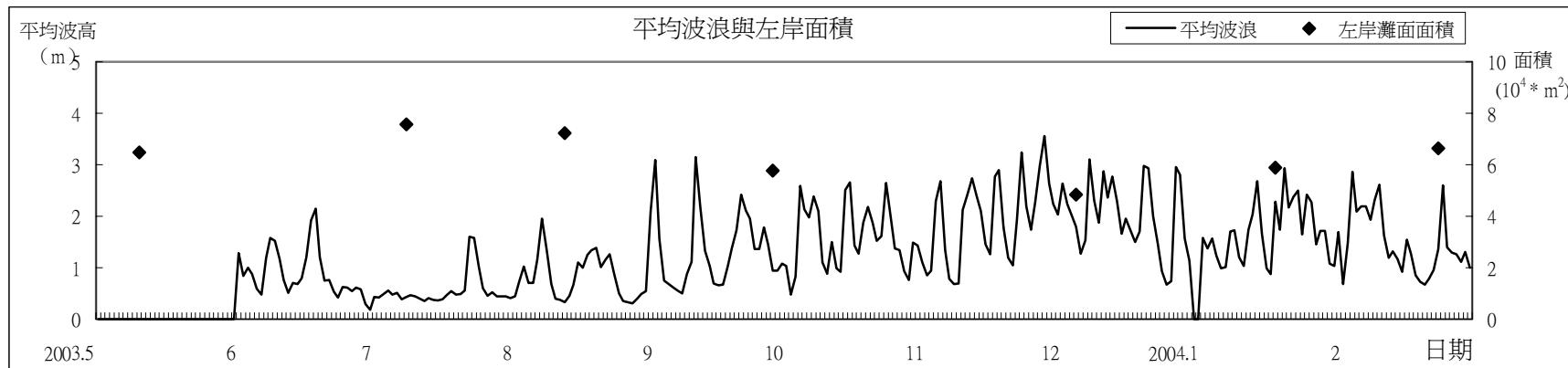


圖 2-10 雙溪左、右岸河口沙洲與平均波浪關係圖

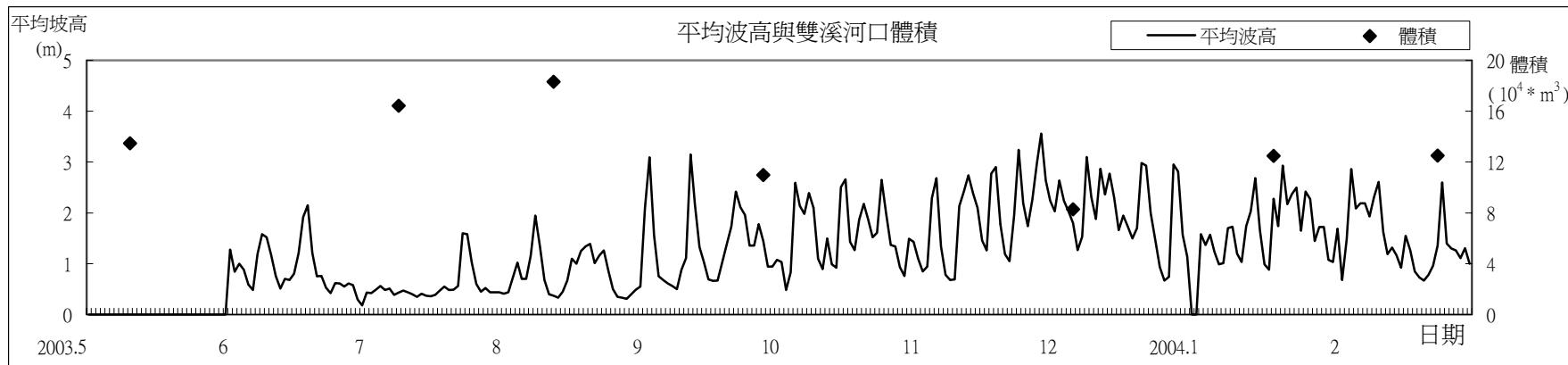
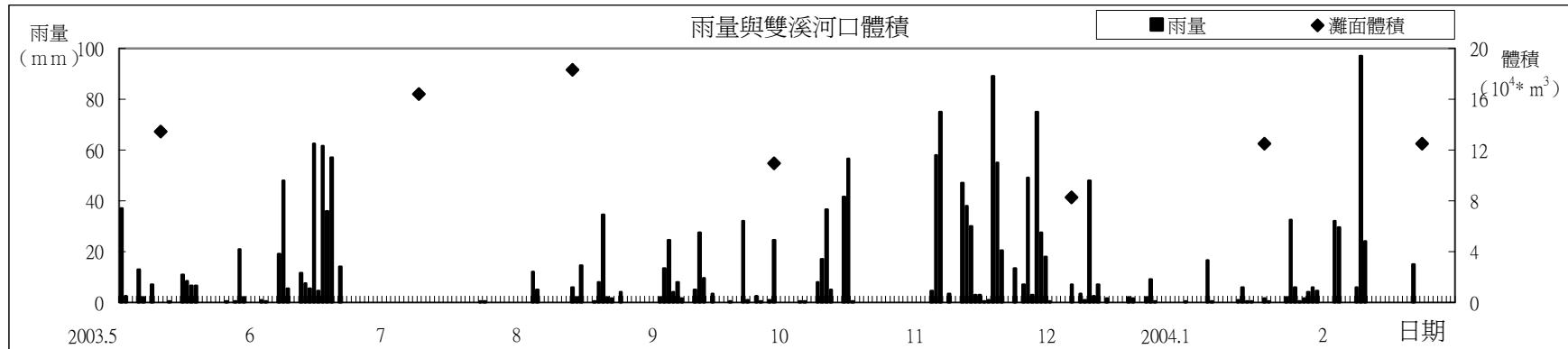


圖 2-11 雙溪河口沙洲體積與雨量、平均波浪關係圖

第二節 鹽寮灘面地形

鹽寮海岸的位置介於重件碼頭以及雙溪河口沙洲之間，鹽寮海岸區域主要特徵為沙岸及礁岩共存，沙灘其分布是以岩盤為基礎海床，在沙源供應充足區域，因受大量輸沙覆蓋而形成沙岸地形，其主要的沙源供為雙溪河口漂沙，而石碇溪口則由於河川規模較小，提供輸沙量少。

一、 歷月形態變動特性

本研究實測 2003 年 7 月至 2004 年 1 月鹽寮灘面地形變化，在鹽寮海灘中段長約 1500 m 海灘上設置 8 條垂直海岸剖線（圖 1-8），觀測其歷月變動情形，並以所實測剖線變化利用 Arc Gis 軟體計算期間灘面地形平面與體積的變動量。以得知鹽寮灘面在年內變動特性。以下分別就其剖線、平面和體積的量測及計算結果，論述其歷月變動情形。

1. 剖線

歷月鹽寮海灘垂直剖線變化如圖 2-12，大致上來說夏季 7 月、8 月以及 9 月的剖線較長，且這三個月各條剖線長度變動不大，大致上 9 月長度稍長，變動量約在 5 至 10 m，互有長短。7 月、8 月和 9 月長度比冬季的 12 月和 1 月的剖線平均長約 20 至 25 m 不等，顯然受到較大的營力而導致侵蝕。在灘面高度方面，12 月和 1 月的高度比其他三個月份高，高約 10-20 cm 左右，而夏季的三個月份高度沒有多大變動。以第 6 條剖線來說，7 月份的長度 62 m，8 月增加至 69 m，9 月長度則有 75m，但到了 12 月份則縮減至只有 52 m，1 月份則稍稍增加至 58 m；但 12 月的高度最高，1 月次之。在剖線形態上，則看到在 7 月、8 月、以及 9 月有明顯濱堤（Berm）形態特徵，尤其在第 3、6 條剖線最為明顯；到了冬季 12 月和 1 月，剖線臨海側坡度明顯比前幾月陡峭，是由波浪所造成的陡坡（Scarp）形態特徵。故整體來說，夏季剖線長而灘面稍低，且有濱堤形態；冬季剖線短而灘面較高，陡坡形態明顯。（第 5 條剖線基站遺失，故沒列入圖中）

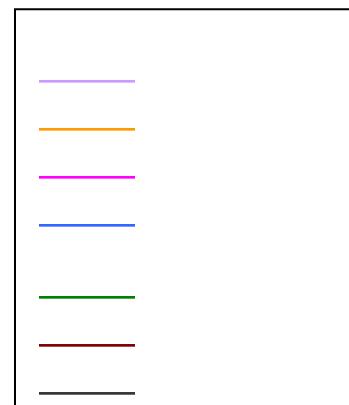
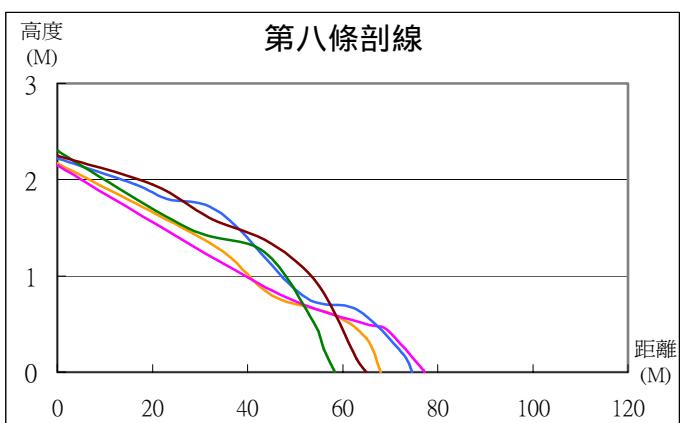
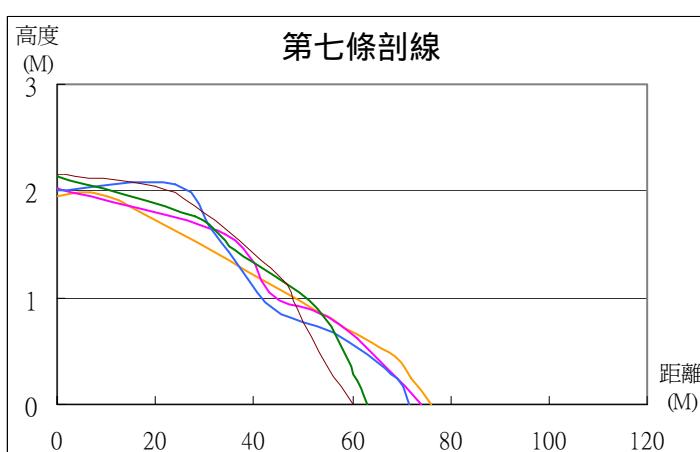
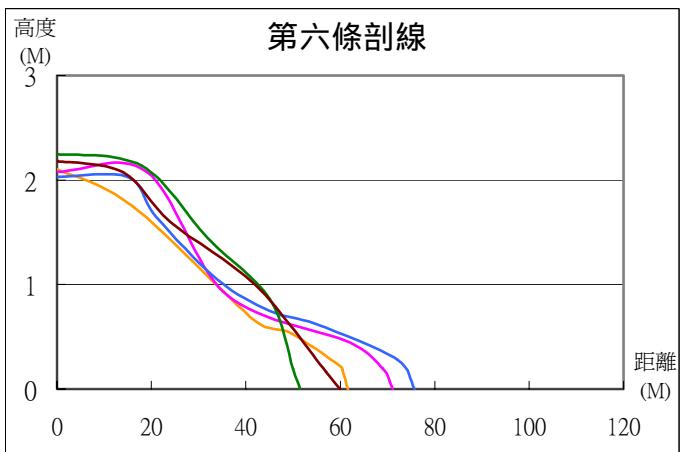
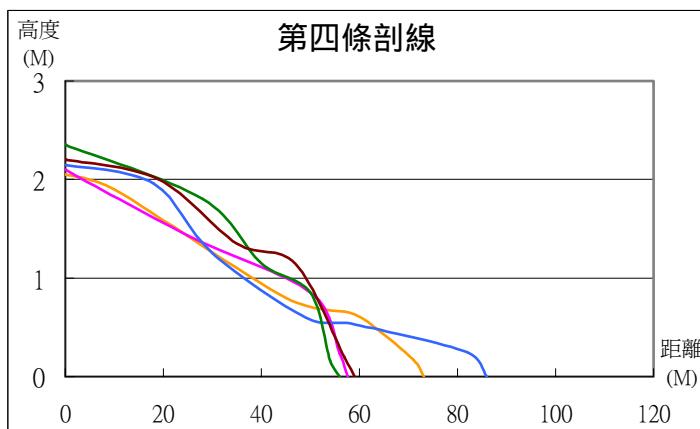
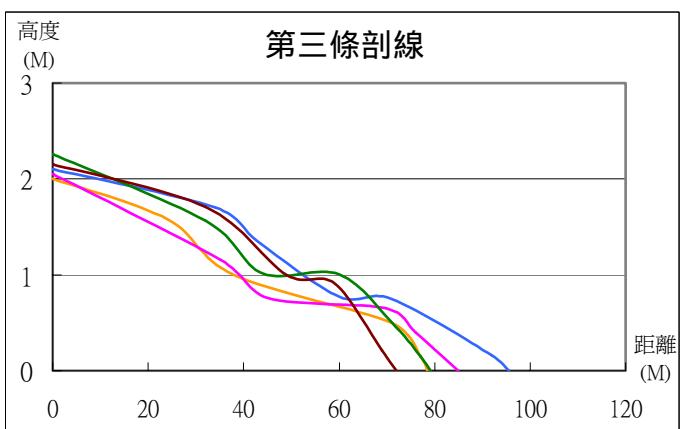
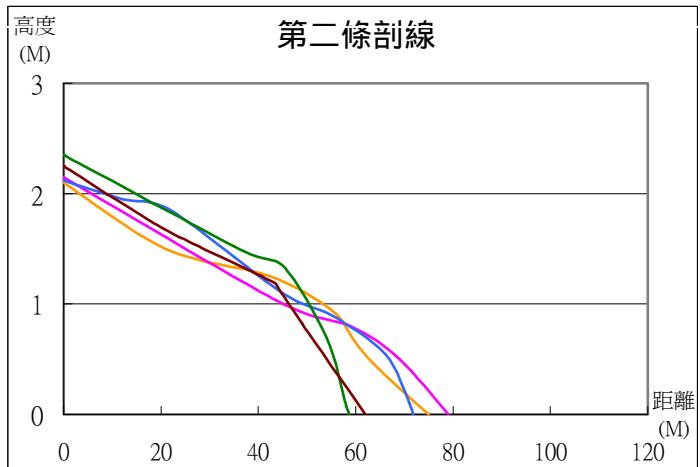
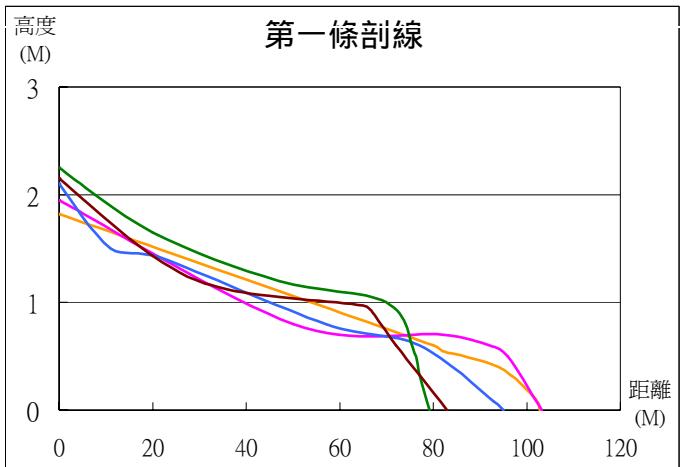


圖 2-12 鹽寮灘面歷月剖線變化圖



圖 2-13 鹽寮海岸線呈微波浪狀示意圖 1995.11.25

2. 體積和面積

表 2-6 為鹽寮海灘體積和面積歷月變化，從 7-9 月間在面積以及體積都是呈現增加狀況，面積從 7 月的 90000 m^2 至 9 月份增加到 100000 m^2 ，體積也從 $136,853\text{ m}^3$ 增加到 $165,784\text{ m}^3$ ，體積和面積都持續增加。但至 12 月份，體積和面積都呈現最小值，體積方面比起 9 月減少了約 38000 m^2 ，面積方面也縮減了約 48000 m^2 ，顯然是受到巨大營力的影響，導致灘面流失。但到了 1 月，體積和面積都有回穩增加趨勢，大致上來說，體積和面積變化成一定相關，且呈現夏季持續增長而冬季侵蝕的現象。

表 2-6 鹽寮海灘體積和面積歷月變化量表

日期	面積 (m^2)	變化量 (m^2)	體積 (m^3)	變化量 (m^3)
2003.7	91180	—	136853	—
2003.8	98568	7388	148523	11670
2003.9	108423	9855	165784	17261
2003.12	69949	-38474	116873	-48911
2004.1	75857	5908	121487	4614

二、 鹽寮海灘形態變動之營力探討

本地區與雙溪河口沙洲位置極為相近，故波浪、降雨量以及潮汐等屬於同一測站，其所受到的海、陸象營力與雙溪河口沙洲大致相同。

(一) 降雨量

根據福隆地區降雨量資料，圖 2-6 中顯示降雨量以 2003 年的 6 月份、11 月份以及 2004 年的 2 月份降雨量較多，如果將 7 次考察日期的前 10 天平均降雨量（表 2-3）來看，則以 12 月份的平均降雨量最高，9 月和 5 月次之，其他月份降雨量則非常少。而降雨量對鹽寮灘面地形來說，由於鹽寮海岸面海背陸，並非如雙溪河口沙洲位於河海交界地帶，所以並不會受到逕流的影響。

(二) 波浪

波浪站採用東北角龍洞站，表 2-4 為歷月龍洞站波浪資料，圖 2-7 為 1998-2002 冬、夏季風向風速玫瑰圖。實測的 5-8 月份，波浪營力不強，且風向是以南風和西南風為主。至 9 月份，波浪營力有加強的趨勢，但風向還是以南風和西南風為主。10 月份東北季風慢慢增強，風向轉以北風及東北季風為主，而波浪營力也逐漸增強。至 11-12 月份，東北季風營力為最強盛時期，波浪各營力都達到最大值，風速快而風向以北風和東北季風為主。1 月份至 2 月份東北季風慢慢減弱，風向還是以北風和東北風為主。

(三) 潮汐

根據鹽寮測站，此地區年平均潮差約 0.55 m，屬於小潮差環境，潮汐的漲落潮對於灘面來說除了海水升降導致露出灘面大小不同之外，並不會為灘面帶來大量泥沙淤積，因此受到潮汐作用非常微小。根據表中得知，潮差變化小，且月間變化差異不大，受到潮汐作用影響不大。

圖 2-14 為鹽寮海灘的面積、體積和雨量關係圖，從雨量對體、面積的影響來看，在 7 月、8 月以及 1 月的前 10 天平均降雨都不多，而在前一節裡有提及在 9 月份實測前一晚的一場豪大雨可能導致雙溪左岸沙洲灘面流失的情形，但在鹽寮海灘則發現，9 月份的面積、體積都比 8 月份來的大，並沒有因為瞬時降雨量的增加而導致灘面縮減的情形。而在 12 月，前 10 天平均降雨量是最高的，也對應到最低的灘面體積，也許累積降雨量也是影響鹽寮海灘面積和體積增減的影響因子之一。因此，降雨量似乎對鹽寮灘面有些微影響。

另外，從平均波浪來看鹽寮灘面體積和面積變化，從圖 2-15 中發現，7 月、8 月波浪營力較小，自 9 月起波浪營力有些微增加趨勢，尤其在 11-12 月波浪營力達極大值，常有大於 2 m 波高出現，在進入 1 月之後，波浪營力又開始有減弱趨勢。而 7 月至 9 月鹽寮面積、體積都是逐漸增加，並沒有因為 9 月波浪營力增強而有降低趨勢，從波浪方向觀點來看，在 9 月是以南風和西南風為主，也就是說波浪方向對於鹽寮海岸面向東北向的海岸而言，並不會造成顯著侵蝕，所以面積、體積都是呈現增長情形，但在 11 月過後，波浪營力明顯增強，所以 12 月體積呈現最小值，僅剩約 70000 m^2 ，而到了 1 月，波浪營力慢慢減弱之際，面積、體積都有回復情形。

綜合上述雨量和平均波浪對鹽寮灘面的形態變化，可知鹽寮灘面年內受波浪的季節性變化主導灘面地形變化。從剖線中夏季濱堤形態，到了冬季轉而變成陡坡的形態，顯現波浪營力在冬季明顯增強，使的面積和體積都有下降的趨勢。大致上來說，當波浪營力不強盛時期，波浪對鹽寮灘面會持續堆積，一旦進入 10 月後，季風風向轉變，波浪營力增強，則體積和面積則受到侵蝕而減少。至 11-12 月侵蝕會達到極大值，等到 1 月至 2 月東北季風減弱之際，才會又慢慢開始回復。

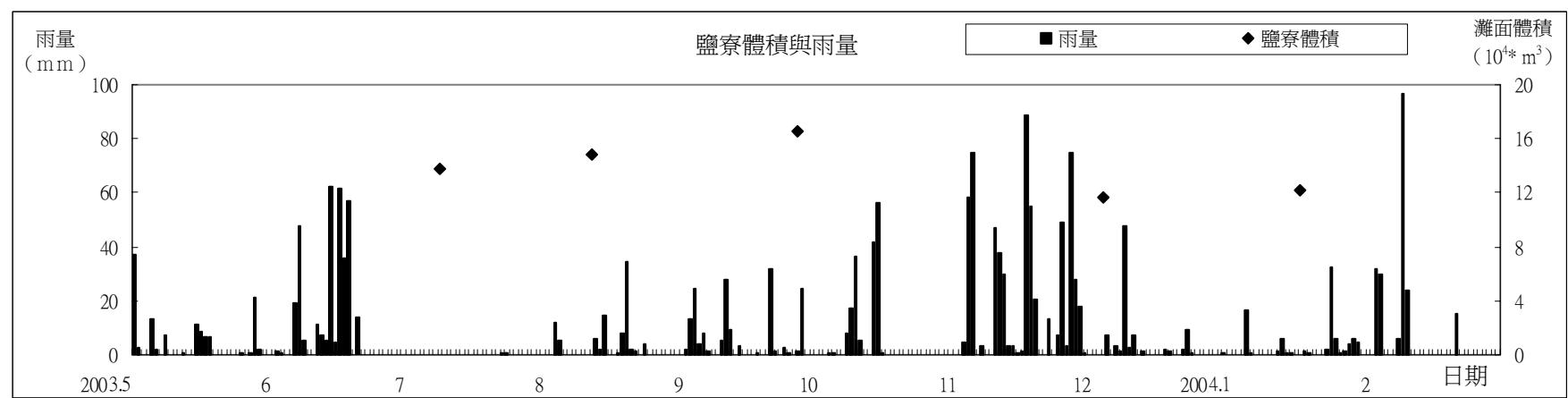
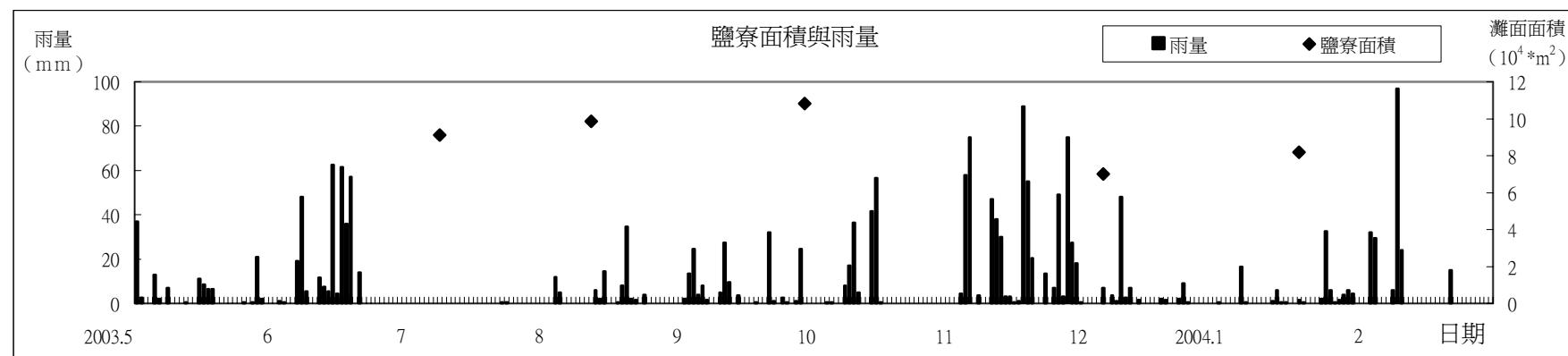


圖 2-14 鹽寮灘面面積、體積和雨量關係圖

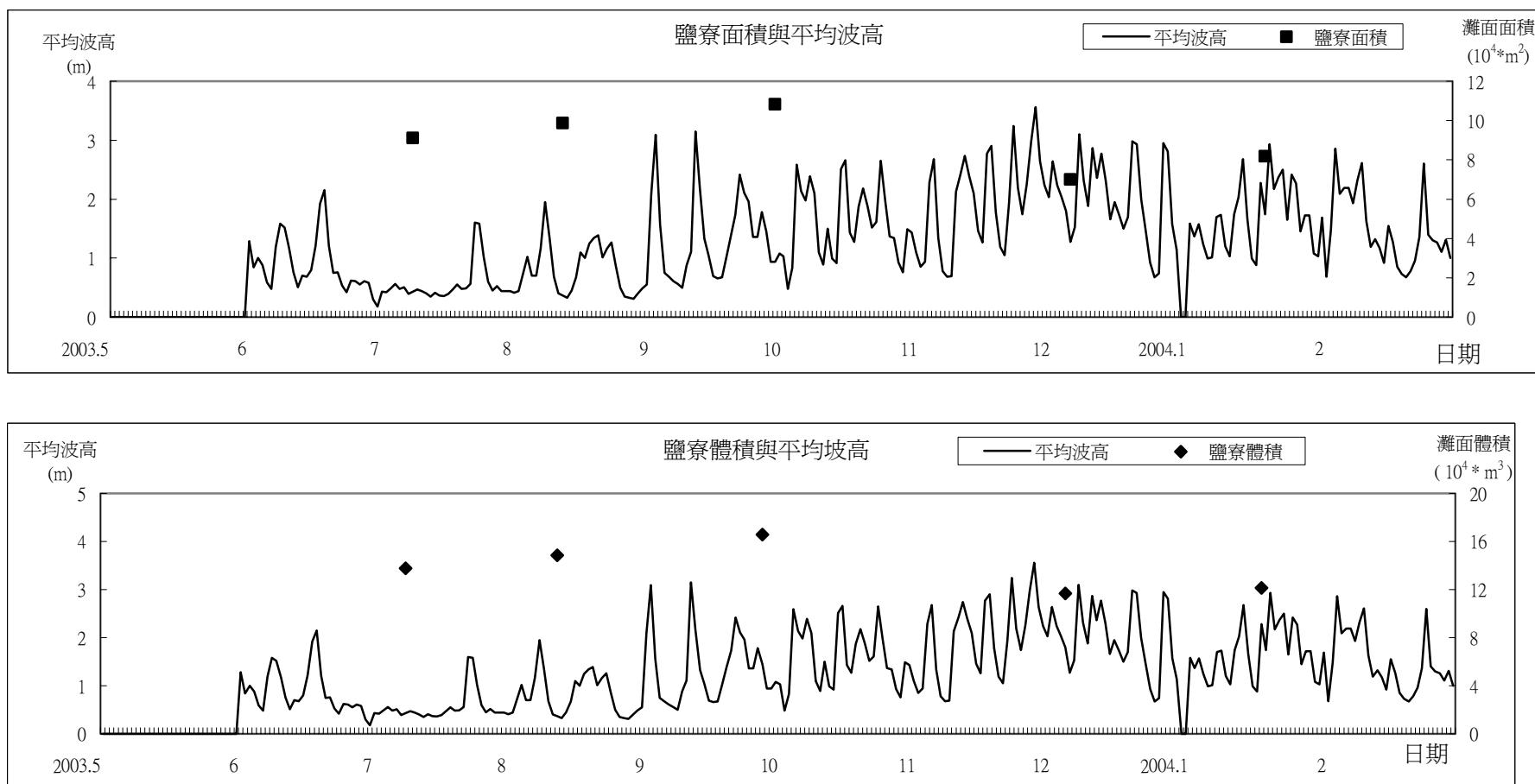


圖 2-15 鹽寮灘面面積、體積和平均波高關係圖

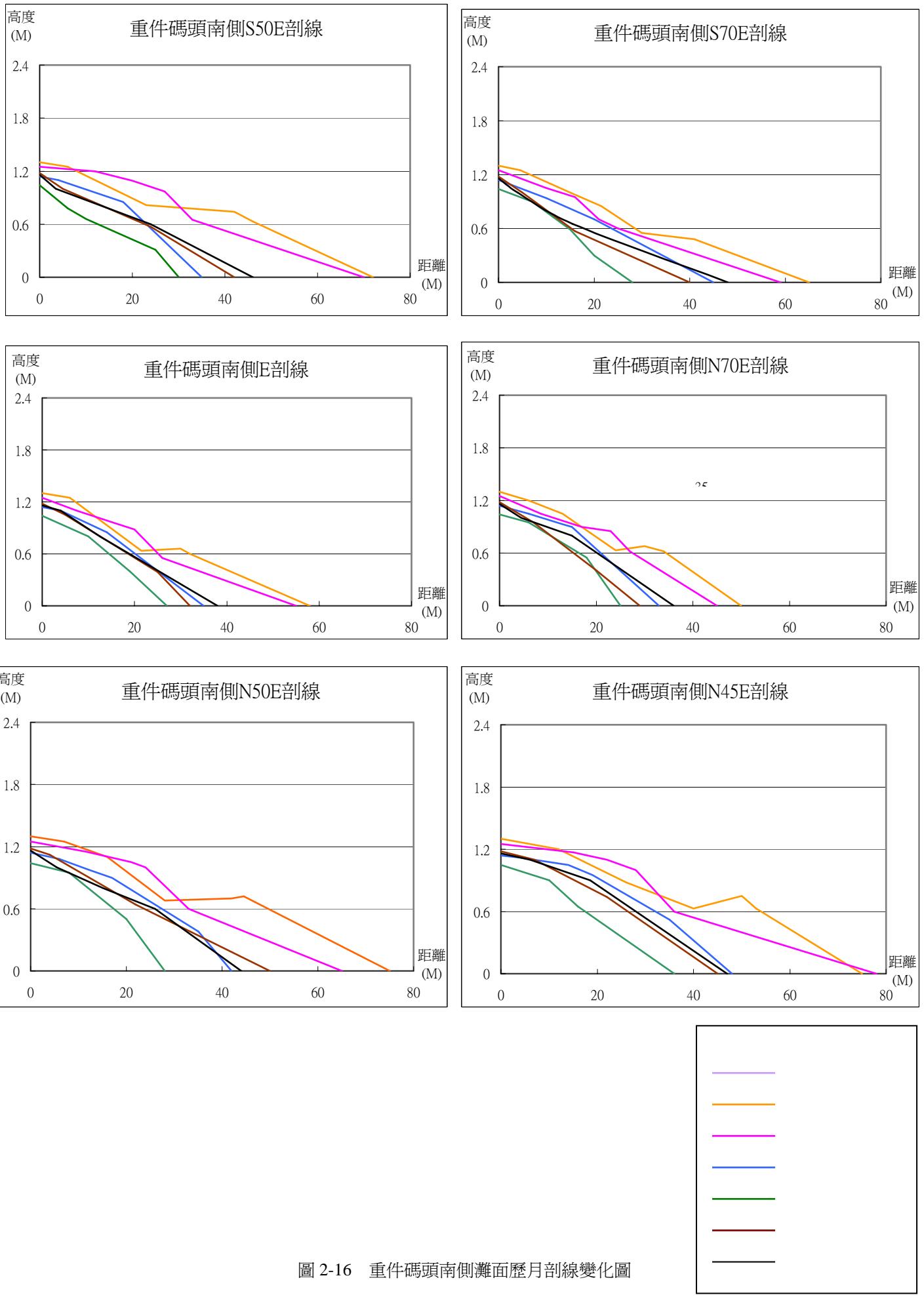
第三節 重件碼頭南側灘面地形

一、歷月形態變動特性

本研究實測 2003 年 7 月至 2004 年 2 月重件碼頭南側地形變化，在灘面上共有 6 條放射狀剖線，並以所實測剖線變化利用 SUFFER 軟體計算期間灘面地形平面與體積的變動量。以得知重件碼頭南側灘面在年內變動特性。以下分別就其剖線、平面和體積的量測及計算結果，論述其歷月變動情形。

1. 剖線

重件碼頭南側共有 6 條剖線（圖 2-16），分別為 S50°E、S70°E、E、N70°E、N50°E、N45°E 等。剖線大致上來說，夏季的剖線明顯較長，以 N70°E 來看，7 月長度 50 m 和 8 月長度 45 m，兩月剖線長短差異不大，但到了 9 月卻急遽縮短 15 m 只剩下 35 m，到了 12 月份比起 7 月剖線更短少了 25 m，到了 1 月份的 29 m 和 2 月份的 36 m 又開始增長。在剖線高度方面，夏季的 7 月和 8 月高度較高，高約 20 cm 左右，而以冬季 12 月份高度最低。在剖線形態中明顯可以發現在 7、8 兩月的剖線都明顯具有濱堤的特徵，但是進入到 9 月後，剖線變短，濱堤形態消失，一直到隔年 2 月為止，濱堤形態都不明顯，取而代之的是陡坡形態特徵。因此，從剖線形態上也充分反映出波浪對灘面形態的影響。而 12 月的剖線長度最短，且坡度最陡、灘面高度較低，進入 1 月和 2 月，剖線則有漸漸回復特徵，剖線又開始回復增長，但濱堤特徵還是不明顯。

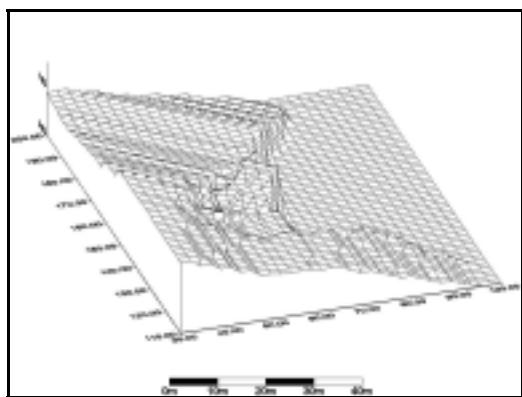


2. 面積和體積

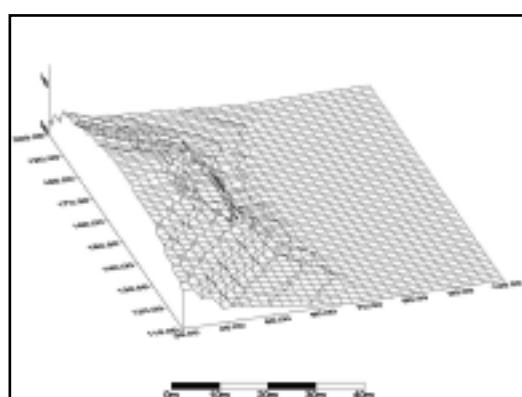
圖 2-17 為重件碼頭南側灘面立體剖面圖，歷月面積、體積變動量表 2-7 中發現，體積以 7 月最大值達 2325 m^3 ，至 8 月時體積稍稍下降 400 m^3 ，至 9 月時體積持續下降只剩下約 1500 m^3 ，到 12 月為最小值，體積量只剩約 700 m^3 ，而在 1 月至 2 月時體積又有回復現象。面積變動量方面，和體積變動趨勢相當，7 月面積達 2887 m^2 ，至 12 月的 1318 m^2 為歷月最小，而 1 月和 2 月則又有慢慢回復增長。

表 2-7 重件碼頭南側灘面歷月面積體積變化表

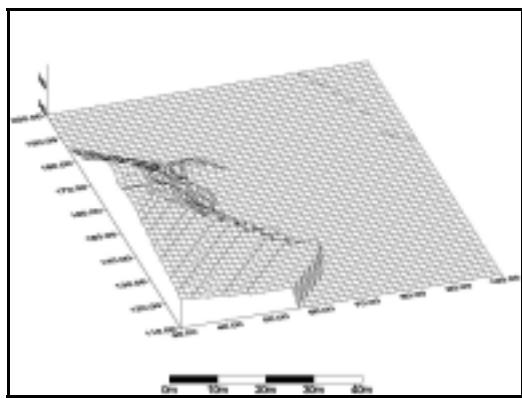
日期	體積 (m^3)	變化量 (m^3)	面積 (m^2)	變化量 (m^2)
2003.7	2325	—	2887	—
2003.8	1864	-461	2485	-402
2003.9	1530	-334	2003	-482
2003.12	725	-805	1318	-685
2004.1	1100	375	1635	317
2004.2	1194	94	1983	348



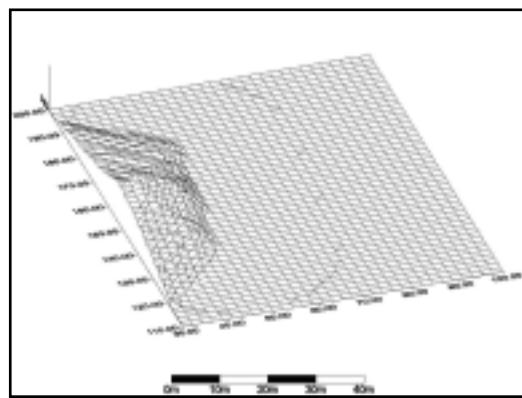
7月份



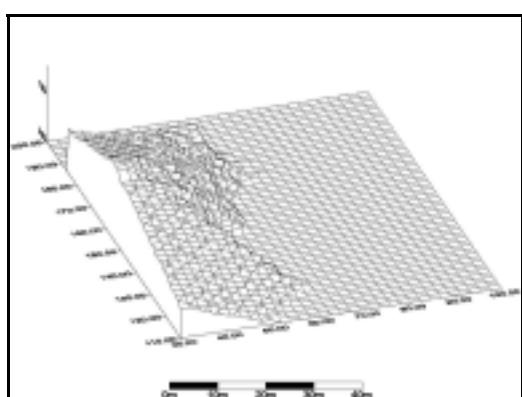
8月份



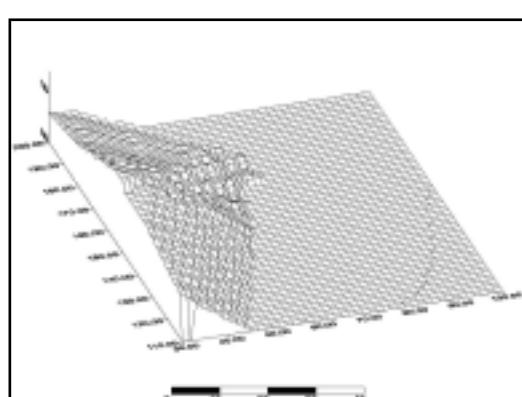
9月份



12月份



1月份



2月份

N ↗

圖 2-17 重件碼頭南側立體剖面圖

二、重件碼頭南側形態變動之營力探討

本地區與雙溪河口沙洲和鹽寮海岸位於同一岬角內，波浪、降雨量以及潮汐等屬於同一測站，其所受到的海、陸象營力與前兩區大致相同。

(一) 降雨量

同樣採用中央氣象局雨量資料，圖 2-6 顯示降雨量以 2003 年的 6 月、11 月以及 2004 年的 2 月降雨量較多，如果將 7 次考察日期的前 10 天平均降雨量（表 2-3）來看，則以 12 月份的平均降雨量最高，9 月和 5 月次之，其他月份降雨量則非常少。而降雨量對重件碼頭南側地形來說，和鹽寮海岸一樣屬於面海背陸，並非位於河海交界，所以並不會受到逕流的影響。

(二) 波浪

所受到波浪營力與前兩區一樣，波浪站同樣採用東北角龍洞站。實測的 5-8 月，波浪營力不強，且風向是以南風和西南風為主。至 9 月，波浪營力有加強的趨勢，但風向還是以南風和西南風為主。10 月份東北季風慢慢增強，風向轉以北風及東北季風為主，而波浪營力也逐漸增強。至 11-12 月，東北季風營力為最強盛時期，波浪各營力都達到最大值，風速快而風向以北風和東北季風為主。1 月份至 2 月東北季風慢慢減弱，風向還是以北風和東北風為主。

不過特別提到的是，就位置而言，相對位於福隆海灣中段的鹽寮海灘來說，重件碼頭本身就位於岬頭上（圖 2-18），根據台電所委託中山大學所做海底地形調查，重件碼頭所在位置底下就是一個大的水下礁岩區，這會使波浪往海岸方向前進時集中往岬頭入射，所以比起雙溪河口沙洲以及鹽寮海灘，重件碼頭對波浪強弱的反應更具有敏感性。

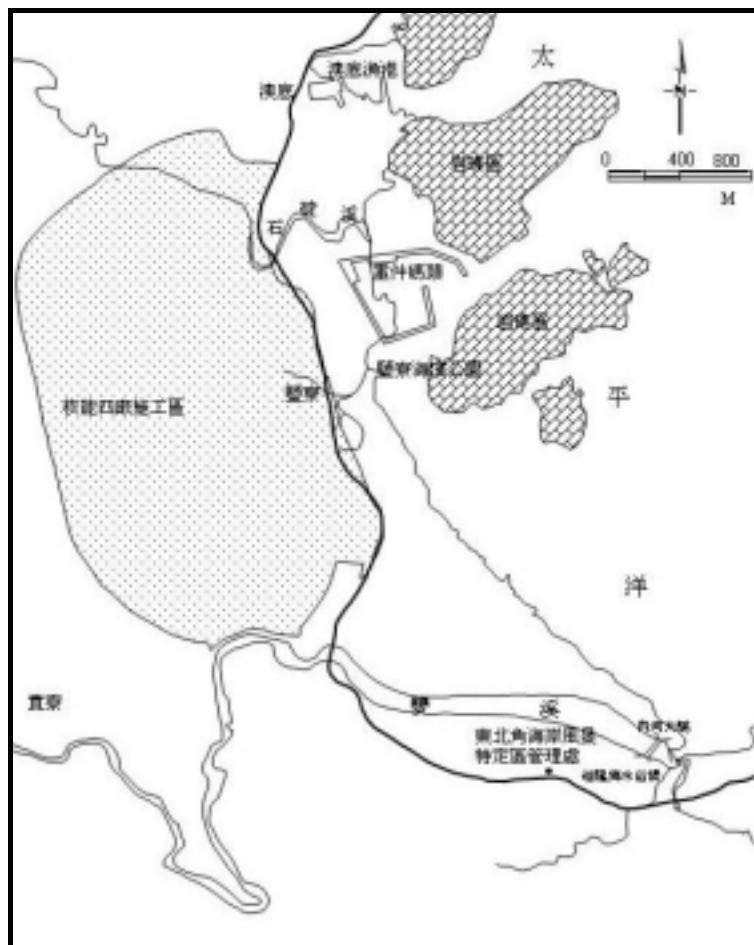


圖 2-18 重件碼頭水下礁岩區示意圖

(三) 潮汐

根據鹽寮測站，此地區年平均潮差約 0.55 m，屬於小潮差環境，潮汐的漲落潮對於灘面來說除了海水升降導致露出灘面大小不同之外，並不會為灘面帶來大量泥沙淤積，因此受到潮汐作用非常微小，且此處潮差變化小，月間變化差異不大，受到潮汐作用影響不大。

圖 2-19 是重件碼頭面積、體積和雨量關係圖，前 10 天累積降雨量以 12 月最多，9 月次之，而 12 月的面積也對應到最小值的體積。而在前 10 天平均降雨量相近的 7 月、8 月、1 月和 2 月的面積和體積，卻是以 7 月和 8 月較大。因此從降量關係圖來說，降雨量大小對於灘面變化不明顯，並沒有顯著影響。

另外，在平均波浪與面、體積關係圖（圖 2-20）中發現，7 月和 8 月波浪

營力不強時期，該月份面積、體積較大，9月在平均波浪增強之後，體積則有下降趨勢。到了12月的波浪營力最強，同時也對應到最小的體積值，直到1月和2月份時，體積又因為波浪營力減弱而有回堆趨勢，顯示重件碼頭南側體積與平均波浪相關性較高；當平均波浪越大時，其體積會越小；和雨量的關係則沒有波浪營力來的明顯。

綜合上述雨量和平均波浪關係而言，重件碼頭由於緊鄰岬頭和防波堤，年內變化主要受到波浪影響，灘面面積和體積與波浪營力關係密切。

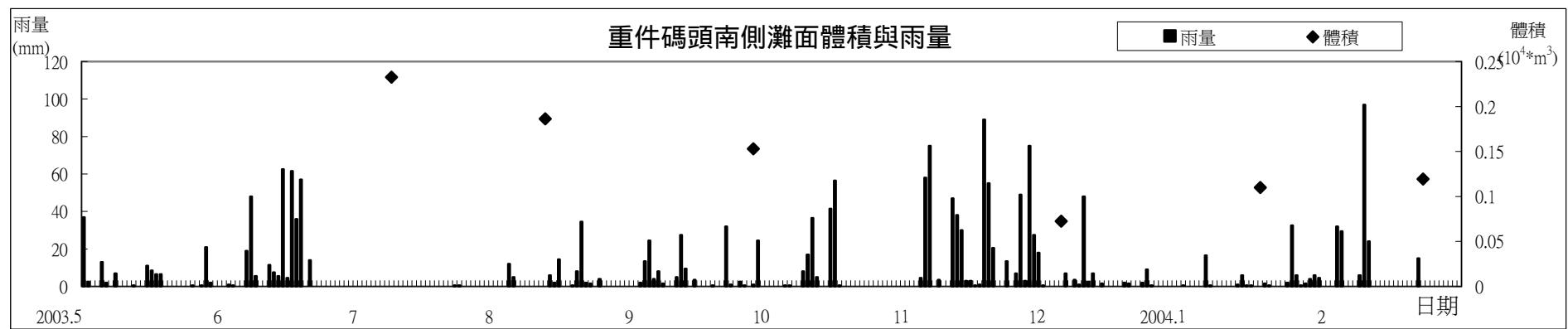
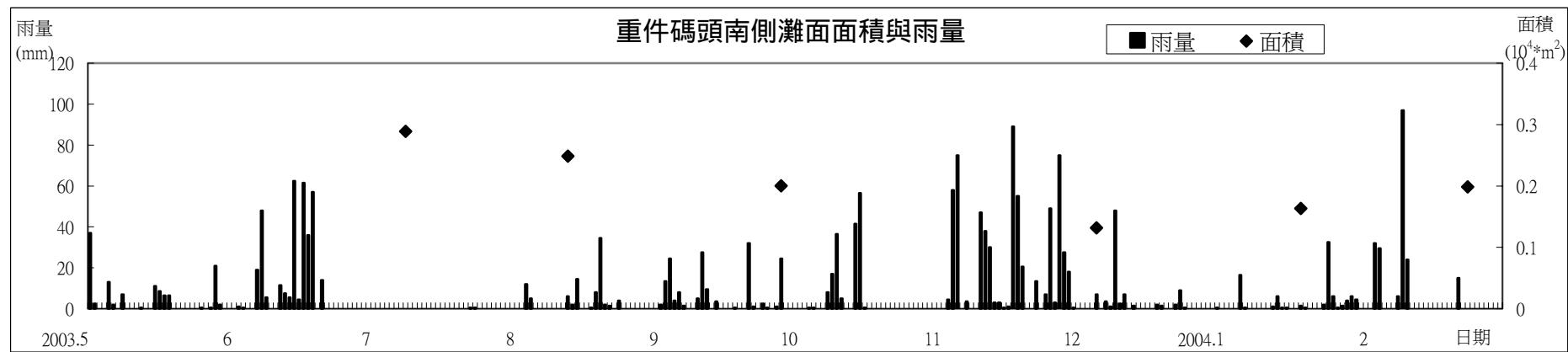


圖 2-19 重件碼頭南側灘面面積、體積和雨量關係圖

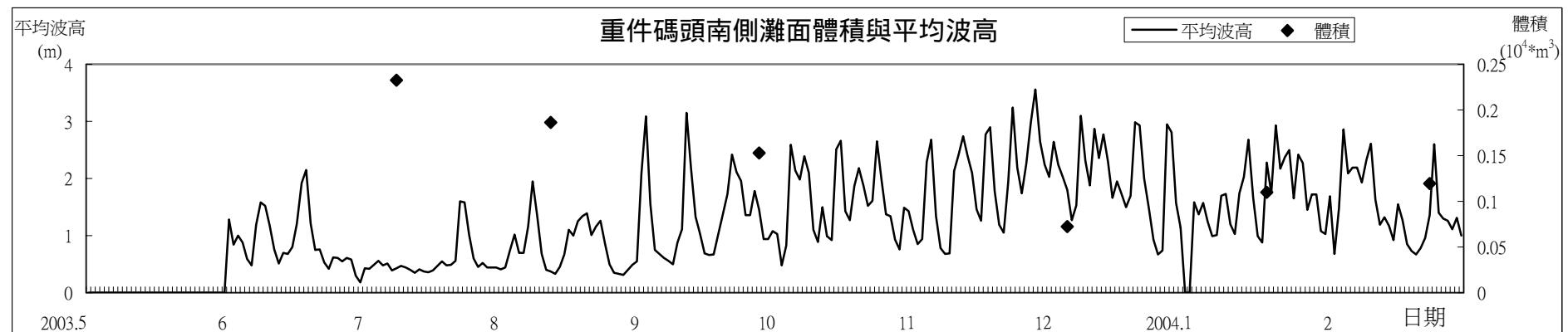
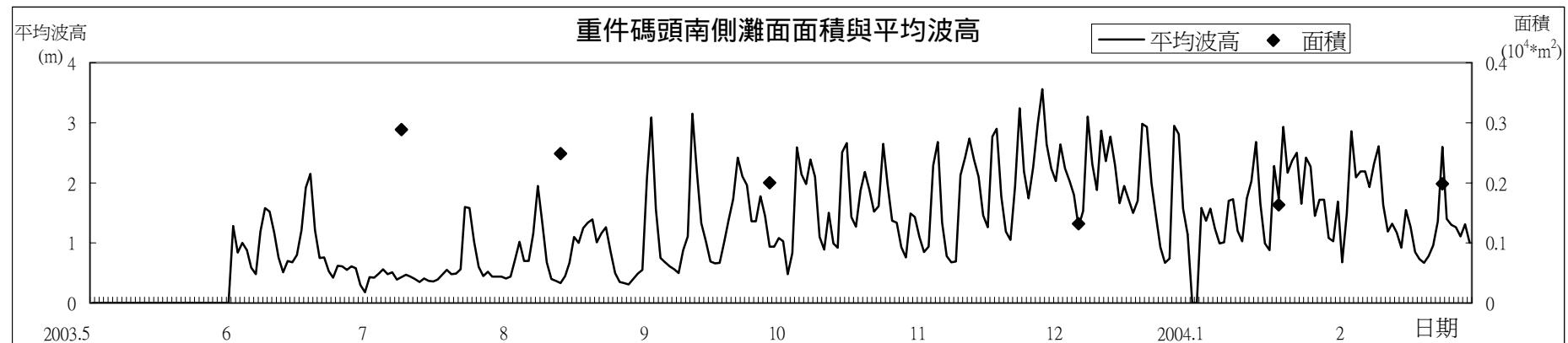


圖 2-20 重件碼頭南側灘面面積、體積和平均波浪關係圖

第四節 三區營力綜合分析

本研究將研究區分為三區，分別探討其年內在無颱風年下的變動情形，由於三區各有不同區域特色，在前三節已分別討論其地形變動可能因子，因此我們將三區體積、面積分別與營力做相關分析比對，分析結果如下表 2-8。

表 2-8 三區面積、體積與海陸象營力相關係數統計表

	雙溪河口				鹽寮海灘		重件碼頭南側	
	左岸	右岸	總面積	體積	面積	體積	面積	體積
平均波高	-0.8	-0.1	-0.87	-0.79	-0.63	-0.51	-0.96	-0.95
最大波高	-0.64	0.07	-0.61	-0.6	-0.17	-0.03	-0.87	-0.94
示性波>1m	-0.85	0.04	-0.84	-0.79	-0.56	-0.44	-0.98	-0.97
示性波介於 1-2m	-0.64	0.22	-0.53	-0.55	-0.3	-0.19	-0.81	-0.84
示性波>2m	-0.86	-0.12	-0.94	-0.84	-0.71	-0.6	-0.96	-0.92
示性波>3m	-0.93	0.06	-0.91	-0.89	-0.58	-0.46	-0.93	-0.9
平均潮差	-0.08	0.25	0.05	-0.16	0.15	0.24	-0.24	-0.36
前 30 天降雨量	-0.54	-0.36	-0.75	-0.65	-0.53	-0.48	-0.44	-0.42
前 15 天降雨量	-0.68	-0.21	-0.81	-0.76	-0.52	-0.41	-0.72	-0.75
風速	-0.56	-0.32	-0.74	-0.58	-0.67	-0.57	-0.8	-0.79

三區位處岬灣內不同位置，分別受到不同大小營力的影響：雙溪河口沙洲位於出海口，主要受雙溪的逕流以及海象的波浪為主；而鹽寮海灘則沒有顯著受到逕流影響，主要是面對海象所帶來的波浪營力為主；而重件碼頭南側灘面和鹽寮海灘一樣主要是受到來自波浪的營力為主，但因為處於岬角及興建防波堤之故，會導致波浪前進時朝岬頭集中效應影響，而受到較大波浪營力侵蝕。因此，三者雖位於同一個岬灣之內，但三區體積受到的主導營力卻不盡相同，在相關係數統計表裡就充分反映出此種特色。

從表中發現，雙溪體積與波浪各項營力關係都呈現高度負相關，尤其在與示性波大於 2 m 和 3 m 方面達到 -0.84 以及 -0.89，在雨量的相關係數也達到

-0.76，顯示逕流以及波浪營力對其影響性都非常顯著，而在雙溪右岸面積與各項營力關係上發現與其他相關係數都不高。這也和我們前述右岸面積本來就是一個幾無堆積的形態，在歷史形態中，右岸沙洲並沒有直接受到波浪營力作用，而是直接面對雙溪河流的影響。而從歷史航照中也發現，雙溪所帶來的泥沙也幾乎不會在右岸堆積，也就是說其面積受到逕流的影響也不大，也和我們年內實測所觀察到的結果符合。

在鹽寮海灘體積方面，以示性波大於 2 m 和它的相關性最高，相關係數達 -0.6，而平均波高也有達 -0.51，但在降雨量方面則較小，只有達 -0.41 的相關性，顯示鹽寮海灘似乎受到波浪營力影響較大；另外，在重件碼頭南側部分，在體積以及面積上都顯示與波浪營力影響關係密切，相關係數值都有達 -0.9 以上，而和降雨量的相關係數則較低，兩區相關係數結果都頗能和之前營力關係探討部分相呼應。

另外，在相關係數中也將示性波介於 1-2 m 發生機率做比對，因為中央氣象局示性波大於 1 m 機率的資料是包含示性波大於 2 m 以上的波浪，因此將示性波介於 1-2 m 的機率獨立出來，探討波浪對各區影響。在示性波介於 1-2 m 之間的相關係數中發現，雙溪體積與示性波高大於 2 m 的相關係數達 -0.84 以上，示性波介於 1-2 m 之間的相關係數降低到 -0.55。而鹽寮的示性波高大於 2m 相關係數值為 -0.6，示性波介於 1-2 m 降低到只有 -0.19。重件碼頭南側與示性波高大於 2m 相關係數值為 -0.92，示性波介於 1-2 m 則是為 -0.84。此結果也似乎代表雙溪和鹽寮兩區體積和面積在波高達 2 m 以上之後，波浪會對灘面造成侵蝕效果。從表 2-3 也發現，示性波高在 11 月之後示性波高大於 2 m 機率顯著上升到 50%，所以推測示性波高在大於 2 m 以上，對灘面會造成侵蝕，而導致體積和面積有下降的趨勢；而重件碼頭側的部分則因為受到波浪能量集中的因素，對於波浪的敏感度較高，所以示性波高在大於 1 m 以上，灘面體積和面積就會受到侵蝕而減少。

第三章 突發事件對河口沙洲的影響

每個突發事件的規模以及特性不同，地形對於突發事件往往有不同的反應，而事件發生的時機在地形變動中也扮演著重要的角色，林雪美（1996）也指出，突發事件的巨大能量相較於平均能量而言，對地形影響往往更為劇烈，並且在短時距內看到變動結果。

第一節 突發事件後河口沙洲的變動情形

本研究實測至今，未有明顯颱風影響本地海岸地區，因此從歷史航照找出在颱風前後所拍攝的航照作為比對（表 3-1）。其中 1994 年的提姆颱風、1998 年的瑞伯颱風有颱風來之前及之後的航照拍攝，而 2000 年的象神颱風以及 2001 年的納莉颱風，則是有颱風前的航照，颱風之後的地形則是比對台電所做的地形量測，所以本研究在定位以及數化四個颱風航照之後，分析比對颱風來臨前後河海營力變化以及沙洲變動情形。除了四個颱風事件，本研究發現 1995 年 5 月所拍攝航照，因為豪雨事件，左岸沙嘴也有遭沖斷的情形。因此本研究主要比對這四個颱風事件和一個豪雨事件對河口地形的影響。

表 3-1 侵襲雙溪河口主要突發事件

突發事件	日期（年、月、日）	等級
提姆	1994.07.10	強烈
瑞伯	1998.10.16	強烈
象神	2000.11.01	中度
納莉	2001.09.16	中度
豪雨	1995.05.18	—

一、 颱風前後河口沙洲的變動情形

（一） 提姆颱風前後的河口沙洲變動

1994 年 7 月 10 日侵襲台灣北部，形成後即以西北方向前進，於 10 日 22

時於花蓮秀姑巒溪口登陸。在提姆颱風後，河口沙洲呈現變動，圖 3-1 是 1994 年 6 月 7 日（提姆颱風前）以及 1994 年 7 月 27 日（提姆颱風後）後的變動圖，左右岸面積變動量如表 3-2。在左岸河口沙洲面積減少了 11990 m^2 ，在右岸面積也同時減少 822 m^2 ；在左岸的最長距離變化上，颱風前和颱風後長度則沒有顯著的變化。從航照數化中發現，左岸的形態從原本較為肥厚的形狀，變成較為修長的形狀，而右岸的形態以及變動量則改變不大。因此整體說來，提姆颱風主要造成左岸沙源流失，左岸河口沙洲面積縮小等灘面變動情形。

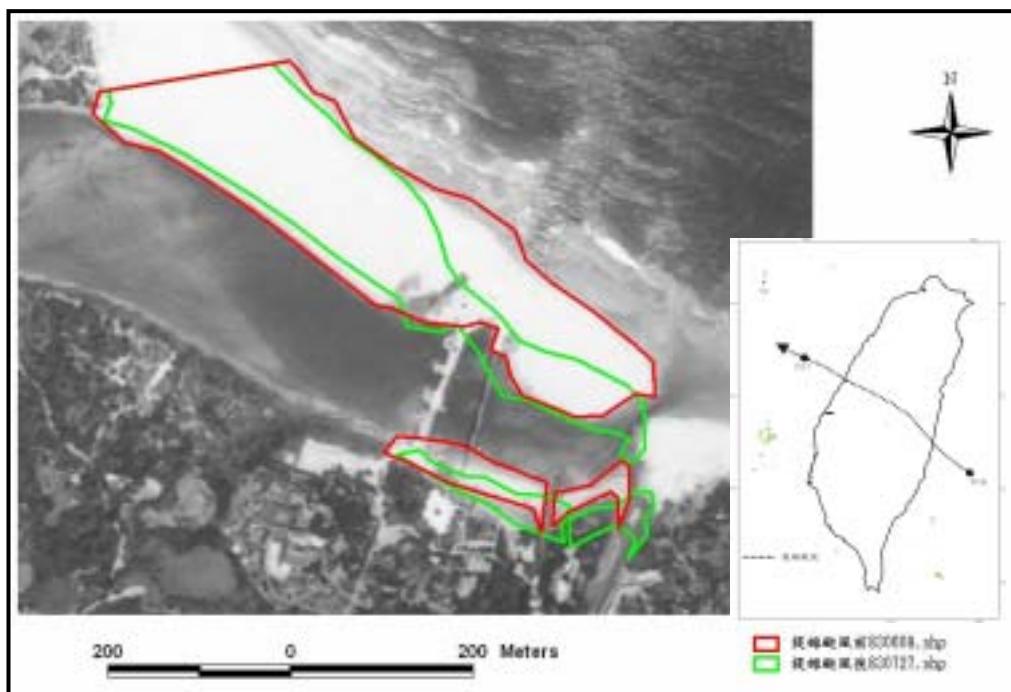


圖 3-1 提姆颱風前後河口沙洲變動圖

（二）瑞伯颱風前後的河口沙洲變動

瑞伯颱風於 1998 年 10 月 16 日侵襲台灣，形成後向西北方向前進，於 10 月 16 日晚間轉向東北移行並減弱為輕度颱風，10 月 17 日凌晨全台脫離其暴風圈。圖 3-2 是數化 1998 年 5 月 7 日（瑞伯颱風前）以及 1998 年 11 月 13 日（瑞伯颱風後）的航空照片，左右岸面積變動量如表 3-2，在航照數化比對後，明顯看到沙洲在颱風前後所遭受到的巨大衝擊。在左岸所受到的影響非常劇烈，面積變化

損失達到 56964 m^2 ，在右岸的部分則是稍稍增加 508 m^2 的面積。而在左岸長軸距離縮短約 50 m ，左岸形態特徵和提姆颱風相仿，都是由原本較為肥厚的形態，轉變成較為修長的形狀，而右岸面積變動量不大。從航照圖上也可以看出瑞伯颱風造成橋墩在颱風後裸露在水中，這主要是由於瑞伯颱風所帶來巨大雨量所造成的效果。

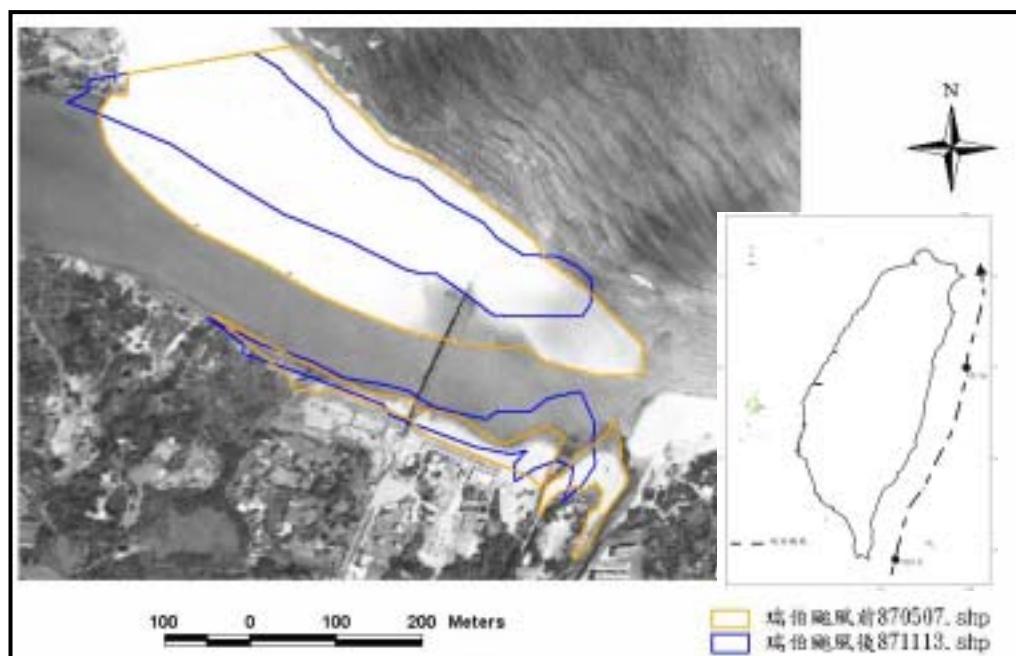


圖 3-2 瑞伯颱風前後河口沙洲變動圖

(三) 象神颱風前後的河口沙洲變動

2000 年 10 月 31 日象神颱風形成後向西北西移動，通過菲律賓後緩慢向東北東移動，俟其進入巴士海峽後加速移動，沿台灣東部近海繼續向東北東移動，在 11 月 1 日影響台灣。圖 3-3 是數化 2000 年 5 月 14 日（象神颱風前）及台電在象神颱風後所量測的沙洲地形做比對，左右岸面積變動量如表 3-2。在左岸河口沙洲面積變動量減少達到 51995 m^2 之多，且左岸沙洲被沖毀，橋墩裸露；右岸面積更是幾乎沈浸在海水底下，只剩餘一部份出露在水面上，面積減少約 10000 m^2 ；左岸長軸距離更是縮短了 174 m 之多。象神颱風最主要是帶來大量降水，沙洲幾乎被水所掩蓋。

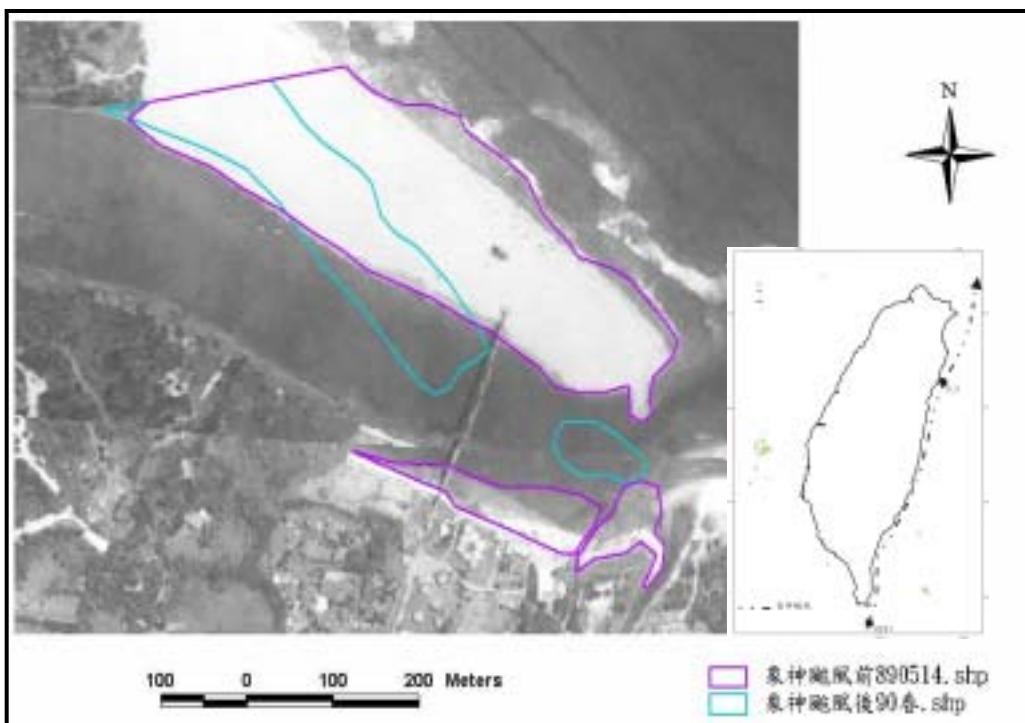


圖 3-3 象神颱風前後河口沙洲變動圖

(四) 納莉颱風前後的河口沙洲變動

2001 年 9 月 6 日 11 時於台灣東北方海面形成，8 日調頭轉向西北西和偏西方向，對台灣北部海面構成威脅。10 日此颱風再次回頭東移至琉球那霸近海打轉兩天，13 日此颱風再次調頭緩慢地直撲台灣，16 日 21 時 40 分左右在台灣東北角登陸。納莉颱風對於東北角地區來說，可說是影響最大的颱風，關鍵在納莉颱風除了攜帶強風豪雨之外，登入地點以及方向（圖 3-4），都直接侵襲東北角海岸，對整個東北角地區造成極大的傷害。尤其福隆地區又是沙岸地形，地形變遷尤其明顯，圖 3-5 是數化 2001 年 7 月 7 日（納莉颱風前）以及台電委託中山大學在納莉颱風後實測的沙洲地形做數化比對，表 3-2 是颱風後變動量。納莉颱風後雙溪河口沙洲整個形態完全改變，左岸河口沙洲面積在數化後發現減少了 30577 m^2 ，右岸面積則增加了 41826 m^2 的面積，此沙源變化應該是逕流沖斷左岸沙洲後，沙源被帶往到右岸堆積，這也是現在我們在福隆海岸地區所看到的概況。在左岸最長剖線上，由於左岸被沖斷之故，所以長度縮減達 317 m 之多。

納莉颱風對於雙溪河口沙洲所造成的左岸沙源向右岸堆積情形，從歷史航照以及訪問當地居民表示，在納莉颱風之前，左岸沙嘴確有因為洪水事件而導致沖毀斷裂，但從沒有出現沙源被帶往右岸堆積，而形成新的出海口（圖 3-6），納莉颱風對於雙溪河口的重創，由此可見一斑。

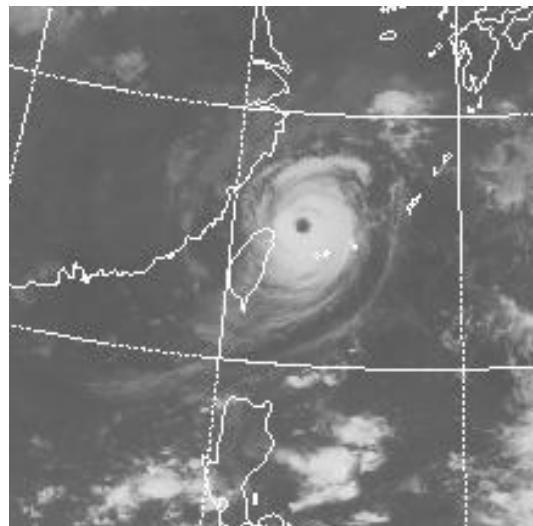


圖 3-4 納莉颱風衛星雲圖 資料來源：中央氣象局

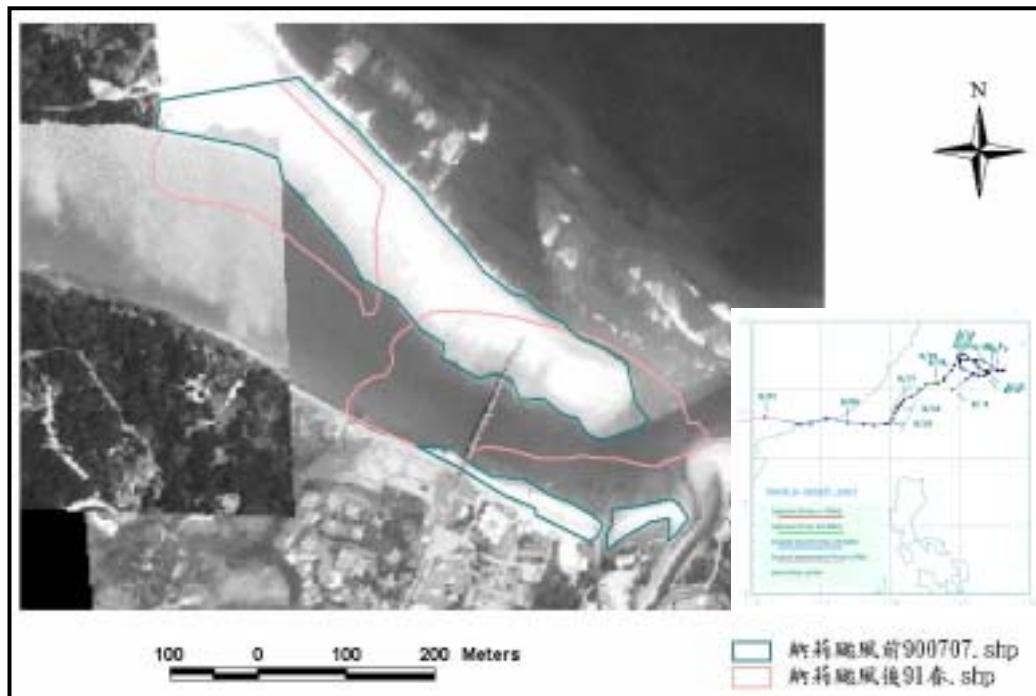


圖 3-5 納莉颱風前後河口沙洲變動圖

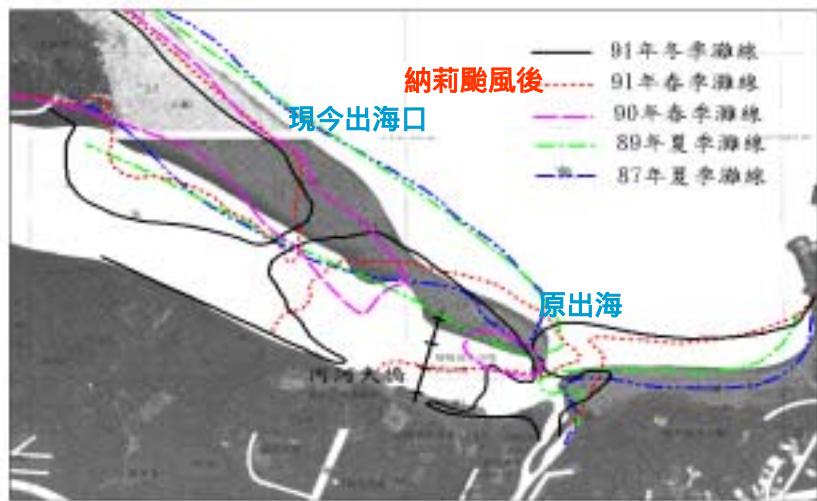


圖 3-6 納莉颱風後新、舊出海口示意圖 資料來源：台灣電力公司

表 3-2 四個颱風前後河口沙洲變動量表

颱風		日期	左岸面積 (m ²)	左岸變動量 (m ²)	右岸面積 (m ²)	右岸變動量 (m ²)	左岸長軸 (m)
提姆	前	1994 年 6 月 8 日	79394	—	8732	—	692
	後	1994 年 7 月 27 日	67404	-11990	7910	-822	694
瑞伯	前	1998 年 5 月 7 日	127816	—	16048	—	706
	後	1998 年 11 月 13 日	70852	-56964	16556	508	655
象神	前	2000 年 5 月 14 日	92486	—	15173	—	692
	後	2000 年春	40491	-51995	4781	-10392	518
納莉	前	2001 年 7 月 7 日	66200	—	6749	—	663
	後	2002 年春	35623	-30577	48575	41826	346

二、豪雨事件前後河口沙洲的變動情形

在比對歷史航空照片，除了前述四個颱風之外，在無颱風侵襲之下，也發現在 1995 年 5 月的航空照片（圖 3-7），左岸沙嘴呈現斷裂的情形，且出海口從原來跨河大橋東側改為其西側出海，原來的出海口則呈現大量泥沙淤積。從航照發現，沙源並沒有由左岸往右岸堆積，只是呈現斷裂。沙嘴可能被強大的逕流所沖斷，帶來的沙源則造成原來的出海口淤積而迫使河流改道，和納莉颱風同時受到強大海陸營力的作用不同。而在同年 11 月所拍攝的航照（圖 3-8），則發現沙嘴又已回復連結，而雙溪也由原來的出海口出海。

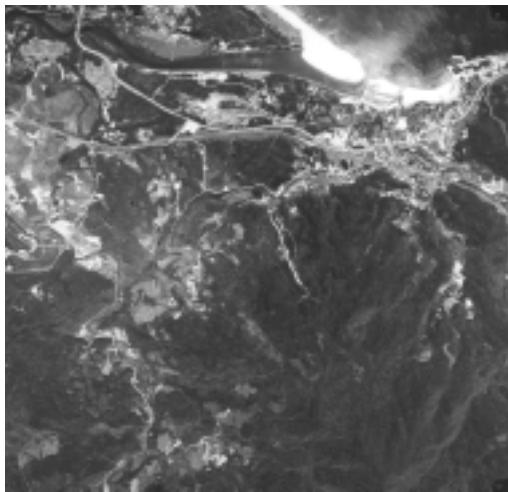


圖 3-7 雙溪左岸沙嘴斷裂 1995.05.31

（農航所）



圖 3-8 雙溪左岸沙嘴回復 1995.11.11

（農航所）

第二節 突發事件海陸象營力探討

一、颱風的海陸象營力影響

(一) 提姆颱風的海陸象營力

提姆颱風中心最大風速達 53 m/sec，屬於強烈颱風。表 3-3 提姆颱風前 10 天及颱風當天河海營力變動情形。根據鹽寮測站顯示，颱風來臨前 10 天平均風速為 3.7 m/sec，1994 年 7 月 10 日颱風來臨當天，測站當時平均風速達 13.7 m/sec，瞬時最大風速則達到 40.9 m/sec；波浪方面，中央氣象局表示該年度鼻頭角測站故障，所以無該年度該站波浪資料，雖然沒有當時波浪資料，但由風速可推知當時所引起的波浪能量一定相當之高，在四個颱風之中，提姆颱風所引起的風力是當中最強的。另外，根據雙溪測站 2 水文站顯示，在逕流量方面，颱風來臨前 10 天平均值為 1.88 CMS，在颱風來臨當天逕流量值達到 136.8 CMS 之多，累積降雨量則為 60 mm。

比較提姆颱風海陸象營力發現，提姆颱風的海象營力顯然比起陸象營力高了許多，由於當時提姆颱風雨勢主要發生在東部及中部山區，因此颱風主要帶來了強勁風浪，降雨量則只有 60 mm，所以對於河口沙洲的衝擊，主要是受到強大波浪的影響，導致沙洲變成陡而窄的形態以及沙源流失，並沒有造成沙源形態大規模的改變。

(二) 瑞伯颱風的海陸象營力

瑞伯颱風中心最大風速達 55 m/sec，屬於強烈颱風。表 3-3 瑞伯颱風前 10 天及颱風當天河海營力變動營力值，圖 3-9 為瑞伯颱風的逐時風浪圖。在風速變化方面，前 10 天平均值從 2.9 m/sec 達到 9.4 m/sec 的變化；平均波高變化方面，從 2.0 m 增強到颱風當時的 4.7 m，最大波高達 6 m 之多，也是在颱風中少見；在日逕流量方面，從前 10 天平均值 75.7 CMS 達到颱風當時 721.5 CMS 之多，最大瞬時流量更是高達 1215 CMS。另外，颱風來臨期間累積降雨量則達 380 mm，由此可見瑞伯颱風挾帶大量降水對沙洲地形造成嚴重影響。

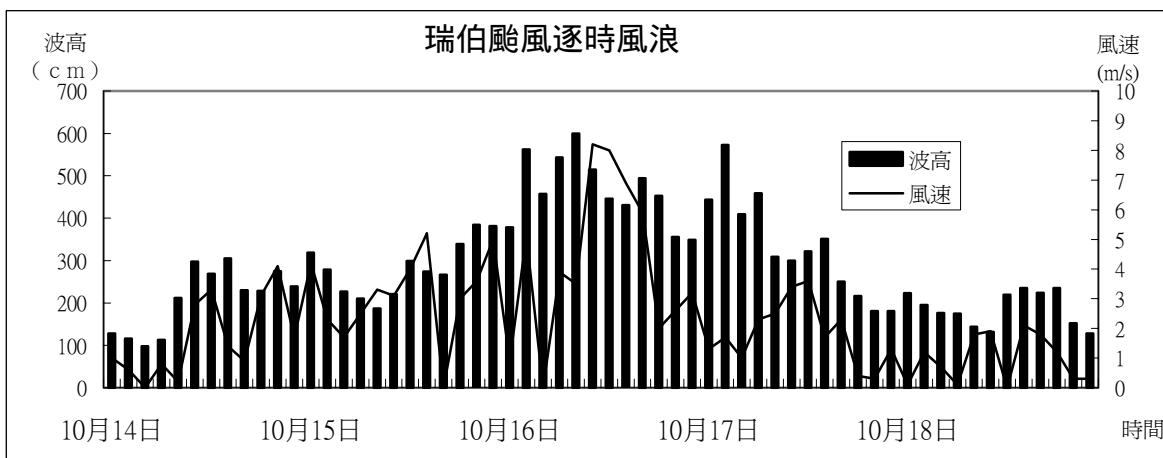


圖 3-9 瑞伯颱風逐時風浪圖

瑞伯颱風整體說來，其海象營力在四個颱風中強度為第三高，陸象營力在颱風中也是第三多的，所以可說其海陸象營力勢力相當。但必須特別提到的是在瑞伯颱風來襲後，在雙溪測站 2 所測得的日逕流量以及瞬時最大逕流量都是歷史新高，帶來強大降雨所造成橋墩裸露、沙源流失情況，也是對雙溪河口沙洲有不小的影響。

(三) 象神颱風的海陸象營力

象神颱風中心最大風速達 38 m/sec ，屬於中度颱風。表 3-3 為象神颱風前 10 天及颱風當天河海營力變動營力值，圖 3-14 為象神颱風的逐時風浪圖。風速方面，由颱風前 10 天平均值的 3.5 m/sec 增加至 9.1 m/sec ；波浪方面，平均波高從前 10 天的 1.8 m 增強到 4.1 m 之多，最大波高變化方面由前 10 天出現的 2.6 m 在颱風當天則出現 5.4 m 的最大波高。雨量方面，累積降雨量達高達 580 mm ，是颱風中僅次於納莉颱風的降雨量；但在逕流量方面，則因颱風當時測站故障，沒有當時逕流量值，但由其挾帶的龐大降雨量，其逕流量也一定非常驚人。所以，象神颱風當時對於福隆海岸最大的影響在於強大的陸象營力，河口沙洲完全被水所掩蓋。

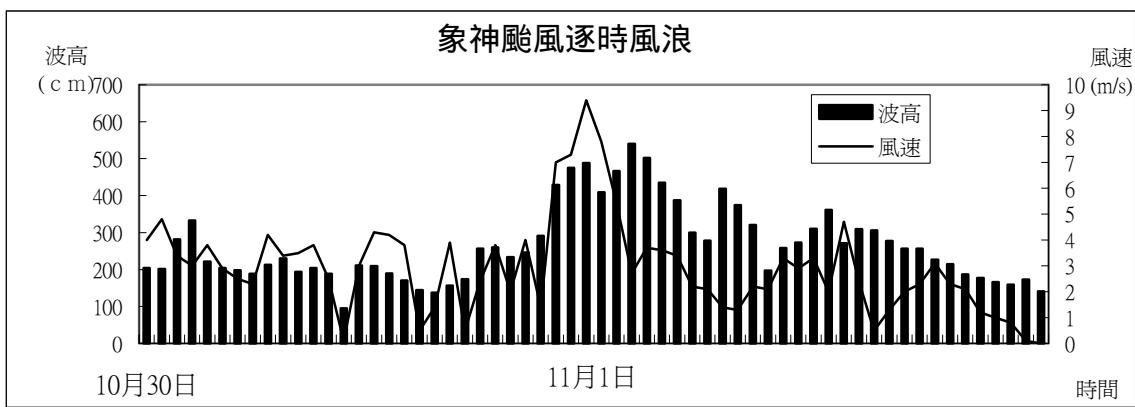


圖 3-10 象神颱風逐時風浪變化圖

整體而言，象神颱風海象營力在四個颱風中是最小的，但其所攜帶的高降雨量達 580 mm，則是僅次於納莉颱風，雖然當時雙溪水文站故障，但可預想的是，又如瑞伯颱風一樣創下歷史流量新高紀錄。因此，象神颱風的陸象營力比海象營力大的多，而造成河口沙洲大量被海水所掩蓋，沙洲被沖毀，對於雙溪河口沙洲造成嚴重影響。

(四) 納莉颱風的海陸象營力

納莉颱風中心最大風速達 40 m/sec，屬於中度颱風。表 3-3 為納莉颱風前 10 天及颱風當天河海營力變動營力值。圖 3-11 為納莉颱風的逐時風浪圖，風速部分在颱風前 10 天平均值不過 3.4 m/sec，但在颱風期間平均值達到 11.7 m/sec；在波浪方面，平均波高從 1.8 m 增強到 4.1 m，最大波高則幾乎高達 7 m，是歷史颱風裡面造成最大波浪的颱風。除了強風波浪之外，還帶來大量雨量，累積降雨量達 620 mm，也是所有颱風中雨量最多的。而在日逕流量方面，由於當時測站故障，並無法提供數據，但所測得的瞬時流量竟高達 2250 CMS 之多。所以，納莉颱風可說是不管在海象或是陸象的營力都非常之劇烈，納莉颱風也因此造成後來整個雙溪河口改道，沖刷成新的流路，成為一新出海口。

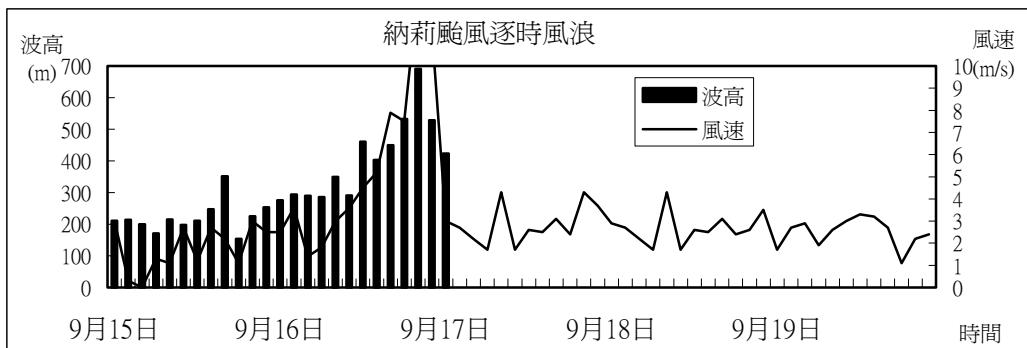


圖 3-11 納莉颱風逐時風浪變化圖

納莉颱風對於雙溪河口的重創可說是前所未見，在波浪方面造成近 7 m 波高，降雨量高達 620 mm 所帶來的瞬時逕流量更高達 2250 CMS，其破壞力驚人，海陸象營力值都是歷史新高。除此之外，颱風的路徑也是一個非常重要的關鍵，納莉颱風路徑直接侵襲整個東北角地區，加上所攜帶強風豪雨，不僅將左岸沙洲沖毀，更將左岸沙源被帶到右岸堆積，在歷史颱風中並沒有發生過類似狀況。因此，納莉颱風造成雙溪出海口改道，堆積形態改變，都重創雙溪河口沙洲，造成非常嚴重的影響。

表 3-3 四個颱風前十天及颱風當天河海營力變動表

颱風	河海營力	平均風速 (m/sec)	瞬時最大風速 (m/sec)	15 分最大風速 (m/sec)	當時風向	最大波高 (m)	平均波高 (m)	日逕流量 (CMS)	瞬時最大逕流量 (CMS)
提姆	前 10 天平均值	3.7	—	—	—	—	—	1.9	—
	當天值	13.7	40.9	22.6	東南風	—	—	136.8	—
瑞伯	前 10 天平均值	2.9	—	—	—	2.7	2	75.7	—
	當天平均值	9.4	40.2	29.5	西北風	6	4.7	721.5	1215
象神	前 10 天平均值	3.5	—	—	—	2.6	1.8	—	—
	當天平均值	9.1	17.2	9.7	北至東風	5.4	4.1	—	—
納莉	前 10 天平均值	3.4	—	—	—	2.4	1.8	7.2	—
	當天平均值	11.7	40.6	25	西北風	6.9	4.2	—	2250

資料來源：台電鹽寮測站、台電雙溪 2 水文站

二、豪雨的陸象營力影響

1995年5月18日單日降雨量高達126 mm（圖3-12），且逕流量也達到每秒80 CMS以上，推測由於瞬時降雨量導致逕流量增加，使的該年5月底的航照（圖3-11）顯示，左岸沙嘴有斷裂的情形，但當時風浪營力並不強，主要是由陸象營力主導。

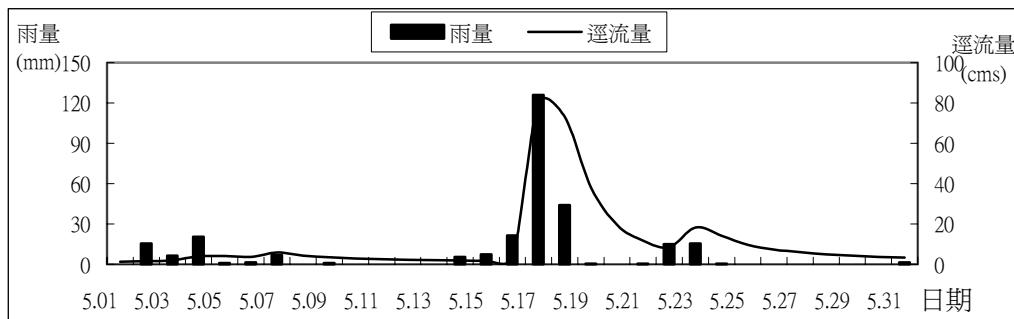


圖3-12 1995年5月降雨量、逕流量關係圖

颱風規模與其所造成的沙洲形態改變顯然是成正比的，將四個歷史颱風的海陸營力值相互比較後發現（表3-4），當海象營力大於陸象營力時，河口左岸沙洲有沙源大量流失情形，且形狀變的較為修長，以提姆颱風為代表；瑞伯颱風來襲其海陸象營力勢力中等，帶來降雨量非常之高，而波浪營力也非常強盛，河口沙洲除了形狀變的較為修長之外，瑞伯颱風更造成更大量沙源流失，橋墩裸露；而在象神颱風來襲其挾帶的高降雨量又再次造成新紀錄，也將左岸沙嘴再次沖斷，大量的雨水淹沒了整個沙洲，沙源也大量流失；在納莉颱風侵襲後整個沙洲形態完全改觀，原來左岸堆積的形態，變成左右岸堆積形態，且形成新的出海口。

表 3-4 比較突發事件的海陸營力造成之沙洲形態改變

突發事件	海、陸象營力比較	沙洲形態變化
提姆颱風	海象 > 陸象	左岸變窄而陡
瑞伯颱風	海陸象營力中等	左岸變窄而陡，且橋墩裸露，沙源流失
象神颱風	陸象 > 海象	左岸沙嘴斷裂，且橋墩裸露，沙源流失
納莉颱風	海陸象均非常強盛	左岸沙嘴斷裂，左岸沙源被帶往右岸堆積，原出海口淤積，形成一新出海口。
高降雨量	陸象營力為主	左岸沙嘴斷裂，原出海口淤積，河川暫時改道

因此將颱風來襲時各項海陸營力與左岸變動量百分比作相關係數分析（表 3-5）。分析結果顯示，和風速相關程度為 -0.86，和最大波高為 -0.62，平均波高為 -0.74，而其中相關係數最高的則為雨量，其相關係數高達 0.94。此結果似也代表著影響河口沙洲的變動營力，以降雨量（逕流量）多寡為最重要因素。從形態變化中也發現，降雨量多的瑞柏、象神、納莉等颱風，會造成左岸沙源較大規模流失，且橋墩裸露；而提姆颱風雖有強大風浪，但降雨量卻僅有 60mm，引起的變動也相對不大。再加上 1995 年的豪雨事件，當時降雨量非常多，其風浪營力不強，所以本研究推測引起沙洲變動、造成沙洲沖毀以及河流改道的主要營力應該是降雨量導致逕流量增加，主導河口沙洲的變動。

表 3-5 颱風各項營力與左岸變動量百分比相關係數分析表

	風速	最大波高	平均波高	雨量
左岸變動量百分比	-0.86	-0.62	-0.74	0.94

河口沙洲的形態敏感，降雨旺盛的季節，由於陸象逕流營力的增強，會將河

口沙洲壩沖開，而直到陸象營力減弱以及沿岸流營力增強，漂沙量的增加會將原先沖開的沙洲壩修補回復 (Bird, 1996)。從颱風和豪雨突發事件相關分析得知，逕流主導河口沙洲的變化，而河口沙洲最明顯的變化就是左岸沙嘴的斷裂。在象神、納莉等颱風以及豪雨事件都有左岸沙嘴斷裂情形，而沙嘴斷裂並非常態。因此，從突發事件降雨量推測，沖斷左岸河口沙嘴的界檻值為單日降雨量 120 mm，當雨量超過 120 mm，則逕流的增加會將左岸沙嘴沖斷。

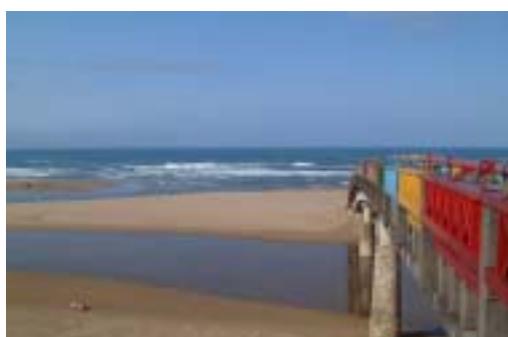
第三節 灘面地形的回復

Cooper (1994) 曾提及一個逕流主導形的河口沙洲，其短期變動的主要原因就是突發事件。其研究區發現在經過一個劇烈的風暴之後，河口沙洲在河流營力作用下，變化過程有循環的週期性，且回復的週期甚短，這也顯示了逕流主導形的主要特徵。納莉颱風以來河口沙洲歷經兩次遭沖毀情形，且變化規模劇烈，本研究藉由東北角管理處所拍攝的歷年照片以及農航所的航空照片和野外實測，以定性方式，從照片形態中探討沙洲在年內受季風影響、颱風事件及豪雨事件後的回復狀況。

一、 年內季風影響的地形回復

在實測的 2003 年 5 月是海水浴場開放的季節，各種活動的舉辦將右岸沙洲完全填平而成爲人工沙灘，所以灘面已經受到人爲與自然因子的影響，加上今年是辛樂克颱風後的回復期，在自然和人文因子夾雜之下，較難以釐清年內季風對灘面的影響和回復。因此，本段論述根據第二章年內實測各種自然營力影響，加上野外實測的照片，以及各種人爲活動的證據，論述雙溪河口沙洲年內受季風影響回復概況。

在 2003 年的 4 月所拍攝照片顯示（照片 3-1），沙洲還是和辛樂克颱風後的出海口位置相似，在跨河大橋的西側入海，原來雙溪的舊河道變成隆隆溪的新河道（照片 3-2），然後在跨河大橋西側與雙溪交會入海。



照片 3-1 雙溪 4 月份出海口位置 2003.04.08



照片 3-2 雙溪右岸隆隆溪河道 2003.04.08

(一) 海水浴場開放（5 月至 10 月）一人為影響為主

6 月時海水浴場為了經營管理方便，而將隆隆溪的河流改道，將原來西向與雙溪會合的河道封閉，從照片 3-3 可看到隆隆溪水源漸少，改由直接往北流入海洋（照片 3-4），從照片 3-5 可看到隆隆溪沿岸圍起高約 1 m 土堤，將河流改道由北側入海。此舉已經嚴重的影響雙溪河流在受到辛樂克颱風後回復的重大阻力，因為雙溪舊流路封閉，河水已難從跨河大橋下流出海洋，此時河口受到人為影響已難回復到舊觀。



照片 3-3 雙溪舊河道因人為影響而封閉



照片 3-4 隆隆溪因人為影響改道出海

2003.06.17

2003.06.17



照片 3-5 隆隆溪旁人工土堤

2003.06.17

7 月 11-13 日是一年一度的「貢寮海洋音樂祭」，照片 3-6 照片中跨河大橋的右側灘面明顯是由挖土機挖掘的痕跡，這也是為了音樂祭的舉辦所做的整灘動作。照片 3-7 則是海洋音樂祭所搭建的舞台，照片中也見到挖土機正在進行整灘挖掘的動作，由於基於安全考量以及眾多參加音樂祭的民眾，因此海水浴場把整個右岸灘面的雙溪舊河道用沙子填平，灘面上的舊河道幾乎完全為沙所填滿。所

以，雙溪河口已經難以憑藉大自然的力量回復到舊觀。



照片 3-6 雙溪右岸灘面挖掘情形 2003.07.08



照片 3-7 雙溪右岸沙洲海洋音樂祭整灘情形

2003.07.08

到了 7 月 26 日，另一個由 TVBS 所主辦的音樂晚會在福隆地區盛大舉辦，照片 3-8 是因應晚會所搭建的舞台，而整個右岸灘面還是維持著由人工所堆積而成的灘面，照片 3-9 中可看到挖土機挖掘的身影，挖土機除了整灘之外，據海水浴場工作人員表示，挖土機最主要的功能是清除在隆隆溪出海口的淤沙，隆隆溪河口改道之後，新河口經常淤塞，大約 3-5 天就要做清除的動作。否則一旦河口淤塞，則河水有可能會爆滿，而溢流到福隆海水浴場灘面上，會影響到海水浴場活動範圍。所以，夏天雙溪右岸河口沙洲幾乎都是受到人為影響。

除了右岸開放成海水浴場受人為影響較大之外，左岸沙洲尖端也遭人為影響挖掘，而形成不尋常的平直形態特徵（照片 3-36）。因為雙溪左岸河口沙洲不斷回復，但雙溪舊流路被人工填沙之後，左右岸沙洲一旦相連，雙溪將無出海口而變成沒口溪，勢必造成灘面淹水；另一方面，當地居民有許多是漁民，需靠出海捕魚維生，一旦雙溪出海口堵塞，將造成漁船無法出海的窘境。因此，從 5 月開始，一旦河口有堵塞情形，便利用怪手將其疏浚，以維持河口暢通。因此雙溪河口沙洲要回復到舊觀，更是難上加難，整個雙溪河口沙洲因為商業考量、海水浴場的利用、各種活動的舉辦，完全以人為的力量決定雙溪河口的變化，雙溪河口沙洲在海水浴場開放期間，完全是由人為因素主導河口沙洲的消長。



照片 3-8 雙溪右岸舉辦音樂晚會 2003.07.26 照片 3-9 雙溪右岸灘面整灘 2003.07.26

到了 2003 年 8 月，灘面以及雙溪出海口還是沒有改變，從照片 3-10 中可看到左岸沙嘴在跨河大橋的西側。在夏季的福隆海水浴場，遊玩人潮非常多，在此舉辦的活動也非常之多，8 月 9、10 日兩天由觀光局東北角海岸國家風景區管理處和行政院海岸巡防總局北區巡防局在福隆海水浴場又推出「嬉遊福隆舞翻天」活動，有親子塑沙比賽，也有沙灘街舞大賽等等。照片 3-11 則為活動後遺留的沙雕遺跡。



照片 3-10 雙溪 8 月份出海口 2003.08.22 照片 3-11 雙溪右岸「親子塑沙活動」舉辦

2003.08.22

照片 3-12 是 9 月 27 日的照片，由於 9 月 26 日晚上降下約 25 mm 的雨水，所以可以看到灘面上留有大量水跡，從照片 3-13 可清楚看到雙溪出海口還是在

橋的西側出海，雙溪左岸沙嘴還並未延伸超過大橋，且長度比 8 月短，顯然形態還未回復。這在第二章裡探討過，可能是降雨量導致逕流量的增加，所引起沙洲沙源流失。



照片 3-12 雙溪 9 月右岸灘面遭大雨沖刷情形



照片 3-13 雙溪 9 月份出海口 2003.09.27

2003.09.27

(二) 海水浴場關閉 (12 月至 5 月) – 未受到人為影響

12 月份雙溪出海口位置和 9 月相仿 (照片 3-14)，在橋的西側出海，且根據實測資料，左右岸沙洲距離比 9 月更大。而照片 3-15 則是在 12 月右岸面積持續減少情況下，東北角管理處在橋頭大量堆置沙包，以防止沙源流失。



照片 3-14 雙溪 12 月份出海口 2003.12.05



照片 3-15 跨河大橋橋墩裸露，堆置沙包

2003.12.05

照片 3-16 中看到雙溪河道變窄，雙溪出海口有漸漸往東南側移動的趨勢(照片 3-17)，亦即往橋的東側入海，這已經開始回復到以往流路形態的情形，所有

的情況都顯示，雙溪在無人為影響之後，已漸漸回復到以往流路形態。到了 2 月份（照片 3-18），從照片中看到雙溪回復情形良好，左岸沙嘴延伸往東南延伸，橋墩依然裸露在水中（照片 3-19），但沙源的確慢慢回復當中。



照片 3-16 雙溪 1 月河道概況 2004.01.16



照片 3-17 雙溪 1 月份出海口 2004.01.16



照片 3-18 雙溪 2 月份出海口 2004.02.22



照片 3-19 跨河大橋右岸橋墩裸露 2004.02.22

到了 3 月初（照片 3-20、3-21），雙溪河口沙洲持續其回復狀態，照片中清楚看到 1 月份以來雙溪河口持續回堆，回復情形良好。到了 5 月份（照片 3-22），從照片中顯示，雙溪左岸沙洲距離已延伸到 600 m 左右，和歷史距離約 650 m 相去不遠，從照片 3-23 看到雙溪又和隆隆溪幾乎快要交會，共流出海。



照片 3-20 雙溪 3 月份出海口 2004.03.11



照片 3-21 左右岸沙洲距離靠近 2004.03.11



照片 3-22 雙溪 5 月份出海口 2004.05.02 照片 3-23 雙溪與隆隆溪交會入海 2004.05.02



綜合以上所述，雖然年內受到自然和人為交互影響，但從河口沙洲的變動中可以歸納出以下幾點雙溪河口沙洲在年內無颱風事件下的變動特性。

1. 夏季堆積：夏季風浪營力弱，所以主控因子就決定在逕流營力的大小，當逕流營力增加，則河口沙洲會因沖刷而導致流失。當逕流營力不強時，則河口沙洲在夏季會持續堆積，面積和體積有增大的趨勢。

2. 冬季侵蝕：由於冬季的東北季風在 10 月開始增強，波浪營力也隨之增強，因而造成河口沙洲體積和面積減少，通常在 11 月至 12 月波浪營力最大的時候，侵蝕量也達到最大值。如果此時再加上豪雨導致逕流量增加，則侵蝕會加劇。直到 2 月以後，東北季風慢慢減弱，河口沙洲又會開始緩慢回復堆積。

因此雙溪河口在夏季的主控營力以逕流營力主導河口沙洲變動，而冬季因風浪增強，由波浪主導河口沙洲地形的變動，在年內具有堆積→侵蝕→回復特性。

二、颱風事件的地形回復

(一) 納莉颱風造成的沙洲變動與回復

照片 3-24 是 2001 年 7 月 3 日在桃芝颱風來臨前所拍攝，桃芝颱風在該年度 7 月 28 日影響台灣，照片 3-25 在 9 月 9 日桃芝颱風之後拍攝的照片，對於河口沙洲並沒有很大的影響。桃芝颱風當時在福隆地區只有降下 13 mm 的雨量，以及日逕流量 2 CMS，所以未對雙溪口造成重大變化。之後 9 月 16 日納莉颱風接著侵襲台灣，照片 3-26 是在納莉颱風後一個月所拍攝的照片，照片中明顯可見河口形態大幅度改變，不但左岸沙嘴幾乎完全斷裂，且導致右岸的面積變大，而右岸的沙源應是左岸沙源被帶往右岸堆積的結果，根據台電當時實測出海口約 350 m 寬。而歷史上雙溪河口形態，未出現過沙源轉移、變動規模如此大的突發事件。

納莉颱風後 2 個半月（照片 3-27），顯示左岸以及右岸沙源都有回復情形，面積明顯增大，依據台電當時實測出海口距離約為 190 m 寬，顯示沙源持續回復。到了隔年 3 月，納莉颱風後的 5 個半月（照片 3-28），左岸沙嘴依然呈現斷裂的情形，而右岸面積則持續堆積，沙源還是持續回復，此時出海口寬度約只剩下約 50 m 寬。在 2001 年 4 月，東北角海岸風景特定區管理處曾雙溪進行舊河道之疏浚，並將疏浚之土回填於跨海橋西側橋墩旁所流失之沙灘。所以，在照片 3-29 明顯可以看到雙溪又回復以往的出海口出海，和納莉颱風前的出海口位置相仿，由農航所所拍攝的航空照片（圖 3-13）也顯示，雙溪河口沙洲又回復到以往的形態。雖然雙溪河口沙洲在納莉颱風後的 6 個月，藉由人工挖浚河道才回復到以往流路形態，但從其歷月照片顯示，其回復狀況良好，即使不藉由人工的方式，雙溪河口也能回復到以往形態。



照片 3-24 桃芝颱風前概況雙溪出海口

2001.07.03 (東北角管理處拍攝)



照片 3-25 桃芝颱風後雙溪出海口 2001.09.09

(東北角管理處拍攝)



照片 3-26 納莉颱風後雙溪出海口

2001.10.24 (東北角管理處拍攝)



照片 3-27 紳莉颱風 2 個半月後雙溪出海口

2001.11.30 (東北角管理處拍攝)



照片 3-28 紳莉颱風 5 個半月後雙溪出海口

2001.1.30 (東北角管理處拍攝)



照片 3-29 紳莉颱風 8 個月後雙溪出海口

2001.05.09 (東北角管理處拍攝)



圖 3-13 紳莉颱風 9 個月後雙溪出海口 2002.06.25 (農航所)

納莉颱風後造成的雙溪河口沙洲大規模形態改變，在颱風後的 6 個月，雖是藉由人工填沙下回復到原有的形態，但期間回復情形良好，相信即使在無人工填沙之下，河口仍能憑藉大自然力量回復到舊觀。

（二） 納克莉颱風和辛樂克颱風對河口沙洲的影響與回復

納克莉颱風在 2002 年的 7 月 9 日侵襲台灣，當時在雙溪降下 135 mm 雨量，引起最大波高 5.1 m，平均波高則為 4 m，從照片 3-30 中可看到雙溪河口在納克莉颱風後，左岸沙嘴又呈現斷裂的情形。這種情形一直到納克莉颱風後約 2 個月看到沙嘴有回復情形，但並沒有完全銜接（照片 3-31）。當左岸沙嘴還未完全回復的時候，在 2002 年的 9 月 7 日受到辛樂克颱風侵襲，辛樂克颱風當時降雨量只有 60 mm，但最大波高 5.6 m 以及平均波高 5.5 m，又讓河口沙洲受到重創。雖然辛樂克颱風沒有帶來大量降雨，其日逕流量也不過 10 CMS 左右，但其海象營力較強，所以將整個河口沙洲的沙源又像納莉颱風一樣，整個左岸沙洲的沙源被帶往右岸堆積（照片 3-32）。從照片 3-33 發現在辛樂克颱風後的 20 天，右岸沙洲增大且和陸地連接，和納莉颱風情形一樣，有出海口改道的情形，而原來的出海口淤積。兩個颱風和納莉颱風所造成的影响簡直如出一轍。

由 IKONO 衛星所拍攝的照片（圖 3-14），在辛樂克颱風 2 個月後，見到舊流路幾乎被泥沙淤積堵住，而從較北邊的出海口流出。在辛樂克颱風後的 6 個月（照片 3-34），發現雙溪口左岸沙嘴仍呈現斷裂，仍未回復，出海口還是在跨河大橋西側，原來的出海口則成為隆隆溪河道，和雙溪為同一出海口，而原來的出海口還是呈現淤積狀態。從 2003 年 5 月所拍攝的照片顯示（照片 3-35），此時雙溪口仍未回復。在颱風後 9 個半月的照片（照片 3-36），照片中河口還是沒有回復，但從照片中不難發現左岸河口呈現不尋常平直狀態，但顯然是受到人為影響，才導致河口尖端成如此平直狀，因此河口沙洲此時受人為影響導致回復中斷。



照片 3-30 納克莉颱風後雙溪出海口

2002.08.15 (東北角管理處拍攝)



照片 3-31 辛樂克颱風前雙溪出海口

2002.08.29 (東北角管理處拍攝)



照片 3-32 辛樂克颱風後雙溪出海口

2002.09.10 (東北角管理處拍攝)



照片 3-33 辛樂克颱風 20 天後雙溪出海口

2002.09.24 (東北角管理處拍攝)



圖 3-14 辛樂克颱風 2 個月後雙溪出海口

2002.11.1 (衛星航照)



照片 3-34 辛樂克颱風 6 個月後雙溪出海口

2003.03.17 (東北角管理處拍攝)



照片 3-35 辛樂克颱風 8 個月後雙溪出海口

2003.05.06 (東北角管理處拍攝)



照片 3-36 辛樂克颱風 9 個半月後雙溪出海口

2003.06.26 (東北角管理處拍攝)

以上兩個颱風事件對河口沙洲造成雙溪河口沙洲的變動得知，納莉颱風是藉由人工方式在颱風後 6 個月填沙回復其舊觀，但從照片顯示沙洲藉著大自然的營力可以回復其舊有形態，只是時間的長短而已。辛樂克颱風後的隔年，卻因為海水浴場的開放以及經營，而由人工方式填補右岸沙源，此時雙溪河口沙洲已難以回復其原貌。不過從照片中可以推斷，大致上颱風所造成的沙洲變動，不經由人為影響大概需要 10 個月的時間就可以回復到原來形態。

(二) 豪雨事件的地形回復

推估豪雨事件的回復，可以從 1995 年 5 月（圖 3-7）的左岸沙嘴斷裂以及 2002 年納克莉颱風兩個事件探討其回復情形。一為 1995 年 5 月底以前並沒有颱風事件造成沙嘴斷裂，而是在 5 月中的一場單日降雨達 126 mm 豪雨所導致。另一事件則是納克莉颱風在 2002 年的 7 月 9 日侵襲台灣，當時在雙溪降下 135 mm 雨量，引起的海象營力並不大，造成雙溪河口沙洲的變動情形（照片 3-30）和 1995 年的豪雨事件極為類似。因此從兩次事件判斷其回復情形。

1995 年 5 月中沙嘴斷裂情形，在該年 11 月 11 日拍攝的航照顯示左岸沙嘴已經完全回復舊觀。而納克莉颱風在 2002 年的 7 月 9 日侵襲台灣，從照片 3-30 顯示沙嘴呈現斷裂的情形，一直到 2002 年 8 月 29 日所拍攝的照片顯示河口沙洲仍未回復，在未完全回復之下，在 2002 年 9 月 7 日又遭受辛樂克颱風侵襲，沙洲變動更為劇烈。

因此，從以上兩個豪雨事件所造成的沙洲地形變動，推估大概需要 3-5 個的時間，沙洲地形才能完全回復。

第四章 河海工程對河口沙洲的影響

在 Levisen & Dolah (1997) 的研究中提到，人為工程造成的影響可能會趨近於平衡，並不一定會對沈積物形態造成影響；而 Komar (1999) 在尼羅河所做的相關研究也指出，在 1934 年的亞斯文低壩建立之後，一直到 1971 年的亞斯文高壩建立期間，認為氣候變遷的自然因素主導尼羅河三角洲的變遷甚至大於人為因素，而在高壩建立之後才由人為因素主導三角洲變化。

河川以及海洋工程對於河口沙洲堆積形態以及沈積物傳輸會造成影響。在本研究區河川工程方面，主要有雙溪自來水廠抽取雙溪水源；在海岸工程方面，在鹽寮海岸由台電興建的核四重件碼頭以及位於雙溪河口沙洲南側的福隆漁港，是整個雙溪鹽寮海岸上主要的兩個海岸工程。以下分別探討三個工程對福隆海岸灘面的影響。

第一節 貢寮雙溪自來水廠對灘面地形的影響

一、自來水廠造成的灘面變動情形

貢寮雙溪自來水廠自 1989 年開始大量抽水營運，供應大基隆地區民生用水。由歷年福隆地區航空照片顯示，在抽水之前河口沙洲形態（圖 4-1）和抽水 4 年後（圖 4-2）河口沙洲形態以及抽水 7 年後（圖 4-3）之後的沙洲形態似乎沒有多大改變，顯示河口沙洲受到突發事件影響後，都能回復其原貌。

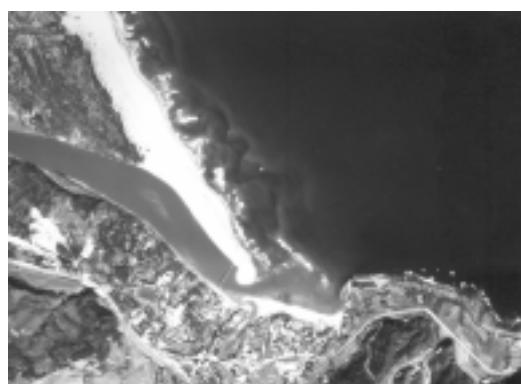


圖 4-1 抽水前河口沙洲形態 1979.1.05



圖 4-2 抽水 4 年後河口沙洲形態 1993.6.28



圖 4-3 抽水 7 年後河口沙洲形態 2001.7.7

二、 陸象營力探討

以下主要論述抽水之後，逕流營力的改變對河口沙洲下游的沈積物供給情形，進而討論對雙溪河口的影響。

貢寮雙溪自來水廠（圖 4-4）於 1983 年開始營運，在雙溪河川下游每天抽水約 2000 ton，主要供應當地居民水源；但自 1989 年起，為供應基隆地區水源，抽水量則增為 80000-90000 ton 之多，換算成流量約 1 CMS，據雙溪測站 2 年平均流量約 17.2 CMS（1980-2002 年），由此推估自來水廠抽水量所佔比例不到一成，初步研判影響應該不大。本研究比對雙溪測站 2 以及雙溪測站 3 的流量以及含沙量關係，評估自來水廠對雙溪河口沙洲的影響。

雙溪河流共有兩個水文站-雙溪測站 2 及雙溪測站 3，都是因台灣電力公司業務需要所設立，相關位置如圖 4-4。雙溪測站 2 於 1980 年開始監測，位於自來水廠上游，集水區面積為 116 km^2 ；雙溪測站 3 於 1995 年開始監測，位於自來水廠下游，集水區面積約為 120 km^2 。而雙溪的含沙量監測自 1995 年以後才有含沙量施測相關資料。

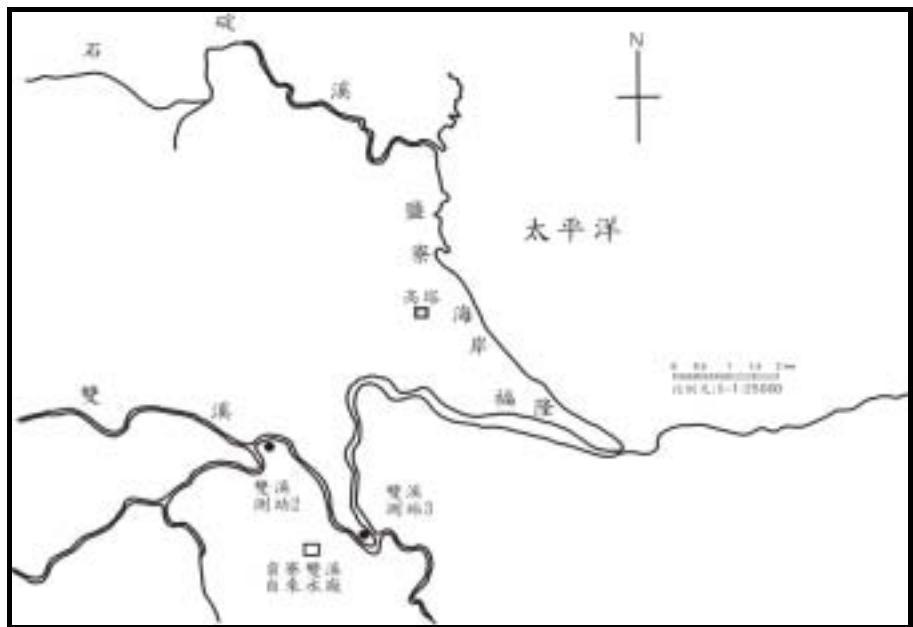
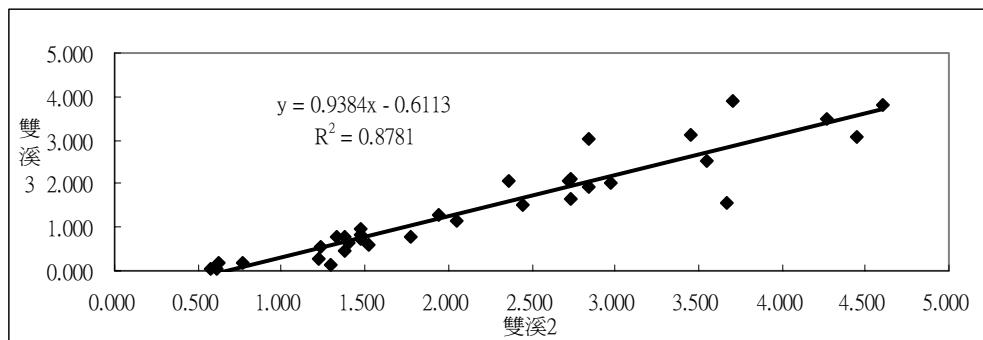
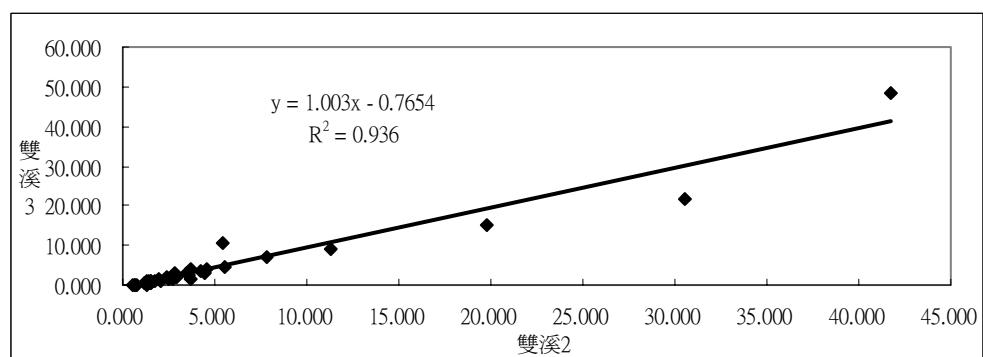


圖 4-4 雙溪水文站、自來水廠位置圖

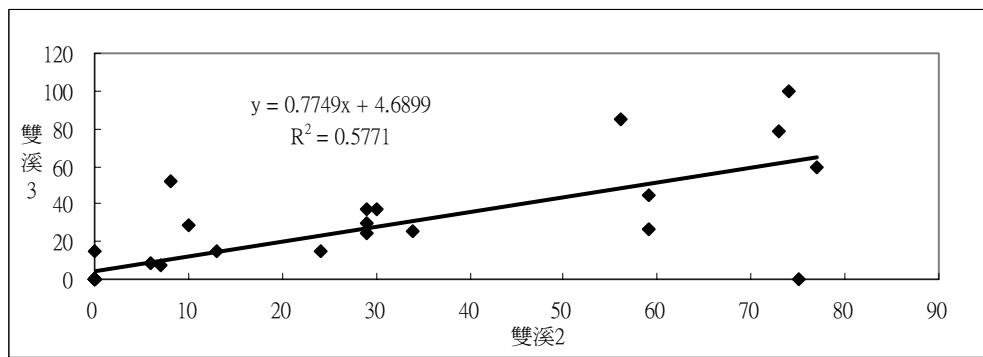
因此，本研究比對自來水廠抽水前後，即雙溪測站 2 和雙溪測站 3 的流量和含沙量差異。將台電在 1996-2001 年於雙溪測站 2 和 3 所測得的流量、含沙量以及推估輸沙量的值（見附錄）作迴歸分析比對。另外針對降雨的分類上，雙溪未下雨的時候，逕流量值約在 5 CMS 以下，因此，將台電所測得相關資料依照以逕流量值在 5 以上和以下分成降雨以及未降雨兩種，將相關流量、含沙量以及輸沙量做線性迴歸比較。（圖 4-5）。



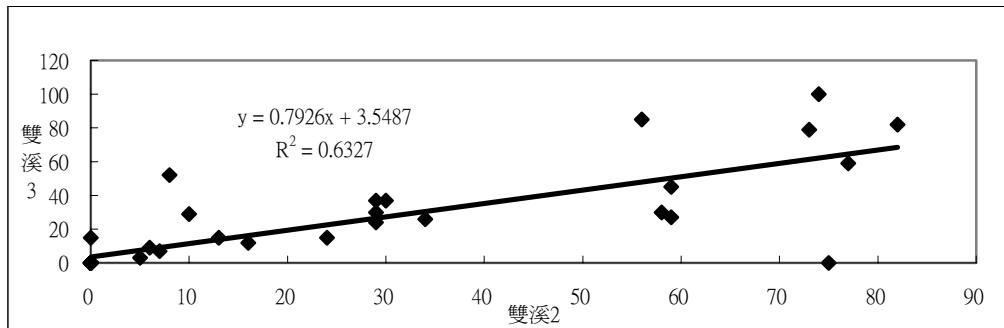
流量比（非降雨）



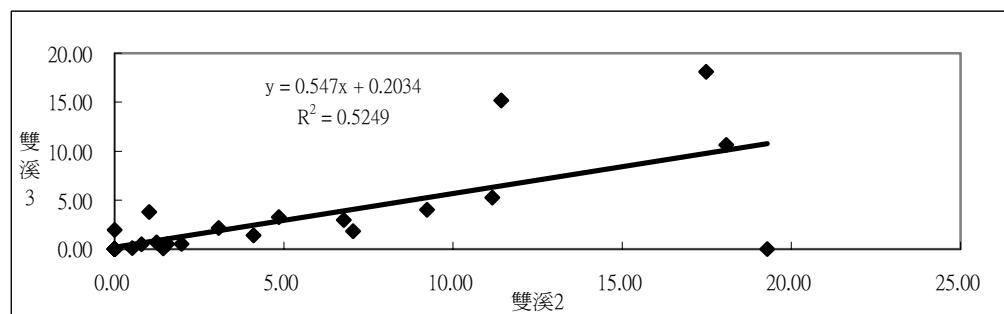
流量比（降雨）



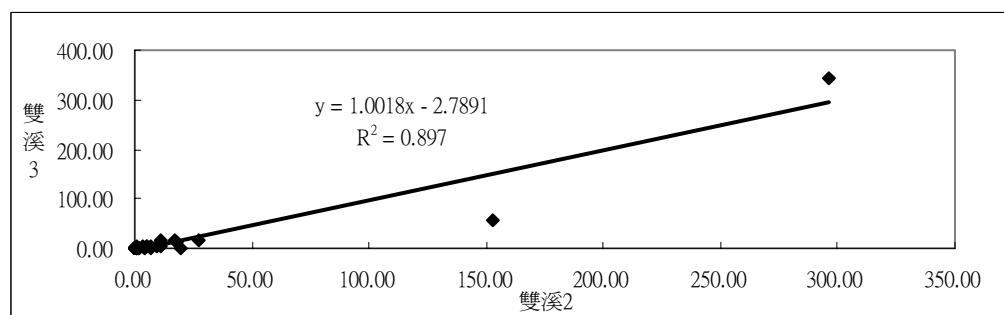
含沙量比（非降雨）



含沙量比 (降雨)



輸沙比 (非降雨)



輸沙比 (降雨)

圖 4-5 雙溪測站 2、測站 3 線性迴歸關係圖

1. 流量：在流量方面，在未降雨時迴歸係數為 0.9384，而降雨時則變為 1.003，由於自來水廠每天固定抽水 80000-90000 ton（換算成流量約 1 CMS），在未降雨的時候，雙溪測站 3 的逕流量會比雙溪測站 2 來的小，但在降雨的時候，雙溪測站 3 的逕流量就會比較大，這也表示自來水廠在平日的確對兩測站逕流量有所影響，一旦逕流量增加，則沒有顯著差異。

2. 含沙量：在含沙量方面，在未降雨時迴歸係數為 0.7749，而降雨時則變為 0.7926，這也表示在降雨時，隨著逕流量增高河流攜帶泥沙量也將增多，從迴歸係數得知含沙量在降雨比未降雨的值來的高，但兩者差異不大。

3. 輸沙量：推估輸沙量方面，未降雨時迴歸係數為 0.547，在降雨時則為 1.0018，兩者差異較大，顯示出在未降雨時自來水廠也許對雙溪輸沙量有所影響，但在降雨後，輸沙量差異則是下游的測站 3 會大於測站 2。另外據雙溪貢寮自來水廠表示，自來水廠所興建的橡皮式攔水壩有 1.5 m 高，主要是為了攔截水源、提升水壓而方便抽水之用，但一旦當降雨而逕流量增加時，水壓達到一定標準就不會攔截水源，而將橡皮式攔水壩放倒，也就是說當逕流量增加時，橡皮式攔水壩就失去效用。所以偶有攔截少部分在橡皮式攔水壩前的沙源，也會因為橡皮式攔水壩放倒而輸送到下游，並不會因為橡皮式攔水壩的設置而將泥沙完全阻擋，自來水廠表示，除了納莉颱風曾清除過大量淤沙之外，平常並沒有特別清除淤沙的工作，因此對於河口輸沙的供給應不至於造成重大影響。

研究結果得知，貢寮雙溪自來水廠的抽水量佔雙溪的逕流量約 5.9%，而分析自來水廠抽水前後的雙溪測站 2 和 3 的流量以及含沙量等之迴歸分析比較後發現，抽水對於測站 2 和 3 在降雨和未降雨時有些許差異，但差異都不大，因此整體評估，貢寮雙溪自來水廠對於雙溪河口沙洲應不顯著。

第二節 核四重件碼頭對灘面地形的影響

重件碼頭係提供核能四廠興建期間，重型設備運輸船停泊需要而建。重件碼頭位於石碇溪出海口，鹽寮海岸北側，相關位置如圖 4-6，距離福隆海水浴場約 3 km 遠。重件碼頭自 1998 年 4 月 8 日（陸上工程）及 1999 年 4 月 2 日（海域工程）分別開始建造，其詳細結構如附錄。整個工程包含北防波堤全長 625 m（自 2002 年 12 月為止，施工完成 580 m），南防波堤全長 500 m（自 2002 年 12 月為止，施工完成 310 m）。

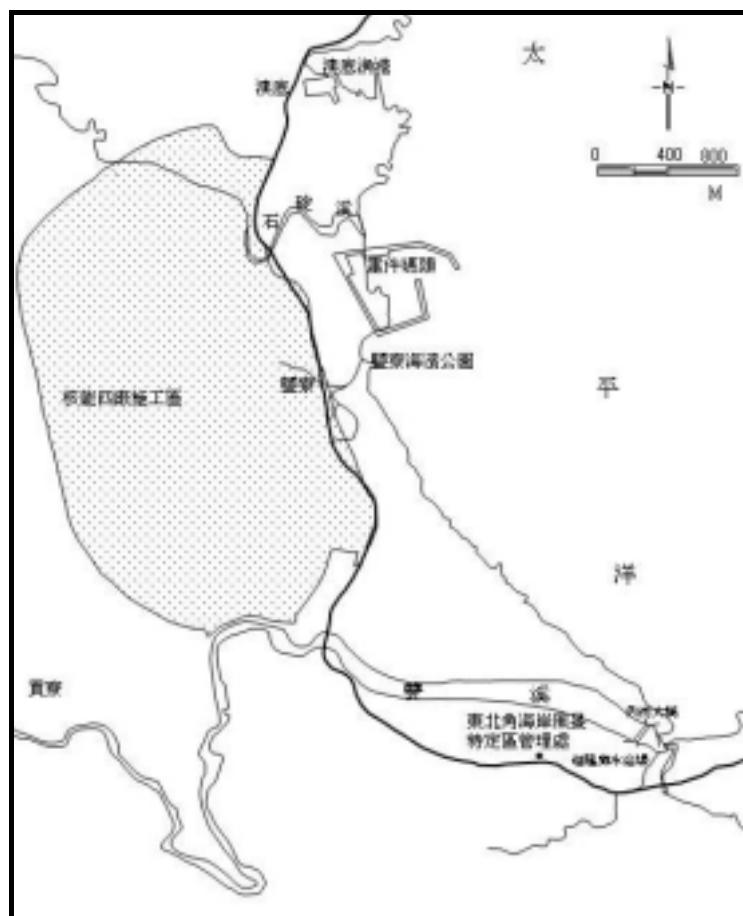


圖 4-6 重件碼頭位置示意圖

一、重件碼頭造成灘面的變動情形

重件碼頭興建後，在夏季颱風波浪作用下，由於北防波堤的延長，將在堤頭產生強制的離岸流，如圖 4-7 所示。此種流場將使部分漂沙往外海輸送，沈積於較深海或淺礁岩區，另一部份漂沙則因波浪繞射帶進港池內淤積，使繼之而來的湧浪恢復沙灘的能力降低。另一方面，在常態東北向之季節波浪作用下，波浪在北防波堤經堤頭形成輻射效應，防波堤南側遮蔽區波高變小，形成新的輻射應力梯度，進而改變原來由北向南的沿岸流系統，而變成由南向北的沿岸流系統，如圖 4-8 所示。由於漂沙向北移動遂使鹽寮和福隆海岸之沿岸漂沙短缺而使沙灘縮小。另依突堤效應理論，重件碼頭影響南側侵蝕區域，依重件碼頭堤長 3-5 倍距離，亦即 2-3 公里南側，可達福隆海域造成海灘侵蝕（許泰文，2003）。

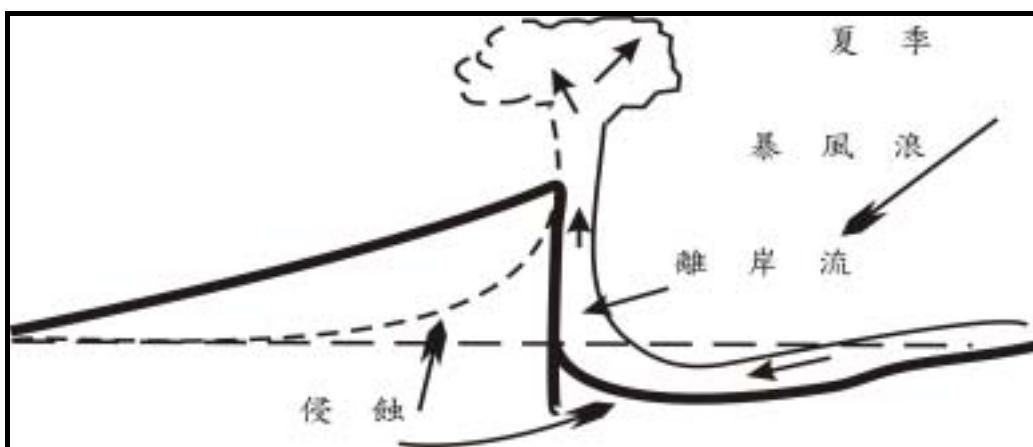


圖 4-7 模擬夏季颱風波浪造成的離岸流示意圖

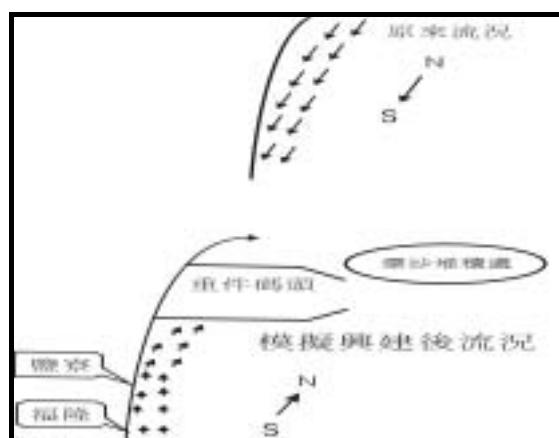


圖 4-8 模擬重件碼頭興建後冬季沿岸流況改變示意圖

依此海流狀況模擬而言，重件碼頭在 1999 年開始興建之後，在防波堤南側應有持續堆積狀況發生。因此，本研究數化 1999 年至 2002 年的航空照片，釐清是否有因為重件碼頭的興建而發生其南側灘面堆積情形。圖 4-9 為歷年航照圖的數化比對，表 4-1 是歷年重件碼頭南北側面積變化。

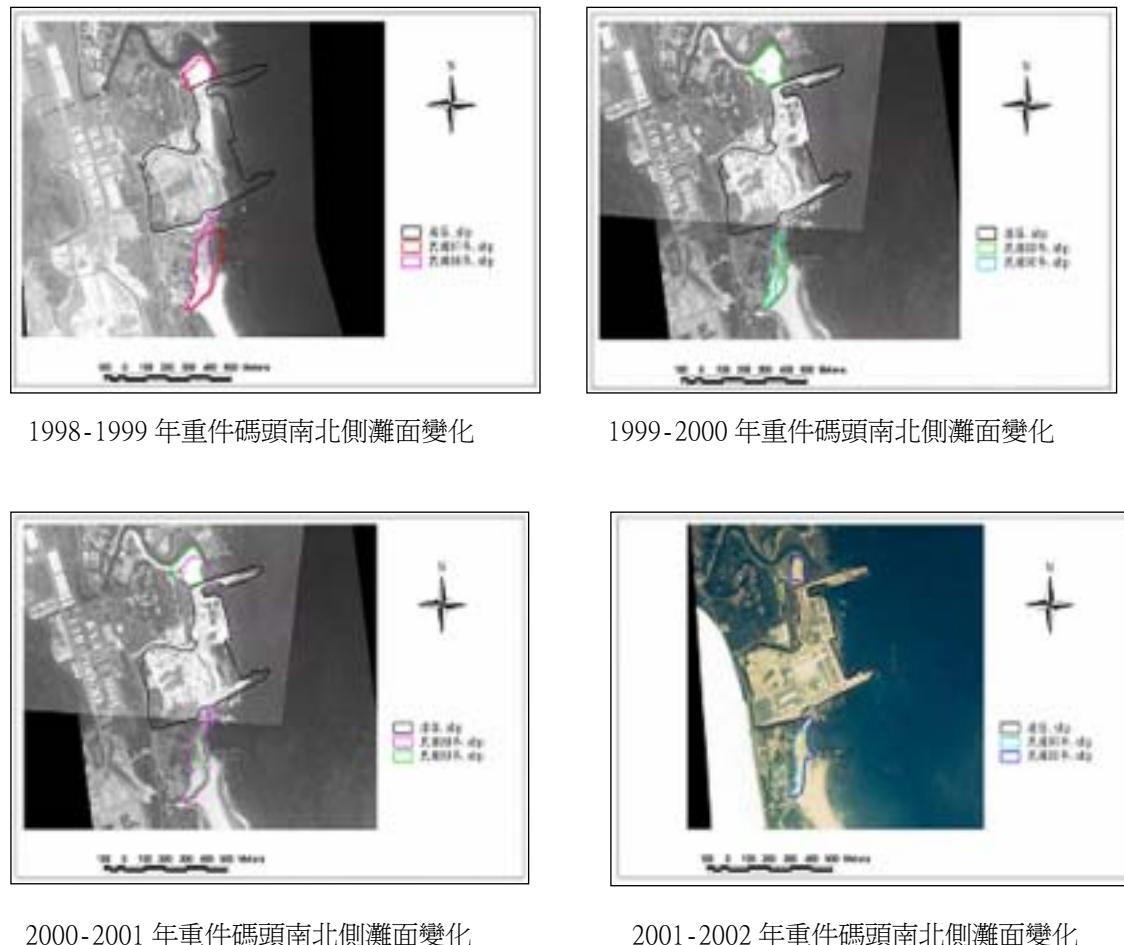


圖 4-9 重件碼頭南北側灘面歷年變化圖

表 4-1 重件碼頭南北側歷年灘面面積變化表

年度	重件碼頭北側 (m^2)	重件碼頭南側 (m^2)	備註
1998	11279	28615	—
1999	12862	22764	—
2000	16602	14959	—
2001	—	13794	航照無北側
2002	5950	16910	—

從重件碼頭興建前到興建後的航照，比較其南側沙洲面積變化（表 4-1），並沒有因為重件碼頭的興建，而出現持續堆積而使灘面擴大的跡象。

除了防波堤南北側灘面的數化比對之外，另外數化福隆到鹽寮全區的海岸面積，並將其分為三區，A. 雙溪河口沙洲、B. 鹽寮海岸、C. 重件碼頭南北側。表 4-2 為各區數化後的面積，從圖 4-10 可以發現，1998 年至 2002 年間雙溪河口沙洲以及鹽寮海岸的面積變化趨勢與全區面積變化趨勢一樣，並沒有因為重件碼頭的興建，而造成鹽寮或福隆地區灘面的顯著減少，使重件碼頭南側面積增加。

表 4-2 三區歷年灘面面積變化表

時間 (年、月、日)	雙溪河口 沙洲 (A)	鹽寮海岸 (B)	重件碼頭南北側 (C)	全區面積 (A+B+C)
1998.11.13	103267	213362	73582	390210
1999.06.17	73524	180826	24191	278541
2000.05.14	117111	212657	31471	361239
2001.07.07	81195	177269	13794	272258
2002.06.25	165781	265393	22859	454033

單位： m^2

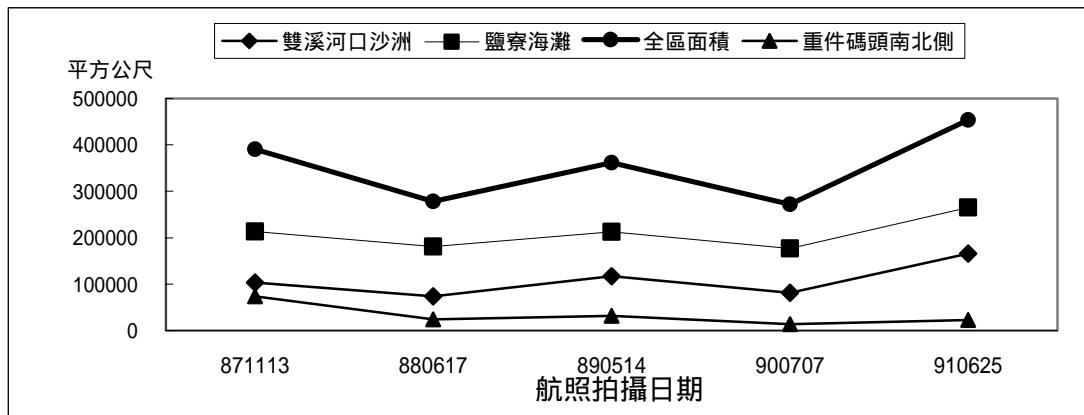


圖 4-10 福隆海岸面積變化趨勢圖

另外在海域地形方面，根據台電委託中山大學所做海域地形調查顯示，由近幾年颱風事件觀測重件碼頭南側海域地形比較，可看出在 2001 年納莉颱風（90 年 11 月）來襲之後的 -2 m 至 -5 m 等深線，較 1999 冬季與 2001 年春季之地形（圖 4-11、4-12）有較往陸刷深現象，顯示颱風風浪對本區海域造成侵蝕；而與施工前 1997 年之溫泥颱風所造成之地形變化相比較（圖 4-13），則其 -2 m 至 -5 m 等深線變化趨勢一致，且 1997 溫泥颱風後之 0 m 等高線更往內陸退縮，顯示颱風所造成之地形侵蝕，於核四重件碼頭工程施工之前即已存在，且侵蝕程度較施工後更為嚴重。又比較由納莉颱風後至翌年春季（2 月）之 -2 m 至 -5 m 等深線（圖 4-14），顯示東北季節風浪有向陸回淤堆積現象（許榮中，2003）。因此重件碼頭南側海域地形等深線變化主要受到颱風影響，颱風來臨時近岸會有刷深情況，且趨勢相同，而後在東北季風驅動風浪作用下向陸回淤，此現象在重件碼頭興建前即已存在。



圖 4-11 重件碼頭南側民國 90 年與 88 年冬季地形比較



圖 4-12 重件碼頭南側民國 90 年冬季與 90 年春季地形比

較

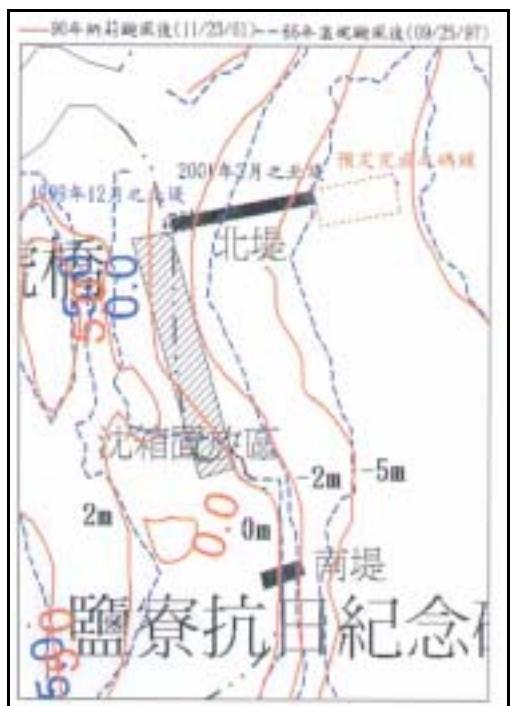


圖 4-13 重件碼頭南側民國 90 年冬季與 86 年

溫泥颱風後至冬季地形比較



圖 4-14 重件碼頭南側納莉颱風後冬季(90.11)

翌年春季（2月）地形比較

二、 營力探討

沿岸流及向、離岸流的大小與海灘的侵蝕與堆積有關，在夏季離岸流較小時，對海灘是堆積作用，當冬季暴風或是颱風來臨時，離岸流對於海灘則是侵蝕作用，且會因離岸流大小，有各種不同水下沙洲形狀；而沿岸流盛行的地區，會侵蝕沙灘邊坡將沿岸漂沙帶往下游測堆積，水下沙洲等深線會較平行於海灘，代表的則是侵蝕狀態（Sunamura，1985）。

1. 沿岸流

平行沿岸流方面可利用粒度分析得知其沿岸流營力方向。因此，在每次野外實測採集鹽寮到福隆海灘的濱線灘沙，以雷射粒度分析儀分析其粒徑大小，利用粒徑大小求得粒徑中數。圖 4-15、4-16 為福隆海岸分別在夏季以及冬季的漲、落潮下粒度中數變化圖。

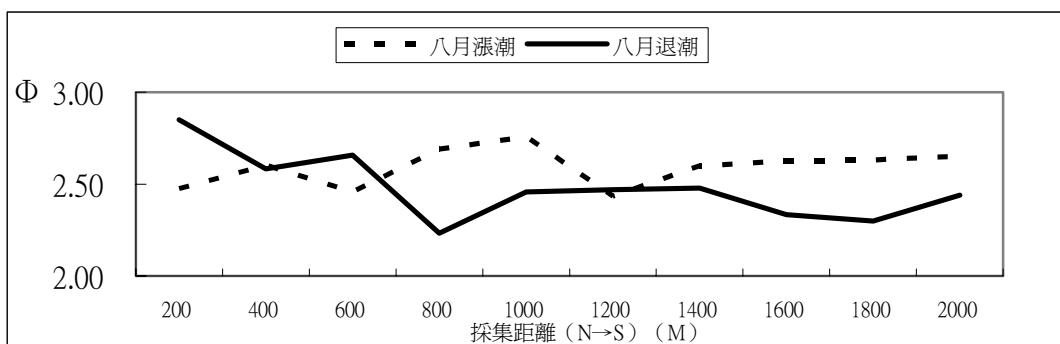


圖 4-15 福隆海岸灘面夏季粒徑中數變化圖

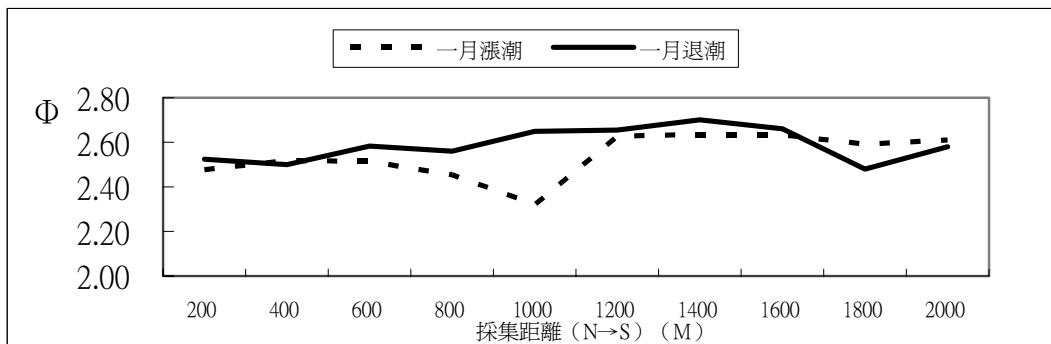


圖 4-16 福隆海岸灘面冬季粒徑中數變化圖

在鹽寮、福隆海岸的夏季以及冬季的漲、落潮下其粒徑中數值都呈現不規則起伏，顯示在此地區並沒有顯著平行海岸沿岸流的趨勢，所以推斷平行海岸的沿岸流系統營力不強。

2. 離岸流

在此地區雖然沒有沿岸流的監測資料，但從航照圖以及衛星影像圖上可看出此地區垂直海岸的離岸流系統發達。圖 4-17 是 1997 年冬季的航空相片圖，圖 4-18 是 2002 年夏季航空相片圖，圖中藍色線條為海岸線，黃顏色線條為水下沙洲型態；圖中藍色灘線呈現出微波浪狀，根據歷年航照顯示冬季波浪海岸線比夏季更為曲折，這也顯示此地區受到波浪營力作用顯著；黃色線條呈現出圓弧狀尖端往外趨勢，顯示此地區垂直海岸的離岸流系統發達。另外，圖 4-19 為 IKONO 的衛星影像圖於 2002 年 11 月拍攝，圖中更可清楚呈現水下沙洲離岸流系統的形態。

根據粒度分析以及航空照片證據顯示，此地區以垂直海岸的離岸流系統為主，也就是說在重件碼頭興建之後，並沒有明顯證據顯示此地區沿岸流流況改變而造成鹽寮以及福隆海岸地區侵蝕。

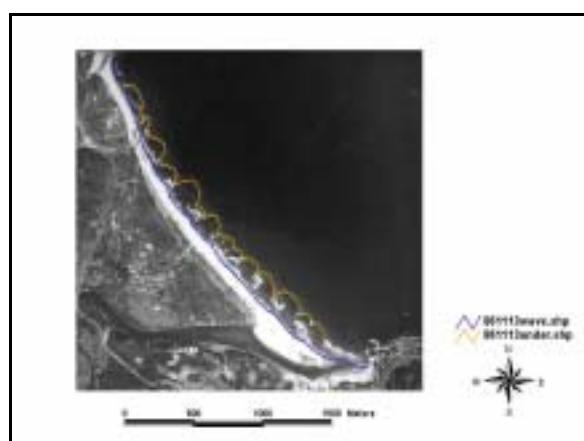


圖 4-17 冬季水下沙洲示意圖 1997 年 11 月



圖 4-18 夏季水下沙洲示意圖 2002 年 6 月



圖 4-19 鹽寮海灘離岸流系統示意圖

第三節 福隆漁港對沙灘地形的影響

福隆漁港位於台北縣貢寮鄉福隆村，1969 年為應當地漁船靠泊需要，將石灘挖掘成澳，至 1980 年共有碼頭 320.5 m，防波堤 169 m。由於天然形勢欠佳，港口防波堤短，漁船進出港困難且遇有風浪，漁船需駛他港避風，為提供漁船安全停泊需要，於 1993 年及 1994 年新建外廓防波堤 120 m、突堤 30 m，增建外泊地碼頭 130 m，完成後，港口航道及泊地已獲得改善，漁船可安全停泊（台灣省重要漁港簡介）。

一、福隆漁港興建前後灘面的變動情形

根據 1990、1993 及 2002 年航空照片，也就是福隆漁港外廓防波堤興建前、中、後的航空照片的比較（圖 4-20、4-21），圖 4-20 還未建外廓防波堤，圖 4-21 的航照則可清楚看到防波堤突出於外海。福隆漁港外廓工程完成後，其防波堤西側淤積面積逐年增大，推測由於防波堤的興建使此區成一安定沈積環境，波浪將沙源帶往港內及雙溪口東南側堆積，使得港內淤沙常需要藉助人為挖除運出，以維持漁船進出。

表 4-3 是三個年代河口沙洲面積數化後的變化量，表中發現福隆漁港防波堤興建後（1993 年）比起興建前（1990 年）沙洲面積增加了約 7000 m^2 ，而 2002 年的航照也比 1993 年航照面積增加約 5400 m^2 。另外，歷年數化的航照圖，將福隆漁港西側的面積和整個雙溪河口地區面積做比較，在圖 4-22 歷年福隆漁港西側淤沙面積佔雙溪河口沙洲面積百分比變化圖中可發現自 1993 年防波堤興建之後，漁港西側面積比重明顯增加。

二、營力探討

由於福隆漁港防波堤的興建，最主要產生的營力變化是導致波浪流場改變，將泥沙帶於西側沈積，使漁港西側成為一穩定沈積環境，沙源不易流出。如果在沙源補充足夠之下，可預期的是雙溪右岸灘面會逐年增大；如果雙溪沙源補充量不足，又因颱風來襲，將左岸沙源帶到右岸堆積（如納莉颱風、辛樂克颱風），

則會因為右岸變成一穩定沈積環境，將不利於左岸沙嘴回復，或導致沙嘴回復週期較長，因此，福隆漁港的興建的確對於雙溪河口沙洲具有一定影響。



圖 4-20. 福隆漁港興建前、興建中沙洲面積變化圖 圖 4-21 福隆漁港興建前、後沙洲面積變化圖

表 4-3 福隆漁港興建前後雙溪河口沙洲面積變化量表

日期	沙洲面積 (m^2)	變化量 (m^2)
1990.10.03	9769	—
1993.10.28	16977	+7208
2002.06.25	22380	+5403

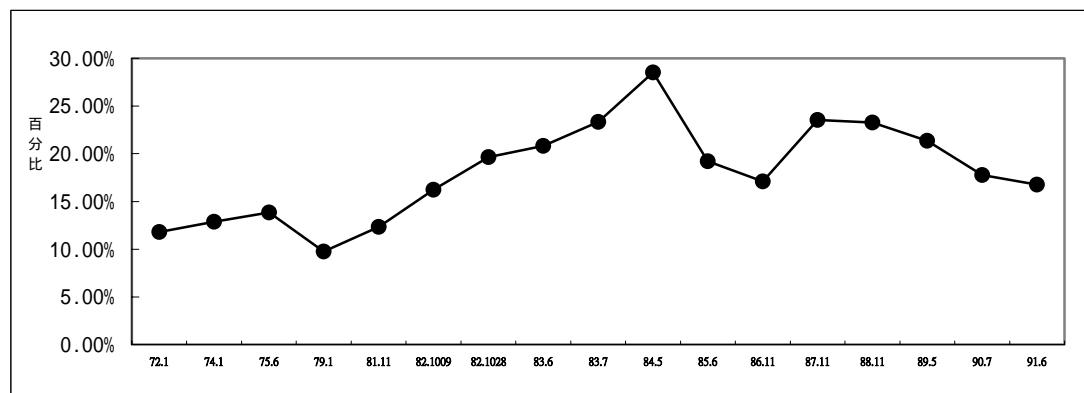


圖 4-22 歷年福隆漁港西側淤沙面積佔雙溪河口沙洲面積百分比變化圖

第五章 結論與檢討

第一節 結論

本研究利用年內實測灘面地形變動，探討雙溪河口沙洲在年內無颱風事件下的變動特性，再利用歷年航照探討雙溪河口沙洲在颱風事件下的變動與回復情形，以及河海工程興建前後灘面的變化，釐清雙溪河口沙洲在自然以及人為工程交互作用下，造成地形變動的主要原因，其結果歸結如下：

1. 遷流與波浪營力主導雙溪河口沙洲的年內變動，夏季波浪營力小，主導地形變動營力以遷流為主；當遷流營力增大時，河口左岸臨河側的剖線距離縮短，灘面呈現流失情形。冬季波浪營力明顯增強，主導地形的變動營力以波浪為主；每年十月之後，因為波浪營力的增強，使臨海側剖線變窄而陡，灘面明顯受到侵蝕。且在整個年內變動，河口沙洲出現了夏季堆積、冬季侵蝕的循環過程。
2. 突發事件主導河口地形變化，而其規模也決定河口沙洲的變動大小。當陸象營力強盛，強大逕流量會導致左岸河口沙嘴遭沖斷，並由各突發事件推估，沖斷河口沙洲的降雨量界檻值為 120 mm；當海陸象營力皆非常強盛，則左岸沙源會被帶往右岸堆積。回復期方面，颱風所造成海陸象營力增強所造成的河口沙洲變動，則需約 10 個月左右的時間能回復到原來形態。由豪雨導致逕流增強造成的左岸沙嘴斷裂，回復期需約 3-5 個月時間。
3. 河海工程方面，雙溪下游的貢寮雙溪自來水廠的抽水量僅佔雙溪逕流量約 5.9%，對河口沙洲影響不大。重件碼頭興建後，其南側灘面並無顯著淤積情形；且根據粒度分析、水下沙洲形狀等研判，此地區沿岸流系統以垂直海岸的離岸流為主；因此，並沒有明顯證據顯示重件碼頭興建後沿岸流流況改變，而造成鹽寮海灘以及雙溪河口沙洲侵蝕。1993 年福隆漁港防波堤興建之後，漁港西側淤積情形嚴重。每當夏季颱風豪雨期間，泥沙會直接被帶往港區內、外堆積；在東北季風強盛時期，因為波浪流場改變，導致淤沙於港區內、外沈積，不易被帶出；因此，福隆漁港的興建對於雙溪河口沙洲影響較大。

雙溪河口沙洲年內受到逕流與波浪的影響，呈現出不同的變動；然而突發事件的發生是導致河口沙洲大規模變動的主因。除了自然因子之外，各項河海工程的興建往往改變海岸地區的平衡；本研究利用年內實測以及歷年航照比對等方法，清楚釐清自然及人文因子對灘面的影響。研究成果可作為未來預計要規劃興建的雙溪水庫施工的參考，以及海水浴場規劃的依據。因此，如何顧及人民用水所需及海水浴場經營，又兼具保護雙溪河口生態之美，是政府相關執行單位在未來需要面臨的挑戰。

第二節 檢討

本研究主要探討福隆海岸灘面地形的年內變動以及河海工程的影響性，但在研究分析上，仍認為有以下幾點在未來研究河口地形時，可以改進並有助於深入瞭解河口變動特性：

1. 輸沙量監測：影響輸沙量原因非常多，氣候變遷導致降雨量減少、攔砂壩設置、自來水廠抽沙、沿岸水泥河道整治等等，都對於河川輸沙量有一定影響。但本區缺乏長期含沙量、輸沙量資料，台電於 1995 年才開始含沙量監測，但一個月僅兩次的監測，實不具有代表性，也難以真正推估雙溪歷年來輸沙量的變化。未來如能有較長時期含沙量監測，將更能掌握河口地形的變遷。

2. 沿岸流監測：福隆海灣位於兩岬角間，屬於動態平衡的沙灘，漂沙藉由沿岸流輸送在岬灣內堆積，如有沿岸流流況監測，可推知沈積物的輸送方向，則更能掌握因為人為工程的興建所導致的流場改變。由於本區近岸海底地形坡度緩，沿岸流觀測困難，歷年的沿岸流監測都是在外海幾公里處的「海流」監測，近岸地區的沿岸流則監測困難，未來如能突破技術，有效監測沿岸流系統，則海岸工程引發的突堤效應所導致流場的改變，將更能有效掌握。

3. 水下沙洲部分：河口地區的沈積物收支，實包含水上沙洲以及水下沙洲兩部分，才能全盤解釋整體沙源移動情形。本研究主要探討水上沙洲部分，水下部分則因為監測困難，未能掌握。未來如能配合聲納等高科技儀器監測海底地形，更能有效解釋整體沙源移動或是流失情形。

4. 突發事件即時監測：在突發事件來臨時，如能有突發事件侵襲下仍能保持運作之監視設備，則更能有效掌握突發事件當時，河口沙洲的動態變化與海陸象營力之間的關係。

除了上述幾點技術上的突破之外，在人為工程方面影響方面，文中提到福隆漁港的淤沙問題，未來為防止淤沙續往南移以及淤沙影響航道的問題，福隆漁港的改建勢在必行。而即將興建的雙溪水庫，也要確切評估對於河流生態以及雙

溪下游河口沙洲的影響，才不會在民生用水解決之際，又要面臨河川保育以及河口沙洲復育的問題，也唯有如此，才能達到資源開發與維護生態之美兩者兼具的目的。

參考文獻

《中文部分》

1. 王鑫（1988）地形學，台北：聯經，181-192。
2. 石再添、林雪美（1994）台灣地區七十六條重要河川理論水利蘊藏量與地表逕流係數研究報告，台北：台灣師範大學地理學系。
3. 石再添，張瑞津、林雪美（1996）台灣北部河口地區之地形學研究，地理研究報告，26：57-115。
4. 台塑公司（1990）籌建烯經烃暨相關工業計畫環境影響評估報告專題之二：環境現況調查。
5. 台灣電力股份有限公司、中山大學海洋環境系（1993）核能四廠施工期間歷年海岸地形調查成果報告。
6. 李錫堤、黃俊鴻、劉進金（1998）林口臺地及其鄰接海岸地形變遷與地貌復原可行性探討，行政院公共工程委員會專案研究計畫，行政院公共工程委員會。
7. 林宗儀（1997）頂頭額洲南北兩側之漂沙活動與海岸作用差異，中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集，547-551。
8. 林宗儀（1998）雲林海岸的風砂活動現況，中華民國第二十屆海洋工程研討會論文集，443-446。
9. 林俊全、張莞文、任家弘（2000）淡水紅樹林自然保留區沙洲陸化問題探討，台灣省林務局保育研究系列 87-07 號，69-71。
10. 林雪美（1996）台灣西部河口地形學研究，台灣師範大學地理學研究所博士論文，台灣師範大學地理學系。
11. 林雪美（1997）河口研究概觀，中國地理學會會刊，25：65-88。
12. 林雪美、林憶伶（1999）利用自動水準儀計測河口沙洲的短期地形變動-以屏東楓港溪為例，師大地理教育，28：219-237。
13. 林雪美、張喬盛（2001）台灣東部河口地形的變動時距與循環，師大地理研究報告，34：145-179。
14. 林雪美、彭佳偉、張喬盛（2002）颱風事件對台灣地形河口的影響分析-以水璉溪及中港溪為例，師大地理研究報告，37：1-22。
15. 林銘崇、柯昭綺（1981）沙灘海岸變化之數值模式，第五屆海洋工程研討會論文集，419-425。
16. 吳玟儒（1998）屏東地區封閉型河口水文之短期變化特性研究，台灣師範大學地理研究所碩士論文，台北：台灣師範大學地理學系。
17. 沈淑敏譯（2000）海岸變遷-作用的尺度與問題的面向，港灣報導，51：37-50。
18. 沈煥庭、李九發、朱慧芳、周福根（1988）長江河口懸沙輸移特性，長江河口動力過程和地貌演變，上海：上海科學技術出版社。
19. 沈煥庭、李九發、肖成猷（1997）人類活動對長江河口過程的影響，氣候與

- 環境研究，2(1)：48-54。
20. 洪奕星、蔡政翰、歐俊宏、曾信勝、遲建業（1995）曾文溪三角洲海域季節性沈積物之傳輸，地質第十七屆海洋工程研討會暨 1995 兩岸港口及海岸開發研討會論文集，1327-1332。
 21. 姜承吾等（1992）應用水文學，台北：科技圖書股份有限公司。
 22. 郭一羽（2003）海岸工程學，台南：文山書局，203-238。
 23. 郭金棟（1988）海岸工程，台北：中國土木水利工程學會，330-404。
 24. 郭金棟、陳文俊、黃進坤（1997）林邊溪河口淤塞對策研究報告，台中：台中省水利局。
 25. 郭金棟（1998）台灣海岸變遷的過程，八十七年海岸工程研討會論文集。
 26. 陳木祥（1994）在波浪作用下沙灘剖面變化之數值模擬，淡江大學水資源及環境工程研究所論文，台北：淡江大學水資源及環境工程學系。
 27. 陳吉餘、惲才興、徐海根、董永發（1988）兩千年來長江河口發育的模式，長江河口動力過程和地貌演變，上海科學技術出版社，304-313。
 28. 陳倣季（1980）應用觀測波浪資料預測漂沙量，河海工程，台北：台灣海洋學院河海工程學會。
 29. 陳國彥（1980）台灣暴潮災害，氣候與災害，台北：固地文化出版有限公司，247-294。
 30. 陳翰霖、張瑞津（2001）曾文水庫對河道形態變化的效應，第五屆台灣地理學術研討會地形、地景與坡地災害論文集，台灣師範大學地理系，20-27。
 31. 許泰文、王順寬、歐善惠（1995）花蓮港東防波堤擴建前後海岸過程之研究，港灣報導，34：1-14。
 32. 許泰文（1998）港灣開發對海岸的影響，八十七年海岸工程研討會論文集，6-10。
 33. 許泰文、周東瑾（2003）東北角海域海氣象特性與海岸防護，第 25 屆海洋工程研討會專輯。
 34. 許硯蓀、廖學瑞、朱志誠（1993）淡水八里海岸地形變遷研究及人工岬灣之應用，中華技術，17：59-66。
 35. 許榮華（1981）沿岸漂沙量推算方法之評估，河海工程，台北：台灣海洋學院河海工程學會。
 36. 彭佳偉（1993）中港溪河口地形不同時距的變動特性，台灣師範大學地理學研究所碩士論文，台北：台灣師範大學地理學系。
 37. 張莞文（2002）淡水河口地形變遷之研究，台灣大學地理環境資源研究所碩士論文，台北：台灣大學地理環境資源系。
 38. 張瑞津（1980）粒度分析在地學研究上的意義，中等教育，31(21)：36-38。
 39. 張瑞津、沈淑敏、滕肇芸（2000）立霧溪流域人工壩堤對地形、地質、地理景觀之影響，太魯閣國家公園管理處。
 40. 黃朝恩（1980）台灣島諸流域特徵極其相關性的地形學研究，文化大學地理

研究報告，台北：文化大學地理系。

41. 黃毓嵩（1984）河川工程，水利工程叢書，台北：銀禾出版社。
42. 憲才興（1988）長江河口潮灘沖淤和灘槽泥沙交換，長江河口動力過程和地貌演變，上海：上海科學技術出版社，229-236。
43. 湯麟武（1994）港灣及海域工程，台北：中國土木水利工程學會。
44. 楊萬全（1993）水文學，台北：台灣師範大學地理系所。
45. 楊文衡，徐宏良（1994）臺灣西海岸漂砂與地形變遷之研究，第十六屆海洋工程研討會論文集。
46. 莊富凱（2003）淡水河下游河海工程對河口段地形形態影響之研究，台灣師範大學地理研究所碩士論文，台北：台灣師範大學地理學系。
47. 錢寧、張仁、周志德（1987）河床演變學，北京：科學出版社，251-312。
48. 賴春婷（2003）河口短時距地形變動之研究－以淡水河口挖子尾為例，台灣大學地理環境資源研究所碩士論文，台北：台灣大學地理環境資源學系。
49. 藍振武（1987）有限長度突堤設置對海洋地形變化影響，第九屆海洋工程研討會論文集，5-15。
50. 魏震（2002）台北港興建對鄰近海岸地形影響之評析，海洋大學河海工程學研究所碩士論文，台北：海洋大學。
51. 蘇仲卿等（1979）台灣北部核能發電廠附近海域之生態研究綜合報告，台灣電力公司，79。

《日文部分》

1. 澤本正樹、首藤伸夫、谷口哲也（1987）阿武隈川河口沙洲的變形過程，土木學會論文集，日本仙台：東北大學工學研究科，387(II-8)：179-188。
2. 長林久夫、山崎雅洋、木村喜代治、茂樹、平山健一（1998）東北地方中小河川河口變動特性，日本河口，平成7-9年度科學研究費補助金基盤研究(A)(1)研究成果報告書，日本仙台：東北大學工學研究科，64-75。

《西文部分》

1. Barrie, J. V. & R. Currie (2000) Human impact on the sedimentary regime of the Fraser river delta, Canada, Journal of Coastal Research, 16(3) : 747-755.
2. Bird, E. C. F. (1996) Beach Management, N. Y.: Wiley, 57-61, 73-86.
3. Bull, C.F.J., A.M. Davis & R. Jones (1998) The influence of Fish-Tail Groynes (or Breakwaters) on the characteristics of the adjacent beach at Llandudno, North Wales, Journal of Coastal Research, 14(1) : 93-105.
4. Copper, J.A.G. & T.R Mason (1990) Geomorphological effects of catastrophic flooding on a small subtrophic estuary, Earth Surface Processes and Landforms, 15 : 25-41.
5. Copper, J.A.G. (1993) Sedimentation in a river dominated estuary, Sedimentology,

- 40 : 979-1017.
6. Cooper, J. A. G. (1994) Sedimentary process in the river-dominated Mvoti estuary, *Geomorphology*, 9 : 271-300.
 7. Cooper, J. A. G. (2001) Geomorphological variability among microtidal estuaries from the wave-dominated south African coast, *Geomorphology*, 40 : 99-122.
 8. Corbau, C., B. Tessier & H. Chamley (1999) Seasonal evolution of shoreface and beach system morphology in a macrotidal environmental, Dunkerque area, northern France, *Journal of Costal Research*, 15(1) : 97-110.
 9. Cowell, P.J & B.G. Thom (1994) Morphodynamics of costal evolution, In: Carter, R.W.G. and C.D. Woodroffe Costal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics, U. K : Cambridge, 33-86.
 10. Garland, G. & L. Moleko (2000) Geomorphological impacts of Inanda Dam on the Mgeni estuary, north of Durban, South Africa, *Engineering Geology and the Environment*, 59 : 119-126.
 11. Hanamgond, P. T. & V.C. Chavadi (1993) Sediment movement aligadde Beach UttraKannada district west coast of India, *Journal of Coastal Research*, 9(3) : 847-861.
 12. Larson, M. & N. C. Kraus (1994) Temporal and spatial scales of beach profile change, Duck, North Carolina, *Marine Geology*, 117:75-94.
 13. Morton, R.A., J.G. Paine & J. C. Gibeaut (1994) Stages and Durations of Post-Storm Beach Recovery, Southeastern Texas Coast, U.S.A., *Journal of Coastal Research*, 10(4) : 884-908.
 14. Phillips, J. D. (1999) Event timing and sequence in coastal shoreline erosion: Hurricanes Bertha and Fran and Neuse Estuary, *Journal of Coastal Research*, 15(3) : 616-623.
 15. Ryu, S.O. (2003) Seasonal variation of sedimentary processes in a semi-enclosed bay : Hampyong Bay , Korea. *Estuarine coastal and Shelf Science*, 56:481-492.
 16. Sunamura, T. & K. Horikawa, (1974) Two-dimensional beach transformation due to waves, *Proceedings of the 14th Conference on Coastal Engineering*, ASCE, 920-938.
 17. Sunamura, T. (1982) Laborafory study of on-offshore sediment transport rate in shallow water region, *Proceedings of the 29th Japanese Conference on Coastal Engineering*, 239-243 (in Japanese).
 18. Sunamura, T. (1983) Determination of Breaker Height and Depth in the Field, *Ann. Report*, Inst. Geosci., University Tsukuba, 8 : 53-54.
 19. Sunamura, T. (1984) Quantitative predictions of beach face slopes, *Geological Society of America* , 95 : 242-245.
 20. Schumm, S. A. (1988) Variability of the fluvial system in Space and Time, *Scales and Global Change*, N.Y.: Wiley, 225-250.
 21. Sawamoto,M. & N. Shuto (1988) Topography change due to floods and recovery

- process at the Abukuma River Mouth ,Costal Engineering in Japan,30(2) : 99-117.
22. Woodroffe, C. D.(2002) Coasts: Form, Process and Evolution, London: Cambridge Press,123-125,442-464.
23. Yang, S. L., P. X. Ding & S. L. Chen (2001) Changes in progradation rate of the tidal flats at the mouth of the Chagjiang (Yangtze) River, China, Geomorphology, 38 : 167-180.

(附錄)

資料來源：台灣電力公司

年度	日期		上游 - 雙溪(2)測站			下游 - 雙溪(3)測站			上/下 游流量	下/上游 輸砂量 比值
			流量	含沙量	輸砂量	流量	含沙量	輸砂量		
	月	日	(C.M.S.)	(P.P.M.)	(ton/d)	(C.M.S.)	(P.P.M.)	(ton/d)		
1996	1	4	4.453	24	9.23	3.094	15	4.01	1.44	2.30
1996	2	14	2.733	13	3.07	1.664	15	2.16	1.64	1.42
1997	2	3	30.522	58	152.95	21.850	30	56.64	1.40	2.70
1996	3	14	11.337	5	4.90	9.096	3	2.36	1.25	2.08
2001	3	20	1.938	29	4.86	1.265	30	3.28	1.53	1.48
1996	4	26	5.530	0	0.00	4.504	0	0.00	1.23	
1996	5	9	19.776	16	27.34	15.125	12	15.68	1.31	1.74
2000	5	23	1.479	0	0.00	0.743	0	0.00	1.99	
2001	5	9	3.553	0	0.00	2.502	0	0.00	1.42	
1996	6	11	2.452	0	0.00	1.522	15	1.97	1.61	0.00
1996	6	27	1.524	6	0.79	0.610	9	0.47	2.50	1.67
1999	6	29	2.977	75	19.29	2.031	0	0.00	1.47	
1996	7	30	3.668	0	0.00	1.547	0	0.00	2.37	
1999	7	8	2.717	77	18.08	2.086	59	10.63	1.30	1.70
1999	7	14	1.769	73	11.16	0.769	79	5.25	2.30	2.13
1999	7	27	2.734	74	17.48	2.097	100	18.12	1.30	0.96
2000	7	25	1.397	34	4.10	0.621	26	1.40	2.25	2.94
2001	7	12	1.479	8	1.02	0.842	52	3.78	1.76	0.27
2001	7	18	2.052	7	1.24	1.131	7	0.68	1.81	1.81
1996	8	9	4.269	0	0.00	3.507	0	0.00	1.22	
1996	8	21	1.379	0	0.00	0.463	0	0.00	2.98	

1999	8	5	1.328	59	6.77	0.761	45	2.96	1.75	2.29
1999	8	23	0.762	30	1.98	0.164	37	0.52	4.65	3.77
2000	8	9	1.470	0	0.00	0.948	0	0.00	1.55	
2000	8	16	1.222	0	0.00	0.280	0	0.00	4.36	
2001	8	15	0.574	29	1.44	0.033	24	0.07	17.39	21.02
2001	8	28	0.606	10	0.52	0.036	29	0.09	16.83	5.80
1996	9	11	3.453	0	0.00	3.118	0	0.00	1.11	
1996	9	25	3.701	0	0.00	3.909	0	0.00	0.95	
1999	9	1	0.619	29	1.55	0.166	37	0.53	3.73	2.92
1999	9	7	1.382	59	7.04	0.782	27	1.82	1.77	3.86
2000	9	28	1.239	0	0.00	0.556	0	0.00	2.23	
2001	9	11	5.427	0	0.00	10.510	0	0.00	0.52	
1996	10	7	2.846	0	0.00	3.024	0	0.00	0.94	
2000	10	4	1.296	0	0.00	0.148	0	0.00	8.76	
1996	11	7	7.791	0	0.00	7.133	0	0.00	1.09	
1999	11	3	2.362	56	11.43	2.067	85	15.18	1.14	0.75
1996	12	12	4.601	0	0.00	3.808	0	0.00	1.21	
1996	12	19	2.840	0	0.00	1.919	0	0.00	1.48	
2001	12	7	41.758	82	295.85	48.551	82	343.97	0.86	0.86

謝 辭

本文的完成首先要感謝的是恩師 - 林雪美教授，兩年前恩師的引領使我進入了台灣地形研究室，老師兩年來的諄諄教誨讓學生獲益良多，不僅在學業上深究地形領域的奧秘，在生活上也給予我許多的關心和照顧，讓我從老師身上習得為人師表該有的風範，也讓我看到一位真誠關心學生的好老師。此外，也要感謝地形室的張瑞津老師和沈淑敏老師，在論文撰寫期間也給予許多珍貴的意見，讓論文更為充實完備。而三位老師對學術的衿持、不斷的努力與付出正是我學習的最佳典範。

在兩次發表期間，非常感謝口試委員洪奕星和林宗儀教授花了許多時間為我審稿，提出文中疏漏之處並予以指正，在此致上我最深的敬意。另外也要感謝廖學誠、陳國川、丘逸民、韋煙灶、黃朝恩教授以及台大工程科學與海洋工程學系的林銘崇教授對於論文提供許多寶貴意見，讓我更加確定論文的方向並且釐清自己的思緒。也承蒙台電的林宗華股長和梁天瑞先生提供有關雙溪水文資料，使論文進展更為順利，在此一併致謝。

台灣地形研究室的同仁 - 佳偉學長、明錡學長、盈劭學姊一直以來對我的幫助都很大，遇到疑難問題時總是第一個想到他們，他們也總是不厭其煩的為我解惑，真的很謝謝他們。凱齡、稟珊、佩鈺學妹是一起認真唸書、同甘共苦的好夥伴，共同切磋琢磨也是讓我不斷成長的動力。另外也要感謝地形室的小朋友 - 佩瑩、福豪、雁慧、惠平、筱菁、富美、翊翔、家俞、宏銘、宏霈、鳳姝、潔敏、珊瑚如、煒婷、映璇、育源、正昕、函諭、佳兒等協助野外實測工作及相關室內分析工作，不管是在大太陽下揮汗如雨，或是昏天暗地的數化航照與繪製圖表，都沒有怨言，才能夠讓這篇論文撰寫順利完成，真的非常感謝。同窗的友誼 - 爾建、信宏、詩瑜、宜楓、慧娟、龍治、淞地、俊堯、佳真等都是兩年來一起打拚成長的好友，是我在研究所期間額外的收穫。

最後要感謝的就是我最親愛的爸爸和媽媽，因為他們背後默默的支持與鼓

勵，讓我能順利走完研究所之路，而姊姊和妹妹常常聽我訴苦，為我加油打氣，讓我更加體認手足之情彌足珍貴的道理，求學期間三舅舅的愛護與照顧都讓我倍感溫馨，真的非常謝謝你們。

兩年的時間說長不長，說短不短，卻也充實愉快的度過了。地形的研究領域浩瀚，期望更多熱愛地形的學弟妹來灌溉這片甜美的沃土。