

師大地理研究報告  
第34期 民國90年5月  
Geographical Research  
No. 34, May. 2001



EJ095200134145

# 台灣東部河口地形的變動時距與循環

## The time span and cycle of the change on the estuarine landforms of Eastern Coast in Taiwan

林雪美\*  
Hsueh Mei Lin  
張喬盛\*\*  
Chiao Sheng Chang

### Abstract

The estuary represents a very unique environment. It's influenced by forces from the rivers, the land, and the sea. Within the dynamic system, the estuary is located at the transition zone in which sediment-laden flows both from the river and the sea. The estuarine landforms may change due to the various combinations of wave, river discharge and tidal conditions. This study focuses on three estuaries in eastern Taiwan. The main aim is to outlook the change of the estuarine landforms in the different time span. It is expected that better understanding of the estuarine behavior may be helpful when conducting the development schemes regarding to the estuaries.

The depositional forms of estuaries have significant daily, monthly and annual change due to the river discharge, wind, tidal range, wave, and typhoon frequency. First, the forms of estuaries are stable in the long-term scale. Three estuaries have only slight change during the period from 1904 to 1989, moving back and forth

---

\* 國立台灣師範大學地理系副教授(Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University)。

\*\* 國立台灣師範大學地理研究所碩士(Master, Institute of Geography, National Taiwan Normal University)。

within the distance of few hundreds meters. Second, the forms of the estuaries in eastern Taiwan have significant annual change due to the seasonal differences of discharge and monsoon. In summer, the channels usually become wider and sandbars are gentler and extended seaward. In winter, however, these sandbars become narrower, steeper and extend toward right bank. There is an obvious cycle of the change in the moderate time span. Third, the form of the three estuaries has most significant change due to the typhoon and storm. The mouth of channels will be narrowed or even closed when typhoon comes. But, the recovery time is different among the three estuaries.

**Keywords:** time span, cycle, estuarine landforms, change, eastern Taiwan

## 一、河口地形的變動特性

### (一)河口地形的複雜性與敏感性

地形演育是一件極為複雜的過程，地形演育的複雜性(complexity)較單純性多(王鑫，1988)。河口位於河海交會區，整體環境在陸地與海洋的交互作用下，受到逕流、波浪、沿岸流及流域內人類活動等營力的共同影響，產生複雜而多樣的地形系統。河口地形不但是多種營力共同作用的結果，河口地形變動的控制因子更具多變性，不同時距下河口地形變動的控因也會有所差異，這說明了河口地形環境的複雜性。

河口位於海陸交界地帶，常因河川逕流量、輸沙量、潮流與潮汐、波浪的強弱等環境因子的交互作用，使河口地形出現不同程度的時空變動；尤其當河口沙洲地形發展到不穩定階段時，即使微小的營力也會因地形變化應力達到地形界檻值(閥值，value of geomorphic threshold)，而使河口地形產生顯著的變動，這說明了河口的地形敏感性(sensitivity)。根據海岸相關法規已將河口地區劃分為環境敏感區，不論在生態環境上或環境災害防治上，河口都具有相當重要的地位。

台灣地區河川輸沙量豐富，河口在海陸營力的綜合影響下，常堆積成沙洲壩、沙嘴、封閉沙洲等地形景觀，而其堆積形態在不同時距、不同區域、不同營力的作用下，常有顯著的變化。本研究以台灣東部三個河口—水璉溪口、秀姑巒溪口、馬武窟溪口為例，探討河口地形在多項複雜營力的交互作用下，如何在不同時距產生敏感的變動特性，並將焦點著重於年內的短期變動與颱風事件前後的極短期變動。進而綜合其變動特性，初步歸納東部河口地形變動的循環性或週期性。

## (二)河口地形的變動時距

河口地形變動的情形，會因為時距(time span)的長短有所差異，這主要與不同頻度、不同規模的河海營力有關；各種地形營力產生的規模和頻度有所不同，其反應在河口地形變動的規模和頻度也有差異。如圖1中A、B、C三型的營力規模和頻度，大致呈現反比的趨勢；D型則不同。就海岸或河川的地形變化而言，可能十年一次，或一年二次等中頻度的變動營力，較每日或數小時的高頻度微小變動營力，或百年甚至千年一次的低頻度大變動營力來得重要(A型)。但就半乾燥氣候區而言，其高頻度小規模營力所造成的地形變化，其規模卻常大於低頻度大營力所塑造的結果(D型)。此外，大地震、大山崩及火山噴發所引起的地形變化，則可能以百年或千年一次的低頻度大規模營力所產生之劇變最為重要(B型)。而風化、崩移所引起的地形變化，則可能以高頻度小規模營力的日變化較為重要(C型)；例如氣溫日變化所生的岩石破裂，對崩移地形即十分重要(鄧國雄，1985；貝塚爽平，1998)。

河口海岸即在不同頻度下，有不同的河海營力。台灣地區因位於季風氣候區，季風、洪枯逕流量的轉換使河口地區有季節性的變化，全島河口多受該類型中頻度的變動營力(如圖1中的A型)所影響；因此，探討台灣河口短時距的年內變動，季風、洪枯流量是重要的地形營力。對台灣而言，颱風是僅次於季風的中頻度營力，東部海岸每年盛夏須面臨平均18個以上的颱風(簡仲和，2001)，期間所造成的波浪與豪雨逕流，雖然出現的頻率稍小，但營力規模相當大(如圖1所示的B型)。因此，颱風事件即為台灣極短時距河口地形變動的重要依據，其出現頻率雖小於季風、洪枯流量，但造成的河口地形變動最具規模，尤其面臨太平洋的東部河口更甚。再者，台灣四周海岸潮差與潮型有異，不論東部的混合潮、西部的半日潮抑或南北端海岸的全日潮；但其每日都會出現的高頻度營力，對東部河口海岸而言僅是小規模的變動營力(如圖1的C型)，潮灘的形態變化甚小；而對西部而言，較大的潮差營力規模，卻造成較具規模的河口地形變動量(近似圖1的D型)，其漲落潮間的潮灘變化顯著。

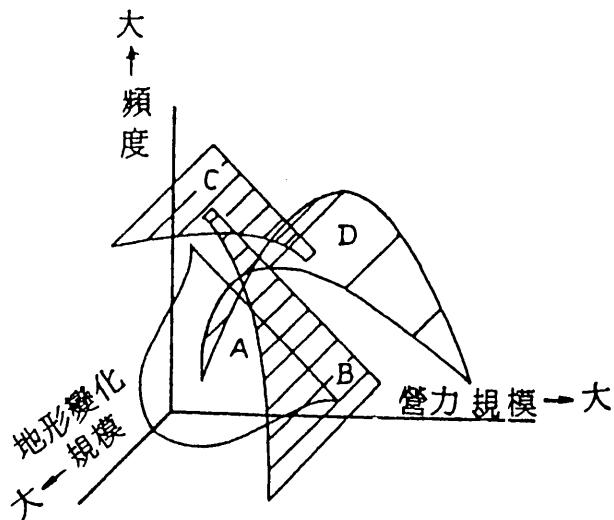


圖 1 地形營力規模、頻度與地形變化規模的相互關係

(鄧國雄，1985；貝塚爽平，1998)

過去的地形學家多著重在大尺度、長時距的主題研究上，如地形的演育、海岸線的變遷等；當代地形學基於工程應用的即時需要，則以小尺度、短時距的研究為主要取向，如山崩、土石流等(Thorn, 1998)。河口地形研究在當代地形學逐漸受到重視，由於河口地形的演變過程受海岸營力影響甚大，因此河口地形的研究尺度與海岸地形研究大致相似。基於海陸複雜的環境因子交互作用，河口地形在小尺度、短時距的變化即相當豐富；長時距的研究通常指幾年以上或幾十年，甚至更長的時間，而短時距研究尺度通常是指一年以內(Bird, 1996)。

台灣東部河口地區在複雜的河海營力交互作用下，因混合潮或不規則潮而有高頻度的日變化，但因潮差小，較短時距的日變動量不大；因季風、颱風、洪枯逕流量的轉換而有年內的中頻度變化，尤其部分河川洪流量大、河川係數大，中頻度的短時距地形變動頗具規模。另就長時距而言，河口地區也因為人地交互作用而產生數十年間的低頻度變化，東部河口因流域內人為活動的干擾較少，河口地區的長時距變動多因海象營力所致，但長期變動量較西部河口地區有限。

### (三)河口地形的變動循環

時間要素對地形演育的影響，視時距長短而有不同的意義。Schumm提出循環時距(cyclic time)、均夷時距(graded time)及穩定時距(steady time)三種時間尺度(圖2)，其時距的長短依序約為百萬年至千萬年、百年至千年、數小時至數日。在循環時距裡，地

表的地形演育由於侵蝕和堆積作用持續不斷，地表高度逐漸下降且趨於平滑。在均夷時距裡，地形是在趨於平衡狀態的上下擺動中產生輕微的變化。在穩定時距裡，因時間短促，地形可能呈穩定狀態而不易察覺其變化量(鄧國雄，1985)。

地形演育的變化，是地表面態反應營力作用而漸趨於平衡的結果。Schumm利用五種地形平衡概念，配合地形界檻變化的觀念，認為在循環時距裡地形演育屬階變平衡(動態穩定平衡，dynamic stable equilibrium)的形式，在均夷時距裡為穩變平衡(steady state equilibrium)的形式，在穩定時距裡則呈靜穩平衡(static equilibrium)(圖2)。藉此說明了地形演育中，地形之持續變遷(progressive change)、均夷(graded)、不穩(unstable)和調整(adjustment)等現象的產生(鄧國雄，1985)。

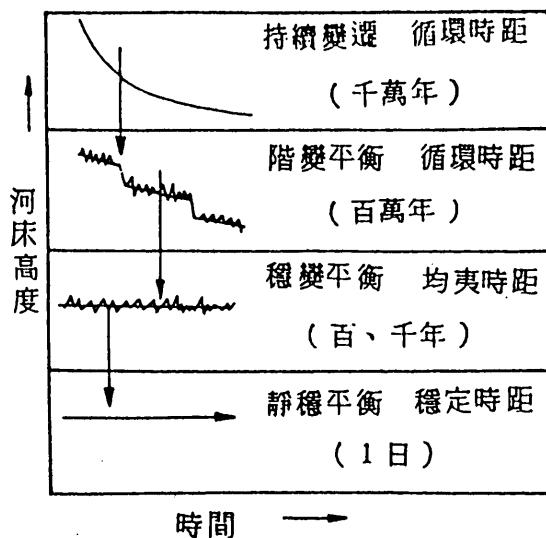


圖 2 地形演育的平衡類型與時距--以河床高度為例(鄧國雄，1985)

變動頻繁且快速的河口海岸地區，其地形變動的平衡與時距離與河床有尺度上的不同，但概念上是相似的。河海侵蝕若具長時距的循環特性，那麼短時距所見的侵蝕後退現象雖然存在，但並不一定要作河海防護工法加以保護，長期以後，河海可能自行回復至原有形態；例如年內夏季被豪雨逕流所沖刷流失至近海的輸沙，至冬季會在受風浪席捲上岸，那麼突發的颱風豪雨所造成的沈積物流失現象，則並不一定需要作相關的淤沙工程。反之，若在短時距內看似具有穩變或靜穩平衡的循環變動，但是長時距卻有持續性的微量侵蝕後退變遷的循環特性，那麼基於海岸地形平衡之需，則可能需要興建防護工程；例如每日漲退潮所改變的沙洲面積與輸沙入海量，多數具有循環作用，但長年累積所造成的河口海岸線侵蝕後退若具規模，那麼仍須考慮必要的河海堤保護工程。

## 二、河口不同時距變動的相關論著

基於人地互動的災害普遍存在，世界各國針對海岸線的侵蝕後退研究甚多，但河口地區向海推移或向陸後退的研究則屬少數。以下僅就已完成者作一敘述，以對應台灣河口地區地形變動之比較分析。

澤本正樹等(1987)對於日本阿武隈川河口沙洲變動過程的研究中以航照圖和地形圖比對河口地形的長期變化，主要的特徵是右岸沙洲的持續成長和左岸沙洲範圍的逐漸變小；短期的變動則著重在颱風所能造成的差異，說明在暴雨過後河口外的水下沙洲和沙洲脊的形狀明顯變化。該研究指出，一次颱風事件前後河口沙洲的形態有顯而易見的差異，如1985年7月1目的颱風帶來每秒約2800立方公尺的洪峰流量，便在一天的時間內把河口寬度由原來受沙洲阻擋的60公尺沖開成將近170公尺寬。須賀堯三(1993)也提到河川逕流量與河口寬度間的密切相關性，以日本天神川、阿武隈川等河流為例，說明暴風雨來襲時流量迅速增加，河口位置的寬度及橫剖面深度皆會遭到沖蝕而產生立即的加大現象。Cooper (1994)在南非Mvoti河所做的研究，主要是分析劇烈的氣象突發事件對河口堆積形態造成的影響，說明在一次突發事件後河口沙洲的變動過程，並提到造成這種逕流主導的小型河流河口形態短期變動的主因就是類似的自然突發事件，如洪水等。謝欽春等(1994)關於甌江口潮灘相帶的研究中提到不同時距的形態變化。由於潮汐影響力大，潮灘的形態會隨著漲退潮而有明顯的每日差異；季節變化在微地形和沈積物分布的特性上是十分明顯的；長期時距的潮灘變化則以每年10公尺的速度向海推進；而風暴事件的瞬間變化特性亦有所論述。另以捕沙器測量一次漲退潮後的泥沙堆積量，由每天的收沙量顯示大潮時的堆積厚度明顯高過小潮時，堆積粒徑也有同樣的特徵；不過風暴事件影響力更大，在1990年12月11日的風暴潮過程中，當時正值小潮，但八天內捕沙器裡採集的沙量與粒度卻都急速增加，甚至遠超過大潮時的數據。McManus (1998)在蘇格蘭中部潮汐主導的泰河河口(Tay Estuary)的研究中提到，1833-1985年間河口的長期變化是潮灘持續性東移，至1997年已向外延伸達4公里之遠；而短期變動方面，大潮時河口堆積的沙量顯著增加，沙、泥的粒徑也比較粗。

## 三、東部河口地形的長時距變動

花東海岸河川的下游河口段多為橫谷型河口，而且河川入海後坡度陡降，缺乏廣大的平地進行堆積作用，因此在河口地區沈積物無法向海或兩岸發展。原本河口應是堆積活動最重要的環境，但花東海岸在地形條件的限制下，無法形成較大面積的河口三角洲地形。而河口域的堆積量並未呈現持續增加的狀態，即使山谷帶下的大量沉積物也無法完全堆積在河口域。大致而言，長期的河口發育並無顯著增加或改變。

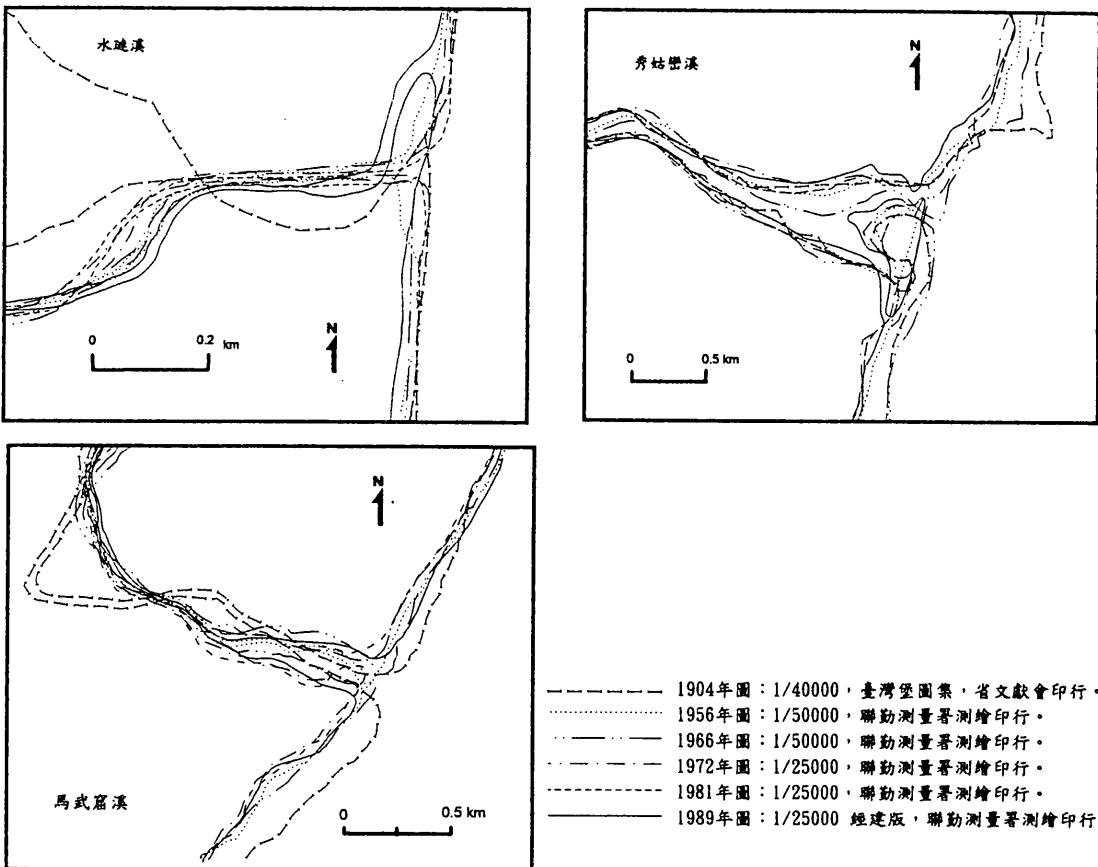


圖3 東部三河口地形歷年變遷圖

為了解研究河口區長期的形態變遷特性，利用歷年的地形圖作套疊比對(圖3)，以判別河口區的形態變化。由水璉溪的變遷圖中，發現其河口區的河道變化小，幾乎只在於河谷中作局部的擺移，未有向兩岸擴張或改道的現象，向海伸展更是有限，倒是海岸線有略有後退跡象，顯示整個河口區的河口地形並不因時間的拉長而有顯著的變化。秀姑巒溪雖然流域規模最大，理應帶到河口區的沈積物最多，但受到平面的地形特性與口外的坡降影響，河口區的堆積現象同樣不顯著。由長期的變遷圖中，可發現河口地區的形態亦在侷限的範圍內作小幅度移動，相較之下，河口平口線以內的變化較顯著，但變化仍不大。其中向海及左、右兩岸方向的伸展不但沒發生，海岸線並有侵蝕後退的現象。花東海岸中段的地殼隆升約 $4\sim 5\text{mm/yr}$ ，致下游河道常深切為峽谷(劉平妹等，1991)，秀姑巒溪河口段即為典型。秀姑巒溪口1904~1970年時沖時淤，泥沙的供應使河口以

堆積較為明顯，但近20年則逐漸侵蝕，此與劉平妹等研究得知花東海岸近30年多為侵蝕後退型海岸，尤與凸出的沖積扇及內凹的海灣後退最多之結果相符。以兩岸平口線中心點的位移量而言，因河口地區基岩抗蝕力強，河口侵蝕的年變化並不很大。至於馬武窟溪河口形態的長期變遷雖然比水璉溪、秀姑巒溪略大，可能是河口谷地開展性較好的緣故，但變化仍不顯著，只限於橫谷內的沙洲變化。其海岸線的後退現象較小，長期而言，馬武窟溪河口的延伸與後退，是處於一個比較平衡的狀態。

大體而言，東部海岸地區以河口左岸侵蝕、右岸堆積為主，但因海岸緊鄰山脈、地質構造堅硬，其歷年變動不若西部河口之劇，85年間(1904-1989年)東部13個河口中，有半數河口在250m以上的海岸範圍作內縮或外伸變動(表1)，甚至有內縮1km的明顯變動量。出水流路則多作河口沿岸平行性的位移，大致為穩定型河口。即使堆積型河口，在颱風侵襲較為頻繁的時期，仍會有河口侵蝕內縮的現象(石再添、林雪美等，1995)。

表 1 台灣東部 13 條河川歷年河口地形變化量

單位 : m

期間	1904~1926	1926~1954	1954~1970	1970~1980	1980~1989	1904~1989
1 和平溪	-	75 (SSW)	-150 (N)	350 (SSW)	-300 (SW)	-570 (SW)
2 立霧溪	-	650 (SSW)	+275 (NE)	-475 (SW)	+750 (NNE)	-110 (SWW)
3 美崙溪	-50 (SE)	+25 (NEE)	+25 (NE)	+30 (NEE)	+25 (SW)	+100 (NNE)
4 吉安溪	-75 (NNW)	+75 (SEE)	-200 (SW)	+50 (SSE)	-875 (SSW)	-1060 (SW)
5 花蓮溪	+125 (NEE)	-125 (NW)	+550 (SE)	+360 (NNW)	-160 (NWW)	+100 (NEE)
6 水璉溪	+65 (SSE)	-35 (NWW)	+25 (NEE)	+20 (SSE)	+180 (N)	+130 (N)
7 秀姑巒溪	+225 (SEE)	-200 (NEE)	+190 (NNE)	-225 (SW)	-150 (SSW)	-450 (SWW)
8 馬武窟溪	-140 (N)	+95 (NE)	-60 (NWW)	+80 (NNE)	+120 (SSE)	-180 (NW)
9 卑南溪	1150 (SSW)	-400 (NW)	+1088 (NNE)	-200 (NW)	+225 (SE)	130 (NNE)
10 太平溪	-	-70* (SW)	-275 (NNE)	+50 (SEE)	425 (SW)	-275 (SWW)
11 利嘉溪	-575 (NE)	+425 (E)	525 (SWW)	+35 (SEE)	725 (SWW)	-415 (NWW)
12 知本溪	375 (SW)	-1175 (NE)	-375 (SW)	-225 (N)	1225 (SW)	675 (SW)
13 港口溪	-100 (SW)	-	-225* (NW)	-60 (SW)	100 (NE)	-210 (NWW)

註：(1)"+"為河口向外海延伸增長，"-"為河口向內陸縮減之大致趨勢，無+-表示整體而言

只作平行的位置移動，無外伸或內縮；\*表前期圖缺，直接計自有圖之年代。

(2)( )內為河口中心點主要的變動方向。

(3)缺2個河口的1904年圖、1個河口的1926年圖及1個河口的1954年圖。

(4)表中數據係量化地形圖套疊之河口中心點位置的變量。

#### 四、東部河口地形的短期變動

花東海岸地形、地質環境特殊，河川多短小，水流急促，河流堆積作用僅限於河口局部地區，大部份河流攜帶的沈積物流入深海，或漂流至它處堆積，少部份留在河口的沉積物形成規模甚小的河口沙洲。但是沈積物在河口區的搬運堆積活動，受到突發性營力事件的影響則有顯著的變化。本研究針對沙洲形態的季節性變化，透過定期的測量、比對，以了解河口沙洲的年內變化特性。

通常海灘形態計測，多使用相互平行的縱深剖線，以便了解灘面的整體起伏情形，並計算數次測量值的變化量。但河口沙洲地形不但常有變動，而且沙洲壩的形狀多呈向外海突出的圓弧狀，無法以平行剖線測量的方式進行(林雪美、林憶伶，1999)。因此，本研究在東部三河口沙洲上，各設置水準控制點作為觀測基站，自基站向外作放射狀剖線測量，剖面間隔均為 $15^\circ$ ，歷次測量則以固定剖線測量為主，以便做剖線套疊分析工作。若遇沙洲壩變化特殊情形，則增加剖線測量。以下因篇幅有限，僅各取其中一條右岸沙洲剖線(圖4)分析之。

已知花東海岸河口沙洲長期的變化有限，與其本身的河口環境有很大的關係。受到地形條件的限制，河口發育情況確實與台灣西部相差甚多。從花東海岸河口實地普查的情形來看，可以發現各河口的沙洲堆積現象十分普遍，甚至許多小型河川的河口都呈現沙洲堆積封閉的沒口情形。幾次觀察下來，河口沙洲的堆積形態時常改變，且變化的方式各季不同。其中秀姑巒溪的變化最為特殊。當地居民表示，河口沙洲的封閉堆積甚至呈現南北二出水口互換的情形，可見河口沙洲的堆積變化確實相當複雜。

將東部水璉溪、秀姑巒溪及馬武窟溪三個河口沙洲的年內季節性變化，整理如表2-表4。整體而言，河口沙洲在冬季開始後會有明顯的堆積現象產生，並造成左岸沙洲向南延伸成長的趨勢，沙洲高度也持續累積增加，沙洲寬度有縮減情形。3月以後沙洲變化不顯著，但高度繼續增加，沙洲寬度縮減。颱風季節來臨前，沙洲形態開始有局部性的改變，出水口方向由東南轉變成東向，沙洲高度開始減少，沙洲寬度因向海擴張而增加。颱風的影響使沙洲重新結構，重新結構的恢復時間跟河川規模成正比，即水璉溪流域規模最小，沙洲恢復堆積的速度最快。待進入冬季後，沙洲形態逐漸完整並呈現去年同期的變化趨勢(圖5-圖10)。

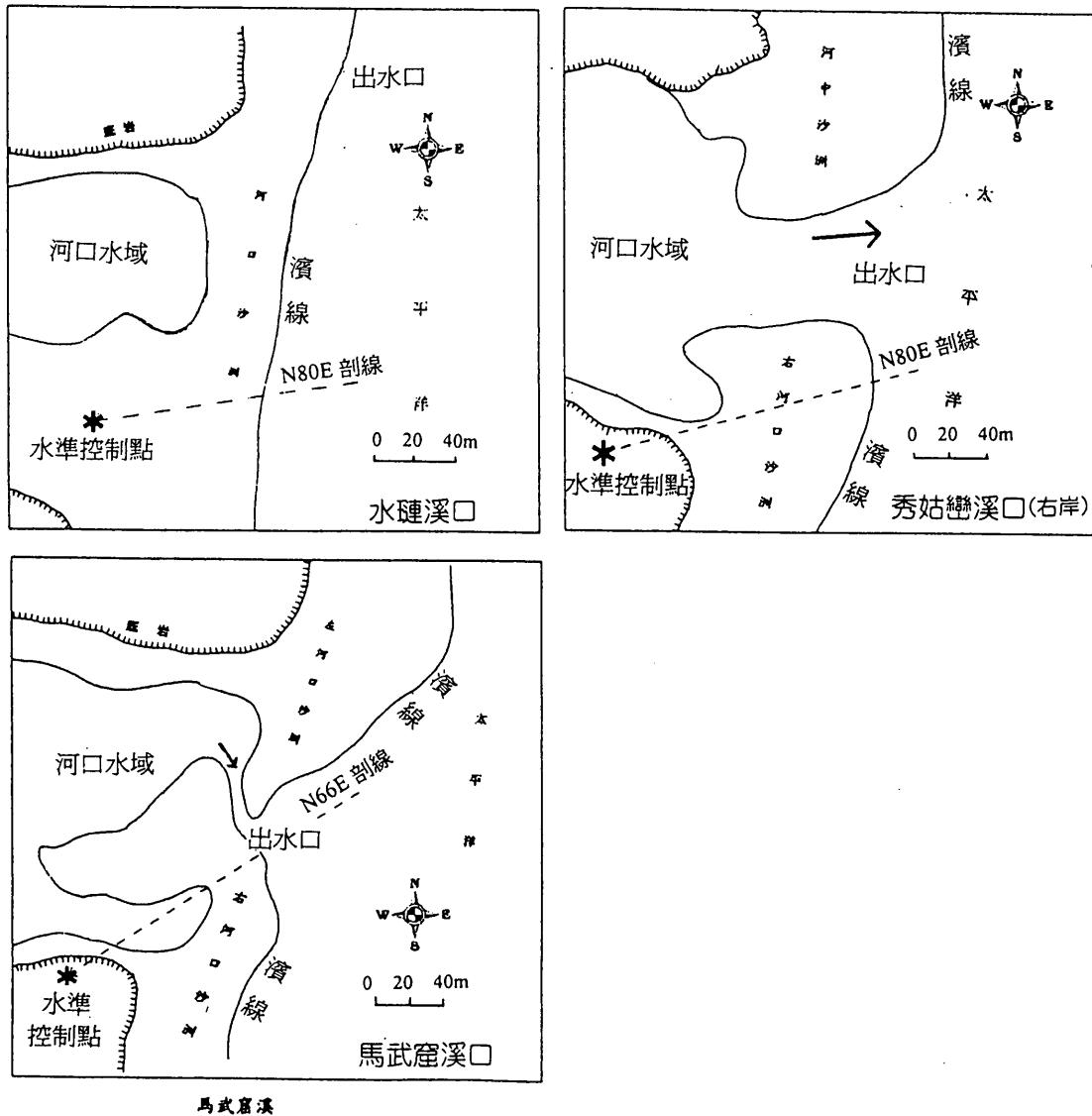


圖 4 研究河口剖線測量位置示意圖

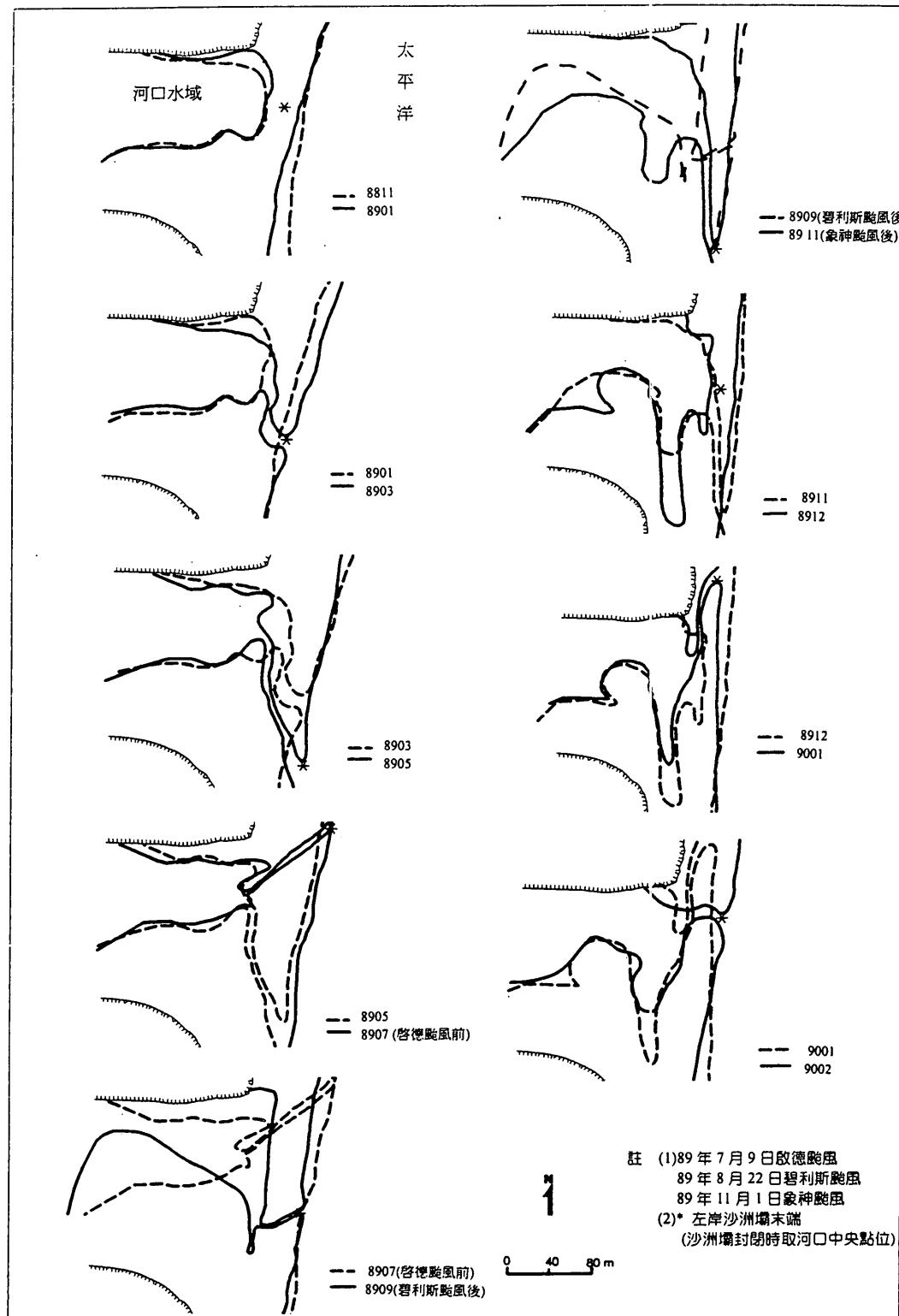


圖 5 水璉溪河口沙洲形態年內變化平面圖

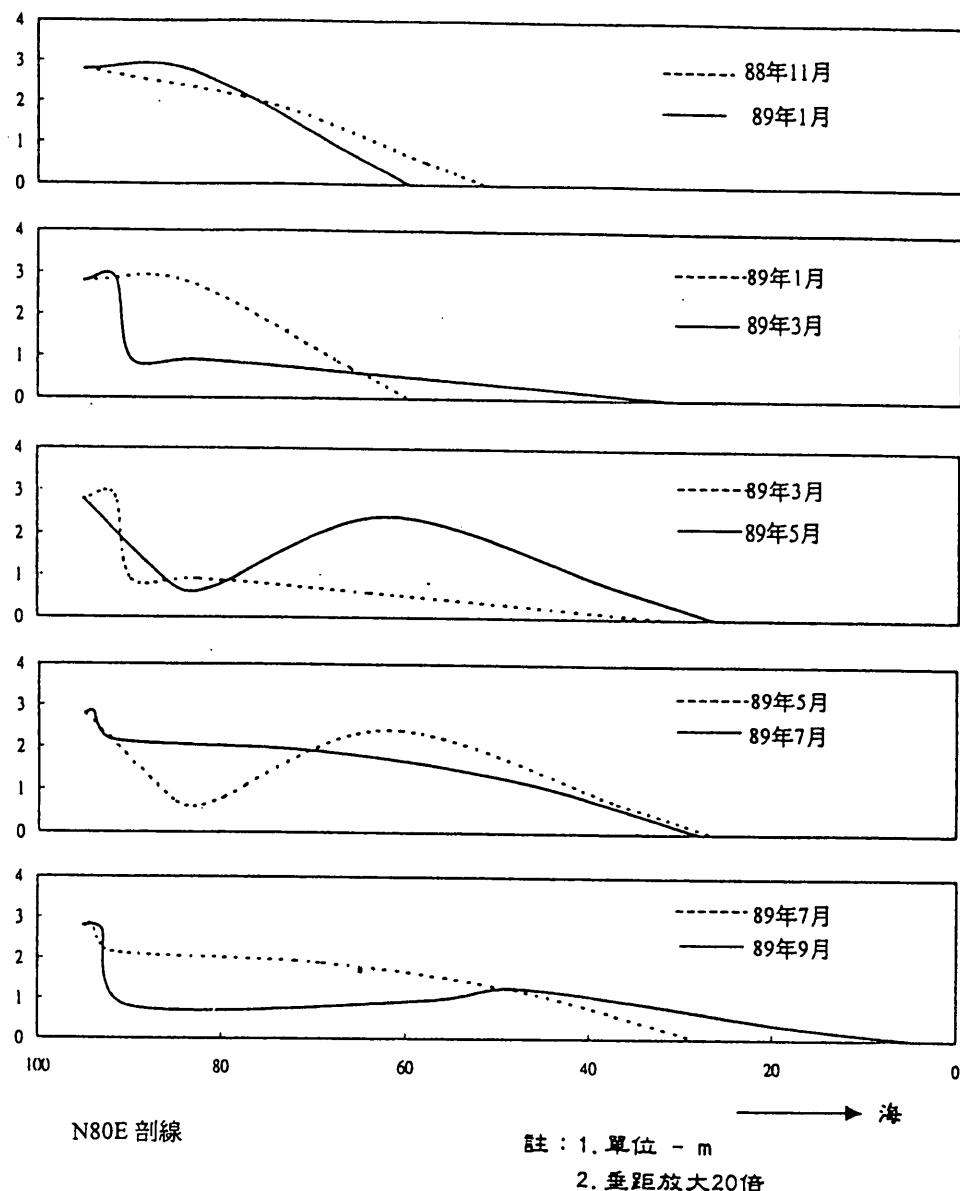


圖 6 水璉溪河口沙洲形態年内變化剖面圖

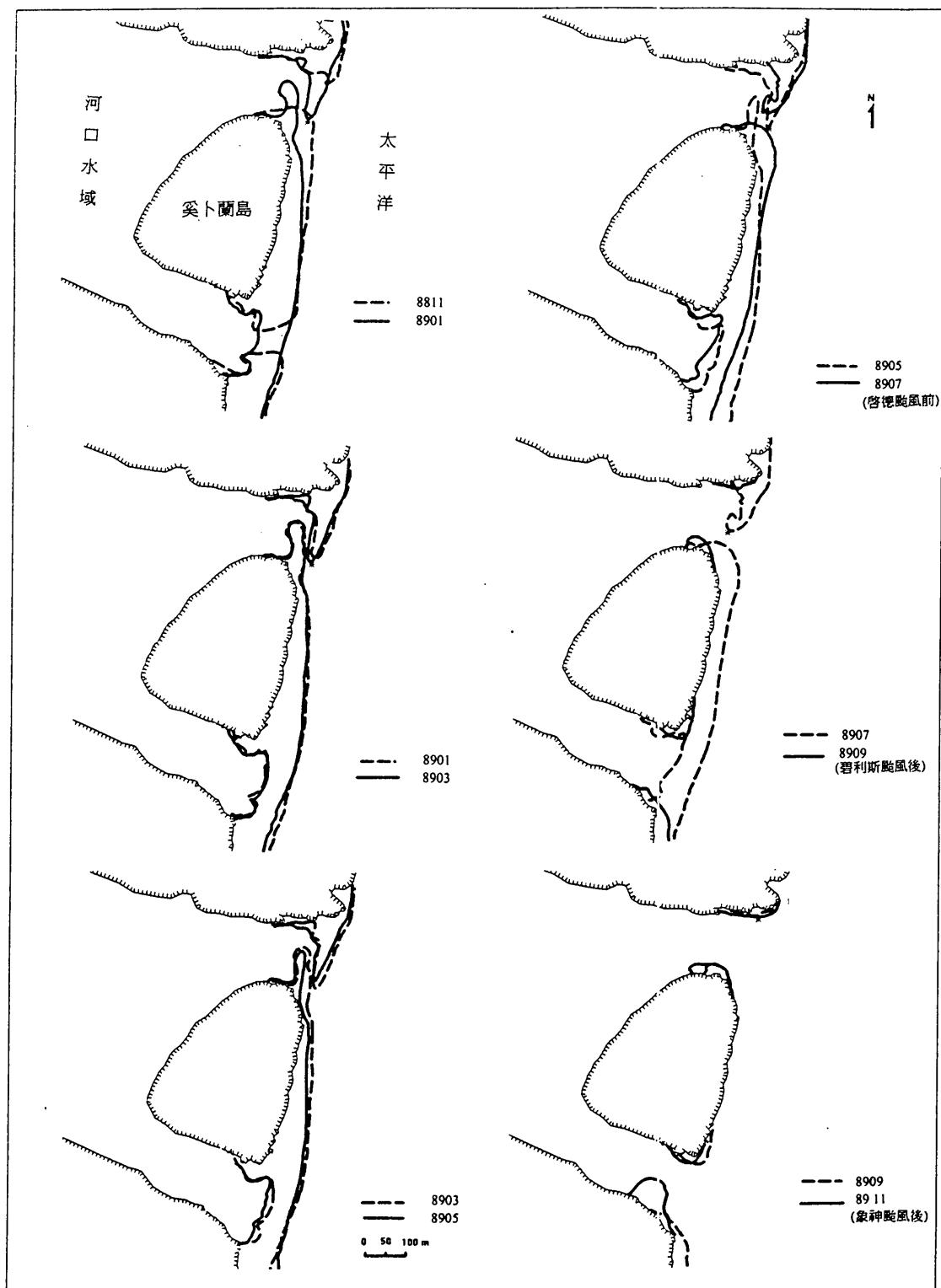


圖 7 秀姑巒溪河口沙洲形態年內變化平面圖

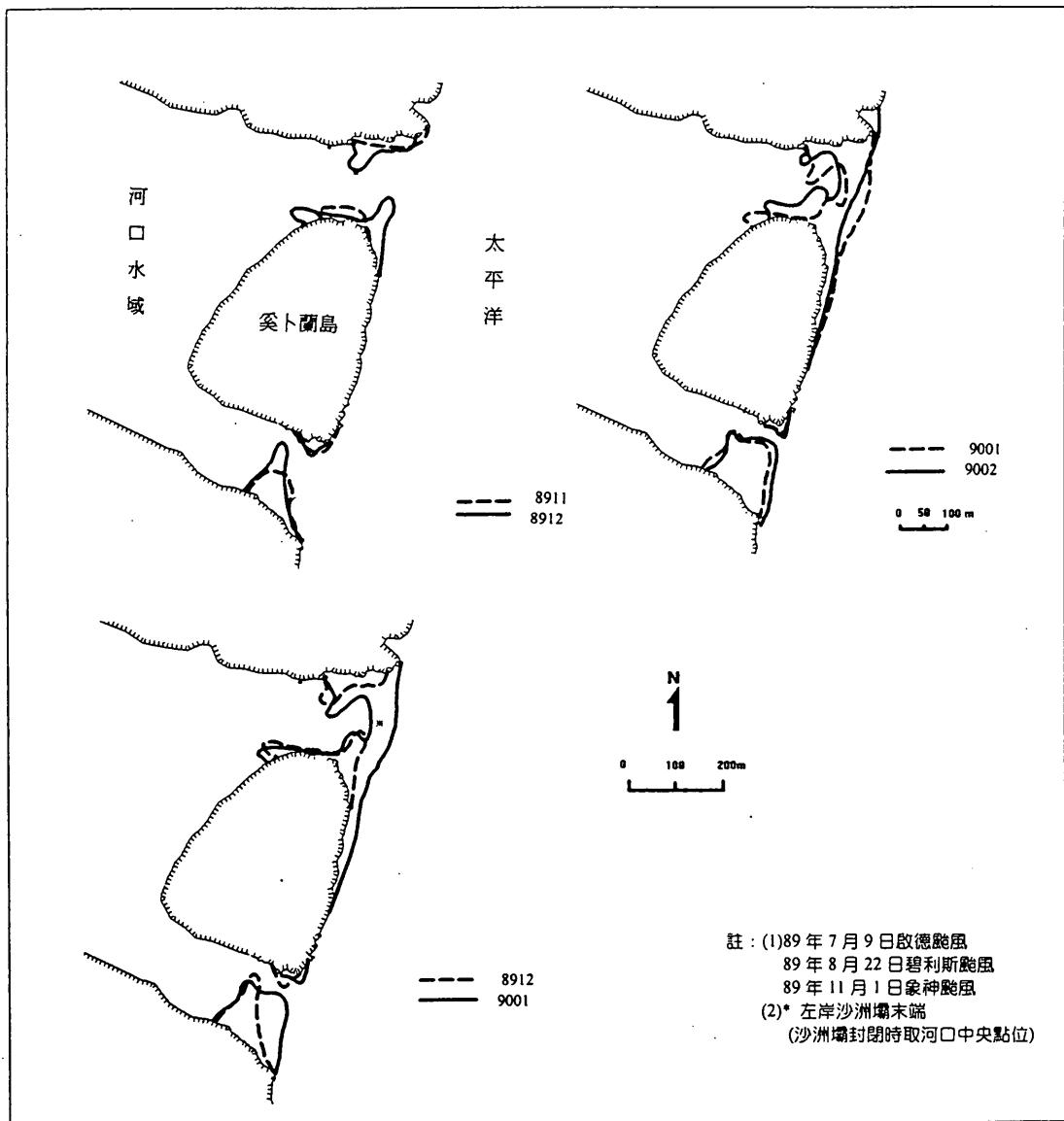


圖 7 秀姑戀溪河口沙洲形態年內變化平面圖(續)

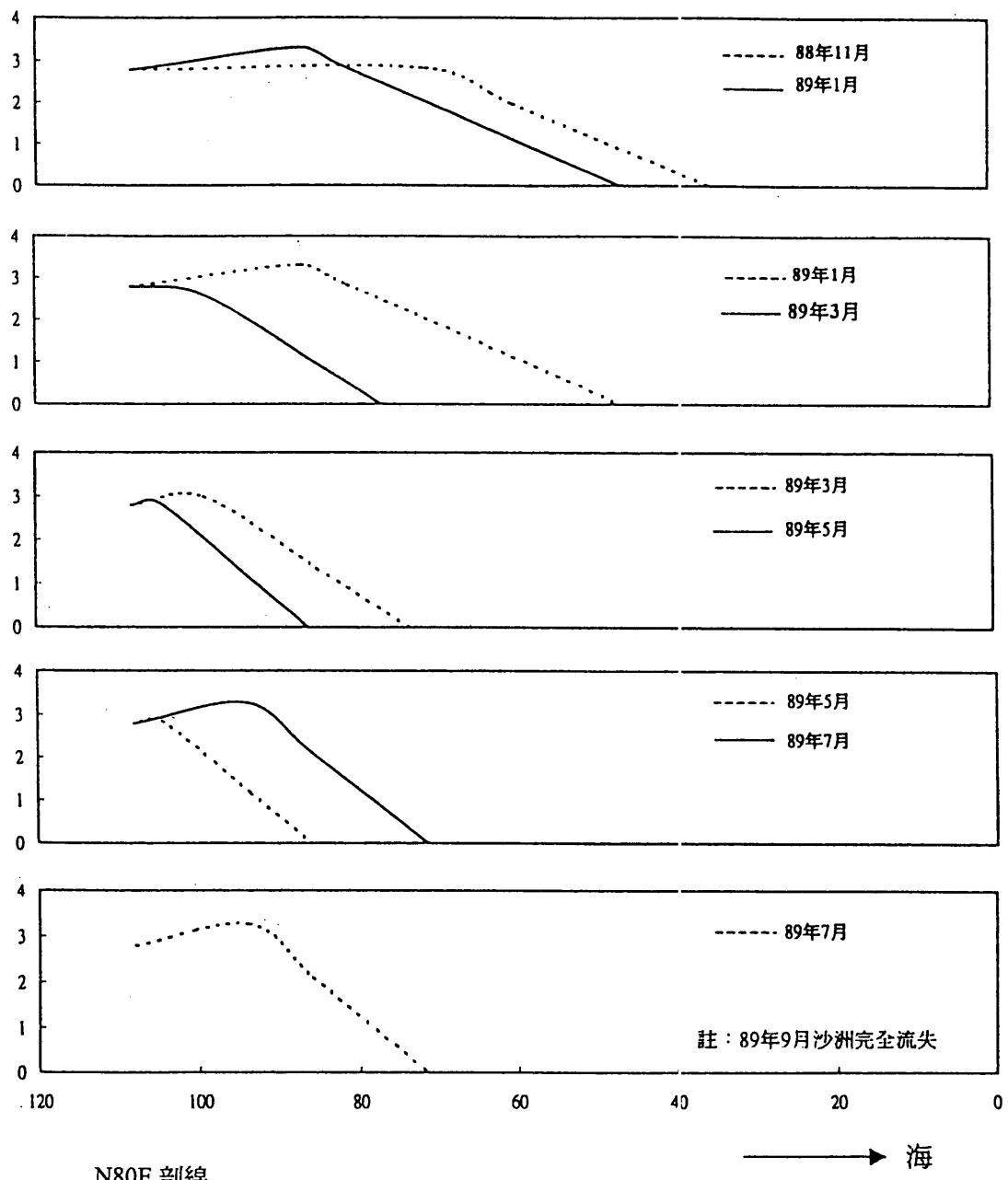


圖 8 秀姑巒溪河口右岸沙洲形態年内變化剖面圖

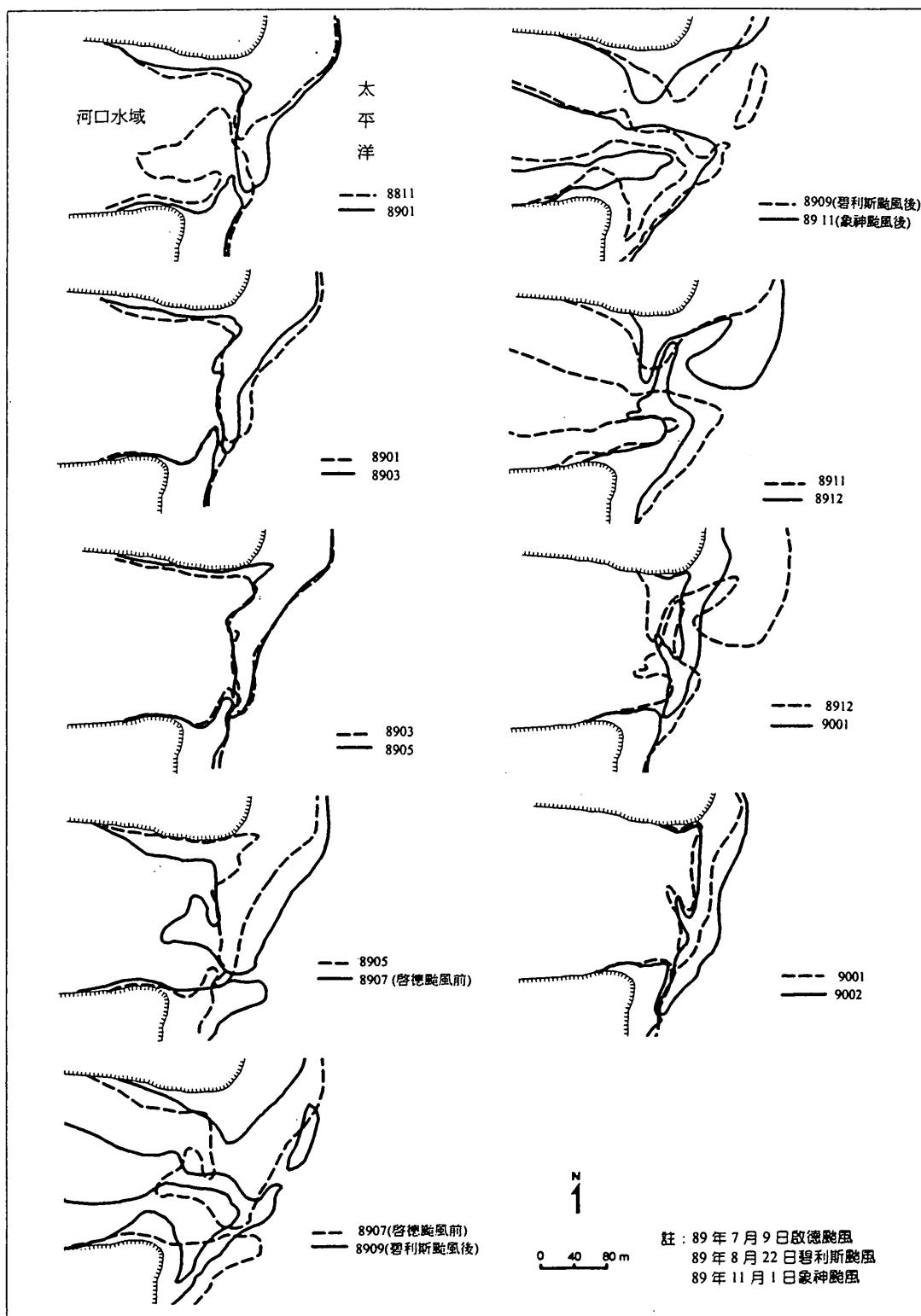


圖 9 馬武窟溪河口沙洲形態年內變化平面圖

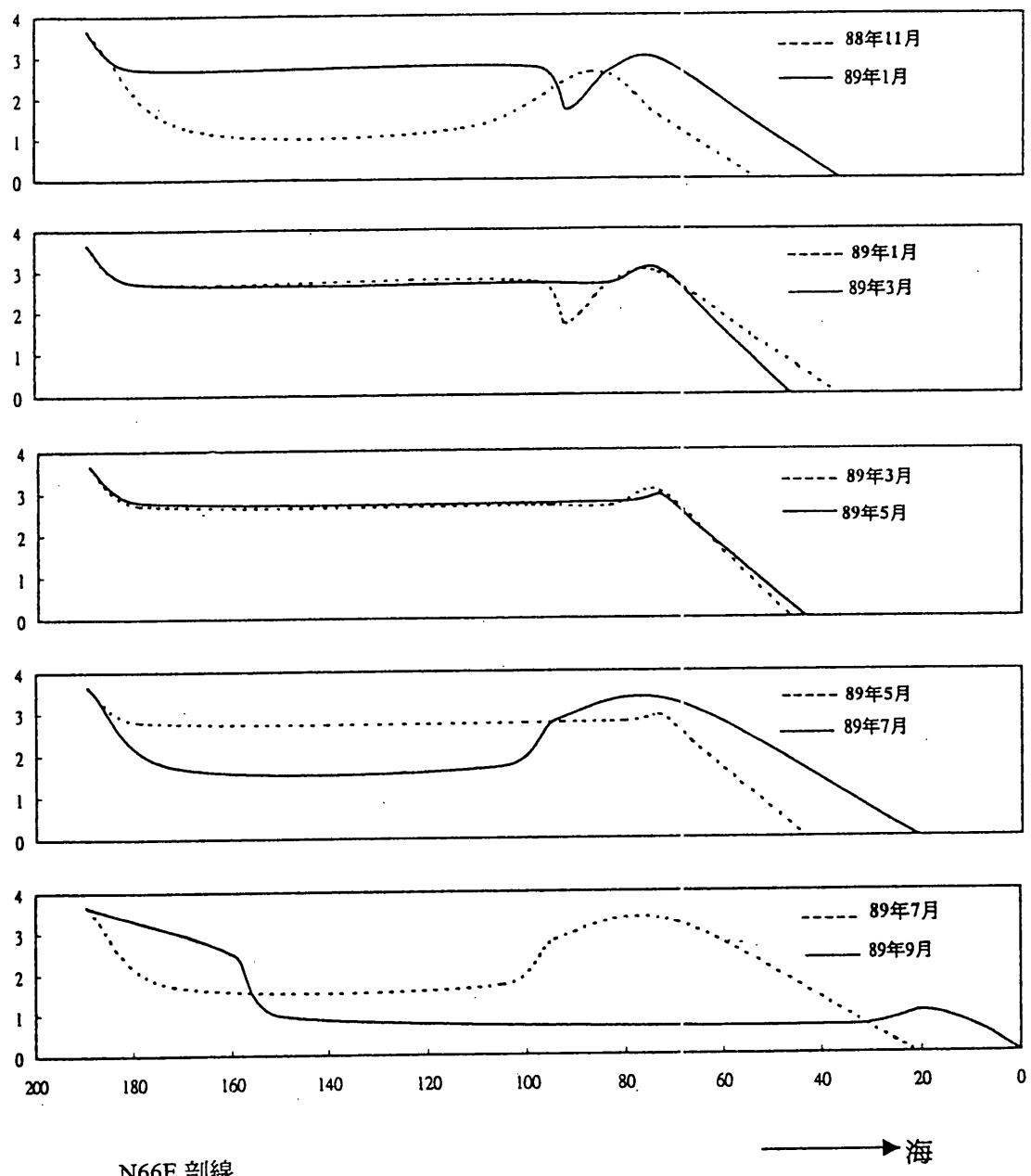


圖 10 馬武窟溪河口沙洲形態年内變化剖面圖

表2 水璉溪河口沙洲季節性變化特性

月份	河口沙洲形態變化特性
88年11月-89年1月	河口沙洲形態變化不大，沙洲高度增加0.5m，寬度減小5m，呈完全封閉，無出水流路
89年1-3月	沙洲沖出新出水口，沙洲體分為左右河口沙洲，左河口沙洲有向南延伸的趨勢，出水口區沙洲遭河水侵蝕搬運，沙洲高度下切2m，出水口呈曲流狀向東南蜿蜒100m後入海
89年3-5月	左河口沙洲明顯向南延伸，延伸長度達70m，沙洲寬度增加近20m，前濱沙洲高度增加2m 出水口流路在右河口沙洲上，向南南東直流150m後入海
89年5-7月	出水口改向，由原本的東南轉變為東北，出水口位置並向北遷移190m，原本的左沙洲延伸改為右沙洲向北延伸，流路流過左沙洲直流約100m入海
89年7-9月	沙洲經颱風(啟德、碧利斯)造成大規模變形，沙洲壩堤重新結構，河口水域因右岸沙洲遷移而改變，並於右河口沙洲重新形成出水口，形成左河口沙洲向南延伸
89年9-11月	象神颱風之後再次造成河口沙洲重大改變，右岸砂礫質階地遭侵襲，切割出高5公尺的階崖，出水流路改由東南出海。

表3 秀姑巒溪河口沙洲季節性變化特性

月份	河口沙洲形態變化特性
88年11月-89年1月	左河口沙洲明顯向南延伸95m，並向河口內偏移，左河口島中沙洲向左岸(北北西)延伸80m，出水口流路遇左河口沙洲轉向，向南直流100m後入海；原本開啓的右河口已完全封閉，形成連島沙洲，寬度達70m。
89年1-3月	左河口沙洲變化不大，僅向西南延伸10m，島上沙洲寬度增加擴展約10m，出水口流路方向與1月類似，但寬幅減小只剩10m，沙洲頂高度增加，前濱坡度增加；右岸仍呈完全封閉狀，寬度變化不大，洲頂高度增加。
89年3-5月	左河口沙洲整體變化趨勢不大，沙洲長度略減少；島上沙洲寬度、面積減小，出水口流路改變不大向南入海；右河口沙洲呈封閉，寬度與高度變化不大。
89年5-7月	左河口沙洲前端向口內彎曲，長度減少30m以上，寬度略增，新出水流路形成，向東直流入海，寬幅增大；右岸完全封閉，寬度增加高度減小。
89年7-9月	左河口沙洲大部份砂體遭沖毀、消失，僅底岩岸邊少許沙洲堆積；右河口沙洲大量沈積物亦遭沖失，只剩少部份的沙洲堆積岸邊。
89年9-11月	此期間河口沙洲未能形成穩定結構，象神颱風又將沙洲全數沖毀，只剩右岸河口內水域小規模沙洲形成，左岸沙洲未能成形浮出水面。

表 4 馬武窟溪河口沙洲季節性平面變化

月份	河口沙洲形態變化特性
88 年 11 月 -	左河口沙洲向南延伸 75m，沙洲增大
89 年 1 月	出水口由左河口沙洲向南南東直流 30m 注入海
89 年 1-3 月	整體河口沙洲形態變化不大，左河口沙洲略向南延伸，沙洲寬度變小，濱線向河內偏移；出水口由左岸沙洲向南南東直流 20m 注入海。
89 年 3-5 月	形態變化不大，左河沙洲向西南延伸 15m，沙洲寬度變小，高度略增 出水口由左河口沙洲向南蜿蜒 30m 入海
89 年 5-7 月	右岸沙洲受河水沖開向東擴展，左岸沙洲與河中洲連結並向東擴展 右岸沙洲形成東向出水口，約 40m 長的直流水路
89 年 7-9 月	沙洲受河水沖毀向海擴展，大量沈積物消失，沙洲脊消失，成平坦狀，形成離島沙洲；沙洲形態混亂，無固定出水口
89 年 9-11 月	河口沙洲亦成散亂狀，沙洲有向海延伸的趨勢，結構仍不完整，出水口向正東流出，流幅仍大。

由河口沙洲形態變動量表(表5)可知，出水口寬度的變化，從冬季之後逐漸變小，在3-5月間呈現最窄狀態，尤其秀姑巒溪與馬武窟溪最為顯著，進入夏季後逕流作用逐漸反應，也造成河口沙洲出水口逐漸增大，但其中水璉溪的改變則較具獨特性，3月期間寬度略增(此時形成新出水流路)，5月寬度則略窄，7月則再次呈現較寬的趨勢，形成變化頻率高的現象。在沙洲寬度的變化，冬季過後呈現愈來愈窄的趨勢，5-7月間寬度最小，當平面形態有大規模變化之後寬度即有明顯地增加，其中水璉溪在3月即有增加之勢，可能與新出水流路形成有關。另外在沙洲高度的變化上，呈現冬季逐漸堆高的趨勢，同樣地在7月出現最大高度的沙洲形態，之後高度迅速降低。三個河口中，水璉溪的變化較無規則性，短期間內迅速地改變，之後又迅速地恢復，很直接反應當時的營力狀況；而秀姑巒溪與馬武窟溪的河口沙洲則會持續累積作用力的侵襲，當營力事件超越其臨界點後才促使河口沙洲產生顯著變化。

表 5 東部三河川河口沙洲年内變化量

單位：m

河口	項目	時間	88年11月	89年1月	89年3月	89年5月	89年7月	89年9月	89年11月
水璉溪	河口封閉	封閉	封閉	冲出新水道	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路
	沙洲寬	40	35	32	50	35	39	35	35
	沙洲高	1.4	2	1.5	1.8	1.3	1.4	2.7	
	出水道寬	0	0	15	10	10	4	10	
	出水口方向	-	-	SSE	SSE	NE	E	SSE	
	沙洲延伸距	-	-	S 70m	S 70m	N 185m	S 135m	S 97m	
秀姑巒溪	河口封閉	二出水道	南出水口封閉	南出水口封閉	南出水口封閉	南出水口封閉	二出水道	二出水道	二出水道
	沙洲寬	85	70	65	61	65	12	18	
	沙洲高	1.6	1.6	2	2.7	1.3	0.5	0.5	
	出水口寬	30	20	5	25	35	125	115	
	出水口方向	SE	S	S	S	ESE	E	E	
	沙洲延伸距	S 30m	SSW 95m	SW 10m	N 18m	NW 46m	-	-	
馬武窟溪	河口封閉	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路	出水流路
	沙洲寬	62	45	30	25	61	25	50	
	沙洲高	0.9	1	1.3	1.4	1.3	1.1	1.3	
	出水口寬	7	12	10	5	15	41	30	
	出水口方向	SE	SSE	S	S	E	E	E	

綜上可知，河口沙洲的形態變化確實在年內的轉換過程中表現出短期變動的特性，其中秀姑巒溪與馬武窟溪並有共同的變化趨勢，而水璉溪的變化則較獨特。若從流域規模上來看，秀姑巒溪最大，且遠大於其他二個河口，但它與馬武窟溪的季節性變化卻具相近的趨勢，可見對此二個河口來說，流域規模對於其河口沙洲的季節性變化並不顯著，或許沉積物差異才是關鍵。但對於水璉溪而言，其變化的模式即與其他二個河口差異性大，可能是河口沙洲的沉積物較少且細，亦可能河川的流域規模小而影響沙洲的變化趨勢。因此，由水璉溪口的地形變動特性來看，可初步得知河川規模小與沉積物以砂質為主的河口，其沙洲形態上的變化，具敏感性、對於季節轉換的營力事件反應迅速。但與規模較大的馬武窟溪與秀姑巒溪比較，其承受的營力對抗性是較弱的。意即，水璉溪口會因河海營力的些微變化而有明顯的沙洲形態變動，很直接的反應當時的營力狀況；秀姑巒溪與馬武窟溪則會累積至某種程度，當越過其臨界點後才產生變化。至於營力特性如何定量地影響河口沙洲形態的變動，則有待未來進一步探討。

## 五、東部河口地形的極短期變動

台灣東部瀕臨西太平洋，夏秋交替之際常遭颱風正面侵襲，伴隨颱風而來的劇烈海象事件與挾帶大量的風雨，對當地環境及花東沿岸莫不造成重大影響。河口位於陸海交界，直接受陸地與海上兩大營力系統的衝擊，颱風期間劇烈的反應呈現在河口沙洲上，因此透過河口沙洲形態變化與沈積物轉換情形，可了解颱風對河口影響的程度及範圍，

進一步理解河口沙洲形態的極短時距變動特性。

本研究針對花東海岸三個河口在颱風季節期間，即營力的最大值作用，說明其對河口沙洲產生之形態上的影響。利用颱風前後河口沙洲的平面、剖面形態比對，探討河口沙洲在突發事件影響下，形態變化的規模大小、反應情形與恢復程度，以了解花東海岸地區河口沙洲突發事件的變化特性。本研究仍以原有剖線測量方法，測量沙洲的起伏形態。調查期間為民國89年夏季與秋季的颱風季節，其中以7月的實地調查測量作為颱風季節前的基準形態，利用颱風後的測量調查進行比對探討，並在颱風結束後持續作觀察測量，以瞭解河口沙洲在事件後的恢復狀況。研究調查期間由7月開始，其中直接影響東部的颱風有7月9-10日的啟德颱風、8月26-27日的碧利斯颱風、10月30-31的象神颱風(表6)。啟德與碧利斯颱風接直襲東部地區，行進路線為由南向北沿海岸行進的路線，對東部地區的影響甚大，而碧利斯更為強烈颱風；象神雖未直接登陸花東地區，但挾帶的風雨對花東的影響亦不容小覷，期間颱風對花東海岸影響之大應可推知，故對河口的影響亦是相當顯著的。

表 6 民國 89 年侵襲花東海岸颱風一覽表

編號	颱風名稱	生成地點	侵台日期	最大強度	近中心最大風速 (m/sec)	侵台路徑	登陸地段
0004	啟德 (KAI-TAK)	呂宋島西北西方海面	7月9日	中度	35 (12級)	4	台東縣成功鎮
0010	碧利斯 (BILIS)	菲律賓東方海面	8月22日	強度	53 (16級)	3	台東縣成功鎮
0020	象神 (XANGSANE)	菲律賓東南方海面	11月1日	中度	38 (13級)	-	未登陸

水璉溪河口沙洲(圖11)受颱風影響的變化程度在形態變化上並不明顯，但秀姑巒溪(圖12)與馬武窟溪(圖13)河口沙洲則有較大的變化。秀姑巒溪與馬武窟溪雖然在形態上呈現較大規模變化，但其變化的方式卻是有異的，秀姑巒溪河口沙洲的改變最為顯著，馬武窟溪變化則以水平方向的擴展較具特色，可見作用營力的差異或背景環境的不同，對於河口沙洲的形態變化影響是有差異的。若再透過河口沙洲的回復程度來看，秀姑巒溪受大營力事件的影響，在空間上與時間上都有較大尺度的變化。以平面形態而言，穩定度較大的為馬武窟溪，經過兩個月的回復期，沙洲的輪廓與沙洲堆積的位置有相當程度的回復，可見河口沙洲回復能力相當穩定，另二個河口就沒有這樣的特性。

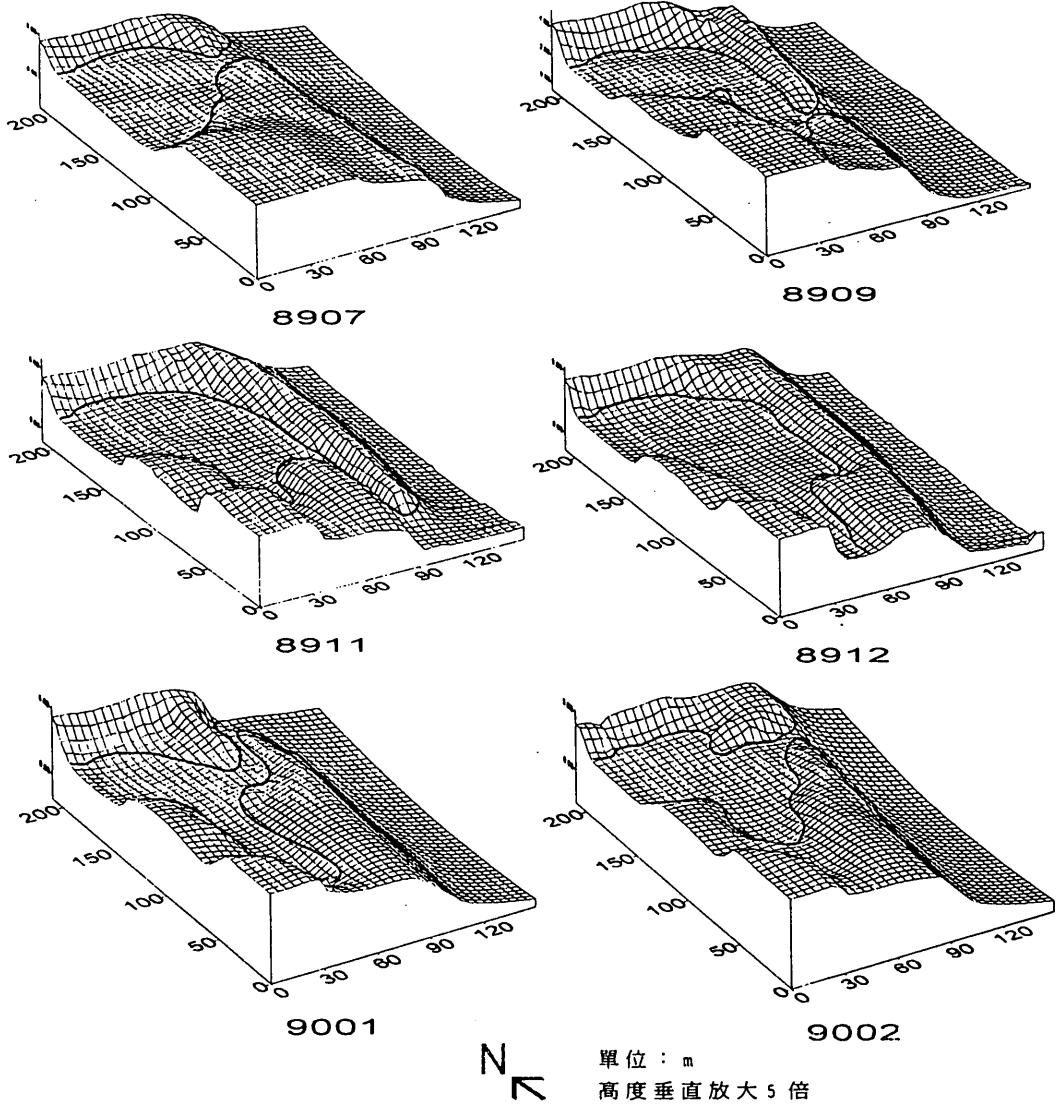


圖 11 水璉溪河口沙洲形態颱風期間變化立體圖

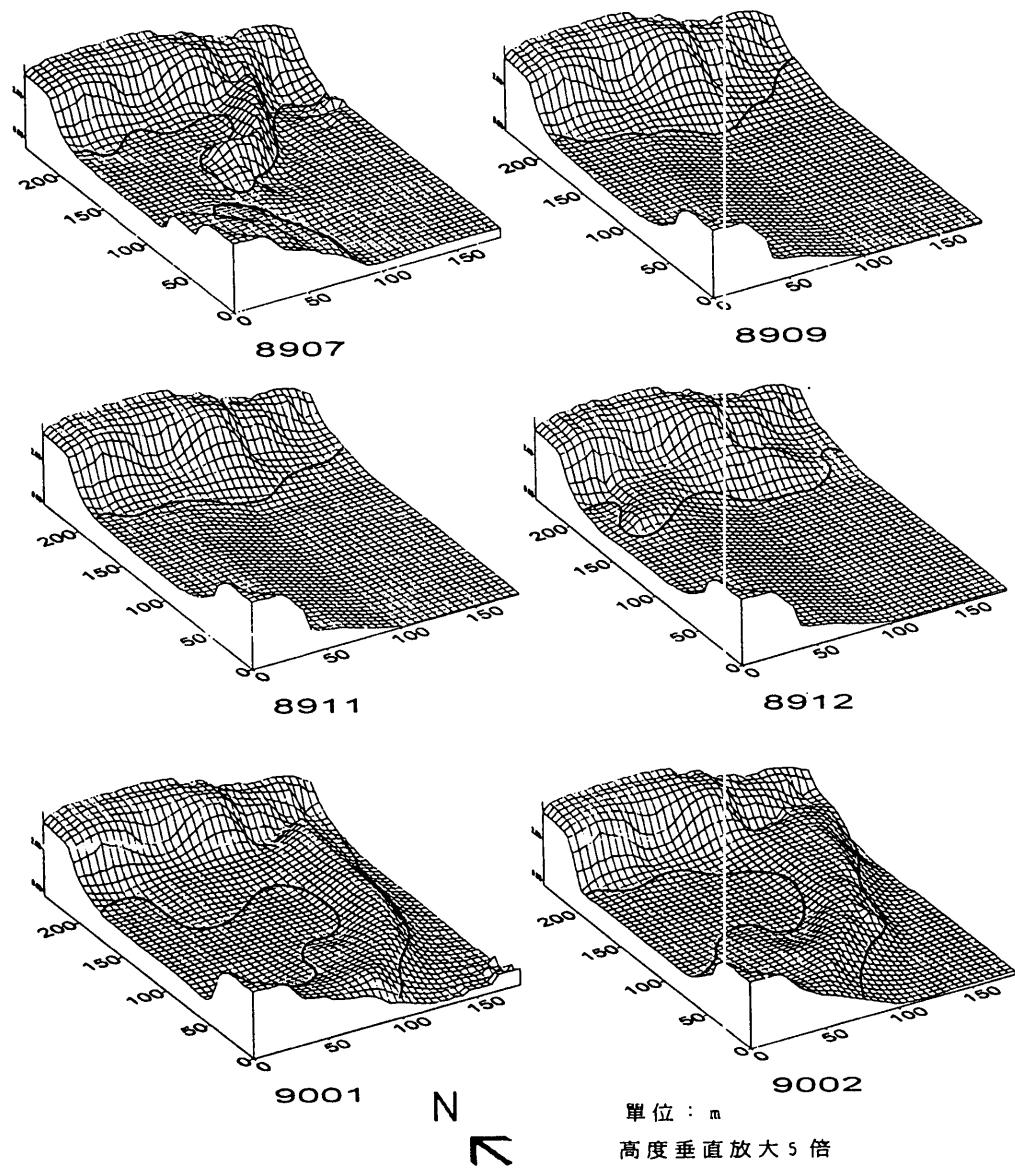


圖 12-1 秀姑巒溪河口沙洲形態颱風期間變化立體圖(左岸沙洲)

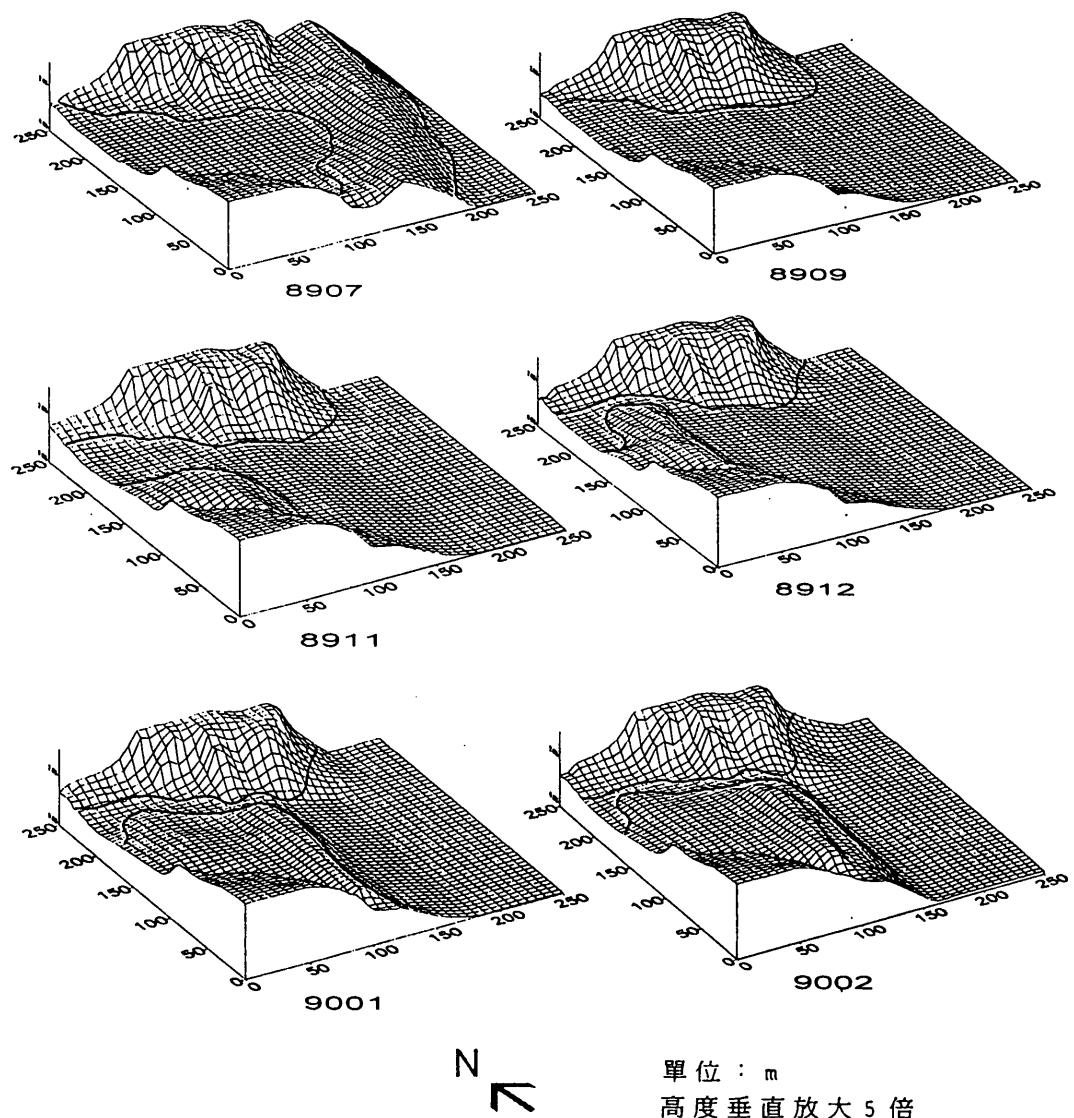


圖 12-2 秀姑巒溪河口沙洲形態颱風期間變化立體圖(右岸沙洲)

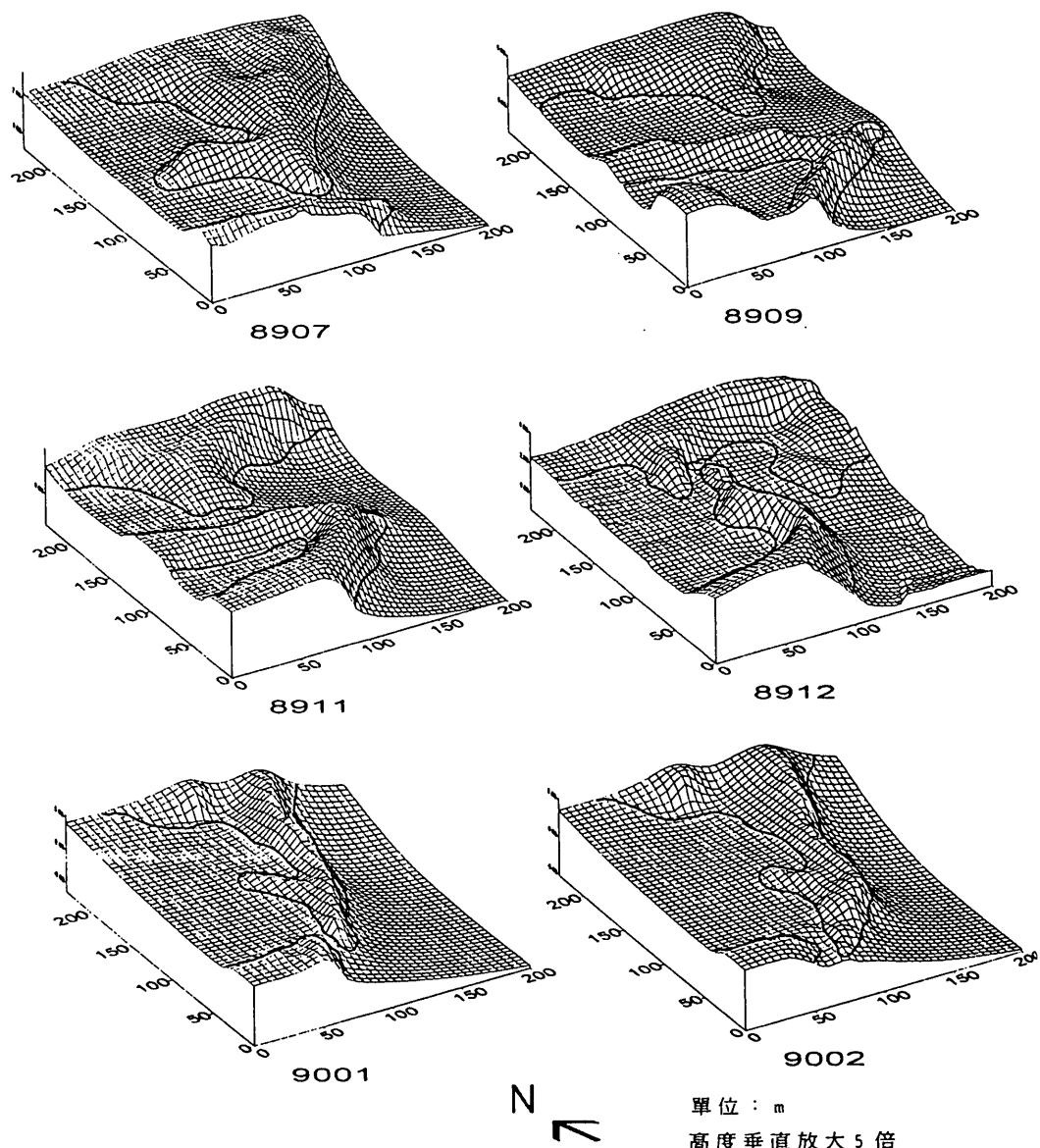


圖 13 馬武窟溪河口沙洲形態颱風期間變化立體圖

從秀姑巒溪南口出水口的封閉及大量沉積物堆成的沙洲結構而言，颱風發生後河口沙洲迅速的消失，並在河海長期的交互作用後，在左岸北口形成大量的堆積現象(圖12-1)，因此可能有大量的砂石沉積物因黑潮所成的沿岸流牽引，使右岸沙洲(圖12-2)逐漸遷移至左岸堆積，故秀姑巒溪河口的沙洲搬運、堆積現象十分複雜。透過沙洲在颱風期間的變化量(表7)，可知各河口沙洲的變化趨勢確實有很大的差別。

表7 東部三河川河口沙洲颱風期間變化量

單位：m

河名	項目	時間	89年7月	89年9月	89年11月	89年12月	90年1月	90年2月
水璉溪	河口狀態	出水流路	出水流路	出水流路	河口封閉	出水流路	出水流路	
	沙洲寬	35	39	35	30	25	60	
	沙洲高	1.3	1.4	2.7	2.9	2.3	2.9	
	出水道寬	10	4	10	0	5	15	
	出水口方向	NE	E	SSE	-	NNE	E	
	沙洲變動量	N 185m	S 135m	S 97m	-	N 75m	S 53m	
秀姑巒溪	河口狀態	右岸出水口封閉	二出水流路	二出水流路	二出水流路	左岸出水口封閉	左岸出水口封閉	
	沙洲寬	65	12	18	35	50	45	
	沙洲高	1.3	0.5	0.5	1.6	2.2	2.3	
	出水口寬	35	125	115	60	-	-	
	出水口方向	ESE	E	E	E	-	-	
	沙洲變動量	NW 46m	-	-	SW 95m	S 90m	-	
馬武窟溪	河口狀態	出水流路	出水流路	出水流路	河口封閉	出水流路	出水流路	
	沙洲寬	61	25	50	30	25	30	
	沙洲高	1.3	1.1	1.3	1.5	2.1	2.5	
	出水口寬	15	41	30	8	10	8	
	出水口方向	E	E	E	NNE	SE	SSW	

研究的三條河川的河口沙洲，在颱風期間的變化方式及程度都有相當大的差異。就水璉溪而言，河口沙洲在短期內即恢復穩定狀態，但受河海雙重營力的影響，再加上沙洲本身的沉積物粒徑小，故產生之變化十分顯著，在河口內形成新的沙洲階地，右岸崖邊亦遭侵蝕切成一高5公尺的階崖，故其變動性可謂不小。秀姑巒溪口由於河川規模最大，加上河口處又有奚卜蘭島佇立，產生的變化最為複雜；啓德颱風(89.7.9)過後，河口沙洲即遭河水及海浪沖毀，形成左右岸各一道寬廣的出水流路，而且持續長達三個月的時間，河口附近的沙洲是極為稀少的，幾乎所有的沉積物都無法在河口堆積留置，因此形成河口最長時間的淨空期。透過航空照片與野外實察所見的河口平口線以外水域呈現的混濁程度及範圍，可知大量的沉積物懸浮在口外鄰近的海域中，這也促使日後河口沙洲恢復堆積的砂石來源。秀姑巒溪的改變可謂研究河川中最大的，由颱風季節就河口沙洲沉積物堆積量而言，三個河口在經歷颱風事件洪水營力侵襲之後，雖有大量的砂石沉積物遭沖走，但其在河川搬運堆積與近岸水文回復能力持續進行下，亦回到事件發生前的穩定形態，堆積量也沒有大量減少或增加的跡象，沉積量呈現穩定平衡狀態，亦即

具有河口沙洲形態的循環特性。就Cooper(1994)的河口分類而言，是屬於河流主導型河口的營力表現，可知花東海岸河口在颱風季節的營力表現，河川營力作用佔十分關鍵的地位。

透過上述各階段沙洲變化特徵的分析後，花東海岸河口沙洲的變化，不論在季節轉換與颱風影響下都有顯著的差異，同時也發現部分的共同性。對於河口沙洲在河口地區的變動趨勢，可透過沙洲的位移向量圖進一步作說明(圖14)。三處河口的變化雖不完全一致，但仍有相當的趨勢性可言，就秀姑巒溪與馬武窟溪而言，在季節的變化上就較有共同趨勢，水璉溪則呈現其獨特性。水璉溪河口沙洲的變化在海陸方向的進退移動並不顯著，主要是順著濱線在河口平口處作南北擺移活動，受到作用影響反應快，變化幅度大。而秀姑巒溪與馬武窟溪在季節上呈現相近的變化趨勢，不論在變化的程度規模、改變的方向角度、歷經的時期都十分相近，在冬季，都有較顯著的變化量，並同時向南、向口內偏移，而夏季初期則呈現相同的變化趨緩，形態上並無大規模的改變，當河水逕流增加後，亦反映出河水沖過沙洲形成新出水口情形。

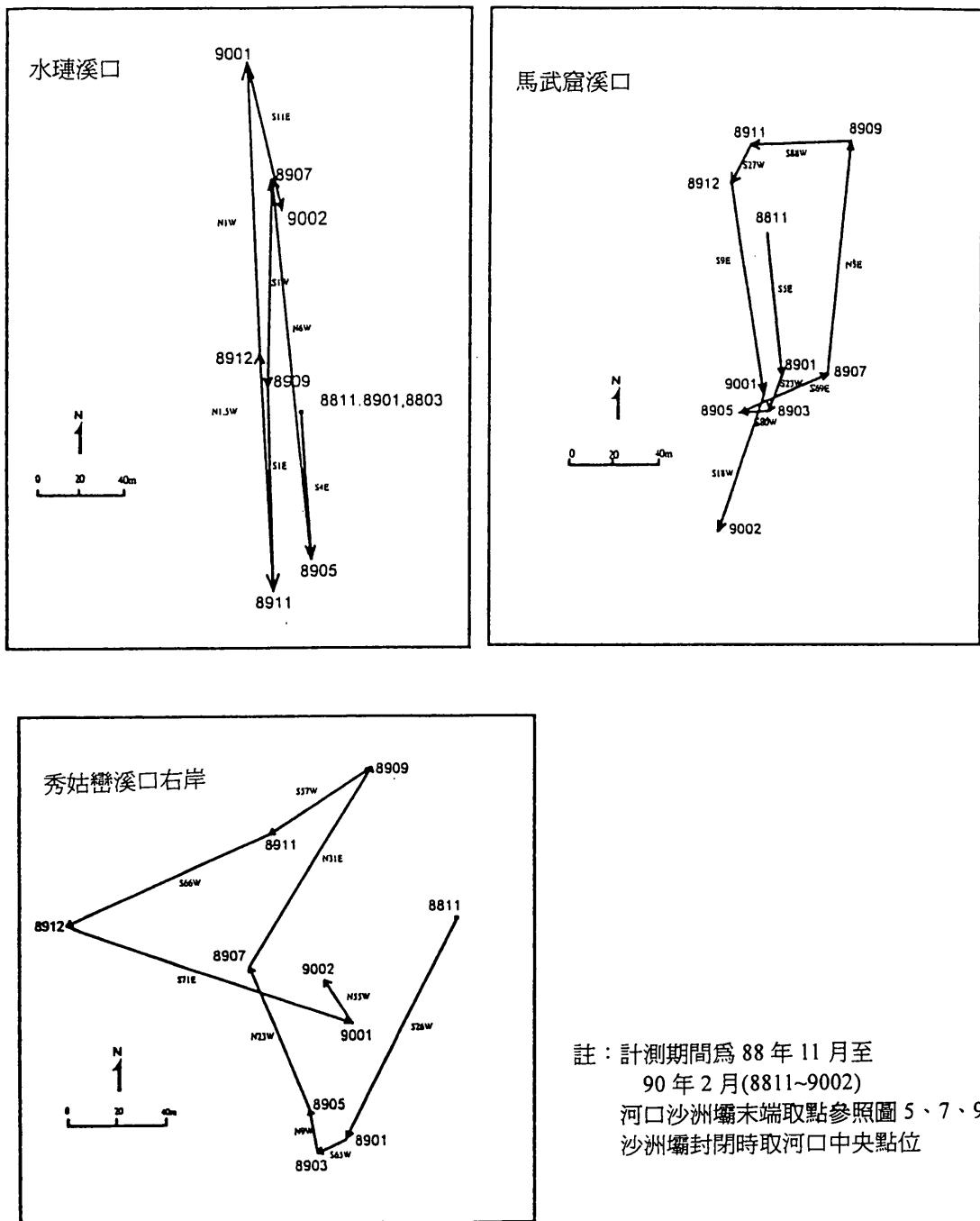


圖 14 東部三河口沙洲颱風前後變動向量圖

## 六、東部河口地形變動的循環性

就中頻度的年內變動而言，東部三河口一年內形態變動的過程明顯受季節變化與突發事件的影響，可概將河口沙洲變形過程劃分五個階段。根據近幾年實察得知，其循環週期大致以一年為準，即年中的變化固然存在，但翌年即回復原有形態(圖15)：

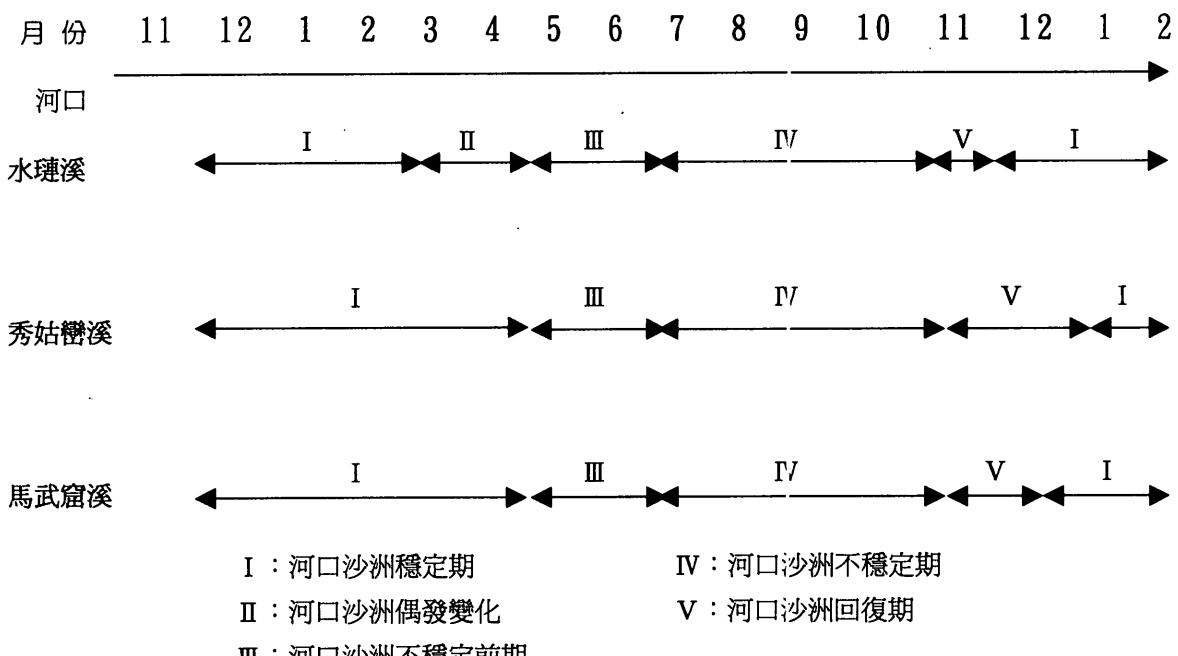


圖 15 東部三河口河口沙洲短期變動階段圖

階段I、河口沙洲穩定期--沙洲穩定性較高、向南延伸：透過上述各研究河川在各測量時期的特性敘述，可以發現花東海岸在年內季節性的變化具有其特殊性，以冬季來說，河口沙洲的平面形態通常呈現逐漸縮小的趨勢，左岸沙洲末端向南延伸或向陸偏移情形，秀姑巒溪左岸與馬武窟溪左岸特別顯著，其沙洲分別向南南西及向南延伸了99m與101m可見其海象營力在此時期的重要性。其中水璉溪因河口沙洲完全封閉，並無沙洲延伸，但由垂直剖面可發現其沙洲灘面前濱處，坡度呈現愈來愈陡，沙洲頂峰線與濱線皆向內陸偏移，亦說明了此時期海象營力的重要性。

階段II、河口沙洲偶發變化：此時期的波能相對前一時期是較小的，因此河口沙洲的變化較為有限，尤其平面的輪廓未有顯著變化，秀姑巒溪與馬武窟溪河口沙洲平面圖中都可發現其變化程度有限。但水璉溪則因反應河水的營力作用，沙洲在此期間沖出一新流路，呈現這段期間較大的變化，相對於其他二個河口，水璉溪河口沙洲地形對河水

的反應快，敏感性亦較大。

階段III、河口沙洲不穩定前期--沙洲變化規模增大：此期間河口沙洲完全反應出陸象的逕流營力，不論在平面或是垂直的形態上皆有顯著的變化，受到河水向海而出的逕流作用，沙洲出水口皆呈現向東情形，並且是重新沖出的出水流路，大多是南向或東南向出水流路偏移而成，可見逕流作用已具相當規模；反觀海象營力在東北季風減弱後，風向逐漸改變，對於河口沙洲的影響已不具關鍵。另外在沙洲剖面的變化中也可發現此時期的沙洲寬度普遍有增加情形，沙洲高度也有下降的趨勢，也呈顯出河水流能在此時期造成的影響程度。

階段IV、河口沙洲不穩定期--沙洲劇烈變化：在海象營力漸減、陸象河川營力漸增下，河口沙洲變得較寬且較低緩，是夏季河口沙洲的主要特色。而颱風事件造成海象波能與陸象逕流作用激增，直接衝擊河口沙洲形態，河口沙洲幾乎解體，對整體河口環境構成十分顯著的影響。

階段V、河口沙洲回復期--沙洲形態逐漸回復：颱風事件的影響通常造成河口沙洲最具規模的變化，儘管沙洲的穩定程度與河川逕流、沙洲粒徑、河口坡降等常態性因子有關，但颱風造成的高能量河海作用卻可能在極短的時距裡使沙洲流失。在颱風極大能量降低後，河海交互作用能再次形成新的沙洲堆積，在河海營力穩定之後，陸續恢復颱風前的狀態。

## 七、結論

台灣地區河川輸沙量豐富，河口在海陸營力的綜合影響下，常堆積成沙洲壩、沙嘴、封閉沙洲等地形景觀，而其堆積形態在不同時距、不同區域、不同營力的作用下，常有顯著的變化。本研究以台灣東部三個河口--水璉溪口、秀姑巒溪口、馬武窟溪口為例，探討河口地形在多項複雜營力的交互作用下，如何在不同時距產生敏感的變動特性，並將焦點著重於年內的短期變動與颱風事件前後的極短期變動。進而綜合其變動特性，初步歸納東部河口地形變動的循環性或週期性。

就長時距來看，東部13個河口85年間(1904-1989年)有半數河口的河口沙洲在250m以上的海岸範圍作內縮或外伸的變動，其變動情形並無規律，顯示河口地形變動不具循環特性。

整體而言，東部三個河口沙洲的形態變動具有短時距的年內循環特性，其河口地形變動情形大致可分為五個階段：1) 穩定期--河口沙洲穩定地向南延伸、2) 偶發變化期--較敏感的河口有偶發性的變動、3) 不穩定前期--沙洲變化規模增大、4) 不穩定期--河口沙洲劇烈變化及5) 回復期--河口沙洲形態逐漸回復。根據近幾年實察得知，其循環週期

大致以一年為準，亦即年中的變化固然存在，但翌年即回復原有形態。東部三個河口中，秀姑巒溪與馬武窟溪並有共同的變化趨勢，而水璉溪的變化則較獨特；水璉溪口會因河海營力的些微變化而有明顯的沙洲形態變動，很直接的反應當時的營力狀況。

另就短時距研究，東部三個河口受到三個侵台颱風的影響，沙洲形態都有變高變陡的現象，只是變動方式及程度上有些差異。但大體而言，三個河口在颱風豪雨逕流及風浪營力侵襲之後，歷經河川搬運堆積與近岸水文回復能力的持續進行，亦能回復到事件發生前的穩定形態。因此，可以說明河口沙洲形態具有突發事件所造成的極短時距的循環特性。

本研究僅針對河口沙洲地形的變動形態與變化量，作不同時距、不同河口的比較分析。至於各項河海營力對於河口沙洲壩地形變動量的定性與定量研究，則待日後進一步探討。

### 謝辭

本文的完成感謝台灣師範大學地理系台灣地形研究室張瑞津教授、沈淑敏副教授及劉明錡、劉盈劭、滕肇芸諸位同仁提供寶貴意見，大學部學生鄭惠銘、林憶伶、陳志嘉、林名環、褚美怡、王靜茹等諸位同學協助野外實測、實驗室分析及繪圖等室內工作，僅此一併致謝。

### 參考文獻

#### 中文部分：

- 王志成(1982)：河口海岸地形變化之模式，台灣大學土木工程研究所碩士論文，94。
- 王鑫(1988)：地形學，聯經出版社，15-19。
- 王寶燦、黃仰松(1989)：海岸動力地貌，華東師大出版社，上海，188-216。
- 石再添、林雪美(1995)：台灣西南部河口地區之地形學研究，師大地理研究報告，23：109-150。
- 石再添、林雪美(1995)：台灣東部河口地區之地形學研究，師大地理研究報告，24，1-38。
- 石再添、張瑞津(1984)：地形營力及地形變化的規模與頻度，中等教育，35(2)：11-14。
- 石再添、張瑞津、林雪美(1996)：台灣北部河口地區之地形學研究，師大地理研究報告，26：57-116。
- 林雪美(1996)：台灣西部地區河口之地形學研究，台灣師範大學博士論文，209。
- 林雪美(1998)：台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，雲南

地理研究所與地理學會，雲南昆明，44-64。

林雪美、林憶伶(1999)：利用自動水準儀計測河口沙洲地形的短期變動—以屏東楓港溪口為例，台灣師大地理教育，25：31-40。

李春初(1997)：論河口體系及其自動調整作用—以華南河流為例，地理學報，52(4)：353-360。

吳玟儒(1998)：屏東地區封閉型河口水文之短期變化特性研究，台灣師範大學碩士論文，98。

陳文俊、郭金棟(1991)：海岸地形變化研究方法之探討，第十三屆海岸工程研討會論文集，457-468。

陳吉餘、沈煥庭、惲才興(1988)：長江河口動力和地貌演變，上海科學技術出版社，454。

黃振浩(1999)：台灣東部河口三角洲地形變遷之研究，成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，190。

張喬盛(2001)：花東海岸河口沙洲形態短期變動之研究，台灣師範大學碩士論文，131。

湯麟武(1964)：台灣河川河口問題之研究，台灣銀行季刊，15(1)：66-76。

劉平妹、王鑫、許民陽(1991)：台灣海岸地區之地形演變，台大地質系專題研究報告，74。

鄧國雄(1985)：地形學的新觀念，文化大學大夏地理，4：1-6。

簡仲和(2001)：近自然工法應用於海岸防護之雛議，海岸防護研討會論文集，經濟部水利處 4-1~4-16。

謝正倫(1992)：河口地形變化之試驗研究，成大水利及海洋工程系，70。

謝欽春、李伯根、夏小明、李炎(1994)：浙江甌江口南岸潮灘相帶的時空變化，地理學報，49(6)：509-516。

曰文部分：

平山健一、堺茂樹、笛本誠(1994)：岩手縣内の中小河川の河口變動，第一回河口海岸集會特集，4-1。

西田明等(1989)：岩手縣内の中小河川河口調査，海岸工學論文集，37：486-490。

寺中啓一郎等(1990)：福島縣河川の現地調査，海岸工學論文集，41：349-353。

宇多高明、山本幸次(1990)：鈴鹿川河口周邊海岸における海岸漂沙量と漂沙の移動高，地形，10(2)：113-119。

貝塚爽平(1998)：地形發達史，古今書院，184-189。

長林久夫(1995)：福島縣中小河川の河口變動特性，第2回河口海岸集會特集，9-1~9-4。

- 前川勝朗、大久保博(1995)：最上川河口砂洲の變遷，第2回河口海岸集會特集，8-1～8-2。
- 清水琢山等(1985)：鮫川河口部短期地形變化の現地調査，海岸工學論文集，32：395-399。
- 堺茂樹、高橋徹、浜崎直行、笛本誠、平山健一(1994)：岩守縣内中小河川の河口動特性の河口變動指標，海岸工學論文集，41：486-490。
- 野村和正、宇多高明、因幡昭義、宮内利夫(1986)：阿武隈川河口砂洲の變形について，土木學會第33回海岸工學講演論文集，267-271。
- 須賀堯三(1993)：河川工學，朝倉書局，120-126。
- 澤本正樹、首藤伸夫、谷口哲也(1987)：阿武隈川河口砂洲の變形過程，土木學會論文集，387(II-8)：179-188。
- 澤本正樹等(1990)：東北地方の主要河川の比較河口學，文部省科學研究補助會總和研究(A)，136。

#### 英文部分：

- Bird, E.C.F. (1996): Causes of Beach Erosion, Beach Management, chapter3, John Wiley & Sons, 79-110.
- Cooper, J.A.G., Mason, T.R., Reddering, J.S.V. & Illenberger, W.K.(1990): Geomorphological Effect of Catastrophic Flooding on a Small Subtropical Estuary, Earth Surface Processes and Landform, 15: 25-41.
- Cooper, J.A.G. (1994): Sedimentary Process in the River-dominated Mvoti Estuary, Geomorphology, 9: 271-300.
- Dyer, K.O. (1986): Estuarine and Coastal Sediment Dynamics, John Wiley, New York, 341.
- Fairbridge, R.W. (1980): The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle, Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries, 1-35.
- Galloway, W.E. (1975): Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems, 87-98.
- Pethick, J. (1986): Estuarine, An Introduction to Coastal Geomorphology, Edward Arnold, 194-198.
- Prandle D. (1992): Dynamics and Exchanges in Estuaries and the Coastal Zone, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies, 40: 631.
- Martinez, P.A. & Harbaugh, J.W. (1993): Simulating Nearshore Environments,

- BPCC Wheatons Ltd., 6-35.
- McManus, J. (1998): Temporal and Spatial Variation in Estuarine Sediment- action, Estuaries, 21(4a): 622-634.
- Sawamoto, M. & Shuto, N. (1988): Topography Change due to Floods and Recovery Process at the Abukuma, Coastal Engineering in Japan, 30(2): 99-117.
- Schumm, S.A. (1988): Variability of the Fluvial System in Space and Time, Scales and Global Change, chapter 12, 225-250.
- Thorn, C.E. (1998): Introduction to Theoretical Geomorphology, Allen & Unwin Inc., 24-32.
- Walker, D.J. & Jessup, A. (1992): Analysis of the Dynamic Aspects of River Murray Mouth, South Australia, Journal of Coastal Research, 8(1): 71-76.

收稿日期：90年4月2日  
修正日期：90年5月28日  
接受日期：90年5月30日