

## 台灣東北部福隆海灘類型和裂流分布 之長期變動研究

### The Changes at Long Time Scale on the Beach Type and Rip Current of the Fulong Beach in the North Coast of Taiwan

林雪美<sup>a</sup>黃翊翔<sup>b</sup>沈淑敏<sup>a</sup>

Hsueh-Mei Lin   I-Hsing Hwang   Su-Min Shen

#### Abstract

According to long term studies from America, Brazil, and Australia, about 90% of drowning incidents were caused by rip currents. It needs researches on the beach safety to investigate the causes. In the past, the beach classification method based on morphodynamics proposed by Wright & Short etc. discussed the influences of process on sand bars and rip currents. Supported by previous studies, we know that the Fulong Beach is not only influenced by waves and tides, but also by the run-off from Shuangsi River. This research is based on a theory developed by Wright & Short in 1984, yet it's purpose is to investigate the profile of Fulong Beach and distributions of rip current by implementing longitudinal data of aerial photos and digitized locations of rip channel. Another significant purpose is to discuss the elements which cause the time and spatial change.

To discuss the time difference, the major types of Fulong Beach were mostly TBR in the winter, and LTT and REF in the summer. The reason Fulong Beach being the dissipative in the second half year was due to the difference of wave energy. The spits of Shuangsi River were influenced by the run-off, indeed the dynamics of the river mouth can not be classified from Wright and Short's theory. This research is based on the direction of river run-off, to define the classification for the types of sand bar of Shuangsi River. The results show the dissipative beach states and various landforms of the Fulong beach near the river mouth in winter than in summer. To discuss the spatial difference, with the same time period, the southern beach was more dissipative than the one of the north. The reason behind that is the reef and rock which cause greater bed load for reflective conditions. However, cross-shore currents have always existed on the southeastern beach due to river runoff and sea embankments.

<sup>a</sup> 國立台灣師範大學地理學系副教授，通訊作者 (e-mail:linhm@ntnu.edu.tw)。

<sup>b</sup> 國立台灣師範大學地理學碩士。



**Keywords : beach safety, beach state, rip currents, time and spatial change**

## 摘 要

巴西南部海灘研究顯示，海灘意外的成因中有 90% 是來自裂流帶來的危害。鑑於國內海灘意外事件頻傳，裂流既為海灘危險的重要因子，管理當局實有必要針對海灘安全的議題加以探討。過去有關海灘模式研究的理論基礎和分類，主要來自 Wright、Short 等多位學者於澳洲海灘進行的研究，其探討海灘營力機制對水下沙洲和裂流變化的影響。福隆海灘有雙溪注入，受到波浪、潮汐等海灘營力的影響，其海灘類型和裂流分布勢必也會受到河口逕流的影響。本研究即以 Wright 等人於 1984 年發表的海灘模式理論為基礎，透過航照的判讀，來探討福隆海灘長期以來海灘類型和裂流分布的時空間變動，並討論造成其差異的原因。

就時間而論，福隆海灘冬季海灘類型以倒轉沙洲與裂流型(TBR)為主，夏季則以反射型(REF)至低潮位階地型(LTT)為主。探討冬半年海灘類型較夏半年偏消散之因，為波浪營力的不同所致；河口附近受逕流切穿的影響，其河口海灘類型無法適用於 Wright 的海灘模式理論。本研究依河口逕流的流向為指標，對雙溪河口沙洲水下沙洲形態加以分類。結果發現福隆海灘冬季河口海灘類型不僅較偏消散的情形，其河口變化遠大於夏季河口海灘形態的變化。就空間而論，相同拍攝時間內，海域南側海灘類型較北側偏消散；造成其差異的主要成因則是局部礁岩的影響，使得海床粒徑較大，海灘類型因而偏向反射型，裂流頻數也比較低。然而不論任何時間，海域東南端受到河口切穿和人工堤防建造的影響，皆有固定離岸方向水流的存在，對於海灘遊憩者而言，需避免到該地戲水。

**關鍵詞：**海灘安全、海灘類型、裂流、時空間變動

## 前 言

據巴西南部海灘研究顯示，海灘意外的成因中有 90% 是來自裂流帶來的危害(Klein 等 2003)。所以若能將海灘分類，了解各類型海灘地形的時空變動特性、敏感性，用以評估其海灘的安全性，俾能達泳憩減災、防災的效果。

今日人們於海灘主要的遊憩空間為衝浪區，然而衝浪區具敏感性，隨時都在變化；隨著波浪條件的不同，其形態就會產生時空間的變化。因此探討影響衝浪區地形變化之營力時，大多探討波浪、潮汐等小尺度營力作用的影響，其他更長時距方能看出地形變化的營力作用，便不在探討的範圍之中。針對波浪、潮汐等營力對地形的影響，Wright and Short (1984: 93-118) 利用地形動力學的方法解釋衝浪區的海灘作用，根據長期水工實驗和野外考察的結果，提供海灘類型參數  $\Omega$ ，其和營力的關係如下所示：

$$\Omega = H_b / TW_s \dots\dots\dots (1)$$

其中  $H_b$  代表碎浪高度、 $T$  代表波浪週期、 $W_s$  代表沙粒沈降速度。在小潮差環境下的海灘形態，根據波高、沙粒的不同，發展出不同的海灘類型模式，而這些海灘模式也有相對應之裂流系統的發展：主可分為消散型(Dissapative，簡稱 DIS， $\Omega > 6$ )、中間型(Intermediate， $1 < \Omega < 6$ )、



反射型 (Reflective, 簡稱 REF,  $\Omega < 1$ ) 三種海灘, 其中中間型海灘部分, 由  $\Omega$  大至小, 又可區分為中間第一型的沿岸沙洲-槽系統 (Longshore bar trough, 簡稱 LBT)、中間第二型的規律沙洲槽系統 (Rhythmic bar and beach, 簡稱 RBB)、中間第三型的橫向沙洲與裂流系統 (Transverse bar and rip, 簡稱 TBR)、中間第四型的低潮位階地系統 (Low tide terrace, 簡稱 LTT) 等四種系統, 將海灘共分為六種類型。並且指出這六種海灘類型的演育過程: 在隨著波浪營力減少的過程中, 海灘類型會逐漸偏向反射的類型。其海灘模式不僅適用於澳洲, 亦適用於其他國家的海灘, 如美國、荷蘭、巴西等地 (Short, 1985: 47-71; Wright 等, 1986; Huntley and Short, 1992: 211-225; Brander, 1999; Short and Brander, 2000; Brander and Short, 2000: 27-39; Klein 等, 2003: 107-116; Benedet 等, 2004a; 湯凱齡, 2005; Thornton 等, 2007; Tuner 等, 2007: 209-221)。

湯凱齡 (2005) 也曾以 Wright and Short (1984 93-118) 的海灘模式為依據, 將台灣北部海岸沙灘進行海灘的分類, 進行兩地海灘類型的比較, 但是其研究區侷限於白沙灣、金山兩地, 東北部福隆海灘的海灘則尚未納入分類比較。福隆海灘位於北部海岸遊憩人數最多的海灘遊憩區, 實有必要探討其水下沙洲和裂流變化, 以維其遊憩安全。因此本文以福隆海灘為主要研究區, 參考 Wright and Short (1984) 提出的海灘模式, 進行近三十年來福隆海灘海灘類型和裂流分布的長期時空分布趨勢, 並討論造成其時空分布的成因, 以提供未來進行海灘安全性評估的參考依據。

## 研究區概況

福隆海灘位於台灣東北角, 北為核四重件碼頭, 東南為福隆挖子漁港, 沙灘走向為西北—東南向, 金黃色的細沙綿延, 不僅為北台灣珊瑚主要群聚的地區, 廣大的沙灘更是從事海灘遊憩活動的天堂。

就地質環境而言, 福隆海灘位於鼻頭角和三貂角之間, 為第三系岩性較軟弱之地層分布區, 經過侵蝕後形成寬廣的雙溪灣 (石再添等, 1996: 57-115)。海域北端有石碇溪和鹽寮溪等河流注入, 南端則有較大的雙溪入海, 為注入東北角海域較大型的河流, 屬台灣次要河川之一。上游發源於雙溪中坑, 海拔 676m, 於福隆和龍門二聚落間出海, 在河口處形成一大片沙洲地形, 也在雙溪河口以北的鹽寮海岸形成 3km 長的海灘。

就波浪和潮汐作用而言, 自成大近海水文中心於福隆海灘鹽寮沙灘外海 1km 所設置之波浪浮標所得 2006/4-2007/7 間的波浪資料顯示: 夏季平均示性波高 0.74m, 冬季平均示性波高 1.3m, 最大可達 4.0m 以上。就潮汐作用而言, 據台電鹽寮潮汐測站顯示, 本區平均潮差為 0.55m, 因此本區的海灘地形塑造較不受到潮汐的影響。就波浪-潮汐營力的比較, 波浪營力比較明顯, 符合 Wright and Short (1984: 93-118) 海灘分類模式之環境條件。



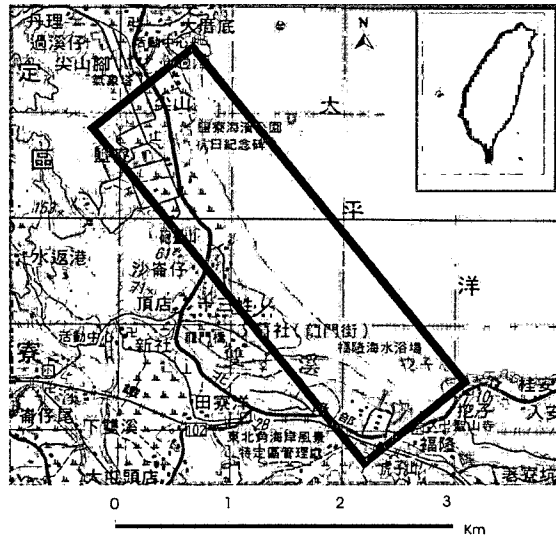


圖 1 研究區位置圖

## 研究方法

蒐集歷年的航空照片資料，先定位再針對福隆海灘進行水下沙洲、水線的判讀，及裂流位置的數化，以了解近二十五年來福隆海灘類型和裂流分布的變動情形。研究流程如下：

### （一）資料的收集

福隆海灘目前可取得度較高解析度的航空照片，為行政院農委會農林航空測量所每年拍攝出版的黑白或彩色航空照片，最早的年份為 1979 年，最晚的航照年份則為 2003 年。其天氣大多為晴朗無雲的狀況，然而某些航照的海面因為太陽反光而看不清楚水下沙洲的狀況，因此無法判釋其海灘類型。

### （二）海灘灘面變化趨勢

於進行海灘類型判釋之前，需先了解福隆海灘數十年以來海灘灘面的變化趨勢，若呈現穩定的狀態，便可得知長期以來沙灘沙粒傳輸呈現收支平衡的狀態，如此一來，便能夠在進行歷年海灘類型判釋之時，可以去除海灘對外輸沙供應對海灘類型影響的問題，對海灘的分類也較具有意義。本文即針對歷年航照，於 ARC GIS V9.1 軟體下，進行福隆海灘面積的計算（圖 2）。

面積的計算不考慮潮汐和風浪之影響，對灘面面積的比較影響並不大，因為福隆海灘之平均潮差僅為 0.55m，在這樣小潮差的環境下，其漲退之間所導致之面積差異變化原本就不大；而風浪的影響部分雖然也會影響灘面面積計算時的誤差，但是計算灘面面積的目的為比較長期海灘灘面面積的趨勢，從中了解是否呈現大致穩定的灘面變化，因此，不考慮潮汐和風浪對於福隆海灘灘面變化的影響。從圖 2 可大致看出福隆海灘的灘面變化隨著時間不同而有所增減。整體而言，灘面面積變化大致呈現穩定不變的狀態，並非持續侵蝕或持續堆積，如此可進一步進行福隆海灘類型的判釋，用以得知長期以來福隆海灘的主要海灘類型。



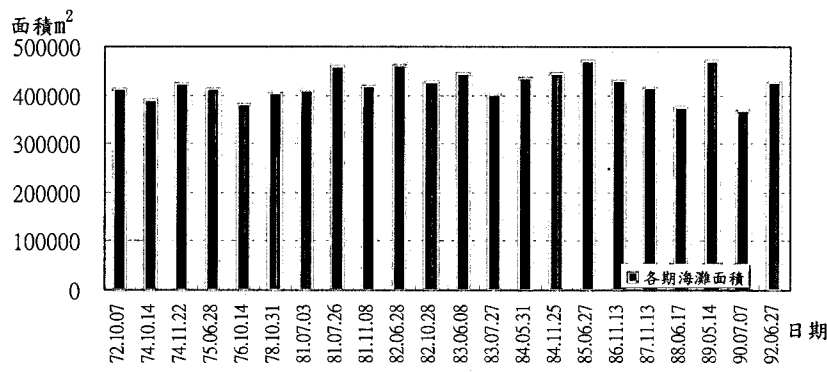


圖 2 福隆海灘長期海灘面積變化

### 三、海灘類型和裂流判釋標準

以 Wright and Short (1984: 93-118) 提出的海灘模式理論為基礎，根據其提出的各海灘類型之海灘水下沙洲平面模式，作為進行航照判釋福隆海灘類型之依據。由 Wright and Short (1984: 95-118) 提出的海灘模式 (圖 3)，可發現各海灘類型水下沙洲分布之情形。

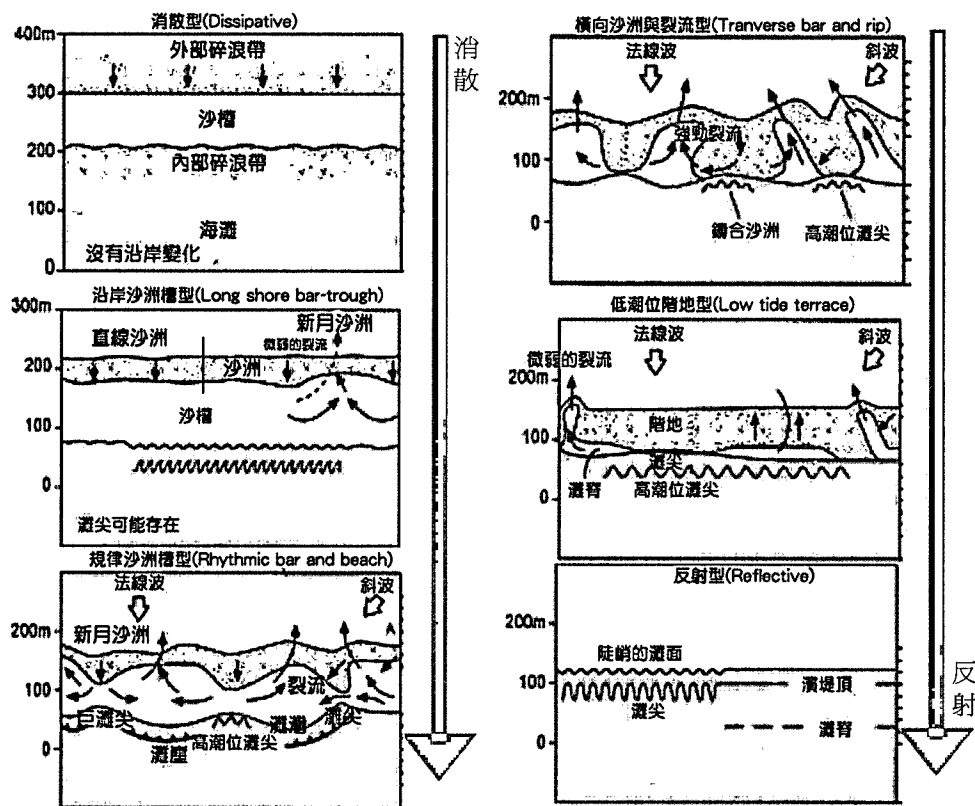


圖 3 各海灘類型之水下沙洲示意

資料來源：Short (1999)



然而透過航照的拍攝，是否可以觀察到其水下沙洲的情形？如圖 4 所示，圖中水域淺色部分則為已鑄合之淺化沙洲（shoals），隨著波浪向陸淺化的過程，白色碎浪線便產生，而兩道平行海岸的碎浪線中間則呈現斷掉的現象，形成水域較深的地區，即為裂流道的位置，此外，海灘灘面的形態也呈現出峰谷交替的曲線，此即為灘尖（beach cusps）系統。航照判釋過程中，可以清楚看到海灘水下沙洲和灘尖系統的分布，雖然無法看到濱堤的高度或陡緩，但就指標選取過程中，並不會影響到各海灘類型判釋的標準。其判釋標準經由修正後，如表 1 所示，並配合圖 3 之水下沙洲模式圖，各型判釋結果之範例如圖 5 至圖 10 所示。

裂流位置數化的過程，由於裂流常常並非以垂直離岸方向流出外海，為將數化的標準統一，水域深色部分為裂流道，白色部分則為碎浪線（圖 4），研究者以第一道碎浪線之間水域深色的中間點，當作裂流位置點的所在，並製作一條大致平行海灘灘面的線段（離海灘濱線大致 200m），將各裂流位置點，作一條鉛垂線到該線段，其交點即為各裂流位置的沿岸距離。如此便可得知各裂流位置的空間分布情形，其中沿岸距離 0 的位置在福隆海灘眾件碼頭防波堤的南側，亦為福隆海灘沙灘分布的最北側，往東南方沿岸距離便持續遞增。

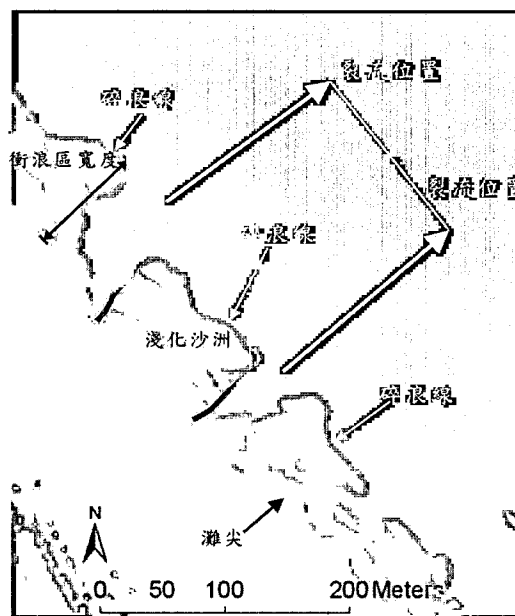
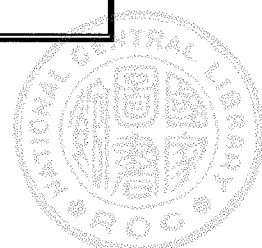


圖 4 航照判釋之水下沙洲形態和裂流位置示意

表 1 航照各海灘類型判釋對照表

| 海灘類型                    | 判讀指標                                                                                           |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DIS</b><br>(消散型)     | 衝浪區>200m；有多條主碎浪線，碎浪之間存在沙槽；碎浪線呈現連續的線；無裂流存在。                                                     |
| <b>LBT</b><br>(沿岸沙洲-槽)  | 衝浪區 150-250m；有兩道主碎浪線，中間有一清楚的槽；裂流少數且呈不規律分布。                                                     |
| <b>RBB</b><br>(規律沙洲與海灘) | 衝浪區寬 100-150m；沿岸水下沙洲沿著海岸線呈現新月型分布，其尖端向陸地延伸；有兩道主碎浪線，中間有一沙槽，並呈現規律斷掉的現象；裂流呈現規律分布，其間格從 250-700m 不等。 |
| <b>TBR</b><br>(橫向沙洲與裂流) | 衝浪區寬 50-100m；海濱的淺灘和水下沙洲尖端連接在一起，此時已無平行海岸線的沙槽存在；主碎浪線一道，且呈規律斷掉；裂流呈規律分布，沿海岸線每 150-250m 就會出現裂流。     |
| <b>LTT</b><br>(低潮位階地)   | 衝浪區寬 20-50m；無平行海岸線沙槽；主碎浪線一條，呈現不規律斷掉。沿海岸線出現小而淺的裂流道，部分裂流道已完全堆積。                                  |
| <b>REF</b><br>(反射型)     | 無衝浪區；無平行海岸線沙槽；主碎浪線一條，浪直接到岸邊才碎裂，且呈現連續的現象；無裂流存在。                                                 |

資料來源：Wright and Short (1984：93-118)、Short (1999)



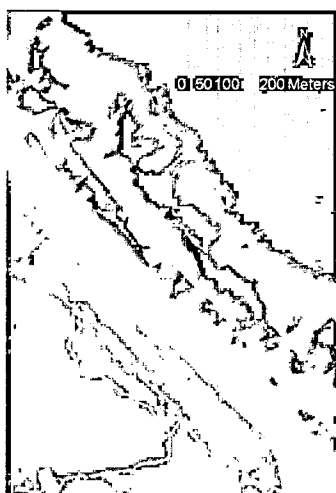


圖 5 福隆航照海灘類型

判釋—DIS 型

註：寬廣的衝浪區，無裂流  
(拍攝時間：1993/10/9)

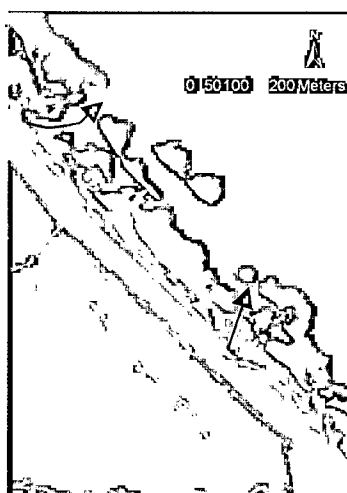


圖 6 福隆航照海灘類型

判釋—LBT 型

註：箭頭部分為裂流道  
(拍攝時間：1992/11/8)

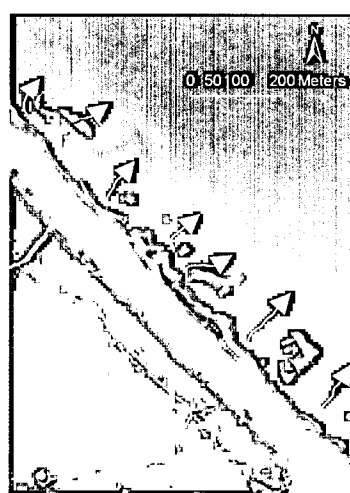


圖 7 福隆航照海灘類型

判釋—RBB 型

註：箭頭部分為裂流道  
(拍攝時間：1997/11/13)

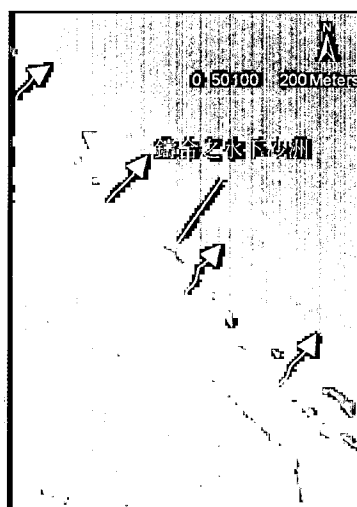


圖 8 福隆航照海灘類型

判釋—TBR 型

註：箭頭部分為裂流道  
(拍攝時間：1995/11/25)

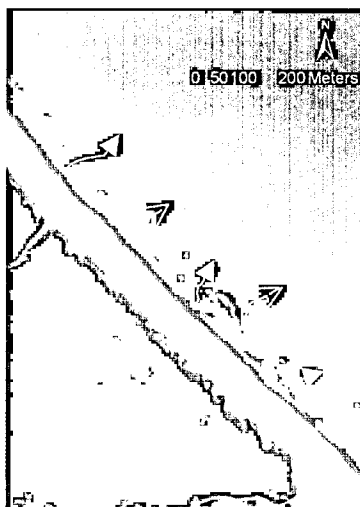


圖 9 福隆航照海灘類型

判釋—LTT 型

註：箭頭部分為裂流道，虛線部分則  
是已堆積之裂流道  
(拍攝時間：2003/6/27)

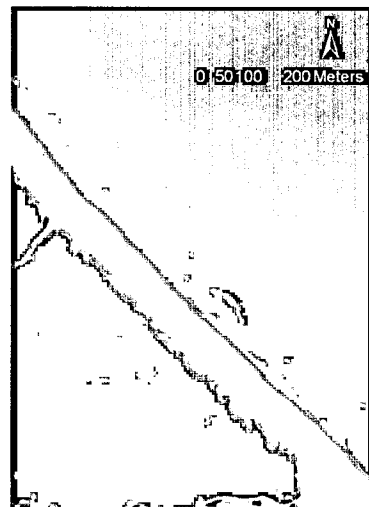


圖 10 福隆航照海灘類型

判釋—REF 型

註：白色浪花直接打到岸邊，無裂流  
(拍攝時間：1999/6/27)

在判釋海灘類型之空間尺度上，空間尺度大者如範圍超過 1km 可就整體區域海灘段討論 (Wright and Short, 1984: 93-118; Short, 1985: 47-71)，尺度小的則可就單一海灘沈積胞 (cell) 進行探討，(Wright and Short, 1984: 93-118; Short and Hogan, 1994: 197-209; Brander, 1999; Brander and Short, 2000: 27-39; Ranasinghe 等, 2004)，範圍可小到 500m 不到。因此，進行海



灘類型的過程中，針對每一個沈積胞進行海灘類型的判釋，並比較各段海灘類型空間分布的情形。

#### (四) 河口海灘類型判釋標準

在航照判釋的過程中發現，福隆海灘由於受到河口逕流作用的影響，河口海灘類型無法適用於 Wright and Short (1984: 93-118) 的海灘模式理論。據觀察的結果，其河口海灘的形態常受到河口逕流切穿的影響，河口逕流經過之處，往往會形成水域較深的沙槽，因此，乃參考 Wright (1977: 857-868) 和林雪美 (1996) 的河口研究，以河口逕流的流向為指標，對雙溪河口沙洲水下沙洲形態加以分類。根據航照觀察的結果，河口逕流呈現三種流路方式：河口沿岸逕流、河口斜角逕流、河口離岸逕流（圖 11）。此外，根據河口海灘消散的情況，分為消散或反射的狀態，據研究者的觀察，大致以海域主要海灘類型的 TBR 型為界，DIS 型-RBB 型偏消散，而 LTT 型-REF 型偏反射。其判釋標準如表 2 所示：

表 2 航照雙溪河口海灘類型判釋歸納表

| 項目      | 判釋標準                                                         |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| 河口沿岸逕流  | 河口逕流出海沿著左岸岸邊切穿形成沙槽。                                          |
| 河口斜角逕流  | 河口出海直接往左側切穿形成的沙槽，其沙槽不沿著岸邊。                                   |
| 河口離岸逕流  | 河口出海直接往離岸近垂直方向切穿而形成的沙槽。                                      |
| 灘面消散或反射 | 端視河口左側海灘的碎浪狀況。若碎浪線離岸邊遠且呈兩條以上主碎浪線者為消散；若碎浪線離岸邊近且只有一條主碎浪線者則為反射。 |

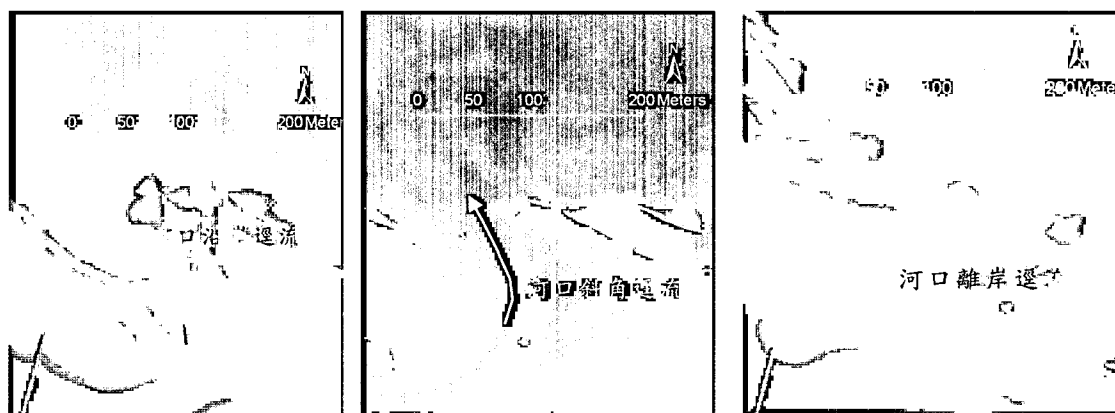


圖 11 福隆海灘類型航照河口逕流流向之判釋





## 海灘類型和裂流分布

針對福隆海灘 1979 至 2003 年間 31 個不同時間點拍攝之 41 張航照，拍攝時間主要集中在 5-7 月或是 10-1 月份。由於台灣東北部的冬夏營力有所差別，因此將 5-7 月歸為夏半年，而將 10-1 月歸為冬半年，分別進行海灘類型的判釋。

### (一) 海灘類型時空間分布

各期航照進行海灘類型判釋的過程中，即使是相同的時間拍攝，海灘類型仍會是有空間上的差異。本文應用 ARC GIS V9.1 軟體，以防波堤南側礁岩為沿岸距離零之起點，往東南沿岸至雙溪河口之右岸，其總長約 3km 左右，將整段海灘利用航照判釋對照表加以劃分，得到各期航照之海灘類型劃分界線，並將各分段進行沿岸距離的計算，用以得知各期海灘類型之空間分布。再根據計算出來的各期海灘類型沿岸距離，加以進行統計，歸納出以下海灘分區（圖 12、圖 13）。就冬、夏半年海灘分區來計算其海灘類型分布的沿岸總距離，其距離最大者，即用以代表該季節海灘分區下的主要海灘類型（圖 14）。就冬半年而論，主要海灘類型為 TBR 型-LTT 型等中間型海灘為主；而就夏半年而言，其海灘主以 LTT 型-REF 型等近反射型海灘為主。就空間而論，海灘的南部較北部為消散的狀態。

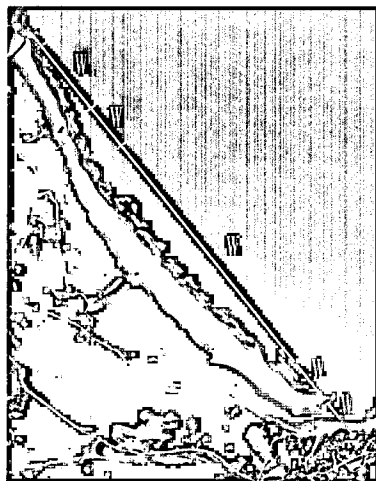


圖 12 福隆海灘航照冬季海灘區段劃分圖

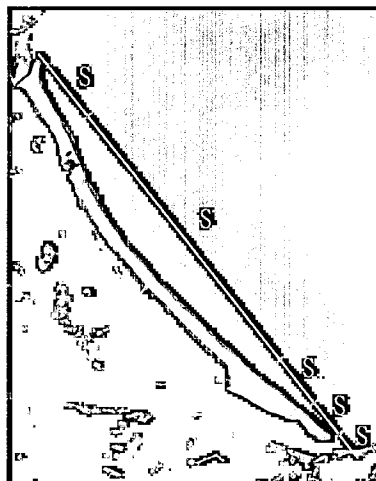


圖 13 福隆海灘航照夏季海灘區段劃分圖

### (二) 河口海灘類型判釋

而海域最南側的  $W_R$  和  $S_R$  區由於河口逕流的影響，在此另外進行探討。

在此分別進行冬半年、夏半年河口海灘類型的判釋。首先就海灘消散的狀態而論，冬季河口海灘消散、反射形態皆有出現，而夏季河口海灘幾乎呈現偏反射的形態；從河口流路形式而論，冬季河口各種流路形式常常交互出現，亦可能三者都不出現；夏季僅出現河口的離岸流路。因此，由各期河口海灘形態的判釋便可以得知，福隆海灘冬季河口海灘類型不僅較偏消散的情形，其河



口變化遠大於夏季河口海灘形態的變化。

### (三) 裂流時空變化

本研究以上述海灘類型的海灘分區為基礎，在各期冬、夏已定位之航照上，於 ARC GIS V9.1 將各海灘段進行福隆海灘的裂流位置數化；之後將其裂流數化結果，計算冬、夏季航照各裂流分佈位置的沿岸距離；最後再根據各海灘段航照裂流數和裂流分佈沿岸距離的計算成果，計算出各海灘段的裂流頻數，用以得知海灘地區容易發生裂流的時間和空間，以及各海灘類型裂流發生頻數之差異。

#### 1. 冬夏裂流發生頻數之時空間差異

分別依據冬半年和夏半年航照，繪製各期海灘各分區的裂流位置（圖 15、圖 16），統計結果如表 3 和表 4 所示：

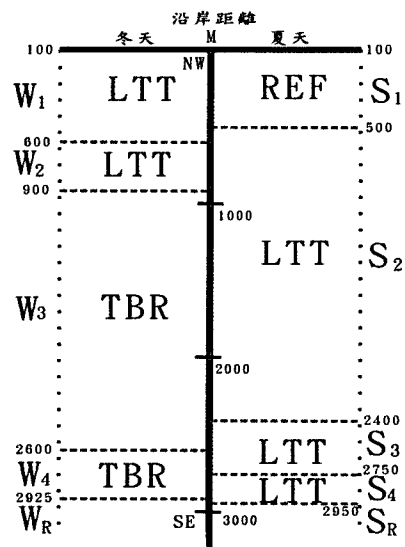


圖 14 福隆海灘航照冬、夏半年各分區的主要海灘類型

(S:夏半年海灘分區、W:冬半年海灘分區)

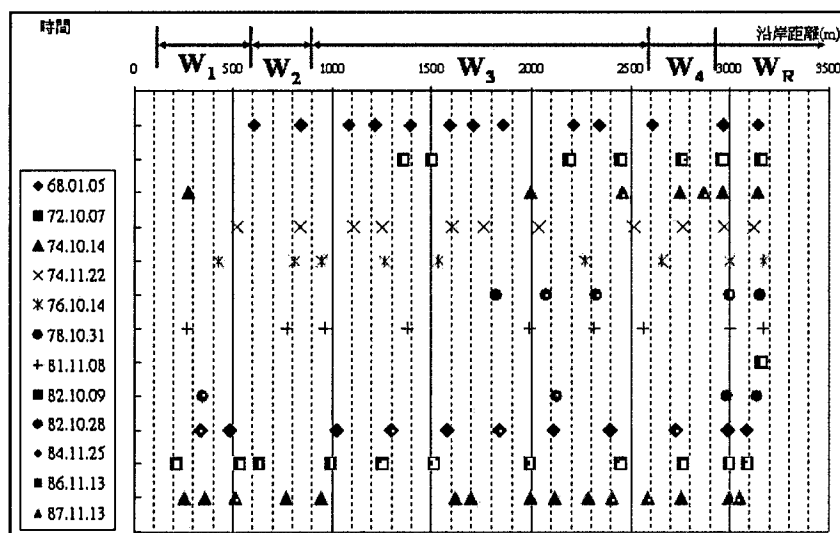


圖 15 福隆海灘冬季航照裂流位置分布圖



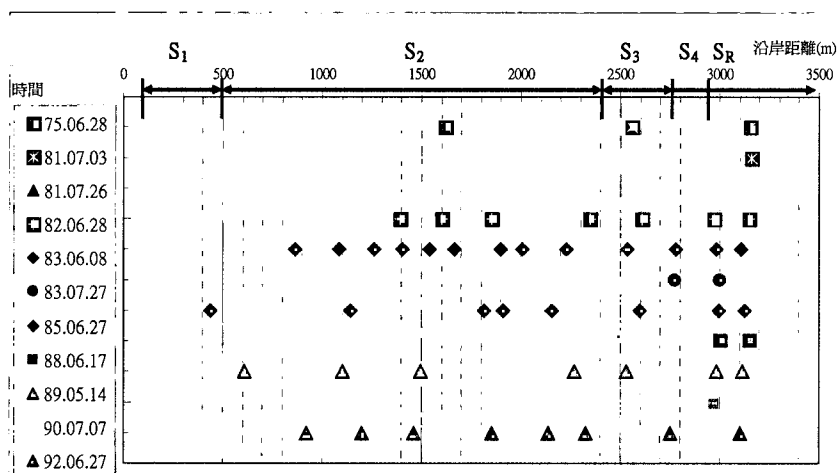


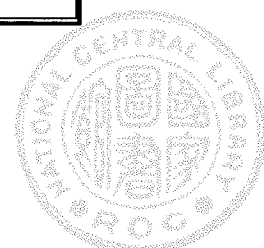
圖 16 福隆海灘夏季航照裂流位置分布圖

表 3 福隆海灘冬季各海灘分區的裂流頻數

| 海灘分區           | 分區沿岸<br>總距離(m) | 裂流數 | 裂流頻數<br>(裂流數/km) |
|----------------|----------------|-----|------------------|
| W <sub>1</sub> | 6,000.00       | 12  | 2.00             |
| W <sub>2</sub> | 3,600.00       | 7   | 1.94             |
| W <sub>3</sub> | 20,400.00      | 52  | 2.55             |
| W <sub>4</sub> | 3,911.42       | 9   | 2.30             |
| W <sub>R</sub> | 2,884.10       | 23  | 7.98             |
| Total          | 36,795.52      | 103 | 2.80             |

表 4 福隆海灘夏季各海灘分區的裂流頻數

| 海灘分區           | 分區沿岸<br>總距離(m) | 裂流數 | 裂流頻數<br>(裂流數/km) |
|----------------|----------------|-----|------------------|
| S <sub>1</sub> | 4,400.00       | 1   | 0.02             |
| S <sub>2</sub> | 20,900.00      | 27  | 1.29             |
| S <sub>3</sub> | 3,816.05       | 8   | 2.10             |
| S <sub>4</sub> | 2,043.73       | 2   | 0.10             |
| S <sub>R</sub> | 2,592.66       | 18  | 5.79             |
| Total          | 33,752.44      | 56  | 1.66             |



就冬、夏半年整體而論，冬天海灘的平均裂流頻數為 2.80 個/km，較夏天海灘的裂流頻數 1.66 個/km 為高；就空間而論，若就冬季而言，仍以  $W_3$  區、 $W_4$  區的裂流頻數較高，分別為 2.55 個/km、2.30 個/km，海灘北段的  $W_1$ 、 $W_2$  兩區稍低，分別為 2.00 個/km、1.94 個/km。而在南端河口  $W_R$  區的裂流頻數最高，達到 7.98 個/km。就夏季而言，福隆鹽寮海灘以南段的  $S_2$  區和  $S_3$  區的裂流頻數較高，北端的  $S_1$  區和  $S_4$  區裂流則鮮少看到。而在南端的河口  $S_R$  地帶則裂流頻數仍是最高，也有 5.79 個/km。因此不論冬季或是夏季，其河口區的裂流頻數皆高。

## 2. 各海灘類型下之裂流頻數差異

各海灘類型裂流間隔的計算為裂流總數/該海灘類型之沿岸總距離的結果（表 5），其中 DIS 型和 REF 型由於沒有裂流的存在，因此其裂流頻數為 0，平均裂流間隔也無法計算。裂流多發生於中間型的海灘，其中又以 TBR 型海灘類型之裂流頻數為最高，達至 4.49 個/km，平均裂流間隔也僅 223m。此研究成果也和 Short（1985：47-71）研究成果近似。Short（1985：47-71）於澳洲 Narrabeen 海灘計算出來的各海灘類型平均裂流間隔（圖 17），與福隆海灘各海灘類型之平均裂流間隔（圖 18）統計比較，自 DIS-TBR 之裂流間隔皆呈現減小的趨勢，也意謂著裂流分布越來越密集。然而圖 18 也多計算了 LTT 的裂流間隔，相較 TBR 而言，裂流間隔反而增大，裂流分布反而變得較疏散。關於 LTT 裂流較大之因，經由航照的觀察，是 LTT 裂流道部分堆積的結果，於航照有一些因為堆積現象而呈現裂流道水深較淺，甚至似有似無的情況。此和 Wright and Short（1984：93-118）的海灘類型模式理論一致。

表 5 福隆海灘航照各海灘類型之裂流頻數

| 海灘類型         | 類型沿岸<br>總距離(m) | 裂流數 | 裂流<br>頻數 | 平均<br>裂流間隔(m) |
|--------------|----------------|-----|----------|---------------|
| DIS（消散型）     | 3,014.57       | 0   | 0.00     | X             |
| LBT（沿岸沙洲-槽）  | 5,343.25       | 8   | 1.50     | 667.91        |
| RBB（規律沙洲與海灘） | 6,798.35       | 20  | 2.94     | 339.92        |
| TBR（橫向沙洲與裂流） | 11,147.27      | 50  | 4.49     | 222.95        |
| LTT（低潮位階地）   | 25,395.77      | 40  | 1.58     | 634.89        |
| REF（反射型）     | 13,371.99      | 0   | 0.00     | X             |



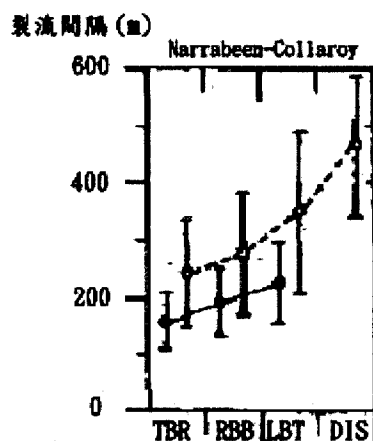


圖 17 澳洲雪梨附近

Narrabeen-Collaroy 各海灘類型平均之  
裂流間隔 (資料來源: Short, 1985)

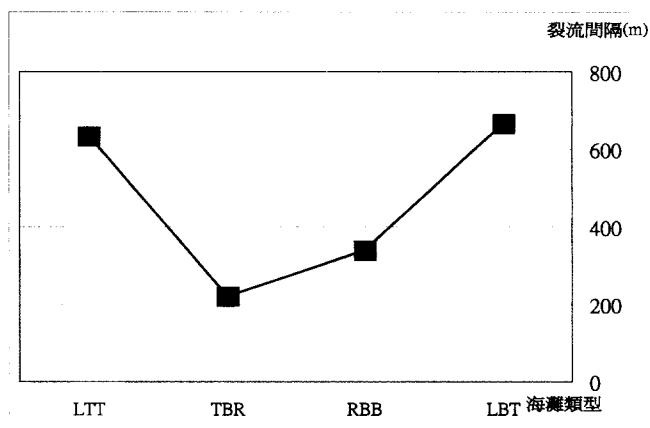


圖 18 福隆海灘航照各海灘類型之平均裂流間隔

## 時空差異成因分析

根據航照長期以來海灘類型的時間分布來看，冬季的主要海灘類型以 TBR 型-LTT 型，夏季卻以 LTT 型-REF 型為主。整體而言，冬季的主要海灘類型較夏季偏消散的狀態。為了能夠探討其間的成因，乃採用公式 1 的概念，來探討海灘類型  $\Omega$  值與波高、波浪週期和沙粒粒徑等營力間的關係。

就波浪營力而言，採用成大 2006 年 s4 月-2008 年 2 月之逐時示性波高波浪營力資料，將營力資料分為冬半年（10-3 月）和夏半年（4-9 月）加以平均計算，用以表示  $\Omega$  中的波高營力和波浪週期營力。

就沙粒沈降速度而言，根據 Stokes (1845) 所提出的沙粒沈降速度 ( $W_s$ ) 之概念：

$$W_s = CD^2 \dots \dots \dots (2)$$

其中  $W_s$  為沙粒沈降速度 (cm/s)； $C$  為常數； $D$  為沙粒粒徑由上式可知，沙粒粒徑越大，其在水中的沈降速度便越快。然而礙於技術和經費的限制，無法直接取得衝浪區的沙樣，因此乃以黃俊彰 (2004) 所測得之濱線沙粒徑間接表示。

就示性波高、波浪週期、濱線沙粒徑等營力和海灘類型的關係，來探討長期以來冬季海灘類型較偏夏季為消散的原因。可知冬、夏季波浪週期 ( $T$ ) 分別為 5.4s、5.8s (表 6)，其差異不大；冬、夏季之乾潮濱線沙平均粒徑差異也不大 (1.76mm、1.61mm)。然則冬季之平均示性波高為 1.304m，夏季卻只有 0.784m，其平均示性波高值相差了近一倍。由此可知，在波浪週期 ( $T$ ) 和沙粒粒徑 ( $W_s$ ) 季節變化不大的條件下，其冬夏海灘類型差異主要則來自於波高營力的不同。



表 6 福隆海灘冬夏季營力統計表

| 項目        | 夏天平均  | 冬天平均  |
|-----------|-------|-------|
| 濱線沙粒徑(mm) | 1.76  | 1.61  |
| 示性波高(m)   | 0.784 | 1.304 |
| 波浪週期(s)   | 5.4s  | 5.8s  |

註：1. 波浪資料來源：成大近海水文中心之福隆波浪浮標資料

2. 乾潮濱線沙粒徑來源：黃俊彰（2004）

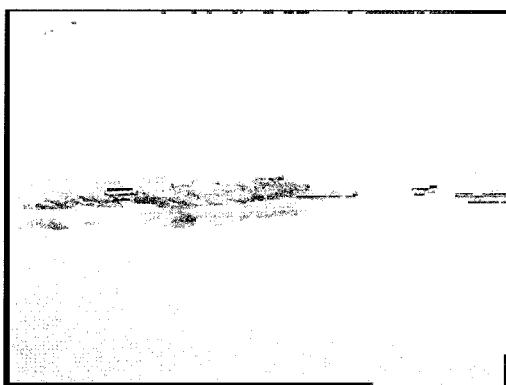


圖 19 福隆海灘北段之礁石分布  
(拍攝時間：2008/8/31)

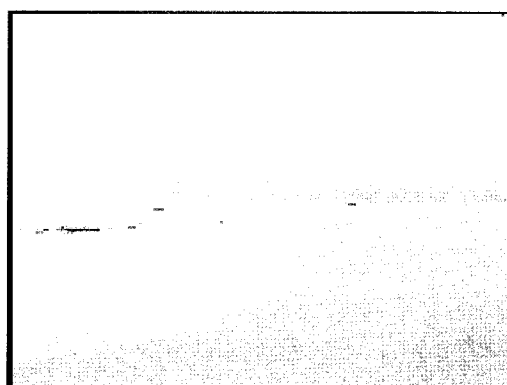


圖 20 福隆海灘南段之沙粒分布  
(拍攝時間：2008/8/31)

就海灘類型的空間差異而言，相同拍攝時間點內，各海灘段之波高和波浪週期理應近似，然而又以北側的海灘類型較偏向反射型，造成其空間差異的原因，若根據  $\Omega$  值的探討，其差別可能來自於粒徑大小的不同。為了能夠探討其粒徑空間分布的差異，逕自到研究區的北段和南段進行野外實察，以找尋相關證據，於實察過程中，發現北側有許多的礁岩或礫石存在（圖 19）。因此，推測海灘北段較偏反射之因，和該地的局部硬岩和礫石有關，海灘粒徑普遍較大。於海灘南段則較偏消散（圖 20），其海灘則全都是沙粒，並無礁岩礫石的存在，海灘粒徑普遍較小。

另就裂流分布時空間差異而論（表 3、表 4），不論冬季和夏季， $W_R$  和  $S_R$  區之裂流頻數皆是最高的。圖 21 中遠方中間顏色偏深的條狀水域，其水深較深，且碎浪不存在，即是河口出口作用產生之離岸水流，其出口方向如箭頭所示。而東南端固定裂流之出現（圖 22、圖 23），乃因岬角地形和人工防波堤所致，使得沿岸流匯聚後流往外海。上述可知位居雙溪河口右岸沙洲的海灘皆有河口逕流和東南端固定裂流的存在，泳者應避免至海域東南端進行戲水的活動。

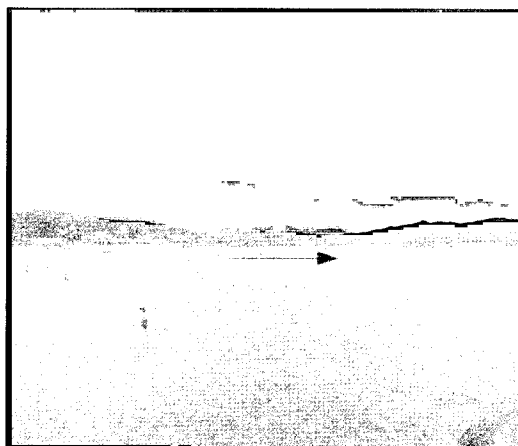
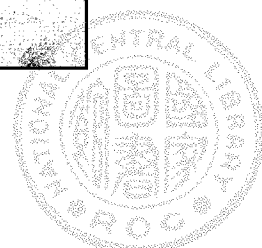


圖 21 雙溪河口切穿之裂流  
(拍攝時間：2008/8/31)



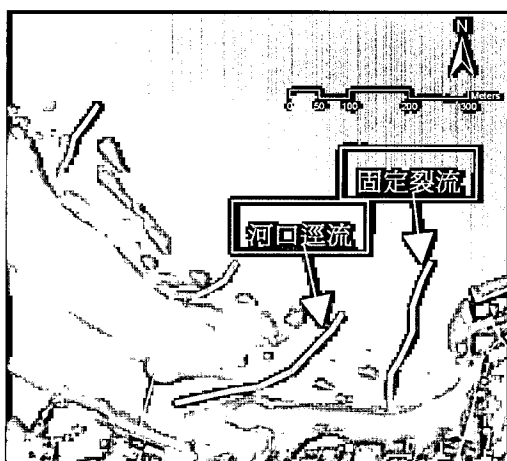


圖 22 福隆海灘冬半年固定裂流位置

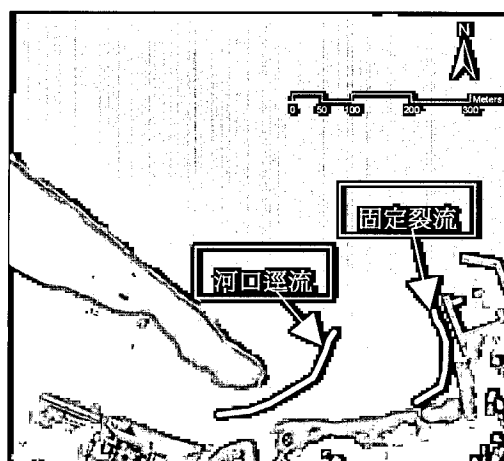


圖 23 福隆海灘夏半年固定裂流位置

若就各期航照之拍攝日期之海灘類型和當日營力作比對（圖 24、圖 25），大致可看出示性波高營力越大者，其海灘類型越偏消散的狀態。然而其樣本數仍明顯不足，且波浪資料站的營力數據並非直接取自福隆外海，因此有關於海灘類型和營力關係之探討，有待短期更多的資料和相對應之當地波浪資料來做比對，方能完整探討。

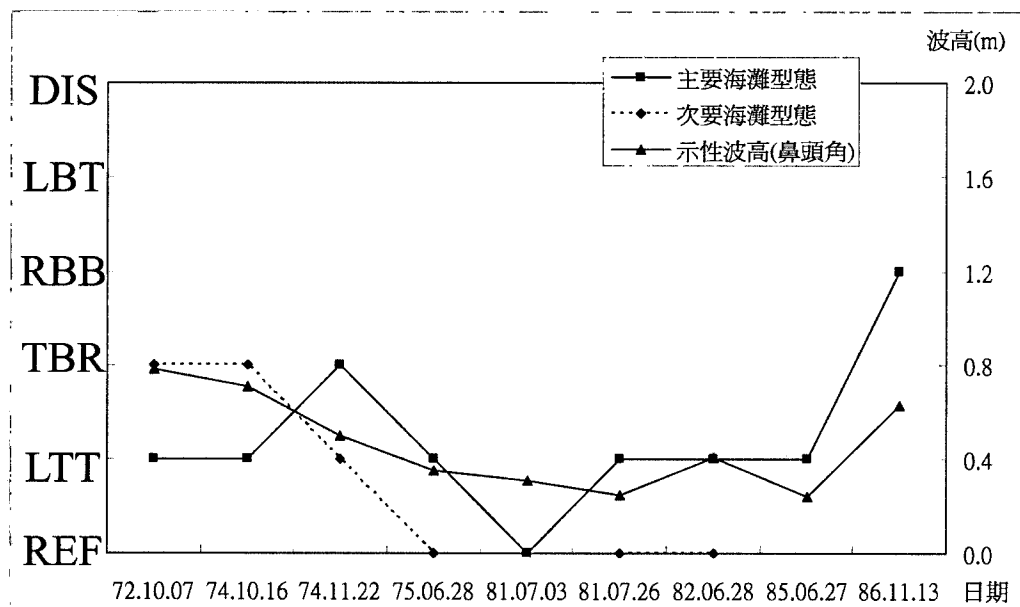


圖 24 福隆航照各期主要海灘類型和鼻頭角波浪資料比對圖



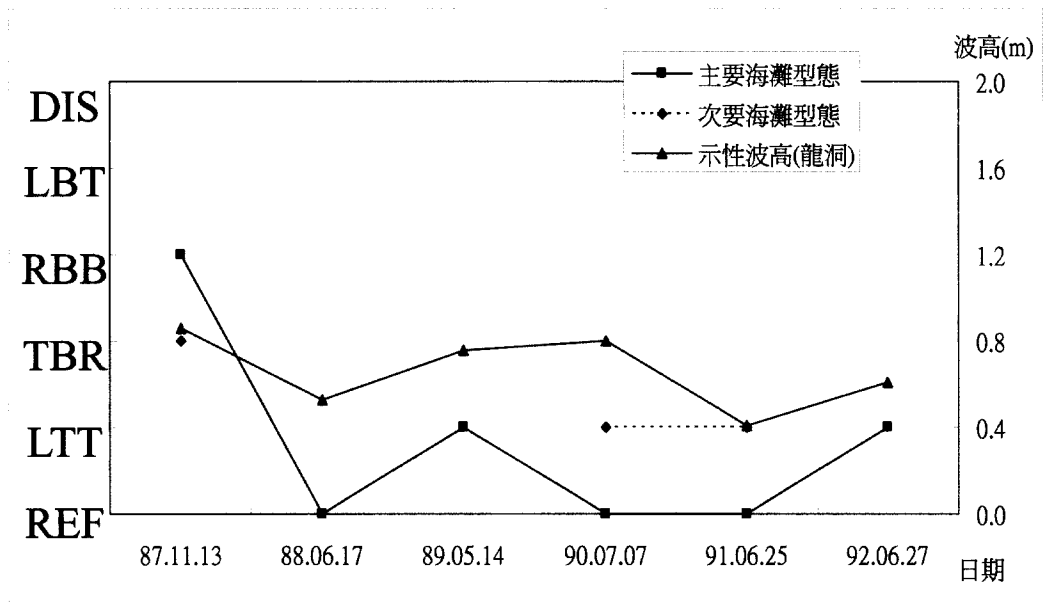


圖 25 福隆航照各期主要海灘類型和龍洞波浪資料比對圖

註：龍洞浮標為 1998-2006 年離福隆海灘最近之波浪測站

## 結 論

本研究以 Wright、Short 等多位學者於 1984 年提出的海灘模式圖為理論基礎，針對台灣東北角福隆海灘進行航照判讀，得知長期以來福隆海灘海灘類型與裂流的時空分布，並探討其分布差異的成因。期盼研究結果除可作為未來短期差異特性分析參考，更能作為海灘管理當局之經營依據。

- (一) 就時間而論，福隆海灘冬季海灘類型以倒轉沙洲與裂流型 (TBR) 為主，夏季則以反射型 (REF)-低潮位階地型 (LTT) 為主。探討冬半年海灘類型較夏半年偏消散之因，為冬季波浪營力較夏季為大所致。
- (二) 河口附近受逕流切穿的影響，其河口海灘類型無法適用於 Wright and Short (1984: 93-118) 的海灘模式理論。乃依河口逕流的流向為指標，對雙溪河口沙洲水下沙洲形態加以分類。結果發現：福隆海灘冬季河口海灘類型不僅較偏消散的情形，其河口變化遠大於夏季河口海灘形態的變化。
- (三) 就空間而論，相同拍攝時間點內，海域南側海灘類型較北側偏消散。造成其差異的主要成因則是局部礁岩的影響，使得海床粒徑較大，海灘類型因而偏向反射型，裂流頻數也比較低。
- (四) 不論任何時間，海域東南端受到河口切穿和人工堤防建造的影響，有固定離岸方向水流的存在，對於海灘遊憩者而言，需避免到該地戲水。



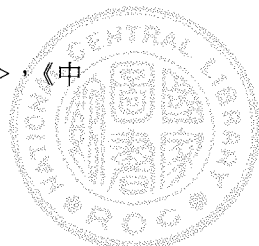


## 謝 辭

本文的完成感謝台灣師範大學地理系林宗儀、張瑞津二位老師及海洋大學海洋環境資源系蔡政翰老師、觀光局東北角管理處蘇萬福技正等多位學者專家提供重要思維與意見，感謝研究團隊林裕強、劉盈劭、黃映慈、洪政耀、陳玟妤、黃任志、鄭安呈等多位同學協助野外實測、實驗室分析及繪圖統計等工作。感謝審查委員詳細審閱、逐字斧正，提供深入且具體的意見，俾使本文得有訂正與改進的機會，謹此衷心銘謝。

## 參考文獻

- 王順寬（2007）：《碎波於斜坡後平台上水位抬升之試驗研究》。：國立台灣成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
- 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》，26：57-115。
- 吳宗孟（2005）：《台灣地區海灘安全管理之研究》。：國立台灣體育學院休閒運動管理研究所碩士論文。
- 林永倫（2005）：《海灘斷面形狀函數分析》。：國立台灣大學河海工程學系碩士論文。
- 林雪美（2007a）：〈台灣北海岸海灘安全性之地形動力學研究〉，《全球華人地理學者學術研討會 2007/4/28》，高雄師範大學：1-7。
- 林雪美（2007b）：〈台灣河口地形動力學研究〉，《第八屆兩岸地形學術研討會 2007/8/17》，新疆烏魯木齊：1-14。
- 林雪美（2007c）：〈台灣北海岸白沙灣海灘安全性之動力地形學研究〉，《第二十九屆海洋工程學術研討會 2007/11/29》，台南成功大學：1-6。
- 林雪美、黃翊翔、湯凱齡（2008）：〈台灣北部海灘類型之比較研究〉，《第九屆海峽兩岸地形學術研討會 2008/8/28》，高雄師範大學：1-14。
- 林雪美、黃翊翔、沈淑敏（2009）：〈台灣東北部福隆海域海灘類型和裂流分布之短期變動研究〉，《交通部觀光局東北角暨宜蘭海岸國家風景區管理處 25 週年研討會 2009/6/1》，交通部觀光局，5-1~5-15。
- 張政亮（2004）：〈系統工程的介紹--以海岸工程設計和分析系統（CEDAS）模式的應用為例〉，《市師學報》，台北市立教育大學，3：87-110。
- 許泰文（2003）：〈近岸水動力學〉，《中國土木水利工程學會》，科技圖書：273-322。
- 湯凱齡（2005）：《北海岸海灘安全性之地形動力學研究》，國立台灣師範大學地理研究所碩士論文。
- 黃俊彰（2004）：《雙溪河口沙洲地形變動之成因探討》，台灣師範大學地理學研究所碩士論文。
- 黃翊翔（2009）：《海灘類型和裂流分布的時空間變動研究--以福隆海灘為例》，台灣師範大學地理研究所碩士論文。
- 黃翊翔、林雪美（2009a）：〈台灣北部福隆海灘長期海灘類型和裂流分布時空間差異分析〉，《中



- 國地理學會地理學術研討會 2007/4/26》，台灣師範大學：1-15。
- 黃翊翔、林雪美 (2009b)：〈小心海灘隱形殺手！--淺談裂流〉，《科學研習月刊》，國立科學教育資料館，48 (4)，23-26。
- 廖建民 (2001)：《近岸風浪推算之研究》，國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
- 蕭松山、蔡政翰、方惠民 (2005)：〈，鹽寮海岸短期性養灘工作成效探討〉，《海洋及水下科技季刊》，15 (3)：42-50。
- Aagaard T., Greenwood B., and Nielsen J.(1995), Mean currents and sediment transport in a rip channel. *Marine Geology*, 140, 25-45.
- Ballantyne B., Carr N., and Hughes K.(2005), Between the flags: an assessment of domestic and international university students' knowledge of beach safety in Australia. *Tourism Management*, 26, 617-622.
- Bellotti G.(2004): A simplified model of rip currents systems around discontinuous submerged barriers. *Coastal Engineering*, 51, 323-335
- Benedet, L., Finkl, C.W., and Klein A.H.F. (2004a): Morphodynamic classification of beaches on the Atlantic coast of Florida: Geographical variability of beach types, beach safety and coastal hazards. *Journal of Coastal Research*, SI (39), in press.
- Brander R.W and Short A.D ( 2000 ) : Morphodynamics of a large-scale rip current system at Muriwai Beach, New Zealand, *Marine Geology*, 165: 27-39.
- Damgaard J., Dodd N., Hall L., and Chesher T.(2002): Morphodynamic modelling of rip channel growth, *Coastal Engineering*, 45: 199-221.
- Drønen N., Karunarathna H., Fredsøe J, Sumer B.M., and Deigaard R(2002): An experimental study of rip channel flow, *Coastal Engineering*, 45: 223-238.
- Filho P.W.M.S., Tozzi H.A.M., and Maamar E.R.(2003): Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sandy beach in northern Brazil, *Journal of Coastal Research*, SI(35): 580-589.
- Huntley D.A. and Short A.D. ( 1992 ) : On the spacing between observed rip current. *Coastal Engineering*, 17: 211-225.
- Jamie H. MacMahan, Ed B. Thornton, and Ad J.H.M. Reniers(2006): Rip current review. *Coastal Engineering*, 53: 191 – 208.
- Johnson D. and Pattiaratch C.(2006): Boussinesq modelling of transient rip currents. *Coastal Engineering*, 53: 410-439.
- Klein A.H. da F, Sanatana G.G.; Diehl F. L. and Menezes J. T. (2003): Analysis of hazards associated with sea bathing: results of five years work in oceanic beaches of Sanata Catarina state, southern Brazil. Proceeding of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamic, Ecology, Uses, Hazards and Management. *Journal of Coastal Research*, SI (35): 107-116.
- Lippman T.C. and Holman R.A.(1989): Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation. *Journal of Geophysical Research*, 94 (C1): 995-1011.



- Reniers A.J.H.M., MacMahan J.H., Thornton E.B., and Stanton T.P.(2006): Modelling infragravity motions on a rip-channel beach. *Coastal Engineering*, 53: 209-222.
- Short A.D and Hogan(1994): Rip currents and beach hazards, their impact on public safety and implications for coastal management *Journal of Coastal Research*, SI(12): 197-209.
- Short A.D.(1985): Rip current type, spacing and persistence, Narrabeen beach, Australia. *Marine Geology*, 65: 47-71.
- Short A.D.(2006): Australian beach systems-nature and distribution. *Journal of Coastal Research*, 22(1): 11-27.
- Short A.D.(2006): Introduction: Australian coastal geomorphology, 1984-2004. *Journal of Coastal Research*, 22(1): 11-27.
- Smith J.A and Largier J.L.(1995): Observations of nearshore circulation: Rip currents. *Journal of Geophysical Research*, 100(6), 10,967-10,975.
- Turner I.L, Whyte D., Ruessink B.G., and Ranasinghe R.(2007): Observations of rip spacing, persistence and mobility at a long, straight coastline. *Marine Geology* : 236, 209-221.
- Wright L.D.(1977): Sediment transport and deposition at river Mouths: a synthesis. *Geological Society of America Bulletin*, 88: 857-868.
- Wright L.D., Chappell J., Bradshaw M.P., and Cowell P.(1979): Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems : Southeastern Australia. *Marine Geology*, 32: 105-140.
- Wright L.D. and Short A.D.(1984): Morphodynamic variability of surf zones and beaches : A synthesis. *Marine Geology*: 56, 93-118.

投稿日期：98 年 4 月 28 日

修稿日期：98 年 5 月 25 日

接受日期：98 年 5 月 30 日

