

第四核能發電廠附近沙灘變遷事件

梁天瑞

台灣電力公司第四核能發電廠化學課

摘 要

本廠興建中的進水口防波堤兼重件碼頭曾有地方人士與環保團體認為可能造成附近沙灘變遷，於今年初向行政院陳情。後由行政院組成專案調查委員會，並由專家組成小組調查，本年 2 月 14 日該小組完成不公開之《核能四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查報告》，認為重件碼頭所形成的突堤效應嚴重影響附近沙灘變遷。但經深入調查發現：

1. 雙溪歷年河道治理，使 85% 的河岸變成水泥護欄，造成河川輸砂量在 10 年內銳減 95%，才是影響本區沙灘變遷的最主要原因。
2. 歷年颱風巨浪侵襲，造成海岸短期劇烈沖蝕，才是第二重要因素。
3. 本區並未發現明顯「突堤效應」，即使有，也肇因於碼頭附近大片淺礁（體積約為重件碼頭 5 倍以上），而非碼頭本身。

1. 事件始末

1.1. 地方人士與環保團體陳情

92 年 1 月 16 日，環保聯盟與貢寮鄉地方人士求見行政院游院長，指稱本廠興建中的進水口防波堤兼重件碼頭（以下簡稱「重件碼頭」）造成福隆沙灘流失，於是院長指示原能會召集環保署、內政部(營建署)、經濟部(水利署)、交通部(觀光局)，組成專案調查小組，了解真相，並於一個月內完成調查。在此前，相關工程需停止施工。¹

¹ 行政院秘書處(2003), 臺灣環境保護聯盟與台北縣貢寮鄉地方人士拜會院長會談紀錄, 院臺經字第 092 0081318 號函 (2003/01/18)

1.2. 成立「核四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查委員會」

據此，原能會組成「核四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查委員會」，依據設置要點²，該委員會之任務如下：

1. 調查核能四廠鹽寮福隆沙灘變遷之原因及提出解決方案。
2. 審議本委員會專家調查小組所提調查報告初稿。
3. 完成調查報告陳報行政院。

此外，在調查委員會下又設置「專家調查小組」，進行「專業獨立調查」。該小組由所謂「專家學者」9-11 人組成，後經互推，由海洋大學副教授楊文衡任小組召集人，先後於 1 月 26 - 27 日、2 月 6 日、2 月 10 日舉行調查會議，並於 2 月 14 日完成《核能四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查報告》³（以下簡稱《調查報告》）。

2. 《核能四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查報告》結論

整個《調查報告》結論分為 4 段：

2.1. 結論首段開宗明義指出颱風侵襲是本區沙灘變遷重要原因。

「海岸興建防波堤等大型結構物，改變近岸水理條件，可能破壞海岸漂砂變化特性...」但本區遭逢民國 90 年之納莉颱風（浪高 7 m）、海燕颱風（5.8 m），91 年之雷馬遜颱風（5.3 m）、辛樂克颱風（5.7 m），使得調查小組不得不承認：「...這幾次異常颱風對本段海灘造成嚴重的侵蝕，並非短期內即可靠自然力量回復，加以重件碼頭的興建，是否影響本段海岸地形的回復，需要評估或繼續追蹤觀察...」

換言之，該報告並未明確認定本廠重件碼頭興建工程，乃造成本區沙灘變遷主要原因。

2.2. 次段論及重件碼頭興建前本區水理特性，並說明雙溪河、石碇溪排砂量與風浪大小乃本區沙灘變遷主因。

「每年颱風期間受東向及東南向颱風波浪侵襲時，近岸波浪碎浪後，產生沿岸流將漂砂由南方福隆海水浴場海灘往北方石碇溪口輸送，部分漂

² 原子能委員會(2003), 核四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查委員會設置要點 (2003/01/24)

³ 行政院核四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查委員會專家調查小組(2003), 核能四廠鹽寮福隆沙灘變遷調查報告, pp 47 (含附錄) (2003/2/14).

砂則被帶往較深外海。雙溪河、石碇溪排砂量與風浪大小，決定福隆鹽寮海岸地形沖淤特性的重要因素。」

「冬季東北季風盛吹時，福隆鹽寮海岸受東北向波浪作用，近岸流會將夏季淤積於鹽寮海岸與石碇溪口附近泥沙帶往福隆海岸...」因此，核四重件碼頭未興建前，此區海岸受河川排砂量及風浪特性產生季節性侵淤變化；但長期而言，除非河川整治，排砂量銳減，或暴風波浪異常，應屬動態平衡。」

2.3. 末二段論及重件碼頭興建後本區水理特性，並認為「突堤效應」乃鹽寮沙灘變遷主因；而河川排沙與颱風巨浪乃福隆海岸地形變化主因。

「重件碼頭興建後，在颱風波浪作用下，由於北防波堤的延長，將在堤頭產生強制離岸流(rip current)，將使部分漂砂往外海輸送，沉積於較深海域或淺礁岩區。」...

「在東北方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，...改變原來由北向南的沿岸流系統，而形成由南而北的沿岸流系統。...由於漂砂向北遷移，遂使鹽寮和福隆海岸之沿岸漂砂短缺而使沙灘縮小。」

「另依突堤效應理論，重件碼頭影響南側侵蝕區域，可依重件碼頭堤長(650公尺) 3-5 倍距離，即 2-3 公里南側，可達福隆海域，造成海灘侵蝕。」

「興建防波堤改變鄰近海域水理特性，...在短期內，對鹽寮福隆海岸沙灘造成直接衝擊，形成嚴重侵蝕現象。距離較遠的福隆海岸地形變化，主要受河川排砂及颱風巨浪影響。」

「因近年河川排砂量銳減，福隆海岸消退可能增加，未來福隆沙灘消長，決定於河川排砂補注，及養灘與向外海輸送量的差異。」

3. 本區沙灘流失真正原因

當比較海潮運動、颱風侵蝕、雙溪砂源銳減等因素後，發現：

1. 雙溪砂源在 76 – 82 年之間因河川治理而銳減 95%，是造成沙灘變遷最主要原因。
2. 颱風侵蝕海岸，造成沙灘流失原因次之。
3. 重件碼頭興建在大礁與淺礁之間，突出海岸的長度比礁岩短，體積比礁岩小(約為礁岩體積的 1/5)，能產生多嚴重的突堤效應，在未

經客觀及長時間的研究調查之前，所有結論皆有不足之處。

換言之，該《調查報告》在未確定各項影響因素輕重緩急之前，就遽下特定結論，實已自失公正客觀的立場。

4. 核四廠重件碼頭設計

4.1. 核四重件碼頭功能

圖 1 為本廠重件碼頭設計施工概況圖。本廠進水口防波堤中北堤的功能有二：

1. 施工期間作為重件（如反應器）等海路運輸碼頭
2. 電廠運轉期間作為循環水（CW）的進水口防波堤

本廠進水口防波堤共有南、北兩堤，南堤總長 510 公尺，實際離岸長度約 200 公尺；北堤總長 625 公尺，實際離岸長度約 560 公尺。

《調查報告》認為，造成「突堤效應」證據的 625 公尺 \times 5 倍（=3.1 公里）的說法，基本上已產生一個未能確實查證的錯誤。因為北堤完工後，突出海面長度只有 560 公尺，影響範圍依全世界最嚴格的標準評估也只有 2.8 公里，又如何影響遠在 3.3 公里外的福隆沙灘？

此外，在今年初（92 年），重件碼頭北堤延伸長度只有 510 公尺，突出海面長度不足 450 公尺，前述理論的引用更難自圓其說。

4.2. 重件碼頭設計特色⁴

1. 本廠防波堤位於石碇溪南岸，設計時已考慮到可能的問題，而將防波堤設計在南北兩座礁岩中，借為屏障，使波浪於礁岩外側碎波，不致直接衝擊防波堤及海岸而導致顯著之地形變化。
2. 設計之初就曾考量「突堤效應」，所以緊鄰礁岩海岸，距主要砂源（雙溪）約 3.3 公里，可有效減輕漂沙威脅。
3. 碼頭與珊瑚生長區至少相距百公尺。
4. 防波堤延伸至 15-16 公尺水深，超過漂沙集體移動範圍，降低漂沙進入港池機率。

⁴ 台灣電力公司(2003), 重件碼頭規劃設計, (陳「專家調查小組」簡報資料 (2003/01/26))

5. 距離福隆海水浴場約 3.5 公里處，避免干擾海水浴場遊憩活動。

4.3. 重件碼頭附近水文特徵

圖 2 顯示本區附近海域礁岩分布，可看出在碼頭南、北兩側各有非常大面積的礁岩，尤其是南側淺礁，不僅有相當大面積在水面之上，而且面積是整座重件碼頭的 2-3 倍，第 5 節中，可以清楚的看到它的影響。

圖 3 分析造成本區沙灘變遷的可能原因。就形成原因來分，有陸域與海域因素；就變遷效果分類，有增加（即增淤）與減少（沖蝕）等。以下，我們就現有資料分析到底影響本區沙灘變遷的主要因素有哪些？

5. 造成本區沙灘變遷海域原因

5.1. 本區漂砂來源與流向

5.1.1. 雙溪為本區沙灘最主要砂源

本區沙灘屬於雙溪與石碇溪河水沖淤而成，福隆海灘位於雙溪出海口、鹽寮海灘處於石碇溪南側。因此，這兩條河流的河水含沙量是決定本區沙灘消長的主要原因之一。

其次，因為雙溪流域面積廣達 104 km²，石碇溪流域面積僅 11 km²，所以雙溪的影響遠遠超過石碇溪，而年輸砂量的影響估計相差 20 倍以上。

至於本區海流輸砂，必須分成兩個部分來探討：

1. 只攜帶少量的表層砂量沿岸漂砂（littoral sand drift）
2. 攜帶大量漂砂的較深層海流

事實上，後者攜帶砂量遠超過前者。⁵ 但因本區漂砂來自雙溪河水的含砂沖淤，所以集中在第一項原因的探討。

⁵ 郭金棟(1995), 海岸工程, 第 2 版, 中國工程師手冊水利類第 10 篇, 中國土木水利工程學會, pp442.

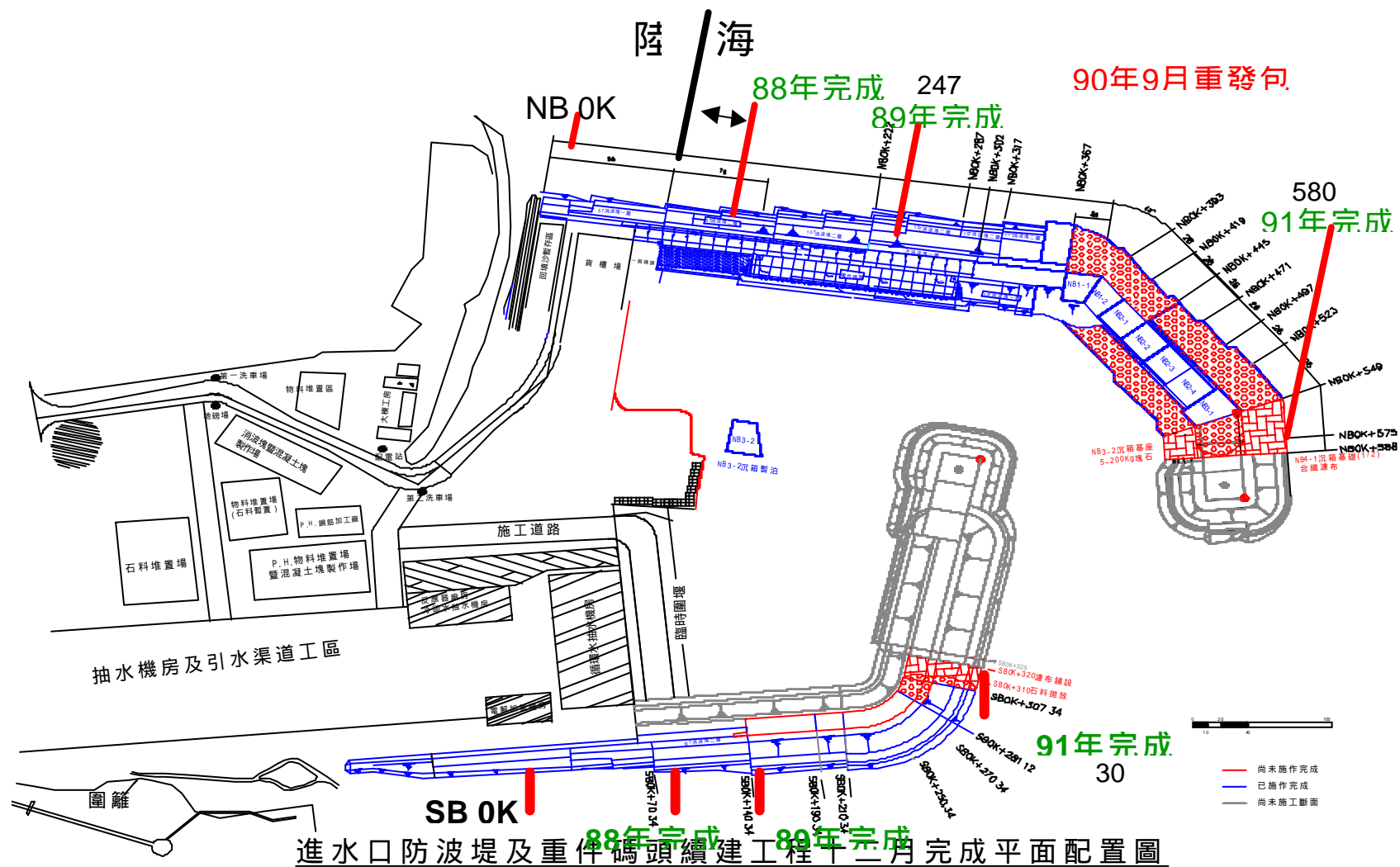


圖 1 核四廠進水口防波堤及重件碼頭設計施工概況

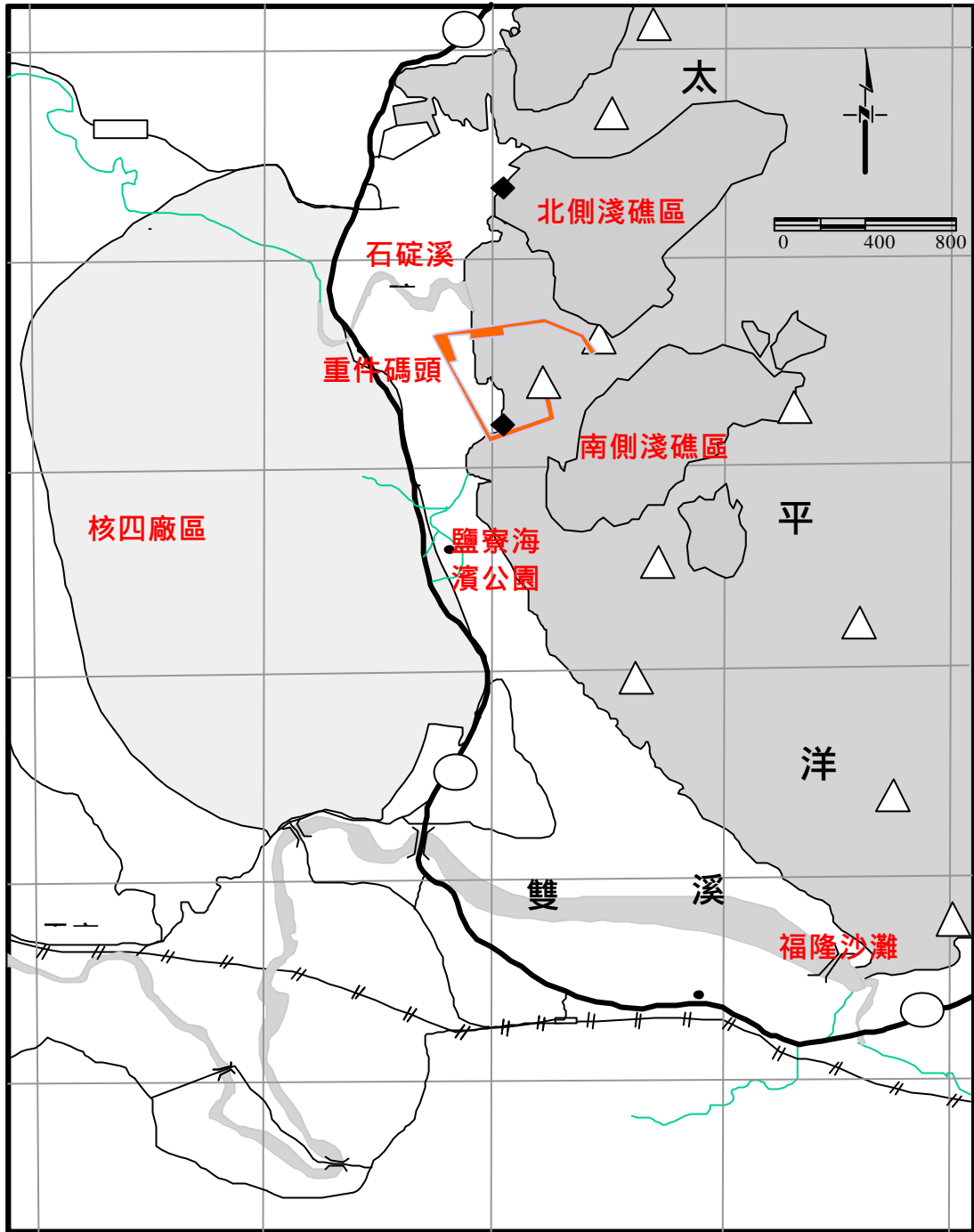


圖 2 重件碼頭附近海域礁岩

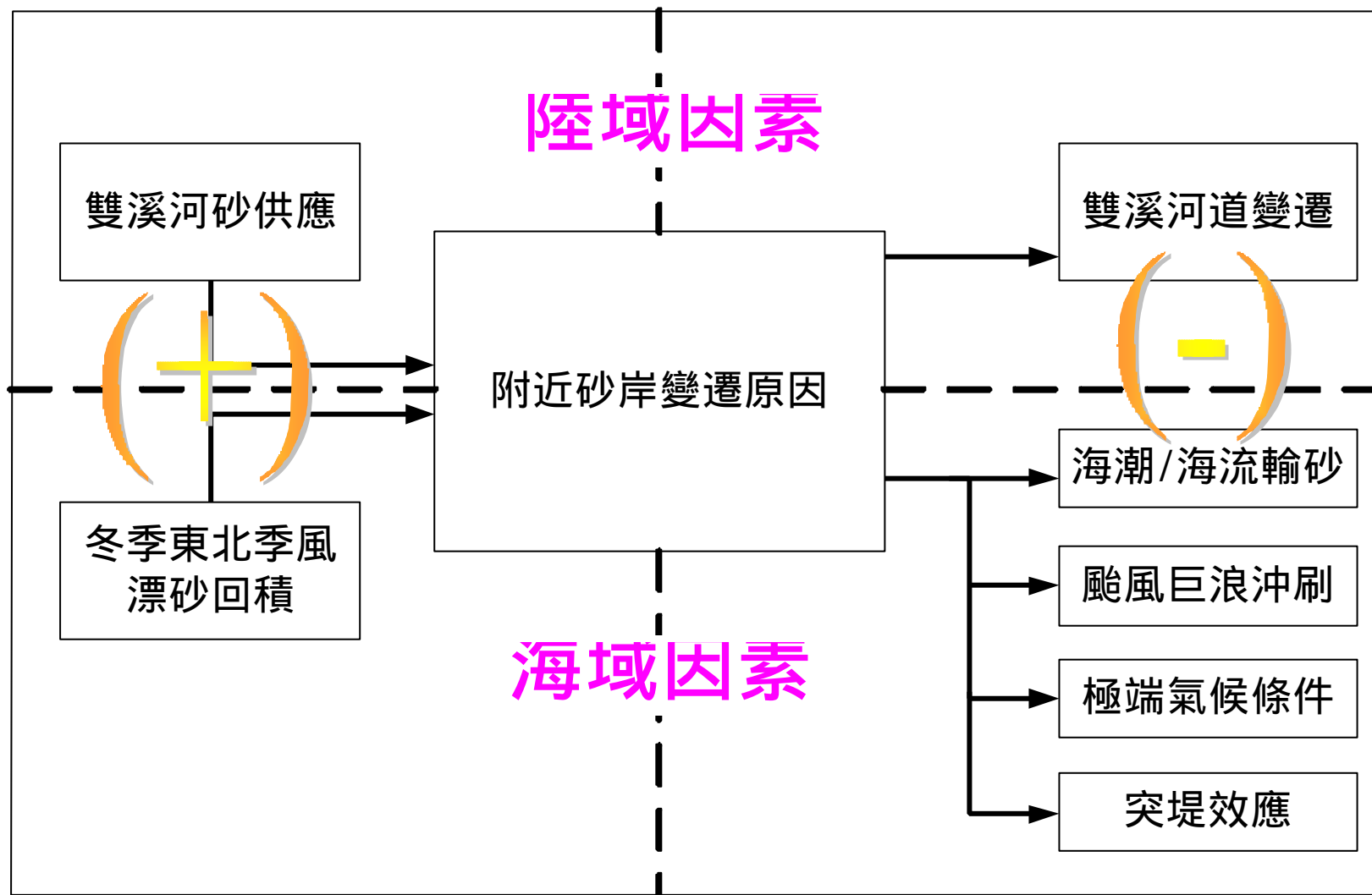


圖 3 影響福隆鹽寮沙灘變遷可能原因分析

5.1.2. 本區漂砂流向

本區漂砂流向大致如《調查報告》所言：

夏季（颱風期間）受東向及東南向颱風波浪侵襲時，將漂砂由南方（福隆）往北方（石碇溪口）輸送，部分漂砂則被帶往較深外海。不過，漂砂往外海移動的原因，卻與《調查報告》所談的「突堤效應」，沒有太大關係。

冬季東北季風盛吹時，本區海岸受東北向波浪作用，近岸流會將夏季淤積於鹽寮海岸與石碇溪口附近泥沙帶往福隆海岸。

5.2. 海潮對於本區漂砂輸送的影響

5.2.1. 一般潮汐對於漂砂輸送的影響

圖 4 模擬一般潮汐（非大潮）時，若 $T=0$ 時在雙溪河口排砂，砂流的輸送情況⁶。這種日復一日借潮汐輸砂機構，才是本區輸砂最主要、也是最規律的途徑。根據以上模擬，我們可以得到下列結論：

1. 通常潮汐下，雙溪排砂向北傳輸根本在抵達本廠重件碼頭所在海域之前，就受南方大塊淺礁影響，轉向外海。
2. 石碇溪排砂會繞過重件碼頭，反而在鹽寮海灘形成淤積。
3. 雙溪排砂大多向南傳輸，因此會淤積在河口南岸，所以對於福隆沙灘而言，長期淨效應就是淤積。

5.2.2. 大潮對於漂砂輸送的影響

文獻⁶更模擬大潮來時對於本區海域輸砂之影響，如**圖 5**。結果發現，只有在此時潮位足夠淹沒南部大淺礁，才能使砂漂過重件碼頭海域。不過，此時福隆鹽寮海岸都會受到淤積，並無「重件碼頭造成突堤效應」的現象。

5.2.3. 暴雨對於漂砂輸送的影響

⁶ 國立成功大學水工試驗所(1998), 核四進出水口結構對漂砂影響之研究, 研究試驗報告 220, pp215 (陳「專家調查小組」資料)

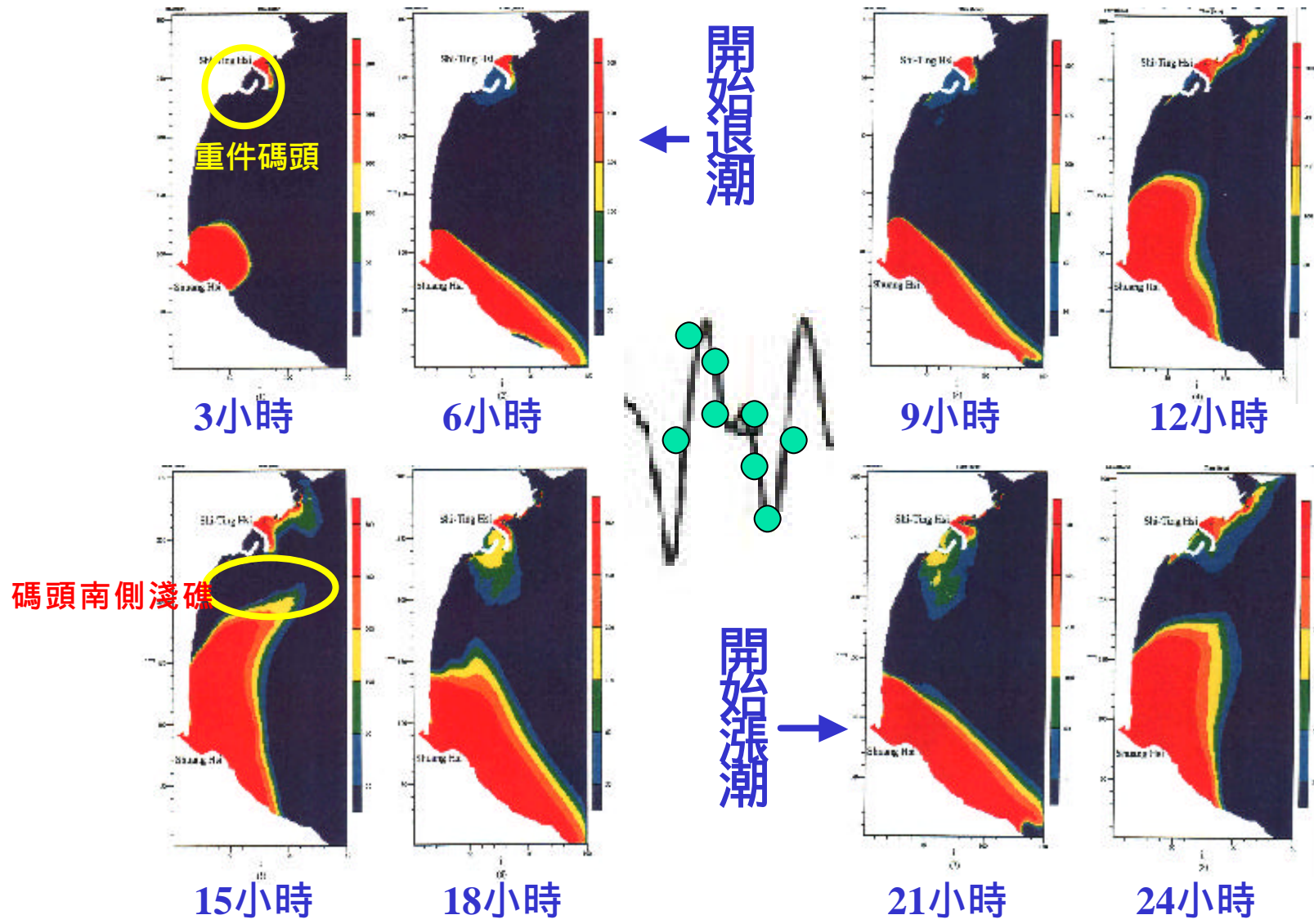


圖 4 雙溪排砂在福隆鹽寮海域隨經常潮汐傳輸情況

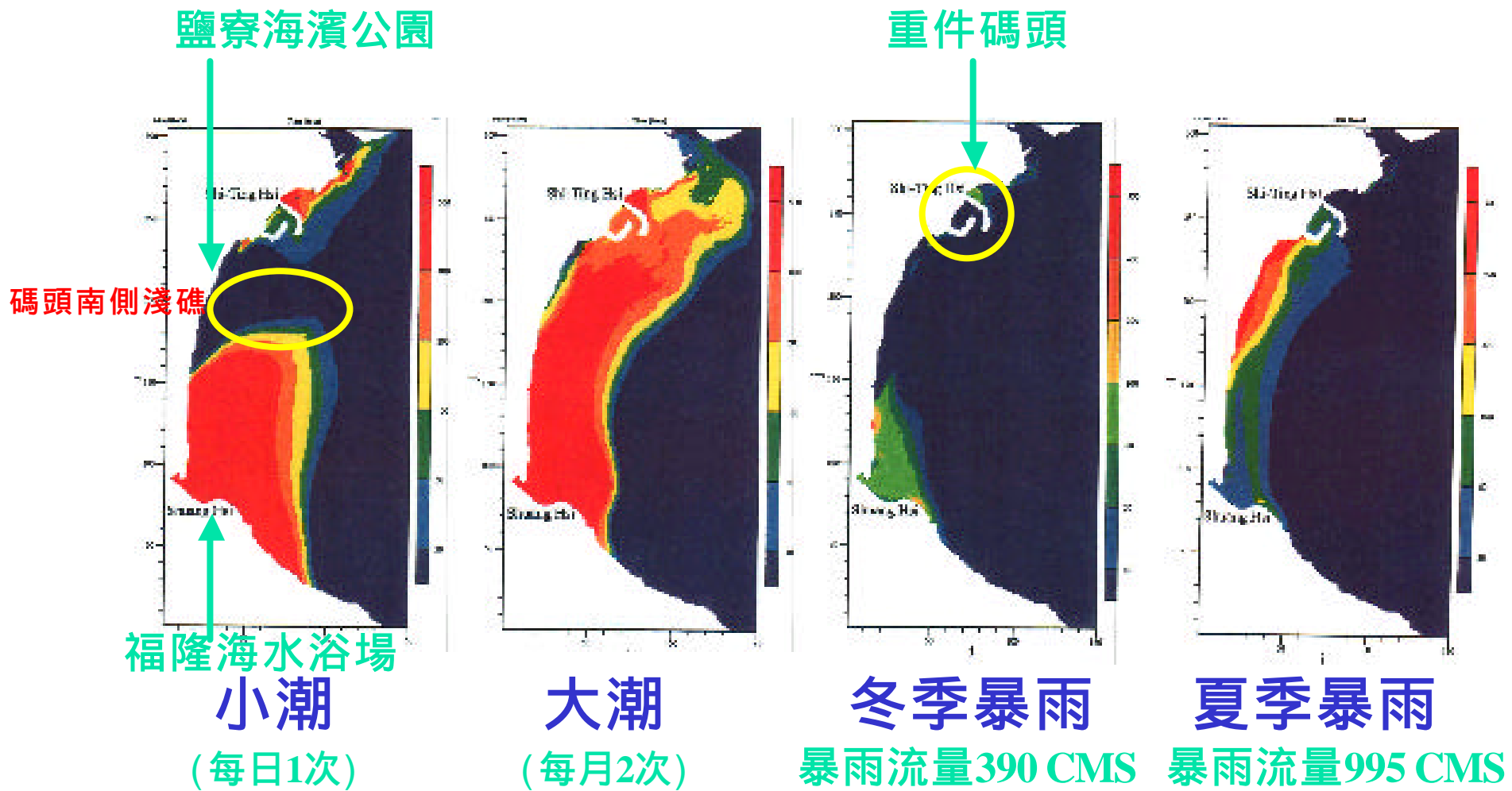


圖 5 潮汐與暴雨對於雙溪鹽寮海域輸砂最大影響範圍

文獻⁶也根據歷史紀錄模擬夏、冬季最大暴雨對於本區海域輸砂之影響，如圖 5。這兩種暴雨型態迥然不同：

1. 夏季暴雨降雨量呈現單峰（single peak）趨勢，最大降雨量高達 995 CMS（雙溪），瞬間輸砂量高達 1.3 ton/s。
2. 冬季暴雨則呈綿延多時的多峰趨勢，最大瞬間降雨量為 390 CMS，瞬間輸砂量達 0.25 ton/s。

模擬結果非常明顯，無論何種暴雨形式，漂砂都不可能影響到重件碼頭海域，而且都對福隆鹽寮海岸造成明顯淤積現象，更無所謂「突堤效應」發生。

5.3. 颱風侵襲嚴重破壞本區沙灘平衡

本區是臺灣地區受颱風侵襲最嚴重的地方。不僅東向或東北向颱風會直撲本地，循台灣東側北上颱風也會侵襲此地。一般而言，約有超過 1/3 侵襲本島的颱風會嚴重影響本區。我們從福隆沙灘歷年剖面變化，更可以看出颱風對於本區沙灘的影響⁷，如圖 6。

這些剖面線代表的意義如下：

1. 為 1997 年溫妮颱風後之沙灘剖面，從此就不復舊觀。
2. 為 1998 年冬季剖面線，此時海域工程還未進行。
3. 為 1999 年冬季剖面線，此時海域工程只進行 50 m。
4. 為 2000 年納莉颱風過境，使雙溪改道淤積。
5. 為 2002 年福隆海水浴場利用人工回填墊高沙灘。

顯然地，颱風是影響沙灘侵蝕最重要的海域因素。但是，這項因素屬於暫時性的。另一方面，從長期平衡來看，鹽寮地區海灘大致平衡。表 1 統計近年來本區沙灘體積變化情形^{8,9}：

⁷ 台灣電力公司(2003), 核能四廠歷年海岸地形變化調查分析報告, (陳「專家調查小組」資料)

⁸ 台灣電力公司(2003), 核能四廠歷年海岸地形變化調查分析報告, (陳「專家調查小組」資料)

⁹ 台灣電力公司(2003), 核能四廠施工期間歷年海域漂砂調查分析報告, (陳「專家調查小組」資料)

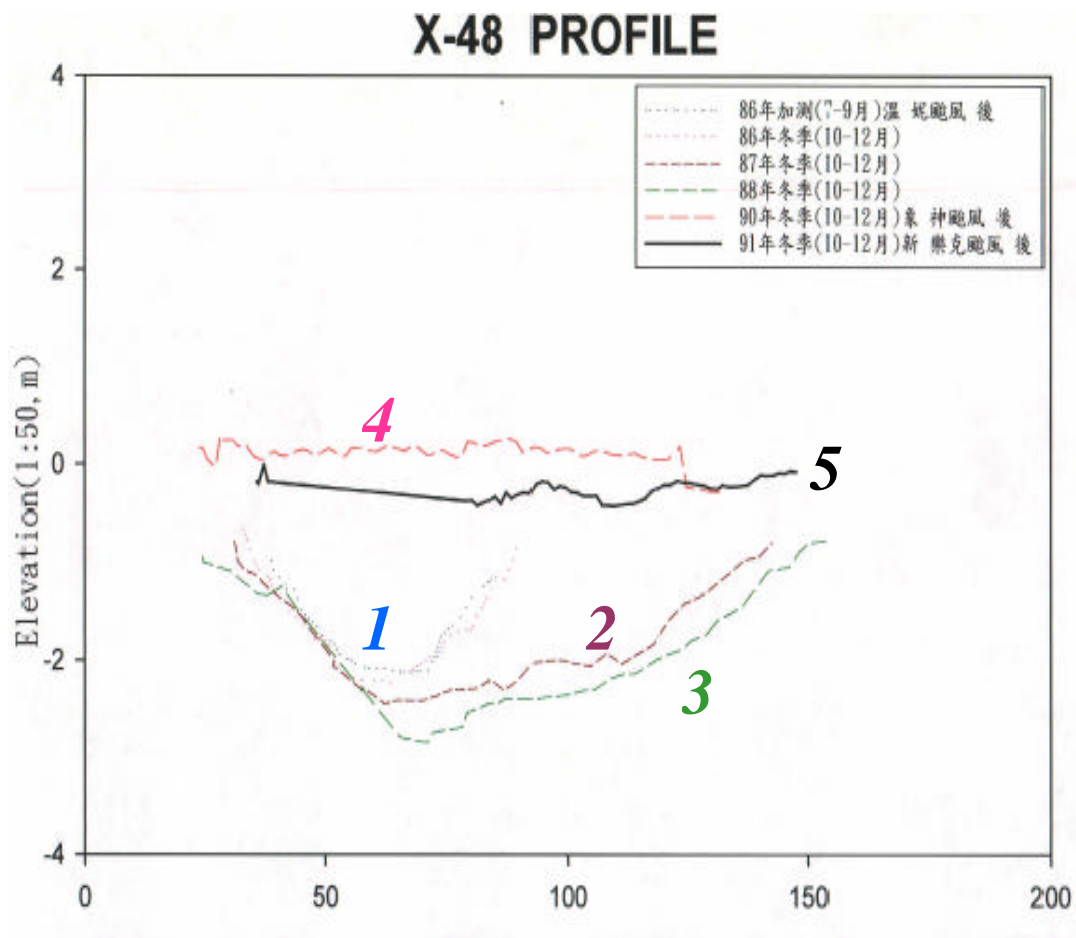


圖 6 福隆沙灘剖面歷年變化情形

表 1 鹽寮沙灘歷年體積變化

期 間	鹽寮公園陸域 體積變化量 (m ³)	氣象型態
86年 6月-86年 9月	-17,158	溫妮、安珀
86年 9月-86年 12月	+13,887	東北季風期
86年 12月-87年 6月	+4,988	東北季風期
87年 6月-87年 11月	-11,249	瑞伯
87年 11月-88年 6月	+36,656	東北季風期

88年6月-88年12月	-20,885	馬姬、山姆、丹恩
88年12月-89年5月	+6,777	東北季風期
89年5月-90年3月	-9,515	象神
90年3月-90年10月	+8,458	納莉、海燕
90年10月-91年2月	+9,535	東北季風期
91年2月-91年12月	-15,660	雷馬遜、辛樂克
91年12月-92年3月	-3,904	東北季風期
東北季風季體積變化總和	+67,939	
颱風季體積變化總和	-66,009	

其次，我們也必須澄清，原福隆沙灘「彩虹橋」的損壞，完全是納莉颱風造成雙溪河川改道所致，與興近重件碼頭完全無關。可由圖 7 的河口空照圖證明。

5.4. 海域影響福隆鹽寮沙灘變遷因素總結

綜合以上分析，發現《調查報告》結論，並不能完全反映本區沙灘變遷事實與原因，茲說明如下：

1. 除颱風外，所有海潮與暴雨，都會增加福隆鹽寮海岸的淤積現象，並未發現侵蝕現象，這點可從潮汐輸砂模式結果得證。
2. 即使有所謂突堤效應，發生原因除考慮防波堤的興建外，位於防波堤兩側的大片淺礁，不但將春夏季的北向輸砂導向外海，也阻擋冬季由外海回補的砂。未能清楚辨認二者影響程度與彼此關係前，所有論證皆不具備充足的證據。
3. 颱風對於本區海灘變化的短期影響非常劇烈，可以在一日內就使海岸面目全非，但也可以經由潮汐與東北季風回補復舊，以長期角度看來，大致達到平衡。這一點已從歷年沙灘體積總量微增得證。

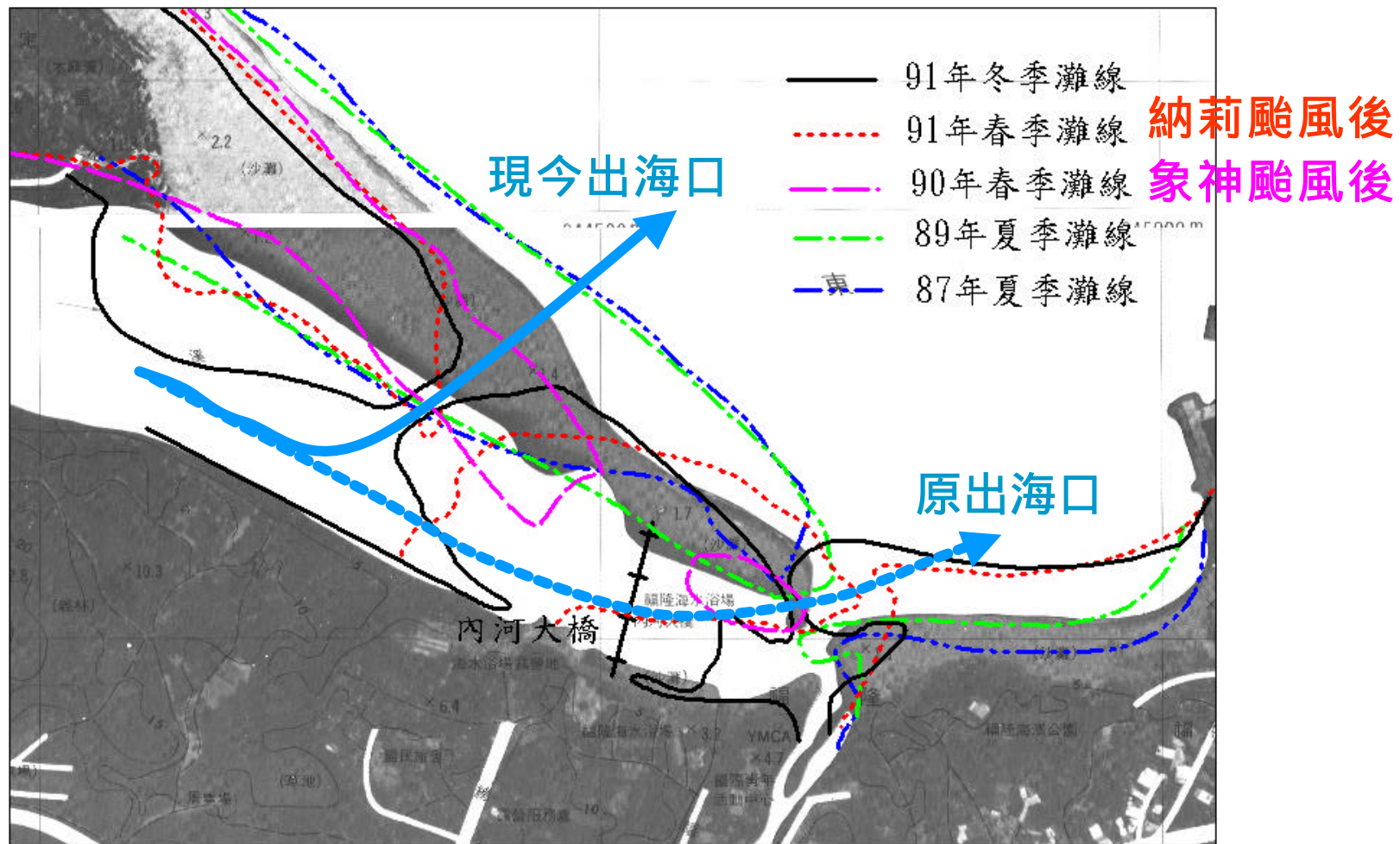


圖 7 雙溪河口歷年空照圖 (請特別注意納莉颱風導致河口改道，彩虹橋美景不再)

6. 造成本區沙灘變遷陸域原因

6.1. 雙溪輸砂銳減 95%是破壞本區沙灘平衡最主要原因

《調查報告》指出：「...但長期而言，除非河川整治，排砂量銳減，或暴風波浪異常，(本區沙灘)應屬動態平衡。」這是正確的見解。我們也從 [5.4.節](#) 得到初步證實。

但是，假如本區沙灘以往一直處於動態平衡狀況(即淤積與侵蝕速度相等)，我們不禁要問：本區沙灘如何形成？

本區沙灘的存在，就證明以往淤積速度超過侵蝕速度；但現在卻發生淤積與侵蝕速度相當，試問，當中發生了什麼事，減少了淤積？

[表 2](#) 總結歷年對於雙溪輸砂量估計的變化情形，可見 20 年來，雙溪輸砂量有急遽銳減現象。

表 2 雙溪輸砂量估計變化

估計單位	年輸砂量(噸/年)	資料來源
經濟部水資會	1,150,000	台灣各河川輸砂量初步估算(1973) ¹⁰
經濟部水資會	1,359,000 (Max) 611,000 (AVG)	雙溪水庫可行性規劃(1985) ¹¹
台電公司	55,000 (Max)	環境影響評估(1992) ¹²
台電公司	49,000	文獻(1998) ⁶

我們發現：在 1985 年之前，雙溪每年應有 600,000 – 1,000,000 萬噸的輸砂量，但在 1992 年之後，就遽降到 50,000 噸左右。

¹⁰ 經濟部水資會(1973),台灣各河川輸砂量初步估算, 摘錄自陳志清先生(1978), 河道輸砂學導論, 徐氏基金會, pp 172.

¹¹ 經濟部水資會(1985),台灣地區北部區域雙溪水庫可行性規劃專題報告(一)

¹² 台灣電力公(1992), 核能四廠第一,二號機環境影響評估報告 第二章

再比較表 1 關於鹽寮海岸的每年頂多 $20,000 \text{ m}^3$ (約 30,000 噸) 的體積變化，雙溪砂源減少是導致沙灘變遷的最主要原因，根本無庸置疑。

是什麼原因造成雙溪可以在 10 年之內減少將近 95% 的砂量？

6.2. 雙溪流域整治造成河川輸砂銳減

為徹底明瞭雙溪砂量銳減的原因，透過採訪雙溪鄉公所人員、自來水公司貢寮淨水廠人員與實地現勘，發現：

6.2.1. 雙溪上游牡丹溪、平林溪治理，造成砂源中斷

- (1) 民國 76 年 (1987) 年琳恩颱風來襲，造成本區嚴重損失。農委會水保局為防止上游台糖公司礦場廢土石流影響，於該年起開始執行溪流治理，迄今辦理 14 期。
- (2) 結果整個雙溪流域有將近 85% 河岸採用水泥護堤 (牡丹溪尤其密集)，以防止沿岸土石流侵入，當然大幅減少河川輸砂。
- (3) 全流域至少設置超過 87 座以上固床工或攔砂壩，用以阻絕泥沙土石進入河道，這種情況在貢寮以上河段尤其明顯。

圖 8 標示雙溪河道治理現勘情況。藍色線條代表該處河道已設置水泥護堤；圓點與數字代表在該處發現固床工或攔砂壩及其數量。

6.2.2. 自來水公司攔壩取水每年攔阻近萬噸砂量

除河川治理，減少土石進入河道之外，自來水公司在下游設置容量將近 100,000 的攔水壩，也每年阻攔近萬噸砂量。

6.3. 本區沙灘質量平衡

根據輸砂量估計，1990 年代雙溪輸砂由 600,000 噸/年 (最保守估計) 驟降至 50,000 噸/年，相當於每年減少 550,000 噸/年 (約 $390,000 \text{ m}^3$ /年)。

福隆-鹽寮沙灘總體積變化為 $-370,000 \text{ m}^3$ (沖蝕) 至 $+280,000 \text{ m}^3$ (淤積)。平均為 $-97,000 \text{ m}^3$ 。

如果只計算鹽寮沙灘地區，不但沒有沖蝕，反而有 $+1,900 \text{ m}^3$ 的淤積。

因此我們可以非常明確的指出，如果不是雙溪河川整治之故，本區不但可能發生沖蝕，還會以每年 $290,000 \text{ m}^3$ 的速度快速淤積。

6.4. 本區沙灘前景可憂

除了目前本區砂源已無法充足供應、彌補沖蝕之外，仍有數項因素不利本區沙灘之維持：

1. 實施雙溪河治理計畫。水利署已於 81 年完成規劃，但迄今仍因財務問題未實施。而治理手段，仍以減少河川輸砂為主軸。一旦執行，砂源供應只會更加困難。
2. 本區自來水供應負擔日增，自來水廠可能以增加攔蓄能量，或興建已規劃之雙溪水庫因應，無論何者，都將減少下游輸砂。
3. 溫室效應導致全球氣候變遷，增加聖嬰現象機率，颱風，暴雨，與高潮機率將相對升高，海平面急速升高。根據估計，未來 100 年，全球海平面將上升 50 公分以上，像我國等海島型國家，海平面甚至可能上升 100 公分¹³。由於本區沙灘斜率為 1%，海平面每上升 50 公分，沙灘線至少後退 50 公尺，因此砂岸很可能將完全消失。

7. 鹽寮沙灘回來了!

因為今年風調雨順，沒有颱風巨浪侵蝕，從 6 月起鹽寮沙灘逐漸由自然力量迅速回復；到了 9 月，不但已經回復往年舊觀，面積更勝往昔。原子能委員會歐陽主委於 9 月下旬親蒞該地巡視，也正式證實此點，並向行政院陳報此事。[圖 9](#) 係歐陽主委親自巡視時留影，背景正是鹽寮沙灘頗負盛名的沙灘排球場。

假如「突堤效應」真是造成本區沙灘不可恢復變遷的主因，請問沙灘是怎麼回復的呢？「專家委員會」諸公下的結論，是不是太武斷太快了呢？

只要沒有颱風侵蝕、沒有全球暖化的威脅，美麗的鹽寮海岸永遠會閃爍著黃金般的耀眼光芒，熱情的歡迎大家！

¹³ United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), *Summary of Policymakers, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. pp22.



圖 8 雙溪流域治理概況(固床工與攔砂壩分布位置)



圖 9 鹽寮海岸回來了！ (92年9月25日原子能委員會歐陽主委親蒞現勘留影)