

96-58-7272

MOTC-IOT-95-H2EB004

95 年淡水河河口及附近海岸輸砂 之研究



交通部運輸研究所
國立中央大學
合作辦理

中華民國 96 年 4 月

96-58-7272
MOTC-IOT-95-H2EB004

95 年淡水河河口及附近海岸輸砂 之研究

著 者：林柏青、周憲德、卡艾偉
林煒傑、何良勝

交通部運輸研究所
國立中央大學
合作辦理

中華民國 96 年 4 月

96

95年淡水河河口及附近海岸輸砂之研究

交通部運輸研究所

GPN :
定價 元

95 年淡水河河口及附近海岸輸砂之研究

著 者：林柏青、周憲德、卡艾偉、林煒傑、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw（中文版/中心出版品）

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 96 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 30 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價： 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：95 年淡水河河口及附近海岸輸砂之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN (平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 96-58-7272	計畫編號 95-H2EB004
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：林柏青 聯絡電話：(04)26587190 傳真號碼：(04)26560661	合作研究單位：中央大學土木工程學系 計畫主持人：周憲德 研究人員：卡艾偉、林煒傑 地址：桃園縣中壢市五權里 2 鄰中大路 300 號 聯絡電話：(03)4227151-34125		研究期間 自 95 年 5 月 至 95 年 12 月
關鍵詞：淡水河口、輸砂、河床變化、底床質			
摘要： 控制淡水河河口輸砂的主要因素為潮汐、波浪、河川流量、河口地形及懸浮質及底床質特性等。淡水河之輸砂量以颱風期間之懸浮載為主，含砂量可達 5-14.5 g/L，懸浮載與流量指數關係之次方 1.516(豐水季)或 2.956(枯水季)。經數值模式分析以 Engelund and Hansen 公式計算總輸砂量之誤差最小。帶來大豪雨之颱風，如象神颱風及納莉颱風時，洪水流量暴增及暴潮效應，造成河道內潮位上升，潮差縮小之情形。納莉颱風時，颱風前最大潮差 2.47m，颱風期間最小潮差僅 0.85m，持續有 47 小時水位高於平均海平面，最高水位達 2.28 m，且連續四次最高潮位均大於 2.2m。全潮流量觀測顯示流量小時(135.9 cms)，漲潮流速大於最大退潮流速；反之如流量大時(286.4cms)，則漲潮流速明顯小於最大退潮流速。淡水河口之潮汐流量約 2000 ~ 3000 cms。故當上游流量大於 2000 cms 時會明顯改變河道內漲退潮位。淡水河口之水下地形並無沖積扇地貌，然近十年來在河道內呈淤積現象，近幾年來在斷面 4,5 處河道深槽向外岸偏移達 200m，而斷面 8,9,10 之主深槽則明顯淤積將近 5m（從-11m 轉為-6m），整體下游河道，近十年平均河床淤積 0.79m。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96 年 4 月	145		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註： 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Sediment Transport at Danshui River Mouth and Surrounding Coastlines			
ISBN(OR ISSN) ISBN (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 96-58-7272	PROJECT NUMBER 95-H2EB004
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-sheng PROJECT STAFF: Lin Po-ching PHONE: (04) 26587190 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM May 2006 TO Dec. 2006
RESEARCH AGENCY: National Central University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsien-Ter Chou PROJECT STAFF: Herve Capart, Wei-Jei Lin ADDRESS: 300 Zhong-Da Rd., Chung-Li, Taiwan 32054 PHONE: (03) 4227151-34125			
KEY WORDS: Danshui river mouth, sediment transport, bed topological change, bed material			
ABSTRACT: The mechanisms controlling the sediment transport around Danshui river mouth and the surrounding coastlines are tides, waves, river flow, suspended load and bed load. In order to establish a mathematical tool to evaluate the suspension load and the stability of the Danshui river mouth, the proper evaluation of sediment transport in this region is required. In this study, we explore the sediment transport process around Danshui river mouth in a three-year span. First, the hydraulic data is collected, and will be used to calibrate the suitable sediment transport equation. The model will be evaluated by either experimental or field studies. The goal of this study is to provide some alternatives to resolve the sediment erosion and accretion problems around Danshui river mouth and the Taipei Harbor.			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 145	PRICE	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 前 言	1-1
1.1 計畫目的	1-1
1.2 計畫重要性	1-3
1.3 計畫內容	1-5
第二章 淡水河口既有水理資料分析	2-1
2.1 逕流及河川資料	2-1
2.2 海象資料	2-3
2.3 地質及沉積物組成	2-6
2.4 河口地形及海岸變遷	2-9
第三章 河口重力循環及輸砂特性	3-1
3.1 重力循環 (GRAVITATIONAL CIRCULATION)之簡化分析	3-2
3.2 河口輸砂分析	3-16
3.2.1 底床載估算	3-17
3.2.2 懸浮載及底床質載估算	3-21

3.2.3 底泥沉積與沖蝕	3-23
第四章 淡水河口現場資料收集與分析	4-1
4.1 底質採樣位置	4-1
4.2 底質採樣分析結果	4-3
4.3 颱風期間水文資料	4-15
4.4 全潮流量觀測	4-25
4.5 河口地形變化及現況勘查	4-26
4.5.1 河道地形演變	4-26
4.5.2 海床地形變化	4-37
4.5.3 監測結果分析	4-38
4.6 現況勘查	4-41
第五章 結論與建議	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-3
參考文獻	6-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表	7-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表	8-1
附錄三 期末簡報資料	9-1

表目錄

表 1.1、臺灣北部 15 個河口主要營力類型比較.....	1-2
表 2.1、河口站分潮振幅及相位角	2-4
表 3.1 不同流況下河口環流及底泥最大濃度範圍	3-16
表 3.2 淡水河流域輸砂量推估	3-22
表 3.3 石門水庫及翡翠水庫興建前後淡水河流量比較.....	3-24
表 4.1 淡水河底床質採樣粒徑分析	4-4
表 4.2 2002-2005 間關渡測站颱風期之水文資料	4-16
表 4.3 淡水河下游河道的近十年累積淤積量	4-36

圖目錄

圖 1.1 淡水河口 SPOT 衛星影像 9/23/2000.....	1-3
圖 1.2 淡水河口福衛二號衛星影像 8/01/2006.....	1-4
圖 2.1 淡水河河床剖面圖	2-2
圖 2.2 淡水河口至關渡附近之歷年河道形態	2-2
圖 2.3 淡水河口區域之潮流速度圖	2-5
圖 2.4 淡水河口外海底地形	2-7
圖 2.5 淡水河口外海床堆積形態	2-8
圖 2.6 淡水河口海域沉積物之運移示意圖	2-8
圖 2.7 挖子尾地區歷年沙嘴之變化	2-11
圖 2.8 淡水河口歷年之海岸地形變遷	2-13
圖 3.1 河口重力循環示意圖	3-2
圖 3.2 η_1 與 χ 之關係圖	3-6
圖 3.3 R 與 χ 之關係圖	3-7
圖 3.4 不同沿程位置之重力循環速度剖面	3-12
圖 3.5 水深及底層逆流之沿程分佈	3-12
圖 3.6 河口最大濁度點距離與底床坡度關係	3-14
圖 3.7 河口最大濁度點距離與水深關係	3-15
圖 3.8 臨界剪應力與粒徑之關係	3-18
圖 3.9 單位寬度底床載 j 與剪力速度之關係	3-19

圖 3.10 K 與粒徑及相對剪應力之關係式	3-20
圖 3.11 流速、粒徑與沉滓運動型態之關係	3-20
圖 3.12 海馬颱風時之河口浮流及雨量圖(93/9/11)	3-21
圖 4.1 底質採樣分析測點衛星航照圖	4-2
圖 4.2 烘乾底床質於實驗室之磨碎步驟	4-2
圖 4.3 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-00)	4-5
圖 4.4 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-01)	4-5
圖 4.5 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-02)	4-6
圖 4.6 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-03)	4-6
圖 4.7 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-04)	4-7
圖 4.8 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-05)	4-7
圖 4.9 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-06)	4-8
圖 4.10 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-07)	4-8
圖 4.11 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-08)	4-9
圖 4.12 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-09)	4-9
圖 4.13 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-10)	4-10
圖 4.14 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-11)	4-10
圖 4.15 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-12)	4-11
圖 4.16 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-13)	4-11
圖 4.17 淡水河底質粒徑分析結果 D_{50} 比較	4-12

圖 4.18 測點 3 周圍採樣位置衛星航照圖	4-13
圖 4.19 測點 3 周圍土樣位置分析結果	4-13
圖 4.20 D_{50} 與取樣位置關係圖	4-14
圖 4.21 兩年度各河段 D_{50} 與河口距離之關係圖	4-15
圖 4.22 91 年 7 月關渡站底床附近懸浮質變化圖	4-18
圖 4.23 93 年 6 月(A)、7 月(B)、12 月(C)關渡站底床附近懸浮質變化圖	4-19
圖 4.24 91 年 7 月關渡站量測到的水位變化圖	4-20
圖 4.25 93 年 6 月(A)、7 月(B)、12 月(C)關渡站量測到的水位變化圖	4-21
圖 4.26 象神颱風及納莉颱風時土地公鼻水位站之潮位資料	4-22
圖 4.27 91 年 7 月關渡站量測到的流速變化圖	4-23
圖 4.28 93 年 6 月(A)、7 月(B)、12 月(C)關渡站量測到的流速變化圖	4-24
圖 4.29 關渡橋全潮流量觀測記錄(92/04/17)	4-25
圖 4.30 關渡橋全潮流量觀測記錄(94/06/22)	4-26
圖 4.31 淡水河下游河口段水深剖面圖	4-27
圖 4.32 淡水河下游段深槽縱剖面圖	4-27
圖 4.33 河口段截取斷面位置示意圖	4-28
圖 4.34 斷面 000 歷年地形剖面變化比較圖	4-29
圖 4.35 斷面 001 歷年地形剖面變化比較圖	4-29

圖 4.36 斷面 002 歷年地形剖面變化比較圖	4-30
圖 4.37 斷面 003 歷年地形剖面變化比較圖	4-30
圖 4.38 斷面 004 歷年地形剖面變化比較圖	4-31
圖 4.39 斷面 005 歷年地形剖面變化比較圖	4-31
圖 4.40 斷面 006 歷年地形剖面變化比較圖	4-32
圖 4.41 斷面 007 歷年地形剖面變化比較圖	4-32
圖 4.42 斷面 008 歷年地形剖面變化比較圖	4-33
圖 4.43 斷面 009 歷年地形剖面變化比較圖	4-33
圖 4.44 斷面 010 歷年地形剖面變化比較圖	4-34
圖 4.45 淡水河口 10 年資料套疊內插取網格圖	4-34
圖 4.46 土方量計算示意圖	4-35
圖 4.47 85 年土方量(以-11M 為基準面)	4-35
圖 4.48 淡水河河口海床等深剖面圖	4-37
圖 4.49 臺北港海域地形擷取區域比較範圍示意圖	4-38
圖 4.50 大範圍區域海域歷年侵淤變化圖	4-39
圖 4.51 第一區海域歷年侵淤變化圖	4-39
圖 4.52 第二區海域歷年侵淤變化圖	4-40
圖 4.53 第三區海域歷年侵淤變化圖	4-40
圖 4.54 第四區海域歷年侵淤變化圖	4-41
圖 4.55 淡水河口開發及利用現況	4-42

圖 4.56 淡水河口現況地形	4-43
圖 4.57 淡水河口南岸至臺北港間之現況海岸地形(5/31/2006).....	4-43
圖 4.58 淡水河下游關渡橋水面流況	4-44
圖 4.59 淡水河關渡橋湧升漩渦造成水面翻滾流況.....	4-44
圖 4.60 河口處浮流及挖子尾沙嘴現況(2006/08/13).....	4-45
圖 4.61 淡水河南岸沙灘淤積(2006/08/13).....	4-46

第一章 前言

1.1 計畫目的

河口是河川與海洋交匯之處，河口之流場主要受河川逕流、波浪、潮流、河口地形及鹽度等物理參數所控制。河流之輸砂常在河口處形成三角洲、沙洲、潮汐灘地等堆積形態。當河川輸砂淤積河口，便成為潮流，或沿岸流之搬運作用而形成沿岸漂砂。如河川供砂量豐富，遠大於波浪之輸砂能力則形成河岸三角洲或於沿岸流較緩處形成堆積海岸，反之則成侵蝕海岸。

淡水河是北部第一大河，在石門水庫興建前，從民國十六年至民國三十七年間，淡水河口及八里地區的海岸線呈現向外擴張的現象。故當時的淡水河系提供充分的沈積物來源，使河口地區偏向於淤積作用，致使海岸線向外擴張，自淡水河口至八里段海岸以往有飛砂形成高約 18 公尺，長為 3 公里平行海岸之沙丘（許和張, 2001）。民國五十三年，石門水庫完工後，攔阻大量河源泥沙，使河口地區沈積物的供需失去平衡，致使海岸線向內陸退縮。從民國三十七年的航空照片及民國六十七年的像片基本圖比較得知，30 年間八里地區的海岸線普遍退縮達 180 公尺，河口的挖子尾附近最大退縮量則達 320 公尺。民國七十五年，翡翠水庫完工，可能攔阻更多的泥沙，使河口沖淤平衡更加失調。比較民國六十七年的像片基本圖及民國八十一年航空照片發現，八里污水處理廠附近海岸的確有退縮達 150 公尺的現象；挖子尾附近海岸也退縮達 200 公尺。惟八里附近及其西側海岸因有臺北港北防波堤的興建，故海岸線並無退縮現象（洪, 2000）。

根據林雪美(1996)對臺灣北部 15 個河口河海主要營力類型比較(表 1.1)，可知淡水河屬風浪營力型或風浪、逕流及潮汐三個營力之中混合型。故在河口地形及輸砂機制之分析應考慮風浪、逕流及潮汐之影響。

表 1.1、臺灣北部 15 個河口主要營力類型比較 (林雪美, 1996)

主要營力		依平均河海能量分類	依最大河海能量分類
風浪營力型			南澳溪、新城溪、蘭陽溪、得子口溪、雙溪、 <u>淡水河</u> 、南崁溪、老街溪
逕流營力型		新城溪、蘭陽溪、得子口溪、雙溪	
潮汐營力型		鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪、西湖溪	社子溪、鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪、大安溪
混合營力型	中混合型	<u>淡水河</u>	
	低混合型	南澳溪	
	風浪＋逕流	南崁溪、老街溪	
	風浪＋潮汐	社子溪、大安溪	
	逕流＋潮汐		西湖溪

為建立適用於淡水河口輸砂之理論模式，並提供淡水河河口漂沙及臺北港漂沙之防治方法，本研究首先收集淡水河河口輸砂資料，並彙整及探討適用於淡水河口輸砂之理論；其次以現場資料檢定河口輸砂理論之適用性，並輔以現場資料調查，提出淡水河河口漂沙及臺北港漂沙之防治方法。

1.2 計畫重要性

由上述資料可知，淡水河口在 1960 前為淤積形態；1960 之後在上游築壩阻沙及海岸築堤建港之影響下，河川及海岸之輸砂平衡受人為抽砂干擾而失衡，呈現海岸侵蝕後退之現象。1983 年於淡水河南岸側興建臺北港後，其北防波堤凸出海岸達 1.6 km,幾乎與河口北側之突岬齊平，而造成突堤效應，阻斷沿岸沙源之向南運移，造成臺北港南側防波堤海岸之侵蝕；並使河源輸砂及沿岸砂源在河口與北防波堤間沉積。由圖 1.1 之 SPOT 衛星影像(2000/9/23)可知，此區間沙灘已浮現，海床亦趨於淺化（洪, 2000）。



圖 1.1 淡水河口 SPOT 衛星影像 9/23/2000 (取自洪,2000)



圖 1.2 淡水河口福衛二號衛星影像 8/01/2006
(中央大學太空遙測中心提供)

圖 1.1 亦可見河川懸浮質在退潮時出河口後形成浮流(river plume)隨潮流向西北漂移。近年來在突堤效應及沿岸沙源之持續運移作用下，淡水河口可能趨於淤塞如圖 1.2 所示。比較圖 1.1 及圖 1.2 可知在河口南側之沙洲及與北防波堤間之沙灘範圍變大；而淡水河口內之河道左岸，挖子尾沙嘴附近亦日漸淤積。在颱風及暴潮下，可能導致洪水宣洩困難，造成淡水河沿岸及大臺北地區之水患。另一方面，對於臺北港航道之疏浚及鄰近海岸之長期穩定產生影響，故對淡水河口之輸砂及河口地形之演變應深入分析，持續觀測以尋求解決之對策。

1.3 計畫內容

本計畫進行河口輸砂理論分析及應用：首先收集淡水河口段之輸砂量，及水理資料(含流量、潮位、水位、水深、河道地形及底床質等)，選擇適用於淡水河口段之輸砂理論，再分析淡水河口段之河床演變。其次擬進行海岸漂沙及沿岸流輸砂分析：收集淡水河附近之海象資料、漂沙及海岸地形資料，建立適用於淡水河口海域段之沿岸流輸砂理論，並分析淡水河口海岸之演變。最後則進行臺北港至河口間之漂沙與地形變化分析，以探討臺北港北防波堤與河口間，及河口處挖子尾沙嘴及灘地地形之演變，並提供淡水河河口漂沙及臺北港漂沙之防治對策。

本研究之研究範圍包含淡水河口之下游河道及河口附近海岸及海床上覆蓋有河源堆積物之淺海域兩部份。淡水河河口段-界定為從關渡隘口至挖子尾 (即口門與潮流界間，張苑文(2002))，河口附近海岸將包含北岸沙崙凸岬，南岸則包含臺北港南北兩側，南將以林口電廠為界。探討之河川水理特性包含河川流量與輸砂量、並考慮潮汐及潮流之影響；河口及海域部份則擬探討潮流及風浪對漂沙及沿岸輸砂之影響。

第二章 淡水河口既有水理資料分析

2.1 逕流及河川資料

淡水河為直接注入淡水海域的大型河川，為淡水近岸海域之海岸輸砂的主要輸砂來源之一。淡水河上游由基隆河、新店溪、大漢溪等三條主要支流匯集而成，流域總面積約 2700 平方公里，大漢溪上游建有石門水庫，為淡水河之最長支流，基隆河發源自臺北縣菁桐山，於關渡附近匯入淡水河。淡水河河口為感潮河段，每天兩次之海水漲、退潮使河川水位隨著外海潮位而變動，水流亦隨著潮水作往復運動。依水資源局之估算淡水河早期之輸砂量為 963 萬 $\text{m}^3/\text{年}$ ，在石門水庫(1964)及翡翠水庫(1987)完工後，目前之輸砂量降為 185 萬 $\text{m}^3/\text{年}$ (基隆港務局,1997)。淡水河在乾季之平均日流量為 400-500 m^3/s ，下雨時可達 800 m^3/s 。暴雨或颱風時可達 2000 m^3 以上，1998/10/16 之平均日流量達 6281 m^3/s 。

淡水河在關渡至臺北橋之間，早期河床淤淺最為嚴重，在低潮及河水流量不大時，此河段常見露出水面的淺灘。河床淤淺造成航運衰弱，降低通商的價值。豪雨或颱風時易抬升洪水位，造成沿岸低窪處積水；而因關渡附近河道淤淺使海水進、出淡水河的水量減少，使得淡水河的汙染更加嚴重，尤其是蘆洲、臺北橋之間為最（范光龍,1996）。然近幾十年來因上游築壩及抽沙，阻隔沙源導致淡水河之河床下降(圖 2.1)，其中以關渡橋上游段最明顯(許,2005)。早期河道中之沙洲(淡水居民稱為浮線)，逐漸向下游移動並變小，在 1967-1975 年後，此河段之沙洲已消失(圖 2.2)。

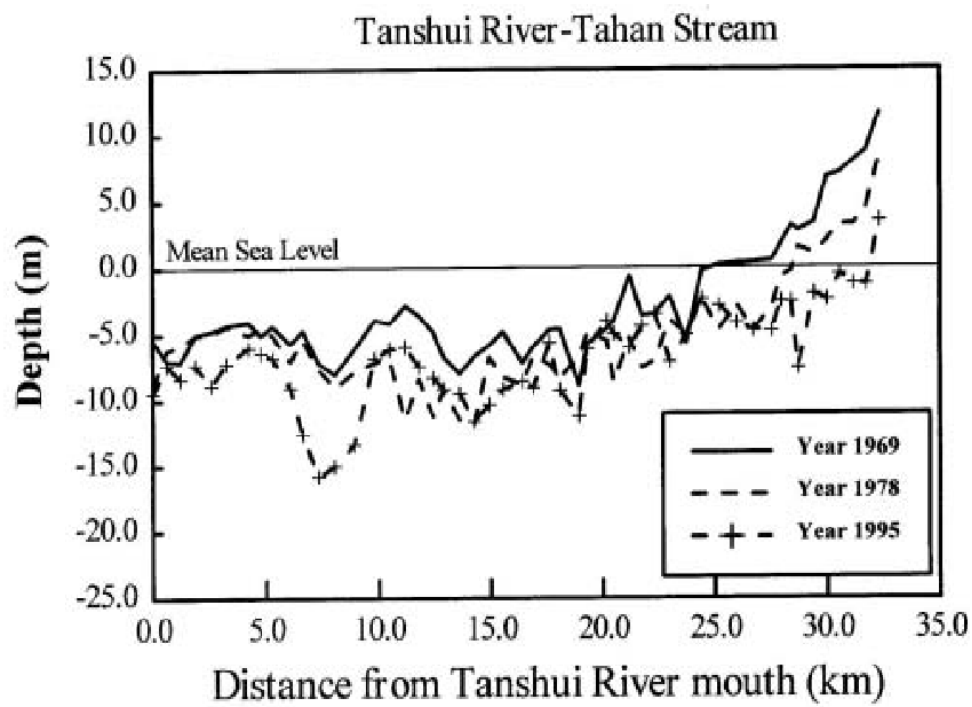


圖 2.1 淡水河河床剖面圖(許,2005)

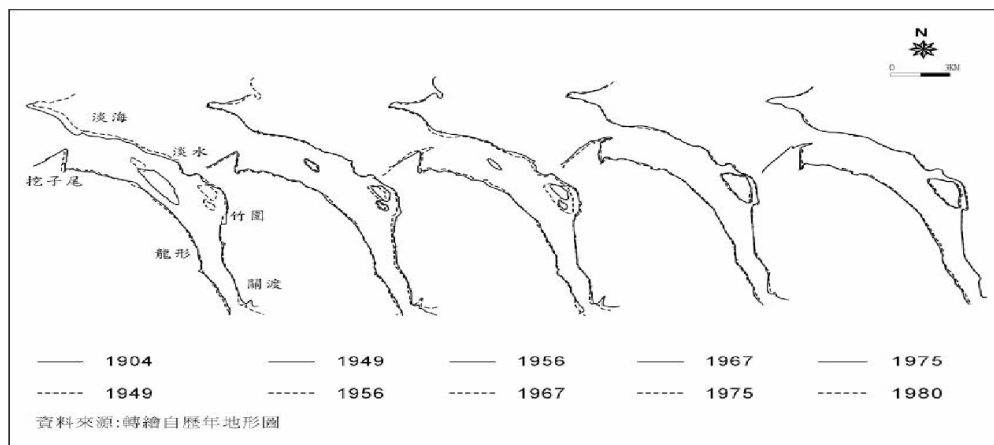


圖 2.2 淡水河口至關渡附近之歷年河道形態 (張,2002)

2.2 海象資料

根據水利署測站資料，淡水河口主要為一日二回潮，平均潮位 0.03m，平均潮差 1.93m，大潮之潮差為 2.89m。而每日兩次潮差之大小差異不大，為典型半日潮主導，其中全日潮差約為半日潮差之 1/5。漲潮之潮流為 SW 方向；退潮之潮流則為 NE 方向(Chiao and Wang, 2004)(圖 2.3)。海域大部分流速皆小於 0.8m/s，夏季最大潮流速度約為 1.19m/s；冬季則為 1.12m/s(洪等, 2000)。夏秋之潮汐水位高、水位變化大；冬春之潮汐水位低、水位變化小。颱風期間及東北季風時，最大浪高達 5-6 m。

淡水河水位變化及水流方向受潮汐影響，而調和分析（harmonic analysis）是潮汐預報的最傳統也是最重要的方法。潮汐調和分析主要是由觀測資料中，找出特定潮汐週期的分潮。因為海洋中的潮汐是線性為主的運動，通常調和分析的適用性很好，由分析結果的分潮可相當準確的預報未來的潮位。

表 2.1、河口站分潮振幅及相位角(柳文成, 2004)

分潮編號	分潮名稱	分潮週期(時)	81~83 年數據		82~83 年數據		83 年數據	
			分潮振幅	相位角	分潮振幅	相位角	分潮振幅	相位角
1	M ₂	12.42	104.3	-147.47	104.5	136.3	105.1	35.71
2	S ₂	12	28.57	-7.67	28.3	-7.64	27.73	-7.3
3	N ₂	12.66	20.94	-61.52	21.02	-34.87	20.96	-45.06
4	K ₁	23.93	21.04	-134.16	20.65	-134.5	19.94	-133.82
5	Sa	8765	15.64	-159.17	17.51	-154.6	17.09	-143.32
6	O ₁	25.82	17.4	129.89	16.88	54.32	16.17	-47.76
7	K ₂	11.97	7.51	135.08	7.13	132.6	7.24	132.43
8	P ₁	24.07	6.92	-109.91	6.93	-109.9	7.12	-110.51
9	M ₄	6.21	2.83	40.9	2.83	-110.9	2.82	47.83
10	L ₂	12.19	6.06	-37.12	6.2	142.7	6.44	-55.56
11	Nu ₂	12.63	5.27	-15.53	5.13	89.55	5.04	161.8
12	Mu ₂	12.87	4.77	-101.86	4.6	103.03	4.4	-101.48
13	Q ₁	26.87	3.5	-134.89	3.39	-107.37	3.24	-121.71
14	SSa	4383	2.97	156.16	2.87	127.96	3.15	157.06
15	2N	12.91	2.35	23.18	2.69	134.64	3.86	-148.54
16	M ₂ S ₂	6.1	1.9	-178.08	1.91	103.63	1.9	6.22
17	Msf	354.4	1.4	-25.14	1.65	51.13	1.86	150.76
18	M ₂ N ₂	6.27	1.08	141.23	1.16	90.26	1.12	-27.5
19	Mm	661.3	0.19	-72.97	0.8	-160.09	1.69	159.29
20	M ₆	4.14	0.42	-110.81	0.44	22.13	0.5	80.54

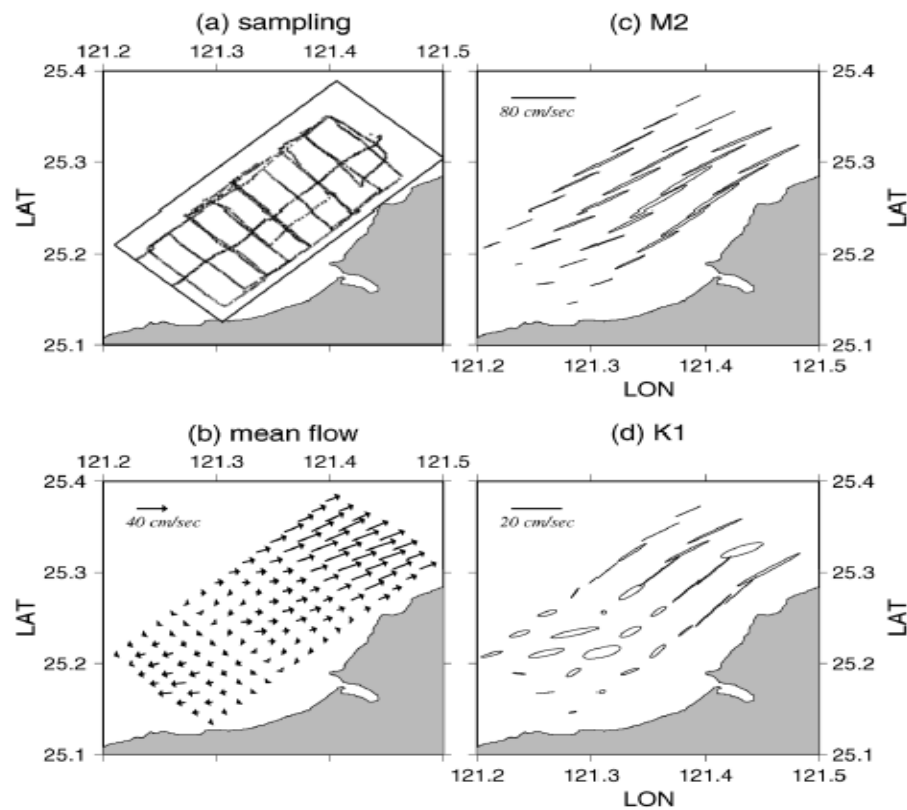


圖 2.3 淡水河口區域之潮流速度圖(Chiao and Wang, 2004)

魏震(2001)根據 Savage 公式及實測波浪能量值推估臺北港興建後，淡水河口海域之年漂沙量為 164 萬立方公尺，與河川年輸砂量 185 萬立方公尺相近。

根據港研中心(2004)資料，在一般情形下，臺北港海域全年平均 $H_{1/3}$ 波高為 0.8m。以季節分，冬季波高最大，平均 $H_{1/3}$ 波高為 1.21m，秋季次高，平均 $H_{1/3}$ 波高為 0.98m，再次為春季，平均 $H_{1/3}$ 波高為 0.71m，夏季波高最小，平均 $H_{1/3}$ 波高僅 0.46m。週期分析方面，春夏季 3 至 8 月份因吹風風速較低，風向亦不穩定，致週期較短，多在 6 秒上下，10 月至 2 月份風向穩定，風速亦強，再加上北來風域較不受限制，故對應之波浪週期較長，多在 6~8 秒變動。

2.3 地質及沉積物組成

淡水河口之地質主要由北側右岸之大屯山安山岩，南側左岸之觀音山安山岩及林口礫石層及大屯山與觀音山間之現代沖積層。沖積物除火山灰、礫石外，大部份則為上游流域之板岩、砂頁岩之風化物(李錫堤, 1998)。河口沉積物以砂粒為主，而由開口至關渡間，顆粒粒徑分佈則愈往上游而遞減(張瑞津, 1989)，顯示海相沉積之可能性。

張勝騰(2003) 分別於淡海、竹圍、關渡、重陽橋、高速公路橋、臺北橋、忠孝橋、中興橋等八個點進行採樣，分析結果顯示水體中顆粒粒徑分佈不均勻，分析結果水中顆粒中值粒徑大小分佈為 20~150 μm 。淡水河底質除關渡及臺北橋為砂粒外，其餘各點均為砂礫粒徑均大於 0.2mm。水體中顆粒沉降速度分佈並無一規律性約為 0.08~0.2cm/sec。懸浮顆粒之最大濃度常發生於底層水體，於中興橋附近出現最大混濁度(Turbidity maximum)，概因接近鹽分入侵終點或因上游泥砂注入，在關渡站出現之局部最大混濁度係因為河床較深與環流所致。

洪奕星(2000) 調查淡水河口一帶海底地形與沉積物分佈，在水深 40m 內是平緩之海底地形區，海床坡度僅約 0.19°，故目前淡水河口並無水下三角洲之形態。海床坡向由河口之西北方向漸轉向到 40m 水深處漸以北向為主(圖 2.4)。

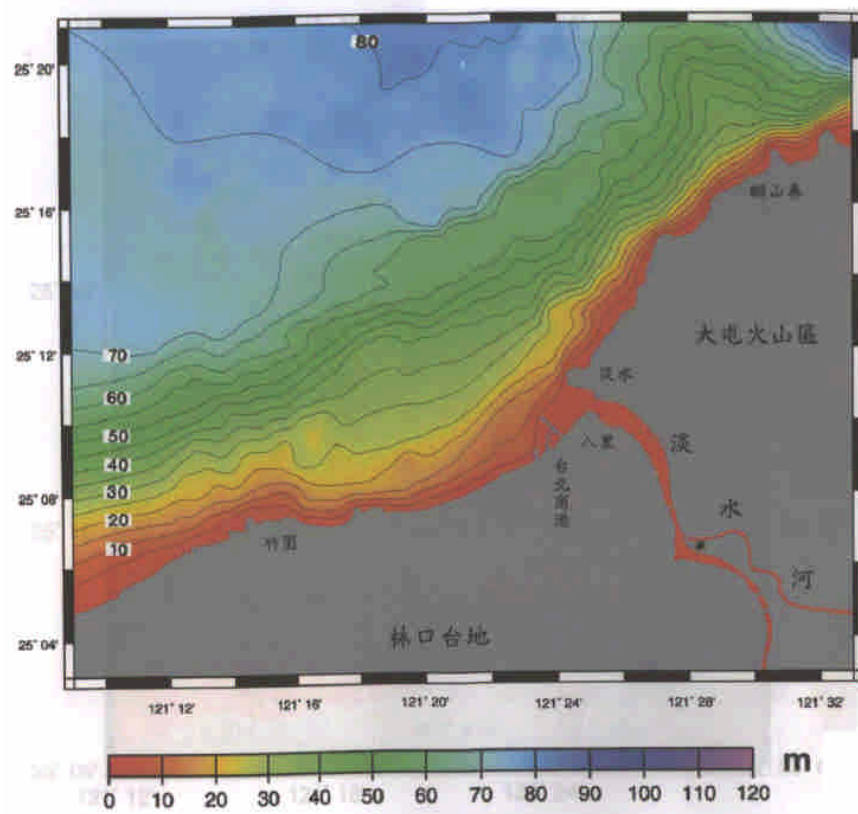


圖 2.4 淡水河口外海底地形(洪奕星, 2000)

洪奕星(2000)以海研一號研究船搭配3.5KHz底面剖面儀測得之回聲資料分析得海床之組成可分五區，其中河源沉積物分佈在淡水河口外及其西南方(圖 2.5)。河口處堆積厚度約 5m，向西在外海處堆積厚度約 1.5m。河口處之砂粒粒徑最大約 0.44mm，並向外海方向遞減。河川沉滓之出海輸送方向為向西或西南，沿岸流之沙源輸送則向南，臺北港北防波堤將阻隔沙源，並在北防波堤與河口間產生淤積(圖 2.6)。

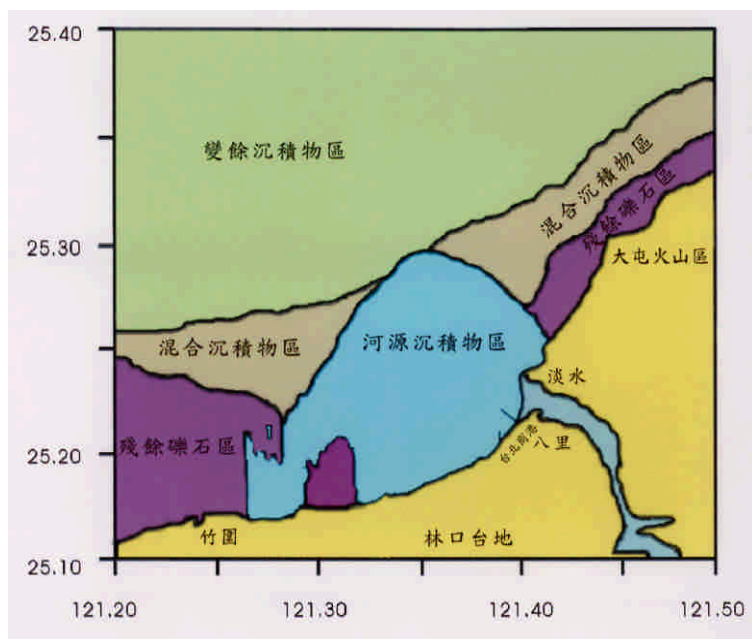


圖 2.5 淡水河口外海床堆積形態(洪，2000)

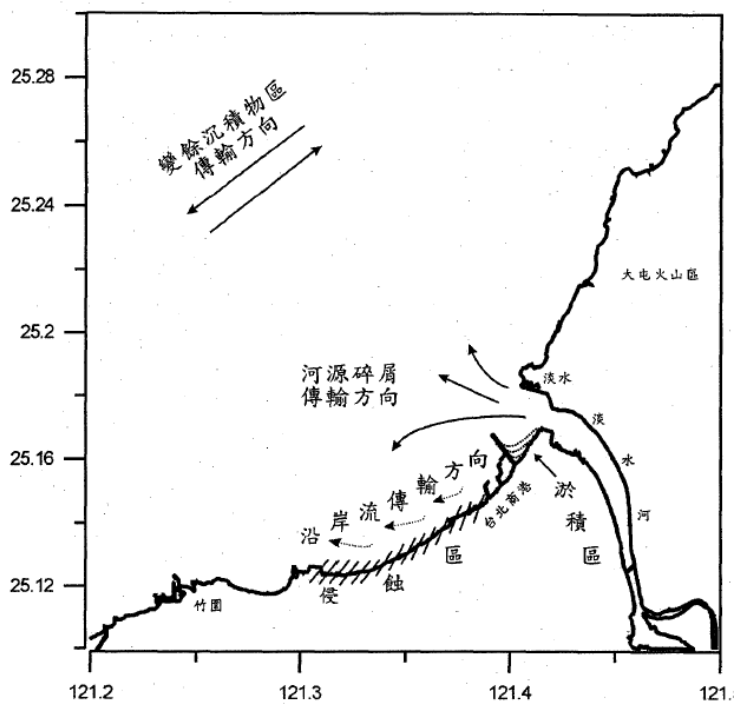


圖 2.6 淡水河口海域沉積物之運移示意圖(洪，2000)

2.4 河口地形及海岸變遷

林雪美(1996) 將淡水河口歸類為左岸沙洲型河口。在八里左岸及淡水河口前，於退潮時有約 1.8 km^2 之沙洲淺灘，當地居民稱為「門洲」(即前濱區)(王鑫1988)。此區之漂沙量約為 $164 \text{ 萬 m}^3/\text{年}$ ，漂沙優勢方向為由北向南(基隆港務局,1997)。近年來，兩岸商港、漁港及海岸之開發利用將影響輸砂的形態，進而改變河口之地形變化。淡水河受潮位上升與河口下游段坡降影響，河川影響距離較遠，河口地形會有日變化。而淡水河各月均有相當的流量，洪枯差異小，河口地形的月變化較不明顯；就冬夏季的流量比、潮差比、波高比與風速比等四項指標，河川流量的冬夏季變化量最大，逕流實為河口地形形成與變化的主要作用；潮汐對西部河口坡降平緩者影響較大，而風浪對北部與東北部河口地形的季節差異仍有影響。淡水河之河口地形長期變化趨勢為時進時退，變化不定(石再添等, 1996)。

根據港研中心(2004)資料，臺北港鄰近海域曾有住都局及水利局辦理多次平面及斷面水深測量，至民國 82 年基港局為辦理臺北港興建計畫，始著手辦理海域地形監測工作，比對監測成果，分析建港前後海岸地形變遷概況如下：

(1)河口北岸

建港前，平均年淤積量為 $17\sim 38 \text{ 萬 m}^3$ ，動工興建前三年，年平均淤積量為 46.3 萬 m^3 。北防波堤興建後，年平均淤積量為 55.8 萬 m^3 ，其將河川輸砂及沿岸漂沙限制於河口附近。

(2)河口以南至北防波堤海岸

建港前，早期河川輸砂量豐富，逐漸淤積形成河口三角洲；近來河川輸砂量減少，河口地形受波浪作用逐漸侵蝕，平均年侵蝕量約為 84.6 萬 m^3 。建港後，沿岸漂沙收防波堤阻隔，沿岸漂沙將淤積於防波

堤上游側，使得原為侵蝕海岸轉變為淤積海岸，平均年淤積量為 116.6 萬 m^3 。

(3) 臺北港港址海岸

建港前，民國 75 年以前，此區域為侵蝕最為嚴重之海岸，沙幾乎已侵蝕殆盡；民國 75 年以後，發生回淤現象，平均年淤積量為 90.5 萬 m^3 ，主要發生在 -5m 以內水域。建港後，興建期間平均年侵蝕量為 145.3 萬 m^3 ，民國 85 年至 90 年間呈淤積性海域，年平均淤積量約 155.8 萬 m^3 。

(4) 港口以南至林口電廠海岸

建港前，基本上海岸侵淤量不大，相較於其他區域穩定。建港後，興建期間呈侵蝕現象，防波堤興建完工後呈淤積。

臺北港附近海域 85 年至 93 年間現場地形侵淤之比較結果顯示：淡水河口北側及臺北港外廓防波堤外側兩區域之總侵蝕量大於總淤積量；淡水河口南側至臺北港防波堤間及淡水河內至渡船頭間兩區域之總淤積量大於總侵蝕量。淡水河口南側在八年期間其平均高程變化量僅約 9.4cm。

整體而言，在淡水河北側屬於淤沙區，北防波堤至河口外海處有淤積情況。另由颱風效應帶來的大量泥沙均被帶往淡水河河口北側附近，並在沿岸淤積。

沙嘴是一道沿岸方向的狹長沙脊或卵石脊，一端和海岸相連，另一端則伸向海中，經常見於曲折海岸的灣口、河口及凸岸處。沙嘴的形成是由波浪和河流帶來的沉積物以沿岸流的形式搬運，故沙嘴常與沿岸流方向平行。淡水河口南岸挖子尾即為風浪產生沿岸流輸砂之堆積所形成之沙嘴地形。因淡水河水流在開口處主要向左流出的慣性，南岸挖子尾的堆積較具規模，形成平行海岸線方向沙嘴，沙嘴屏障海

岸方向的波浪侵襲，使沙嘴後方泥沙堆積旺盛，退潮時可露出長達數百公尺的淺灘。

但近 20 年來，挖子尾沙嘴則出現了形態上的變動狀況。1978 年時，挖子尾沙嘴轉為垂直海岸線方向，且後退至防風林邊緣，但後方淺灘在屏障下仍維持堆積趨勢，靠近岸邊處上有紅樹林生長。在 1980 年淡水第二漁港興建防波堤後，比對 1978~1994 年的相片基本圖，可發現挖子尾地區的沙嘴變動劇烈，其沙嘴形態受到波浪作用、海岸侵蝕及周圍港口的興建，而呈現堆積、轉向、退縮等形態上的變化(圖 2.7) (張菟文，2002)。

而臺北港興建之後，長達 1.6 公里長的北堤干擾了沿岸漂沙的方向，造成漂沙在堤前堆積的情況，低潮時可以露出一整片的廣大沙洲。原先八里汙水廠附近的海岸呈現侵蝕狀態，已逐漸淤積。

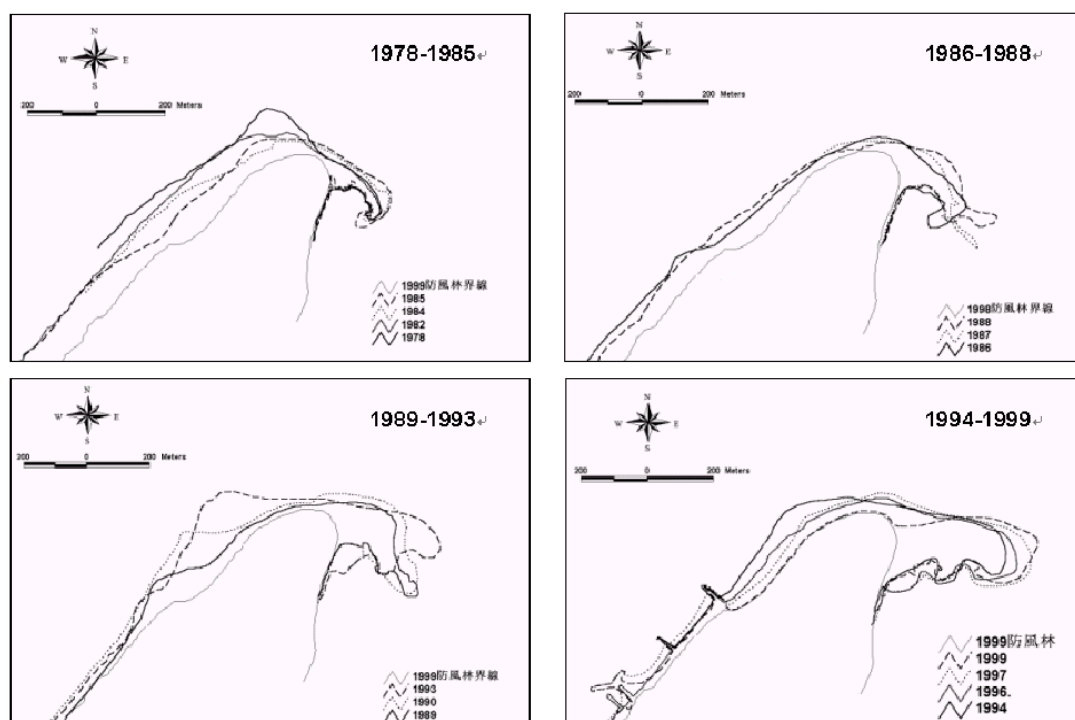


圖 2.7 挖子尾地區歷年沙嘴之變化 (張, 2002)

林俊全等(2003)分析辛樂克颱風之波浪侵蝕挖子尾沙嘴之效應，此一事件中侵蝕量約 $12,718\text{m}^3$ (最大刷深 1.2 m)，然而隔年則回淤到淤積 101m^3 。辛樂克颱風後，A 區有新沙洲形成，似為潮汐作用所產生。

淡水河口區域海岸線之變化量最大的區域位在淡水河口南岸；淡水河北岸因地質屬火山岩層較堅硬，故海岸變化量很小。八里及林口發電廠外海的海岸線變遷也有較大的變化量，其原因主要是受到人為開發的影響。其他地區的海岸線變化情形並不顯著。淡水河口南岸在民國 14 年至民國 37 年呈現海岸向外擴張的現象，最大擴張量約有 700 公尺。民國 37 年以後此區海岸線則呈現退縮的趨勢，至民國 67 年之最大退縮變化量將近 320 公尺，而民國六十七年至民國八十一年之退縮變化量也達到 200 公尺。由民國 14 年及 37 年數位化的淡水河口附近海岸變遷資料也顯示淡水河出海口沙洲的位置，漸趨往北移動，且外形變為長條狀。

八里附近的海岸線自民國 14 年至 37 年之間呈現向外海擴張的趨勢；民國三十七年以後則呈現退縮現象。比較民國 37 年及 67 年的海岸線資料其退縮量約為 180 公尺。民國 81 年由於海岸地區興建凸堤，所以海岸線呈現鋸齒狀。從民國 81 年至民國 86 年間，十三行口附近海岸線有退縮情形，挖子尾附近則有向外擴張的情形(圖 2.8)。

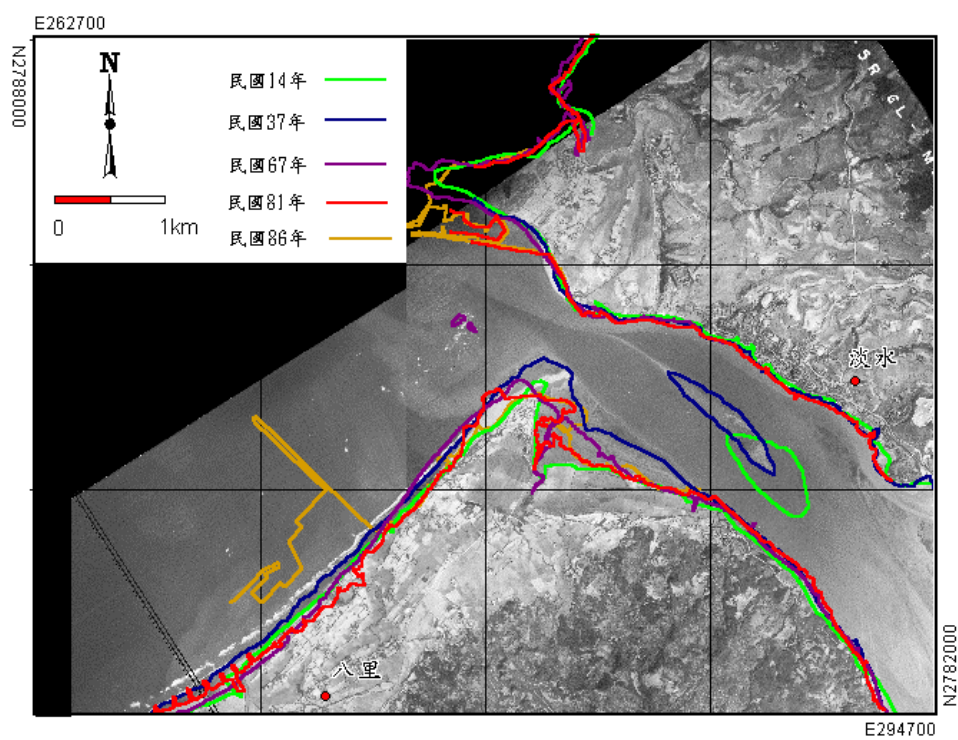


圖 2.8 淡水河口歷年之海岸地形變遷(李錫堤,1998)

第三章 河口重力循環及輸砂特性

控制淡水河河口輸砂的主要因素為潮汐、波浪、河川流量、河口地形及懸浮質及底床質特性等。本章說明淡水河河口資料收集與分析，說明河口循環的機制與特性，並評估適用於淡水河口輸砂之理論模式。在河海環境中，若作用力未達地形變化門檻值(value of geomorphological threshold)前，則保持動態平衡。反之，若作用力大於地形變化門檻值，則會引起長期之地形演變。在觀察過程中，需河口之流量、流速、輸砂與及底床地形等環境資料，才能量化其關係。依陳筱華等(2000)之資料，淡水河口之潮汐流量可達 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ ，較一般逕流量為大，故以日平均流量 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ 或可為逕流作用之門檻值。

淡水河口是臺灣最大的河口系統。潮汐影響大約 82 公里的總長度，其中包括淡水河的全長和其三大支流：大漢溪、新店溪、基隆河。除了在洪水發生期間以外，潮汐所能達到的最遠位置為大漢溪的城林橋、新店溪的秀朗橋、基隆河的江北橋。

潮汐的傳遞是控制水位高程的主要機制。 M_2 是河口的主要分潮，平均潮差為 2.19 公尺，最大潮差達 3 公尺。因為河道斷面的收縮和波的傳遞，潮差最大能到 2.39 公尺。海水入侵是因為潮汐的作用和典型的河口重力循環(two-layer estuarine circulation)。鹽度的變化是由於漲潮和退潮水量的改變以及淡水的入流量。鹽度的分佈造成的斜壓梯度(baroclinic pressure gradient)足以推動底部鹽度較高的水向上游流動，這樣造成雙層循環(two-layer circulation)。換言之，底部的海水流向上游，頂部的淡水流向下游。河口重力循環會影響到河口之縱向淤積分佈。

3.1 重力循環 (Gravitational circulation)之簡化分析

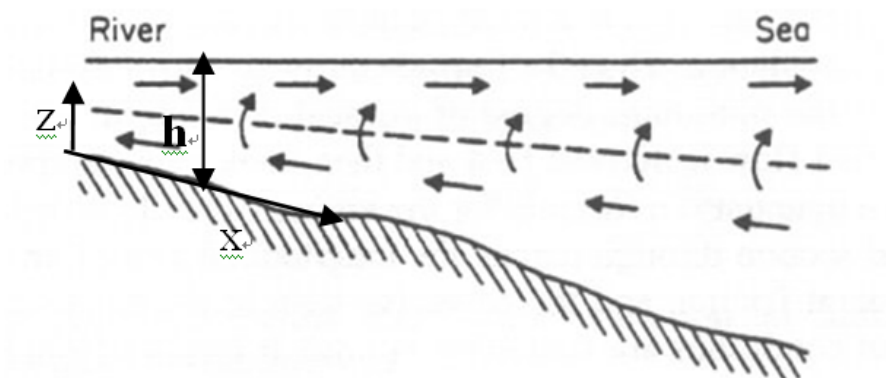


圖 3.1 河口重力循環示意圖

淡水河之平均潮差為 2.19m, 一般之鹽楔分層現象在漲潮時較退潮時明顯(Strain-induced stratification)。如圖 3.1 所示, 為了解河口內長期平均之流況剖面及可能淨輸砂情形, 假設底床坡度為緩坡且為定值 S_0 , z 為自底床算起之高程, 水流方向為 x , $h(x)$ 為水深。假設流況為潮汐之周期平均值, 並令河川流量為 Q_f , 進一步假設河口水體密度密度(ρ)在垂直面上幾近均勻混合; 河水之縱向密度(ρ)在水流方向 x 之梯度則為 $\Gamma = \frac{\partial \rho}{\partial x}$, 河川之水深坡度 $S_w = \frac{\partial h}{\partial x}$, g =重力加速度。水流之垂直分量一般遠小於水平分量, 故可忽略不計, 依靜水壓之假設可得水體中任一高程 z 之靜水壓力 P :

$$P = \rho g(h - z) \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \rho g S_w + (h - z) g \Gamma \dots\dots\dots (3-2)$$

假設河道斷面均勻，並忽略水流之慣性力，則沿流向之穩態動量方程式可寫成：

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau}{\partial z} + \rho g \sin \theta \cong \frac{\partial \tau}{\partial z} + \rho g S_o \dots\dots\dots (3-3)$$

其中 τ = 水流剪應力， θ = 河底坡度， $S_o = -\frac{dz}{dx} \cong \sin \theta$ 。

由(3-2)式和(3-3)式可得：

$$-\tau_o = \int_{\tau_o}^0 d\tau = \bar{\rho} g (S_w - S_o) h + \frac{h^2}{2} g \Gamma \dots\dots\dots (3-4)$$

(3-4)式中取水深平均密度如下

$$\bar{\rho} = \frac{1}{h} \int_0^h \rho dz \dots\dots\dots (3-5)$$

$$S_w' = S_w - S_o = \frac{-\frac{gh^2}{2} \Gamma - \tau_o}{\bar{\rho} gh} = -\left(\frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}} + \tau_{o*}\right) \dots\dots\dots (3-6)$$

上式中底床之無因次剪應力 τ_{o*} 為：

$$\tau_{o*} = \frac{\tau_o}{\bar{\rho} gh} = -\frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}} - S_w' \dots\dots\dots (3-7)$$

式(3-2)、(3-3) 亦可寫成：

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{\partial \tau}{\partial z} + \rho g S_o = -\rho g \left(\frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}} + \tau_{o*} - S_o \right) + (h-z)g\Gamma \\ &\approx gh\Gamma \left(\frac{1}{2} - \eta \right) - \rho g \tau_{o*} + \rho g S_o \end{aligned} \dots\dots\dots (3-8)$$

其中無因次水深位置定義為 $\eta = \frac{z}{h}$ ，由底部到任一高程積分可得：

$$\tau_* = \frac{\tau}{\bar{\rho}gh} = \tau_{0*}(1-\eta) + \frac{h\Gamma}{\bar{\rho}}\left(\frac{\eta}{2} - \frac{\eta^2}{2}\right) \dots\dots\dots (3-9)$$

採用渦度黏滯係數(eddy viscosity)之概念來描述亂流中之剪力分佈：

$$\text{令 } \tau = \bar{\rho}\varepsilon \frac{\partial u}{\partial z} \dots\dots\dots (3-10)$$

$$\tau_* = \frac{\bar{\rho}\varepsilon\sqrt{gh}}{\bar{\rho}gh^2} \frac{\partial\left(\frac{u}{\sqrt{gh}}\right)}{\partial\left(\frac{z}{h}\right)} = \lambda_d \frac{\partial u'}{\partial \eta} \dots\dots\dots (3-11)$$

$$\text{其中 } \lambda_d = \frac{\varepsilon}{\sqrt{gh^3}} \dots\dots\dots (3-12)$$

$$u' = \frac{u}{\sqrt{gh}} = \frac{1}{\lambda_d} \left(\tau_{0*} \left(\eta - \frac{\eta^2}{2} \right) + \frac{h\Gamma}{\bar{\rho}} \left(\frac{\eta^2}{4} - \frac{\eta^3}{6} \right) \right) \dots\dots\dots (3-13)$$

$$q^* = \frac{1}{\sqrt{gh^3}} \int_0^h u dz = \frac{1}{3\lambda_d} \left(\tau_{0*} + \frac{1}{8} \frac{h\Gamma}{\bar{\rho}} \right) \dots\dots\dots (3-14)$$

當淡水逕流量可忽略時，(3-14)式可得底床剪應力與密度梯度之關係為：

$$\tau_{0*} = -\frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}} - S_w' = -\frac{1}{8} \frac{h\Gamma}{\bar{\rho}} \dots\dots\dots (3-15)$$

則無淡水逕流量之速度分佈式為

$$u' = \frac{h\Gamma}{48\lambda_d\bar{\rho}} (-8\eta^3 + 15\eta^2 - 6\eta) = \frac{h\Gamma}{48\lambda_d\bar{\rho}} (8(1-\eta)^3 - 9(1-\eta)^2 + 1) \dots\dots\dots (3-16)$$

而水面之速度為

$$u_s' = \frac{h\Gamma}{48\lambda_d\bar{\rho}} \dots\dots\dots (3-17)$$

(3-16)、(3-17)式與前人之推導結果相同(Lewis, 1997)。

在(3-13)式中速度最大值 $u'_{\max}$ 處其剪應力為零，即 $\tau^*=0$ 。則由(3-9)式可得

$$0 = \tau_{0*}(1-\eta) + \frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}}\eta(1-\eta) \dots\dots\dots (3-18)$$

(3-18)式之一解為水面($\eta=1$)，另一解則為鹽楔中之最大速度處，即為

$$\eta = \chi = -\frac{2\bar{\rho}\tau_{0*}}{h\Gamma} \dots\dots\dots (3-19)$$

底部逆向流之範圍($0 \leq \eta \leq \eta_1$)，可由(3-13)式令 $u'(\eta_1)=0$ 得：

$$-\frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}}\frac{\eta_1^2}{3} + (\frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}} - \tau_{0*})\frac{\eta_1}{2} + \tau_{0*} = 0 \dots\dots\dots (3-20)$$

則逆向流量及平均逆流速度可表示為：

$$q_r^* = \frac{1}{\sqrt{gh^3}} \int_0^{\eta_1} u dz = \int_0^{\eta_1} u' d\eta = \frac{1}{\lambda_d} (\tau_{0*} (\frac{\eta_1^2}{2} - \frac{\eta_1^3}{6}) + \frac{h\Gamma}{\bar{\rho}} (\frac{\eta_1^3}{12} - \frac{\eta_1^4}{24})) \dots\dots\dots (3-21a,b)$$

$$\bar{u}_r' = \frac{q_r^*}{\eta_1} = \frac{1}{\lambda_d} (\tau_{0*} (\frac{\eta_1}{2} - \frac{\eta_1^2}{6}) + \frac{h\Gamma}{\bar{\rho}} (\frac{\eta_1^2}{12} - \frac{\eta_1^3}{24}))$$

定義：

$$A = \frac{h\Gamma}{2\bar{\rho}}, B = \tau_{0*} \dots\dots\dots (3-22a,b)$$

$$\eta_1 = \frac{3}{4} \left((1 - \frac{B}{A}) \pm \sqrt{(1 - \frac{B}{A})^2 + \frac{16}{3} \frac{B}{A}} \right) \dots\dots\dots (3-23)$$

由式(3-19)可知 $\chi = -\frac{B}{A}$ ， $0 \leq \eta_1 \leq 1$ 且滿足 $\chi=0, \eta_1=0$ ，可得

$$\eta_1 = \frac{3}{4} \left((1 + \chi) - \sqrt{(1 + \chi)^2 - \frac{16}{3} \chi} \right) \dots\dots\dots (3-24)$$

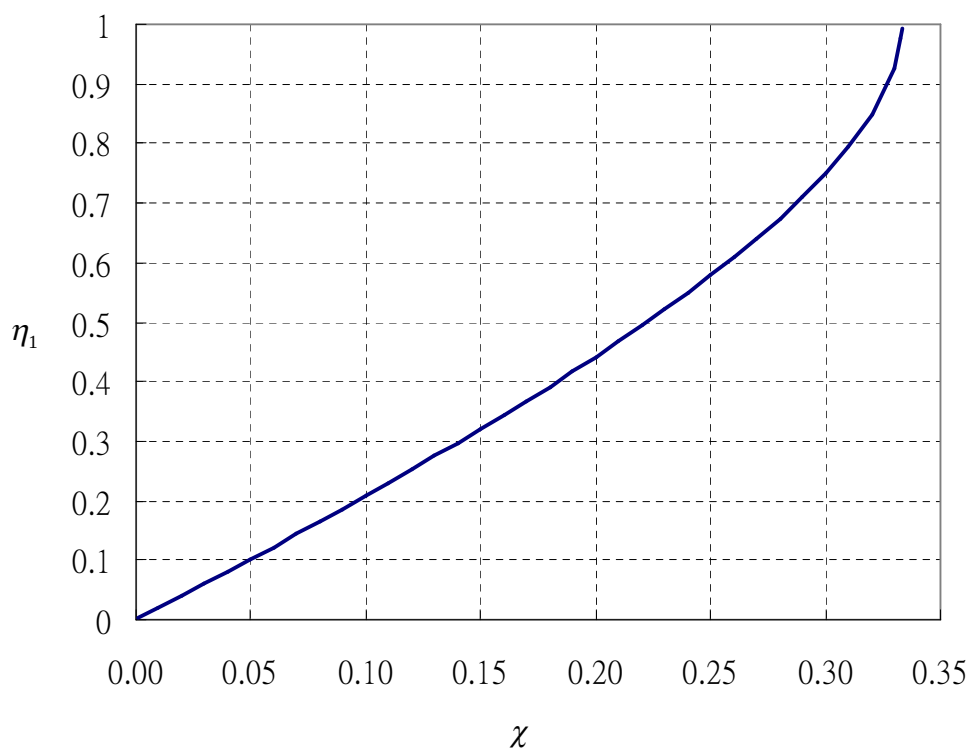


圖 3.2 η_1 與 χ 之關係圖

η_1 與 χ 之關係如圖 3.2 所示，因 $\chi \rightarrow \frac{1}{3}$ 則 $\eta_1 \rightarrow 1$ ，故底部迴流存在之範圍

為 $0 < \chi \leq \frac{1}{3}$ 。而由 (3-7), (3-19) 式可知

$$\therefore \chi = -\frac{2\tau_{0*}\bar{\rho}}{h\Gamma} = 1 + \frac{2\bar{\rho}S_w'}{h\Gamma} = 1 + \frac{2(S_w - S_o)}{ch} \dots\dots\dots (3-25)$$

$$\text{其中 } c = \frac{\Gamma}{\bar{\rho}} \dots\dots\dots (3-26)$$

假設縱向密度梯度(c)為定值，可得

$$c = \text{const} = \frac{d\bar{\rho}}{dx} \rightarrow \bar{\rho} = \bar{\rho}_0 e^{cx} \dots\dots\dots (3-27)$$

而由(3-13)式 可知表面流速 u_s' (當 $\eta=1$)為：

$$u_s' = \frac{1}{\lambda_d} \left(\frac{\tau_{0*}}{2} + \frac{h\Gamma}{12\bar{\rho}} \right) = \frac{\sqrt{gh^3}}{\varepsilon} ch \left(-\frac{\chi}{4} + \frac{1}{12} \right) \dots\dots\dots (3-28)$$

而鹽楔中之最大速度 u_c' (當 $\eta=\chi$)則為：

$$u_c' = \frac{\sqrt{gh^3}}{\varepsilon} ch \left(-\frac{\chi^2}{4} + \left(\frac{\chi^3}{12} \right) \right) \dots\dots\dots (3-29)$$

由(3-28)、(3-29)式可知兩者之速度比值為：

$$R = \left| \frac{u_c'}{u_s'} \right| = \frac{\frac{\chi^2}{4} - \frac{\chi^3}{12}}{\left(\frac{1}{12} - \frac{\chi}{4} \right)} \dots\dots\dots (3-30)$$

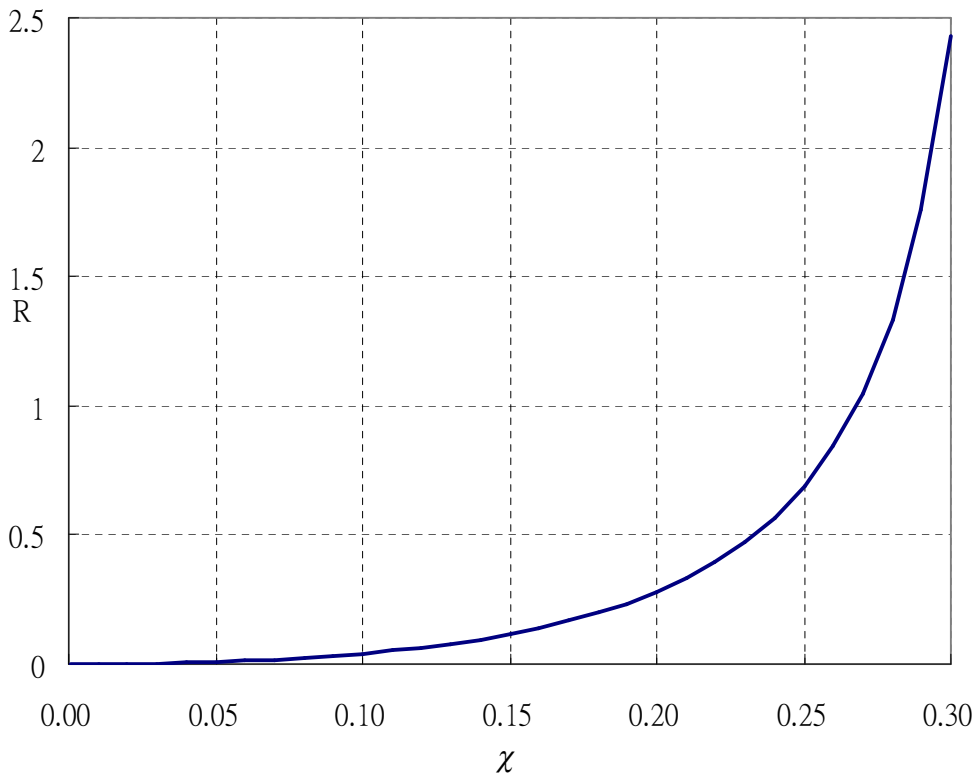


圖 3.3 R 與 χ 之關係圖

R 與 χ 之關係如圖 3.3 所示，當 $\chi \geq 0.27$ 則 $R \geq 1$ 。故由圖 3.2 及 3.3 可知鹽楔之範圍及水理特性由(3-19)式參數 χ 所決定。無淡水逕流量時 ($Q_f = 0$)， $\chi = \frac{1}{4}$ ，故鹽楔迴流範圍為 $\eta_1 = 0.578$ ，最大迴流速度位於 $\eta = \chi = \frac{1}{4}$ ，與水面速度之相對比值 $R = 0.688$ 。

若進一步假定河寬(B)為定值，則沿程之單寬流量為定值 ($\because q_f = \frac{Q_f}{B}$)。由(3-14)式及(3-7)式可知：

$$q_f = \frac{\sqrt{gh^3}}{3\lambda_d} (\tau_{0*} + \frac{1}{8} \frac{h\Gamma}{\rho}) = \frac{gh^3}{3\varepsilon} (-\frac{3h\Gamma}{8\rho} + S_o - S_w) = \text{const} \tan t \dots\dots\dots (3-31)$$

配合式(3-6)及式(3-26)可得

$$S_w' = \frac{dh}{dx} - S_o = -\frac{3ch}{8} - \frac{3\varepsilon q_f}{gh^3} \dots\dots\dots (3-32)$$

由(3-32)式可知在忽略底床坡度時，水面坡度為負，即水深往下游遞減且隨淡水流量之增加而趨明顯。一般亂流之動量擴散係數可假定與質量擴散係數相同，則由 Elder 關係式(Fischer et al., 1979) 可估算亂流之視運動黏滯係數(apparent viscosity)為

$$\varepsilon = 0.067u^*h = 0.067h\sqrt{\frac{gch^2}{2} - ghS_w'} \approx \delta\sqrt{gch^2} \dots\dots\dots (3-33)$$

其中 $\delta = \frac{0.067}{\sqrt{2}} = 0.0474$ 。故(3-32)式可改寫成：

$$\frac{dh}{dx} - S_o = -\frac{3ch}{8} - \frac{3\delta\sqrt{\frac{c}{g}}q_f}{h} \dots\dots\dots (3-34)$$

$$\text{定義 } S_{oc}^2 = \frac{9\delta q_f}{2} \sqrt{\left(\frac{c}{g}\right)} ; q_1 = \frac{1}{9}(S_o^2 - S_{oc}^2) \dots\dots\dots (3-35a,b)$$

則(3-34)式之解 (Peirce p.13, A short Table of Integrals, 4th edition)為

(1) 當 $S_{oc}^2 > S_o^2$ 時：

$$\frac{3cx}{4} = \log\left(\frac{c}{8}h^2 - \frac{S_o}{3}h + \delta \frac{q_f}{g} \sqrt{\frac{c}{g}}\right) + \frac{S_o}{3c} \frac{2}{\sqrt{q_1}} \tan^{-1}\left(\frac{\frac{c}{4}h - \frac{S_o}{3}}{\sqrt{q_1}}\right) \dots\dots\dots (3-36)$$

此一狀況下，水深將隨向上游之距離增加而變大，故不為本研究之興趣範圍。

(2) 當 $S_o > S_{oc}$ 時，則

$$-\frac{3c(x-x_o)}{4} = \log\left(\frac{\frac{c^2 h^2}{8S_o^2} - \frac{1}{3}\frac{ch}{S_o} + \frac{2}{9}\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}{\frac{c^2 h_o^2}{8S_o^2} - \frac{1}{3}\frac{ch_o}{S_o} + \frac{2}{9}\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}\right) + \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}} \log\left(\frac{1 - \frac{\frac{2}{3}\sqrt{1-\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}}{\frac{ch}{4S_o} - \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\sqrt{1-\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}}}{1 - \frac{\frac{2}{3}\sqrt{1-\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}}{\frac{ch_o}{4S_o} - \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\sqrt{1-\left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}}}\right) \dots\dots\dots (3-37)$$

定義無因次參數為

$$\tilde{h} = \frac{ch}{S_o} \dots\dots\dots (3-38a)$$

$$\tilde{x} = cx \dots\dots\dots (3-38b)$$

$$\tilde{S} = \frac{S_{oc}}{S_o} \dots\dots\dots (3-38c)$$

$$\xi = \sqrt{1-\tilde{S}^2} \dots\dots\dots (3-38d)$$

則(3-37)式可改寫成：

$$-\frac{3(\tilde{x} - \tilde{x}_o)}{4} = \frac{3\tilde{x}_b}{4} = \log\left(\frac{\frac{\tilde{h}^2}{8} - \frac{\tilde{h}}{3} + \frac{2}{9}\tilde{S}^2}{\frac{\tilde{h}_o^2}{8} - \frac{\tilde{h}_o}{3} + \frac{2}{9}\tilde{S}^2}\right) + \frac{1}{\xi} \log\left(\frac{1 - \frac{2\xi}{\frac{3\tilde{h}}{4} - 1 + \xi}}{1 - \frac{2\xi}{\frac{3\tilde{h}_o}{4} - 1 + \xi}}\right) \dots\dots\dots (3-39)$$

式中 $\tilde{x}_b$ 為從下游參考點起算之溯上距離。(3-37)式成立之條件為

$$(c'h^2 + bh + a) < 0, \text{ 即 } h_2 < h < h_1$$

$$h_1 = \frac{\frac{S_o}{3}(1 + \sqrt{1 - (\frac{S_{oc}}{S_o})^2})}{\frac{c}{4}} \dots\dots\dots (3-40)$$

$$h_2 = \frac{\frac{S_o}{3}(1 - \sqrt{1 - (\frac{S_{oc}}{S_o})^2})}{\frac{c}{4}} \dots\dots\dots (3-41)$$

或

$$\frac{ch_1}{S_o} = \tilde{h}_1 = \frac{4}{3}(1 + \sqrt{1 - (\frac{S_{oc}}{S_o})^2}) \dots\dots\dots (3-42)$$

$$\frac{ch_2}{S_o} = \tilde{h}_2 = \frac{4}{3}(1 - \sqrt{1 - (\frac{S_{oc}}{S_o})^2}) \dots\dots\dots (3-43)$$

而沿程之底層流範圍可表示如(3-24)式

$$\therefore \chi = -\frac{2\tau_{0*}\bar{\rho}}{h\Gamma} = \frac{1}{4} - \frac{4}{3} \frac{S_{oc}^2}{c^2 h^2} \dots\dots\dots (3-44)$$

當 $\chi = 0$ ，則 $\eta = 0$ 表示此處為鹽楔終點(the null point)，亦為河口之最大濁度點 (Estuarine Turbidity Maximum point, ETM)。由(3-44)式可知

$$\therefore \frac{ch_n}{S_o} = \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{S_{oc}}{S_o} = \frac{4}{\sqrt{3}} \tilde{S} \dots\dots\dots (3-45)$$

亦即此時之水深 h_n 為

$$\therefore h_n = \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{0.462 \sqrt{q_f \left(\frac{c^3}{g}\right)^{\frac{1}{2}}}}{c} = 1.067 \sqrt{q_f \left(\frac{c}{g}\right)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (3-46)$$

鹽楔之位置則可由式(3-39)得知為：

$$\frac{3\tilde{x}_{bn}}{4} = \log\left(\frac{\frac{2\tilde{S}^2}{3} - \frac{4\tilde{S}}{3\sqrt{3}} + \frac{2}{9}\tilde{S}^2}{\frac{\tilde{h}_o^2}{8} - \frac{\tilde{h}_o}{3} + \frac{2}{9}\tilde{S}^2}\right) + \frac{1}{\sqrt{1-\tilde{S}^2}} \log\left(\frac{1 - \frac{2\sqrt{1-\tilde{S}^2}}{\sqrt{3}\tilde{S} - 1 + \sqrt{1-\tilde{S}^2}}}{1 - \frac{2\sqrt{1-\tilde{S}^2}}{\frac{3\tilde{h}_o}{4} - 1 + \sqrt{1-\tilde{S}^2}}}\right) \dots\dots\dots (3-47)$$

配合(3-37)、(3-42)、(3-43)式之條件得

$$\frac{4}{3}\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}\right) < \frac{4S_{oc}}{\sqrt{3}S_o} < \frac{4}{3}\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{S_{oc}}{S_o}\right)^2}\right) \dots\dots\dots (3-48)$$

所以河口之最大濁度點成立之條件為

$$\therefore 0 < \frac{S_{oc}}{S_o} < \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 \dots\dots\dots (3-49)$$

案例分析:令 $c = 2 \times 10^{-6} m^{-1}$, $S_o = 0.00004$, $q_f = 0.15 m^2 / s$, $h_o = 8m$, 由(3-21) 及 (3-39)式可求出速度剖面及水深變化, 如圖 3.4 所示, 並由(3-24)及(3-44)式可知底層逆流之沿程分佈如圖 3.5 所示。

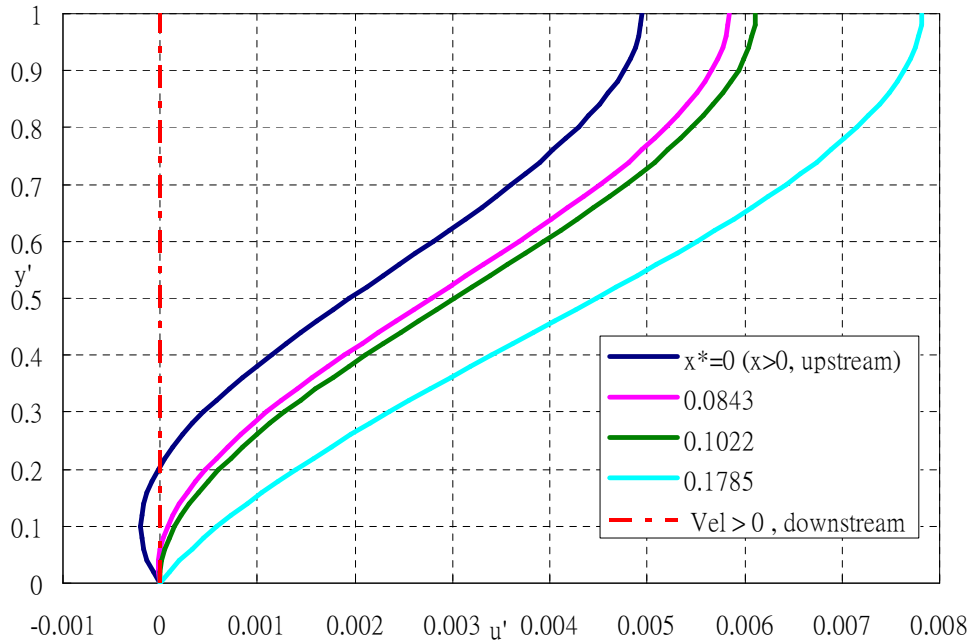


圖 3.4 不同沿程位置之重力循環速度剖面

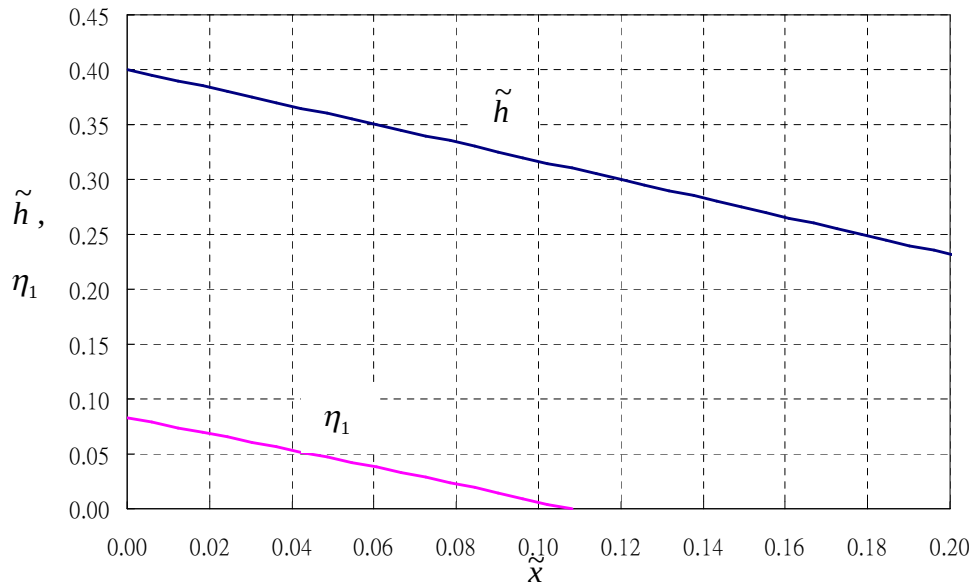


圖 3.5 水深及底層逆流之沿程分佈

ETM 一般可視為河口密度層變與均勻混合區域之分界線，而 ETM 之結構由層變條件及斜壓梯度(baroclinic pressure gradient)決定(Geyer, 1993)。重力循環代表斜壓梯度 $O(\beta\Gamma gH)$ 與摩擦力 $O(\nu_t UH^{-2})$ 之平衡關係如下：

$$U \approx \frac{\beta\Gamma gH^3}{\nu_t} \dots\dots\dots (3-50)$$

其中 β = 鹽度膨脹係數， Γ = 縱向鹽度梯度， H = 水深， ν_t = 渦流黏滯係數， U = 重力循環淨流速。非層變情況下， $\nu_t \approx \sqrt{C_d} U_{rms} H$ (Prandle, 1985)，亦即

$$\frac{U}{U_{rms}} \approx \frac{\beta\Gamma gH^2}{\sqrt{C_d} U_{rms}^2} \dots\dots\dots (3-51)$$

在層變之情況下，渦流黏滯係數 ν_t 可能只有非層變情況下的 1/10 或更小 (Ivey and Imberger, 1991)。而潮流在底床邊界受剪情況下，且有水平鹽度梯度時，剪應力會因潮汐往復而加強或消滅既有之層變情況，此一機制稱為周期性剪應變引致層變(strain induced periodic stratification SIPS)。以一維潮流而言，鹽度之平衡方程式可寫成：

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -U(z,t)\Gamma \dots\dots\dots (3-52)$$

若鹽度縱向梯度與水深無關，則垂直鹽度梯度之變化率可寫成：

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial S}{\partial z} \right) = -\frac{\partial U(z,t)}{\partial z} \Gamma \dots\dots\dots (3-53)$$

取入海水流方向為 x ， $U > 0$ 為向海水流，故 $\Gamma > 0$ 。穩定層變之條件為垂直鹽度梯度為負值 ($\frac{\partial S}{\partial z} < 0$)，發生之情況為 $\frac{\partial U}{\partial z} > 0$ 。退潮時，

潮流向海並配合底床邊界條件而滿足 $\frac{\partial U}{\partial z} > 0$ 之情況，故容易形成穩定之密度層變。反之，在漲潮時，水流剖面呈 $\frac{\partial U}{\partial z} < 0$ ，故鹽度之層變現象趨弱，水體之鹽度剖面較均勻。當重力循環存在時，斜壓梯度亦會驅動底層海水向陸及表層淡水向海，進而提升鹽度層變現象。

圖 3.6 河口說明最大濁度點距離與無因次參數 $\tilde{S} = \frac{S_{oc}}{S_o}$ 之關係。隨著底床坡度增加，重力效應愈明顯， $\tilde{S} = \frac{S_{oc}}{S_o}$ 遞減，則最大濁度點距離遞減；流量增加則 $\tilde{S} = \frac{S_{oc}}{S_o}$ 遞增，最大濁度點距離變大。另一方面，下游水深之增加則提供重力循環之動力，故如圖 3.7 河口所示，最大濁度點距離隨水深而增大。

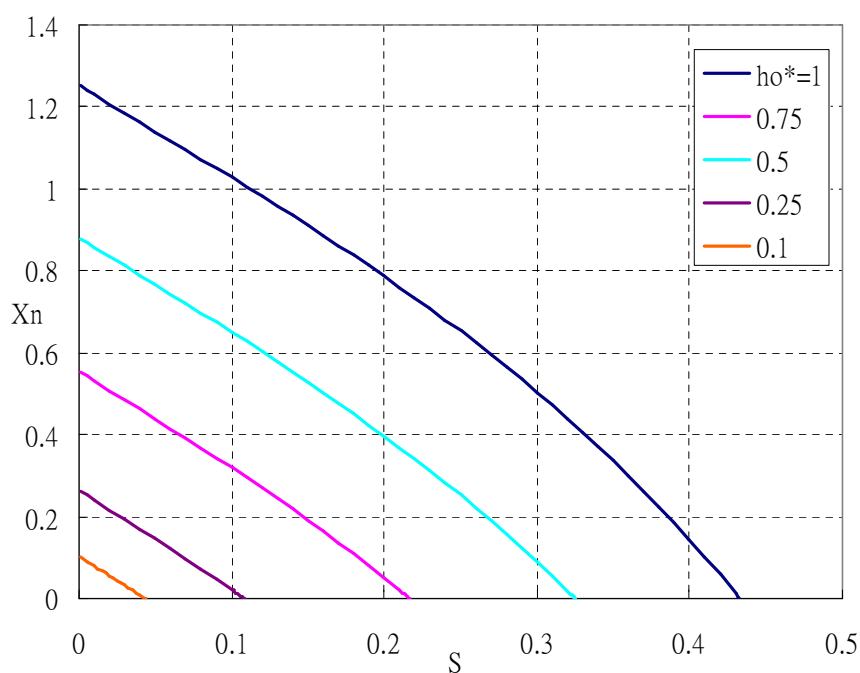


圖 3.6 河口最大濁度點距離與底床坡度關係

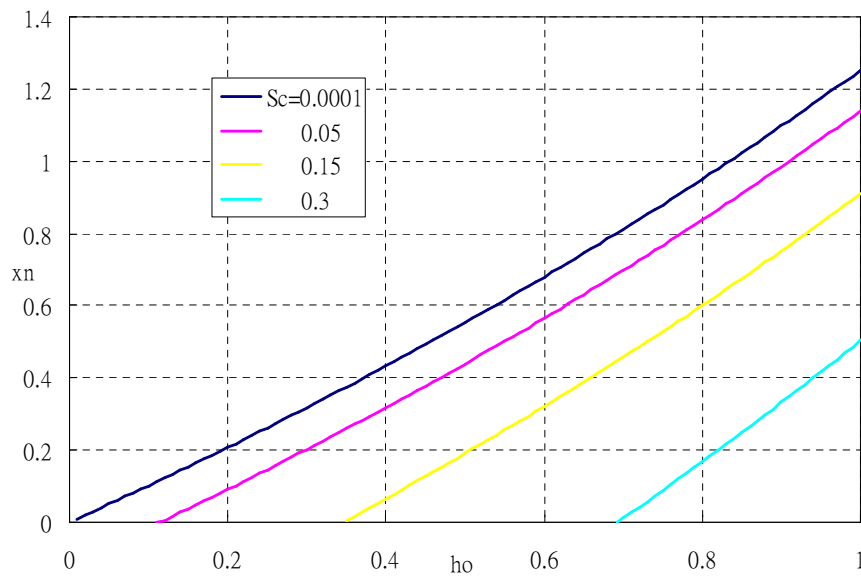


圖 3.7 河口最大濁度點距離與水深關係

為進一步分析淡水河口之重力循環流特性，本研究取淡水河口下游斷面 4、斷面 10(見第四章 宋等,2001)距離 7 公里之坡度為 1/1400，平均水面下之河寬為 500 m。縱向之密度梯度($c = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x}$)(依前人分析 (Liu, et al., 2004) 取為 $1.1\text{E-}6 \text{ m}^{-1}$ ，並取挖子尾處的水深 $h_o = 8\text{m}$ 為邊界條件。

根據上述理論及配合不同入流條件，計算 ETM 之位置點如表 3.1 所示。在年平均流量($Q_{\text{ave}}=123.71\text{cms}$)以上並無重力環流存在。而當河川逕流量約小於 $Q_{75}(=19.57\text{cms})$ 與 $Q_{90}(=12.2\text{cms})$ 間時，河口之底部迴流會越過竹圍(斷面 4)之淺灘而進入關渡橋河段；反之當流量大於 $Q_{50}(=46.29\text{cms})$ 時，河口之底部迴流只存在距河口 3.4 公里範圍內。此一計算結果可說明淡水河口之底泥最大濃度處(ETM)應靠近河口；另一方面在豐水期期間，淡水河口之重力循環流不易存在，故在計算淡水河之颱風輸砂量時，不需考慮底部迴流之輸砂特性。

表 3.1 不同流況下河口環流及底泥最大濃度範圍

流況	斷面流量 (cms)	單寬流量 q(cms/m)	ETM 水深 h_n (m)	ETM 距河 口位置 x_n (m)	河口底層迴 流水深比 η_1
Q_w (雨季)	800	1.6	x	x	x
Q_d (乾季)	500	1	x	x	x
Q_{ave}	123.71	0.24742	x	x	x
Q_{50}	46.29	0.09258	5.66	3357.6	0.27
Q_{75}	19.57	0.03914	3.68	6138.1	0.44
Q_{90}	12.2	0.0244	2.91	7224.4	0.49

3.2 河口輸砂分析

就一般河口而言，因位處河川下游，底床顆粒較上游細，90%之年輸砂量是在最大 5%之流量中以懸浮值流出，而一年中約 80%之時間幾乎是無懸浮輸砂量存在(Dyer, 1994)。如黃河整年輸砂量為 10^9 T/yr，其中約 30%的輸砂量是在為期 2~3 天的洪水中流入渤海灣。

臺灣因板塊擠壓運動，每年上升速率約為 5-7mm (Liew, P.M. et al., 1993)，而臺灣河流下切侵蝕率約為 3-6 mm/yr (Dadson et al., 2003)。關渡附近河寬約 250m，淡水河口則約 800m。淡水河流域之地質以砂岩、頁岩、硬頁岩、板岩為主。淡水河流域之輸砂量佔全國之 2.7-5.9%(張慶源，2003)。洪奕星(2000)指出淡水河之河口外輸砂源自河口內，其中大部份為淡水河本流所流出，少部份來自陽明山之火山岩。依河床沉積物岩心採樣，顯示淡水河之輸砂約 95%流出河口，約 5% 留於河口內(臺大林曉武教授，personal communication)。

3.2.1 底床載估算

Sternberg (1972)提出由顆粒粒徑，及底床上 1 m 之平均流速 U_{100} 來推求底床剪應力、顆粒啟動條件及底床載之計算方法，說明如下：

假定底床之邊界層速度符合 Prandtl 之對數分佈，即離底床高程 z 之速度 U_z 可表示為：

$$\frac{\bar{U}_z}{u_*} = 5.75 \log\left(\frac{z}{z_o}\right) \dots\dots\dots (3-54)$$

上式中 $u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}$ 為底床之剪力速度。依上式可由底床邊界層(取 1.5m 內)之速度分佈計算邊界剪力速度如下：

$$u_* = \frac{\bar{U}_{z2} - \bar{U}_{z1}}{5.75 \log\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} \dots\dots\dots (3-55)$$

一般常以離底床高程 1m(100cm)之速度 U_{100} 為底床亂流邊界層之代表速度，且底床剪應力可用下式：

$$\tau_o = C_{100} \rho \bar{U}_{100}^2 \dots\dots\dots (3-56)$$

亦即

$$u_* = \sqrt{C_{100}} U_{100} \dots\dots\dots (3-57)$$

依現場資料， $z_o \approx 0.02 \sim 0.2 \text{ cm}$ ，當 $U_{100} > 0.15 \text{ m/s}$ 時， $C_{100} \approx 2 \sim 4 \times 10^{-3}$ ，其平均值為 $\bar{C}_{100} = 3.1 \times 10^{-3}$ 。所以

$$u_* = 5.47 \times 10^{-2} \bar{U}_{100} \dots\dots\dots (3-58)$$

顆粒運動之啟動條件依其臨界剪力而定，Inman (1963)提出與臨界剪應力與粒徑之關係圖如下：

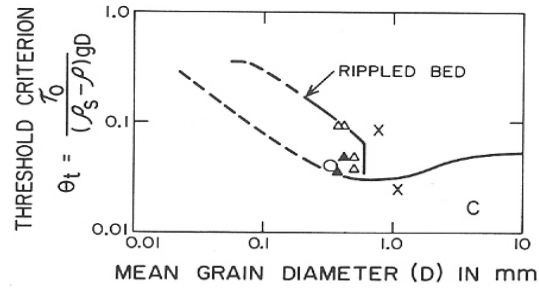


圖 3.8 臨界剪應力與粒徑之關係(Inman, 1963)

依 Bagnold (1963)之河川功率概念推求底床載。河川功率 ω 之概念為單位截面積底床剪力於單位時間所做的功，即

$$\omega = \tau_0 U \dots\dots\dots (3-59)$$

Inman et al. 則假設河川功率 ω 可直接表示為

$$\omega = \rho u_*^3 \dots\dots\dots (3-60)$$

單位寬度底床載 j (gm/cm/s)與河川功率之關係為

$$\frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} gj = K\omega = K\rho u_*^3 \dots\dots\dots (3-61)$$

式中，係數 $K = \frac{\varepsilon_b}{\tan \phi - \tan \theta}$ ， ρ_s =沉滓密度， ρ =水密度， g =重力加速度，

ε_b =效率係數($\varepsilon_b < 1$)， ϕ =內摩擦角， θ =底床坡度。

Kachel and Sternberg (1971) 由現場資料驗證(3-60)式之關係如圖 3.8。

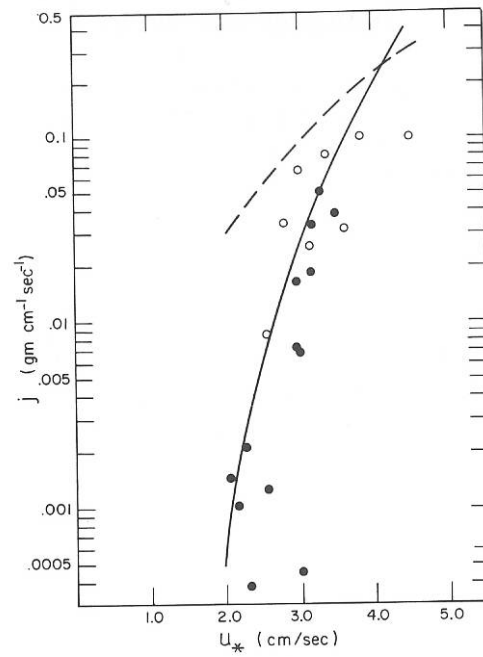


圖 3.9 單位寬度底床載 j 與剪力速度之關係(Kachel and Sternberg, 1971)

上圖中實線為(3-60)式之迴歸線。Kachel and Sternberg (1971)並提出

$K = f\left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c}\right)$ 及平均粒徑之關係式如圖 3.9 所示。

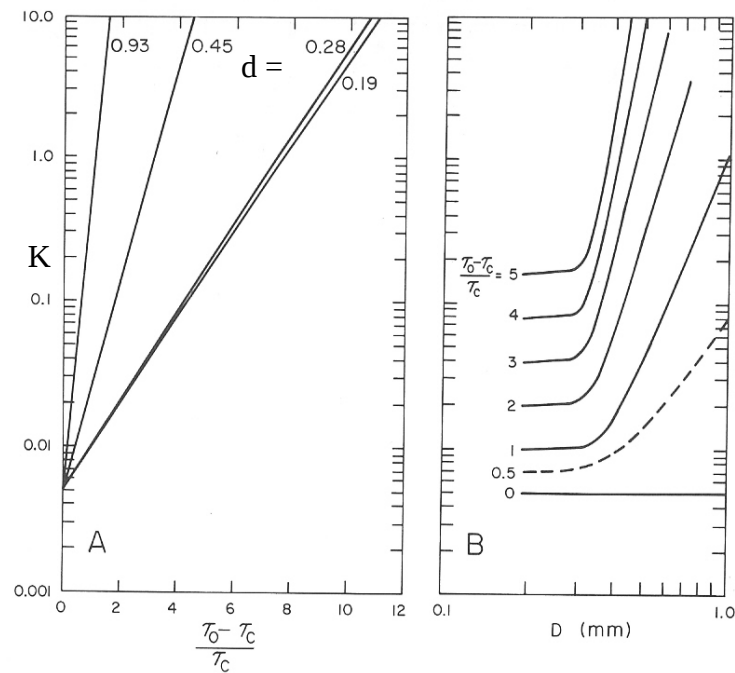


圖 3.10 K 與粒徑及相對剪應力之關係式

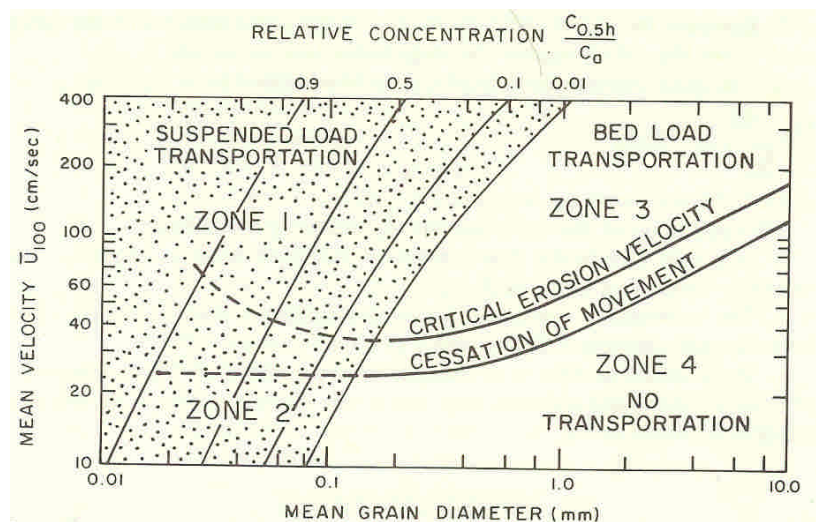
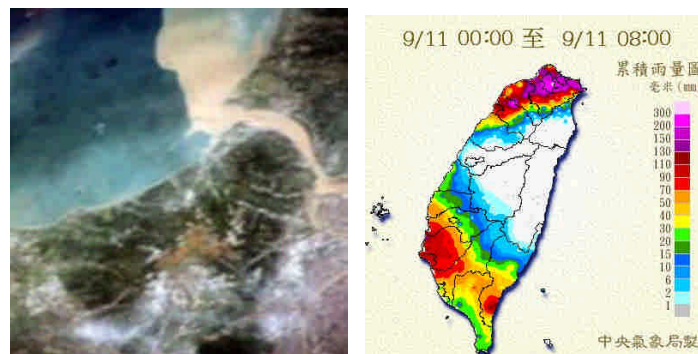


圖 3.11 流速、粒徑與沉滓運動型態之關係 (Sundborg, 1967)

上述公式適用之沉滓粒徑範圍為 0.2 – 1 mm，並以底床載為主。若流速增加則沉滓運動型態可能由底床載轉為懸浮載如圖 3.10 所示。由粒徑分佈可知小於 0.1 mm 之粒徑其運動型態以懸浮載為主；粒徑分佈大於 1.0 mm 之粒徑其運動型態則以底床載為主。淡水河採樣之粒徑

在關渡橋上游皆小於 0.1 mm，可視為懸浮載。基隆河及關渡橋下游之底床質粒徑範圍約為 0.1 ~ 0.5 mm，故在低流量時以底床載運行；然而在颱風期間，淡水河之實測表面水流可達 2 m/s 以上，故此時水體沉滓運動型載將以懸浮載為主。實測含沙量約為 10 g/L (10000ppm)。圖 3.11 為海馬颱風 (93/09/11-93/09/13)時，河口浮流隨退潮北移之情況，可為一佐證。



(a) 河口衛星影像 (b) 累積降雨圖

圖 3.12 海馬颱風時之河口浮流及雨量圖(93/9/11)

3.2.2 懸浮載及底床質載估算

水利署以淡水河三鶯橋 1980-2000 之實測懸浮質資料得懸浮載與流量之關係式如下：

$$Q_s (10^6 T / day) = a Q^b (cms) \dots\dots\dots (3-62)$$

豐水季: $a=2.995$, $b=1.516$

枯水季: $a=6.39E-4$, $b=2.956$

王(2004) 以 NETSTARS 數值模式進行淡水河之推移載及總輸砂量之計算。推移載最多可佔總輸砂量之 10-50%，一般則小於 10%。懸浮載中粒徑小於 d_{10} 或小於 0.065mm 者稱為沖洗載 (wash load)。NETSTARS 以(a) Yang's (b) Ackers and White (c) Engelund and Hansen

(d) Van Rijn 等四個公式計算總輸砂量，其中 (a)、(d) 用於砂、粗礫石 (0.0625 – 10 mm)，(b)、(c) 用於砂粒、細礫石(0.0625-2 mm)。而當粒徑大於 10 mm 或小於 0.0625 mm 時，輸砂量之啟動條件與砂、礫石不同，以上公式之誤差值較大。底床載公式則包括(1) Meyer-Peter and Muller, (2) Van Rijn, (3) Schoklitsch 等三個公式。經誤差分析以 Engelund and Hansen 公式 計算總輸砂量及 以 Meyer-Peter and Muller 公式計算底床載之結果最佳。如表 3.2 所示，1980-2000 之水文及地文條件新店溪(秀朗站)之總輸砂量為 837,764T/yr，其中以沖洗載最多 50%，大漢溪(三鶯橋站) 之總輸砂量為 1,458,648 T/yr，其中以懸浮載最多佔 47%，基隆河(五堵站站)之總輸砂量則為 631,537 T/yr，其中以懸浮載最多佔 89%。故淡水河流域之整體輸砂量約為 2,927,949 T/yr。

表 3.2 淡水河流域輸砂量推估

支 流	測站	總輸砂量 (T/yr)	底床載 比例(%)	懸浮載 比例(%)	沖洗載 比例(%)	年侵蝕率 (mm/yr)
新店溪	秀朗站	837,764	7	43	50	0.767
大漢溪	三鶯橋站	1,458,648	36	47	17	1.05
基隆河	五堵站	631,537	2	89	9	1.872

資料來源:(王,2004)

3.2.3 底泥沉積與沖蝕

黏性沉澱的沉降速度一般為濃度之關係式而與單一顆粒尺寸無關。造成黏性沉澱於河口淤積之主要原因為潮流及密度斜壓流產生之重力循環。底部流況匯集(convergence) 形成河口最大濁度區域(Estuarine Turbidity Maximum ,ETM)。當密度層變明顯時，ETM 變弱且移向上游；而在較混合均勻之水體中，下游會產生第二個 ETM。河口最大濁度區域之範圍亦由底床之可沖蝕性(bed erodability)及沉積特性來決定。造成懸浮顆粒凝聚(coagulation)所需之鹽度為 2-3 ppt (Krone,1978;Wallast,1986)). 淤泥一般在停流時(slack water)沉積而在漲、退流時產生沖蝕及運移。淡水河之上游平均流量分別為 62.1, 72.7, 26.1 cms， Q_{90} 則為 4.0, 6.9, 1.3 cms。淤泥之淤積及沖刷之臨界剪應力分別為 0.5 dyne/cm² 及 1.0 dyne/cm。淤泥之沉降速度表示為：

$$w_s = KC^m \dots\dots\dots (3-63)$$

其中假定 $K=5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^4/\text{kg s}$, $m=1$ ， $S_o=32 \text{ ppt}^2$ (Liu et al., 2004)。

因漲潮較退潮快，且高停流較久，形成 tidal pumping。由表 3.3 所列淡水河流量在石門水庫、翡翠水庫興建前後，在平均流量方面，大漢溪平均流量減少 40%，新店溪減少 31 %； Q_{50} 方面，大漢溪減少 57%，新店溪減少 47 %； Q_{75} 方面則更明顯，大漢溪減少 78%，新店溪減少 41 %。故興建水庫後，放流量減少且部份沙源淤積於庫區，來自大漢溪及新店溪之輸砂量降低，造成下游河道及沿岸之侵蝕，另一方面，基隆河之輸砂影響則相對提高。另一方面，逕流量減少使海水入侵或感潮段加長，關渡站之鹽度在興建水庫後約增加 4 ppt (Liu et al., 2004)。

表 3.3 石門水庫及翡翠水庫興建前後淡水河流量比較(Liu et al., 2004)

流量條件	支 流	平均流量(cms)	Q ₅₀ (cms)	Q ₇₅ (cms)
石門水庫及翡翠水庫興建前	大漢溪	68.92	29.65	18.1
	新店溪	82.83	44.43	20.43
	基隆河	25.25	9.82	3.5
現 況	大漢溪	41.04	12.75	4.03
	新店溪	57.46	23.72	12.04
	基隆河	25.25	9.82	3.5

在較低濃度下($C \leq 20g/\ell$)，濃度增加有助於凝絮作用，故沉降速度隨濃度增高而增加，即(3-63)式

$$w_s = k_1 C^m \quad \text{for } C \leq 20g/\ell \dots\dots\dots (3-63)$$

根據多處現場河口資料(van Leussen, 1989)，上式中 $k_1 = 0.513mm/s$ ， $m = 1.29 - 1.33$ 。而當濃度高於 $20g/\ell$ 後，凝聚團粒(aggregate)彼此間之接觸作用力，會阻礙黏性沉澱之沉降速度，此一區間稱為阻礙沉降(hindered settling)，如下式所示：

$$w_s = w_{so} (1 - k_2 C)^\beta \quad \text{for } C > 20g/\ell \dots\dots\dots (3-64)$$

上式中 $w_{so} = 2.6mm/s$ ， $k_2 = 0.008$ ， $\beta = 4.65 - 5$ (van Leussen, 1989)。

黏性沉澱之質量守恆公式如下式：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uC) + \frac{\partial}{\partial y}(vC) + \frac{\partial}{\partial z}((w_s + w)C) = \frac{\partial}{\partial z}(K_v \frac{\partial C}{\partial z}) + F_h \dots\dots\dots (3-65)$$

若假定底床會發生沉積或沖蝕之臨界剪應力為同一定值 τ_c ，即

$|\tau_b| > \tau_c$ 時，底床會沖蝕；而 $|\tau_b| < \tau_c$ 時，底床會淤積。底床單位面積之沖

蝕率 E 可用下式表示：

$$E = \begin{cases} E_o \left(\frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right), & \text{if } |\tau_b| > \tau_c \\ C_b w_s \left(\frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right), & \text{if } |\tau_b| < \tau_c \end{cases} \dots\dots\dots (3-66)$$

式中， 參數應由現場試驗求得，經驗值為 $E_o = 10^{-4} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ，

$\tau_c = 0.02 - 1.0 \text{ N/m}^2$ ， $w_s = 0.1 \text{ mm/s}$ 。忽略水面及側邊界之沉滓輸入，底床之邊界條件為：

$$K_v \frac{\partial C}{\partial z} = E \quad \text{at } z = -h \dots\dots\dots (3-67)$$

第四章 淡水河口現場資料收集與分析

4.1 底質採樣位置

本中心於民國 95 年 5 月 25 日於淡水河與基隆河進行底質採樣，採樣的位置如圖 4.1 所示，分佈的範圍遍及基隆河中下游；淡水河的部分則是由臺北橋與高速公路橋之間向下游延伸到淡水河口。採樣的方式先由船上 GPS 衛星定位，潛水夫下水至底床採取底床質裝入罐內，之後將所取得的土樣密封編號並帶回實驗室分析。首先，將帶回的底床質放置於鋼杯內且置於烘箱內烘 24 小時，待烘乾後將泥塊敲碎，由於某些位置的底泥黏土成分似乎很高，烘乾後產生很大的凝聚性，因此不易完全均勻地回復其原本的顆粒大小，因此採用滾筒將其敲碎。首先將烘乾的凝結土塊放置於較小的鐵桶，並於鐵桶中填置半滿的彈珠，之後將鐵桶密封後置於滾筒內，利用彈珠之間的碰撞使凝結的土塊瓦解，如圖 4.2 所示，之後再將擊碎的土壤粉粒進行篩分析。其中對於通過 200 號篩比例較高的土樣再進行比重計試驗。

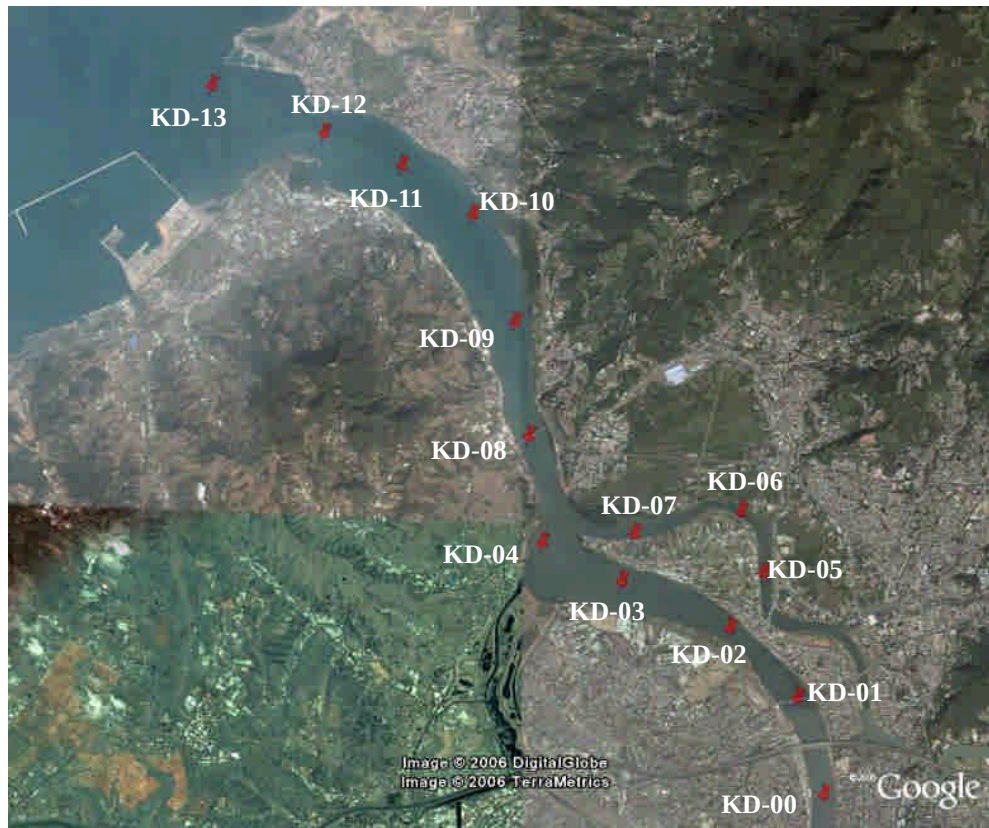


圖 4.1 底質採樣分析測點衛星航照圖



圖 4.2 烘乾底床質於實驗室之磨碎步驟

4.2 底質採樣分析結果

本年度(95 年度)之底質採樣分析結果如表 4.1 所示。經由以上分析的結果(圖 4.3~4.16)可以發現，除了圖 4.10 以外，本年度的分布情形普遍較 94 年度的結果粗糙。然而粗顆粒的來源主要來自於基隆河，因為在淡水河的支流中，只有基隆河沒有興建水庫，而其他兩條主要支流的上游均有興建水庫或攔砂壩，因而阻斷了粗顆粒的來源。就圖 4.17 看來，除了 KD-5、6、7，也就是在基隆河的部分，有較大的差異外，兩次分析的中值粒徑趨勢大致上還算符合。而 KD-8、9、10、11 所對應的位置是由淡水河指向外海，其中值粒徑有逐漸變大的趨勢，這也再度說明了接近河口的區域存在海相沉積的現象。而淡水河上游之新店溪及大漢溪各有翡翠水庫及石門水庫攔阻主要沙源，能隨流流至下游者只有較細的水庫淤泥、及其它較小支流及颱風洪流所夾帶的較粗沙粒。如圖 4.17 所示，除了測點 5、6、7，即基隆河底質土樣，有較大的差異外，兩次分析的中值粒徑趨勢大致上符合。

表 4.1 淡水河底床質採樣粒徑分析

採樣編號	位置		D50(mm)	σ	Cu	Cc	過#200 比例 (%)	4 μ m 比 例(%)	備註
	N	E							
KD-00	25° 4.229'	121° 30.428'	0.063	7.01	N/A	N/A	75.84	20.63	淡水河
KD-01	25° 5.119'	121° 30.16'	0.021	9.75	N/A	N/A	77.27	27.58	重陽橋
KD-02	25° 5.763'	121° 29.475'	0.013	N/A	N/A	N/A	74.33	43.89	淡水河
KD-03	25° 6.196'	121° 28.374'	0.158	1.73	6.00	2.76	15.23	5.48	淡水河
KD-04	25° 6.553'	121° 27.561'	0.020	11.04	N/A	N/A	75.19	32.99	關渡
KD-05	25° 6.273'	121° 29.816'	0.398	1.51	2.11	1.13	0.51	0	基隆河
KD-06	25° 6.838'	121° 29.585'	0.108	3.85	150.94	13.74	49.32	13.40	基隆河
KD-07	25° 6.637'	121° 28.501'	0.265	2.36	3.97	1.05	21.65	6.39	基隆河
KD-08	25° 7.538'	121° 27.425'	0.022	N/A	N/A	N/A	N/A	30.38	淡水河
KD-09	25° 8.585'	121° 27.282'	0.130	1.67	5.33	3.19	16.89	5.68	竹圍
KD-10	25° 9.578'	121° 26.854'	0.304	1.40	1.82	1.09	0.28	0	淡水河
KD-11	25° 10.031'	121° 26.133'	0.406	2.37	7.92	3.36	11.61	0	淡水河
KD-12	25° 10.329'	121° 25.337'	0.384	1.62	2.98	1.69	5.19	0	淡海
KD-13	25° 10.767'	121° 24.192'	0.370	1.49	2.09	1.20	0.45	0	外海

NA: 底床質重量不足以進行量測

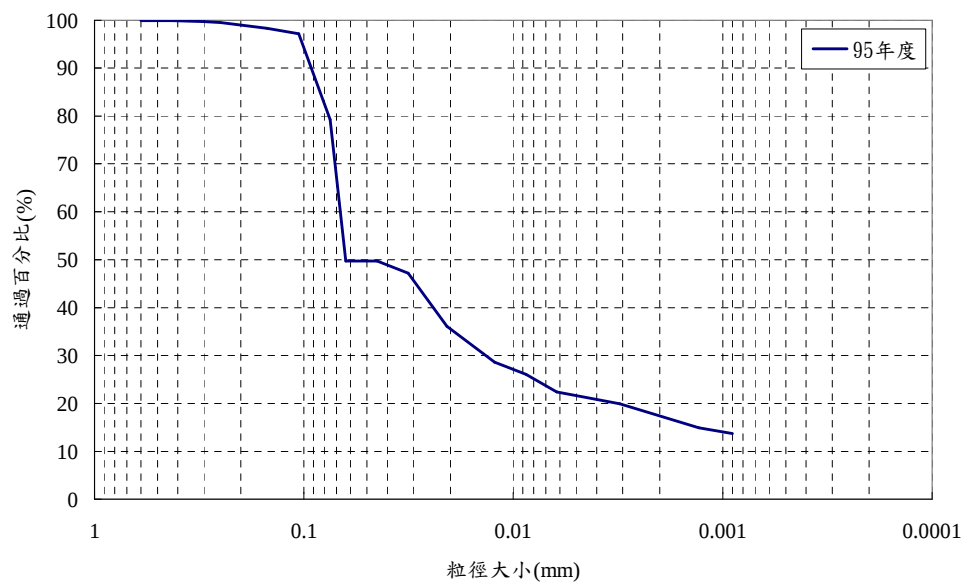


圖 4.3 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-00)

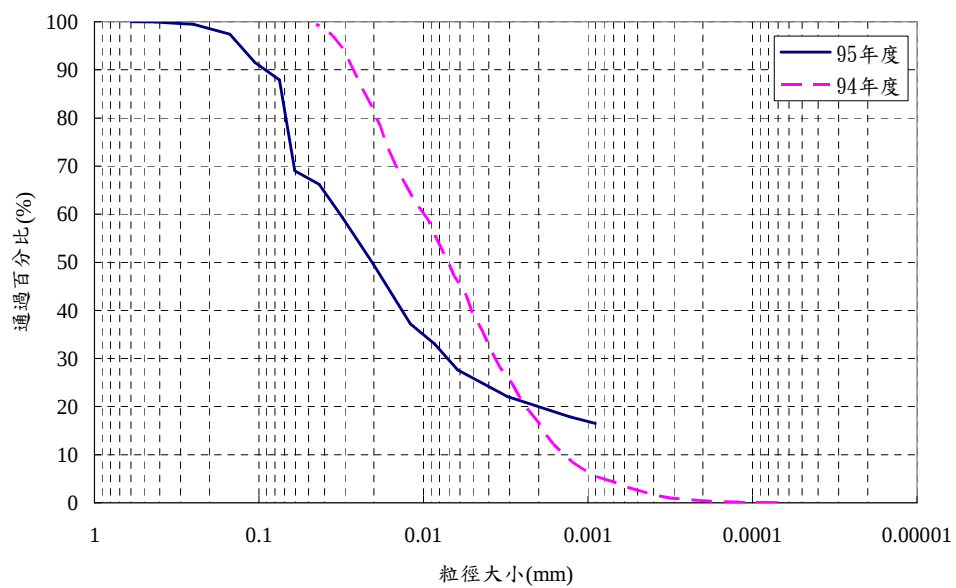


圖 4.4 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-01)

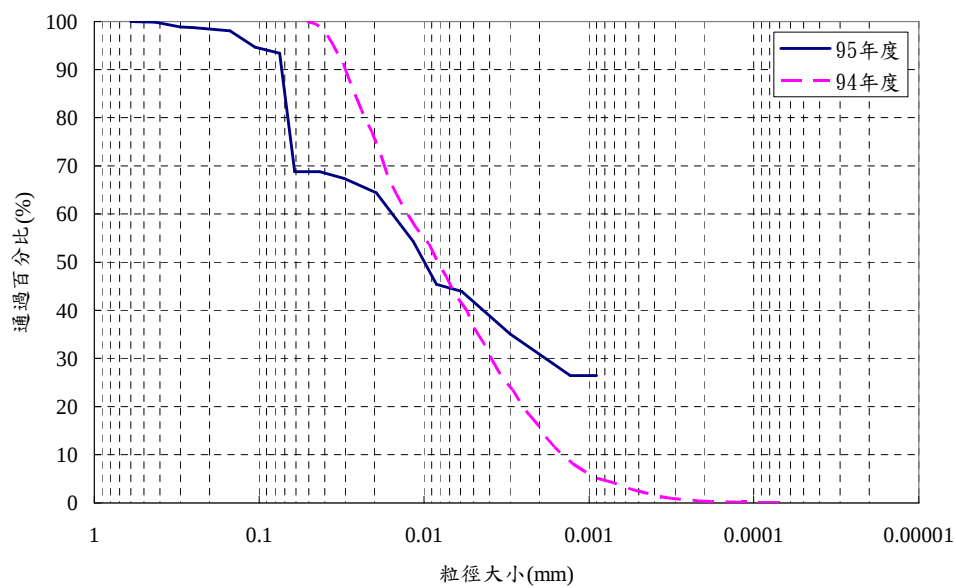


圖 4.5 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-02)

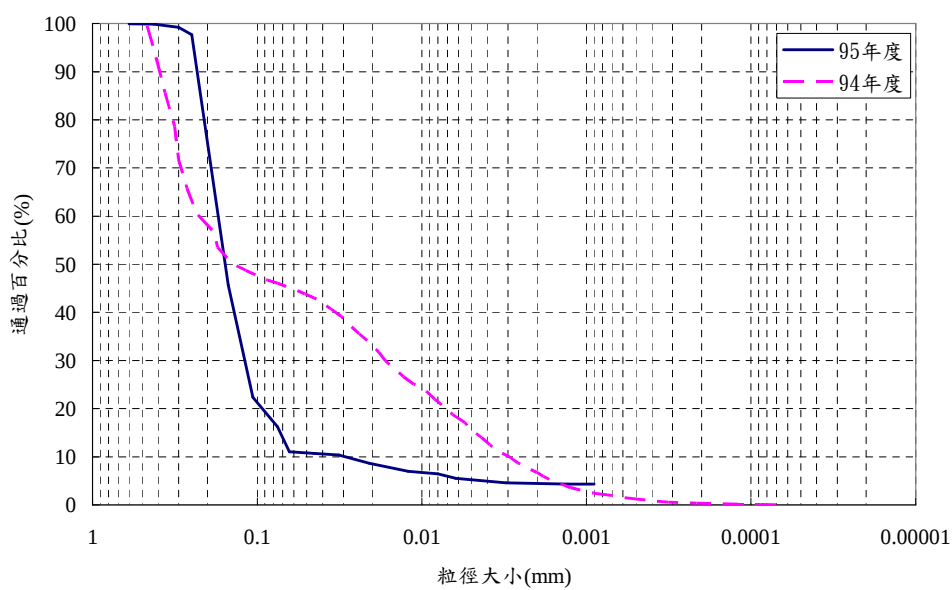


圖 4.6 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-03)

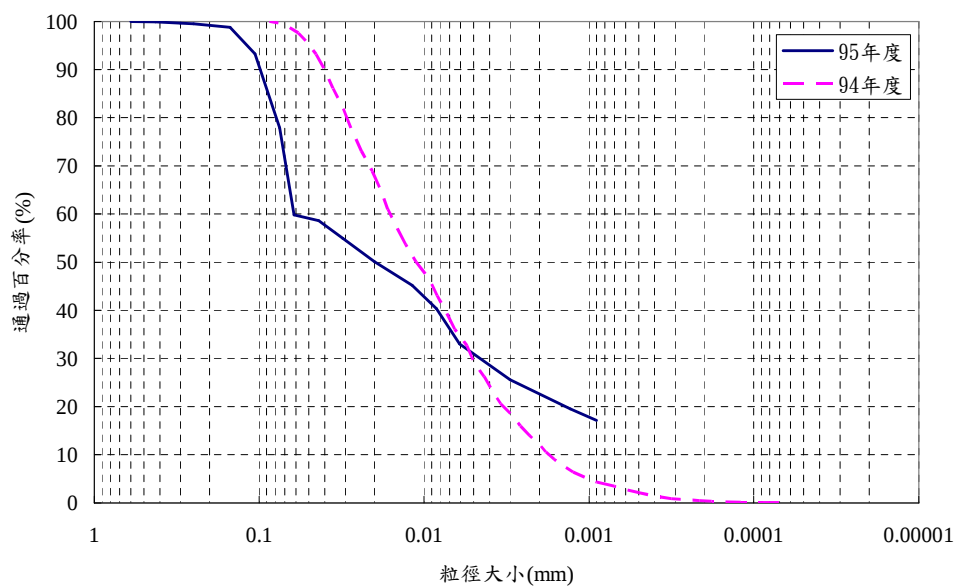


圖 4.7 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-04)

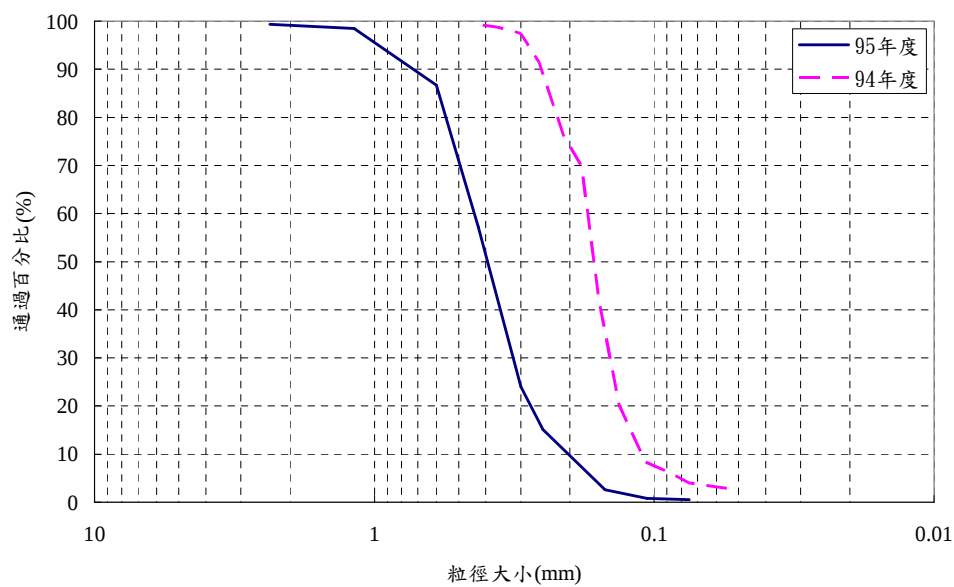


圖 4.8 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-05)

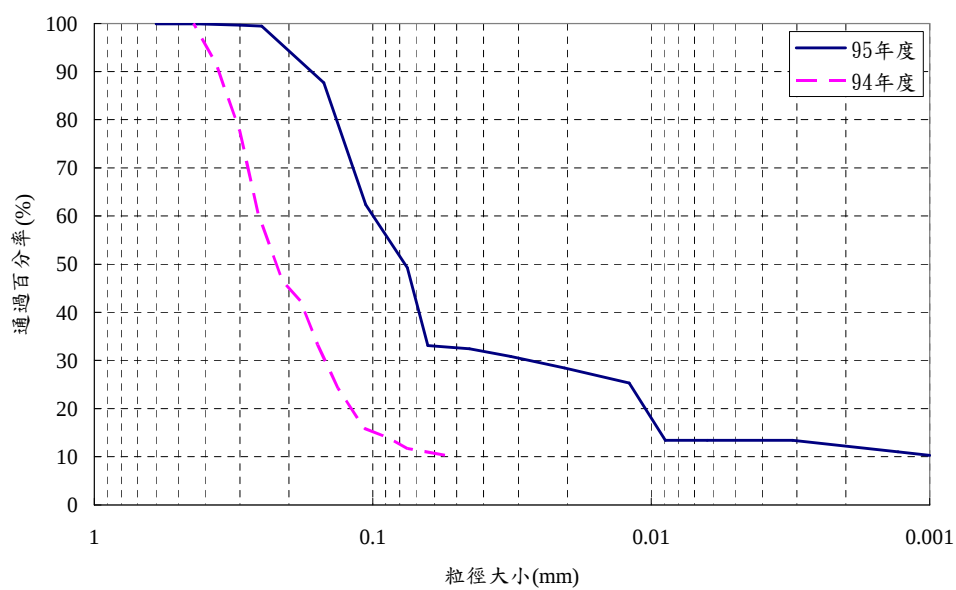


圖 4.9 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-06)

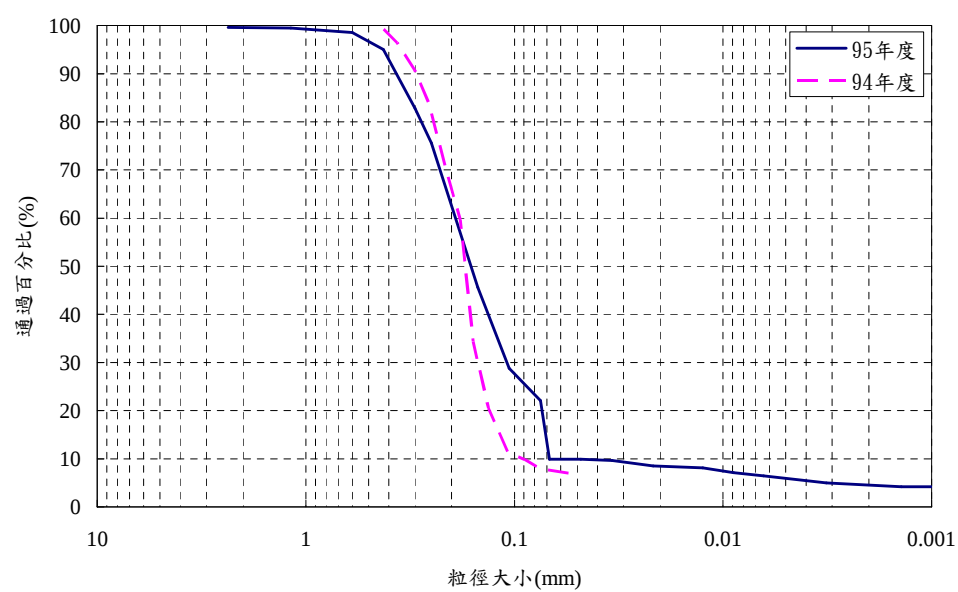


圖 4.10 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-07)

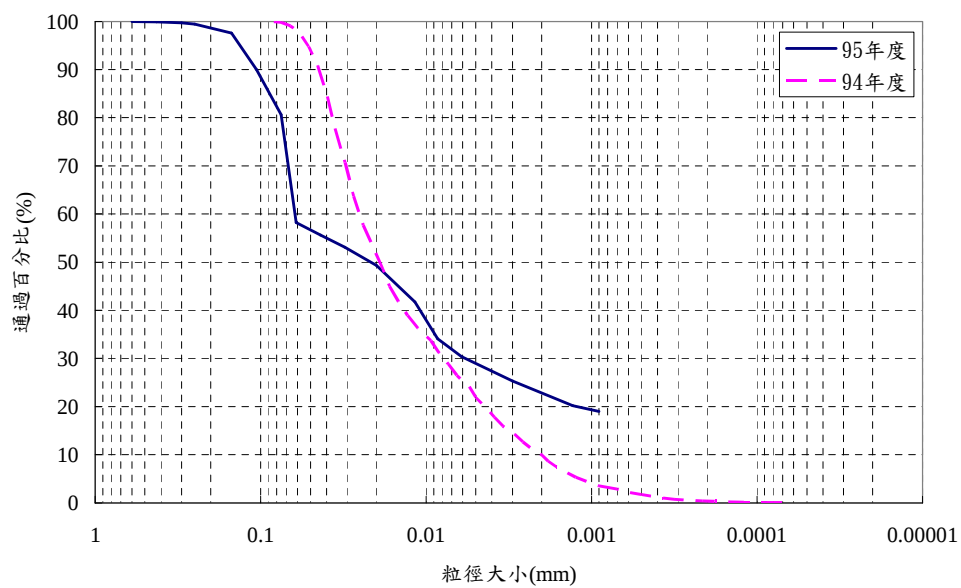


圖 4.11 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-08)

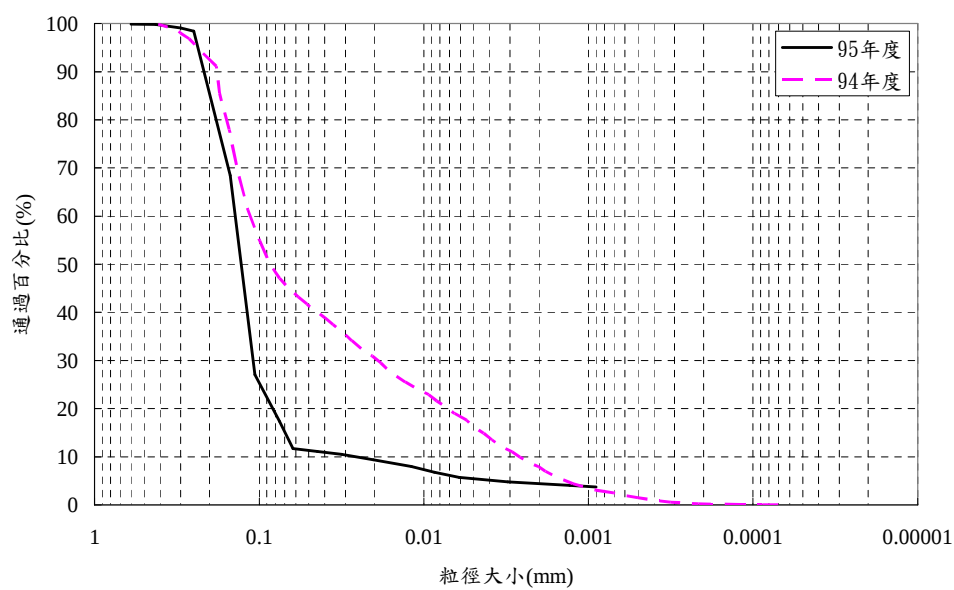


圖 4.12 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-09)

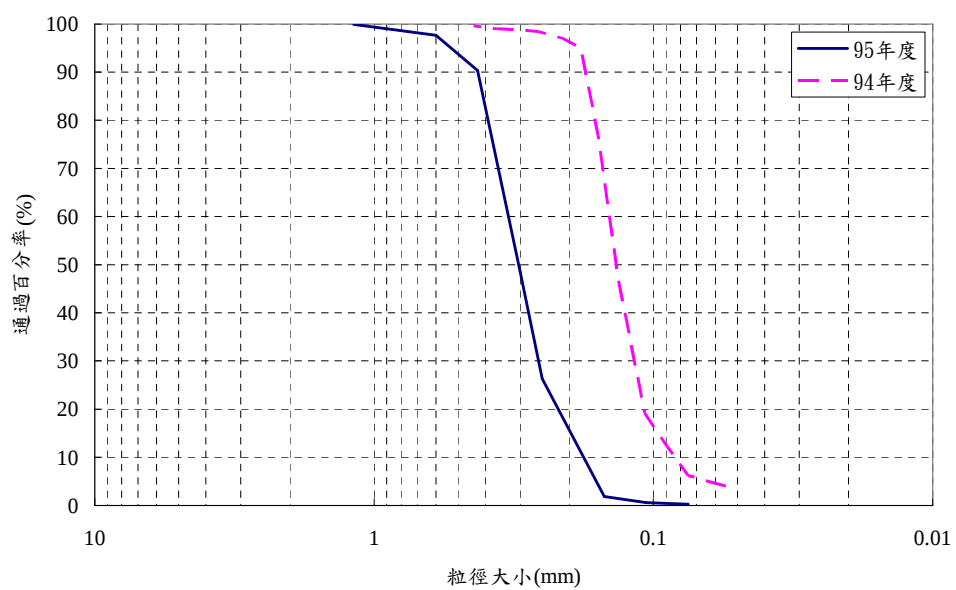


圖 4.13 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-10)

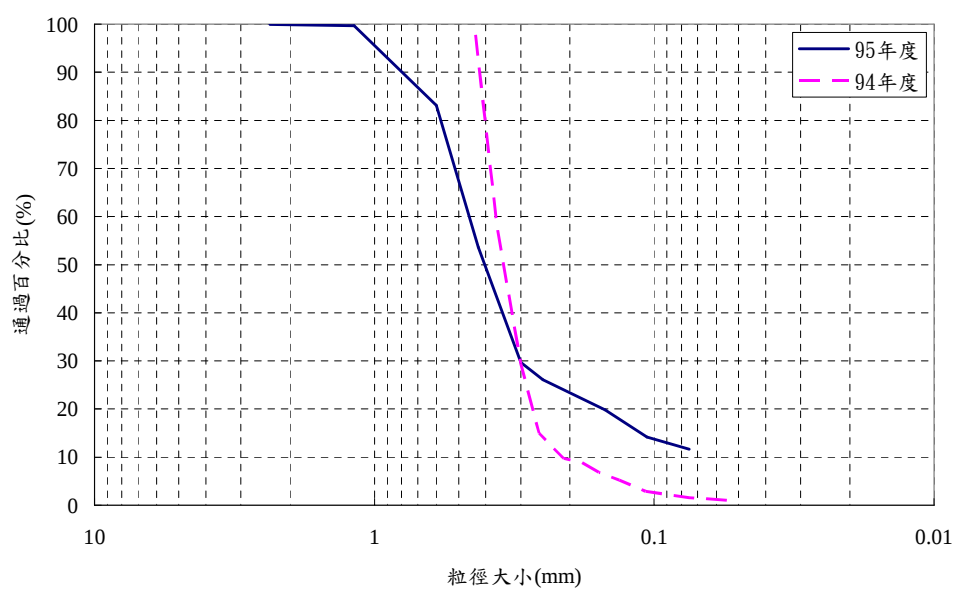


圖 4.14 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-11)

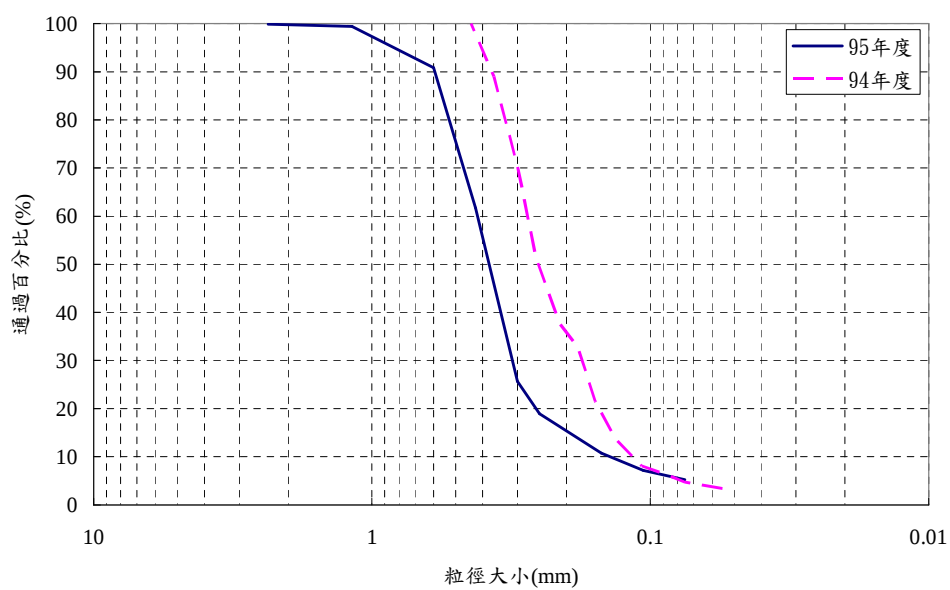


圖 4.15 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-12)

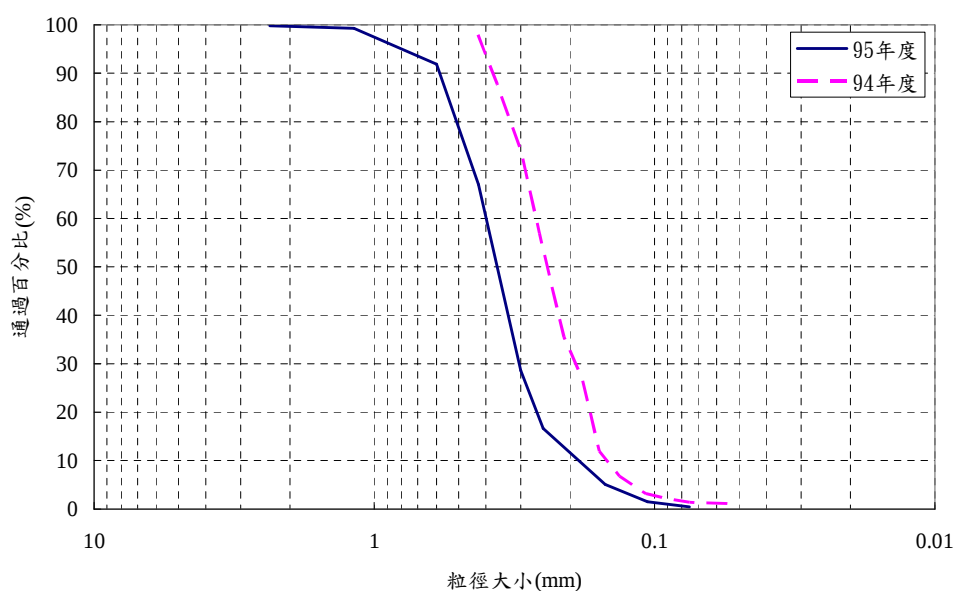


圖 4.16 淡水河底質粒徑分析(編號 KD-13)

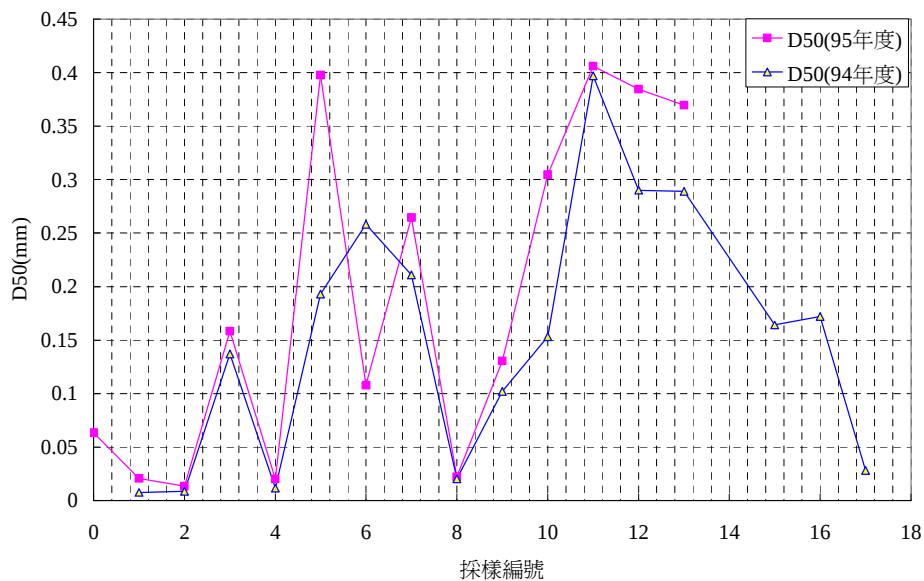


圖 4.17 淡水河底質粒徑分析結果 D_{50} 比較

由此次採樣分析的結果中發現測點 3 之 D_{50} 值偏大，為探究其原因，本中心又於 11 月 2 日在測點 3 附近四個位置(3-A、B、C、D)採集土樣進行分析，其採樣位置如圖 4.18 所示。由分析結果(圖 4.19)可發現此區域底質粒徑的分布很不均勻，除了測點 3-A 粗顆粒的比例較高外，其餘三個測點的粗顆粒比例都非常低；若就中值粒徑與取樣位置的關係圖(圖 4.20)而言，由於這些測點在河道縱向上的差距相較於與測點 4 的距離小很多，而且距離測點 3 最近的 3-A，其中值粒徑與測點 3 非常接近，因此將其視為在同一斷面上，以此關係圖作為此位置底質在河道橫向上的分布情形。由河道中央的中值粒徑較兩側大來判斷可能是因為漲潮作用而使源自基隆河的粗顆粒沉積於此。



圖 4.18 測點 3 周圍採樣位置衛星航照圖

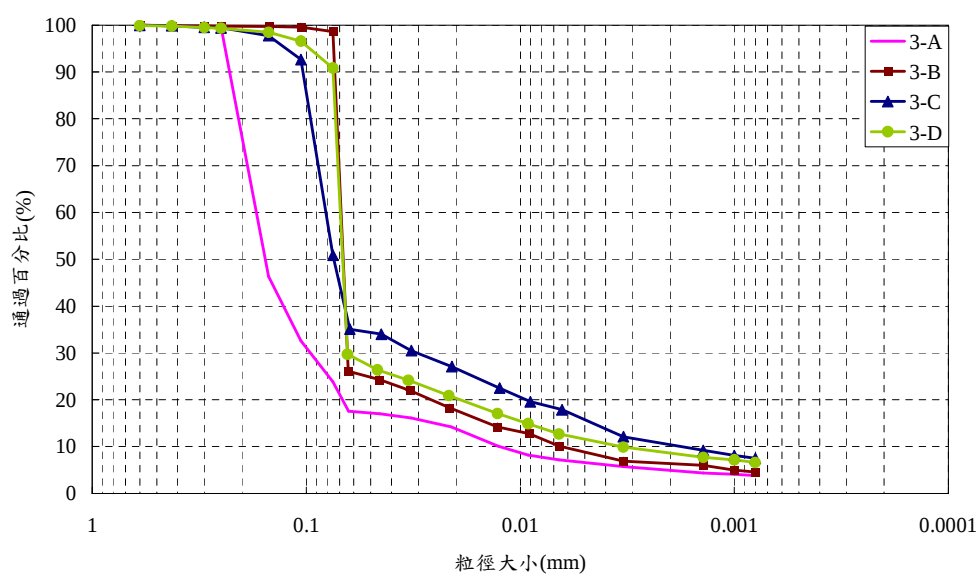


圖 4.19 測點 3 周圍土樣位置分析結果

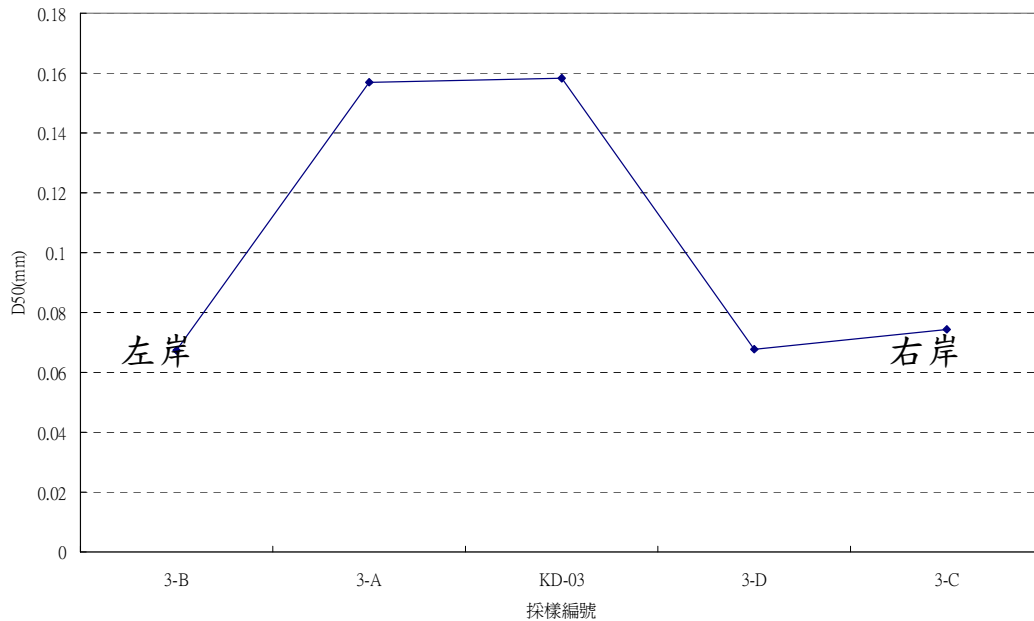


圖 4.20 D_{50} 與取樣位置關係圖

綜合以上分析結果，將兩年度各河段 D_{50} 與河口距離之關係整理如圖 4.21 所示。由底質採樣分析可知淡水河下游之河床質粒徑介於 0.013-0.4 mm，淡水河以社子防潮堤到二重輸洪道出口間之河床質最細 ($< 0.02\text{mm}$)，基隆河之河床質粒徑(介於 0.1-0.4 mm)較淡水河為粗。由關渡至河口之粒徑漸粗，於淡水渡船頭附近最粗，往外海方向則粒徑漸減，故河口的區域存在海相沉積的特性。經顆粒特性分析，海床上之砂源主要來自淡水河與前人推論相近(洪奕星，2000)。

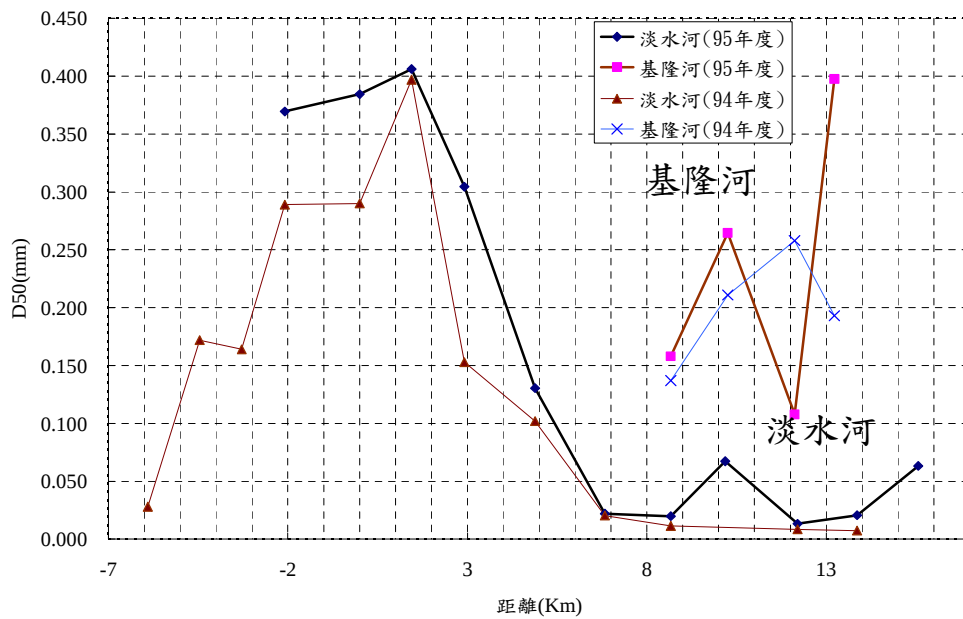


圖 4.21 兩年度各河段 D_{50} 與河口距離之關係圖

4.3 颱風期間水文資料

本計畫整理 2002-2005 間淡水河下游關渡測站於颱風期之水文資料如表 4.2 所示，各項實測參數說明如下：

根據中央氣象局的颱風紀錄表與關渡站所量測的資料進行比對，針對颱風期間量測到的數據進行分析，以了解颱風對於淡水河的水理特性有何影響。圖 4.22~4.27 分別表示在颱風期間淡水河懸浮質濃度、水位、及流速的分布情形。由圖 4.22、4.23 可以明顯發現到每當受到颱風侵襲後，水體中的懸浮顆粒物質的濃度就向上攀升，在觀測期間甚至有達到 14000ppm 的情形發生；然而在一般的情況下，水中的懸浮質濃度大約都在 2000ppm 以下。這主要是因為在颱風發生期間，通常都會帶來大量的雨水，在上游產生嚴重的沖刷，而帶來大量的泥沙。

表 4.2 2002-2005 間關渡測站颱風期之水文資料

	中文名稱	警報期間	最大流速 (cm/s)	最大懸浮值濃 度(ppm)	最高水位 (m)	備註
2005	海棠 (HAITANG)	07/16~ 07/20	121.88	N/A	1.19	
	馬莎 (MATSA)	08/03~ 08/06	118.75	N/A	1.5	
	珊瑚 (SANVU)	08/11~ 08/13	100	N/A	1.25	
	泰利 (TALIM)	08/30~ 09/01	N/A	N/A	N/A	
	卡努 (KHANUN)	09/09~ 09/11	71.88	N/A	1.17	
	丹瑞 (DAMREY)	09/21~ 09/23	153.13	5818	1.36	
	龍王 (LONGWANG)	09/30~ 10/03	181.25	5182	1.33	
2004	康森 (CONSON)	06/07~ 06/09	129.25	1901	1.49	
	敏督利 (MINDULLE)	06/28~ 07/03	N/A	2961	1.36	D、C 根據 6/28~6/30
	康柏斯 (KOMPASU)	07/14~ 07/15	N/A	1679	N/A	
	蘭寧 (RANANIM)	08/10~ 08/13	140.30	N/A	1.39	
	艾利 (AERE)	08/23~ 08/26	183.31	N/A	1.41	V 根據 8/23~8/24
	海馬 (HAIMA)	09/11~ 09/13	N/A	N/A	N/A	
	米雷 (MEARI)	09/26~ 09/27	N/A	N/A	N/A	
	納坦 (NOCK-TEN)	10/23~ 10/26	N/A	N/A	N/A	

	南瑪都 (NANMADOL)	12/03～ 12/04	N/A	14252	0.97	
2003	莫拉克 (MORAKOT)	08/02～ 08/04	N/A	N/A	1.32	
	梵高 (VAMCO)	08/19～ 08/20	N/A	N/A	0.89	
	柯羅旺 (KROVANH)	08/22～ 08/23	101.36	N/A	0.98	
	杜鵑 (DUJUAN)	08/31～ 09/02	138.26	N/A	1.45	
	米勒 (MELOR)	11/02～ 11/03	N/A	N/A	1.21	
2002	雷馬遜 (RAMMASUN)	07/02～ 07/04	N/A	5301	1.32	
	娜克莉 (NAKRI)	07/09～ 07/10	N/A	5296	1.52	
	辛樂克 (SINLAKU)	09/04～ 09/08	N/A	N/A	1.88	
2001	納莉 (NARI)	9/13～ 09/19	N/A	N/A	2.28	土地公鼻水 位站
2000	象神 (XANGSANE)	10/30～ 11/01	N/A	N/A	2.03	

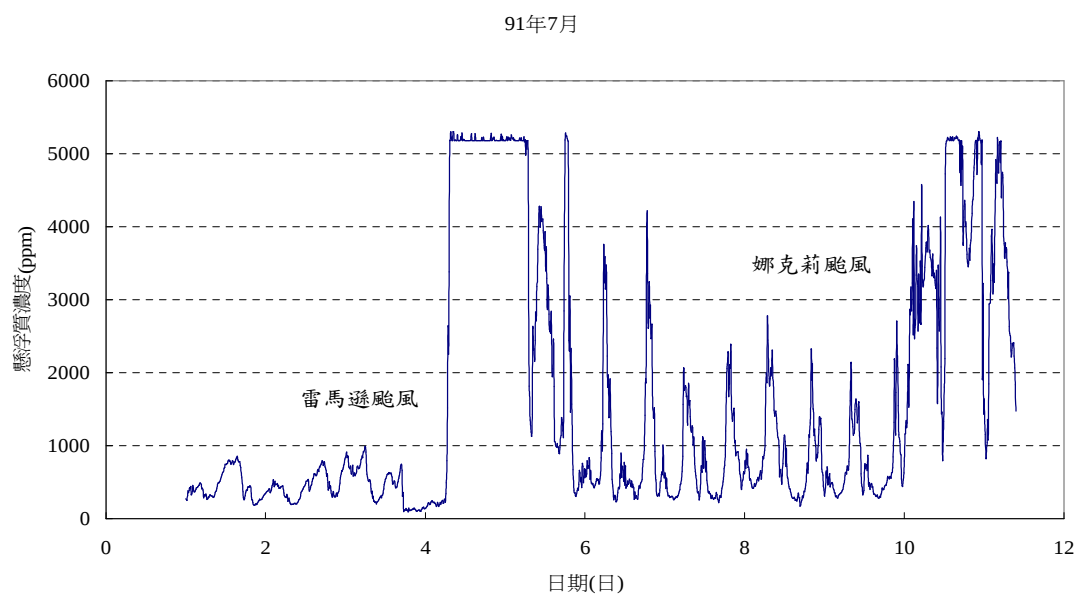
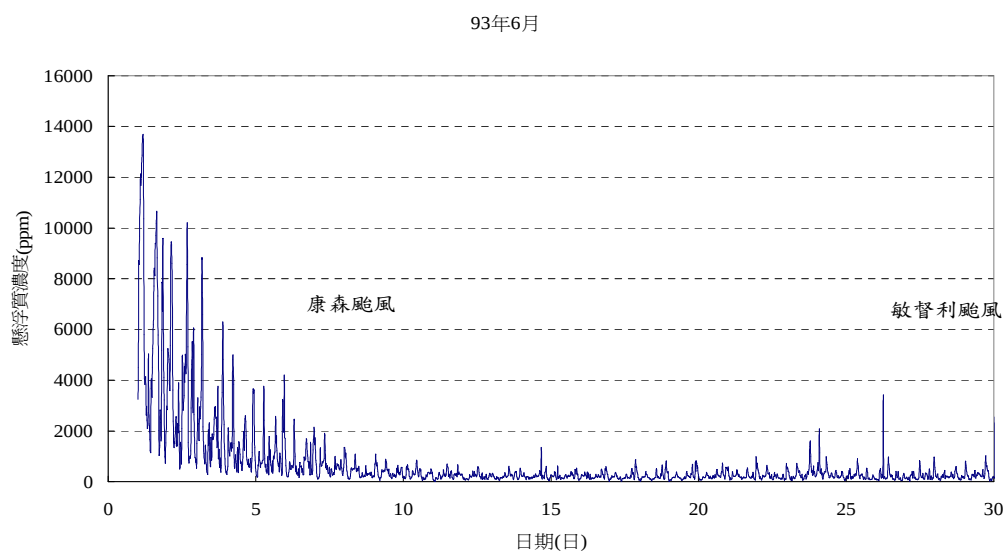
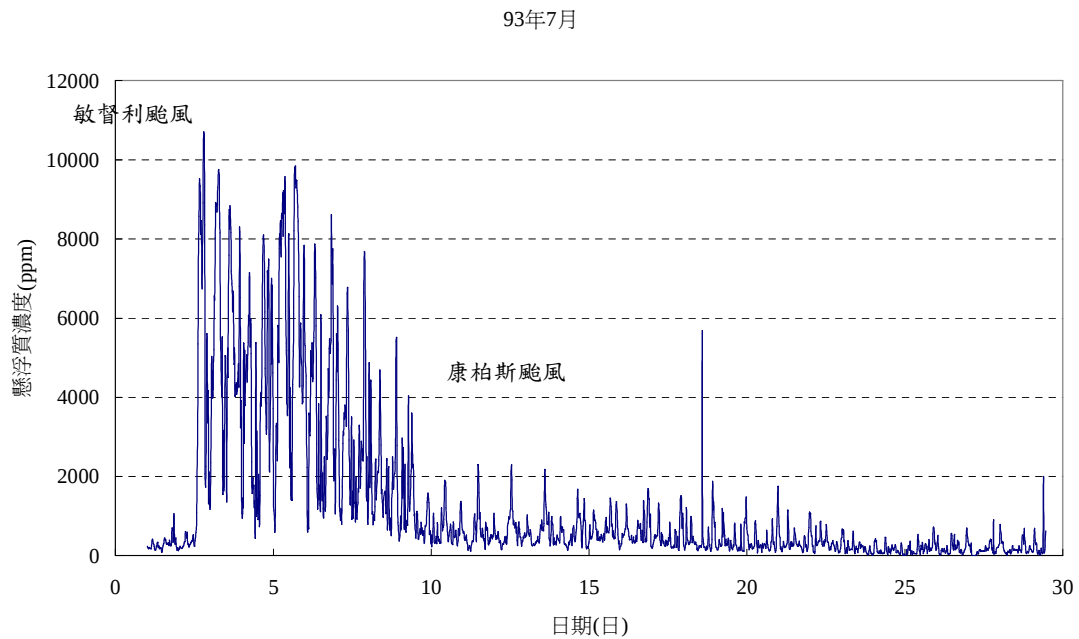


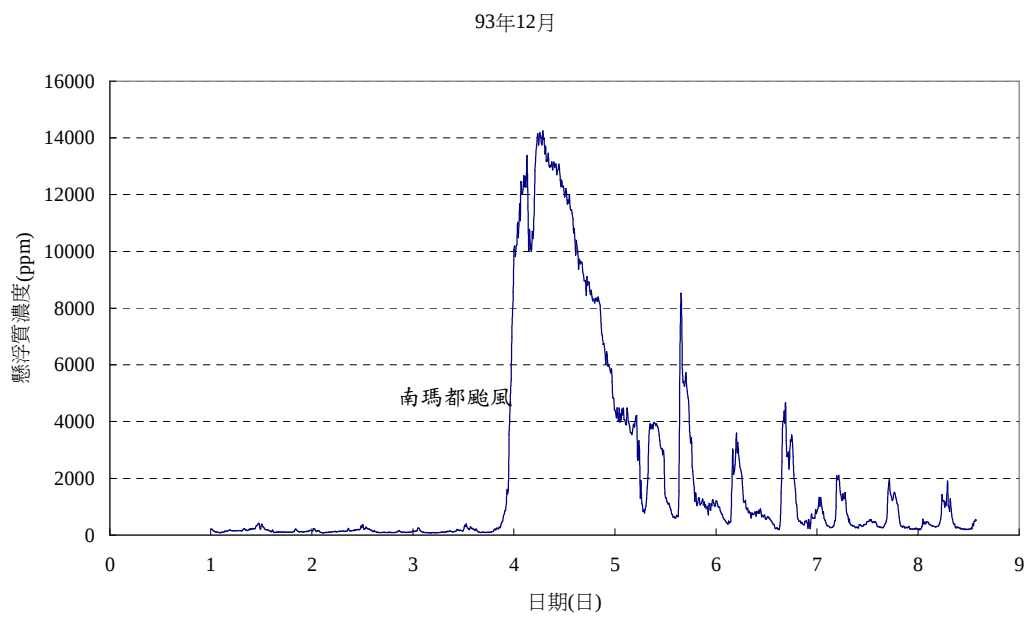
圖 4.22 91 年 7 月關渡站底床附近懸浮質變化圖



(a)



(b)



(c)

圖 4.23 93 年 6 月(a)、7 月(b)、12 月(c)關渡站底床附近懸浮質變化圖

由圖 4.24、4.25 的結果看來，部份颱風並未對水位產生明顯的影響，其主要還是受到潮汐的影響呈現週期性的擺動。

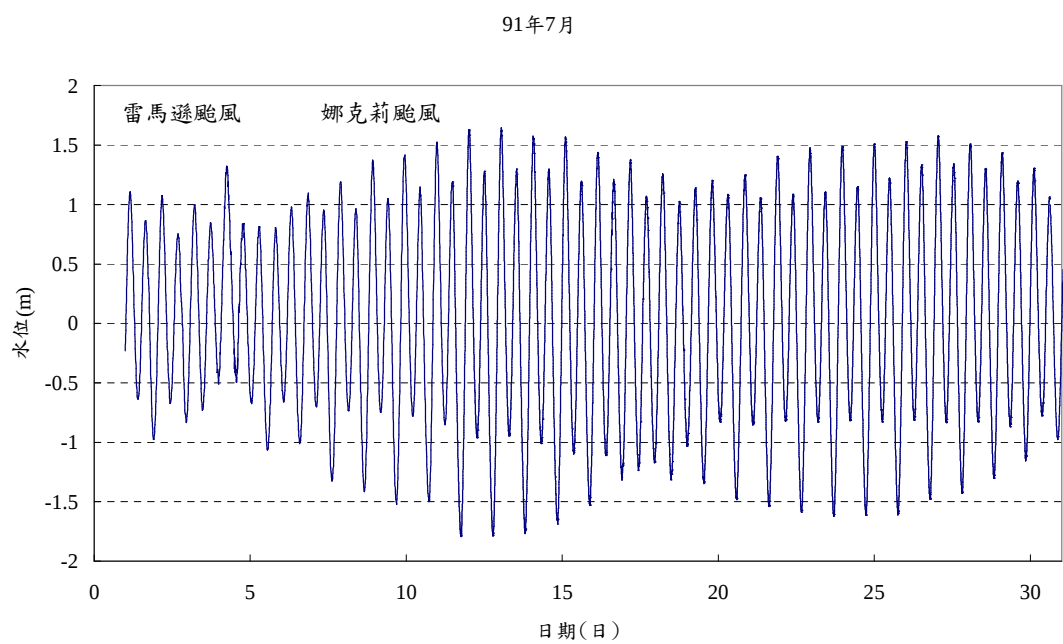
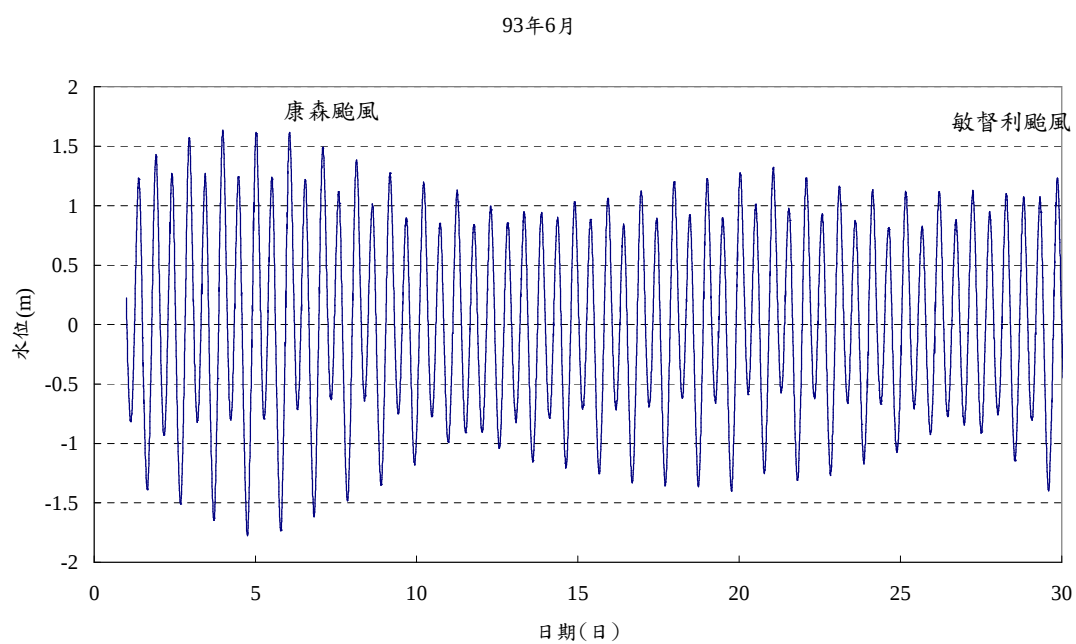


圖 4.24 91 年 7 月關渡站量測到的水位變化圖



(a)

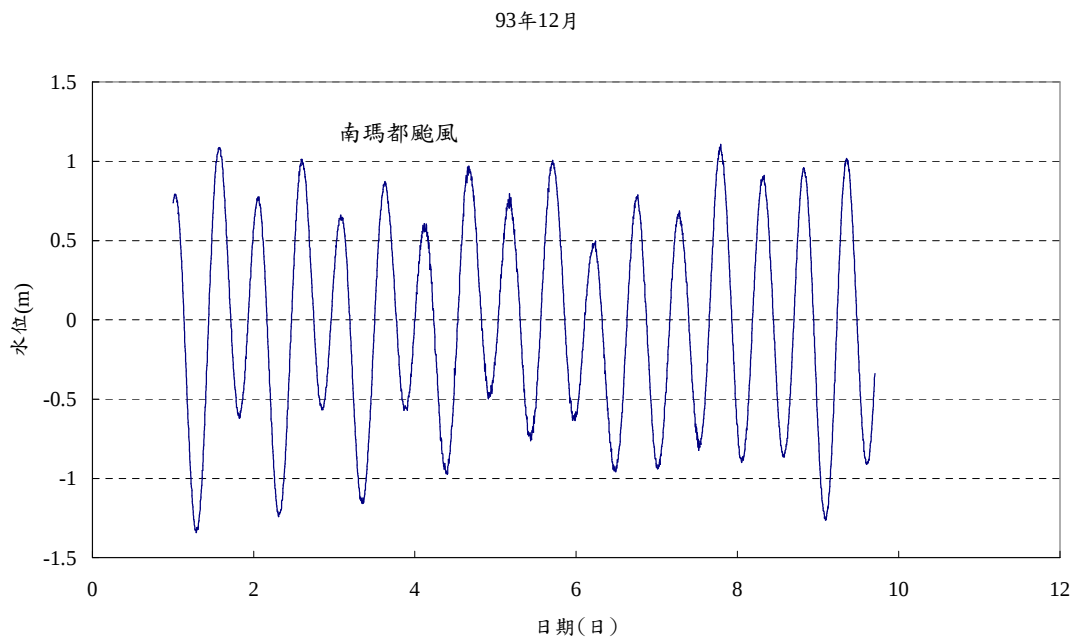
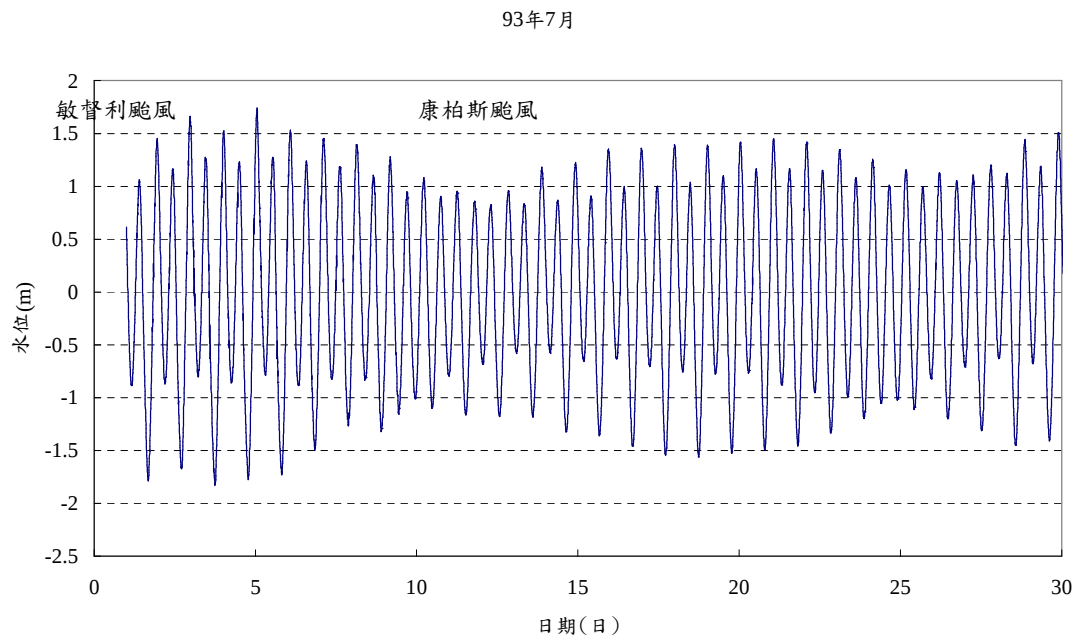


圖 4.25 93 年 6 月(a)、7 月(b)、12 月(c)關渡站量測到的水位變化圖

然而在北部帶來大豪雨之颱洪，如象神颱風 (2000/10/30-2000/11/1) 及納莉颱風時(2001/09/13-2001/09/19)於土地公鼻水位站之潮位資料中，卻可明顯看出因洪水流量暴增，加上暴潮之影響，造成河道內潮位上升，潮差縮小之情形。以象神颱風為例，颱風前最大潮差 2.37m，颱風期間最小潮差僅 0.91m，約持續有 44 小時水位大於平均海平面，最高水位為 2.03 m。納莉颱風時，颱風前最大潮差 2.47m，颱風期間最小潮差僅 0.85m，持續有 47 小時水位大於平均海平面，最高水位達 2.28 m，且連續四次最高潮位均大於 2.2m。

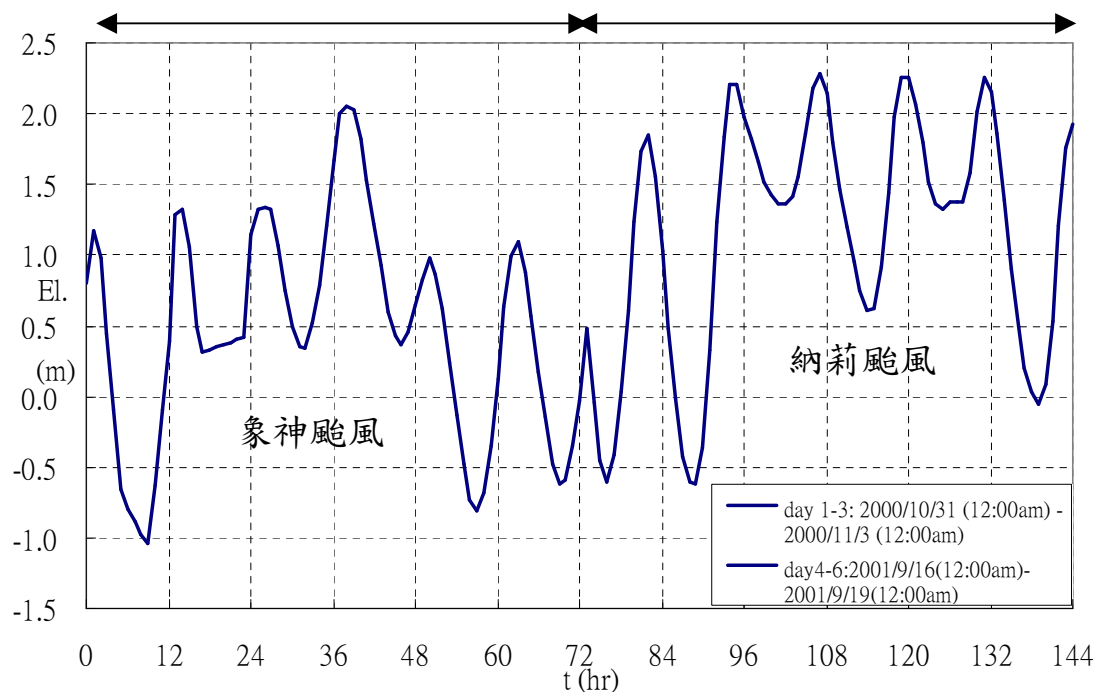


圖 4.26 象神颱風及納莉颱風時土地公鼻水位站之潮位資料

至於流速的部份則會受到颱風的影響，如圖 4.27,4.28 所示，其中比較特別的是在 93 年 12 月的南瑪都颱風期間，流速產生明顯的峰值，這是由於颱風期間河川流量大幅增加，在水位沒有受到太大影響的情況下，造成流速增加。

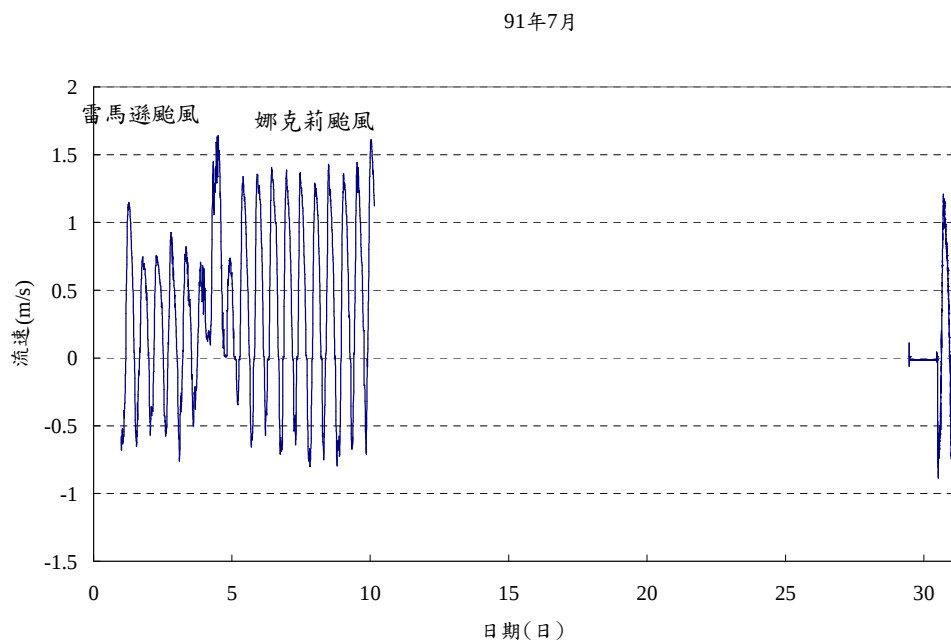
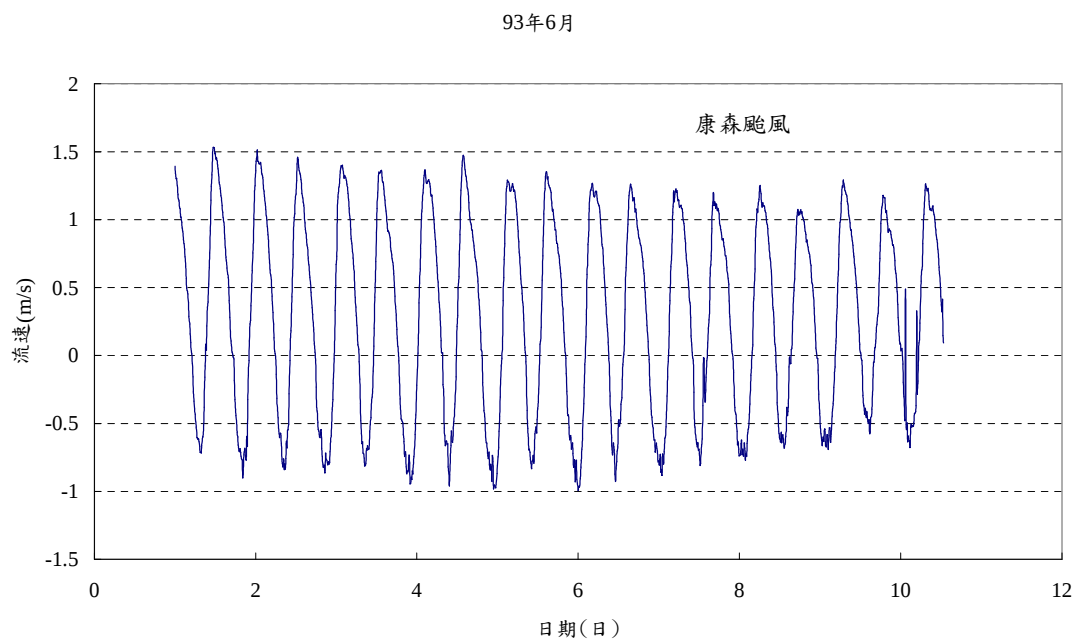
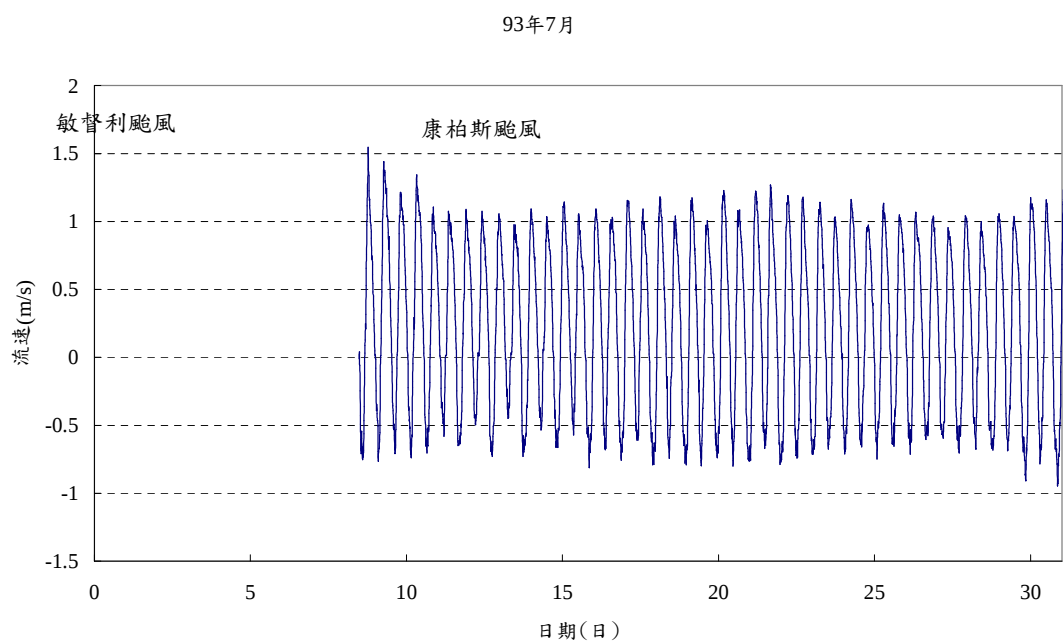


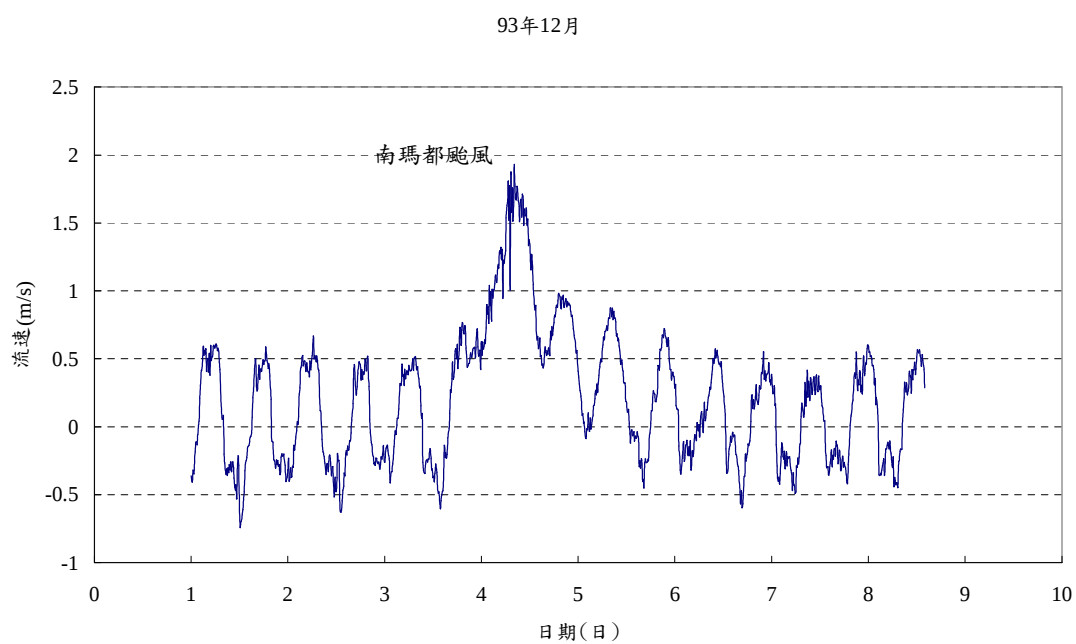
圖 4.27 91 年 7 月關渡站量測到的流速變化圖



(a)



(b)



(c)

圖 4.28 93 年 6 月(a)、7 月(b)、12 月(c)關渡站量測到的流速變化圖

4.4 全潮流量觀測

水利署第十河川局每年於關渡橋進行全潮流量觀測記錄。圖 4.29 為(92/04/17)流量觀測記錄(淨入海流量=135.9 cms)，潮差 3.11m，斷面最大漲(退)潮流速度為 0.72(0.67) m/s，故最大漲潮流速略大於最大退潮流速，最大漲(退)潮流量為 2880(2703) cms，即最大漲潮流量亦略大於最大退潮流量。另一次全潮流量觀測(94/06/22)如圖 4.30，潮差 2.93m，然因淨入海流量(286.4cms)較大，故斷面最大。

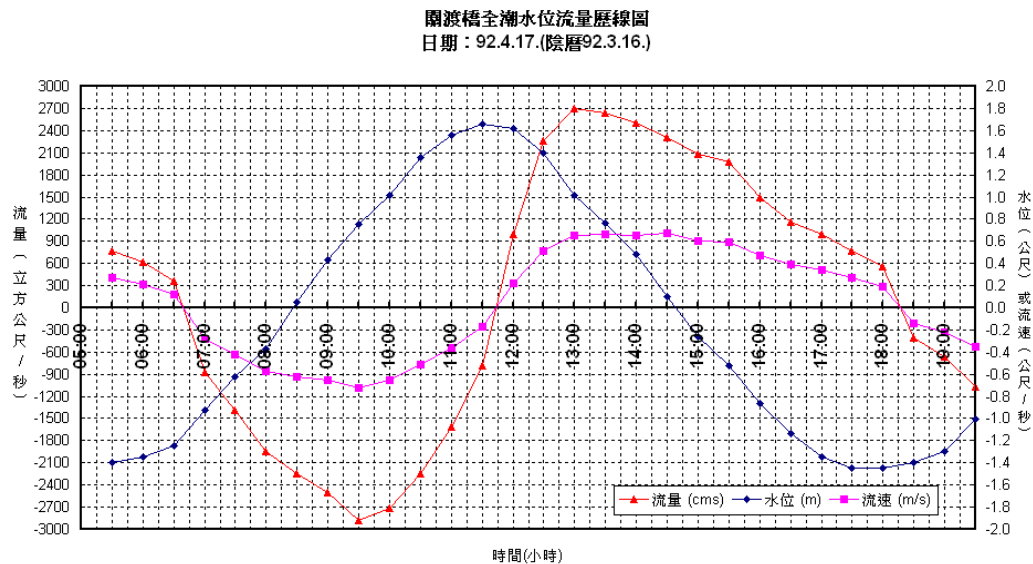


圖 4.29 關渡橋全潮流量觀測記錄(92/04/17)

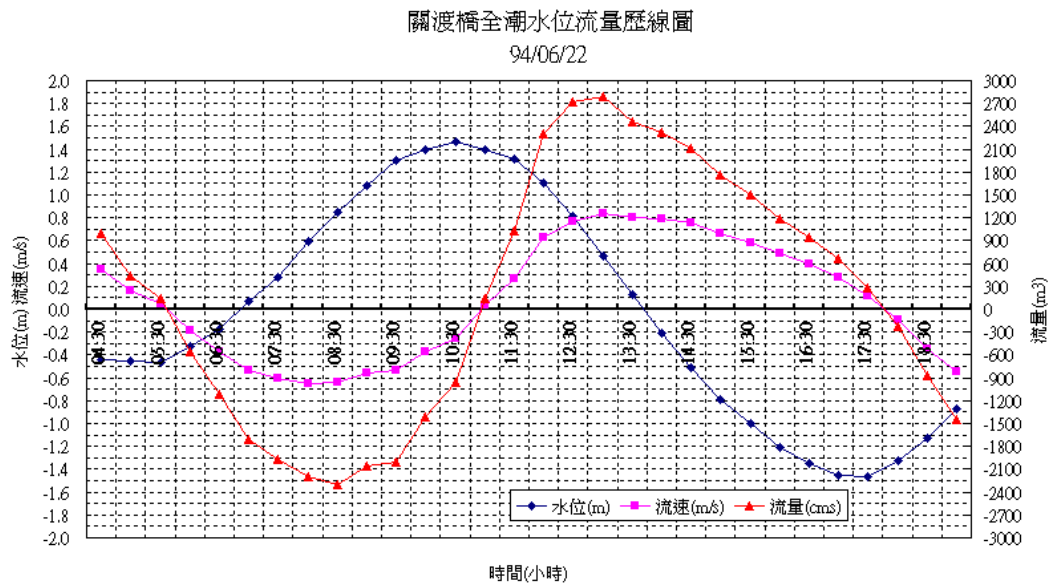


圖 4.30 關渡橋全潮流量觀測記錄(94/06/22)

漲潮流速為 0.65 m/s 明顯小於最大退潮流速 0.84 m/s。最大漲(退)潮流量為 2304 (2796)cms，即在逕流量增加的情況下，最大漲潮流量小於最大退潮流量。由上圖可知淡水河口之潮汐流量約 2000 ~ 3000 cms。故當上游流量大於 2000 cms 時會明顯改變河道內漲退潮位。

4.5 河口地形變化及現況勘查

4.5.1 河道地形演變

宋國士等(2001)以超音波聲納實測淡水河口區水下地形，發現出海口並無沖積扇地貌，只有少量泥沙淤積於南側沿岸及臺北港北防波堤北側-7 ~ -11 m 處如圖 4.31 所示。出海口尾端則位於淡水第二漁港堤防出口西北方 300 公尺處，下切海床 3-4 m 至高程達-11 m。而淡水河內之河床可以 -4 m 為河道與淺灘區之交界線。圖 4.32 所示，河槽渠道在南端最深(關渡橋上游)，河床高程達-17 m、寬 250 m，河道呈河谷地形，谷軸偏西側。至關渡橋所在位置，河床高程升高至-9m 致水深變

淺，而將上、下游河床分成兩個窪地。在竹圍處(即斷面 4、5 間)之河床最高約為-5 m，至竹圍紅樹林保護區(斷面 7)河道轉 45°向西北西，河寬則由 400m 往下游漸寬至 800m，此河段之深槽則偏向東側。

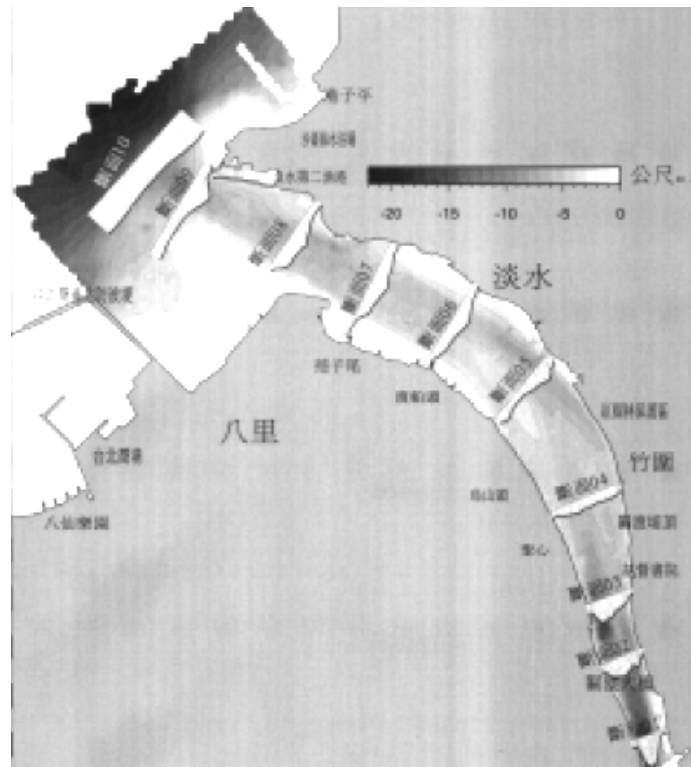


圖 4.31 淡水河下游河口段水深剖面圖 (宋等,2001)

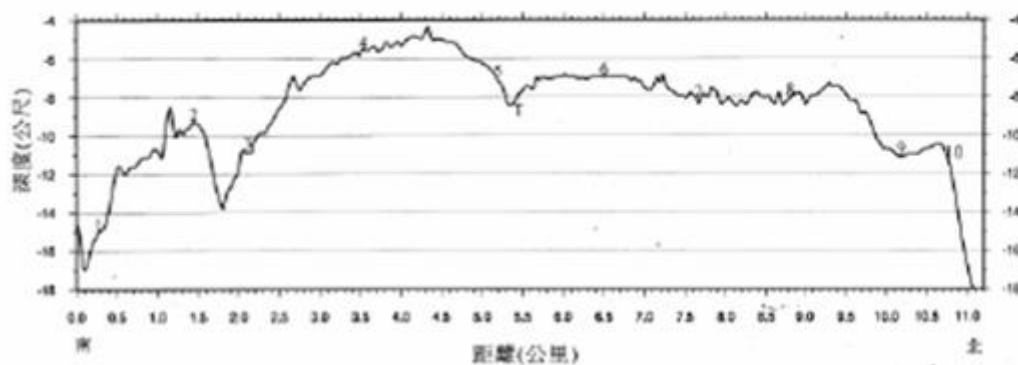


圖 4.32 淡水河下游段深槽縱剖面圖 (宋等,2001)

為進一步了解下游底床之演變，本計畫根據經濟部水利署第十河川局所提供河口到關渡橋段近十年(民國 85~94 年)的河道斷面資料(編號 000~010 斷面)，量測時間均為每年 12 月，其擷取斷面位置如圖 4.33

所示。各斷面變化結果如圖 4.34~圖 4.44 所示。其相關分析方法與計算軟體如下列說明：

- (1) 於取得此河段各斷面的數據，首先以線性內插的方式求得左右岸兩觀測樁之間各量測點的座標。
- (2) 由於各擷取的斷面之間差距甚遠，且礙於 Poly work 軟體本身的計算方式，若直接計算將會產生很大的誤差，因此必須先以 Surfer 軟體進行數據網格化，之後再以 Poly work 軟體計算，方可獲得較佳的結果。
- (3) 為比較每年量測結果之侵淤量變化，在進行土方量計算時是先假設某一基準面($E=-11\text{m}$)，將每年斷面資料相對於此基準面計算相對土方量，再由各年之相對土方量相減後獲得各年的淤積量，計算過程如圖 4.45~圖 4.47 所示(以 85 年為例)。其結果如表 4.3 所示。



圖 4.33 河口段截取斷面位置示意圖

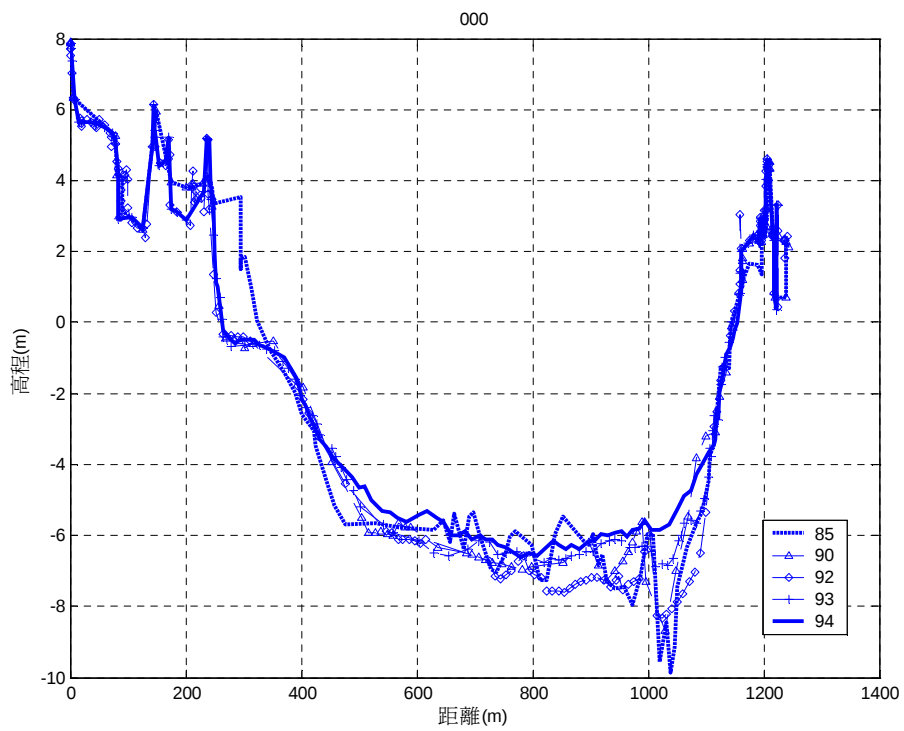


圖 4.34 斷面 000 歷年地形剖面變化比較圖

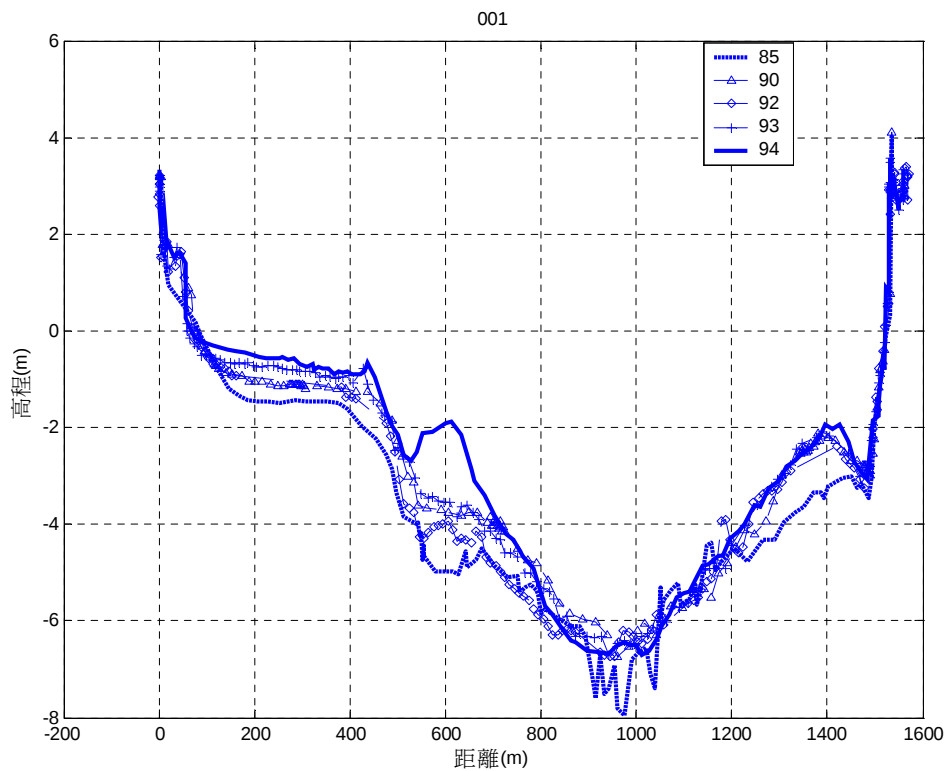


圖 4.35 斷面 001 歷年地形剖面變化比較圖

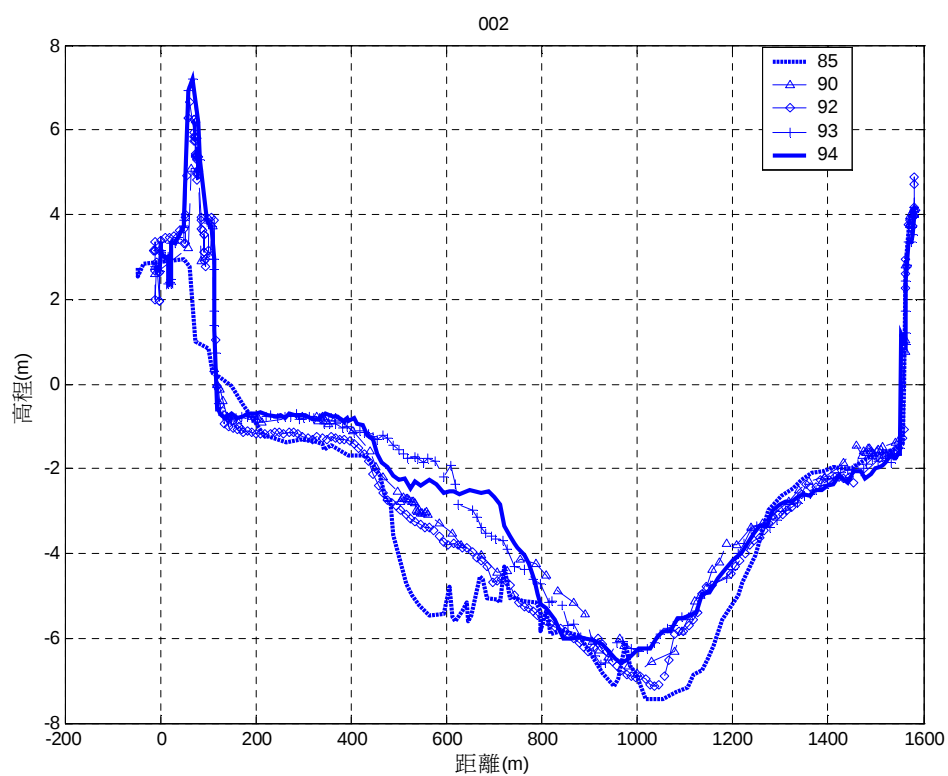


圖 4.36 斷面 002 歷年地形剖面變化比較圖

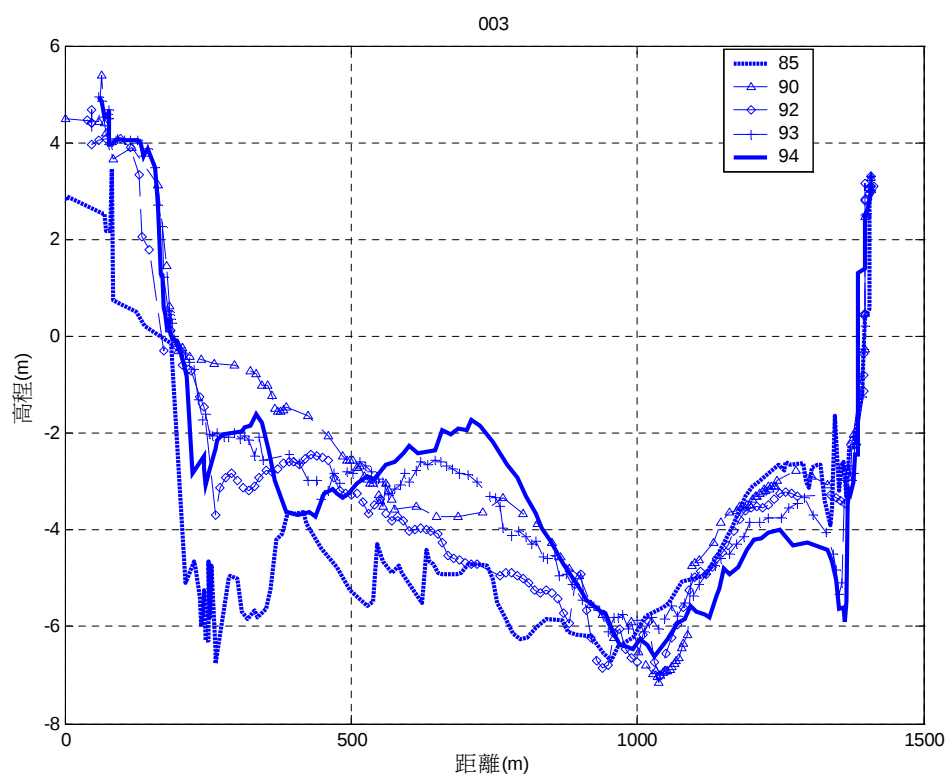


圖 4.37 斷面 003 歷年地形剖面變化比較圖

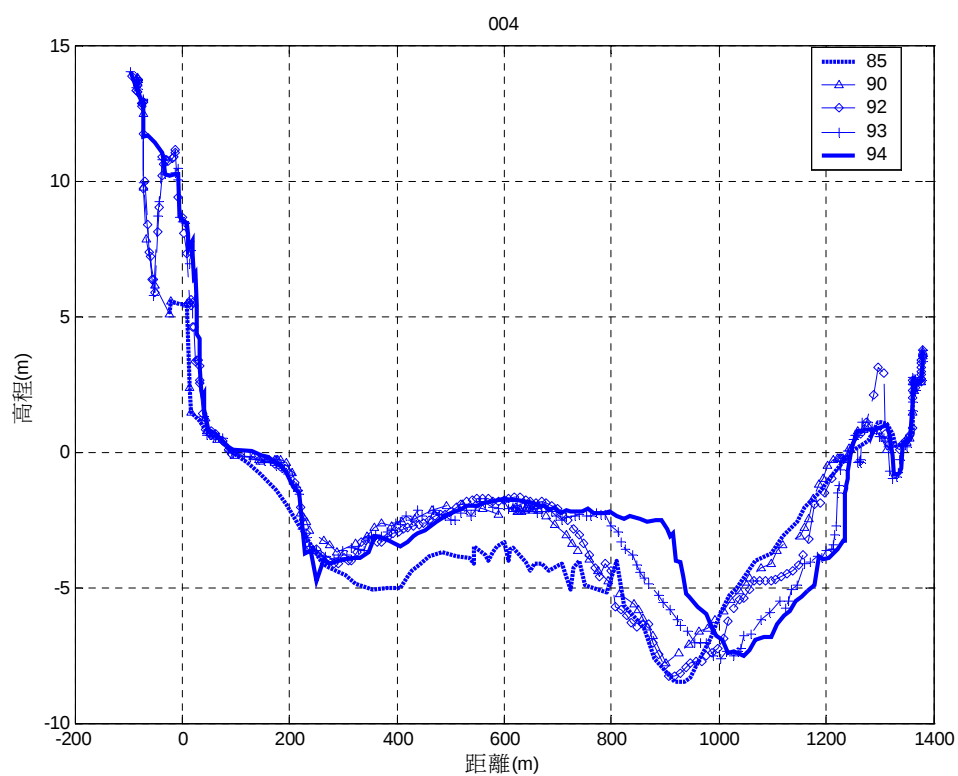


圖 4.38 斷面 004 歷年地形剖面變化比較圖

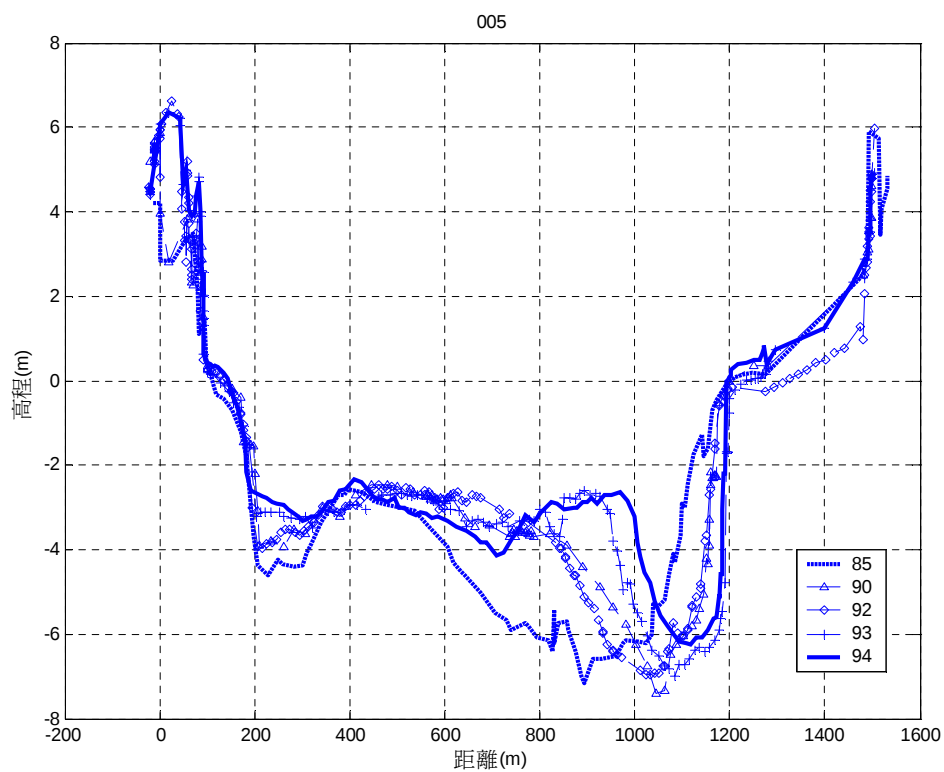


圖 4.39 斷面 005 歷年地形剖面變化比較圖

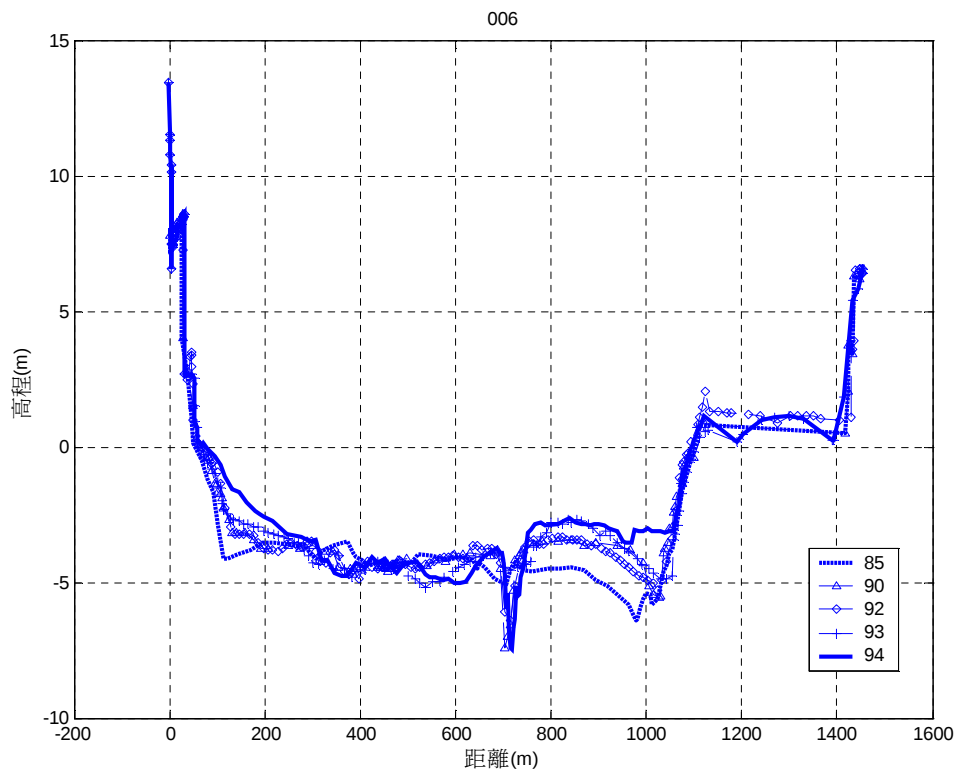


圖 4.40 斷面 006 歷年地形剖面變化比較圖

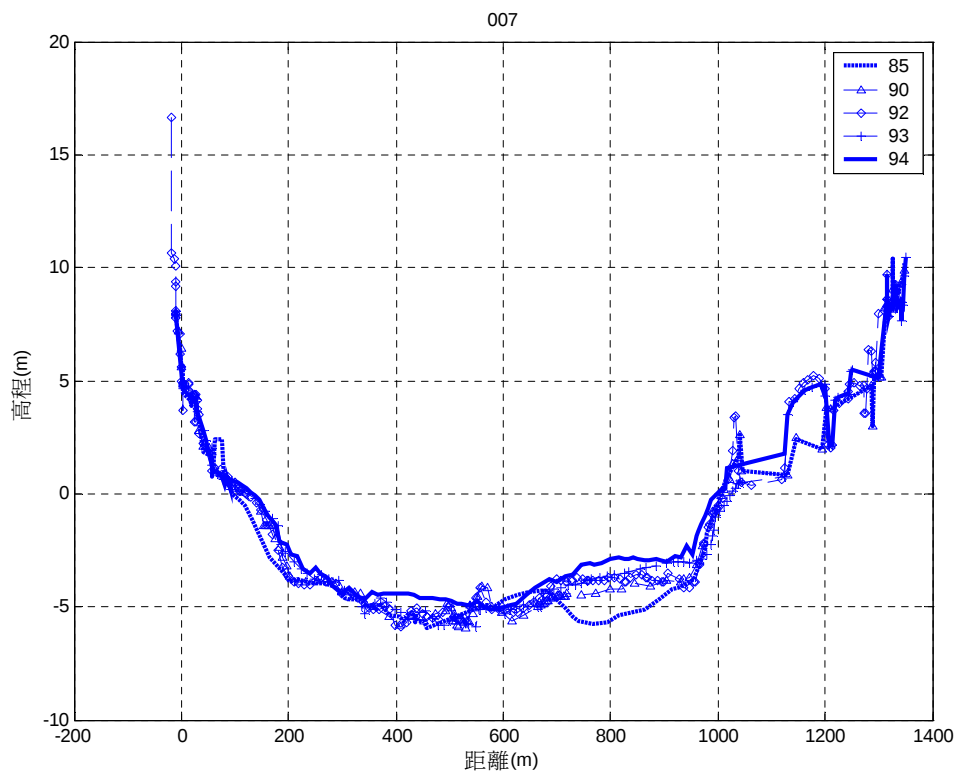


圖 4.41 斷面 007 歷年地形剖面變化比較圖

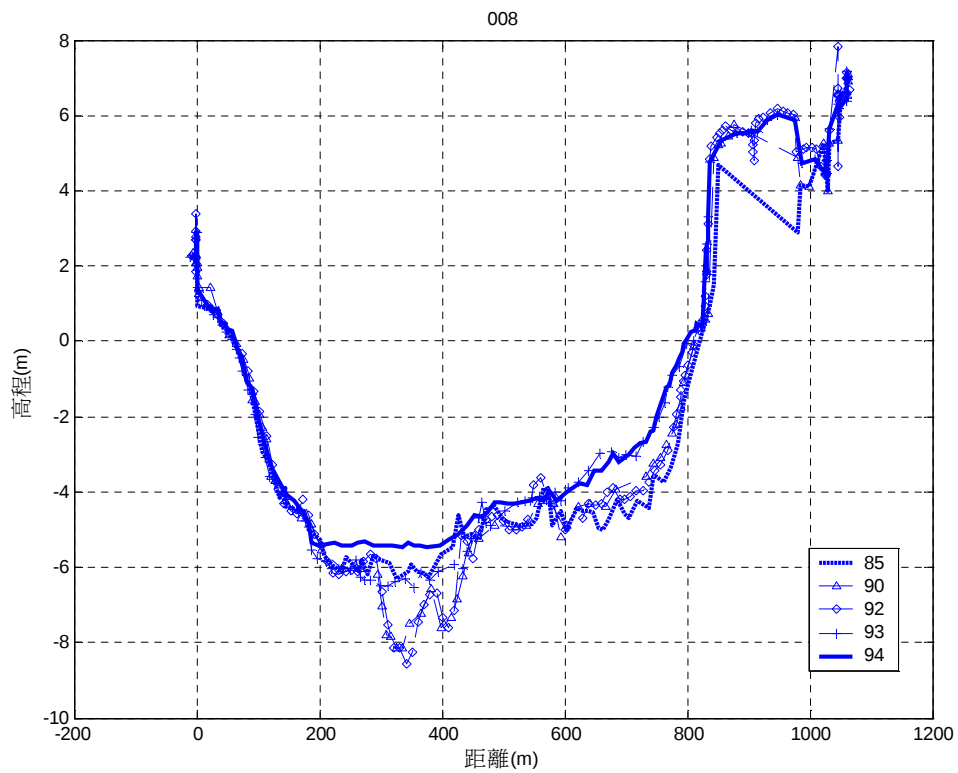


圖 4.42 斷面 008 歷年地形剖面變化比較圖

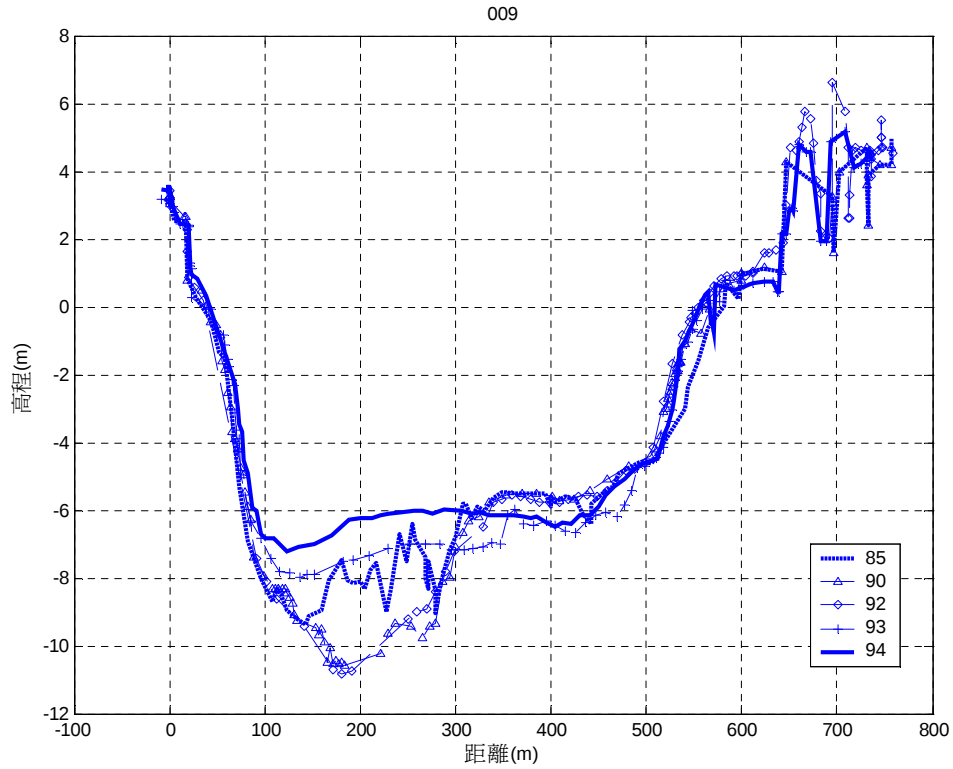


圖 4.43 斷面 009 歷年地形剖面變化比較圖

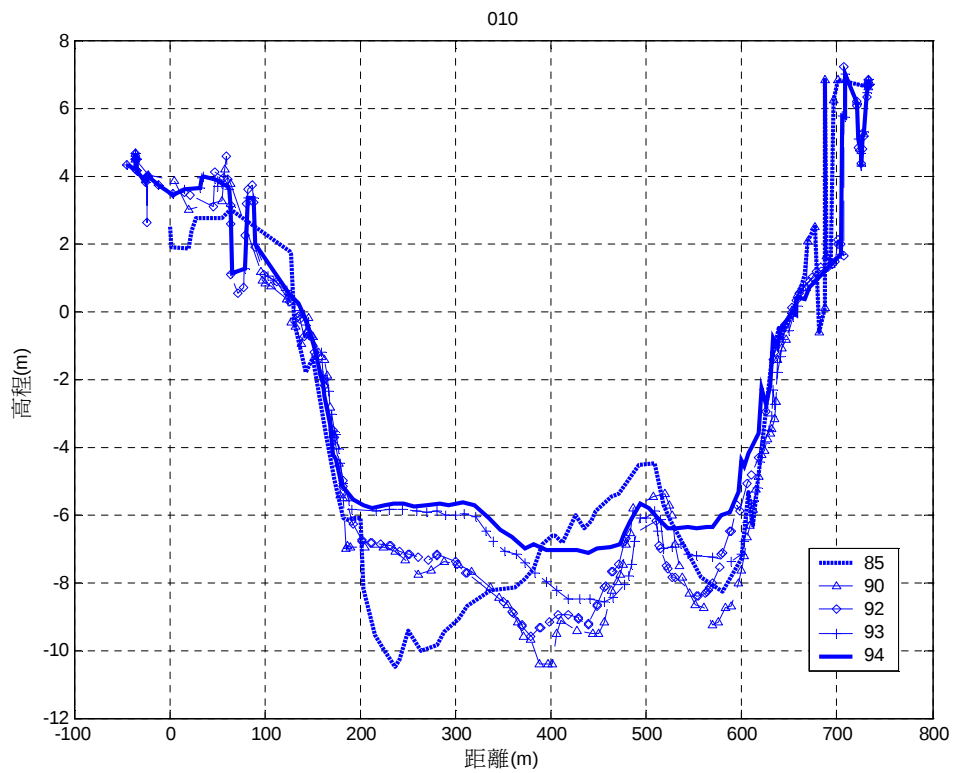


圖 4.44 斷面 010 歷年地形剖面變化比較圖

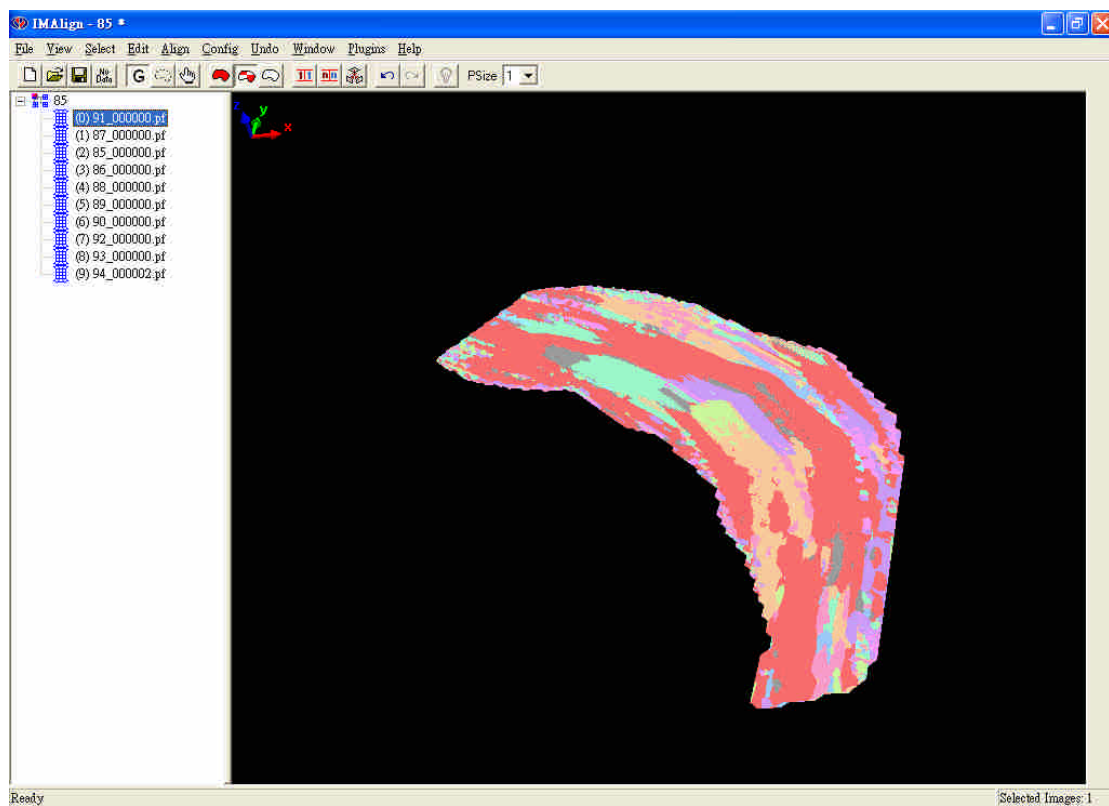


圖 4.45 淡水河口 10 年資料套疊內插取網格圖

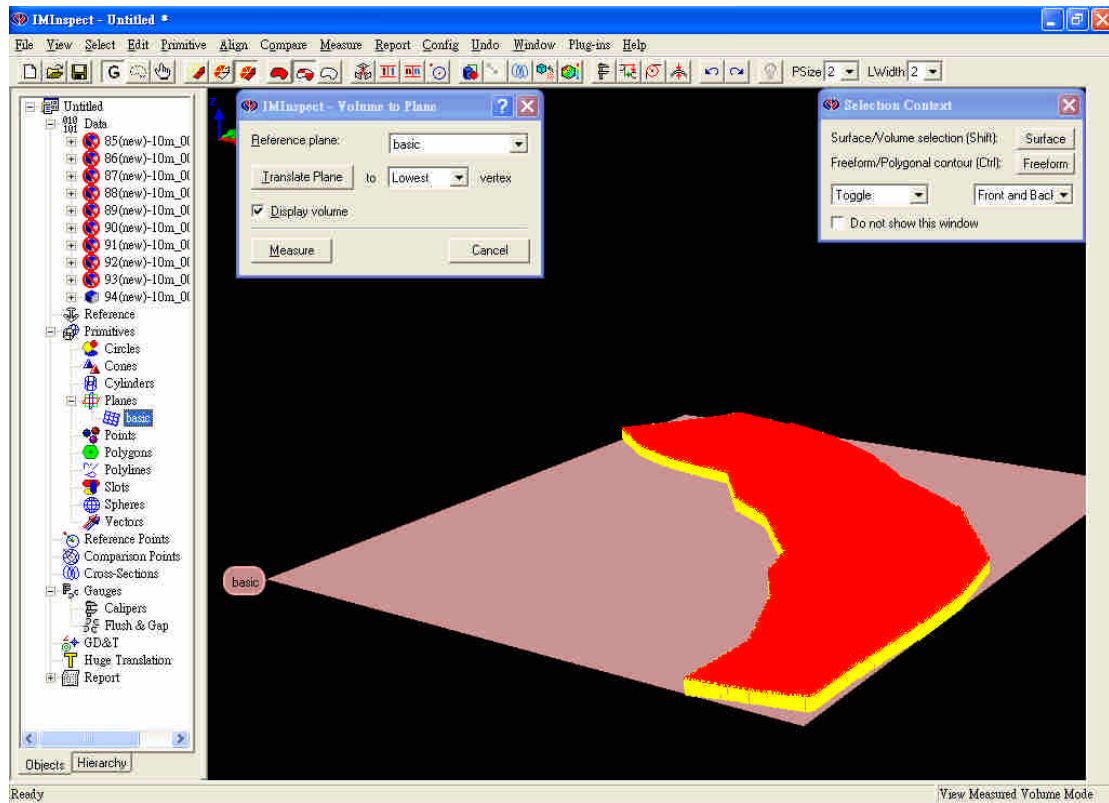


圖 4.46 土方量計算示意圖

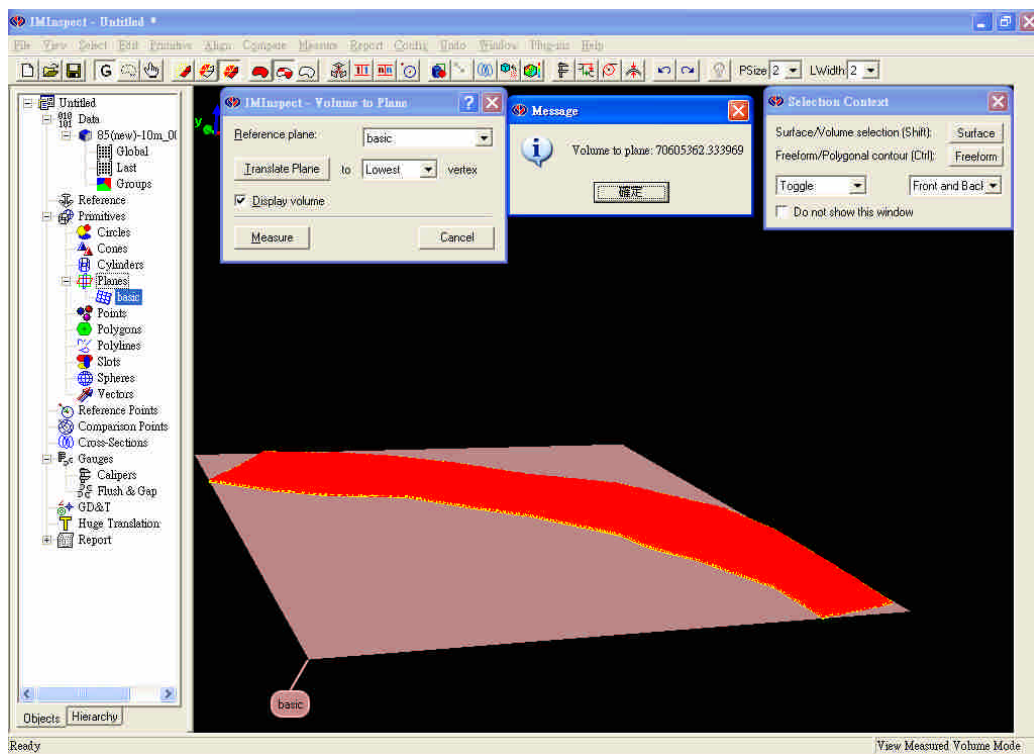


圖 4.47 85 年土方量(以-11m 為基準面)

表 4.3 淡水河下游河道的近十年累積淤積量

年份	土方量(m ³)	淤積量(m ³)	高程變化量(m)
85	70605362.33		
86	71987385.66	1382023.33	0.159
87	72845678.32	858292.66	0.099
88	73168990.99	323312.67	0.037
89	74738069.32	1569078.33	0.180
90	75129961.16	391891.84	0.045
91	75412262.83	282301.67	0.032
92	75410743.33	-1519.5	0.000
93	75839801.83	429058.5	0.049
94	77461195.5	1621393.67	0.186
總淤積量		6855833.17	0.788

+為淤積，-為侵蝕

擷取試算範圍面積為 8.7 平方公里

近十年來在河道內呈淤積現象，近幾年來在斷面 4,5 處河道深槽向外岸偏移達 200m(圖 4-38,39)，而斷面 8,9,10 之主深槽則明顯淤積將近 5m (從-11m 轉為- 6m, 見圖 4-42,43,44)，整體河道，近十年平均河床淤積 0.79m。表 4.3 可知近十年來河道的累積淤積量為正，除 92 年乾旱呈沖刷外，淤積最多的年份為民國 86, 89 及 94 年，反應實測前、後年間颱風之輸砂量淤積。雖然大部份之輸砂量已流出河口，然而近十年來河床仍呈現淤積情況，與民國 84 年以前淡水河下游河道為沖刷情況明顯不同。近十年河道淤積應是由於民國 85 賀伯颱風使集水區產生大量沖蝕，加上 921 地震造成上游坡地崩塌地增多，之後象神、納莉與艾莉颱風之豪雨使輸砂量提高；加上淡水河禁採砂石之影響。詳細之定量分析，仍需進一步資料驗證。

4.5.2 海床地形變化

宋國士等(2001)以超音波聲納實測淡水河口區海床等深剖面圖如圖 4.48，出海口處並無沖積扇地貌，河谷地形延伸至底床高度-11m 處(圖 4.44 斷面 10)才有些許海底沖積扇地貌。

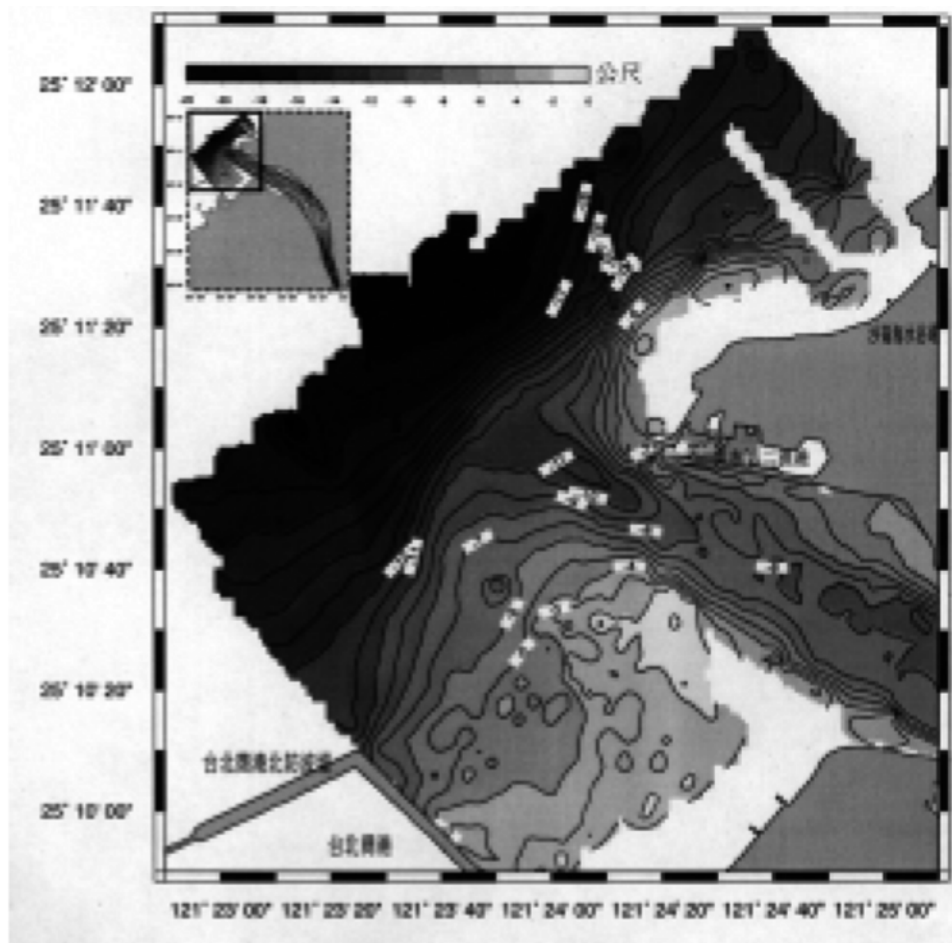


圖 4.48 淡水河河口海床等深剖面圖 (宋等,2001)

為了解臺北港附近海域長期之地形變化，本中心自民國 85 年起每年進行兩次水深測量。每年春秋兩季由淡水河口北岸至林口發電廠間約 15 公里長，及由岸測至水深約-25 公尺寬海域進行全面的水深量測，分別比較各年次之水深地形變化，藉以研判本海域侵淤變化之趨勢。本計畫分析臺北港自民國 85 年 5 月至民國 93 年 10 月每年兩次之量測，總計共 18 次之海岸地形監測資料來進行分析比對。於取得監測原

始數據後，首先以 Surfer 軟體進行數據網格化的動作，擷取大範圍區域依照歷年各季監測資料所涵蓋之區域為主，所選擇區域範圍如圖 4.49 所示。擷取測區內四個區域分別為淡水河出海口南岸至臺北港為第一區，臺北港北堤外側為第二區，淡水河口北岸為第三區，臺北港西南側為第四區。為了解測區內侵淤量變化，同樣分為大範圍、第一區、第二區、第三區及第四區共五個區域比較，將歷年資料依所擷取之範圍以 Surfer 軟體試算出歷年各季於各區域範圍內之侵淤量變化。

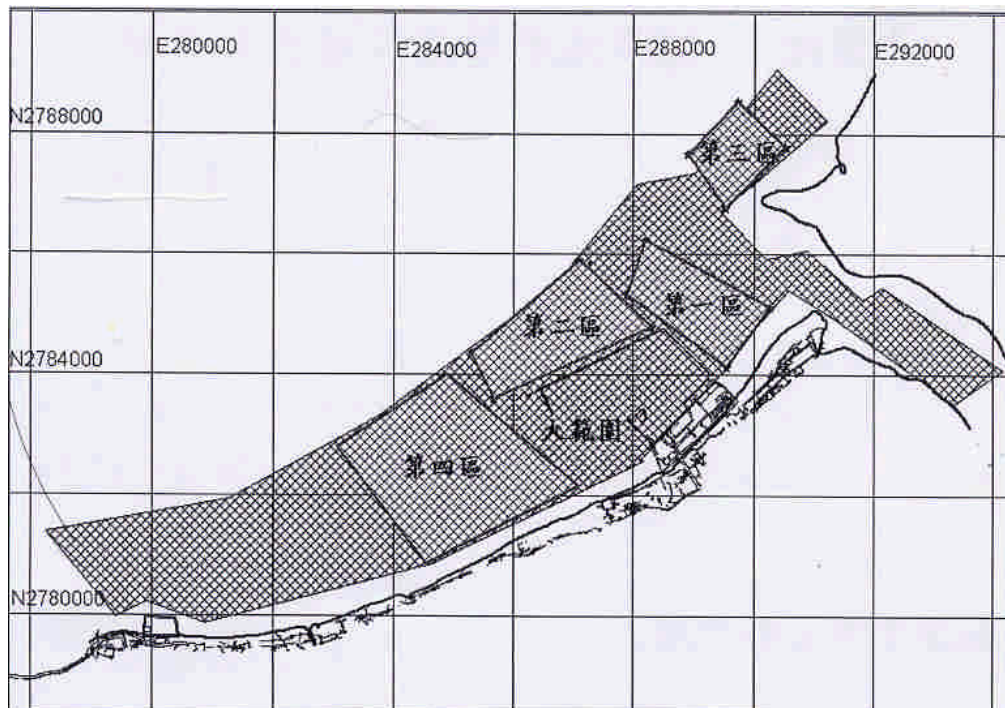


圖 4.49 臺北港海域地形擷取區域比較範圍示意圖(港研中心 2004)

4.5.3 監測結果分析

圖 4.50 為淡水河北岸至林口電廠間之大範圍分析結果，由結果顯示 88 年為侵蝕，與其前後季之侵淤量比較，有明顯大量之侵蝕後再大量淤積。圖 4.51 為第一區的分析結果，其顯示此區海域地形呈現淤積現象。圖 4.52 為第二區的分析結果，其顯示此區海域地形高程變化量最大可達-55cm。圖 4.53 及圖 4.54 分別為第三區及第四區的分析結果，其均顯示於淡水河口北側海域地形有歷年明顯的侵蝕現象，且歷年的資料中侵蝕多過於淤積量。



圖 4.50 大範圍區域海域歷年侵淤變化圖

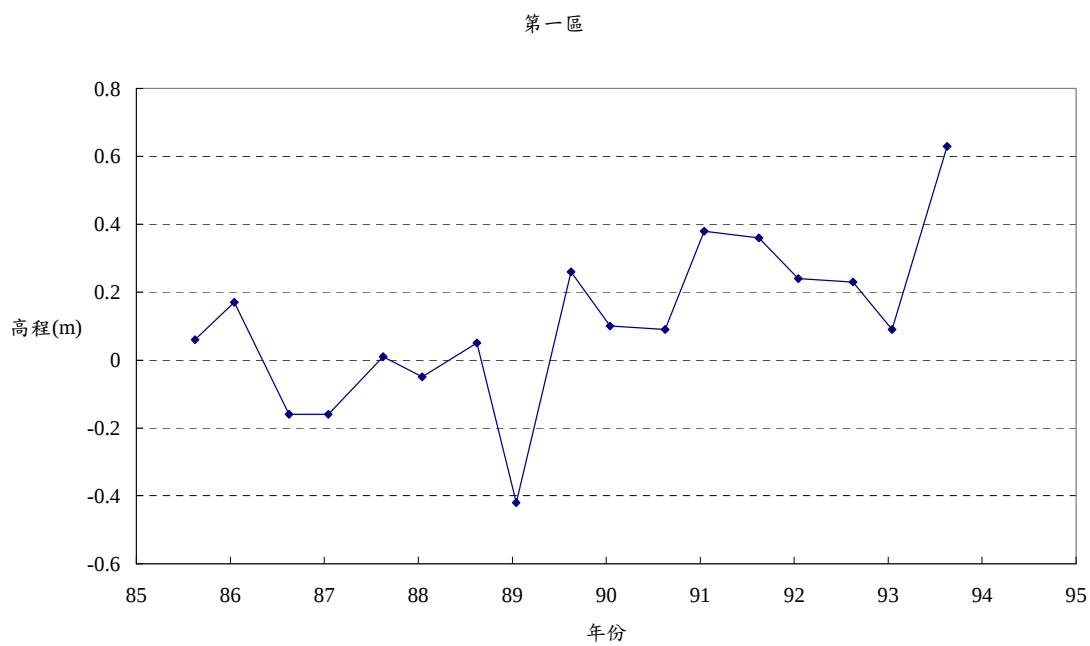


圖 4.51 第一區海域歷年侵淤變化圖

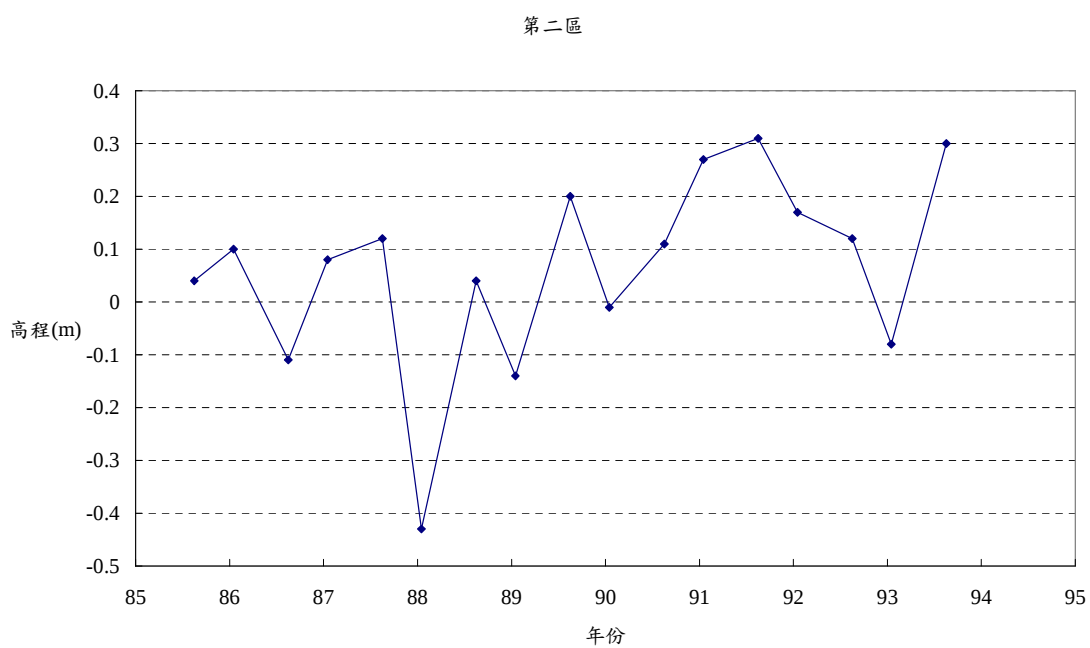


圖 4.52 第二區海域歷年侵淤變化圖

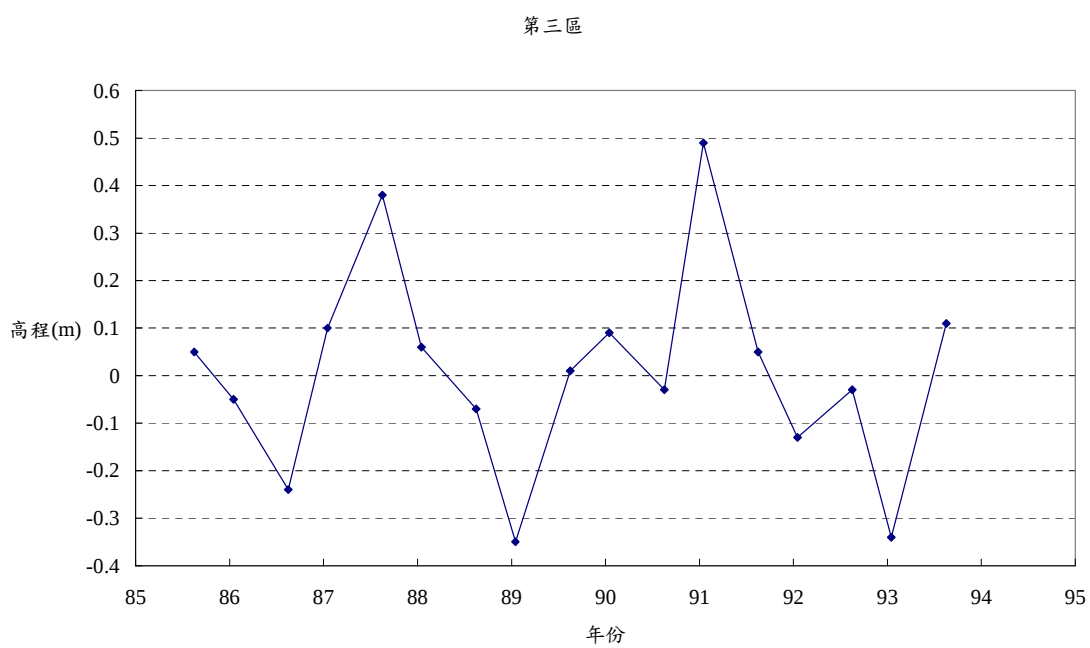


圖 4.53 第三區海域歷年侵淤變化圖

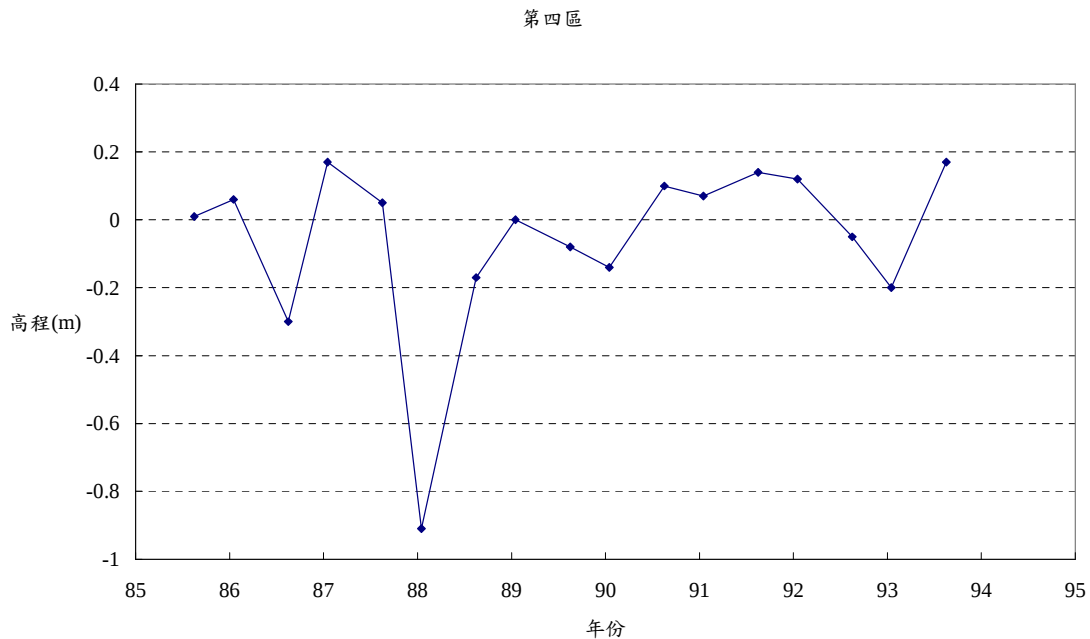


圖 4.54 第四區海域歷年侵淤變化圖

4.6 現況勘查

淡水河口之開發很早，在清朝時期，臺灣與大陸往來的船舶就在挖子尾停靠，然因河口淤積日益嚴重，到乾隆時期已沒落。頗具人文與古老氣息的挖子尾，目前有大坌坑文化和十三行遺址，是一處兼具歷史資源和生態景觀的地方。臺北縣政府於民國七十二年成立「挖子尾自然保留區」，保留區範圍北從河道中的淡水鎮與八里鄉界起，南至公路，上到大崁腳堤，北有大屯山、南向觀音山，西側有八里汙水處理廠，東邊接到淡水河岸，總面積約為二十公頃。在淡水河口南岸八里汙水處理廠以南，並有臺北商港正興建中。淡水河口現況地形如圖 4.55 所示。位於淡水河口南側的挖子尾，是一潟湖型態的水域，具豐富的河口潮汐生態體系，其中有面積廣闊的紅樹林(水筆仔)純林及族群龐大的招潮蟹、水鳥和彈塗魚等。由於漲退潮的水流作用，河口堆

積了上游沖下的大量有機質，吸引各種動物棲息與覓食，而當地沙洲也是北臺灣之著名灘釣場地。



圖 4.55 淡水河口開發及利用現況
(資料來源：臺北縣縣政府，圖中編號為現場勘查位置)

圖 4.56 為淡水河口現況地形，左岸河口之沙洲在退潮時明顯露出(圖 a)；在河口內則為細沙(圖 c)及淤泥底質(圖 d)。在臺北港南測則為礫石灘，其沙源則非來自淡水河，而是林口、八里之礫石層崩墜。圖 4.57 則為淡水河口南岸至臺北港間之現況海岸地形(5/31/2006 拍攝)，在臺北港北防波堤之突堤效應影響下，此一區域已由以往之侵蝕型海岸轉為淤積型海岸。



圖 4.56 淡水河口現況地形(中央大學周憲德教授提供)

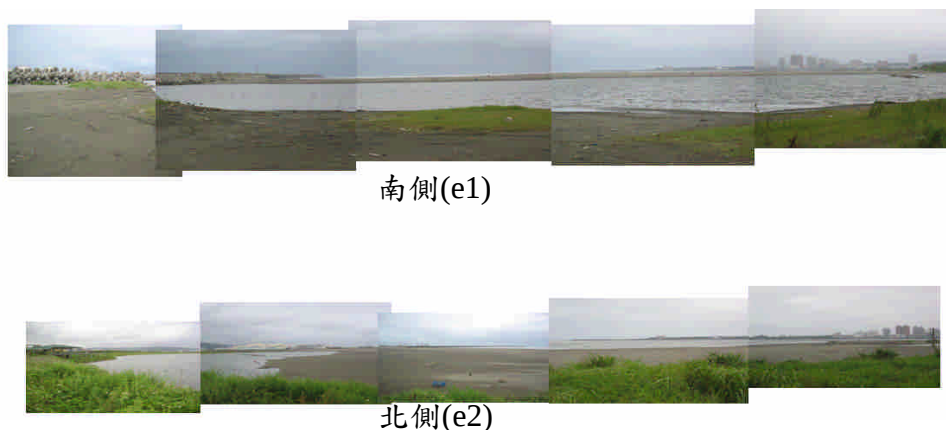


圖 4.57 淡水河口南岸至臺北港間之現況海岸地形
(中央大學周憲德教授提供 5/31/2006)

圖 4.58 為淡水河下游關渡橋水面流況，此處之水深有明顯改變如圖 4.32 所示，可能因渦流延伸(vortex stretching)引發湧升漩渦(Koil)並造成水面翻滾(Boil) (圖 4.59)，從此水面翻滾之混濁度可知此處之底床質為細小顆粒，與本章實測平均底床粒徑(d_{50})=0.02 mm 相符合。



圖 4.58 淡水河下游關渡橋水面流況



圖 4.59 淡水河關渡橋湧升漩渦造成水面翻滾流況

圖 4.60 及圖 4.61 為河口處浮流及挖子尾沙嘴於 2006/08/13 之空照圖，圖中河口水面的清渾界面大約與 -5 m 等深線一致。此時為漲潮時段，故浮流偏向南側。在受側向密度梯度影響下，漲潮時，水面漂浮物通常是聚合呈一條完整的曲線，沒有間斷。而在退潮時此曲線將被破壞，直到下一次的漲潮(Nunes and Simpson, 1984)。在筆直河道中，聚合現象通常位於河道中央；而曲折河道時，水面聚合現象會朝向內岸。此一水面聚合現象有利於水筆仔種子之移運，加上底部二次迴流提供足夠的沉積淤泥，故紅樹林容易於河口彎道之內岸繁殖生長，如挖子尾及關渡基隆河口。



圖 4.60 河口處浮流及挖子尾沙嘴現況
(中央大學周憲德教授提供 2006/08/13)



圖 4.61 淡水河南岸沙灘淤積
(中央大學周憲德教授提供 2006/08/13)

第五章 結論與建議

5.1 結論

本計畫進行淡水河河口內輸砂理論分析及應用：首先收集淡水河口段之輸砂量，及水理資料(含流量、潮位、水位、水深、河道地形及底床質等)，選擇適用於淡水河口段之輸砂理論，再分析淡水河口段之河床演變。其次將進行海岸漂沙及沿岸流輸砂分析，並收集淡水河附近之海象資料、漂沙及海岸地形資料，建立適用於淡水河口海域段之沿岸流輸砂理論，並分析淡水河口海岸之演變。最後則進行臺北港至河口間之漂沙與地形變化分析，以探討臺北港北防波堤與河口間，及河口處挖子尾沙嘴及灘地地形之演變，並提供淡水河河口漂沙及臺北港漂沙之防治對策。本年度之重要成果說明如下：

- 一. 淡水河屬風浪營力型或風浪、逕流及潮汐三個營力之中混合型。早期河口內之河道中沙洲明顯，在 1967-1975 年後，此河段之沙洲已消失，1967- 1996 年間因上游築壩及抽沙，阻隔沙源導致淡水河之河床下降，1996 年後因發生數場大洪水及禁採砂石及海岸築堤等效應，下游河床呈淤積狀況，近十年平均河床淤積 0.79m。臺北港興建之後，造成漂沙在北堤前堆積的情況，原先八里汙水廠附近的海岸呈現侵蝕狀態，已逐漸淤積。
- 二. 本計畫分析淡水河口之重力循環流特性，在當河川流量大於年平均流量($Q_{ave}=123.71\text{cms}$)時，河口內無重力環流存在。當流量大於 $Q_{50}(=46.29\text{cms})$ 時，河口之底部迴流只存在距河口 3.4 公里範圍內，而當河川逕流量約小於 $Q_{75}(=19.57\text{cms})$ 與 $Q_{90}(=12.2\text{cms})$ 間時，河口之底部迴流會越過竹圍(斷面 4)之淺灘而進入關渡橋河段。因豐水期期間，淡水河口之重力循環流不易存在，故在計算淡水河之

颱風輸砂量時，不需考慮底部迴流之輸砂特性。

- 三. 由底質採樣分析可知淡水河下游之河床質粒徑介於 0.013-0.4 mm，淡水河以社子防潮堤到二重輸洪道出口間之河床質最細 (<0.02mm)，基隆河之河床質粒徑(介於 0.1-0.4mm)較淡水河為粗。由關渡至河口之粒徑漸粗，於淡水渡船頭附近最粗，往外海方向則粒徑漸減，故河口的區域存在海相沉積的特性。經顆粒特性分析，海床上之砂源主要來自淡水河。
- 四. 淡水河之輸砂量以颱風期間之懸浮載為主，含砂量可達 5 - 14.5 g/L，懸浮載與流量指數關係之次方 1.516(豐水季)或 2.956(枯水季)。經數值模式分析以 Engelund and Hansen 公式計算總輸砂量之誤差最小。
- 五. 帶來大豪雨之颱風，如象神颱風及納莉颱風時，洪水流量暴增，造成河道內潮位上升，潮差縮小之情形。納莉颱風時，颱風前最大潮差 2.47m，颱風期間最小潮差僅 0.85m，持續有 47 小時水位高於平均海平面，最高水位達 2.28 m，且連續四次最高潮位均大於 2.2m。
- 六. 全潮流量觀測顯示逕流量小時(135.9 cms)，漲潮流速大於最大退潮流速；反之如逕流量大時(286.4cms)，則漲潮流速明顯小於最大退潮流速。淡水河口之潮汐流量約 2000 ~ 3000 cms。故當上游流量大於 2000 cms 時會明顯改變河道內漲退潮位。
- 七. 淡水河口之水下地形並無沖積扇地貌，然近十年來在河道內呈淤積現象，近幾年來在斷面 4,5 處河道深槽向外岸偏移達 200m，而斷面 8,9,10 之主深槽則明顯淤積將近 5m (從-11m 轉為- 6m)，整體河道，近十年平均河床淤積 0.79m。河道淤積之原因應是由於近十年民國幾場颱風使集水區產生大量沖蝕，加上 921 地震造成上游坡地崩塌地增多，使輸砂量提高；加上淡水河禁採砂石之影響。詳細之定量分析，仍需進一步資料驗證。

5.2 建議

- 一. 建議持續進行研究以了解海岸漂沙及沿岸流輸砂特性，並分析臺北港至河口間之漂沙與地形變化，及河口處挖子尾沙嘴及灘地地形之演變，以完整提供淡水河河口漂沙及臺北港漂沙之防治對策。
- 二. 持續收集颱風期間之水理資料及輸砂資料，以驗證河口輸砂模式之正確性。

參考文獻

1. 王安得(2004)，淡水河年侵蝕率之推估，國立臺南師範學院自然科學教育學系碩士論文，臺南市。
2. 宋國士、溫良碩、劉康克、劉佩琨(2001),”淡水河口區水下地形”，臺灣海洋學刊第 39 期，pp. 135-159.
3. 李錫堤，黃俊鴻，劉進金，蔡榮君，洪國華，林書毅 (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，公共工程委員會專案委託計畫成果報告。
4. 吳瑞濱、許銘熙、李鴻源(1998)，二維泥沙沖淤模擬之研究，第九屆水利工程研討會，中央大學，中壢市，pp. E11-E20。
5. 李鴻源、楊錦釗、葉克家、謝慧民(1996)，瓣狀河系沖淤模式之發展(四)，NETSTARS 模式，國立臺灣大學土木工程系，臺北市。
6. 林柏青、周憲德、江金德、蔡金吉 (2003)，「淡水河流況與懸浮質調查分析」，第 25 屆海洋工程研討會，國立臺灣海洋大學，基隆市，pp.669-676。
7. 林雪美(1996)，臺灣西部河口之地形學研究，國立師範大學地理學研究所博士論文。
8. 邱永芳、洪憲中、吳基、林柏青、廖慶堂、王胃、徐如娟 (1999)，八十八年八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
9. 洪奕星(2000)，臺灣北部海岸變遷研究-淡水河口一帶海底地形與沉積物分佈的調查研究(III)，中央地質調查所委託計畫。
10. 范光龍 (1996)，“從淡水河口附近河段之今昔談起”，海洋臺灣---第 12 期 (1).

11. 張苑文 (2002), 淡水河口地形變遷之研究, 國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文。
12. 張慶源、李育明、何瓊芳、童慶斌、闕蓓德, 「永續臺灣的願景與策略研究子計畫一: 永續發展知識庫之建立(V)－資能源善用組」, 行政院國家科學委員會九十一年度研究計畫成果報告, 臺北 (2003)。
13. 基隆港務局 (1997, 海岸地形變遷及防護對策研究, 淡水港第二期工程 (含淡水港外郭防波堤興建工程) 環境影響說明書 (定稿本)－附錄三, 基隆: 基隆港務局, 2-1~4-20、7-2~7-4。
14. 港灣研究中心 (2004), 臺北港(92~94 年)海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業-93 年報告, 交通部運輸研究所。
15. 港灣研究中心 (2005), 臺北港(92~94 年)海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業-94 年報告, 交通部運輸研究所。
16. 張勝騰(2003), 淡水河河口水質與懸浮細泥之調查研究, 國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
17. 許銘熙 (2005), 淡水河口生態系統模式, 第一屆生態工法研討會報告。
18. 許泰文、張憲國(2001), 永續的鑽石海岸, 經濟部水資源局出版。
19. 許泰文 (2003), 近岸水動力學, 中國土木水利學會出版, 科技圖書公司。
20. 張瑞津(1989), 淡水河下游感潮的研究, 地理學研究, 13:1-59。
21. 陳筱華、陳嘉元、連永順 (2000), 多功能河口水文站之件置與最適化系統之建立, 經濟部水資源局, 臺北。

22. 鄧國雄(1987), 淡水河下游河道形態與河床沉積研究, 國科會研究報告。
23. 鄧國雄、高慶珍、許哲明、蔡佩娥(1987), 淡水河下游河道形態與演育, 地理學研究 11:139-169。
24. 魏震(2001), 臺北港興建對鄰近海岸地形影響之評析, 國立臺灣海洋大學河海工程系碩士論文。
25. Ashton, A., A.B. Murray and O. Arnoult (2001), "Formation of coastalline features by large-scale instabilities induced by high-angle waves," *Nature*, 414, 296-300.
26. Brown, C.B., (1950). *Sediment Transportation, Engineering Hydraulics*, H. Rouse, ed., John Wiley & Sons, Inc., pp.769-857.
27. Bagnold, R.A. (1963), *Mechanics of marine sedimentation*. In "The Sea: Ideas and Observations" ed. by M.N. Hill, Vol.III, Interscience, New York.
28. Chiao, L-Y and Y-H Wang (2004), "Multiresolution interpolation and detiding of the ADCP Data", *J. of Atmosphere and Oceanic Technology*, Vol.21, pp.122-134.
29. Coastal Engineering Research Center, (1984). *Shore Protection Manual*, U.S. Army Corps of Engineers.
30. Dadson, S.J., N. Hovius, H. Chen, W.B. Dade, M.L. Hsieh and S.D. Willet (2003), "Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen", *Nature*, Vol.426, pp.648-651.
31. Dyer, K.R. (1994), "Estuarine sediment transport and deposition", Chap. 6 in *Sediment Transport and Depositional Processes*, ed. by K. Pye, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.

32. Geyer, W. R., (1993): The importance of suppression of turbulence by stratification on the estuarine turbidity maximum. *Estuaries*, 16, 113–125.
33. Hans Burchard (1998), “The Formation of Estuarine Turbidity Maxima Due to Density Effects in the Salt Wedge. A Hydrodynamic Process Study”, *Journal of Physical Oceanography*, Vol.28, No.2, pp.309-321.
34. Hsu, M.H. , A.Y. Kuo, W.C. Liu and J.T. Kuo (1999), “Numerical simulation of circulation and salinity distribution in the Tanshui estuary”., *Proc. Natl. Science Council, R.O.C.* , Vol.23, No.2, pp.259-273 .
35. Ivey, G.N. and J. Imberger (1991), “ On the nature of turbulence in a stratified fluid. Part.1 The energetics of mixing,” *J. Phys. Oceanography*, Vol.21, pp.650-658.
36. Inman, R.L. (1963), *Submarine Geology*, Chap. 5, ed. by F.P. Shepard, Harper and Row, New York.
37. Jay, D. A., and J. D. Musiak, (1994): Particle trapping in estuarine tidal flows. *J. Geophys. Res.*, 99(20), 445–461.
38. Krone, R.B. (1978), “Aggregation of suspended particles in estuaries,” in *Estuarine Transport Porcess*, ed. By Kjerfve, P., University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina, pp. 177-190.
39. Kachel, N.B. and R.W. Sternberg (1971), “Transport of bedload as ripples during an ebb current,” *Marine Geology*, Vol.19, pp.229-244.
40. Lewis, R. (1997), *Dispersion in Estuaries and Coastal Waters*, John Wiley, Chichester, England, 312p.

41. Liu, W. C., M.H. Hsu; C.R. Wu; C.F. Wang; and Albert Y. Kuo(2004),
“Modeling Salt Water Intrusion in Tanshui River Estuarine
System—Case-Study Contrasting Now and Then.”, ASCE,pp.849-859.
42. Liu, W.C. (2004), “ Modeling of the influence of settling velocity on
cohesive sediment transport in Tanshui River estuary,” Environmental
Geology, Springer-Verlag.
43. Liew, P.M. (1993), “ Holocene tectonic uplift deduced from elevated
shorelines, Eastern Coast Range of Taiwan”, Tectonophysics, Vol. 222,
pp.55-68.
44. Nakai M. and Arita M. (2002), “An experimental study on prevention
of saline wedge intrusion by an air curtain in rivers.”, Journal of
hydraulic research, Vol. 40, 2002, No. 3.pp.333-339
45. Monismith, S.G. and Fong,D.A. (1996), “ A simple model of mixing in
stratified tidal flows,” J. Geophysical Research(oceans), **101**,
28583-28595.
46. Nunes R. A., and J. H. Simpson(1984), “ Axial convergence in a
well-mixed estuary,”. Estuarine Coastal Shelf Sci., **20**, 637–649.
47. Ogawa, Y., Fujita, Y. and Shuto, N., (1984). Change in the
cross-sectional area and topography at river mouth, Coastal
Engineering in Japan, Vol.27, pp.233-247.
48. Park, K., and Kuo, A. Y. (1993) “A vertical two-dimensional model of
estuarine hydrodynamics and water quality.” Special Report of
Applied Marine Science Sci. and Ocean Eng. No. 321, Virginia
Institute of Marine Science, Gloucester Point, Va.

49. Park, K., and Kuo, A. Y. (1995) “A framework for coupling shoals and shallow embayments with main channels in numerical modeling of coastal plain estuaries.” *Estuaries*, 18(2), 341–350.
50. Postma, H., and K. Kalle, (1955): Die Entstehung von Trübungszonen im Unterlauf der Flüsse, speziell im Hinblick auf die Verhältnisse in der Unterelbe. *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 8, pp.137–144.
51. Schuttelaars, H.M. and C.T. Friderichs, (2003), Formation of Estuarine Turbidity Maxima in Partially Mixed Estuaries.
52. Swift, D.J.P., D.B. Duane and C.H. Pilkey (1972), Shelf sediment transport: process and patterns, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania., USA.
53. Sternberg, R.W. (1972), “Predicting initial motion and bedload transport of sediment particles in the shallow marine environment,” Chap.3 in Shelf sediment transport: process and patterns, ed. by Swift, D.J.P et al., Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania., USA.
54. Sundborg, A. (1967), “Some aspects on fluvial sediments and fluvial processes, I. General views and graphic methods,” *Geograf. Ann.* Vol.49A, pp.333-343.
55. Van Leussen, W. (1989), “Aggregation of particles, settling velocity of mud flocs, A Review”, in *Physical Processes in Estuaries*, ed. by Dronkers, J, and W. van Leussen, Springer-Verlag., pp.348-403.
56. Wang, X.H. (2002),” Tide-induced sediment resuspension and the bottom boundary layer in an idealized estuary with a muddy bed”, *J. of Physical Oceanography*, Vol. 32, pp.3113-3131.

附錄一

交通部運輸研究所合作研究計畫

☒ 期中 ☐ 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：95 年淡水河河口及附近海岸輸砂之研究

執行單位：中央大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、楊德良委員： 1、本報告已十分努力執行，原則上已達到預定目標，給予肯定。 2、本報告建議以後能以「彩色」印刷，便於閱讀，否則應給委員一片光碟磁片。 3、請繼續收集有關本計畫之相關文獻，諸如： 3.1、有關二維之垂直 mixing 公式；如早期之 Munk and Anderson (1948)；Mamayev (1957), etc. 這 30~50 年來是否有更新之發展。 3.2、河口寬度演變模式不是很完整，是否加強之。 3.3、一維程式為自己建	1、感謝肯定。 2、遵照辦理。 3.1、因限於人力及時間，本計畫不進行二維之數值模擬；而進行一維重力循環之理論概念模式之建立，並與實驗或現場資料驗證。故有關水深平均或寬度平均之數值模式將予省略。 3.2、河口寬度演變模式將於 96 年度報告中詳細說明，而本年度報告會將此部份移除。 3.3、將遵照辦理。依據現場資料來驗證相關參數。	

立，已可解釋部份二維之一些現象，參數之檢驗更加強之。 4、水理物理實驗是否可考慮到更大尺度以避免 distortion，尤其輸砂之實驗。 5、淡水河之研究已有多方面研究，尤其是許銘熙教授，蔡長泰教授團隊，可否把它們 unified 在一起。	4、因限於時間與設備，無法進行更大尺度之實驗。 5、感謝指教。本計畫將儘量了解相關研究之成果，以期能產生更好的研究成果。	
二、許泰文委員： 1、水理資料搜集分析，如河川輸砂量平均值，乾季日流量，颱風期間流量，建議能再加強資料分析和新資料更新，或海岸線變遷與海灘斷面變化在臺北港興建前後變化情形。 2、柳(2004)模式利用鹽度和濃度變化解釋淡水河口變化，如此模式在本計畫不予應用建議更為簡化。重力循環分析穩態動量分析，適用範圍請再說明。 3、試驗使用歪比，是否可以找到曼寧係數的材	1、感謝委員之建議，將蒐集更新的資料予以更新，並就資料作更詳盡的分析。 2、遵照辦理。 3、本研究試驗旨在探討重力循環造成之底部輸砂機制。因不等縮比造成底床顆粒運動門檻值改變，目前正進行不同材質之試驗測試，如可行則依委員建議於期末報告更深入說明。如因時間及人力所限，無底床顆粒運動之量化結果，則將於期末報告移除此部分內容，而強調現場資料之分析。	

料，另動床模型試驗在歪比情況應更詳細推導及說明。		
三、臧效義委員 1、整體工作按進度而行。 2、三年期之第一年計畫(本年度計畫)應該更集中於較務實之工作項目。 3、粒徑沿岸分佈及變化可以深入分析，以利找出輸砂之重要機制。 4、颱風資料及懸浮質實測值建議整理成表格。	1、感謝委員之建議，將遵照辦理。 2、遵照辦理。 3、遵照辦理。 4、將於期末報告將相關資料整理成表格。	
四、簡仲璟委員： 1、底質採樣僅有淡水河及基隆河，為何沒有包含大漢溪及新店溪？底質分析過程及方法雖有說明，但採樣方式則建議再詳細補充。 2、第五章之實驗分析目的為何？其結果如何與第三章之河口水理模式作連結？以得到適用於淡	1、感謝委員之建議，本研究之河段著重於淡水河河口段(從關渡到河口處)。除基隆河外，大漢溪及新店溪上游均有水庫攔沙，故本研究將沙源分為淡水河本河及基隆河兩部份。採樣方式將於期末報告補充。 2、實驗目的在於了解淡水河口重力循環可能造成	

水河口之輸砂模式。 3、第 20 頁表三在報告中並沒有相關說明。第 47 頁圖 4.17 中之橫座標示說明”採樣編號”建議與表 4.1 之”測點編號”應一致。 4、第六章第一段敘述是計畫工作內容說明，並非結論或建議，請修改。	之底部輸砂機制。第三章之河口水理模式提供底部水流之剪力值，將以實驗探討並驗證輸砂及粒徑分佈之機制。 3、感謝指正，將於期末報告補充修正。 4、遵照辦理。	
五、蘇青和委員： 1、圖 1.1 建議取用較新資料，代替 2000 年影像圖。 2、第二章河口水理資料分析，第四章河口底質資料分析整年之成果及比較，建議製表展示較完整內容。 3、颱風期間或粒徑分析之成果可具體顯示河川輸砂變化，建議增加此部份蒐集及分析。 4、p16 圖一缺少。	1、感謝委員之建議，將遵照辦理。 2、將於期末報告詳列相關資料。 3、遵照辦理。 4、將予以修正。	

附錄二

交通部運輸研究所合作研究計畫

☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：95 年淡水河河口及附近海岸輸砂之研究

執行單位：中央大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、楊德良委員： 1、基本上，研究報告已大致達成第一年的預定目標，給予肯定，並推薦繼續第二、三年之計畫。 2、報告上仍有不少打字或文字上之錯誤，已如口頭上報告，並在完稿的版本改正之。 3、第二年應繼續颱風期間之流量與輸砂量之資料及兩者之 rating 曲線。 4、結論中請加強颱風期間輸砂量對於該河淤積之關係，及為何粒徑在 10 年內變粗。 5、把速度 profile 加入完整報告中。	1、感謝肯定。 2、遵照辦理。 3、感謝委員之建議，將蒐集更新的資料並就資料作更詳盡的分析。 4、遵照辦理。 5、遵照辦理。	
二、許泰文委員： 1、分析及說明內容詳盡，	1、感謝肯定。	

研究成果值得肯定。 2、建議下年度應持續收集海氣象、河川資料及輸砂資料，驗證河口輸砂模式，並提高計算準確性。 3、淡水河下游段土方量變化研究上，建議下年度計算區域可再細分小段區域，可探討下游段不同區域變化情形。 4、底床質分析明年度應朝不同季節變化以及與海氣象或河川資料的相關性作探討。	2、感謝委員之建議，將蒐集更新的資料並就資料作更詳盡的分析。 3、感謝委員之建議，本研究之土方量計算受限於第十河川局所提供之斷面資料，因此無法再細分更小的區段進行分析。 4、感謝委員之建議，本項建議將與港研中心研商於明年度進行不同季節採樣之可行性。	
三、臧效義委員 1、摘要應加入重要之結論。 2、整體計畫在第一年有相當不錯的成果。 3、採樣工作建議在未來的計畫中增加不同季節的分析。 4、未來計畫中，應針對空照的結果探討近十年的變化趨勢。	1、感謝委員之建議，將遵照辦理。 2、感謝肯定。 3、感謝委員之建議，本項建議將與港研中心配合進行。 4、感謝委員之建議，遵照辦理。未來計畫將蒐集更完整的資料進行分析。	

四、陳文俊委員： 1、報告內容豐富，值得肯定。 2、部份文章疏漏錯詞再檢核，部份圖幅建議彩色列印以利閱讀。 3、河道淤高，主槽偏移及粒徑變大問題，建議未來可再詳細探討，尤其河道淤高近 0.8m，其輸砂量來源及對淡水河通洪影響。 4、以粒徑分佈証明海床砂主要來自淡水河，建議未來可加入顆粒礦物成份分析，可加強佐證。 5、颱風期間之洪水高漲之敘述，建議可分析出其暴潮偏差量。 6、臺北港北堤之淤沙主要是來自河口輸砂或沿岸漂砂，未來可詳細敘述。 7、颱風期之漂砂與河口地形及淡水河斷面之影響應是重點，未來可詳加之比對。	1、感謝肯定。 2、遵照辦理。 3、遵照辦理。 4、遵照辦理。 5、遵照辦理。 6、感謝委員之建議，明年年度將蒐集更新的資料並就資料作更詳盡的分析。 7、遵照辦理。	
五、簡仲璟委員： 1、本研究相關資料收集完整且配合詳細之分析比	1、感謝肯定。	

較，大致上已符合本計畫第一年工作目標，研究團隊的努力值得肯定。 2、有關底床載及總輸砂量之計算，經誤差分析後分別以 Meyer-Peter and Muller 及 Engelund and Hansen 公式較佳。建議補充詳細之誤差分析比較過程。 3、目前收集之淡水河相關水理資料是否已足夠？淡水河總輸砂量對於河道淤積量及河口海床地形變化之間關聯性是否可以有進一步探討？ 4、部分圖資料(引用宋國士部分)不夠清晰，建議改進。	2、報告中已說明底床載及總輸砂量之計算係引用王安得(2004)之碩士論文，詳細之誤差分析比較，請參照原文。Meyer-Peter and Muller 公式一般用於較粗顆粒，使用時其係數應予修正。請參見 Wong and Parker (2006), “Re-analysis and correction of bedload relation of Meyer-Peter and Muller using their own database”, <i>Journal of Hydraulic Engineering</i>(ASCE), p.1159-1168. 3、因限於計畫時程，淡水河相關水理資料以十年內資料進行分析。洪水期間之輸砂量對於河道淤積量及河口海床地形變化影響最大，但仍缺乏洪水期間之輸砂量資料，希望能持續進行探討。 4、感謝委員之建議，將予以修正。	
---	---	--

六、蘇青和委員： 1、期末報告成果豐碩。 2、第四章 4.3 節僅有 4.3.1 小節應可不分此小節。 3、結論甚為完整，重要成果建議列入摘要說明。 4、結論說明近十年河道呈淤積現象，且量不小，是否為上游泥沙沖刷、水土保持不佳之結果？ 5、結論說明依顆粒特性分析，海床上之沙源主要來自淡水河，所謂海床範圍為何？包括河口或其延伸之區域大小為何？未來建議增加海象分析(颱風期間甚重要)，如海流、波浪等特性分析，以加強海岸漂沙移動特性之佐證。 6、正式報告請依本所規格撰寫，例如每個章節頁碼應以 2-3,4-1....編號。	1、感謝肯定。 2、遵照辦理。 3、感謝委員之建議，遵照辦理。 4、近十年河道淤積應是由於賀伯颱風後，加上 921 地震造成上游坡地崩塌地增多，之後象神、納莉與艾莉颱風之豪雨使輸砂量提高；加上淡水河禁採砂石之影響。 5、報告中海床範圍係指在淡水第二漁港堤防出口西北方 300 公尺處，下切海床 3-4 m 至高程達- 11 m 之出海口尾端外之範圍。未來之研究計畫應加強海象資料之分析。 6、遵照辦理。	
--	---	--

附錄三

交通部運輸研究所辦理研究計畫

95年淡水河河口 及附近海岸輸砂之研究

期末報告

國立中央大學土木系

主持人：周憲德 教授

研究人員：卡艾偉 教授
林煒傑 研究生

報告日期：2006.12.14

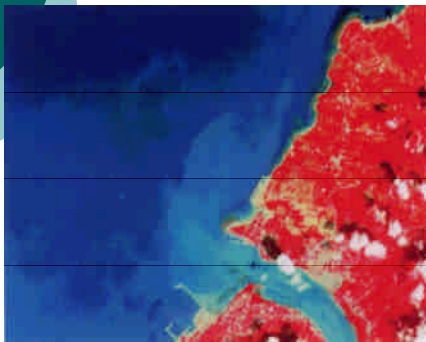
大綱

- 計畫目的
- 淡水河口既有水理資料分析
- 河口重力循環及輸砂特性
- 淡水河口現場資料收集與分析
- 結論與建議

目的

- 為建立適用於淡水河口輸砂之理論模式，並提供淡水河河口漂沙及台北港漂沙之防治方法，本研究擬以三年為期，提出淡水河河口漂沙及台北港漂沙之防治方法。
- 本年度收集淡水河河口輸沙資料，並彙整及探討適用於淡水河口輸砂之理論；
- 以現場資料檢定河口輸砂理論之適用性，並輔以現場資料調查驗證。

淡水河口衛星影像



Spot 9/23/2000(取自洪,2000)

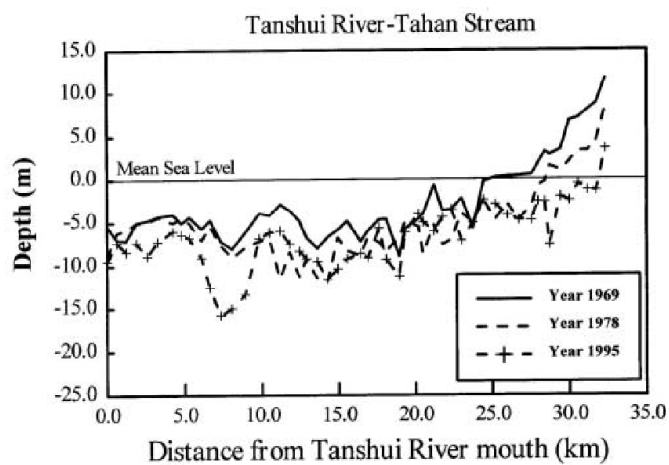


淡水河口福衛二號衛星影像8/01/2006

(中央大學太空遙測中心提供)

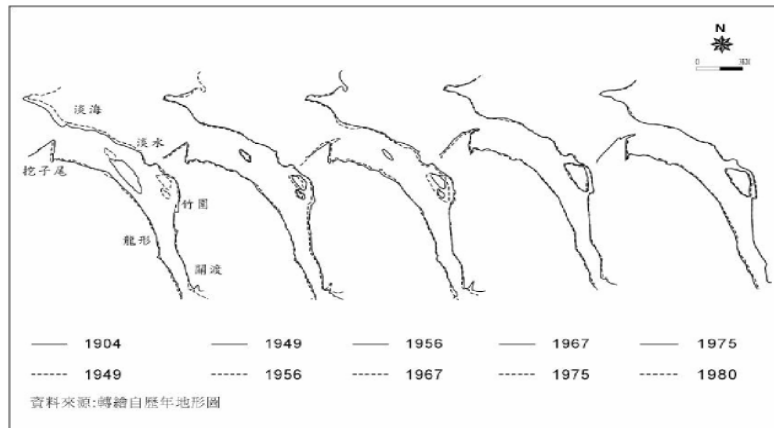
淡水河口既有水理資料分析

淡水河河床剖面圖



(許,2005)

淡水河口至關渡附近之歷年河道形態

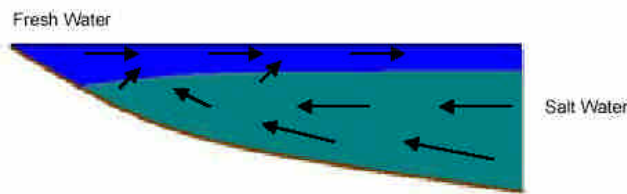


(張,2002)

河口重力循環及輸砂特性

重力循環 (Gravitational circulation) 之簡化分析

- 第一年度: 河口循環(estuarine circulation)及河口最大濁度(Estuarine Turbidity Maximum, ETM) 對底質傳輸及沉積之影響。
- 鹽度的斜壓梯度(baroclinic pressure gradient), 坡度, 水深及逕流形成之雙層循環(two-layer circulation)。



控制方程式

- Steady, tidally averaged flow:

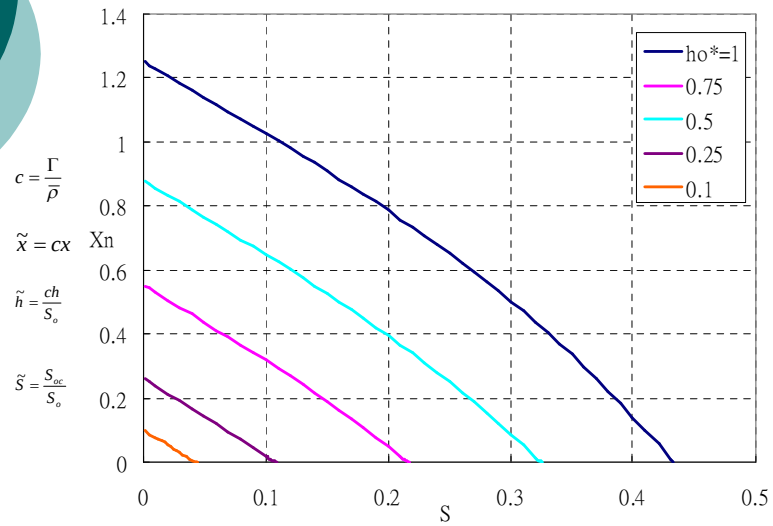
$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau}{\partial z} + \rho g \sin \theta = \frac{\partial \tau}{\partial z} + \rho g S_o$$

- baroclinic pressure distribution

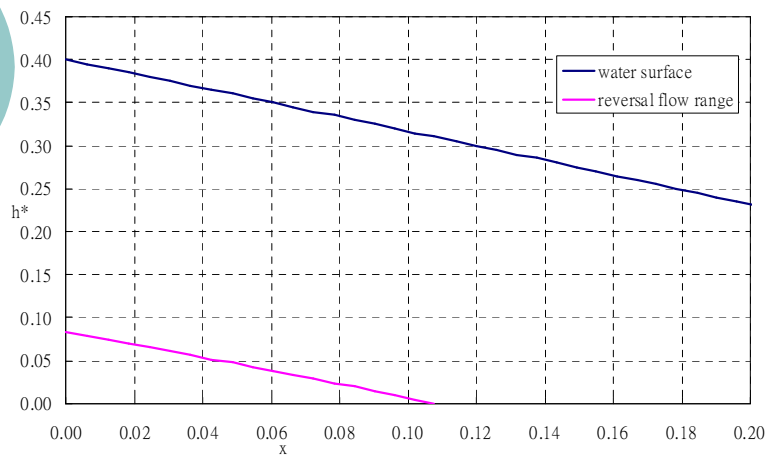
$$P = \rho g (h - z)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \rho g S_w + (h - z) g \Gamma$$

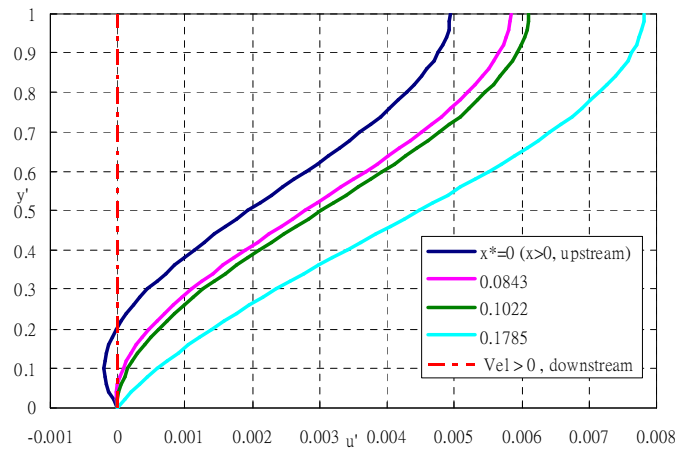
The effect of Slope on ETM distance



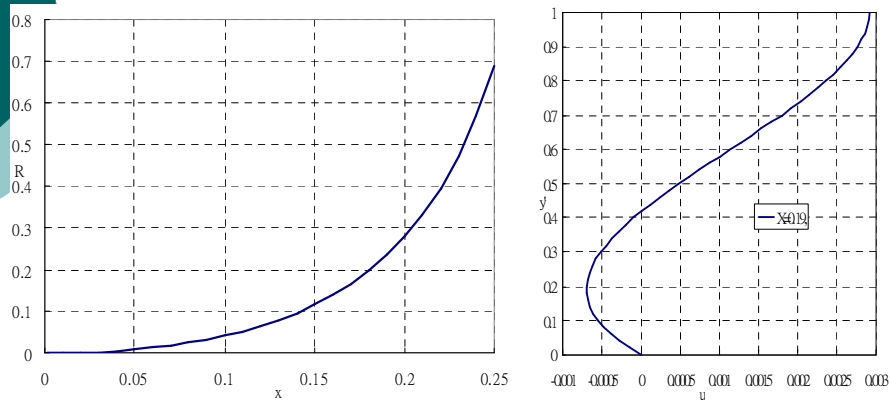
Water surface and reversal flow



Velocity profile



Velocity Profile (continued)



$$R = \frac{u_{e'}}{u_{s'}} = \frac{\left(\frac{\tau_{0s} \bar{\rho}}{h \Gamma} \left(\chi - \frac{\chi^2}{2}\right) + \left(\frac{\chi^2}{4} - \frac{\chi^3}{6}\right)\right)}{\left(\frac{1}{12} - \frac{\chi}{4}\right)}$$

$$= \frac{\left(-\frac{\chi}{2} \left(\chi - \frac{\chi^2}{2}\right) + \left(\frac{\chi^2}{4} - \frac{\chi^3}{6}\right)\right)}{\left(\frac{1}{12} - \frac{\chi}{4}\right)}$$

$$\therefore \chi = -\frac{2\tau_{0s} \bar{\rho}}{h \Gamma} = 1 + \frac{2\bar{\rho} S_w'}{h \Gamma} = 1 + \frac{2S_w'}{ch} = 1 + \frac{2(S_w - S_0)}{ch}$$

不同流況下河口環流及底泥最大濃度範圍

表 3.1 不同流況下河口環流及底泥最大濃度範圍

流況	斷面流量 (cms)	單寬流量 q(cms/m)	ETM 水深 $h_m(m)$	ETM 距河口位置 $x_m(m)$	河口底層迴流水深比 η_1
Q_w (雨季)	800	1.6	x	x	x
Q_d (乾季)	500	1	x	x	x
Q_{ave}	123.71	0.24742	x	x	x
Q_{50}	46.29	0.09258	5.66	3357.6	0.27
Q_{75}	19.57	0.03914	3.68	6138.1	0.44
Q_{90}	12.2	0.0244	2.91	7224.4	0.49

河口輸砂分析

Sternburg (1972)提出由顆粒粒徑，及底床上1 m 之平均流速 U_{100} 來推求底床剪應力、顆粒啟動條件及底床載之計算方法

假定底床之邊界層速度符合Prandtl 之對數分佈，即離底床高程 z 之速度可表示為

$$\frac{\bar{U}_z}{u_*} = 5.75 \log\left(\frac{z}{z_o}\right)$$

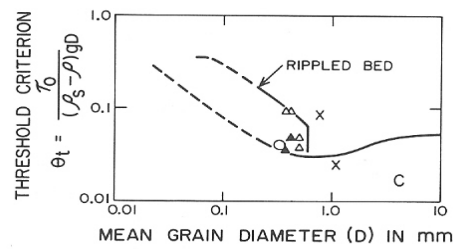
一般常以離底床高程1m(100cm)之速度為底床亂流邊界層之代表速度，且底床剪應力可用下式

$$u_* = \sqrt{C_{100}} U_{100}$$

河口輸砂分析

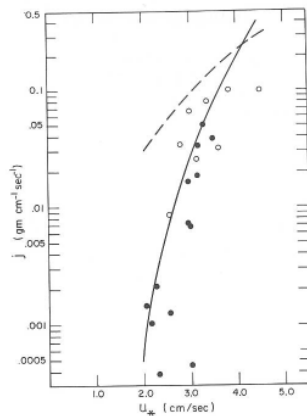
依現場資料， $z_o \approx 0.02 \sim 0.2 \text{ cm}$ ，當 $U_{100} > 0.15 \text{ m/s}$ 時， $C_{100} \approx 2 \sim 4 \times 10^{-3}$ 其平均值為 $\bar{C}_{100} = 3.1 \times 10^{-3}$ 。

$$u_* = 5.47 \times 10^{-2} \bar{U}_{100}$$



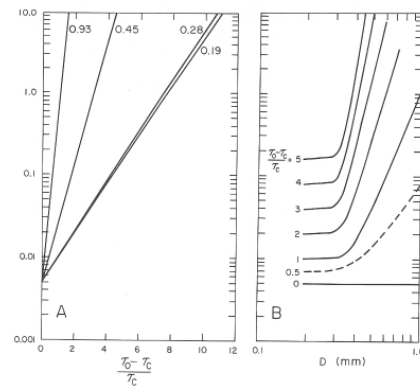
臨界剪應力與粒徑之關係(Inman, 1963)

河口輸砂分析



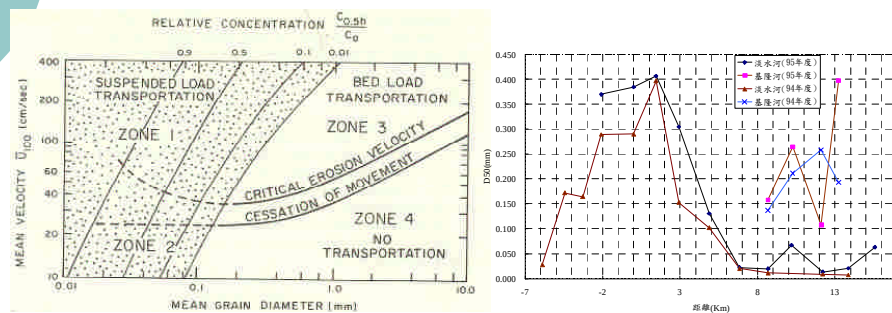
$$\omega = \rho u_*^3$$

單位寬度底床載與剪力速度之關係
(Kachel and Sternburg, 1971)



$$K = f\left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c}\right)$$

K與粒徑及相對剪應力之關係式
(Kachel and Sternburg, 1971)



流速、粒徑與沉澱運動型態之關係
(Sundborg, 1967)

懸浮載及底床質載估算

水利署以淡水河三鶯橋1980-2000之實測懸浮質資料得懸浮載與流量之關係式

$$Q_s (10^6 T / day) = aQ^b (cms)$$

豐水季: $a=2.995$, $b=1.516$

枯水季: $a=6.39E-4$, $b=2.956$

淡水河流域輸砂量推估

表 3.2 淡水河流域輸砂量推估

支 流	測 站	總輸砂量 (T/yr)	底床載比 例(%)	懸浮載比 例(%)	沖洗載比 例(%)	年侵蝕率 (mm/yr)
新店溪	秀朗站	837,764	7	43	50	0.767
大漢溪	三鶯橋站	1,458,648	36	47	17	1.05
基隆河	五堵站	631,537	2	89	9	1.872

資料來源:(王,2004)

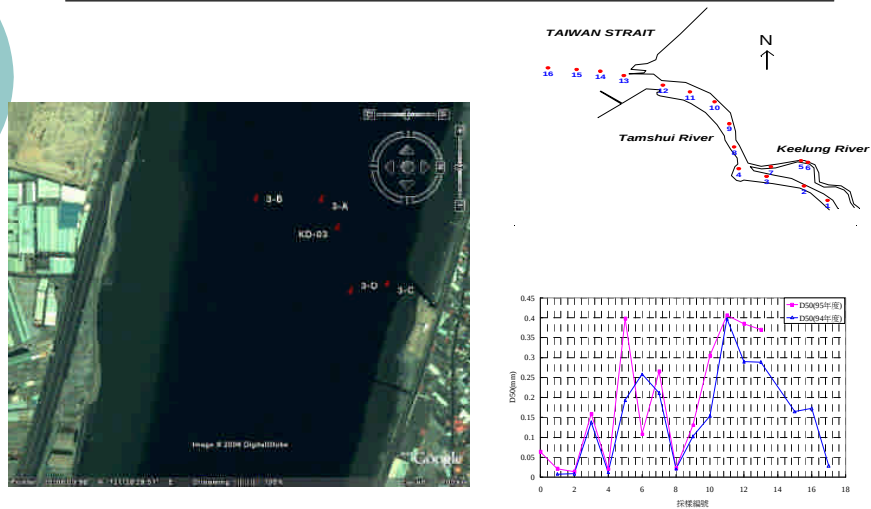
石門水庫及翡翠水庫興建前後淡水河流量比較

表 3.3 石門水庫及翡翠水庫興建前後淡水河流量比較(Liu et al., 2004)

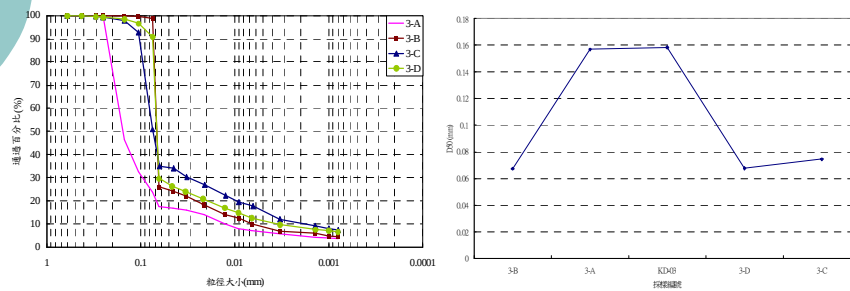
流量條件	支 流	平均流量(cms)	Q ₅₀ (cms)	Q ₇₅ (cms)
石門水庫及翡翠水庫興建前	大漢溪	68.92	29.65	18.1
	新店溪	82.83	44.43	20.43
	基隆河	25.25	9.82	3.5
現 況	大漢溪	41.04	12.75	4.03
	新店溪	57.46	23.72	12.04
	基隆河	25.25	9.82	3.5

淡水河口現場資料收集與分析

底質採樣分析測點衛星航照圖

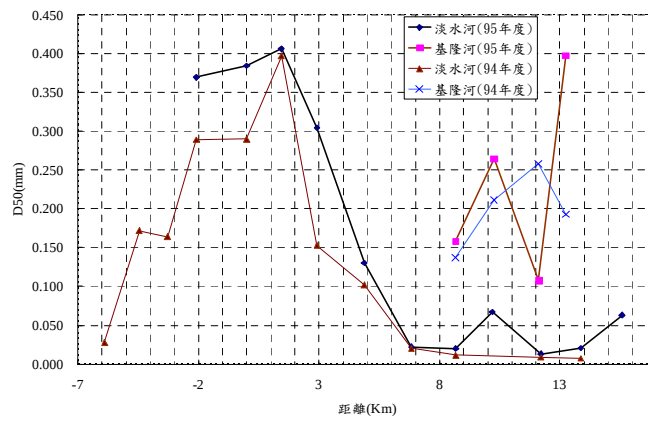


分析結果

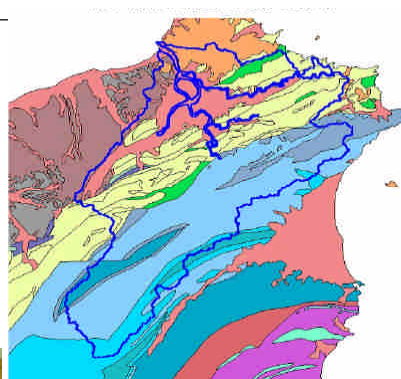


D₅₀與取樣位置關係圖

分析結果

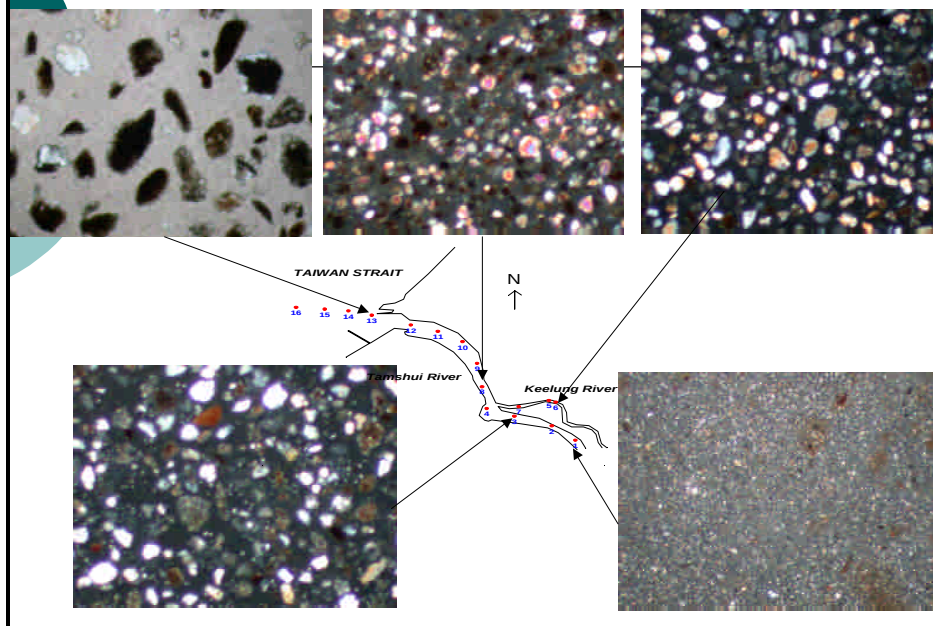


粒徑顯微分析



- [illegible]

粒徑組成分析



2002-2005間關渡測站颱風洪期之水文資料

表 4.2 2002-2005 間關渡測站颱風洪期之水文資料

年	中文名稱	警報期間	最大流速 (cm/s)	最大懸浮值濃 度(ppm)	最高水位 (m)	備註
2005	海棠 (HAITANG)	07/16~ 07/20	121.88	N/A	1.19	
	馬莎 (MATSA)	08/03~ 08/06	118.75	N/A	1.5	
	珊珊 (SANVU)	08/11~ 08/13	100	N/A	1.25	
	泰利 (TALIM)	08/30~ 09/01	N/A	N/A	N/A	
	卡努 (KHANUN)	09/09~ 09/11	71.88	N/A	1.17	
	丹瑞 (DAMREY)	09/21~ 09/23	153.13	5818	1.36	
	龍王 (LONGWANG)	09/30~ 10/03	181.25	5182	1.33	

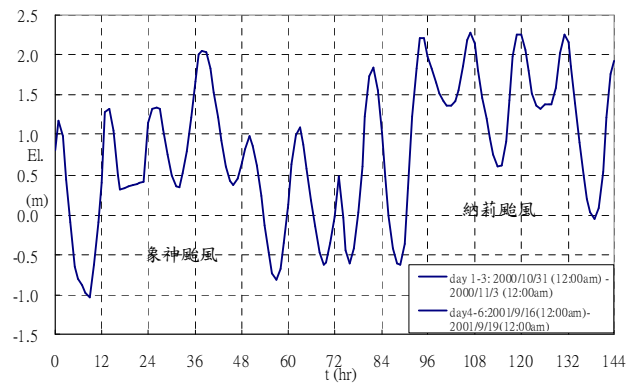
2002-2005間關渡測站颱風洪期之水文資料

2004	康森 (CONSON)	06/07~ 06/09	129.25	1901	1.49	
	敏督利 (MINDULLE)	06/28~ 07/03	N/A	2961	1.36	D、C 根據 6/28~6/30
	康柏斯 (KOMPASU)	07/14~ 07/15	N/A	1679	N/A	
	蘭寧 (RANANIM)	08/10~ 08/13	140.30	N/A	1.39	
	艾利 (AERE)	08/23~ 08/26	183.31	N/A	1.41	V 根據 8/23~8/24
	海馬 (HAIMA)	09/11~ 09/13	N/A	N/A	N/A	
	米雷 (MEARI)	09/26~ 09/27	N/A	N/A	N/A	
	納坦 (NOCK-TEN)	10/23~ 10/26	N/A	N/A	N/A	
	南瑪都 (NANMADOL)	12/03~ 12/04	N/A	14252	0.97	

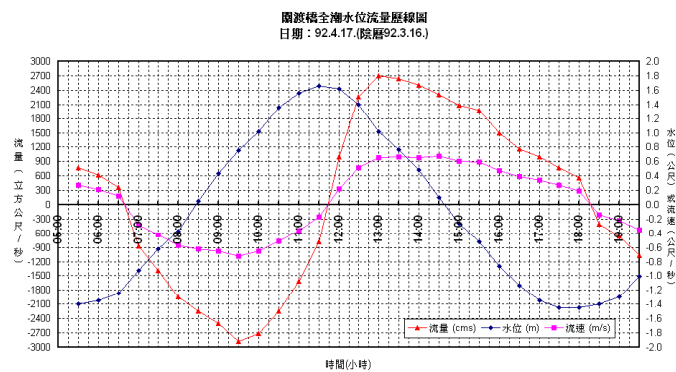
2002-2005間關渡測站颱風洪期之水文資料

2003	莫拉克 (MORAKOT)	08/02~ 08/04	N/A	N/A	1.32	
	梵高 (VAMCO)	08/19~ 08/20	N/A	N/A	0.89	
	柯羅旺 (KROVANH)	08/22~ 08/23	101.36	N/A	0.98	
	杜鵬 (DUJUAN)	08/31~ 09/02	138.26	N/A	1.45	
	米勒 (MELOR)	11/02~ 11/03	N/A	N/A	1.21	
2002	雷馬遜 (RAMMASUN)	07/02~ 07/04	N/A	5301	1.32	
	娜克莉 (NAKRI)	07/09~ 07/10	N/A	5296	1.52	
	辛樂克 (SINLAKU)	09/04~ 09/08	N/A	N/A	1.88	
2001	納莉 (NARI)	9/13~ 09/19	N/A	N/A	2.28	土地公鼻水 位站
2000	象神 (XANGSANE)	10/30~ 11/01	N/A	N/A	2.03	

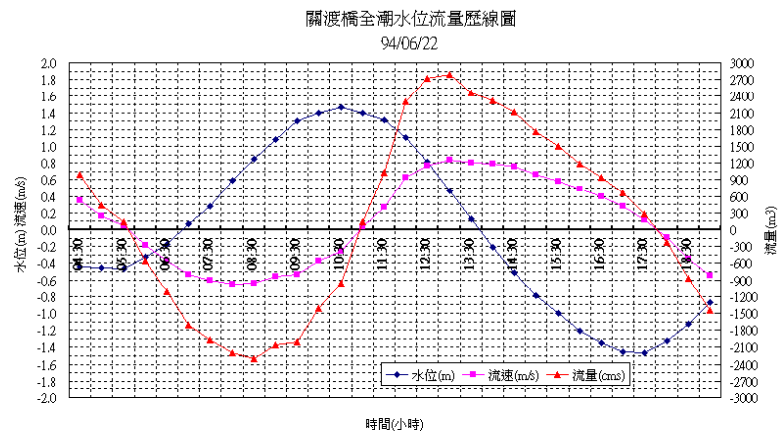
象神颱風及納莉颱風時土地公鼻水位站之潮位資料



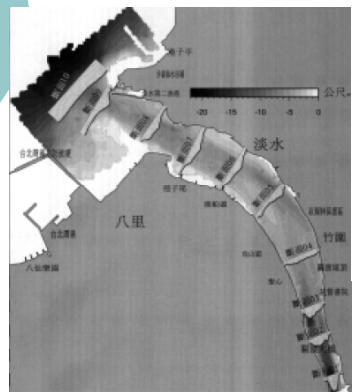
關渡橋全潮流量觀測記錄(92/04/17)



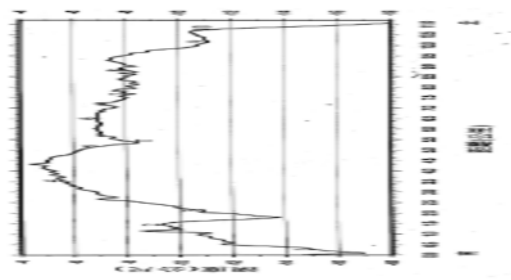
關渡橋全潮流量觀測記錄(94/06/22)



河口地形變化及現況勘查



淡水河下游河口段水深剖面圖
(宋等,2001)

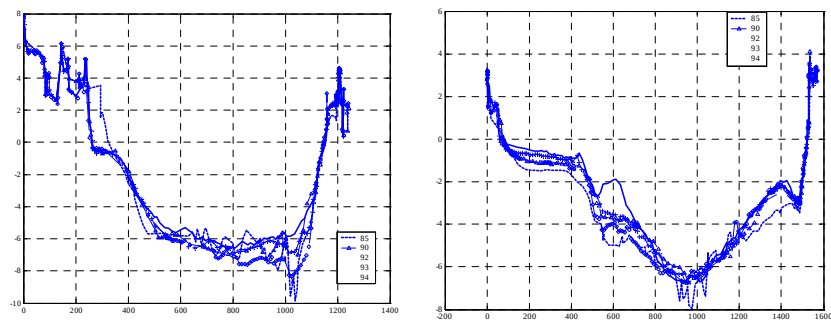


淡水河下游段深槽縱剖面圖 (宋等,2001)

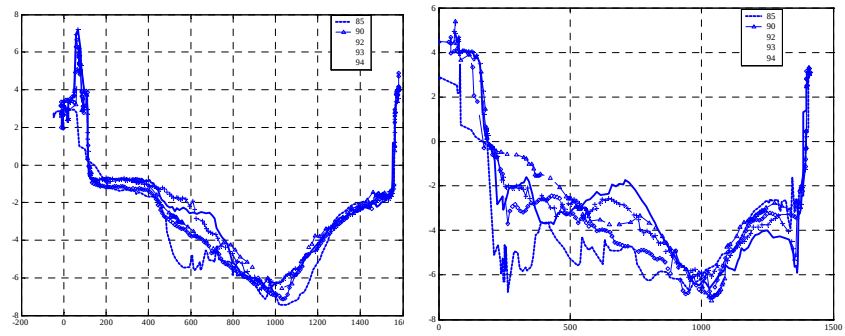
河口段截取斷面位置示意圖



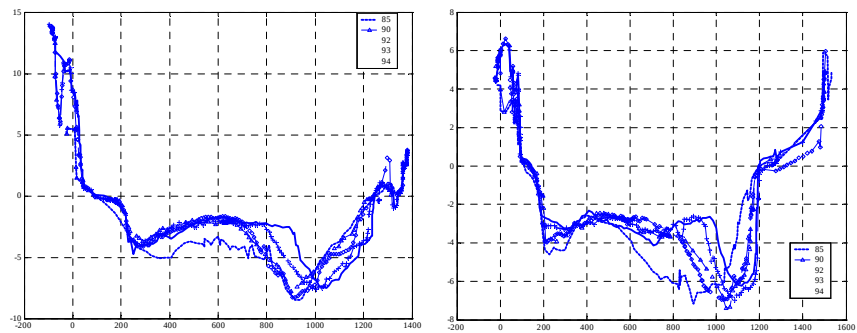
歷年地形剖面變化比較圖



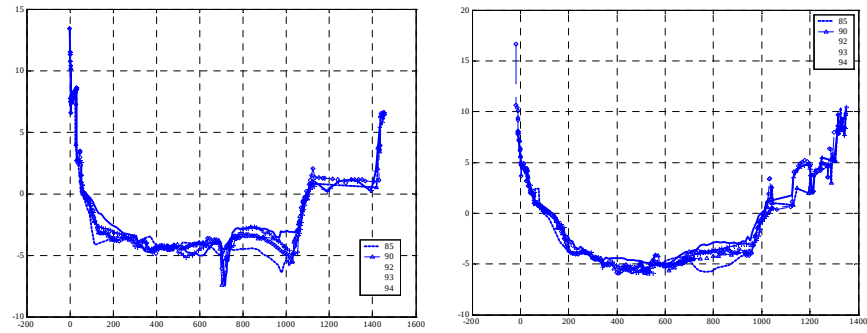
歷年地形剖面變化比較圖



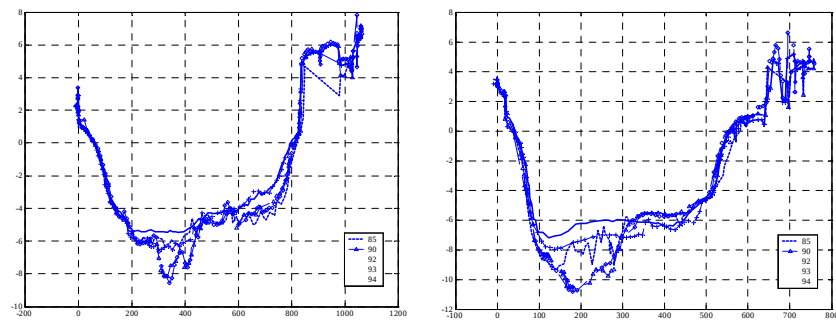
歷年地形剖面變化比較圖



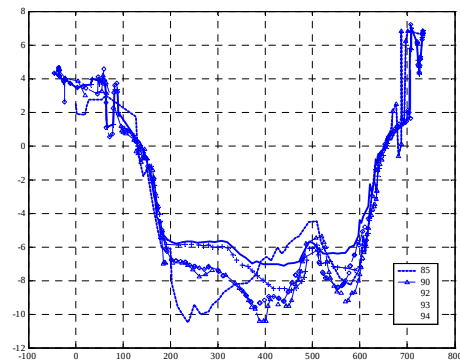
歷年地形剖面變化比較圖



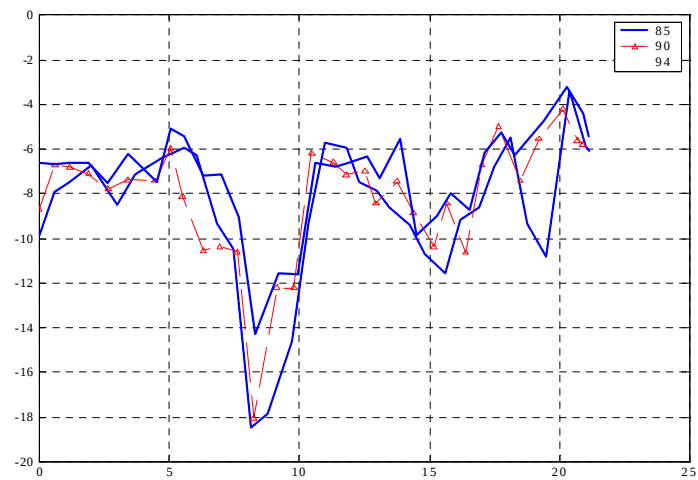
歷年地形剖面變化比較圖



歷年地形剖面變化比較圖



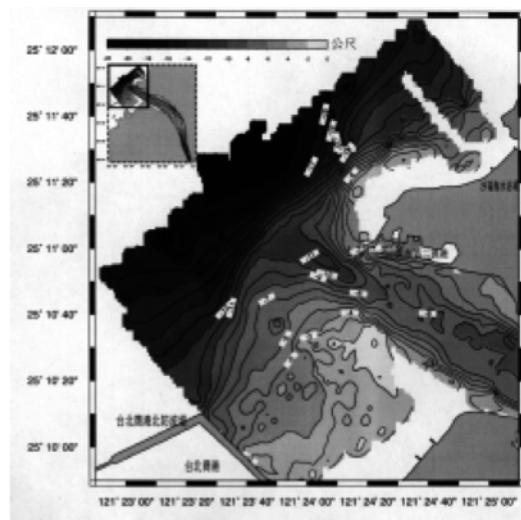
淡水河下游斷面最深河床之演變



淡水河下游斷面平均河床之演變



淡水河河口海床等深剖面圖



(宋等,2001)

河口地形現況



河口處浮流及挖子尾沙嘴現況
(2006/08/13)



淡水河南岸沙灘淤積
(2006/08/13)

結論

- 淡水河屬風浪營力型或風浪、逕流及潮汐三個營力之中混合型。早期河口內之河道中沙洲明顯，在1967-1975年後，此河段之沙洲已消失，1967- 1996年間因上游築壩及抽沙，阻隔沙源導致淡水河之河床下降，1996年後因發生數場大洪水及禁採砂石及海岸築堤等效應，下游河床呈淤積狀況，近十年平均河床淤積0.79m。台北港興建之後，造成漂沙在北堤前堆積的情況，原先八里汙水廠附近的海岸呈現侵蝕狀態，已逐漸淤積。
- 淡水河口之重力循環流特性，在當河川流量大於年平均流量($Q_{ave}=123.71\text{cms}$)時，河口內無重力環流存在。當流量大於 $Q_{50}(=46.29\text{cms})$ 時，河口之底部迴流只存在距河口3.4 公里範圍內，而當河川逕流量約小於 $Q_{75}(=19.57\text{cms})$ 與 $Q_{90}(=12.2\text{cms})$ 間時，河口之底部迴流會越過竹圍(斷面4)之淺灘而進入關渡橋河段。因豐水期期間，淡水河口之重力循環流不易存在，故在計算淡水河之颱風輸砂量時，不需考慮底部迴流之輸砂特性。

結論

- 由底質採樣分析可知淡水河下游之河床質粒徑介於0.013-0.4 mm，淡水河以社子防潮堤到二重輸洪道出口間之河床質最細(<0.02mm)，基隆河之河床質粒徑(介於0.1-0.4mm)較淡水河為粗。由關渡至河口之粒徑漸粗，於淡水渡船頭附近最粗，往外海方向則粒徑漸減，故河口的區域存在海相沉積的特性。經顆粒特性分析，海床上之砂源主要來自淡水河。
- 淡水河之輸砂量以颱風期間之懸浮載為主，含砂量可達5 - 14.5 g/L，懸浮載與流量指數關係之次方1.516(豐水季)或2.956(枯水季)。經數值模式分析以Engelund and Hansen公式計算總輸砂量之誤差最小。

結論

- 帶來大豪雨之颱風，如象神颱風及納莉颱風時，洪水流量暴增，造成河道內潮位上升，潮差縮小之情形。納莉颱風時，颱風前最大潮差2.47m，颱風期間最小潮差僅0.85m，持續有47小時水位高於平均海平面，最高水位達2.28 m，且連續四次最高潮位均大於2.2m。
- 全潮流量觀測顯示逕流量小時(135.9 cms)，漲潮流速大於最大退潮流速；反之如逕流量大時(286.4cms)，則漲潮流速明顯小於最大退潮流速。淡水河口之潮汐流量約2000~3000 cms。故當上游流量大於2000 cms時會明顯改變河道內漲退潮位。
- 淡水河口之水下地形並無沖積扇地貌，然近十年來在河道內呈淤積現象，近幾年來在斷面4,5處河道深槽向外岸偏移達200m，而斷面8,9,10之主深槽則明顯淤積將近5m(從-11m 轉為-6m)，整體河道，近十年平均河床淤積0.79m。



建議

- 建議持續進行第二、三年度之研究以了解海岸漂沙及沿岸流輸沙特性，並分析臺北港至河口間之漂沙與地形變化，及河口處挖子尾沙嘴及灘地地形之演變，以完整提供淡水河河口漂沙及台北港漂沙之防治對策。
- 持續收集颱風期間之水理資料及輸砂資料，以驗證河口輸砂模式之正確性。

Thanks For Your Attention